前　言

本书是根据冶金、有色系统高等专科学校“八五”教材出版规划和矿山地质专业“矿山钻探工程”课程教学大纲的要求编写的；主要内容为岩心钻探设备，岩心钻进方法，钻孔冲洗与护壁堵漏，钻探质量等。根据矿山地质专业的要求，各章节均以矿山坑道常用的小口径浅钻孔工程施工为重点。本书力求反映高等专科教学特点，在取材和阐述上注重理论联系实际，概念清楚，深入浅出，简化抽象的理论分析和公式推演，侧重于应用技术知识和成熟的实践经验。

本书的目的是使学生通过学习能掌握设计钻孔结构与钻探质量要求的技术依据，掌握选择钻探设备与配套机具所需的理论知识，了解常用钻进方法的工艺过程，以便能组织管理矿山和坑道钻探施工，处理钻探所得技术数据，编制有关钻孔的技术图件。

本书稿经长春地质学院张祖培教授和蒋荣庆教授审阅，并召开了由吉林有色金属地质勘查局刘津生（教授）高级工程师和长春工业高等专科学校王文臣教授参加的审稿会，诸专家提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

参加本书编写工作的有长春工业高等专科学校华祥征（编写1，2.1，2.2.1，2.2.5，2.3，2.4，2.5，2.6，3部分），长沙工业高等专科学校蔡崇德（编写2.2.2，2.2.3，2.2.4，4，5部分），全书由华祥征主编。

限于编者的学识水平，书中难免存在谬误和不当之处，敬请读者不吝指教。

编　者

1991年12月

目　　录

1 总　论 …… 1
1.1 钻探工程的起源与发展概况 …… 1
1.2 钻探工程在国民经济建设中的应用 …… 2
1.3 钻孔的钻进方法及其分类 …… 3
1.4 钻探工程在矿山的应用 …… 3
1.5 “矿山钻探工程”课程的内容与任务 …… 4
1.6 岩心钻探的基本概念 …… 4
2 岩心钻探设备 …… 8
2.1 概　论 …… 8
2.1.1 钻探设备的组成 …… 8
2.1.2 钻探设备（钻机）分类 …… 8
2.1.3 回转式钻机的基本组成 …… 10
2.1.4 钻探设备的标准系列与型号 …… 12
2.2 岩心钻机 …… 13
2.2.1 坑道岩心钻机类型 …… 13
2.2.2 YL－3型钻机 …… 14
2.2.3 钻石-100A-D型钻机 …… 30
2.2.4 ZSK-50型坑道岩心钻机 …… 39
2.2.5 岩心钻机的选择 …… 41
2.3 泥浆泵 …… 44
2.3.1 泥浆泵的功用与类型 …… 44
2.3.2 泥浆泵的性能特点与基本要求 …… 44
2.3.3 往复泵工作原理 …… 45
2.3.4 往复泵的结构特点与技术性能 …… 46
2.4 动力机 …… 50
2.4.1 钻探用动力机的要求、类型与驱动方案 …… 50
2.4.2 电动机 …… 51
2.4.3 风马达 …… 52
2.4.4 柴油机 …… 53
2.4.5 柴油发电机组 …… 55
2.5 机窝和钻塔 …… 56
2.5.1 机　窝 …… 56
2.5.2 钻　塔 …… 58
2.6 钻探管材与升降工具 …… 60
2.6.1 概　述 …… 60

2.6.2 钻　杆 …… 60
2.6.3 主动钻杆与钻锭（加重钻杆） …… 62
2.6.4 岩心管 …… 63
2.6.5 套　管 …… 63
2.6.6 取粉管 …… 64
2.6.7 水接头 …… 65
2.6.8 升降工具 …… 66
3 岩心钻进方法 …… 71
3.1 概　述 …… 71
3.2 岩石的物理力学性质与可钻性分级 …… 71
3.2.1 岩石的物理性质 …… 71
3.2.2 岩石的力学性质 …… 72
3.2.3 岩石的可钻性及其分级 …… 75
3.3 硬质合金钻进 …… 76
3.3.1 概　述 …… 76
3.3.2 硬质合金 …… 78
3.3.3 硬质合金钻头的结构要素 …… 79
3.3.4 硬质合金钻头类型 …… 83
3.3.5 硬质合金钻进技术参数 …… 86
3.3.6 硬质合金钻进工艺要点 …… 90
3.4 金刚石钻进 …… 91
3.4.1 概　述 …… 91
3.4.2 金刚石及人造超硬材料 …… 92
3.4.3 金刚石钻头 …… 95
3.4.4 扩孔器 …… 101
3.4.5 金刚石钻进的钻具组成与级配 …… 103
3.4.6 金刚石钻进技术参数 …… 104
3.4.7 金刚石钻进工艺要点 …… 107
3.5 绳索取心钻进 …… 110
3.5.1 概　述 …… 110
3.5.2 绳索取心钻具与装备 …… 111
3.5.3 绳索取心钻进技术参数 …… 114
3.5.4 绳索取心钻进操作工艺要点 …… 115
3.6 钻（钢）粒钻进 …… 116
3.6.1 钢粒钻进的应用与特点 …… 116
3.6.2 钢粒与钢粒钻头 …… 116
3.6.3 钢粒钻进技术参数 …… 117
3.6.4 钢粒钻进工艺要点 …… 120
3.7 冲击回转钻进 …… 120

3.7.1 冲击回转钻进的特点与应用 …… 120
3.7.2 孔底冲击器（潜孔锤） …… 121
3.7.3 冲击回转钻进用钻头与装备 …… 124
3.7.4 冲击回转钻进工艺 …… 126
3.8 反循环钻进 …… 127
3.8.1 概 述 …… 127
3.8.2 水力反循环连续取心钻进 …… 127
3.8.3 反循环取样钻进 …… 128
3.8.4 局部反循环钻进 …… 128
3.9 孔内事故的预防与处理 …… 130
3.9.1 孔内事故的危害与种类 …… 130
3.9.2 孔内事故的原因 …… 130
3.9.3 孔内事故的预防 …… 131
3.9.4 处理孔内事故的基本方法 …… 131
4 钻孔冲洗与护壁堵漏 …… 137
4.1 钻孔冲洗的目的、循环方式及冲洗介质 …… 137
4.1.1 冲洗钻孔的目的 …… 137
4.1.2 钻孔冲洗的循环方式 …… 137
4.1.3 冲洗介质的种类 …… 138
4.2 清 水 …… 139
4.3 盐水溶液 …… 139
4.4 乳状液 …… 139
4.5 泥 浆 …… 142
4.5.1 造浆粘土和水 …… 142
4.5.2 泥浆的性能测定 …… 145
4.5.3 泥浆的添加剂 …… 148
4.5.4 常用泥浆种类 …… 151
4.6 无固相冲洗液 …… 153
4.7 空气与泡沫 …… 153
4.7.1 压缩空气 …… 153
4.7.2 泡 沫 …… 156
4.8 钻孔护壁堵漏 …… 156
4.8.1 钻孔漏失的原因及防治 …… 156
4.8.2 水泥浆液护壁堵漏 …… 157
4.8.3 化学浆液护壁堵漏 …… 159
4.8.4 惰性材料堵漏 …… 161
4.8.5 套管护壁堵漏 …… 162
5 钻探质量 …… *164*
5.1 钻探质量指标 …… 164

5.1.1 钻探质量指标内容 …… 164
5.1.2 钻探质量分类 …… 164
5.2 岩矿心的采取 …… 165
5.2.1 对岩矿心的要求 …… 165
5.2.2 采取岩矿心的方法 …… 166
5.2.3 影响岩矿心采取率与品质的因素 …… 170
5.2.4 提高岩矿心采取率与品质的措施 …… 171
5.2.5 岩矿心的补取 …… 172
5.2.6 岩矿心的整理与保管 …… 173
5.3 钻孔弯曲 …… 174
5.3.1 钻孔弯曲的测量（测斜） …… 175
5.3.2 钻孔弯曲作图 …… 182
5.3.3 钻孔弯曲的原因 …… 185
5.3.4 钻孔弯曲的预防（防斜） …… 188
5.3.5 钻孔弯曲的矫正（纠斜） …… 191
5.3.6 定向钻进（造斜） …… 194
5.4 孔深误差及其校正 …… 202
5.4.1 孔深误差的产生和防止 …… 202
5.4.2 孔深误差的校正 …… 203
5.5 钻孔简易水文观测 …… 204
5.5.1 钻孔水位的测量 …… 204
5.5.2 冲洗液消耗量的测量 …… 204
5.5.3 钻孔中涌水量的测量 …… 205
5.5.4 水温观测 …… 206
5.5.5 老窿采空区和喀斯特溶洞的观测 …… 206
5.5.6 其它观测 …… 206
5.6 封 孔 …… 206
5.7 原始报表 …… 207
5.8 钻探工程设计 …… 210
5.8.1 钻探施工总设计 …… 210
5.8.2 年度施工设计与季度施工计划 …… 213
5.8.3 编制钻孔地质技术指示书 …… 214

1 总 论

1.1 钻探工程的起源与发展概况

我国是世界上最早应用钻探工程的国家。钻凿技术是我国古代许多科学技术发明之一。它起源于我国钻凿盐井和饮用水井。关于“凿井求盐”的最早文字记载是2200多年前的秦代，实际上凿盐井取卤水在公元前600年的四川就已有了。出土文物“汉砖”上就有由盐井汲取卤水煮盐的图案。据历史材料记载，到了唐朝（公元618～907年）四川就有盐井与火井（天然气井）640余口，其中有的深度达到248m，可见当时的钻井技术是相当高的。明朝宋应星著的《天工开物》一书，对钻凿盐井的技术工艺进行了详细的记述。它说明当时采用人力的钻杆冲击钻进方法开凿盐井，所使用的钻头是锥嘴形、凿刃坚固锋利的铁锥，钻杆是竹片的、随钻井加深而加长。冲击破碎后的岩粉用专门工具“铁盏”捞取干净后，再继续钻进。深井约需半年，浅井一个多月即可完成。当时还制造了处理井内事故与修理井壁的工具。这种古老而有效的冲击钻进工艺方法，在西方直到19世纪20年代才开始应用，其工艺原理至今仍具有生命力。所有这些都充分说明我们勤劳智慧的祖先在历史上对钻探事业的发展有重大的创造和杰出的贡献。

18～19世纪英国炼铁炼钢工业的蓬勃发展，给矿山采掘业与钻进技术开辟了新的时代。1845年法国的富贝卢提出的回转式钻进方法的原理，成为近代钻进方法的基础。1853年美国德里克开发了钢绳冲击钻进方法，并用于石油、地下水开发。1862年法籍瑞士工程师莱舒特首先提出应用天然金刚石于矿山爆破孔的回转钻进工作，于次年制造出可以采取岩（矿）心的手摇立轴式回转钻机。其后，回转钻进因其钻岩效率高、地质效果好，在地质勘探中占据了主导地位。1916年硬质合金的问世使钻探工作能利用硬质合金切削具的钻头在中等硬度及较弱岩层中有效地钻进。19世纪末，美国工程师提出使用铸铁球粒作为研磨料钻进硬的裂隙岩层，以代替昂贵的金刚石，后来发展成为钢粒钻进。直到20世纪60年代钢粒钻进仍是缺乏金刚石资源的许多国家（包括原苏联和中国）钻进硬岩的主要方法。

解放前的旧中国，由于长期的封建社会制度严重束缚了生产力的发展，科学技术根本得不到发展。封建买办阶级的反动统治与帝国主义的掠夺，使得矿产开发与地质勘探事业十分薄弱，钻探技术极其落后，到解放前夕拥有钻机不足百台，40多年累计完成的钻探工作量仅2×10^5m。矿产开发与重工业处于极其落后的状况。

新中国成立后，矿产开发与地质勘查事业得到了迅速发展。创办了地质院（系）校（专业），建立了较完整、配套的钻探生产和科研体系，壮大了技术队伍，为我国社会主义经济建设提供地下矿产资源做出了重大贡献。钻探工程技术也有很大的发展与进步。

党的十一届三中全会以后，全党工作的重点转移到社会主义现代化建设，我国进入改革、开放的新历史时期。

钻探工程在四十年发展历程中，以其实际工作贡献证明它是地质勘查工作的重要方法。通过钻探取得的地质资料，为揭示地质界限、了解地质构造，探明矿床产状、含矿品位，确

定矿产储量、开采条件，以及工程勘查等，提供了可靠的依据。据不完全统计，在现有已探明储量的136种矿产中，80%以上采用了钻探工程。40年中完成钻探工作量达2×10^8m以上，为旧中国半个世纪钻探工作量的1000倍。

1963年我国研制成功了人造金刚石孕镶钻头，这是我国钻探工程技术发展的重大突破，得到了国际钻探工程界的一致好评。据统计，“七五”期间我国人造金刚石钻进工作量已达岩心钻探总量的60～70%，其中绳索取心钻进占30～40%；冶金系统台月效率已超过700m，绳索取心钻进量已超过60%，一级孔率为90%以上；有色总公司华北地勘局台月效率超过1000m，绳索取心钻进单机台月效率已多次突破2000m。

人造金刚石作为主要的钻进磨料，十分符合我国的资源特点，因而金刚石钻进工艺技术、钻头制造工艺、破岩机理、可钻性分级等都得到很大的发展。为适应金刚石钻进高转速、严泵量的要求，钻探设备结构与性能也有了很大发展。目前，新型液压式钻机、动力头式钻机、机械变量往复泵与各种测试仪表以及高强度与轻质合金管材的研制成功与生产应用，为实现新技术新工艺提供了良好的物质条件。

我国钻探工程技术的某些方面虽已达到国际先进水平，但是在钻探效率，特别是钻探劳动生产率（m/人年）、人工合成高强度金刚石与超硬材料复合片、多功能多用途型钻机、微机智能优化钻进、新的高难技术应用以及科学深钻等方面与发达国家相比，尚存在很大差距。

1.2 钻探工程在国民经济建设中的应用

钻探工程是使用钻探设备向岩土层或建筑物钻进，取出孔内岩土样品或钻成一定规格的钻孔，以满足对各种地下资源的勘查与开采或某项地下或构筑工程施工的需要。

钻探工程，可以从钻孔中取出圆柱形岩土样品——岩心（土样或岩粉）；可以钻进任何硬度与稳定性的岩土层及建筑材料；可以钻进各种方向或角度的小直径钻孔（包括直的与弯曲的）；可以钻进垂直的数千米深孔或直径数米、深度数百米的井筒，因而在国民经济各部门得到广泛的应用。

（1）钻探工程用于地质勘查，是从地下深部直接取得实物资料的唯一手段，是地质普查找矿和探明矿产储量的主要方法之一，是地质勘查工作的重要组成部分；

（2）钻探工程用于各种工业与民用建筑地基、水库堤坝、铁路公路路基、桥梁、涵洞、隧道、地下设施、港口码头等工程地质勘察，采取不扰动原状土样，进行各种孔内测试；

（3）钻探工程用于水文地质勘察、环境工程和工农业与生活用地下水及地热的开采钻井；

（4）钻探工程用于石油、天然气的勘探及开采钻井；

（5）钻探工程用于各种工程施工，如工业与民用建筑的桩基础、构筑物内各种管线通孔，市政工程敷设各种地下管道（上下水、煤气、电缆），矿山通风、排水、送料、溜矿通道与竖井钻凿，地基加固防渗灌浆，各种科学观测孔、标孔以及地下核试验井、导弹发射井的钻进等。

总之，钻探工程随着科学技术与国民经济的发展，在探查、开采、施工三方面的应用领域日益扩大，并与许多尖端科学密切联系，如深海洋底地质钻探、南极极地钻探、地壳科学深钻、月球表层钻探等，将钻探工程学科推向一个新高峰，将有可能对整个地学基础

理论提出挑战性的认识，从而促使矿产、新能源、新材料以及地震、地质灾害防治等领域有重大突破。

1.3 钻孔的钻进方法及其分类

目前，钻进钻孔时采用的破碎岩石的方法，都是属于机械性质的碎岩方法。即利用某种碎岩工具，向岩石施加一定的外力，使与之接触的局部岩石被破碎而实现钻进。在机械破碎岩石的方法中，根据给钻头施加外力的性质和方式不同，钻进方法可分为回转钻进、冲击钻进、冲击回转钻进和振动钻进。

（1）回转钻进是利用钻头在轴向压力和回转力矩作用下，破碎孔底岩石，使钻孔延深，被破碎的岩粉由冲洗介质携带出孔外。回转钻进根据破碎岩石的孔底形状不同，分为全面钻进（无岩心钻进）与环状孔底钻进（岩心钻进）。因使用的钻头（或磨料）不同而分为：硬质合金钻进，刮刀钻进，金刚石钻进，牙轮钻头钻进，滚刀钻头钻进以及钢粒钻进等。本课将主要讲授地质勘查应用最多的岩心（回转）钻探方法。

（2）冲击钻进是利用一定重量的凿刃形冲击钻头从一定高度下落，使孔底岩石受到冲击力作用而破碎。为全面破碎孔底岩石并使钻孔保持规整的圆形，钻头每冲击一次后，在钢绳带动下转动一定的角度。被破碎的岩粉渣与水混合成岩粉浆，当其达到一定浓度时，提出钻头，下入捞砂抽筒将其捞出，再下入钻头继续冲击钻进。还有使用带弧形凿刃的活瓣形抓斗，冲击钻入地层后收拢活瓣，将被破碎的岩土渣抓取到地面上来，反复将抓斗下入孔内冲击抓取即可钻进。冲击钻进虽是最古老的钻法，但在第四纪漂卵砾石地层与风化基岩钻进大口径钻孔却有独特的优点，特别是配合使用反循环排渣法更扩大了应用范围。

（3）冲击回转钻进是钻头在孔底回转破碎岩石的同时，利用水力或压缩空气推动冲击装置给钻头施加冲击载荷。它兼有回转和冲击钻进两种碎岩作用，其钻进效率显著高于回转钻进。

（4）振动钻进是用振动装置带动钻具高频振动，使周围地层随着振动而降低了抗剪强度，使圆柱形或管筒形钻具在一定轴向压力下挤入或切入岩土层而实现钻进。适用于砂土类软的、松散地层的工程地质勘察与沉管桩工程施工，钻进效率很高。

为使钻进能继续进行，使钻孔不断地加深，除破碎孔底岩石之外，还需要具备两项必要条件。

其一是排除岩粉：被破碎的岩粉如存留原处，将严重阻碍向下继续破碎岩石；如排除不及时，也会影响钻进效率，严重时不仅使钻进滞慢，还可能造成孔内事故。

其二是保护孔壁：钻孔延伸后，上部孔段就成为钻具与排粉的通道，所以保持孔壁稳定不坍塌，也是继续钻进的必要条件。

破碎岩石、排除岩粉、保护孔壁是任何钻进方法都需具备的必要条件，称为钻进三要素。

1.4 钻探工程在矿山的应用

矿山生产勘探的主要任务，是在原有地质勘探工作的基础上，进一步提高对矿床的勘探程度。尤其在近期拟开采的矿床局部地段要准确地确定矿体的边界与空间位置；重新计算核实矿石品位与矿产储量；为编制矿山采掘技术计划、采矿块段单体设计、矿山生产所

需开拓、采准、备采三级矿量的平衡和管理，提供可靠的地质依据。因此，矿山生产勘探的地质工作要更为细致准确。生产勘探工程多以坑探为主、钻探为辅。坑探所获得的地质资料准确性较高，但专门掘进探矿坑道，会使矿山掘进工程量增加、万吨矿石采掘比增高、成本贵、劳动组合复杂、生产勘探速度慢，因而阻碍了矿山生产率的提高。广大矿山地质工作者，根据我国金属矿山和矿床地质特征，加强对成矿规律的研究，总结生产勘探经验，在生产勘探工程上，采用坑道钻探为主或坑探与钻探结合，取得了较好的地质与经济效果。钻探在矿山的应用也有新的扩展，能够取得较好的效果：

（1）钻探比坑探施工具有灵活、方便的特点，可随时布置或加密钻孔，获得更多的地质资料，提高储量级别，求得可靠的开采范围。此外，还能摸清老窿，查明矿区水文地质情况；

（2）在矿体形状复杂，厚度、品位变化较大地段，可做超前指示性钻探，以便指导探采掘进工程施工，减少盲目性；

（3）对矿体的边部或深部追索布置钻孔，寻找新矿体或与主矿体平行的盲矿体以及控制与成矿有关的构造，扩大矿产资源、增加矿量、发展生产、延长矿山生产的服务年限；

（4）在矿山通风、排水、疏干、爆破、管缆铺设、井巷贯通、灌浆、长锚索加固以及水文、工程地质勘察等，都普遍采用了钻探；

（5）以钻代坑，可减少部分坑道掘进任务，节约坑道工程量、减少采掘比，降低矿石的开采成本，提高矿山的经济效益。

所以，坑道钻探越来越受到矿山的重视，发展也较快，应用也日益广泛。

1.5 “矿山钻探工程”课程的内容与任务

“矿山钻探工程”是矿山地质专业的必修专业课。该课程主要包括岩心钻探设备与工艺两大部分，工艺部分包括岩心钻进方法、钻孔冲洗与护壁堵漏和岩心钻探质量。设备与工艺的关系是相辅相成的，即钻进工艺的发展与需求，促进了设备的发展；而设备的改良与进步，又使工艺水平得以提高。

学生学习本课的目的，是全面了解坑道岩心钻探的基本知识。要求学生了解岩心钻探设备的技术性能，以便根据钻探施工任务，选择适当的设备、管材与工器具；了解岩心钻进方法、冲孔护壁堵漏与钻探质量等技术工艺过程，以便拟定钻孔施工的地质技术指示书，安排钻探工程生产计划，以便作为矿山地质工作者指导和组织管理钻探施工，为加速矿山生产地质勘探，提高矿山生产率，做出应有的贡献。

“矿山钻探工程”课程不同于基础课与地质类课程，是一门实践性较强的应用技术课程。它要综合运用多种学科的知识，如地质学、岩石学、机械工程学科及有机高分子化学等，而有些课程学生并未系统学过（如机械制图），因而教学中应对有关知识内容作必要的讲解，本教材中也有扼要的介绍。

学生学习时要重视实践性教学环节，充分利用实验室与试验课，加强理论与实际相结合。

1.6 岩心钻探的基本概念

岩心钻探是由动力机（电动机或柴油机）驱动钻机，带动钻杆、岩心管与环状钻头，向

地层回转钻进、破碎环状孔底岩石，并将中间的圆柱状岩石（岩心）从钻孔内提取出来的技术工艺过程。岩心钻进示意如图 1-1。

环状钻头钻出的中间岩石柱称为岩心，如为矿石柱即称矿心。钻孔的开口部分称为孔口，底端称孔底。钻孔周围岩石壁称为孔壁。钻孔圆心的连线称为钻孔中心线。它可能是直线，亦可能是立体的曲线。垂直于钻孔中心线的孔壁内径为钻孔直径，常以钻头的标称直径称呼钻孔直径（图 1-2）。

如图 1-3，$\overline{OK}$为通过钻孔中心线上任意一点 O、并与钻孔中心线相切的直线。则$\overline{OK}$与水平面 V 的夹角称为该点的钻孔角度或倾角（γ）；它的余角称顶角（θ），即顶角是$\overline{OK}$线与铅垂线 OZ 之夹角；由磁北方向 OS 顺时针至 OK 线在水平面上的投影线 OA 所夹角为方位角（α）。

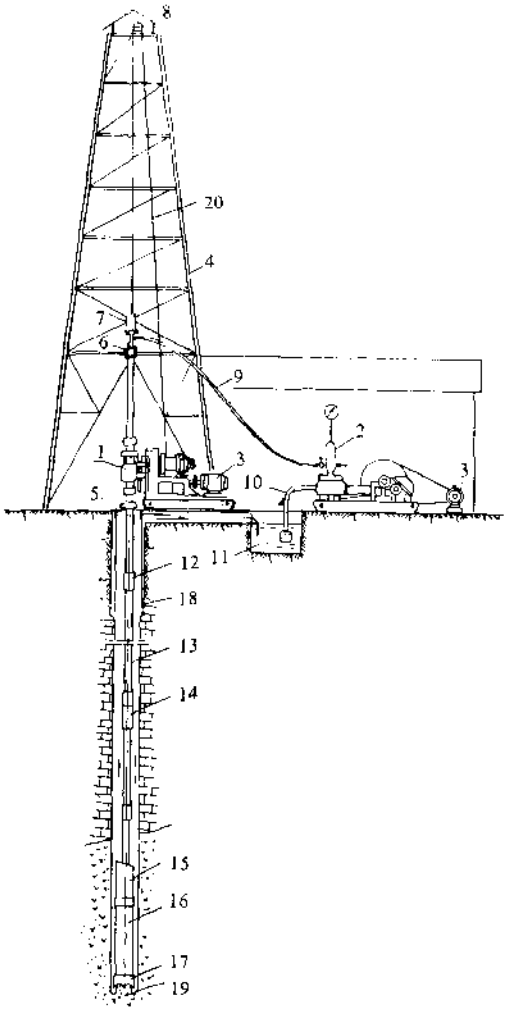


图 1-1　岩心钻进示意图

1—钻机；2—水泵；3—动力机；4—钻塔；5—拧管机；6—水接头；7—提引器；8—天车；9—送水管；10—吸水管；11—水源箱；12—接箍；13—钻杆；14—锁接头；15—取粉管；16—岩心管；17—钻头；18—孔口管；19—岩心；20—提引钢绳

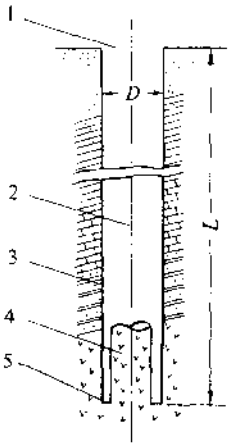


图 1-2　钻孔各部名称

1—孔口；2—钻孔中心线；3—孔壁；4—岩心；5—孔底；D—孔径；L—孔深

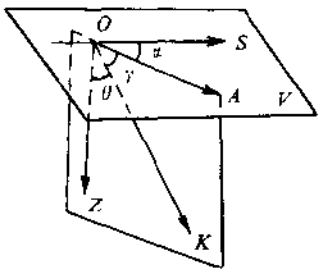


图 1-3　钻孔角度

岩心钻探的孔深一般在1500m以内，大多不足800m，矿山坑道钻孔深100m以内占多数。岩心钻探通常以300m以内为浅孔，800m以内为中深孔，800m以上为深孔，2000m以上为超深孔。

岩心钻探的孔径（钻头标称径）范围为28～150mm；钻孔倾角多数在75°～90°；矿山坑道内可钻进任意倾角的钻孔，如垂直孔、斜孔、水平孔以及仰孔等。

钻进过程中，环状钻头钻出的岩心进入岩心管，通过采心与提升钻具（或其他取心方式）将岩心从孔底提至孔口外，并更换已磨损之钻头。每次下钻具钻进到提升岩心或钻具为一个钻程，称为一个回次钻进。一个回次的钻进深度称为回次进尺（长度）。

每个回次钻进所采取岩（矿）心实长与对应孔段实际进尺长度的百分比，称为岩（矿）心采取率。由于可能有残留岩心，对应孔段不一定就是该回次进尺，有时向上错开。

钻进时破碎下来的岩粉，由（往复）水泵通过送水管、钻具内孔送到孔底的冲洗液，经钻具与孔壁间环状间隙冲洗到孔口，流入水源箱沉淀后再淘除掉（参看图1-1）。冲洗液流经孔底时还对钻头进行冷却与润滑。这种冲洗液循环方式称为正循环洗孔，若冲洗液由钻具外环状间隙向下流，经钻头由钻具内携带岩粉上返孔外，则称为反循环洗孔。

升降钻具是由钻机上的升降机通过钻塔顶上的天车滑轮进行的。

钻孔直径有开孔直径和终孔直径。终孔直径是根据不同矿床类型的地质取样要求和不同钻进方法所能获得的最小岩心直径，由地质技术负责人决定的。由于钻孔直径大小直接影响钻进效率、钻探设备类型的选择以及功率与材料消耗等技术经济指标，所以在满足地质要求的前提下，应尽可能选用较小的终孔直径。钻进方法不同，常用的终孔直径也不同。例如，硬质合金钻头的外径系列为150、130、110、91、75、59与46mm，常用的终孔直径是59、75mm；金刚石钻头的外径系列为91、75、59、46、36与28mm，常用的终孔直径是36、46与59mm（取决于矿种与矿床类型）。

开孔直径是根据所钻地层孔壁的稳定程度、孔深、钻进技术水平、保护孔壁的技术措施等，考虑孔径必须变换的次数，由终孔直径向上推导而定的。若地层条件不好，孔壁不稳定，应尽量使用护壁功能好的冲洗液，减少下套管的层数，增大每层套管护壁的孔段深度。若地层条件好，应尽量不下套管、少换径。地表钻探一般有覆盖层，为定向和加固孔口必须下一层孔口管，并尽量下到基岩（硬盘），若覆盖层较厚、孔壁又不稳定或漏水严重时亦可再下一层套管。

钻孔结构是钻孔技术要素（参数）的构成。它包括由开孔到终孔各段钻孔直径与拟下套管直径及其深度的构成状况。钻孔结构通常用钻孔的技术剖面表示，如图1-4所示。在地层好的浅孔坑道钻探常是最简单的一径到底的钻孔结构（图1-4*a*），在深孔、地层条件差或地表钻探，一般是采用二径或三径的钻孔结构（图1-4*b*、*c*）。

根据钻孔角度不同，钻孔可分为（垂）直孔、斜孔、水平孔与定向孔。斜孔用于倾斜角较大矿体的钻进或对矿体倾斜状况不明时，为有把握穿过矿体而采用斜孔钻进。

定向孔是利用钻孔弯曲规律或人工造斜定向钻进的钻孔。钻孔在施工中，由于地质条件与钻进工艺等因素的影响，使实际的倾角与方位角偏离了原设计的角度，称为钻孔弯曲或孔斜。测量钻孔倾斜角度称为测斜。

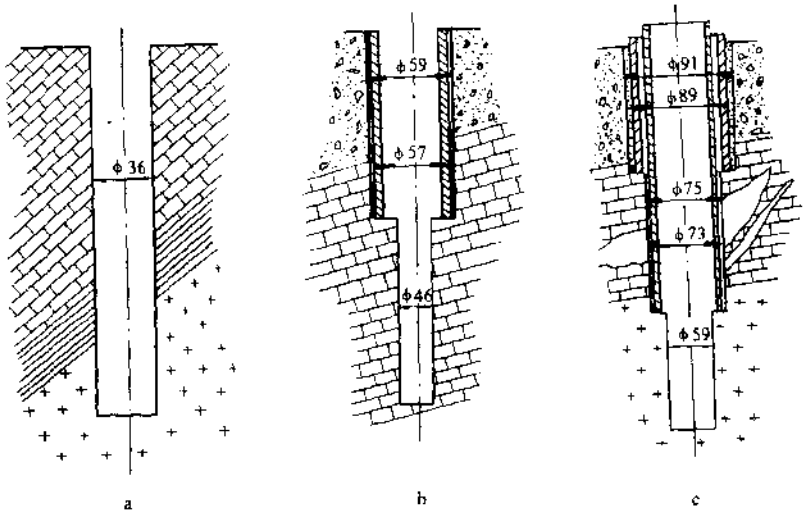


图 1-4　常用钻孔结构示意图

a——一径到底的钻孔结构；*b*—二径钻孔结构；*c*—三径钻孔结构

复习思考题

1. 什么是钻探工程？它在国民经济建设中有哪些应用？
2. 钻进方法的分类有哪些？钻进三要素是什么？简述其所以成为要素的原因。
3. 钻探工程在矿山有哪些具体的应用？

2 岩心钻探设备

2.1 概 论

钻探设备是为钻孔施工直接使用的机械与装置。了解钻探设备（主要是钻机）的发展状况与分类、基本结构与功用、特点与适用范围等，对识别、评价和选择使用它们是很重要的。

解放前，中国没有自己制造的钻机。中华人民共和国成立后，随着国民经济的发展，钻探技术也有了很大发展。就岩心钻机而言，40年来大致经历了三个阶段。第一阶段：50年代初，引进、仿制前苏联的手把式钻机，后期引进3ГФ型油压钻机（包括水泵、附属工具）；第二阶段：60年代，自行设计制造XU型油压立轴式和转盘式钻机、三缸单作用柱塞泵、钢管四脚钻塔等；第三阶段：70年代以后，设计制造高速金刚石钻机，新型全液压动力头式钻机、水文水井钻机及工程勘察与工程施工钻机，并逐步形成具有我国特色的系列化产品，能满足国内现阶段各种钻探施工的需要。

2.1.1 钻探设备的组成

钻探设备包括：钻机、泵、动力机、钻塔、辅助机械（拧管机、泥浆搅拌机与净化装置）及其它设施等。钻机是钻探设备的主机，其余设备均需与之配套成机组（台套）。广义的钻探设备还包括钻孔专用工具与管材（钻头、钻杆、套管及拧卸、升降用具）。

各设备组成的基本功用如下：

（1）钻机：进行钻孔施工的主要设备。主要功能有两方面：带动钻具回转（或冲击）与给进以便向地层内钻进；悬吊钻具向钻孔内下降或从孔内提升出钻具。

（2）泵（亦称泥浆泵）：向钻孔内输送冲洗液并使之循环，用以冲洗钻孔、排除孔底岩粉、冷却钻头与润滑钻具。在使用液动冲击器时，泵是液压能源。使用空气洗孔排粉钻进时需配空气泵（压缩机）。

（3）钻塔：包括钻架、桅杆等，将起重滑车组架设在钻塔高处，以便从钻孔内升降钻具。塔下安装钻机等设备。

（4）动力机：驱动钻机、泵等机械的原动机（组）。

（5）辅助机械：包括制备泥浆的搅拌机、净化泥浆的振动筛、旋流器、潜水砂泵、拧卸钻具的拧管机、绳索取心绞车等。

（6）钻具：包括钻头、钻杆、岩心管、各种取心专用钻具、孔底动力钻具（液动或气动冲击器、螺杆钻、潜水电钻、涡轮钻）。

（7）仪表：反映钻进与孔内情况的各种技术参数的监控仪表。

2.1.2 钻探设备（钻机）分类

钻探工程有不同的目的与施工对象，即有不同的用途，因而构成了钻探设备的不同特点。钻探设备主要按用途和钻进方法来分类，辅以装载型式、可能钻孔方向及所具有之钻进功能的分类。由于钻机是其主机，钻探设备的分类也就代表了钻机的分类。

2.1.2.1 按用途分类

(1) 岩心钻探设备：用于地下固体矿产的勘探，常需提取岩心作为原始地质资料的实物样品，是应用较多的一类。

(2) 石油钻井设备：用于勘探与开采陆地与海底石油、天然气。由于钻孔不仅用于勘探目的，还是开采石油天然气的主通道，故称钻井。因钻井直径大、深度大，需用功率大，故设备庞大。

(3) 水文地质与水井钻探设备：用于地下水资源的勘探与开采。

(4) 工程地质勘察钻探设备：用于工业与民用建筑、道路、桥梁、水坝、矿山、重型设备的地基与基础的勘察，取样和测试。

(5) 坑道钻探设备：专门用于矿山坑道或地下隧洞中的生产勘探、爆破、灌浆目的的钻孔施工。

(6) 工程施工钻孔设备：用于各种工业与民用建筑的基础工程施工和地基灌浆加固处理；矿山露天开采爆破孔；矿山通风、排水、送料、溜矿石等技术钻孔及各种工程与国防用大口径钻孔的钻进；如矿山竖井、地下核试验井、导弹发射井、地下的储油库、核废料场等。

此外，还有上述分类派生的钻探设备，如用于砂矿勘探的砂矿钻机；用于普查找矿与工程地质勘察的取样钻机、浅孔钻机；用于地震勘探爆破孔钻进的物探钻机；用于勘探与开发地下热水与热能的地热钻探设备等。

2.1.2.2 按钻进方法分类

目前钻进方法都属于机械外力破碎岩石的方法。钻机按所用钻进方法不同的分类如下：

- 钻机
  - 冲击式钻机
    - 钢绳冲击式钻机
    - 钻杆冲击式钻机
  - 回转式钻机
    - 立轴式
      - 上把（轮）给进式
      - 螺旋差动给进式（只用于浅孔加压）
      - 液压给进式
      - 自重（钻具）给进式
    - 转盘式
      - 钢绳（链条）给进式
      - 液压给进式
    - 动力头式
      - 长油缸给进式
      - 油缸链条（倍速）给进式
      - 液马达链条给进式
    - 孔底动力式
      - 潜孔电钻
        - 有钻杆
        - 无钻杆（RRC）
      - 螺杆钻
      - 蜗轮钻
  - 振动式钻机——由振动器给钻具施加振动力而钻进成孔
  - 复合式钻机——由冲击、回转、振动、静压等功能，以不同方式复合的钻机

上述分类中，回转式钻机的第一级分类是按回转钻具部分（回转器）的结构特点分的，

第二级是按给进方式分类的。

孔底动力式的钻头由孔底动力驱动如RRC钻法，地面孔口可用普通起重吊车；螺杆钻与蜗轮钻的地面设备与其它钻机基本相同。

2.1.2.3 其它分类

按运载型式分类为

(1) 自行式：将全部或主要钻探设备固定安装在汽车或履带车上，能在工地与公路上自行运移。

(2) 拖车式：全部或主要设备固定安装在拖车上，工作时由液压或螺旋支腿支撑车体(车轮悬空或卸下)，运移时由其他机动车拖带（工地可用拖拉机，公路可用卡车)。

(3) 液压步履式：全部或主要设备固定安装在底座上，在工地用液压步履装置前后、左右或转动的整体移位来对正孔位，远距离运输用卡车装载。

(4) 散装式：钻探设备单机整体或拆卸成几个大部件，依道路与地形情况用相应的车辆运载或人力搬运。

按可钻钻孔方向分类

(1) 直孔钻机：只能铅垂向下钻进，深孔或大口径重型设备大多属此类。

(2) 斜孔钻机：一般地表钻机指回转器（立轴）可钻60°～90°斜孔（含直孔)；坑道钻机可做0～360°转动，若钻进水平孔或向上仰孔均需另配备专门拉送与卡夹钻具的装置以及相应的工器具。

(3) 水平孔钻机：专门钻进水平或微倾斜钻孔的设备。

钻探设备按钻进功能的多少分为单一功能和多功能的设备，一般以一种回转钻进为主，配以冲击、振动等钻进。如有的国外钻探设备除岩心回转钻进外，能换用螺旋钻进、冲击钻进、潜孔锤钻进以及反循环连续取心钻进等。

2.1.3 回转式钻机的基本组成

现用回转式钻机的基本组成有回转系统、给进系统、升降系统、传动系统和机架。

2.1.3.1 回转系统

回转系统的功能是带动钻具回转，具体部件是回转器，其结构型式有立轴式、转盘式、动力头式与孔底动力式。

立轴式的立轴是中空的，能穿过钻杆，由立轴端的卡盘夹紧钻杆回转，并结合给进系统带动钻具轴向运动（给进)，但行程较短。

转盘式的转盘只能直接带动钻杆回转而无给进功能。

动力头式的动力头，亦称移动式回转器，有机械传动与液压马达驱动两大类。动力头下连接钻杆并带动其回转，由给进系统带动回转器上下移动，并连同钻杆实施长行程给进，行程长为一根钻杆。

岩心钻机多为立轴式；石油钻机与水文水井钻机多用转盘式；工程地质勘察与坑道钻机等较小口径的浅孔钻机常用动力头式。

2.1.3.2 给进系统

给进系统的功用是调节钻头破碎岩石所需要的轴心压力，以便进行加压或减压钻进，并控制给进速度；此外还能起倒杆、提动与悬挂钻具、强力起拔钻具等作用。

旧的手把式钻机就是用人力通过手把（轮）与齿筒进行给进，如图2-1所示。

螺旋差动给进式钻机是利用螺旋立轴与螺旋套的转速差、使立轴得到向下作用的轴向力，给进力的大小由手轮加给摩擦器上的压力来调节。这种给进方式只适用于需加压钻进的浅孔钻机，如图 2-2 所示。

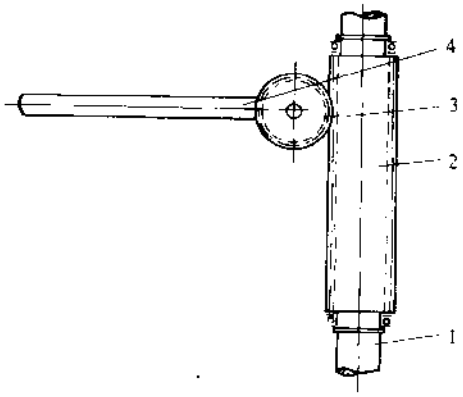


图 2-1　手把给进原理

1—立轴；2—齿筒；3—给进齿轮；4 -手把

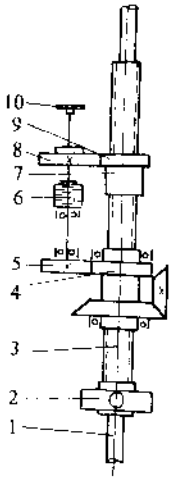


图 2-2　螺旋差动给进原理

1—钻杆；2—卡盘；3　螺旋立轴；4、5、8、9—增速齿轮；6 -摩擦器；7—螺旋套；10—手轮

液（油）压给进式钻机是利用液压推动活塞，经拉杆、横梁带动回转器（立轴）、卡盘与钻杆给进的，如图 2-3 所示。

绳索式给进系统是利用卷筒缠绕绳索带动钻杆上端加压给进，这种方式给进行程长，常同转盘式回转器配合使用，如图 2-4 所示。

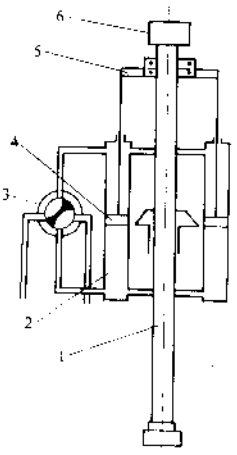


图 2-3　液压给进原理

1—立轴；2—油缸；3—换向阀；4—活塞；5—横梁；6 -卡盘

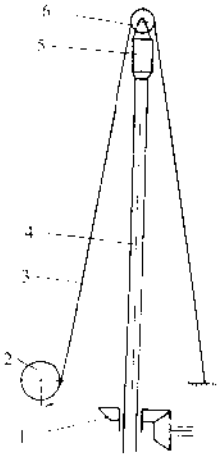


图 2-4　绳索加压给进原理

1- 转盘；2—卷筒；3—钢绳；4- 方钻杆；5—水接头；6—滑轮

钻具自重给进是当钻孔加深、钻具自重超过钻压时，用升降机钢绳悬吊钻具减压，以制动器调节给进力与给进速度，水井钻机、石油钻机大多用此种给进方法。前述绳索加压给进式钻机在孔深时也用此法。

2.1.3.3 升降系统

升降系统的功用是向钻孔内下降钻具或从钻孔内提升出钻具，多采用升降机（绞车）缠绕钢绳，经钻塔上的滑车（天车）、游动滑车与提引钩悬挂钻具而上下。有的动力头式钻机是将长行程液压给进系统兼做升降系统，省掉钻塔与升降机，可大大减轻设备重量，实现装备轻便化，但因升降钻具的工效较低，故此法只适用于浅孔钻机或坑道钻机。

2.1.3.4 传动系统

传动系统的功用是将动力以需要的转速分别传给各执行机构（回转器、升降机及液压泵）。一般采用机械式传动，即齿轮变速机构与摩擦离合器（钻机的开关装置）等。

2.1.3.5 机架（座）

机架是将各系统部件按适宜工作的空间相互位置组装成钻机。

以上各系统均有相应的操纵、调控及仪表装置。如液压钻机的液压系统，除完成给进功能（包括松紧卡盘）外，还能为升降钻具完成移动钻机与拧卸钻杆等工作，因而装有各种控制阀和操纵开关。

2.1.4 钻探设备的标准系列与型号

随着科学技术的发展以及产品品种与产量的增加，设备制造部门要求简化生产工艺和组织管理工作，使用部门希望产品使用简便可靠。设计部门也要求简化设计。因此，产品的标准化、系列化和通用化就成为指导生产和开发产品的依据。钻探设备的标准系列，目前尚无国家标准，只有一些部标准。

2.1.4.1 地质矿产部钻探设备的标准系列

地矿部标准DZ3－79规定，钻探机械一律定名为“钻机”，附加名称只用于基本分类，如水文钻机、坑道钻机等。岩心钻机省略“岩心”的附加名称。钻机型号类别标志见表2-1。型号字母均用汉语拼音字母。

表2-1 钻机型号类别标准 （地矿部标准DZ19－82）

钻机类别	类别代号	第一特征代号（传动结构）	第二特征代号（装载及其它）
岩心钻机	X （岩心）		
砂矿钻机	SZ （砂钻）		
水文钻机	S （水文）	Y （液压操纵机械传动）	C （车载）
工程钻机	G （工程）	D （全液压动力头）	S （散装）
坑道钻机	K （坑道）	P （转盘）	
浅孔钻机	Q （浅钻）		
地热钻机	R （地热）		

该部生产的立轴式岩心钻机均属液压给进的XY系列。坑道钻机为DK系列。钻机型号举例如下：

XY—4 型钻机
　　└── 系列序号，按系列表规定钻深为 1000m
　　└── 液压给进、机械传动
　　└── 岩心钻机

DK—75 型钻机
　　└── 钻探深度为 75m
　　└── 坑道钻机
　　└── 动力头式

泥浆泵系列，按 DZ3—79 规定，型号举例如下：

BW—1 型泥浆泵
　　└── 系列序号，按系列表规定最大排量 100L/min、最大工作压力 5MPa
　　└── 往复式
　　└── 泥浆泵

钻塔以名义高度为主要参数规划产品，其型号意义举例如下：

SGX—13 型钻塔
　　└── 钻塔名义高度为 13m，适用孔深 300m
　　└── 斜塔（直塔无此符号）
　　└── 管子（塔脚为钢管制）
　　└── 四脚钻塔

2.1.4.2 其他部门钻机的标准系列

冶金系统地勘部门立轴钻机型号为 YL（冶立），例如 YL—3 型为钻深 300m、YL—6 型为钻深 600m 的立轴式钻机。

中国有色金属工业总公司立轴式钻机型号为 CS（穿山），例如 CS—3 型为钻深 600m、CS—4 型为钻深 1000m 的钻机。金刚石液压钻机型号为钻石，例如钻石—100A—D 型为钻深 100m、A 为经过一次改进的产品、D 为电动机驱动。

煤炭工业部立轴钻机型号为 TK（探矿），例如 TK—3 型为钻深 1000m、TK—4 型为钻深 600m 立轴钻机。坑道钻机为 MK 系列。

原核工业部液压立轴式岩心钻机型号为 HXY，例如 HXY—100 为钻深 100m 的钻机。

2.2 岩心钻机

岩心钻机主要用于固体矿产勘探、也用于工程地质勘察、水文地质勘探和小直径水井的钻孔，以及地基加固灌浆等工程施工。岩心钻探提取出孔内岩（矿）心、岩粉、或向孔内投放测试仪器，以供地质工作者了解不同深度地层的地质情况，为矿床勘探、工程施工等提供地质资料。矿山钻探多采用坑道岩心钻机，有时也采用地面岩心钻机打较深钻孔。

2.2.1 坑道岩心钻机类型

坑道岩心钻机是专门用于矿山坑道内的钻机，也称为地下钻机。由于在坑道内施工的特定条件要求：钻机要轻便、可拆卸好、迁移安装方便；最好不开凿或开凿规格较小的钻窝（硐室）；可钻进 0°～360°任意角度的钻孔；钻进水平或仰孔要拉送钻具，不能使用升降

机与钻塔升降钻具，需另配推送钻具的装置；拧卸钻具频繁，操作空间狭小，要求升降钻具实现机械化联动等。基于这些要求，采用液压传动与操纵、无塔拉送钻具的移动回转器钻机较立轴钻机更适合于坑道钻探，并能地面、坑道两用，是目前坑道岩心钻机的主要类型。

我国生产的坑道岩心钻机，早期只有立轴式的，如 KD—100 型钻机，除用双立柱将钻机支撑在坑道内以及采用压气给进外，其它部分与地面钻机完全相同。它的优点是结构简单、工作可靠。目前生产和研制的坑道钻机有钻石系列、DK 系列和 MK 系列。

钻石系列钻机是中国有色金属工业总公司研制的坑道岩心钻机，目前广泛使用的有两个型号：钻石—100A—F 型和钻石—100A—D 型，它采用机械回转、液压给进拉送钻具；钻石—200 型和钻石—300 型钻机是采用变量泵—变量马达容积调速系统的全液压钻机。钻石系列钻机的高速性能较好，主要用于金属矿山的坑道金刚石岩心钻探。

DK 系列是地矿部门正在研制的一种坑道钻机。采用电动机驱动，经变速箱通过长轴带动移动式回转器回转，用液压给进与拉送钻具。它是通用型的坑道岩心钻机，既能用小孔径金刚石钻进，也可钻进较大直径的工程钻孔。型号有 DK—75、DK -100、DK -150 和 DK—300 型钻机。

MK 系列是煤炭部门生产的坑道钻机，采用轴向柱塞变量泵—径向柱塞双速液马达容积调速系统，转速较低、转矩较大，适用于煤矿取心与坑道工程钻探。

坑道岩心钻机型号及主要技术性能见表 2-2。

2.2.2 YL—3 型钻机

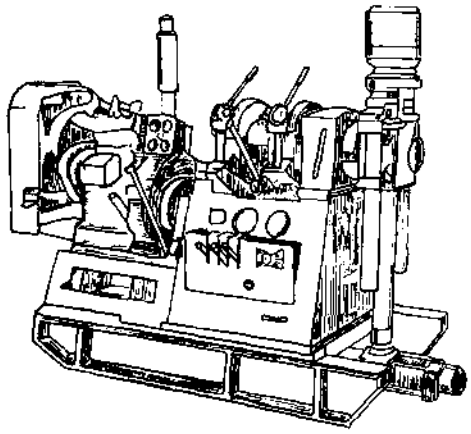


图 2-5 YL—3 型钻机

YL—3 型钻机是立轴式液压岩心钻机，可钻进 0～360°任意角度、孔深 300m（使用直径 ϕ55.5mm 绳索取心钻杆）或 400m（使用直径 ϕ42mm 钻杆），主要用于地面与坑道中固体矿产的地质勘探钻探，也适用于水文、工程地质勘察和灌浆工程，以及矿山边坡工程和坑道通风、排水等工程钻探。它是 80 年代作为冶金，有色地质系统钻机更新换代的主要设备之一。钻机外貌见图 2-5，钻机主要技术性能见 42 页表 2-5。

2.2.2.1 YL—3 型钻机的主要特点

（1）功能多样：适用于地面岩心钻探，又适用于矿山坑道岩心钻探；既适用于金刚石钻进和合金钻进，还适用于牙轮钻、螺旋钻和冲击回转钻。

（2）转速级数多、调速范围大：最高转速达 1205r/min，适宜金刚石的浅孔钻进；最低转速 46r/min（使用大回转器为 40r/min），可满足螺旋钻进及冲击回转钻进的要求。

（3）具有两种立轴通径：立轴设计有 ϕ76 与 ϕ92mm 两个通径，以适应绳索取心钻进和大孔径工程钻的需要。立轴通径大，可通过相应尺寸的套管，便于跟管钻进，以钻进复杂地层。

（4）采用机械传动，液压操纵方式：液压操纵系统除可控制立轴给进、液压卡盘松紧、

表 2-2　坑道岩心钻机型号及其主要技术性能

型号	钻进深度(m)	钻杆直径(mm)	机型	传动操作方式	安装方式	可钻角度	回转器转速(r/min)	通孔直径(mm)	给进行程(mm)	给进力(kN)	拉送钻具方式	拉送速度(m/s)	钻机动力(kW)	钻机重量(kg)	生产厂
KD—100	100	33(42)	立轴	机械传动压气给进	双立柱	0～360°	100 200 400	35(44)	326	4.3(7.2)	升降机	0.25～1.02	5.5	325	北京探矿机械厂
DK—75	75	43(54)	滑动回转器	机械传动液压给进	双立柱	0～360°	100 220 580 1200		760	1.5	油缸		11	320	长沙探矿机械厂
DK—100	100					0～360°									
DK—150	150	33(42)	滑动回转器	机械传动液压给进	双立柱	0～360°	135～1290 正、反五档	61	530	12	油缸	拉0.2 送0.28	10	400	北京探矿机械厂
DK—300	300					0～360°									
ZSK—50	50	33	立轴	机械传动液压给进	单立柱	0～360°	1460	36	300	7.8	摩擦滚轮	0.16	6.05	150	
钻石—100A—F	100	33(42)	滑动回转器	压气回转液压操作	双立柱	0～360°	正0～1500 (1200) 反125 (100)	48	500	8	油缸	0.3	15	280	赤峰钻机厂
钻石—100A—D	100	33(42)	滑动回转器	机械回转液压操作	双立柱	0～360°	正1500 (1200) 反125 (100)	48	500	8	油缸	0.3	14	470	
钻石—200	200	33(42)	滑动回转器	全液压		0～360°	475～1646	47	850	22	油缸	拉0.392 送0.58	15.8		
钻石—300	300	43	滑动回转器	全液压	锚杆—顶杆	0～360°	285～1500 正、反	61	850	拉26 送30	油缸	拉0.71 送0.53	22	800	有色矿产地质研究院
MK—150	150	42(50)	滑动回转器	全液压	双立柱	0～360°	正2～320 反2～160	55	800	拉24.7 送36	油缸	拉0.53 送0.36	10	850	煤炭钻探研究中心
MK—300	300	42(50)	滑动回转器	全液压	双立柱	0～360°	正2～360 反2～180	55	800	拉24.7 送36	油缸	拉0.93 送0.54	17	900	
TXU—50	50	33.5	立轴	机械传动液压给进	单立柱	0～360°	73、86 123、186 267、311	55	400	10.78	油缸	拉0.13 送0.076	3.3	216	石家庄煤矿机械厂

钻机移位外，还成功地使用了液压绳索取心绞车和液压夹持器。液压绳索取心绞车升降内管的速度可由多路换向阀实现无级控制；钻机操作方便、灵活、省力、使用效果好。

(5) 用双联齿轮油泵供油，提高了立轴倒杆速度，有利于提高钻进效率，并减少油的发热量和功率消耗；同时采用平衡阀减压系统，故给进压力稳定、调节灵活。

(6) 卡盘与夹持器能力大，这两部分具有较大的夹紧力，而且两者动作联合，不但实现了不停车倒杆、拧卸钻杆；还可与给进油缸相配合，在坑道水平孔及仰孔钻进时，方便地升降钻具。

(7) 立轴有良好的开移性能，钻机除有液压整体移离孔口装置外，还有立轴开合装置，可便于车装和拆卸维修。

(8) 配有高 9m 的桅杆塔架，塔架安装支撑在钻机上，随着回转器可自由地适应钻孔倾角变化；除可施工垂直孔外，还可钻进与水平面成 30°的急倾斜钻孔，适合矿山边坡工程的需要。

(9) 机架上装有一组导向滑轮，可以用钻机自身动力自行搬迁移动，便于市政工程施工。

2.2.2.2 钻机主要部件及其工作原理

钻机由机架、动力机、离合器、变速箱、分动箱、回转器、液压卡盘、升降机及其制动装置、液压系统和附件（锚头轮、液压夹持器、绳索取心绞车、下卡盘）等组成（图 2-6）。

(1) 离合器：是钻机机械传动系统的动力开关。在动力机运转时，用以接通或切断动力；在钻机变速或扭断岩心时，可用离合器进行微动操作；在负荷超载时，摩擦片间可打滑，限制扭矩，起到过载保护作用。

钻机采用 NJ 130 汽车离合器，结构型式为单片干式弹簧压紧常闭式（图 2-7）。即压盘通过弹簧将从动盘压紧在飞轮上，从而动力机主动轴与飞轮带动从动盘和从动轴回转。推动离合器操纵手把，拨叉使分离轴承推动分离杠杆，抬起压盘，使从动盘与飞轮分离，切断动力传递。动力机与离合器之间采用弹性联轴节连接。

(2) 变速箱：可变更回转器和升降机的转速及扭矩，并可使回转器改变转向。它采用 NJ 130 汽车变速箱（图 2-8）。

采用同轴输出结构，即输入轴与输出轴在同一轴线上，两轴直接相连为直接档；换档齿轮装在下面第二轴上，由变速杆拨动滑移齿轮与换档齿轮啮合，即可减速输出，可获得四个正转和一个反转的转速。各档齿轮啮合关系及变档位置，由变速标牌表示（图 2-9）。

(3) 分动箱：是将变速箱传来的动力分配给回转器和升降机的装置，并使它们同时或分别回转（图 2-6 所示）。

分动箱与变速箱之间，通过一组齿形联轴节传递动力，经过桥齿轮与主轴上齿轮啮合，升降机轴插入齿轮轴的花键孔内，使升降机轴常转。当滑移齿轮处于空档时，回转器停止回转。滑移齿轮可左右挂档，回转器得到慢、快两组回转速度。分动箱的操纵手把向右为高档，向左为低档，各获得四个正转和一个反转速度。

分动箱右端固定一个连接盘，用支链与回转器连接，并由三个螺栓固定。连接盘与回转器一起可以在分动箱上作 360°转动，以适应钻进各种角度斜孔的需要。分动箱底部输出轴带动测速发电机，通过转速表显示各档的转速。分动箱侧面还有指示油孔，指示箱内润

滑油面高度。箱体后面的窗口可安装锚头轮，不装时用盖板盖紧、以免漏油。

(4) 回转器（图 2-10）：功用是利用角传动将不同的转速和转向通过立轴、卡盘传递给钻具，并导正钻具方向。

分动箱内的小螺旋锥齿轮与回转器内大螺旋锥齿轮啮合，带动立轴导管旋转。立轴导管的六方内孔套着六方立轴，既可回转又可上下移动。立轴上端与液压卡盘连接，通过卡盘卡瓦夹紧主动钻杆，带动钻具回转。立轴下端有扩套，用以导正主动钻杆，必要时可换装手动顶给卡盘。卡盘用专门六方搬手松紧卡瓦。

回转器两侧各装有一个给进压力油缸，油缸内的活塞拉杆用螺母固定在横梁上，横梁用两盘向心推力轴承安装在立轴台肩上。由油缸压力腔产生的作用力，通过活塞拉杆、横梁传到立轴上而产生轴向力，以完成给进、称重、倒杆、悬吊和强力起拔钻具等操作。回转器左侧还装有一根电镀标尺杆，便于观察进尺。

该钻机还配有另一个大回转器，其结构与上述类似，立轴通径为 ϕ92mm，只要换一个分动箱上的连接盘和一对大小螺旋锥齿轮，即可使大小回转器互换。大回转器上的连接盘

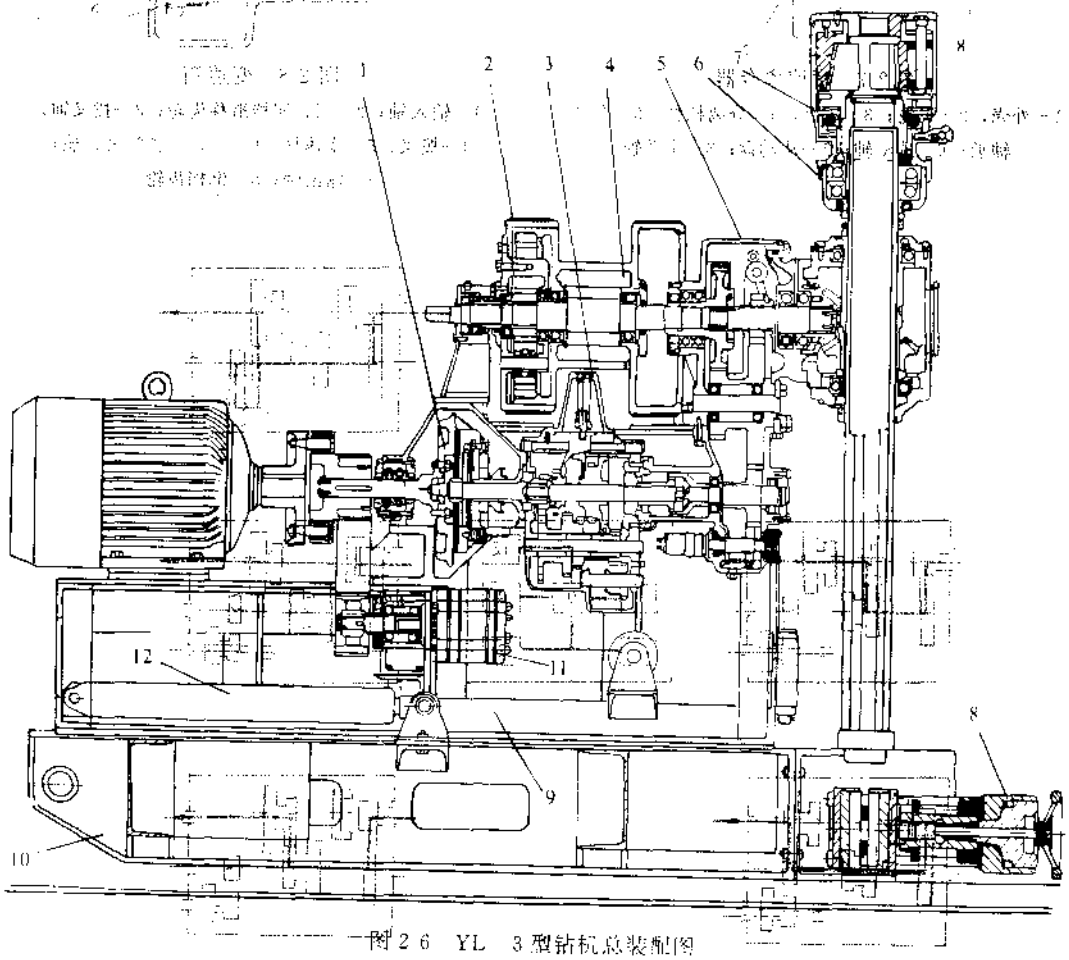


图 2-6 YL-3 型钻机总装配图

1—离合器；2—升降机制动装置；3—变速箱；4—升降机；5—分动箱；6—回转器；7—液压卡盘；8—液压夹持器；9—机架；10—机座；11—油泵；12—修井油缸

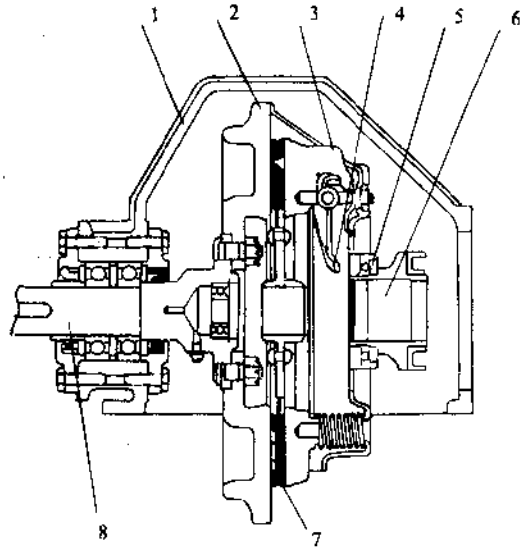


图 2-7　摩擦离合器

1—外壳；2—飞轮；3—压盘；4—分离杠杆；5—分离轴承；6—从动轴；7—从动盘；8—主动轴

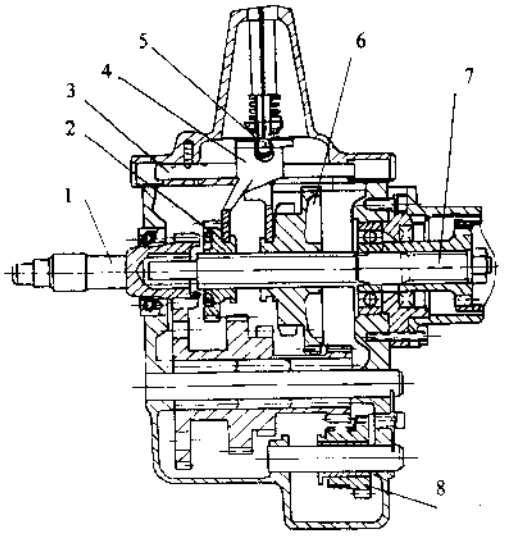


图 2-8　变速箱

1—输入轴；2—三、四档滑移齿轮；3—拨叉轴；4—拨叉；5—变速杆；6—一、二档滑移齿轮；7—输出轴；8—倒档齿轮

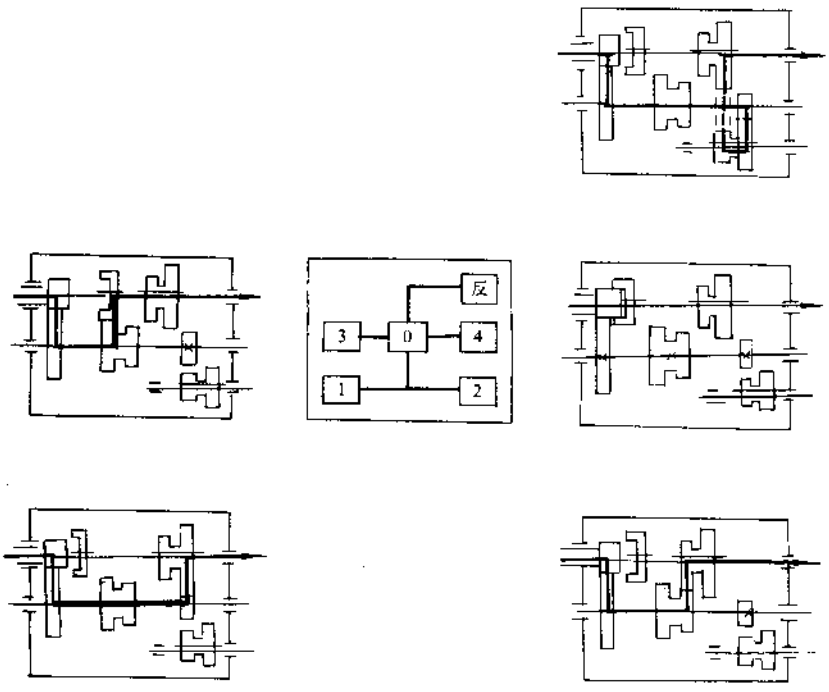


图 2-9　变速位置及各档齿轮啮合关系图

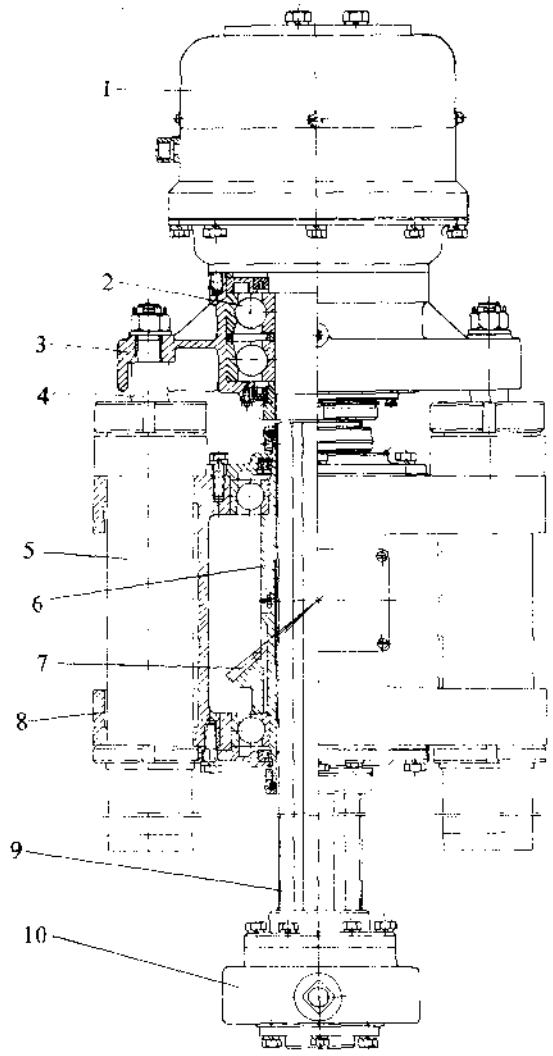


图 2-10　回转器

1—液压卡盘；2—向心推力轴承；3—横梁；4—活塞拉杆；5—油缸；6—立轴导管；
7—大螺旋锥齿轮；8—回转器体；9—立轴；10—下卡盘

带有桅杆钻架支承，因此大回转器还可以使用专门设计的桅杆钻塔，以适应工程钻和矿山边坡工程钻探需要。

（5）液压卡盘：功用是卡紧机上钻杆使其与回转器结合，将回转扭矩及给进机构的作用力传递给钻具。它采用弹簧夹紧、油压松开的常闭结构（图 2-11）。其工作是靠六组复合式两片叠合小直径碟形弹簧，通过拉杆将弹簧力作用于外壳上，外壳上的三个斜面各经一盘滚柱压紧卡瓦，使三块卡瓦产生径向移动并自定心而夹紧钻杆。当压力油进入油缸推动活塞上升时，活塞通过轴承向上顶起外壳，此时拉杆压缩碟形弹簧，而卡瓦靠两侧的小弹簧向外移动松开钻杆。

卡瓦为组合式结构，由卡瓦座与卡瓦组成。根据主动钻杆直径大小可以更换不同规格的卡瓦，其规格有 ϕ42、ϕ50、ϕ55.5、ϕ73 和 ϕ89mm 等几种。

（6）升降机：功用是升降钻具、套管和悬挂钻具、在处理事故时进行强力起拔等。

升降机为传统的行星轮系传动，属于定轴轮系提升型行星式结构（图 2-12）。升降机轴通过中心齿轮，行星齿轮和压入卷筒内的内齿圈三者组成的定轴轮系传递动力。

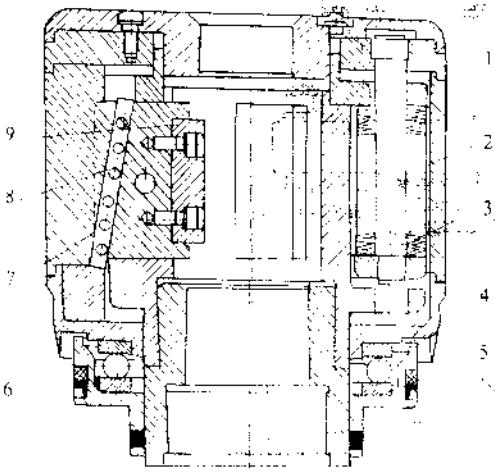


图 2-11 液压卡瓦

1—卡瓦；2—垫环；3—碟形弹簧；4—活塞；5—轴承；6—接手；7—滚柱；8—卡瓦座；9—卡瓦

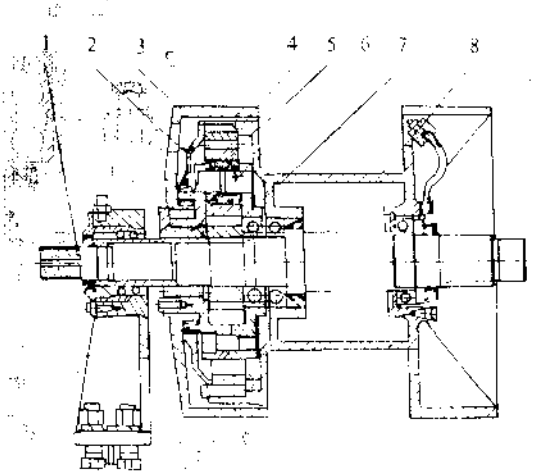


图 2-12 升降机

1—升降机轴；2—支架；3—提升制动；4—内齿圈；5—行星齿轮；6—行星齿轮轴；7—中心齿轮；8—壳体

回转钻进时，升降机处于空转状态，以便孔内出现异常情况及时提升钻具。制动装置应与制圈完全脱离，不得有摩擦现象。

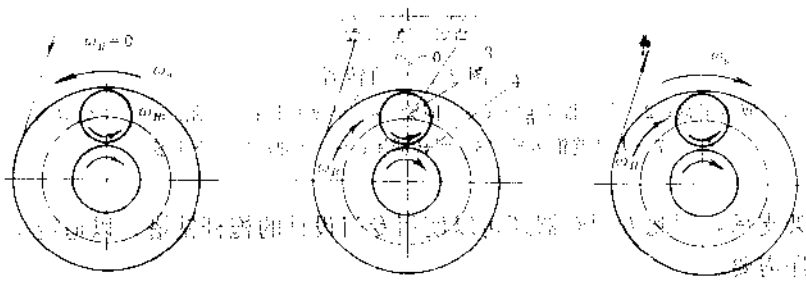


图 2-13 行星式升降机工作原理示意图

1—内齿圈；2—行星齿轮；3—行星齿轮轴；4—中心齿轮；5—卷筒

行星式升降机的工作原理（图 2-13）是动力通过升降机轴间转中心齿轮时，松开卷筒右端的下降制动手把，操纵左端的提升制动手把，使制带抱紧提升制圈，制动支持三个行

星齿轮的支架，行星齿轮轴的位置固定，使与中心齿轮啮合的行星齿轮只能自转，带动与其啮合的卷筒内齿圈回转，卷筒回转，缠绕钢绳，提升钻具。当松开提升制动手把，操纵下降制动手把，控制制带对制圈的抱紧力，使卷筒在钻具自重的作用下反转，从而控制钻具下降速度的快慢，此时行星齿轮处于既公转又自转的运动状态。如提升手把仍松开，操纵下降制动手把使制带完全刹住制圈，即可制动卷筒，锁住钻具不动，此时内齿圈不动，行星齿轮自转并绕中心齿轮公转。

(7) 液压夹持器：放置于孔口，用于夹持不带缺口的绳索取心钻杆。钻具上窗是用碟形弹簧直接夹持钻杆和油压松开的常闭式结构（图 2-14），其额定夹持力为 27kN，可夹持 ϕ55.5mm 长 450m 的绳索取心钻杆，并可夹持 ϕ89mm 以内的套管和钻杆。

液压夹持器的工作原理是碟形弹簧组（共 15 片）一端通过拉杆和顶套推左卡瓦座，另一端顶在油缸上，油缸通过四根连杆拉另一个右卡瓦座，使两个卡瓦座向中央移动夹紧钻杆。压力油进入油缸，使活塞与油缸产生相对移动，通过拉杆压缩碟形弹簧，松开卡瓦座，卡瓦座之间的弹簧使卡瓦松开钻杆。夹持能力的大小可通过手轮进行调节，当通过粗径钻具时，需反时针方向拧松手轮，放松弹簧，增大卡瓦之间的张开口径，以便顺利通过钻具和钻头。卡瓦上方的止动块是为了防止提升钻具时带出卡瓦。卡瓦规格与卡盘卡瓦规格相同。

液压夹持器可与液压卡盘配合、联动：即使用给进压力油缸升降钻具；使用回转器拧卸钻杆。

(8) 液压绳索取心绞车：是为适应绳索取心钻进需要而设置的，它由液压马达驱动，通过一对齿轮减速，使卷筒回转缠绕钢绳提升钻具（图 2-15）。其结构简单、操作方便，安装灵活，可安装在钻机机架上，也可安装在孔口附近的任何位置上。提升能力为 3～4kN，提升速度在 0～90m/min 内无级调节。

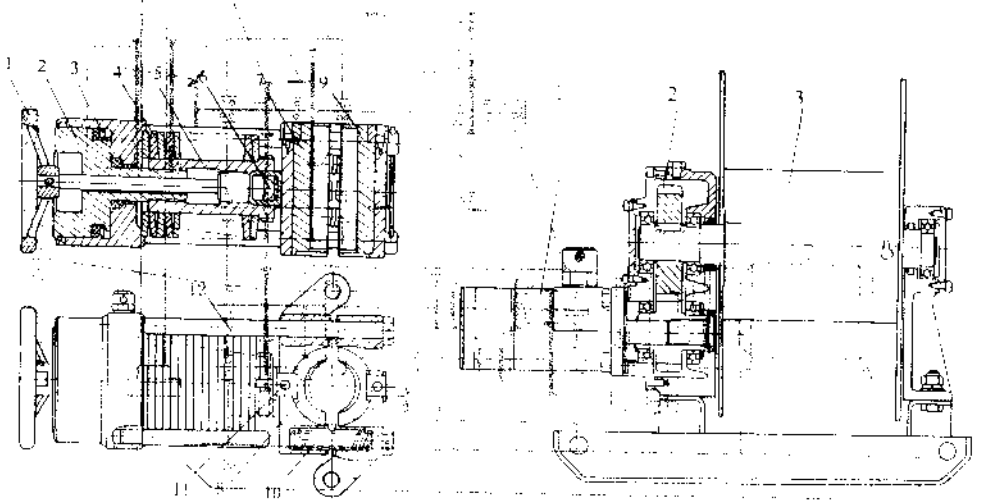


图 2-14 液压夹持器

1—手轮；2—活塞；3—油缸；4—碟形弹簧；5—拉杆；6—顶套；7—左卡瓦座；8—卡瓦；9—右卡瓦座；10—弹簧；11—止动块；12—连杆

图 2-15 液压绳索取心绞车

1—液压马达；2—齿轮；3—卷筒

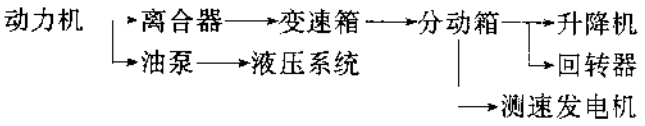
(9) 机座（见图 2-6）：包括机架、底座、移位油缸、操纵板和离合器操纵装置等部件。机架用左右压板压在底座滑轨上，靠移位油缸作前后移动。油缸体与机架连接，活塞杆耳轴固定在底座上，可移动距离为 400mm。机架向前移，可使钻机对准孔口，靠机架前的斜块楔紧。机架前面装有两个导轮，机架下部有一个与升降机卷筒切线方向对应的滑轮。底座前面的滑橇，主要是在搬移钻机时，便于在地面拖动，待钻机安装完毕可拆除。

(10) 锚头轮附于分动箱后侧，用于吊拖钻杆、钻具及打吊锤。如需自行拖动钻机，可在钻机移动前方钉好桩，固定好钢丝绳，绳的另一头穿过钻机前面的导轮，进入机架，经过滑轮缠绕到升降机或锚头卷筒上，操作升降机或锚头轮，钻机即可向前移动。

2.2.2.3 机械传动系统

机械传动系统的任务，是把上述钻机主要部件联系起来，用以传递和切断动力、变速、变矩、换向、分配动力、改变运动形式、实现柔性传动与过载保护，使钻机的升降机和回转器正常回转进行工作。

机械传动系统（图 2-16）主要包括回转器、升降机、油泵和测速发电机等四个传动链。即



油泵传动链在离合器前接受动力，只要动力机运转，钻机的液压系统即具备了工作条件。

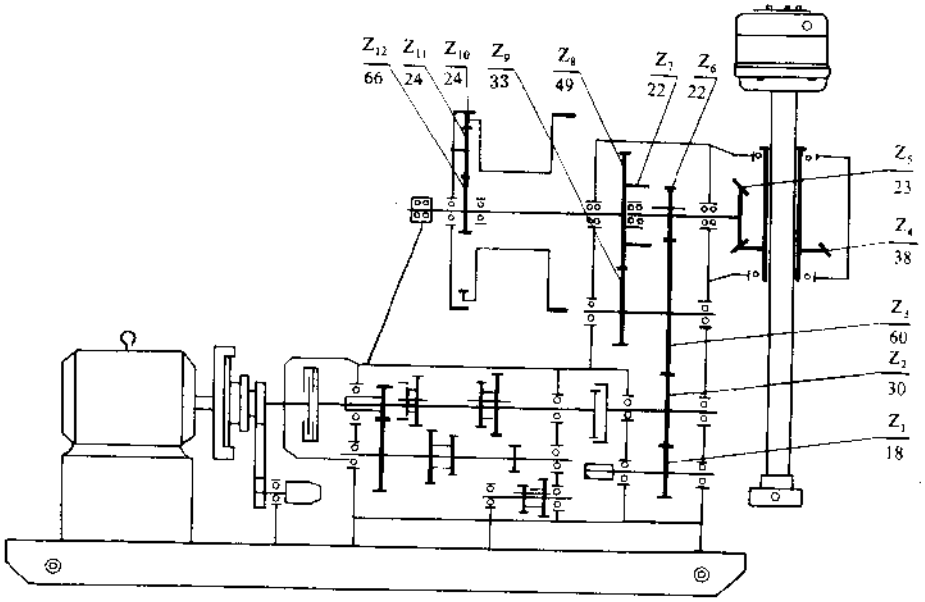


图 2-16 钻机传动系统

变速箱可变正转四速和反转一速，经分动箱回转器有高、低两组转速。当动力机转速 $n=1460r/min$ 时，则各速传动比（i）分别为：$i_1=6.4$；$i_2=3.09$；$i_3=1.69$；$i_4=1$；$i_{反}=$

7.82。机械传动路线及速度计算见表 2-3。

表 2-3　机械传动路线及速度计算

正反转	档数		回转器传动路线	转速 r/min	
				小回转器	大回转器
正转	低速	Ⅰ	$n\times(1/i_1)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_7/z_6)\times(z_5/z_4)$	46.5	40
		Ⅱ	$n\times(1/i_2)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_7/z_6)\times(z_5/z_4)$	96	83
		Ⅲ	$n\times(1/i_3)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_7/z_6)\times(z_5/z_4)$	176	152
		Ⅳ	$n\times(1/i_4)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_7/z_6)\times(z_5/z_4)$	298	258
	高速	Ⅰ	$n\times(1/i_1)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_5/z_4)$	188	163
		Ⅱ	$n\times(1/i_2)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_5/z_4)$	390	337
		Ⅲ	$n\times(1/i_3)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_5/z_4)$	712	616
		Ⅳ	$n\times(1/i_4)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_5/z_4)$	1205	1042
反转	低速		$n\times(1/i_{低})\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_7/z_6)\times(z_5/z_4)$	38	33
	高速		$n\times(1/i_{反})\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_5/z_4)$	154	133
速度档数			升降机传动路线	卷筒转速 r/min	单绳升速 m/s
Ⅰ			$n\times(1/i_1)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_{12}/z_{11})\times(z_{11}/z_{10})$	28	0.38
Ⅱ			$n\times(1/i_2)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_{12}/z_{11})\times(z_{11}/z_{10})$	58	0.80
Ⅲ			$n\times(1/i_3)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_{12}/z_{11})\times(z_{11}/z_{10})$	106	1.45
Ⅳ			$n\times(1/i_4)\times(z_2/z_3)\times(z_9/z_8)\times(z_{12}/z_{11})\times(z_{11}/z_{10})$	179	2.46

2.2.2.4　液压系统的组成及其工作原理

液压系统由双联齿轮泵、多路换向阀、压力调节阀、截止阀、给进油缸、移动油缸、卡盘油缸、夹持器油缸以及高压胶管、系统压力表、孔底压力表和油箱、过滤器等部件组成。

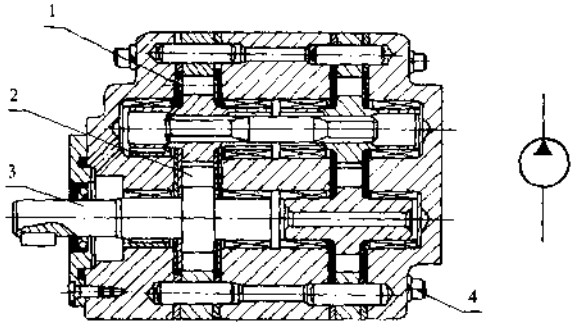


图 2-17　双联齿轮油泵

1--、2—齿轮；3—主动轴；4—螺栓

（1）双联齿轮油泵：为 2CB--F32/10C--FI. 型，由两个单级齿轮泵组成（图 2-17），它是依靠两对齿轮的啮合运动来完成吸油和压油过程的。其作用是将原动机输出的机械能转

换成液压能，向液压系统提供压力油，驱动液动机（油缸）作功[illegible]

油泵技术性能为：额定工作压力9.81MPa；最大工作压力13.73MPa；转速1300r·min。

（2）多路换向阀：为ZLF-[illegible]QW·QW·QW·QW型号，由进油阀、回油阀和四连换向阀组成（图2-18），用双头螺栓连在一起。

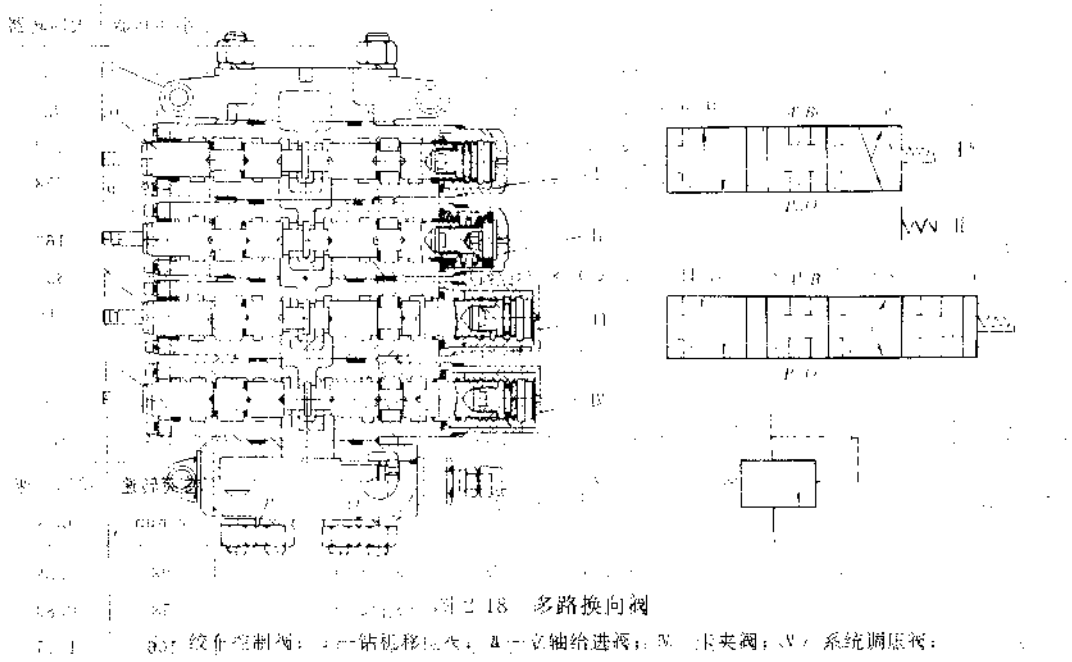


图2-18 多路换向阀

Ⅰ—绞车控制阀；Ⅱ—钻机移位阀；Ⅲ—立轴给进阀；Ⅳ—卡夹阀；Ⅴ—系统调压阀；

6—进油阀；7、8—Q型滑阀；9、10—O型滑阀；11—回油阀

换向阀是由阀体、滑阀和操作定位装置等组成。它的作用是通过滑阀与阀体的相对移位来改变油液流向的接通或关闭。一般将阀与系统中油路连通的油路数叫做“通”，把滑阀的不同工作位置数叫做“位”。阀体上的油孔P为压力油口，O为回油口，A、B……为工作油路口。图中的滑阀一般都处于中间位置，即常态时，油口P、A、B、O全封闭，油路不能流通。

绳索取心绞车控制阀Ⅰ：为弹跳定位三位六通换向阀，滑阀机能为O型。可控制绞车的正反转和停车，从而控制绳索取心打捞装置的升降。该阀的两个工作油口分别与绞车上的油马达油口连接。

钻机移位阀Ⅱ：是弹簧复位三位六通换向阀，滑阀机能为O型。用此阀可控制钻机移开孔口和对中孔口。阀的两个工作油口分别与移动油缸两端油腔连接。

立轴给进换向阀Ⅲ：为弹跳定位四位六通换向阀，滑阀机能为Q型，用以控制钻机立轴上升、下降、停止或称重。两个工作油口分别与给进油缸的上下腔连通。

卡夹阀Ⅳ：是一个弹跳定位四位六通换向阀，滑阀机能为Q型。用以控制液压卡盘和夹持器。两个工作油口分别与液压卡盘油缸和夹持器油缸连接。当使用带切口接头的普通钻杆和拧管机时，则取下夹持器，接夹持器油缸的油管，与液压拧管机的多路阀进油口接通，油泵即可向拧管机供油使其工作。

进油阀6：是将油泵输出的压力油引到进油口P。在其进油口P和回油口O之间装有

系统调压阀（图 2-19）。

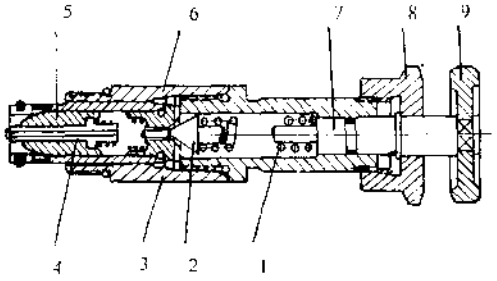


图 2-19　系统调压阀

1—调压弹簧；2—提动阀；3—提高阀座；4—滑阀；5—锥阀；6—阀体；7—调压杆；8—调压手轮；9—快速增压手轮

系统调压阀的作用有三：一是微调系统的液压和工作油量，通过旋转调压手轮，使调压杆进退，改变调压弹簧压缩量和作用力，从而控制系统的液压和工作油量；二是快速增压，即扳动快速增压手把，直接带动调压杆，迅速压缩调压弹簧，封闭溢流孔道，使全部油量进入工作机构，快速增压给工作机构使其运动加快；三是限制系统最高压力，其最大压力限制在 13.73MPa。因此，系统压力调节范围一般为 0～13.73MPa。

回油阀 11：是将系统内回油引到回油口，以便集中向油箱泄油，能可靠地防止阀体之间外泄漏油。

（3）减压调压阀：为 XDIF—$L_{20}H_{10}$型单向平衡阀（图 2-20），串联在多路换向阀的立轴给进阀与给进油缸下腔之间。主要用于减压钻进时调节孔底压力；当扫孔钻进或穿过空洞时，也可用于支承一部分钻具重量，保证进尺的稳定性。

减压调压阀的工作原理是阀的进油口与油缸下腔接通，出油口连通换向阀回油。滑阀在弹簧的作用下将进出油口关闭。当滑阀下端小活塞所受的作用力（即钻具重量对给进油缸下腔形成的压力）大于弹簧的调定压力时，滑阀上升，使进、出油口相通。所以，只要改变弹簧作用力的大小，即可改变油缸下腔平衡钻具重量的作用力，达到调节（减压钻进时）孔底给进压力的目的。其反向油流可由单向阀自由通过，不受滑阀的制约，减少了立轴上升时的压力损失。

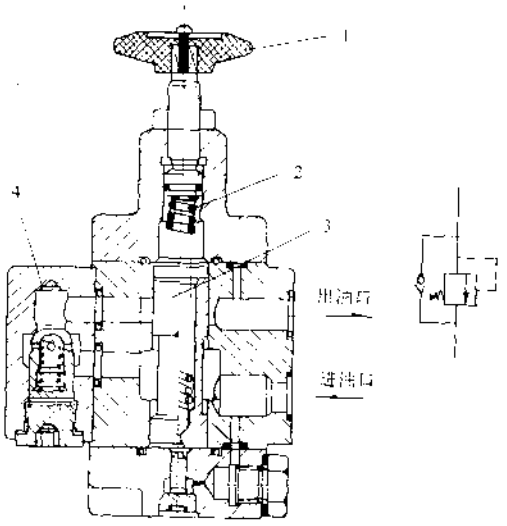


图 2-20　减压调压阀

1—调压手轮；2—弹簧；3—小活塞；4—单向阀

（4）截止阀：为球形截止阀，可打开或关闭油路，在液压系统中装有大小各一只（见图 2-25）。大截止阀的通径为 24mm，装在大油泵出口与油箱之间，关闭此阀，大小油泵并联同时向系统输入压力油，可用于快速提升立轴、钻机前后移位、驱动绳索取心绞车转动等。当大截止阀打开时，大油泵排出的油，通过此阀直接流回油箱卸压，此时只有小油泵向系统输入压力油，用于加压钻进、打开卡盘和夹持器等。该压力油因有单向阀不能经大截止阀卸压。在系统工作只需小流量时，可用小油泵工作、大油泵卸流，减少溢流量，从而降低功耗，减少油液发热。

小截止阀通径为 12mm，连接在多路阀与夹持器之间。在绳索取心钻进时，关闭此阀，

使夹持器始终保持打开的位置；而在操纵卡盘时，也应关闭此阀，使夹持器保持夹紧状态。

(5) 压力表（图 2-21）：有系统压力表和孔底压力表。压力范围为 0～15.69MPa (160kgf/cm²)。压力表面盘内充油耐震，表面装有油液压力刻度值的静盘和直接指示孔底压力值的动盘，动盘左右各刻有一个半圆刻度，分别以红、黑两色加以区别。红色刻度从零开始按顺时针方向增大，为加压钻进用；黑色刻度从零开始按逆时针方向增大，为减压钻进用。

系统压力表装在多路阀压力油进口处（见图 2-25），用以显示液压系统的工作压力和加压钻进时的孔底钻头压力。孔底压力表装在多路阀与给进油缸下腔之间的油路上，用以称重和显示减压钻进时孔底压力。称重、减压钻进、加压钻进时的压力表使用方法如下：

① 称重：按操作程序进行钻具的称重。孔底压力表静盘上显示的给进油缸下腔的压力，待指针稳定后，转动外圈动盘，使黑色刻度的零点对准指针，则对应于静盘零点的动盘上的刻度值即为钻具重力。如图 2-22 所示，钻具重力为 1000kgf（9.8kN）。

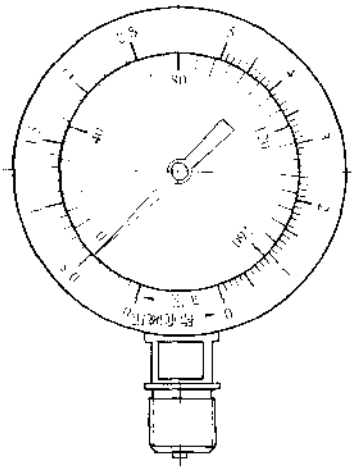


图 2-21 充油耐震压力表

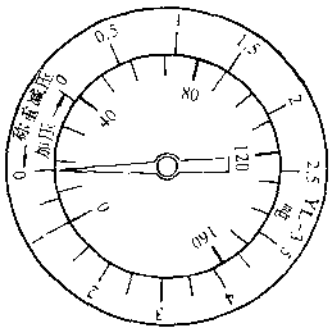


图 2-22 孔底压力称重指示图

② 减压钻进时：首先要称出钻具重力，如称得钻具重力为 2000kgf，若孔底给进压力需要 1200kgf，则反时针慢慢转动减压调压阀手轮，观察孔底压力表指针变化，当指针调到外圈动盘黑色刻度为 1200kgf 时，即停止转动手轮（图 2-23）。即减压 800kgf，孔底保持 1200kgf 压力钻进。

③ 加压钻进时：在称重之后，如称得钻具重力为 500kgf，转动系统压力表的外圈动盘，将红色刻度的钻具重力读数 0.5t 对准静盘的零点。若孔底给进压力需要 1200kgf，则调节系统调压阀手轮加压，使系统压力表的指针指到外圈动盘红色刻度 1200kgf 为止（图2-24）。

(6) 油箱：由铝合金铸成。其作用是贮存、冷却油液，并沉淀、过滤油液中的杂质。

2.2.2.5 液压传动系统的功用

液压传动系统是将上述液压元件用油管连接起来，由油泵把机械能转换为液压能，通过油管和控制阀传递到油缸，再转换为机械能（图 2-25）。用以完成立轴下降、停留、上升、松紧卡盘与夹持钻具、移动钻机、驱动绳索取心绞车等工作。

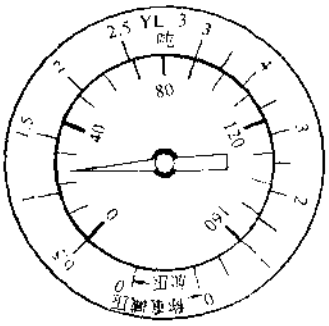


图 2-23　减压钻进时孔底压力表的指示图

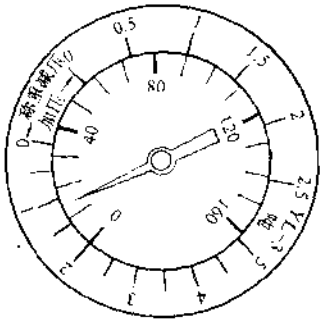


图 2-24　系统压力表在加压钻进时的指示图

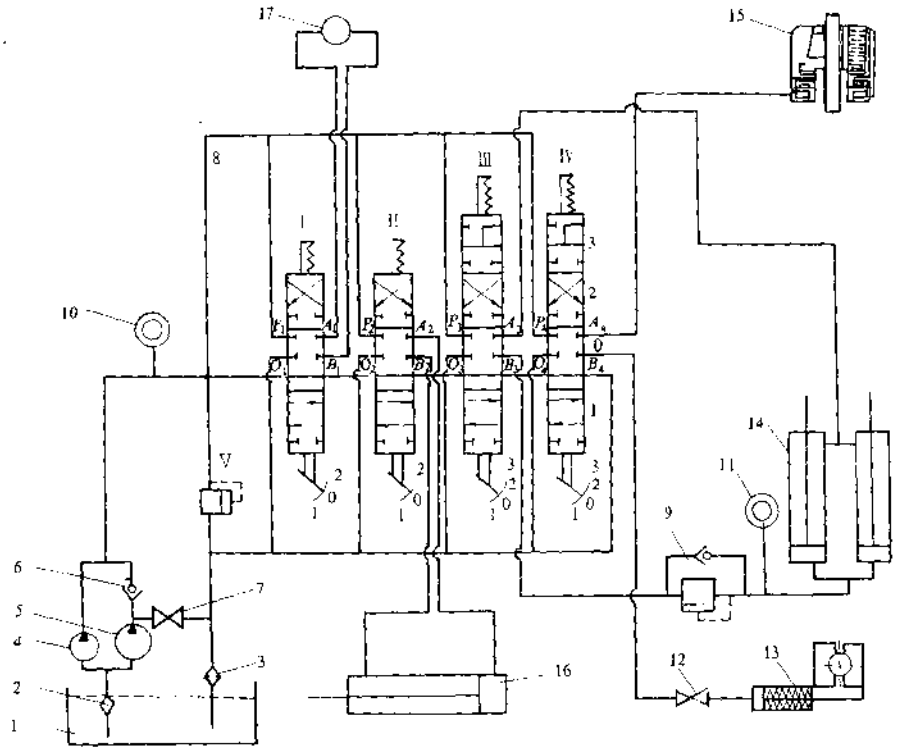


图 2-25　液压传动系统图

1—油箱；2、3--滤油器；4--小油泵；5—大油泵；6—单向阀；7—大截止阀；8--多路换向阀；Ⅰ--绞车控制阀；Ⅱ—钻机移位阀；Ⅲ－立轴给进阀；Ⅳ—卡夹阀；Ⅴ--系统调压阀；9－减压调压阀；10—系统压力表；11—孔底压力表；12－小截止阀；13--液压夹持器；14—立轴给进油缸；15－液压卡盘；16—钻机移位油缸；17--绞车液马达

通过系统调压阀或减压调压阀调节给进油缸压力可以满足加压钻进、自重或减压钻进、倒杆和强力起拔等工艺要求。通过卡盘、夹持器联动，配合给进油缸可以拉送钻具；配合回转器转动可以拧卸钻杆。由系统压力表可以反映液压系统压力，孔底压力表反映钻进压

力、钻具重力和减压值大小。各个工序的操作均由各种手把操纵于一定位置（图 2-26），其液压传动原理如下（参看图 2-25）：

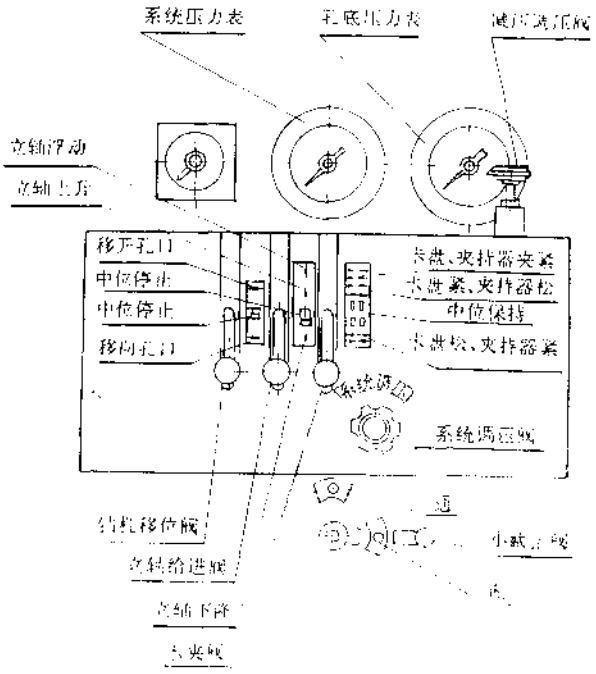


图 2-26　各种手把操纵位置及其功能

（1）钻具称重：首先操作大截止阀 7 手把放到上方，使大油泵 5 泄压，仅小油泵 4 供油。

操作阀Ⅳ于 2 位，夹持器松开、卡盘卡紧钻杆。再操作阀Ⅲ于 2 位，将钻具提离孔底约 200～300mm，送水并使立轴回转。然后操作阀Ⅲ于 3 位，顺时针旋转减压调压阀 9，使给进油缸下腔在钻具重量作用下增压到与钻具重力平衡、立轴停止运动。此时，转动孔底压力表 11 的外圈动盘，使黑色刻度零点对准指针，则对应于静盘零点的动盘上刻度值，即为钻具重力。

泵 5—→7 ——→3 ——→1 泄压

泵 4 ——→Ⅳ阀 2 位 P_4—→B_4——→12 →13 推动活塞、夹持器松开

同时，卡盘油缸 15——→Ⅳ阀 A_4→O_4 ——→3——→1 泄压、卡盘卡紧钻具

——→Ⅲ阀 2 位 P_3——→B_3→9（单向阀）——→14 下腔、提升钻具

14 上腔——→A_3 ——→O_3— →3——→1 泄压

拨Ⅲ阀于 3 位：14 下腔— →9 调压——→B_3——→O_3 ——→3— →1 泄压到与钻具重力平衡

（2）加压钻进：首先称出钻具重力，转动系统压力表 10 的外圈动盘，将红色刻度的钻具重力数对准静盘的零点；此时Ⅳ阀仍于 2 位，将其拨回 0 位，保持夹持器松开、卡盘卡紧钻具状态。操作Ⅲ阀于 1 位，送水回转钻具，将钻具下到孔底，立即调节系统调压阀Ⅴ，观察系统压力表，调到所需的孔底压力，即开始加压钻进。

泵 4—→Ⅲ阀 1 位 P_4—→A_3 →14 上腔、加压给进

14 下腔 →9—→B_3— →O_3—→3 →1 泄压

(3) 减压（自重）钻进：称重后，水泵送水、钻具回转；此时Ⅳ阀仍于 2 位将其拨回 0 位，保持夹持器松开、卡盘卡紧钻具状态；Ⅲ阀仍于 3 位，反时针慢慢转动减压调压阀 9 手轮，钻具落到孔底开始钻进，观察孔底压力表 11 指针变化，当指针指向动盘上所需孔底压力值时，停止转动手轮，钻具即以所需钻压减压钻进。利用减压调压阀产生的背压平衡掉一部分钻具重力，可以灵活地控制减压钻进时的孔底压力，并保持压力稳定。

当钻具重力等于所需孔底压力时，完全放松减压调压阀。即为自重钻进。

(4) 倒杆、提升或强力起拔：在加压钻进或减压钻进时，当立轴行程终了（活塞行至下止点）时，须将立轴空程提升（活塞回行至上止点），俗称倒杆。操作Ⅳ阀于 1 位，由于碟形弹簧的作用，夹持器先夹紧钻具、卡盘滞后松开；又操作Ⅱ阀于 2 位，关闭截止阀 7 使大小油泵并联以全泵量进入系统，实现快速倒杆。

泵 4、5—→Ⅳ阀于 1 位：P_4—→A_1 →15 推活塞、松开卡盘

13—→B_1 →O_4— →3 →1 泄压、夹持器夹紧钻具

→Ⅲ阀于 2 位 P_4— →B_3—→9— →14 下腔、推活塞上升、立轴快速倒杆

14 上腔 →A_3— →O_3 →3— →1 泄压

倒杆完毕后，立即操作Ⅳ阀从 2 位拨回 0 位，保持卡盘卡紧钻具、夹持器松开；再操作Ⅲ阀回 1 位（加压钻进）或 3 位（减压钻进）。由于倒杆时的压力油只经 9 阀的单向阀，故不需调压，倒杆后仍能保持原已调好的压力值而稳定地钻进。此时开 7 阀仅用小油泵 4 供油。

提升或强力起拔钻具与倒杆不同处，仅卡盘需卡紧钻具、夹持器松开，即保持原钻进状态的Ⅳ阀于 0 位；关闭阀 7，操作Ⅲ阀于 2 位，调整Ⅴ阀增压，使 14 下腔的活塞上升力大于钻具重力和钻孔内夹卡钻具的阻力，将钻具提离孔底或实现强力起拔。

(5) 钻机前后移动：利用升降机升降钻具时，需将钻机移开孔口。此时关闭 7 阀使大小油泵全泵量供油，操作Ⅱ阀于 2 位使钻机移开。

泵 4、5—→Ⅱ阀于 2 位 P_2—→B_2 →16 有杆腔推动油缸、使钻机移开孔口

16 无杆腔 →A_2— →O_2— →3—→1 泄压

升降钻具完毕后，要将钻机复位进行钻进，此时可操作Ⅱ阀于 1 位。

泵 4、5→Ⅱ阀于 1 位 P_2 →A_2 →16 无杆腔，推动油缸、使钻机移向孔口

16 有杆腔— →B_2— →O_2— →3— →1 泄压

(6) 拉送钻具：在坑道内钻进水平钻孔或仰孔时，可利用卡盘、夹持器与给进油缸相配合拉送钻具，钻机不需前后移动。

① 送进钻具：操作Ⅳ阀于 2 位，卡盘卡紧钻具、夹持器松开；操作Ⅲ阀于 1 位、调整Ⅴ阀增压、关闭 7 阀全泵量供油、送进钻具。

泵 4、5—→Ⅳ阀于 2 位 P_4— →B_1— →12— →13 推活塞、夹持器松开钻具

15 —→A_4— →O_1 →3 →1 泄压、卡盘卡紧钻具

Ⅲ阀于 1 位 P_4— →A_3— →14 有杆腔，推活塞、立轴前进、送进钻具

14 无杆腔— →9—→B_3— →O_3 →3— →1 泄压

倒杆：操作Ⅳ阀于 1 位，夹持器夹紧钻具、卡盘松开；操作Ⅲ阀于 2 位，立轴空程退

回。继续下一行程的送进操作，周而复始，实现钻具送进。

泵 4、5—→Ⅳ阀于 1 位 P_4 →A_4—→15 推活塞、卡盘松开钻具

13 →12 →B_4→O_4—→3—→1 泄压、夹持器夹紧钻具

→Ⅲ阀于 2 位 P_3—→B_3—→9—→14 无杆腔、推活塞回程、立轴退回

14 有杆腔 →A_3 →O_3 →3 →1 泄压

② 拉出钻具：操作Ⅳ阀于 2 位，卡盘卡紧钻具、夹持器松开；操作Ⅲ阀于 2 位，立轴后退、拉出钻具，此时应调整Ⅴ阀增加，关闭 7 阀全泵量供油。

泵 4、5—→Ⅳ阀于 2 位：P_4—→B_4—→12→13 夹持器松开钻杆

15 →A_4—→O_4—→3—→1 泄压、卡盘卡紧钻杆

→Ⅲ阀于 2 位 P_3 →B_3—→9—→14 无杆腔、拉出钻杆

14 有杆腔—→A_3 →O_3—→3—→1 泄压

倒杆：将Ⅳ阀于 1 位，卡盘松、夹持器紧，操作Ⅲ阀于 1 位，立轴空程退回。继续进行下一行程的拉出操作，周而复始，实现拉出钻具。

泵 4、5—→Ⅳ阀于 1 位P_4→A_4—→15 推活塞、松开卡盘

13—→12→B_4—→O_4—→3 →1 泄压、夹持器夹紧钻具

→Ⅲ阀于 1 位 P_3 →A_3—→14 有杆腔、推活塞回程、立轴退回

14 无杆腔—→9→B_3→O_3—→3 →1 泄压

(7) 拧卸钻具：包括拧接与卸开两个动作，拧接钻具是在钻杆送至孔口，卡盘空程退出钻杆接头之后进行的。此时夹持器夹紧孔内钻具，卡盘处于松开状态，将接续的钻杆穿过立轴卡盘。操作Ⅳ阀于 3 位，卡盘紧、夹持器紧，开动回转器立轴正转拧接钻杆。

卸开钻具是在卡盘将下一根钻杆接头拉出夹持器之后进行的。此时卡盘卡紧钻杆、夹持器保持松开状态。操作Ⅳ阀于 3 位，卡盘紧、夹持器紧，开动回转器立轴反转卸开钻杆。

拧接或卸开钻具的油路是一样的，操作Ⅳ阀于 3 位，即

15—→A_4 ↘

O_4—→3—→1 泄压、卡盘紧、夹持器紧

13—→B_4 ↗

(8) 绳索取心钻进，使用液压绳索取心绞车：操作Ⅰ阀于 1 位或 2 位，可使绞车正、反转。提升取心内管时，把大截止阀 7 关闭，使大小油泵全泵量供油；调节系统调压阀Ⅴ增压，使取心内管保证应有的提升速度。

泵 4、5—→Ⅰ阀于 1 位 P_1—→A_1—→17 正转

17—→B_1—→O_1— →3—→1 泄压

泵 4、5—→Ⅰ阀于 2 位 P_1— →B_1—→17 反转

17—→A_1 →O_1— →3—→1 泄压

当取心内管提升接近孔口时，应调节Ⅴ阀逐渐减压直到停止。在提升过程中要注意卷筒的排绳情况，不使紊乱。

当取心内管提升不上来时，可调节Ⅴ阀增压，强力拉断系于内管上部的细钢绳，然后用升降机提升全部钻具。

2.2.3 钻石-100A-D 型钻机

钻石-100A-D 型钻机是移动回转头式钻机，采用机械、液压传动，为坑道专用的金刚石岩心钻机。适用在坑道内钻孔深 100m 以内的任意角度钻孔，对立柱稍加变动也可用于地表

任意倾角钻孔。钻机外貌见图 2-27，其主要技术性能见表 2-2。

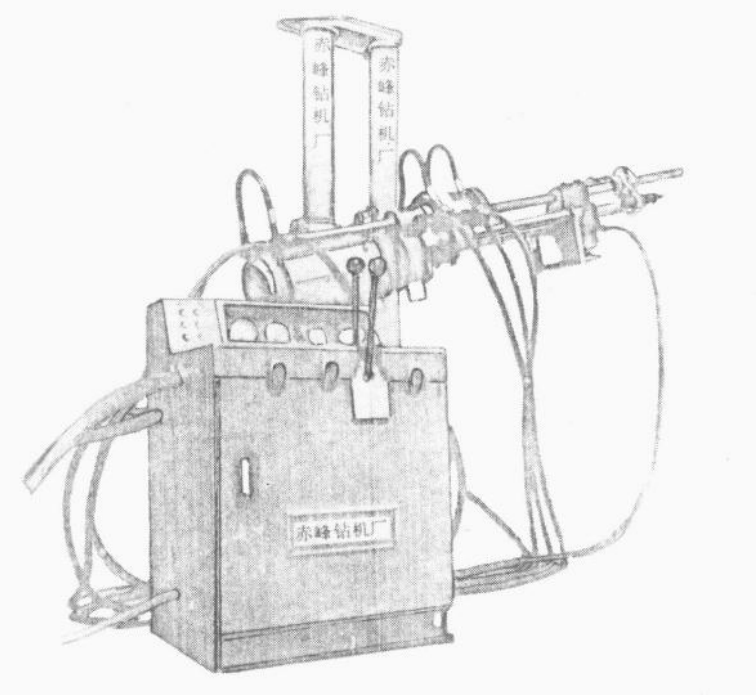


图 2-27　钻石-100A-D 型钻机

本钻机机械化程度较高，结构紧凑，安装迁移方便，操作集中、简便、安全、省力，在冶金、有色金属矿山坑道岩心钻探中得到广泛地应用。

2.2.3.1　钻机的特点

(1) 采用移动式回转头机械回转，液压给进和拉送钻具。

(2)机械传动系统中采用二极电动机配合 3K 行星减速机构、使立轴卡盘获得快速正转 Ⅰ 1500（Ⅱ 1200）r/min 和慢速反转 Ⅰ 125（Ⅱ 100）r/min，用于钻进和拧卸钻杆。

(3) 配备碟形弹簧夹紧、液压松开的常闭式夹持器，适用于 ϕ46 和 ϕ36mm 两种钻具规格。在钻进向上仰孔时拉出钻具，在钻进向下俯孔时送进钻具，利用钻具“自重溜杆”、可用调节夹持器对钻具的夹紧力来控制溜杆速度。当拉送和拧卸钻具时，则用夹持器于孔口夹持钻杆。

(4) 采用液压卡紧和液压松开的液压卡盘，以利于把回转、前进、后退运动传递给钻具。

(5) 在液压系统中的液压卡盘、液压夹持器和给进拉送油缸实现联动化，完成钻杆的拉送工序和拧卸工序，以满足坑道钻探特殊要求。

(6) 钻机安装在双立柱上，通过立柱上的回转套和回转头，可以调整钻机的安装角度和钻进角度。

2.2.3.2　钻机的主机

钻机由主机和操纵台的两大部分组成。

钻机主机（图 2-28）是由钻机本体和立柱两部分组成。而本体是由主机电动机、给进拉送油缸与减速箱组合、传动花键轴、传动箱与卡盘及卡盘油缸组合、夹持器油缸与夹持器组合、滑轨等组成。传动箱和卡盘除由减速箱通过传动花键轴回转运动外、还可由给进拉送油缸中的活塞杆带动沿滑轨作轴向移动，故传动箱和卡盘实际上就是一个移动式的回转头。

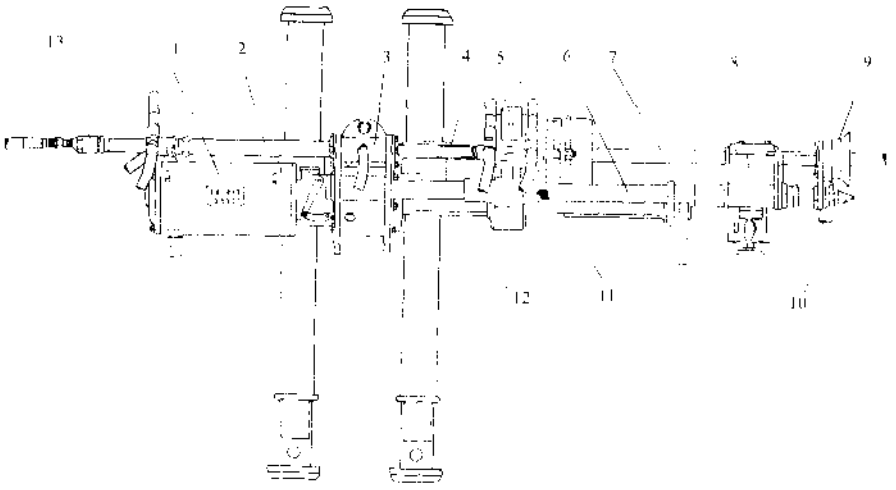


图 2-28　钻石-100A-D 型钻机的主机

1—电动机；2—给进拉送油缸；3—减速箱；4—活塞杆；5—传动箱、卡盘和卡盘油缸；6—传动花键轴；7—钻具；8—夹持器油缸和夹持器；9—引水罩；10—顶杆；11—滑轨；12—立柱；13—水接头

(1) 减速箱为 3K 行星减速机构（图 2-29）。它主要由左、右两个行星轮系和减速操纵装置组成。轴齿轮的左端以键与电动机转子轴相联接，它上面装有两个外齿轮，左边外齿轮是为了实现减速而设置的，右边外齿轮是行星轮系的中心齿轮。三个双联行星齿轮以轴承装于左、右置盘上，其左行星齿轮既与中心齿轮啮合又与左内齿轮相啮合，而右行星齿轮则与右内齿轮相啮合，右内齿轮用键与传动花键轴联接。左右内齿轮均是用轴承分别安装在与减速箱壳精密配合并用螺钉固定于壳上的后端盖和前端盖中。

减速箱的操纵装置封闭于操纵箱壳内，在箱外有一个操纵手把。拔动手把则带动拨叉小轴，通过滑块拨动齿状离合器，拨至左位，中心齿轮与左内齿轮同步转动，夹在它们之间的双联行星轮也随之同步回转，这时的行星轮只公转、不自转，实际上起一个键的作用，传到右内齿轮和传动花键轴，则为高速正转档。当齿状离合器拨至右位，使左内齿轮与小内齿轮联结在一起，由于小内齿轮是固定在操纵箱壳上的，因而左内齿轮被固定，不能回转，这时双联行星轮系的输出，则为慢速反转档。

给进拉送油缸安插在减速箱壳最上部的两个孔内，使其与减速箱壳紧固在一起。

(2) 传动箱和液压卡盘是一个组合机构（图 2-30）。传动箱是把减速箱通过传动花键轴输出的回转运动传给主轴卡盘，这样不但能起一定的减速作用，还使卡盘与减速箱之间形成平行轴传动，以便钻具可在卡盘中穿过，钻杆立根的长度不受卡盘拉送行程的限制。

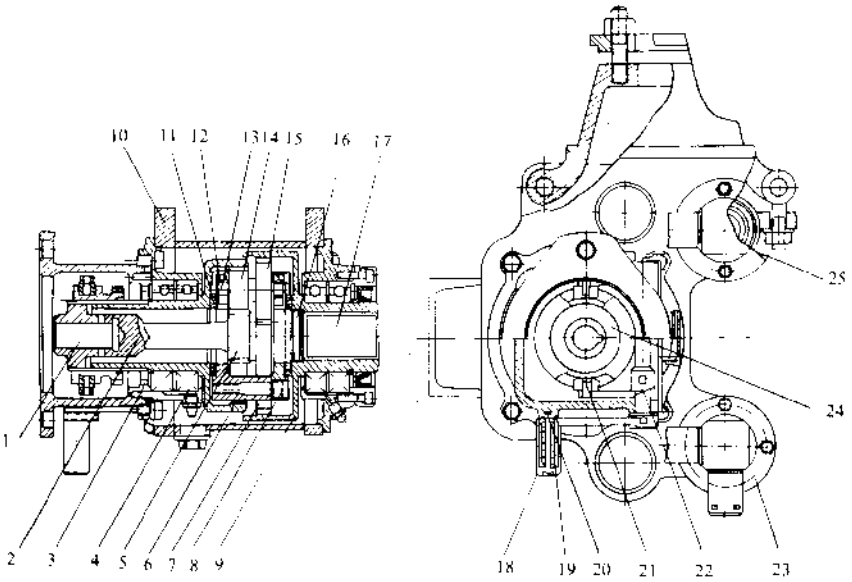


图 2-29 钻石-100A-D 型钻机减速箱

1—轴齿轮；2—轴；3—小内齿轮；4—后端盖；5—中心齿轮；6—左置盘；7—螺钉；8—右置盘；9—前端盖；10—箱壳；11—挡环；12—轴承；13—左内齿轮；14—双联行星齿轮；15—右内齿轮；16—挡板；17—传动花键轴；18—操纵手把；19—弹簧；20—定位杆；21—拨叉；22—拨叉小轴；23、25—给进拉送油缸；24—齿状离合器

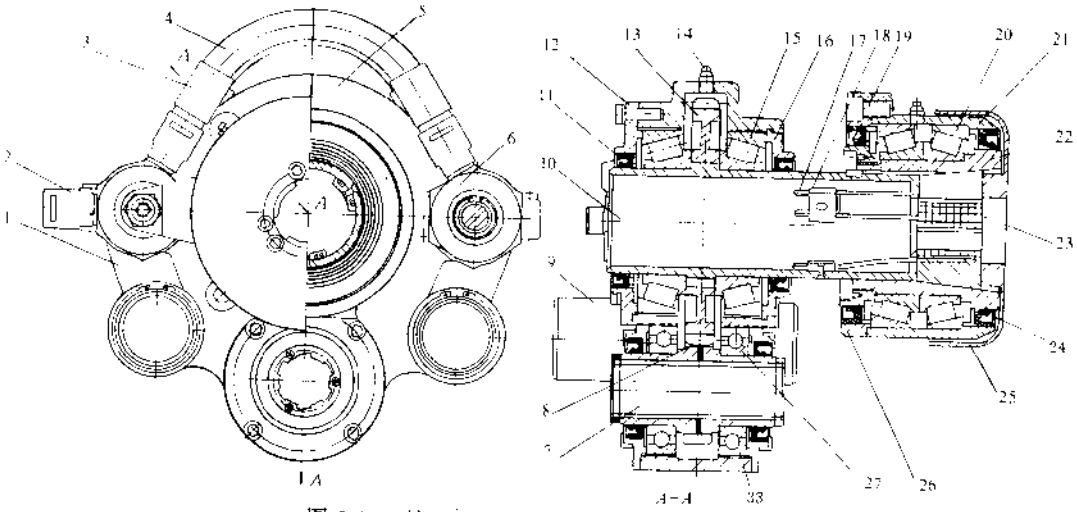


图 2-30 钻石-100A-D 型钻机传动箱和卡盘

1—下箱体；2—快速接头；3—油管接头；4—油管；5—上箱体；6—卡盘液压油缸；7—传动花键轴；8—主动齿轮；9—滑套；10—卡盘主轴；11、24—油封；12—后箱盖；13—从动齿轮；14—油嘴；15、20、27—轴承；16—前箱盖；17—卡瓦弹簧；18—弹簧座；19—螺钉；21—轴承套；22—锥套；23—卡瓦；25—前罩；26—后盖

传动箱体可分为上箱体与下箱体，用8个螺钉固紧。上下箱体结合处构成两个圆孔，内装卡盘油缸。两个油缸体的后端铣有“T”形槽，内装“T”形螺栓与给进拉送油缸活塞杆前端的螺母连接，从而将活塞的往复运动传给传动箱和卡盘。下箱体两侧装有两个滑套，钻机的两根滑轨就从这两个滑套中穿过。

传动箱中的主动齿轮具有花键内孔，可由传动花键轴带动回转、还能在轴上滑行，与其相啮合的从动齿轮以平键固在卡盘主轴上。主、从齿轮配备二组供现场选用，两组齿轮的齿数和传动比为：Ⅰ组，$Z_{主}=26$、$Z_{从}=50$、$i_1=1.923$；Ⅱ组、$Z_{主}=22$、$Z_{从}=54$、$i_1=2.45$。这样，卡盘主轴可获得两组不同的转速。

卡盘主轴是一根空心轴，其通孔最大内径为ϕ48mm。主轴右端开有三个均布矩形切口，内装三块背面带斜度的卡瓦，卡瓦内穿以弹簧片，弹簧的后端穿过弹簧座，主轴前端装有以螺钉固定于主轴上的前罩。卡瓦套在带锥形内孔的锥套内，锥套用轴承装在轴承套里面，并以键随主轴一起回转。轴承套不能转动，其两肩与卡盘油缸活塞杆的前端相联结（图中未表示出）。当压力油进入油缸驱动活塞前后移动时，通过轴承套带动锥套前后移动。锥套前移，由于锥形孔直径缩小，迫使三块卡瓦径向向心移动，卡紧钻具；锥套后移，其内径变大，卡瓦将由于卡瓦弹簧的弹性而外移，从而松开钻具。

卡瓦有两种规格：一种是卡紧后最小通孔直径为ϕ29mm，松开后最大通孔直径为ϕ38mm；另一种是卡紧后为ϕ39mm，松开后为ϕ48mm。前者适用于ϕ36规格的钻具，后者适用于ϕ46规格的钻具。

（3）双立柱：由直径ϕ89mm岩心管制成，上、下两端分别顶在坑道的顶、底板上，调整丝杠可以在底座上自由转动而改变立柱长度。其作用是使主机按照预定的钻孔方位和倾角牢固地安装在钻孔的位置，承受钻机重量及其工作时的反作用力。为增加钻机工作的稳定性，钻机前端还用两根接在滑轨上的顶杆紧顶在孔口的岩壁上。顶杆上装有引水罩，其作用是回收孔口返回的冲洗液，并使其不致流到钻机和操作人员身上。

2.2.3.3 钻机的机械传动系统

主机电动机带动轴齿轮上的中心齿轮Z_1与Z_8，把回转运动传递到减速箱，拨动齿形离合器，减速箱可向传动箱、主轴输出一级快速正转和一级慢速反转，通过卡盘卡紧钻具回转（图2-31）。

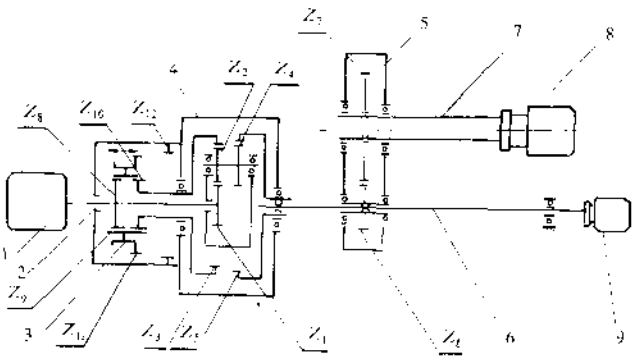
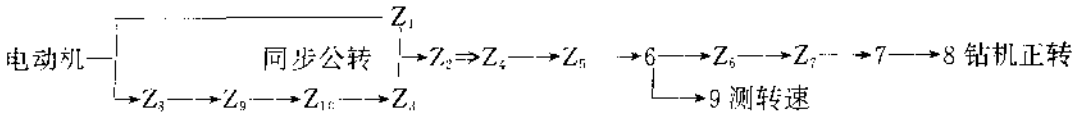


图2-31 钻石-100A D型钻机机械传动系统

1—电动机；2—轴齿轮；3—齿形离合器；4—减速箱；5—传动箱；6—传动花键轴；7—主轴；8—卡盘；9—测速发电机

(1) 正转钻进或拧接钻杆：操纵手把拨动齿形离合器向左移，则传动序列如下：



(2) 反转卸开钻杆：操纵手把拨动齿形离合器向右移，则传动序列如下：

电动机——→Z_1——→Z_2 自转又公转⇒Z_4 ——→Z_5 ——→6——→Z_6——→Z_7——→7——→8 钻机反转

固定 Z_{12}——→Z_{11}——→Z_9——→Z_{10}——→Z_8不动

2.2.3.4 钻机的液压传统系统

钻机的液压系统由油箱、油泵、多路阀、卡夹阀、调压阀、背压阀、单向节流阀、截止阀和夹持器油缸、卡盘油缸、给进拉送油缸等组成（图 2-32）。

(1) 油泵为单级齿轮定量泵，型号 CB—C10C-FL。其技术性能：额定工作压力 9.8MPa；额定转速 1800 r/min；排量 10 l/min。

(2) 多路阀是由二个三位六通手动换向阀（*E* 和 *D* 阀）和一个安全阀（*H*）组合而成。*D* 阀除能控制给进拉送油缸外，还能控制卡夹系统，从而实现给进或拉送工序。*E* 阀只能操纵卡夹系统，用来控制夹持器的钻具自重溜杆速度，以及配合机械传动系统拧卸钻杆。

安全阀（*H*）位于阀体左侧，是控制油压不能超过某极值，保证液压系统正常安全的工作。通常是阀芯在弹簧的作用下油路封闭不通；当油压超过 7.84MPa（钻机出厂时调定值）时，则压缩弹簧使阀芯移位打通油路、泄压；当油压小于弹簧的弹力时，阀芯回位，油路又被封住，保证系统的安全。

(3) 卡夹阀（*F*）是一个二位四通手动换向阀，用来改变给进拉送油缸、卡盘和夹持器联动操作顺序的。

(4) 调压阀（*C*）是一个可调节流阀，其作用是为了调节卡盘、夹持器的夹紧力。此外，还有固定节流阀（*I*）为不可调节流阀，是调节定量系统的油量，以控制液压夹持器的工作速度。

(5) 单向节流阀（*K*），由固定节流阀和单向阀并联而成，其作用可迅速使卡盘卡紧并保持卡盘对钻杆的卡紧力。因单向阀（*J*）只允许压力油流向卡盘油缸无杆腔，而不能反向逆流；当卡盘松开时，无杆腔排油只能从固定节流阀流走。

(6) 背压阀（3 和 4）是一个减压调压阀，串联在给进拉送油缸与多路阀之间，用来调节给进或拉送工作时的油压；并保证给进拉送油缸与卡盘、夹持器联动操作时的先后动作顺序；还可使传动箱卡盘部分在不工作时，不致因自重而发生位移。

(7) 截止阀（*G*）可独立地关闭液压夹持器油路，从而保持夹持器夹紧或松开的工作状态，而不受其它阀操作的影响。

将这些液压元件用油管联通、组成液压传动系统，如图 2-32 所示。

油泵电动机带动齿轮油泵回转，油泵从油箱中吸油、输出的压力油经多路阀 *E*、*D* 和卡夹阀 *F*，驱动给进拉送油缸、卡盘油缸和夹持器油缸，以完成加压给进、倒杆、提动钻具和拉送钻具，并配合机械传动系统拧卸钻具。卡夹系统的工作油压由调压阀调节，给进或拉送油压用背压阀调节，系统油压过载时，压力油可推开安全阀流回油箱泄压。各工序操作情况及液压传动原理如下：

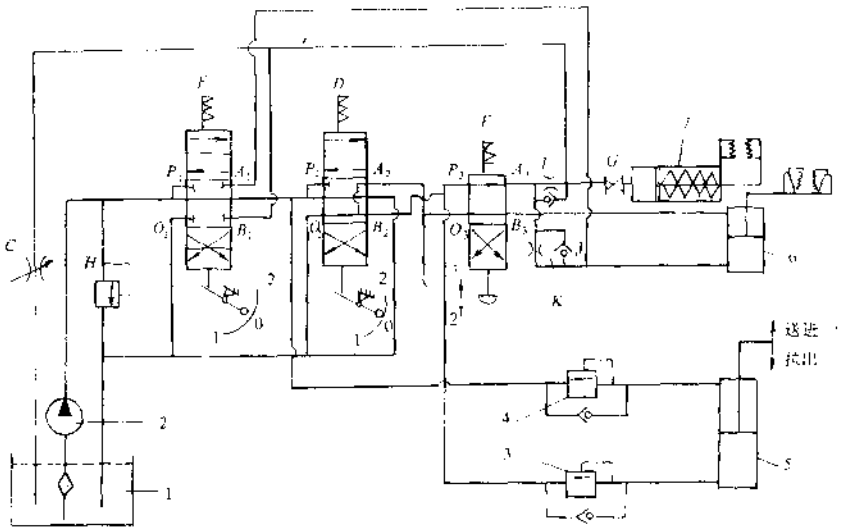


图 2-32　钻石-100A-D 型钻机液压传动系统

1—油箱；2—油泵；C—调压阀；D、E—三位六通换向阀；F—二位四通卡夹阀；G—截止阀；H—安全阀；I—固定节流阀；J—单向阀；K—单动节流阀；3、4—背压阀；5—给进拉送油缸；6—卡盘油缸；7—夹持器小油缸

(1) 加压给进：打开截止阀 G，操作阀 E 于 O 位、阀 F 于 2 位、阀 D 于 1 位，调节阀 C 和阀 4 控制加压给进。即

泵 2—→D 阀 P_2—→B_2—→F 阀 P_3—→A_3—→I—→G—→7 推活塞、夹持器松开

→J—→6 无杆腔、推活塞前进、卡盘卡紧钻具

6 有杆腔—→B_3—→O_3—→A_2—→O_2

—→1 泄压

→3（单向阀）—→5 无杆腔、推活塞、送进传动箱、卡盘

4（节流阀）←—5 有杆腔（无杆腔推力大于有杆腔，迫使油流出）

(2) 倒杆：当给进拉送油缸中活塞送进到前止点时，应进行倒杆工作。操作阀 D 于 2 位，由于夹持器的碟形弹力张力，使油缸 7 回泄最快，夹持器迅速夹紧钻具；卡盘滞后松开；油缸 5 的活塞及拉杆连同传动箱、卡盘退回到后止点。即

7 油腔—→G—→I—→F 阀 A_3—→P_3—→D 阀 B_2—→O_2—→1 泄压、夹持器夹紧钻具

泵 2—→D 阀 P_2—→A_2—→F 阀 O_3—→B_3—→6 有杆腔、推活塞后退、使卡盘松开

6 无杆腔—→K—→A_3—→P_3—→B_2—→

O_2—→1 泄压

→4（单向阀）—→5 有杆腔、推动活塞退回并连同传动箱、卡盘

5 无杆腔—→3（节流阀）—→D 阀 B_2—→O_2—→1 泄压

倒杆完毕，只须将阀 D 恢复到 1 位，又可继续加压给进。周而复始，实现加压钻进。

(3) 提动钻具：这是在钻进过程中遇到孔内出现不正常现象时才进行的。此时应关闭

G、保持夹持器的松开状态；然后操作阀 E 于 2 位，即不管其它阀处于什么位置，卡盘总是卡紧钻具而不会松开；再操作阀 D 于 1 位和 2 位，则可反复提动钻具。

泵 2→E 阀 2 位 P_1→A_1→6 无杆腔、推活塞前进、卡盘卡紧钻具

6 有杆腔→B_3→O_3→A_2→O_2→1 泄压

1 位 D 阀：→D 阀 1 位 P_2→B_2→3→5 无杆腔、推活塞前进、送进钻具

2 位 D 阀：5 有杆腔、无杆腔压力大于有杆腔 } 提动钻具

→E 阀（中通路）→4（单向阀）→5 有杆腔、推活塞退出，拉出钻具

5 无杆腔→3→D 阀 B_2→O_2→1 泄压

（4）送进钻具：其油路与加压钻进相同，只是阀 C 关闭，调节阀 4 控制 5 压差，实现全速送进钻具。

（5）拉出钻具：操作阀 F 于 1 位、关闭阀 C，由于阀 I 的作用，卡盘先卡紧钻具，夹持器滞后松开；操作阀 D 于 2 位，调节 3 控制 5 压差，拉出钻具。

泵 2→D 阀 2 位 P_2→A_2→F 阀 O_3→A_3→K→6 无杆腔、推活塞前进、卡盘卡紧钻具

6 有杆腔→B_3→P_3→B_2→O_2→1 泄压

→I→C→7 推活塞压碟簧。夹持器松开

→4（单向阀）→5 有杆腔、推活塞后退，通过卡盘将钻具拉出

5 无杆腔→3→D 阀 B_2→O_2→1 泄压

倒杆（拉出钻具）：当给进拉送油缸中活塞后退到后止点时，应进行倒杆工序。操作阀 D 于 1 位，此时夹持器夹紧钻具，卡盘滞后松开、5 活塞空程快速前进至前止点。

7 油腔→G→I→F 阀 A_3→O_3→D 阀 A_2→O_2→1 泄压、夹持器夹紧钻具

泵 2→D 阀 P_2→B_2→F 阀 1 位 P_3→B_3→6 有杆腔、推活塞后退、卡盘松开

6 无杆腔→K→A_3→O_3→A_2→O_2→1 泄压

→3（单向阀）→5 无杆腔→推活塞送进卡盘至前止点

4（节流阀）←5 有杆腔（无杆腔压力大于有杆腔）

倒杆完毕后，只须操作阀 D 于 2 位，又可继续拉出钻具。周而复始，不断拉出钻具。

（6）利用夹持器和钻具自重拉送钻具：依靠钻具自重溜杆用于向上钻进仰孔时拉出钻具和向下钻进俯孔时送进钻具。调节液压夹持器对钻具的夹持力来控制溜杆速度。当一根钻杆立根溜杆结束后，用夹持器夹住钻具于孔口进行钻杆拧卸工序。这样可以节省拉送钻具时间、减少能量消耗。

操作阀 D 于 O 位：俯孔送进钻具时、阀 F 于 2 位，使卡盘油缸和给进拉送油缸的前后腔都低压回油；仰孔拉出钻具时、阀 F 于 1 位，使卡盘油缸和给进拉送油缸的活塞均处于浮动状态；打开阀 G。再操作阀 E 于 1 位，调节阀 C 则控制钻具的溜杆速度。

泵 2→E 阀 P_1→B_1→G→7

→C→1 泄压 } 控制夹持器的松紧力

（6）拧接钻杆：在送进钻具过程中。拧接钻杆时，要求卡盘和夹持器同时夹紧钻杆和接头。此时，阀 F 保持于 2 位，操作阀 D 于 O 位、阀 E 于 2 位。再拨齿状离合器至左位，则主轴卡盘正转、拧接钻杆。

7 油缸→G→I→F 阀 A_3→P_3→D 阀 B_2→O_2→1 泄压，夹持器夹紧钻杆接头

泵 2→E 阀 2 位 P_1→A_1→6 无杆腔、推活塞前进、卡盘卡紧要接续的钻杆

6 有杆腔→B_3→O_3→A_2→O_2→1 泄压

(7)卸开钻杆：在拉出钻具过程中卸开钻杆，此时，卡盘仍卡紧钻杆、阀 F 保持于 1 位；操作阀 D 于 O 位、阀 E 于 2 位，使夹持器夹紧孔口的钻杆接头。再拨动齿状离合器至右位，则主轴卡盘反转，卸开钻杆。

7 油缸→G→I→F 阀 1 位 A_3→O_3→D 阀 A_2→O_2→1 泄压，夹持器夹紧钻杆接头

泵 2→E 阀 2 位 P_1→A_1→6 无杆腔、推活塞保持卡盘卡紧钻杆状态

6 有杆腔→B_3→P_3→B_2→O_2→1 泄压

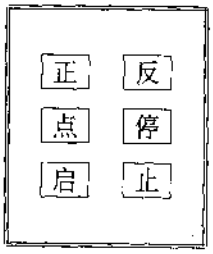
2.2.3.5 钻机操纵台

钻机操纵台（见图 2-27）是由底座、电机电控箱、液压油路部分、油箱总成等部件组成。它是根据坑内潮湿、窄小等条件而制成可分式封闭结构，这样在拆迁时可分为两部分搬运，到工地再进行组装。

(1) 底座：分别托住油箱和电机电控箱底部。

(2) 电机电控箱上部有电压表、电流表、油压表及电器操纵按扭。电器原件、油泵电动机均装在箱体门上，便于拆修。

电器操纵系统配备了过载保护装置。左上方的电器操纵按扭标牌意义为：



正：主机电动机正转
反：主机电动机反转
点：主机电动机点动
停：主机电动机停止
启：油泵电动机启动
止：油泵电动机停止

(3) 液压油路部分：液压系统的齿轮油泵和控制阀组都安装在操纵台里，其操纵手把及操作位置都表露在操纵台面上，其标牌如表 2-4。

表 2-4 操作手把位置标牌

手把位置	C	D	E	F	G
1	←调压→ 小 大	送 进	夹持器松	起 钻	关 闭
0		停			
2		拉 出	卡盘紧	送 钻	通 油

在操纵台上装有乳化液通往钻杆的节门，如果不用乳化液，钻孔用水可直接与主机电动机冷却排水孔相连接。

(4) 油箱内的下部被隔板分为两个油室。加油时由加油过滤网过滤。油箱体还设有视油窗，以观察油液是否保持在油窗的 2/3 高度以上。

操纵台放置在距孔口和主机适当的地方，用电缆、水管和五根胶油管与主机的有关部

件连接。工作时，工人坐在操纵台前集中操作。

2.2.4 ZSK-50型坑道岩心钻机

ZSK-50型坑道岩心钻机为单支柱立轴式滚轮摩擦拉送钻具的半液压钻机，能钻进深度为50m的任何角度的勘探孔。它适用在坑道和采场内钻进岩心钻孔、以及排水孔、通风孔、爆破孔、注浆孔和工程检查孔等。钻机外貌见图2-33。主要技术规格见表2-2。

2.2.4.1 钻机的特点

(1) 采用伸缩轴和双层结构液压缸，使钻机外形尺寸减小，有利于运输及在狭窄的坑内工作面安装使用。

(2) 采用滚轮摩擦拉送器拉送钻具，结构紧凑、工作安全可靠。

(3) 用简化的液压系统实现钻机的液压给进。双层结构的液压缸具有足够的给进力、可达7.8kN，并且其回程速度远大于给进速度，完全满足钻机的给进要求。

(4) 钻机体积小、重量轻（净重150kg，部件最大重量35kg），便于搬迁、安装，可一人操作。

(5) 钻机及其传动箱是通过支架、夹板和螺钉紧固在单支柱上，传动箱可绕支架中心作0～360°的方位变化，按钻孔方位要求用紧固件固定。单支柱支撑在距设计孔位的大约700mm处。

2.2.4.2 钻机的组成

钻机由主机、滚轮摩擦拉送器、液压给进系统、操纵箱和支柱组成（图2-34）。

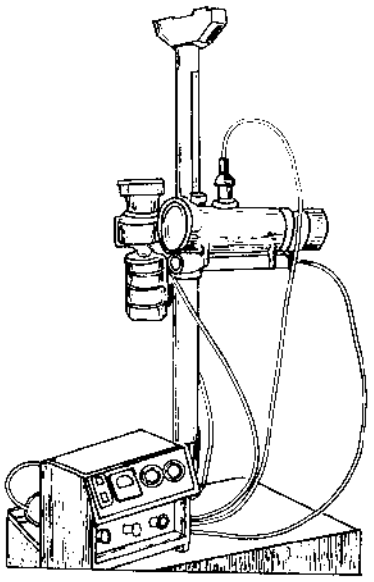


图2-33 ZSK-50型坑道岩心钻机

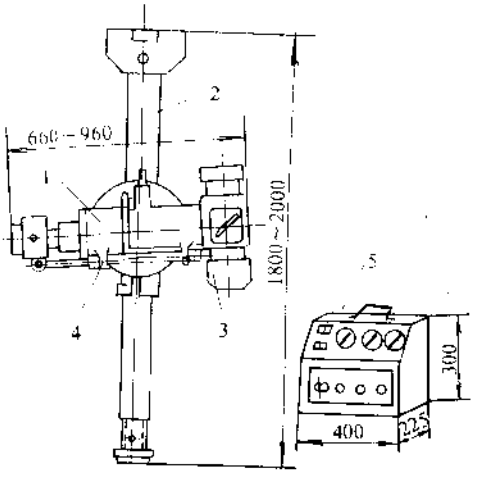


图2-34 ZSK-50型坑道岩心钻机组装图

1—主机；2—支柱；3—滚动摩擦拉送器；4—给进油缸；5—操纵箱

主机的回转、钻具拉送采用机械传动，它们分别由主机电动机和拉送电动机带动；给进系统采用液压传动。

操纵箱上装有油压表、水压表、电流表及电机操纵按钮、水路系统（一个减压阀两端接有进水管和出水管、以供钻进用水和调整孔底水压）开关、液压控制系统和操纵手柄。

2.2.4.3　主机及其传动系统

主机是由充油水冷电动机、传动箱、手动卡盘和给进双层油缸组成（图 2-35）。

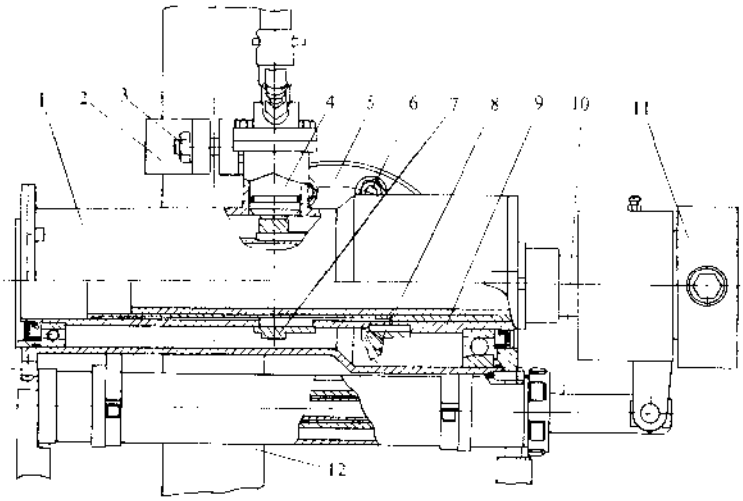


图 2-35　ZSK-50 型钻机的主机

1—传动箱；2—夹板；3、6—螺钉；4—柱塞泵；5—支架；7—凸轮；8—锥齿轮副；9—传动轴；10—双层伸缩油缸；11—手动卡盘；12—单支柱

主机传动系统是：

电动机→锥齿轮副 8→传动轴 9→卡盘 11→钻具回转

传动轴 9→凸轮 7→柱塞泵 4→油缸 10

传动轴为三层结构的伸缩轴，各层伸缩轴之间都有滑键传动。外层传动轴装有锥齿轮和凸轮，分别接受电机主动锥齿轮的传动并带动柱塞泵工作。中空的内轴轴端接有手动卡盘，通孔直径 ϕ36mm，可穿过 ϕ33mm 钻杆。传动轴的进退由装置在传动箱外壁的双层油缸实现。

2.2.4.4　滚轮摩擦拉送器

拉送器的底座用螺栓装合在传动箱体前端。它由拉送电动机、齿差减速器和滚轮夹紧机构组成（图 2-36）。

拉送钻具工作过程：由拉送电动机通过速比为 65 的齿差减速器驱动主动滚轮转动，钻杆夹持在主动滚轮与从动滚轮之间，在滚轮转动时，靠摩擦力带动钻杆作直线运动。电动机正、反转使钻杆获得正、反向拉出和送进。通过手轮调整碟簧的压力来调节滚轮对钻杆的摩擦力。

2.2.4.5　给进液压系统

给进液压系统由单柱塞泵与安全阀、二位四通阀与调压阀、双层液压油缸和油箱组成（图 2-37）。

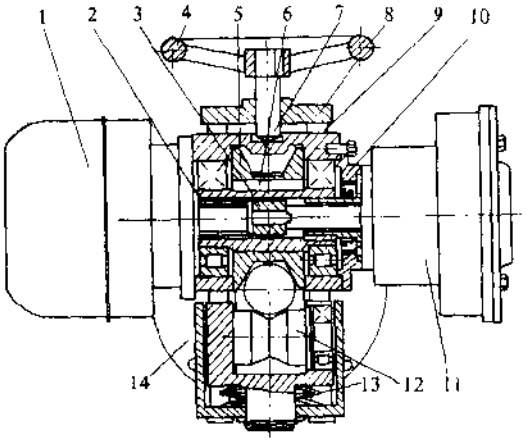


图 2-36　ZSK-50 型滚轮摩擦拉送器

1—电动机；2—键；3—轴；4—手轮；5—主动滚轮；6—键；7—丝杠；8—横梁；9—拉杆；10—主动轴；11—齿差减速器；12—从动滚轮；13—碟簧；14—底座

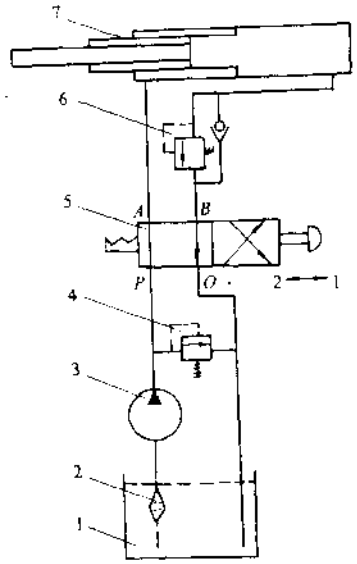


图 2-37　ZSK-50 型钻机给进液压系统

1—油箱；2—过滤器；3—单柱塞泵；4—安全阀；5—三位四通阀；6—调压阀；7—双层液压油缸

加压给进时，按阀手柄于 1 位，调节 6 控制给进压力大小。

泵 3→P→A→7 有杆腔、拉动卡盘使钻具加压钻进

7 无杆腔→6→B→O→1 泄压

倒杆：拉阀手柄于 2 位，则

泵 3→P→B→6（单向阀）→7 无杆腔、使传动轴快速回程伸出

7 有杆腔→A→O→1 泄压

系统油压过载时，压力油可推开安全阀回油泄压。

2.2.5　岩心钻机的选择

地质勘探工作中，钻探设备选择的正确与否，不仅影响钻探生产效益，而且关系到矿产勘探的速度和质量。选择钻探设备要先选择钻机类别与型号，再选配相应的其它设备（水泵、动力机、钻塔等）。

选择钻机主要是选择它的类型及其工作能力，以满足地质设计要求，完成钻探目的为标准。选择的根据是钻孔位置（坑内或地表、山区）、设计钻孔深度、钻孔倾角、地层条件、钻进方法、钻孔结构等。矿山坑内钻探应选用坑道专用钻机。如在坑内向下钻较深的钻孔，宜选用地表岩心钻机，或改在地表钻进，但坑内钻可节省大量钻探进尺而取得预期的地质技术和经济的效果。

一定型号的钻机，可能钻进的孔深是受所钻孔径限制的。钻孔直径越大，钻机可能钻进的深度越小。一般，钻机技术性能表上的钻孔最大深度，与规定的终孔直径相适应。如要求钻孔直径超过表上数值，常会钻不到规定的深度，尤其是旧钻机。如果有时不得不增

表 2-5　地表岩心钻

钻机型号		YL-3	YL-6	YL-13	CS-1	CS-3	CS-4	XY-1A
钻孔能力	钻进深度 m	300,400	580,700	1000,740	100	300,600	610,1000	100,180
	钻杆直径 mm	55.5,42	54,55.5	54,71	42,55.5	71,42	71,43.5	42,43
	钻孔倾角 (°)	0～360	20～90	0～360	0～360	0～360	0～360	75～90
	钻孔直径 mm							
回转器	型式	立轴	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	通孔内径 mm	76,92	92	98	79	76,92	91	44
	转速 r/min 正转	46.5～1205	65～1240	152～974	169～1040	41～1083	132～1032	160～1035
	转速 r/min 档数	8	10	5	8	8	5	5
	转速 r/min 反转	38,154	60,185	165	137,169	33,138	124	
给进系统	上顶力 kN	60.8	98.0	107.7	19.6	60.8	100	29.4
	给进力 kN	39.4	73.5	80.8	18.6	40.2	96	22.5
	行程 mm	600	650	610	650	600	600	450
升降机	最大提升力 kN	34.3	50.5	58.8	19.6	36.1	55	10.8
	钢绳直径 mm	12.4	15.5	16		12.5	16	9.3
	容绳量 m	37	60	54		50	60	35
移开孔口行程 mm		400	415	开合式	开合式	400	450	
油泵	工作压力 MPa	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	7.85
	排量 L/min	13.5+40	32+10	63	20+6	13.5+10	13.5+40	12
钻机	长 mm	2050	2350	2565	1505	1800	2210	1392
	宽 mm	1200	1110	908	805	965	1050	697
	高 mm	1600	1843	1974	1983	1670	1810	1274
	重量 kg	1000	1600	2200	516	1070	1600	450
动力机	类型与功率 kW(*HP*) 电动机	15	30	45	10	18.5	30	
	类型与功率 kW(*HP*) 柴油机	18	36	54	10	18.5	(48)	9.7
钻塔	类型			机上桅杆				
	高度 m							
备考 生产单位		中南冶金勘探机械厂	中南冶金勘探机械厂	张家口探矿机械厂	赤锋钻机厂	西北地质机械厂		北京探矿机械厂

机主要技术性能

XY-2P	XY-2B	XY-3	XYZ-3	XY-4	TK-5	SH30-2	G-3	JK-1
230,305	320,530	600	700,550	1000,700	300	30	100,15	100,15
50,42	60,42	50,53	50,60	43,50	50	43	50,89	42,57
0～360	0～360	70～90	60～90	0～360	0～360	90	90	90
					146/76	142/110	150,600	150,400
同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	转 盘	机动力头	液动力头
61	96	85	75	68	57	150	145	
101～1223	57～1024	170～1100	14～1175	101～1191	90～581	18,44,110	17～395	0～250
8	8	6	12	8	4	3	8	无级
	45,212	115,210	26,305	83,251	74		同正转	同正转
44.1	58.8	49	78.4	80	52		65	39.2
29.4	44.1	24.5	39.2	60	32		50	58.8
600	600	600	500	600	500		4000	3800
19.6	29.4	36.8	30.4	30	19.6	14.7	30	14.7
10	14	15	15.5	15.5	13	9.3		
36	45	60	57	52	60			
开合式	410	350	370	400	350		开合式	开合式
7.85	7.85	7.85	7.85	8	7.85			14
32+12	32+12	45	32 1 10	32	45			
1615	2220	2670	2200	2640	1870	1780	9100	
800	900	1100	1190	1100	850	1010	2390	
1330	1800	1750	1610	1750	1490	900	3850	
							(汽车装)	(汽车装)
540	1000	1500	1680	1500	1000	550	11600	
15	22	30	30	37	17	7.5	37	
16.4	24.5	30	30	36.75	18	(8)	(50)	
						四脚架	桅杆	桅杆
						6.5	9	7.7
重庆	恒左	北京	张家口	西北、无锡	石家庄	无锡	同左	
探矿机械厂		探矿机械厂	探矿机械厂	探矿机械厂	煤矿机械厂	探矿机械厂		

大钻机规定的孔径或孔深，应适当降低钻进工艺规程。地质部门如预计到见矿部位可能加深，需延伸孔深时，应事先通知钻探人员，以便选择有足够钻进能力的钻机。有的钻机钻孔深度则与使用钻杆直径有关。

钻机类型选定后，根据具体条件和钻孔施工要求，选配相应的其它设备。通常，钻探用泵是和钻机配套供应的，可按配套型号选用。选择动力机要按具体条件决定采用电动机或柴油机，再按所需功率选配合适的型号。钻塔除按钻机类型配套使用外，也可按现有设备条件与孔位环境状况选用。钻进斜孔时必须选用相应的斜塔。常用地表岩心钻机型号及其主要技术性能见表 2-5。

2.3 泥浆泵

钻探用泵是钻探设备的重要组成之一。它是一种将机械能转换为液体能的水力机械。广义的钻探用泵，包括往复泵、螺杆泵、离心泵和空气压缩机（空气或泡沫钻进时）。最常用的是往复式泥浆泵，能够抽送含粘土与岩粉颗粒的泥浆和水泥浆液。100m 以内的大口径工程施工钻孔常用离心式的砂石泵或泥浆泵，实施泵吸反循环钻进。与岩心钻机配套使用的是往复式泥浆泵。

2.3.1 泥浆泵的功用与类型

泥浆泵的基本功用是向钻孔内压送冲洗液，使之循环返出孔外，进行冲洗钻孔，用以排除岩粉、冷却钻头与润滑钻具。在使用液动冲击器时，泵向它提供液压能。堵漏、封孔作业时，用泵向孔内灌注水泥浆液。

岩心钻探施工时，一般由钻杆内向孔底泵送冲洗液，再由钻杆外与孔壁之间的环状间隙上返回孔外，这种循环方式称为正循环。

泵按工作原理分为容积式与离心式两大类。容积式泵又分为往复泵（如活塞泵、柱塞泵、薄膜泵）与回转泵（如螺杆泵、叶片泵、挤压泵）。离心泵按所抽送液体分为清水泵、砂石泵等。

钻探工程施工中，正循环钻进使用活塞泵或柱塞泵以及螺杆泵，反循环钻进使用离心式砂石泵，向工地供水时常使用离心式清水泵。

2.3.2 泥浆泵的性能特点与基本要求

了解泵的工作特性是正确选择与使用它们的前提。泵的主要性能参数是液体排出量（泵量）与工作压力（泵压、扬程）。所以，泵量与泵压（扬程）的关系（曲线），就反映了泵工作时的主要特性。图 2-38 之 a 与 b 是往复泵与离心泵的工作特性曲线。图 2-38a 表明，往复泵的泵量 Q 基本上是定值，但随泵压 P 的增高略有减少。这是因为泵压增高使泵阀开闭的滞后与泄漏增加的缘故。图 2-38b 表明，离心泵的扬程 H 随排量 Q 增加而下降（H-Q 曲线），或扬程增加时排量下降。图中还绘有相同转速下，效率 η 与功率 N 随排量 Q 变化的曲线。

钻进时泵的工作是压送一定量的冲洗液到孔底并保持正常循环。为此必须克服循环通路上各种液流阻力，故全部液流阻力的总和就是泵压（全扬程）。它不能人为的选定。当泵压过大或过小时，只能以改变泵量、使循环流速变化影响液流阻力的办法，间接地调控泵压。另外，实际工作中，常因岩性与钻进速度变化、孔壁坍塌掉块、岩心堵塞、岩粉淤积等因素，使液流循环阻力大幅度变化，泵压随之变化而泵量不变，得以保持正常循环。若

液流阻力超过泵的最大工作压力时，泵量将减少，甚致使循环中断，如不及时消除将引起严重的孔内事故。因此，泵的工作状况、泵压与泵量的变化，是了解孔内情况的重要依据。

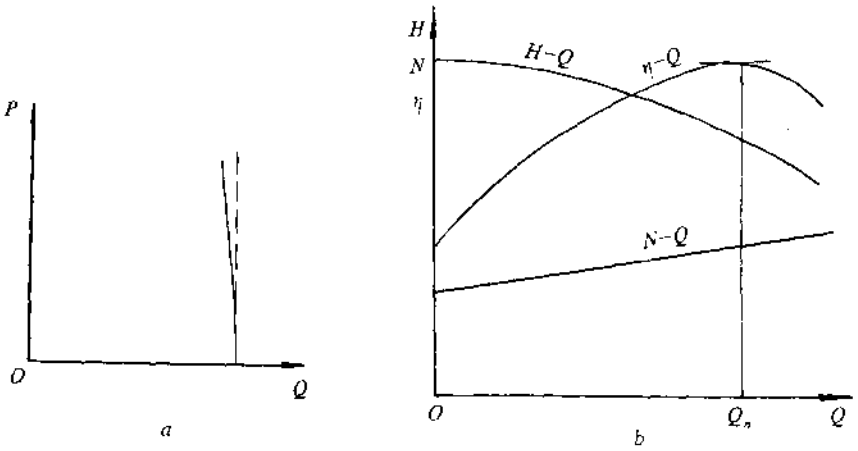


图 2-38　泵的工作特性曲线

a—往复泵；b—离心泵

钻探工作对泵性能的要求如下：

(1) 泵的排量要能简便、迅速地在较大范围内调节，以满足不同的孔径、不同地层、不同钻进方法与技术规程的需要。

(2) 泵应能在较大范围的泵压变化下正常工作，不因泵压的频繁变化而性能不稳定或发生泄漏、损坏。要求泵具有短时间超载运行和过度超载时有自动卸载、自我保护的能力。

(3) 当泵量根据需要调定后，要求泵具有连续、均衡的排量，并不受泵压变化的影响。泵量的波动使液流速度波动，这将影响孔壁稳定，使钻具产生振动，缩短液流通路上零部件的寿命。

(4) 工作可靠、易损件寿命长，便于在野外条件下维修保养，拆换零件简便，具有一定的耐腐蚀、耐岩粉磨损的能力。

(5) 在野外地形复杂、交通不便条件下，运移性好、要求泵的重量轻、体积小、可拆性好，以适应经常搬迁的需要。

钻探生产中，能较好满足上述要求、并应用较多的是往复泵（带变速箱），但其结构较复杂、重量大、易损件多、排量与压力的脉动较大。另一能较好满足要求的是螺杆泵，但其主体部件易磨损、寿命短、制造工艺复杂，泵压不够高，使用效果不理想，故应用较少。

2.3.3　往复泵工作原理

往复泵通过活塞的往复运动，使泵缸内腔室的容积变化，形成腔室内外压力差而吸排液体来实现能量转换。

图 2-39 为单缸单作用往复泵工作原理示意图。往复泵由动力端和液力端两大部分组成。

动力端由传动部件（皮带轮、摩擦离合器、齿轮变速箱等，图中未表示）、曲柄 8、连杆 7、十字头 6 组成。动力端的作用是将原动机的回转运动变成直线往复运动，并传给活塞。

液力端由泵头体（外壳）、缸套3、活塞4、活塞杆5、吸入阀2、排出阀9、空气室10及安全阀等组成。

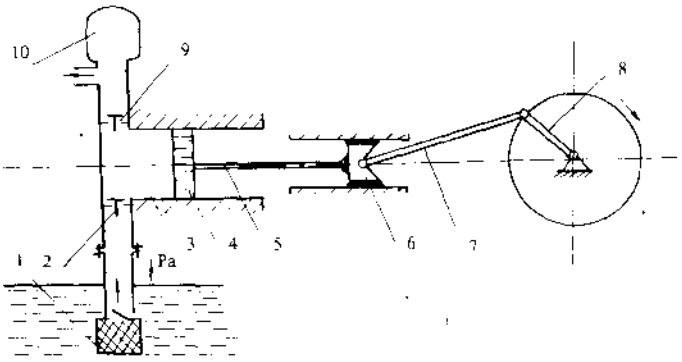


图2-39　往复泵工作原理示意图

1—滤水底阀；2—吸入阀；3—缸套；4—活塞；5—活塞杆；6—十字头；7—连杆；8—曲柄；9—排出阀；10—空气室

当曲柄按图顺时针方向旋转时，活塞右移，由活塞、缸套、泵头前盖、吸入阀和排出阀围成的密封腔室的容积增大，腔内压力降低并小于大气压力Pa而形成负压，则水箱内的水就顶开吸入阀进入缸套内（吸入阀下的吸水管内应预先灌满水），这一过程是在活塞从左端到右端的整个行程中持续进行的，称为吸入行程。当曲柄继续回转，活塞从右端向左运动时，被吸进缸套中的水受到挤压而压力升高，吸入阀关闭、排出阀被顶开，缸套内的水被活塞压送到排出管路中去，即为排出行程。上述过程不断重复就是往复泵的工作运行。

图2-39所示是单作用往复泵，即活塞每往复一次只有一次吸入和一次排出行程的泵。如果在活塞缸套的另一侧也装上吸入阀与排出阀，并使活塞杆穿过后封盖，就能使活塞每往复一次完成吸入和排出各两次，具有这种结构的泵叫双作用泵。活塞杆一侧排出量小于活塞前侧排量。

一台往复泵可制成单缸、双缸和三缸。岩心钻探使用最多的是三缸单作用泵，水文水井钻和石油钻多配用双缸双作用泵。

三缸单作用泵与双缸双作用泵比较，其主要优点是：泵的排量脉动小；零件受力状态好；拉杆密封要求低，寿命长；吸排水阀可采用直通式布置，泵头结构简单，水压损失小；缸体裸露，更换缸套、活塞方便。

有些泵采用更换不同内径的缸套与活塞的办法。改变泥浆泵排量，需停钻拆卸泵头，费工费时，不能满足钻进工艺需要。旧型号泵曾配置三通阀，以使泵的排量分流一部分流回水箱的办法改变泵入孔内的冲洗液。这对冲洗液量要求不严的硬质合金钻进尚可勉强使用，但对金刚石钻进则不能保证泵入孔内的冲洗液量。因为当孔内情况变化使泵压升高时，分流孔内的液流量会大减，甚至孔内断水，导致烧钻。故新系列的往复泵均取消三通阀，采用变速箱换档来改变泵的排量。

2.3.4　往复泵的结构特点与技术性能

往复泵是品种多样、通用化程度低而配套性较强的设备。钻探用往复泵是按钻探施工

条件及钻进工艺要求设计制造的专用设备。现例举有代表性的往复泵，介绍其结构特点，其他的可参看技术性能表。

2.3.4.1 BW-100 型泵

BW-100 型往复式泥浆泵是卧式三缸单作用活塞泵。该泵的变量范围大，排量是 20～100L/min；变量级数多达 8 级。变量方法是变速箱换档，简便迅速。使用泵量为 50L/min 以下时，最高泵压可达 5.6MPa；使用最大泵量时，泵压可达 2.5MPa。适用于孔深小于 1000m 的金刚石岩心钻探。

图 2-40 是 BW-100 型泵的外形图，电动机 1、摩擦离合器 3 与变速箱 4 和泵 6 三者安装在一个机底座 10 上，由牙嵌联轴器 2、5 传递回转动力。摩擦离合器的作用是机械开关和过载保护装置。它的外壳固定在变速箱壳的电动机一侧，是油浸钢片式摩擦离合器，由手把操纵。

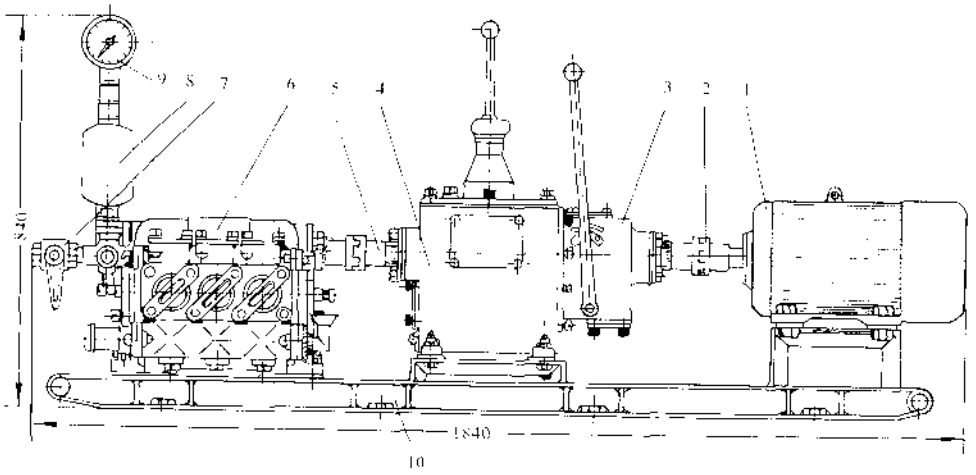


图 2-40 BW-100 型泵外形图

1—电动机；2、5—联轴器；3—摩擦离合器；4—变速箱；6—泵；7—卸荷阀；8—空气室；9—压力表；10—机底座

变速箱可变四个速度，内有三个轴、五对齿轮，动力输入轴与输出轴是同心的，其传动关系参看图 2-41。变速手把控制两个拨叉，可使在输入轴（亦称主动轴）上滑动的两个双联齿轮分别和中间轴上四个齿轮啮合（同时只有一对能啮合），得到四个速度，经另一对齿轮减速后，由输出轴（被动轴）经联轴器带动泵箱内传动轴回转。该轴上有一双联齿轮，可分别和曲轴上的两个大齿轮啮合，这就使曲轴（曲柄）获得 8 档速度（亦即往复次数），使泵具有 8 级变量。

三个缸的三个曲轴在圆上各间隔 120°，使泵的排量与负载均匀。

图 2-42 是 BW-100 型泵的纵剖面图。泵的动力端有传动轴、小齿轮、大齿轮、曲轴、连杆、十字头与支撑它们的轴承、箱壳等构成。液力端有活塞杆、刮泥板、活塞、缸套、泵头体、缸盖与吸排水球阀及各种密封件、紧固件等构成。缸套裸露在外，由长螺栓穿过泵头紧固于曲轴箱壳上。泵头为直通式，吸排水阀在同一垂线上。在上下有三个缸共用的排

吸水道。吸排水阀用相同的钢球。活塞为碗形橡胶制皮碗，装在活塞杆前端。排水通道外装有安全阀、卸荷阀、空气室、水泵压力表等泵的附件（参看图 2-40）。

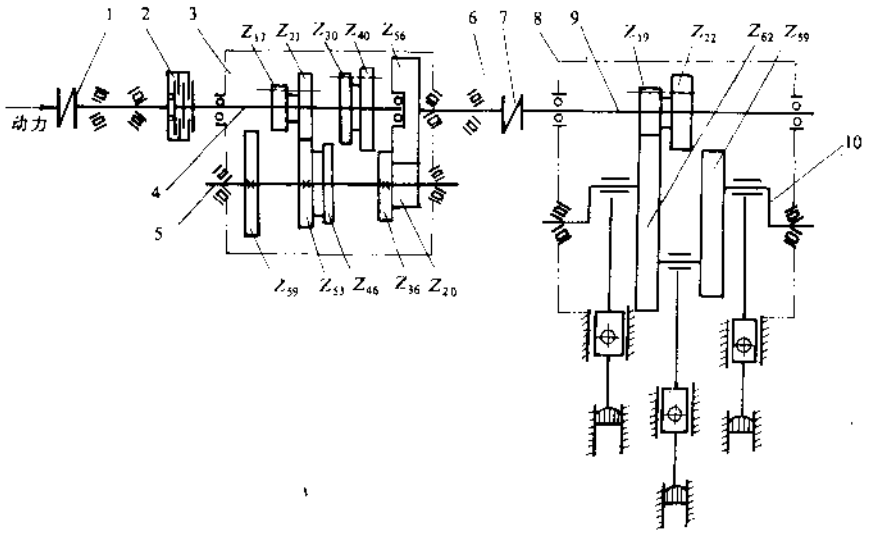


图 2-41　BW-100 型泵传动系统图

1、7—联轴器；2—摩擦离合器；3—变速箱；4—变速箱输入轴；5—中间轴；6—变速箱输出轴；8—泵箱；9—传动轴；10—曲轴（曲柄）

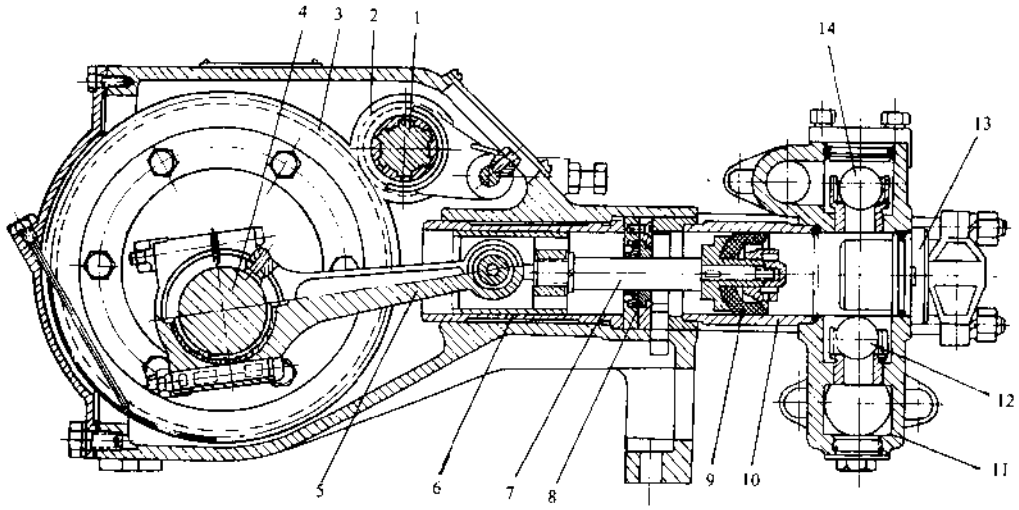


图 2-42　BW-100 型泵纵剖面图

1—传动轴；2—小齿轮；3—大齿轮；4—曲轴；5—连杆；6—十字头；7—活塞杆；8—刮泥板；9—活塞；10—缸套；11—泵头体；12- 吸水球阀；13—缸盖；14　排水球阀

2.3.4.2　往复泵的附件

往复泵除动力端与液力端两大部分外，还有些具有一定功能的附属零部件，包括空气室、压力表、安全阀、卸荷阀、底阀（含滤清器）等。

（1）空气室　往复泵本身的排量与泵压的波动是不可避免的。泵压波动会造成泵和管

路系统的振动，影响泵的吸入性能和冲洗液的洗孔效能。为消除液流量与压力的波动，在泵上装置空气室。它是一种能承受相当压力的充气容器，通常装在紧靠排水管口上侧。其工作原理是利用气体具有较大的可压缩性，在泵的压力增高时储存泵多排出的波动量，泵压减小时释放储存的波动量，以此减少流量和压力的波动，使之趋于均匀。空气室一般采用立式圆筒形（参看图 2-40）。

（2）压力表　往复泵都配置压力表以指示泵的排出压力，随时了解泵的工作状态与孔内循环通路的阻力变化。目前广泛使用弹簧扁管式压力表，安装在空气室上面，其抗震性能差。为避免过早损坏，在压力表与接头内充油、用浮塞与阻尼孔以缓冲压力波动。

（3）安全阀　前已指出，泵的工作压力是由管路循环阻力形成的。为保证往复泵在额定功率下正常工作，在排出管路上配置安全阀，限制泵压在额定值以下。安全阀内装有弹簧与阀芯，通常在调整螺丝调定的压力下处于常闭状态，当钻孔内循环阻力增高，使泵压超过调定压力时，弹簧被压缩，阀芯被推开而溢流。

（4）卸荷阀　即手动的阀门，安置在排出管路上，通到水源箱。在下列情况下使用（打开）：检查泵能否正常工作；使泵在卸荷状态下启动；停泵时使排出管路卸压。但在正常工作或钻进中不得打开。

（5）底阀（含滤清器）又称吸水笼头，装在往复泵吸水管的下端，置于水源箱内（参看图 2-39）。它是一种低压平板式止逆阀，作用是使液体在吸入管中保持向上的单向流动。泵启动前使吸水管中充满液体，排除管内空气，否则泵难以启动。滤清器是有许多孔眼的铁皮罩，作用是滤除杂草、木片及大块杂物。为减少吸入阻力，应经常检查清洗底阀的橡胶阀片，去除滤清器上的杂物，以保证泵的正常吸入。

（6）吸排水管　往复泵的吸水管要用较粗的夹布波纹形压力胶管，长度 6m，内径按泵的吸水管接头外径配备。排水管需用夹两层钢丝、耐压 10MPa 的高压胶管，长度应能提升钻杆立根（相当于钻塔高度），内径按泵的排出管接头外径配备。吸排水管用管卡子牢固地接在泵的接头上。

2.3.4.3　其它往复泵

钻探用往复泵型号品种较多，其结构类似、各有特点而工作原理相同。

例如，BW-250 型泵，亦是卧式三缸单作用活塞泵。变量范围为 35～250L/min，最大工作压力为 7MPa，亦有变速机构，但装在曲轴箱内的上部，能改变 4 级转速（往复次数），另外可更换两种内径的缸套，而得到 8 级变量。适合金刚石岩心钻进用。泵的曲轴箱输入轴上，装有 B 型 5 槽三角皮带轮，可用各类动力机驱动。皮带轮内为干式摩擦离合器。泵头有三个分隔的缸室，内装缸套（不裸露在外）。

卧式双缸双作用活塞泵，多用于大泵量的往复泵（SBW-600、BW-850、BW-1200）和旧型号岩心钻机的配套，多采用更换缸套与三通阀变量方式，适合于硬质合金岩心钻进和水文水井等大口径钻孔用。因这类钻进对循环冲洗液量要求不如金刚石钻进严格，故多不装设变速箱。如 BW-200 型泵，用 80、65mm 两种内径的缸套，可得 200 与 125L/min 两级泵量，泵压为 4 与 6MPa。其结构特点主要是两个缸的曲柄相错 90°布置，使排出量波动较小；双缸双作用泵头吸排水阀共有 8 个，因有活塞杆，阀位无法采用上下直通式，只能侧面阶梯式布置，使泵头结构复杂；活塞杆密封要求较高；活塞往复次数较低（运动速度不宜高），使泵体大而笨重。

泥浆泵一般是和钻机配套供应和使用。但在钻探施工时，因泵损坏或配件短缺，或钻孔设计深度、孔径、钻进方法不同而不一定配套使用。此时，应根据钻进方法与孔深、孔径所确定的钻进工艺规程的要求，选择泥浆泵型号。往复式泥浆泵的常用型号及其主要技术性能见表 2-6。

表 2-6　往复式泥浆泵的型号及其技术性能

型　　号	TBV-20/15	BW-35	BWJ-30	BWJ 80	BWJ-125	BW-100	BW-150	BW-200	BW-250	BW-250/50A	BW-300
型　　式	立式双缸单作用	双缸单作用柱塞	卧式三缸单作用	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同左柱塞泵	同　左
配套钻机孔深 (m)	50	10～50				100～600	600～1500		1000～1500	1000	冲击回转
变量方式		三通阀	变速箱	同　左	变速、换缸套	变速箱	同　左	同　左	变速、换缸套	变速箱	同　左
排量 (L/min)	20	30	30，20	80，57，42	125～27	100～20	150～32	200～102	250～52 166～35	250～34	300～70 165～40
排量级数			2	3	9	8	8	4	8	8	16
工作压力 (MPa)	1.47	0.98	～3	～3	～4.5	2.5～5.6	1.8～7.0	5～8	2.5～7	1.8～5	4.5～10
缸径 (mm)	20	45	50	60	68，60	60	70	70	80，65	75	80，65
冲程 (mm)		50	50	55	60	65	70	100	100	85	100
冲次 (次/min)	242	250	120，80	203，141，107	214～64	200～42	222～47	209～107	200～42	250～34	230～60
容积效率		0.755				0.85	0.85		0.83	0.89	0.85
吸/排水管内径 (mm)	25/16					45/25	51/32		76/51	63.5/38	
动力机功率 (kW)	0.8		1.5	5.5	13	5.5	7.5	23.52	15.44	16	40
重　量 (kg)	74	52	145	300	350（不含动力机）	314（不含动力机）	516	520	500	500	1230
生　产　厂	石家庄煤机厂	天津探矿机械厂	吉林有色勘查机械厂	同　左	同　左	北京探矿机械厂	衡阳探矿机械厂	同　左	同　左	同　左	同　左

2.4　动力机

动力机是将一种能量（如电能、热能）转换成为机械能的机器设备。钻机、泥浆泵、搅拌机以及照明发电机、砂轮等都需要由动力机带动工作。为了能正确选择与使用动力机，必须了解钻探工程常用的动力机类型、适用条件与技术性能特点。

2.4.1　钻探用动力机的要求、类型与驱动方案

钻探工作的流动性较大，钻探机场就是一个独立的生产单位。根据这种工作性质和钻机、水泵的工作特点，对动力机提出如下要求：

（1）有较好的起动性能，即在负载时亦能迅速起动；

（2）有较大的短时间超载能力；

（3）有较大的调速性能，要求动力机有“软”特性，即负荷增加时转速减少、负荷减

少时转速增加的特性；

（4）单位功率重量要小，轻便可移，便于搬迁；

（5）单位功率的能耗低或燃料消耗量小；

（6）坚固耐用，连续工作时间长；

（7）操作使用简便，在野外或机场条件下能保养维护修理。

目前，岩心钻探用的动力机，一般采用交流电动机或柴油机，在矿山坑道内可使用压缩空气为能源的风马达。这类动力机按上述要求衡量虽不够理想，但基本上可供使用。在先进的或大型的钻机中采用液压与液力传动就是为更好地满足钻机工作特性的要求。

按钻探工作对动力机的要求，电动机较柴油机的适应性好，所以应尽量选用电动机。除直接利用动力电源外，可考虑临时设置变电站配备相应容量的变压器，或采用柴油机发电机组发电等。

在钻探机场，常用单独驱动与联合驱动两种钻探设备的驱动方案。单独驱动是每台设备有各自的动力机；联合驱动是一台动力机通过中间传动装置，既驱动钻机又驱动泥浆泵以及其他小型设备。单独驱动的特点是：传动效率高，钻机与泵的性能互不影响，省去中间传动装置，机场内设备布置灵活性大，安装作业简单；但动力机数量与功率配备增多，设备的费用与维护工作量增加。现代岩心钻机绝大多数采用单独驱动。自行式钻探设备则多采用联合驱动。

2.4.2 电动机

电动机按所用电源的种类，分为直流和交流两类。岩心钻探中最常用的是三相交流感应电动机（亦称异步电机），它具有构造简单、坚固耐用、价格便宜、工作可靠、效率高、易于维护等显著优点，也是工农业生产与生活服务设施应用最普遍的一种电动机。

三相交流感应电动机按转子的构造不同，分为鼠笼式与绕线式（亦称滑环式）两种，岩心钻探用的是鼠笼式三相交流感应电动机。

三相交流感应电动机的工作原理是，当固定的三个绕组（称定子）通入三相交流电时，其所围空间便产生旋转磁场，使装在定子内可转动的转子导线感应电流切割磁力线而产生感应电动势。这个转子感应电流与旋转磁场相互作用，使转子导线受到力的作用。这些电磁力对转子轴形成电磁转矩，其作用方向与旋转磁场方向一致，使转子顺着旋转磁场的方向旋转。转子的转速比旋转磁场的转速略小，故称为异步电动机。由于转子因电磁感应产生感应电流而受力旋转，又称感应电动机。

Y系列三相鼠笼式异步电动机，是按国际电工协会（IEC）标准设计的。其特点是体积小、重量轻、运行可靠、结构坚固、寿命长，而且起动性能好，有较高的效率，节约能源。Y系列电动机的常用型号及主要技术性能见表2-7。

异步电动机起动时，转子由静止开始转动，此时转子与旋转磁场的转速相差很大，转子中的感应电流很大，定子绕组中的电流也同样很大，此电流称为起动电流。它通常可达到额定电流的4～7倍。当转子逐渐加速到额定转速后，电流亦随着减小到正常数值，电机转入正常运行。小容量电机，因转子惯性小、负载不大，转速会很快达到额定值，起动电流会迅速下降。但大容量电机转子负载的惯性与阻力大，很大的起动电流要持续一短时间。若时间延长，电机可能过热烧毁，也可能造成电力网的电压下降，影响其他设备的正常工作。所以起动时要采用降低电压的方法，限制起动电流于一定范围。

表 2-7　Y 系列电动机型号及其主要技术性能

型号	额定功率		满载时				比值			备注
	(kW)	(HP)	转速 (r/min)	电流 (A)	效率 %	功率因数 cosφ	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	
Y132S-4	5.5	7.5	1440	11.6	85.5	0.84	7.0	2.2	2.2	额定频率均为 50Hz 同步转速均为 1500r/min (4 级) 额定电压均为 380V
Y132M-4	7.5	10	1440	15.4	87	0.85	7.0	2.2	2.2	
Y180M-4	18.5	25	1470	35.9	91	0.86	7.0	2.0	2.2	
Y180L-4	22	30	1470	42.5	91.5	0.86	7.0	2.0	2.2	
Y200L-4	30	40	1470	56.8	92.2	0.87	7.0	2.0	2.2	
Y225M-4	45	60	1480	84.2	92.3	0.88	7.0	1.9	2.2	

鼠笼式电机的起动方法，分为全压（直接）起动和减压起动两种。

全压起动，即将电源电压全部直接加给电机，适于电机容量不大时采用。全压起动设备有三相闸刀开关，用于 10kW 以下电机；铁壳开关用于 22～28kW 以下电机；磁力起动器（带热继电器保护）用于 55kW 以下的电动机。选用开关的额定电流，不应小于电动机额定电流的三倍。

减压起动是对大容量电机的电源通过一种降压装置再接入电机的方法。生产上多采用起动补偿器（又称自耦减压起动器），它是利用自耦变压器降压，以减小起动电流。钻探工作特点，要求电动机断续工作，故常选用 QJ_2、QJ_3 系列起动补偿器。这种起动器可在 4 小时内，每小时连续起动 5 次。起动时，将手把推到“起动”位置，使电机经由自耦变压器在低压情况下起动。经 5～15s，当电机转速接近额定转速时，应及时将手把拉到“运行”位置，使电机直接与电源接通而转入正常运行。自耦减压起动器有过载和欠电压保护装置，当负载过重或电压过低时，能自动切断电路，防止烧毁电机。

钻场照明，通常采用 36V 低压照明电路，需配备一台安全行灯变压器，其容量应保证有足够的亮度与灯数，一般为 1000W 或 2000W。

使用电器设备必须注意安全用电：各种电器设备均需装接地线保护；经常检查有无噪音、振动、过高的温升或绝缘损坏等现象，并及时消除故障；各种电器设备周围不应积水、堆积杂物，配电箱与起动器附近地面应铺绝缘垫板；不得接触或使用无绝缘或绝缘不好的电器具，禁止用湿手操作电器开关；保险丝不能配置过大，不得以其它导线代替；发现漏电、冒火花或故障时应立即断开电源，报告电工或专责人员处理，其他人员不得随意处置。

2.4.3　风马达

风马达又称气马达，是将压缩空气的压力能转变为机械能的动力机。动力能源一般采用压力为 0.3～0.8MPa 的压缩空气，常用于矿山机械与坑道钻机。

风马达按其工作原理可分为容积型（叶片式、活塞式与齿轮式）和喷射型（涡轮型）两种。其中，容积型叶片式风马达，目前在矿山机械及风动工具中应用较普遍，坑道钻机也采用叶片式风马达驱动。

叶片式风马达的结构，如图 2-43 所示，是由若干叶片（一般为 3～10 片）装在转子的轴向槽内，转子装在偏心的定子内。当压缩空气进入定子腔后，转子上径向分布的叶片由

于偏心受力不平衡而产生旋转力矩。在此力矩作用下，推动转子旋转。如操纵配气阀改变进气方向，便可调为正转或反转。利用简单的节流装置控制进气量，即可实现无级调速。所以使用比较简便，即使在高温、潮湿、多尘、易爆等恶劣环境中也能保证安全可靠的工作。

叶片式风马达的特性曲线如图 2-44 示。由曲线图可看出：供气量一定时，随转速增加，扭矩减小。因此，负载的变化对马达的转速影响较大。当钻机过载时，马达转速降低甚至停转，对钻机起过载保护作用。过载解除后，马达可负载起动，正常运转。卸荷（即马达输出扭矩很小）时，风马达转速急剧升高，甚至可能出现飞车现象。因此，空载时应及时将配气阀关小或完全关闭。

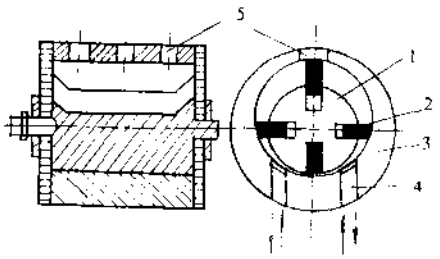


图 2-43　叶片式风马达结构原理
1—转子；2—叶片；3—定子；
4—进气口；5—排气口

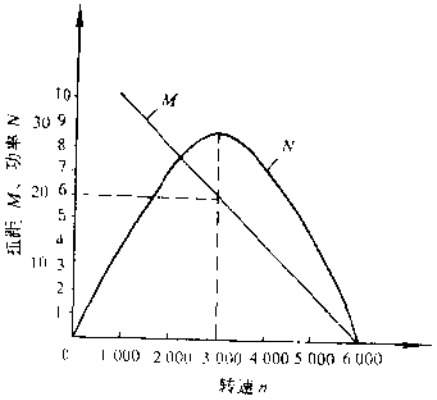


图 2-44　风马达特性曲线
M—扭矩（N·m）；N—功率（HP
1HP=0.7457kW）；n—转速（r/min）

实际工作中，由于负载变化、转速的波动较大，使得风马达常不能在额定功率下工作。所以要经常用配气阀来改变供气量，以调节马达的转速、扭矩和功率。

2.4.4　柴油机

钻探工作在无电源地区最常用的动力是柴油机或柴油发电机组供电；车装钻探设备与空气压缩机也常以柴油机为动力，以增加工程施工的机动性。现代自行式多功能钻机也大多以柴油机为动力。大型柴油机可配备液力偶合器或液力变矩器以改善输出特性。

以柴油机作为动力的主要优点是：（1）自成独立的动力系统，与外能源无关，机动性好，适用于野外作业；（2）单位功率的重量不大，燃料消耗较低；（3）无电源或高山地区可采用柴油机组发电的移动电站，较建立临时输电线路经济方便。

柴油机是将柴油喷入气缸中进行燃烧，使燃烧过程发出的热能直接转变为机械能的动力机械。它是内燃机的一种（另一种是汽油机）。

内燃机的工作循环有两种，即二冲程与四冲程，一般四冲程使用较多。

四冲程工作循环，就是活塞在气缸内往复两次、行进四个行程（曲轴旋转两周），完成一个工作循环，即吸气、压缩、工作（燃烧膨胀）、排气的过程，如图 2-45 所示。

（1）吸气　吸气阀打开、排气阀关闭，活塞下移，气缸内容积增大，吸满新鲜空气。

（2）压缩　吸气阀关闭（排气阀依旧关闭），活塞上移，气缸内容积缩小，空气被压缩、压力与温度增高（常用的柴油机压缩比为 17～18，压力可达 3～3.5MPa，温度约 600℃），

当活塞上移到上死点前时，燃料油泵将燃料呈雾状喷入燃烧室，它与热空气混合，立即燃烧（爆发）。

（3）工作（膨胀） 燃料的燃烧产生强大的膨胀压力（约4.5～6MPa），推动活塞向下移动，经连杆、曲轴等机构将热能转变成机械能而成为输出的动力（吸、排气阀均关闭）。

（4）排气 排气阀打开（吸气阀仍关闭），活塞上移，将已膨胀的废气向气缸外排出，从而完成一个工作循环。

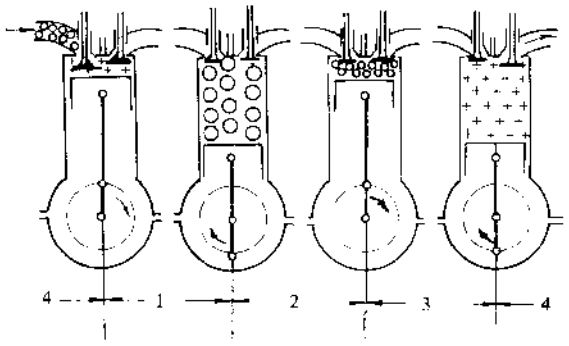


图2-45 四冲程工作循环

1 吸气冲程；2—压缩冲程；3—工作（膨胀）冲程；4— 排气冲程

除工作冲程输出动力外，其余三个行程都是通过曲轴及其连带部件的旋转惯性作用完成的。所以，四冲程柴油机多制成二、四、六个气缸，以便各缸交替工作，并较均衡地输出动力。钻探施工使用最多的是双缸与四缸柴油机。如用增压器提高进入气缸空气的密度，并适当增加喷油量，使之充分燃烧，则可有效地提高柴油机的输出功率，这种柴油机称为增压柴油机。

柴油机的基本结构，有以下各部分组成，其主要功用为：

（1）曲轴连杆机构 由活塞、连杆、曲轴、飞轮等部件组成，活塞承受燃料燃烧产生的压力，在气缸内做往复运动，通过连杆带动曲轴旋转，从而输出动力。飞轮的作用是储存与释放部分转动能量，使柴油机运转平稳；起动柴油机时则是以其惯性驱动活塞直至起动运转。

（2）配气机构 由吸气阀、排气阀、凸轮轴、气阀顶杆、弹簧等部件组成，按合理的曲轴转角位置开闭吸排气阀，使气缸得到充足的新鲜空气，并及时排出燃烧后的废气。凸轮轴转速为曲轴的一半，其传动齿轮有准确的转角对应位置，装配时必须对准齿轮上刻的记号。

（3）燃油系统 由油箱、燃油滤清器、喷油泵、喷油嘴、油管等组成。由凸轮轴推动喷油泵的摇臂与挺杆，使喷油泵按工作循环定时定量泵油，并经喷油嘴向气缸内喷射燃油。喷油泵旁有离心式调速器，能自动调整喷油量，使柴油机保持平稳的转速。

（4）润滑系统 由盛油底壳、机油泵、机油滤清器、机油冷却器、油管及检视器件（油尺、压力表、油温表）等组成。功用是按需要给各运动部件提供充分的润滑油，可以飞溅润滑、压力润滑和定时注油等方式分别润滑不同部位。

(5) 冷却系统　柴油机体温度过高，可能使润滑油粘性降低或焦结失去润滑作用。故需用循环的冷却水吸收气缸体、气缸盖与润滑油的热量。它由水泵、风扇、散热水箱、机油散热器与调节装置及缸体水套等组成。

(6) 电气起动系统　由起动电机、蓄电池、继电器、充电发电机及有关器件组成。较小的柴油机可用人力手摇起动。电起动时，每次通电时间不宜超过 10s，并间歇 40～50s 后再起动，以免电机过热烧毁。

(7) 机体组件（总成）　是由机体（气缸体- 曲轴箱）、气缸套、气缸盖和存油底壳等构成的柴油机骨架。所有运动件与辅助系统都支承在它上面。

钻探工作常用的柴油机类型及其技术规格见表 2-8。

表 2 8　柴油机类型与技术规格

型　　号	2100	4100	6100	X2105	X4105	4120PG	4120SG	2135G	4135G	4135AG
型　式	单列立式水冷、四冲程	同　左	同　左	同　左	同　左	单列立式风冷、四冲程	单列立式水冷、四冲程	同　左	同　左	同　左
气缸数	2	4	6	2	4	4	4	2	4	4
气缸直径（mm）	100	100	100	105	105	120	120	135	135	135
活塞行程（mm）	120	120	120	120	120	140	140	140	140	150
压缩比	16	16	16	16.5	16.5	17	17	16.5	16.5	17
活塞总排量（L）	1.88	3.76	5.64	2.078	4.156	6.33	6.33	4	8	8.6
额定功率（kW）	16.4	22.4	32.8	44.7	49.2	67.1	17.9	35.8	49.2	59.6	29.8	59	74.6
持续功率（kW）							16.1	32.2	44.7	53.7	44.7	53.7	26.8	53.7	67.1
最大功率（kW）	17.9	21.6	35.8	49.2	53.7	74.6	19.7	39.4			32.8	65.6	82
额定转速（r/min）	1500	2000	1500	2000	1500	2000	1500	1500	1500	1800	1500	1800	1500	1500	1500
燃油消耗率（g/kWh）	≤241.4		≤241.4		≤241.4		≤248.1	≤248.1	<254.7		<248.1		≤245.1	≤234.7	≤234.7
机油消耗率（g/kWh）	≤4		≤4		≤4		<4	<4	<3.35		<3.35		<3.35	<3.35	<3.35
平均有效压力（MPa）	0.69	0.7	0.69	0.7	0.69	0.7	0.68	0.68	0.62		0.62		0.588	0.588	0.687
活塞平均速度（m/s）	6	8	6	8	6	8	6	6	7	8.4	7	8.4	7	7	7.5
曲轴转向（飞轮端）	逆时针	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左
起动方式	手摇或电	电起动	同　左	手　摇	电起动	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左	同　左
净重（kg）	210	340	450	215	400	620	700	670	870	870

2.4.5　柴油发电机组

当一个矿点有几台钻机施工，又无电力网供电时，可使用柴油机发电机组发电。钻探机场配备交流电动机，比各机场都用柴油机驱动要好，即使只有 1～2 台钻机施工，也可采用此种方式。

单机作业使用柴油机发电机组的优点是：

(1) 钻机和水泵都使用电动机，设备负荷高峰互相交错，能满足设备短时间过载的需要，动力使用合理。从动力机的过载能力看，电动机一般达额定转矩的 1.0～1.2 倍，而柴油机只有 0.1～0.2 倍，故在钻进或提升钻具过程中，电动机比柴油机更能适应外部负荷的

突然变化。

(2) 柴油发电机组的功率通常大于机场使用柴油机功率的总和，故小班油料消耗量增加，但钻探效率则有所提高，故单位进尺的油耗量仍有所降低。

(3) 钻探机场可安装电流表与电压表，随时掌握钻进的负荷变化，及时了解孔内情况，有利于提高钻进效率。

(4) 柴油发电机组运转平稳，不像在钻探机场的柴油机负荷变化频繁，要经常调节柴油机的泵油量（或转速），而且柴油发电机组的维护管理工作集中、单一、专业化，其事故率较少。

(5) 如设有供水泵站，可利用上下钻具时间开泵送水，节省一台柴油机。

(6) 便于机场使用电焊机、砂轮机、手电钻与电炉、电扇等各种电器设备，以及其他需用电源的仪器。

单机用柴油发电机组，有50GF1型柴油发电机组。它包括：4135D-3柴油机；T_2S-50-TH交流同步发电机；T_2S型可控硅励磁调节装置及底盘（胶轮）、控制箱、燃油箱、蓄电池、水箱等。其使用条件为海拔1000m以下，环境温度－5°～＋40℃。其主要技术规格如下：电源种类为三相交流；额定功率50kW；额定电压380/220V；额定电流90.2A；频率50Hz；额定转速1500r/min；功率因数0.8；调压方式为可控硅整流自励恒压；燃油箱容量90L；一次加油工作时间7h；机组外形尺寸（长×宽×高）2483×1056×2050mm；总重1700kg。

柴油发电机组要配备专人负责、严格按使用说明书规定操作、管理。

2.5 机窝和钻塔

2.5.1 机 窝

机窝，在矿山叫硐室，是坑道钻探施工的场所。机窝内要安装钻探设备，实施钻进的各工序，并保证工作安全和方便。由于坑道内空间受限制，并有可能钻进任意方向和角度的钻孔，因此地质工作者设计钻孔时，应在满足地质要求的前提下，力求为钻探施工创造方便有利的条件：如选择岩层完整、稳固及通风良好的中段；尽可能减少钻仰孔的工作量，将仰孔改为由上一中段向下钻孔或仰孔角度不大的钻孔；水平钻孔与坑道方向最好一致；充分利用暂时不用或废弃的坑道施工钻孔，以减少开掘机窝的工作量等。机窝规格，应根据设计钻孔的深度、方位和倾角以及使用的钻机外形尺寸，便于安全地操作等来确定。常用机窝规格见表2-9。

表2-9 机窝规格（m）

孔 深	钻孔角度	机窝规格				提升钻杆根数×长度
		高	顶 宽	底 宽	长	
0～100	0～±60°	2.2		2.2	4	1×1.5
	60～90°	2.4～3		2.2	3.5	1×1.5
100～300	60～90°	5～7	1.4×1.4	2.2×2.2	4～6	2×1.5 (3)
300以上	60～90°	8～12	1.4×1.4	2.6×2.6	12	2×3 (4.5)

水平钻孔与坑道方向一致时，拉送钻具工作可利用原有坑道长方向，只需适当将原坑道扩帮刷顶即可。钻进向下垂直或倾斜的钻孔时，为使升降钻具方便及安装顶部滑车装置有前后左右移动的余地，机窝不能开成棱锥形空间，而应开凿成棱台形，顶部成拱形。

勘探急倾斜矿体，需要在平行矿体走向掘进的脉外平巷中，按某个角度钻进若干个孔；有时在一个机窝向不同方向或角度，钻进 2～5 个孔。此种机窝的底面积宽度为 2.8～6m，长度 L 可按下式计算（图 2-46）：

$$L=l_1+l+l_2,\ \text{m}$$

式中 l_1——前车长度，2～3m；

l——孔位至机窝中心距离，m；$l-A\cos\theta$

A——立根长＋1～2m；

θ——钻孔倾角；

l_2——后车附加长度，$l_2=\dfrac{h}{\tan\gamma}$，m；

h——机窝的计算高度，m；

γ——棱台后面倾角。

实际机窝尺寸应比计算尺寸略大些（图 2-46）。

钻孔深度为 300m 深时，需另开凿一个硐室放置管材与配件等。硐室宽度（坑道宽度除外）1～1.5m，长度 4～6m，高度 2.2～3m。与机窝边距离不小于 4m。冲洗液循环池，长 1.5m、深 1m，宽 1m，数量 1～2 个。

在稳定岩石内，只施工 1～2 个孔的机窝可不支护，壁面突出部分整平即可。钻进扇形孔的机窝，由于硐室暴露面积大，不论岩石坚固性如何，均应支护。不稳定岩石中的机窝必须支护好。

在不稳定岩石中向下钻孔，如钻机是利用升降机升降钻具，在机窝内还应安装钻塔，以保证升降工序的安全顺利进行。但若机窝的围岩很坚固时，可以不安钻塔而将天车梁及天车装在机窝的上部，如图 2-47 所示。天车梁两端要各插入岩壁 0.2～0.3m，并用水泥牢靠封固。为防止顶帮落石伤人和进行必要的高空作业，在天车下 2m 处要安设台板。

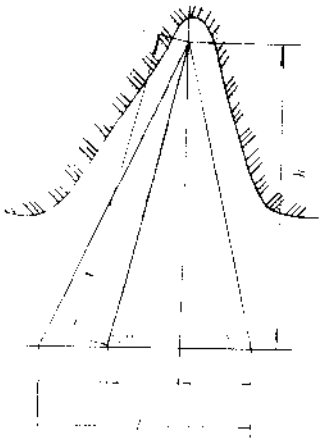


图 2-46　机窝长度计算简图

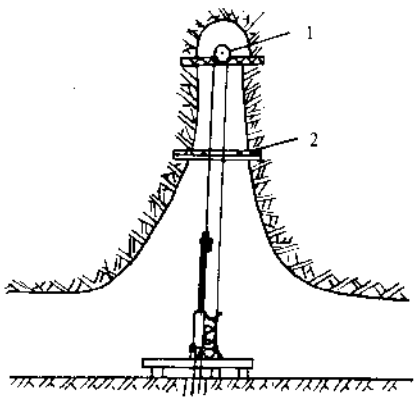


图 2-47　坑内向下钻孔的机窝

1—滑轮；2—台板

2.5.2 钻 塔

钻塔是地表钻探施工的主要设备之一。它在钻探生产过程中，用于安设天车、悬挂滑车系统（游动滑车、提引钩、提引器等），利用钻机的升降机升降钻具和套管。钻塔下部的场地是安装钻探机械设备、进行钻进操作的场所，同时钻杆立根由孔内提升出来后，也要全部立靠在钻塔内中间上部的横梁上。

钻塔对提高钻探工作效率、保证安全生产等有很大影响。

钻探工作对钻塔的基本要求是：

（1）钻塔要有足够的承载能力，即应有足够的强度、刚度和稳定性，以保证升降钻具和处理孔内事故时的需要；

（2）钻塔应有合理的高度和空间，上顶尺寸应满足天车安装和游动滑车运行的要求，底部尺寸要保证钻场设备的合理布置与工人的安全操作；

（3）钻塔应有合理的结构，尽量减轻自重、便于拆装运移和维修，尽可能采用水平安装整体起放等快速安全的方法，使钻塔轻便化；

（4）钻塔制造成本要低，钻进技术的发展（如绳索取心钻进），使钻进过程中起下钻作业的比重下降，采用轻便钻塔或桅杆代替笨重的四脚钻塔，可获得较好的经济效益。

钻塔的类型，按结构特点分为桅杆、两脚架、三脚架与四脚塔等：

（1）桅杆　呈单柱形，需用支腿（架）或再加设绷绳牵拉使整体稳定，高度较低的亦可自身稳定；有矩形管柱和小断面空间桁架结构等形式。桅杆在结构上多与钻机架或底座结合制成，不能和其他钻机配套使用。

（2）A 型钻塔（两脚架）　用钢管或小断面桁架结构制成，需用支腿或再加设绷绳稳定，具有结构简单、轻便、可整体立放、拆装速度快等特点。塔高有 6、11、16.5m 等，可用于钻进 100、300、600m 钻孔。A 型钻塔如图 2-48。

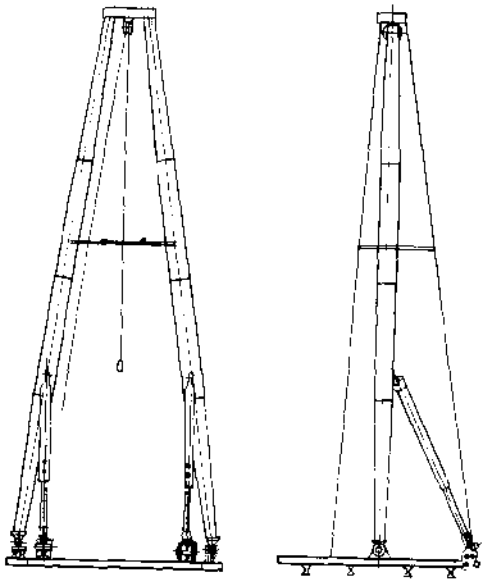


图 2-48　A 型钻塔

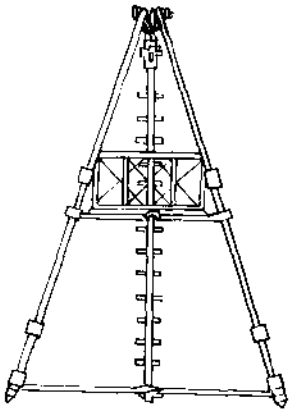


图 2-49　三脚钻塔

(3) 三脚钻塔　包括圆木三脚架、钢管或铝合金管材制的轻便三脚架。其结构简单，拆、迁、安装均简便。一般三脚架高度 9～12m，适用于 90°～70°的直、斜孔及孔深 300m 以内的钻孔。其结构示意见图 2-49。

(4) 四脚钻塔　横截面为正方形或矩形的空间桁架结构体。其承载能力大，稳定性好，绷绳只起保险作用。它有直塔与斜塔两类，分别用于钻进直孔与斜孔，材料多为角钢与钢管。四脚管制钻塔的结构如图 2-50，已形成系列产品，型号为 SG（直塔）和 SGX（斜塔）两类，共 5 个品种。它具有重量轻、寿命长和安装拆卸较方便等特点。

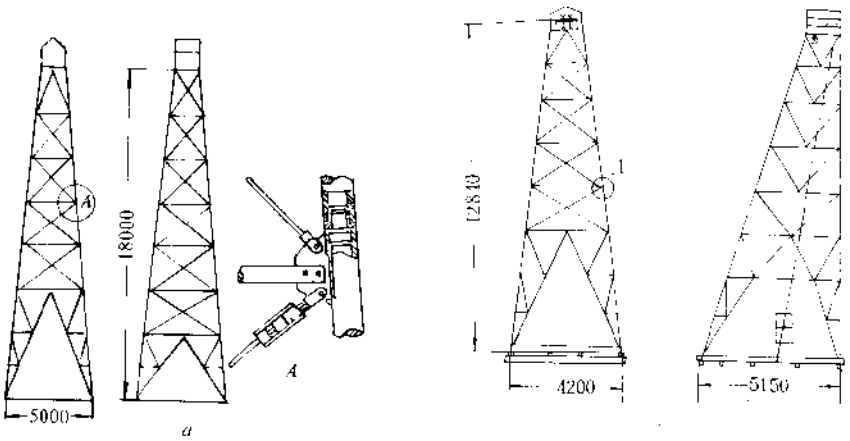


图 2-50　四脚钻塔

a　直塔；*b*　斜塔

四脚钻塔的技术规格，见表 2-10。其中 SGX13 型为直斜孔两用钻塔。

表 2-10　四脚钻塔技术规格

类　型	直　塔（钢管）			直　塔（角钢）			斜塔（钢管）		斜塔（角钢）	
型　号	SG18	SG23	SGZ23	12.5	17	22	SGX13	SGX17	12	16
高　度（m）	18	23	23	12.5	17	22	13	17	12	16
立根长度（m）	3×4.5	4×4.5	4×4.5	2×4.5	3×4.5	4×4.5	2×4.5	3×4.5	2×4.5	3×4.5
钻孔深度（m）	600～1000	1000	1500	350	650	1200	300	600	350	650
钻孔角度（°）	90	90	90	90	90	90	75～90	75～90	75～90	75～90
额定负荷（kN）	150	150	230	60	90	165	100	150	60	90
天车滑轮数（个）	4	4	4	2	3	4	2	3	2	3
塔顶尺寸（m）	1.2×1.2	1.2×1.2	1.2×1.2	1.4×1.4	1.5×1.5	1.6×1.6	1.2×1.3	1.2×1.22	1.5×1.5	1.6×1.6
塔底尺寸（m）	4.5×4.5	5.5×5.5	5.5×5.5	4.5×4.5	5×5	5.5×5.5	4.2×5.15	4.5×6.4	4.5×7.6	5×9.2
钻塔自重（kg）	2500	3500	4100	3000	4500	5900	2460	3000	3700	4700
底座自重（kg）	1300	1800	2000				1250	1600		

2.6 钻探管材与升降工具

2.6.1 概 述

钻探用管材包括钻杆、主动钻杆、钻铤、岩心管、取粉管和套管以及它们之间连接用的接头（箍）。除套管用于保护孔壁之外，其它管材主要包括钻杆与岩心管及下端接的钻头统称钻具。其功用是将钻机的回转力矩与轴向力传给钻头，进行破岩钻进，同时又是向孔底输送冲洗液的通道，绳索取心钻进和水力反循环连续取心钻进时，又是提取岩心的通道。

钻具在孔内承受各种载荷而产生复杂的应力，包括有扭转、拉伸、压缩、弯曲和脉动、循环以及冲击振动等作用力，同时钻具外表面还经常与孔壁岩石摩擦而磨损。因此，要求钻探管材必须用强度大、耐磨性好的优质无缝钢管制成，并且采用科学的结构尺寸、精密的加工方法和先进的热处理工艺与表面处理，以保证其技术性能与质量适应钻探工作的需要。国家标准“金刚石岩心钻探用无缝钢管”（GB3423—82）规定的管材性能见表 2-11，但均需通过热处理达到表列指标。另外，作为参考值，管材的断面收缩率 ψ 不应小于 40%；冲击韧性 α_K 不应小于 39.23J/cm²。

表 2-11 金刚石岩心钻探用无缝钢管管材性能

钢 级	屈服强度 σ_s		抗拉强度 σ_b		伸长率 δ_5	备 注
	kgf/mm²	MPa	kgf/mm²	MPa	%	（适宜作的管材种类）
DZ-40	≥40	≥392	≥65	≥637	≥14	套管、岩心管（内管）
DZ-50	≥50	≥490	≥70	≥687	≥12	同上
DZ-55	≥55	≥539	≥75	≥736	≥12	钻杆、岩心管（外管）
DZ-60	≥60	≥588	≥78	≥765	≥12	同上
DZ-65	≥65	≥637	≥80	≥785	≥12	钻杆、绳索取心钻杆
DZ-75	≥75	≥736	≥85	≥834	≥10	钻杆、钻杆接头

钻探工作中使用的工具，除通用工具（如活搬手、螺丝刀、油壶、卡尺、丸丝钳、锤头等）外，有钻探专用的钻进工具（钻头、扩孔器等）、升降钻具的工器具和处理孔内事故的工具。钻头等钻进工具和处理事故的工具将在有关章节介绍，本节将只介绍升降钻具用的工器具。

2.6.2 钻 杆

钻杆是钻具组成中最多的一部分，钻杆连接成相当于孔深长度的钻杆柱。岩心钻探用钻杆都用无缝钢管制成。国外已开始推广使用轻合金钻杆，国内也在研制试验，它更适合较深孔和金刚石高转速钻进的需要。

钻杆结构及其连接方式（图 2-51），基本分两类：(1) 接头连接的内丝钻杆，其两端内壁有的有加厚，并车有高度较低的扁梯形螺纹；(2) 接箍连接的外丝钻杆，两端管壁有内、外加厚，并车有带锥度的三角螺纹。钻杆两端加厚的作用是减少钻杆丝扣部分承载能力的削弱。

为减少升降工序中拧卸钻杆的次数与时间，由 2～4 根钻杆连接成立根，一次升降一个立根，在钻孔过程中不再卸开。为便于拧卸，立根之间用两个一组的公母锁接头连接（图

2-51)，其外径与接箍相同。为了升降钻具时扭卸与挂提引器方便，公锁接头有一个方切口、母锁接头有两个方切口。公母锁接头间的连接螺纹锥度大、螺距大，扭卸省力又省时。

金刚石岩心钻探都用内丝钻杆，立根间也用公母锁接头，但其螺纹为扁梯形、无锥度。公锁接头还用于内丝钻杆间的连接（图 2-51 左）。

坑道内钻孔，一般深度不大，工作空间受限制，升降（拉送）钻具常是单根钻杆，有的较细规格钻杆长度也短（1.5m）。

普通钻杆与金刚石岩心钻探用钻杆及其连接的规格见表 2-12 与 13。

钻杆是钻具中最长的部分，由于钻孔直径及孔壁条件的限制，其工作条件极其恶劣，承受的载荷复杂多变，所以钻杆最易受到伤害而损坏。据统计，因钻杆折断、弯曲或漏水而引起的孔内事故，占孔内事故总数的 80%左右。所以，提高钻杆质量，改善钻杆的工作条件，合理地使用钻杆，延长其寿命，一直是钻探工程技术的重要研究课题。为防止因钻杆发生孔内事故、提高钻进效率，合理使用、维护好钻杆，必须做到：

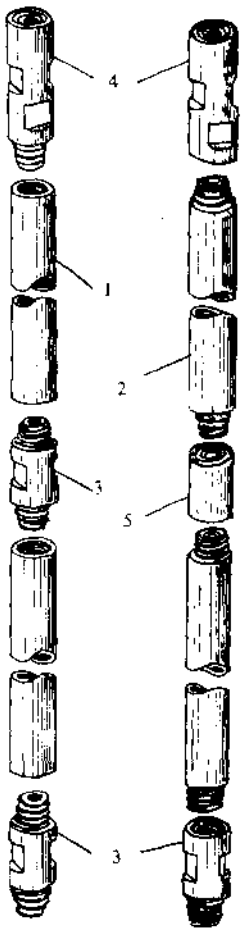


图 2-51 钻杆与立根的连接方式
1—内丝钻杆；2—外丝钻杆；3—公锁接头；4—母锁接头；5—接箍

（1）根据孔径与孔深正确选配钻杆，钻杆外环状间隙宜小。钻孔径较大时应限制钻进压力，使用橡胶保护箍，以减少钻杆弯曲与磨损；

（2）孔径大的深孔钻进，应配用钻铤（加重钻杆）施加钻压，使钻杆在张力下工作，并注意操作中不得将全部钻杆重量压到孔底钻头上；

（3）经常检查钻杆弯曲度，可用 1m 长的直尺检查任意一段钻杆，每 m 弯曲挠度超过 0.75mm 的钻杆不准下入孔内，以免引起钻杆振动，影响钻头寿命与钻进效率。弯曲钻杆应用矫直机矫直后使用，禁用大锤敲打；

（4）钻杆与接头的丝扣根部强度最薄弱，应经常检查有无裂纹与漏水，不得用拧管机强拧歪斜的钻杆，要涂丝扣油以免严重磨损、漏失冲洗液，避免冲洗不良造成岩心堵塞而影响钻进效率，甚至烧钻；

（5）要经常检查钻杆及接箍的磨损情况，外径磨损超过 2mm（普通钻杆）或 1.5mm（金刚石岩心钻探钻杆）的不得继续使用，磨损超过 1mm 的不得用于深孔钻进。钻进中应使用具有润滑减阻作用的冲洗液；

（6）钻机场内立根台应垫木板，以保护丝扣。按立根长度设置合适的立根靠架与中间支撑，防止钻杆弯曲。机前设置起拉或放平钻杆的滑道，以防止钻杆端部丝扣磕碰损坏或堵塞泥砂；

（7）搬运钻杆时，必须在螺纹处涂丝扣油、套上护丝套（箍），装卸时不得随意抛掷，

以免损伤丝扣与摔弯钻杆。存放时要用枕木架放平整，钻杆外涂废机油防锈，绳索取心钻杆要用专门包装运输。

表 2-12　普通钻杆及其连接的主要规格〔YB235-70〕（mm）

加厚方式	钻杆					接箍			锁接头					
	外径	内径	定尺长	每米重量 kg/m	附加重量 kg/根	外径	长度	重量 kg/个	外径	内径	切口宽	公锁接头长	母锁接头长	连接后全长
无加厚	33.5	23		3.72					34	13				
内加厚	42	32	3000 4500	4.56	0.65	57	130	1.4	57	22	40	165	230	355
	50	39		6.04	0.96	65	140	1.7	65	28	45	190	255	395
	60	48	4500 6000	7.99	1.44	75	140	2.04	75	38	50	215	290	445
外加厚	60	48		7.99	1.5	86	140	2.7	86	44.5	50	241	310	451
	73	59	6000 8000	11.4	2.5	105	165	4.7	105					
	89	69		19.48	3.5	118	165	5.2	121	68	50	355	280	533

表 2-13　金刚石岩心钻探的钻杆规格〔GB3423—82〕（mm）

公称孔径	金刚石钻进用钻杆					绳索取心钻杆			
	钻杆			接头		钻杆		接头	
	外径	内径	定尺长	外径	内径	外径	内径	外径	内径
28	25	17	1500 3000						
36	33	23							
46	43	31		44	16	43.5	34	44	33
59	54	42	3000 6000	55	22	55.5	46	56.5	46
75	67	55		68	30	71	61	72	60
91	67	55		68	30	87	77	88	76

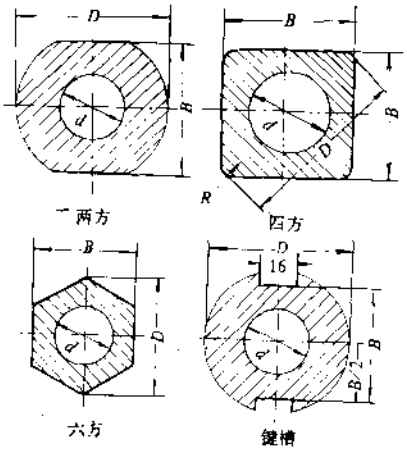


图 2-52　主动钻杆断面形状

2.6.3　主动钻杆与钻铤（加重钻杆）

主动钻杆是穿在钻机回转器内的专用钻杆。它由钻机立轴或动力头的卡盘夹持，或由转盘内非圆形卡套带动回转，向其下端连接的孔内钻杆传递回转力矩和轴向力。主动钻杆上端连接水接头，以便向孔内输送冲洗液。主动钻杆的断面尺寸大，便于卡盘夹持回转，不易弯曲；长度大、笔直，钻进时可一次连续给进一根钻杆，导向性好。主动钻杆使用 DZ-55 以上钢管制造。因其穿通于钻机回转器以上，又称机上钻杆。

主动钻杆的断面形状有两方、四方、六方和双键槽形（图 2-52），具体形状与尺寸取决于钻机回转器的通孔内径和卡盘（套）的内孔形状。主动钻杆的长度应比钻杆的定尺长度与回转器通孔长度之和略长些，常用的有 4.5、6m 等。

钻铤（加重钻杆）由厚壁无缝钢管制成。其单位长度重量大，钻进时连接在岩心管以上部位，对孔底形成钻压，而全部钻杆由钻机提吊着在拉伸状态下工作，增加了钻具转动的稳定性，减少钻杆和接头与孔壁的磨损，减轻钻杆弯曲对钻孔弯曲的影响。配备钻铤重量，一般按孔底所需钻压值再增加1/4～1/5计算。钻铤亦用锁接头连接。

2.6.4 岩心管

岩心管处在整套钻具的下部，其上端用异径接头与钻杆连接（深孔钻进使用钻铤时上接钻铤），下端连接钻头。其功用除传递转矩与轴向力给钻头外，主要是容纳岩心和导正钻孔。双层岩心管还有保护岩心的作用。

岩心管在钻进中，内外管壁受孔壁、岩粉、岩心的强烈磨损，特别是螺纹处的管壁薄、强度弱，在较大载荷下可能变形、断裂，而导致钻头或岩心管脱扣掉落孔底的事故。所以，每次下钻具前都要检查，特别是螺纹连接处，如有严重磨损、变形、裂纹等现象应立即更换。严禁使用弯曲、椭圆、厚薄不匀的岩心管，不得用大锤敲击岩心管，特别是螺纹部分。岩心管的使用维护要求，与钻杆基本相同。

岩心管的规格见表2-14，均用无缝钢管制成，使用钢级与钻杆基本相同。其两端内壁为4mm一扣的扁梯形螺纹。如需使用长岩心管，可用两端车有外螺纹的接头连接，其外径与岩心管相同或稍大，接头内径则小于岩心管。

金刚石钻进的孔径小、岩心细，常用双层岩心管，其外管与内管的直径、壁厚等均另有规定（表2-15）。

钢粒钻进时所用钻头壁较厚，所以允许所用岩心管壁亦较厚，厚壁岩心管规格见表2-16。

表2-14 岩心管（套管）规格（mm）

外径	壁厚	每米重量（kg/m）	螺纹长度		单根长度
			岩心管	套管	
34	3.5	2.63	40	60	3000～6000
44		3.5			
57	3.75	4.92			
73		6.4			
89	4	8.38			
108		10.87			
127	4.5	13.39			
146		15.70			
168	6	23.90			
219	8	41.63			

注：套管规格除螺纹长度外，与岩心管相同。

岩心管与钻杆的连接用异径接头或取粉管接头，其外径比岩心管大1～3mm，以便减少岩心管丝扣处的磨损，并导正钻进、防止钻孔弯曲。为保护其外径，可镶焊硬质合金提高抗磨性（参看图2-53）。

2.6.5 套 管

套管是下入钻孔内保护孔壁、防止孔壁坍塌或隔离涌水层与漏水层的钻探管材，其规格尺寸除螺纹较长外，其余与岩心管相同。

开孔下的第一套套管叫孔口管，其作用是保持孔口外周地层稳定、将冲洗液导回循环槽水箱和导正钻孔方向。孔口管要方向正、下端要密封稳固。

根据地层情况，套管可下多层，每下一层后钻孔径将缩小一级。

套管在孔内承受着较大的载荷，有纵向拉伸力、压力、横向挤压力、弯曲钻孔的弯曲力、钻杆回转的摩擦力和敲打振动力等。后者可能使套管丝扣松动以致脱开，故套管连接螺纹较岩心管长。套管连接后内外表面平滑，便于向孔内下放与起拔，也便于钻具在套管内升降作业。

表 2-15　金刚石钻探用岩心管与套管规格（mm）

钻孔公称系列		岩心外管			岩心内管			套管		
		外径	内径	壁厚	外径	内径	壁厚	外径	内径	壁厚
普通取心	28	27	22.5	2.25	20.5	18	1.25			
	36	35	29	3	26.5	23	1.75	45	38	3.5
	46	45	38	3.5	35	31	2	58	49	4.5
	59	58	51	3.5	47.5	43.5	2	73	63	5
	75	73	65.5	3.75	62	56.5	2.75	89	81 / 78.5	4 / 5.25
	91	89	81	4	77	70	3.5	108	99.5 / 97.5	4.25 / 5.25
绳索取心	46	45	36	4.5	31	27	2	58	49	4.5
	59	58	49	4.5	43	38	2.5	73	63	5
	75	73	63	5	56	51	2.5	89	81 / 78.5	4 / 5.25

表 2-16　钢粒钻进用厚壁岩心管规格（mm）

外径	壁厚	长度	每米重量（kg/m）
89	6.5	4500	13.22
108	6.75	6000	16.85
127	7.25		21.35

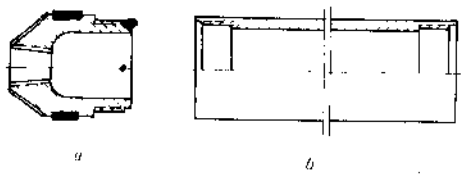


图 2-53　岩心管及异径接头

a—异径接头；*b*—岩心管

2.6.6　取粉管

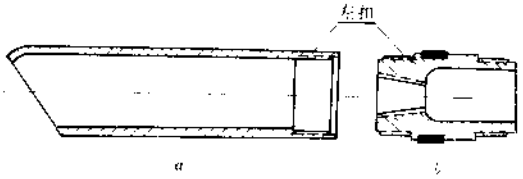


图 2-54　取粉管及其接头

a—取粉管；*b*—取粉管接头

取粉管又称沉淀管，接在岩心管之上，利用粗径钻具与钻杆外环状间隙的突然变大，使冲洗液上返流速降低来收集较重与较大的钻屑岩粉。主要用于不能泵送较大冲洗液量的钻进（钢粒钻进或孔壁严重漏水）。一般使用斜形或马蹄形上开口的取粉管（图

2-54a)，其下端以左螺纹与取粉管接头上端连接，以防回转中因孔壁摩擦而丝扣松脱。取粉管接头（图 2-54b）上中心孔的内螺纹连接钻杆，下端外螺纹连接岩心管。因取粉管只受孔壁的摩擦力与碰撞力，为节约无缝钢管，取粉管可用旧岩心管或旧套管改制而成。其长度一般为 1.5m 左右。

2.6.7 水接头

水接头接在机上钻杆上端，有弯管接头和水泵的高压送水胶管与之相连接。其功用是连通不能回转的送水管与转动的钻杆，使冲洗液经钻杆送入孔底。同时，可用提引钩或提引器吊挂水接头，以升降钻具或控制钻具的给进。水接头规格与所接钻杆规格相配套。

一般水接头在结构上包括不转动部分、旋转部分和密封部分。不转动与旋转两部分之间装有 2～3 盘滚动轴承，使其转动灵活，并承受提引器吊挂时钻具的全部重量。密封件采用耐油橡胶的密封环（圈）、皮碗或塞线，在水泵最大工作压力下不漏水，并要求持久耐磨、易调节。

常用水接头有三类：

(1) 小口径钻进用水接头（图 2-55）适用于小口径高转速与浅孔钻进，其结构简单、体积小、重量轻，密封性好，易加工、使用、维护方便。

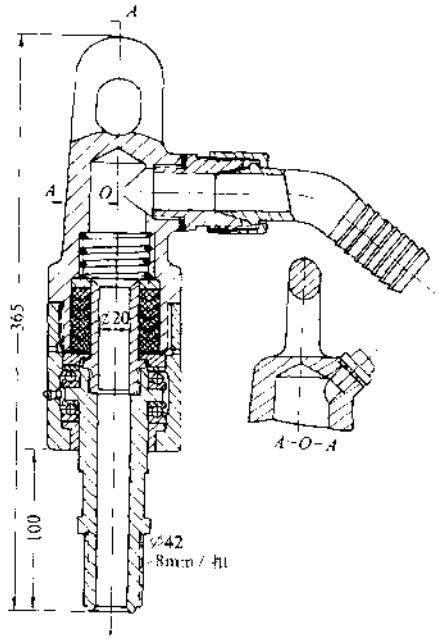


图 2-55 小口径钻进用水接头

(2) 轻便式水接头（图 2-56）适用于深孔的减压钻进，能直接挂提引器。其旋转部分能承受较大负荷，转动灵活可靠。装填塞线并调节密封，不需卸下水接头、使用、维护方便。

(3) 深孔用水接头（图 2-57）适用于中深孔至深孔（600～1000m）钻进，特点是结构较简单，工作灵活可靠，密封件的耐磨性与密封性能好，磨损后易调整更换。

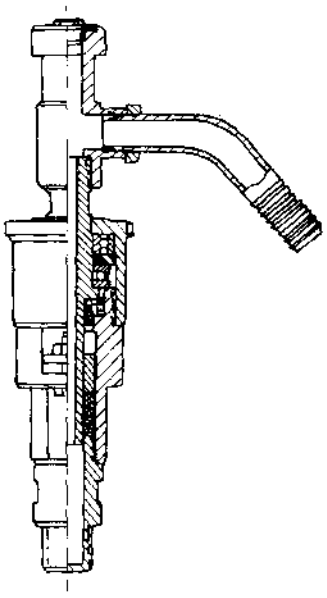


图 2-56　轻便式水接头

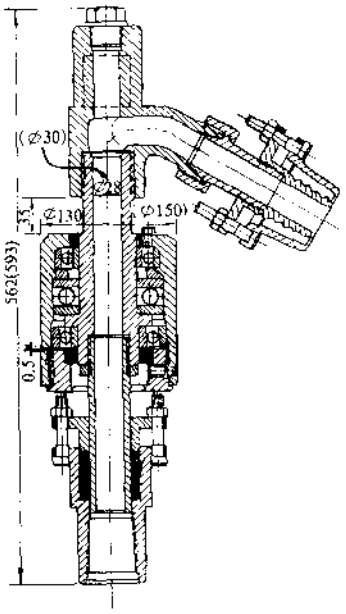


图 2-57　深孔钻进用水接头

2.6.8　升降工具

升降工具是升降钻具作业中使用的钻探专用工（器）具，主要包括：提引工具、拧卸工（器）具、夹持停放工具、扶摆立根工具及滑车、钢绳等。这些工具的配套完善程度，直接影响辅助工序时间的长短，是提高钻探生产效率的重要方面。对其要求是结构简单、操作方便、安全可靠。

2.6.8.1　提引工具

提引工具是升降机吊挂钻杆用的，常用的有（图 2-58）：

（1）提引钩（图 2-58a）亦称大钩，是直接连接在钢绳或游动滑车上，随升降机卷放钢绳而上下运动；

（2）提引梁（图 2-58b）用于吊挂水接头与机上钻杆；

（3）提引接头（图 2-58c）以其下端外螺纹接挂内丝钻杆，用于提引无切口卡槽的钻具，如绳索取心钻具；

（4）提引器（图 2-58d）吊挂有切口卡槽的钻杆接头或锁接头，使用时塔上需有人摘挂；

（5）半自动提引器（图 2-59）塔上无人摘挂的提引器，有两类：需用特制蘑菇头（拧接在立根上端的、升降钻具时专用的卡头）的提引器和不需用蘑菇头的提引器。前者有斜脱式（图 2-59*a*），后者有球卡式（亦称钟式，图 2-59*b*），用于带环形槽的锁接头钻杆的升降作业。另外，用于绳索取心钻杆的有球夹式提引器（图 2-59*c*），亦可用于无切口卡槽的钻杆。

2.6.8.2　拧卸工具

拧卸工具是升降钻具时拧卸钻杆丝扣用的，常用的有：

（1）拧管机　常用的是液压驱动拧管机，安置在孔口的兼有夹持停放钻具的功用；悬

吊式液压拧管机（钳）能拧卸绳索取心钻杆（无切口钻杆）。一般是利用液压钻机的油泵供给高压油，配备低速大扭矩的摆线液马达，经齿轮减速驱动转盘，带动上垫叉卡住锁接头切口来拧卸钻杆，由液压操纵阀控制反正旋转。另外有油缸推动棘爪棘轮，用以冲击卸开连接最紧的螺纹第一扣。NY-1 型液压拧管机的结构如图 2 60 示。

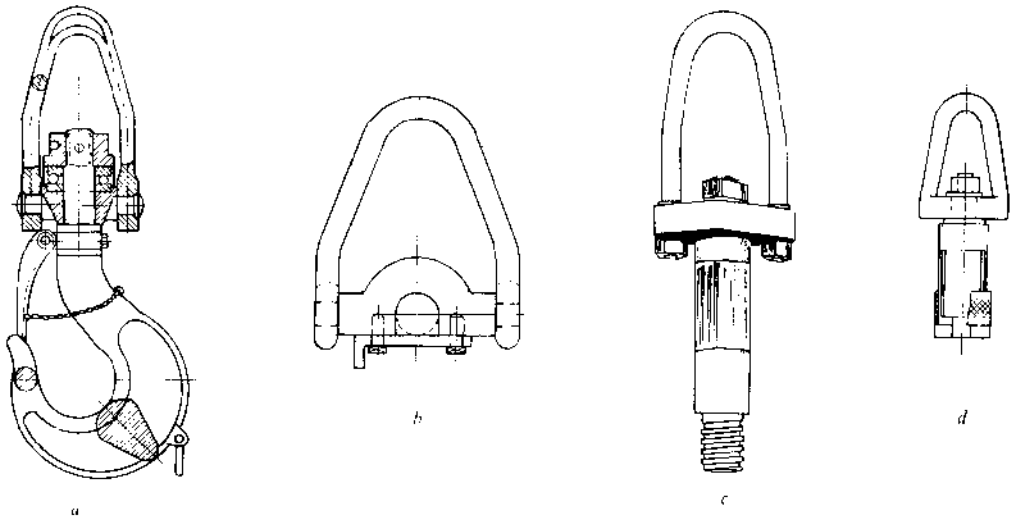


图 2 58　提引工具（手动）

a— 提引钩；b—提引梁；c—提引接头；d—提引器

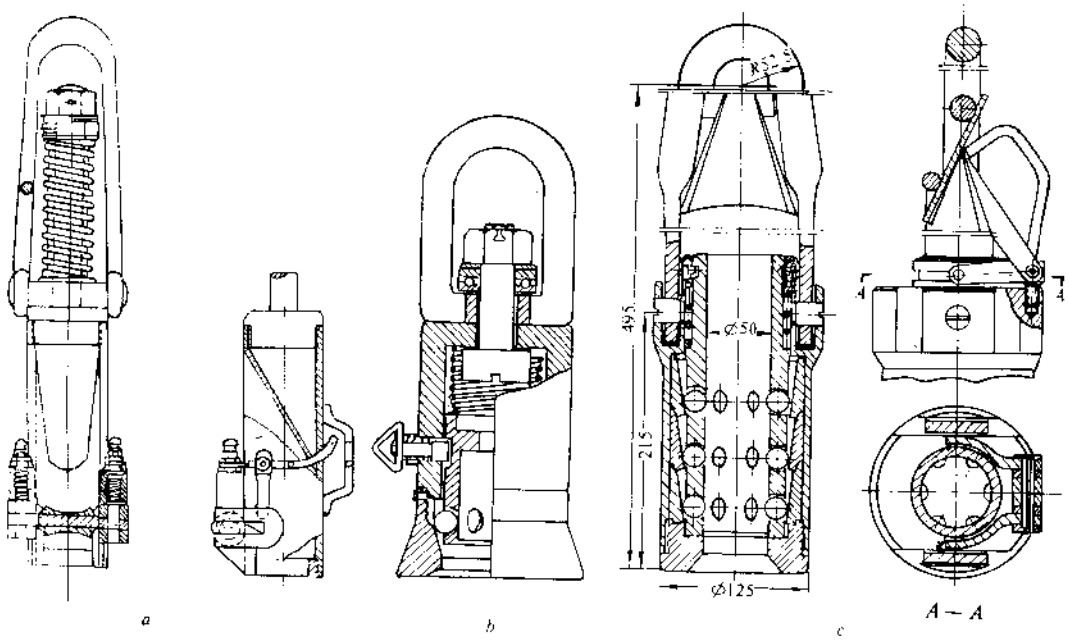


图 2-59　各种半自动提引器

a　斜脱式；b—球卡式（钟式）；c　球夹式

转盘式钻机的转盘可兼拧管用，动力头式钻机的动力头卡盘亦可拧卸钻杆，能灵活的变换反正转。

(2) 钳子　拧卸钻杆及粗径钻具用的钳子，有各种规格的自由钳、链钳和管钳等，如图 2-61*a*、*b*、*c* 所示。

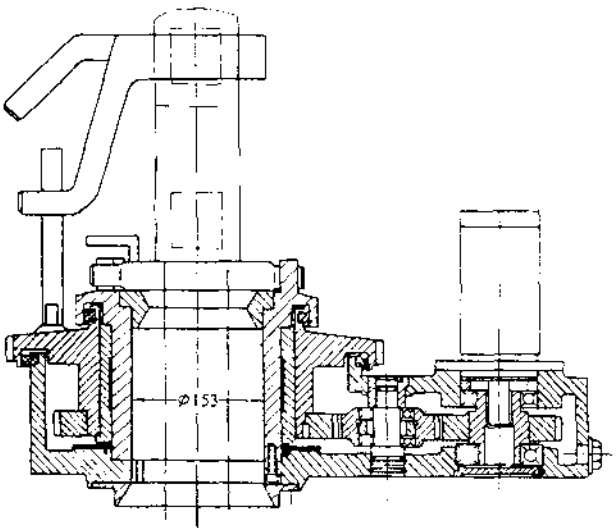


图 2-60　NY-1 型液压拧管机结构

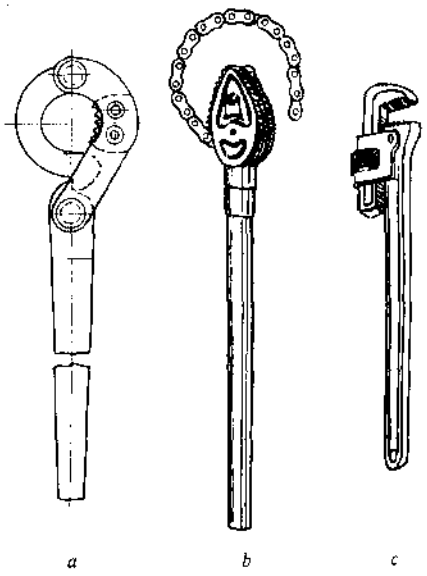


图 2-61　各种钳子

a—自由钳；*b*—链钳；*c*—管钳

2.6.8.3　夹持（停放）工具

夹持（停放）工具是将孔内钻具夹持停放在孔口，使其不能转动，并便于拧卸孔口以上的钻杆立根。所以它要承受钻具的全部重量和拧卸最紧丝扣时的反扭矩。要求夹持工具坚固、动作灵活、安全可靠。

夹持器工作原理，大都利用钻具重量，以楔面原理挤压钻具表面的磨擦力起夹持作用。垫叉则是利用切口卡槽停放钻具在孔口台上，并卡住钻具不转动。楔面原理有斜平面、内圆锥面、偏心轮（扇形）等形式。夹持件大多采用凹半圆状楔齿形卡瓦，亦有在圆锥孔内周设置多个短圆柱状卡块的。操作方式除垫叉类多用手动直接操作外，有油压式、脚踏式以及液压联动等方式。夹板是为防止套管在孔内下沉，用两个半圆形钢夹板与螺栓夹紧后座于孔口的。各种夹持工具如图 2-62。

2.6.8.4　扶摆工具

扶摆工具又称移扶摆工（器）具，包括：在孔口与立根台之间往返移动钻杆立根的移管（又称揣管），拧卸立根时扶持它不晃动的扶管，以及在立根台上将立根按顺序摆放整齐的摆管三种。它们的作用是为减轻工人的劳动强度、实现塔上无人操作，使移扶摆作业省力或半机械化以至机械化。例如，利用简单杠杆原理的揣管器、电液动机械手，旋转盘式钻杆台（T-4W 钻机用），液马达小卷扬移管器等。它们较适用于浅孔，即钻杆立根数不太多与不太长的情况下应用。

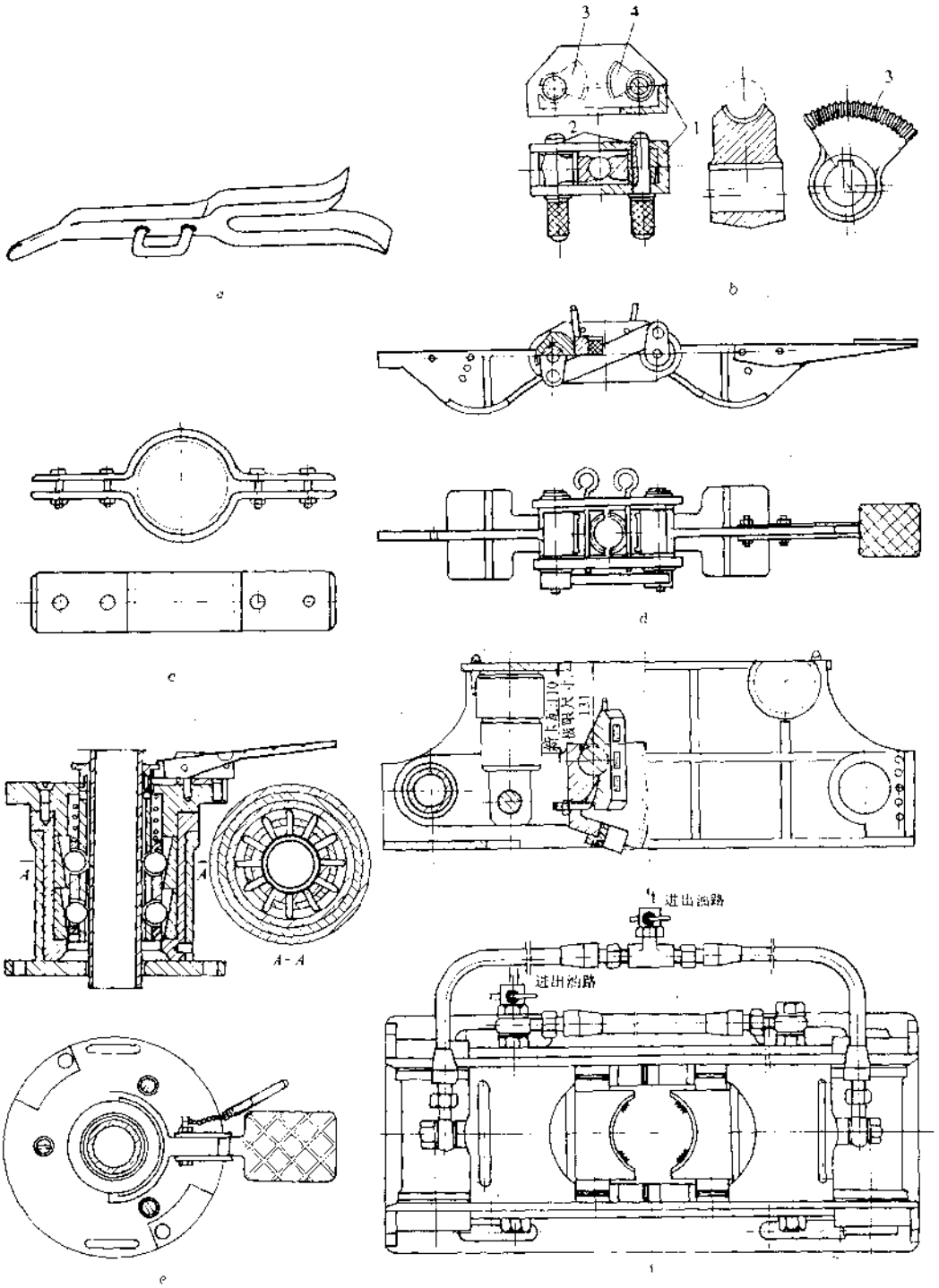


图 2-62　各种夹持工具

a—垫叉；*b*—扇形夹持器：1—底座；2—轴杆；3、4—扇形偏心楔齿形卡瓦；

c—夹板；*d*—脚踏式夹持器；*e*—球夹式夹持器；*f*—TK 型油压夹持器

2.6.8.5 滑车（轮）与钢丝绳

滑车又称滑轮，钻塔顶部按其最大起重能力配备天车，一般为2～4个滑轮。钻进过程中，根据钻孔深度可使用游动滑车。一般200m以内浅孔不用游动滑车，使用单绳（即升降机钢绳经天车直接连接提引钩），浅孔至中深孔用单轮游动滑车，中深至深孔用双轮游动滑车，这需根据钻机起重能力和钻进孔深与钻杆直径具体计算选用。一般使用游动滑车时，提引（大）钩载荷可达升降机起重能力的倍数，取决于工作钢绳数目（即俗称的几环绳），如表2-17。

表2-17 大钩载荷可达升降机起重能力的倍数

游动滑车滑轮数	工作钢绳数	倍数
单轮	2	1.85
	3	2.7
双轮	4	3.5
	5	4.25
三轮	6	4.9

钻探用钢丝绳，均为6股，每股19或37根同径钢丝捻成的D型钢丝绳。6股中心为浸润滑油的麻芯，其作用是润滑钢丝、均匀各股丝的负荷和防锈。各种钻机应配用之钢丝绳规格（直径）与长度，参见各该钻机的技术性能表。当钢丝绳内有多根钢丝发生破断时，不宜再继续使用，应及时更换。

复习思考题

1. 钻探设备的组成及其基本功用是什么？
2. 钻探设备（钻机）按用途或钻进方法分类，各有哪些类型？
3. 回转式钻机有哪些基本组成和分类？
4. 坑道岩心钻机的一般要求和特点有哪些？
5. YL-3型钻机的主要技术性能和特点有哪些？
6. 按图说明YL-3型钻机机械传动系统和主要部件的工作原理。
7. 按图说明YL-3型钻机液压系统的工作原理。
8. 按图说明钻石-100A-D型钻机主机的结构与工作原理。
9. 按图说明钻石-100A-D型钻机液压传动系统的工作原理。
10. 简述ZSK-50型钻机的特点、组成和主件结构原理。
11. 概述泥浆泵的功用、类型与基本要求。
12. 简述往复泵的结构特点与工作原理。
13. 简述钻探用动力机的类型与要求。
14. 如何选择钻探设备，要考虑、注意哪些问题？
15. 坑道钻探用机窝的一般要求有哪些？
16. 钻进用钻具的组成及其功用有哪些？
17. 升降钻具用工具的组成及其功用有哪些？

3 岩心钻进方法

3.1 概 述

岩心钻探的钻进方法很多，较常用的是硬质合金钻进和金刚石钻进以及钢粒钻进方法。在中等硬度以上岩石中应使用金刚石钻进，因为金刚石钻头的硬度最大、耐磨性强、工作寿命长。所以在固体矿产勘探的岩心钻进方法中，金刚石钻进的应用范围日益扩大。特别是人造金刚石聚晶及其复合片体的生产应用，使钻进工艺发生了很大的变革，能钻进所有的完整岩层。在坚硬岩石中为提高钻进的效率和钻孔的垂直度可使用带冲击器的回转钻进。在深孔钻进时，应采用绳索取心钻进。

在矿床详细勘探时，围岩中一般可不采取岩心，因此岩心钻进过程中需使用全面钻头。高强度高耐磨性的全面钻头，回次进尺可达数百米，从而明显提高钻进效率、降低钻探成本。

水力反循环连续取心新工艺，已逐步用于生产，使钻探效益与地质效果得到进一步提高。在矿山坑道钻进水平孔、倾斜孔时，反循环连续取心更具有突出的优越性，其机械钻速得到成倍的提高，其岩心和岩屑采取率达100%。由于地质效果得到保证，使用更小口径钻头以提高钻进效率、降低成本，就成为提高地质工作经济效益的重要技术措施，所以应积极推广此项新工艺。

在钻孔易弯曲的矿区和无法设计垂直孔的地区，已开始应用初级定向孔和分支孔钻进新技术。随着钻具与随钻测量技术的完善，该项新技术将得到推广。

随着金刚石钻进的普及和各种钻探新技术、新工艺及微型计算机的应用，钻探技术工艺是“经验和技巧的综合”这种传统观念正在被更新，钻探工程技术已开始进入科学钻进的新阶段。微机已开始用于钻探生产的数据采集和处理、优化施工技术设计、钻进参数或配方的优选以及管理工作的报表统计等方面，取得了可喜的进展。

3.2 岩石的物理力学性质与可钻性分级

钻探工程施工的直接工作对象是岩石。钻进就是用钻头破碎孔底岩石。目前钻探使用的破碎岩石方法均属机械破碎。机械破碎就是对岩石施加各种性质的机械载荷，使岩石的一小部分从整体分离。因此有必要了解与机械破碎有关的岩石物理与力学性质，研究影响破碎岩石的诸因素并找出规律，以便正确地选择钻进方法、钻头类型结构、钻进规程与操作工艺等，达到提高钻进效率，保证钻探质量，满足地质设计要求的效果。

3.2.1 岩石的物理性质

岩石是各种矿物组成的集合体。其矿物成分、颗粒大小、结构构造、胶结物质以及各种地质作用程度的影响，使岩石的物理性质有很大差别。

矿物的硬度、晶体结构、解理与劈理的发育程度与方向等，在一定条件下决定着岩石抵抗外力的能力。晶体的颗粒大小、形状与结构类型，胶结物的性质与结构类型，杂质含

量、结晶的不完整性和颗粒间胶结的不均匀性等，都影响岩石的物理力学性质。与机械破碎岩石的效果有关的主要物理性质是岩石的孔隙度、松散性、各向异性及与此相关的密度、透水性、稳定性等。

3.2.1.1 岩石的孔隙度

矿物颗粒之间的全部孔隙空间，不管其大小和形状如何都是岩石的孔隙，它使岩石的强度降低。当孔隙空间含水、渗水时，矿物颗粒间的联系力减小，岩石强度进一步降低，并导致硬度降低。

岩石孔隙的多少常用孔隙度表示。孔隙度用岩石中孔隙体积占岩石总体积的百分数表示。

表 3-1 岩石的孔隙度

岩石种类	孔隙度/%
花岗岩	1.2
石英岩	1.0
石灰岩	0.6～33
砂岩	8～33
粘土	6～35
砂	6～48

岩石的孔隙度与密度有关。岩石的密度取决于它的矿物成分、结构与构造，并随埋藏深度增加而增大，岩石孔隙度则随之减小。常见岩石孔隙度的变化范围很大，表 3-1 是一些典型岩石的孔隙度值。

3.2.1.2 岩石的透水性

岩石的孔隙有的互相连通，有的基本不通，孔隙连通的岩石易透水。岩石的透水性以单位时间内岩石单位面积上流过的水量表示。一般，岩石孔隙度越大，透水性越强，岩石的强度和稳定性则越低。孔隙度大的岩石水浸后其抗压强度可降低 25～45%，一般的也要降低 15～20%。在透水性强的岩石中钻进，常发生冲洗液漏失。某些小孔隙岩石，由于吸收一定水分后体积膨胀，使水不能通过，称之为不透水岩石。

3.2.1.3 岩石的松散性

指岩石结构的致密程度。岩石内颗粒之间存在有联结力（内聚力）和摩擦力。因而岩石具有不同的赋存状态与物理性质。如坚固性岩石的联结力明显地大于摩擦力，被破碎后虽经湿润与压缩，却不能恢复原状；塑性岩石的联结力与湿润程度有关，其联结力受破坏后若加以湿润与压缩，则其联结力可以部分或全部恢复。各种泥质类岩石都有不同程度的塑性；而松散性岩石则几乎没有联结力，当含水达 16～20%时则可具有一定的联结力，如砂、砾石等。岩石致密程度不同，对钻进、冲孔、护孔等都有不同的影响，因而需要采取相应的技术措施。

3.2.1.4 岩石的稳定性

指岩体内的自由面保持不变的性质，即钻孔孔壁保持不坍塌不掉块的性能。如稳定性好的岩石大多致密、坚固，孔壁稳定，无渗漏。而无胶结或胶结很差的松散破碎带、水敏性分散膨胀地层、水溶性与剥落地层及裂隙溶洞地层等均属稳定性差的岩层。需采取各种冲孔与护壁堵漏措施。

3.2.1.5 岩石的各向异性

由于岩石具有层理、片理、解理、裂隙等构造特性，多数岩石的性质是不均匀的，即各向异性。表现为岩石的力学性质在不同方向有很大的差异，因而对钻进效率、孔壁稳定、钻孔弯曲、岩心采取率与岩心质量等产生各种不同的影响。

3.2.2 岩石的力学性质

岩石在机械外力作用下表现的性质，称为岩石的力学性质。它取决于岩石的组成与结

构，并与施加外力的方式、条件等外部工艺因素有关。和钻进有关的岩石力学性质，有弹性、塑性、强度、硬度与研磨性。

3.2.2.1 弹 性

岩石受外力作用而产生变形，外力取消后又能恢复原来形状的性质称为弹性。一般岩石的弹性变形都不显著，绝大部分岩石在各向压缩作用下达到破坏以前，都或多或少有一些弹性变形。由于岩石组成与结构的复杂，其变形不可能完全恢复，但加载循环次数增加时，则残余变形降低而岩石的弹性升高。

岩石的弹性常用弹性模量来表征。弹性模量（E）是岩石受力方向上应力与应变呈现正比时的比例系数。结晶颗粒细、结构致密坚硬的岩石弹性模量大。

3.2.2.2 塑 性

岩石受外力作用而改变形状，外力取消后不能恢复原状，但不产生断裂的性质称为塑性。如粘土、泥灰岩、高岭土等塑性较大。塑性岩石虽较软，但钻进时易产生钻孔缩径、岩屑粘糊钻头切削刃、堵塞冲洗液循环通道与蹩高水泵压力等现象，也影响钻进。

地面上岩石的塑性很不明显，但处于各向压缩的地下岩石，却表现有明显的塑性。岩石内部颗粒间相对滑移能力越强，孔隙度和湿度越大，则岩石的塑性也越强。

物体在外力作用下不产生塑性变形突然碎裂的现象叫脆性破坏。该物体可称为脆性体或具有脆性。岩石接近于弹性脆性体。钻进脆性岩石时，采取岩心较困难，有时孔壁易坍塌掉块；脆性且硬度大的岩石对钻进也有影响（即所谓硬、脆、碎地层）。

3.2.2.3 强 度

岩石在各种外力作用下抵抗破坏或变形的能力，称为强度。外力作用的方式有拉伸、压缩、弯曲和剪切等。岩石的抗压强度最大，而抗剪、抗弯、抗拉的强度则依次减小。据试验，若以岩石的抗压强度为 1 时，其它强度与抗压强度的比值如表 3-2 所列。

表 3-2 岩石各种强度间的比例关系

岩 石	抗压强度	抗剪强度	抗弯强度	抗拉强度
花岗岩	1	0.09	0.08	0.02～0.04
砂 岩	1	0.1～0.12	0.06～0.20	0.02～0.05
石灰岩	1	0.15	0.08～0.10	0.04～0.10

从破碎岩石的观点看，最有利的加载或变形方式是拉伸，其次是弯曲和剪切。但目前一般机械破碎的钻进方法只能采用压碎与剪切方式破碎岩石。因此在设计钻头时，应尽量增加孔底岩石的自由面，使剪切破碎所占比重增加。阶梯状的出刃或底唇面的钻头较平底钻头钻进效率高的原因就在于此。

影响岩石强度的技术工艺因素，除上述加载变形方式外，还有：在周围受限制的复杂应力状态下，岩石抗压强度要增大很多倍；外载作用的速度大时，岩石的强度有所提高，而且塑性岩石要比脆性岩石显著得多，故塑性软岩或多孔隙岩石不宜用冲击方式钻进；冲洗液含有电解质和表面活性物质时，由于湿润与吸附作用浸入岩石的孔隙与细微裂隙，从而使岩石的强度降低。

岩石强度受自然因素影响，主要表现在：岩石的颗粒细、结构致密、胶结物质强度大

胶结力强，则岩石的强度大；岩石的埋藏深度大，受各向压力大，会减小岩石孔隙度而增加密度，强度也要增大；风化作用对岩石的强度有强烈影响，风化越烈，强度降低越多。

3.2.2.4 硬 度

岩石表面抵抗比他更硬物体压入的能力，称为硬度，也可称为抗压入强度。硬度与抗压强度有联系，一般影响强度的因素都影响硬度，但又有很大区别：硬度只是岩石表面的局部对另一物体压入的阻力，仅是压入点的局部破碎，而抗压强度则是岩石样品整体破坏时的阻力。岩石的压入硬度与单向抗压强度的比值为5～20。

实际钻进时，钻头切削具对孔底岩石的局部进行压碎压入，因此岩石的硬度指标接近于反映钻进破碎岩石的实况与难易程度。而有不少岩石的强度指标与破碎难易程度不成对应关系，所以对钻进工艺更有实际意义的是岩石的硬度指标。岩石越硬，钻进效率越低。钻探工作中通常将岩石按硬度分为四类，即软的、中硬的、硬的和坚硬的岩石。

影响岩石硬度的因素与影响强度的因素很相似。自然因素主要是组成岩石的矿物颗粒的大小、成分及胶结物特性。如燧石、石英岩、矽卡岩的硬度很大，就是因其矿物颗粒细小致密，硅质成分坚硬。又如同样由石英颗粒组成的砂岩，由于胶结物不同，硬度则有很大差别：粘土质胶结的较软；钙质胶结的稍硬；硅质胶结的砂岩更硬。但层理对硬度的影响则与对强度的影响相反。垂直层理方向的硬度值最小，而平行层理方向的硬度值最大。实际钻进中可发现钻孔向垂直层理方向偏斜的现象。

岩石硬度的测定方法很多。各种方法所依据的理论概念、测定仪器原理、工具以至所用量纲均有不同，因而不同方法所测得的硬度值之间可比性较差。地质野外工作普遍使用的矿物莫氏硬度只能划分10个等级，没有定量或指标含义。表3-3是标准矿物的各种硬度值。

表3-3 标准矿物的各种硬度值

矿物名称	莫氏硬度	显微硬度（MPa）			赫兹硬度（MPa）	压入硬度（MPa）	肖氏硬度
		洛氏	维氏	诺氏			
滑 石	1		25		49	49	59
石 膏	2	218	353	324	137	200	79
方解石	3	802	1079	1324	902	1147	324
萤 石	4	1471	1854	1599	1079	1569	363
磷灰石	5	2609	5256	3530～4835	2324	2363	392
长 石	6	4070	7796	4805～5492	2481	2873	775
石 英	7	5727	10983	6963～8846	3020	4737	843
黄 玉	8		14024	12258	5149	4923	873
刚 玉	9		20202	16671～21575	11278	6963	863
金刚石	10		98067	78453～83357			

3.2.2.5 研磨性

钻进过程中，钻头切削具或磨料要与岩石连续或间歇的接触而发生摩擦，钻头在钻进破碎岩石的同时，也受到岩石的摩擦而磨损、变钝，以至损坏。岩石磨损钻进工具的能力，

称为研磨性。

影响岩石研磨性的自然因素是组成岩石的矿物成分、颗粒大小、形状，特别是石英的含量以及胶结状态等。组成岩石的矿物颗粒越大、石英含量越多、胶结物与岩石颗粒的硬度相差越大，对岩石研磨性的影响越大。如砂岩、石英砂岩的研磨性较大，而大理岩、橄榄岩的研磨性则较小。

影响岩石研磨性的技术工艺因素主要是钻进技术参数、钻进工具硬度与冲洗液性质等。钻进工具与岩石的滑动摩擦系数随钻压与转速的增加而增大。但在良好的冷却与排粉条件下，钻进工具的相对磨损量则有所下降。钻进工具硬度与岩石硬度的比值不大时，工具会急剧磨损。硬质合金内的胶结物——钴会提前磨损而使碳化钨颗粒剥离脱落，因此对硬度高的岩石应选用含钴量低的硬质合金或金刚石类超硬材料做钻进工具。用含有表面活性剂或乳状液的冲洗液润滑钻进工具，可使动摩擦系数大大减小，工具磨损量大大降低，有利于提高钻头寿命，有利于提高钻进效率与回次进尺长度。

3.2.3 岩石的可钻性及其分级

岩石的可钻性是在一定的技术工艺条件下钻进岩石的难易程度，或者说是岩石抵抗钻进工具破碎的能力。它是钻进条件下岩石显示出来的综合性指标。岩石可钻性取决于许多因素，主要是岩石的物理力学性质与钻进技术工艺，包括钻进方法、钻头结构、钻进规程参数等。

岩石可钻性分级在实际钻探生产中非常重要，它是制订钻探生产定额，编制钻探生产计划的依据，是合理选择钻进方法、钻头结构与钻进规程参数的依据，也是客观评定钻探机台生产水平的依据。同时，在评价某项新的钻进技术、新的钻头设计等时，也需要在可钻性相同的地层进行试验，或充分估计可钻性不同的影响，才有可比性与科学性。

岩石可钻性的指标与分级依据，因钻孔目的、所用钻进方法与技术工艺的不同而不同。例如，地质勘探岩心钻进常用单位时间进尺（小时效率 m/h）来表示；矿山使用冲击碎岩方式，则采用单位体积破碎功或坚固性系数为指标等。可见，岩石可钻性分级是反映现时技术条件与工艺水平的，具有一定的时间性，每隔一定时期应进行修改。

目前，制订可钻性分级的做法是通过实际钻进实验。即在统一规定的设备工具和技术规范条件下，进行实钻标定，以纯钻进速度（m/h）作为分级指标；同时规定回次进尺作为辅助指标，以考虑岩石对钻头的磨损使钻速逐渐下降的影响。

目前我国供参考使用的是地质部于 1958 年颁布的“岩心钻探岩石可钻性 12 级分类表”，如表 3-4 所示（有删减）。当时以硬质合金和钢粒钻进的机械钻速作为分级指标，而现在的技术条件与工艺水平已有很大发展与提高，原分级表中的指标已失去意义，但对岩石的分级归类仍可作参考。

地质矿产部有关部门于 1984 年 2 月正式颁布了“金刚石岩心钻探岩石可钻性分级表（试行）”。该分级仍采用 12 级，是在室内测试的基础上参照统计资料，经分析、对比、数据处理，确立了目前以压入硬度为主，和摆球回弹次数、塑性系数、声波速度、微钻速度综合评定的定级方法。其中，以压入硬度、摆球硬度、统计效率为指标的分级表，如表 3-5 所列。

按分级表制订生产定额时，应注意表中“钻进时效指标”是根据平均先进水平按指数分布规律确定的。因此，具体应用时，需根据本矿区的设备现状、技术水平、地层特点、施

工方法、钻孔结构和钻进孔深等具体情况选择修正系数。

表 3-4　岩心钻探岩石可钻性 12 级分类表（1958）

岩石等级	岩石类别	代表性岩石	可钻性 (m/h)	回次长度 (m)
1	松软疏散的	次生土，壤土，硅藻土	7.50	2.80
2	较软疏散的	黄土，粘土，冰	4.00	2.40
3	软　的	风化变质的页岩，千枚岩，泥灰岩，褐煤，烟煤	2.45	2.00
4	较软的	页岩类，较致密泥灰岩，岩盐，火山凝灰岩	1.60	1.70
5	稍硬的	泥质板岩，细粒石灰岩，蛇纹岩，纯橄榄岩，无烟煤	1.15	1.50
6	中等硬度	微硅化石灰岩，千枚岩，石英云母片岩，辉长岩	0.82	1.30
7	中等硬度	硅质石灰岩，石英二长岩，含长石石英砂岩，角闪石斑岩，砂岩	0.57	1.10
8	硬　的	矽卡岩、千枚岩、微风化的花岗岩	0.38	0.85
9	硬　的	高硅化的石灰岩、粗粒的花岗岩、硅化凝灰岩	0.25	0.65
10	坚硬的	细粒花岗岩，花岗片麻岩、坚硬的石英伟晶岩	0.15	0.50
11	坚硬的	刚玉岩、石英岩、含铁矿碧玉岩	0.09	0.32
12	最坚硬的	未风化致密的石英岩、碧玉岩、燧石	0.045	0.16

3.3　硬质合金钻进

3.3.1　概　述

硬质合金钻进，是使镶焊硬质合金的钻头回转运动，在钻压作用下，钻头切削具压入并剪切破碎孔底岩石的一种回转钻进方法。硬质合金钻进有取心和不取心两种。在取心钻进时使用筒状（中空）钻头破碎环状孔底岩石，以便钻取岩心。

硬质合金钻进适用于钻进可钻性 1～6 级岩石及部分研磨性弱的 7、8 级岩石。其主要特点是钻头成本低、制作容易；钻进操作简单，规程参数允许变化范围较大，容易掌握；钻孔质量较好，孔壁与岩心较规整，钻孔偏斜较小；孔内事故率低等。所以硬质合金钻进一直是软的与中硬以下岩层中最主要的钻进方法。按钻进工作要求，主要的不足是钻头切削具易磨钝，使钻速很快下降，失去钻进能力。为此正在研制新的硬度更高更耐磨的超硬材料。

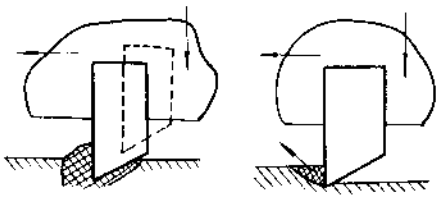


图 3-1　硬质合金钻进破碎岩石过程示意图

硬质合金切削具破碎岩石时，要同时克服岩石的抗压入阻力和抗剪切阻力。而岩石的抗压入阻力要比抗剪切阻力大得多，所以钻进时需要的钻压要比回转力大的多。只有每个切削具上的压力超过岩石的抗压入阻力，才能使切削具切入岩石一定的深度。此时回转力的作用是将切削具前的小三角形岩石剪切破碎成大小不同的碎粒与粉末（参看图 3-1）。这种破碎形式叫体积破碎，其效果好、钻速高。当钻压小，不能使切削具切入岩石时，切削具只能由接触面挤压的摩擦力形成对岩石的表面磨削，称为表面破碎，其钻速很低。当钻压接近抗

压入阻力时，切削具能在岩石的薄弱点形成裂纹和微裂隙，经多次作用使其扩张、增多，产生微小剪切破碎，称为疲劳破碎，它是前两者的过渡形式。

表 3-5　金刚石岩心钻探岩石可钻性分级表（试行）

岩石级别	岩石物理力学性质			钻进时效指标			代表性岩石举例
	压入硬度	摆球硬度		统计效率（m/h）			
	（×10MPa）	弹次	塑性系数	金刚石	硬合金	钢粒	
1～4	<100	<30	>0.37		>3.90		粉砂质泥岩、碳质页岩、粉砂岩、中粒砂岩、透闪岩、煌斑岩（以上均指4级岩石）
5	60～190	28～35	0.33～0.39	2.90～3.60	2.50		硅化粉砂岩、碳质硅页岩、滑石透闪岩、橄榄大理岩、白色大理岩、石英闪长玢岩、黑色片岩、透辉石大理岩、大理岩
6	175～275	34～42	0.29～0.35	2.30～3.10	2.00	1.50	黑色角闪斜长片麻岩、白云斜长片麻岩、石英白云石大理岩、黑云母大理岩、白云岩、蚀变角闪闪长岩、角闪变粒岩、角闪岩、黑云石英片岩、角岩、透辉石榴石矽卡岩、黑云白云石大理岩
7	260～360	40～48	0.27～0.32	1.90～2.60	1.40	1.35	白云斜长片麻岩、石英白云石大理岩、透辉石化闪长玢岩、混合岩化浅粒岩、黑云角闪斜长岩、透辉石岩、白云石大理岩、蚀变石英闪长玢岩、石英闪长玢岩、黑云母石英片岩
8	340～440	46～54	0.23～0.29	1.50～2.10	0.80	1.20	花岗岩、矽卡岩化闪长玢岩、石榴子矽卡岩、石英闪长斑岩、石英角闪岩、黑云母斜长角闪岩、混合伟晶岩、黑云母花岗岩、斜长闪长岩、斜长角闪岩、混合片麻岩、凝灰岩、混合浅粒岩
9	420～520	52～60	0.20～0.26	1.10～1.70		1.00	混合岩化浅粒岩、花岗岩、斜长角闪岩、混合闪长岩、斜长闪长岩、钾长伟晶岩、橄榄岩、斜长混合岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、似斑状花岗岩、斑状花岗闪长岩
10	500～610	59～68	0.17～0.24	0.80～1.20		0.75	硅化大理岩、矽卡岩、混合斜长片麻岩、钠长斑岩、钾长伟晶岩、斜长角闪岩、安山质熔岩、长英质混合岩化角闪岩、斜长岩、花岗岩、石英岩、硅质凝灰砂砾岩、英安质角砾熔岩
11	600～720	67～75	0.15～0.22	0.50～0.95		0.50	凝灰岩、熔凝灰岩、石英角岩、英安岩
12	>700	>70	<0.20	<0.60			石英角岩、玉髓、熔凝灰岩、纯石英岩

硬质合金钻进用钻具，由钻头、岩心管、异径接头与钻杆组成。前三者外径比钻杆外径粗，又称粗径钻具。孔内岩粉多时，亦可在岩心管上接取粉管。

3.3.2 硬质合金

在地质勘探和矿山工作中，采用的硬质合金主要是碳化钨（WC）—钴（Co）类。它是将碳化钨粉粒与钴粉混匀压制成形，在高温下烧结而成（称为粉末冶金法）。极硬的碳化钨做骨架，韧性的钴做粘结剂，使硬质合金具有很高的硬度和足够的抗弯强度以及一定的冲击韧性。在国家标准中此种硬质合金称为钨钴合金，代号为 YG，Y 代表硬质合金，G 代表钨钴类，地质钻探用的 YG 类硬质合金性能与特点见表 3-6。YG 后的数字表示钴（Co）的百分含量，其后附加字母“X”表示细颗粒，“C”表示粗颗粒合金。

表 3-6 钻探用 YG 类硬质合金性能

合金牌号	化学成分（%）（杂质不计）		物理机械性质			特性及用途
	碳化钨	钴	密度 (g/cm^3)	硬度 (HRA)	抗弯强度 (MPa)	
YG3X	97	3	15.0～15.3	92	1050	耐磨性最好，冲击韧性最差，常用于金属切削加工
YG4C	96	4	14.9～15.2	90	1400	属粗粒碳化钨合金，耐磨性高于 YG8，强度接近 YG8 合金。可用于地质勘探回转钻进，适于在均质和软硬互层地层中钻进。岩巷掘进回转电钻也可使用
YA6	91～93	6	14.4～15.0	92	1400	基本上是碳化钨-钴合金，加有少量 TaC 成分，提高了硬度
YG6	94	6	14.6～15.0	89.5	1400	用于地质勘探回转钻进，使用效果仅次于 YG4c 合金
YG6X	94	6	14.6～15.0	91	1350	属细粒碳化钨合金，其强度接近 YG6，耐磨性较 YG6 高
YG8	92	8	14.4～14.8	89	1500	硬度降低不多，强度较高，主要用于地质勘探和石油回转钻进
YG8C	92	8	14.4～14.8	88	1750	属粗粒碳化钨合金，抗冲击、抗振性能较高，常用于冲击回转钻进和石油回转钻进
YG11C	89	11	14.0～14.4	87	2000	耐磨性最差，冲击韧性最高，用于冲击回转凿岩
YG15	85	15	13.9～14.1	87	2000	同上

硬质合金的硬度可达洛氏硬度 HRA90 左右，按显微硬度相当于莫氏硬度 8 级（黄玉），按研磨硬度超过莫氏硬度 9 级（刚玉），在野外鉴定岩石做刻划试验时，应当作莫氏硬度 8 级使用。由表中可看出，随着硬质合金中含钴量的增加，密度和硬度下降，耐磨性减弱，而抗弯强度与冲击韧性则有所提高。含钴量相同时，碳化钨颗粒越细，硬质合金的硬度越大，耐磨性越好；而碳化钨颗粒粗的抗弯强度却有提高。

硬质合金内加入少量稀有元素的碳化物（如碳化钽 TaC、碳化铌 NbC）可使其硬度和抗弯强度都得到提高，表中 YA6 就是这类新品种的钨钴合金。

硬质合金还有良好的热硬性，在小于 900℃条件下硬度不降低，所以镶焊钻头时不应超过 900℃。硬质合金的导热系数与线膨胀系数均比钢、铜小，因此钻进中要保证正常冷却，防止过热。

钻探用硬质合金的形状与规格，已有定型产品，已列入冶金部标准与国家标准。详见表 3-7 与图 3-2（相互对照）。

表 3-7　钻探用硬质合金的型号与规格

型号	名称		尺寸，mm						重量，10^{-3}kg					相当原型号
			B	L	C	D	H	A	YG8	YG8C	YG11C	YG4C	YG6X	
S303	薄片状合金	矩形薄片	3	15	1.5				1.0	1.0				K411
S306			6	20	4				6.9	7.1				K413
S308			8	20	6				13.8	14				K414
S504		直角薄片	4	15	3.6				2.5		2.45			
S505			5	20	4				5.4		5.2			
S506			6	20	6				9.1		8.7			
S508			8	20	6				10.7		10.0			
S510			10	20	8				19.3		18.7			
T005			5	7	3				1.4	1.5				K511
T007			7.5	10	3				3.05	3.15				K512
T008			8.5	8	3				2.8	2.85				K513
T010			10	14	4				8	8.10				K515
T408		菱形薄片	8.5		3				2.8	2.85		2.9		K521
T412			12		4				8.6	8.70		8.8		K522
T105	楞柱状合金	八角柱				5	10		2.25			2.3		K531
T107						7	15		7.2			6.9		K533
T110						10	16		14.8			15.0		K534
T308		方柱	5	8					2.6			2.7		K571
T310			5	10					3.3			3.4		K572
T313			5	13					4.2			4.3		K573
T510		锥片柱	8				16	10		15.1	14.6			
T512			8				16	12		18.2	17.6			
T514			8				16	14		21.2	20.5			
T210	针状合金			10±1		1.8			0.4			0.6	0.5	K561
T215				15±1		1.8			0.5			0.7	0.6	K562
T220				20±1		2.0			0.7			0.9	0.8	

钻探用硬质合金的几何形状很多。几何形状不同、适用条件也不同。如各种薄片形的硬质合金适用于 1～4 级软岩或均质岩石；T_1 型八角柱状则适用于 4～8 级研磨性、裂隙性岩石；T_2 型针状属自磨式合金，没有刃尖角，磨损后自身断面积不增加，用于镶焊自磨式钻头，钻进研磨性较大的坚硬岩石；T_3 型用于冲击回转钻进；S_5 与 S_8 型多用于刮刀钻头（大口径全面钻进）。

3.3.3　硬质合金钻头的结构要素

硬质合金钻头，由一定数量的硬质合金切削具，按有利于钻进的各种形式排列分布在钻头体上构成。影响钻头结构形式的因素称为钻头的结构要素。它包括钻头体规格、硬质合金切削具的数目、出刃、排列形式、镶焊角度与钻头水口、水槽的形式、数量等。

3.3.3.1　硬质合金钻头体

又称空白钻头。它是切削具的支撑体，需将钻压与扭矩传递给各个切削具，并承受岩石给切削具的反作用力与振动。它还要长时间处于和孔壁摩擦与岩粉流的冲刷环境中。钻头体要求用地质钻探用无缝钢管（DZ—40）制成，其规格尺寸与标准见图 3-3 与表 3-8。

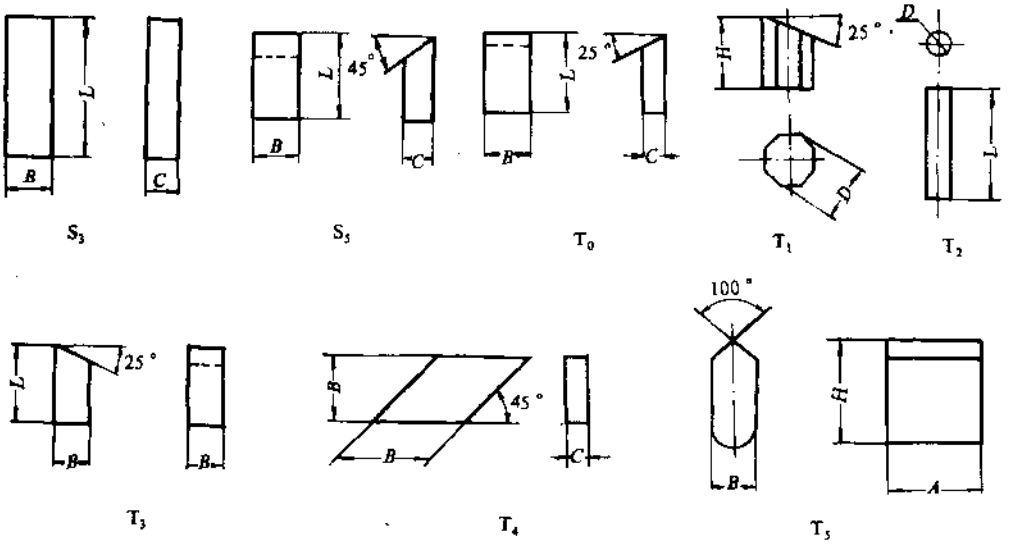


图 3-2　钻探用硬质合金的形状

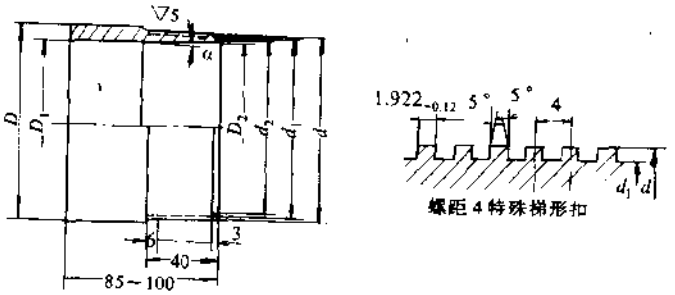


图 3-3　硬质合金钻头体

表 3-8　硬质合金钻头体规格（mm）

公称直径	D	D_1	D_2	d	d_1	d_2	α
46	45±0.17	31±0.17	$33.5^{+0.03}_{-0.10}$	$37.5^{+0.03}_{-0.10}$	36−0.12	35.5	3°25′
59	59−0.12	45+0.3	48+0.3	52−0.12	50.5−0.12	50	3°25′
75	75−0.12	61+0.3	64+0.3	68−0.12	66.5−0.12	66	3°25′
91	91−0.14	77+0.5	80+0.5	84−0.14	82.5−0.14	82	3°25′
110	110−0.14	96+0.5	99+0.5	103−0.14	101.5−0.14	101	3°25′
130	130−0.16	116+0.5	118+0.5	122−0.16	120.5−0.16	120	1°47′28″
150	150−0.16	135+0.5	137+0.5	141−0.16	139.5−0.16	139	1°47′28″

钻头体上部内圆有锥度，是为便于卡取岩心的；外圆有丝扣，是与岩心管连接用的。丝扣与钻头体外、内径应有良好的同心度，钻头端面与中心线应有良好的垂直度，符合加工精度要求，否则会直接影响钻进效率与岩心质量。

3.3.3.2 钻头体上硬质合金的数目

硬质合金在钻头体上的数目等于切削具的组数乘以每组切削具的个数。一般，切削具数目越多，同时处于钻进破碎岩石的点就多，钻头寿命较长。但切削具数目增至一定量之后，钻速反而下降。因为钻具承载能力有限，切削具过多使每个切削具上的钻压不足，只能对岩石形成表面破碎；切削具间距缩小，使岩石被剪切时受限制；岩粉排除不及时，造成重复破碎等，都使钻速下降。切削具数目也不宜少于4个，以保证钻头工作稳定，使钻孔截面呈规整的圆形。所以硬质合金数目，应依岩性、钻头直径、切削具形状与尺寸等来选择。对软岩石应选较少的切削具个数，对中硬—硬岩石及研磨性强、非均质的岩石，为保持一定的钻头寿命，宜选用较多的切削具数量。表3-9所列数目供参考。

表3-9 硬质合金钻头切削具参考数目表

岩石性质	钻头直径 D (mm)						
	46	59	75	91	110	130	150
	切削具数目						
研磨性岩石	4	4～6	6～8	8～10	10～12	12～14	14～16
弱研磨性岩石	4	4	4～6	6～8	8～10	10～12	12～14

注：若用针状合金时，应多于表中数目。

3.3.3.3 切削具出刃

切削具出刃是镶焊钻头时，使硬质合金由钻头体底唇面与内、外侧突出一定的高度。它包括底出刃和内、外出刃。

内、外出刃的作用是保证钻头体与岩心、孔壁之间留有一定的环状间隙，以避免相互直接摩擦，并为循环冲洗液提供通道。底出刃的作用是保证切削具顺利切入岩石、冷却切削具，并作为及时排除岩粉所需冲洗液的流通。底出刃是钻头破碎岩石的主要部分，由于一组切削具中各个底出刃可有不同尺寸，使孔底形成不同的阶梯断面，因而可增加破碎岩石的自由面，降低破碎岩石的阻力，提高钻进效率。

出刃的大小，主要根据岩石性质确定。对于松软、塑性大、遇水膨胀的岩石，出刃应大些。为防止因钻孔缩径、钻头泥包和岩心膨胀而憋水（泵压升高），可采用肋骨式钻头以增大环状间隙。对于中等硬度、研磨性强的多裂隙岩石，出刃应小，以减少切削具的回转阻力与弯曲力矩，防止切削具崩刃。硬质合金钻头切削具的内、外、底出刃可参考表3-10所列数值。

表3-10 硬质合金钻头切削具出刃（mm）

岩石性质	内出刃	外出刃	底出刃
松软、塑性、粘性、弱研磨性	2～2.5	2.5～3	3～5
中硬、强研磨性	1～1.5	1.5～2	2～3

3.3.3.4　切削具在钻头体端面上的排列形式

切削具在钻头体端面上的排列形式应对称，以保证钻头回转工作平稳，使每个切削具受力尽可能均匀，磨损均匀，每组的各切削具都能分别破碎一部分孔底岩石。实际生产中，为适应不同岩层钻进的需要，切削具在钻头上的排列形式是很多的。大体分三种：单环排列、多环排列（包括双环、三环、四环）和密集式排列。主要根据岩石性质和硬质合金切削具的形状与尺寸来确定具体的排列形式。

单环排列如图 3-4*a* 所示。其硬质合金在钻头体端面上均匀分布，每个切削具（或两个并列）的宽度即是环状孔底的环宽，一般在钻进软岩采用薄片状合金时，用这种排列形式。

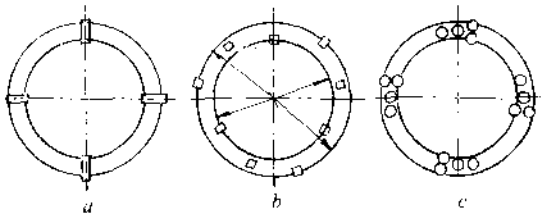


图 3-4　切削具排列形式

a— 单环排列；*b*—多环排列；*c*— 密集排列

多环排列如图 3-4*b* 所示。由几个切削具组成一组共同破碎整个环宽，其中每个切削具只破碎环宽的一部分，这样就能在破碎岩石时形成几个自由面，减少每个切削具的负荷，提高钻进效率。在中硬岩层采用柱状合金时，常用这种排列形式。

密集排列如图 3-4*c* 所示。其钻头上的切削具密集组成几个组，每个组的切削具共同破碎整个环宽，以便相互支撑和补强，减少可能的崩刃。它适用于钻进强研磨性、硬的、不均质的裂隙性岩层。

3.3.3.5　钻头体上切削具镶焊的角度

切削具镶焊角度如图 3-5*a* 所示，包括刃尖角 β、前角 φ、后角 θ 和镶焊角 α（亦称切削角）。

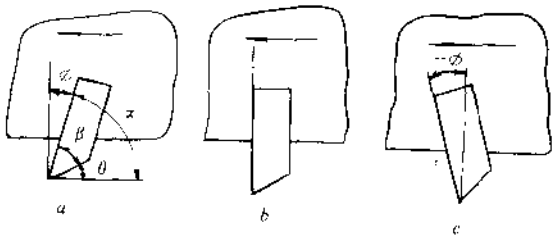


图 3-5　在钻头上切削具的角度关系

a—正前角斜镶；*b*—直镶；*c*— 负前角斜镶

刃尖角 β 是切削具前后刃面之夹角，是硬质合金镶焊到钻头体上，由人工磨锐而成。刃尖角越小，越有利于切入岩石，但也越容易磨损和崩刃。其大小依所钻岩石性质而定。

前角 φ 是切削具前刃面与钻头中心角的夹角。前角越大，越有利于排除岩粉。后角 θ 是

切削具后刃面与孔底平面的夹角。后角越大，切削具与岩石的摩擦越小。但后角过大，则刃尖角要变小，切削具强度和耐磨程度会降低。由图可知：$\varphi+\beta+\theta=90°$，$\beta+\theta=\alpha$。

α角是切削具在钻头体上的镶焊角，又叫切削角。它有三种镶焊形式：正前角斜镶、直镶、负前角斜镶（图 3-5a、b、c）。

正前角斜镶时，一般 $\varphi=5\sim25°$。此种镶法有利于排粉，切削岩石阻力较小，但切入岩石所需钻压大，不适于钻进硬岩。

负前角斜镶时，一般 $\varphi=10\sim15°$。此种镶法主要用于中硬以上的非均质、强研磨性、有裂隙的岩层中。这类岩石所需钻压大，单位时间内产生的岩粉量少，而负斜镶切削具切入岩石阻力较小，切削具的抗弯、抗折断能力较强，磨钝后面积变化小，可提高钻头工作寿命。

直镶法是最常用的一种镶法，加工制造较方便，适宜于钻进软的与中硬的岩层。

不同岩石中钻进所用的镶焊角与刃尖角可参考表 3-11。

表 3-11　切削具的镶焊角与刃尖角

岩　　性	级　　别	镶 焊 角 α	刃 尖 角 β	镶 焊 方 式
均　质　的	1～3	65～75	45～50	正斜
	4～6	80～90	60～65	正斜～直
	7～8	90～100	70～80	直～负斜
非均质、有裂隙的	3～6	90	65～75	直
	7～8	90～105	75～90	直～负斜

3.3.3.6　钻头的水口与水槽

钻头体上的水口和水槽主要是使冲洗液畅通，保证冷却钻头切削具和排除岩粉。水口形状有三角形、半圆形、矩形、梯形等，效果最好的是斜三角弧形，如图 3-6 所示。它使冲洗液流经切削具前缘，排粉冷却及时，又对镶焊硬质合金部位的强度削弱的较少。



图 3-6　硬质合金钻头的水口与水槽

水口的数目应等于钻头体上切削具的数目或组数。水口的过流总面积应等于或稍大于钻头与孔壁或岩心之间的环状面积。但过大则会使流速太低，对排粉与冷却切削具不利。一般水口高度为 10mm，在松软、膨胀缩径、颗粒粗大的地层钻进，水口应开大些。水口位置应尽量靠近切削具前沿，使冲洗液流中心靠近切削具前缘面。

水槽开在钻头体壁上，因内壁加工困难，大多只在外壁上开槽，目的是弥补钻头外环状间隙因切削具外出刃小而造成返水断面积的不足。水槽下端应与水口上端相通，水槽可平行钻头中心线开成直槽，也可沿回转方向开右螺旋状斜水槽，后者对水路畅通、及时排粉更有好处。水槽倾斜角度为 60～80°，一般槽深为 1.5～2mm，槽宽为 5～10mm。

3.3.4　硬质合金钻头类型

在生产实践中设计、使用的硬质合金钻头，类型很多，每种钻头都有各自的结构特点与适用地层条件。但归纳起来可分为两大类：一类是取心钻头，呈环状，用于岩心钻进；另

一类是不取心钻头或称全面钻进用硬质合金钻头。取心式钻头又分为磨锐式与自磨式两种钻头。

磨锐式钻头在切削刃磨钝后，可用砂轮机修磨后角刃面，恢复刃尖角，以利切入岩石。修磨时要注意使各组相应的切削具底出刃相同。

自磨式钻头是采用针状或很薄的片状硬质合金作切削具，因其断面小，磨损后与岩石接触面积不增加、不需修磨。但结构上需用铁铜合金（铁粉 70%，铜粉 30%）制成胎块将硬质合金包裹起来，以免折断崩刃。钻进时胎块比硬质合金磨损快，始终能使切削具比胎块高出一些。

反映在钻速上，磨锐式钻头初始高，随切削具磨钝逐渐下降；而自磨式钻头的钻速虽初始不高，但基本平稳不变，可延长回次进尺，能在中硬与较硬的非均质和强研磨性岩层的较深钻孔中提高回次钻进效率。

下面简要介绍几种有代表性的硬质合金钻头。

3.3.4.1　普通硬质合金钻头

如图 3-7 所示，普通硬质合金钻头是用方柱状或小八角柱状硬质合金呈内外双环排列均匀分布在钻头体上，内外切削具的底出刃相差 0.5mm，以形成孔底小阶梯，可正斜镶（前角 15°）或直镶。此种钻头广泛适用于 3～5 级岩石，如均质石灰岩、大理岩、较疏松的砂岩及页岩等。若用 10mm 厚壁钻头镶焊上大八角柱状合金（内外双环均布）可钻进 5～7 级的不均质岩层，如软硬变化含夹层的灰岩、硅化灰岩与凝灰岩等。

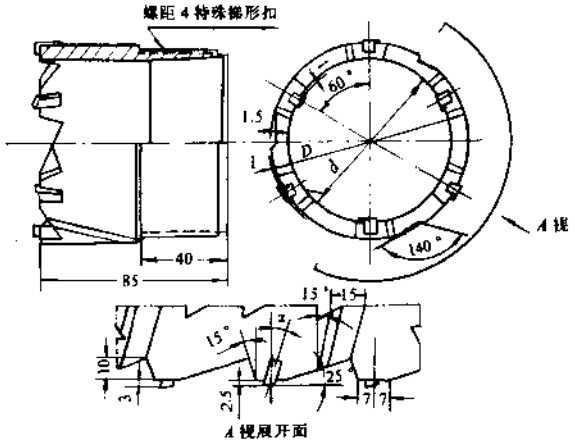


图 3-7　普通硬质合金钻头

3.3.4.2　单双粒硬质合金钻头

单双粒硬质合金钻头，如图 3-8 所示，用小八角柱状合金呈三环排列，正斜镶在钻头体上：单粒在中环，底出刃大，起掏槽作用；双粒在内外环，并列在一起，有内外出刃，底出刃小，形成高差为 1mm 的双台阶，起扩槽保径作用。适用于 4～5 级及部分 6 级研磨性岩石，如铁质、钙质砂岩，煤田软硬互层等。将单粒与双粒切削具靠拢，三个切削具密集呈品字，可增强掏槽刃强度。亦可单粒直镶、双粒用方柱状合金正斜镶（称混合镶），适于钻进 4～6 级中硬岩层，如石灰岩、大理岩等。

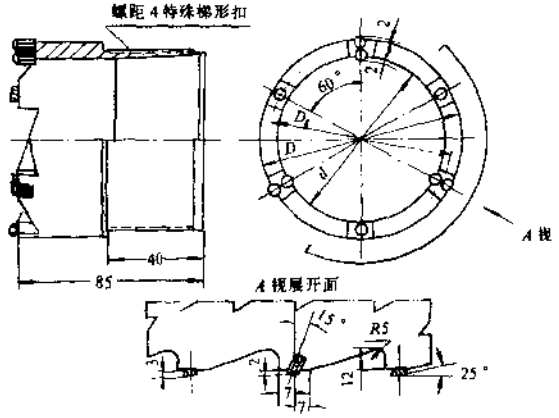


图 3-8　单双粒硬质合金钻头

3.3.4.3　肋骨式硬质合金钻头

肋骨式硬质合金钻头，是在普通钻头体外焊接 3～4 条钢块，使其外径增大到上一级钻头外径尺寸，扩大粗径钻具外环状间隙，以适应遇水膨胀、粘结性大的软岩钻进。以克服在这类地层钻进时，因切削具切入深度大、岩屑粒大、钻速高、岩粉量多，岩屑易分散、粘性大，易糊钻与钻孔缩径等缺点。肋骨钻头切削具用方柱状或小八角柱状合金，可呈多环阶梯式排列，直镶或正斜镶于钻头体与肋骨底端面，如图 3-9 所示。肋骨钢条可纵向直焊，亦可斜向（如右旋 45°）焊在钻头体外壁上。螺旋状肋骨能象叶轮一样加强冲洗液向上排岩粉的能力。为避免钻孔弯曲，岩心管上端的异径接头应加焊肋骨导正，不使岩心管上头偏靠孔壁。

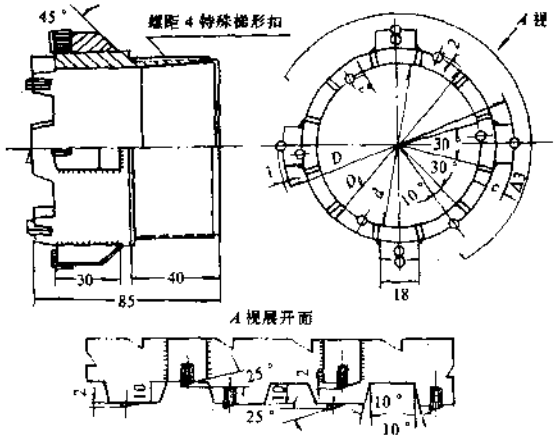


图 3-9　肋骨式硬质合金钻头

肋骨钻头适用于 2～5 级岩层，如页岩、砂页岩、胶结不紧密的砂岩、覆盖层、粘土层、风化砂岩及铝土页岩等。

3.3.4.4　负前角阶梯式硬质合金钻头

如图 3-10 所示，该钻头用方柱状硬质合金呈内外中三环阶梯形排列，取 10°～15°负前角斜镶，内外中三个底出刃各差 1mm，并将方柱的对角线指向圆周切线方向（即切削具前进方向）。因此，切削具能承受较大的冲击载荷，不易折断、崩刃，有利于破碎岩石。

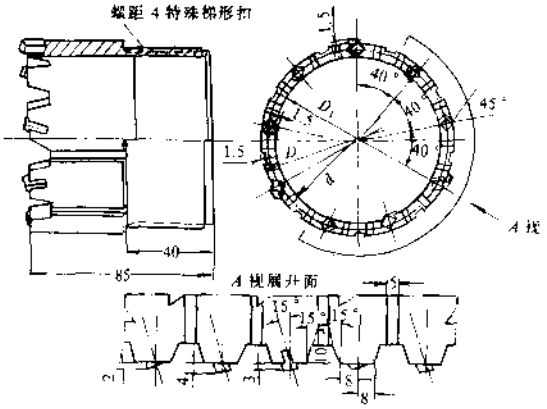


图 3-10　负前角阶梯式硬质合金钻头

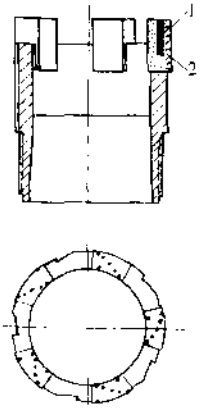


图 3-11　自磨式针状硬质合金钻头

1—针状合金；2—胎块

负前角硬质合金钻头适用于钻进 5～7 级与部分 8 级的研磨性较大的非均质岩石，如辉长岩、玄武岩、砂岩、风化的辉绿岩、闪长岩、矽嘎岩、硅化的页岩和石灰岩等。

3.3.4.5　自磨式针状硬质合金钻头

自磨式钻头多采用胎块式，即将多个针状合金包镶在铁与铜粉烧结的假合金中，制成一定尺寸的胎块，再在地质队根据需要镶焊在钻头体上。其结构如图 3-11 所示。适宜于 6～7 级及部分 8 级岩石中钻进。其回次进尺与钻头寿命均长，并且钻孔质量好，操作方便，成本也较低。

3.3.4.6　全面（不取心）硬质合金钻头

对地表覆盖层或围岩，当不需要采取岩心时，使用全面钻进可大大提高钻进效率。常用翼片阶梯式硬质合金钻头，即在厚壁中空钻头体或旧钢粒钻头上，用 15mm 钢板焊上 3～4 个翼片，中心部分亦对接焊牢，翼片底端与外缘呈阶梯状镶焊方柱状硬质合金。翼片间留有适当尺寸的水眼，水流应直冲翼片切削具前缘中部。根据所钻进岩层情况切削具可呈梳齿状（钻进松散软岩）或密集排列（钻进页岩、石灰岩等）。其上接导正与加压用钻铤。图 3-12 为全面钻进钻头的一例。

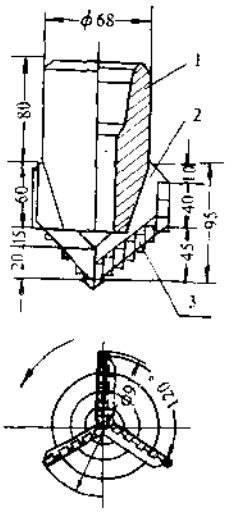


图 3-12　翼片阶梯式硬质合金全面钻头

1—钻头体；2—翼片；3—硬质合金切削具

3.3.5　硬质合金钻进技术参数

硬质合金钻进技术参数亦称钻进规程，主要包括钻进压力、转速、冲洗液量，它们对

钻头在孔底工作的好坏，对钻进效率与钻探质量有直接影响，是钻进过程中可以人为控制的参数值。确定钻进技术参数的原则是在满足钻探质量要求的前提下，保证最大的平均回次钻速和经济效益最好的长钻头寿命。为此，应根据岩石可钻性与岩性特点、钻头结构特点、钻孔深度、钻孔质量要求（岩心采取率与孔斜度）、设备能力以及工人技术水平等选择合理的钻进技术参数。

3.3.5.1 钻　压

钻压是指钻进时孔底钻头上所施加的压力，单位为牛顿N或千牛kN。岩心回转钻进的钻压是在钻具重量上又经钻机加压或减压调整而形成的。硬质合金钻进就是钻压使切削具压入孔底岩石，钻具回转使切削具刻取破碎岩石。所以，硬质合金钻进时，钻压对钻进效率影响最大。实践证明，在4～7级完整、中等硬度的岩石中，在转速、泵量不变的情况下，在一定范围内，钻进效率随钻压增大而提高。由此可见，孔底钻压的大小，应以钻头上所镶硬质合金切削具的数目为依据，可以用下式计算：

$$P = mp$$

式中　P ——钻头压力；

m ——钻头上切削具数目；

p ——每个切削具应加的钻压值，参看表3-12。

表3 12　硬质合金切削具单位压力值

可　钻　性	岩　石　性　质	切　削　具　形　状	单　位　压　力　(N)
1～3	软、塑性	薄　片	400～600
4～6	中硬、均质	方柱、小八角柱	700～1200
7～8	硬、致密	方柱、大、小八角柱	900～1800
7～8	硬、研磨性强	针状（胎块）	1500～2000

每个切削具上的压力必须使岩石内的应力超过其临界抗压入强度，切削具才能切入岩石一定深度，钻头才能以体积破碎的方式破碎岩石。如果压力过小，则仅以表面破碎和疲劳破碎的方式破碎岩石，破碎岩石体积小，进尺必然缓慢。压力过大，则切削具切入岩石深度大，容易崩刃，加速切削具耗损，钻头有效工作时间缩短；钻杆弯曲会加剧，孔斜度增加，影响钻孔质量；加重钻杆负荷，易导致钻杆损坏。因此，应根据具体情况和条件选择适当的钻压值，才能提高钻进效率。

一般钻进较硬的、均质的或研磨性强的岩石，采用较大的压力。钻进松软的岩石，采用较小压力。钻进有裂隙的岩石，切削具易崩刃，压力应比正常岩层降低20～30%。在倾角大的岩层钻进时，也应适当减小压力，以防孔斜超差。

3.3.5.2 转　速

钻头的转速，即是钻头切削具的圆周线速度（m/s），常换算为钻头转数（r/min）来表示。硬质合金钻进时，转速对钻进效率影响很大。转速越快，切削具切入、破碎岩石的次数也越多，钻进效率也越高。

但是，岩石性质不同，影响的程度与变化规律却有很大不同。在钻压、水量、钻头结构一定的条件下，转速与钻速的关系曲线如图3-13所示。曲线Ⅰ为粘土类软的、塑性大、研

磨性小的岩层，基本呈线性关系；曲线Ⅰ为中硬、研磨性较小的岩石，呈现为逐渐变缓的曲线；曲线Ⅱ为中硬—硬的、研磨性大的岩石。当转速超过极限转速 n_0 后，钻速反而下降。这是因为岩石被切削具破碎时，需有短暂时间的变形与裂隙发育的过程。如转速过快，切削具作用在局部岩石上的时间过少，会使岩石破碎过程发育不完全，减少碎岩深度而降低效率。切削具的磨钝，会使这种时间因素的影响更为显著。

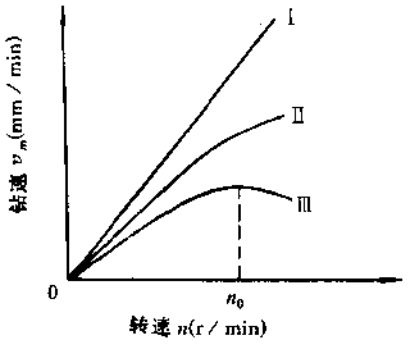


图 3-13 硬质合金钻进的转速—效率曲线

所以，转速的确定，要根据岩石的性质、钻头结构特点、孔径、孔深以及设备能力、钻具状况等因素综合考虑。岩层较软，可用高转速；岩石硬或研磨性大，就不能依靠增加转速来提高效率；钻孔深度大、弯曲，钻进阻力大，也不宜用高转速；还要考虑钻探设备的能力与钻具质量（材质、新旧、磨损程度）以及冲洗液种类与孔壁状况。

钻头每分钟的转数，由选定的圆周线速度换算，其关系式如下：

$$n = 60v/\pi D_p$$

式中 n ——钻头转数，r/min；

v ——钻头转速，即切削具的圆周线速度，m/s，参看表 3-13；

D_p——钻头切削具的平均直径，m。

钻头切削具的圆周线速度与不同直径钻头的转数，参看表 3-13。

表 3-13 硬质合金钻头转速与不同直径钻头的转数

岩石性质	v (m/s)	钻头转数 n (r/min)				
		150	130	110	91	75
弱研磨性的软岩石	1.2～1.6	160～210	180～240	220～290	270～360	330～440
有研磨性的中硬岩石	0.9～1.2	120～160	140～180	160～220	200～270	250～330
强研磨性、中硬—硬岩石	0.6～0.8	80～100	90～120	110～140	130～180	160～220
裂隙性岩石	0.3～0.6	40～80	45～90	55～110	65～130	80～160

3.3.5.3 冲洗液量

冲洗液循环在钻进中的作用是冷却钻头、排除孔底岩粉与保护孔壁。硬质合金钻进时，冲洗液在孔壁与钻杆间的环状间隙流动，必须有一定的上升流速，才能保证将孔底岩粉有效地携带到地表。一般岩心钻进要求冲洗液上升流速达到 0.25～0.5m/s，才能满足排除岩粉的需要。

冲洗液量大小的确定，应考虑岩性、孔径、孔深和孔斜等因素。在完整坚硬岩层中钻进，冲洗液量对效率的影响不明显。但在软岩层中钻进时，钻速高，单位时间内产生的岩粉量多，需要较大的冲洗液量，才能排除孔底岩粉。如冲洗液量过小，则孔底岩粉排不净，使切削具磨损加快，降低钻头工作寿命和钻进效率，增加钻进回转阻力，严重时会使钻头

冷却不够，造成烧钻、埋钻等孔内事故。

在松软、破碎、裂隙发育的地层钻进，冲洗液对岩心与孔壁有冲刷破坏作用，在塑性岩层遇水膨胀会出现缩径，除调整冲洗液性能外，在保证排除孔底岩粉的前提下，可采用较小的冲洗液量。

用硬质合金钻进不同岩层时，钻杆外壁与孔壁间环状间隙的冲洗液上升流速和与之对应的不同孔径所需冲洗液量的折算值列于表 3-14。

表 3-14　硬质合金钻进的冲洗液量

岩石性质	液流升速 (m/s)	不同孔径的冲洗液量 (L/min)					
		62/42	79/42	95/50	114/50	134/60	154/60
软的易碎松散岩层	0.25～0.3	37～44	73～88	100～120	120～140	160～200	230～280
塑性、无研磨性均质岩石	0.4～0.5	59～74	110～140	170～210	200～250	270～350	370～470
研磨性、非均质较硬岩石	0.3～0.4	44～59	88～110	120～170	140～200	200～270	280～370

注：不同孔径表头栏中的分数，分子为钻孔直径（含切削具外出刃），分母为所用钻杆外径。

表中较大钻孔直径的冲洗液量，已超出普通钻机所配备的泥浆泵最大排量，故实际钻进时所用排量的液流升速已较需要的升速减小。

3.3.5.4　钻进技术参数间的最佳配合

实际钻进时，各参数并非单独起作用，而是相互影响的。如在某种岩性和技术条件下，只取各自的最优值，而不考虑其交互影响，找出其最佳配合，则不仅钻速和经济效益达不到最优，甚至会得到相反的结果。

图 3-14 所示是在弱研磨性软岩中，以不同转速与钻压搭配钻进试验的结果，不同搭配的进尺均呈直线性上升，看不出明显的交互影响。

图 3-15 所示是钻进 4～5 级中等研磨性的绿帘石石榴子石矽卡岩时，测得的钻速与钻压、转速的关系曲线。曲线表明钻压增大的作用很显著，而转速的影响却很小（在高转速段曲线趋于平缓）。

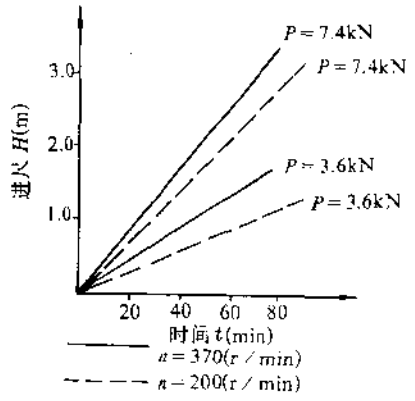


图 3-14　弱研磨性软岩石的进尺曲线

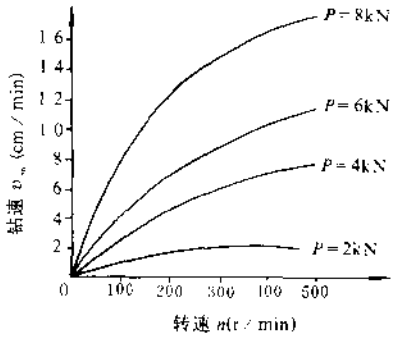


图 3-15　中等研磨性、中硬岩石的钻速曲线

图 3-16 所示是在研磨性较高的 7 级闪长岩，以不同转速与钻压搭配钻进测得的进尺曲线。曲线显示在一定时间内，转速偏低而钻压偏大的参数组合获得了最好的进尺效果。另外在中高研磨性 6 级岩石的试验也表明：转速高的，在钻压超过某值后钻速下降；而转速较低的，在钻压超过某值后，钻速呈继续上升。

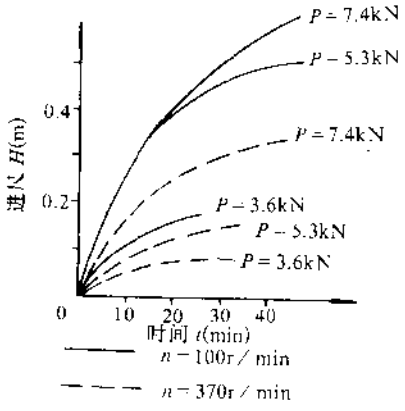


图 3-16 研磨性较高的 7 级岩石的进尺曲线

上述情况表明，钻压与转速间有最佳配合关系。但在以上分析中未涉及冲洗液量的影响，显然在钻速高、岩粉多时，应取较大泵量以保证排粉。

总之，参数最佳配合的一般做法是：钻进研磨性弱的软岩石，采用高转速、小钻压、大泵量；钻进中等研磨性的中软岩石，采用中等的钻压与转速、稍大的泵量；钻进研磨性较高的中硬与部分硬岩，应取大钻压、低转速、中等泵量。或简言之，钻进 4 级以下岩层，以较高转速为主，调配钻压；钻进 4 级以上岩层，以较大钻压为主，调配转速。

3.3.6 硬质合金钻进工艺要点

硬质合金钻进，除要求选择好与岩性相适应的钻头结构和钻进技术参数外，还要掌握好回次进尺的大小（或时间），采取合格岩（矿）心，掌握好钻进操作有关事项，才能保证钻进正常、高效地进行。

3.3.6.1 最优回次进尺时间

硬质合金钻进中等硬度岩石时，合理掌握最优回次进尺时间，是提高钻进效率的重要措施之一。硬质合金钻进的钻速是随切削具的磨钝而递减的。钻速降低到一定程度时应提升钻具，更换钻头、磨锐切削具。升降钻具的辅助作业时间的多少取决于钻孔深度。在相同条件下，如早些结束回次进尺，会提高纯钻小时效率，但辅助作业时间所占比例加大，使回次钻进效率降低；如晚些结束回次进尺，会减小辅助作业时间比例，但使磨钝的钻头以很低的钻速在孔底拖延时间，也不会提高回次钻进效率。即回次进尺时间为最佳值，才能使回次钻进效率达最大值。计算回次钻速的公式是：

$$v_c = H/(t - T)$$

式中 v_c —— 回次钻速，m/h；

H —— 回次进尺，m；

t —— 纯钻进时间，h；

T —— 升降钻具时间，孔深一定时为定值，h。

确定 v_c 最大值的简便方法是作图法。如图 3-17 所示，横坐标 t 为时间，纵坐标 H 为回次进尺，由坐标原点向左截取 T 得 A 点，由 A 点作 (t, H) 曲线的切线得 AB 线。则不难看出，$v_c = H/(t-T) = \tan\theta$，当直线 AB 与 $H-t$ 曲线相切时，$\tan\theta$ 为最大值，亦即 v_c 为最大值，与该切点相对应的时间为 t_0，得 $v_{c\max} = H_0/(t_0 - T) = \tan\theta_0$。在钻探现场可用一直尺的边代替直线 AB，随着钻进不断绘出 $H-t$ 曲线，当直尺与曲线出现相切时，即可结束这一回次钻进。实际生产过程中，由于岩层软硬和钻进参数的变化，使一个回次中钻速也有高低跳动，加上其他因素的干扰，往往绘出的曲线不那么规律。因此需要结合经验，按不同孔深与岩层情况，制定通用的最佳回次进尺时间（或回次进尺），以便各机台具体掌

握。

3.3.6.2　硬质合金钻进操作技术

硬质合金钻进的生产作业前，要熟知岩层、孔内、设备、钻具等情况，操作技术方法要正确合理，严格遵守操作规程，其工艺要点如下。

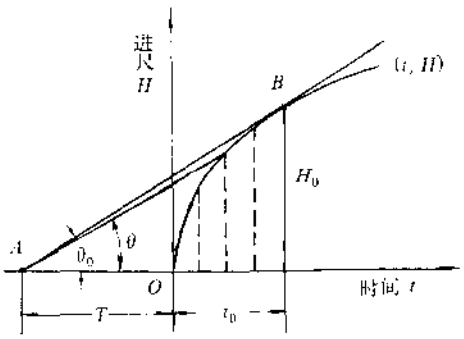


图 3-17　最佳回次进尺时间作图法

(1)严格检查硬质合金钻头的镶焊质量。认真做好钻头的分组排队、轮换修磨与排队使用，以保证孔径一致。排队使用的次序是先用外径大、内径小的钻头，以减少每次换钻头后的扫孔时间。

(2) 必须保持孔底清洁。孔内残留岩心超过 0.5m 或有脱落岩心时不得下入新钻头。孔内有崩落碎合金或出钢粒钻进改为硬质合金钻进时，需将碎合金或钢粒冲孔捞出或研磨消灭后，转入正常钻进。

(3) 新钻头下入孔底开始钻进时，要轻压、慢转、大泵量、缓慢扫孔到底，待钻进 3～5min 后，再逐渐增加钻压与转速到正常值，防止切削具崩刃或岩心堵塞。新磨锐切削具的钻头亦应适当减轻钻压。

(4) 钻进或扫孔中每次倒回给进行程后，开动钻机时都要减轻钻压缓慢开车，转速达正常值无异常现象，再缓慢增加钻压达到正常值。

(5) 正常钻进时，应保持钻压均匀稳定，不得无故提动钻具离开孔底，以防岩心折断、堵塞或切削具崩刃。不得突然加大钻压。

(6) 发现孔内有异常现象，如憋水、岩心堵塞、钻速明显下降、钻进阻力增大、钻具激烈跳动等，应立即判明情况，及时处理。如处理无效应立即提升钻具。

(7) 使用肋骨钻头或全面钻头钻进松软塑性地层时，每钻进一段后应扫孔修整孔壁，消除不圆整的螺旋状钻孔或缩径现象。

(8) 钻进中遇岩（矿）心采取困难时，应适当缩小回次进尺长度，以保证岩心采取率。严禁贪图进尺，降低岩心采取率、增加钻头磨损，造成孔径缩小，增加下一回次钻进的扫孔时间。

(9) 采取岩心时，软的可塑性岩（矿）层可用干钻法，较硬的岩（矿）层用卡料法。严禁用钢粒做卡料，采心时不得猛墩钻具。提升钻具操作要稳，防止岩心脱落。

(10) 粗径钻具由孔内提出后向外倒取岩心时，不得用大锤敲打钻头。拧卸钻头时，要防止管钳夹伤硬质合金切削具或夹扁钻头。扭卸困难时不得用大锤敲打丝扣部分外的管壁。

(11) 每次提钻后，要观察钻头磨损和岩心状况，判断孔内有无异常与岩性变化，以便确定下一回次钻进技术参数与相应工艺措施。

3.4　金刚石钻进

3.4.1　概　述

金刚石钻进，是使用镶嵌金刚石为切削具（研磨材料）的钻头，在钻压作用下回转运动使孔底岩石破碎的钻进方法。金刚石破碎坚硬的脆性岩石，主要方式是压裂、压碎加剪

切作用。对于塑性大的硬岩及中硬岩石，则主要以切削方式破碎岩石（如同硬质合金钻进的体积破碎）。

金刚石钻进适用于钻进可钻性7级及以上的硬岩、坚硬岩石和部分强研磨性的4～6级岩石。

金刚石钻进广泛应用于矿产地质勘探，是岩心钻探的主要方法。生产实践证明，它和其他钻进方法比较，有许多优点：

（1）钻进效率高　一般在相同地层条件下，较钢粒钻进的小时效率要高一倍以上；金刚石钻进的回次进尺较长，钻头寿命长，还可采用不提钻取心方法。

（2）钻探质量好　岩矿心采取率高、代表性好。在破碎地层使用双管钻进，采取率仍可达90%以上；可避免钢粒钻进时造成的选择性磨损、富矿流失和分选现象。钻具与孔壁间隙小，孔壁光滑规整，使钻孔弯曲度小。特别是在倾角较大的层状地层、软硬交互层，其他钻进方法的钻孔弯曲均较金钢石钻进严重得多。

（3）装备与钻具轻　金刚石钻进的孔径小，管材与磨料消耗量大大少于钢粒钻进，装备与钻具的总重量可减轻一半，大大减轻运输与搬迁孔位的工作量，适合于山区交通不便地区与坑道内施工。钻进与升降钻具操作轻便、省力，可大大减轻工人劳动强度。

（4）孔内事故少　金刚石钻进的孔径小、岩粉少、颗粒细、孔壁光滑规整，岩粉易排除，孔底清洁；且孔壁与钻具间隙小，钻具工作条件较好，所以孔内事故率较低，即使发生也较易处理。

（5）钻探成本低　金刚石本身虽较昂贵，但只要正确合理地使用，其消耗量是很小的。还可大幅度降低材料消耗，钢材消耗仅为钢粒钻进的1/30。而且金刚石钻进效率高，所以钻探成本必然是低的。

（6）应用范围广　金刚石钻进孔径，最小为28mm，最大可达300mm以上（石油钻）或91mm（岩心钻）；孔深可达数千米；其钻孔倾角不受限制，可钻垂直孔、斜孔、水平孔与仰孔。所以能用于地质勘探岩心钻进、矿山爆破钻孔、追索矿体以及其他工程技术钻孔的施工。但应用金刚石钻进时需解决的实际问题主要有：因金刚石性脆、钻具各部分加工精度较高，要求使用操作十分精细；对冲洗液性能与调整有多项较高的要求；升降钻具速度快，对钻孔产生抽吸与冲压作用，使孔壁不稳定等。

3.4.2　金刚石及人造超硬材料

金刚石是碳元素的结晶体，属于等轴晶系的矿物。一般是无色透明或微淡黄色，当含有杂质时呈褐色或浅蓝、浅绿色，也有黑色。其密度为3.52g/cm^3，矿物莫氏硬度为10级。

3.4.2.1　金刚石的分类与品级

金刚石按成因分为天然和人造的两大类。天然金刚石至今仍无统一的质量分级。

地质钻探用金刚石一般按产地和价格分类，常用的是浑圆粒（包尔兹）与碎粒（刚果）金刚石。前者多呈不规则粒状或放射状结构，硬度高，价格较便宜，常用作表镶钻头；后者多呈碎粒状、细晶结构，硬度较前略低，用作孕镶钻头，精选的亦可作表镶钻头。人造金刚石分为单晶与聚晶两类。单晶为人工合成后的单个晶粒；聚晶是将极细的金刚石微粒，经再次人工聚合成大颗粒的多晶金刚石。

天然金刚石的品级标准，一般按晶形、外形、裂隙程度以及透明度和表面光滑程度进行分级。

我国地质系统对钻探用天然金刚石晶级的分级标准与用途见表 3-15（据地质部标准 DZ2.1—87）。

表 3-15 钻探用天然金刚石晶级分类

级别	代号	特征	用途
特级（AAA）	TT	天然晶体或浑圆状，光亮，质纯，无斑点及包裹体，无裂纹，颜色不一，十二面体含量达 35～90%，八面体含量达 10～65%	钻进特硬地层或制造绳索取心钻头
优质级（AA）	TY	晶粒规则完整，较浑圆，十二面体达 15～20%，八面体含量 80～85%，每个晶粒应不少于 4～6 个良好尖刃，颜色不一，无裂纹，无包裹体	钻进坚硬或硬地层，或制造绳索取心钻头
标准级（A）	TB	晶粒较规则完整，八面体完整晶粒达 90～95%，每个晶粒应不少于 4 个良好尖刃，由光亮透明到暗淡无光泽，可略有斑点和包裹体	钻进硬和中硬地层
低级（C）	TD	八面体完整晶粒达 30～40%，允许有部分斑点及包裹体，颜色为淡黄色至暗灰色。或经过浑圆化处理的金刚石	钻进中硬地层
等外级	TX	细小完整晶粒，或呈团块状的颗粒	择优以后用于制造孕镶钻头
	TS	碎片、连晶解碎使用，无晶形	

人造金刚石（单晶）按单粒抗压强度分级标准见表 3-16（据 GB6407—86）。

表 3-16 人造金刚石分级标准（已经达到，并适合钻探用部分）

粒度（目）		80/100	70/80	60/80	60/70	50/60	45/50	40/50	40/45	35/40
品种系列	MBD6	49.98 (5.1)	58.80 (6.0)	64.68 (6.6)	69.58 (7.1)	83.32 (8.4)	97.02 (9.9)			
	MBD8	65.64 (6.8)	78.40 (8.0)	85.26 (8.7)	92.12 (9.4)	108.78 (11.1)				
	MBD12	99.96 (10.2)	117.60 (12.0)	128.38 (13.1)	139.16 (14.2)	158.76 (16.2)				
	SMD			98.00 (10.0)	105.84 (10.8)	125.44 (12.8)	147.98 (15.1)	161.70 (16.5)	174.44 (17.8)	205.80 (21.0)
	SMD25		116.2 (11.9)	126.42 (12.9)	148.96 (15.2)	176.40 (18.0)	192.08 (19.6)	207.76 (21.2)	245.00 (25.0)	
	SMD30			140.14 (14.3)	151.90 (15.5)	179.34 (18.3)	210.70 (21.5)	230.30 (23.5)	248.92 (25.4)	
	SMD40			163.66 (16.7)	177.38 (18.1)	208.74 (21.3)	245.98 (25.1)			

注：表中为强度平均值，N；括号内为 kgf。

人造金刚石聚晶的形状和规格，可根据钻探的使用要求制造。常用的是圆柱状，直径 1.5～2.5mm，长度 3～5mm。其磨耗比一般要不低于 $(2\sim4)\times10^4$。

金刚石的粒度有两种表示方法。凡直径大于1mm的金刚石，通常以每克拉（=1.96×10^{-3}N）多少粒表示；直径小于1mm的以“目”表示。“目”即筛网的目数（每英寸长度内的网眼数），我国一般以“号”（#）代目。

表镶钻头用天然金刚石的粒度及其近似直径见表3-17。

表3-17 天然金刚石粒度及其近似直径

粒度（粒/克拉）	8	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	125
近似直径（mm）	2.41	2.31	2.03	1.80	1.65	1.50	1.42	1.33	1.25	1.15	1.10	1.00

人造金刚石单晶粒度标准及其尺寸范围见表3-18。粒度以分式表示，即通过筛网目/不通过筛网目。表中后几栏为宽范围的粒度号。

表3-18 人造金刚石单晶粒度及其尺寸范围（据GB6406.1 86）

粒度（目）或（号）	20/25	25/30	30/35	35/40	40/45	45/50	50/60	60/70	70/80	80/100	100/120	120/140	20/30	30/40	40/50	60/80
通过网孔尺寸（μm）	850	710	600	500	425	355	300	250	212	180	150	125	850	600	425	250
不通过网孔尺寸（μm）	710	600	500	425	355	300	250	212	180	150	125	106	600	425	300	180

3.4.2.2 金刚石的物理力学性质

金刚石最突出的性质是硬度极高，是目前所知矿物与人造材料中硬度值最大的。因金刚石结晶格架为正四面体，且碳原子间为共价键连接，具有饱和性与稳定性，故金刚石非常坚硬。金刚石的维氏显微硬度为98GPa，大约是碳化钨的5.8倍、刚玉的4.9倍、石英的9倍、碳化硼的2倍。

金刚石具有极大的静抗压强度，浑圆状结晶完好的细粒天然金刚石的抗压强度达8.63GPa，约为刚玉的3.5倍，硬质合金的2倍，钢的9倍。

各种不同晶形金刚石的强度可相差2～4倍，其晶面硬度也不同，而且有明显的方向性。所以，加工表镶钻头时要逐粒去摆放金刚石，使每粒金刚石以最硬的方向破碎岩石。

金刚石虽然硬度极高，强度很大，但脆性也很大，受冲击易产生裂纹，甚至碎裂。所以，在金刚石钻进中，要避免冲击、防止碰撞。

金刚石的耐磨性也最高，因其弹性模量极大（883GPa），超过自然界所有矿物与研磨材料。金刚石的耐磨性，比其他研磨材料都高很多倍，如约为刚玉的90倍，硬质合金的40～200倍，钢的2000～5000倍。

金刚石某些物理性质的量值见表3-19。

金刚石有良好的导热性，但钻进时如钻头冷却不好，则金刚石吸收热量也快，容易造成金刚石的微烧、甚至碳化。

金刚石的热稳定性较差，在空气中加热到300℃开始氧化；800℃时重量开始减轻；

900℃时表面疏松、易破碎；到1000℃时金刚石完全消失，只剩一点杂质残渣。

金刚石的化学性质很稳定，常温下与酸不起作用，与碱缓慢起作用。这有利于金刚石的回收与清污。

表3-19 金刚石某些物理性质

物理性质	值
密度 (g/cm³)	3.52
线膨胀系数 (1/度) (900℃时)	4.8×10^{-6}
导热率 (J/m·s·℃)	146.5
电阻率 (Ω·mm²/m)	5×10^{18}
燃烧温度 (℃)(与铁或铁基合金接触)	750~800

3.4.2.3 人造金刚石与超硬材料

我国天然金刚石资源仍未探明，产量不多，工业用天然金刚石大部靠进口，而钻探用料（低级的金刚石碎料）也不能保证供应。为了加速推广金属石钻进技术，我国施行了"立足人造、立足国内"的方针。随着人造金刚石工业的迅速发展，人造金刚石钻探已逐渐取代天然金刚石钻探，由70年代末的45%发展到80年代末的96%以上。

人造金刚石就是在高温、高压条件下，将石墨（金刚石的同素异晶体）的晶格改变成为正四面体晶格的金刚石。在有触媒的情况下，压力需5GPa以上，温度1300℃左右。聚晶亦是用类似方法合成。

人造金刚石合成技术的不断发展，使其到80年代进入新型聚晶复合体、压块为主的新时期，也为钻探技术发展带来一次重要革新。新型聚晶是金刚石微粉在钴、硅或碳化硅参与下，经高温高压合成的。如美国通用电气公司的"吉欧赛特"(GEOSET)、英国狄贝尔(Debeers)公司的"申代克斯3"(Syndax3)等。复合体是金刚石与其他硬质材料的微粉经高温高压烧结成的金刚石共晶体和硬质合金衬片压成一体而成的，亦称复合片。压块是金刚石微粉与金属或硬质碳化物粘结剂经压制成形后烧结成块的一种超硬材料，如前苏联的"斯拉乌季契"(Славутич)。上述新超硬材料除硬度已接近天然金刚石外，最大的特点是热稳定性比金刚石好，可耐高达1200℃以上的温度，因而钻进效能好，并可直接镶焊制成钻头。

另外，立方氮化硼（CBN）是世界上继人造金刚石之后出现的第二种人工合成超硬材料，它是在高温高压下，经触媒作用，由六方氮化硼合成的。其硬度与强度接近金刚石，而热稳定性和对铁族元素的化学惰性远比金刚石好。它也可制成聚晶（PCBN），如前苏联的"埃利鲍尔"(Эльбор)；也可与人造金刚石制成混合聚晶，其冲击韧性大，如前苏联的"吉斯米特"(Гиомит)等。

这样，新一代人造金刚石和立方氮化硼两大类及其相关制品就能钻进1~12级的各种岩石，使金刚石钻探技术跨入一个新阶段。

3.4.3 金刚石钻头

3.4.3.1 金刚石钻头类型与组成部分

金刚石钻头的种类很多。

按金刚石包镶形式分为：(1) 表镶钻头，是将较大的天然金刚石颗粒或人造金刚石聚

晶逐粒单独镶嵌在钻头胎体表层，并有一定的出刃。当出刃磨钝后应回收金刚石，再镶嵌于新钻头上使用。(2) 孕镶钻头，是将人造或天然细碎金刚石与胎体成分混合，烧结于钻头体上，金刚石分布在胎体内一定的层厚中，钻进时随胎体磨损不断出露新的金刚石切刃。包镶有金刚石的胎体部分称为工作层。

按金刚石成因不同，钻头可分为天然金刚石钻头和人造金刚石钻头。

按所配岩心管的不同，钻头可分为单管钻头和双管钻头。按钻头用途不同，有岩心钻头、不取心（全面）钻头、套管袖钻头（无内出刃）、扩孔钻头、导斜用锥形钻头及其它特殊钻头。

按制造方法不同，分为热压钻头、冷压钻头、无压浸渍钻头和电镀钻头等。

按切削具类型不同，分为单晶钻头、聚晶钻头、复合片钻头与镶块式钻头。

金刚石钻头由金刚石、胎体和钻头体三部分组成，如图 3-18 所示。

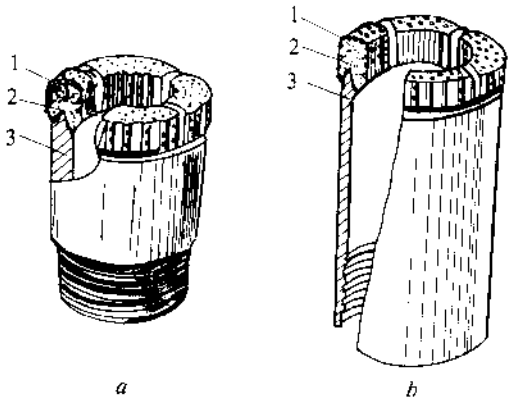


图 3-18　金刚石钻头

a—孕镶单管钻头；*b*—表镶双管钻头

1—金刚石；2—胎体；3—钻头体

钻头体亦称钢体，用 DZ—40 或 50 地质钻探钢管制成。单管钻头钢体的一端车有外丝扣（图 3-18*a*），双管钻头的钢体一端车有内丝扣（图 3-18*b*）。钢体另一端制成楔齿形，以增加和胎体的粘结面积与强度，增大可能传递的转矩。

胎体是钻头唇部包镶金刚石的环状假合金。作用是牢固地包镶金刚石和粘结钻头体。胎体成分一般用碳化钨粉末作为骨架材料，用铜、镍等金属作粘结材料，以粉末冶金方法烧结或电镀法制成。胎体一般在底端部开有水口，在内外侧壁开有水槽。

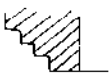
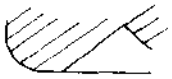
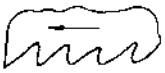
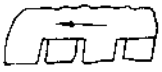
金刚石钻头的结构要素，包括钻头的唇面形状、胎体性能、金刚石的排列分布、含量（浓度）、粒度、保径切削具与水路，分述于后。

3.4.3.2　金刚石钻头的唇面形状

金刚石钻头的唇面形状就是钻头底端与孔底岩石接触面的形状与形式。它决定了所钻孔底的纵剖面形状，其选择取决于钻头的用途、制造方法与工艺水平以及岩石物理力学性质。唇面形状选择得正确合理，有利于提高钻头回转稳定性与破岩效能，即提高钻进效率与钻头寿命。唇面形状主要指唇部纵剖面底端轮廓线，也包括沿圆周展开的底面轮廓线。表

3-20 列出了常用的唇面形状及其特征与适用条件。

表 3-20　金刚石钻头唇面形状及其适用条件

	名　称	唇面形状	特征及适用条件
纵剖面图	平底形（矩形）		加工方便，内外缘薄弱，钻进初始有磨合过程，可获得相应的自然唇面，广泛用于孕镶钻头
	圆弧形（标准形）		圆弧半径为壁厚的 0.6～0.8，边刃负荷合理，接近自然唇面，多用于表镶钻头，适于中硬和硬的中等研磨性岩石，适应范围广
	半圆形		圆弧半径为壁厚的一半，能包镶较多金刚石，边刃得到加强，保径好，适用中硬至硬的裂隙，软硬互层的强研磨性岩石，表镶钻头采用较多
	单阶梯形		内环有掏槽作用，有较好的稳定性，比多阶梯排粉冷却效果好，有利于提高钻速，适于中硬至硬的、易孔斜岩层
	多阶梯形		孔底能产生较多自由面，有较好的稳定性，钻效高，有利于防斜，绳索取心钻头的标准唇面，适用于中硬至硬岩层
	双锥形		内外边刃均得到加强，保径效果好，有较好的稳定性，有助于防斜，适于厚壁、绳索取心钻头钻进硬岩层
	同心圆尖齿形		能形成多自由面，碎岩颗粒粗，钻速高，适用于孕镶钻头钻坚硬、致密、弱研磨性“打滑”岩层，但尖齿磨平后钻效下降，钻头寿命短
	内锥外圆形		不取心全面钻头用，内锥有利于破碎中心部位岩石，外圆使边刃加强，有较好的稳定性，适于中硬至硬岩层
圆周展视图	锯齿形		有良好的切削性能，适于钻进软至中硬岩层
	交错形		内外交错胎体块，减少与孔底接触面积，提高单位钻压，有利于提高钻速，保持出刃，适于坚硬、致密、弱研磨性岩层
	掏槽形（内外阶梯）		超前掏槽后内外扩槽，呈内外阶梯，提高单位压力，增加自由面，提高钻速，适于坚硬、致密、弱研磨性岩层

3.4.3.3 胎体的性能

胎体性能是影响金刚石钻头质量的重要因素，直接影响钻进效率与钻头寿命。一方面，钻进中胎体受力复杂，工作条件差，承受压、扭、弯与冲击碰撞作用，且有岩石的摩擦、岩粉的研磨与冲洗液的冲蚀作用；另一方面，胎体不仅要牢固地包镶金刚石和钻头体粘结牢固，还要易于成型、烧结温度不太高（避免高温对金刚石性能的影响）、高温下不与金刚石起化学作用、线膨胀系数尽量接近金刚石（防止热胀冷缩产生微隙影响包镶强度）、有较好的导热性。特别是孕镶钻头的胎体，要求完全适应所钻岩性，既不能过于耐磨、妨碍金刚石出露更新，也不能磨耗过快而使尚能工作的金刚石微粒脱落，即耐磨性要适度。虽然耐磨性比硬度更为重要，但测定方法复杂，指标难以统一，故目前仍暂时以硬度作为主要指标。一般，硬度大时耐磨性强，但也有不少硬度相同而耐磨性有差异的情况。胎体硬度分级及其适用岩层见表 3-21。

表 3-21 金刚石钻头胎体硬度分级

钻头种类	胎体硬度			抗弯强度 (MPa)	耐磨性	适应岩层
	代号	等级	硬度 (HRC)			
孕镶钻头	0	特软	10～20	≥1000	低	坚硬、致密、弱研磨性岩层
	1	软	20～30		低 中	坚硬、弱研磨性岩层 坚硬、中等研磨性岩层
	2	中软	30～35		低 中	硬、弱研磨性岩层 硬、中等研磨性岩层
	3	中硬	35～40		中 高	中硬、中等研磨性岩层 中硬、强研磨性岩层
	4	硬	40～45		高	硬、强研磨性岩层
	5	特硬	>45		高	硬-坚硬的强研磨性岩层，硬、脆、碎岩层
表镶钻头	1	软	35±	≥1000	低	弱研磨性、中硬-硬、完整岩层
	2	中硬	40±		中 高	中等研磨性、中硬-硬、较完整岩层
	3	硬	45±		高	强研磨性、中硬-硬、较破碎地层
扩孔器	1	中硬	40±		中	弱-中等研磨性、中硬-硬、完整岩层
	2	硬	45±		高	中-强研磨性、硬-坚硬、破碎地层

3.4.3.4 金刚石的粒度与出刃

金刚石的粒度，对钻进指标有明显的影响，它影响金刚石在钻头唇面的出刃高度、分布密度、可切入岩石深度、金刚石与岩石的接触面积及孕镶钻头的自锐能力等。金刚石粒度主要根据岩性来选择。岩石越硬，越致密，则金刚石粒度越小越细。根据岩层不同推荐的粒度见表 3-22 与表 3-23。

金刚石的出刃，是为了有效地切入岩石和保持钻孔与岩心直径的一致，并在正常泵压下，使冲洗液顺利排除岩粉。要求内、外、底出刃量各自完全一致，防止钻进中载荷集中，使部分金刚石提前损坏。表镶钻头金刚石出刃一般为颗粒直径的 1/4～1/3，对于不同的粒度与岩层性质，金刚石的出刃量见表 3-24。

表 3 22　表镶钻头用天然金刚石粒度

粒度等级	粗粒	中粒		细粒	
粒度（粒/克拉）	8～15	15～25	25～40	40～60	60～100
适用岩层	软中硬	中硬	中硬-硬	硬	硬-坚硬

表 3-23　孕镶钻头金刚石粒度

金刚石粒度	人造（卜）	>35/40～45/50	45/50～60/70	60/70～80/100
	天然（卄）	20/25～30/35	30/35～40/45	40/45～60/70
适用地层		中硬	坚硬	

表 3-24　表镶钻头的金刚石出刃量（mm）

岩层特性	允许出刃量占粒径 %	粒度（粒/克拉）			
		10～25	25～40	40～60	60～100
软的、粘性的脆弱的岩层	25～30	0.5～0.6	0.4～0.5		
中等硬度、完整的岩层	20～25	0.4～0.5	0.33～0.42	0.27～0.33	
硬的、完整的岩层	15～20			0.27～0.33	0.23～0.3
坚硬、完整的岩层	10～15			0.2～0.3	0.15～0.2

孕镶钻头的金刚石出刃是胎体被磨耗后裸露出来的，一般在 15～40μm 之间。其合适的出刃量由胎体性能与岩石性质相适应来保证。

3.4.3.5　金刚石含量与浓度

一个钻头包镶的金刚石重量，称为金刚石含量，以克拉计。金刚石的浓度是钻头唇部金刚石的单位含量。对于表镶钻头是指胎体表面单位面积内的金刚石颗粒数（亦即分布的密度）；对于孕镶钻头是指胎体含金刚石的工作层部分单位体积内金刚石所占比率。目前生产中使用的浓度制主要是采用“金刚石制品国际浓度标准”表示，它是以金刚石占工作层体积的 1/4 为 100%，即百分之四百浓度制。因金刚石的相对密度（比重）为 3.52，$1cm^3$ 金刚石的重量为 17.6 克拉，所以浓度 100%的具体含意是每 cm^3 胎体工作层内含有 4.4 克拉重的金刚石。

金刚石浓度是金刚石钻头的一个重要技术参数，对钻头寿命、钻进效率有重要作用。确定金刚石浓度主要以岩石性质、金刚石质量和粒度为依据。钻进坚硬、致密的岩石时，为提高单粒金刚石钻压，金刚石浓度应降低。对非均质、裂隙地层，应增加浓度。强研磨性地层，为增加钻头耐磨性，应适当增加浓度，但不宜过大，以免削弱胎体支撑力。金刚石质量高、颗粒细，其浓度可适当降低。常用表镶钻头的金刚石分布密度见表 3-25，孕镶钻头的金刚石浓度见表 3-26。

试验表明，孕镶钻头金刚石浓度为 70～120%时，破碎岩石条件最佳，金刚石单位消耗量最低。

每一个钻头的金刚石含量，取决于金刚石浓度、钻头直径及工作层高度（一般为 3.5～

4mm)，钻头的金刚石含量见表 3-27。

表 3-25 表镶钻头金刚石分布的密度

代 号	金刚石粒度 (粒/克拉)	金刚石平均分布密度 (粒/cm³)	适 应 地 层
1	15	约 16	中 硬
2	25	约 21	
3	40	约 28	硬
4	55	约 33	
5	75	约 39	硬-坚硬
6	100	约 44	

表 3-26 孕镶钻头的金刚石浓度

代 号	金刚石浓度		金刚石含量 (克拉/cm³)	适 应 地 层
	400% 制	100% 制		
1	44	11	1.93	硬-坚硬 弱研磨性
2	50	12.5	2.20	
3	75	18.8	3.30	中硬 硬 中研磨性
4	100	25	4.39	硬-坚硬 强研磨性
5	125	31.5	5.49	

表 3-27 单个钻头的金刚石含量 (克拉)

钻头直径 (mm)	表镶钻头	孕镶钻头
28	6～7	6～8
36	7～8	8～10
46	8～10	10～12
59	10～16	12～18
75	12～20	14～19
91	13～22	16～22

3.4.3.6 金刚石在唇面的排列与保径

表镶与聚晶钻头的金刚石在唇面上的排列，对金刚石的破岩效能、正常磨损、及时冷却与排粉都有直接影响。金刚石排列应遵循以下原则：(1) 保证孔底环状面积被完全破碎，并在唇面上重叠一部分，起到相互保护作用；(2) 保证岩粉被及时排除，避免重复破碎和对金刚石的磨损，较软岩石用较疏排列，硬而完整的岩石用较密排列，破碎、裂隙岩层用密排列；(3) 应使每颗金刚石的破岩工作量相等，钻头外缘圆周长，金刚石应较多排列；(4) 应有足够的充满度 (即分布密度)，使钻头耐磨性好，但不宜过密而降低包镶牢固程度。常用的排列形式，有放射状、螺旋状、等间距、等面积等。

金刚石的排列，在唇面的不同部位应选用不同的金刚石品级。边刃受力复杂、最易受破坏，应使用高品级的新金刚石；底刃承担破岩的主要任务、受力较复杂，应使用较高品级的、回收金刚石中较好的金刚石；侧刃作用为保径，受力情况较好，可采用品级较低的、回收的较次金刚石。一般新旧金刚石搭配比例可在1∶2～1∶3左右。

孕镶钻头的金刚石虽无排列问题，但要求和胎体粉料充分混合均匀，要求胎体工作层厚度一致，使金刚石在唇面出露均匀。

另外和金刚石分布有关的一个重要问题，是钻头内外径的保径（补强）问题。因为钻头内外刃磨损严重时，尽管底刃仍有工作层也得报废。为了提高钻头寿命，需用人造金刚石聚晶或针状合金在为外侧壁补强，即烧结在胎体内相应的内外缘。

3.4.3.7　钻头的水路

金刚石钻头的水路包括水口、水槽与水眼，是流通冲洗液用以冷却金刚石与排除岩粉。表镶钻头的水口宜小、且不宜多，因冲洗液应尽量通过底唇面下直接冷却金刚石与排粉，水口只起均分冲洗液、排除大粒岩粉与防止堵水的辅助作用。而孕镶钻头的水口应比表镶钻头的多，因为冲洗液在泵压与回转离心力作用下，虽然会有一部分通过唇面下间隙，但主要靠钻头回转中，由流经水口的液流冲刷孔底岩石表面来排粉。

水槽开在胎体内外壁上，以减轻液流对岩心的冲刷与排岩粉阻力。有的钻头制有经胎体内通向底唇端面的多个水孔，称为底喷式水眼，它有利于端面冲洗排粉和岩心不受冲蚀，能提高易碎地层的岩心采取率。

一般钻头水口宽4～6mm、水口高2～4mm；内外水槽宽4～6mm、槽深为1.5～2mm。水口数目可参看表3-28。

表3-28　金刚石钻头水口数目

钻头直径（mm）	28	36	46	59	75	91
水口数目	2～4	4	4～6	6～8	8～12	12～16

水口、水槽的形状多采用直槽形，也有斜向（螺旋）形的。

金刚石钻头，根据岩石物理力学性质，选用不同的类型与结构要素，可参考表3-29。

3.4.4　扩孔器

扩孔器是金刚石钻进的特有钻具，接于钻头与岩心管之间。其作用是修整孔壁，防止钻头磨损使孔径逐渐缩小，造成下一回次钻进时新钻头下不到孔底，而浪费时间扫孔、甚至挤夹损坏新钻头；导正钻头，使钻具工作稳定，有利于采用高转速。单管扩孔器内壁加工有容纳卡簧活动的圆锥孔。

扩孔器由金刚石、胎体、钢体三部分组成，如图3-19所示。单管扩孔器上部接岩心管为外丝扣，下部接钻头为内丝扣。双管扩孔器的两端均为外丝扣。用

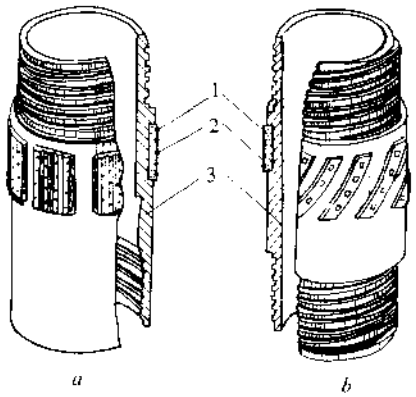


图3-19　金刚石钻进的扩孔器

a—单管扩孔器；*b*—双管扩孔器

1—金刚石；2—胎体；3—扩孔器钢体

于制造扩孔器的金刚石品级较低。表镶扩孔器用粒度为 10～50 粒/克拉的粗粒天然金刚石或直径 2～3mm，长度 4～5mm 的人造金刚石聚晶体；孕镶扩孔器用粒度为 60～200 粒/克拉的细粒天然金刚石或 60～100 目的人造金刚石单晶。扩孔器的金刚石含量如表 3-30。

表 3-29　金刚石钻头的合理选择

硬度分类			软	中硬			硬			坚硬		
代表性岩石			泥灰岩、绿泥石片岩、千枚岩、大理岩、白云岩、石灰岩	蛇纹岩、辉绿岩、安山岩、辉长岩、片岩、白云岩、硬砂岩、橄榄岩、片麻岩			片麻岩、玄武岩、闪长岩、混合岩、角闪岩、石英二长岩、砂卡岩、伟晶岩、花岗闪长岩、流纹岩、花岗岩、钠长岩			石英斑岩、碧玉岩、高硅化灰岩、霏细岩、坚硬花岗岩、石英岩、石英脉、含铁石英岩、燧石、石英镜铁矿		
可钻性			4～6	6～7			7～9			10～12		
研磨性				弱	中	强	弱	中	强	弱	中	强
人造聚晶表镶钻头			○	△	○	○		○				
天然金刚石表镶钻头	胎体硬度(HRC)	35～40	△	○	○	○	○	○	△	△		
		40～45										
		>45	△	△	○	○	△	○	○	△	△	
	金刚石粒度(粒/克粒)	15～25	△	△	○	○						
		25～40		○	○	○	○	○	○			
		40～60					○	○				
		60～100					○	○		○		
天然或人造金刚石孕镶钻头	胎体硬度(HRC)	10～20					△			○		
		20～30					○			○		
		30～35					○	○				
		35～40		○	○	△		○				
		40～45			○	○		○	○			
		>45				△			○		△	○
	金刚石粒度(目)	>35/40										
		35/40～45/50		○	○	○	△	○	○	△	○	○
		45/50～60/70										
		60/70～80/100										
		80/100～100/120		○	○	△	○	○	△	○	○	
		100/120/～120/140										

（○—表示常用的；△—表示亦可采用）。

扩孔器胎体部分镶嵌金刚石并制有水槽，其形状一般有直条形（有密条与宽条）与螺旋条形，如图 3-19*a* 与 *b*。胎体部分一般是等直径的，外径比钻头外径大 0.3～0.5mm。另外，也有上大下小、带微小锥度的，锥度角为 0°35′～0°40′，这种扩孔器可使全部金刚石外刃接触孔壁岩石而工作量相等，导正作用也更好。一般情况下，一个扩孔器可配用 3～5 个钻头。

表 3-30　扩孔器的金刚石含量（克拉）

钻头直径（mm）	表镶扩孔器	孕镶扩孔器
28	4～6	5～7
36	5～7	7～8
46	6～8	8～10
59	7～10	10～15
75	8～12	12～17
91	12～18	15～20

3.4.5　金刚石钻进的钻具组成与级配

3.4.5.1　金刚石钻进的钻具组成

金刚石钻进用的钻具，由钻头、扩孔器、岩心管、异径接头和钻杆等组成（图 3-20）。钻头在最底端，其上接扩孔器。再上接岩心管，并以异径接头与钻杆相接。岩心管有单层与双层两类。

单层岩心管的扩孔器内锥面处装有卡簧。卡簧是开口的薄壁圆环形、外壁为圆锥面，能与扩孔器内锥面配合；内壁呈条齿状，可使岩心向上进入岩心管，但向下时由锥面作用而收缩卡紧岩心，使其不能脱落，如图 3-21*a* 所示。

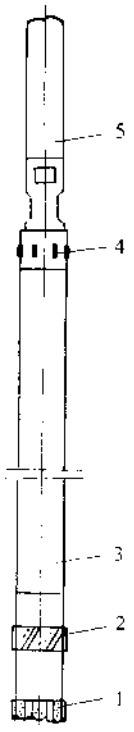


图 3-20　金刚石钻进的钻具组成

1　钻头；2　扩孔器；3—岩心管；4　异径接头；5—钻杆

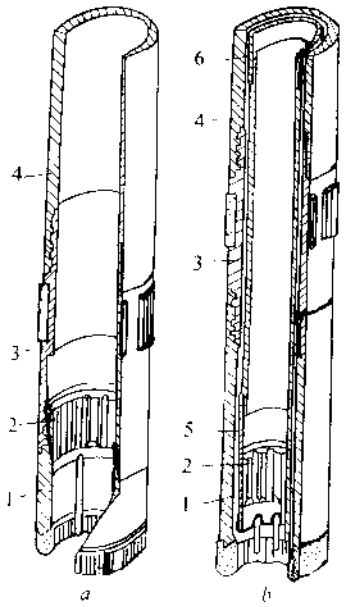


图 3-21　金刚石钻进的粗径钻具

a—单管粗径钻具；*b*—双管粗径钻具

1—钻头；2—卡簧；3　扩孔器；4—外岩心管；5—卡簧座；6—内岩心管

双层岩心管由内、外两套岩心管组成。钻头、扩孔器接在外岩心管下端。在扩孔器部位的里面是内管短节，插装在内岩心管下端，在短节下插装的卡簧座内装有卡簧，岩心向上时可进入内管，但岩心向下时被卡簧卡住，和卡簧座一起座在钻头内台阶上，因而不能脱落（参看图 3-21*b*）。

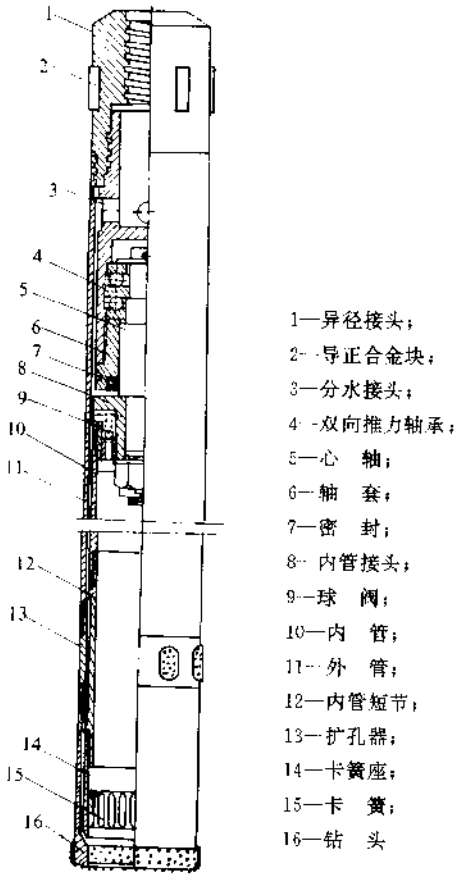


图 3-22　单动双层岩心管

双层岩心管上端的异径接头，下端有分水接头，内装双向推力轴承，支撑心轴自由转动，下装带球阀之内管接头，下接内岩心管，如图 3-22 所示。所以当外管随钻杆带动扩孔器钻头转动时，内管因岩心的轻微接触与磨擦而可以不转动（或略微有些转动）；钻杆内泵送下来的冲洗液经分水孔到内外管间隙流向孔底钻头处。这样，就能使岩心不受钻具转动的激烈摩擦与撞击振动，也不受冲洗液冲刷，因而得到较好的保护，取得较高的岩（矿）心采取率。内管中原有的冲洗液由岩心推动可顶开上部接头内的球阀排到内外管间隙中去。这类双层岩心管因内管不转动，通称为单动双层岩心管，或简称单动双管。

3.4.5.2　金刚石钻进的钻具级配（规格）

钻具的级配是指钻杆与钻头外径的配合关系。钻杆与钻头外径的差值若小，则级配较好，因钻杆与钻孔间的环状间隙小，钻杆回转稳定，有利于开高转速钻进。但又不宜太小，以免增高泵压、冲毁孔壁、增大升降钻具的阻力、破坏孔壁稳定。所以，金刚石钻进的不同直径钻头，都有相对应的钻杆、岩心管及套管等，一般不允许使用小一级的钻杆（这一点与其他钻进方法很不同）。普通双管钻具的级配规格见表 3-31。

由表中可看出，只有 91mm 钻头与下一级 75mm 钻头所用的钻杆规格是相同的。

3.4.6　金刚石钻进技术参数

在正确选择钻头结构类型的前提下，金刚石钻进效率取决于钻进技术参数：钻压、转速和冲洗液量。影响钻进技术参数的因素，有岩石物理力学性质、钻头质量与结构要素、钻孔直径与深度、冲洗液类型、所用设备与钻具的性能、其它工艺技术条件以及参数间的配合等。根据金刚石硬而耐磨等特性和金刚石破碎岩石的机理，金刚石钻进应采用以高转速为主的钻进规程。同时考虑到金刚石性脆与不耐高温的弱点，配以适当的钻压，尽量减少对金刚石的振动冲击作用，供给充足的冲洗液量，保证钻头的有效冷却与及时排粉。钻进技术参数选择是否合理，要以钻进效率与钻头进尺量（寿命）综合衡量。

表 3-31　金刚石钻进钻具级配规格（mm）（据 GB3432—82）

钻孔标称	钻头		扩孔器		岩心管					钻杆				套管		备注
	外径	内径	外径	内径	外管		间隙	内管		外径	内径	接头		外径	内径	
					外径	内径		外径	内径			外径	内径			
28	28	17	28.5	21	27	22.5	1	20.5	18	25	17	26	12			普通双管钻进用
36	36.5	21.5	37	27	35	29	1.25	26.5	23	33	23	34	15	45	38	
46	46.5	29	47	36	45	38	1.5	35	31	43	31	44	17	58	49	
59	59.5	41.5	60	48.5	58	51	1.75	47.5	43.5	54	42	56	24	73	63	
75	75	54.5	75.5	62.5	73	65.5	1.75	62	56.5	67	55	70	35	89	81 (78.5)	
91	91	68	91.5	78	89	81	2	77	70	67	55	70	35	108	99.5 (97.5)	

注：括弧内为厚壁套管。

3.4.6.1　钻　压

金刚石钻进的机械钻速，在一定限度内随钻压的增大成比例地增长。钻压达不到岩石压入硬度时，钻进处于表面破碎阶段。当钻压高于所钻岩石的压入硬度时，钻进岩石就从表面破碎过渡为体积破碎，钻速迅速增长。但钻压过大，金刚石切入岩石深度大，使钻头底唇部排粉间隙变小，会恶化孔底的排粉与冷却条件，岩粉被压实在孔底岩石表面或堵塞岩石表面孔隙受到重复破碎，使钻速下降，钻头磨损加剧，甚至烧钻或金刚石破损。所以钻压的最优值就是钻速最高和金刚石单位消耗量较少时的钻压值。对孕镶钻头，这个最优钻压还应使金刚石出露好，能维持较恒定的钻速。最优钻压通常是逐级改变钻压值来试验选择的，确定后的最优钻压应严格控制，不得随意变动。

表 3-32 是不同直径钻头所需钻压值，供初选钻压的参考。

表 3-32　金刚石岩心钻进钻压值（kN）

钻头种类	钻头标径（mm）				
	36	46	59	75	91
表镶	2～4	3～6 5～8	4～7.5 6～10	6～10 8～12	8～11
孕镶	2.5～4.5	4～7 6～10	4.5～8.5 7～12	6～11 9～14	8～15
聚晶	2～3	3～4.5	4～7	6～9	8～12

注：横线下为厚壁钻头的钻压值。

实际上影响钻压的因素较多，应根据具体情况予以考虑。主要有以下几方面：（1）在破碎、裂隙与非均质岩层中钻进，视裂隙程度一般降低 25～10%，在研磨性岩层降低 20～30%；（2）金刚石质量好、粒度细小、含量（浓度）大的钻头，钻压应大些，反之则小些；（3）较软的钻头胎体可用钻压较大些，较硬的胎体用钻压较小些；（4）新钻头下入孔内，钻

压要减轻到正常值的1/4～1/5，经一段时间磨合后再逐步增加到正常值；(5) 钻孔弯曲或有超径时，钻压要降低，孔内有异常现象，如泵压增高、回转阻力大时，应减轻钻压观察；(6) 表镶钻头随金刚石磨钝可适当增加钻压；(7) 冲洗液浮力、水压反作用力、钻孔弯曲、斜孔钻进等会抵消相当一部分给进压力，应考虑补偿。

3.4.6.2 转　速

转速是影响金刚石钻进效率的主要因素。在大多数硬岩中，转速增大时机械钻速随之提高，而单位进尺的金刚石耗量并不增加。因此，只要岩层比较完整、钻具的丝扣有足够强度、回转稳定性好、配用润滑冲洗液和设备能力允许时，就应该选用高转速进行钻进。

转速与金刚石磨损的关系较复杂，其间存在一合理值，即在一定转速下，金刚石磨耗量为最小。转速过慢过快，均增加磨耗量。如钻具回转不稳定、钻进中振动激烈，则磨耗速度急剧上升。

钻头转速一般根据钻头平均圆周线速度算出，不同岩层推荐的线速度值参见表3-33。按平均钻头径换算的钻头转数见表3-34。

表3-33　金刚石钻头圆周线速度

钻头种类	岩层特点	圆周线速度 (m/s)
孕镶	中硬硬	1.8～3
	坚硬	1.5～2
表镶（聚晶）	软中硬	2～2.5
	中硬-硬	1.5～2.5
	硬-坚硬	1～2

表3-34　金刚石钻头的转数（r/min）

钻头种类	36	46	59	75	91
孕镶	980～1970	800～1610	570～1110	440～880	360～720
表镶（聚晶）	660～1640	540～1350	380～950	290～750	240～600

选择转速时应考虑如下的具体情况：(1) 岩层完整、均质或较软，可选高转速，岩层破碎、层理发育或较硬，宜选低转速；(2) 金刚石品级高、粒度细，可用高转速，反之宜用低转速；(3) 新钻头下孔，要先用低转速试钻数分钟，无异常再转入正常转速；(4) 钻具回转稳定性差、有剧烈振动或回转阻力时，应降低转速，不得强行开动高转速；(5) 钻具级配不合理、钻头钻杆的直径差值大或钻孔弯曲时，要用较低转速；(6) 当采用高转速而钻速不再增高时，应适当降低转速或钻压，以免金刚石磨损加剧而降低钻头寿命；(7) 钻孔较浅时可用高转速，钻孔较深时钻具重量大、回转消耗功率大、转动的惯性大，转速受钻具强度与功率限制，要相应降低；(8) 如采用优质冲洗液或减振润滑剂及其他减振措施，钻具回转平稳，冲孔效果好，可用高转速；(9) 钻孔结构简单，孔壁稳定或下有套管，孔内清洁、无残留岩心或岩心采取率较高时用较高转速。

3.4.6.3 冲洗液量

金刚石钻进的冲洗液量，是重要的钻进技术参数。要求连续、均匀，有较高的流速冲

刷孔底钻出的岩粉，防止岩粉的重复破碎、堆积以至糊钻，而影响金刚石破碎岩石；并有效地冷却钻头底面金刚石，防止唇面局部高温使金刚石石墨化；当采用优质冲洗液时，还能起到润滑、减振与护壁作用。

金刚石钻进的孔径较小、孔壁间隙小、岩粉颗粒很细，所以岩粉离开孔底后排升较快，所需冲洗液量不要太大，但需要较大泵压。因为钻头底唇面间隙小（孕镶钻头更小）、转速高，岩粉极易被挤压粘附在岩石或底唇表面，必需采用较大的泵压，迫使冲洗液流经唇面下间隙强力冲刷，才能有效地冷却金刚石并使岩粉尽快离开底唇面。

实际钻进中，冲洗液排粉效率取决于钻杆与孔壁间环状截面内冲洗液上升的流速，它一般应不小于0.3～0.5m/s。具体选择时还要考虑以下情况：当钻进坚硬、细颗粒岩石时，钻速低、岩粉少、泵量可少些；钻进软的、中硬、颗粒粗的岩石时，钻速高、泵量应大些；钻进有裂隙、轻微漏失、强研磨性岩层时，泵量应适当加大；孕镶钻头转速高、金刚石颗粒细小、唇面间隙小，泵量应大些；随钻孔加深、泵量应适当增加，以补偿钻杆接头处漏失量的增加。常用泵量可参考表3-35所列值。

表3-35　金刚石钻进冲洗液量

钻头直径　(mm)	36	46	59	75	91
冲洗液量　(L/min)	20～30	25～40	30～45	40～50	50～70

3.4.6.4　钻进技术参数的配合

金刚石钻进的钻压、转速、冲洗液量三者间的关系，是互相配合、互相制约的，不能孤立地选择，应依据岩性及工艺技术条件，通过试验选择最佳的配合关系。

对坚硬、致密而弱研磨性岩石，应选择较低转速、大钻压、小泵量，以便切入岩石、减少时间效应的影响，有利于钻头自锐。避免金刚石被抛光，出现钻头"打滑"不进尺的现象。

对软岩层，应采用较高转速、适当钻压与大泵量。

对非均质、裂隙发育的破碎地层和强研磨性岩石，钻压与转速均应适当降低，泵量加大，减少对金刚石的冲击与磨损。

要提高塑性与脆塑性岩石中的钻速，主要靠转速与冲洗液量，但也须相应地加大钻压；对脆性与弹脆性岩石，应用最大转速，同时也须增大钻压。因为高转速增加了对孔壁的侧压力，导致钻压的损失需要补偿。

实际钻进表明，在一定范围内，机械钻速随钻压与转速的乘积值（Pn）增大而成正比例增加。但是，当Pn增至某一值时，因钻头与岩石由湿摩擦转变为干摩擦，使钻头胎体温度突然增高，钻进功率与钻头磨损急剧增大。故应使Pn值在正常规程的范围内。

根据钻进技术参数的影响因素，参考表列参数推荐值所选择的钻进参数，还要结合现场实际情况适当调整。如钻压要包括冲洗液浮力与斜孔倾角的影响；转速要选取钻机实有的转速档次；冲洗液也要选取所用水泵的实有排量档次，等。

3.4.7　金刚石钻进工艺要点

金刚石钻进技术较硬质合金钻进等其它钻进方法技术要求高、工艺复杂，除钻头结构、技术参数外，钻具组配、钻头使用管理、钻头磨损及操作技术对钻速与成本也有很大影响，

下面简述其要点。

3.4.7.1 钻具组配

金刚石钻进用钻具，一般分为三种：单管钻具、双管钻具和绳索取心钻具。钻进前准备作业中钻具的组配是一项重要而细致的工作。

(1) 扩孔器的外径在规格表上均比钻头大 0.5mm，实际按允许偏差比钻头大 0.3～0.5mm。选配时钻进硬岩层用较小值，钻进较软岩层时用较大的径差值。

(2) 卡簧与钻头内径的配合，一般卡簧的自由内径应比钻头内径小 0.3mm 左右，可根据岩层硬度与完整程度选用，过小易发生岩心堵塞，过大卡心不牢、易岩心脱落，都直接影响回次进尺与钻进效率。现场选配的简便方法，是将卡簧套在上一回次末的岩心上，用手向下能轻轻推动为合格，过紧过松都不应下入孔内使用。

(3) 内管下端、短节、卡簧座三者是插装在一起的，竖立提吊应不滑脱，且应手持短节稍加用力才能拔开为适宜。

(4) 双管钻具全部组配好时，卡簧座底端离钻头内台阶上端面，应有 3～4mm 的间隙，以便岩心顺利进入内管和流通冲洗液。

3.4.7.2 金刚石钻头与扩孔器的使用

金刚石钻头与扩孔器的正确使用，对延长钻头寿命、提高钻头平均钻速影响很大。组配钻具时，不仅规格要配套，还要对每一回次钻进应具体使用哪一个钻头做出选择。因为金刚石钻头钻出的孔壁光滑完整、孔径尺寸精度高，为避免新下入的钻头下不到孔底而花费大量“扫孔”工时和扩孔器负担过重，金刚石钻头必须分组排队使用。

分组排队，就是将本钻孔计划使用的钻头按规格、结构类型分成几个组，再把同一规格、类型的钻头用游标卡尺精细测量出外、内径（精度到 0.02mm），按外径大又内径小的顺序编号排队。每一回次钻进都要先使用外径最大并内径最小的钻头。每次提钻后都要精细地测量钻头的外内径。若外径仍最大就继续使用；若外径与下一号相同，就先下其中内径小的；若外径磨损到比下一号小一些，就换用下一号钻头钻进。这是每个回次钻进组配钻具都必须严格遵守的原则。

为了掌握钻头使用中的全部情况，所有钻头都要建立使用卡片，将每一回次的直径变化、回次进尺、机械钻速、钻进参数、累计进尺、岩石性质及其他有关情况，都及时详尽的登记在卡片上，以便统计资料汇总和总结钻头质量与钻进参数的选择经验。

为了加强对金刚石钻头和扩孔器的管理，应建立健全一套管理制度，如领退、使用、保管、报废及奖惩等制度，由专职机构或人员负责管理。

表镶的金刚石钻头与扩孔器用到报废程度时，金刚石实际消耗仅达 35～50%，剩余的金刚石还有使用价值，所以必须按规定回收原厂家，经处理后再用于制造新钻头，决不许随意丢弃。

3.4.7.3 钻头磨损

金刚石钻进时，观察与分析钻头胎体的磨损变形情况，是调节钻进技术参数、评估钻头的质量与选择是否合适的重要依据。因此，每次提出钻头后都要对钻头唇面进行细心的观察。

表镶钻头的正常磨损，表现为金刚石刃尖磨平，出刃量保持均匀不变，胎体磨损轻微，没有崩裂或局部损伤现象。

孕镶钻头的正常磨损，表现为内外径磨损量每米进尺不超过0.02mm，底唇面磨损量每米进尺不超过0.1mm，底唇面呈弧形、唇面有金刚石出露与小蝌蚪状尾形、手指抚摸有粗糙感，无崩裂、磨沟、掉块现象。

钻头的正常磨损，说明钻头选择适当，质量较好，钻进参数正常，钻头可继续使用，钻进参数可保持不变。

钻头的非正常磨损或变形，有多种表现与原因，常见的有：

(1) 底唇面光滑、进尺慢，金刚石出露不好，说明胎体过硬或钻压与转速不当，多见于孕镶钻头钻进致密硬岩层。

(2) 金刚石脱落，散见与粒径相近之小凹痕，说明胎体包镶不牢或偏软，钻头选择不当或冲洗不良，冲洗液含砂量过大，胎体磨损过度。

(3) 胎体有内外壁偏磨是胎体与钻头钢体或扩孔器不同心，底唇面偏磨是端面不垂直，均属钻头质量不合格，不应再下钻使用。

(4) 喇叭形或内台阶是常见的钻头变形，说明岩心堵塞后仍继续钻进或较长时间扫脱落岩心；所钻岩层硬、脆、碎，下钻或钻进时磕碰掉内缘金刚石，或钻头内径保径切削具脱落、质量差等。

(5) 锥形或外台阶变形也是较常见的，说明孔底不净、有硬碎块（胎体掉块、碎钢粒、硬岩碎块等），或在硬岩中长时间扩孔、扫孔，下钻或钻进时磕碰掉外缘金刚石，或扩孔器作用差，钻头外保径刃脱落、质量差。

(6) 底唇面磨出沟槽，金刚石分布不均、底唇面未全覆盖，或孔底有硬碎块，或唇面中间部分冲洗不良、金刚石微烧石墨化而拉出沟槽。

(7) 底唇磨损过快，每钻进1m工作层磨损超过0.1mm，说明胎体偏软或金刚石浓度较低，或钻压与转速偏大，或金刚石品级低等。

(8) 胎体损坏，出现裂纹、崩缺、掉块等，多是胎体性能与制造质量不良，或在裂隙、硬脆碎地层钻压、转速较大引起激烈振动所致。

(9) 烧毁，轻者金刚石石墨化变为黑色，说明冲洗不足、冷却不良，岩粉堆积、糊钻，或钻压与转速过大。严重时工作层与胎体全部烧毁变形，水路不通憋泵，甚至胎体全部脱环而发展为烧钻事故。

3.4.7.4 金刚石钻进操作技术

金刚石钻进在操作上要求特别精心，要贯彻“严、细、勤”的作风，即严格执行操作规程，科学打钻；细心对待每一项操作工序，不怕麻烦；勤观察分析，不打懒钻。切忌按硬质合金或钢粒钻进的操作办法或习惯来进行金刚石钻进。操作技术要点简述如下。

(1) 金刚石钻进开孔，应用硬质合金钻头，必要时用旧孕镶钻头。

(2) 下套管要检查有无凹瘪变形或毛刺，修整不好不能下入孔内。套管内初次下钻要缓慢，遇阻滞切不可冲下，要换用套管铣刀扫平后再下金刚石钻头。套管质量无保证时，应预先用套管铣刀全通一遍。

(3) 下完套管，如越级换径时，要用导正钻具钻进一段后，用锥形钻头扫掉换径台阶，以免下钻时碰坏金刚石钻头。

(4) 钻进时开动钻机，要先使冲洗液正常循环，再在钻头接触孔底而钻压很轻的情况下，试探着缓慢开车。当钻具重量超过正常钻压值时，任何情况下都不许将全部钻具重量

加到钻头上。

(5) 一个回次最好由一人操作，以熟悉孔内情况。正常钻进中不得随意改变钻进参数。不得提动钻具，以免人为造成岩心堵塞。操作者要注意进尺速度、孔口冲洗液返流量、泵压、机械运转声音、功率（电流）变化等，发现异常立即检查，必要时可减轻钻压、停止给进或回转钻具，但不得停泵、尽量不提动钻具。查出异常原因要立即消除。

(6) 冲洗液循环要保证正常，维护好水泵，有故障无法消除时，要先停钻机后关泵。钻杆接头要密封，丝扣不得粘附泥砂，要经常涂丝扣油保养，必要时接头丝扣要缠线或加胶环来防止漏水。

(7) 孔内要保持清洁，岩粉积存 0.2m 以上时要专门冲孔，孔底有碎胎块、硬质合金碎粒等异物时，都必须专门捞取干净后再钻进。

(8) 孔内有残留、脱落岩心时，要用硬质合金钻头或专用工具捞取，不许用金刚石钻头以钻进方式捞取。

(9) 要防止岩心堵塞，钻压不可忽大忽小，给进要均匀，开关钻机要平稳。单动双管的内外管间转动要灵活，油垢岩粉要清洗干净，卡簧要选配适当。岩心堵塞若处理无效，应及时提升钻具。

(10) 扭卸钻头与扩孔器时，应使用多触点的自由钳、盘形钳或摩擦式钳等专用工具，并不得卡夹金刚石胎体部分。

(11) 升降钻具时，要特别注意不使钻头与其他物体碰撞。如孔口夹持工具、孔口套管上端、孔内换径及孔壁不完整处都要放慢下降速度。遇阻可用人力转动钻具试放，无效时应换用其他钻头处理。严禁以钻具冲击、强行通过。

(12) 金刚石钻进的振动，是复杂的工程实际问题。使钻具发生振动因素较多，但主要是细长钻杆柱在高速回转时产生的弹性振动频率和钻头破碎岩石的脉冲阻力所产生扰动力的频率相吻合时引起激烈的振动。它会损坏钻头与钻具，故金刚石钻进需要防振。如钻杆外套胶箍或使用外径加大的锁接头及岩心管上端用导正异径接头都对钻杆回转起稳定作用；钻头与钻杆径差值小、级配好，也有此作用。目前，较有效的简便办法是使用有良好润滑性能的乳化冲洗液和涂敷于钻具外表面的油脂性润滑剂（由松香、黑机油、沥青配制）。此外还可使用减振器。

3.5 绳索取心钻进

3.5.1 概 述

绳索取心钻进，是在回次钻进终了、岩心装满内岩心管或堵塞时，不提升全套钻具，采用带绳索的打捞器从钻杆中将内岩心管提升到地面上来，取出岩矿心后再将内管从钻杆中投放到孔底钻具内继续钻进。它是不提钻取心钻进方法之一。只在钻进情况不正常（钻速显著下降、孔内有异状）或需要检查更换钻头时，将全套钻具提升出孔外。

这种方法，由于以卷扬钢绳代替了拧卸与升降钻具，大大地减少了起下钻作业时间，所以发展很快。在岩心钻探中所占比重日益增大，如美国绳索取心钻进已占岩心钻探工作量的 90%以上，澳大利亚、南非已占 80%以上，其它工业发达国家也达到 50%左右。我国自 70 年代初研制、生产试验成功后，正在普及推广，并不断地增加规格系列与品种，台月效率最高已超过 2000m，已占金刚石岩心钻进工作量的 30%以上。

绳索取心钻进的钻头壁厚比金刚石普通双管钻头厚，故机械钻速（纯钻时效）低于普通双管钻进。但因减少了辅助作业时间，回次钻进效率仍高于普通双管钻进，并随孔深加深而明显增高（孔深时辅助作业时间比例大）。所以绳索取心钻进的应用范围，在钻进100m内的浅孔时效益不显著。在获取岩心直径相同的前提下，钻孔直径要增大些，所用钻探装备、管材与功率消耗也要增大。所以一般认为绳索取心宜用于100m以上深钻孔，中深孔的效果最好。

绳索取心钻进的优点，主要有：

（1）钻进效率高，中深孔台月效率比普通双管钻进可高40%；

（2）岩心采取率与岩心质量高，钻进中岩心堵塞时，可立即打捞而减少损耗，提升内管平稳、中途不停顿、无震动，可减少脱落；

（3）钻头寿命长，因为提钻次数少，钻头受孔壁与打卸工具的磕碰少，下钻扫孔次数少、外径磨耗少，钻杆与孔壁间隙小，钻头转动平稳；

（4）有利于钻穿复杂地层，因升降钻具次数减少，使孔壁裸露时间少，减少对孔壁的抽吸与冲撞作用，增加了孔壁稳定性；

（5）延长钻杆寿命，钻杆丝扣打卸次数少，螺纹磨损少，降低了管材消耗；

（6）减轻工人的体力劳动强度。

绳索取心钻进用钻杆的内外径加大而管壁薄，要求使用高强度无缝钢管；螺纹连接处不能加厚而螺纹深度浅、有锥度，要求加工精度高，螺纹外壁要镀铬以提高抗磨性。所以绳索取心钻杆成本高，增加了装备费用。

为便于内岩心管升降，要求绳索取心钻杆保持高度的平直，而钻头壁较厚，需加较大的钻压，但钻杆壁较薄，过大的钻压易使钻杆以及钻孔弯曲。所以绳索取心钻进的技术要求更高，钻进参数的控制更要细致。

绳索取心钻进可使用金刚石钻头与硬质合金钻头，钻头寿命越长，其优越性越显著，故目前国内大都用金刚石钻头进行绳索取心钻进。

一般绳索取心钻进可用于钻进倾角75°～90°的钻孔。KS型坑道用绳索取心钻具可用于钻进0°～360°任意方向的钻孔。

3.5.2 绳索取心钻具与装备

3.5.2.1 绳索取心钻具

绳索取心钻具的内岩心管是要由钻杆内提取到地面上来的，为此钻具需有便于打捞的机构，配备专用的打捞器与钢绳绞车；钻进时内岩心管要准确地装设在外岩心管与钻头内的固定位置，为此需有相应的机构与部件。

ST型是冶金、有色系统常用的一种绳索取心钻具（图3-23）它由外管总成与内管总成组成，另有打捞器和钢绳绞车。

外管总成包括异径接头2、短接、外管16、扩孔器17与钻头18，连接于钻杆柱的最下部。

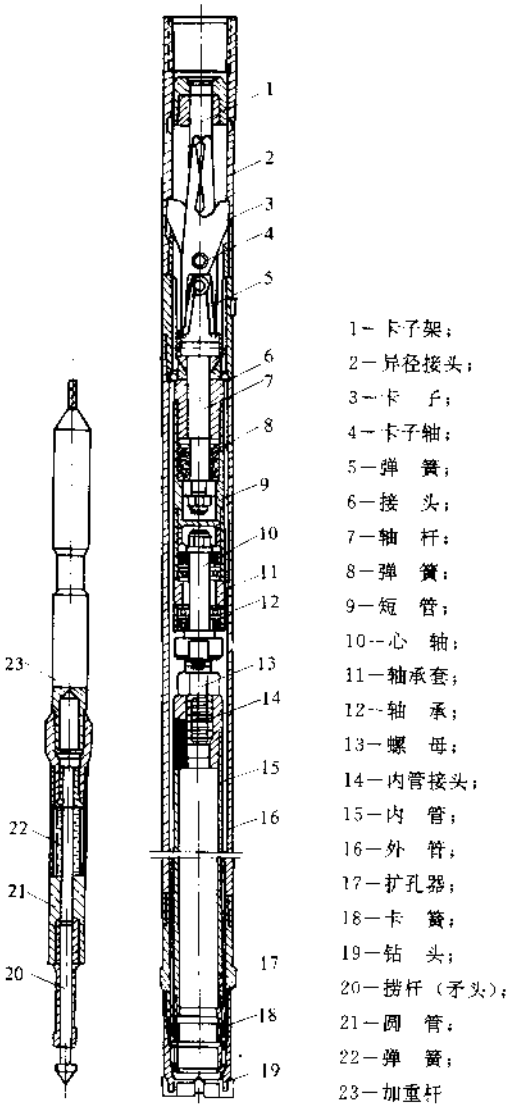
内管总成包括弹卡、悬挂、单动、调节与卡心等机构，简述如下：

（1）弹卡机构。作用是上限定位与打捞。在卡子轴上的两个卡子在扭转弹簧作用下，两翼外张卡入外管内槽（亦称弹卡室）中，限定内管总成不能上移，起上限定位作用；打捞岩心时，打捞器矛头在自重作用下进入弹卡头部，使卡子两翼收缩回卡子架内，并抵住卡

子上端钩，即可将内管总成提取上来。

（2）悬挂机构。作用是下限定位。弹卡机构下部接头的外径大于内径，能卡在外管上端内的座环上，使内管总成悬挂在外管内一定的位置，起下限定位作用。弹卡与悬挂机构不仅限制内管上下串动，还带动内管总成的上部随外管一起转动，防止弹卡与挡圈因相对运动而磨损。

（3）单动机构。在内管接头上部的心轴处，有两个向心轴承与两个推力轴承，使内管总成下部不随上部与外管一起转动，从而实现外管单动、内管不转动。使岩心得到保护。



1—卡子架；
2—异径接头；
3—卡　子；
4—卡子轴；
5—弹　簧；
6—接　头；
7—轴　杆；
8—弹　簧；
9—短　管；
10—心　轴；
11—轴承套；
12—轴　承；
13—螺　母；
14—内管接头；
15—内　管；
16—外　管；
17—扩孔器；
18—卡　簧；
19—钻　头；
20—捞杆（矛头）；
21—圆　管；
22—弹　簧；
23—加重杆

图 3-23　ST 型绳索取心钻具

（4）调节机构。内管接头与心轴的螺纹连接处有防松的锁紧螺母，拧松后可用螺纹调节内管下端卡簧座与钻头内台阶间的距离，以保证适当的冲洗液流通间隙，适应不同岩层钻进的需要。在单动机构上部短管内轴杆上有弹簧，当强力提断岩心时，弹簧被压缩让内管下移，使卡簧座座落到钻头内台阶上，由钻头承担提断岩心的力量。

地质部门常用的绳索取心钻具为 S 系列（图 3-24），其型号有 S－46、KS－46、S－59、S－75、S－91 和 SS－130 等 6 种，其中 KS－46 为坑道钻探专用的绳索取心钻具。S 系列绳索取心钻具采用打捞钩捞取弹卡架矛头的型式，除具有 ST 型钻具的机构外，还增加了内管到位和岩心堵塞两个报讯机构，使钻具结构更加完善、性能齐全、灵活可靠、坚固耐用，获得广泛地应用。其规格见表 3-36。

绳索取心钻进用的金刚石钻头，必须有较长的寿命，才有实用意义。应根据岩层特点对各厂家的不同类型与品种的钻头进行综合对比，优选出有较长寿命、较高时效与较低成本的、适应本矿区岩性的钻头。

3.5.2.2　绳索取心钻杆

绳索取心钻进用的钻杆。除传递动力、输送冲洗液外，还是打捞器与内岩心管的通道。故要求钻杆径粗壁薄、内外平整。为此需用高强度合金钢管经热处理制造，要有合理的钻杆连接方式与螺纹扣型以及精密加工与表面处理。

常用的连接方式，有（1）钻杆两端直接加工成内外螺纹，钻杆与钻杆直接连接。在加

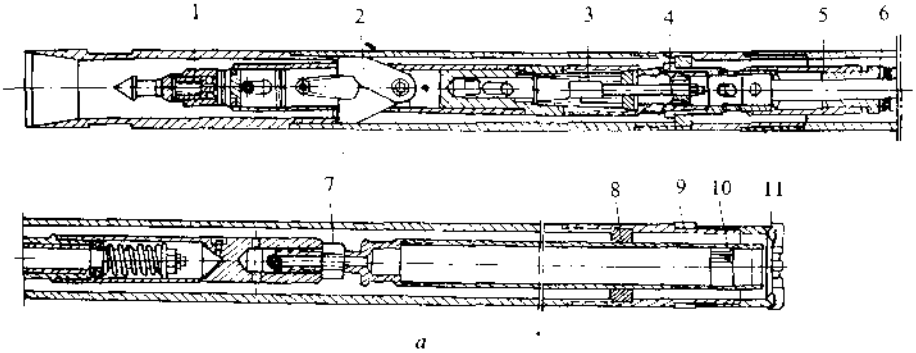
工内螺纹的管端外表面长 100～150mm 范围为镀硬铬或镍，并进行磷化处理，以增强其耐磨性；(2) 钻杆两端都加工成外螺纹，再用环氧树脂粘接剂分别扭接公母接头各一个。此种接头可用更好的材质、壁较厚、加工方便，能提高连接部分强度，磨损后便于更换而节省了钻杆管材，但增加了接头费用；(3) 钻杆两端用等离子弧焊接公母接头，其焊接速度快、质量好、强度高，可节省螺纹加工费用。

为了能从钻机上方打捞出内管总成，机上钻杆的通孔直径应至少等于绳索取心钻杆的内径，管壁较厚，长度应较单根钻杆与立轴长度之和略长。如无专用机上钻杆，亦可使用绳索取心钻杆做机上钻杆。
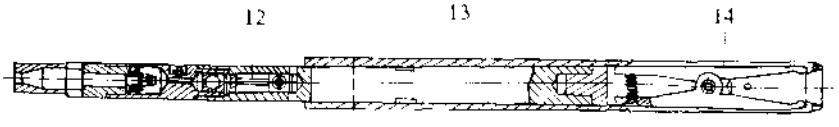
钻机立轴的通孔直径应大于机上钻杆或绳索取心钻杆外径。国产新型液压岩心钻机的立轴通孔直径均已加大到 75～91mm 以上。

表 3-36　S 系列绳索取心钻具（外径/内径 mm）

规　格	钻　头	扩孔器	岩心管		钻　杆	钻杆接头
			外　管	内　管		
S46 (KS46)	46.5/25	47/34	45/36	31/27	43.5/31	44/33
S59	59.5/36	60/47	58/49	43/38	55.5/46	56.5/46
S75	75/49	75.5/62	73/63	56/51	71/61	72/61
S91	91/62	91.5/76	88/77	71/65	87/77	88/76



a



b

图 3-24　S 系列绳索取心钻具

a－双管钻具；*b*－打捞器

1－肘节；2－弹卡定位机构；3－到位报讯机构；4－悬挂环；5－岩心堵塞报讯机构；6－单动轴承；7－调节螺母；8－扶正环；9－扩孔器；10－卡簧；11－钻头；12－安全销；13－脱卡管；14－打捞钩

3.5.2.3 绳索取心绞车

绳索取心钻进打捞内管需配备专用绞车。基本类型有两种：一是自带动力单独驱动的，动力有电动机、液马达或汽油机，可在任意场所安装；另一种是机装式，配装在钻机上，由钻机动力驱动。钢绳常用直径 ϕ4.8～5.3mm 的，长度一般应满足中深孔钻进的需要，常配备 800～1100m。常用绞车型号有 SJ－X、S56J－1、JSJ－1000 等。

为转挂钢绳，在钻塔或桅杆的适当位置悬挂一小滑车，应尽量对准孔口又不妨碍升降钻具，高度应较打捞器与内管总成长度之和再高出 1～2m 以上。单独动力驱动的绞车应安设在观察孔口方便，又不妨碍升降钻具作业的地方。绞车轴应与悬挂小滑车轴平行，以便卷筒缠绕钢绳整齐不乱，并防止钢绳由滑车或卷筒跳出。

3.5.2.4 其它附属工具

绳索取心用水接头的通孔直径，亦应不小于钻杆内径。为便于机上打捞内管，水接头上端有带密封圈的、能方便地打开与关闭的端盖。钻进水平孔或仰孔用的水接头，应另备有便于用冲洗液压送打捞器的端盖，这种端盖穿套在细钢绳上，并有塞线密封装置，能方便地装置在水接头上。

升降钻具的附属工具，一般使用不卡切口的。如提引工具可使用球夹提引器（图 2-59）或手搓提引接头，其下端为能与钻杆螺纹相拧接的接头。孔口停放工具使用脚踏式、球夹式（参看图 2-62）或油压式夹持器，其油压可由钻机的操纵阀组接出。拧卸工具应使用自由钳子或卡瓦夹紧原理的液压拧管机（如 TK--2N 型悬吊式液压拧管钳）。

3.5.3 绳索取心钻进技术参数

绳索取心钻进使用金刚石钻头时，选择与确定钻进技术参数的原则与要求和金刚石钻进的相同，但需结合绳索取心钻进的具体情况。

3.5.3.1 钻　压

由于绳索取心钻头较普通双管钻头壁厚，破碎孔底岩石面积大，钻压应相应地增大，但在深孔开动高转速有困难或纯钻时效较低时，不得随意加大钻压。应尽量采取其他技术措施，如改善冲洗液润滑性能、选择更适应岩性特点的钻头类型（包括唇面形状、金刚石品级、胎体硬度、含量等）、改善金刚石刃出露情况、使用液动冲击器等。因绳索取心钻杆壁薄、丝扣连接部分较弱，过大的钻压，轻则造成钻孔弯曲超差，重则钻杆弯曲影响内管顺利打捞，甚至使钻杆或岩心管（或其接头）丝扣胀大变形而损坏。

3.5.3.2 转　速

绳索取心钻进的转速与普通双管金刚石钻进的转速基本相同。钻杆与孔壁间隙小、转动较平稳，有利于开动高转速；但转动钻杆柱的阻力也增大、动力机负荷增大，又不宜于开动高转速。由于绳索取心钻头壁较厚，钻头平均径较小，按圆周线速度换算转数要高些。当提高纯钻效率与钻头寿命延长有矛盾时，绳索取心钻进比普通双管钻进要更多地考虑钻头寿命，所以转速应基本相同。孔深时要适当降低。

3.5.3.3 冲洗液

绳索取心钻具的各部通水间隙均较小，且转角拐弯较多，使泵压较高。钻杆内径大、高转速造成的离心分离作用也大，使冲洗液中的粘土与岩粉粘在钻杆内壁形成泥皮，妨碍打捞器与内管上下运动，不仅增加打捞时间或使打捞失败，还可能堵塞于钻杆内或拉断细钢绳而耗费大量工时去处理。所以绳索取心钻进要选用润滑性能好的无粘土冲洗液或不分散

低固相泥浆，并在地面做好冲洗液净化处理。

3.5.3.4 冲洗液量

金刚石钻进的冲洗液量，一般按钻杆外与孔壁的环状间隙的液流上升速度确定。因绳索取心钻进的环状间隙小，为达到同一上升速度所需泵量可小些；但钻头壁厚、碎岩量较大，为及时排粉泵量大些好；而增加泵量会更多地增大泵压。所以，综合考虑各因素，绳索取心钻进的泵量可与普通双管钻进的泵量基本相同，而泵压较高。当然，这个泵量是实到孔底排粉的泵量，不包括钻杆连接处的泄漏。

绳索取心钻进技术参数可参考表 3-37 选取。

表 3-37 金刚石绳索取心钻进技术参数

参数	钻头类型	适用范围	钻头标称直径 (mm)			
			46	59	75	91
钻压 (kN)	表镶	一般	5～7	6～8	8～10	9～12
		最大	8	10	12	13
	孕镶	一般	6～8	7～10	9～12	10～14
		最大	10	12	14	16
转速 (r/min)	表镶	一般	540～1350	380～950	290～730	240～600
	孕镶		800～1010	570～1140	440～880	360～720
泵量 (L/min)		一般	25～40	30～45	40～60	50～70

3.5.4 绳索取心钻进操作工艺要点

绳索取心钻进操作工艺的基本要求，和金刚石钻进相同，结合其不同特点，简述要点如下：

(1) 钻具准备。应检查清洗各部分机构的动作是否灵活、准确，适当润滑注油，但不可过量，各通水部位无杂物淤垢，各连接件拧紧到位，调整好定位间隙，在地面试验内管到位与打捞动作要良好。

(2) 内管投放。一般内管靠自重落入孔底，为加速到位可用冲洗液泵送内管（缓倾斜孔或水平孔则必须用冲洗液泵送）。一般无固相冲洗液或乳化液中自重下落速度每 100m 约为 3～5min，可根据实测数据、泵送时泵压突然升高、中深孔以浅时在孔口钻杆贴耳听声等判断内管到位。孔内如有残留岩心不得投放，必须专门套取或扫孔清除后投放。

(3) 捞取岩心。钻进中内管将要装满或岩心堵塞时要打捞岩心。要先用回转器立轴提动钻具拉断岩心，检查好打捞器各部动作是否灵活可靠、安全脱卡作用是否良好后，将打捞器缓慢下入钻杆内以其自重下落，一般每 100m 需 1min 左右。如中途遇阻要以人力提动试放，不可高提下冲，无效应提钻检查。打捞器到底要用人力试拉，确认矛头三钩住时即可提升。在深孔段、孔壁不规整或钻孔弯曲较严重处应放慢速度。

(4) 内管提出后，摘除矛头挂钩放平，确认孔内无残留岩心时，可将准备好的另一套内管投入钻杆内，转入下一回次钻进工序。同时，整理好捞取的岩心，清洗检查调整好内管总成，备下一次使用。

（5）绳索取心钻杆下入孔内前，必须检查好钻杆平直度、钻杆内与丝扣部分无杂物油泥垢和损伤变形。钻杆壁厚磨损达 1mm 或直径磨损达 1.5mm 的、丝扣变形拧接不靠或连接后晃动不紧密或漏水的均不得下入孔内。钻杆弯曲度超过 1mm/m 或表面有明显凹陷的，必须校直或通过管孔铰刀修整后方可使用。

（6）钻杆立根应放置在有垫木的立根台上，钻塔内多设立根靠梁（至少每根钻杆一个支撑点）。备用钻杆要堆放在三点以上平直垫木上摆列整齐，管端与螺纹要装好保护箍，钻杆表面与螺纹要涂油防锈。

（7）绳索取心钻具若出现故障，如打捞器钩挂不住矛头、提拉不动甚至拉断钢绳、内管不到位或定位不牢而脱位、严重蹩泵不能钻进、岩心不足有脱落或全脱落等，均需将全套钻具提升出孔外，详细检查内外管各部件有否损伤变形错位，作用不良的零件要更换。内管组装后要在地面推入外管内试验调整，要用打捞器试验好钩挂脱卡作用。

（8）重新下降钻具后，应由孔口钻杆内投放内管，可与移前钻机接续机上钻杆平行作业；钻进中捞取与投放内管宜在机上进行。这样，钻具可不提离孔底、减小岩心脱落，节省前后移动钻机与接卸机上钻杆的工时。

（9）绳索取心钻杆接头无切口，升降钻具用的工器具均靠磨擦夹紧作用，应经常检查其作用是否良好，避免卡夹不紧造成跑管、脱落、墩坏钻具等事故。有的生产单位使用有切口的锁接箍，改善了升降钻具作业。

3.6 钻（钢）粒钻进

3.6.1 钻粒钻进的应用与特点

在 20 世纪 50 年代以前，世界上许多国家在坚硬地层中，采用钻粒（铁砂、钢砂、钢粒）钻进。曾广泛用于 7～12 级的各种地层。随着细粒与孕镶金刚石钻头的问世，钻粒钻进已逐渐被取代。我国在人造金刚石钻头成批生产后，小口径岩心钻探已不用钻粒钻进。当需要采取大直径岩心和在坚硬裂隙岩层钻进大口径水井或工程施工钻孔时，仍采用钻（钢）粒钻进方法。

钻粒钻进的钻头是带水口的圆筒形，作为破碎岩石刃具的钢粒（亦称磨料），不固定在钻头上，散处于孔壁与岩心所限制的环状孔底，被压在钻头底唇面下，随钻头的回转在岩石上不断地翻转、滚动、冲撞。钢粒即以辗压疲劳破碎（压皱）与棱角压入的形式破碎岩石。同时，钢粒棱角不断被磨钝，有些钢粒被压碎成少数几瓣产生新的棱角，钻头底唇也不断磨耗。钻进过程中，随钢粒的消耗可不断地向钻头唇面下补给钢粒。所以，钢粒钻进的基本特点在于能够钻进比钢粒自身硬度大的岩石，并在钻头水口高度磨耗允许的范围内延长回次进尺，有利于钻进坚硬的强研磨性岩石。在我国大口径钻孔的坚硬岩层中钢粒钻进成本低于金刚石钻进。但是钢粒钻进的破岩面积大、限制钻速提高；孔径大、易钻孔弯曲；岩心细使采取率降低；只能钻进垂直孔与顶角小于 15°的斜孔等，是其不足。

3.6.2 钢粒与钢粒钻头

3.6.2.1 钢 粒

钢粒在钻进中承受很大的辗压力与冲击力。所以，钢粒应有较高的硬度、抗压强度与耐磨性，冲击韧性好，以减少消耗，增长回次进尺。

钢粒大多采用废旧钢绳破股后切制成圆柱状，常用直径为 2.5、3、3.5、4mm，高度与

直径尺寸应一致，其偏差不应大于 0.25mm，以便于钢粒滚动。钢粒的材质要求用 60～70 号优质炭素结构钢，热处理后硬度应大于 HRC50，其单粒抗压强度要求如表 3-38。

表 3-38　钢粒抗压强度

钢粒直径　(mm)	2.5	3	3.5	4
单粒抗压强度　(kN/粒)	9.8～10.3	12～13	14～15	16～17

在现场检查钢粒质量的方法，是将单粒放在铁砧上用手锤锤击数次，应不扁不碎，或只破碎成 2～3 瓣的钢粒占总数 80%以上为优质钢粒。

3.6.2.2　钢粒钻头

钢粒钻头的作用，是利用钻压与回转力以底唇面将钢粒压向孔底岩石，并依靠其弹塑性变形与摩擦力拖动钢粒在岩石上翻滚，借以破碎岩石。其本身在钢粒与岩粉、钻粒粉作用下也不断地磨耗。为此要求钻头具有一定的硬度与弹塑性。材质为 DZ—40 与 50 无缝钢管，经调质处理后硬度达 HRC28～32。

钢粒钻头的结构尺寸如图 3-25 所示，上端外周车有连接岩心管的螺纹，内壁有 1∶100 的锥度，以便采岩心所投卡塞物进入钻头内挤夹岩心。钻头下部开一个上小下大的水口，高度 H=120～150mm，其功用除冲洗液由此返流外，主要是利用水口后边的斜弧面，在钻进时向钻头底唇面下输导钢粒，即将钻头壁内外的钢粒补给到孔底。

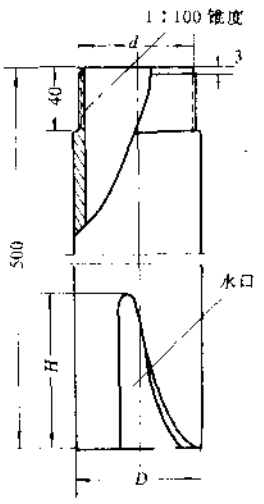


图 3-25　钢粒钻头结构

钻头规格以外径为标称尺寸，有 75、91、110、130、150mm。钻头壁厚常用 9～12mm。新钻头的全长为 500mm，每次钻进后在现场用手锯开高水口，可一直用到 150mm 长。水口底宽约占钻头圆周长的 1/4 左右。

3.6.3　钢粒钻进技术参数

钢粒钻进技术参数，包括投砂方法与投砂量、钻压、转速与冲洗液量等。它直接影响纯钻效率、回次钻进效率、钻孔质量与材料消耗。所以，应根据岩层的性质、钻孔的直径、深度、倾角及设备能力等因素选择确定合理的参数及其相互配合。

3.6.3.1　投砂方法与投砂量

投砂方法就是向孔底供给钢粒的方法，投砂量即每次投入的钢粒重量（钢粒俗称钢砂）。采用适当的投砂方法，合理地控制孔底砂量，对钢粒钻进的效率与质量都有较大的影响。

钻粒钻进的投砂方法，共有三种：一次投砂法、结合投砂法与连续投砂法。钢粒钻进因钢粒消耗量较少，常用一次投砂法，即回次钻进开始前，将回次进尺所需钢粒一次投入孔底的方法。一般在下降钻具后由钻杆内投入，再移前钻机接续机上钻杆。

一次投砂法的投砂量，应根据不同岩层钻进 1m 的钢粒消耗量与预计回次进尺数以及

上一回次孔内钢粒可能残留量等来确定。一般可按下式估算8～10级岩石的一次投砂重量G（kg）：

$$G = KD$$

式中 K——经验系数，一般$K=0.15\sim0.3$，岩石可钻性级别高、研磨性强的取上限；

D——钻头外径，cm。

对岩石可钻性为11～12级的岩石宜用结合投砂法，即在每次钻进开始前投入回次钻进所需钢粒消耗量的50～60%，待钻进一段时间后，将其余钢粒量分1～2次补投入孔内。这种方法能适当延长回次进尺，主要用于钢粒消耗量大的坚硬或强研磨性硬岩的深孔钻进。补给钢砂时应注意防止岩心堵塞。

3.6.3.2 钻 压

钻压是保证钢粒在孔底破碎岩石的必要条件，在一定范围内，机械钻速随钻压的增加而提高，但有最优值（或极限值）。最优钻压值主要取决于钢粒的强度和岩石可钻性，并受钻头唇面硬度与转速的影响。一般最优钻压值可达6～9MPa。但实际钻进时要考虑钻孔深度不同对回次钻进效率的影响。还要考虑钻压过大会使钻孔弯曲加剧、岩心采取率下降，并受管材强度、设备能力与加压方式的限制。所以，钢粒钻进常用的单位钻压值如表3-39所示，则钢粒钻头的钻压由下式算出，

$$P = pK\pi(D^2 - d^2)/4$$

式中 P——钢粒钻头的钻压，N；

p——单位钻压值，MPa；

K——考虑水口使钻头唇面积减少的系数，一般为0.7～0.8；

D、d——钻头的外径与内径，mm。

表3-39 钢粒钻进单位钻压值

岩石可钻性级别	7～8	8～9	>10
单位钻压（MPa）	3～3.5	3.5～4	4～5

注：钢粒直径3mm，抗压碎强度≥12kN/粒，硬度HRC58。

3.6.3.3 转 速

钢粒钻进的转速大小，直接影响钢粒在孔底翻滚的快慢、破碎岩石的频率和对岩石的脉动冲击作用。故在一定条件与范围内，转速越大，钢粒在孔底翻滚冲击次数增多，脉动冲击载荷增大，有利于对岩石形成疲劳与体积破碎。但存在最优值，超过则钻速下降。因转速过高时，动载过大会加剧钢粒的破碎，钻具摆动加剧而扩大孔径、磨细岩心，抵消钻压较多，增加钻孔弯曲程度，使钻进效率与质量都降低。

实际生产中钢粒钻进的转速，取决于岩石可钻性、钻孔的直径与深度，并受设备能力与钻具强度限制。对目前技术设备条件下，效率较高、应用较多的ϕ110mm钻头的转速可参考表3-40选取。

一般钻进中硬岩石时转速可较高，钻坚硬岩石宜较低。较大孔径应用较低转速，较小孔径宜用较高转速。当采取钻铤加压或钻杆上套胶箍等措施改善了钻具工作条件（转动平稳）时，可采用更高转速，以提高钻进效率。

表 3-40 ϕ110mm 钢粒钻头钻进的转速

岩石级别	7～9			10 以上	
孔深（m）	0～200	200～400	>400	0～300	>300
转速（r/min）	180～250	180	150～180	180	150～180

3.6.3.4 冲洗液量

钢粒钻进的冲洗液除排除岩粉与冷却钻头外，还要起分选钢粒的作用。即孔底钻头内外的冲洗液流速，应能将破碎磨耗、已无碎岩作用的钢粒碎屑冲洗到取粉管中，而不把有钻进岩石能力的碎钢粒冲离孔底。若泵量过大将钢粒冲起、悬浮于粗径钻具外环状间隙或冲到取粉管中，将加剧岩心管的磨损或孔底钢粒很少而无法钻进。若泵量过少，则不能及时排除岩粉和失去工作能力的碎钢粒，使钢粒翻滚受阻、加速钢粒消耗、钻进阻力增大、钻速下降，甚至造成埋钻事故。所以，钢粒钻进的冲洗液量要求严、控制与调节技术较难，也更显得重要。

冲洗液量最优值的影响因素较多，如岩石可钻性及其变化直接影响孔壁间隙，冲洗液类型、钢粒规格、钻头直径与壁厚、水口形状与尺寸、投砂量与孔底残存量以及转速、钻压等都会影响冲洗液对钢粒的冲洗状况。目前主要靠实际经验判断。初步选择可按下式计算值：

$$Q = qD$$

式中 Q——泵送到孔底的冲洗液量，L/min；

q——单位钻头直径的泵量，一般使用清水时 $q=5\sim3$，使用泥浆时 $q=3\sim1.5$；

D——钻头外径，cm。

当岩石不够坚硬，钢粒径、水口、钻压较大，转速较小，孔底砂量较多时，q 值取上限；反之 q 值要减小。钻杆连接处不得有泄漏。

实际钻进中，钻头磨耗使水口高度变小，水口处液流速度变大。同时，孔底钢粒的粒度磨小、数量减少。所以每一回次钻进中，泵量应逐渐减少。一般分数次改小泵量，上列 q 值的范围亦表示回次进尺开始到终了的泵量变化。改水的次数不宜多，每回次钻进改 1～3 次，每次改水量 5～10L。岩石硬、钻孔深、回次钻进时间长，改水次数可多些。

3.6.3.5 钻进参数合理性的判断

钻进参数选择是否合理，要在生产实践中验证。除结合岩石性质和已往的钻进效率、质量与材料消耗做对比外，每一回次钻进还要根据钻进情况和提钻后的钻头磨损、岩心粗细变化与取粉管内钻粉沉积情况等相对照来具体分析判断。

（1）钻进情况正常时，钻速较高、进尺均匀且保持时间较长，钻具回转阻力与振颤均匀、无不规则跳动，提动钻具无阻滞，泵压均匀，孔口返水与循环槽岩粉沉积均匀，改水后情况如前，则钻进参数适当。

（2）若进尺缓慢，提动钻具有阻滞感，回转阻力较大，则水量少或孔底钢粒（粉）过多。若进尺缓慢而提动钻具无阻滞，回转有不规则阻力或跳动，则水量大、钢粒少或岩心堵塞。应试调水量或处理堵塞。

（3）提钻后观察钻头磨损，正常时底唇呈圆弧形断面，有钢粒翻滚刻成的均匀麻痕。如

底唇光滑无麻痕，则钻头下缺少钢粒。如水口导砂作用不良、水量过大或小，则钻头底唇向内或外偏磨而呈喇叭或锥形。钻头外壁麻痕高度与水口高度大致相同为正常。若麻痕超过水口，则钢粒偏多或水量大。水口后上方有涡流凹坑，则砂量多、水量小，水流不能排除钢粒粉，分选钢粒作用不良。

(4) 岩心直径，正常时 ϕ110mm 钻头的岩心直径约 78～82mm，91mm 钻头的约 59～63mm，上下粗细基本均匀。若岩心粗，则水量大，钻头下钢粒少，岩心细则反之。若岩心粗细不均，除岩性变化外，水量忽小忽大或钻压、转速控制不均，或有岩心堵塞。若岩心上细下粗，则回次初砂量过多、水量小而后期水量相对过大（即改水量或次数不够）。

(5) 取粉管内清理出的大多是钢粒粉，碎钢粒较小或较少，则水量控制合适。如碎钢粒较大较多，则水量大。如只有很细小的钢粒粉（除回次末大水量冲孔部分），则钻进时水量偏小。

(6) 岩心管下部，正常时应有磨损印痕，高约 0.8～0.9m。若印痕高超过 1m，则表明水量大、钢粒多。

3.6.4 钢粒钻进工艺要点

钢粒钻进操作的技术工艺要点有：

(1) 钢粒钻进要保持孔内清洁。孔内钻粉沉积高度不得超过 0.3～0.5m，超过时需专门捞取。岩心管上必配取粉管，回次终了要大泵量冲孔。

(2) 硬质合金钻进改换为钢粒钻进或下套管后，应用小砂量、小水量、小钻压、小转速的“四小”参数钻进，以防发生夹钻事故。待钻进超过粗径钻具长度后，方可逐渐改用正常钻进参数。换小一级钻头钻进时，要用导正钻具，以防钻孔弯曲。

(3) 钻杆应使用保护胶箍，以减少钻杆弯曲与磨损，使钻具回转稳定、钻压落实，有利于采用合理地钻进参数。要经常检查钻具磨损情况。

(4) 钻进参数要控制均匀，调节水量要平稳，防止岩心堵塞。要采尽岩心减少残留。提升钻具要平稳，防止岩心脱落。孔内有脱落岩心，要下钻缓慢扫孔套取，不可用钻具强行向下冲击。

(5) 各班应采用相同的投砂量、方法及钻进参数，以保持孔径规整。要经常分析钻进参数配合，总结具体操作技术经验，各班共同施行。

3.7 冲击回转钻进

3.7.1 冲击回转钻进的特点与应用

冲击回转钻进是在回转钻进的基础上，在钻头或岩心管上加接一个冲击器，以提高钻进效率的一种钻进方法。钻进时，钻头除有一定的钻压与回转力矩作用外，还受到冲击器给以一定频率的冲击能量，使钻头能以冲压剪切和回转切削的共同作用破碎孔底岩石。

岩石在有一定预加压力下，抵抗冲击破碎的强度要降低很多，故冲击回转钻进效率比无预压的冲击钻进高。由于回转钻进加冲击载荷作用，对坚硬岩石易于实现体积破碎，故冲击回转钻进效率比一般回转钻进高。孔底冲击器（亦称潜孔锤）可将冲击能量直接传递给钻头，能量散失少，相对地表冲击器可用较小的冲击器获得较高的钻进效果。

冲击回转钻进，除可提高硬岩钻速外，又因钻进所需钻压较小、转速较低，可使钻孔不易弯曲，材料消耗低，延长钻头寿命与回次进尺，减少岩心堵塞与孔内事故，克服金刚

石钻进坚硬地层时的“打滑”现象，所以是当前切实可行的高效、优质、低耗的钻进方法，是我国钻探工程技术重点推广项目之一。

由于近年来孔底冲击器的类型不断增多，结构不断完善，性能不断提高，相应的设备工具配套，冲击回转钻进的应用更加广泛：

（1）可用不同的切削具钻进中硬以上各种岩层。以硬质合金为切削具时，最适于钻进粗粒不均质岩层，尤其在5~8级岩石中效果更突出。在硬与坚硬岩层中，使用金刚石钻头的冲击回转钻进，机械钻速与回次进尺均有较大的提高，而且所钻岩层越硬，提高幅度越大。

（2）原来金刚石钻进有困难的地层，如裂隙发育、坚硬“打滑”、钻孔易严重弯曲及孕镶钻头无法开高转速的漏水地层等，使用冲击回转钻进方法，均取得了较好的效果。

（3）绳索取心钻进用孔底冲击器由我国冶金探矿研究所研制成功，已取得明显的效果。现已有系列化产品，并得到推广应用。

（4）冲击回转钻进可用于岩心钻进和无岩心全面钻进，可用于小口径和大口径（ϕ46~ϕ1500mm）钻孔的钻进，地质岩心钻探用液动冲击器的钻进孔深已达到1000m。并能用于定向钻孔的钻进。

3.7.2 孔底冲击器（潜孔锤）

冲击器是冲击回转钻进的关键设备。其种类按动力方式可分为：

（1）液动冲击器：以高压冲洗液为动力介质，驱动冲锤产生冲击作用；

（2）气动冲击器：以压缩空气为动力介质，驱动冲锤产生冲击作用；

（3）机械作用冲击器：利用涡轮、电机、电磁装置或机构产生冲击作用。

其中比较成型、性能良好而普遍使用的是液动与气动两种。在地质勘探中以液动冲击器使用最广泛；在卵砾石类的砂矿、水文水井钻探、工程施工与大口径钻孔以及干旱、永冻土地区，气动冲击器使用最广泛。

冲击器按结构原理可分为阀式与无阀式两大类。液动的阀式又有正作用、反作用与双作用三种；液动无阀式有射流式与射吸式两种。

冲击器按其性能可分为高频小冲击功和低频大冲击功两大类。使用硬质合金钻头及孔径大于75mm时，多用低频冲击器；而在8级以上岩石中使用孕镶金刚石钻头时，一般选用高频冲击器。

我国发展的液动冲击器，是阀式正作用和双作用以及无阀射流式与射吸式冲击器。无阀射流式与射吸式是我国首创的新型冲击器，其性能良好，已得到推广使用。下面介绍几种冲击器的结构工作原理。

3.7.2.1 阀式正作用液动冲击器

该冲击器的结构工作原理如图3-26所示。所谓正作用是指正循环的冲洗液，以液压正面推动冲击锤下行冲击，并压缩弹簧，再利用弹簧力上行恢复原位。如图示位置，钻头接触孔底、冲击器下落时，活塞冲锤5与活阀4在各自弹簧的支持下处于上限位，活阀盖住活塞冲锤的中心孔。使泵入的冲洗液不能流通，液压升高推动活阀与活塞冲锤一起下行，压缩弹簧。在即将打击铁砧7之前一瞬间，活阀下行到位，在阀簧3作用下恢复至上位。同时，活塞冲锤以其惯性打击铁砧。此时因活塞中心孔已开通，上面已卸压，活塞在锤簧作用下上返，当其与活阀接触时，中心孔被盖住，又重复下行而连续工作。欲停止冲击时，可

稍提起外管，使活塞冲锤与锤簧随铁砧下落少许，悬挂于外管下端，则活阀与活塞上端面分开，液流从中心孔通向孔底，即可停打。

铁砧下接岩心管或钻头（全面钻进不取岩心时），宜尽量接近孔底。

3.7.2.2 阀式双作用液动冲击器

该冲击器的结构工作原理参看图 3-27。双作用是指活塞冲锤的正、反冲程均由冲洗液压力作用来完成。消除了最易疲劳损坏的弹簧。如图示活阀 2 的下端直径大，上段阀杆较细在活阀座 1 内，且与冲击器壳外低压区相通。活塞冲锤 6 下段粗，上段为活塞杆 5 较细，粗细相接处空腔亦与壳外低压区相通。在铁砧 8 内有节流环 7，使冲击器内外形成压力差。因而活阀与活塞冲锤的下端面液压力均大于上端面液压力，迫使活阀与活塞冲锤先后向上移动。当活塞冲锤与活塞杆上移到与活阀接触时，到达上限位置，并阻断液流。此时活塞下面卸压，活阀大径部分的环形上端面作用的高液压力，使活阀与活塞杆以及活塞冲锤一起向下移动，活阀行程为 h 被支撑座 4 限止住，而活塞冲锤以惯性继续下行冲击铁砧，行程为 S。此时活阀与活塞杆分离，中心孔开通，又开始新的上下行程，连续冲击工作。

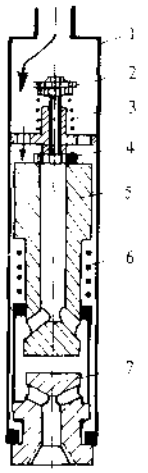


图 3-26 阀式正作用冲击器结构原理

1—外管；2—活阀座；3—阀簧；4—活阀；5—活塞冲锤；6—锤簧；7—铁砧

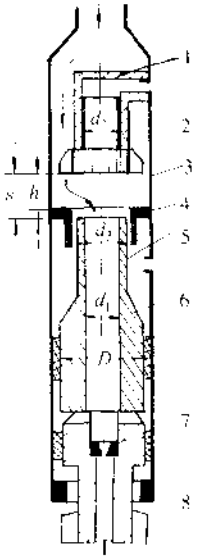


图 3-27 阀式双作用冲击器结构原理

1—活阀座；2—活阀；3—外管；4—支撑座；5—活塞杆；6—活塞冲锤；7—节流环；8—铁砧

3.7.2.3 SC 型射流式液动冲击器

该冲击器的结构如图 3-28 示，它属无阀双作用式。其核心部件是“双稳”射流元件，以其特殊的设计起分配控制液流的作用，而不用配液活阀。当高压冲洗液由射流元件 1 上端的喷嘴喷出时，因射流附壁作用，只沿左右某一侧下喷。假如先附壁于右侧，高压液流经右通道 C 进入缸体 2 上部，推动活塞 3 连同冲锤 4 下行冲击铁砧 5。同时，有一小股高压液流（称为反馈讯号）由 C 经讯号孔通道（图中虚线所示）至控制孔 D。在活塞冲锤冲击铁砧时，液压瞬时增高，反馈讯号增强，促使射流由右切换附壁到左侧。高压液流由 C 切换

为 E 输出，通到缸体下部推动活塞与冲锤上升。此时缸体上腔回水经 C 回流至放空孔 G，再经旁孔下通至缸体侧槽 J、过水接头、冲锤外环间隙与铁砧中心孔进入岩心管钻头。同样，E 处反馈讯号通至控制孔 F，活塞上行到顶时亦有增强的反馈讯号，将射流又切换到 C 侧，如此反复实现连续冲击。

3.7.2.4　TK 型绳索取心钻进用冲击回转钻具

绳索取心钻进时，钻头壁较厚、破碎岩石面积大，尤其在坚硬岩层钻速低、钻压大、易出现“打滑”现象。我国冶金系统研制了 TK—60S 与 TK—75S 型绳索取心钻进用冲击回转钻具。它成功地将绳索取心钻进的纯钻时间长和冲击回转钻进适于钻进硬岩、钻速高的优点结合起来，形成了一种新的高效钻进技术——绳索取心冲击回转钻进。

TK－60S 型钻具的结构工作原理如图 3-29 所示，分为外管与内管总成。

外管总成由外管、传振环、受振环、花键机构等组成，作用是传递冲击功、扭矩与钻压。

其内管总成包括上部的悬挂启动机构、中部的正作用液动冲击器和下部的内岩心管总成。悬挂启动机构有上、下两个弹卡。上弹卡作用是内管总成的上限定位。下弹卡向下张开支撑于外联接管内，悬挂冲击器上部。

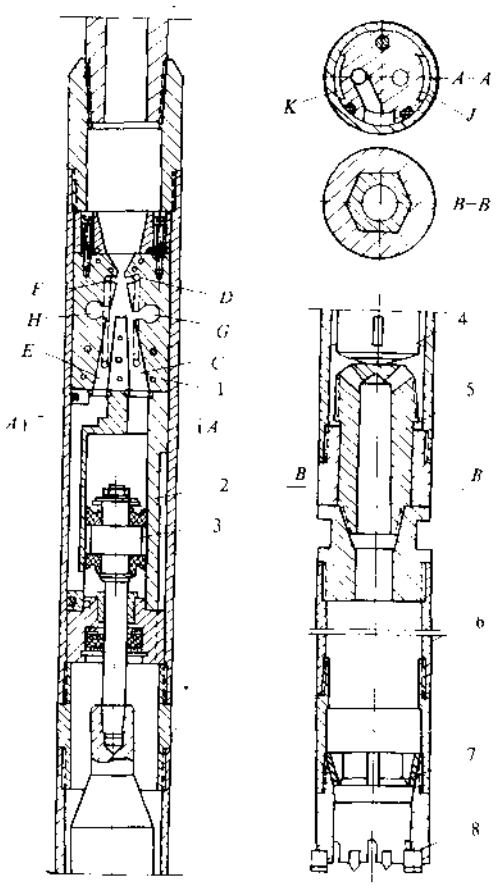


图 3-28　SC 型射流式液动冲击器

1－射流元件；2－缸体；3－活塞；4－冲锤；5－铁砧；6－岩心管；7－卡簧；8－钻头

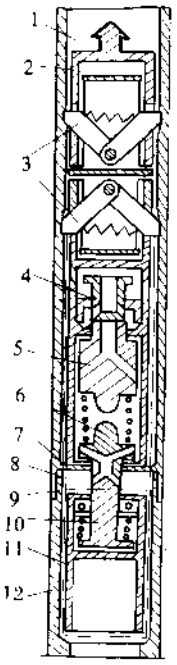
在图示位置，活阀盖住冲锤上部（活塞杆）端面，液流被阻断，其动压力使活阀与冲锤一起下行，并压缩弹簧。当活阀到下限位后，冲锤以惯性打击砧座，经传振环、受振环、花键轴将冲击功传给外岩心管。此时活阀由弹簧恢复上位，与冲锤脱开，液流经冲锤与砧座内孔流向孔底，冲锤由弹簧作用而上行。当冲锤上行至与活阀底面接触时，又重复上述运动而连续冲击工作。

内岩心管总成悬挂在砧座下卡槽内。当发生岩心堵塞时，内岩心管被推上移，则高频脉冲传给内岩心管，以帮助解除岩心堵塞。

当钻具悬吊时，冲锤以下部分与内外岩心管下移少许距离，使活阀与冲锤上端面不接触，因而冲击器不工作。

如卸下冲击器，将内岩心管接于悬挂机构下部，外联接管（花键机构）换成螺纹连接管，即可进行普通绳索取心钻进。

国产液动冲击器的型号及其主要技术性能列于表 3-41。



1—外管总成；
2—悬挂启动机构；
3—上下弹卡；
4—活　阀；
5—冲　锤；
6—铁砧座；
7—传振环；
8—受振环；
9—花键机构；
10—内管心轴；
11—内岩心管；
12—外岩心管

图 3-29　绳索取心冲击回转钻具结构

3.7.3　冲击回转钻进用钻头与装备

3.7.3.1　冲击回转钻进用钻头

钻头是冲击回转钻进提高效益的重要工具。

钻进 4～7 级岩石时，应选用硬质合金钻头与冲击功大而冲击频率较低的冲击器。切削具应选用冲击韧性较好的 YG8、YG8C、YG11C 或 YG15 等牌号的硬质合金；岩石强度低、使用冲击功小而频率高的冲击器时，亦可用 YG6X 与 YG4C 的；型号用 K_2、K_1、TC_2、TC_1、T_3 或 T_1、T_3 楞柱状磨制。切削刃的形状应呈不对称双面刃（偏楔形），刃角为 90°～110°，负前角 30°～45°，底出刃 3～5mm，内外出刃 1～2mm 的冲击与切削复合型钻头。

钻进 5～12 级岩石、尤其是坚硬与“打滑”地层，应选用高频率、低冲击功的冲击器与孕镶金刚石钻头，人造金刚石粒度 60/70～80/100 目，天然金刚石 40/45～60/70 目，胎体硬度为中硬至硬级（HRC35～45），金刚石浓度 75%左右；若用天然金刚石表镶钻头，粒度为 20～40 粒/克拉，胎体硬度 HRC20～25。对钻头结构的要求，主要是水路系统有较大的液流过水断面，胎体与钻头体的联结有足够的强度，耐高频冲击而不断裂。

冲击回转钻头的钢体材质应用含炭量中等的优质炭素结构钢或合金钢，钻头体壁厚一般为 10～14mm，长度为 140～150mm，上端内壁应有安放采岩心卡簧的锥度。

钻头上应配备扩孔器，用以修整钻孔。原因是冲击破碎岩石的孔壁不圆滑，钻进高研磨性岩石时钻头外径磨损严重使孔径变小。

3.7.3.2　冲击回转钻进用钻机

冲击回转钻进用钻机的特点，主要是使用硬质合金钻头时要有较低的转速（如 30～50r/min 或更低），而采用金刚石钻头时和回转钻进相同。现有岩心钻机大多有一档小于 100r/min 的低速，基本适应小孔径冲击回转钻进的需要。如动力端加一级三角带减速或换装较低速动力机（电动机 4 极改 6 极），亦能满足较大孔径钻进的需要。此外张家口探矿机械厂生产的 XYZ－3 型钻机具有宽广的立轴转速范围（12 档转速中有 5 档<100r/min），是专门为冲击回转钻进设计的，为选择合适的转速提供了良好的条件。

3.7.3.3　液动冲击器工作的动力源

水泵是冲击回转钻进液动冲击器工作的动力源，其性能的优劣对冲击器能否保持最佳工况起决定性作用。对泵的要求是具有较大而稳定的泵量和较高的泵压，使用变速箱调节泵量（不得使用三通阀），配备有防震装置的泵压表和稳压罐。稳压罐即较大的空气室，接

在泵的输出管端，要求其耐压能力在10MPa以上，容积大于50L。冲击回转钻进所用其它工器具还有：高压送水胶管、钻杆立根密封接头、加强密封性能的水接头以及测频仪（如FM－3型）等。

表3-41　液动冲击器型号及主要技术性能

种类	型　号	外径 (mm)	钻孔直径 (mm)	工作泵量 (L/min)	工作泵压 (MPa)	冲击频率 (Hz)	冲击功 (J)	锤行程 (mm)	冲锤重 (kg)	钻具重 (kg)	长　度 (mm)
阀式正作用	TK－56A	56	59	50～120	1.0～2.5	28～51.6	3.9～2.45	12～29	6	25	1672
	TK－75A	73	75、91	60～180	1.0～3.0	38.3～50 20～25	5.9～17.6 28.5～70	12～29	9	35	1602
	TK－91A	73	91、110	90～150 180～200	1.5～2.2 2.5～3.5	40～53 20～25	7～20 50～70	12～29	11	37	1702
	YZ－54 Ⅱ	54	59	72～125	1.0～2.0	17～33	4.9～13.7	11～16	10	27	2010
	YZ－75	73	75	170～220	1.5～2.0	17～19	—	—	—	—	2350
	ZF－56A	56	59	60～90	2.0～3.5	50～56.7	8～14	—	—	18	1500
射流式双作用	SC－54	54	59、75	60～120	1.0～4.4	25～33.3	4.9～19.6	4～12	3.5～6.5	30～40	1500
	JSC－75	73	75～110	120～200	2.0～4.9	13.3～25	39～69	15～30	20、25、40	50～60	1800
	XSC－75	75	75、91	≥145	-	15～19	30～50	15～20		30～40	2300
	SC－89	89	91、110	180～250	1.0～4.4	13.3～25	39～79	10～30	14～30	50～60	1480
	SC－150	150	150～200	450～600	1.5～2.0	10～15	98～138	30～50	60～80	150～160	1850
阀式双作用	YF73－1	73	75	150～200	1.5～2.5	12.5～18.3	39～59	20	22	51	2255
	YE－Ⅳ	54	59	60～70	2.0～2.5	33.3～41.7	9.8～14.7	10～13.5	7～13	17～27	1340～2140
	SII－54	54	59	70～110	1.0～5.0	13～34	5～30	10～20	5～10	20～30	2240～3340
	YS－54	54	59	50～100	0.6～3.9	50～70		6～10			1200
	YS－74	74	75	50～120	0.6～4.0	50～70		6～11			1200
	YS－89	89	91	50～120	0.6～4.0	25～40		10～18			1200
	YS－108	108	110	60～150	0.8～4.0	15～30		10～20			1200～1800
	YS－127	127	130	60～200	0.8～4.0	15～30		10～22			1200～1800
射吸式	SX－54 Ⅱ	54	59、75	80～140	1.0～3.0	33.3～66.6	4.9～19.6	4～4.5	6		1270
			75、91	90～150	1.5～3.5	25～50	9.8～39.2		10		1770
绳索取心正作用	TK－60S	43	59	60～90	1.1～1.7	38～42	4.9～9.8	12	9	29.8	5839①
	TK－75S	56		60～120		38～50	9.8～18.6				1709
	S59C	43									
	S75C	56	75	72～125	1.0～2.0	17～33	4.9～13.7	11～16	10	100	5825①

① 为钻具总长度。

3.7.3.4　冲击回转钻进用岩心管

岩心管应进行高频表面淬火，以提高其刚性，减少冲击功传递中的损失。为提高液能

有效利用率，可配用孔底贮能器（亦称反射器）。为降低冲击器背压，使其正常工作，可配用分流器。

总之，岩心回转钻进的多数装备，虽大体上可用于冲击回转钻进，但适应性不够，难以充分发挥冲击回转钻进的效益，应适当加以改造。

3.7.4 冲击回转钻进工艺

3.7.4.1 冲击回转钻进技术参数的选择

冲击回转钻进技术参数的选择可参考表 3-42 的推荐值，并依据下述情况具体确定。

（1）硬质合金钻头钻进较软岩层时，以回转剪切作用为主，应用较大钻压；钻进较硬岩层时，以冲击破碎作用为主，应用较小钻压。

（2）金刚石与针状合金钻头钻进的钻压，与普通回转钻进可相同。

（3）硬质合金钻头钻进硬的或强研磨性岩层时，转速应在 20～80r/min 之间，岩石越硬，转速应越低。钻进较软或裂隙发育的岩层，转速应在 80～300r/min 之间。这样可满足最优冲击间距的要求。

（4）冲击器的性能，如冲击功较大可适当提高转速，反之则降低转速；若冲击频率较高时，亦应适当提高转速，反之降低转速。

（5）针状硬质合金钻头的转速，一般为 200～300r/min。

（6）金刚石钻头的转速，可与普通回转钻进时相同。

（7）泵量应满足冲击器正常工作所需流量，并增补管路泄漏量。

表 3-42 液动冲击回转钻进参数

钻头品种	硬质合金			金刚石					
岩石级别	5～7			5～7			8～12		
钻头标称（mm）	钻压（kN）	转速（r/min）	泵量（L/min）	钻压（kN）	转速（r/min）	泵量（L/min）	钻压（kN）	转速（r/min）	泵量（L/min）
59	3～6	45～90	45～100	4～7	300～700	45～100	5～8	400～1000	45～100
75	5～7	35～70	50～120	6～9	300～600	50～120	7～9	300～700	50～120
91	6.5～8.5	30～60	60～140	8～11	300～500	60～140	7～12	300～500	60～140
110	7～10	30～50	70～160						
130	7～10	15～40	80～200						
150	8～12	15～30	100～250						

3.7.4.2 冲击回转钻进操作技术要点

（1）下钻前应拆卸检查冲击器，其各活动部件运动要灵活、密封要完好，组装时按使用说明书要求调整好间隙、做好润滑。

（2）要加强冲洗液净化处理，以防止岩粉杂物进入冲击器，减少部件磨损，延长使用寿命。

（3）岩心管不要过长，按回次进尺配用，钻具各丝扣要扭紧。

（4）下钻距孔底 0.3～0.5m 时，开泵洗孔，以轻压、慢转、小水量冲击扫孔到底，确认冲击器工作正常后，再换正常技术参数钻进。

(5) 钻进中泵压突然增高或降低、冲击器不工作或进尺突然变慢不进尺，经提动钻具、变更水量或钻压、转速仍无效时，应及时提钻检查。

(6) 硬质合金切削具要根据岩性修磨刃角，但不可过于锋利，要留有微小钝刃与圆角，底出刃要均匀。

(7) 在钻孔易弯曲地层钻进，应采用较大冲击功、较低频率与低压慢转的钻进参数，适当控制钻速。换径时要用导向钻具。

3.8 反循环钻进

3.8.1 概 述

钻探工程中，使冲洗介质（冲洗液或空气）由钻杆或岩心管内向钻孔外携带岩粉或岩心的循环方式，因与传统的正循环流向相反，统称为反循环法。以反循环法施行的钻进称为反循环钻进。

反循环钻进的优点，主要有：(1) 反循环冲洗介质的流向与岩心进入岩心管的方向一致，能减少对岩心的冲刷、磨损，有利于岩矿心顺利进入岩心管，并呈悬浮状态，故能提高岩矿心采取率。(2) 反循环冲洗介质在钻杆中上升速度快，能携带岩心或大块钻渣到地面，避免孔底重复破碎，减少钻头磨耗，增加纯钻时间，提高钻进效率。(3) 排渣能力大大增强，为钻进卵砾石地层与大口径钻孔创造了有利条件。

岩心钻探的反循环钻进，包括孔底局部反循环钻进与全孔反循环钻进，后者包括水力反循环连续取心钻进与反循环连续取样（岩屑）钻进。

大口径全面钻进的反循环钻进，按形成方式分为离心泵吸、射流泵吸、气举与泵举反循环等。

3.8.2 水力反循环连续取心钻进

水力连续取心钻进是以冲洗液的全孔反循环，由钻杆内连续不断地将岩心携带到钻孔外，不需要提钻或停钻取岩心。所以能比绳索取心钻进更进一步地减少辅助时间。由于岩心断裂的碎屑能即时排离孔底而不被重复破碎，提高了机械钻速与钻头寿命。

水力连续取心钻进的钻杆有两种形式：

(1) 普通单层钻杆　使用孔口密封装置，由钻杆外与孔壁间的环状间隙泵入冲洗液，经钻头进入岩心管内，携带岩心与岩粉由钻杆内返回地面。适用于孔壁稳定、不漏水地层的浅孔钻进。如矿山坑道钻孔深度多在 100m 内，岩层较单一、不需穿过覆盖层，是采用单层钻杆连续取心的较好条件。它可与普通提钻取心或绳索取心联合使用，有利于水平与缓倾斜孔钻进。推广应用这一技术将使坑道金刚石钻进提高到新水平。

(2) 双层钻杆　由双层钻管间环状间隙送下冲洗液，经钻头进入岩心管内，向上携带岩心与岩粉。只有很小一部分冲洗液进入外管与孔壁之间，起稳定孔壁与润滑钻具作用，外管在钻进中还能起护壁作用，所以双层钻杆能在严重漏失地层，使用清水保持反循环连续取心钻进。

水力反循环连续取心钻进装置的工作原理，如图 3-30。单层钻杆穿过孔口密封装置，带动钻具回转钻进。钻头钻出的岩心进入不随钻杆转动的岩心挤断器，当岩心达到适于水力输送的一定长度时，被挤断器内的楔面横向挤断，立即被液流沿光滑平直的钻杆内壁携带到地面，经水接头与较大曲率半径的弧形软管落到水源箱上的筛网上，筛网上应有岩心接

受槽和收集岩屑的集砂器，随进尺延深按顺序接受岩心。

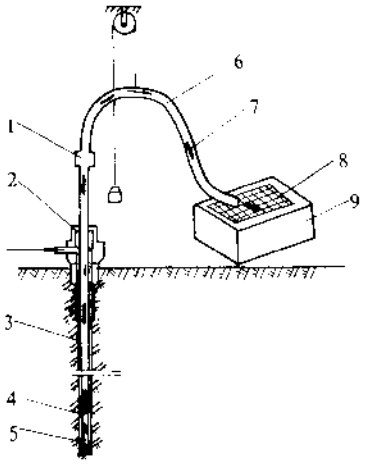


图 3-30 水力反循环连续取心钻进
1—水接头；2—孔口密封装置；3—钻杆；4—岩心卡断器；5—钻头；6—软管；7—岩心；8—筛网；9—水源箱

回次进尺取决于钻头磨钝需要修磨的间隔或钻头寿命。在不稳定地层中最好一回次钻完一个孔，不仅减省大量辅助时间，还能防止因提钻造成的孔壁坍塌事故。所以要尽量提高钻头寿命以延长回次进尺。

钻头在 2～4 级岩层用硬质合金钻头，5～9 级岩层用金刚石钻头。用双层钻杆的钻头壁较厚，底唇呈螺旋线形，以便岩屑由边缘向内运动。

目前，水力反循环连续取心钻进存在的问题，是钻进深度和适用岩层有一定局限性，钻进时钻头底唇的冲洗效果不很好，内管有时发生岩心堵塞，装备与附属器具较繁杂笨重等，只要进一步研究解决，是一种很有发展前途的岩心钻进方法。

3.8.3 反循环取样钻进

反循环取样钻进，是将全面钻进的岩屑以反循环连续排升到地面进行取样的钻进方法。冲洗介质可用冲洗液、压缩空气或液气混合物。全面钻进所用钻头多是牙轮钻头或冲击回转钻头（硬质合金球齿）。钻进时产生的岩屑颗粒较大，能被高速流动的反循环介质（冲洗液流速为 3m/s，压缩空气为 25m/s）迅速冲至地面，因而岩屑在孔内的时间很短，不会受到污染，冲到地表后完全能按岩层顺序收集，所以岩屑可作为比较完全准确的地质资料，在地质勘探工作中，有时可取代岩心钻进。

由于岩屑被迅速冲离孔底，可避免重复破碎，钻头稳定性较好，因而钻头寿命长，回次进尺长，有时可一个回次钻完一个孔，减省大量辅助时间，钻探效率高。如 CSR 钻进法就是空气反循环连续取样、牙轮钻头或风动冲击器（潜孔锤）钻头破碎岩石的钻进方法。但使用全面钻进的实心潜孔锤时，空气与岩屑需经潜孔锤外环状间隙进入换向接头，再由钻杆内上返地面，造成对局部孔壁的冲蚀，影响孔壁稳定与地质效果（样品污染、超量、错位），故应用中空的取心潜孔锤（称为贯通式潜孔锤），进行连续取样钻进。

3.8.4 局部反循环钻进

局部反循环是指粗径钻具部分为反循环，钻杆部分无循环或仍为正循环，在钻杆与粗径连接处有换向装置。因冲洗液流向与岩心进入岩心管方向一致，能提高松散破碎、冲刷易毁地层的取心质量。依据形成孔底局部反循环方式的不同，分为无泵反循环和喷射式孔底反循环两种。

3.8.4.1 无泵孔底反循环钻进

无泵反循环钻进是钻进时不使用水泵，依靠上下提动有单向球阀的钻具，在粗径钻具部分形成孔底局部反循环的钻进方法。所用钻具如图 3-31 所示，分为开口式与闭口式两种。

图 3-31*a* 为开口式无泵反循环钻具。在普通硬质合金粗径钻具上加接短钻杆与取粉管，短钻杆上部有分水孔，内有球阀。回转钻进中，上提钻具时，球阀关闭，粗径钻具有类似

活塞的抽吸作用，将混有岩粉的冲洗液，由钻具外上部吸到孔底。当钻具迅速下落时，携带岩粉的冲洗液被压入岩心管内，并顶开球阀，经分水孔流回钻孔内，因钻杆外环状面积突然增大流速变小，岩粉沉淀于取粉管内。如是反复提动钻具，就使冲洗液在粗径内外形成间断的局部反循环，起到排除孔底岩粉、冷却钻头与提高采心质量的作用。回次钻进终了时，用干钻法以岩粉挤塞岩矿心。

图 3-31*b* 为闭口式无泵反循环钻具，其工作原理同上，只是携带岩粉的冲洗液由短钻杆上升后，在闭式取粉管内流速变慢、岩粉沉淀，冲洗液由上接头的分水孔流回钻孔中。

无泵钻进提动钻具的次数为 8～15 次/min，高度为 50～100mm，若岩层松软、岩粉量多，提动次数与高度用较大值，岩层较硬、岩粉量少，取较小值。

无泵反循环钻进适用于松软、脆碎、胶结差、易坍塌、冲刷易毁、易溶蚀的岩矿层及干旱缺水或供水困难地区。因频繁提动钻具，劳动强度大、钻进效率低，只适用于 150m 内浅孔。

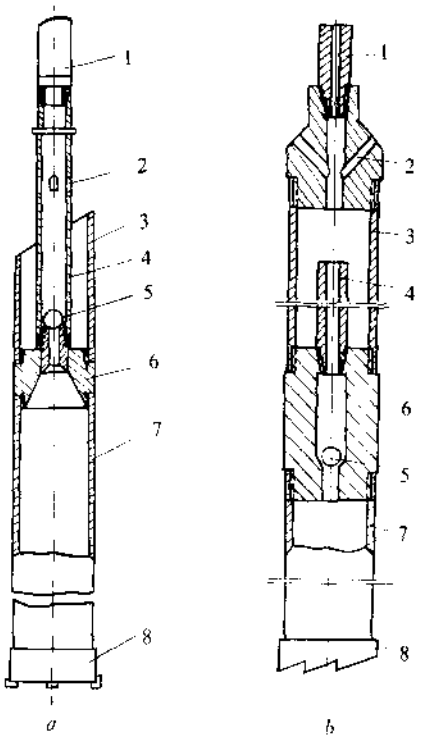


图 3-31　无泵反循环钻具

a—开口式；*b*—闭口式

1—钻杆；2—分水孔；3—取粉管；4—短钻杆；5—球阀；6—岩心管接头；7—岩心管；8—钻头

3.8.4.2　喷射式孔底反循环钻进

喷射式孔底反循环钻进，是利用射流泵原理在粗径钻具部分形成局部反循环的钻进方法。如图 3-32 示是通用接头型喷反钻具的喷反接头。接头内装设喷嘴、承喷器与换向接头，上接钻杆、下接岩心管与钻头。钻杆内泵送下的冲洗液由喷嘴高速喷射到承喷器中，在喷嘴外周形成低压区。因该处与岩心管内相通，抽吸岩心管内外的冲洗液携带岩粉、沿岩心管内向上流动，经换向接头由喷嘴外周随喷射液流进入承喷器（扩散管）到接头外环状间隙。在此，一部分沿岩心管外向下流向孔底，形成局部反循环，其余部分由钻杆外孔壁间携带岩粉上返地面。

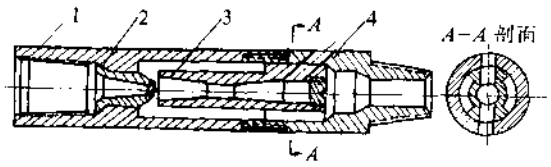


图 3-32　喷射式反循环钻具接头

1—上接头；2—喷嘴；3—承喷器（扩散管）；4—换向接头

如将喷反接头装在单动双管接头下端，接内外岩心管，即成单动双管喷反钻具。所以这种喷反接头通用于单、双管及硬质合金与钢粒钻进，如尺寸小些也适用于金刚石钻进。这类孔底反循环钻具，使用简便、适应面广、不增加劳动强度、孔内清洁、钻进效率高、岩矿心质量

与采取率高。适用于硬、脆、碎地层和松软、胶结差、易磨损的岩矿层有效地提高采取率。在涌水或漏水地层、直孔或斜孔均可使用。

使用喷反钻具的目的是获取岩矿心，所以钻进时所用技术参数一般较小，特别要调整好泵量，以形成相应的反循环液流量。如进尺变慢、回转阻力增大，虽泵量泵压未变，但可能是反循环流量不够或岩粉过多岩心堵塞，甚至反循环中断。应适当调整参数，无效则及时提钻。

3.9 孔内事故的预防与处理

3.9.1 孔内事故的危害与种类

钻孔施工过程中，孔内发生变故而中断正常钻进时，称之为孔内事故。

孔内事故的发生，直接耽误钻探进尺，推迟施工进度，如果处理不当，还会使孔内状况复杂化，耗费大量人力物力，甚至事故钻具打捞不上来时，要丢弃一些钻具在孔内，而使钻孔无法继续施工，报废钻探工作量，提高钻探成本。严重时还可能损坏机器设备，或引起人身伤亡事故等严重后果。所以必须高度重视，积极贯彻“预防为主”的方针，严格遵守操作规程，采取切实的预防措施，尽量防止孔内事故的发生。

根据孔内事故发生时的现象，孔内事故可归纳为如下几种类型：

(1) 挤夹、卡钻事故　粗径钻具被夹卡于孔内，提不起、转不动、蹩水；

(2) 埋钻事故　钻具被岩粉与孔壁坍塌物埋住，不通水，不能提动与转动；

(3) 烧钻事故　钻头因冲洗不良，和孔壁、岩心烧结在一起；

(4) 钻具折断、脱落与跑钻事故　钻具丝扣磨损变形而脱扣，部分钻具留落孔内叫脱落，升降钻具过程中部分钻具跑落孔底叫跑钻事故；

(5) 套管事故　套管在孔内下移、脱节、错动、断裂、卡夹等；

(6) 工具、物件掉落孔内的事故。

3.9.2 孔内事故的原因

孔内事故的具体原因多种多样，可能是简单的或是错综复杂，但归根到底不外主观和客观两个方面，即人为的和自然的两方面。实际上，绝大多数事故均与人为因素有关，纯自然因素造成的较少见。

3.9.2.1　人为因素

人为因素是指 (1) 操作者技术不熟练，经验不足，技术措施不当；(2) 责任心不强，思想麻痹大意，精神不集中，不严守操作规程，违章作业；(3) 生产技术管理薄弱，施工技术设计不完善或贯彻执行不力等。

例如：(1) 升降钻具，联络口号不协调，造成跑钻事故；(2) 钻具磨损严重或有裂纹未检查发现而下入孔内，造成脱落或折断；(3) 硬质合金或钢粒钻进变换金刚石钻进时，未将碎合金或钢粒捞取干净，造成挤夹事故；(4) 孔内岩粉积聚过多，水泵排量不足或钻杆接头漏水，又懒于专程捞取，造成埋钻事故；(5) 金钢石钻进双管总成内水路阻塞，冷却排粉不良，高转速下短时间内产生高热而造成烧钻事故；(6) 不稳定地层，护壁冲洗液管理不善，易发生孔壁坍塌掉块而造成埋钻、卡钻事故；(7) 下套管时丝扣连接不紧或钻孔严重弯曲，钻杆回转打磨套管使之脱扣、断裂而错动、下落，造成套管事故；(8) 简单的事故，因情况不清、分析不确，采取了错误的处理方法，演变为复杂重大的事故；(9) 处

理事故中，采取相应的安全防范措施不够，使设备器具受到超极限负荷而损坏等。

3.9.2.2 自然因素

自然因素是指地质条件复杂，人们事先无法掌握，或即使事先掌握也没有相应的技术措施控制和避免的事故。例如，(1) 流砂层、冲积层、断层破碎带、节理片理和裂隙发育地层会使孔壁坍塌、掉块和出现探头石；(2) 高岭土、绿泥石等塑性岩石会遇水膨胀而使钻孔缩径；(3) 溶洞、老窿中的堆积物也极易坍塌，孔径扩大，钻孔弯曲；(4) 钻孔钻到涌水、含油气层可能发生井喷等，都容易造成孔内事故。

实际生产中发生的孔内事故往往不是单一的。如，钻具折断后，孔内岩粉沉淀，处理不及时就会兼有埋钻；夹卡钻、埋钻的处理过程中，也常会发生钻杆折断等。

3.9.3 孔内事故的预防

由于孔内事故具有很大的危害和复杂性，必须采取“预防为主”的方针，要认真执行岗位责任制，加强全面质量管理，结合实际搞好职工技术培训，力求不发生或少发生事故。

预防孔内事故的基本措施，主要有以下几方面：

(1) 钻探机场必须建立健全岗位责任制，做到事事有人管，人人有专责，认真贯彻执行，严格按规范施行管理。

(2) 定期组织技术培训，学习业务、交流经验，定期考核钻探技术操作规程与安全生产、预防事故的有关规定。

(3) 施工前要制订钻孔施工设计，针对所钻地层可能出现的问题，制订相应的施工技术，并做好必要的物资准备。

(4) 设备要检修完好，并保持完好状态是安全生产的必要条件。特别是水泵各部件与密封要作用良好。机场内布置要井然有序，工器具要维修完好，擦拭干净，摆放在固定位置，地面要平整、方便操作。

(5) 开孔时套管要下到基岩，丝扣连接要牢固，下端要止水，上端要挤正，外围要填实，并安置好孔口台（座）与冲洗液循环槽。

(6) 钻进中要经常掌握冲洗液循环与岩粉排出情况，孔内岩粉超过规定要专程捞取。发现异常状况或事故的征兆，要及时果断地采取缓解措施，如提动钻具、变慢转速等，并应尽量保持冲洗液循环。

(7) 升降钻具时要认真检查钻具，钻杆偏磨达 2mm、弯曲达 3mm/m、钻具丝扣松动变形连接不牢固，管材端面不整齐有裂纹等，不得下入孔内。

(8) 要选用符合地层与孔壁状况的冲洗液，切实做好冲洗液性能调整与管理，搞好净化，及时清理循环槽、沉淀箱与水源箱中的岩粉杂物。钻进坍塌、掉块、漏失、松散地层时，应根据孔壁稳定情况，采用适当的护壁堵漏措施。

(9) 硬质合金、钢粒和金刚石钻进方法互换时，要将可能残留在孔内的钢粒、碎合金、胎块等冲洗捞取干净。要针对孔径变化情况，在粗径长度的一段孔深采用相应的粗径钻具构成与钻进技术参数逐渐过渡。

(10) 每次处理完孔内事故，应及时总结经验教训，搞清发生事故的原因，明确责任，提出今后切实的预防措施，指导以后的工作。

3.9.4 处理孔内事故的基本方法

3.9.4.1 处理孔内事故的原则

孔内事故一般不能直接观察与触摸，只能依靠间接的现象判断孔内状况。如果判断准确，采用的处理方法与工具恰当，就能较快地排除事故，恢复正常钻进。否则，可能使事故复杂化或造成双重事故，耗费许多人力、物力和时间，甚至无效而报废原有的钻探工作量。

所以，处理孔内事故时，要遵守如下的几项原则：

(1) 清——孔深要清（当即量好机上余尺）；孔内钻具组成及其规格尺寸要清；发生事故前反映孔内状况的现象要清，如泵压、泵量、回转阻力（电流值）、返水量、孔内声响、进尺快慢等，并详细做好记录。

(2) 准——认真分析事故发生的情况，准确判断孔内事故状态，研究处理方法，选择检查好打捞工器具。并随处理方案的实施，根据新的情况，及时修正处理方法与步骤。

(3) 快——事故发生后要尽快弄清情况、研讨处理方案并组织实施，但不要忙乱和蛮干，避免因岩粉沉积加重事故处理的难度。

(4) 稳——处理事故的各种操作要稳，要采取安全措施。因处理事故时，设备、工具常处于超负荷工作状态，要试探着进行，有些工器具要按破坏时可能出现的状况，预先防范与躲避，防止人身伤亡。

3.9.4.2 处理孔内事故的基本方法

孔内事故的具体处理方案，要根据事故的情况具体确定。因事故的类型、情节轻重及当时条件不同，处理方法、步骤、使用工器具也会有所不同。常用的基本方法与工具，可归纳为以下十三种：

(1) 提：当钻进中回转阻力增大、泵压升高时，要提动钻具，如仍无缓解、且有停车不转或安全阀被顶开等现象时，要迅速以升降机提拉钻具或兼用立轴油缸上顶。如钻具已离开孔底，亦可上下串动着将钻具提到阻力与泵压回复正常。如提拉不动，可用多环绳复滑车系统强力提拉。但要注意设备与提引系统的负荷情况，避免损坏。

(2) 扫：钻具在孔内某段遇阻，不能提升或下降，但钻具仍能转动时，可慢速向上或向下扫孔，将卡挤物扫活、扫碎或挤入孔壁，使钻具能顺利提升或下降。卡挤钻具事故多用此法。

(3) 冲：用冲洗液冲洗事故钻具上面或周围障碍物。发生事故时均应尽量保持冲洗液循环。如难以保持，可换小泵量，适当调高安全阀压力，由专人控制泵强力冲孔排除埋挤障碍物，同时强力提拉，一般不太严重的埋、夹钻事故，可得缓解。循环若能恢复，应即增大泵量。

(4) 捞：用各种丝锥和捞管器打捞折断、脱落的事故钻具。一般使用正扣丝锥以普通钻杆下入孔内，强力扭接到事故钻具上头捞取。常用的几种丝锥如图 3-33 所示。各种丝锥均有适应不同内外径的多种规格。

钻具断落后，要先检查提上来的钻具断头，根据孔内断头形状，选择相应的打捞工具尽快打捞；如断头平齐完整，可用公锥或母锥打捞；如断头破损有斜槎，可用通心母锥或卡管器（卡料挤夹法）捞取，如图 3-34*a*、*b* 所示；如断头歪靠孔壁或弯曲严重时，可用导向罩套取，或用捞钩转动钩出后套取，如图 3-34*c*、*d*。

(5) 打：用吊锤或振动装置振打事故钻具。利用机械冲击振动，减轻事故钻具周围的挤夹力，使其松动或上下串动。在钻杆的适当位置接好打箍，套上吊锤，用升降机轴头的

绞轮缠绳吊打。当钻具落在孔底时向上打，未落底时向下打。向上打时要用升降机拉紧钻具。打前要重新扭紧全套钻具丝扣。打对中、浅孔的夹、卡钻事故较为有效，但不可用于孔壁坍塌埋钻事故，以免事故恶化。

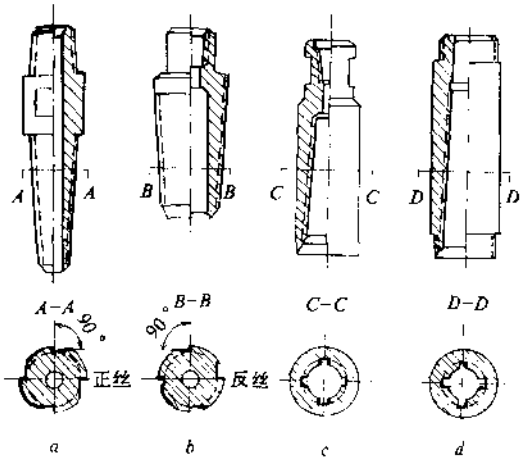


图 3-33　各种类型的丝锥

a—钻杆公锥；*b*—岩心管公锥；*c*—钻杆母锥；*d*—通心母锥

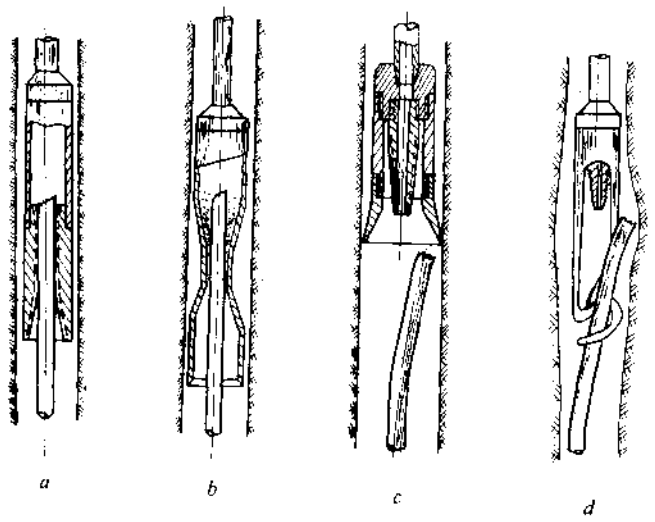


图 3-34　打捞折断钻具

a—通心母锥；*b*—卡管器；*c*—导向罩；*d*—捞钩

(6) 顶：用千斤顶或油压钻机给进油缸起拔钻具（图 3-35）。千斤顶的起拔能力较升降机与给进油缸的大得多，适用于阻力较大的卡、夹、埋、烧钻事故。由于它是静力作用，起拔时不可用力过猛、过快，每顶起 100～200mm 应停一停，使顶拔力充分作用于埋阻钻具的障碍物上。要注意防止钻杆被顶断时，卡瓦飞出伤人。每次起拔前都要把钻具丝扣全扭紧。

以上处理方法，是力图将事故钻具完整地由孔内取出，但在事故严重难以做到时，常需分段处理。此时需采用下述几种方法处理。

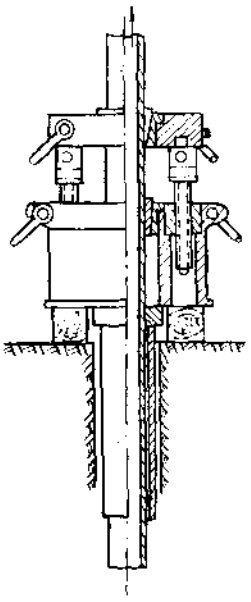


图 3-35　千斤顶起拔事故钻具

（7）反：用反丝钻杆与丝锥，将事故钻杆从孔内卸出，再用其它方法处理粗径钻具。反卸钻杆前应先将事故钻具丝扣全扭紧，以便尽可能从下部卸出钻杆。反扭钻杆可用钻机的反转低速，或采用棘轮式反管器等。为一次卸出全部钻杆可预先在粗径钻具上端加接反事故接头。

（8）透：当岩心管异径接头及以上钻杆反出后，另用小一级或二级的钻头下钻，从岩心管内透钻下去，透过事故钻头一些为止。由于此钻具的回转振动与冲洗，可减轻或消除事故粗径钻具外周的埋阻与挤夹力，以便再用丝锥捞取。有时内透钻具可将事故粗径带出。如透钻无效，可用下述其他方法处理或地质方面允许时即换用此小一级钻头钻进。

（9）扩：当粗径钻具以上钻杆已全反出、用小径透钻无效、而上面距换径处不远时，可用大一级岩心管与无内出刃的薄壁硬质合金钻头扩孔钻进套取事故粗径钻具。一般可随扩孔钻具带出，或再下丝锥捞取。如地层复杂、有可能偏钻出新孔时，应先用有导向的扩孔钻具，扩至事故钻具上头，再用扩孔钻具扩取事故粗径钻具。

（10）割：当岩心管异径接头以上钻杆已被反回，岩心管阻力较大或较长，或换径位置很远，不便用扩孔法套取时，可用割管器将其分段切割后，再用丝锥分段捞取。割管器有利用水压推出圆锥杆与硬质合金刀头的水压割管器（图 3-36*a*）和利用旋转离心力的离心割管器（图 3-36*b*）等。

（11）劈：是用无水口的硬质合金钻头劈开事故岩心管和钻头，将其套取或用抓筒将残片抓取出来。劈比割或削处理得快，但可靠性差些，一次劈不开，换钻头后要反复试探转动钻具，使其下到原劈口。

（12）削：事故钻具的岩心管接头因丝扣细、直径大，卸扣阻力大、难以反出。此时可用小一级内外出刃很小的硬质合金切铁钻头，钻削岩心管接头（或取粉管接头），将其残余部分或连同取粉管内短钻杆套取出来。随后可在粗径钻具内透钻到底。钢粒钻进时亦可用钢粒磨削，故亦称“磨”。如粗径钻具仍捞取不出，可用同径带导向的切铁钻头将其全部切削消灭掉，或剩余一部分阻力减小被捞取出（参看图 3-37）。

（13）孔内异物，如钻头胎体掉块、合金块或误落入小物件、工器具等，要捞取干净才能正常钻进。可根据具体情况选用相应办法处理。

粘：用粘泥、皮带油、沥青等塞入短岩心管或锯齿状抓筒内粘取，如图 3-38*a* 示，粘取前应将岩心由根部采取净，岩粉捞净；

冲：用短岩心管与钻头带取粉管，大泵量冲孔，边钻磨碎胎块或合金块，边冲捞，如图 3-38*b*，或用喷反钻具边钻磨，边冲捞；

套：用小径钻头在孔底钻一小孔，使异物落入小孔中，再用原径钻具钻进，如图 3-38*c*；或用钻具慢慢扫孔，将异物套入钻具内，向下钻进一段后与岩心一同取出，如图 3-38*d*；

抓：用岩心管做成锯齿状抓筒下入孔内，用人力转动钻具，慢慢套住小物件后，加压慢转，使锯片齿收拢抓取异物，如图 3-38*e*；

绞：钢绳、电缆掉入孔内时，可用各式捞矛（图 3-38*f*）下入孔内，用人力边转动边上下提动，可套绞绳缆捞出，阻力大可拉断再绞捞。

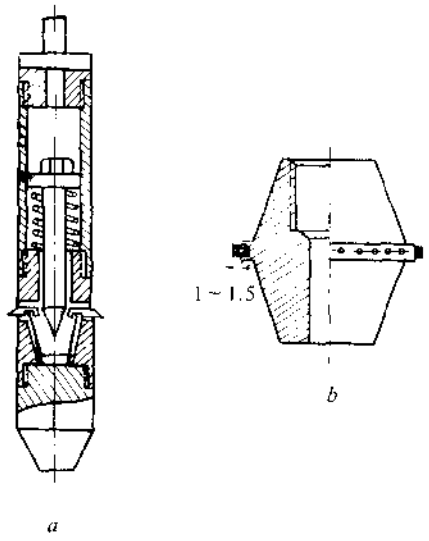


图 3-36　割管器

a—水压割管器；*b*—离心割管器

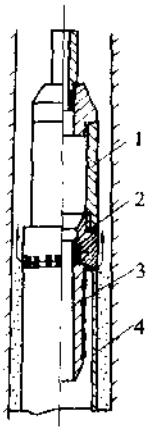


图 3-37　切铁钻头切削岩心管

1—短岩心管；2—切铁钻头；3—导向器；4—被切削的事故粗径钻具

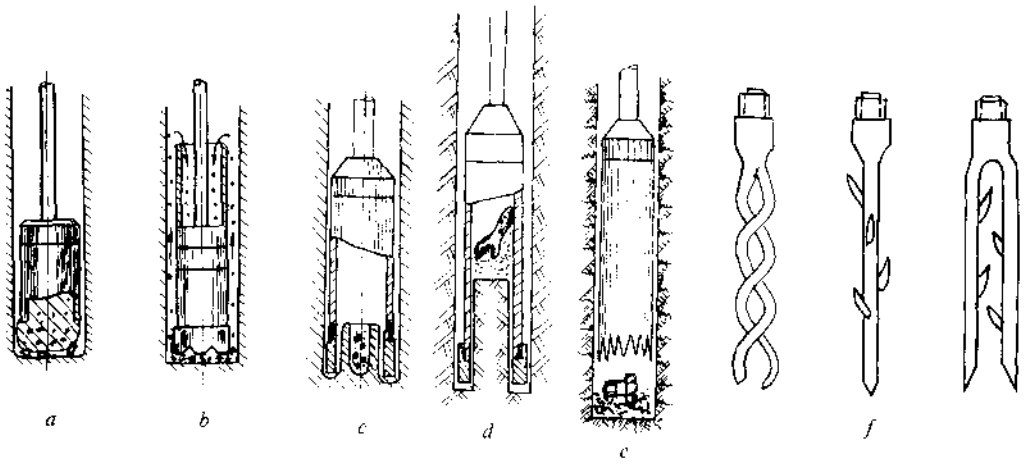


图 3-38　各种异物捞取方法

a—粘取；*b*—磨碎冲捞；*c*—小孔套取；*d*—钻进套取；*e*—抓取；*f*—捞矛

总之，各种孔内事故发生的原因、征兆和现象是复杂多样的，因而预防和处理方法也是多种多样，处理过程更是千变万化。所以，实际处理事故绝不限于上述基本方法，必须根据具体情况，充分调查研究，科学分析孔内事故发生的具体原因与状况，正确地选用、改进与开发处理事故的方法与工器具。将发生事故的教训变为预防事故的经验，在认真总结经验的基础上，制订更为有效的预防措施。如能切实加强预防工作，孔内事故就能减到最低限度，有些将能完全杜绝。

复习思考题

1. 阐述岩石的主要力学性质的概念及其对钻进的影响。
2. 阐述岩石可钻性的概念及其分级依据。
3. 硬质合金钻头的结构要素及其一般要求有哪些？
4. 常用（代表性）硬质合金钻头的特点及其适用地层是什么？
5. 硬质合金钻进技术参数的概念及其影响因素与配合要求。
6. 硬质合金钻进要着重掌握好哪些工艺技术？
7. 金刚石钻进有哪些优点？存在哪些实际问题？
8. 简述金刚石的主要物理力学性质和人造超硬材料的发展情况。
9. 金刚石钻头的结构要素及其影响因素有哪些？
10. 概述金刚石钻进用钻具的组成（含扩孔器）、各组件的功用与一般技术要求。
11. 金刚石钻进技术参数的确定依据及相互制约与配合要求是什么？
12. 阐述金刚石钻头（含扩孔器）分组排队使用及分析其磨损变形的意义与作用。
13. 金刚石钻进必须遵守的操作技术要点有哪些？
14. 绳索取心钻进的优点及其适用条件是什么？它需要哪些管材与设备？
15. 概述常用绳索取心钻具的主要结构与工作原理。
16. 与普通金刚石钻进相比，绳索取心金刚石钻进技术参数有何不同？并比较它们的操作工艺有何不同？
17. 钢粒钻进的特点与应用有哪些？对钢粒与钢粒钻头的主要技术要求是什么？
18. 与硬质合金钻进比较，钢粒钻进技术工艺主要有哪些不同？
19. 冲击回转钻进的特点及应用情况如何？
20. 概述常用的几种液动冲击器的结构工作原理及其特点。
21. 冲击回转钻进用钻头、设备、工艺与普通回转钻进比较，主要有何不同？
22. 概述反循环钻进的几种主要类型及其应用与工艺特点。
23. 概述钻探孔内事故的主要原因及预防措施。
24. 简述处理孔内事故的基本方法。

4 钻孔冲洗与护壁堵漏

4.1 钻孔冲洗的目的、循环方式及冲洗介质

钻进过程是一个连续破碎岩石的过程，在破碎岩石的同时，必须借助泥浆泵把一定量的冲洗介质送入孔内，在孔内连续的或定期的循环、冲洗钻孔。

4.1.1 冲洗钻孔的目的

冲洗钻孔的目的可归纳为如下几点：

(1) 清除孔底岩粉：因为钻头在破碎孔底岩石时会产生大量的岩粉与岩屑，如不及时排除，势必影响钻头有效地继续破碎岩石，降低钻进速度，甚至造成孔内埋钻、糊钻事故。因此，在钻进中必需要冲洗钻孔，清除孔底岩粉，保持孔底清洁。

(2) 冷却钻头：因为钻头在破碎岩石过程中，钻头与岩石的摩擦会产生很大的热量，如不及时冷却，不仅钻头因高温改变性能，失去应有的碎岩能力，而且会影响钻头寿命，甚至由高温造成钻头与孔底岩石烧结在一起的孔内烧钻事故。特别是金刚石钻进，当冷却不良时，常易发生烧钻，所以必须重视冲洗冷却条件。

(3) 润滑钻具减少磨损：钻进中钻具高速回转，不仅使钻具与孔壁产生强烈的摩擦而磨损，而且回转钻具因摩擦阻力而消耗的功率很大。所以常借助冲洗液本身的性能，尤其是采用乳化液或泡沫液，使钻具表面吸附一层润滑剂，以减少钻具与孔壁间的摩擦，从而减少钻具的磨损及钻进功率的消耗，这对实现金刚石高速钻进具有重要意义。

(4) 保护孔壁：钻进中会遇到松散、破碎、坍塌、遇水膨胀等复杂地层，此时孔壁不稳定，需采用具有护壁效能的冲洗液，如泥浆等以保护孔壁。

(5) 其它作用：随着钻探技术的发展，冲洗液的作用愈来愈多，如在涡轮钻、螺杆钻或孔底冲击回转钻进中，冲洗液作为动力源的作用；反循环连续取心钻进中，利用冲洗液的上返液流在钻杆柱内的上升力，将钻头钻取的岩矿心连续不断地从孔底输送到孔口；此外，孔底信息也可通过冲洗液传输到孔外，实现自动测试和控制等。

总之，冲洗液的作用在钻进中是很重要的，某种冲洗液在某方面具有其特殊作用，这就需要我们根据不同的地层情况正确选用。

4.1.2 钻孔冲洗的循环方式

冲洗钻孔的实质是冲洗液在孔内连续或定期循环，其方式有全孔正循环，全孔反循环、孔底局部反循环和综合式循环等（图 4-1）。

4.1.2.1 全孔正循环冲洗

见图 4-1*a*。冲洗液由泥浆泵输送入水接头，沿钻具内孔流到孔底、然后经钻具与孔壁的环状间隙上返至孔口、流回水源箱中。这种循环方式简单，在钻探中得到广泛的应用。

4.1.2.2 全孔反循环冲洗

见图 4-1*b*。冲洗液由钻杆外孔口进入孔内或由泥浆泵压入孔口密封器进入孔内，沿钻具外壁与孔壁间环状间隙到达孔底，然后由钻具内孔通道返出孔外。它可减轻冲洗液冲刷岩矿心，提高岩矿心采取率，常用于易冲蚀岩矿心的地层、坑道水平孔钻进或反循环冲洗

连续取心钻进。在大孔径水井钻进和空气钻进中，为了能较好地携带出岩屑，也常采用全孔反循环冲洗方式。这种反循环不用孔口密封器，而由钻杆内或上部的负压抽吸冲洗液形成。

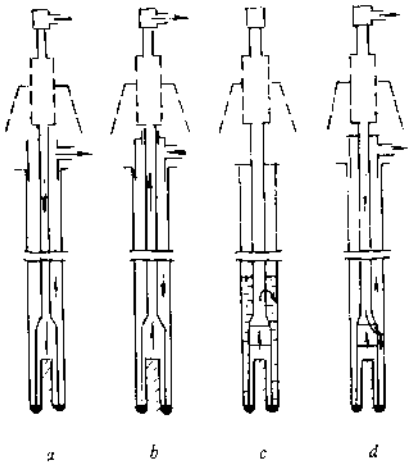


图 4-1　冲洗钻孔的循环方式

a—正循环；*b*—反循环；*c*—孔底局部反循环；*d*—综合式循环

4.1.2.3　孔底局部反循环

见图 4-1*c*。它是利用钻具的特殊结构与作用，使孔内的水在孔底形成局部反循环。如无泵钻进就是最简单的一种孔底局部反循环，适用于易碎、易溶和难取心的地层。

另一种孔底局部反循环，亦称综合式循环（图 4-1*d*），冲洗液由泥浆泵经水接头送入钻杆，再从粗径钻具处的特制接头侧孔流出。一部分冲洗液沿钻杆与孔壁的环状间隙上返；另一部分冲洗液沿粗径钻具与孔壁的环状间隙下流至孔底，经钻头、岩心管与岩心间环状间隙上返、流经特制接头至钻杆与孔壁环状间隙返回地面。如喷射孔底反循环就是这种上部正循环而下部反循环的综合式循环方式，常用在硬、脆、碎难于采心的地层，作为提高岩心采取率的措施。

4.1.2.4　循环流通的影响因素

对各种循环方式的正常流通过程产生强烈影响的因素是：向漏失地层泄流而产生冲洗液的消耗；地下水、天然气、石油喷出，地热钻探常伴随有蒸气、热水和其他混合物的涌出，而使循环完全破坏；松软地层的孔壁被冲刷而发生坍塌、掉块堵塞循环通道，严重时还易引起卡钻、埋钻事故等。预防这些不利情况的发生，保证正常钻进的决定性措施，是依赖于有根据地正确选择冲洗介质的种类及其循环方式。

4.1.3　冲洗介质的种类

随着科学技术的不断发展，钻探用的冲洗介质越来越多。冲洗介质的种类，可分为气体、液体和气/液、液/气、固/液、液/液两相的。气/液表示气体分散于液体中的体系，固/液表示固体分散于液体中的体系。

纯气体作为冲洗介质的有压缩空气、天然气、内燃机废气和氮气等。

纯液体性的冲洗液有水（淡水、海水和咸水）、各种溶液和油。溶液分无机盐溶液（如饱和盐水）和无机盐与有机高分子化合物复合溶液（如无固相冲洗液）。

液/气两相的分散体系用作冲洗介质的是雾和混空气。气/液两相分散体系的是充气液体和稳定泡沫。固/液两相分散体系的是泥浆。液/液两相分散体系的是乳状液。

在地质勘探的钻探中，目前应用最广泛的是液体的和两相的冲洗介质，故简称冲洗液。常用的冲洗液有清水、盐水溶液、乳状液、泥浆、无固相冲洗液、充气液体和稳定泡沫，以及压缩空气等。

4.2 清 水

清水包括淡水、海水和矿化水。它是岩心钻探中使用简便、广泛采用的一种冲洗液，通常适用于膨胀性很小或不易冲蚀的地层、及地层压力不大的稳定岩层和完整的硬岩与坚硬岩。

清水的优点：除了易于取得而便宜外，还因为它的粘度小、比重较低、流动性好，冲洗孔底时易呈涡流状态、冲洗效果好、冷却能力强、能提高机械钻速，以及泵压低，动力消耗少。同时便于观察回水颜色，以利判断岩性或地层的变化。

清水的缺点：在孔内循环过程中渗透滤失性高，能跟许多岩石起物理化学作用，从而导致孔壁不稳定、坍塌或掉块；在水的冲蚀和溶解作用下，容易降低岩矿心采取率；循环停止时，缺乏悬浮岩粉、岩屑的能力，沉砂速度快，而易于发生夹埋钻事故，负温度下会冻结等。

4.3 盐水溶液

盐水溶液是在淡水中溶解氯化钠（NaCl）配制而成。其特点是含盐量高，甚至达到饱和程度成为饱和盐水溶液。它的冻结温度较低，用在寒冷地区或冻结岩层中钻进，使冲洗液在循环过程中不致冻结。

在盐类（如岩盐、钾盐、光卤石等）地层中钻进，为消除溶蚀空洞的形成和由于自由水的溶解而引起孔壁和岩心的破坏，必须采用饱和盐水溶液。组成不一的薄层岩盐矿，可采用水氯镁石（$MgCl_2$）饱和溶液。在地层复杂的情况下，应采用不同类型的饱和盐水泥浆。

我国西部边远地区有高压卤水矿，含过饱和卤水，地层压力梯度达 18.63kPa/m，淡水供应很困难。采用当地卤水加生物聚合物（XC）或改性石棉悬浮重晶石，配制比重 1.9 左右的无粘土相加重冲洗液，有效地钻达目的，节约了淡水，降低了成本。也可用抗盐土（海泡土或凹凸棒土）配制高比重泥浆钻进。

4.4 乳状液

金刚石钻进要求采用高转速，才能发挥金刚石钻进的优越性。但是钻具与孔壁的间隙小，表面较粗糙，摩擦阻力大，妨碍了转速的提高。使用乳状液冲洗钻孔，则增强了润滑作用，减小了钻具转动的摩擦阻力，削弱了钻具振动，实现了金刚石高转速钻进。因而大幅度提高钻进效率，增加钻头寿命，减少金刚石的消耗量和钻具磨损。因此，金刚石钻进中，使用乳状液已成为实现高速、高效的必备条件。

乳状液是一种或多种液体以液珠形式分散在另一种和它不相溶的液体中形成的分散体

系，它分水包油（O/W）型和油包水（W/O）型两种。地质勘探钻进中使用的乳状液，通常是在冲洗液中加入少量的乳化油（润滑剂），形成以水为外相、油为内相的水包油（O/W）型乳状液（图 4-2）。

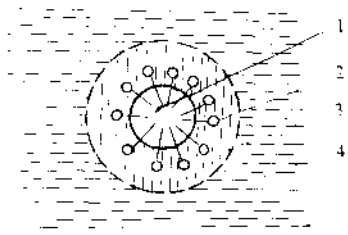


图 4-2 水包油型（O/W）乳状液

1 油；2 乳化剂；3—水化膜；4 水

乳化油（润滑剂）是由基础油、乳化剂、稳定剂、水等调配而成。

基础油是矿物油或动植物油，如机油、柴油、煤油、芳烃矿物油、烷烃矿物油和棉籽油、蓖麻油等。

稳定剂一般是乙醇（酒精）或三乙醇胺。作用是为使乳状液更好地稳定。

乳化剂是各种类型的表面活性剂。表面活性剂具有两亲结构，即分子结构中一部分亲油；另一部分亲水。如水、油混合加入表面活性剂后，油即以小油珠分散于水中，表面活性剂在油珠表面形成一层稳固的亲水薄膜，油珠的表面能降低，重新碰撞集结的趋向就减低，这样两种互不相溶的液体形成稳定的乳化状态，这种作用称谓乳化。与乳化相反的作用称作破乳或析油，即油珠重新凝结并从中离析出来，油水分层而使乳化状态被破坏。

表面活性剂一般是以亲水基团的结构来分类的，即依亲水基团在水溶液中能否电离而分为离子型和非离子型两大类；其中离子型分阴离子型（盐类型、酯类型）、阳离子型（胺盐型、季铵盐类、吡啶盐类）和两性型（氨基酸型、甜菜碱型）；非离子型是聚氧乙烯型、多元醇型和混合型（吐温）。此外，近年来还出现一些特殊类型的表面活性剂，如氟表面活性剂、硅表面活性剂、高分子表面活性剂和其它表面活性剂（叔胺氧化物、亚砜、冠醚大环化合物等）。

钻探用的乳化油，一般是在室内制得浓稠的乳化油或商品乳化油。常用的乳化油配方及其加入冲洗液中的用量参考表 4-1。

阴离子型乳化油用来配制乳状液时，具有良好的润滑性能。但阴离子表面活性剂在油珠表面所形成的界面膜较薄，界面上的双电层也易受电介质的影响，同时阴离子表面活性剂在高价阳离子作用下容易发生沉淀，使其乳化分散作用丧失。所以，当这类乳状冲洗液受少量 Ca^{2+}、Mg^{2+} 或 NaCl 污染后，很容易产生破乳析油现象，致使润滑能力丧失不能使用。因此，阴离子型乳化油配制的乳状液只适用于无 Ca^{2+}、Mg^{2+}、NaCl 污染或污染极小的条件下。

为了提高乳状冲洗液的抗污染能力，发展了复合型乳化油。它是由阴离子与非离子表面活性剂、油、水组成，具有一定的抗污染能力。但在较高的 Ca^{2+}、Mg^{2+}（含量大于 500ppm）或较高 NaCl（浓度大于 10%）污染下，复合界面膜表面电荷被中和，界面膜变薄以致破裂，结果也产生破乳析油。所以，它只能适用于 Ca^{2+}、Mg^{2+} 污染低于 500ppm；NaCl 污染低于 10%的条件下。

近年来又发展了许多种新型乳化油。其中新的高效 DR 型钻探润滑剂，是由新型表面活性剂 CD--84—1 或 CD --84—2、油与水组成，它既具有优良的润滑性能，又具有良好的抗钙、抗盐能力，现在生产的两种型号：DR－1 适用于大量含 Ca^{2+}、Mg^{2+}、NaCl 污染的地层；DR 2 适用中等的 Ca^{2+}、Mg^{2+}、NaCl 污染的地层。其用量在清水中加入 0.1～0.2%，

泥浆中加入 0.2～0.5%。

乳状冲洗液在使用过程中会出现泡沫，严重时影响岩粉沉淀。所以，要经常检查使用情况，发现有大量泡沫时，可加入消泡剂处理。常用消泡剂见表 4-2。

表 4-1 常用乳化油的配方和用量

类型	名称	配方	用量（体积）%	
			清水	泥浆
阴离子型	DL-5	磺化脚 30%、油脚皂 20%、清水 50%	0.5～2	2～4
	太古油	蓖麻油 70%、硫酸 15%、食盐 15%、用烧碱或纯碱中和	0.1～0.5	1～5
	皂化溶解油	油酸 10.5%、松香 9.7%、酒精 2%、烧碱溶液（波美度 37、比重 1.34）5.4%、亚硝酸钠 0.1%、30 号（或 20 号）机油 61.4%、6 号柴油 10%	0.3～0.5	1～5
非离子型	O 型乳化油	OP—10 为 28kg、煤油 20kg、20 号机油 80kg、三乙醇胺（50L 含量）0.5kg、水 20～30kg	0.7	
	O 型乳化油（B）	15 号机油 50L、吐温 60 为 3L、OP—10 为 2L、三乙醇胺 0.2L、水 15L	0.3～0.5	
复合型	DL—7	磺化脚 30%、油脚皂 20%、聚氧乙烯蓖麻油 20%、水 40%	0.5～1	0.5～2
	复合乳化剂	15 号机油 50L、吐温 60 为 3L、OP—10 为 2L、烷基磺酸钠（AS）3.2L、三乙醇胺 0.2L、水 20L	0.3～0.5	
	减阻剂（皂化润滑剂）	油酸 10.6%、松香 9.22%、火碱 4.74%、20 号或 30 号机油 35.35%、酒精 4.24%、OP—10 为 1～3%、煤油 35.35%	0.2	

表 4-2 乳状冲洗液常用消泡剂

名称	用法	加入量（按冲洗液体积）%	
		乳状液中	低固相泥浆中
仲辛醇	直接加入冲洗液中	0.01～0.1	0.05～2
3 号甲基硅油	直接加入冲洗液中	0.002～0.02	
乳化硅油	先用冷水 4～10 倍稀释，然后加入冲洗液中	0.001～0.01	酌量加入
硬脂酸铝	配成 5～10% 的柴油或煤油溶液使用	0.1～1.0	酌量加入

在坑道钻进水平孔或仰孔时，使用乳状冲洗液会污染孔口，增加工作麻烦，不受钻工欢迎；在漏失或大量涌水地层中钻进，使用乳状液的成本太高。因此，可在钻杆上涂抹一层润滑脂，以增其润滑性。常用润滑脂的配方参考表 4-3。

涂抹方法：浅孔可用手工涂抹；孔深时借助一些简便装置自动进行涂抹，例如用装满润滑脂的特制套筒放在孔口，钻杆通过它时则自动涂上润滑脂。每涂抹一次油，有效期一般为两天。

涂抹润滑脂的缺点：是污染钻具，妨碍钻具升降的操作，涂抹也很麻烦。但使用润滑脂的成本较低，在金刚石钻进中有较好效果，在坑道钻探打仰孔或水平孔时有一定的使用价值。

表 4-3 常见润滑脂的配方

名称	TM—1	TM—2	TM—3
黑机油	50%	60%	60%
沥青	10%	5～2%	5～8%
松香粉	25%	30%	30%
石蜡	12.5～10%	5～8%	2～5%
二硫化钼	2.5～5%		

4.5 泥 浆

泥浆是粘土的微小颗粒（大都小于 2μm）分散在水中，并加入各种化学添加剂混合形成的溶胶—悬浮液。它具有以下优点和作用：

（1）泥浆能在孔壁形成一层薄而韧的泥皮，能保护孔壁、防止坍塌、掉块而引起的卡、夹钻事故。

（2）利用泥浆内部的结构强度悬浮岩粉，使得在停钻、停泵时，岩粉不致于很快沉入孔底，防止埋钻事故。

（3）泥浆具有一定的粘度，在有裂隙或破碎地层中钻进，可以堵漏、防止漏失，减少冲洗液的消耗。

（4）泥浆液柱静压力大于清水，适当加大其比重，就可以防止井喷，还可以隔离油、气层。

（5）由于泥浆的护孔作用，在复杂地层中钻进用泥浆，可以少下或不下套管，从而简化钻孔结构，节约大量钢材，提高施工速度，降低钻探成本。

因此，泥浆是钻进复杂地层中常用的一种冲洗液，如钻进松散不稳定、裂隙发育、遇水膨胀、坍塌掉块、或漏失、涌水、喷油、气地层，使用泥浆能保障钻孔正常钻进。但使用泥浆也存在一些缺点：需要造浆原料和设备；泥浆泵磨损加剧且故障增多；成本比较高；此外，由于要发挥泥浆的作用，必须注意泥浆的质量和性能，因而维护、管理和处理麻烦。

4.5.1 造浆粘土和水

粘土和水是组成泥浆的基本原料，而粘土是泥浆最主要的组成部分。粘土和水的质量，尤其是粘土质量对泥浆性能的变化及化学处理的效果均有直接的影响。

4.5.1.1 粘 土

粘土是岩浆岩或变质岩中的硅酸盐矿物风化沉积形成的，其主要组成是粘土矿物，几种具有代表性的粘土矿物化学组成见表 4-4。

粘土中的粘土矿物，以其单位晶层的叠置方式不同和层间吸附阳离子的差别，可分为：

（1）高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$：其晶体构造是由一层硅氧四面体和一层铝氧（或氢氧）八面体组成，四面体尖端指向铝氧八面体，两层间由共同的氧原子联结在一起，组成晶胞（图 4-3）。晶胞是由一层硅四面体和一层铝氧八面体组成，故称 1∶1 型粘土矿物。重叠的晶胞之间是氢氧层与氧层相对，晶胞间便易形成氢键，因而晶胞间联结紧密，不易分散，水分子不易进入晶胞之间，所以不易膨胀水化，造浆率低，每吨粘土只能造浆约 $3m^3$。

同时因可交换的阳离子量少，粘土接受处理的能力差，不易改性或用化学处理剂调节泥浆性能。

表 4-4　代表性的粘土矿物化学组成

粘土矿物名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	H_2O 或烧失量
高岭石（江西浮梁高岭村）	45.58	37.22		0.46	0.07	0.45	1.7		13.39
高岭石（江苏苏州阳山）	47.00	38.04	0.51	0.16	0.22				13.53
膨润土（辽宁黑山）	68.74	20.00	0.70	2.93	2.17		0.20		6.8
膨润土（浙江临安）	71.29	14.14	1.75	1.62	2.22	1.92	1.78		4.24
膨润土（山东潍县）	71.34	15.14	1.97	2.43	3.42	0.31	0.43	0.19	5.06
膨润土（新疆夏子街）	63.70	16.43	5.45	0.28	2.24	2.57	1.94		5.57
伊利水云母（湖南澧县）	64.21	20.13	2.12	0.26	0.52				8.27
凹凸棒石（江苏盱眙）	55.35	8.43	5.06	0.15	9.73	0.18	1.85	0.82	17.14
海泡石（江西乐平）	61.30	0.57	0.73	0.15	29.70	0.16	0.19		7.10

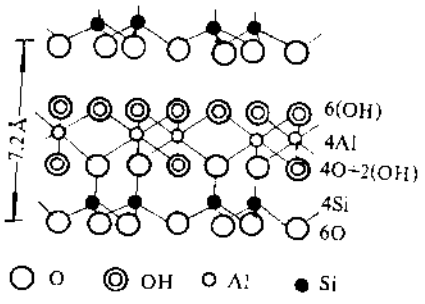


图 4-3　高岭石晶体构造示意图

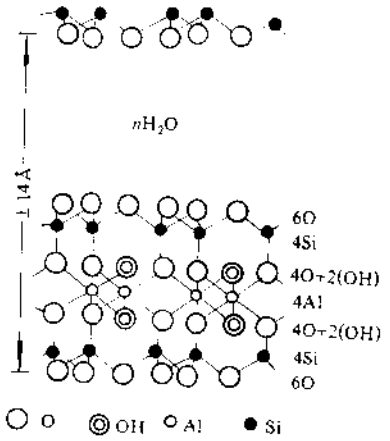


图 4-4　蒙脱石晶体构造示意图

(2) 蒙脱石 $(Al_{1.67}Mg_{0.33})[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$：其晶体构造是由两层硅氧四面体中间夹有一层铝氧八面体组成，四面体和八面体由共用的氧原子联结在一起，组成晶胞(图 4-4)。晶胞是由两层硅氧四面体和一层铝氧八面体组成，故称 2∶1 型粘土矿物。重叠的晶胞之间是氧层和氧层相对，其间的作用力是弱的分子间力，故晶胞间联结不紧密，易分散，水分子容易进入晶胞之间，粘土易膨胀水化，分散性好，造浆率高，每吨粘土可造浆达 12～16m^3 左右。同时可交换的阳离子数目多，故接受处理的能力强，易改性或用化学处理剂调节泥浆性能。

(3) 伊利石或称伊利水云母 $k_{<1}(Al、Fe、Mg)_2[(Si、Al)_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$：其

晶体结构和蒙脱石有相似之处，也是由两层硅氧四面体中间夹一层铝氧八面体组成晶胞（图 4-5），同样是 2∶1 型粘土矿物。其不同之处是伊利石两晶胞之间存在钾离子（K^+）。钾离子的直径为 2.66 Å，与硅氧四面体六角环的空穴内径相当，故钾离子进入空穴后不易出来，使上下两晶胞联结得很紧，水分子也不易进入晶胞层间。故此种粘土因晶胞间联结紧密而不易分散，造浆能力低。同时阳离子交换能力也低，故难以改性或用化学处理剂调节泥浆性能。

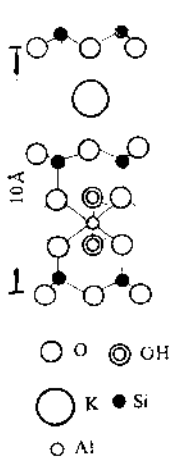


图 4-5　伊利石晶体构造特点示意图

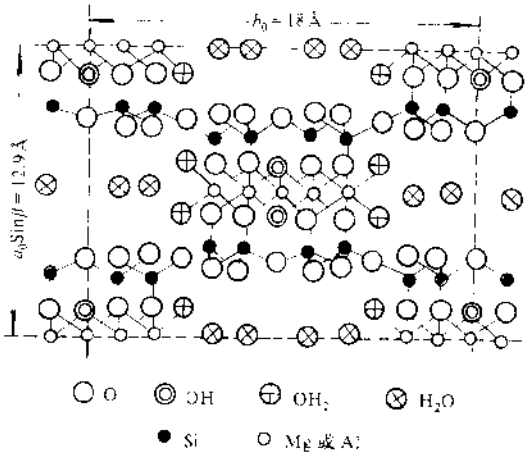


图 4-6　凹凸棒石晶体构造示意图

（4）海泡石 $Mg_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$：它是属于双链状构造的含水镁铝硅酸盐，也是 2∶1 型粘土矿物（图 4-6）。属于这族的矿物有海泡石，凹凸棒石、坡缕缟石等。由于硅氧四面体所组成的六角环都依上下相反的方向对列，而相互间被其它的八面体所联结，因而晶体构造中有一系列的晶道。晶体构造的通道中含有较多的吸附水（氆石水）以及受镁离子束缚的结晶水，并具有较高的热稳定性（能耐 260℃以上的高温），故适用于配制深孔和地热钻孔泥浆。同时这类粘土在淡水和饱和盐水中的水化膨胀情况几乎一样，因而具有良好的抗盐性，是配制盐水泥浆的好材料。

对造浆粘土的要求是：分散度好、造浆率高、阳离子交换容量要大。所以，含蒙脱石矿物为主的粘土（称为膨润土），才是最好的造浆粘土。膨润土因其所含交换性阳离子种类不同，分为钠膨润土、钙膨润土、钠-钙膨润土和钙-钠膨润土等。不同的膨润土，其造浆性能是不同的，不加处理，只有钠膨润土才能达到国际商品膨润土造浆性能要求，其他钙土、钙-钠土等，只有经纯碱处理或人工钠基化后方可达到造浆性能要求。

我国天然的钠膨润土资源短缺，新疆夏子街膨润土是目前我国少量能达到国际商品标准的钠膨润土矿之一。而钙、钙-钠膨润土资源较为丰富，全国发现较优良的钙膨润土达十余省数十处。“六五”期间全面推广以高阳土为代表的优质钙膨润土造浆，代替过去“就地取土”的劣土造浆，在技术上、经济上取得明显的效益，但钙膨润土造浆必须加碱活化或人工钠基化。“七五”期间，我国生产了人工钠土 NV-1，它是用优质钙膨润土为原料，经过人工转化而成钠质膨润土，产品质量达到或超过国内外钠土性能指标。人工钠土 NV-1 在近年来推广使用后证明：它是优良的造浆原料，可以大大提高泥浆性能，减少泥浆添加剂

加入量；能适应各种复杂地层钻进，为护壁防塌、减少孔内事故提供重要手段；价格比国际市场价格低廉，比用钙土粉在现场改性使用便宜且性能优越。因此，人工钠土得到广泛的采用。

4.5.1.2 水

水是泥浆中的重要组成部分，水质对泥浆和乳状液都有重要影响。一般水中都含有不同程度的碳酸盐、重碳酸盐、氯化物、硫酸盐、硝酸盐、氧化物和氢氧化物等盐碱物质，它们能溶于水，呈离子状态。高价离子、尤以钙、镁离子对泥浆性能影响最大。因此，用水前应对水的矿化度和水的硬度进行化验和处理。

钻探配浆大都就地取水，一般多为地表水（湖泊、河塘），有时也用地下水（井水、泉水）。因此都为淡水，有时遇到矿化度较高的咸水或硬水，此时需进行水的软化，一般加纯碱（Na_2CO_3）即可。

4.5.2 泥浆的性能测定

泥浆的性能是泥浆的组成以及其各组分间相互物理化学作用的宏观反映，它是表示泥浆质量的具体参数，直接影响着机械钻速、冷却钻头、排除岩粉、护壁、堵漏以及预防孔内事故等，因此必需因地制宜调节和测定泥浆的主要性能。

4.5.2.1 泥浆的粘度

粘度是泥浆流动时固体颗粒之间、固体颗粒与液体之间和液体分子之间等内摩擦的反映。在现场普遍使用漏斗粘度计，用于测量漏斗粘度，以观察泥浆的粘度大小。

漏斗粘度是以流出一定体积（如500mL）泥浆所经历的时间来衡量的。测定时，在漏斗内盛700mL泥浆（图4-7），测定流出500mL的所需时间，单位为s。标准漏斗粘度计测定清水粘度为15s，如所用粘度计不准，可按下式换算：

$$\text{泥浆漏斗粘度} = \frac{t \times 15}{t_1} \quad (\text{s})$$

式中 t——流出500mL泥浆的时间（s）；

t_1——流出500mL清水的时间（s）。

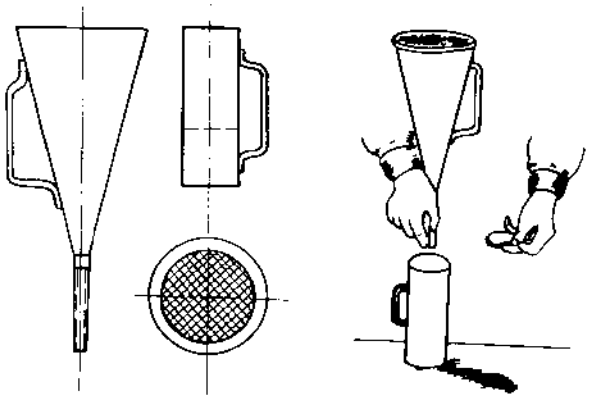


图4-7 漏斗粘度测量示意图

钻进时，要求泥浆有一定的粘度，以利于携带岩屑和维护孔壁，尤其是钻进孔隙性或

裂隙发育的地层时，提高粘度可以堵漏，减少泥浆的漏失。但粘度过高，泥浆的流动阻力增大，泵压增高、排量降低，影响钻进效率，且岩粉不易沉淀，易糊钻头、憋泵。

提高泥浆粘度，主要是增加固相浓度和固相分散度，加入高分子增粘剂（含有机高分子絮凝剂）。降低泥浆粘度，主要是增加自由水和减少固相含量，加入拆散结构的稀释剂。

4.5.2.2 泥浆的静切力

静切力（又称凝胶强度）是泥浆在静止状态时，受外力影响开始流动所需最小的力。它反映泥浆静止时，内部形成连续网架结构的强弱。静止后的切力随时间的增长而增大，其作用是停钻、停泵时悬浮岩屑，防止埋钻事故。静切力的单位为 Pa。

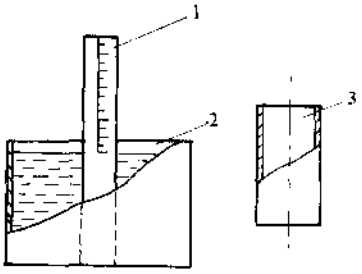


图 4-8 浮筒切力计

1—刻度标尺；2—泥浆杯；3—薄铝筒

现场测定泥浆静切力采用浮筒切力计（图 4-8）。测定时，加泥浆于杯中至 0 度为止。静止 1min 后，把铝筒套过刻度标尺、轻轻放入泥浆，直到铝筒不再自动下沉为止，铝筒上端指的标尺读数，为初切力值。然后重新搅拌泥浆，静止 10min，再测定一次，即为终切力值（原浮筒切力计刻度单位为 mgf/cm^2，应乘以 0.098 即得 Pa），近似可用 dPa。适当加入无机盐特别是高价盐以及高聚物可提高静切力。

4.5.2.3 泥浆的失水量与泥皮

当泥浆在孔内循环时，因受压力差作用，泥浆中的一部分自由水被迫渗透入地层，这种现象叫泥浆的失水。失水的多少叫失水量。在泥浆失水的同时，粘土颗粒被阻留在孔壁上，在泥浆柱形成的压力作用下，在孔壁上形成一层泥皮（其厚度称泥皮厚），失水量小，所形成的泥皮薄而致密，可保护孔壁安全。失水量大、形成的泥皮厚而松散，泥浆中的水继续渗水，则孔壁不稳定，易发生坍塌掉块和泥皮脱落事故。降低泥浆失水量和改善泥皮功能，可加入 CMC 或其它有机聚合物等降失水剂。

泥浆失水量的测定，通常只测静态下的泥浆失水（静失水），泥浆实验室采用气压式失水仪，机台常采用打气筒式失水仪。具体操作可参阅有关说明书。

4.5.2.4 泥浆的比重（相对密度）

比重是指泥浆的重量与同体积 4℃水的重量之比。测定泥浆的比重常用比重秤（图 4-9），测定时，可先在泥浆杯中灌满水，盖好杯盖并擦干，把游码放在杠杆的刻度标志 1.0 处，调节重物的金属颗粒，使水平气泡处于水平位置。然后倒掉水再灌满泥浆，盖好盖，擦净，调动游码使水平泡处于水平，由游码位置读出的刻度，即为泥浆的比重值。

比重大的泥浆，冲洗能力也大，可携带出较多的岩粉、岩屑。钻进喷涌地层时，增加比重，可以防止井喷。但比重大的主要因素是泥浆中的固相含量增多。固相含量过高，尤其是岩粉含量多，直接影响泥浆性能，给钻进工作带来钻速下降、钻头寿命缩短、泥浆泵磨损加快、孔内事故增多等。所以，目前对优质低固相泥浆，在粘度符合要求时，泥浆中的固相含量应控制在 4%左右（体积含量），此时泥浆比重在 1.05～1.08 左右。因此，在配制泥浆时，要注意粘土固相的含量，在钻进过程中也要求自始至终地控制岩粉固相含量。控制的办法有两种：一是采用物理、化学的方法，即使用具有选择性絮凝的处理剂对岩粉起絮凝作用，而对膨润土起增效作用；或使用具有抑制性的处理剂，抑制岩粉的分散；二是

采用机械的方法清除岩粉，如安装机械净化设备，安设循环槽、沉淀箱净化装置。

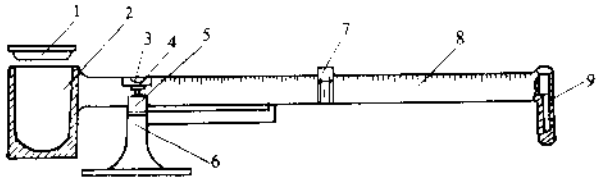


图 4-9　比重秤

1—杯盖；2—泥浆杯；3—水平泡；4—卡刃口；5—三刃垫；6—支架；7—游码；8—杠杆；9—金属颗粒

4.5.2.5　泥浆的含砂量

含砂量是指泥浆中含大于 74μm 的非粘土砂粒（即 200 目筛子通不过的砂粒）占泥浆总体积的百分含量。一般要求含砂量应小于 4%；金刚石钻进要求含砂量最好小于 1%。

测定泥浆含砂量常用含砂量仪（图 4-10）。测定时，用量杯取 50mL 泥浆和 450mL 清水，倒入含砂量仪内混合、摇匀，静止 1min 后，读出砂子在量仪细管内沉淀的刻度数，再乘 2 即为泥浆含砂量百分数。

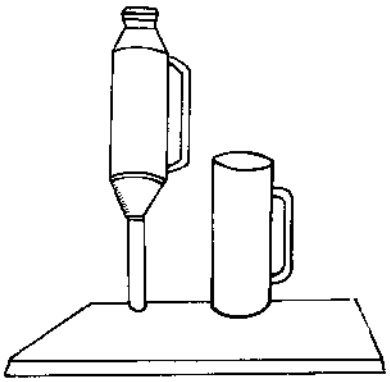


图 4-10　含砂量仪

4.5.2.6　泥浆的稳定性

稳定性是表示泥浆中粘土颗粒分散的均匀程度。测定时，用一特制量筒注入 250mL 的泥浆，用玻璃片盖好，静放 24h 后，用吸管吸取量筒上部和下部的泥浆，分别测出其比重，并计算其比重差就是泥浆的稳定性。这个差值应小于 0.02。

4.5.2.7　泥浆的胶体率

胶体率是泥浆中粘土颗粒分散程度和水化程度以及悬浮状态的粗略表示。测定泥浆胶体率，常用 100mL 量筒进行。即在量筒内加入 100mL 泥浆，封闭静止 24h 后，泥浆上部分离析出清水，读出下面部分泥浆面所指的刻度，即为胶体率值。泥浆胶体率要求不低于 96%。

4.5.2.8　泥浆的 pH 值

泥浆的 pH 值，也叫酸碱度，是以溶液中的氢离子浓度的负对数值表示其大小表示泥浆酸碱强弱。当泥浆中氢离子浓度为 10^{-7} 克离子/L 时，pH 值为 7。此时，泥浆为中性。pH 值小于 7 时，泥浆呈酸性；pH 值大于 7 时，泥浆呈碱性。pH 值对泥浆性能有重大影响，一般情况要求泥浆呈碱性，pH 值应控制在 8～10 之间。测定 pH 值，多采用比色法。它是将 pH 值试纸取一小条浸入泥浆液中，1s 后拿出来与标准颜色相比，一致或相近，即表示该泥浆的 pH 值。

泥浆的 pH 值，是影响粘土颗粒进行阳离子交换的重要条件。pH 值对泥浆性能的影响，

是通过改变粘土颗粒的负电性而引起的。如在强酸性环境中，粘土颗粒表面正电荷增加，负电荷相对减少；在碱性环境中，粘土颗粒表面负电荷增加，正电荷减少。所以要求泥浆呈碱性较好。

当前广泛使用金刚石钻进，对泥浆提出了更高的要求：如要求泥浆通过小间隙处流动阻力小，即粘度小；而在大断面处粘度高，对孔壁冲刷力小。因此在金刚石岩心钻探中应用泥浆的水力学与流变学（特别是其中的塑性粘度与动切力的关系）的理论解决生产实际问题，选择流变性能好的泥浆，取得了较为满意的效果。

漏斗粘度计、浮筒切力计可以在现场测知泥浆的流变性能，也能粗略看出泥浆流变性能的变化，对控制泥浆性能起了很好的作用。但是，它们测不出泥浆的塑性粘度和动切力等重要流变参数及其变化。按美国石油公司材料协会（O.C.M.A.）和美国石油学会（API）标准，我国生产了多种泥浆仪器和设备测试泥浆性能，其型号及规格见表 4-5。

表 4-5　泥浆测试仪器及设备

名　　称	型　　号	规　　格　　性　　能
泥浆参数测试箱	NCCR	包括①二速旋转粘度计②7 气压失水仪③含砂量仪④固相含量仪等
机台泥浆仪器箱		包括①打气筒失水仪②比重秤③含砂量仪④漏斗粘度计⑤pH 试纸
电动二速旋转粘度计	ZNN-D2	转速 600、300 r/min
电动六速旋转粘度计	ZNN-D6	转速 3、6、100、200、300、600 r/min
台式失水仪	ZNS-3	〃
打气筒式失水仪	ZNS-2	7 个气压，测 30min，API 失水
中气瓶失水仪	ZNS-4	〃
泥浆比重秤		比重 1.0～2.0
泥皮粘附系数测定仪	NF-1	35 个气压，扭矩板手量程 0～300　lbf·in[①]（磅力英寸）
钻井液润滑测定仪	NR-1	水的泥滑系数 0.53～0.36
五轴高速搅拌机		转速 1500 r/min（定转）
单轴高速搅拌机		转速 1500 r/min（定转）

① 1lbf·in≈0.113N·m。

4.5.3　泥浆的添加剂

为了使泥浆性能适应各种地层及钻进方法的要求，常需对泥浆进行化学处理。处理方法就是在配制泥浆过程中加入适量的化学添加剂，调节泥浆的性能达到钻进要求。随着化学工业的发展，泥浆添加剂种类在不断地增加和更新。我国现在已有一百余种性能优良的泥浆添加剂实行工厂化生产，产品有较为严格的质量检验，泥浆公司对各厂产品进行评价、择优选用。各种常用的泥浆添加剂见表 4-6，其中几种具有代表性的添加剂介绍如下：

4.5.3.1　聚丙烯酸盐类添加剂

聚丙烯酸盐类是一种选择性絮凝剂，能对泥浆中无用固相（岩屑、劣质土）絮凝，而对有用固相增效，使处理后的泥浆具有流变性好、防塌、润滑性强等优点。并由于泥浆滤液中含有高分子聚合物，有利于护壁。现在它已发展成大小不同分子量、不同水解度、钠盐、钙盐等一系列产品。它们具有多功能性：其中 PHP 分子量较大，水解度较低，作用偏

重于絮凝；HPAN 分子量小、水解度较高，作用偏重于降失水和增效；CPA、CPAN 为钙盐、SPAN 为磺化体，它们抗污染能力较强，性能较为稳定。这类添加剂在我国钻探现场广泛应用、是用得最多的一种添加剂。

4.5.3.2 纤维素类

羧甲基纤维素钠（CMC），有高粘、中粘、低粘不同品种，并有速溶产品。高粘 CMC 主要用于增粘，而中粘、低粘 CMC 用于降失水。低粘 CMC 处理失水时，还可使粘度不致增大。

表 4-6 泥浆添加剂的部分品种

类别	名称	主要成分	用途
加重剂	Bar	重晶石	增加泥浆比重至 2.4
	LiM	石灰石	增加泥浆比重至 1.44
增粘剂	CaB	钙膨土	水基泥浆基本剂（现场改性、预水化）
	Navil	人工钠膨土	水基泥浆基本剂、增粘及降失水
	Sep	海泡土	盐水泥浆、高温泥浆增粘剂
	Atp	凹凸棒土	盐水泥浆增粘
	CMC（HV）	高粘 CMC	水基泥浆增粘
	SR-CMC（HV）	速溶高粘 CMC	水基泥浆增粘
	Sm-1	改性石棉	盐水泥浆增粘、结构形成剂、净化孔底
	钻井粉	雷公藤叶粉	提粘、降失水
		胶苓胶	增粘、降失水、抗钙、无污染用于水井
絮凝剂	PAM	非离子型聚丙烯酰胺	沉淀岩屑、获得净水、作无固相冲洗液
	PHP	部分水解聚丙烯酰胺	使岩屑絮凝、膨土增效、改善流变性能
	80A 51	聚丙烯酰胺-丙烯酸钠	选择性絮凝剂、絮泥岩屑、膨土增效、可作淡水及海水泥浆流变性改进剂
	XC	生物聚合物	流型调节剂、剪切稀释能力强、配制低固相泥浆，增粘、降失水、抗盐、抗钙
降失水剂	CMC（LV）	低粘 CMC	水基泥浆降失水剂
	SR-CMC（LV）	速溶低粘 CMC	
	CMC（MV）	中粘 CMC	降失水及增粘
	PAC	聚阴离子纤维素	降失水或增粘
	HPA	聚丙烯酸钠	低固相非分散泥浆降失水
	HPAN	聚丙烯腈钠盐	淡水泥浆中可作高温降失水剂
	CPAN	聚丙酸腈钙盐	降失水剂，与 PHP、CPA 复配、低粘度、低失水，低比重，性能稳定
	CPA	聚丙烯酸钙	抗 Ca、Mg、抗高温、在淡水海水及高盐地层的泥浆作降水剂和增粘剂，能改善流变性
	SPAM	磺化聚丙烯酸胺	降失水、提粘、防塌、有一定的抗温，抗盐、抗石膏及抑制粘土水化能力
	SMC	磺化褐煤	高温降失水剂（180～200℃）
	SMP	磺化酚醛树脂	深井、超深井降失水
	SLSP	磺化木质磺甲基树脂	抗盐、抗高温、降失水、高温下不增稠。适于深井盐水泥浆

续表 4-6

类别	名　　称	主 要 成 分	用　　途
防塌剂	KHm	腐植酸钾	淡水泥浆防塌剂和降失水剂，有较好的热稳定性，用于泥页岩防塌、并有稀释作用
	PNH	硝基腐植沥钾	防塌剂、能抑制泥页岩水化膨胀、并有稀释和降失水作用
	DLSAS	磺化沥青	防塌、润滑、防卡多种功能，能抑制泥页岩水化膨胀、防止压差卡钻
稀释剂	FCLS	铁铬盐	稀释剂反絮凝，并有降水作用，能抑制粘土分散。在盐侵、钙侵、粘土侵下性能稳定
	SMT	磺化丹宁	水基泥浆稀释剂、抗温 180℃
	SMK	磺化烤胶	淡水泥浆稀释剂，复配使用抗温 180℃
无机处理剂	$NaCO_3$	纯　碱	稳定泥浆、增加分散性、增粘、增静切力、降失水，可调节 pH 值
	NaOH	烧　碱	用于控制泥浆中钙离子或转化钙基泥浆为钠基泥浆。调节 pH 值
	$Ca(OH)_2$	石　灰	增粘、增静切力、配合稀释剂和降失水剂进行钙化处理、增加泥浆稳定性
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	生石膏	用于抑制粘土水化性能，增粘、堵漏
	CaCl	氯化钙	增粘、降失水
	Na_2SiO_3	水玻璃	增粘，提高静切力

4.5.3.3　腐殖酸盐

有腐殖酸钠、腐殖酸钾、磺化褐煤等多种粉制商品。其中腐殖酸钾 KHm 为有效防塌剂，用于防止泥页岩的水化、坍塌。KHm 在泥浆中提供 K^+，可将泥页岩中蒙脱石晶层内的 Na 置换下来，形成伊利石结构，抑制泥页岩的水化膨胀。在泥浆中 KHm 高分子化合物附吸在粘土表面，形成溶剂化层，降低泥浆的失水量，同时使泥浆稀释和静切力降低，这和 CMC 不同，CMC 降失水的同时，使粘度有不同程度的增大。KHm 与 PHP 配合使用，防塌效果更好。

4.5.3.4　磺化沥青（DLSAS）

磺化沥青是孔壁稳定剂，具有降失水、防塌、润滑、防卡多种功能。尤其在深孔、较高温度下降失水效果更好。DLSAS 还可作润滑剂使用，能降低泥皮粘附系数，防止压差吸附卡钻。

4.5.3.5　改性石棉（Sm-1）

改性石棉是泥浆结构剂，在泥浆中形成网状结构，可以增粘、提高携带岩粉能力，特别是抗盐、抗钙、抗高温。可用于大直径钻孔或超径钻孔携带岩粉。配制加重泥浆可悬浮加重剂。

4.5.3.6　生物聚合物（XC）

生物聚合物是流型调节剂、增粘剂和降失水剂等，为多种用途的泥浆处理剂。在现有添加剂中，它的剪切稀释能力最好，能有效地改善流型、抗盐、抗钙能力很强，同时无毒、对环境无污染。对水文地质及水井钻进、岩盐、盐湖钻进等较为有利。

4.5.3.7　木质素类

铁铬木素磺酸盐是性能优良的稀释剂，具有反絮凝和抑制页岩钻屑分散的功能，目前还是陆上钻探用的重要添加剂，在钙处理泥浆、盐水泥浆中是不可少的添加剂。

4.5.3.8　无机处理剂

无机处理剂大都是化工产品，包括各种碱和各种盐。它们是电解质，能使粘土颗粒通过离子交换，改变粘土颗粒表面吸附反离子的种类和浓度，从而调节泥浆体系中粘土颗粒聚结或分散稳定，使泥浆性能适应钻进要求。如纯碱常用作配制新泥浆时的分散剂，改善粘土颗粒的水化，并调节pH值。用钙粘土配制泥浆时，加入纯碱或烧碱，可沉淀泥浆中的钙、镁离子，改善泥浆中粘土颗粒的水化性能，促进分散，进而降低泥浆的失水，提高粘度和切力，改善泥皮质量。

4.5.4　常用泥浆种类

随着钻探生产向复杂地层和深部发展，泥浆种类也在不断增多，由较早的细分散淡水泥浆发展到粗分散的钙处理泥浆和盐水泥浆，70年代以来，又发展到不分散低固相泥浆和无固相（无粘土相）冲洗液；由水基泥浆发展到乳化泥浆、润滑泥浆；由浅孔的常温泥浆发展到深孔高温泥浆；由普通泥浆发展到低比重充气泥浆和加重泥浆。

4.5.4.1　细分散泥浆

细分散泥浆是含盐量小于1%，含钙量小于120ppm，不含抑制性高聚物的分散型泥浆，可在一般的松软破碎地层使用。为了满足钻进需要，往往加有降失水剂和稀释剂，依所加添加剂的不同，可有不同的种类，常用的有铁铬盐泥浆、木质素磺酸盐泥浆和腐殖酸泥浆等。

（1）铁铬盐泥浆：其主要添加剂是铁铬盐，起稀释作用，也有一定降失水和护壁效应。配制$1m^3$泥浆的配方是用80~200kg粘土，10～20kg铁铬盐、30～40kg缩合亚硫酸纸浆废液、2.5kg NaOH、0.5～1.0kg $Na_2Cr_2O_7$（或$K_2Cr_2O_7$）、3～5kg消泡剂、900～940L水。泥浆性能：比重1.06～1.20、漏斗粘度18～40s、失水量4～10mL/30min、pH值9～10。

（2）木素磺酸盐泥浆：木素磺酸盐一般与煤碱剂配合使用，以解决泥浆的稀释和降失水，国外则用亚硫酸纸浆废液与煤碱剂配合，必要时加钠羧甲基纤维素降失水。配制$1m^3$泥浆的配方是用80～200kg粘土、30～40kg亚硫酸纸浆废液、10～20kg煤碱剂、5～10kg NaOH、5～10kg消泡剂、900～940L水，在钻进过程中为降失水可每$1m^3$加1～3kg钠羧甲基纤维素。泥浆性能：比重1.06～1.2、漏斗粘度18～40s、失水量5～10mL/30min、静切力1min6～45dPa、10min12～90dPa。

（3）腐殖酸泥浆：是用煤碱剂或腐殖钠（钾）稳定的，其配方是$1m^3$泥浆中加50～200kg粘土、30～50kg煤碱剂、3～5kgNa_2CO_3、905～955L水。泥浆性能：比重1.03～1.2、漏斗粘度20～60s、失水量4～10mL/30min、静切力1min18～60dPa、10min36～120dPa、pH值9～10。

4.5.4.2　粗分散泥浆

粗分散泥浆是在细分散泥浆的基础上发展起来的，它是在泥浆中加入无机聚结剂，使高度分散的粘土颗粒变粗，同时加入有机保护胶处理剂，形成适度聚结的粗分散体系。它既能具有失水量较少，又有粘度低、切力小、流动性好的优点，有助于提高防塌、抗钙或抗盐的能力。因此常用于岩盐层、石膏层、厚的覆盖层和大段泥页岩地层钻进。目前常用

的粗分散泥浆有钙处理泥浆和盐水泥浆。

（1）钙处理泥浆：是在泥浆中加入石灰、石膏或氯化钙及降水剂和稀释剂。常用的有石灰-丹宁（栲胶）泥浆、石膏-铁铬盐泥浆和氯化钙-褐煤泥浆三种，其配方和泥浆性能见表 4-7。

表 4-7　钙处理泥浆

名　　称	泥　浆　配　方	泥浆性能					
		比　重	漏斗粘度（s）	静切力（Pa）		失水量（mL）	泥皮厚（mm）
				1min	10min		
石灰-丹宁泥浆	石灰 0.5～1.5%；丹宁碱液（浓度 1/10～1/20）的配比 1∶1、6∶4 或 2∶1，加量为 0.5～1%	1.2～1.3	20～30	0	1～4	5～15	0.5～2
石膏-铁铬盐泥浆	石膏 1.14～1.7%；铁铬盐 0.86～1.7%；烧碱 0.28～0.42%；CMC0.14～0.42%	1.20	25	1.0	4～5	3～6	
氯化钙-褐煤泥浆	纯碱 0.3～0.5%；煤碱剂 15∶2～3∶100～150（褐煤∶烧碱∶水）；氯化钙 0.5～1.0%	1.13～1.34	18～28			3～5	0.5～1

（2）盐水泥浆：泥浆中含盐量大于 1%的称为盐水泥浆。如含盐量（约 35%左右）达到饱和状态的泥浆称为饱和盐水泥浆。配制盐水泥浆以采用抗盐土-海泡土或凹凸棒土为优；为降失水量可用抗盐土和钠膨润土混合配制；也可用钠膨润土预水化配制，并加少量铁铬盐或无铬木质素，防止盐引起钠土絮凝；用 XC、淀粉、PAC 作降失水剂和增粘剂。改性石棉在盐水泥浆中是有效的结构形成剂，用以提高泥浆的悬浮固相和携带岩粉能力。

我国山东钾盐矿钻探时，使用的饱和盐水混油乳化泥浆取得较好效益。其泥浆配方是：$1m^3$ 泥浆中加 CMC25kg、乳化剂 OP 型 4.5kg、十二烷基磺酸钠 4.5kg、皂脚 10kg、洗衣粉 2.5kg、NaCl325kg、柴油 53kg、废机油 5kg。泥浆性能：比重 1.21；漏斗粘度 34s；失水量 4.4mL；泥皮厚 0.3mm；pH 值 8。

4.5.4.3　不分散低固相泥浆

不分散低固相泥浆是高分子聚合物处理低粘土含量泥浆的产物，是 70 年代发展的一种新型泥浆。“不分散”是指高聚物絮凝剂能将泥浆中岩粉和劣质粘土絮凝成团，不分散于泥浆中，同时使泥浆中多数膨润土颗粒保持在 1～30μm 粒度；“低固相”是指泥浆中固相（包括粘土与岩粉）含量小于 4%。这种泥浆因固相含量低，所以比重小、流变性好；由于采用高聚物絮凝剂、防塌护壁效果好，能显著提高钻进效率。广泛使用于金刚石钻进硬、脆、碎不稳定地层。

不分散低固相泥浆都是使用以聚丙烯酰胺高聚物为主要添加剂，随着生产和科研的进展，已有多种类型，其中广泛使用的主要有两种：聚丙烯酰胺-聚丙烯腈泥浆（俗称双聚泥浆）和聚丙烯酰胺腐植酸钾泥浆（PHP-KHm 泥浆）。

(1) 聚丙烯酰胺-聚丙烯腈泥浆：主要添加剂是聚丙烯酰胺（PHP），分子量在 250×10^4 以上，水解度 30%左右，起选择性絮凝和护壁防塌作用；用水解聚丙烯腈（HPAN）、聚丙烯酸钙（CPA）或聚丙烯腈钙（PAN）、低分子量聚丙烯酰胺（LAP）等作降失水剂，其配方及性能见表 4-8。

(2) 聚丙烯酰胺-腐殖酸钾泥浆：主要添加剂是水解聚丙烯酰胺（PHP）起护壁和絮凝作用，腐殖酸钾（KHm）起抑制孔壁分散和降失水作用。其配方及性能见表 4-9。

4.5.4.4 充气泥浆

充气泥浆是一种低比重泥浆，现场使用时，泥浆比重可降至 0.7 左右。由于其比重低，携带岩屑能力强，可以提高机械钻速。同时其粘度和切力较高，因此特别有利于减轻或解决岩心钻探中钻孔漏失，而不需要停钻进行专门堵漏。所以在我国小孔径钻进中采用充气泥浆来对付漏失，取得较好效果。充气泥浆的配方和性能见表 4-10；

配制充气泥浆的关键，是充气搅拌的强烈程度和高效发泡剂与稳泡剂的选用。充气方法可用压风机充气；但地质勘探钻进中常采用搅拌机搅拌，即先在泥浆搅拌机中配好泥浆，体积为搅拌机容积的 2/3 左右，然后加入发泡剂，再搅拌 15～20 分钟就成；或者，配好泥浆后，在大池中补入发泡剂，利用泥浆喷枪、水泵回水管或专门充气装置来回冲刷充气的方法。充气泥浆一般用活塞泵或螺杆泵往孔内泵送，一般为正循环方式。使用时要经常检查其性能，及时调整，定期补充 ABS，加强地面除砂。

4.6 无固相冲洗液

无固相冲洗液也称无粘土冲洗液，它是不用粘土，只用无机盐和有机高分子（聚合物）与清水配成的冲洗液，是在低固相泥浆的基础上发展的一种新型冲洗液。与泥浆相比：因不含固相（粘土），相对比重低，流动性能好，因而能提高孔底钻头的碎岩效率。它与清水相比：其粘度较高，具有较好的悬浮和携带岩粉的能力，并能在孔壁上形成薄的吸附膜，具有一定的护壁能力，并有良好的润滑和减阻作用。由于它的性能可在一定的范围内调节，因此可用于裂隙发育、易坍塌和轻微膨胀的地层。在小孔径金刚石钻进中，特别是绳索取心钻进中应用，可以防止钻杆内壁结泥皮和降低泵压损失。

无固相冲洗液主要是由不同种类的高聚物和无机盐组合而成的。其中，有机高聚物的作用主要是增粘和降失水，起防塌护壁的作用，并有润滑与絮凝作用，使溶液在使用过程中能维持无固相或尽量低的固相含量。无机盐的作用，则是提高溶液的粘度和降低失水量，并调节 pH 值。随着各种高聚合物的发展，无固相冲洗液的种类愈来愈多，其中常用的几种见表 4-11。

4.7 空气与泡沫

4.7.1 压缩空气

利用压缩空气代替冲洗液，可适用在难于输水的高山和干旱缺水、沙漠地区；以及常年永冻岩石区、严寒和冬季很长地域。

我国应用压缩空气洗孔（图 3-11）已取得良好效果，如清除岩粉干净，孔底清洁避免了岩粉的重复破碎和对钻头的磨损；高涡流气流能较好地冷却钻头，延长钻头寿命；孔底无静液柱压力，有利于岩石的破碎，其钻进效率比清水洗孔提高 50～100%；空气不污染岩

表 4-8　几种双聚泥浆的配方和性能

编号	泥浆配方					泥浆性能							
	粘土 %	纯碱 (占土量%)	PHP (ppm)	CPA (ppm)	HPAN (ppm)	密度 (g/cm³)	漏斗粘度 (s)	表观粘度 ×10⁻³ (Pa·s)	塑性粘度 ×10⁻³ (Pa·s)	动切力 ×0.478 (Pa)	失水量 API (mL)	泥皮厚 (mm)	pH 值
1	4.7	6	200	200		1.02	26	15	9.0	6.5	14	0.5	8.5
2	4.7	6	400	200		1.02	29	19	12	9	12	0.5	8.5
3	5	6	100		100	1.03	23	14			20		9
4	5	6	350		150	1.02	24.4				10.5		9
5	5	6	375		125	1.02	25				10.8		9
6	5	6	100		100	1.02	25.4				11.1		8.5

表 4-9　几种 PHP-KHm 泥浆的配方和性能

编号	泥浆配方					泥浆性能						
	粘土 (%)	纯碱 (占土量%)	PHP (ppm)	KHm (%)	kP (mL/L)	密度 (g/cm³)	漏斗粘度 (s)	表观粘度 ×10⁻³ (pa·s)	塑性粘度 ×10⁻³ (pa·s)	失水量 API (mL)	泥皮厚 (mm)	pH 值
1	3	6	200	2		1.02	17.6	3.25	3	9	0.8	8.1
2	3	6	200	4		1.02	18.4	4.57	5	8	0.7	8.1
3	4	6			5	1.03	21			14	1	8.5
4	4	7			6	1.03	20			11	0.6	9.0

注：kp —聚丙烯酰胺-腐殖酸钾共聚物。

表 4-10　几种充气泥浆的配方和性能

编号	泥浆配方							泥浆性能						备注
	粘土 (%)	纯碱 (占土量%)	PHP (ppm)	HPAN (%)	ABS (ppm)	AS (ppm)	CMC (%)	基浆 比重 (g/cm³)	基浆 表观粘度 (mPa·s)	基浆 失水量 (mL)	泡沫泥浆 比重 (g/cm³)	泡沫泥浆 表观粘度 (mPa·s)	泡沫泥浆 失水量 (mL)	
1	5	3	100/400	0.15/0.2	50/100			1.08/1.1			0.8/1.05	17.5/40.5	5～8	肖县粘土
2	6	6	100		50		0.3	1.04	15	12	0.88	22.5	10	黑山粘土
3	8	8	200			50	0.2	1.051	16		0.752	33.5		九台粘土
4	6	7	100			50	0.3	1.041	17	11	0.870	25	10.5	尚阳粘土
5	10	4～5	100	0.2/0.3		0.05/0.1	0.1/0.2				0.93/1.05		9～10	黑山粘土

注：ABS——十二烷基苯磺酸钠；AS——十二烷基硫酸钠；均为发泡剂。

心，从而提高了取心质量。

压缩空气洗孔也存在一些缺点：如在含水层特别是承压水层中钻进，使用困难较大，因为容易形成泡包，排粉不畅而发生糊钻或埋钻事故；在松散、粘结性差的地层中，因孔壁不稳固而难于使用空气洗孔；孔壁表面缺乏润滑层，增加钻杆磨损；此外，压缩空气洗孔的地方必须装置压风机、孔口密封器、油水分离器和岩粉收集器等。

表 4-11　几种无固相冲洗液

种　类	名　称	含　量
合成高聚物溶液	部分水解聚丙烯酰胺（PHP）液	PHP300～600ppm；$FeCl_3$180～369ppm
	水解聚丙烯腈（HPAN）液	PHP1%；HPAN 0.5～0.1%；126 乳化剂 0.1%
纤维素溶液	羧甲基纤维素（CMC）液	CMC 0.1%；水玻璃 0.1%
	羟乙基纤维素（HEC）液	HEC4～8kg；$KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 2～3kg；NaOH 1.5～3kg
野生植物胶溶液	蒟蒻胶液	1～2%
	田菁胶液	0.5～1%
生物聚合物溶液	XC_{131}	XC_{131}0.3%；CMC 0.5%；FCLS 2%
无机盐凝胶液	硅酸钠-磺酸盐	水玻璃 2～5%；FCLS 2～3%；磺酸皂 1.5～2%
	硅酸钠-聚丙烯酰胺	水玻璃 6～8%；PHP200～400ppm；皂化油 0.3%

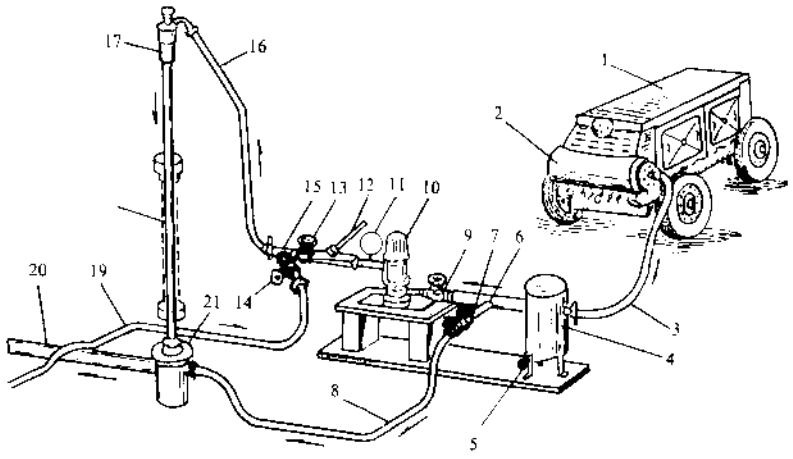


图 4-11　空气洗孔示意图

1—压风机；2　贮气罐；3—软管；4—油水分离器；5—放出阀；6—分流短路；7、9、13、14—阀门；8—分流软管；10—流量表；11—压力表；12—温度计；15—三通；16—高压软管；17—水接头；18—主动钻杆；19—水泵软管；20—排出管；21—岩粉收集器

为了有效地解决干旱地区钻进时的除尘，排除不稳定地层或漏失地层钻进的不安全因素，充分发挥空气洗孔的工作效能，采用加入泡沫剂，施行泡沫冲洗钻孔。这样既可以发挥空气洗孔的优越性又弥补了空气洗孔的不足，因此近年来，泡沫洗孔钻进得到应用与发展。

4.7.2 泡　沫

泡沫是气液两相混合的分散体系，其中分散相是气体，分散介质是液体。这种分散体系，按大气压下气体体积量与液体体积量之比，即充气度α的大小，分为充气液体（α≤50）和稳定泡沫（α=50～300）。这里所说泡沫是指后者。在泡沫中气相是容积的主要部分——最高达99%；而液相是发泡剂加水，配制的液体浓度一般为0.06%～0.4%。常用的发泡剂有阴离子与非离子表面活性剂的复合型，产品型号为OF-1、ADF-1和CD-1、CDF-812、CDF-813等；非离子型的OP-7、OP-10、TX-10和邻苯-10；阴离子型的有十二烷基苯磺酸钠、十二烷基硫酸钠等。后者只限于淡水条件下使用，而前两者抗盐、抗钙能力较强，并具有一定的抗温性能，在硬水、盐水、淡水中均有较好的发泡和稳泡作用。

当发泡剂溶液被喷入管道由压缩空气带到孔底时，所形成的大气泡经钻具搅拌后成为微泡。岩粉被微泡吸附润湿后，其润湿力破坏了岩粉粒子间的凝聚力，使岩粉互相不能粘结成团而处于分散状态，并显示其稳定的分散能力。被分散的岩粉不能在孔壁及钻具上粘附产生“泥环”与“泥领”，消除孔内糊钻或埋钻的不安全因素；又由于泡沫上升力、气泡的“气垫”作用和泡沫的结构强度，使岩粉、岩屑被泡沫携带出孔外；即使是孔内循环中断，岩粉也能在一定时间内悬浮在孔中；因此岩粉、岩屑能及时排除，孔底干净，冷却条件改善，从而提高了钻进效率，延长了钻头寿命。

泡沫体系上升力强，但压力小而均匀稳定，起动或流动时不产生激动压力，因而使孔壁稳定不坍塌及很少破坏破碎带孔壁的原生结构，从而保护了孔壁，减少卡钻、夹钻事故的发生。此外，泡沫有较高的上升速度，使钻孔环隙空间内固液相密度降低，比容增大，使液体不向地层漏失，不对水敏性地层渗透，防止了缩径和保护泥页岩的岩心采取率。

泡沫中的活性剂分子可与钢表面产生物理与化学吸附。因此钻具表面与孔壁岩石的极向吸附，可使两者的直接摩擦改变为泡沫非极性端的摩擦，起到较好的润滑作用。从而减少钻具的磨损及钻进功率的消耗，孔壁也少受破坏。

因此，用泡沫作为钻进的一种冲洗介质，既收到压缩空气、清水或泥浆的同样作用，又可达到保护环境、安全钻进、提高钻速、降低成本的目的。它将广泛用于干旱缺水地区、低压地层、漏失层和不稳定地层钻进，以及潮湿洗孔和干风防尘处理等。

4.8　钻孔护壁堵漏

钻孔冲洗液的漏失，是钻探工程中经常出现的一个孔内复杂问题。在我国地质岩心钻探中，大部分施工地区都存在有漏失现象，据统计，有些钻探队每年用于处理漏失的时间要占钻探工作总台时的5～10%。若处理漏失的方法不当还会使钻进工作不能正常进行，导致出现各种孔内事故，严重时会被迫停钻进行长期地、反复地孔内处理，甚致发生钻孔报废。因此，为保证钻探工作顺利进行，必须采用各种有效的护壁堵漏措施。

4.8.1　钻孔漏失的原因及防治

冲洗液漏失的原因是地层有“孔、缝、洞”等漏失通道存在，其影响因素有地质和施工工艺两方面：地质因素包括地层的渗透性、孔隙性、裂隙性；构造破坏以及地层内液体压力等；工艺因素则包括冲洗液的性质、上返流速以及操作中引起的压力激动。如果漏失主要与工艺因素有关，这类漏失是可以预防的，即使出现也易消除。如果漏失主要与地质因素有关，则情况就复杂得多：如遇有节理、片理、层理和断层存在，则钻孔不仅会漏失，

还会造成岩心破碎、采心率低和孔壁严重坍塌；如遇有裂隙存在，有的为封闭性、有的为连通性，钻进时会发生明显的钻孔漏失，特别是连通性裂隙、裂缝会造成严重的漏失，冲洗液大量流失以致不能返水，有时伴随坍塌或涌水出现，大的裂缝还会导致钻具折断和孔斜；当钻进遇到各种不同的溶隙、溶洞或互相连通的裂隙、裂缝时，将会产生冲洗液“只进不出”的极严重漏失，甚至造成无法钻进的严重后果。

钻孔出现冲洗液的漏失，应采取有效的堵漏措施。当然，不堵的情况也是有的，例如在地层稳定、漏失不严重、水源充足时，采取所谓“冲洗液有进无出”的钻进方法。但这种方法不利于提高钻进效率，有时操作不当，还会造成孔内事故。所以，大多数情况下，需要采取护壁堵漏措施。我国根据以“预防为主、因地制宜、综合治理、讲究实效”的原则，采用“优质泥浆，水泥堵漏，快速穿过，套管隔离”等有效措施，取得了较好的效益。其中泥浆护壁是钻进复杂地层的前提，为了正确了解复杂地层的存在状态和特征，克服钻孔护壁堵漏工作的盲目性，增强使用泥浆的有效性，根据复杂岩层的特性、成因、以及钻进中出现的情况和防治措施特列表 4-12，以供参考。

生产实践表明：合理使用不同种类的泥浆，因地制宜调整泥浆性能，是快速穿过漏失地层的有效途径，但常需辅以其它堵漏措施；下套管隔离漏失地段的方法可靠且具有长久性，但由于地质岩心钻探所遇漏失地层频繁，限于钻孔结构，它只能作备用手段，往往是在其它方法堵漏无效或不经济时才使用套管；注浆堵漏是当前对付漏失的主要方法，应用最为广泛。但注浆堵漏的效果与钻遇漏失地层的赋存状况密切相关，通常漏失层位主要位于距地表 200～800m 深以内，漏失通道往往是风化裂隙、构造裂隙、溶蚀裂隙以及溶沟、溶穴、溶洞。因此在这种条件下，注浆浆液的流失是一个突出问题；同时浅部地层常常存在地下水活动，且水质矿化度高，容易使浆液被稀释而缓凝甚至不凝；所以提高注浆堵漏成功率的关键在于解决好浆液的流失和被稀释的问题。我国常用的堵漏浆液有水泥浆液、化学浆液和惰性材料。

4.8.2 水泥浆液护壁堵漏

地质岩心钻探中应用水泥浆液护壁堵漏已有很长的历史，使用范围包括裂隙性的至溶洞的各种地层。水泥具有材料来源广、产量大、价格低、固结强度高和防渗性能好，以及注浆工艺简单等优点。所以，水泥仍然是目前最广泛采用的护壁堵漏材料。

用于钻孔护壁堵漏的水泥性能要求是：浆液灌注孔内要求流动性好，具有良好的可泵性；为防止浆液被地下水稀释，要求具有速凝性质；为防钻具撞击而被破坏，要求浆液能早期固化和较高的早期强度；此外，还要求具有一定的触变性、膨胀性、抗渗性和抗温性等。应该指出，从水泥的护壁和堵漏两个方面的作用讲，对水泥性能的要求是不同的：对于堵漏，要求浆液在保证良好的流动性前提下尽快速凝；对于护壁，则要求在保证良好的流动性前提下尽量提高早期强度。

随着我国“四化”建设发展需要，水泥品种越来越多，仅常规品种达 70 余种，已形成系列。其中大宗产品的通用水泥——硅酸盐水泥，常为岩心钻探的护壁堵漏所选用，但其凝结时间慢，早期强度也低，当灌注到孔内时，常常使水泥浆长时间不凝固，以及沿漏失通道流失，或候凝时间过长不能尽早钻进。因此，使用该类水泥时必须添入外加剂——如速凝剂、早强剂或减水剂来改性。常用的配方有：

（1）三乙醇胺、氯化钠、水泥堵漏：用 425 号或 525 号新鲜水泥，水灰比 0.45～0.5，

加三乙醇胺 0.05～0.08%，氯化钠 0.5～1%、24h 后恢复钻进。

（2）硫酸钠、石膏、三乙酸胺、水泥堵漏：水灰比 0.45～0.5，加硫酸钠 3.0%、熟石膏 3%、三乙醇胺 0.05%，24h 后可恢复钻进。

（3）水玻璃、水泥堵漏：在水泥中加入 2～3%的水玻璃，凝结时间可缩短 30～40%；增大水玻璃加量到 20～30%时，可成为一种水泥-水玻璃浆液，能达到速凝早强的效果。

表 4-12　复杂岩层特性及使用泥浆防治措施

岩层分类		岩层成因	岩层特性	典型岩层	钻进情况	防治措施
破碎性地层	松散破碎地层	水流搬运风化沉积	岩层松软、无胶结或胶结差	第四系黄土冲积层、流砂层、松散砂层、砂砾层、卵砾层	1. 孔内掉块、坍塌、超径。 2. 孔内不同程度漏失、 3. 泥浆黏相高、岩屑多， 4. 起下钻遇卡、钻具不到底。 5. 伴有跳钻、蹩钻	泥浆护孔，提高比重和压力，平衡钻进，钙处理泥浆（无漏失）增粘泥浆或堵漏泥浆。高浓度聚丙烯酰胺冲洗液，泥浆中加磺化沥青
	断裂破碎地层	地质构造运动	岩层硬脆碎、裂隙断层发育	断层角砾岩、破碎角闪岩、断层泥、破碎花岗岩		
水敏性地层	松软地层	成矿期热液蚀变作用	岩层酥脆、遇水松软	绿泥石化、高岭石化、滑石化、绢云母化	1. 孔内掉块坍塌， 2. 孔内岩粉增多， 3. 起下钻遇阻，钻具不到底， 4. 伴有层间漏失	泥浆护孔、降失水、提高泥皮质量、钙处理泥浆，高浓度聚丙烯酰胺冲洗液或聚合物泥浆
	剥落地层	构造不均衡作用	岩层节理发育，岩性破碎、遇水分散剥落	页岩、千枚岩、片岩、粘土矿物胶结或水溶性胶结岩层		
	溶胀地层	水化膨胀作用	岩层主要含粘土质、遇水吸水分散膨胀	含高岭石微晶高岭石的粘土岩、泥岩、页岩软煤层，泥质砂岩	1. 钻孔缩径或超径 2. 粘土侵、粘度猛增 3. 钻头泥包、遇阻易卡	含高岭石矿物用钙基泥浆，含微晶高岭石用钾聚合物泥浆，含伊利石用钙基泥浆
水溶性地层	溶蚀地层	溶解作用	为各盐类岩层、遇水溶解、溶蚀	岩盐、钾盐、石膏、石灰石、芒硝、光卤石	1. 钻孔超径、掉块坍塌， 2. 泥浆性能污染变坏	用与可溶性岩层含量相当的矿化度泥浆
洞隙性地层	裂隙地层	风化作用成岩作用构造运动	岩层层理片理断裂、裂隙发育形成由 1～10mm 不等的开式，半开式裂隙	沉积层面、层理面、断层面、不整合面	1. 开式，有冲洗液不返或少返， 2. 半开式，有冲洗液不同流失， 3. 伴有孔内坍塌	1. 轻微漏失：用钙基泥浆、高浓度聚合物泥浆 2. 较大漏失：堵漏泥浆或聚合物絮凝泥浆 3. 严重漏失：先用充填材料后用水泥或化学浆液堵漏、或下套管封隔
	岩溶地层	先期岩溶作用	岩溶或喀斯特发育形成大小由 1～10m 以上不等的溶洞、溶穴、溶沟、有连通、不连通	石灰岩、大理岩、白云岩	1. 连通式、冲洗液大量流失完 2. 不连通式、冲洗液有大量流失 3. 伴有涌水 4. 钻进有放空现象	
含油气水地层	不含水或潜水地层	地下水不大活动	孔内无水位或水位低，层压力较低		常有漏失	用低比重或充气泥浆
	承压水地层	地下水活动	孔内液柱压力＞或＜水层压力	层间含水层	1. 漏失或涌水 2. 冲洗液稀释	用提高泥浆比重，压力平衡钻进
	高温高压油、气、水地层	高温高压油气水储层构造	油气水压力大于孔内液柱压力	封闭的油气水储层	1. 孔壁坍塌， 2. 油气水喷出， 3. 冲洗液稀释、污染	用高比重泥浆钻进

为了克服一般水泥浆液凝固时间长、易流失的缺点，我国已生产专供地质勘探护壁堵漏用的地勘水泥。它的主要矿物成份为无水硫铝酸钙、硅酸二钙和石膏。无水硫铝酸钙使水泥在水化过程中出现早强和微膨胀，其程度由石膏来控制，而硅酸二钙则保证结石体的后期强度。因此，地勘水泥浆具有下列特点：

(1) 速凝：初凝时间一般为 0.5h，终凝时间不大于 1h，初终凝时间间隔较短。如果需要，初凝和终凝时间还可以缩短至几分钟。因而注浆堵漏时，可避免浆液的流失和被稀释。

(2) 结石体早期强度高，其抗压强度 4h 接近 10MPa。一天达 28 天强度的 70%以上，28 天到 3 个月强度仍有较大的增长，最终抗压强度可达 80~90MPa。因此候凝期短，堵漏成功率高。

(3) 硬化过程中不收缩，且略有膨胀，提高了封堵的密实性。

(4) 水化物中没有或极少有氢氧化钙存在，可抗硫酸盐侵蚀。

地勘水泥堵漏浆液的优点还在于它的流动性和凝固时间可以调节，使浆液在凝固之前具有良好的泵注性能。通常，为增加其流动性，可加入适量的减水剂。常用的减水剂有 MF 和 NNO，当它们的加量分别为水泥重量的 0.3～0.7%和 0.5～1%时，水泥浆的流动性可提高一倍。另外，还可通过调节水灰比的方法来改善它的流动性和调节其凝固时间，水灰比的有效范围为 0.45～0.7。

地勘水泥有 R 和 H 两种型号，其品级指标列于表 4-13。R 型地勘水泥，凝结较快，4h 强度较高，适用于较浅的钻孔或冬季施工；H 型地勘水泥，凝结较慢，8h 强度较高，故适用于较深的钻孔。地勘水泥在我国钻孔护壁堵漏作业中已得到比较广泛的应用，并扩展到封孔、止水作业。

表 4-13 地勘水泥品质指标

品质指标	R	H
细度 (0.08mm 孔筛余%)	5～7	6～8
比表面积 (cm^2/g)	4200	3800
初凝时间 (min)	25～30	45～50
终凝时间 (min)	40～45	60～70
膨胀率 (24h)	0.4～0.5	0.05～0.1
体积安定性	合格	合格
抗渗试验 (养 4h，在 0.8MPa)	不透水	不透水

水泥浆液的灌注方法，一般都采用泥浆泵灌注法，对于浅孔也可自孔口直接注入或用容纳管输送。如遇较大裂隙或孔洞可采用充填注浆，即先投入一定量的惰性材料起到堵塞架桥、充填作用，然后用泥浆泵灌注水泥浆，这样既可以减少水泥浆的流失，又能提高封堵效果。

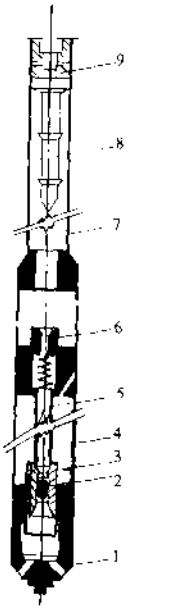
4.8.3 化学浆液护壁堵漏

泥浆和水泥浆均为颗粒性浆液材料，它们对细小裂隙或粉砂、细砂层难以灌入，对严重破碎、坍塌、掉块地层的护壁堵漏效果也不很好。因此，近年来出现了化学浆液，即利用某些化学药剂能渗入细小裂隙及其相互作用后可生成凝胶，达到充填和固结漏失地层。化

学浆液虽具有流动渗透性好，凝固时间短并可任意调节（从几秒到数小时），凝固后有一定的机械强度等优点。但也存在一些缺点，如原料缺少、成本高、操作麻烦、需要专用工具注入，此外有些材料还具有一定的毒性，对环境有污染等，因此推广使用受到一定的限制。一般来说，当地层较为复杂，而使用泥浆或水泥浆护壁堵漏效果较差时，才考虑使用化学浆液。

我国地质岩心钻探用于注浆堵漏的化学浆液品种主要有丙烯酰胺、木质素、脲素甲醛树脂、聚氨脂树脂、不饱和聚脂树脂等。这些化学浆液是不含颗粒的溶液，一般都具有粘度低、凝固时间可控制、凝固体强度增长快，化学稳定性好等优点，因而适用范围较广。

例如，堵漏用的脲素甲醛树脂，一般经过化学方法或物理方法的改性处理，有液体的和粉末的两种状态，投入商品化生产的N型粉状脲素甲醛树脂堵漏剂产品有N－1、N－2两种型号，前者的凝固强度较高，与岩石的粘结力较强，可在严重掉块和坍塌的漏失地层中使用。使用时，通常将其配成40～50%的水溶液，用硫酸或盐酸作固化剂，因其水溶液在酸性条件下，能迅速形成具有较高强度的凝固体。这种浆液的特点：粘度一般为30～100mPa·s，可渗透到较小的孔隙和裂缝中去，有利于一次注浆就能充填漏失地层的全部通道；凝固时间由固化剂的用量和浓度控制，可在瞬间到数小时之内任意调节，从而能控制浆液的扩散范围和避免地下水的稀释；凝固强度增长极快，当控制浆液在20s内凝固时，10min抗压强度可达到7MPa以上，最终可达20～40MPa；凝固体化学稳定性好，岩粉和岩屑对浆液不污染。



1—透孔钻头；
2—胶　塞；
3—混合机构；
4—容纳管；
5—中心管；
6—滑阀机构；
7—钻　杆；
8—活塞；
9—单向阀接手

图4-12　ZJ型速凝浆液堵漏工具

化学浆液的灌注，通常是通过专用的双液混合装置进行孔内定位注浆。ZJ型速凝浆液堵漏工具（图4-12）是这类专用工具的一个典型代表，它是按喷射泵原理混合浆液的主剂和固化剂来实现注浆的。

进行注浆作业时，首先用升降机将已装配好的主体部分悬吊于孔口，由固化剂容纳管上方侧孔注入固化剂，然后连接钻杆并注入主剂，最后置入活塞并接上单向阀接手。按正常下钻操作程序将该装置送到需注浆孔段位置，即可合上钻机立轴，并开泵用冲洗液挤脱胶塞。主剂经由中心管自剂量控制与混合机构的中心通孔喷出的同时，固化剂也从机构的侧孔被定量地吸出，两者混合即形成速凝浆液。当活塞运行至滑阀机构处，强制滑阀下移至死点，并关闭挤压液通路，速凝浆液即全部被注出。由泥浆泵压力表显示的泵压“上升、突降一恒定一急剧上升”，实现“启动—正常注浆—注浆完毕”整个孔内注浆过程的信息反馈。在关泵卸压后，由于滑阀机构的弹簧复位，阀心上移、露出其侧边通孔，即可按钻进操作过程通水，用透孔钻头扫孔，实现注浆、钻凝固体、清孔一次完成。

使用ZJ型速凝浆液堵漏工具进行脲素甲醛树脂浆液堵漏，主剂和固化剂的体积比控制

在 100∶10～12，由调节固化剂的浓度来控制凝固时间，通常控制浆液的凝固时间为 5～20min。这种堵漏方法由于较好地解决了因浆液流失或稀释而导致注浆失败的问题，以及注浆后可立即扫孔，作业时间可缩短为 1～2h 内，因而能取得较好的堵漏效果。

4.8.4 惰性材料堵漏

采用惰性材料填塞钻孔裂隙、孔洞，其历史可以认为有钻探以来就已被采用。但是对它的使用效果长期以来并未引起人们的足够重视，只是在近年来通过品种选择、加工成专用的堵漏材料，并对其堵漏机理、使用配方和工艺进行充分探讨之后，才在堵漏作业中得到合理的应用。

惰性材料堵塞孔、缝、洞的原理在于机械充填，基本不与冲洗介质和岩层发生化学作用。通常，将这类材料用泥浆作为载体，配制成高失水量的浆液，注入漏失带，一旦这些材料堆积在漏失通道中形成初步的桥塞后，在一定的压力下，通过泥浆的正常滤失作用，泥浆中的固相在桥接物的缝隙中沉积并形成泥皮，此时惰性材料便和泥皮结成一体，成为坚固的堵塞物，从而达到堵漏的目的。

我国生产的专用惰性堵漏材料，几乎都是利用工农业产品的废料加工而成，货多价廉，堵漏工艺也较简单，使用得当，可取得良好的效果。常用的惰性材料见表 4-14。

表 4-14 常用惰性堵漏材料一览表

形状	品名	粒度	适用范围	典型复合配方
颗粒状	核桃壳	粗、中、细	空洞、裂缝、多孔隙地层	
纤维状	棉桃壳	粗、细	空洞、裂缝、多孔隙地层	
	锯末	中、细	裂缝、多孔隙、渗透性地层	
	纸屑	中、细	裂缝、多孔隙、渗透性地层	核桃壳：花生壳：棉籽壳=1：1：1
	甘蔗渣	粗、细	裂缝、多孔隙地层	棉籽壳：甘蔗渣：纸屑=1：1：1
	皮革粉	中、细	裂缝、多孔隙地层	核桃壳：稻谷壳：锯末=2：1：1
				花生壳：皮革粉：云母片=1.5：1：0.5
片状	云母	粗、中、细	多孔隙、渗透性地层	
	生蛭石	粗、中、细	多孔隙、渗透性地层	
	熟蛭石	粗、中、细	多孔隙、渗透性地层	
	稻谷壳	中、细	裂缝、多孔隙地层	
	花生壳	中、细	空洞、裂缝、多孔隙地层	

用惰性材料进行堵漏作业时，按不同形状、不同粒度的材料复配使用，比用单一品种或单一规格的效果要好。惰性材料的用量一般是泥浆量的 3～5%（重量体积比），粒度的选择依据漏失地层缝隙的大小而定，一般不大于 3mm。

注浆操作视漏失地层的具体情况而定。通常，当漏失较严重时，将堵漏浆液泵注到漏失层后，应静置 2～5h，如一次不行，可适当提高材料浓度补注。若严重漏失层位于浅孔段，需要提高材料的浓度和粒度，用泥浆泵灌注有困难时，可直接倒入孔内。对于漏失程度较小的长孔段漏失带，可将小粒度的材料直接加入泥浆中，让其在循环过程中自然地充填于漏失缝隙，起到堵漏和防漏的作用。

惰性材料也可直接加入水泥浆液或化学浆液中作填料，以提高堵塞效果。

此外，传统的投球堵漏方法简便易行，近年来也受到重视而得到发展。除投入惰性材料加粘土制成的泥球外，相继出现了以下几种投入使用的材料：

（1）用可溶性材料将地勘水泥或掺有速凝剂的普通水泥的包装袋。

（2）用具有速凝效果的化学浆液与水泥捏合成的球料。

（3）将速凝化学浆液的各组分分袋套装在一起的袋装料。

（4）用脲醛树脂胶粉加入早强水泥或普通水泥与水配制而成脲醛树脂水泥球。

（5）以水溶性树脂为主剂的钻孔堵漏片。

将这些材料的任何一种直接投入孔后，再下钻具捣挤使之进入漏失通道，从而达到堵漏的目的。用这些材料来封堵尺寸较大的漏失通道或地下水活动较严重的漏失地层，也取得了很好的效果。

4.8.5 套管护壁堵漏

当钻孔遇到严重坍塌、大裂缝、溶洞、老窿、地下河等情况，采用其他护壁堵漏方法无效或不经济时，可采用下套管的办法护孔。为了加固孔口，大多数钻孔也需要下入不同长度的孔口管。

下套管一般有单层、多层和局部等形式。下管时每节套管要在丝扣处涂以松香防滑剂，以避免套管在孔内由于钻具回转带动而脱扣，并使其封闭严密以防漏水。套管最下端应连接套管鞋以保护丝扣，并要落在稳定的地层中，下端周围应用黄泥、桐油石灰或水泥等材料封密，以防套管内外发生水力联系。套管上端应对正钻机立轴中心，周围也要封严，以防岩粉或污物沉淀其间隙，造成起拔套管的困难。另外，套管外壁也应涂以废机油或防锈润滑材料。

采用套管护壁堵漏是一种比较可靠的方法，但也存在许多缺点：如下套管层数越多，钻孔结构就越复杂；在施工期长的钻孔，尤其是斜孔中，由于钻杆与套管的摩擦，使套管磨薄，容易发生套管折断事故；当套管下的不牢固时，易发生套管脱落事故；地层严重坍塌时，将套管埋住，往往造成起拔套管的困难，甚至大量套管拔不出来丢在孔内，造成管材的浪费。因此，凡能用其它护壁堵漏方法比较有效时，应尽量不下或少下套管。

所有各种先进的护壁堵漏方法，均以高效、可靠、经济和作业简便为特征，具体选用何种方法应依据各施工地区的地层条件决定，只有这样才能达到提高钻进效率，降低钻探成本的目的。

复习思考题

1. 冲洗钻孔有何作用？冲孔循环方式有哪些类型？
2. 冲洗介质的种类及其适用条件有哪些？
3. 什么是无固相冲洗液？它有何特点？
4. 什么是泡沫冲洗介质？用以冲孔有何特点？
5. 什么是润滑冲洗液（乳化液）？它有何特点？
6. 什么是泥浆？它对造浆粘土有何要求？
7. 泥浆的主要性能及其常用测定方法是什么？
8. 常用的泥浆添加剂有哪些？其主要作用是什么？
9. 常用泥浆的类型及其主要特点是什么？
10. 钻孔漏失的主要原因及一般防治措施是什么？

11. 水泥浆液护壁堵漏的适用条件及工艺特点是什么?
12. 化学浆液护壁堵漏的适用条件及工艺特点是什么?
13. 各种堵漏材料的适用条件及工艺特点是什么?
14. 套管护壁堵漏的适用条件及工艺特点是什么?

5 钻探质量

5.1 钻探质量指标

5.1.1 钻探质量指标内容

钻探的目的是为了尽可能全面而精确地取得地质资料，研究和评价矿产资源，提供矿山开采设计的依据。如果钻探质量不好，取得的地质资料不够正确，不仅会造成人力、物力的浪费，还会使矿山开采设计发生偏差，造成矿山建设不可估量的损失。所以地质和钻探工作人员都要重视钻探质量，在工作中密切配合，相互协作，高速度、高质量地完成钻探任务，共同为提高地质资料准确性和查明地下矿产资源做出贡献。

钻探工程质量指标有六项内容：

(1) 岩矿心采取率与岩矿心整理。

(2) 钻孔弯曲度与测量间距。

(3) 孔深误差的测量与校正。

(4) 简易水文地质观测。

(5) 钻孔封闭与检验。

(6) 原始报表填写。

完成这六项质量指标，就能准确地为探明地质情况和地下矿产资源提供第一性的实际资料。所以，每打一个钻孔，都要严格地按照地质设计施工要求。取全、取准第一手地质资料，保证钻探工程六项质量指标全部达到和满足地质要求。

5.1.2 钻探质量分类

根据钻探质量指标达到的程度和地质上能利用的情况，钻孔质量可分为两大类：

第一类：可利用钻孔。它又分为完全满足地质要求和部分满足地质要求两种。

(1) 完全满足地质要求的钻孔：指钻孔完工后经过验收，施工质量完全达到质量标准的钻孔；或在施工过程中，部分质量标准未达到设计或规范要求，但经过采取措施补救后，基本达到质量标准的钻孔；有的钻孔根据矿区地质条件的特点，经上级主管部门批准，质量标准可省略几项，其余各项质量标准均已达到要求的钻孔，也可列入完全满足地质要求的钻孔内。

(2) 部分满足地质要求的钻孔：指钻孔完工后，经过验收，有部分质量标量没有达到标准要求，但周围钻孔质量较好，或矿床构造比较简单、矿体厚度和品位变化较小，经过验证对比，认为不再需要采取补救措施的钻孔；或质量标准虽未达到设计要求，但已取得原设计要求解决地质目的的钻孔，也属于这类钻孔。

第二类：报废钻孔。它是指由于施工原因、地质设计原因或其它原因造成地质上不能利用的钻孔。

(1) 由于施工原因造成的报废钻孔和报废工作量：

① 钻孔完工后，经验收评定其质量指标没有达到要求，因而地质上不能利用的钻孔，则应属于报废钻孔。

② 由于岩、矿心采取不足，不能满足地质工作要求，需要造斜补取岩矿心，其造斜部分应作为报废工作量。

③ 由于钻孔弯曲，不能满足设计要求，经纠斜后可利用者，其原纠斜部分应作为报废工作量。

④ 为了处理孔内事故，而在偏越事故部分打钻，其多钻的工作量应作为报废工作量。

(2) 由于地质设计错误而造成的报废钻孔和报废工作量，其责任和费用应由地质部门负责。

(3) 由于其它原因而造成的报废钻孔和报废工作量，如因特大自然灾害、地质条件复杂、地层严重破碎、测量错误等，造成地质上不能利用的钻孔。

凡是报废工作量，都应从实际完成的工作量内扣除。

5.2 岩矿心的采取

采取岩矿心是地质岩心钻探的主要目的，也是检验钻孔质量的一项重要指标。地质工作者通过对岩矿心的观察、描述、编录、取样鉴定、化验和编制柱状图，从而了解岩性、构造、矿体的产状、厚度、埋藏深度、分布规律、矿石品位、矿产储量等，由此而准确可靠地评价矿产资源、提交矿块品位、储量及矿山开采设计的资料。所以，钻探施工时，要求尽可能地从钻孔中取出部位准确和代表相应孔段的岩（矿）层实况的岩矿心是很重要的。

5.2.1 对岩矿心的要求

为了取得与地层自然状态相接近的岩矿心样品，在提高岩矿心采取率的基础上，还必须注意保持岩矿心的完整性、纯洁性和代表性，以便地质工作者进行地质研究和了解矿体的原生结构与含矿品位、以及矿体产状。因此对岩矿心质量有以下基本要求。

5.2.1.1 岩矿心的采取率

岩矿心的采取率在岩心钻探中是一个非常重要的指标，它必须达到一定的数量标准，才能从中取得足够重量的岩矿样品，从而比较真实地反映出地下地质矿产情况。因为岩心的数量多，才能较实际地反映岩层的分层和构造变化，进行岩性对比；矿心的数量越足，决定重量含矿率（矿石品位）越正确。因此要求岩矿心采取率最好是100%。但是在钻进过程中，由于存在磨耗、破损岩矿心的各种因素，实际上岩矿心采取率很难达到满指标。所以钻探规程规定：要求取心的岩层，全孔平均采取率一般不得低于65%；矿化带、重要标志层以及矿层与顶板交界处以上和矿层与底板交界处以下各3～5m范围内的岩层，平均采取率一般不得低于75%；可采的薄矿层（厚度小于4～5m），每层平均采取率一般不得低于75%；厚度较大的矿层，从矿层与顶板交界处开始，依次每5m或10m矿层的平均采取率一般不得低于75%。某些情况下，岩层或矿层的平均采取率需要高于或低于以上规定，以及某些孔段的岩矿层需要分层计算采取率时，按需要和可能的原则，可在设计中提出具体指标。不要求取心的岩层，不计算采取率。

计算岩矿心采取率以实际钻进的岩矿层为计算对象，除设计要求者外，浮土层、表面覆盖物及流砂层概不计算在内，废矿坑及天然空洞中的进尺或岩粉、坍塌物、堆积物等均应除掉，不得折算。

5.2.1.2 岩矿心的完整度

采取的岩矿心要保持天然的结构和构造，以便观测原生矿物结构与共生关系，并反映

岩矿层和构造的真实性。因此钻取岩矿心过程中，必须尽量防止人为破碎、减少机械磨损、力求保持天然的结构和构造不受破坏、保持矿层原有产状不变。

5.2.1.3 岩矿心的代表性

要求取出的岩矿心孔深部位必须准确，上下顺序不得颠倒、混淆和丢失。这样可以得到岩矿层准确的埋藏深度、厚度和产状。否则，易歪曲岩矿层所在孔深部位、厚度和构造特征。

5.2.1.4 岩矿心的纯洁性

要求取出的矿心保持原有的化学成分，尽量避免污染、流失、贫化、富集等现象的产生，以免影响矿石的品位、品级或矿石的物理特性，从而造成对矿体储量的错误评价。

5.2.2 采取岩矿心的方法

根据钻进方法、岩矿层性质和取心难易程度，选用如下不同的采取岩矿心方法。

5.2.2.1 干钻卡取法

硬质合金钻进软岩或粘性岩层，用干钻卡取法能得到较好的取心效果。

(1) 干钻卡取岩心：在回次终了时，停止水泵供水，适当加大压力，让钻头在孔底干钻 50～100mm 左右，使钻进时产生的岩粉、岩屑积聚在钻头与岩心间的环状间隙内，自然挤夹岩心，扭断岩心后提钻。但操作时要注意防止烧钻事故的发生，所以干钻时间不能太长，一般在 3～5min 左右；另在提钻前，可向钻杆内投下一个适当直径的钢球，以隔离钻杆内由于提钻时造成的水柱压力，避免岩心脱落。

(2) 与干钻卡取法相似的另一种方法叫沉淀卡取法，它适用于局部反循环钻进。即在回次终了时，停止冲洗液循环，利用岩心管内悬浮岩屑粉的沉淀，挤塞卡牢岩矿心。沉淀时间要根据岩粉颗粒大小、多少、比重及冲洗液的粘度等而定，一般为 10～20min。

5.2.2.2 卡料卡取法

卡料卡取岩矿心是硬质合金钻进和钢粒钻进中常用的一种方法，适用于中硬或硬的岩矿层。按照卡料的种类不同。可分为卡石卡取法和铁丝卡取法。

(1) 卡石卡取法，通常用于硬质合金钻进 4～7 级的岩矿层。常用卡石料为河砂、碎硬石块、碎玻璃块和碎瓷块等，其硬度应与岩矿心相适应，硬度太大易挤碎岩矿心，硬度太小被挤碎而卡不住岩矿心。卡石大小应根据钻头与岩矿心之间的实际环状间隙来选择，一般为粒径 2～5mm，投入量为 100cm^3 左右。在投卡石采心时，先将钻具提离孔底 70～100mm，然后停钻停泵并卸下水接头上的丝堵，把卡石按小、中、大顺序从钻杆中投入孔底，投入速度应慢些，用小铁锤敲打钻杆，以防卡石中途堵塞。卡石投放完后，拧上水接头丝堵，开泵送水冲，待水流畅通后，再逐渐加大水量冲，使卡石进入岩矿心与钻头之间的环状间隙中。此时将钻具放到孔底，如泵压增大，并有蹩水现象，证明卡石已到钻头部位卡住岩矿心。然后停泵开慢车数转并稍提动钻具，通过扭力与拉力将岩矿心从孔底断开。若此时提动钻具上下活动顺利、无阻滞，则表明岩矿心已采上，即可提钻。为了防止岩矿心中途脱落，提钻时应做到轻刹车、轻回绳、轻插垫叉、轻卸管，严禁猛墩、猛提钻具。

(2) 铁丝卡取法，适用于中硬及硬的岩矿层，尤其适用于钢粒钻进卡心。一般用 8～12 号铁丝，根据钻头与矿心之间的空隙大小，可采用单股或双股拧成麻花形。为了顺利通过钻杆通孔，铁丝两端应呈圆尖形，其长度约为岩心管内径的 1～2 倍。为了卡取可靠，单股和双股可同时使用，先投单股，后投双股。当钢粒钻进较破碎的岩矿层时，还可补些钢粒

或投以卡石与铁丝混合卡料。卡取过程同卡石卡取法一样。

5.2.2.3　卡簧卡取法

金刚石钻进或针状含金钻进时，由于钻头上的出刃很小，无法使用卡料，特别是使用双管钻具时，根本不能投入卡料，而且卡料易损坏金刚石钻头，因此通常使用卡簧（图 5-1）卡取岩心。

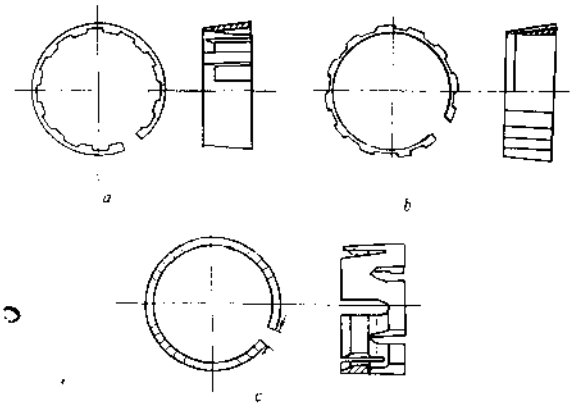


图 5-1　卡　簧

a—内槽式；*b*—外槽式；*c*—切槽式

卡簧与卡簧座相配合，装在钻头体内或插接于内管（短节）下端。卡簧为开口环形与卡簧座锥体配合，卡簧上移则张开，下移则缩紧。钻进过程中，随着钻头的钻进，岩矿心从钻头内进入卡簧座、穿过卡簧不断伸入岩心管内。卡簧因受到岩矿心的摩擦力而被推至卡簧座锥体内上部较大的部位，并由卡簧座或内短节限制在一定的位置上，此时卡簧可以自由伸张，不致阻碍岩矿心进入岩心管内。当回次终了时，只要提动钻具使钻头离开孔底一定的距离，卡簧就会借助与岩矿心的摩擦力而相对移动到卡簧座锥体内下部较小的部位而受到挤压，使其内径缩小，从而卡紧岩矿心，同时卡簧座坐到钻头内台阶上由外管钻具上提而拉断岩心，即可提钻取心。

用卡簧卡取岩矿心，既安全又方便可靠。它无需卡心工序，既节省了卡料，又缩短了卡心时间，因而应用较广泛。但在钻进过程中，不能随意提动钻具。否则，容易使岩心堵塞或岩矿心破碎。

5.2.2.4　双层岩心管取心钻具

在软岩、松散岩层、软酥碎、硬脆碎或软硬互层等复杂地层中钻进，为提高岩矿心采取率和取心质量，通常采用双层岩心管。双层岩心管是具有内外两层岩心管的钻具，它可分为双动双管钻具和单动双管钻具两大类，后者又分为硬质合金钻进用和金刚石钻进用。

（1）双动双管取心钻具：是内、外管同时回转的双层岩心管钻具（图 5-2）。其结构由双管接头、内外岩心管、内外钻头、回水球阀及球阀座等部件组成。

岩心管长度视岩矿层性质而定，一般长度为 1.5～2m。外管硬质合金钻头一般无内出刃，内管钻头水口较小，甚至不开水口。内外钻头差距按地层情况而定，一般差距为 30～50mm。岩矿层愈松软、胶结性愈差，则差距应愈大；反之，差距愈小、甚至为零。当钻进

粘性较大的岩矿层时，可采用外肋骨式外钻头。当钻进硬脆碎的岩层需用钢粒钻进时，将外径上部开有水槽的厚壁钢粒钻头接在内管下端，由内管带动回转。

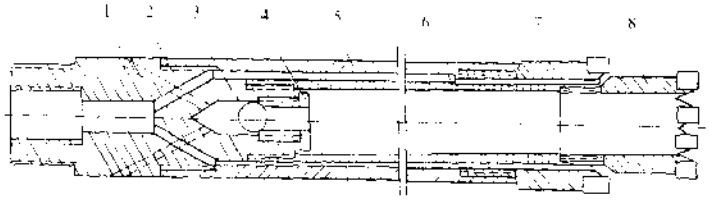


图 5-2　双动双层岩心管钻具

1-回水孔；2-双管接头；3-球阀；4-阀座；5-外管；6-内管；7、8-外、内硬质合金钻头

在钻进过程中，内外钻头同时回转取取岩石。冲洗液由钻杆经双管接头上的几个送水孔、进入内外管之间的环状间隙流至孔底，冲洗孔底后、沿孔壁与钻具之间的环状间隙返至地表。内管中的液体，由于岩矿心的进入受到挤压而冲开回水球阀，经双管接头上的回水孔流到钻具之外、与孔底返回的冲洗液汇合返回地表。所以，使用双动双管钻具钻进，可以避免冲洗液直接冲刷岩矿心，而且还可以防止在冲洗液的压力下使岩矿心互相挤压和磨损，因此能提高岩矿心采取率和较好的取心质量。但是，由于钻进时内外管同时回转，不能避免振动、摩擦、摆动等机械力对岩矿心的破坏作用，不易保持岩矿心的原状结构，回次进尺一般较短，钻进效率较低。

这种钻具只适用于可钻性1～6级松软、怕冲刷及7～8级中硬、破碎、易坍塌的岩矿层中钻进。

(2) 硬质合金钻进单动双管取心钻具：钻进时外管转动、内管不转动。这样可以防止冲刷、避免振动、摆动、摩擦、堵塞等机械力对岩矿心的破坏作用，另外还有些单动双管在结构上增设有防振、防污、防脱和退心方便的装置。因此，岩矿心的采取率、完整度、纯洁性都有较大提高。这种钻具的种类繁多，但大同小异，现介绍其中一种，即隔水单动双管钻具（图5-3）。该钻具适用于可钻性3～7级中硬、破碎、裂隙、层理发育的酥脆、易流失、怕冲刷、怕振、怕磨的岩矿层。这种钻具结构由外管接头、单动装置、回水球阀、内外管、卡心装置和隔水钻头等六部分组成。

内管通心轴、轴承和螺丝套悬挂在外管接头上，当外管接头回转时，心轴和内管都不转动，岩心进入内管后就得到保护，不受磨损。在心轴上有单向回水阀，允许冲洗液流出，不允许流进内管，保证岩矿心顺利地进入内管而不受冲刷。在内管下端装入卡簧座和卡簧，在外管的下端连接硬质合金钻头或钢粒钻头。

(3) 金刚石钻进单动双管取心钻具：广泛应用于金刚石钻进，因为它回转平稳，大大地减轻了钻具振动对岩矿心的破坏作用，使岩矿心很快进入内管得到保护，避免了冲洗液对岩矿心的强力冲刷作用，从而更有效地提高岩矿心采取率、提高钻进效率、延长钻头寿命和降低钻探成本。现介绍有代表性的两种金刚石钻进单动双管取心钻具。

① 单动双管（Ⅰ）：由地质矿产部勘探技术研究所设计，其结构（图5-4）由单动装置、回水阀、内外管、异径接头、卡心装置和钻头等组成。

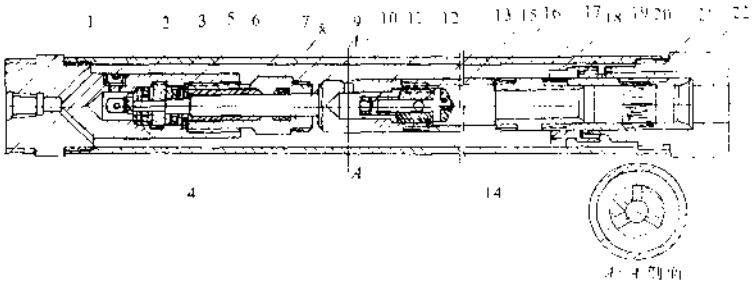


图 5-3　隔水单动双管钻具

1—外管接头；2—油堵；3—开口销；4—螺母；5—轴承制圈；6—推力轴承；7—轴承套；8—螺丝套；9—密封圈；10—心轴；11—外管；12—挡销；13—球阀；14—胶皮圈；15—回水阀座；16—内管；17—内管接箍；18—导向块；19—隔水罩；20—卡簧座；21—卡簧；22—钻头

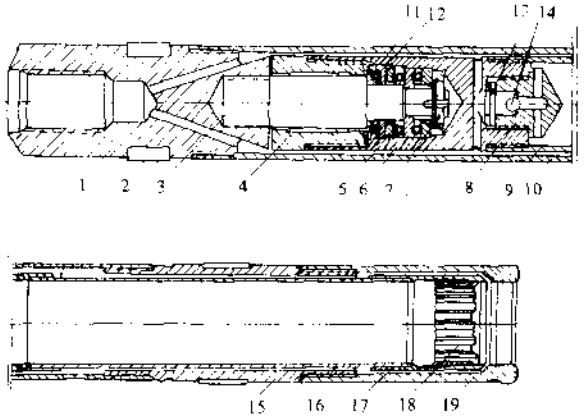


图 5-4　金刚石钻进单动双管钻具（Ⅰ）

1—接头；2—硬质合金；3—心轴；4—套筒；5—双向推力轴承；6—轴套；7—圆螺母与锁紧圈；8—球阀座；9—内管；10—外管；11—密封圈外壳；12—密封圈；13—销钉；14—球阀；15—扩孔器；16—内管短节；17—卡簧座；18—卡簧；19—金刚石钻头

内管通过轴承外壳、套筒、双向推力轴承悬挂在心轴上，钻进时，扭矩通过异径接头、外管、扩孔器传到钻头，内管保持不转动。冲洗液由钻杆、接头出水孔、经内外管环状间隙到达钻头底部，然后经外管与孔壁间的环状间隙返回地表。岩矿心上部的冲洗液受压由回水孔推开钢球流到内外管环状间隙中去。

② 单动双管（Ⅱ）：由有色总公司桂林地矿研究院勘技室设计的，其结构（图 5-5）也是由异径接头、单动装置、回流阀、内管、外管和卡心装置等组成。

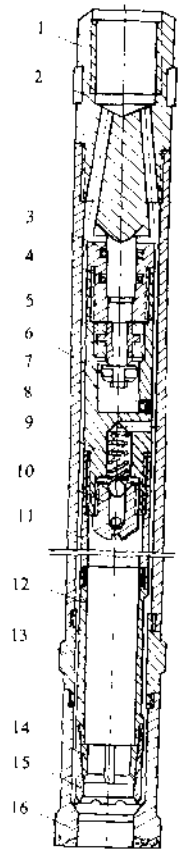
这种钻具与勘探所的单动双管钻具比较，优越之处是：异径接头与心轴为一体，内外管的同心度较好；轴承的密封使用“O”型密封圈并利用环状间隙高速液流形成的负压，冲洗液不易进入，密封性能较好，有利于使用泥浆钻进；而且开有专门的加油孔塞，加油润滑方便；另外，回水球阀带有弹簧，可使钻具适用于坑道中打水平孔或仰孔。

5.2.3 影响岩矿心采取率与品质的因素

在钻进、采心、提钻、从岩心管内退出岩矿心过程中，由于岩矿心性质和工艺等因素的影响，往往造成岩矿心的折断、破碎、磨损，使岩矿心的数量和品质达不到地质要求。为了满足地质需要，提高岩矿心采取率和岩矿心品质，就必须全面地认识和研究影响它的因素。

5.2.3.1 地质因素

(1) 岩矿层的物理力学性质：如强度、硬度、脆性、胶结性、松散性、溶蚀性、研磨性和可钻性等。强度大、硬度高的岩矿层，易保持其岩矿心的完整性和纯洁度；但脆性、松散性较大者，其岩矿心极易断裂成碎块状、碎屑状或细粒状、粉末状而被损耗；钻进胶结性差的岩矿层，其采取率也较低；具有溶蚀性的岩矿层，其岩矿心很容易被冲洗液所冲毁、溶蚀而流失，并造成贫化或富集现象、使矿心失去纯洁性；研磨性强的岩矿石，能使钻头磨损加快，导致钻进效率降低，使岩矿心在回次钻进中受机械作用力的破坏时间增长，而影响其采取率；可钻性岩石等级较低的岩矿石，由于其易被破坏、磨损，采取的岩矿心数量和质量也要受到影响。



1—异径接头；
2—导正合金块；
3—内套接头；
4—O形密封圈；
5—推力轴承；
6—内管接头；
7—油　堵；
8—外　管；
9—弹　簧；
10—球　阀；
11—内　管；
12—内管短节；
13—扩孔器；
14—卡　簧；
15—卡簧座；
16—钻　头

图 5-5　金刚石钻进单动双管钻具（Ⅰ）

(2) 岩矿层的结构和构造，如层理、片理、节理、裂隙、断层、构造破碎、溶洞等，其岩矿心往往容易断裂为碎块、片状甚至粉状，因而取心质量大大降低，采取数量也难于保证。

(3) 矿床成因类型对矿心采取率也有影响，如热液成因型的有色金属和特种金属矿床，因其蚀变而产生脆性，矿心极易破碎，易磨损。大多数金属矿床，由于矿化作用也具有脆性，而且矿化越好，含矿品位越高，则矿层的脆性越显著，所以矿心采取率往往较低，矿心品质也差，因此钻进矿层时须特别注意采取取心技术措施。

5.2.3.2 工艺技术因素

(1) 钻进方法选择不合理，对岩矿心的采取有着很大的影响。同一种岩矿层，采用的钻进方法不同，其岩矿心采取的数量和质量也不相同。一般钢粒钻进，钻具振动剧烈，钻头剋取岩矿石的环状面积较大，岩矿心磨损多，采取率最低；硬质合金钻进的岩矿心采取率稍好，岩矿心直径比金刚石钻进较粗，但完整性较差；金刚石钻进不但岩矿心光滑完整，而且采取数量和质量都很好，尤其在硬、脆、碎地层中采用金刚石双管钻进或绳索取心钻进，可获得足够高的岩矿心采取率和较好的质量，因此在条件允许下应尽量选用金刚石钻进方法。

(2) 采用不同的钻进技术参数，对岩矿心采取率也有一定影响。如压力过大，钻进过

快或不均匀激烈振动，使岩矿心受到强烈的机械破坏作用，压力不足，则进尺缓慢，延长了岩矿心受破坏作用的时间。转速过高，钻具的振动、冲击和离心力大，对岩矿心破坏作用增强。冲洗液量过大，流速增加，冲刷力也大，会加剧岩矿心被冲毁和磨耗，有些矿心还易受到淋滤、溶蚀和污染而影响矿心质量。

（3）操作方法不正确或者操作技术水平低，使岩矿心受到破坏而降低采取率的情况很多。如正常钻进中不必要的提动钻具，岩矿心就易折断和破碎；岩心堵塞如不及时提钻，岩矿心就会自相磨耗；当孔底岩粉或坍塌物过多，下钻时又直插孔底进入岩心管之内，再经钻具的搅动、加工而造成“假岩心”混淆纯洁性；又如采取岩矿心方法不适当、卡取不牢或提钻过猛，造成岩矿心残留、脱落等情况，促使采取率降低；此外，在生产中盲目追求钻进进尺，延长回次时间和回次长度，使岩矿心被破坏、磨损、分选和污染的机会也就越多，相应会降低岩矿心的采取率、完整度和纯洁性；还有因组织管理不严、钻探目的要求不明确、对岩矿心采取不够重视，往往造成岩矿层打薄、打丢，或者出现岩矿心采取率过低、品质不符合要求的现象。

总之，由于钻探的对象是地壳内千变万化的岩、矿石，钻进又是在极其复杂的自然条件下进行的。因此造成岩矿心采取率不高和品质低劣的原因，不是某一种因素单独起作用的，而是许多因素综合在一起共同作用的结果。其中，起主导作用的固然是人为因素，但客观存在的地质因素往往也起重要作用，所以在生产实践中，除应努力学习、提高技术操作水平外，还必须认真研究和认识所钻进岩矿层的物理力学特性和地质构造条件，采取相应的取心工具和技术措施，力求从取心数量和质量上满足地质要求。

5.2.4 提高岩矿心采取率与品质的措施

为了提高岩矿心的采取率与品质，除应从组织管理上、工作人员政治思想上和业务能力上着手外，还应从技术上因地制宜地采取如下一些主要措施。

（1）根据岩矿层不同的物理力学性质、结构构造、岩层组成及组织等特性，按其取心难易程度大致可分为五类，并且相应地提出了较合理的取心方法与工具，见表 5-1。但是，由于岩矿层的特性变化复杂，各地不一，加上还缺乏较细致的调查和研究工作，因此这种分类，其准确度还不太高，仅供参考。

（2）广泛采用金刚石单动双管钻进或绳索取心钻进，以及推广应用水力反循环连续取心钻进。在松软地层中采用双动双管或单动双管硬质合金钻进，如果采用普通岩心管硬质合金钻进，则用一慢（转速慢）、二限（限制回次进尺和回次时间）、三卡（依次按小、中、大投入卡料卡取岩矿心）的操作方法。

（3）在条件许可下采用综合不提钻取心技术，即在同一直径钻孔中，可随时更换绳索取心、水力反循环连续取心和单管长筒取心。它是以绳索取心钻具为基础，进行绳索取心钻进；当要更换用水力反循环连续取心钻进时，只要把绳索取心岩心管换成带有岩心卡断器的同规格岩心管和薄壁水力取心钻头，附属装置也只增加一个孔口密封装置，其进水口和绳索取心水接头的进水口都用油管接头，水管便可在它们之间嵌入或拨出，利用正反循环快速更换；而长筒取心钻具则与绳索取心钻具相同，只是把绳索取心的内管总成取出不用，此时内平的绳索取心外岩心管和钻杆当作“无限长”的岩心管，只要不堵心或不换钻头，就可长回次正循环钻进，而不用频繁提取岩矿心。

（4）在软岩、松散岩层、脆碎层、软硬互层以及怕冲刷、怕振动、怕磨损、易溶蚀、非

固结矿层中钻进，应正确选用泥浆作冲洗液，并采用无泵反循环取心钻具、喷射式孔底反循环钻具、双层岩心管取心钻具以及因地制宜的各种技术革新取心钻具。

（5）根据岩石性质，合理选择钻头类型、钻具结构及钻进技术参数，并保证钻具的平直和同心度，遵守操作规程，提高操作技术等，这对提高岩矿心采取率起着重要的作用。

（6）在钻探生产中，做好组织管理工作，加强宣传教育，使职工正确认识“质量与效率”、“目的与效益”的辩证关系，反对“单纯追求进尺”、“忽视取心质量”的片面任务观点，树立为取得准确的满意的地质成果而服务的全面观点。此外，要经常研讨提高岩矿心采取率的钻进取心技术、操作方法和技术管理措施，推广使用或创新先进的取心钻具。开展取心质量的技术专题讲座与学习，总结交流取心经验教训，不断提高技术水平。建立健全岩矿心采取率的检查与验收制度，尤其对复杂矿层应建立专门打矿小组和采矿心、保矿心制度，切实做到满足地质矿产勘探中采取岩矿心的要求标准。

表 5-1　按取心难易程度对岩矿层分类

类别	岩石特性	典型岩石	可钻性等级	取心难易程度	适用的取心方法和取心工具
一类	完整，致密，少裂隙岩层	板岩、灰质页岩、致密石灰岩、砂岩、花岗岩、致密铁矿、铜矿等	4～12	不易断裂破碎、耐磨性高、不怕冲刷、取心容易、采取率高	普通单管合金钻进、卡料取心、金刚石钻进、卡簧取心、绳索取心钻进
二类	节理、片理、裂隙发育破碎的岩矿层、硬、脆、碎的岩矿层	矽卡岩、辉绿岩、千枚岩、轻硅化灰岩、汞矿、黄铁矿、磷矿、石墨、滑石	4～7	中硬、抗磨性低、回转振动易破碎、或酥脆、怕冲刷、易磨损、流失	金刚石双管钻进、无泵钻具、或喷射式孔底反循环钻具
		石英二长斑岩、粗面岩、变质安山岩、花岗斑岩、强硅化灰岩、钼矿、铅锌矿	2～9 10～11（部分）	无粘性、易受钻具振动和冲洗液冲刷而破碎或块状、易磨损、流失、不易取出完整岩矿心	金刚石双管钻进、无泵双动双管钻具、钢粒钻进喷射式反循环钻具
三类	软硬不均，变化频繁极不稳定岩矿层	不稳定煤层、氧化矿层、破碎带、砾石层	可钻性悬殊	易破碎和磨损、粘性差，怕冲刷、煤层怕烧灼变质、不易钻进和取心	爪簧式单动双管、隔水式单动双管
四类	软、松散破碎的岩矿层	表土、粘土层、煤层、软钻矿、铁帽、铝矾土、褐铁矿、断层带、氧化破碎带	1～5	胶结性差、松散易破碎、易烧灼变质、易坍塌	无泵反循环钻具、喷射式孔底反循环钻具、双层双动岩心管
五类	易被冲洗液溶蚀、溶解的岩矿层	岩盐、钾盐、石膏、芒硝、冻土层	2～3	易溶解、溶蚀、怕冲刷	采用盐类饱和溶液、无泵钻进、喷反钻具，或单动双管的硬质合金钻进

5.2.5　岩矿心的补取

在钻探生产过程中，由于各种各样的原因，有时取出的岩矿心数量和品质达不到地质要求，尤其是打丢矿层，因而影响对矿产的正确评价，严重时可能造成钻孔报废。为此，在岩矿心采取率不足、品质不符要求或打丢矿层的钻孔孔段，必须进行岩矿心的补取工作。

5.2.5.1　收集岩矿粉

可从取粉管里收集，或在孔口设置特制岩（矿）粉沉淀箱中收集，也可在距孔口 1m 左

右的循环槽内捞取。

5.2.5.2　捞取岩矿心

如采心遇空时，可采用弹簧片钻头（图 5-6）或胶皮爪钻头（图 5-7）配合单管、双管或孔底喷射式反循环钻具，捞取孔底的脱落或残留的岩矿心。

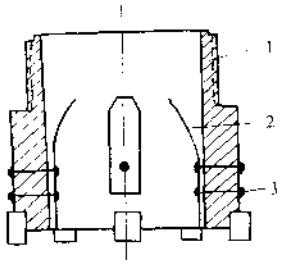


图 5-6　弹簧片钻头

1—钻头；2—弹簧片；3—铆钉

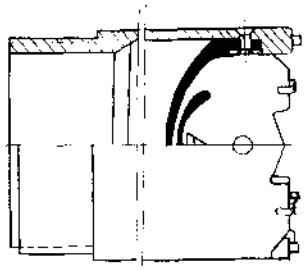


图 5-7　胶皮爪钻头

5.2.5.3　偏斜补取岩矿心

当用一些方法补心不足时，可在需要补心的孔段上部适当位置，利用偏心导斜器（图 5-8）另钻一段新孔，钻进需补心的岩矿层取心。这种方法是补救采心不足的较好办法，适用于各种不同的岩矿层，但操作比较麻烦，费时较长。

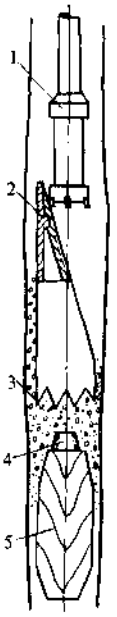


图 5-8　利用偏心导斜器补心示意图

1—钻具；2—导斜器；3—水泥砂浆；4—反扣接头；5—木塞

5.2.6　岩矿心的整理与保管

5.2.6.1　岩矿心的整理

岩矿心从岩心管中退出时，应尽量避免人为的对岩矿心的结构的破坏。从岩心管下端先退出的岩矿心为下头，每退出一块应按顺序摆放，避免颠倒或乱放。严禁把全管岩矿心一下堆落在一起、分不清次序。

从岩心管退出的岩矿心须用清水洗净，待干后用红漆编写上号码。每块岩矿心的编号用带分数（图 5-9）：整数表示本次的钻进回次次数，分母为本次岩矿心的块数，分子为表示其中的第几块。号码应自左向右横写，禁止直写或反写。



图 5-9　岩矿心编号

编完号后的岩矿心，按顺序排列在岩心箱内，不可颠倒岩矿心上下端，并应从左至右、

从前至后放置（图 5-10）。在每回次放置好后的岩矿心末端都要放一块岩心木牌。木牌的填写内容为：矿区名称、机号、孔号、孔深（起止）、回次进尺、本次岩心长度、岩心总长、填写人姓名等。岩心箱放满后，须在箱上注明：孔号、孔深、箱内岩心长度、岩心总长、箱号等。

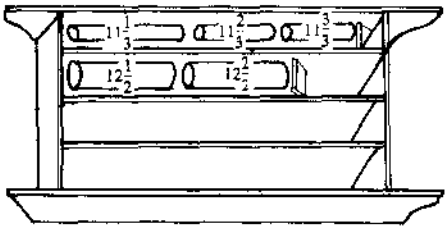


图 5-10　岩心箱

重要的岩矿心须用牛皮纸包好，碎矿石或矿粉须用布袋装好，在牛皮纸或布袋上要写明孔号、孔深（起止）、岩心长等。

地质编录者应到钻探工地核对钻探原始记录，着重查对进尺、岩矿心采取率、岩心编号、岩心放置状况、岩心牌和岩心箱。并对岩矿心观测、描述、取样及送样品加工化验，做好钻探地质编录工作。

5.2.6.2　岩矿心的现场保管

岩矿心的现场保管工作，是从取心、整理、编录直到处理为止。在此期间，装满岩矿心的岩心箱应堆放摆好，防止混乱与翻倒，始终要保持岩矿心的整齐、清洁、不受损失、顺序一致、标志清楚，有怕水冲、怕溶蚀和易风化的岩矿心应当盖好，防止日晒雨淋。

钻孔竣工后，岩矿心必须及时处理。处理方法有全保留、缩选保留和废弃三种。缩选保留和废弃的岩心，均须由地质部门提出书面报告，经上级批准后方可执行。保留的岩矿心须送岩心仓库，岩心仓库由专人负责保管。

5.3　钻孔弯曲

钻孔是按照地质设计规定进行施工的，所以要求钻孔施工结果都应按设计要求，准确地达到预计的深度。但是，在钻孔施工过程中，由于种种原因，经常会使钻孔轴线偏离原设计的方位与倾角，发生程度不同的钻孔弯曲。

弯曲的钻孔，得不到符合实际情况的地质资料，造成对地质情况了解的失真或错觉（图 5-11），影响对成矿构造、矿体空间位置、储量计算掌握的准确性，导致对矿床评价、开采设计的错误，使得钻孔的利用价值降低甚至报废；此外，弯曲了的钻孔在大多数情况下，使钻孔工作量增加，造成材料消耗和时间的浪费，而且还易促使设备和钻具的早日磨损、事故增多，所以钻孔弯曲影响到“多、快、好、省”地完成钻探生产任务。

钻孔弯曲度是衡量钻探质量的重要指标之一。现行岩心钻探规程规定：钻孔倾角的最大允许弯曲度，在每 100m 间距内，直孔不得超过 2°，斜孔不得超过 3°，随着钻孔的加深，可以递增计算；钻孔方位角的最大允许弯曲度，应根据钻孔深浅和矿床类型等情况具体商定。

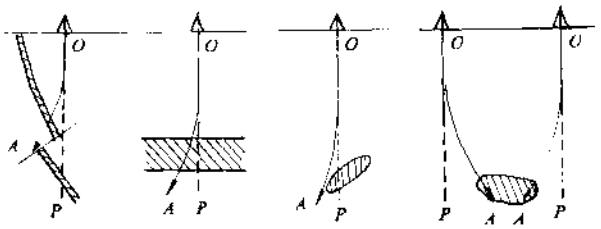


图 5-11　钻孔弯曲造成的地质错觉

5.3.1　钻孔弯曲的测量（测斜）

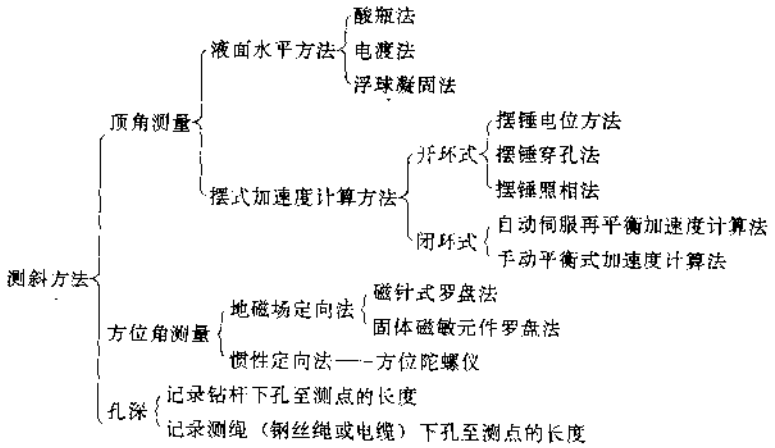
为了能随时掌握与控制钻孔弯曲的变化，以便及早预防和矫正钻孔弯曲，在钻进过程中，必须按规定的测点及时准确测量钻孔弯曲度，不应只在终孔后对各测点一次连续测量。一般要求在钻孔开孔后，遇到下列情况需进行测量钻孔的顶角和方位角。

（1）按规程要求：直孔每 50m、斜孔每 25m 进行一次测斜。但也可根据本矿区的地质和技术条件而适当调整测斜间距。

（2）在下定向管或套管前后、以及换径钻进后均应测斜。

（3）钻孔遇见主矿体或钻孔到设计见矿深度而未见矿、以及终孔后均应测斜。

测斜数据（孔深、顶角、方位角）要求齐全、对应和准确可靠，测斜记录要正确、完全和清楚。测斜方法有：



测量钻孔顶角和方位角的仪器称为测斜仪。随着我国科学技术的发展，生产和使用的测斜仪种类很多，且各有特点。根据其测量时能否受磁性干扰，分为非磁性矿区测斜仪和磁性矿区测斜仪两大类。

（1）在非磁性矿区中用的测斜仪：方位角的测量是用磁针式罗盘法或固体磁敏元件罗盘法，而顶角的测量绝大多数是用摆锤原理或液面水平原理。各种仪器的不同处在于测值读数方法：有用机械顶卡装置固定罗盘和摆锤而读数的；有用照像感光或固结浮球的方法来读数的；也有将角度的变化转换成电位差来进行电测读数的。此外，前两种读数方法的测斜仪器下一次孔只能测一个点的顶角和方位角；而用电测读数的测斜仪器，每下一次孔

可以进行多点的顶角和方位角的连续测量。

（2）在磁性矿区中用的测斜仪：其顶角测量多数仍用摆锤原理，而方位角的测量则利用间接措施定向或陀螺惯性定向。陀螺仪是当代的一项多学科综合性尖端技术，我国从60年代开始研制陀螺测斜仪，至今已能生产各种不同型号的陀螺测斜仪，最小直径的为ϕ38mm。

常用测斜仪的型号及其主要技术性能见表5-2，可根据本矿区特点和钻孔的终孔直径大小选用。为了保证测斜数据的准确性，钻探、地质工作者必须熟悉所选用的仪器性能和使用方法，并做好仪器的检查、校验、保管和维修工作，提高测斜技术水平。现将几种不同类型有代表性的仪器简介如下。

表5-2　常用测斜仪主要技术性能

适用条件	型　号	外径 mm	测量角度		测量误差		测量方式	下孔方法	耐液压 MPa	漂移 °/h	测点	生产厂名
			顶角	方位角	顶角	方位角						
非磁性或弱磁性矿区	JXY-2	75	0～60°	0～360°	±1°～2°	±4°	度盘直读	钢丝绳	70		单点	上海地质仪器厂
	JJX-2	65	0～50°	4°～356°	≤±30′	≤±4°	直流电桥	三芯电缆	50		多点	
	JJX-3	65	0～50°	4°～356°	±30′	±4°	直流电桥	三芯电缆	50		多点	
	JXX-1	40	0～45°	4°～356°	±30′	±4°	直流电桥	钢丝绳	<100		单点	
	JXK-2	40	0～50°	4°～356°	≤±30′	≤±4°	直流电桥	三芯电缆	<15		多点	
	JGC-40	40	0～45°	0～360°	±30′	±2°	感光纸记录	钢丝绳			单点	
	D80-2B	45	0～40°	0～360°	±30′	±2°	照像记录	钢丝绳、钻杆			多点	
	JXL-42	42	0～50°	0～360°	≤±1°	<±2°	度盘直读	钢丝绳	<10		单点	辽宁地质勘探公
	XJS-35	36	0～30°	4°～360°	±1°	±2°	度盘直读	钻杆	>3		单点	司机械仪器厂
磁性矿区陀螺测斜仪	JXT-1	50	0～35°	0～360°	±30′	±6°	直流电位计	三芯电缆	150	±12°	多点	北京地质仪器厂
	JDL-1	89	0～30°	0～360°	±30′	±5°	直流电位计	三芯电缆	<200	±6°	多点	上海地质仪器厂
	JDL-50	50	0～50°	0～360°	±30′	±6°	直流电位计	三芯电缆	100	±12°	多点	
	JXT-247	47	0～35°	0～360°	±30′	±6°	直流电位计数字显示	三芯电缆	150	±12°	多点	北京地质仪器厂
	JTL-38	38	0～50°	0～358°	±30′	±7°～8°	直流电位计	三芯电缆	150	±20°	多点	上海地质仪器厂
	JZX-44.5	44.5	0～35°	0～360°	±30′	±6°	照像记录	钢丝绳	150	±18°	多点	
	JDT-1	90	0～10°	0～360°	±5′		电位计作图计算	六芯电缆	100	±6°	多点	
	JDT-2	90	0～10°	0～360°	±5′		电位计作图计算	六芯电缆	100	±6°	多点	
	JDT-3	60	0～6°	0～360°	±3′	<6°	电位计作图计算	三芯电缆		<±8°	多点	
	JDT-3A	60	0～6°	0～360°	±3′		电位计微型计算机计算与作图打印	三芯电缆	100	<±8°	冻结孔连续多点	

5.3.1.1　磁性单点测斜仪（JXY-2 型和 XJS-35 型）

JXY-2 型由仪器和测具两部分组成（图 5-12）。仪器全长 1990mm，重 33kg；主要技术指标见表 5-2。

仪器测量系统由上下轴承支持，回转框架上装有偏心重锤，顶部有磁针罗盘和带有顶角刻度的半圆摆锤可绕其横轴摆动。当仪器倾斜时，罗盘保持水平，半圆摆锤能保持铅垂。下部有定时机械钟及锁卡机构，定时钟最长工作时间 110min，最短工作时间 10min。全部仪器用黄铜制造的外套保护。

测孔斜时，启开定时钟顺时针方向转，根据被测定点的深度估计所需要时间，然后把仪器装入测具。测具被送到要测定的深度时，仪器倾斜，偏心重锤产生回转力矩使框架回转、并带动罗盘 0～180°的刻度线和顶角指示半圆摆锤一同回转，最后停留在钻孔倾斜面上。当锁卡机构按预定时间锁紧后，将测具提到地面，从测具内取出仪器读数，磁针指出钻孔的方位角，顶角刻度线指出钻孔的顶角。

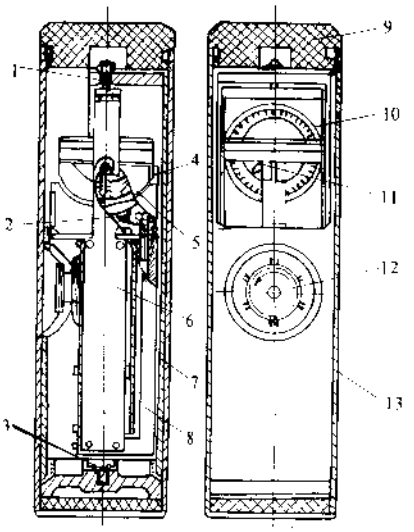


图 5-12　JXY-2 型测斜仪

1—上轴；2—顶针；3—下轴；4—定位铁条；5—顶角半圆摆锤；6—框架；7—仪器壳；8—重锤；9—压盖；10—罗盘；11—磁针；12　定时装置；13　保护壳

XJS-35 型为水平钻孔测斜仪，是专供矿山坑道小口径钻孔测斜用。测具外径 ϕ35mm，全长 1100mm，重 5kg，主要技术指标见表 5-2。测斜仪由仪器和测具两部分组成，方位角测量靠磁针定向，顶角测量利用悬锤原理，定时锁止由机械钟控制，其结构及工作原理与 JXY-2 型相类似。测斜时仪器的置放方法，应视钻孔的不同倾角而放置。

（1）倾角在±10°和俯角在 60°以内时，仪器正装、正常放置，读数为钻孔测量段实际状态。

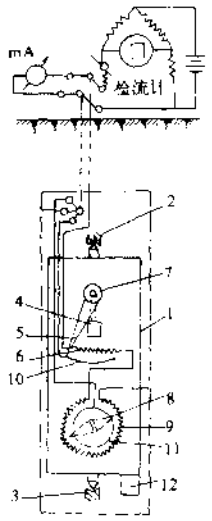
（2）当钻孔是仰角时，并在 10°～60°间，仪器反装，即倒放，此时仪器方位角读数应加 180°，如其和值超过 360°则减去 360°后为钻孔测量段实际方位。例如：读数为 95°，则钻孔实际方位角是 95°＋180°＝275°；又如读数为 210°，则钻孔方位角的和数是 210°＋180°＝390°；实际方位角应是 390°－360°＝30°。顶角读数均不变。

5.3.1.2　磁性多点地面读数式测斜仪（JJX-2 型）

JJX-2 型由地面测量箱和探管组成（图 5-13）。测量箱有直流电桥和工作状态指示表头。探管由偏心回转框架、摆锤、磁针、方位角电阻环、顶角电阻、短路线圈、电磁转换开关及锁紧压杆等组成。

探管由三芯电缆下入孔内，偏心力矩使测量系统框架（方位计绕组的方位角零点）回转，最后停留在钻孔倾斜面上，磁针与电位计方位角的零点之夹角为钻孔的磁方位角，摆锤与探管轴心线的夹角为钻孔的顶角。它们的值为电位计锁紧后，其电阻值的变化，由地面电桥测出读数。

电磁转换开关有六个工作状态：自由、方位角接触、方位角锁紧和自由、顶角接触、顶角锁紧。六个状态的判断主要由方位角接触状态（3000Ω）与顶角接触状态（2000Ω）的电阻值不同，流过状态指示表头的电流不同而区分。在自由状态时，磁针与接触片固定的线相接，能在电阻环中间灵活转动。当锁紧时，磁针带接触片同时下移，接触片使环状电阻部分短路。方位角大小不同时，方位电阻短路的多少不同，故测定方位电阻的变化，就可相应地确定钻孔的方位角。在测顶角自由状态时，摆锤和接触片围绕其摆锤轴摆动。锁紧时，接触片接触弧形绕线电阻，使其部分短路，故测量顶角电阻的变化，就可相应地确定钻孔的顶角。



1— 回转框架；
2、3—上下顶尖轴承；
4—顶角摆锤；
5—接触片；
6—顶角电阻；
7—摆锤轴；
8—磁针带接触片；
9—方位角电阻环；
10、11—短路线圈；
12—重　锤

图 5-13　JJX-2 型测斜仪结构原理

5.3.1.3　磁性多点照相测斜仪（D80-2B 型）

D80-2B 型主要技术性能见表 5-2。其所用微型胶卷宽 10mm，暗盒容胶卷长 2m，缩微照片图形直径 9mm；手控电路电源、L 电池 22.5V，自控电源、1 号电池 12V；钢丝绳规格 ϕ2mm。测斜仪可用钢丝绳、钻杆或电缆下孔测量，用电缆时由地面手控电子半自动程序控制仪器运转；用钢丝绳或钻杆时由仪器内部电源及电子程序自动控制电路自行运转。仪器下孔一次可拍照 180 张照片，底片暗盒可在日光下操作。

仪器结构（图 5-14）：测量系统方位角定向元件为一个液浮磁罗盘，顶角定向元件为灵敏元件的光轴。当液浮磁罗盘置于地磁场中，磁环带动方位度盘使其零位指向磁北。液浮磁罗盘安装在具有水平轴和垂直轴两个自由度的框架上能永远保持水平的灵敏元件中。灵敏元件上方有缩微镜头，其下方有曝光灯泡。灵敏元件液浮磁罗盘的方位度盘上盖有十字丝，其中较长的带有 0 圈的是方位角指示线，与其垂直较短的是顶角指示线。十字丝长线与磁罗盘零度的夹角，即钻孔的磁方位角，铅垂光轴的十字丝短线与顶角度盘的夹角，即钻孔顶角。

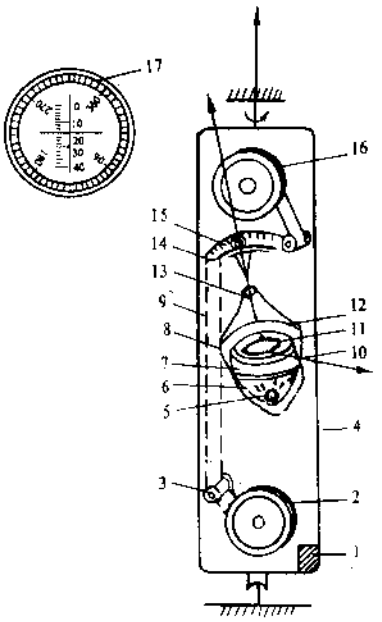
测量时，磁罗盘上盖上的十字丝与偏心框架一同回转，最后停留在钻孔倾斜面上。灯泡亮，缩微镜头将液浮罗盘上盖十字丝、液浮罗盘的度盘和顶角刻度盘三者的影像重叠投射在底片上，使底片银粒曝光形成潜影。这样每个测点的方位角、顶角数值保存在 10mm 的微型胶卷底片上。

5.3.1.4　陀螺测斜仪（JXT-247 型）

JXT-247 型主要技术指标见表 5-2。仪器使用单相交流 50Hz · 200V±10%电源，整机耗用功率约 75W；用抗拉断力不少于 3kN 的三芯电缆（内阻不大于 40Ω）下于孔内，测量孔深 1000m。

测斜仪的工作原理：顶角测量是利用摆锤原理，当仪器倾斜时，由于测量系统的偏心重锤作用，摆锤转动平面永远处在倾斜面上，顶角的度数即能依据摆锤偏离仪器轴心线所

成的角度来表示。方位角的测量，主要是采用三自由度方位陀螺仪（图 5-15）定向。高速旋转的陀螺电机转子通过轴 X 支承在内框架上，内框架又通过轴 Y 支承在外框架上，外框架又用轴 Z 支承在基座（探管）上。三个轴彼此互相垂直，即 X 轴垂直于 Y 轴垂直于 Z 轴，并相交于 O 点，O 点正好是陀螺转子的重心。三自由度是指 X 轴除具有自转自由度外，还有两个转动自由度；一个是以 O 点为中心绕 Y 轴转动，另一个是和 Y 轴一起、也以 O 点为中心绕 Z 轴转动，这就是三自由度的陀螺仪结构。



1—偏重块；2—储卷暗盒；3—胶卷导向轮；4—灵敏元件框架；5—曝光灯；6—灵敏元件；7—罗盘轴；8—液浮磁罗盘外壳；9—微型胶卷；10—磁环；11—方位度盘；12—液浮罗盘十字分划线；13—缩微镜头；14—透明顶角柱面度盘；15—缩微在胶卷上的像；16—胶卷暗盒；17—测量结果照片

图 5-14　D80-2B 型照像测斜仪原理示意图

高速旋转的三自由度陀螺的转子轴，在轴承无摩擦的情况下，它在空间的方向保持不变，这个特性称作陀螺仪的定轴性。在钻孔中测量方位就是利用定轴性来定向的，即以某种精度保持在给定的初始方位上。

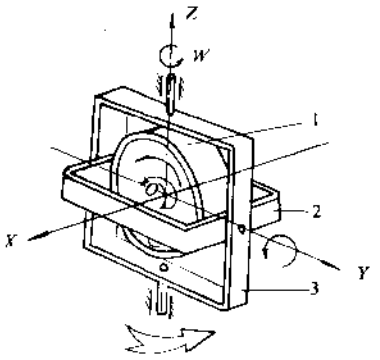


图 5-15　陀螺仪结构原理示意图
1—陀螺电机；2—内框架；3—外框架

三自由度陀螺仪的另一个特性，是当其受到某些干扰力矩，如摩擦力矩，静不平衡力矩等，将产生进动而使陀螺仪主轴偏离其初始的方位，我们把这种现像称为陀螺仪的漂移。为此，陀螺仪内设置一套水平修正装置，它的作用主要是能抵消干扰力矩对外框轴的影响，用反方向的机械力矩保持内框的水平，即 X 轴保持水平。尽管如此，少量的初始方位变动，即漂移总是存在的，但控制在一个允许范围内。

JXT-247 型陀螺测斜仪由电源控制箱、测量箱、探管及三脚架、瞄准望远镜等联接而组

成（图 5-16）。钻孔测斜时：

（1）探管放置在孔口附近的三脚架上，通电起动陀螺电机。用瞄准望远镜上定位线对准探管母线并卡紧。转动探管使望远镜中十字丝对准远方两个测杆使其重合（其方位已知），则完成陀螺仪地面定向，即把陀螺仪主轴确定在已知方位上，作为钻孔方位角测量的基准（钻孔测量的起点平面）。定向后三脚架不准移动以备测陀螺漂移用。

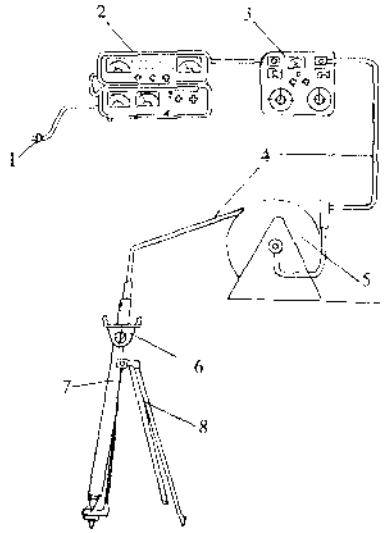


图 5-16　陀螺测斜仪测斜时组件联接示意图

1—电源插头；2—电源控制箱；3—测量箱；4—电缆；5—绞车；6—瞄准器；7—探管（内装陀螺测斜仪）；8—三脚架

（2）仪器预热一定时间后，使陀螺仪松锁、复查定向数值，正常时，卸去瞄准望远镜，将探管直立（可以稍倾斜）移入钻孔中，进行逐点测斜。

（3）钻孔的倾斜方向（钻孔终点平面）由倾斜指示器找出（图 5-17）。终点角（φ）就是钻孔起点平面与终点平面的夹角；顶角（θ）由装在倾斜指示器上的顶角电位计和保持铅垂的摆锤测出。钻孔方位角和顶角测量的电位值由三芯电缆传输到地面测量箱，通过 A/D（双斜率模数线路）将模拟量转换为数字量，用四位萤光数码显示出来。

（4）由于陀螺测斜仪测量的方位角是利用圆形电位计来进行的，此电位计与仪器外壳是永远保持垂直的，而仪器在测量中是倾斜的，因而在水平面上投影的方位角与测量的终点角（φ）便有一个差值，即所谓框架误差，其差值是随着钻孔顶角增大而增大。当钻孔顶角大于 15°以上时，所测终点角必须经过框架误差公式换算才得方位角。框架误差 $\Delta\varphi$ 为

$$\Delta\varphi = \varphi - \tan^{-1}(\tan\varphi\cos\theta)$$

如果陀螺测斜仪的定向方位角为 α_0，则方位角 α 表达式为

$$\alpha = \alpha_0 + \varphi - \Delta\varphi$$

或

$$\alpha = \alpha_0 + \tan^{-1}(\tan\varphi\cos\theta)$$

例：仪器定向方位角 $\alpha_0=100°$，定向读数 120°，下孔后测得钻孔顶角 $\theta=20°$，仪器读数为 150°，则

终点角 $\varphi=150°-120°=30°$

框架误差 $\Delta\varphi=30°-\tan^{-1}(\tan30°\cos20°)=30°-28°30'=1°30'$

方位角 $\alpha=100°+30°-1°30'=128°30'$

（5）测孔完毕，提出探管放原三脚架上测量陀螺仪漂移数值。

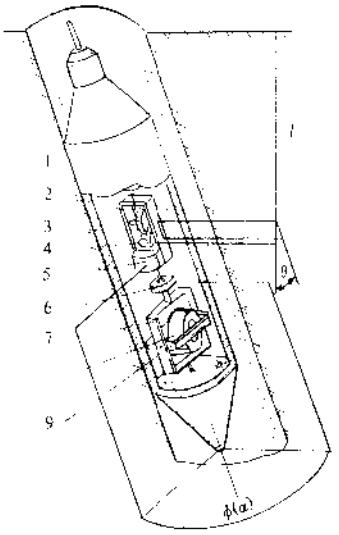
（6）根据测量记录时间（松锁、各测点测斜及测漂移的时间），进行各测点方位角的漂移修正值计算。例如从定向完毕到测好漂移值共进行 1h，漂移 3°，则平均漂移 3′/min；如果第一测点的时间是 10min，那么在第一点的方位角上扣 30′；第二测点的时间是 15min，第

二点上扣 45′；以后各点，依次按累计时间扣除漂移值。

(7) 陀螺测斜仪所测的方位角数据，有两个误差需要整理修正，即框架误差和漂移。在生产使用中，一般在顶角小于 10°时，应先消除框架误差，后消除漂移；如顶角超过 10°时，则应先从终点角中消除漂移，后消除框架误差；这样可以保证所测方位角的精确度。

5.3.1.5 氢氟酸测斜

这是利用液面水平原理，用氢氟酸(HF)对玻璃的腐蚀作用，而在玻璃管上留下液面痕迹来完成钻孔顶角测量的。其测法比较简单易行，但精度不高，不能测量方位角，常用于无测斜仪或测斜仪外径大于钻孔直径而放不进去时应用之。



1—测量仪外壳；
2—倾斜指示器框架；
3—顶角电刷；
4—顶角电位计；
5—顶角摆锤；
6—方位角电位计；
7—陀螺仪外框架；
8—陀螺电机；
9—陀螺仪内框架

图 5-17 陀螺测斜仪测量原理图

顶角测法是把 20～30%浓度的氢氟酸注入长度 100～150mm，内径为 15～25mm 的玻璃试管中，注入量为玻璃管长度的 1/3 左右，用橡胶塞把管口密封。然后将其装入特制的接头内，用钻杆下到孔内的待测点，静止停留 15～25min 后提钻。取出玻璃管，测量玻璃管壁上蚀痕（图 5-18），并按下式计算钻孔顶角（θ_0）：

$$\tan\theta_0 = \frac{h_2 - h_1}{d}$$

式中 h_1——蚀痕最低点至玻璃管基准线的距离，mm；

h_2——蚀痕最高点至玻璃管基准线的距离，mm；

d——玻璃管内径，mm。

由于玻璃试管的毛细管作用影响，使液面不能水平而形成凹面（图 5-19），它与水平面

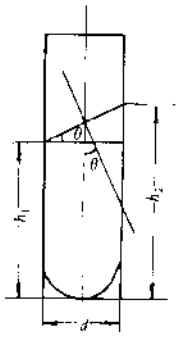


图 5-18 氢氟酸测斜计算图

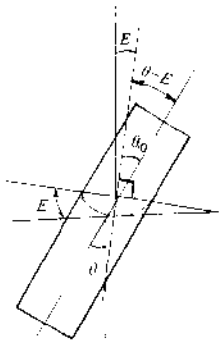


图 5-19 顶角校正关系图

有一夹角 E。因而必须将计算出的顶角 θ_0 加上校正角 E、才是要测的钻孔实际顶角 θ，即

$$\theta = \theta_0 + E$$

校正角 E 值的大小与玻璃管直径、氢氟酸浓度、倾斜度有关，可以通过实验求得。表 5-3 列出用 20%浓度的氢氟酸，顶角小于 45°的校正值。

表 5-3　氢氟酸测斜的校正角 E 数值

玻璃管内径，mm	每度校正值	玻璃管内径，mm	每度校正值
15～16	12′	21～22	9′
17～18	11′	23～24	8′
19～20	10′		

为了免除计算及校正的麻烦，可以使用倾斜仪直接测定（图 5-20）。即在蚀痕的玻璃管内加入有色液体，将其放置在倾斜仪上固牢，转动量角器，使有色液体液面与原蚀痕重合，则可从量角器上读得钻孔实际倾角度数。

5.3.2　钻孔弯曲作图

钻孔弯曲测量时，所获得测点的孔深、顶角和方位角等数据，仅反映了钻孔孔身在测斜各点的变化大小，不能反映钻孔孔身在地下空间的轨迹和坐标位置。所以，必须利用钻孔弯曲测量的数据，通过几何作图方法，展示其地下空间轨迹状态，给人以清晰的观感。

钻孔孔身在地下空间轨迹，可根据钻孔各测点深度的顶角（θ）和方位角（α）的相互关系，归纳为以下四种状态（图 5-21）。

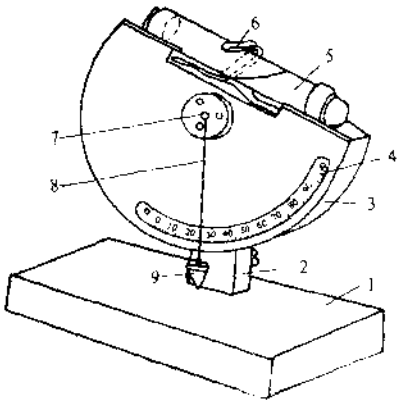


图 5-20　倾斜仪直接测定示意图

1--台板；2—支柱；3—半圆仪；4—刻度盘；5-玻璃管；6—带夹；7--轴；8—垂线；9—悬锤

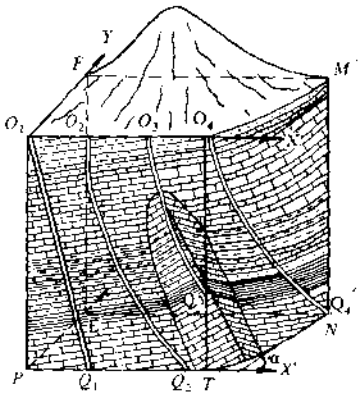


图 5-21　钻孔弯曲的空间状态示意图

（1）θ、α 均不变：钻孔轴心线 O_1Q_1 在 O_1PTO_4 垂直平面内成一直线或近似一直线。

（2）θ 变、α 不变：钻孔轴心线 O_2Q_2 仍在 O_1PTO_4 同一垂直平面，但为一弯曲线。

（3）θ、α 均变：钻孔轴心线 O_3Q_3 离开 O_1PTO_4 垂直平面，而向前或向后方弯曲。

(4) θ 不变、α 变：钻孔轴心线 O_4Q_4 沿 O_4TNM 半圆柱面弯曲。

由此看出：前两种状态，仅 θ 变或不变，而 α 不变，钻孔轴心线都在同一垂直平面内，各测点距离 L 和顶角 θ 可在一个垂直平面上展示出来；后两种状态，θ 变或不变，α 变，钻孔轴心线不在同一垂直平面内，这样各测点距离 L、顶角 θ 和方位角 α 就要用空间坐标系 X、Y、Z 展示出来（注意：X 与 N 方向夹角为 α，故 Y 轴与 N 方向不平行）

现在剖切一孔段，看钻孔轴心线在地下空间的坐标位置是怎样利用空间直角坐标系（图 5-22）展示出来的。假设 OO_1 为斜孔轴心线，设计的顶角为 θ，方位角为 α，该孔的定向倾斜方向即 OX 箭头所示的方向（此方向一般为剖面线方向或作图时的垂直投影面的方向）。

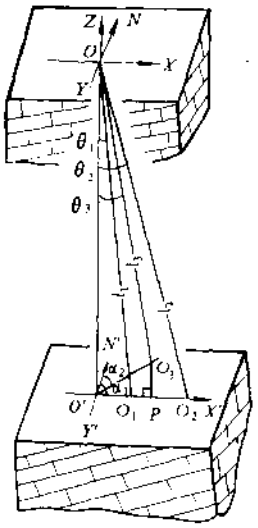


图 5-22 钻孔轴心线在地下空间坐标位置

当 OO_1 孔的顶角 θ_1 不变，方位角 α_1 也不变，孔深为 l_1。孔底轴心点 O_1 就在 $O'X'$ 轴上，那么 θ_1 即是 $rt\triangle OO'O_1$ 的一个锐角，O_1 到 O' 的距离就是要求的 X 偏距：

$$X_{O'O_1} = l_1\sin\theta_1$$

$$Z_{OO'} = l_1\cos\theta_1$$

当 OO_2 孔的顶角变为 θ_2，而方位角仍为 α_1 时，孔底的轴心点 O_2 仍在 $O'X'$ 轴上，同样 θ_2 也是 $rt\triangle OO'O_2$ 的一个锐角，孔深为 l_2，O_2 到 O' 的距离也是要求的 X 偏距：

$$X_{O'O_2} = l_2\sin\theta_2$$

$$Z_{OO'} = l_2\cos\theta_2$$

当 OO_3 孔的顶角变为 θ_3，方位角变为 α_2，孔深为 l_3 时，孔底轴心点就不在 $O'X'$ 轴上，而落在 $N'O'X'$ 的水平面内，$O'O_3$ 是 $rt\triangle OO'O_3$ 上的一直角边，即

$$O'O_3 = l_3\sin\theta_3$$

$O'O_3$ 与 $O'X'$ 的夹角 $\Delta\alpha$ 为

$$\Delta\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2|$$

则 O_3 到 $O'Y'$ 与 $O'X'$ 的垂直距离，即 X 偏距与 Y 偏距，可从 $rt\triangle O_3PO'$（$O_3P\perp O'X'$）中求得：

$$X_{O'P} = O'O_3\cos\Delta\alpha = l_3\sin\theta_3\cos\Delta\alpha$$

$$Y_{O_3P} = O'O_3\sin\Delta\alpha = l_3\sin\theta_3\sin\Delta\alpha$$

$$Z_{OO'} = l_3\cos\theta_3$$

用取上下两测点所测得的顶角或方位角的平均值，用以控制一个孔段的钻孔孔身在地下空间的轨迹和座标位置的方法，叫均角全距法。经实际钻孔验证、对比，证明它比曾被地质工作者所习用的全角半距法更接近实际。均角全距法的作图及计算方法如下：

(1) 当顶角 θ 变或不变、方位角 α 不变时，这种情况仅需作钻孔轴心线垂直投影图，其作图步骤（图 5-23）是：

① 按一定比例尺绘制直角坐标系 XOZ 为一垂直平面（常为勘探线剖面）。O 为钻孔孔口中心点，假定在 0、1、2……n 等测点，测得各顶角分别为 θ_0、θ_1、θ_2……θ_n，各孔段的距离分别 l_{0-1}、l_{1-2}、l_{2-3}……$l_{(n-1)-n}$；

② 从孔口 0 点用顶角 $\frac{\theta_0+\theta_1}{2}$ 引直线，取 0—1 线段等于 l_{0-1}；

③ 从点 1 用顶角 $\frac{\theta_1+\theta_2}{2}$ 引直线，取 1—2 线段等于 l_{1-2}；

④ 以此类推，最后可在 XOZ 垂直平面上（或勘探线剖面上）展示出钻孔轴心线 On。

从图上可以大致量出不同孔深处的横坐标距，即 X 偏距，但不精确。要求较精确的 X 偏距可用公式计算，即

$$X = X_1 + X_2 + X_3 + \cdots - X_n$$
$$= l_{0-1}\sin\frac{\theta_0+\theta_1}{2} + l_{1-2}\sin\frac{\theta_1+\theta_2}{2} + \cdots - l_{(n-1)-n}\sin\frac{\theta_{n-1}+\theta_n}{2}$$
$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \cdots + Z_n$$
$$= l_{0-1}\cos\frac{\theta_0+\theta_1}{2} + l_{1-2}\cos\frac{\theta_1+\theta_2}{2} + \cdots + l_{(n-1)-n}\cos\frac{\theta_{n-1}+\theta_n}{2}$$

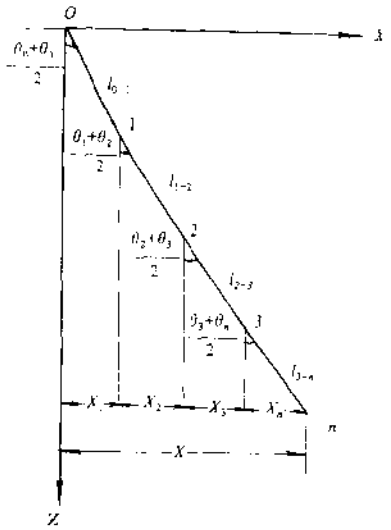


图 5-23　方位角不变作的钻孔轴心线垂直投影图

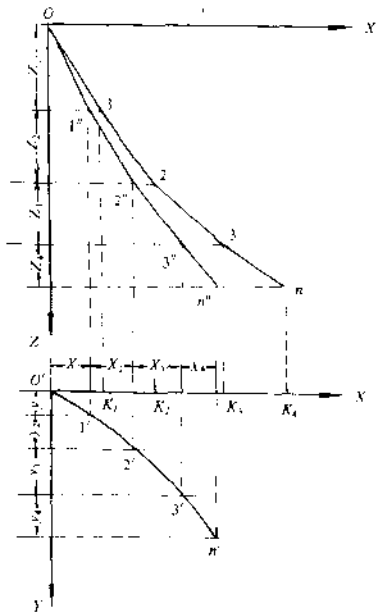


图 5-24　顶角和方位角均变所作的钻孔轴心线投影图

(2) 当顶角 θ 变或不变、方位角 α 变时，除了作钻孔垂直投影图外，还要作钻孔水平投影图，并根据此钻孔水平投影图再作垂直投影图，其作图步骤（图 5-24）是：

① 按一定比例尺绘制直角坐标系 XOZ 为一垂直平面（或勘探线剖面），XOY 为一水平平面，O 为钻孔孔口中心点。假定在 0、1、2…n 等测点，测得顶角分别为 θ_0、θ_1、θ_2……θ_n，方位角分别为 α_0、α_1、α_2……α_n，各孔段的距离分别为 l_{0-1}、l_{1-2}、l_{2-3}……$l_{(n-1)-n}$。利用

这些数据按前图作图步骤，绘出钻孔垂直投影的轴心线 On 在 XOZ 垂直平面上。

② 求出各测点的方位角与设计方向（或勘探线方向）方位角差 $\Delta\alpha$，即 $\Delta\alpha_1=|\alpha_1-\alpha_0|$、$\Delta\alpha_2=|\alpha_2-\alpha_0|$、$\Delta\alpha_3=|\alpha_3-\alpha_0|\cdots\Delta\alpha_n=|\alpha_n-\alpha_0|$；

③ 从 O' 点用平均方位角差 $\frac{\Delta\alpha_1}{2}$ 为夹角绘直线，取 $O'1'=O'K_1$（K_1 为从 1 点引 $O'X$ 轴的垂线 $1-K_1$ 交 $O'X$ 于 K_1 点，以下类推 K_2、$K_3\cdots K_n$ 点）；

④ 从 $1'$ 点以 $\frac{\Delta\alpha_1+\Delta\alpha_2}{2}$ 为夹角绘直线，取 $1'2'=K_1K_2$；

⑤ 以此类推，最后在水平平面 $XO'Y$ 上展示出钻孔水平投影的轴心线 $O'n'$；

⑥ 从 $1'$、$2'$、$3'\cdots n'$ 各点作 $O'X$ 轴垂线，其延伸线与 1、2、3$\cdots n$ 各点的水平线相交于 $1''$、$2''$、$3''\cdots n''$；

⑦ 连接 O、$1''$、$2''\cdots n''$ 各点，即成为钻孔投影在 XOZ 垂直平面上（或勘探线剖面上）的钻孔轴心线 On''。

通过上述的作图，可以大致量出各个孔段测点的横坐标偏距 X 和纵坐标偏距 Y，但不精确，特别是用小比例尺作图更不精确。用公式计算就能得出较精确的偏距，即

$$
\begin{aligned}
X &= X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_n \\
&= l_{0-1}\sin\frac{\theta_0+\theta_1}{2}\cos\frac{0+|\alpha_1-\alpha_0|}{2} + l_{1-2}\sin\frac{\theta_1+\theta_2}{2}\cos\frac{|\alpha_1-\alpha_0|+|\alpha_2-\alpha_0|}{2} + \\
&\quad \cdots + l_{(n-1)-n}\sin\frac{\theta_{n-1}+\theta_n}{2}\cos\frac{|\alpha_{n-1}-\alpha_0|+|\alpha_n-\alpha_0|}{2} \\
Y &= Y_1 + Y_2 + Y_3 + \cdots + Y_n \\
&= l_{0-1}\sin\frac{\theta_0+\theta_1}{2}\sin\frac{0+|\alpha_1-\alpha_0|}{2} + l_{1-2}\sin\frac{\theta_1+\theta_2}{2}\sin\frac{|\alpha_1-\alpha_0|+|\alpha_2-\alpha_0|}{2} + \\
&\quad \cdots + l_{(n-1)-n}\sin\frac{\theta_{n-1}+\theta_n}{2}\sin\frac{|\alpha_{n-1}-\alpha_0|+|\alpha_n-\alpha_0|}{2} \\
Z &= Z_1 + Z_2 + Z_3 + \cdots + Z_n \\
&= l_{0-1}\cos\frac{\theta_0+\theta_1}{2} + l_{1-2}\cos\frac{\theta_1+\theta_2}{2} + \cdots + l_{(n-1)-n}\cos\frac{\theta_{n-1}+\theta_n}{2}
\end{aligned}
$$

由于用作图法处理测斜数据比较简单，它省去了计算过程，直接投影成图，因此使用比较广泛。但它的缺点是校正每个点时需取两个角，需投点移线四次，容易产生误差，故相对来说其精度较低。此外，用投影制图须要单独编制钻孔校正证件剖面图，然后再移到勘探线剖面图上，如果直接在勘探线剖面底图上进行校正，成图后投影作图的辅助线都要擦去，因此不好检查、也影响图纸的美观。而用公式计算，一次计算、多次使用，计算出来的数据既可作勘探线剖面图，也可作钻孔方位平面图和纵投影图时使用，既省时又省工，并且也便于检查，故近年来已越来越多地采用计算法。

钻孔弯曲是钻探生产中一个普遍的、大量存在的现象，它对钻孔质量及钻探生产的正常进行影响很大。为了有效地预防和纠正钻孔弯曲或利用钻孔弯曲打定向孔，则必须了解钻孔弯曲的原因及其规律。

5.3.3 钻孔弯曲的原因

钻孔之所以发生弯曲，是粗径钻具在回转破碎岩石过程中未沿设计钻孔轴心线方向钻进而产生偏斜引起的。促使粗径钻具偏斜的因素：一是钻头底面受到偏斜力矩或粗径钻具

受到与设计钻孔轴心线不一致的斜向力；二是孔壁对粗径钻具导向不够或粗径钻具刚性差。其产生的根源是由于地层结构、施工技术和钻进工艺三个方面综合作用的结果，其中地层结构是促使粗径钻具偏斜、造成钻孔弯曲的主要原因。

5.3.3.1　地层结构方面的原因

地层结构是客观存在的，研究与分析由地层结构方面的原因而造成钻孔弯曲的目的，一是为了在钻进技术上采取相应的预防措施；二是为合理的设计钻孔提供依据；三是利用地层结构而造成钻孔弯曲的规律打初级定向钻孔。

生产实践证明，由地层结构而造成钻孔弯曲的主要因素：首先是岩层的软硬交错程度和地层倾角大小；其次是岩层的结构构造，如层理、片理、节理、裂隙、断层、以及破碎带、松散层、砂砾层、硬包裹体、溶洞等。这些地层结构构造造成的钻孔弯曲规律如下：

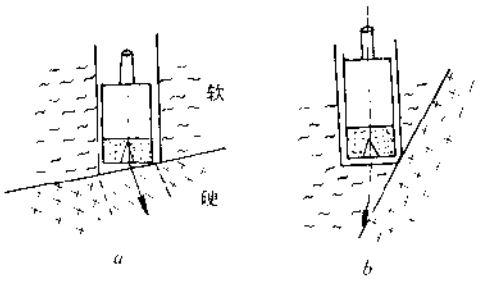


图 5-25　钻孔由软岩进入硬岩时弯曲情况

（1）钻具由软岩进入硬岩：如遇层角（钻孔中心线与其在岩层层面上的投影线之间小于90°的夹角）$\delta>30°$时，钻孔偏向与硬岩层层面相垂直的方向弯曲，俗称顶层进（图 5-25*a*）；当$\delta<15°\sim20°$时，钻孔则沿硬岩层层面弯曲，俗称顺层跑（图 5-25*b*）；在$\delta=20°\sim30°$之间，尚未发现钻孔弯曲规律。

当钻头由硬岩钻入软岩，钻孔一般向硬岩方向弯曲（图 5-26）。当硬软岩层接触面倾斜角越大时，表现得更为明显。

实践证明，地层层面软硬互层愈频繁，则其孔斜愈严重。并且弯曲时，不仅仅顶角发生变化，方位角也发生变化。这是因为钻头由硬岩进入软岩（或反之）时，在软硬岩层受到的阻力不同而促使钻孔方位角偏斜（图 5-27）。

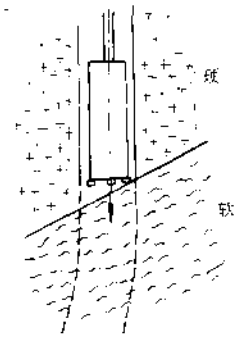


图 5-26　钻孔由硬岩进入软岩时弯曲情况

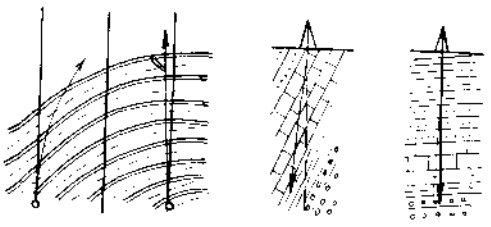


图 5-27　钻孔方位角的变化

（2）对有层理、片理、节理发育的岩层，当外力垂直其层面或平行其片理、节理作用时，它们表现的物理力学性质是不一致的，称为岩石的各向异性。一般来说，火成岩体岩

石的各向异性不明显，所以孔斜就小些。而层理发育的沉积岩如片岩和页岩等及变质岩类的片麻岩，其各向异性就比较突出，因而孔斜变化也较大。在各向异性的地层中钻进，钻孔通常朝垂直于层理面方向弯曲（图 5-27）。

（3）在松软地层、溶洞、老窿、暗河中钻进斜孔时，由于钻具的自重作用而使钻孔向下垂弯曲（图 5-28），钻直孔时未发现弯曲规律。在钻进砂砾层、断层、大裂隙、硬包裹体时，钻孔发生无规律的弯曲，一般是钻具沿着容易通过的方向延伸。

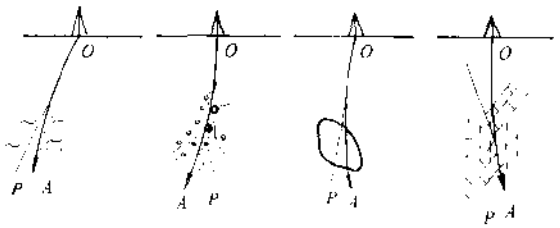


图 5-28　钻孔因钻具自重作用而向下垂弯曲

（4）坑道中的水平钻孔或向上斜孔，由于钻具往重力方向弯曲，因而钻孔一般是逐渐向上弯曲；在软岩及 20m 以内的水平孔，则向下弯曲。

5.3.3.2　施工技术方面的原因

施工技术方面的原因大都是人为的，是完全可以控制的。对钻孔弯曲有影响的，归纳起来有安装关、开孔关、钻具关和换径关。

（1）钻机安装不符合要求，很容易造成钻孔弯曲：如钻机安装不平、不稳、不准，特别是钻机立轴、天车不在一线等。

（2）开孔不正：工人师傅说："开孔是关键，上面不正、下面歪，上面差一厘、下面差一里"。具体原因是：开孔时钻机立轴角度不合施工设计要求，或立轴晃动太大；开孔钻具不直不正，粗径钻具未随孔加深及时加长；开孔时操作技术不当，钻进技术参数选择不合理，钻头不合要求；开孔后未及时下定向孔口管或下的不正不牢。

（3）钻具结构不合理与钻具质量差，是导致钻孔弯曲的重要原因之一：如钻杆直径与粗径钻具直径相差较大、致使钻杆在孔内受压弯曲后，给粗径钻具上端的偏斜力较大、造成钻孔弯曲；使用弯曲的钻杆与岩心管，或钻具连接后同心度差，钻具的稳定性差；岩心管壁薄、质量和刚度较差、易弯、易扁、易磨损致使导向性不良；钻具与孔壁间隙愈大，钻具的倾斜愈严重，则孔斜也最容易发生。

（4）换径时采用技术不当，在换径处钻孔极易弯曲：如换径钻进时未用导向钻具或导向钻具结构不合理；换径时孔底有残留岩心等。

5.3.3.3　工艺方面的原因

工艺方面是指钻进方法、钻进技术参数选择不当和操作技术不合理而造成钻孔弯曲。

（1）钢粒钻进产生的环状间隙大，钻孔极易弯曲；合金钻头因外出刃尺寸不准、也易造成孔斜；金刚石钻进，环状间隙小，钻孔弯曲较小。所以，钻进方法选用不合理会造成钻孔弯曲。

（2）盲目采用强力钻进规程，单纯追求进尺，往往会加剧孔斜。

（3）钻进操作技术不合理，如压力过大使钻杆极易弯曲；冲洗液量过大，容易扩大孔

壁；转速过高、会使钻具离心力增大，都能使钻孔弯曲。

（4）处理孔内事故时，易造成钻孔异常，导致钻孔弯曲。

5.3.4 钻孔弯曲的预防（防斜）

预防钻孔弯曲是保证钻探质量的重要前提，也是安全钻进和提高钻进效率的主要技术措施，因此，在钻探施工过程中采取“预防为主”的方针是非常重要的。

从钻孔弯曲的原因分析可知：引起钻孔弯曲的地质因素是客观存在并很难消除的，但是我们可以通过实践掌握它的规律，采取措施限制它的作用范围，或者利用它的自然弯曲规律来满足地质要求，达到防斜的目的。而技术工艺等因素造成的钻孔弯曲是人为的，采取措施得当是可以改变的。因此，我们必须根据本矿区的地层结构构造条件和钻孔弯曲情况，认真总结和科学分析研究本矿区的钻孔弯曲状态，找出哪些因素是主要的，哪些因素是次要的，哪些因素是相互制约的，哪些因素又是相互促进的，摸索出本矿区钻孔弯曲的规律性，以利于有针对性地采取防斜措施。常用防斜措施如下：

5.3.4.1 钻孔设计上采取的防斜措施

（1）根据本矿区的地层产状，设计的钻孔应尽量垂直于岩层层间接触面、层理面、构造面，或使其具有较大的遇层角。

（2）对于松散破碎地层、厚覆盖层、大裂隙和溶洞发育地层，尽量避免设计倾斜孔，最好是打垂直孔。

（3）由地质因素主导促使钻孔弯曲的矿区，在掌握了矿区内的不同岩层、不同孔径及不同孔段的自然弯曲规律资料的基础上，可以设计自然弯曲定向钻孔（初级定向钻孔）。

自然弯曲定向钻孔，是利用钻孔自然弯曲规律，用改变钻孔孔口设计位置、开孔方位角及顶角等方法，达到设计见矿目的。具体作法有下列几种。

① 方位角基本稳定，但顶角变化较大时，主要考虑顶角变化对钻孔的影响，常用的有沿线移孔法和变角法两种设计方案：

沿线移孔法（图 5-29）：不改变原设计的钻孔倾角（γ），仅沿勘探线方向移动孔口位置。作法是把矿区完工的钻孔，找出其自然弯曲规律，绘制成套钻孔自然弯曲标准曲线的透明图。在钻孔设计剖面图上覆上同型的透明图并沿勘探线平移，使标准曲线 O_1b_1 上的见矿点 b 与设计钻孔轴心线 O_1a_1 上的见矿点 a 相重合。此时曲线与地表的交点 O，即为移动后的孔口位置。开孔设计倾角仍为 γ 角，OO_1 为沿勘探线移动的孔口距离。

当地面移动孔位困难时，可不改变原设计孔口位置，用改变开孔倾角的方法，即变角法（图 5-30），使钻孔按自然弯曲规律弯曲，而达到地质设计的目的。作法是将岩层倾斜相近的不同开孔倾角的钻孔自然弯曲标准曲线透明图覆在钻孔设计剖面图上，看那一条曲线能与设计见矿点 a 相重合或最接近，则此曲线 Ob_2 所对应的倾角 γ_1，即为所求的开孔新倾角。

② 顶角变化小而方位角变化大时，应主要考虑方位角变化对钻孔的影响，可采用离线平移法和扭角法两种设计方案。

离线平移法（图 5-31）：是不改变原设计方位角，仅将孔位移离原勘探线。作法是在钻孔轴心线的水平投影图上，以原设计孔口位置 O_1 为起点，按方位角变化规律作出钻孔自然弯曲标准曲线 O_1b_1，其交矿层于 b 点，然后将 O_1b_1 平移离开原勘探线 O_1n，使 b 点与设计见矿点 a 重合，原孔位 O_1 移动到 O 点。O 点即移动后的孔口位置。

扭角法（图 5-32）：是不移动孔位，只改变开孔方位角。作法是把水平投影的钻孔弯曲标准曲线 Ob 的透明图覆在地质平面图上，使孔口位置 O 重合。以 O 为中心，扭转透明图，当曲线 Ob 与设计见矿点 a 相遇时，从 O 点引曲线 Ob_1 的切线 OA，OA 与勘探线 mn 成一夹角 α_1 即为新方位扭转角。原方位角加（或减）方位扭转角，即为新开孔方位角。

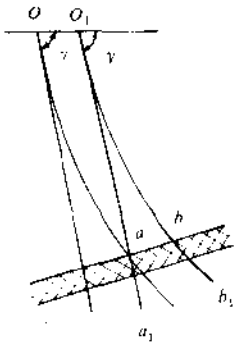


图 5-29　沿线移孔法示意图

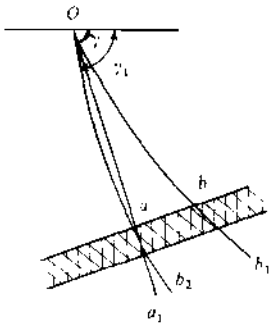


图 5-30　变角法示意图

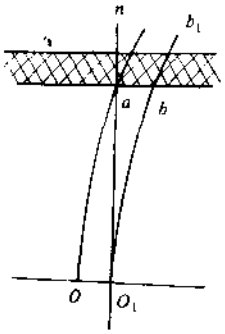


图 5-31　离线平移法示意图

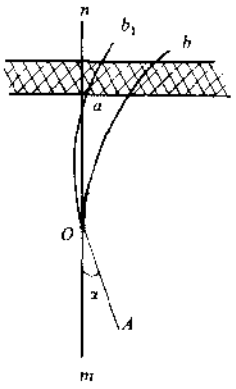


图 5-32　扭角法示意图

③ 顶角、方位角变化均大时，其设计方法是综合上述两种方案。

沿线移孔、扭角法：即用沿线移孔法克服顶角变化，用扭角法控制方位角变化。

离线移孔、变角法：即用离线移孔克服方位角变化，用变角法控制顶角变化。

原孔位变角、扭角法：即用变角法控制顶角变化，扭角法控制方位角变化。

例如某矿区钻探施工时，根据所完工的钻孔发现其顶角、方位角均为有规律的弯曲变化，于是采用原孔位变角、扭角法设计一基多孔自然弯曲定向钻孔，取得比较满意的效果。

图 5-33 所示是该矿施工一基多孔的典型实例：在该孔孔位上施工了三个钻孔 ZK75、ZK47、ZK97，三个孔的原设计方位角均为 80°，顶角分别为 65°、70°、75°。根据钻孔弯曲规律，用扭角法改变方位角为 65°，用变角法改变顶角分别为 69°、75°和 80°。施工后的见矿点与原设计见矿点很接近。

5.3.4.2　施工技术上的防斜措施

(1) 施工中要把好技术关：影响钻孔弯曲较大的几个技术关是：

① 抓好安装关：钻机安装必须准确、水平和稳固；天车、立轴和孔口中心三点必须成一直线；严格按设计要求检查立轴方向和角度，并在开孔过程中注意校正立轴的倾斜角和紧固螺母以防松脱。

② 抓好开孔关：开孔时用的钻具要直；粗径钻具应随钻孔加深而加长，直到正常长度；孔口管要下正下牢，其方位角和倾斜角要符合设计要求。

③ 抓好换径关：换径钻进时必须带导向钻具、连接要同心。导向管要适当长些，而换径钻具要短并随着换径钻孔加深逐步加长。换径后应及时测斜。

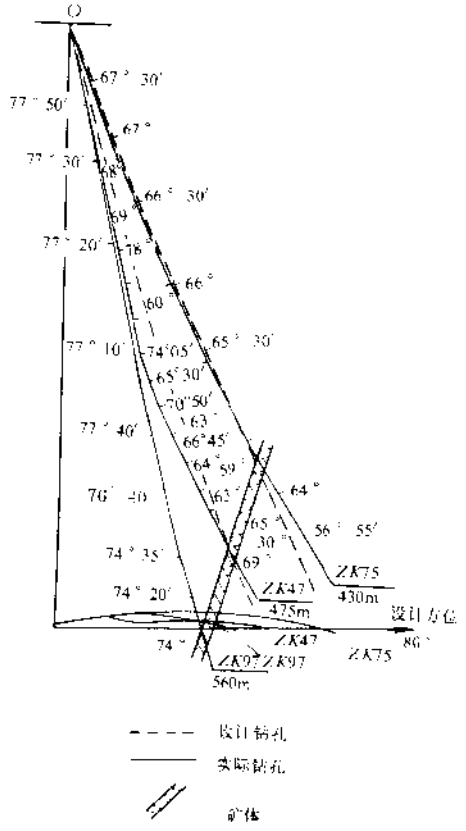


图 5-33 一基多孔自然弯曲定向钻孔

(2) 要提高钻具在运动状态下的稳定性。

① 按钻具规格级配组合钻具，减小钻杆与孔壁之间的环状间隙。

② 采用刚性好、强度高的钻杆和较长的粗径钻具。

③ 钻具应直而圆、不弯曲、不偏心、连接后要具有较高的同心度。岩心管与钻杆的直径不应相差太多，否则，如硬质合金钻或钢粒钻要保证粗径钻具有足够的长度和刚度。

④ 在易发生孔斜地层钻进时，应采用特殊稳定的满眼钻具或防斜组合钻具。

(3) 要合理选择钻进方法和钻进技术参数。

① 尽可能采用单动双管金刚石钻进，有条件时应用金刚石绳索取心钻进和冲击回转钻

进；金刚石钻头结构（唇面、粒度、胎体硬度）必须适应岩层的物理力学性质；在陡斜、易斜区钻进必须使用冲击回转钻具、锐利钻头或防斜金刚石钻头。

② 根据岩石性质、钻进方法和孔径，合理选择钻进技术参数；严格控制钻压，注意钻压、转数、冲洗液量三者与钻速的配合。

③ 在地层换层时，钻孔最容易弯曲。根据换层时钻孔弯曲的一般规律：在岩石由软变硬时，轴心压力要适当减轻，一般为正常钻进压力的 2/3，转数也应适当降低；当岩石由硬变软时，轴心压力也要减小到正常钻压的 1/3，并适当加长粗径钻具，控制回次进尺长度。

④ 在钻进松散地层或破碎带时：要加长粗径钻具；采用优质泥浆，并严格控制冲洗液量，以保护孔壁，使孔径不致冲大；同时采用较低的钻进技术参数。

5.3.5 钻孔弯曲的矫正（纠斜）

在施工过程中，虽然采取了预防钻孔弯曲措施，但由于产生钻孔弯曲的因素错综复杂，钻孔仍然会偏离原设计的方位角和倾斜角。如果发现孔斜很大时，则必须采取措施进行矫正，使钻孔弯曲保持在允许范围内。矫正前应精确测出钻孔弯曲深度及方位角和顶角的变化值，以便有针对性地采取有效的纠斜措施。现将常用的矫正方法介绍如下。

5.3.5.1 利用自然增斜或自然减斜矫正钻孔弯曲

这种方法的实质是采用合理的特殊钻具结构和组合、以及相应的钻进工艺来矫正钻孔顶角的偏斜。

（1）当发现钻孔顶角下垂时，可采用塔形钻具（图 5-34）矫正。这种钻具能扩大孔壁间隙，加剧钻孔上漂，矫正下垂效果显著。但在松软、破碎地层不宜使用。使用时，必须勤测斜，并进尺不要过多。

（2）当发现钻孔顶角上漂严重时，采用下列结构的钻具矫正：

① 长粗径加钻铤综合钻具（图 5-35）矫正：这种钻具的中下部连接钻铤，使粗径钻具的重心下移，有利于钻孔下垂、矫正钻孔上漂。

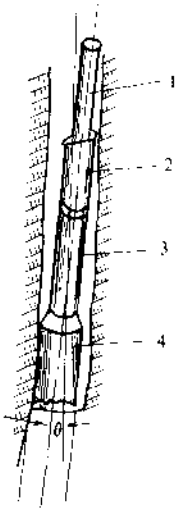


图 5-34 塔形钻具纠斜示意图

1—钻杆；2—取粉管；3—岩心管；4—大直径长钻头

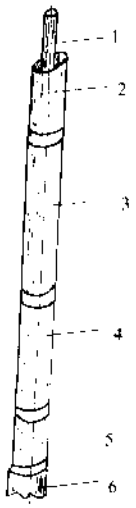


图 5-35 长粗径加钻铤综合钻具

1—钻杆；2—取粉管；3—长岩心管；4—钻铤；5—短岩心管；6—钻头

② 同径或异径减斜钻具（图 5-36）矫正：这种钻具的结构，由于上部支承接头的衬垫作用和下部钻具自重的原因，使钻具与原孔中心线形成一夹角，在钻头上造成一个矫正力，促使钻孔逐渐地下垂。

③ 带扶正器的钻具（图 5-37）矫正：因在粗径钻具上面加了扶正器，改变了粗径钻具上端的受力状态，使其上端抬起，导致钻头上产生一个向下矫正力，使钻孔逐渐下垂。

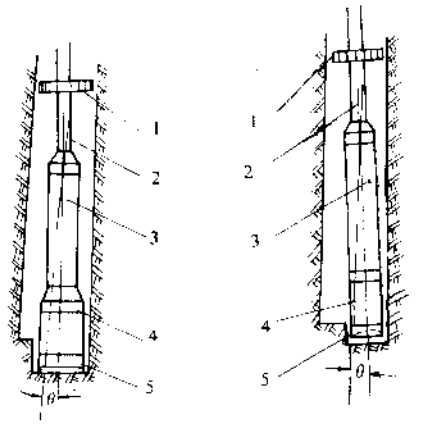


图 5-36　同径或异径减斜钻具纠斜示意图

1—支承接头；2—钻杆；3—灌铅管；4—岩心管；5—钻头

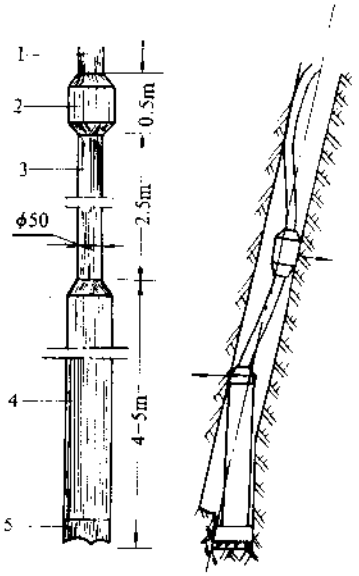


图 5-37　带扶正器钻具及其纠斜示意图

1—钻杆；2—扶正器；3—短钻杆；4—岩心管；5—钻头

5.3.5.2　几种纠斜的简易方法

（1）钻孔深度在 100m 以内发生方位角变化时，可采用垫高钻机的方法矫正，容易收到较好的效果。作法是方位右偏时，将钻机左方垫高；方位左偏时，则将钻机右方垫高。

（2）当钻孔方位的变化与钻具的转向有关时，可改变钻具的回转方向，即采用反向回转钻进或反正转交替钻进，以控制钻孔方位的变化，达到矫正钻孔方位的目的。采用此法时，必须配备反、正丝两套钻具，及钻机具备反转性能。

（3）回填孔斜段孔身纠斜的作法是将孔斜段孔身灌注水泥，待凝固后，选取较直的孔段，用长、粗、重的粗径钻具，以及无内出刃的合金钻头钻进 0.5m 左右，使形成的新孔有半边岩心起导向作用。再继续轻压慢转钻进，以达到纠斜目的，并要在钻进 5、10、15m 后及时测斜。此法用于中硬岩石纠斜，效果较好。

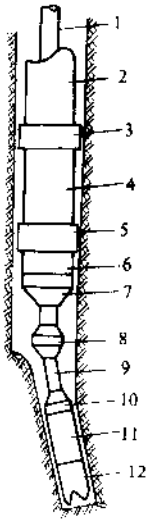
（4）扩孔纠斜法是用大一级钻头加长岩心管，从较直的换径前孔段向下扩孔，将偏斜的孔段通过扩壁纠正。此法简单，一般用于浅孔或中硬岩层，但效果有时不甚理想。

5.3.5.3　钻孔治斜器纠斜

（1）采用球形万向节变向治斜器（图 5-38）纠斜。其原理是利用上部的粗径钻具将下部的小径短钻具上端抬起，由于重力作用，小径钻具下端自动下垂，在球形万向节的帮助下，使钻具沿所需要的方向前进，而达到纠斜的目的。

（2）悬锤式治斜器（图 5-39）纠斜。其原理是用导正管保证钻进时万向接头能稳定地处于钻孔轴心线。由于锥形加重管的重力作用，迫使钻头改变前进的方向，以达到纠斜的目的。

（3）LZ 型连续造斜器（图 5-40）纠斜：它在自由状态时，主动轴和被动轴分开。造斜器下到纠斜处，向主动轴施加轴压时，主动轴进入花键轴套连接被动轴，同时滑块被推出，滚子压向孔壁，产生一个对孔壁较大的侧压力，使钻头向滑块移动的反方向偏移，并按预定方向钻进。侧压力使滑块滚子不产生径向角位移，而又能沿钻孔轴心线方向向下滑行。这种造斜器可用于孔底或钻孔中部（需用固结材料建造人工孔底）纠斜或造斜，但只适用于中硬和坚硬的较完整地层。



1—钻　杆；
2—取粉管；
3—取粉管接头；
4—短岩心管；
5—异径接头；
6—短岩心管；
7—异径接头；
8—万向节；
9—短钻杆；
10—异径接头；
11—岩心管；
12—钻　头

图 5-38　球式方向节变向治斜器

5.3.5.4　偏心导斜楔纠斜

当发现钻孔方位角和顶角均变化较大时，可采用偏心导斜楔矫正。偏心导斜楔种类很多，但不论何种结构，其共同特点是都有一个导斜槽（图 5-41*a*）。导斜楔按设计要求在孔内固定后（图 5-41*b*），就可用导斜钻具沿导斜楔的导斜槽方向钻出新孔（图 5-41*c*），以达到纠斜或造斜的目的。此外，用导斜楔还可补取岩矿心，或绕过事故钻具钻进，以及定向钻进等。

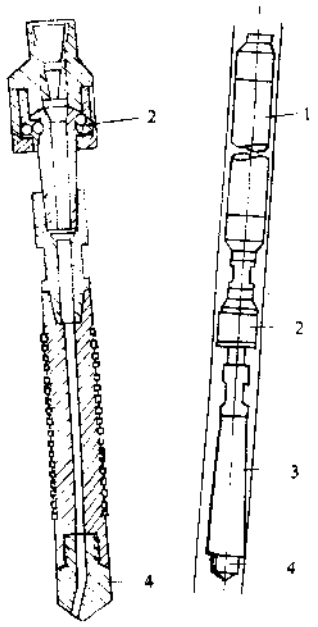


图 5-39　悬锤式治斜器

1—导正管；2—万向接头；
3—锥形加重管；4—锥形钻头

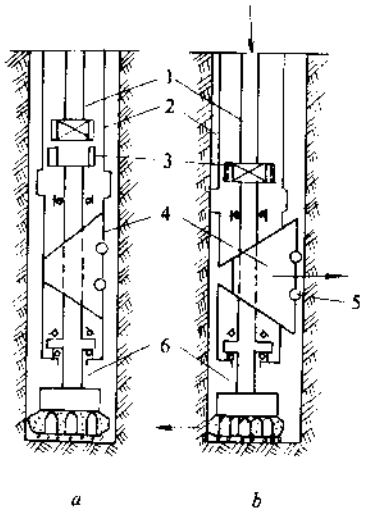


图 5-40　LZ 型连续造斜器

1—主动轴；2—外壳；3—花键轴套；4—滑块；
5—滚子；6—被动轴

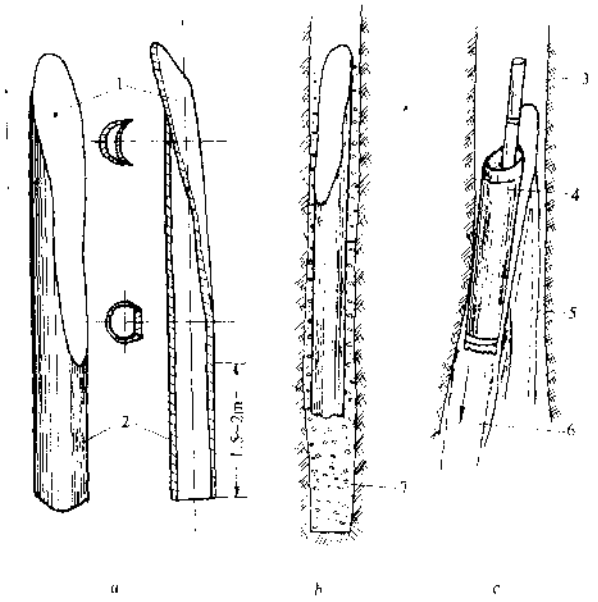


图 5-41　利用偏心导斜楔纠斜示意图

1—导斜槽；2—完整管体；3—原孔；4—导斜钻具；5—异斜楔；6—新孔；7—水泥

5.3.6　定向钻进（造斜）

定向钻进是在一定地质技术条件下，采用人工导斜工具或利用钻孔自然弯曲规律，使钻孔沿着预定设计的方向和倾斜角弯曲，以达到地质勘探及其它工程目的的一种钻进方法。



图 5-42　定向钻孔

a—单向定向孔；*b*—分枝定向孔

近年来，定向钻进，尤其是金刚石受控定向钻探技术取得了较大的进展。它广泛应用于补取岩矿心、纠斜、绕过孔内事故钻具钻进；利用自然弯曲规律施工初级定向钻孔；在施工地点受高山、陡坡、建筑物或水域等条件限制，以及倾斜角很大的矿体，都可采用人工弯曲施工定向钻孔；为各种工程技术目的要求钻至地下指定位置的钻孔，如钻至矿井内供通风、灭火及敷设电缆等用途的钻孔；在某些矿床采取工业试验大样而施工的定向组合钻孔等。

定向钻孔分为单基定向孔（图 5-42*a*）和分枝定向孔（图 5-42*b*）两种，前者只有主干孔而无分枝的定向钻孔；后者既有主干孔又有分枝的定向钻孔。

5.3.6.1　定向钻孔的孔身轨迹

在定向钻进中，地质设计给出的见矿点，叫做靶点。给出的沿勘探线和垂直于勘探线允许偏离见矿点界限，即两条垂直于勘探线和两

条平行于勘探线的直线所围成的图形，叫做靶区。靶区的形状和尺寸，由地质上根据具体矿种的勘探类型和储量级别给出。一般靶区的形状是与勘探网形状一致的矩形和正方形，也可以是圆形或椭圆形。靶区的尺寸，常是按占勘探网尺寸的20%左右给出。

同样形状尺寸的靶区，在空间可有不同的布置方式。通常，靶区应布置在通过靶点并与矿体产状一致的平面上，即靶区是空间的一个固定平面图形，可用空间直角坐标系来确定地质设计的靶点和靶区在坐标系中的位置。靶区的尺寸、形状及其在空间位置一旦确定，它就成为定向钻孔孔身轨迹设计和施工的依据，也是最后评价定向钻孔质量的主要依据。

为了使定向钻孔穿过靶点或在给定的靶区范围内，分枝定向钻孔的孔身轨迹有平面弯曲型和空间弯曲型两种。平面弯曲型是指孔身在垂直平面内弯曲，孔身轨迹只有顶角变化、而方位角无变化或变化很小（$\Delta\alpha=7°-10°$）的定向钻孔。空间弯曲型是指孔身在空间任意倾斜平面内弯曲，孔身轨迹既有顶角变化又有方位角变化。我国目前广泛采用平面弯曲型；对于空间弯曲型，如无特殊需要，一般应尽量避免采用，因其施工较困难，技术要求也较高。

无论是平面弯曲型或空间弯曲型的定向钻孔，其孔身轴心线的实际轨迹，大多为一条空间曲线。曲线剖面型式有多种多样，但基本型式无外乎直线和圆弧曲线两种，其它型式都是两者的不同结合。其中较典型常见的孔身轨迹剖面型式有：曲线型；直线-曲线 直线型；直线-曲线-曲线型三种（图5-43）。当靶区和靶点坐标给定，上述三种轨迹设计是可以用不同方法计算的，但目前还无统一公式。

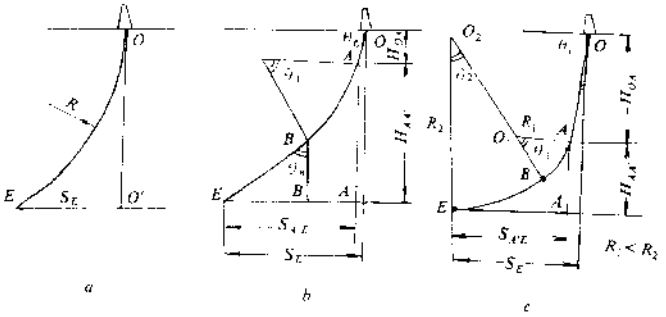


图5-43 定向钻孔孔身轨迹典型剖面型式

a—曲线型；*b*—直线-曲线-直线型；*c*—直线-曲线 曲线型

5.3.6.2 造斜器具及其造斜强度

为了按设计要求打出分枝定向钻孔，必须使用造斜器具造斜钻进，目前常用的造斜器具有三种。

(1)偏心导斜楔：属于一次性造斜工具，常用的楔顶角1°～5°，对中硬以上的岩层造斜，楔顶角不宜大于3°。用多个导斜楔造斜时，楔子间的距离应大于10m。以3°的楔子为标准，人工造斜段的平均弯曲强度 $i\leqslant 0.3°/m$。

(2) LZ型连续造斜器：造斜强度一般为 $i=0.3°\sim 1.5°/m$。在实际造斜施工中，这种器具并不常用于长孔段的直接连续造斜，因为那会使累计造斜角度太大，不利于安全钻进。实践中，它常被用于与普通钻具交替钻进，以完成造斜任务。对这种器具的 i 值确定，应从

钻具起下的顺利程度和钻杆工作的安全性等方面考虑，常控制在 $i=0.4°/m$。

（3）螺杆钻：实质上是一种容积式孔底马达，螺杆马达是由两个带有螺旋表面的零件——转子和定子所组成。我国生产使用的 YL 系列螺杆钻的技术规格见表 5-4。

表 5-4　YL 系列螺杆钻技术规格

钻具型号	钻具外径 (mm)	配用钻头直径 (mm)	波齿数比 i	泵排量 L/min	工作压力差 (MPa)	钻头转速范围 (r/min)	工作扭距 (N·m)	功率范围 (kW)	钻具长度 (m)	钻具质量 (kg)	最高效率 (%)
YL-54	54	59.5～75	5/6	150	3.14	440	98.0	4.5	2.40	25	57
YL-62	62	75～94	5/6	210	3.14	425	14.9	6.6	2.65	40	60
YL-85	85	94～118	5/6	300～420	3.14	235～330	392	9.6～13.5	3.40	120	61
YL-100	100	118～152	5/6	450～600	3.14	220～290	667	15.3～20.2	3.60	180	62
YL-127	127	152～200	5/6	750～900	3.14	184～220	1304	25～30.1	4.50	310	65

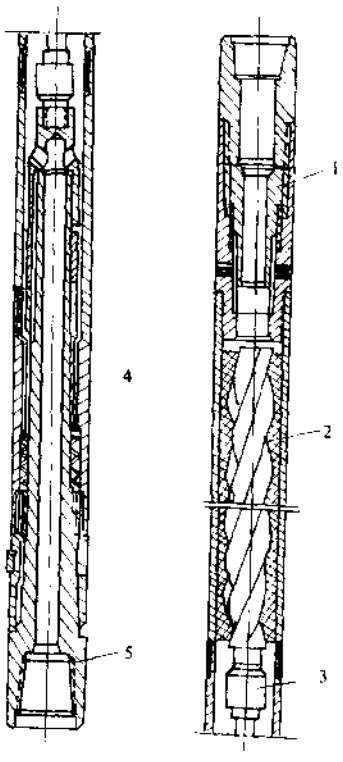


图 5-44　YL-54 螺杆钻结构示意图
1—旁通阀；2—螺杆马达；3—万向联轴节；4—轴承总成；5—传动轴

YL-54 螺杆钻（图 5-44）是液动的，它是把冲洗液的液体压力能转换为机械能的能量转换装置。当螺杆马达转动时，通过传动轴带动造斜钻头转动。造斜时采用的钻具组合是：高压胶管、水接头、主动钻杆、钻杆柱、定向弯接头、螺杆钻和造斜钻头。造斜强度 $i=0.1°\sim0.3°/m$。由于它的造斜强度小，能保证钻具的起下钻顺利通过，以及钻杆的工作安全性，故可用于直接完成全部人工造斜段的造斜工作。

5.3.6.3　造斜器顶角和安装角的确定

用造斜器进行定向造斜钻进的基本问题是控制钻孔的顶角和方位角，因此必须按设计要求确定造斜器的顶角和安装角。造斜器顶角、安装角与定向造斜孔的关系是：

（1）在垂直钻孔中造斜（图 5-45）。设 A 为水平面，B 为造斜器安装孔段（主孔）轴线 Om 与造斜孔轴线 On 所构成的平面，即造斜孔所在的平面。因 Om 垂直平面 A，故 A、B 两平面互相垂直。主孔 Om 与造斜孔 On 之夹角 γ，即造斜孔的顶角 θ_1，也就是造斜器顶角 γ。在垂直钻孔中不存在造斜器安装角，只有造斜器的安装方位。A、B 两平面交线 ab，其 ba 方向即造斜孔方位，也就是造斜器的安装方位。

（2）在斜孔中造斜。设 A 为水平面，B 为通过主孔轴线 Om 和 O 点至 A 平面的垂线 OO'

之平面（主孔倾斜平面）。A、B 两平面互相垂直。C 为通过相交于 O 点的主孔轴线 Om 与造斜孔轴线 On 所构成的平面。OO' 为垂直线，与主孔轴线之夹角为 $\angle O'Om$，即主孔顶角 θ_0，OO' 与造斜孔轴线之夹角 $\angle O'On$，即造斜孔的顶角 θ_1，主孔轴线与造斜孔轴线之夹角 $\angle mOn$，即造斜器的顶角 γ。线 $O'm$ 方向即主孔的倾斜方位，线 $O'n$ 方向即造斜孔的方位，两线的夹角 $\angle mO'n$，即造斜孔的方位增值 $\Delta\alpha$。线 mn 方向是造斜器的安装方位，B 平面与 C 平面之夹角为造斜器的安装角 β。在 θ 与 γ 都不大时，可近似地视 mn 方向与 $O'm$ 方向的夹角为安装角 β。

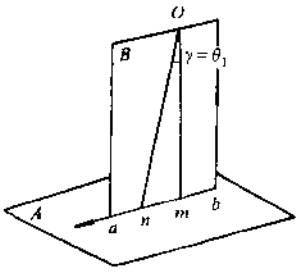


图 5-45　垂直孔中定向造斜

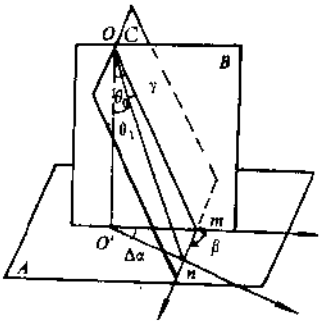


图 5-46　斜孔中定向造斜

造斜器顶角 γ 和安装角 β 的理论确定方法有计算法、作图法、工具计算法与查表法等。实践证明，用理论方法确定的数值不能直接应用，尚须根据具体情况与掌握的规律进行校正。否则，将会产生造出的新孔顶角和方位角与设计相差太大，甚至造成定向钻进的失败。现介绍造斜器顶角 γ 和安装角 β 的一种常用计算公式和作图方法。

① 计算公式

$$\gamma = \cos^{-1}(\cos\theta_0\cos\theta_1 + \sin\theta_0\sin\theta_1\cos\Delta\alpha)$$

$$\beta = 180^\circ - \mathrm{ctg}^{-1}\frac{\mathrm{ctg}\theta_1\sin\theta_0 - \cos\theta_0\cos\Delta\alpha}{\sin\Delta\alpha}$$

式中　θ_0——主孔顶角；

θ_1——造斜孔顶角；

$\Delta\alpha$——造斜孔方位角增值。

② 作图方法

这是把空间的球面角度关系近似地用平面上的直线与角度关系表示出来，使用比较方便。如图 5-47 所示，画线 ON 代表主孔方向线，以 O 为圆心，以 $\Delta\alpha$ 为夹角画线 OP 为造斜孔方向线；分别在 ON 与 OP 线上截取 OA 与 OC，以单位长度代表度数（如 1cm=2°），使 $OA=\theta_0$、$OC=\theta_1$；连接 AC，量 AC 线段长度折算出造斜器顶角 γ 的度数，量 $\angle NAC$ 角即造斜器的安装角 β。

例：设某孔在预计造斜处测得主孔顶角 $\theta_0=10°$、方位角 $\alpha_0=335°$，设计定向分枝造斜孔顶角 $\theta_1=10°30'$、方位角 $\alpha_1=357°$，求造斜器的顶角 γ 和安装角 β？

解：用计算公式求，将数据代入公式得：

$$\gamma = \cos^{-1}(\cos10°\cos10°30' + \sin10°\sin10°30'\cos22°) = 3°56' \approx 4°$$

$$\beta = 180^\circ - \operatorname{ctg}^{-1}\frac{\operatorname{ctg}10°30'\sin10° - \cos10°\cos22°}{\sin22°} = 180^\circ - 86°22' = 93°38'$$

用作图求，如图 5-48 所示，从 o 点画 oN 代表主孔方向线（$\alpha_0=335°$），以 o 点为中心、用 $\Delta\alpha=357°-335°=22°$ 为夹角画线 OP 代表定向分枝造斜孔方向线（$\alpha_1=357°$），分别按 1cm＝2°截取 $OA=\theta_0$、$OC=\theta_1$，连接 AC。量 $AC=2$cm，则造斜器顶角 $\gamma=4°$；再量$\angle NAC=93°40'$，即造斜器安装角 $\beta=93°40'$。

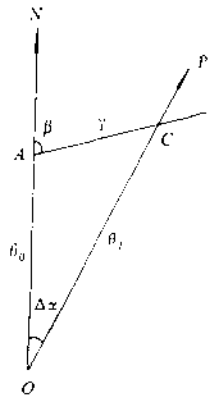


图 5-47　求造斜器顶角及安装角的作图法

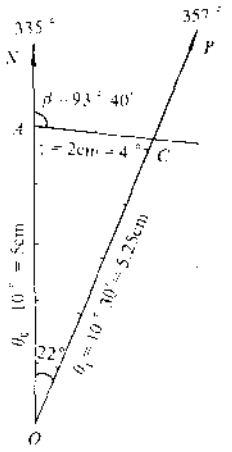


图 5-48　作图法实例

5.3.6.4　定向方法

施工分枝定向钻孔，必须保证造斜器按确定的安装角度下到造斜孔段处并固定之，否则将达不到造斜的目的。

按确定的安装角将造斜器定向下入孔内的方法很多。过去常用钻杆或套管连接造斜器从地面定向下入孔内的地面定向法，现已很少使用。将定向仪器或工具下入孔内对造斜器进行定向的孔下定向法应用最广泛。孔下定向法分间接定向方法和直接定向方法两种。

(1) 孔下间接定向方法：使用时应先测量钻孔造斜部位的准确孔斜参数（孔深、方位角和顶角），才能按确定的安装角把造斜器的楔面定到预定的设计方位。定向仪或工具不能提供钻孔的孔斜参数，所以当造斜孔已经钻进 4～6m 后，便应测斜，经过测斜认为新孔符合设计要求再继续钻进。现介绍几种常用的孔下间接定向方法：

① 偏重定向：它是利用重量较大的偏心重锤（管）在倾斜的钻孔中必然处于钻孔下侧的原理，配合造斜器定向造斜。如 ϕ45 水压定位内偏重定向器（图 5-49），就是利用内偏重水压活塞传导，开泵送水推动螺旋斜体作旋转运动，从而带动下部造斜器一起扭转到预先调好的面向位置，达到定向定位目的。

② 摆锤定向：利用摆锤自重下垂电感报讯定向。如 BD-14 摆锤式定向仪（图 5-50），在斜孔中，摆锤因自重，其球形触点必倒向下帮位置。此时若顺时针回转钻杆一周，摆锤球形触点与两导电片相对位置的变动情况，可从地表仪器微安表指针显示。其中“短零”显示只占钻杆回转一周的 3°圆周角，把它定为仪器的定向位置。这样，在地面通过微安表指针的不同指示，很容易寻找和判断定向位置。此种定向仪定向快、可靠，适用于顶角 3°以上斜孔各种造斜器具的定向，定向精度±7°。

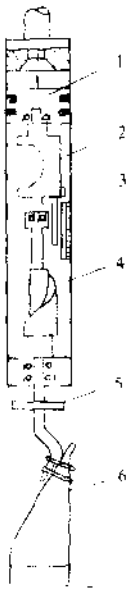


图 5-49　内偏重定向器

1—活塞；2—偏重；3—外壳；4—螺旋斜体；5—刻度盘；6—造斜器

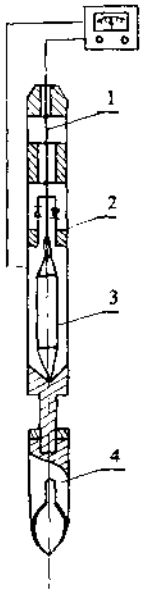


图 5-50　BD-14 摆锤式定向仪

1—导线；2—导电片；3—摆锤；4—斜口引鞋

③ 钢球定向：利用钢球在倾斜的容器内必然滚向容器底板最低处的原理实现造斜器具的定向。钢球到达定向位置的报讯，采用电（导通）和液压（增大或减小）两种显示法。

④ 探棒定向：利用悬挂的探棒在倾斜的钻孔中必然处于钻孔下帮的原理实现造斜器具的定向。探棒到达定向位置时，采用电（导通）和声光显示报讯。

（2）地下直接定向方法：直接定向仪器除可直接确定造斜器具的面向外，还可直接测量钻孔孔斜参数。

① KDJ-1 型磁性定向仪（图 5-51）：仪器内有两个罗盘测斜仪，上罗盘测斜仪垂直框架不固定，可测钻孔顶角和方位角；下罗盘测斜仪垂直框架用螺钉与外壳固定，其零点读数线取为仪器定向母线，测斜仪磁北方向可读出与仪器定向母线的夹角，从而可测出造斜器的安装角，将造斜器面向扭到预定位置上。

② 陀螺测斜仪配合螺杆钻定向造斜（图 5-52）：作法是将钻杆、定向斜口管、定向弯接头、螺杆钻和金刚石钻头下到预定造斜部位。通过电缆绞车将陀螺测斜仪和定向仪探管从钻具内下到定向斜口管。利用陀螺仪定轴性确定的基准方向，测量定向斜口管与基准方向之间的夹角，便知定向弯接头和螺杆钻的方向。从孔口扭动钻具，直到地面仪表显示到所设计造斜定向方位为止。最后固定好钻具，提出陀螺测斜仪和定向仪探管，开动水泵利用冲洗液转动螺杆钻及钻头进行定向造斜。

5.3.6.5　定向钻孔的应用效益

近年来，定向钻孔技术的应用，在我国已取得明显的经济效益：它可以减少搬迁、装拆钻探设备的时间，缩减钻探工作量，加快勘探速度，节省投资额，特别是在勘探倾角很陡的矿体或建筑物下的钻孔更有实际效益。

[例 1] 贵州某矿区 ZK05 和 ZK27 两孔相距 72m，勘探线方位角 220°，矿层近似水平，岩层可钻性Ⅴ～Ⅵ级。由于 ZK27 孔（孔深 490m）布置在农民住房区，需拆民房才能在原孔位施工，现改在 ZK05（垂直孔 491m）孔深 200m 处（方位角 106°、顶角 1.5°）施工，分枝定向钻孔 ZK27（图 5-53），不拆民房见矿，达到地质要求。

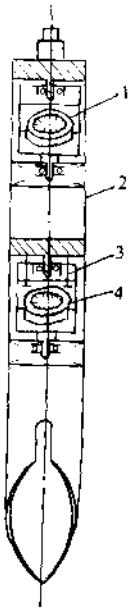


图 5-51 KDJ-1 型磁性定向仪
1—上罗盘测斜仪；2—外壳；3—固定螺钉；
4—下罗盘测斜仪

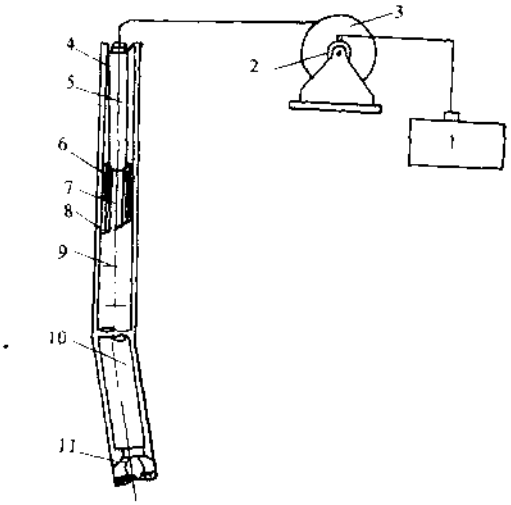


图 5-52 陀螺仪直接定向造斜示意图
1—地面仪表；2—陀螺仪三相接口；3—电缆绞车；
4—套管；5—陀螺测斜仪；6—定向仪探管；
7—钻杆；8—定向斜口管；9—定向弯接头；
10—螺杆钻；11—金刚石钻头

该孔拟定的施工设计工艺为：

① 在主孔 ZK05 孔深 200m 处，用 KDJ-1 型定向仪定向下入固定偏心导斜楔（楔顶角 1.5°、安装角 141°），将钻孔方位角扭到 213°，用 ϕ76 不取心金刚石钻头造斜钻进到 220m 孔深。

② 造斜段设计为 0.3/m 造斜强度的曲线段，采用 LZ-76 连续造斜器造斜，BD-14 摆锤式定向仪定向，用金刚石钻头钻进到 270m。

③ 直线段用普通稳斜钻具钻至靶区（孔深 492m、顶角 18.2°、方位角 216°）。

实际施工效果是：

① 分枝点 220m 处未下楔时的顶角为 1.5°、方位角 106°，下楔后孔深 220m 处顶角 3.83°（设计 5°），方位角 213°与设计相同，说明定向仪定向准确。

② 原设计造斜段结束，到达 270m 孔深时的顶角为 18.2°、方位角为 216°；实际顶角为 17.2°、方位角为 215°，都仅差 1°。设计和实际的造斜强度都是 0.3°/m，用摆锤定向仪配合连续造斜器在造斜段的造斜强度和方位的控制精度较高。

③ 设计中靶顶角与实际中靶顶角 17.33°仅差 0.87°，实际中靶点偏离原设计靶点的沿

线距为 2.34m（地质允许为±20m），偏线距为 1.07m（地质允许为±8m），中靶精度高。

④ 该孔由于节约进尺 188.5m，加上节约民房拆迁和重建安家费等，节省大批费用，并缩短了钻探时间。

[例 2] 安徽某铜矿床，矿体埋藏深 800m 左右，勘探需 50×50m 网度控制矿体变化。矿区内地表建筑物密集、高压线纵横交错，钻探施工困难，决定采用定向钻孔进行勘探。其中某一组定向分枝钻孔：主干孔 ZK-512 为直斜孔，分枝孔除 ZK-514 孔为垂直平面弯曲型外，其余三个孔为空间倾斜平面弯曲型，钻孔轴心线立体示意图见图 5-54 所示。

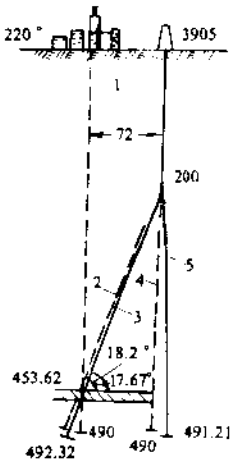


图 5-53 分枝定向钻孔 ZK27 垂直投影轨迹

1—原设计钻孔；2—分支孔设计轨迹；3—分枝孔实际轨迹；4—主孔设计轨迹；5—主孔实际轨迹

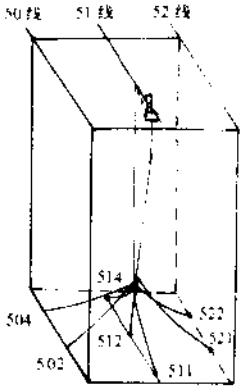


图 5-54 钻孔轴心线立体示意图

先施工主干孔 ZK512，孔径 φ91mm 至孔深 409.83m，下入 φ89 和 φ73mm 双层套管，换径后稳斜钻进用 φ59 绳索取心钻进至终孔 823.10m。在主孔架桥施工分枝定向钻孔，但 ZK502 孔是在 ZK504 孔中分枝。分枝定向钻孔造斜钻进用 φ59mm，造斜数据情况见表 5-5。采用 JTL-50 型陀螺测斜仪及定向接头、定向斜口管定向，造斜器具为 YL-55D 型和 YL-54 型螺杆钻及弯外管、弯接头。稳斜段除 ZK522 孔用绳索取心钻进外，其余用普通金刚石钻至终孔 823.10～853.65m。

表 5-5 定向钻孔造斜情况

孔号	造斜孔深 (m)	顶角 (β°)	方位角(α°)	造斜进尺 (m)	造斜方式	造斜强度 (°/m)	备注
ZK514	510.08～537.84	4.79～13.23	317.37～333	22.07	1.5°～2°弯接头、1°弯外管	0.387	
ZK522	510.00～540.45	4.79～13.92	317.38～153.6	29.01	1.5°弯接头、0.75°～1°弯外管	0.461	
ZK504	525.00～536.77	8.56～13.23	283.62～288.3	11.71	0.75°弯外管	0.39	包括稳斜段 1.41m
ZK502	652.03～669.97	7.68～8.08	288.17～233.8	17.94	1°弯外管	0.31	包括稳斜段 4.84m

受控定向钻孔所取得的效益：

(1) 钻孔均在预计层位见到主矿体，各孔偏离设计靶点 1.35～7.17m (图 5-55)，中靶精度较高。

(2) 各孔岩心采取率为 82～92%，矿心采取率 86～99%，其它指标均符合规程要求，五个钻孔全部评为优质孔。

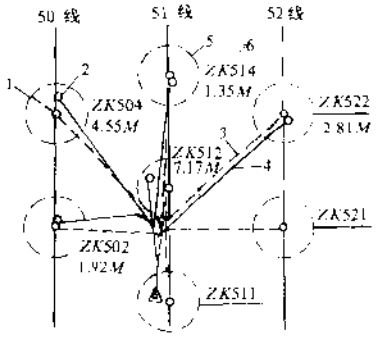


图 5-55 钻孔中靶情况平面图

1—设计靶点；2—实际靶点；3—设计钻孔轨迹；4—实际钻孔轨迹；5—设计靶区；6—孔号及靶点偏距

(3) 五个钻孔实际工作量 2230.19m 比用常规钻孔所需的工作量节约 2030m，节省时间 36%，节约费用 21 万余元（不包括节约的平整地基、安装搬迁、青苗赔偿、建筑物和高压线拆迁等费用）。

5.4 孔深误差及其校正

为了准确确定矿层所在的位置，钻孔孔深记录必须与实际孔深相符合。否则，会使矿层埋藏深度、产状和形态的判断发生错误，从而降低地质资料的精确度和质量，使矿床开采设计及施工受到严重影响。同时，钻孔深度出现了误差，也会给钻探施工带来困难和麻烦，如下套管、处理孔内事故等都会随之复杂化。因此，钻探工程把孔深误差列为质量指标之一，按钻探规程要求，孔深最大允许误差不得超过千分之一。

5.4.1 孔深误差的产生和防止

5.4.1.1 孔深误差

钻探记录本上记载的孔深是累计孔深 (H_1)，即上回次钻进后的累积记录孔深 (H_0) 加本回次进尺数 (M_n) 之和。回次进尺数是回次钻进前钻头扫孔到底时的机上余尺 (h_1) 减去回次终了提钻前钻头在孔底时的机上余尺 (h_2) 之差。机上余尺是指从钻机某一固定位置（丈量机上余尺时的基点）之上的机上钻杆长度。其计算公式为：

$$H_1 = H_0 - M_n \quad (\mathrm{m})$$

$$H_0 = M_1 + M_2 + M_3 + \cdots\cdots + M_{n-1} \quad (\mathrm{m})$$

$$M_n = h_1 - h_2 \quad (\mathrm{m})$$

钻孔实际孔深 (H_2) 是通过准确丈量每根钻杆及下入孔内到底的全部钻具长度 (L) 减去钻具到底时的机上余尺 (h_3) 和钻机某一固定位置至地面的距离、俗称机高 (h_4)，其计算公式为：

$$H_2 = L - (h_3 + h_4) \quad (\mathrm{m})$$

实际丈量出的钻孔深度 H_2 与记录上累计孔深 H_1 的差值，叫做孔深误差 (ΔH)。即

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (\mathrm{m})$$

习惯上以记录累计孔深为标准：$H_2 > H_1$ 时，ΔH 为正值称为盈尺；$H_2 < H_1$ 时，ΔH 为负值，称为亏尺。

无论是盈尺还是亏尺都属于孔深误差，其产生原因是：加减钻杆和更换粗径钻具时，丈量不准或取有效数字以及四舍五入的累计误差；机上余尺丈量不准确的误差；忽视钻头的

磨耗或使用弯曲的钻杆而产生的误差；钻具连接时部分丝扣没有拧紧产生的误差；使用不同量具或量具不精确造成的误差。

5.4.1.2 孔深误差的防止措施

为了防止或减少孔深误差，应采取以下几点措施：

（1）在丈量钻具时，一定要使用钢卷尺并拉紧测量，读数要准确，掌握好“四舍五入”，最小数值要精确到5mm。

（2）加减钻杆时，应认真丈量，正确计数。

（3）量机上钻杆用的木尺或铁尺必须保持两端平齐、刻度准确和清楚，并注意经常校正。在丈量机上余尺时应停止立轴回转，基点必须一致，并要丈量准确，读数正确，记录无误。

（4）丈量钻具全长时，钻杆的每根长度必须量准，记录和计算要避免差错，最好经过两次验证。钻杆连接时必须上满丝扣。

（5）遇到下列情况，须丈量钻具全长，验正孔深：

① 正常钻进50～100m时，应当测量一次钻孔的深度；绳索取心钻进因提钻长度不等，可参照上述要求灵活及时验证孔深。

② 钻到主要矿层前后（矿层厚度小于5m时只需测量一次）时，必须测量钻具全长，并校正孔深。

③ 经地质编录人员确认的重要构造位置及划分地质时代的层位，应及时验正孔深。

④ 测斜、换径、下套管前和终孔后，必须验证孔深。

5.4.2 孔深误差的校正

孔深误差率在允许范围以内，原始记录本上的记录孔深不作改正，但应在下次记录中裁补找平；如果孔深误差率超过允许范围应以实测孔深为准，校正原始记录，将其平差消除。

孔深误差率（E）用下式计算：

$$E = \left| \frac{\Delta H}{H_2 - H_3} \right| \times 1000‰$$

式中 H_3——上一次验证钻孔的实际深度（m）。

孔深误差的校正方法有系统平差法和回次平差法两种。

5.4.2.1 系统平差法

孔深误差ΔH的出现，是由于验证孔段每米进尺误差的积累而成，因此就应把误差ΔH平均校正在每米进尺上。每米进尺的平差率（K）用下式计算：

$$K = \frac{\Delta H}{H_1 - H_3} = \frac{H_2 - H_1}{H_1 - H_3}$$

实践证明，系统平差计算烦琐，对机台的原始记录数据改动太大，而且不便于将来查对。因此，在实际工作中，机台记录常用回次消差法；但地质编录人员，为了计算换层深度、钻孔弯曲作图、钻孔柱状图，仍需用系统平差法整理孔深数据，校正每回次进尺和孔深。

5.4.2.2 回次消差法

即在验证孔深时的回次上一次消差。这样不需要每个回次都进行平差，更不用改动原

来每回次的进尺、孔深、岩矿心采取率等数据。但在作钻孔弯曲图、钻孔柱状图、计算换层深度和整理其它钻孔资料时，都要把这个孔深误差考虑进去，可以用下式计算所需 H_3 至 H_2 一段钻孔任意一点 H_i 校正后的钻孔实际深度（H_2'）：

$$H_2' = H_i + K(H_i - H_3)$$

5.5 钻孔简易水文观测

根据矿区水文地质工作的实际需要，利用钻孔进行简易水文观测，是取得水文地质资料最简单、最经济而又有实效的重要手段。因此，简易水文观测列为钻探质量指标之一。

钻孔简易水文观测的目的是：了解矿区含水层和相对隔水层的位置和厚度；掌握矿区含水层的数目、水位、富水性、分布规律以及含水层对矿体开采的影响等。它可作为专门水文钻孔的补充资料，并为矿产资源的评价和利用提供必要的水文地质情况。

简易水文观测的项目一般包括：钻孔中水位的变化；钻孔中冲洗液的消耗量；钻孔中涌水位置、水头高度及涌水量；记录钻孔漏水位置和冲洗液突然漏失量以及钻孔遇溶洞钻具突然下降的起止孔深等；钻孔水温出现过热或过冷变化时应测量水温；若遇到大的含水层或大的构造破碎带、对水文地质有重大意义时，应进行某些水文地质工作，如简单抽水或注水试验、止水、取水样、取岩样等，这些特殊工作可按专门水文地质工作任务完成。

5.5.1 钻孔水位的测量

钻孔水位是指钻孔内的冲洗液面（水面）与孔口某一固定位置的距离，也叫水位深度。观测钻孔水位的目的，是为了了解含水层的深度、地下水压力的大小以及确定地下水的动态等。因此，观测钻孔水位的工作必须在钻探过程中连续进行、不能间断，每班应测量水位 1 或 2 次，测量时间都在提钻后和下钻前各测一次。设提钻后测得的水位为 H_1，下钻前测得的水位为 H_2：如 $H_1 < H_2$ 时，则表示钻孔水位下降；若 $H_1 > H_2$ 时，则钻孔水位上升。但这测得的水位不是真实水位，叫做动水位或出现水位，可作参考。真实水位叫做静水位或稳定水位，它只能在停钻机修、假日或终孔后方能测出，这时应连续测量水位，其间隔时间应根据含水层不同的渗透性能、水位的升降变化而定，一般应在 1～4h 测量一次。没有显著变化时，可以每班观测一次，直到最后 2～3 次所测得结果相同或相差不大于 2cm 时为止。

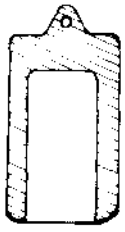


图 5-56 水位测钟

观测钻孔水位，多使用软铅制的测钟（图 5-56）。测钟系于测绳上，测量时将测钟下入孔内，当测钟接触水面时发出声响，即是水位，读出测绳在孔口固定点处的数值，此值即是水位深度。

5.5.2 冲洗液消耗量的测量

钻进过程中，水源箱内的冲洗液会不断地减少，这主要是漏失在透水岩层中。单位时间内的冲洗液消耗量，叫做透水量。测量冲洗液消耗量的目的，可以初步确定岩层的透水性、裂隙发育程度；综合钻孔水位资料，还可以确定透水层的层位和深度。

观测冲洗液消耗量，通常是在水源箱内放一标尺，测量箱内的水位变化。一般每班观

测记录水位变化一次。如果水位下降很快，说明遇到透水层，必须增加观测次数，并及时记录孔深。

冲洗液消耗量（Q_{hl}）可用下式计算：

$$Q_{hl} = Q_x + Q_j - Q_u \quad (m^3)$$

式中 Q_x——水源箱中原有的冲洗液量，(m^3)；

Q_j——加入的冲洗液量，(m^3)；

Q_u——水源箱中剩余的冲洗液量，(m^3)。

求单位时间的冲洗液消耗量（Q_h）则用下式计算：

$$Q_h = \frac{Q_{hl}}{60t} \quad (m^3/s)$$

式中 t——测定的间隔时间，(min)。

为了保证测量的正确性，必须杜绝冲洗液循环系统（包括孔口、循环槽、沉淀箱和水源箱）的漏失现象。水源箱要制成规则的立方体或圆筒形，同时要防止雨水和地面水流入水源箱内。

5.5.3 钻孔中涌水量的测量

钻进中如遇到承压含水层，承压水会自孔口涌出（或喷出）。这时应立即丈量机上余尺，记录涌水时孔深，并停止钻进，提升钻具，进行涌水观测。其目的是了解承压含水层的埋藏深度、水头高度和涌水量，以便采矿设计时考虑矿坑的排水问题。

5.5.3.1 水头高度的测量

当承压含水层的水头高度不大时，可在孔口管上接套管，测量水头在套管内停止上升的静止水位，如承压含水层的水压较高时，则在孔口管上端安装压力表测量，因一个气压等于10m水柱高，观察表上指针的读数就可以求出水头高度。此外，还可利用送水胶管测量水压，即在孔口管上端连接带旁开水眼的压盖，把送水胶管接在水眼处，然后用升降机提升胶管上端也可测出水头高度。

5.5.3.2 涌水量的测定

涌水量不大时，利用秒表和一定容积的水桶就可以测出单位时间的涌水量。涌水量很大时，则要根据前述已测出的水头高度和所接套管的内径，用下式计算其涌水量（Q）：

当涌水的水头高度小于5m时：

$$Q_y = 11d^2\sqrt{H} \quad (L/s)$$

当涌水的水头高度大于5m时：

$$Q_y = 11d^2\sqrt{H + (1 + 0.0013H)} \quad (L/s)$$

式中 H——水头高度，(dm)；

d——套管内径，(dm)。

钻孔的涌水量很大时，还可用三角堰箱（图5-57）法测量。即将钻孔中的涌水全部引入堰箱内，当水从堰口流出时，量出堰口的水位高度代入下式。求出涌水量：

$$Q_y = ch^2\sqrt{h} \quad (L/s)$$

式中 h——过堰口水深，(cm)

c——随h而变化的系数，其值见表5-6。

表 5-6　系数 c 值

h (cm)	<5.0	5.1～10.0	10.1～15.0	15.1～20.0	20.1～25.0	25.1～30.0
c	0.0142	0.0141	0.0140	0.0139	0.0138	0.0137

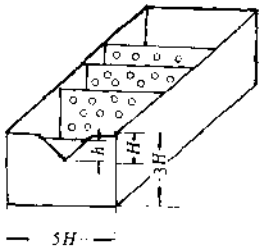


图 5-57　三角堰

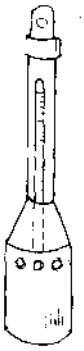


图 5-58　泉水温度计

5.5.4　水温观测

如有地热反应的钻孔，都应记录发现时的孔深、层位及观测水温变化等。其目的是了解地下水的温度变化和圈定地热异常区，为地热研究积累资料，以便开发地热资源。

测量钻孔内的水温：如地下水涌出孔口，可用普通温度计测量；如水位在钻孔内较浅处，则用泉水温度计（图 5-58）测量。测量时，用测绳系住筒上吊环，下入孔内，到达水位后发出响声，继续下放使水进入筒内，稍待一会，提出泉水温度计，便可读数；如钻孔内水位较深，则在圆筒内填加保温物质，在水内测量时间稍加延长。

5.5.5　老窿采空区和喀斯特溶洞的观测

老窿采空区由于开采年代长久，分布零乱，常有积水，对矿坑的生产有很大影响和威胁。因此，当遇老窿采空区时，必须记录孔内的水位和冲洗液消耗量，观测遇到老窿的深度和根据钻进过程中钻具突然降落及其它现象来测量与记录老窿的高度。并且观测静止水位，以便作为计算老窿积水量和了解水压高度的依据。

当遇到喀斯特溶洞时，也应当记录孔内水位、冲洗液消耗量和钻孔的深度、以及洞穴或溶洞的高度。并进行静止水位的观测。

5.5.6　其它观测

在钻孔中如遇突然漏水、破碎带、流砂层等，应详细记录孔深和冲洗液消耗量。

如在钻孔中发现有气体逸出现象时，须及时测定气体出现深度，同时采集样品送实验室分析化验。许多气体是易燃物，应防止烟火，以免发生事故。

5.6　封　孔

封闭钻孔是钻探工程的最后一项工序。钻孔结束后，除设计不要求封孔者外，一般都必须按设计要求进行封孔。其目的是：隔离钻孔所穿过的含水层；防止在采矿时地下水与地表水沿钻孔流入坑道，增大矿井涌水量，甚至淹没矿井；防止地表水与地下水对矿床的

溶蚀和氧化，影响矿石的开采和利用。因此，封孔也是钻探质量的一项重要指标。

根据不同地质条件下的封孔要求，钻孔封闭工作可分为三种：

(1) 不须封闭的钻孔：如需要进行长期水文观测的钻孔；对农田灌溉有利的钻孔；以及开采利用地下水的钻孔等。

(2) 仅封闭孔口部位的钻孔：如未见矿也未见含水层及含水构造的钻孔；或者孔位高于浸蚀基准面以上的钻孔。

(3) 需要严格封闭的钻孔：

① 穿过易溶、易蚀、易流散、易被破坏的工业矿层（如油、气、卤水、矿化水、可溶盐、硫铁矿、自然硫等）、含水层、含水构造的钻孔，均须在顶、底板上下各5m范围的隔水层处，用325号以上的普通硅酸盐水泥或抗硫酸盐水泥封闭。其方法参见4.8.2水泥浆液护壁堵漏一节。

② 穿过上述以外的其他固体矿层、第四纪浅层、孔位低于浸蚀基准面的钻孔，也要用325号以上的水泥或其他隔水材料封闭钻孔最上部隔水层与透水层交界处。

③ 矿层不厚或矿层与矿层、矿层与含水层较近时，应一起同时用水泥封闭。

④ 见矿但未见含水层和含水构造的钻孔。可采用粘土做封孔材料，将钻孔填实并捣固。粘土可做成球或柱状，应分层投入、分层捣实。

⑤ 需要进行地下水动态观测或对农田灌溉有利的钻孔，可暂不封闭，但对矿床充水有严重影响的钻孔，最终还是要用水泥封闭。

⑥ 孔壁严重坍塌或孔内有遗留物堵塞、无法处理时，可以用水泥封闭上述部位以上的孔段。

封孔后，对要求严格封闭的封孔质量应进行检查，可用采取水泥浆液样品或选择有代表性钻孔以小径钻具透孔取心等方法检查。

封孔后，还须在孔口中心处设立水泥标志桩或埋石柱桩，并在其表面上刻写孔号、孔口坐标、孔深和年月日，以备查找。

5.7 原始报表

钻孔原始报表是整个钻探生产全过程的记实，是钻探生产的综合性原始记录，也是钻探地质的真实性客观反映。因此，钻探工程把原始报表列为六项钻探质量指标之一。

原始报表内容一般有：钻探工程原始记录（表5-7）；钻孔弯曲度测量记录、简易水文观测记录和孔深验证记录（表5-8）；钻孔终孔报告单（表5-9）；钻孔竣工总结表（表5-10）；钻孔柱状图（表5-11）等。

上列原始报表是编写地质报告的基本资料，是分析钻探生产技术、组织管理状况的原始数据，也是以后查对钻探地质资料的原始依据。因此，在钻探施工过程中，对各项钻探原始报表的记录工作，必须按规定要求做好。例如报表中的工作情况、数据以及所达到的质量指标等，都要认真地和正确地写实，做到及时、准确、详细、整洁地逐项填写，不得遗漏、笔误或差错，否则，会造成严重的后果。

钻探工程原始记录由钻探记录人员负责填写与保管，机、班长应随时查核，发现错误及时纠正。其它报表由钻探地质编录人员负责填写并核对原始记录、以及做好钻探地质编录工作。终孔后，原始报表汇订成册，归档存查。

表 5-7 钻探工程原始记录

_____年_____月_____日

矿区	
机台	
孔号	

设计	孔深	
	方位	
	顶角	

钻机类型	
动力类型	
机台高	

班次	起止时间 自——至	总台时 合计	实钻	配属	事故及停工 小计	孔故	机故	其它	不计总台时时间	工作摘要	机上余尺(m) 到底	提钻前	钻杆 根数	长度	粗径长(m)	使用钻具 种类	规格	长度	磨耗	进尺(m) 本次	累计	岩矿心采取 岩性	编号	本次残留	本次采取	本孔累计	记事
昨日																										
早班	合计																									
中班	合计																									
晚班	合计																									
合计																										

起下套管	规格	根数	长度	测斜	孔深	方位角	顶角	验正孔深	前(m)	后(m)	简易水文	水位		出勤情况	班次	班长	记录	泥浆泵	机械	安全
															早					
															中					
															晚					

表 5-8 _____矿区_____矿段_____线 ZK _____号孔

设计方位	
设计顶角	
设计深度	
实际深度	

钻孔弯曲度		
孔深	顶角	方位角

孔口坐标

X：

Y：

Z：

孔深验证		
记录孔深	检查孔深	误差

简易水文观测			
孔深(m)	水位观测 提钻前	水位观测 提钻后	冲洗液消耗量(m^3/h)

表 5-9　钻 孔 终 孔 报 告 单

_____矿区_____线 ZK _____号孔　由_____机于 19 ___年___月___日开钻至 19 ___年___月___日停止钻进

孔深_____m　终孔直径_____mm　终孔原因_____

工程质量情况：

孔深验证误差_____

钻孔弯曲度_____

岩矿心采取率_____

水文地质情况_____

封孔位置及方法_____

原始记录_____

工程质量评述_____

机　长_____　测　量_____

工程师_____　地质编录_____

队　长_____　总地质师_____

表 5-10　钻 孔 竣 工 总 结 表

孔　号_____　钻孔位置_____　开孔孔径_____　开孔日期_____

设计深度_____　设计角度_____　见矿孔径_____　终孔日期_____

实际深度_____　实际角度_____　终孔孔径_____　施工机台_____

地层层厚		级别	岩心采取情况			矿心采取情况			测斜情况	孔　深：
围岩	矿层		岩层长度	采取量	采取率	矿层长度	采取量	采取率		顶　角：
										方位角：
										孔深误差情况：
										水文工作情况：

本孔换层情况							封孔情况：
换层深度	层次	岩石名称	级别	层厚	采取量	采取率	原始记录情况：
							全孔质量鉴定意见：

地质负责人_____　施工负责人_____　地质编录_____

表 5-11　钻 孔 柱 状 图

矿区_____勘探线号_____孔号 ZK _____坐标：X _____ Y _____ Z _____方位_____顶角_____№_____

回次进尺			岩矿心长度(m)	回次采取率%	分层采取率%	换层深度(m)	与岩心轴交角	方位角	顶角	柱状图 1：200	岩性描述	样品情况				化验结果			
自(m)	至(m)	计(m)										编号	自(m)	至(m)	样品长(m)	编号	品位		
																	%	%	%

开孔日期_____年___月___日　终孔日期_____年___月___日　地质编录_____

5.8 钻探工程设计

钻探工程设计是矿山地质生产勘探设计中的组成部分，不单独形成文件。在生产勘探设计中称为钻探工作部分，或称为钻探施工总设计。它是组织和指导钻探施工的基本文件，也是检验钻探质量的依据。

5.8.1 钻探施工总设计

生产勘探是矿山地质工作的组成部分，在编制生产勘探设计中，应说明勘探工作的具体任务和目的、采用的勘探方法、确定出保证矿山生产所需三级矿量的勘探工程等。因此，生产勘探设计的地质部分是编制钻探施工总设计的原始资料和唯一的依据。在编制生产勘探设计中的钻探工作部分时，其主要内容应包括以下几方面。

5.8.1.1 确定钻孔数和工程量

在勘探方法部分设计中，应根据矿床类型、产状、埋藏深度和要求探明的矿产储量等级，按照规定布置所需的钻孔。这些设计的钻孔有深有浅、有直有斜、有地面有坑内，在进行钻探施工中，如果采用一种型号的钻机，不仅造成不足或积压，还会达不到地质目的要求。因此，在钻探工作设计中，首先必须将所要施工的钻孔，按地面和坑内分成两大类，然后在每类中按设计深度和角度划分成钻孔组，再按组统计钻孔数和工程量，并从中选择一个或数个典型钻孔，作为钻孔设计、选择钻探设备类型与数量以及钻进方法等依据。

5.8.1.2 划分岩石可钻性等级

根据地质剖面图，绘制钻孔所穿过地层的理想柱状图。

全面分析过去钻探资料，认真研究岩石物理力学性质，如硬度、强度、研磨性、可钻性等，实地观测岩石造岩矿物组分、岩石组织结构特征，如颗粒大小形状和成分、孔隙度、胶结强度、风化、蚀变和节理发育程度等，以及地质构造对岩性的影响。综合这些资料，简述与钻探有关的岩石性质，提示钻探施工时注意事项。

根据过去地质勘探时所打钻孔划分的岩石可钻性等级，或参照岩石等级划分资料，正确制定本矿区各种岩石的可钻性级别。

5.8.1.3 确定钻进方法

根据本矿区所遇到的地层条件和岩石可钻性级别，确定钻进方法。一般岩石可钻性1～6级及部分研磨性弱的7～8级选用硬质合金钻进，7级以上及部分研磨性强的4～6级岩石选用金刚石钻进。为了提高岩矿心采取率，在条件具备时尽量采用金刚石绳索取心钻进或水力反循环连续取心钻进。在硬岩层和坚硬岩层中，尤其是钻进裂隙发育及“打滑”地层宜推广使用冲击回转钻进。

5.8.1.4 制定钻孔结构

在制定钻孔结构时，要充分考虑矿区岩石性质、水文地质条件、钻孔深度、钻进方法和地质取心要求等因素，确定终孔直径。

在保证终孔直径、钻孔质量和安全钻进的条件下，力争少下套管护孔，最大限度地减少换径次数，以利于简化钻孔结构，提高钻进效率。由终孔直径经孔径变换推导出开孔直径。

将开孔到终孔的不同直径所钻的深度及下套管的孔段等，绘制成钻孔结构图，并阐明制定钻孔结构的依据与合理性。

5.8.1.5 选择冲洗液的种类及护孔堵漏措施

根据地质剖面图，钻进所遇地层情况，合理选用冲洗液的种类。钻进松散、破碎、裂隙发育或坍塌掉块地层，还应考虑护壁堵漏措施。所用各种先进的护壁堵漏方法，均以有效、可靠、经济为依据。

采用泥浆时，应根据地质条件，选定泥浆种类、泥浆性能以及泥浆的配方。堵漏时，要说明所用的堵漏材料。

金刚石钻进时采用乳化液，要选择乳化液的种类及其配方。

5.8.1.6 选择钻头种类及钻进技术参数

为了获得较高的钻进效率，应根据岩石等级、钻进方法、钻孔结构，合理选择钻头种类、结构、性能和规格，并确定其最优的钻进技术参数。

5.8.1.7 钻探设备和钻具的选择

钻探设备由钻机、泥浆泵、动力机和钻塔等组成，其中以选择钻机为主，其它设备随钻机配套使用。钻机的选择应根据钻孔深度、钻孔倾角、钻进方法和钻孔结构等合理地使用。

根据钻进方法、钻孔结构和钻孔深度，按实际需要确定各种钻具和工具的名称、规格与数量。

5.8.1.8 确定保证钻探质量指标的措施

(1) 岩矿心采取率：岩心采取率不低于65%；矿心采取率（按可采层计算）分层不低于75%；尽可能采用提高岩矿心采取率的措施，满足地质要求。

(2) 钻孔弯曲度：钻孔顶角最大允许弯曲度在每100m间距内，直孔不得超过2°、斜孔不得超过3°，随着钻孔的加深，可以递增计算。钻孔方位角的最大偏移度，应根据钻孔深浅和本矿区钻孔弯曲规律而定。根据测斜要求和钻孔实际情况具体确定不同测斜深度（位置）。根据矿床是否有磁性和终孔直径选择测斜方法和测斜仪。

(3) 孔深验证：孔深最大允许误差不得超过千分之一。根据实际需要确定验证孔深的次数和位置。

(4) 简易水文观测：按本矿区水文地质特点和需要，制定必须的观测项目，并提出观测要求。

(5) 原始报表：制定所需报表种类、填写内容和报表要求。

(6) 封孔：根据本矿区水文地质条件、矿层情况和开采方法，制定封孔要求和封孔方法。

5.8.1.9 确定钻探技术经济指标

钻探技术经济指标是衡量机台生产水平和技术水平的综合性指标，也是正确编制施工计划和合理下达生产任务的主要依据。钻探技术经济指标的确定方法有统计分析法、实钻测定法和经验估计法。这三种方法各有优缺点，应根据本矿区具体条件，权衡利弊，选择使用，也可以把几种方法结合起来使用，扬长避短，制定出比较正确可行的先进指标。以便充分调动工人的积极性，为达到和突破指标而努力工作，起到指导生产的作用。

(1) 机台：指按一定定员编制，配备适量的钻探技术装备，开动一台钻机，独立进行施工活动的钻机组。

(2) 总台时：一个钻孔，从搬迁到钻探设备的安装、开孔钻进到终孔、封孔的全部工

作时间叫总台时。总台时包括计入台月台时和不计入台时两部分时间。计入台月台时包括纯钻进时间、辅助工作时间和事故与停待时间；不计入台时包括拆迁安装、水文地质试验、终孔后测井、起拔套管、水井成井及封孔等时间。

纯钻进时间：是指钻头在孔底直接钻进的时间，包括开孔试钻和松紧卡盘、倒杆的时间。它是可能增加进尺的时间，因此为提高生产效率就要求增加纯钻时间在总台时内的比重。

辅助工作时间：是指正常钻进过程中必须进行的一些辅助工作时间，如升降钻具、扫孔、冲孔、采心、加接单根钻杆、护壁堵漏、起下套管、修换水管、钢绳、水接头、钻具、验证孔深、简易水文观测、测孔斜、安装小机具、定期机械保养等工作时间，它不是进尺的作业时间。减少辅助工作时间就相对地增加了纯钻进时间，特别是要减少占辅助工作时间比重较大的升降钻具时间更有实际效益。

事故与停待时间：包括孔内事故、设备事故及缺乏劳力、燃料、材料、工具而中断钻进，内部待电待水以及因安装不合格而返工的时间。孔内事故还包括补心、纠斜、超过 4h 的漏涌水处理等。

不计入钻探总台时的时间，为特大自然灾害（不包括人力可防治的风、雨、冻、旱）、施工矿区转移、冬训、农忙、外部停电停水、法定假日、等待施工任务、冬季收队停工、以及出队第一个孔的安装与收队最后一个孔的起拔套管、封孔和终孔后的测井等。

(3) 钻月数、台月数：是指机台钻探作业总台时满一个月（30d、720h），即为一个钻月；钻探作业计入台月台时满一个月（30d、720h），即为一个台月。

$$\text{钻月数} = \frac{\text{钻探作业总台时}}{720}$$

$$\text{台月数} = \frac{\text{钻探计入台月台时}}{720}$$

(4) 钻月效率、台月效率：钻月效率是指一台钻机开动一个钻月所完成的工作量。台月效率是指一台钻机工作一个台月所完成的工作量

$$\text{钻月效率} = \frac{\text{钻探工作量}}{\text{钻月数}}(\text{m/钻月})$$

$$\text{台月效率} = \frac{\text{钻探工作量}}{\text{台月数}}(\text{m/台月})$$

(5) 机械钻速又叫纯钻进速度：是指纯钻进 1h 的进尺数。

$$\text{机械钻速} = \frac{\text{钻探进尺米数}}{\text{纯钻进时数}}\ (\text{m/h})$$

(6) 台班效率：一个班组在 8h 内所完成的工作量。

$$\text{台班效率} = \frac{\text{台班实际进尺数}}{\text{台班利用系数}}\ (\text{m/台班})$$

(7) 台班利用系数、台月利用系数：是反映组织管理工作的指标。

$$\text{台班利用系数} = \frac{\text{台班钻探计入台月台时}}{8}$$

$$\text{台月利用系数} = \frac{\text{钻探计入台月台时}}{\text{钻探作业总台时}} = \frac{\text{台月数}}{\text{钻月数}}$$

(8) 纯钻时间利用率：指纯钻时间占钻探作业时间的比例。

$$\text{纯钻时间利用率（\%）} = \frac{\text{纯钻进时间}}{\text{钻探计入台月台时}} \times 100\%$$

(9) 事故与停钻率：指事故与停钻时间占钻探作业计入台月台时的比例。

$$\text{事故与停钻率(\%)} = \frac{\text{事故与停钻时间}}{\text{钻探计入台月台时}} \times 100\%$$

$$\text{孔内事故率(\%)} = \frac{\text{孔内事故时间}}{\text{钻探计入台月台时}} \times 100\%$$

$$\text{机械事故率(\%)} = \frac{\text{机械事故时间}}{\text{钻探计入台月台时}} \times 100\%$$

(10) 平均台年进尺：指平均开动一台钻机工作一年所完成的工作量。

$$\text{平均台年进尺} = \frac{\text{全年钻探工作量}}{\text{年平均开动钻机数}}$$

$$\text{年平均开动钻机数} = \frac{\text{本年各月平均开动台数之和}}{2} = \frac{\text{本年钻探总台时}}{365 \times 24}$$

5.8.1.10 其 它

钻探施工总设计，除上述九项主要内容外，还应根据本矿区的实际情况，编制下列三方面的内容：

(1) 矿区交通运输：主要考虑钻探设备、钻具、材料等运至各机台施工现场，以及机台搬迁的运输方法。

(2) 充分分析研究本矿区施工可能出现的关键性技术、管理问题，制定保证工程质量、提高效率、安全生产的措施。

(3) 拟定新技术、先进经验的采用与推广的计划和步骤。

5.8.2 年度施工设计与季度施工计划

为了保证按期逐步取得可靠的地质资料，为矿山生产所需三级矿量作好准备，钻孔必须逐年分批施工。因此，在钻探施工总设计的指导下，应根据年度钻探生产任务编制年度施工设计。设计内容与钻探施工总设计的内容基本相同。

根据年度施工设计，分季度做好施工计划与安排。编制季度钻探施工计划的主要内容如下：

(1) 确定季度钻探工作量。

(2) 编排符合地质要求的钻孔施工顺序。

(3) 确定完成本季度工作量所需开动钻机数量。钻机数量的计算方法和步骤如下：

① 完成一个钻孔所需台班数（n），可分类分组计算。

$$n = \frac{\text{钻孔设计深度}}{\text{台班效率}} \text{——(台班)}$$

② 完成本季度全部钻孔所需的总台班数（N）：

$$N = \sum n \cdot Z \quad \text{（台班）}$$

式中 Z——本季度全部钻孔数。

③ 完成本季度钻孔所需的钻机数量（X）：

$$X = \frac{N}{270}(台)$$

这是采用一日分三班轮换作业，每星期不中断时，一个月等于 90 个台班，一季度为 270 个台班。

为了保证不致因等待设备检修、搬迁和安装等而造成影响，把其他非生产工作时间减少到最低限度，尽可能提高台月利用系数，钻机及其配套设备必须按计算数量增加备用数。

(4) 根据本季度钻探工作量，开动钻机台数，按材料消耗定额，编制材料供应计划，包括钻头、管材、工具、各种油料和低值易耗品。

(5) 根据生产定额，结合机台生产条件和技术水平，分月下达生产任务和技术经济指标。

(6) 根据物资材料供应情况、设备维修条件和人员调配情况，合理安排逐步投产开钻的钻机数量和开钻日期。

(7) 拟定机台安拆、搬迁计划，力求同时迁移的钻机数量最少，每次运输的距离最短，保证安拆、搬迁的节奏性。

(8) 机台是基层生产单位，为了使机台全体人员及时地了解和关心本机台钻探生产的经济效果，加强他们增产节约的观念和责任心，调动他们的积极性，促使改进生产和管理，提高工艺技术水平，必须实行机台经济核算。开展经济活动分析，提高效率、降低成本，完成生产任务。

5.8.3 编制钻孔地质技术指示书

钻孔地质技术指示书是指导机台进行钻孔施工的重要设计文件，必须在钻孔开钻施工之前下达，一般可代作钻孔开孔通知单用。

钻孔地质技术指示书由地质和钻探技术两部分组成，其格式如表 5-12。

表 5-12 钻孔地质技术指示书

_____矿区_____坑口　　孔口坐标 X ___ Y _____ Z ___　　开孔日期___ ____

___线 ZK ___ _____号孔　　设计方位_____ 设计倾角___ ___　　终孔日期___ ___

由_____机负责施工　　设计孔深___ ___终孔直径 ___　　钻机类型_ ___

地质部分										钻探技术部分								
层位	孔深(m)	理想柱状图	岩石等级	岩性简述	岩矿心采取率(%)	弯曲度及测点	验证孔深位置	简易水文观测	钻进提示	钻孔结构	钻进方法	钻头类型	钻进参数			冲洗液种类	保证质量措施	备注
													压力(kN)	转速(r/min)	冲洗量(l/min)			

矿区地质负责人　　批准人

钻探技术负责人　　批准日期

地质工程师　　执行机长

钻探工程师

地质部分由地质人员负责编制。它是在钻探施工总设计的指导下，编制本钻孔地质理想柱状图、岩性、地质设计要求和工程质量指标、以及钻进中可能遇到的岩层复杂情况的提示。

钻探技术部分由钻探技术人员负责编制。它是以地质部分的资料作为设计的基本原始依据，吸取以往钻孔施工中的经验和教训，结合现有设备和技术条件，根据该孔的具体情况，设计决定最优的钻孔结构和有效的钻进方法，选择合理的钻头类型和钻进技术参数，拟定切实可行的钻进技术措施。只要指示书编制正确，施工中严格按设计进行，就能使钻探生产提高效率、保证质量、防止事故和克服生产中的盲目性，从而保证施工计划和技术经济指标顺利完成。

复习思考题

1. 钻探工程有哪些质量指标？其具体内容要求是什么？
2. 对岩（矿）心采取的要求是什么？岩（矿）心采取率的准确概念及其影响因素是什么？
3. 概述提高岩（矿）心采取率的技术措施及其适用条件。
4. 简述对岩（矿）心的整理与保管的要求。
5. 钻孔的顶角、方位角及钻孔弯曲的定义是什么？
6. 概述测量钻孔顶角和方位角的基本原理及常用测斜方法的特点与适用条件。
7. 钻孔弯曲作图的意义、要求及常用的方法是什么？
8. 概述钻孔弯曲的原因，常用的预防与矫正措施。
9. 概述孔深误差的原因、预防及校正方法。
10. 钻孔简易水文观测的主要内容、要求与基本方法有哪些？
11. 封孔的意义与基本要求是什么？
12. 钻孔原始报表的作用与要求是什么？
13. 矿山钻探工程施工设计的一般内容与要求有哪些？