

绪 论

一、“探矿工程”在国民经济建设中的地位

“探矿工程”包括“钻探工程”和“坑探工程”两门学科，这两种工程作为地质勘探的手段，用于求出准确详细的地质矿床资料。当然，它们不仅被应用于地质勘探工作中，还有其各自的应用领域，并在国民经济建设中占有相当的地位。

二、“钻探工程”总论

(一) “钻探工程”的应用范围

“钻探工程”学科是一门研究如何按着一定目的和要求，运用适当的设备，采取相应的工艺措施，以最优方式钻出一定孔径和深度的孔（井）的学科。它是一门实践性较强的学科。

我国是世界上最早开展钻探工程的国家。它最早起源于我国劳动人民凿井和饮用水井，据文字记载，2200年前，在四川内陆地区为吸取卤水而“凿井求盐”。

随着工农业建设的发展，“钻探工程”这一科学技术得以迅速提高和发展，其应用范围因而亦越来越广。其主要应用范围如下：

1. 在地质勘探工作中

(1) 普查找矿钻探：为了揭露表土，探索基岩性质及产状，了解地层及地质构造，或验证物探资料等进行普查找矿钻探。

在普查找矿中，常用的有地表取样钻探或轻便浅孔钻探等。

(2) 矿产勘探钻：详细查明一个矿区的地质构造，探明矿体的产状、品位，求得矿产的储量，为矿产的开发提供必要的地质资料。

通常在矿区布置一定的勘探网和勘探线，以比较集中的固定式机台进行钻探。

(3) 水文地质钻探：查明地下水的赋存状态、水质水量及其运动规律等水文地质情况。

根据探采结合的精神，有时在进行水文地质勘察后，下管成井而作为供水井。

(4) 工程地质钻探：为查明桥基、坝基、路基或水库、港口及大型设备、高层建筑的地质基础和地基承载力而进行的专门钻探工作。

从深度而言，工程地质钻孔多属100m以内的浅孔；从地层而言，它主要钻进在冲积地层。但它有特殊的取样要求和必须在孔内进行专门的测试工作。

(5) 油、气田钻探：为勘探石油及天然气等矿产而进行的钻探工作。油、气田钻探通常简称为石油钻井。

2. 开采矿产资源工作中

钻井应用于开采矿产资源者多属于开发液体矿产，例如：

(1) 为民用和工农业用的普通水资源的开采——水井；

- (2) 为民用取暖和工农业用的热水资源的开采——热水井；
- (3) 为开发能源而在陆地和海洋上进行的石油和天然气的开采钻井；
- (4) 为开发地热资源的钻井；
- (5) 为开发固体矿产进行露天开采的爆破孔。

3. 在工业工程施工工作中

利用钻孔技术进行施工工作（称为工程施工钻）是钻进工作中很重要的一部分，它所占的比重近年来越来越大。工程施工钻工作的领域随着建设的发展而不断扩大，是值得注意的另一分支。举例如下：

- (1) 在大型桥墩建筑中，采用钻孔技术，以“管柱”建墩，避免了水下作业。
- (2) 为了了解地面升降情况及其变化规律，进行专门的标（基岩标及分层标）孔钻孔，以便获得精确的测量。
- (3) 为了加固水坝，增强地基，防止渗漏的连续墙。
- (4) 为高层建筑加强地基的大量基桩孔。
- (5) 铺设各种管道的技术孔。
- (6) 矿山各种辅助设施孔，如通风孔，疏导地下水孔，电缆孔等。
- (7) 军事工业的导弹发射孔等。
- (8) 代替开凿隧道的大直径井。

从上所述，钻孔（井）的应用领域，可小自在预制板的房屋建筑中，为安装房内设施的钻孔技术；大至为了了解地壳深部进行地质理论研究所钻进的超万米级的“超深井钻探”。可见，钻探（孔或井）技术应用范围是十分广泛的，遇到的问题亦是十分复杂的，是很有探索前途的学科。

(二) 钻孔及其要素

根据一定目的向地壳内钻出直径小而深度大的柱状圆孔，叫做钻孔或钻井。

钻孔的地面出口叫孔口或井口，底部叫孔底或井底，侧面叫孔壁或井壁。如图0-1所示。

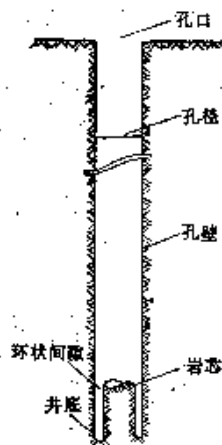


图 0-1

钻孔直径、钻孔深度和钻孔方向组成钻孔三要素。钻孔三要素可根据钻探目的、钻探地点的地质条件等因素来确定。

钻孔的方向，有垂直的（垂直孔），各种不同倾斜度的（斜孔），也有在一定距离内作特定曲率弯曲的定向孔。而在地下坑道进行勘探时，可打水平的或垂直向上的钻孔，如图0-2所示。在地质勘探中，一般多用直孔，而在急倾斜矿床中，则用斜孔。

地质勘探钻孔的孔径大致为46~150mm。石油钻井的直径可由3 $\frac{1}{8}$ "~25 $\frac{1}{8}$ "。在采矿中，采用大直径钻进竖井时，直径可达1m甚至更多，而爆破孔的孔径仅为35~45mm。钻孔的深度可由数米（地质调查测量用）至数千米（勘探或开采石油用）。目前所

拥有的钻探设备及钻探技术水平已能钻进深度达到10000m以上的钻孔。

根据孔深，钻孔分为：

0~150m为浅孔，常用于物探地质调查，水文及工程地质勘查。

150~1 000m为中深孔，为勘探一般矿藏时所采用。

1 000m以上称为深孔，为勘探和开采石油以及勘探深部矿藏时所采用。

(三) 钻进基本程序

钻进由下列三个基本程序所组成：(1) 破碎孔底岩石；(2) 提取岩芯及岩粉；(3) 加固孔壁。

1. 破碎孔底岩石

钻进工作首先要进行破碎岩石。破碎岩石的快慢决定整个钻进效率的高低。破碎岩石就是根据不同性质的岩石选用各种不同类型的钻头、切削具和研磨材料，以冲击力、压力和剪切力、研磨力，作用于岩石使小块岩石离开整体。破碎岩石时，可用冲击的方法，回转切削的方法，或两者的结合。因此，有冲击钻进、回转钻进和冲击回转钻进等方法之分。

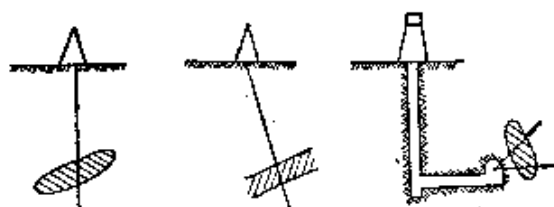


图 0-2

冲击钻进破碎孔底岩石，是利用具有楔形的冲击钻头，靠压轮的摆动使楔形钻头提升到一定高度后自由下落，对孔底岩石进行冲击而破碎岩石（见图0-3）。如此反复的提升与降落钻具，钻孔即被加深。利用这种方法使孔底岩石全部破碎，称为无岩芯钻进或全面钻进。

回转钻进破碎岩石，是利用切削具（硬合金或金刚石等制成）或研磨材料（钻粒），在轴心压力作用下切入岩石一定深度，在回转力作用下，沿着孔底克取岩石，或用钻头施加压力于研磨材料（钻粒），且带动研磨材料在岩石上滚动以研磨岩石和克取岩石。此种方法可使孔底岩石全部破碎，也可以破碎孔底周围环状部分的岩石，中间保留岩石柱（岩芯），称为岩芯钻进。该种钻进方法的全貌见图0-4。

冲击回转钻进破碎岩石是利用冲击器所产生较高的冲击作用，在回转作用的配合下进行破碎岩石的。

近几年来还有一些其它新的破碎岩石的方法，如热方法、超声波、水电效应等，这些方法还未见完善和成熟，正在研究中。

2. 提取岩芯和岩粉

破碎岩石过程中，产生出岩芯和岩粉。为了获取地质资料及继续有效地进行钻进，必须及时取出岩芯和岩粉。由孔底取出所钻出的岩芯或岩粉的方法，有以下几种：

(1) 所钻之岩样附着在钻具上与钻头一同提出 如浅孔手动式钻进粘结性的黄土层时，破碎后的岩屑随着钻头、螺旋钻提至地表。

(2) 用抽筒（捞砂筒）将岩粉提出 在冲击钻进时，岩粉和水混成浆状，然后用抽筒捞出。

(3) 岩芯随岩芯管或取芯器提出孔外 现今使用的回转钻进法，常用它来获取地下岩芯。

(4) 利用冲洗液（清水、泥浆、特殊液体或气体）在孔内不断地循环把岩粉冲出孔外

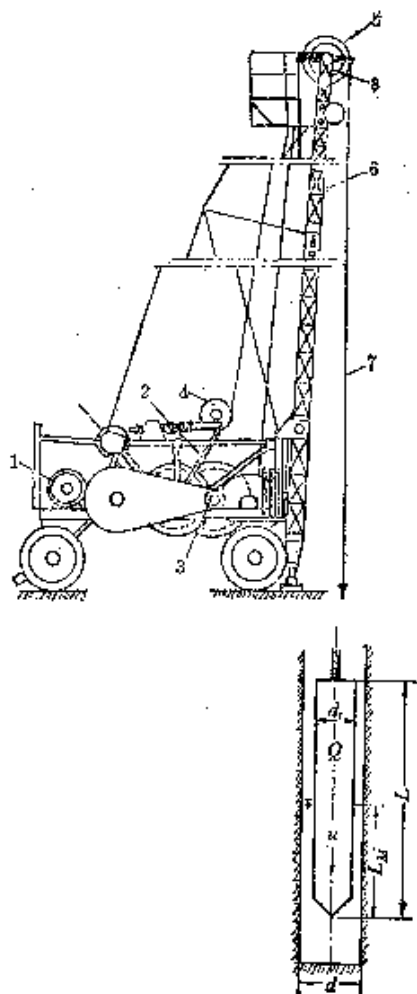


图 0-3 冲击钻

1—电动机；2—冲击连杆；3—主轴；4—压轮；
5—钻头；6—手柄；7—钢丝绳；8—抽绳天轮

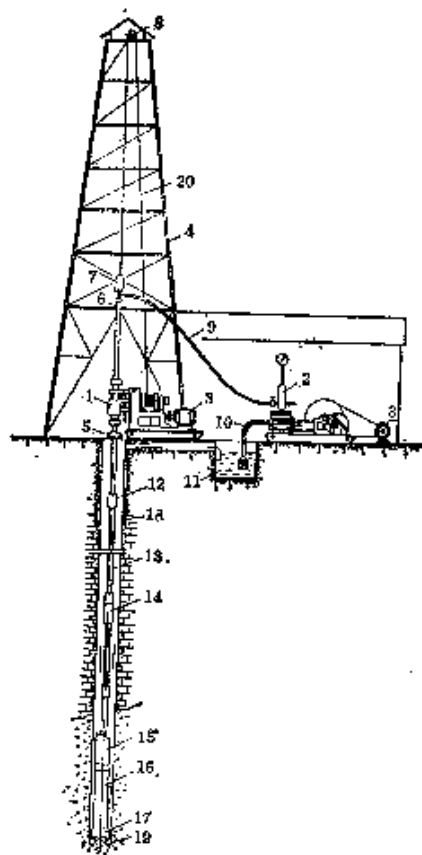


图 0-4 岩芯钻进示意图

1—电动机；2—泥浆泵；3—动力机；4—钻塔；5—
钻管；6—水龙头；7—钢丝绳；8—滑轮；9—
退水管；10—吸水管；11—水表；12—控
制；13—钻杆；14—接头；15—沉淀管；16
—岩芯管；17—钻头；18—岩芯；19—岩芯；
20—钢丝绳

这是目前最常用的方法。

3. 加固孔壁

当地层岩石被破碎后，则在地层中留下一个孔穴，从而破坏了原有地层的平衡状态，在不坚固的岩层（松散的、软质的、有大裂隙的、遇水膨胀的岩石等）中，为防止孔壁的坍塌、隔离含水层和堵塞漏失等，必须加固孔壁。

加固孔壁的方法有如下几种，

（1）借助于孔内循环冲洗液（水或泥浆等）的液柱重对井壁施加的压力和泥浆的胶体化学性质，在孔壁形成的泥皮可保护孔壁。这种方法最为经济。

(2) 用金属套管下入孔内，并借助于粘土或水泥封闭之，以隔离地层或防止孔壁坍塌。

(3) 利用粘土和水泥。将粘土做成球状投入孔内，用钻具捣实粘住孔壁；在缺乏套管或孔壁有严重裂隙、破碎的情况下，可以向钻孔内灌入水泥，待水泥浆干固后用小一级钻具钻穿，于是，孔内留下一薄层的水泥圈以代替套管保护孔壁。

很显然，当使用套管加固不稳定的孔壁后，如果还想继续加深钻孔，钻孔直径就不能不发生变化，因而钻孔并不是一个上下直径不变的圆孔，而呈如图 0-5 所示的阶梯状。所以，必须对钻孔结构加以阐述。

(四) 钻孔结构

钻孔结构是指钻孔由开孔至终孔，孔身口径的变化。一般地说，换径次数越多，钻孔结构越复杂，换径次数少，则钻孔结构简单。

在深孔钻进时，由于客观地质条件和技术设备能力的限制，遇到下列情况时往往需要换径钻进和下入套管。

(1) 钻进松散的砂砾石层、流砂层，受地下水影响使泥浆护孔无效时，需要下入套管，换径钻进。

(2) 穿过较厚的节理裂隙发育的破碎带，坍塌掉块严重时，需要下入套管护孔后换径钻进。

(3) 钻孔遇到含水构造或与大裂隙贯通而严重涌水或漏失时。在这种情况下，进行套管止水工作后换径钻进。

(4) 钻孔达到一定深度后，由较大口径换较小口径钻进，以适应设备负荷能力。

因此，在钻孔设计与施工时，要充分考虑矿区的岩石性质，水文地质条件，钻孔终孔口径，钻孔深度，钻进方法，钻孔用途等因素。在保证钻孔质量和安全钻进的前提下，尽可能地采用泥浆护孔，力争少换径，少下或不下套管，最大限度地简化钻孔结构，以降低钻进成本。

由于地层要求，设计的钻孔结构在口径上有变化（见图 0-5），因此钻进时使用的钻头和岩芯管等钻具的直径亦应有相应的不同。这就是第一章第五节钻探工具节内有钻具规格系列的原因。

(五) 钻探生产工序

钻探生产工序从大的方面可分为三个阶段，即准备阶段、钻进阶段和结束阶段。这三个阶段的详细工序见下表所示。

准备阶段在机台接到任务书后，要根据钻孔的目的要求、孔深和孔径大小，以及所要遇到地层地质条件等，筹备应采用的设备和工具，然后搬运和安装。安装经验收合格后即可进入钻进阶段。

钻进阶段工序就更多了，除为了孔的不断加深进行钻岩外，还有为了取出岩芯而进行升降钻具；为了保证质量，在进尺一定数量后要进行测斜；钻进中机器出了故障需进行检修；出了事故需进行处理等。

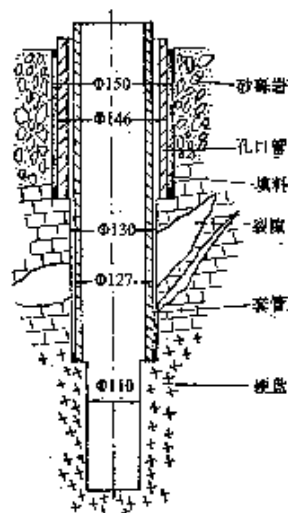
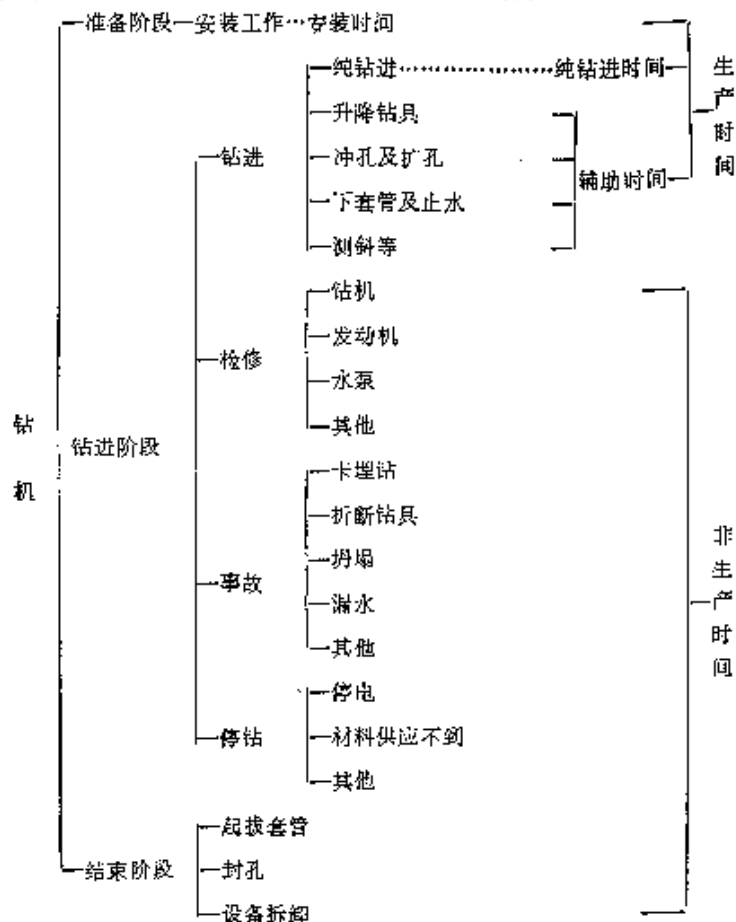


图 0-5 钻孔结构示意图

钻到预定要求或深度后，即进入钻孔结束阶段。结束阶段要作起拔下入井内的套管和封孔工作，封孔后进行质量验收，验收合格后即可拆卸设备。



钻进劳动生产率的指标是“台月效率”，即一个机台一个月内的进尺数。

促进机台效率的不断提高，就必须对整个生产过程的工时消耗情况进行系统的研究，找出工时损失的原因，并从技术、组织等方面进行改善，以消灭或缩减非生产工时的消耗。挖掘生产的潜力，则应使劳动者和劳动工具在全部工作时间内能合理地使用，以促进劳动生产率的不断提高。

从生产工序表中可知，各工序所花费的时间可分为生产时间和非生产时间两大类。而生产时间又可分为纯钻进时间和辅助时间。提高劳动生产率(即提高台月效率)应从提高纯钻进时间内的钻进机械钻速和缩短非生产时间，即从提高生产时间比例着手，尤其是要提高纯钻进时间。各工序所消耗的时间用各该工序时间占整个生产时间的百分比表示(%)。

提高劳动生产率可采用如下措施：

1. 加强组织领导工作，采用合理的劳动组织和分工，积极地提高钻探工作人员的技术水平和熟练程度，大力推广先进生产者高效能的工作方法，使钻探工作高速度的进行。

2. 提高纯钻进时间的进尺

(1) 选择合适的钻进规程 在可能情况下, 实行强力规程钻进。

(2) 使用小口径钻进 在保证满足地质要求的条件下, 尽量使用小口径钻进。小口径钻进可提高单位时间的进尺, 降低钻孔的总费用。

(3) 根据岩石破碎的机理和岩层的性质, 大力推广使用新型钻头。

3. 减少辅助时间在总时间中所占的比重就可增加纯钻进时间

减少辅助时间的方法如下:

(1) 实行机械化和自动化 机械化自动化是钻探设备发展的方向, 机械化自动化不仅减少了操作者繁重的体力劳动, 而且也有有效的减少了辅助时间。

(2) 使用无岩芯钻进 岩芯回转钻进时因采取岩芯, 必须周期地起下钻, 这就大大地增加了辅助时间, 特别是孔深 100m 以后所需时间要占总时间的 30~40%。使用无岩芯钻进, 不但提高了钻速, 降低了成本, 并使纯钻进时间达 60% 以上。

4. 缩短或消灭非生产时间

(1) 如果钻机数目较多, 可成立专业安装队来进行安装、拆卸、迁移工作, 使安装和钻进工作平行作业。当遇到钻探机械发生故障要检修, 或遇孔内事故难于处理要停工待料时, 可转移至另一钻机工作, 这样使机台人员的全部时间用于钻进工作。

(2) 使用移动式轻便钻探设备 (包括自行式钻机) 大大缩短安装、拆卸、迁移等非生产时间。

(六) 钻探方法分类

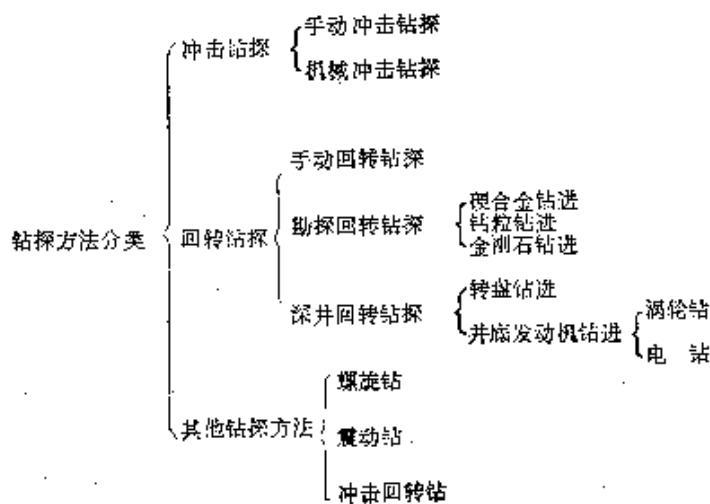
根据破碎岩石方法的不同, 钻探方法分为物理的、化学的和机械的。

物理方法破碎岩石有: 用高温 (1400~3500℃) 高压 ($20\sim 25\times 10^7\text{Pa}$) 使岩石破碎、熔化, 而高温高速的火焰气流一边破碎岩石一边将岩屑吹出孔外; 其次有超声波和低声波碎岩, 如用高频电流加热使岩石的分裂和水电效应的碎岩方法; 还有爆破法, 无线电波法等。

化学方法破碎岩石应用很少。例如溶解、气化、软化岩石等。

机械破碎岩石的方法在目前应用最广。这种方法主要是在岩石中产生很大的局部应力使岩石破碎 (主要是冲击力、压力及剪力), 或者应用高频率的震动力使岩石破碎。

考虑到目前的钻探实际情况, 可以根据破碎岩石的方法将机械钻探方法作如下简要分类:



第一篇 岩石的物理力学性质

在“探矿工程”工作范畴中，其工作对象是岩石，即首先是要破碎岩石，对“钻探工程”来说，破碎岩石就是要钻出一口大小直径和深度不同的孔（井），而对坑探工程来说，破碎岩石就是要掘出一定尺寸和深度的巷道或槽、浅井等。上述两类工程，无论哪种工程施工中，在破碎的岩石被消除后，都会在地表内留下一个空间（孔或井、巷道、槽等），则地表内岩石原有的平衡状态就遭受了破坏，而遭受破坏的地表内岩石，就会随岩石性质的差异和时间长短出现掉块、坍塌等现象，它就要影响各种工程的进程，有的甚至会出现重大事故。因此，为了工程工作能顺利的进展，必须将破碎岩石所形成的孔或巷道进行加固。由此可见，对于探矿工程工种来说，既要研究破碎岩石的问题，又要研究岩石被破碎形成空洞后的加固问题。虽然这两个问题对探矿工程中哪种工种都存在，但随工程种类不同，这两个问题的轻重是有所不同的，例如，对于钻探工程，其侧重于岩石破碎，尤其是浅孔。而对于坑探工程，形成空洞的加固亦具有相当重要性。

破碎和加固岩石的难易性，与岩石的各种性质有密切的关系，为了探矿工程能高效、优质、低耗的进行，必须对岩石的各种性质有所了解。

第一章 岩石的物理性质和 岩石的力学性质

第一节 岩石的物理性质

一、结 构

岩石的结构是指组成岩石的矿物成分、粒度、形状和矿物颗粒之间的连结方式。岩石的结构不同，它的坚固程度也就不同。组成岩石的矿物颗粒越细，组织越致密，这种岩石就越坚固，在进行钻孔和爆破时也就更易于破碎。例如火成岩中细粒花岗岩的抗压强度为 $26 \times 10^7 \text{Pa}$ ，而粗粒花岗岩的抗压强度只有 $12 \times 10^7 \text{Pa}$ 。

对于沉积岩，其坚固性除与矿物的成分、粒度和形状有关外，还与胶结物的成分和颗粒间胶结的强弱有关。从胶结物成分看，以硅质成分为最坚固，铁质成分次之，钙质和泥质成分为最差。从颗粒间胶结强弱来看，致密、胶结牢固和孔隙少的岩石，坚固性最好，而胶结不牢固、存在许多薄弱面和孔隙多的岩石，坚固性最差。

对于变质岩，变质程度越高，坚固性越强。

显然，岩石的结构越致密，胶结越牢固，岩石的坚固性则越高，对于钻孔和凿岩爆破

则越困难，而对保护孔壁和坑道维护（支护）工作则越有利。

二、构造

岩石构造是指岩石在生成时和生成后受动力地质作用所形成的层理、节理和裂隙等。

层理是沉积岩的主要构造特征，是指岩石成层状分布，在某些变质岩中，也保留着其原生岩石所具有的层理。

节理是岩石受动力地质作用而发生的断裂，但断裂后沿裂隙面两旁岩石没有发生明显的位移。

无论是层理、节理还是裂隙，都是岩石中连结的薄弱面。它们的存在大大削弱了岩石的坚固性，在外力作用下，岩石首先会沿着这些薄弱面破裂。另一方面又对爆破有害，降低了爆破效果。特别是炮眼布置不当时，爆炸气体产物容易沿着裂隙漏掉，岩石得不到充分的破碎，从而产生大块。

三、松散性

整体岩石被破碎后，自然堆积的体积比整体岩石的体积增大，这种特性称为岩石的松散性（又称碎胀性）。松散状态的岩石体积与原岩体积之比，称为岩石松散系数。

岩石的松散性，在选择装岩运输设备与提升容器时必须考虑它。常见岩石与土壤的松散系数如表 1-1-1 所列。

砂土松散系数

表 1-1-1

岩石名称	松散系数	岩石名称	松散系数
砂、壤土	1.1~1.2	粘土质片岩、较软的坚实岩石	1.35~1.45
腐植土	1.2~1.3	中等坚实岩石	1.40~1.60
肥粘土、粗砾石、重壤土	1.24~1.3	硬和极硬的坚实岩石	1.45~1.8
软泥灰岩	1.33~1.37		

四、孔隙度

单位体积岩石中孔隙的大小，用单位体积岩石中所含孔隙体积的百分比来表示，这个比率称为孔隙度。孔隙度大的岩石，组织结构不紧密，一般易于钻进和爆破，但孔隙度大的岩石，不仅能含水，钻孔时冲洗液漏失，亦能渗透气体，所以，要特别注意在凿岩爆破时的涌水和瓦斯喷出的可能。

五、密度和容重

岩石的密度是指不包括孔隙体积在内的单位体积岩石的重量。岩石的容重是指包括孔隙体积在内的单位体积岩石的重量。实际上岩石中都包含有一定的孔隙体积，故密度的概念只在计算时使用。

密度和容重大的岩石，钻进和爆破时消耗能量大，几种常见岩石的密度和容重见表 1-1-2。

几种常见岩石的密度和容重

表 1-1-2

岩石名称	花 岗 岩	砂 岩	石 灰 岩
密度, t/m^3	2.58~2.89	2.59~2.72	2.71~2.88
容重, t/m^3	2.55~2.67	2.41~2.44	2.46~2.62

六、安息角

颗粒间缺乏凝聚力的松散性岩石,堆放时能保持其外形,由于颗粒的自重和颗粒之间摩擦力的作用而不坍塌,此时其斜面与水平面所夹之角,称为岩石的自然安息角。

岩石安息角的大小,随岩石颗粒的形状与尺寸以及湿度等因素而变化,见表1-1-3。对颗粒间缺乏凝聚力(如松散岩块和土壤)的岩石称为安息角,而颗粒之间具有凝聚力(致密坚硬岩石)的岩石则为称内摩擦角 ϕ 。

当确定平巷、竖井与斜井井口的加固方法以及确定探槽的边坡时,必须考虑岩石的安息角或内摩擦角。

岩块及土石在不同湿度下的安息角及某些岩石的内摩擦角 $\phi(^{\circ})$

表 1-1-3

岩块及土石名称		干 的	湿润的	湿 的 (含饱和水的)	岩块及土石名称		干 的	湿润的	湿 的 (含饱和水的)
安 息 角	腐植土	40	35	25	内 摩 擦 角 ϕ	黏土质页岩	65~70	55~65	45~50
	壤土	40~50	35~40	25~30		石灰岩	75~82	65~70	50~55
	粘土	40~45	35	15~20		砂岩	82~85	60~70	50~55
	粗砂	30~35	32~40	25~27		辉绿岩、片麻岩	84~86	55~65	50~55
	中砂	28~30	35	25		赤铁矿岩		45~70	50~65
	细砂	25	30~35	15~20		花岗岩	82~85	65~75	60~65
	砾石	35~40	35	25~30		硬石英岩	95~97	85~75	65~60
	无根泥炭	40	25	15					
角	各种块度的碎胀坚实岩石	32~45	36~48	30~40					

第二节 岩石的力学性质

岩石的力学性质是指岩石在受载过程中所表现出来的性质,它取决于岩石的组成和结构,并与加载方式等外部工艺因素有关。与机械碎岩效果有关的力学性质包括有弹性和塑性,强度和硬度,以及岩石的研磨性等。

一、岩石的强度

岩石强度的定义同固体强度的定义,可理解为抵抗外载整体破坏的能力。据外载的形式不同,可以有抗拉、抗压、抗弯和抗剪等几种强度(如图1-1-1所示)。

岩石强度的大小主要取决于其内聚力和内摩擦力。岩石的内聚力表现为矿物晶体或其

碎屑间的相互作用力。岩石的内摩擦力表现为颗粒间的原始状态即将破坏而变产生位移时的摩擦阻力。

同样一块岩石其抗拉、抗弯、抗剪和抗压强度的大小是不同的,例如岩石的抗拉强度最小,抗弯、抗剪强度次之,而抗压强度最大。由表1-1-4所列出的数值可以看出,若岩石的抗压强度为1,则抗剪强度为其 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{11}$,抗弯强度为其 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{12}$,抗拉强度为其 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 。

因此,利用岩石的抗拉与抗弯强度比较弱的特点,采用相应的机械破碎方法是可以得到较好的效果。

测试岩石强度,根据国际岩石力学委员会确定的标准,要求试样为圆柱形,高 l 和直径 d (40~45mm) 的比为 $l/d = 1 \pm 0.05$,端面应抛光,保证端面的平行度和圆柱母线的垂直度,试验用压力机应有抛光平板和滚珠支座,加载速度为0.5~1.0 MPa/s,试样变形到破坏为止。强度的单位为MPa或 kg/cm^2 。

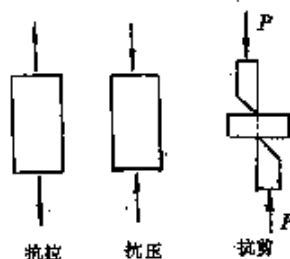


图 1-1-1

表 1-1-4

岩 石	岩石的强度, MPa			岩 石	岩石的强度, MPa		
	抗压 σ_c	抗拉 σ_t	抗剪 τ_s		抗压 σ_c	抗拉 σ_t	抗剪 τ_s
粗粒砂岩	142.0	5.14	—	白云岩	152.0	6.9	11.8
中粒砂岩	161.0	5.20	—	石灰岩	138.8	9.1	14.6
细粒砂岩	185.0	7.95	—	花岗岩	166.0	12.0	19.8
页岩	14.0~61.0	1.7~8.0	—	正长岩	215.2	14.3	22.1
泥岩	18.0	3.2	—	辉长岩	230.0	13.6	24.4
石膏	17.0	1.0	—	石英岩	305.0	14.4	31.6
含膏灰岩	42.0	3.4	—	辉绿岩	343.0	13.4	34.7
安山岩	98.6	5.8	9.0				

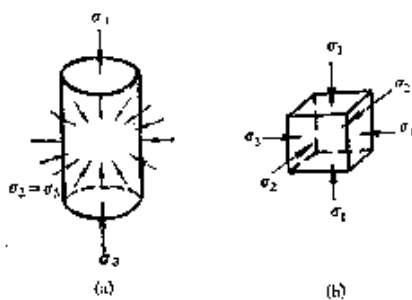


图 1-1-2 三轴岩石试验方法

(a) 垂直作用下的压(拉)试验(常规三轴);
(b) 用三缸活塞进行三轴压缩试验(真三轴)

岩石的抗压强度,一般是指单向压缩所得的试验数值。如岩石处于各向压缩的情况下(如图1-1-2为测试三轴下岩石强度的方法),则其机械性质将会发生变化,在各向均匀压缩时,岩石的抗压强度比单向压缩大10~15倍之多。由此可以看出,岩石在地下深处的性质与地表上的是有着很大的差异,同时,也可以推断出钻深孔时,孔内的冲洗液柱所产生的静水压力也会影响孔底岩石的强度。

岩石的抗压、抗剪强度取决于组成岩石的矿物之性质,颗粒间的胶结关系,胶结物的性质及分布,颗粒的大小,颗粒的充填程度(即容重或密度),结构和构造,风化程度等因素。例如矿物本身颗粒较小,颗粒的充填程度大,胶结物质系

硅质或灰质，而且分布的比较均匀的岩石，其抗压、抗剪强度一定大于矿物本身颗粒较大，颗粒间的充填程度较差，灰质或泥质胶结而且胶结物分布的不很均匀的岩石。

此外，岩石的各向异性也要反映出不同的强度，对一般岩石，垂直岩层层面的抗压强度最大，平行于岩层层面的强度最小，斜交于岩层层面的强度介于两者之间。

二、岩石的硬度

岩石的硬度是岩石表面抵抗工具侵入的能力。由于至今尚无一个统一的确定岩石硬度本质过程的物理模型，所以测定岩石硬度的方法较多，甚至量纲也不统一。这就造成用不同方法测得的硬度值之间可比性较差。

岩石的硬度和抗压强度虽然两者有联系（一般影响强度的因素都会影响硬度），但又有很大的区别。主要表现为：

（1）硬度只是固体表面的局部对另一物体刺入或压入时的阻力，仅发生局部破碎，加载物体对岩石表面有个吃入量；抗压强度是固体整个破坏时的阻力，直至岩石破坏前，只发生整体变形，不会有施力工具的明显吃入。

（2）据理论分析，岩石的压入硬度 P_k 和抗压强度 σ_c 。（两者量纲相同-MPa）间大致有如下的关系：

$$P_k = (1 + 2\alpha) \sigma_c \quad (1-1-1)$$

实际上两者之比在5~20倍之间。这是因为测定压入硬度时，岩石处于局部压碎的复杂应力状态下。若从各向压缩时岩石强度增大的道理来分析，就不难理解岩石的硬度大于强度的原因。

表1-1-5是苏联学者瓦托林（E. C. Ватолнн）列举的岩石力学性质对照表。虽然表中各岩石的强度基本相等，但其硬度和塑性系数却有较大差异。也证明不能用强度来代替硬度。

岩石强度相同对其它指标对照表

表 1-1-5

岩 石	强 度, MPa		压入硬度 MPa	塑性系数	研 磨 性
	抗 压	抗 剪			
正长岩-玢岩	150	20	3050	2.7	15.0
磁 铁 矿	140	24	3500	1.9	5.7
磁 铁 矿	150	19	2800	2.1	0.6
凝 灰 岩	160	21	4140	2.4	19.5
泥质灰岩	144	10	1500	3.5	10.0

（3）岩石层理对硬度的影响与强度正好相反。实验证明，平行于层理与垂直于层理的压入硬度之比（ $P_{k\parallel} : P_{k\perp}$ ）为1.1~1.8。即沿垂直于层理方向钻进比较容易使岩石产生局部破碎。这对钻探生产中的钻孔弯曲问题有重要影响。

（4）实际钻进中，钻头上的切削具仅破碎局部岩石并吃入岩石，故岩石的硬度指标更接近于实际的孔底碎岩难易程度。而且有不少岩石的强度指标与破碎难易程度不成对应关系。例如钻进高于砂岩强度4倍的石灰岩却钻速更高，即说明强度高者反而更容易破碎。

综上所述,虽然一般情况下岩石的强度和硬度是有联系的,但对钻探工作来说岩石的硬度指标更具有实际意义。

在讨论岩石硬度对钻进效果的影响时,应区分造岩矿物颗粒的硬度和岩石的组合硬度。因为前者主要对钻进中碎岩工具的摩擦起作用,而后者主要对钻进时岩石破碎速度起重要影响。

目前在工程上测定硬度的方法很多,适于岩石形态变化特点的是以各种不同形状的压模(球体、圆柱体、圆锥体等)压入岩石的方法。取岩石在破碎时所加之外力与压模底面积的比值表示,单位为MPa或 kg/cm^2 。

岩石的硬度对钻探破碎岩石有重大影响,这是因为利用各种不同形状的压模测定岩石硬度的方法,在碎岩的局部性上是很相似的。

影响岩石硬度的因素也是多方面的,它与造岩矿物的成分,胶结物质的性质,岩石的结构等有密切关系。造岩矿物硬度大,则岩石的硬度也大。由粘土质胶结的矿物所组成的岩石比灰质、硅质胶结的岩石硬度小,结晶程度越完善,结晶颗粒越小,则岩石的硬度越大。

三、岩石的弹塑性及脆性

弹性、塑性和脆性是物体受外力作用后,对变形的不同表现。弹性是固体在卸去所加之负载后,恢复原来状态的性能。当所加之负载卸去后,固体保持其变形的性能称为塑性(即变形不能随之消失)。

脆性是固体在负载作用下不引起任何残余变形的性能,也就是岩石的弹性极限与强度极限很接近,因此外荷载达到岩石的弹性极限时,很快地出现了固体的完全破碎。

由于岩石是多矿物组成和结构上的复杂性,岩石不是理想的弹性体,不符合虎克定律。

由于多数造岩矿物的塑性都不大,有的基本上无塑性,所以岩石的塑性变形主要是由于矿物颗粒间沿界面所产生的滑动而引起的。岩石内部颗粒间相对滑移能力越强(细粒岩石、多晶体岩石),孔隙度和湿度越大,则岩石的塑性越强。

在室温和常压下,当岩石处于简单应力(如单向压缩)状态时,其塑性并不明显(有的学者甚至认为就其自然属性来说,岩石是不具有塑性的)。但是,在复杂应力状态下(比如各向压缩),岩石却表现出很明显的塑性。不言而喻,钻探的对象都是处于各向压缩的地下岩石,因此认真研究岩石的塑性是很有意义的。

在岩石力学中,根据单向压缩时应力-应变曲线所反映的岩石变形特征,常把岩石分成弹脆性岩石、弹塑性岩石和塑性岩石三类。

如图1-1-3所示,岩石在外力作用下,首先产生弹性变形,其应力-应变关系是一条斜率为 E 的直线。若进一步增加外载,便出现三种可能:一是导致岩石的脆性破坏,在此之前实际上不存在不可逆的应变——这类岩石称为弹脆性体(或弹性体);二是导致应力和应变之间的直线关系发生变化,这时变形速率大于加载的速率,岩石产生不可逆的应变。岩石经过短暂的塑性变形后,也产生脆性破坏——称为弹塑性体;三是经过短暂弹性变形后,很快便转入典型的塑性变形,岩石并不发生脆性破坏而是塑性破坏,其特点是破坏前有较大的不可逆应变和明显的破坏面,这类岩石称为塑性体。

由于岩石的性质有很大差异,也可能测出的曲线不像图1-1-3那样典型,但仍可大致归为上述三类。比如著名学者米勒(Miller)据28类岩石的试验结果,将单轴应力-应变

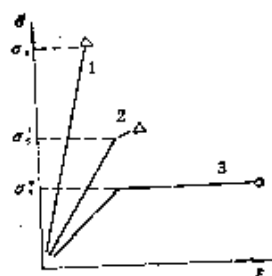


图 1-1-3 弹脆性岩石 (1) 弹塑性岩石 (2) 和理想塑性岩石 (3) 的应力应变关系
 σ_1 —脆性岩石强度极限, σ'_1 和 σ'_2 —弹性和理想塑性岩石的屈服极限, Δ —脆性破坏, C—塑性破坏

曲线分为六种类型。如图 1-1-4 所示。其中 I、II 类属于弹脆性岩石, I、II、V 类属于弹塑性岩石, III 类属于塑性岩石。

在三轴应力作用下, 岩石力学性质的另一个显著变化就是随围压增大, 岩石表现出由脆性到塑性的转变, 并且围压越大, 岩石破坏前呈现的塑性也越大。试验表明, 当围压小于 50MPa 时, 石灰岩基本上仍属于脆性破坏, 当围压大于 50MPa 后, 才开始呈现塑性, 而围压大于 100MPa 时, 则明显表现为塑性变形。

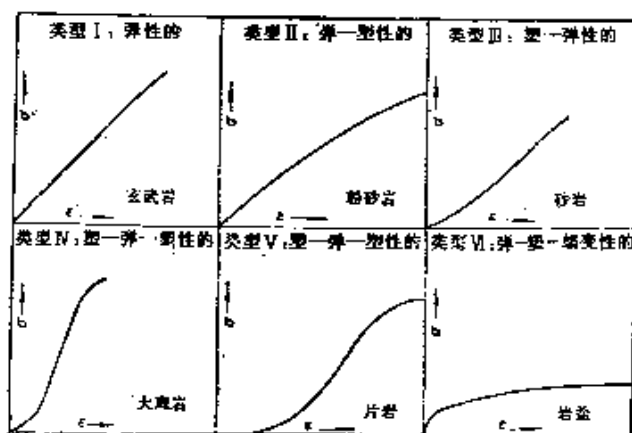


图 1-1-4 在单轴压缩下岩石直至破坏的典型应力-应变曲线

四、岩石的研磨性

在用机械方法破碎岩石的过程中, 钻头体上的切削具 (硬质合金、金刚石、牙轮等) 或钻头体本身及其磨料 (钻粒) 将与岩石产生连续的或间歇的接触和摩擦。有摩擦就有磨损。因而碎岩工具在破碎岩石的同时, 也受到岩石的磨损而逐渐变钝、损坏。岩石磨损钻进工具的能力, 称为岩石的研磨性。由于目前岩石研磨性测量的方法较多, 衡量指标也不统一, 常以工具的磨耗量 mg 表示。

岩石的矿物成分、石英含量、颗粒大小和形状、胶结状态, 岩石与工具摩擦表面的温度、相对速度及压力等许多因素都在不同程度上影响着岩石的研磨性。

(一) 自然因素

一般随着岩石中造岩矿物的显微硬度、坚硬矿物碎屑和颗粒 (石英、燧石等) 的含量和粒度、孔隙度和非均质性等指标的增高, 岩石的研磨性增强。但对不同的岩石, 各指标的影响程度有差异, 甚至出现相反情况。

1. 晶质岩石

晶质岩石的研磨性与其矿物组分的硬度（或平均硬度）成正比。这类岩石研磨性由小到大的顺序是：

硫酸盐类岩石（石膏、重晶石），碳酸盐类岩石（石灰岩、白云岩），硅质岩石（玉髓、燧石），铁—镁石岩，石英岩。

2. 碎屑岩石

如果组成岩石碎屑的成分是石英，则岩石的研磨性随岩石中的石英含量与粒度的增加而增高。图1-1-5表明钢的单位摩擦路程磨损量与石英粒的含量成线性递增关系。

碎屑岩与晶质岩石的主要区别，在于它的胶结物的强度和结构对研磨性有显著的影响，尤其是石英砂岩和粉砂岩。

一般碎屑岩石的胶结物越弱，孔隙度越大，颗粒越粗，棱角越锐，则其表面越粗糙，以致摩擦时的微观压力增大，使岩石的研磨性增强。

应该指出，砂岩的研磨性与其压入硬度成反比，如图1-1-6所示。也就是说，随砂岩胶结强度的降低，砂岩的研磨性增强。这可解释为胶结强度越弱，颗粒越容易从岩石上剥离下来而形成新的摩擦表面，并造成表面粗糙度增高，同时剥离的硬颗粒将混在冲洗介质中也增加了介质研磨的能力。

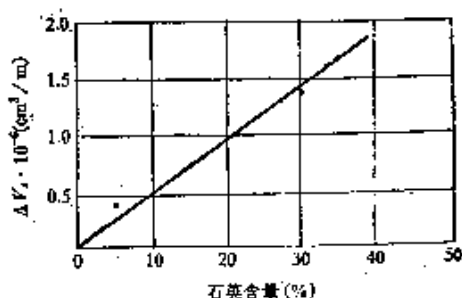


图 1-1-5 钢的单位路程磨损与碎屑岩中石英的含量关系

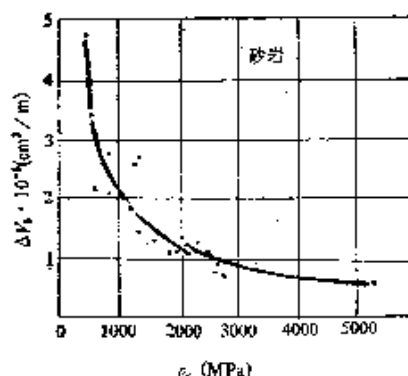


图 1-1-6 钢的单位路程磨损与砂岩硬度的关系

粉砂岩的粒度比砂岩小很多，故在硬度相同时粉砂岩的研磨性比砂岩小。

钻头进尺（即钻头寿命）与石英含量的关系见图1-1-7。实验结果表明，随着石英含量的增加，金刚石钻头的寿命下降；机械钻速也随岩石研磨性增强而下降，特别是表镶金刚石钻头的钻速下降更剧烈。

（二）工艺因素

影响岩石研磨性的工艺因素主要指轴向压力、切削具硬度及其相对运动速度、介质的性质等。

1. 碎岩规程的影响

钻进工具的磨损量与它和岩石间的摩擦力成正比，即与动摩擦系数 μ 成正比。但动摩擦系数 μ 随钻进压力和转速的增加而增大，只有当钻压超过岩石的压入硬度，转速高达某个极限值时， μ 值才能稳定或略有下降。如果仅从降低工具的绝对磨损量出发，只能得出尽量减小钻压与转速的结论，这是不合理的。钻进的目的是有效地破碎岩石，如果用碎岩

过程中的相对磨损量 ω_0 来衡量规程的影响,那么这个问题并不难解决。

中国地质大学探工系的实验结果证明,在良好的冷却和排粉条件下,钻压和转速的提高(在一定范围内),使碎岩速度上升,工具的相对磨损量下降。图1-1-8表明,对于黑云母花岗岩,当钻压为4MPa时,若把线速度由1m/s提高到1.7m/s(提高70%),相对磨损量下降17%;若线速度保持为1m/s不变,而把钻压提高至6MPa(提高50%),则工具的相对磨损量下降38%。因此,在降低工具的相对磨损量方面,钻压的提高要比转速的提高效果更佳。

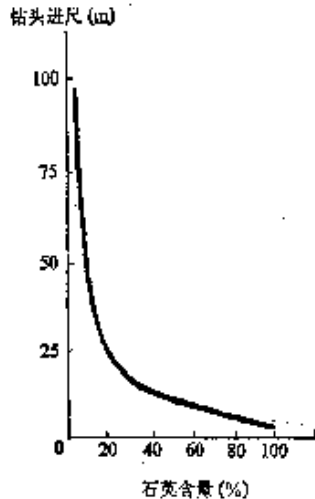


图 1-1-7 钻头进尺与岩石中石英含量的关系

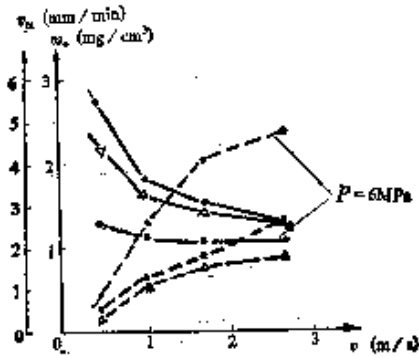


图 1-1-8 线速度与相对磨损、碎岩速度的关系

规程 $P=6\text{MPa}$, $Q=2\sim3\text{L/min}$, --- 为黑云母花岗岩(虚线为碎岩速度),
-△-为闪长岩(虚线为碎岩速度)

2. 切削具硬度的影响

研磨性磨损的特点主要取决于岩石(或矿物)的硬度与它所磨损的工具之间的硬度比值的大小。如果岩石(或矿物)的硬度比被它仍所磨损的钢或硬质合金的表面硬度小得多,则岩石(或矿物)本身会发生剧烈的磨损,而钢或硬质合金的磨损只发生很薄的表面层。反之,若岩石(或矿物)的硬度等于或接近钢的表面硬度,则岩石(或矿物)抗破碎和抗磨损的阻力增大,工具的磨损急剧增大。而对硬质合金则会发生脱钴物钻提前磨损,造成碳化钨颗粒剥离。

因此,对硬度大的岩石应尽量选用含钴最低的硬质合金或金刚石等超硬材料做碎岩工具。

3. 介质性质的影响

介质能够改变工具和岩石之间的研磨性磨损特征。一般在岩石破碎过程中,如果实施低或中等钻进规程(钻压、转速不太高),那么介质的润滑性能对工具的磨损产生主要影响。而在强力规程(高钻压、快转速)下,介质的冷却性能起主要作用,比如在破碎坚硬岩石时,降低介质的冷却性能会增加发生强烈磨损的危险性。

介质的润滑性能由大到小的顺序是:油基溶液、泥浆、水。而冷却性能的顺序是:水、泥浆、油基泥浆,空气。在实际磨损中介质的润滑性能和冷却性能是同时表现出来的,因此应综合考虑。

第二章 岩石的可钻性和 岩石的坚固性

岩石的可钻性是“钻探（孔、井）”工程通用的术语，它是指在钻进过程中岩石抵抗破碎的能力。

岩石的坚固性是“坑探”工程中常用的术语，它是指坑道掘进时岩石破碎的难易性和岩体的稳定性。有的专家认为这两者是趋向一致的。

第一节 岩石的可钻性

一、岩石可钻性定义和岩石可钻性指标

岩石的可钻性可理解为钻进过程中岩石抵抗破碎的强度。它表示岩石破碎的难易性。岩石的可钻性，是岩石的各种物理机械性质在钻进过程中的综合表现，它不仅取决于岩石的成分、颗粒度、颗粒间的联系方式、岩石的结构和构造等自然因素有关，而且还与钻进方法、钻头质量、钻进规程等工艺技术因素有着密切的相互联系。

岩石可钻性的表示方法及其分级依据，目前还没有统一。不同的工业部门，因所采用的钻进方法不同而习惯于不同的表示方法。例如地质勘探钻孔常用单位时间进尺（m/h）来表示，而石油钻井常以机械钻速和钻头寿命的乘积作为衡量指标，有时也以钻井单位距离的时间（min/h）或无量纲的可钻性指数为衡量指标；使用冲击碎岩方式的矿山井巷又采用单位体积破碎功或无量纲的坚固性系数作为指标。必须注意的是，如果以钻速（m/h）作为指标，则可钻性级别的大小与可钻性指标成反比，即可钻性级别越高，岩石的可钻性越低——越难钻。

二、岩石可钻性的测定方法及其分级表

划定岩石可钻性对促进钻探生产是有很大的实际意义。目前，在钻探生产中，不但要根据岩石可钻性等级来选择钻进方法和钻头，制定钻进规程和技术措施，而且还要根据岩石可钻进等级来编制计划，以达到优质、高产、安全、低耗的实施钻探生产。

（一）岩石可钻性按机械钻速分级（即按实钻法分级）

由于影响岩石可钻性的因素多而复杂，加之岩石可钻性指标的实用性要求（制定生产定额、选择钻进方法与工具等），有些学者提出：“确定岩石可钻性的唯一可靠的方法是采用实际钻进试验”，“生产过程的机械就是理想的用作鉴定过程自身的仪器”。因此，这种方法是在规定的设备工具和技术规范条件下，在现场进行实钻，以所得的纯钻进速度，作为岩石可钻性分级指标。同时考虑到由于岩石的研磨性造成的钻进速度逐渐降低，使回次钻进长度缩短，故在分级指标中一并列入回次长度值作为辅助指标。

我国地质部于1958年颁布的“岩石钻探岩石可钻性12级分类表”（如表1-2-1所示）。此表

是在大量实钻资料统计分析的基础上得出来的，与钻探生产定额等指标一致性较好。它对当时技术条件下的钻探生产起到了积极的促进作用。

表 1-2-1

岩石等级	岩石类别	代 表 性 岩 石	可 钻 性 m/h	回次长度 m
I	松软致密的	次生土，壤土，砂壤土	7.50	2.80
II	较软致密的	黄土，粘土，冰	4.00	2.40
III	软的	风化变质的页岩，千枚岩，泥灰岩，褐煤，烟煤	2.45	2.00
IV	较软的	页岩类，较致密泥灰岩，岩盐，火山凝灰岩	1.60	1.70
V	稍硬的	泥质板岩，细粒石灰岩，蛇纹岩，纯橄煌岩，无烟煤	1.15	1.50
VI	中等硬度	微砂化石灰岩，千枚岩，石英云母片岩，辉长岩	0.82	1.30
VII	中等硬度	致密石灰岩，石英二长岩，含长石石英砂岩，角闪石斑岩，玢岩	0.57	1.10
VIII	硬的	砂岩，千枚岩，微风化的花岗岩	0.38	0.85
IX	硬的	高砂化的石灰岩，粗粒的花岗岩，砂化凝灰岩	0.25	0.65
X	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
XI	坚硬的	刚玉岩，石英岩，含铁矿碧玉岩	0.09	0.32
XII	最坚硬的	未风化致密的石英岩，碧玉岩，燧石	0.045	0.16

岩石可钻性按机械钻速分级方法的主要缺点是：

(1) 随着技术条件（设备、钻进方法与工具等）、技术水平（钻进规程参数的最佳配合、冲洗介质性能及工人操作水平等）的改变，各类岩石的实钻指标（可钻性等级）的绝对值和相对关系都会发生变化。

(2) 各地各矿区的岩石都存在着差异，要找到在同深度又其它条件相同的测试条件是较难实现的，因而影响其测试的科学性。

(3) 要组织较大的测试队伍到各地各矿去测试，因而该测试方法费力费时。

随着生产水平的提高，50年代地质部颁布的“岩石钻探岩石可钻性12级分类表”已不适应80年代的钻探生产的需要，因而地质部又组织了研究所和院校的研究队伍，在共同研制基础上，于84年颁布了如下在室内和野外队都可测定的岩石可钻性测定分级法。

(二) 摆球硬度分级法

我国勘探技术研究所研制的摆球硬度法的测量原理，如图1-2-1所示，摆动的钢球在冲击岩石过程中，由于能量的转换与消耗，要回跳一定的次数，每次的回弹角逐渐减小，直至为零。以回弹次数表征岩石的动载硬度。

测试岩样的岩芯直径以56mm的金刚石钻头采取的岩芯为标准（ $\phi 40\text{mm}$ ），岩芯长度不能低于50mm，要求岩芯两端面抛光。

当测试岩样的直径大于或小于 $\phi 40\text{mm}$ 时，则测试出来的值必须换算为标准岩样的数值，才能查表定级。其换算公式如下：

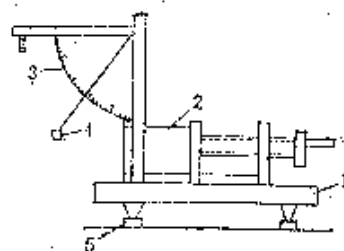


图 1-2-1 摆球式硬度计示意图
1—底座；2—岩样固定螺栓；3—刻度盘；4—摆锤；5—水平调节螺钉

$$H_n = \left(\frac{1}{8} + \frac{35}{D_n} \right) H_{nM} \quad (1-2-1)$$

式中 H_n ——修正的摆球次数；

H_{nM} ——直径大于或小于 $\phi 40\text{mm}$ 的岩芯试样测试值；

D_n ——受测岩样的直径，mm。

测试岩样的岩石可钻性等级可查表1-2-2确定。

岩石钻探岩石分极表

表 1-2-2

岩石级别	岩石物理力学性质			钻进有效指标			代表性岩石举例
	压入硬度 $\times 10\text{MPa}$	摆球硬度		统计效率, m/h			
		球次	塑性系数	金刚石	硬合金	钢粒	
N	<100	<30	>0.37		>3.80		粉砂质泥岩、碳质页岩、粉砂岩、中粒砂岩、透闪岩、均质岩
V	80~180	25~35	0.33~0.38	2.90~3.60	2.50		硅质粉砂岩、碳质页岩、滑石质闪岩、微晶大理岩、白色大理岩、石英闪长玢岩、黑色片岩、透辉石大理岩、大理岩
IV	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、透辉石榴石砂岩、黑云白云石大理岩
III	280~380	49~48	0.27~0.32	1.80~2.60	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
II	340~440	46~54	0.23~0.29	1.50~2.10	0.80	1.20	花岗岩、砂岩化闪长岩、石榴子砂岩、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、长英灰岩、混合浅粒岩
I	420~520	52~60	0.20~0.25	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、伟晶岩、微晶岩、斜长混合岩、闪长岩、石英闪长岩类似斑状花岗岩、斑状花岗岩闪长岩
X	500~610	59~68	0.17~0.24	0.80~1.20		0.75	硅化大理岩、砂卡岩、混合斜长片麻岩、斜长斑岩、钾长伟晶岩、斜长角闪岩、砂岩质岩、长英质混合岩化角闪岩、斜长岩、花岗岩、石英岩、硅质凝灰砂岩、英安质角闪岩
IX	600~720	67~75	0.15~0.22	0.50~0.95		0.50	凝灰岩、熔岩灰岩、石英角岩、英安岩
II	>700	>70	<0.20	<0.40			石英角岩、玉髓、熔岩灰岩、纯石英岩

此法仪器简单，操作简便，但要求岩样两端抛光工序较为复杂。

(三) 压入硬度分极法(勘探技术研究所研制)

WYY-1型压入硬度仪(见图1-2-2a)，在端面面积为 $1 \pm 0.2\text{mm}^2$ 的标准面积硬质合金锥压头，平稳均匀的施加压力 P_T ，当压头下AOB锥形体岩石发生破碎(见图1-2-2b)，压

头突然发生吃入，压力表指针突然回跳时，停止加压。记录指针的最大压力值，除以压头小端面面积，就可求出压入硬度值。即，

$$H_r = \frac{P_f}{F_1} \quad (1-2-2)$$

压入硬度法测量岩石硬度的方法，是模拟了牙轮钻进时牙齿的碎岩方式。因此，在中硬以下研磨性软弱的油气井中钻进，使用此种测岩石硬度方法来划定岩石可钻性等级，还是有其较好的相关性。但是在中硬以上具有相当研磨性岩层中使用，则其离散性较大。

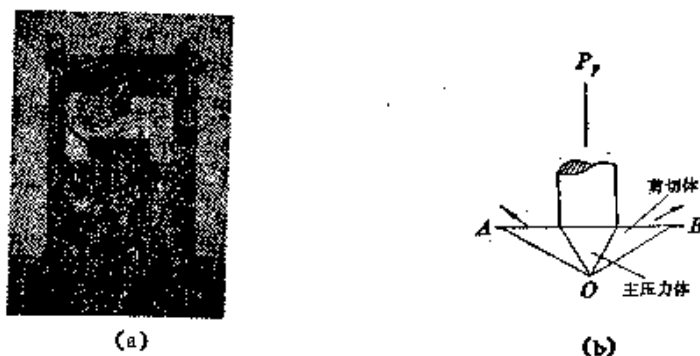


图 1-2-2 WYY-1 压入硬度仪及压入破碎示意图

人们对用测岩石硬度方法来划分岩石可钻性等级比较感兴趣的原因，那是由于测硬度方法的局部抗阻这点，与地表下岩体局部抗钻阻有其共性的一面，因此岩石硬度的大小与岩石的可钻性有其一定的相关性，但另一方面，所测岩石硬度的阻力与钻进时碎岩的阻力其条件不尽相同，所以在生产使用中，有时会出现不相关部分，个别的还会出现相反的情况。

(四) 微钻法(用小直径钻头在小型实验台(如图1-2-3所示)上钻岩)

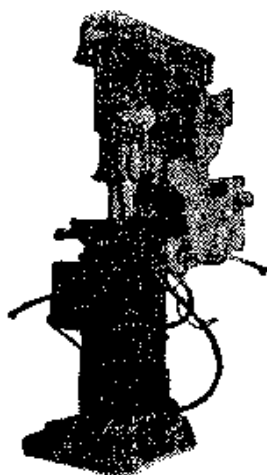


图 1-2-3 微钻法实验台

中国地质大学(武汉)探工系研制了用微型环状金刚石钻头模拟了野外钻进条件，在实验台对岩样进行回转钻进，每种岩石实钻三块，取平均钻速作为可钻性分级指标(mm/min)，其分级见表1-2-3，用微钻法所得的可钻性指标与野外生产中的实际钻速对比表明，除少数片理发育岩石外，大多数岩石的二者是相关性是令人满意的。

钻进时采用的同一规范如下：

钻头：微型孕镶金刚石钻头

外径 $D=20.5\text{mm}$ ，

内径 $d=8.5\text{mm}$

工作层金刚石品级：JR₁

粒度: 80目;

浓度: 75%;

钻进规程: 钻压 $P=4.9 \times 10^5 \text{Pa}$ (50kg/cm^2);

转速 $n=1500 \text{r/min}$ (线速度 $1.5 \sim 2 \text{m/s}$);

冷却 水: $Q=3 \text{l/min}$ 。

岩石钻探岩石分級表

表 1-2-3

岩石 级别	微钻钻速 (mm/min)	代 表 性 岩 石
I	216~259	中粒含岩屑长石质石英砂岩 (宁夏)
II	135~215	细粉砂质灰岩 (宁夏)
V	85~134	泥质页岩夹粉砂质页岩、大理岩 (安徽 324 队); 大理岩 (内蒙); 凝灰质粉砂岩、白云大理岩 (安徽 325 队); 含砾细砂岩、菱铁质胶结中粒长石砂岩 (宁夏)
N	53~84	透辉石大理岩、钾长石化石英闪长岩、泥灰岩夹泥质粉砂岩、石榴石砂卡岩 (安徽 324 队); 钾长透辉石砂卡岩 (山东 3 队); 透辉石化大理岩 (内蒙); 混合化斜长片麻岩 (吉林); 角岩 (安徽 325 队); 绿泥石胶结中粒长石砂岩 (宁夏)
III	34~52	斜长角闪长石英片岩、绿泥石化中基性火山岩、白云石大理岩、糜棱石化白云石大理岩 (安徽 311 队); 粘土质泥质页岩、蚀变中基性火山岩、硅质粉砂岩、微蚀变含细砂粗粉砂岩、红柱石斑点板岩、瘤状大理岩、石榴石透辉石砂卡岩、千枚状板岩 (安徽 324 队); 石英正长斑岩、角闪斜长片麻岩、透辉石岩 (山东 3 队); 蚀变细粒石英闪长岩、围岩化黑云母化细粒暗色闪长岩、透辉石化闪长岩、透辉石榴石砂卡岩、大理岩 (内蒙); 辉绿辉长岩、矿化蚀变石英角斑岩、黑云白云石大理岩 (云南); 角闪辉长岩、黑云绿石英片岩 (吉林); 闪长岩 (安徽 325 队); 铁质胶结细粒杂砂岩 (宁夏)
IV	21~33	石英岩化绿帘角闪石英片岩、微蚀变大理岩、绿泥石化角闪黑云斜长片麻岩 (安徽 311 队); 微蚀变含细砂粗粉砂岩 (安徽 324 队); 绿泥石千枚岩、斑状花岗闪长岩、透辉石、蛇纹大理岩、透辉大理岩 (山东 3 队); 含微细黑云角闪斜长片麻岩、变闪长岩、似斑状花岗岩、透辉石化闪长岩 (内蒙); 混合岩化石英黑云母片麻岩、矿化青盘岩化石英角斑岩、黑云母石英片岩 (吉林); 石英闪长岩、砂岩 (硅质胶结)、含杂砂质石英砂岩 (安徽 325 队)
V	14~20	花岗岩混合片麻岩、钾长石英片岩、斜长黑云石英片岩 (安徽 311 队); 石榴石黑云变粒岩、弱蚀变中粗粒斜长花岗岩 (内蒙); 闪长岩、闪长斑岩、绿泥石化石榴石砂卡岩、石英岩状砂岩 (安徽 325 队)
X	9~13	硅化透辉石岩 (山东 3 队); 石榴石黑云母变粒岩 (内蒙); 石英正长闪长岩 (中粒含长石英砂岩) (安徽 325 队)
VI	6~8	硅化石英岩状砂岩 (山东 3 队)
VI	≤5	脉石英 (安徽 311 队)

第二篇 钻 机

第六章 钻 机

第一节 概述

一、钻探的基本过程和主要钻探设备

钻探是由动力机（内燃机或电动机）带动钻机，以使由钻杆、岩心管和钻头组成的钻杆柱回转，并通过钻机供给钻杆柱一定的轴心压力和扭矩，从而使钻头刻取破碎岩石、钻孔不断往地下延伸，借以探明地下情况的过程。

钻进过程中钻头破碎岩石时会产生大量热能和岩粉，因此，需要用冲洗泵通过钻杆柱不断的向孔底输送循环介质，以冷却钻头和排除岩粉，并将岩粉携带出孔外清除掉。

由此可见，钻探主要设备有动力机（内燃机或电动机）、钻机、冲洗泵。

钻进过程的示意图6-1。

本章将对钻机进行介绍。

二、钻机的组成

目前我国地质勘探工作常用的钻机是三大部分组成的：

（一）机械传动系统

它的功用是：

1. 变速和变矩，以满足工作机构的要求。实现这一任务一般采用变速箱，深井钻机上也采用涡轮变矩器的。
2. 分配动力和将运动传到各工作机构。如分动箱。
3. 改变运动形式。如将旋转运动转换为给进机构的往复运动。
4. 在液压钻机中驱动液压泵，以使液压系统工作。

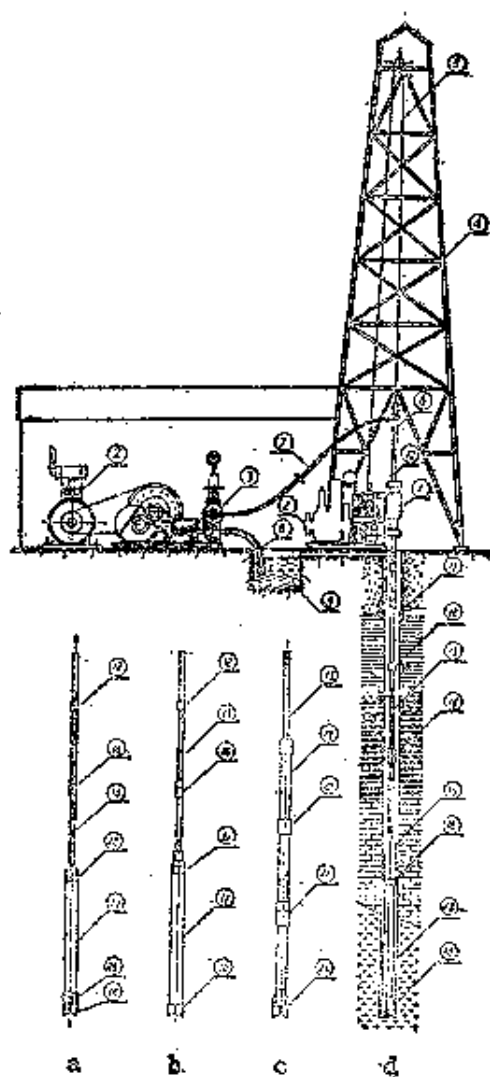


图 6—1 机械岩心回转钻探
主要设备布置、钻具结构及
钻进示意图

- a—金刚石钻进用的钻具；
b—硬质合金钻进用的钻具；
c—无岩心钻进用的钻具；
d—钢粒钻进用的钻具。
- 1—钻机；2—发动机；3—
泥浆泵；4—钻塔；5—钢丝绳；
6—水龙头；7—送水管；
8—吸水管；9—水眼箱；
10—主动钻杆；11—套管；
12—钻杆套箍；13—钻杆；
14—钻杆锁接头；15—沉淀管；
16—沉淀管接头；17—
岩心管；18—钻粒钻头；19—
钻铤；20—钻铤套箍；
21—钻铤锁接头；22—岩心
管接头；23—扩孔器；24—
金刚石钻头；25—刮刀式钻
头；26—硬质合金钻头

（二）液压传动系统

液压传动系统首先是在钻机的给进系统中应用，但它所能完成的工作任务远远超过给进系统所要求的工作内容，随着钻探机械自动化程度的提高，液压传动系统所负担的任务越来越多。从目前来看，钻机液压传动系统的功用有：

1. 控制立轴的给进和实现不停钻倒杆。即在钻进时使立轴给进；当立轴进行程终止时，在不停止立轴回转的情况下倒杆。在处理事故时用来提拔钻具。

2. 松紧卡盘。即根据钻进工序要求随时能松紧卡盘。

3. 钻具称重及掌握孔内情况。在钻进过程中根据液压系统压力变化情况来了解孔内情况，间歇性的进行钻具称重，掌握钻具重量以便正确地控制孔底压力。

4. 移动钻机和固定钻机。根据钻进或升降钻具工序的需要，使钻机向前移动，对正孔位或将钻机向后移动，让开孔位便于升降钻具作业；在前后移动到一定位置时，能使钻机定位固定。

5. 操纵液压拧管机拧卸钻具。因此油压钻机的油压系统有：油泵、操纵阀、立轴给进油缸、钻机移动油缸、钻机固定油缸、液压卡盘、液压拧管机压力表、孔底压力指示表及其他辅助装置等等。

近年来，液压技术在钻机上的应用范围不断扩大，全液压动力头钻机已开始应用于生产上，钻机的结构又发生了较大的变化。如使用长油缸或油马达—链条给进机构，配备合适的卡夹机构，就可兼有升降钻具的功能；再配有用于绳索取心的绞车，传统的升降机构和钻塔就可消失；应用变量泵及油马达并配备可换齿轮付的简单减速箱，就可去掉机械变速箱等传动部件。

（三）机座部分

机座是钻机的一个组成部件，它的主要作用是将钻机的各个部件和机构，系统地组装在一起，连成一个整体，承受钻机主体和动力机的重量以及它们在工作时所产生的载荷或作用力，并将这些载荷或作用力传递给基础。机座固定在基础（基台木）上并允许钻机前后移动和固定，以满足钻进工艺的要求。

机座一般是由底座、机架、机架固定装置和移动装置组成，其尺寸的大小常决定于钻机的钻进能力，随钻进深度的增加而增加。

三、对钻机的要求

钻机的技术性能要保证在钻孔施工中能满足合理的工艺要

求，以最优规程，达到预计的质量要求；维护保养简单容易；安装拆卸灵便；利于快速钻进；钻进辅助时间短；操作方便安全，体力劳动强度低等。

根据钻机的基本功用和基本程序，对钻机具体要求如下：

（一）通过回转钻具等方式将动力传给钻头时，要具有适合钻进规程需要的转速和调节范围，以便有效地破碎岩石；

（二）通过钻具向钻头传递足够的轴心压力，并有相当的调整范围，以适应最优钻压的选择；

（三）能完成升降钻具的工作，并能随钻具重量的变化而改进提升速度，以充分利用动力机的功率和缩短起下钻具的辅助时间；

（四）具有较高的钻进效率，并可变换钻进角度，以适应各类用途的地质钻孔；

（五）具备处理孔内事故，纠斜等特种工作的技术性能；

（六）工作平稳，结构紧凑，重量轻，尺寸小，可拆性好，外形美观大方。

四、钻机的分类

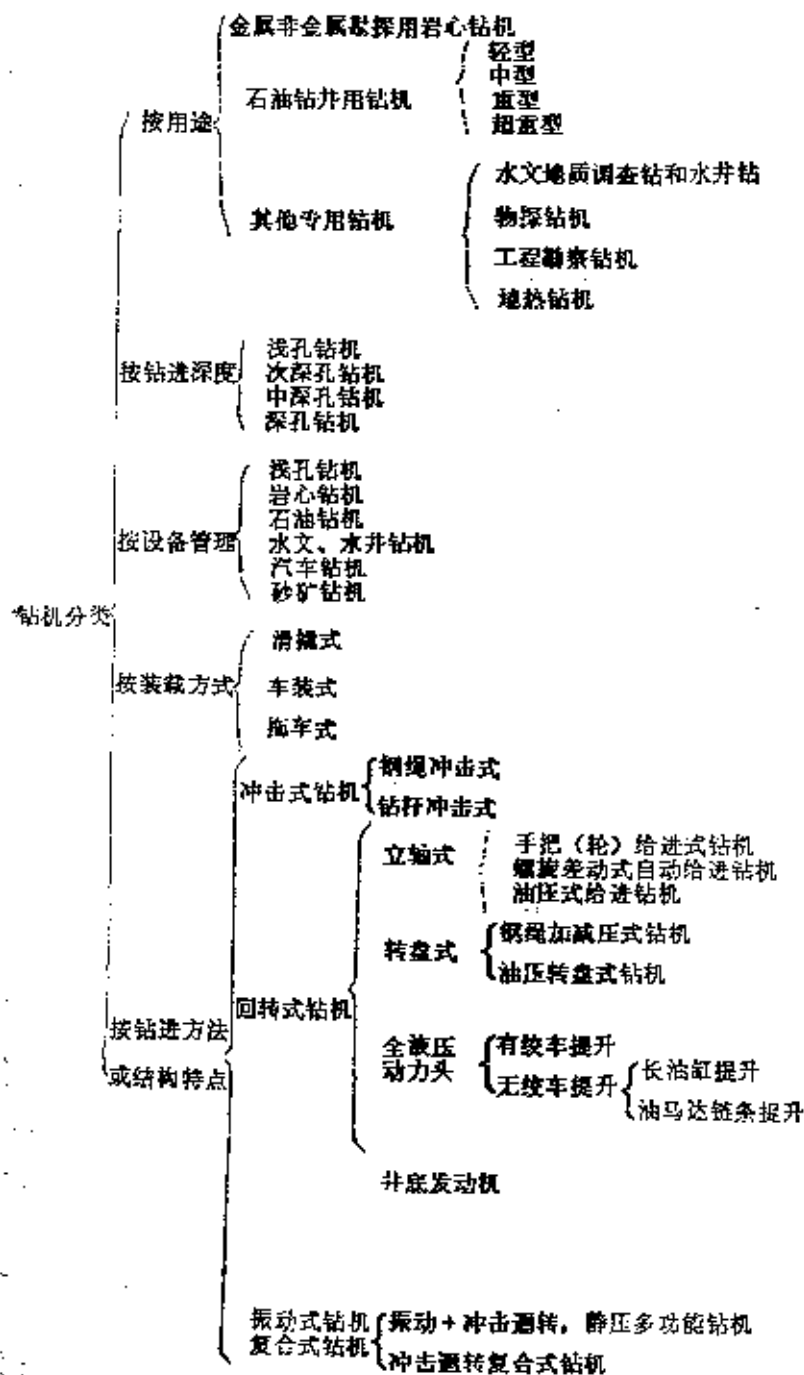
下面简单介绍钻机的分类。钻机的分类实际也是对钻探设备的分类；通常是按钻进方法和用途进行的。综合为下表形式：

五、岩心钻机的发展概况

如前所述，钻机的不断发展和完善既与科学技术水平、制造工艺和材质紧密相连，又取决于钻进工艺的发展

从历史来看，世界上无论用于何种目的的钻探，开始都是采用我国劳动人民最早发明的冲击钻进方法。只是近代由于回转钻优越性多于冲击钻，才使冲击钻退居到次要位置。

一八六二年瑞士人贝格特发明了手扳金刚石钻头，与他的助手佩工交埃特共同设计制造了手动操作的手扳钻机，标志着第一代回转钻机的诞生。由于回转钻进方式，解决了冲击钻进方法上种种难以解决的矛盾（如钻进不连续、取不到完整岩心、效率低等），所以很快地就崛起，并占据了钻进工作的统治地位，取代了



冲击钻进方法。这一代钻机均以机械传动和手把或手把—机械给进为其共同特征。具有结构简单,易于制造,坚固耐用,解体性好等优点,但是布局零散,机构笨重,劳动强度大,安全可靠差,技术参数落后。因此仍然难于满足钻探工艺不断提高的要求。

本世纪四十年代中期,粉末冶金的发展,导致铸镶金刚石钻头新工艺的出现,为廉价的细粒金刚石在钻探中的广泛采用,开创了广阔的前景。以高转速、宽调速范围为特点的金钢石钻进工艺,对钻进提出了新的要求。另外,液压技术也有了广泛的发展与应用。于是出现了如XH—60、ЗИФ—300和ЗИФ—650型等机械传动油压给进的钻机。这种钻机性能较先进,工作平稳,灵便、安全;同时发挥了液压技术的特点,从而成为一代新型钻机,逐步取代了手把式的回转钻机。

六十年代后,世界上金刚石钻进工作已逐渐增加到总工作量的60—80%,同时钻进工艺上又有了新的发展,液压技术及其应用领域在迅速发展和扩大,一种与传统钻机结构完全不同,布局新颖,技术先进的全液压钻机投入了岩心钻探的生产领域。尽管它还有不足之处,但作为一种更新的钻机,仍不可否认为岩心钻机当前的发展方向之一。

我国六十年代初开始研制全液压钻机,与先进国家差不多同时起步,但由于十年动乱的干扰,至七十年代,才全面地开展研制工作,已经试制的有1000m和600m的两种。

六、地质钻探机械产品编制与典型产品型号的规定

对机械设备产品进行分类,定名,并对同类产品,根据生产和使用要求,经过技术经济比较,进行有规律的排列,作为指导生产和发展产品的依据,这些都是标准化工作之内容。

目前,我国已有的钻探机械产品50几项,由于过去标准化工作落后,造成一些产品质量差、无系列、通用化程度低。但是随着四化建设的需要,要求各方面的生产转移到不断提高产品质量和经济效益的基点上,地质部有关部门正在迅速组织力量进行该项工作。

(一) 地质钻探机械产品编制和型号

根据中华人民共和国地质部部颁标准DZ₃₀-79规定,钻探机一律定名为“钻机”,附加名称只用于基本分类,如砂矿钻机、水文钻机、工程钻机、坑道钻机、浅钻等。岩心钻机省略“岩心”的附加名称。

钻机本身结构和主要参数(如传动、装载方式、口径、钻深等)均用型号表示,名称中不得重复。

与钻机配套的泥浆泵,一律称“泥浆泵”不用往复、螺杆等附加名称。

钻探塔架不分型式一律称钻塔。

产品型号由类别标志,结构特点及主要参数或系列序号构成。类别标志,结构特点以汉语拼音字母(必要时亦可辅以数字)表示。主要参数或系列序号以数字表示,其间以“—”相连。产品改型后,在其原型后加短横并分别注1、2、3、……表示之。

型号汉语拼音字首不超过三个字母,排列次序:第一位是类别标志,第二位是结构特点,第三位是同类产品的类型特点或其他特征。第二、第三位在非必要的情况下,可以省略。

字母的选用原则是:

采用类别(或特征)用其第一个汉字拼音的第一个字母,如有重复可用第二个汉字的第一个字母。

已形成系列的定型产品(注),用系列中的序号构成产品型号,不标出主要参数;未形成系列的产品,主参数只选用一个构成产品型号,其它参数在产品说明书上加以说明。例如泥浆泵不允许采用两个主参数如以200/40的方式表示。

(二) 典型产品型号的规定

1. 钻机型号类别的标志

型号的类别标志和特征代号按表6-1所列的原则编制

2. 泥浆泵型号的表类标志和特征代号见表6-3

泥浆泵的主要参数暂以额定压力下的最大流量表示,形成系列后,则以系列序号构成型号。

举例如表6-4

钻机型号类别标志

表6—1

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)	B (手把手轮操纵, 机械传动)	C (车装)
砂矿钻机	SZ (砂钻)	Y (液压操纵, 机械传动)	
水文钻机	S (水文)	D (全液压动力头)	
工程钻机	G (工程)	JD (机械动力头)	
坑道钻机	K (坑道)	P (转盘)	
浅孔钻机	Q (浅钻)		
地热钻机	R (地热)		

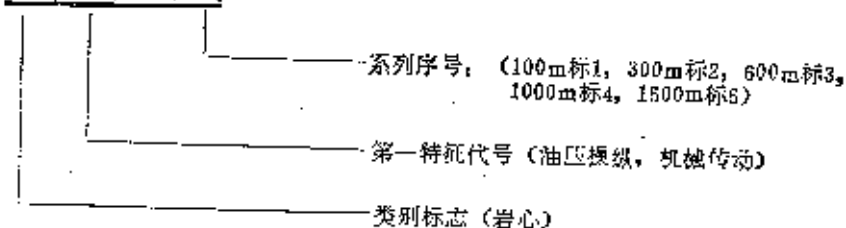
举例如下表6—2

表6—2

对 象	型号名称	代替型号
金刚石油压给进1500m岩心钻机	XY—8钻机	XU—1500
全液压动力头1000m岩心钻机	XD—4钻机	XD—1000
自行式325mm口径砂矿钻机	SZC—325砂矿钻机	SZX—325
车装液压转盘300m水文钻机	SPC—300水文钻机	SPC—300H
车装液压50m工程钻机	GYC—50工程钻机	BJ—50

X	Y	—	3
---	---	---	---

(已形成系列)



S	P	C	—	300
---	---	---	---	-----

(未形成系列)

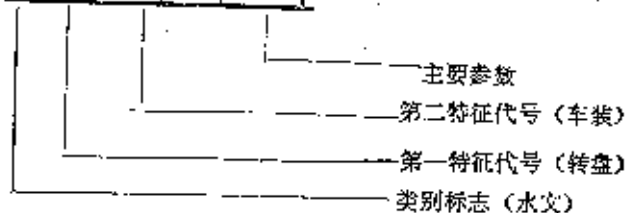


表6—3

对 象	类别代号	第一特征代号
泥浆泵	B (泵)	W (往复) L (螺杆) M (隔膜)

表6—4

对 象	型号名称	代替型号
Q=90三缸单作用往复泵 衡阳250/50泵 张家口200/40螺杆泵	BW—90泥浆泵 BW—250泥浆泵 BL—200泥浆泵	

B	W	—	90
---	---	---	----

(未形成系列)

——主要参数 (90 L/min)

——第一特征代号 (往复)

——类别标志 (泥浆泵)

3. 钻塔的型号和类别

四脚金属钻塔以“T”作产品代号，主参数以高度表示，斜塔在“T”后加“×”表示。

A字架，桅杆式井架以及三脚架多随主机配套，不单独编制型号。

4. 泥浆搅拌机：以“J”作为产品代号，产品特征分为立式(L)、卧式(W)两种，主参数以容积(m³)表示；

5. 拧管机：以“N”作为产品代号，特征代号分机械(J)和液压(Y)、电动(D)等，主参数为扭矩。

6. 千斤顶：以“D”作为产品代号、主参数为最大上顶力(tf)，特征代号有液压“Y”等。

注：岩心钻机系列标准是以 $\phi 42\text{mm}$ 钻杆的可钻深度数字表示，系列标准定为：100、300、600、1000、1500、2500m。用其它不同直径钻杆可钻的实际深度在钻机说明书中表示。

第二节 XY—4型钻机

这是我国岩心钻机系列标准确定后第一批定型生产的钻机之一，它属机械传动油压给进立轴式钻机，除适用于金刚石钻进外，也能满足硬质合金钻进、钢粒钻进和各种水文、工程钻孔的需要。

该机是在十年动乱中，广大科技人员克服种种困难，由勘探技术研究所、无锡探矿机械厂、河南省地质局第三、九地质队共同研制的，原定型号为JU—1000型，即钻深1000m的金刚石油压钻机。

XY—4型钻机主要技术性能参见附表1。

一、钻机的主要组成部件

钻机本身的组成是由机械传动系统和液压传动系统及机架等部分组成。

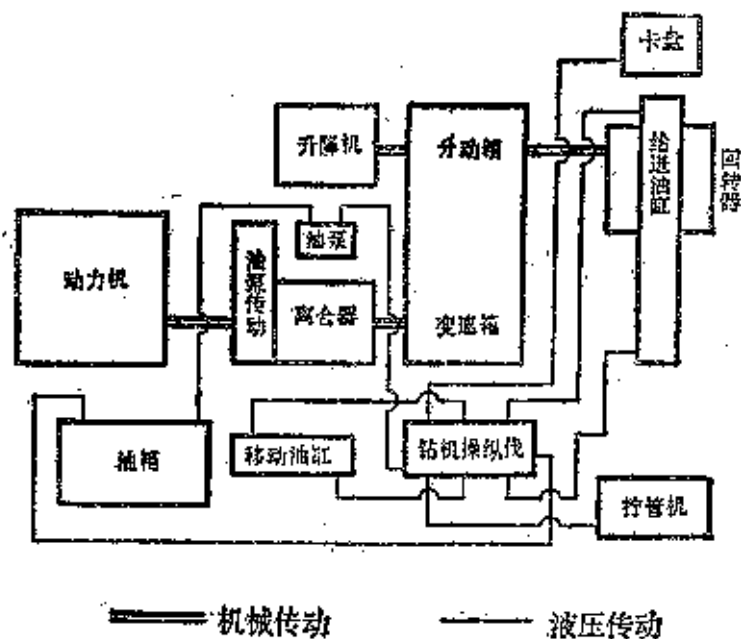
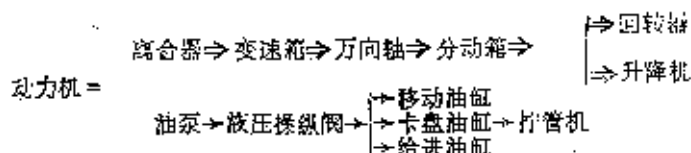


图 6—2 XY-4型钻机主要部件示意图

如图6—2所示的方框图，表明该钻机的组成以及传动系统。图中可知钻机的动力分配方式是以机械传动和液压传动两系统进行分配的，即：



按各部件的功用，可将钻机划分为四大部分，即：基础部分、机械传动系统、液压传动系统及辅助装置。为了叙述方便，本书将基础部分及辅助装置部分，分别纳入机械传动系统和液压传动系统中进行叙述。

二、钻机的构造特点

(一) XY—4型钻机调速范围较大，扩大了钻机对钻进工艺的适应性，不仅可用于金刚石钻进，也适用于硬质合金钻进和钢粒钻进，能有效地发挥钻机设备能力，提高钻进效率。同时，具有反转可供处理事故及特殊情况下反向钻进之用。

(二) 全部传动齿轮，均采用铬钢，铬锰钛合金钢材料制成，并经过渗碳淬火或调质处理，因此比较坚固，在机器运行中比较耐磨。钻机各部主要轴承，均采用滚动轴承，运转灵活。

(三) 结构比较简单紧凑，操纵手把集中，轻便灵活，体力劳动强度低。

(四) 重量较轻，约为1450kg（不包括动力机）解体性较好，整个钻机可分解为回转器，下机架、前机架、后机架等九个部件，最重部件为升降机、重218kg。很适合山区搬运，也便于维修保养。

(五) 机架底座较重，因此钻机重心低，稳定性较好。机架在底座滑轨上的固定方式简单可靠。

(六) 给进行程较长，为610mm，有利于增加纯钻进时间和减少岩心堵塞。

(七) 采用液压给进，使操纵轻便安全、平稳；给进压力均

匀；可通过仪表了解孔内工作状态；给进油缸可代替千斤顶，用来处理卡、埋钻具事故及起拔套管；钻机可整体在底座滑撬上移到任一位置，便于钻具拆卸等工作。

三、钻机机械传动系统

（一）钻机机械传动系统的组成

钻机机械传动系统包括：离合器、变速箱、万向轴、分动箱、回转器和升降机等部件。因为这些部件均安置在钻机的机架和底座上，所以，我们将底座与机架一同列入本系统去讨论。

图6—3为XY—4型钻机机械传动系统示意图。

从图可以看出，当动力机输出动力后，带动离合器1主轴转动，通过离合器，使钻机各机械部件接通或切断动力。当离合器接通后，则将动力输送入变速箱2，该变速箱为三轴二级跨轮机构，具有四个正转速度和一个反转速度；变速箱与分动箱之间用万向轴相联，分动箱为二级变速分动装置，既能分动又能变速，通过分动箱可将变速箱输出的四个正挡一个反挡扩大成为八个正挡二个反挡；分动箱上部输出轴，通过拨动两个齿轮使动力分配给回转器和升降机，下部输入轴右端装有转速表组件；动力输入回转器4时，主轴以锥形齿轮与立轴的锥形齿轮啮合，带动立轴旋转，并改变转动运动方向，动力输入升降机5时，旋转运动方向不变，升降机为行星式机构，制动闸轮有水冷装置。

钻机的底座与机架本体，均为金属焊接结构。动力机、离合器、变速箱、分动箱、升降机等均支承在机架上，机架在底座上部导轨平面上可前后滑动，并有可靠的紧固机构。

（二）钻机机械传动系统各主要部件的功用、构造及工作原理

1. 离合器

XY—4型钻机采用常开型单片干式摩擦离合器。用来传递、输送动力，它的主要功用有：

（1）接通或切断动力。在钻进过程中，工序上要求钻机时停时转，当停的时候又不宜将动力机熄火。因此，在动力输入变速箱之前，必须有离合装置。

三种机构，使其适合系统的工作要求，然后再根据系统的特殊需要，增加必要的辅助元件，以提高系统工作的性能。

（二）液压传动系统各主要部件的作用，结构与使用。

图6—25为XY—4型钻机的液压传动系统图。下面着重讨论它的结构特点 and 操作程序。

1. 液压油泵

液压油泵在第一篇已作详细讨论，这里不予复述了。XY—4型钻机的液压油泵属容积式的齿轮油泵。型号为CB33/80，额定工作压力为7.84MPa，排量为33L/min。

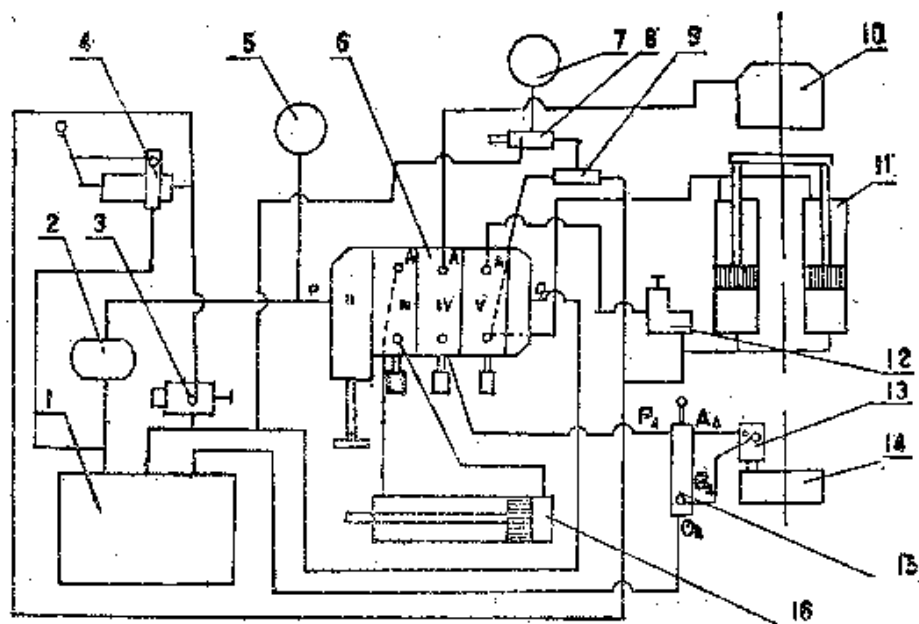


图 6—25 XY—4型钻机液压传动系统示意图

1—油箱；2—油泵；3—高压溢流阀；4—手摇油泵；5—压力表；6—钻机操纵阀；7—孔底压力指示表；8—限压切断阀；9—换向阀；10—油压卡盘；11—立轴给进油缸；12—给选控制阀；13—油马达；14—拧管机；15—拧管机操纵阀；16—移动钻机油缸

2 液压操纵阀

液压操纵阀是钻机的操作控制部分。是钻机液压传动系统最重要的组成部分。XY—4型钻机的液压操纵阀是一个复合阀体，装在油泵与各种工作机构之间。它的职能是：调节、控制系统的油

第四节 XY—2、XY—5及XU—

1000型钻机

本节介绍近几年来定型生产的部分岩心钻机。

一、XY—2型钻机

(一) 概述

XY—2型钻机也是一种机械传动液压给进主轴式岩心钻机。一九八二年底经国家鉴定，并列入岩心钻机300m标准系列。

该钻机是重庆探矿机械厂研制的。它具有体积小，重量轻，质量优良，装机功率大，性能广泛，通用性较强等优点。

XY—2型钻机，除外貌与该厂原产的中浅孔XU—300型型号钻机相仿外，其内部结构，材质选择和加工工艺都有了很大的不同和较大的发展。

XY—2型钻机除适用于以金刚石、硬质合金、钢粒为主的岩心钻探外，也可用于工程地质勘察，水文、水井钻探及大口径微型桩基灌注桩孔钻探。

(二) 钻机的总体结构及其主要特点

XY—2型钻机外貌如图6—70。

钻机由主轴及油压卡盘、回转器、分动箱、卷扬机、变速箱、离合器及动力液压系统、机架等主要部件组成(见图6—71)。为了方便解体和安装，各部件之间采用花键、弹性联轴节、万向联轴节和齿口压板等连接结构。解体搬运时可分解成动力机、离

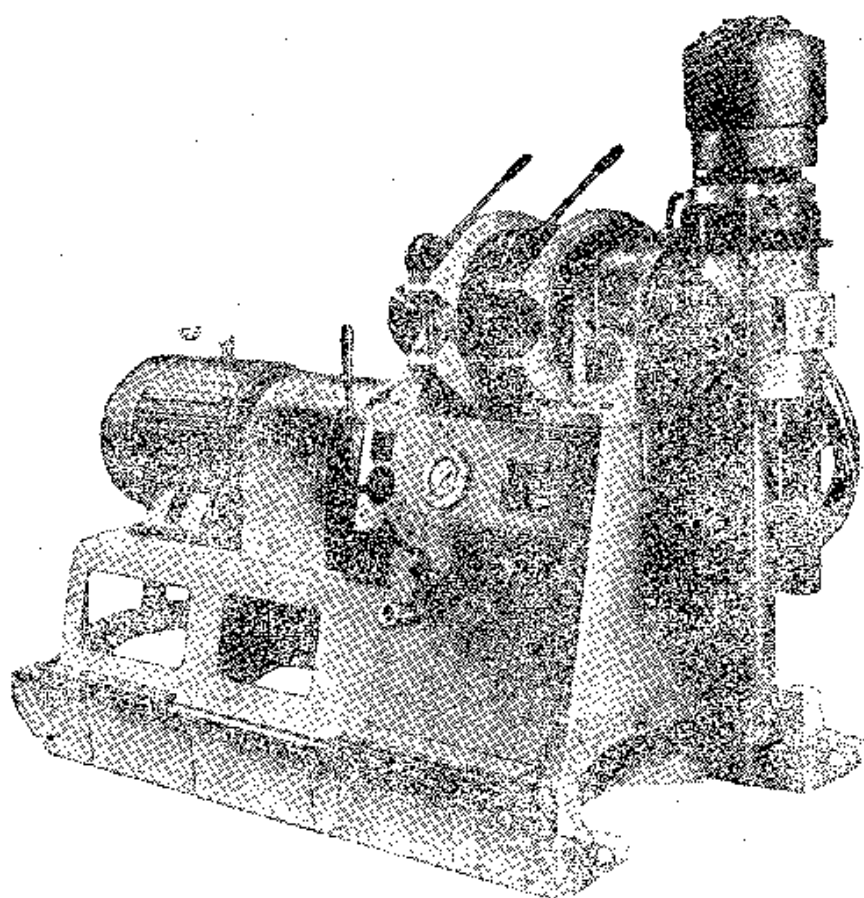


图 6—70 XY—2型钻机外貌

合器及变速箱、分动箱、卷扬机、回转器、主轴及油压卡盘、钻机底座、机架等八个独立整体部件，最重解体部件是钻机机架，其重量为140kgf。

钻机可装配三种规格的卡瓦，可夹卡 $\Phi 50$ 钻杆作主动钻杆进行普通岩心钻进；可夹卡 $\Phi 53$ 主动钻杆作绳索取心钻进；亦可夹持 $\Phi 59 \times 53$ 六方主动钻杆进行较大口径的工程钻孔施工。原机配带的是 $\Phi 59 \times 53\text{mm}$ ，长6m的六方主动钻杆及相应的卡瓦，使用者可按自己需要向厂方提出订购其他规格的卡瓦。

XY—2型钻机与国内生产的300m系列岩心钻机对比，由于设计的先进性及合理性，使它具有如下特点：

。钻机具有较多的转速级数（八挡）和较合理的调速范围。

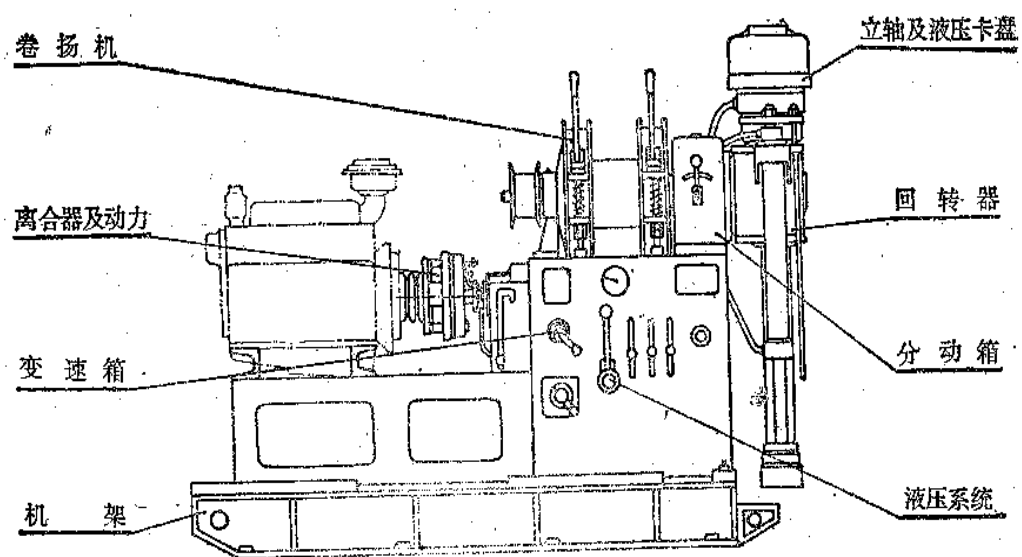


图 6—71 XY—2型钻机主要部件结构图

因此适应范围广，可一机多用。

2. 装机功率大，结构先进合理。

3. 重量轻，可拆性好，搬迁方便。较适宜山区和水网地区使用。

4. 结构简单，布局合理，便于保养和维修。

5. 给进行程较长，有利提高钻进效率，减少堵、埋、烧钻等事故。

6. 采用双联油泵供油，系统压力稳定，油温较低，功率消耗少。

7. 操作集中、简单、灵活可靠，便于掌握。

8. 回转器适于任何倾角；油压卡盘定心正，夹持安全可靠。因此高速钻进稳定。

9. 钻机可进行高速钻进，也可进行低速钻进。

(三) 钻机的主要技术性能

1. 基本参数

钻进能力：

(1) 岩心钻进见表6—15。

(2) 水文、水井及大口径工程施工钻进见表6—16。

钻孔倾角 75° — 90°

钻机外形尺寸(长×宽×高) 2150×900×1690mm

钻机重量(不包括动力机) 950kgf

最大分解部件重量 140kgf

2. 回转器

立轴转速(见表6—17)：

立轴行程： 600mm

立轴最大起重能力： 6000kgf

立轴最大加压能力： 4500kgf

立轴通孔内径： 68和76mm

3. 卷扬机

卷筒直径： 200mm

表 6—15

使用钻杆规格	钻进孔深
φ42mm 钻杆	530m
φ50mm 钻杆	385m
φ60mm 钻杆	320m
φ43mm 绳索取芯钻杆	640m
φ53mm 绳索取芯钻杆	500m
φ63mm 绳索取芯钻杆	380m
AW 钻杆	530m
BW 钻杆	420m
NW 钻杆	320m
AQ 绳索取芯钻杆	565m
BQ 绳索取芯钻杆	460m
NQ 绳索取芯钻杆	350m

表 6—16

使用钻杆规格	钻孔直径	钻进深度
φ60mm 钻杆	φ150mm	250m
φ60mm 钻杆	φ200mm	200m
φ73mm 钻杆	φ300mm	100m

表 6—17

动力机转速 (r/min)	立 轴 转 速 (r/min)									
	n _I	n _{II}	n _{III}	n _{IV}	n _V	n _{VI}	n _{VII}	n _{VIII}	n _{反1}	n _{反2}
1500	65	114	130	248	310	536	849	1172	51	242
2000	87	152	240	331	413	717	1132	1562	68	323

卷筒长度: 160mm

钢丝绳直径: 12.5mm (6×19-12.5-185-I-光-左右交)

或14mm (6×19-14)

卷筒容绳量: 缠绕五层Φ12.5钢绳 50m

Φ14钢绳 45m

单绳单层提升速度 (表6-18)

表 6-18

动力机转速 (r/min)	升 降 机 转 速 和 线 速 (r/min, m/s)							
	I		II		III		IV	
	n_I	V_I	n_{II}	V_{II}	n_{III}	V_{III}	n_{IV}	V_{IV}
1500	57	0.512	100	0.89	157	1.4	218	1.94
2000	76	0.68	134	1.19	210	1.87	281	2.58

单绳最大提升力 29.4kN

4. 钻机移动装置

离开孔口距离 243mm

移动油缸行程 400mm

5. 油泵:

型号, (双联齿轮油泵) SCB³²/₁₂型

排量, 32+12L/min

转速, 1500r/min

工作压力, 7.84MPa

最大压力, 117.6MPa

6. 动力机 (表6-19可任选)

表 6-19

动力机类型	电动机	电动机	柴油机	柴油机
型 号	JO3-180M	JO ₂ -71-4	3100B ₂	3100B ₂
功 率	22kW	22kW	24.27kW	33.10kW
转速(r/min)	1460	1460	1500	2000

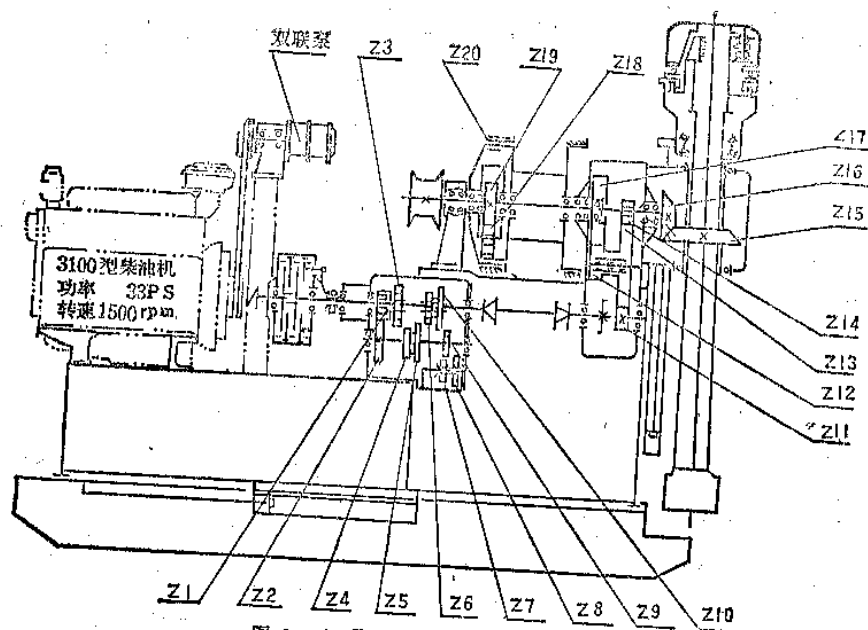


图 6-72 XY-2 型钻机机械传动系统示意图

(3) 具有正反转的能力。

(4) 应能钻进垂直孔和倾斜孔。浅孔钻机的钻孔方向范围最好是 360° ，以适应地下坑道钻进。

(5) 回转平稳，震动少和噪音不大。

(三) 动力头的类型

按照回转油马达的安装位置不同，可分为装有油马达的动力头(A型)和不装油马达的动力头(B型)两类。前者，油马达—齿轮传动箱—卡盘(或转动水接头)三位一体；后者，油马达安装在机架上，动力头只由齿轮传动箱和液压卡盘组成。

1. A型动力头

目前，国内外全液压动力头式钻机大多数均采用A型动力头。我国的钻石-600A型、XD 1000型、瑞典的泰美克-250型、泰美克-1000型均属A型动力头。

钻石-600A型动力头驱动如图2-1-12

所示，轴向柱塞式变量油马达1通过变速箱

2内变速齿轮带动主轴3旋转，主轴下装有卡盘4，从而实施带动钻具的旋转。

2. B型动力头

B型动力头就是由齿轮传动箱和液压卡盘构成移动式回转器。油马达安装在变速箱顶上，油马达通过变速齿轮驱动传动轴，再由传动轴带动动力头回转。

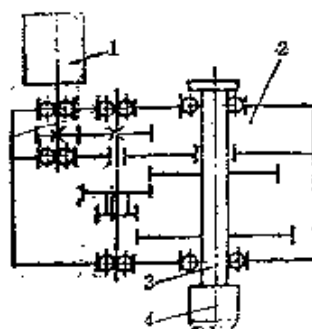


图 2-1-12 钻石-600型动力头驱动示意图

1—马达； 2—变速箱； 3—主轴； 4—卡盘

四、立轴式、转盘式、全液压移动式回转器性能特点

(一) 立轴式回转器性能特点

由立轴式回转器的结构形式，决定其具有如下特点：

(1) 立轴式回转器由于传动部件可以得到高精度加工的保证，主动钻杆在回转器内同心度好，可以高速旋转。高速可达2000rpm以上。

(2) 立轴式回转器变角范围大，导向性能好，适于钻进各种倾角的钻孔。如垂直孔，斜孔，水平孔，甚至向上孔。因此，在地质岩芯钻机中广泛采用。

(3) 因采用悬臂安装方式，结构尺寸受到安装方式的限制。回转器通孔较小，不能通过粗径钻具，提下钻时需要让开孔口。

(4) 回转器不能兼做拧卸工具，钻机需另配拧管机。

(二) 转盘式回转器性能特点

(1) 在钻进中，转盘通过补心或回转梁带动特殊形状(二方，四方等)的主动钻杆回转。

(2) 转盘没有长立轴，导向性较差，且变角范围小，适宜打垂直孔或顶角不大的钻孔。

(3) 转盘为一独立部件安装在机座上，其结构尺寸不受安装方式的限制，可采用各种补心装置来改变通孔大小，故通孔直径可设计得较大，使转盘不移动就能通过粗径钻

具。

- (4) 转盘可兼做拧卸工具，不需另配拧管机。
- (5) 转盘直接放置在机座上，重心低，比较稳定。
- (6) 转盘密封性能较差。

(三) 全液压移动式回转器性能特点

- (1) 采用液压马达驱动的移动式回转器，可实现无级调节转速及扭矩。
- (2) 实现了长行程不脱杆连续钻进，减少了钻进过程中的辅助时间，提高了钻进效率。
- (3) 导向性好，且减小了机上钻杆的摆动。
- (4) 移动式回转器也可作拧卸机构使用，与孔口夹持器配合，可实现拧卸管自动化和机械化。

第二节 钻井用泵

一、概 述

(一) 泵的分类

泵是通过一定方式把机械能转变为液体能量的一类机械。由于能量转换的方式不同可以分为不同类型。

靠密闭容积容积变化进行能量转换的称为容积式泵（又称静力式泵）。这类泵根据容积变化的方式不同，又可分为两类：一类靠活塞（或柱塞）等的往复运动改变容积大小的，称为往复泵，如活塞泵、柱塞泵、隔膜泵等；另一类靠旋转运动件改变容积大小的，称为回转式泵，如螺杆泵、齿轮泵等。

靠旋转叶轮进行能量转换的称为叶片式泵（又称动力式泵），如离心泵、轴流泵等。

靠其它方式进行能量转换的泵，有电磁泵、水锤泵、喷射泵等。

除以上基本分类外，泵还可按其用途、性能、结构特点及工作压力大小进行分类。

(二) 钻井用泵的功用

- (1) 钻探用泵担负着向孔内输送冲洗液（泥浆或其它冲洗介质）用来冷却钻头，携走岩粉等，并能使其在孔内保持循环。
- (2) 在某些特种工作中，如堵漏、封孔等，还用泵向孔内灌注水泥浆等物质。
- (3) 输送具有能量的液体，给涡轮钻具、射流冲击钻具及其它水力冲击钻具提供动力。
- (4) 借助水泵上的仪表装置，了解孔内变化情况。
- (5) 给钻机场供水。

(三) 钻井工作对泵性能的要求

钻探工作对钻井泵性能的要求，与钻井泵的使用条件（如所钻岩石物理机械性质、钻进方法、钻孔深度、直径、用途及钻头类型）有关，主要有以下几点：

- (1) 钻井泵的排量要能简便、迅速地在较大范围内进行调节，最好能实现无级调节，在钻探工作中，由于地层条件的复杂性，必然有复杂的钻孔结构。因此完成一个钻孔常常必须

选用不同的钻头及钻具尺寸,采用与之相适应的钻进规程。为了清除孔底岩粉就要求有适合不同情况的冲洗液流速。在孔径确定之后,流速的改变是通过流量的改变实现的,因此要求泵的流量能够在较大范围进行调节。

(2) 钻井泵的排出压力也要能在较大范围内进行调节。在钻进过程中,冲洗液在循环系统中的阻力即泵的排出压力,随着孔深、孔径和孔内情况的变化,孔内的阻力也发生变化,此时水泵的排出压力也需要跟着调节。

(3) 当根据钻进工艺规程将泵量调定以后,它不能随泵的排出压力的变化而发生变化。因为钻进过程中必须持续不断地冲洗孔底,必须保持冲洗液有一定上返速度并且平稳地循环流动,把岩粉携带至地表。这就要求冲洗液流量保持不变,其波动愈小愈好。此外,冲洗液的波动会产生水力冲击作用,使孔壁遭受损害,携带岩粉的能力降低,并使高压水管及钻具产生振动,使过流零部件的寿命缩短。

(4) 工作可靠,易损件寿命长,便于维修保养。钻井泵的工作条件十分恶劣,它输送的冲洗液带有大量磨蚀性颗粒,有的加有带腐蚀性的处理剂(如烧碱、磷酸盐等)。因此要求泵的零部件坚固耐用,结构简单,易于拆换维修。

(5) 要能适应不利条件下的工作。在钻探过程中,由于某些原因,有时出现泵压突然升高(称为“憋泵”现象),使泵在超载状态下运行。这种超载运行超过一定限度,就可能使泵遭受破坏。因此既要求钻井泵具有一定的(短时间的)超载能力,又具有过度超载时自动卸载保护泵不受破坏的能力。

(6) 运移性要好。因为钻探工作常常在地形复杂,边远及交通不便地区进行,又要频繁搬迁孔位。因此要求钻井泵重量轻,体积小、可拆性好,从而减轻体力劳动,缩短非生产性时间,提高效率。

根据上述要求进行分析后表明,现有各种类型的泵中,属于容积式泵的往复式活塞(柱塞)泵和螺杆泵能基本满足要求。所以目前在钻探工作中往复式泵应用最为广泛,其次是螺杆泵。在反循环钻进中,输送带有大颗粒的两相流,常采用属于叶片式泵的砂石泵,只有在浅孔钻探时,泵压要求不高才偶尔采用离心泵。本篇主要介绍往复式泵和螺杆泵(其它类型泵将在有关章节介绍)。

二、往复式泵

(一) 往复式泵吸排水原理

单作用往复式泵工作原理如图2-1-13所示。当曲柄1和连杆2运动时,将转动变成往复运动,活塞5在两死点内作不等速运动。当活塞向右移动时,泵室8容积增大,压力降低,小于外界大气压力。此时吸水管7中的水在大气压力作用下,顶开进水阀8进入泵室。这是吸水过程。当活塞向左移动时,泵室容积减小,压力增高,超过大气压力,泵室中的水便顶开排水阀9排出。这是排水过程。

双作用往复式泵工作原理示意图2-1-14。当活塞左移时,泵室左部容积减小,压力增大,进行排水,而右部容积增大,压力降低,进行吸水。当活塞右移时,右面排水左面吸水。活塞往复一次有两次吸、排水作用,故称双作用。

(二) 往复式泵排水均匀性

由于往复式泵活塞运动速度是变化的,所以在活塞运动的每一瞬间,排量是不均匀

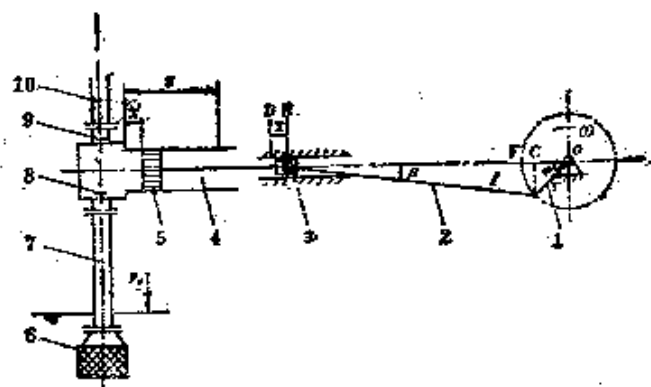


图 2-1-13 单作用往复泵工作原理示意图

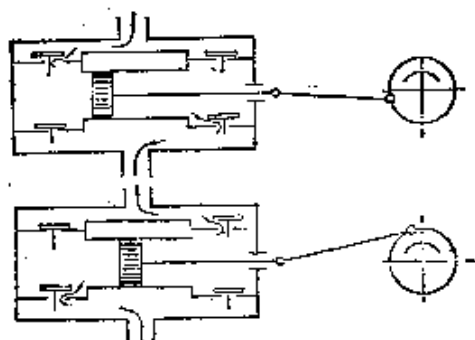


图 2-1-14 双作用往复泵工作原理示意图

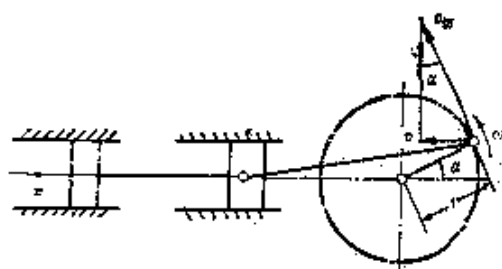


图 2-1-15

的。又因为活塞运动速度的变化是有规律的。这个规律可以用流量曲线表示出来。由流量曲线可以看出往复泵流量的脉动程度，从而能更好地了解往复泵的构造和正确地使用泵。

流量曲线可以根据活塞运动速度的变化规律绘出。

如图2-1-15所示，曲柄半径为 r ，角速度为 ω ，则曲柄的切线速度 v_c 为：

$$v_c = \omega \cdot r \quad (2-1-1)$$

此时活塞的运动速度 v 是速度 v_c 的水平投影，即：

$$v = v_c \cdot \sin \alpha = \omega \cdot r \cdot \sin \alpha \quad (2-1-2)$$

由于 ω ， r 是常数，所以活塞速度 v 随 $\sin \alpha$ 变化，即活塞运动速度按正弦曲线规律变化。当角 α 为 0 、 π 时， $\sin \alpha = 0$ ，所以 v 为 0 。就是说活塞运动在行程开始和终了时速度最小，常称死点；当角 α 为 $\frac{\pi}{2}$ 、 $\frac{3\pi}{2}$ 时， $\sin \alpha = 1$ ，活塞速度最大， $v = \omega \cdot r$ 。

由于活塞运动速度按正弦规律变化，所以每一活塞的瞬时排量也是按正弦规律变化。根据这个规律可以绘出流量曲线。绘制时，以流量 Q 为纵坐标($Q = F \cdot \omega \cdot r \cdot \sin \alpha$)， F 为活塞面积，横坐标表示曲柄转角 α 。

瞬时排量脉动情况，会造成水击，不符合工作需要，所以往复泵都是多缸的，并使各

活塞的曲柄相差一定角度,以使泵的总排量比较均匀些。多数往复泵排水口还安有空气室,利用空气易压缩的特性,缓和排量脉动程度。图2-1-16分别是单缸单作用,单缸双作用,双缸双作用(未考虑拉杆断面积的影响)和三缸单作用泵的流量曲线。

泵的最大瞬时排量与理论平均排量之比为排量不均匀系数。几类往复泵的排量不均匀系数见表2-1-1。

(三) 往复泵参数的确定

1. 往复泵吸水高度的确定

泵的吸水高度是指泵室中心到水源水面的垂直距离。

吸水高度受下列各因素影响:

(1) 大气压力 标准大气压力可使水柱升高10.33米,这是在标准大气压力下,不考虑任何阻力影响,对水的理论吸水高度。在高山区空气密度降低,其吸水高度也降低。

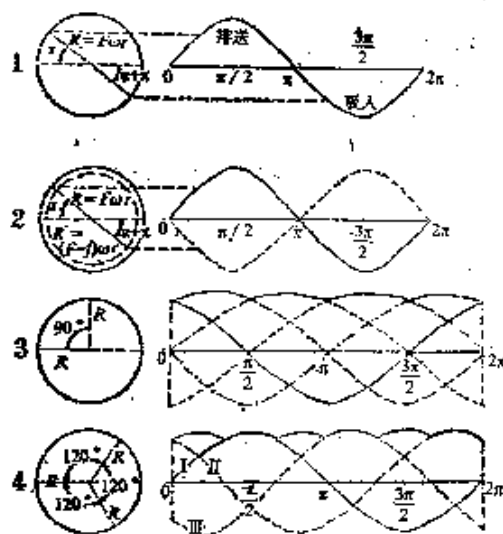


图 2-1-16 几种泵的流量曲线
1—单缸单作用泵; 2—单缸双作用泵;
3—双缸双作用泵; 4—三缸单作用泵

表 2-1-1

泵类型	最大瞬时排量 $Q_{\max}$	平均排量 Q	排量不均匀系数 $\frac{Q_{\max}}{Q}$
单缸单作用	$F \cdot \omega \cdot r = \frac{F \cdot \pi \cdot r \cdot n}{30}$	$\frac{F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{30}$	3.14
单缸双作用	$F \cdot \omega \cdot r = \frac{F \cdot \pi \cdot r \cdot n}{30}$	$\frac{2F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{15}$	1.67
双缸双作用	$F \cdot \omega \cdot r = \frac{2F \cdot \omega \cdot r \cdot \sin 45^\circ}{1.414} = \frac{F \cdot \pi \cdot r \cdot n}{30}$	$\frac{4F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{2F \cdot r \cdot n}{15}$	1.11
三缸单作用	$F \cdot \omega \cdot r = \frac{2F \cdot \omega \cdot r \cdot \sin 30^\circ}{1.732} = \frac{F \cdot \pi \cdot r \cdot n}{30}$	$\frac{3F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{10}$	1.047

• 没考虑活塞拉杆面积

(2) 冲洗液比重 冲洗液比重大,吸水高度相应降低。如比重为1.2泥浆在标准气压下,理论吸水高度仅8.6m。

(3) 吸水温度 液体有一种温度升高或压力降低时的气化特性。在一定温度下液体不致气化的压力称为液体蒸气压力。温度变化时,蒸气压力值也变化。为了能吸水,就应保

证吸水阀处的压力大于吸入液体的蒸气压力。

2. 泵量的确定

往复式泵理论平均泵量可按下述公式计算。

单缸单作用——

$$Q = \frac{F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{30} \quad \text{L/s} \quad (2-1-3)$$

双缸双作用——

$$Q = 2 \left[\frac{F \cdot S \cdot n}{60} + \frac{(F-f)S \cdot n}{60} \right] \\ = \frac{r \cdot n}{15} (2F-f) \quad \text{L/s} \quad (2-1-4)$$

三缸单作用——

$$Q = 3 \frac{F \cdot S \cdot n}{60} = \frac{F \cdot r \cdot n}{10} \quad \text{L/s} \quad (2-1-5)$$

式中 F ——为活塞面积, dm^2 ;

S ——为活塞行程, $S=2r$, dm ;

n ——为曲柄每分钟的转速, r/min ;

f ——为拉杆断面, dm^2 。

由于阀门启闭延时、冲洗液中混有气体、密封不严等因素影响, 实际泵量达不到理论平均泵量。当按理论平均泵量公式计算时, 必须乘以容积效率 λ 进行修正, 才能得到接近实际泵量的数值。一般取 $\lambda=0.85 \sim 0.90$ 。泵的标定泵量是指理论平均泵量, 简称泵量。

岩芯钻探常用的是双缸双作用和三缸单作用泵。

3. 泵压的确定

洗孔过程中, 为了克服冲洗液在循环系统中遇到的各种阻力, 促成冲洗液的循环流动, 冲洗液必须具有一定的压力能。压力能的消耗称为压力损失。

冲洗液在循环系统中的压力损失由下式确定:

$$p = k(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \quad \text{Pa} \quad (2-1-6)$$

式中 k ——附加阻力系数(由于岩粉颗粒使冲洗液比重提高而增加的压力损失), $k=1.1$;

p_1 ——在钻杆中的压力损失, Pa ;

p_2 ——在环状空间中的压力损失, Pa ;

p_3 ——在接头中的压力损失, Pa ;

p_4 ——在岩芯管和钻头内外的压力损失, Pa 。

上式中的各项压力损失运用流体力学中有关液流阻力计算的方法求出。

从往复式泵结构原理来看, 可以产生任何大的压力, 但实际上泵压是受泵的强度和泵用动力机的功率所限制的。

一般钻探用往复式泵的泵压在 50 kg/cm^2 (即 $4.9 \times 10^6 \text{ Pa}$) 以内。

4. 功率计算

功率计算公式为:

$$N_s = \frac{P \cdot Q}{\eta} \quad W \quad (2-1-7)$$

式中 Q ——泵量, m^3/s ;
 p ——泵压, Pa ;
 η ——泵的总效率, $0.75 \sim 0.8$ 。

(四) 往复式泵的构造

钻探中根据钻机配套及孔深不同选择不同型号的泵。常用泵型有: BW-100、BW-200、BW-250、BW-600和BW-850等多种。

下面以BW-250型泵为例剖析:

这种泵为卧式往复式三缸单作用活塞泵, 该泵变量范围大 ($35 \sim 250 L/min$), 用改变活塞往复次数和更换缸套的方法进行变量, 变量级数多 (8级)。泵压可达 $2.5 \sim 7.0 MPa$ 。适用于中深孔各种不同的岩芯钻进方法。BW-250型泵主要由摩擦离合器、传动箱 (又称曲轴箱) 泵室、三通及安全阀等部件组成。其外貌见图2-1-17, 传动系统见图2-1-18。

回转动力经离合器1传至输入轴2, 经变速轴3上的变速齿轮, 又传至中间轴4, 经过齿轮传动使曲轴5旋转, 带动连杆6使十字头7作往复运动。

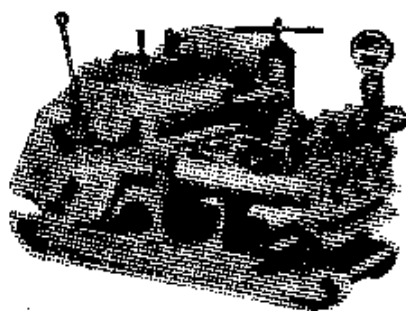


图 2-1-17 BW-250型泵外貌

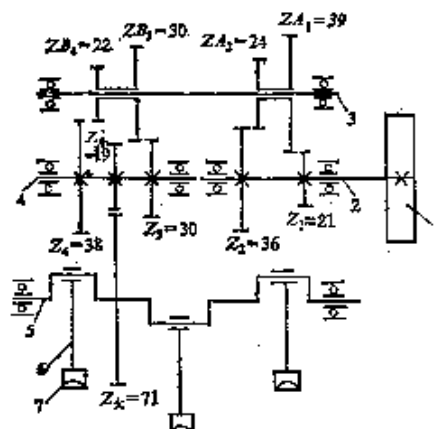


图 2-1-18 BW-250型泵传动系统示意图
 1—离合器; 2—输入轴; 3—变速轴; 4—中间轴; 5—曲轴; 6—连杆; 7—十字头

1. 泵室

泵室为吸、排水工作部分 (图2-1-19), 它由三个卧式单作用液缸并联组成。它们有共同的吸入管路和排出管路。活塞由弹性橡胶密封圈等组成, 固定在活塞杆上。缸套和活塞组成一对密封摩擦副。为了防止冲洗液泄漏到活塞背面非工作腔后侵入到动力部分, 在泵头体和活塞杆之间装有隔水密封圈。泵阀采用球阀结构, 置于液缸端部。吸入阀在下部, 排出阀在上部, 阀球的拆装和限制阀球的升高通过缸头盖实现。

2. 曲轴箱

曲轴箱为一密封的铸铁箱体, 如图2-1-20所示。内装齿轮变速机构2和曲柄连杆机构3。

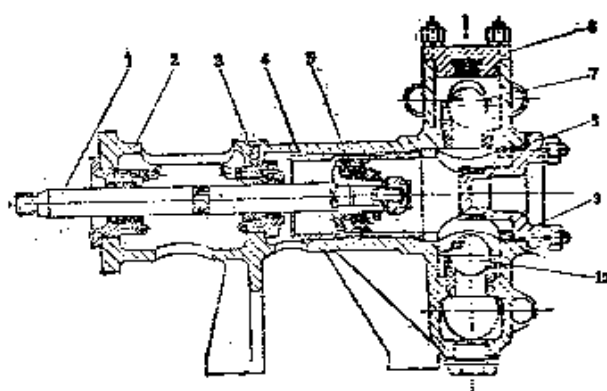


图 2-1-19 BW-250型泵的泵室

1—活塞杆；2—泵头体；3—防水密封套；4—缸套；5—活塞；6—阀盖；7—排出球阀；8—顶盖；9—缸头盖；10—吸入球阀

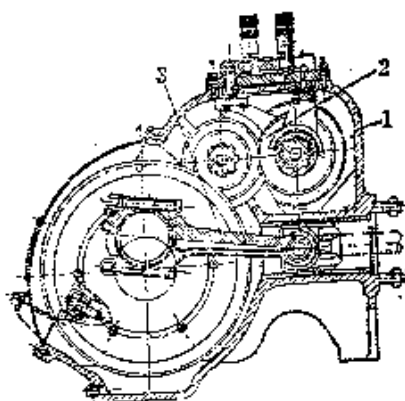


图 2-1-20 BW-250型泵的曲轴箱

1—曲轴箱体；2—齿轮变速机构；3—曲柄连杆机构

是泵的动力传动部分，其传动系统前边已论述。

3. 离合器

BW-250型泵的离合器亦是属于杠杆式摩擦离合器（其工作原理已在前节钻机结构内容里作了介绍），所不同的是泵的离合器和皮带轮装配在一起的。

4. 泵的附件

(1) 空气室 结构如图2-1-21所示，其功用是微调泵量的均匀性。

(2) 安全阀 在突然憋泵时，安全阀可自动启开溢流口，进行溢流降压，保护泵的水管。

(3) 三通水门 可调节进入孔内的冲洗液量，以满足钻进规程的需要。

(4) 压力表 是用来指示泵在工作过程中的排出压力值，它直接显示钻孔内液流阻力的变化。

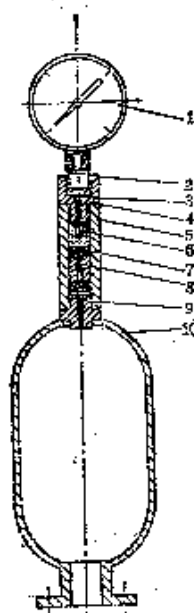


图 2-1-21 空气室

1—压力表；2—上接头；3—减程针；4—垫圈；5—下接头；6—机油；7—碗形浮塞；8—浮塞体；9—接头；10—空气室

三、螺杆泵简介

螺杆泵是一种特殊类型的回转式容积泵，其结构见图2-1-22。运转时液体在泵内沿输心线无紊乱的流动，在泵内流速低，可以输送粘度变化范围很大的液体，其排出压力范围一般在 $3.5 \sim 35 \text{ kg/cm}^2$ ，其流量均匀，与转速成正比，与排出压力几乎无关。

螺杆泵输送液体的工作原理（见图2-1-23），简单说来与普通螺母与螺杆啮合时，

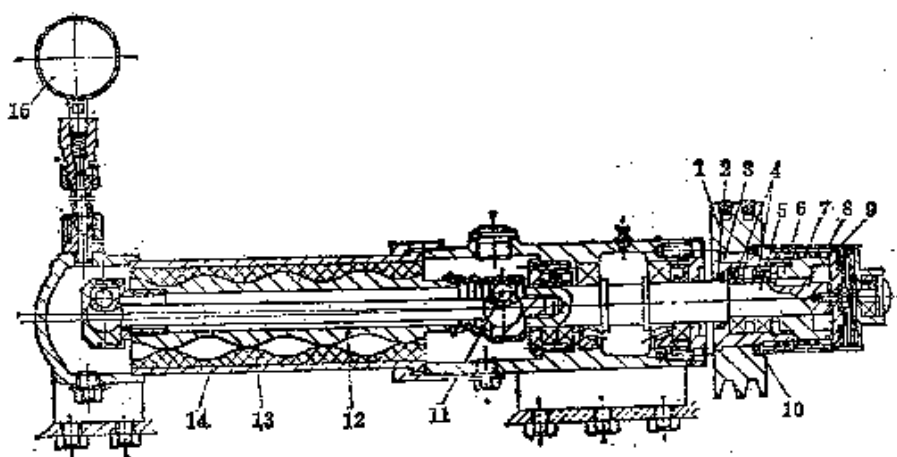


图 2-1-22 螺杆泵

1—三角皮带轮；2—轴水套；3—轴；4—轴承；5—轴；6—传动头；7—异形离合器弹簧；8—外套；9—键；10—轴皮圈；11—球形万向节；12—转子；13—定子内腔；14—定子外壳；15—压力表

当螺杆转动时把螺母用一长链锁住，则螺母不能随螺杆一起转动，只能沿键作轴向运动。设想将螺母换成液体，且不让其随螺杆运动。这样在螺杆转动时，就可将液体推送向前，这就是螺杆泵简单的工作原理。

但是，液体具有流动性，要使包围在螺杆周围的液体不随螺杆的转动而转动，则必须用一片能与螺杆啮合的螺母（很薄时近似为齿条），将螺杆的凹槽分隔开来，如图2-1-23所示。并用键使隔槽螺母只能沿轴向移动。这样在螺杆凹槽中被隔断了液体，就像螺母一样被推送出去。

但是，如果要像泵一样运转下去，那片用于隔断螺杆凹槽的螺母则必须无限长。这当然是不可能实现的。只能另想办法。于是出现了用一个或几个共轭从动螺杆来代替图2-1-23中所示的那片螺母（2），这些共轭从动螺杆保证了在主动螺杆运转过程中，主动螺杆的螺旋槽总是被隔断的（实际上由于啮合的关系是互相隔断的），使液体能不断的输送出去。

按照结构中所用螺杆数目的不同，可将螺杆泵分成：多螺杆泵、三螺杆泵、双螺杆泵及单螺杆泵几种基本类型。

这种泵的主要特点是：

(1) 构造简单、体积小、重量轻；

(2) 推力连续，压力稳定，不需设空气室单向阀等部件；

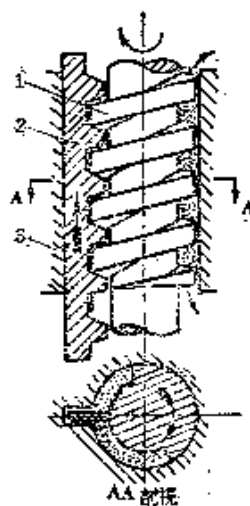


图 2-1-23 螺杆输液原理

1—螺杆；2—片状螺母；3—壳体

(3)可高转速，与动力连接时不需减速箱，

(4)螺杆形状复杂，加工困难，使用泥浆时，磨损较大。

但试验证明，使用清水时这种泵的性能良好，常与WT-2型物探钻机配套使用。

第三节 钻探用动力机

动力机是把某一种能量(电能、热能)转变成机械能，以带动钻井机器运转的设备。

钻探用的动力机是用以驱动钻机、冲洗泵(或空压机)、以及一些辅助设备如泥浆搅拌机、照明发电机等。

由于钻探工作的特点是在野外作业，流动性大，而且工作机械的负荷特性亦不同于一般工作机械。因此必须选用能适应野外工作又能满足钻探工作负荷特性的动力机。

曲线。

绞车提升工作负荷另一个特点,就是在提升过程中经常有可能出现“提升遇阻”,甚至是强力起拔的情况。

(二) 钻探工作对动力机的要求

(1) 钻进时由于孔深、岩性、井内情况经常变化,造成动力负荷经常变化,故要求动力机,不仅有较高的效率,而且负荷变动时,不严重影响其性能和效率;

(2) 具有“软”的外特性,即动力机在负荷变化时,它的转速能在较宽范围内,依照“恒功率”的曲线相应变化;

(3) 具有较大的超载能力和较宽的调速范围最好能实现“恒功率”调速;

(4) 重量轻,尺寸小,在野外作业条件下易于搬运安装;

(5) 结构简单,工作可靠,安全,使用维护方便,噪音小,不污染环境;

(6) 经济性好,燃料供给方便,价格低,效率高。

二、钻探用动力机的类型及其特性

目前钻探工作用的动力机,主要使用的是三相交流感应电动机和柴油机。

(一) 三相交流感应电动机特性

1. 三相交流感应电动机的输出特性 (见图2-1-28)

从图2-1-28可以看出,在正常负载运转时,电动机处于额定转矩 M_n 和转差率为 S_n 的工作状态。当增加负载时,转速降低,转差率 S 增大,如曲线0—1段。当电动机负载超过 M_n 后,工作点将移到特性曲线1—2段上,这时随着电动机转速降低,电动机的转矩下降,于是电动机运转停止。因此曲线0—1段是电动机稳定工作段。感应电动机额定转矩时,转差率一般为2~5%。电动机的过载系数 β 一般为1.8~2.2。感应电动机的调速范围极小, $R=1.0$ 。

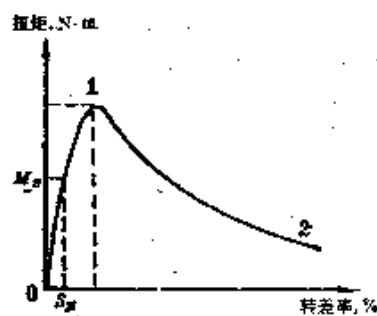


图 2-1-28

2. 交流感应电动机优缺点

优点:

- (1) 操作简单,维护检修方便,事故少;
- (2) 体积小,重量轻,拆装搬运方便;
- (3) 效率高,短时间内允许有大的过载;
- (4) 可用几个小电动机,分别带动钻机,水泵等,以便工作中不互相妨碍;
- (5) 电能输送方便,成本低;
- (6) 不产生废气烟尘,井场清洁,坑下钻机也适用;
- (7) 润滑油耗量极少。

缺点:

- (1) 鼠笼式电动机调速困难, 绕线式电动机能调速, 但要多一套调速设备;
- (2) 附近必须有电源, 功率大的电机要附有启动设备。

(二) 柴油机特性

柴油机按其转速范围, 可以分为高速柴油机(转速大于1500 r/min)、低速柴油机(转速小于500 r/min), 和中速柴油机(转速为500~1500 r/min)三种。作为钻探动力机械一般采用中速柴油机。

1. 柴油机输出特性(中速柴油机)

标志柴油机工作特性是以“速度特性”曲线表示的。它是在供油量 g_e ($g/735W \cdot h$) 一定的条件下, 柴油机功率、扭矩和耗油率等主要指标随转速变化的关系曲线。如图2-1-29为中速柴油机一般速度曲线。

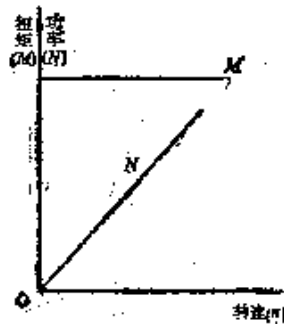


图 2-1-29

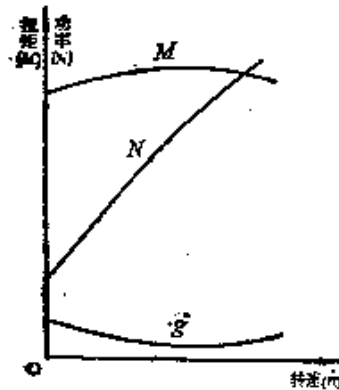


图 2-1-30

由于供油量 g_e 一定时, 柴油机气缸功率也是一定的, 在这种情况下, 扭矩 M 应为一常数, 而柴油机的功率则正比于转速。

但实际上由于在低速时, 散热和漏气损失显著; 而在高速时, 内部摩擦与进气阻力所造成的损失显著, 因而扭矩与转速的关系如图2-1-30所示。曲线 M 有一最大值。

在此情况下, 柴油机的超载系数 μ 等于1.05~1.1。

实际上所用的柴油机因装有全程调速器, 在这种情况下柴油机的速度特性也因人为改造而发生变化, 这种变化后的“速度特性”称为“调速特性”, “调速特性”是真实地反映了实际工作中的柴油机特性。它的超载能力大大提高, 速度稳定, 特性变硬。

2. 柴油机的优缺点

优点:

- (1) 所有热机中效率最高;
- (2) 单位马力重量小, 移动方便;
- (3) 较坚固耐用;
- (4) 独立性强, 又移动很方便, 最适于野外偏僻之处使用;
- (5) 能有一定范围的调速。

缺点:

- (1) 成本高, 不甚经济;

备等多种。此外,根据起动方式不同,还须分别装设减压机构、预热塞、电热塞等辅助起
动装置。

图2-1-33为X4105型柴油机剖视图,据此可以了解一般内燃机的总体构造。

第四节 钻 塔

一、钻塔的功用与要求

钻塔是安置钻探设备和工作人员的活动场所。钻塔在钻进过程中的主要作用是起下钻
具,在某些情况下,用来处理井内事故和起下套管等工作。

为了起下钻具、套管柱和悬挂钻具,要求钻塔有足够的承载能力,即除足够的强度外,
还应有足够的刚度。为了提高起下钻效率,要求钻塔有合理的高度。钻塔上顶及其横断面
的尺寸应满足天车的安装,和游动滑车上下运行。钻塔的底部尺寸要保证井场设备合理的
布置及工人的安全操作。

除了上述各项基本要求外,还要求钻塔自重轻,移运性好,制造成本低。

二、钻塔的类型

钻塔种类很多,按不同的标准可作如下分类。

(一) 按钻塔材质的分类

1. 金属钻塔

用金属管子或角钢做成,一般多用于中深孔、深孔。

2. 木质钻塔

用松木、杉木等制成,一般多用于浅孔。

(二) 按钻塔构造的分类

1. 两脚钻塔

一般适用于浅孔。两脚塔又称为人字塔如图2-1-34所示。此种钻塔具有结构简单,整
体安装速度快,体力劳动小等特点。两脚塔有木质和钢质两种,其中钢质一般用钢管制成。

2. 三角塔

具有结构简单,拆迁、安装容易等特点。适用于浅孔。这种塔一般用木质制成,也有
用轻便管子制作。其结构如图2-1-35所示。

3. 四角铁塔

一般多为金属钻塔。此种塔结构较复杂,安装、拆迁时间长,劳动强度大,但能承受
大的负荷。主要用于较深的钻孔。四角塔结构如图2-1-36所示。

4. 桅杆式钻塔

结构简单,多用于移运式钻探设备上。如图2-1-37所示。

(三) 按钻孔的角度分类

直塔和斜塔两种。直塔用于钻孔倾角为 90° 的钻孔,也就是垂直钻孔。斜塔用于钻孔倾
角小于 90° 的钻孔,也就是斜孔。斜塔如图2-1-38所示。

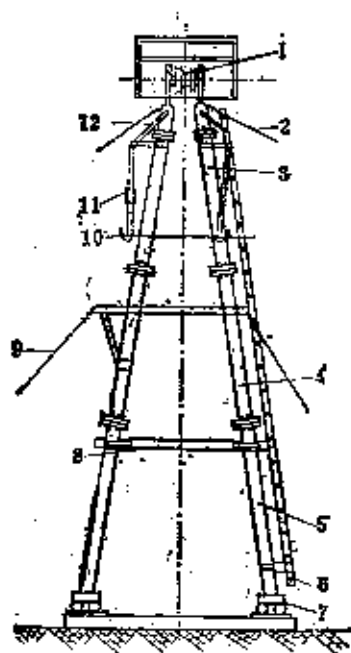


图 2-1-34 人字型钻塔

1—天车, 2—上侧梁, 3—上侧梁, 4—中部架梁,
5—下侧梁, 6—扶梯, 7—波坐, 8—层拉手,
9—下侧梁, 10—绳钩, 11—下吊杆, 12—上吊杆

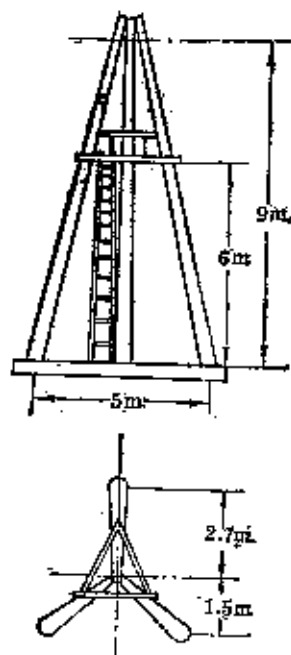


图 2-1-35 三脚木塔

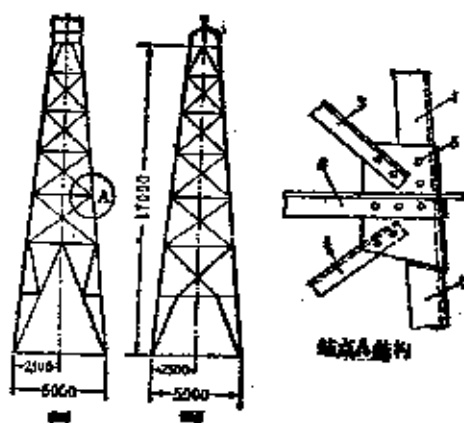


图 2-1-36 17m角钢四脚钻塔结构示意图

1—下斜拉手, 2—横拉手, 3—上斜拉手, 4—短节,
5—连接板, 6—塔腿短节

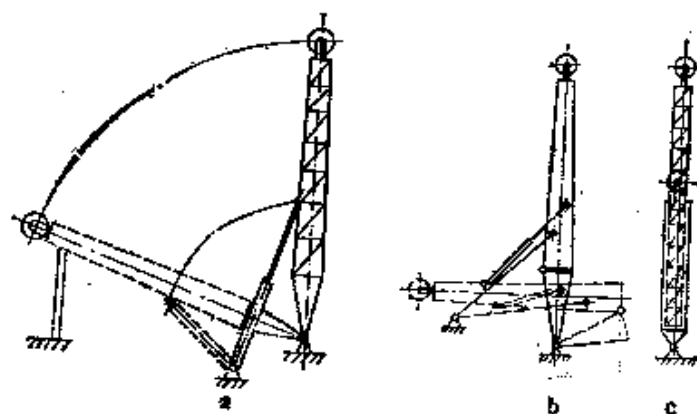


图 2-1-37 钻杆的结构及竖立形式
a—整体竖立式 b—折叠式 c—伸缩式

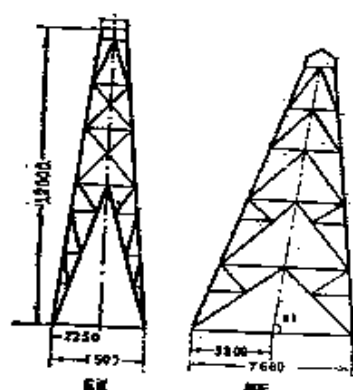


图 2-1-38 12m角钢四脚斜塔结构示意图

第五节 钻探工具

钻探工具根据其功用分为钻进工具和附属工具两大类。

一、钻进工具

钻进工具通称钻具。常指钻头、岩芯管、钻铤、异径接头、取粉管、钻杆、水龙头等。其连接方式如图2-1-39所示。其中钻头、岩芯管、异径接头（取粉管）所组成的钻具为粗径钻具。图2-1-39a、b和c分别为硬质合金和钢粒钻进用的粗径钻具。

（一）钻头

钻头是破碎孔底岩石的工具。它由钻头体和切削具组成。其切削具为金刚石的叫金刚石钻头，切削具为硬质合金和钢粒的分别叫做硬质合金和钢粒钻头。钻头的结构参看钻进方法一章。

需要取芯的钻头称为取芯钻头。在钻进中不需要取芯的钻头叫不取芯钻头，又称全面钻进钻头。

岩芯钻探中使用的钻头规格有：170、150、130、110、91、75、59、46mm等多种规格。其中，75(76)、(66)、59(56)、46mm的钻头为小口径金刚石钻进钻头规格。(注：括号内为旧系列)。

(二) 岩芯管

岩芯管在钻进时起收容岩芯和导向作用。在机械回转钻探中使用的岩芯管类型有单层岩芯管和双层岩芯管之分。由双层岩芯管组成的钻具叫双管钻具(其结构详见“钻探质量”章)。

单层岩芯管的两端都车有规格相同的内丝扣，一端的丝扣是通过异径接头和钻杆柱相连，另一端的丝扣直接连接钻头，如图2-1-39中5所示。

与钻头配套的岩芯管的规格分别为：168, 146, 127, 108, 89, 73, 57, 44 mm。

(三) 套管

套管在钻进中起保护孔壁和作其它技术之用。其规格与岩芯管相同。

(四) 取粉管

取粉管的作用是收集较大颗粒的岩屑或钢粒钻进时被磨碎的细小钻粒。取粉管的材料及规格与岩芯管相同。所不同的是取粉管的下端为内丝扣，而另一端为防止孔壁掉块卡钻，则制成马蹄形。如图2-1-39中2所示。

(五) 异径接头

异径接头是将钻杆柱和岩芯管连接起来。异径接头上端除连接钻杆外还连接取粉管的称取粉管异径接头。取粉管异径接头，为右丝扣的一端连接岩芯管，左丝扣的一端连接取粉管。上端不连接取粉管的异径接头，可以做成铣刀式或镶焊上硬质合金以便磨碎在钻进过程中孔壁上掉落的岩块。异径接头的规格与岩芯管相同。

(六) 钻铤

钻铤一般由厚壁的无缝钢管或双层钢管镶铅制成。钻进时连接在岩芯管上部起孔底加压作用。

使用钻铤加压，可以改善钻杆柱的应力状态，使上部的钻杆柱始终处于拉伸。因而减少钻杆和钻杆接头的磨损。同时钻铤还起导向防斜作用，防止钻孔弯曲。因此，在大口径钻井中经常使用钻铤加压。

钻铤可以对接，也可以用接头将几根连成钻铤柱。

(七) 钻杆

钻杆是钻具的主要组成部分之一。钻进时，通过它把动力传递给粗径钻具，同时又把需要冷却钻头和携带岩粉的冲洗液输送到孔底。

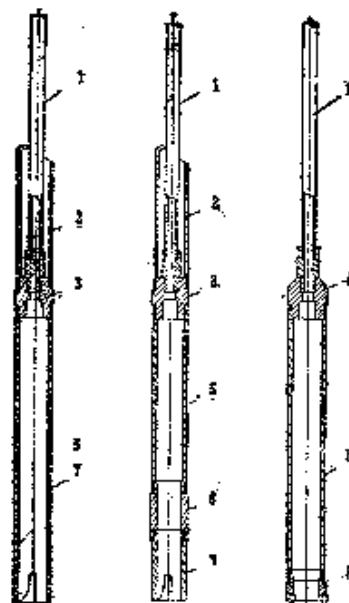


图 2-1-39 岩芯管与钻杆的连接

1—钻杆；2—取粉管；3—取粉管接头；4—异径接头；5—岩芯管；6—钻头接手；7—钢粒钻头；8—硬质合金钻头

在钻进过程中,为了减少起下钻时间,常将几根钻杆连成一起组成立根为单元。立根中间不需拆卸的钻杆用带有细扣的圆接箍连接,两头起下钻经常拆卸的部分,用带有粗丝扣的锁接头连接。

通过钻机的钻杆称为主动钻杆。它的作用是将钻机的回转力和压力传递给钻杆柱。

常用钻杆的规格有: 43(42), 53(50), 60(63.5)mm等几种。大口径石油钻井使用的规格是: $2\frac{3}{8}$ ", $2\frac{7}{8}$ ", $3\frac{1}{2}$ ", 4", $4\frac{1}{2}$ ", $5\frac{1}{2}$ "等。

钻杆直径的选择主要由钻孔直径和钻孔深度来确定。

(八) 水接头

水接头是将回转的钻具和不同转的高压水管连接起来的装置。

钻进时,通过它实现钻具的提动。在深孔或减压钻进时,又通过它控制钻头的给进力。因此,要求水接头既有耐一定压力的密封性,又要求不妨碍钻具回转。其结构如图2-1-40所示。

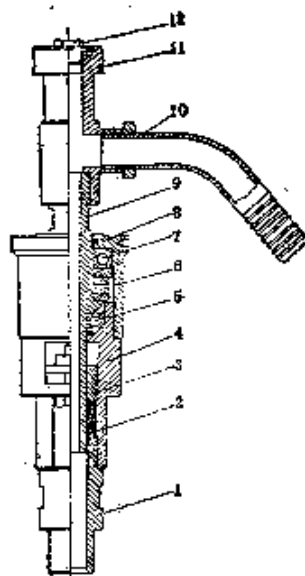


图 2-1-40 轻便式提引水接头
1—下接头; 2—密封线; 3—密封线压盖; 4—本体;
5—离心泵轴承; 6—推力滚珠轴承; 7—离心泵轴承;
8—上盖; 9—芯子; 10—弯管;
11—磨菇头; 12—丝堵

二、附属工具

附属工具种类较多,大致分为如下几类:

(一) 提引类

有滑车、提引器、提引钩等。主要用来升降孔内钻具。

(二) 夹持类

有垫叉、钻杆夹持器(图2-1-41为脚踏夹持器)、套管夹板等(图2-1-42)。其作用是在升降钻具时用以停留钻具、夹持之用,以便拆卸。

(三) 拆卸类

主要有管钳、自由钳(图2-1-43)、链钳、搬手等。

(四) 打捞工具类

是处理孔内事故的专用工具。主要有矢锥(图2-1-44),割管器等。

用矢锥打捞钻具时,借助于扭力和压力,矢锥把钻具攻出螺纹而牢固地连接在一起。然后把钻具提到孔外。

割管器处理事故是当岩芯管和套管夹埋孔底,不能起拔时,可用割管器分段切割,再分段捞取(割管器的结构参看“事故处理”一节)。

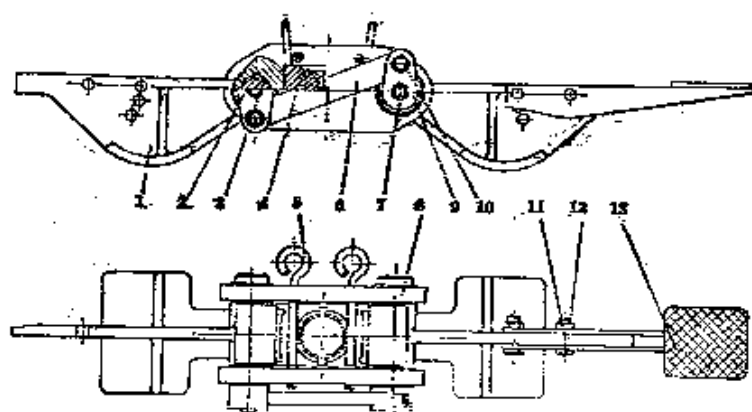


图 2-1-41 脚踏夹持器

1—夹心座；2—铰；3—轴；4—卡瓦；5—安全销；6—连杆；7—铰；8—夹持板；9—曲柄；10—圆柱销；11—螺母；12—螺栓；13—脚踏板

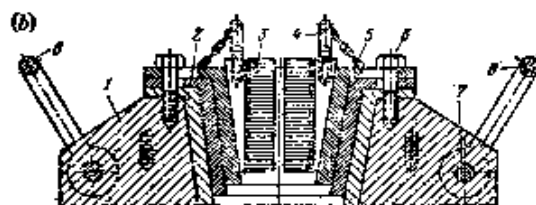
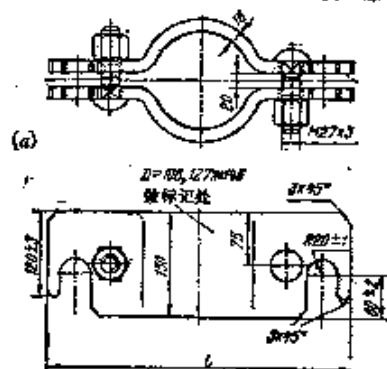


图 2-1-42 套管夹板

(a)—简单夹板；(b)—卡台；1—台座；2—可卸锥形环；3—卡瓦；4—吊耳；5—取出卡瓦用链环；6—螺栓；7—小轴；8—移动卡台用手把

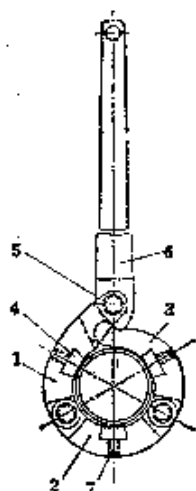


图 2-1-43 三节式自由钳

1—半圆块A；2—半圆块B；3—半圆块C；4—牙块；5—销钉；6—手柄；7—固定销钉

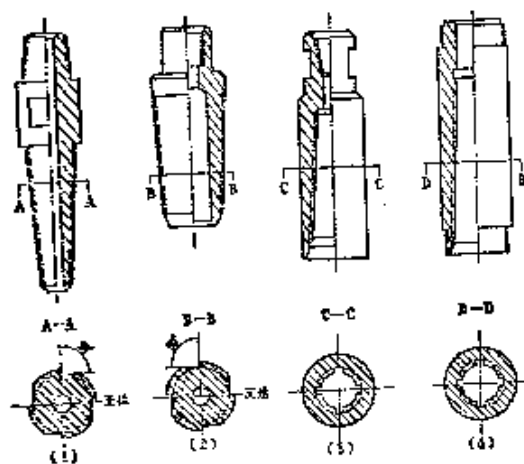


图 2-1-44 各种尖锥示意图

1—钻片公锥；2—岩芯管公锥；3—母锥；4—同心母锥

第二章 岩芯钻探钻进方法

岩芯钻探常用的钻进方法有：硬质合金钻进、钢粒钻进、金刚石钻进、以及冲击一回转钻进等几种钻进方法。

第一节 硬质合金钻进

硬质合金钻进是采用具有相当硬度的硬质合金作碎岩切削具的一种钻进方法。

由于硬质合金钻头成本低廉，制作容易，几乎可以钻进所有可钻性Ⅰ～Ⅳ级和部分Ⅴ级的岩石，加之它具有操作工艺简便，事故率低等优点，所以硬质合金钻进一直是软—中硬地层中主要的钻进方法。据苏联统计资料，目前全部钻探工作量的50%是用硬质合金钻进完成的。我国煤田地质钻探中硬质合金钻进占总工作的80%左右，冶金地质钻探也占65%左右。

但是，与金刚石钻进及钢粒钻进相比，硬质合金钻进钻头寿命短，不能钻进坚硬强研磨性岩石。

一、硬合金钻进特性及其应用范围

(一) 硬合金钻进并底碎岩过程

在硬质合金钻进的过程中，钻头体上所镶嵌的硬质合金切削具主要受到两个力的作用。即轴向压力 P_z 和水平回转力 P_r 。当轴向压力 P_z 达到一定值后，切削具对岩石的单位压力，超过了岩石的抗压入强度，切削具便切入岩石一定深度 h_0 。与此同时，在回转力 P_r 的作用下，也向前推挤岩石。如果岩石较脆，则受力体 aob 被剪切推出（图2-2-1、a）；如果岩石是塑性的，则切削具前部的岩石被刮去一层（如图2-2-1、b）。切削具在轴向压力和水平回转力的双重作用下，使孔底呈螺旋状不断加深（如图2-2-2）。其展开图如图2-2-3所示。

从上述分析中可以看出，切削具的强度与硬度应大于岩石的强度和硬度，并且轴向压力要足够，才能有效切入岩石；回转力也要足够，才能有效地推挤或剪切前方的岩石。

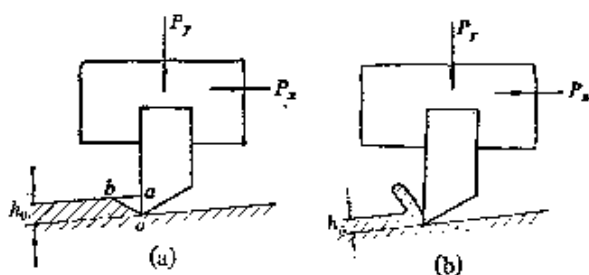


图 2-2-1

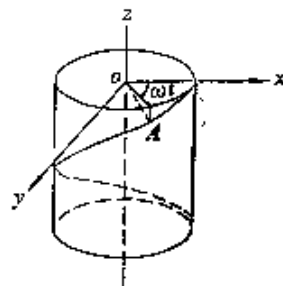


图 2-2-2

硬合金钻进时,切削具在井底破碎岩石的同时,切削具本身要被破碎的岩石磨损,而被磨损的切削具,与岩石接触面积加大,则引起单位面积上比压不足而难以有效地切入岩石,表现为机械钻速下降。

(二) 硬合金钻进特点及其应用范围

(1) 钻进时工作平稳,振动较小。岩芯比较光滑完整,采取率较高。孔斜不大,容易保证钻探质量。

(2) 根据不同岩性,可以灵活改变钻头结构。在软的和中硬的岩石中具有相当高的钻进效率。

(3) 操作简单方便,钻进规程参数容易控制,孔内事故较少。

(4) 硬质合金比较便宜,钻头镶焊工艺简单,修磨方便,成本费用较低。

(5) 应用范围不受孔深,孔径和孔向的限制。

但是,由于硬质合金硬度毕竟有限,强度和耐磨性也尚嫌不足,在坚硬岩层中钻进时,效率不高,钻头寿命不长。

现在,硬质合金钻进主要用于1~7级岩石及部分8级岩石。

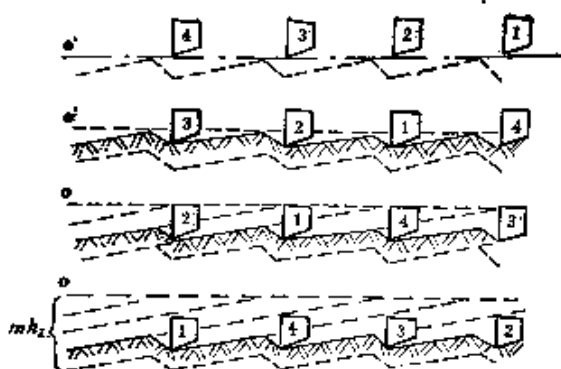


图 2-2-3

二、硬 质 合 金

钻进中钻头在一定的轴心压力下回转时,由于钻杆柱的扭转弹性冲击和纵向弯曲弹性振动等,使它在孔底的工作条件很恶劣。尤其在非均质和裂隙岩层中钻进时更为显著。这就要求作为切削具的硬质合金具有:

(1) 硬度大而耐磨性强。以便切削具能够更为有效地切入或压入岩石。一般硬度应大于HRA80,并且能够抵抗岩石对切削具的磨损。

(2) 抗弯强度大而韧性好。能承受各种变化的载荷,在孔底不至于崩刃和碎裂。一般抗弯强度要在 115kg/mm^2 ($11.5 \times 10^8\text{Pa}$) 以上。

(3) 热硬性好而导热性高。在快速回转切削具与孔底岩石摩擦产生高温时,切削具的物理机械性能不至于改变,硬度和强度不会显著降低而且使热量易于导出。

(4) 便于镶焊在钻头上,成型性好。

(一) 硬质合金牌号与性能

钻探用硬质合金是将极硬、极脆、难熔的金属钨的碳化物颗粒和铁族金属钴在高温下烧结而成的。碳化钨为骨架材料,它的高硬度保证了硬质合金切削具的耐磨性;钴粉为粘结剂,保证了硬质合金切削具的韧性。它们经粉末冶金形成假合金。这类硬质合金在国家标准中称为YG类硬质合金。它的硬度可达HRA90 (比莫氏硬度Ⅸ级的刚玉硬度还要大),抗弯强度可达 $14 \times 10^8\text{Pa}$ 左右,基本能满足钻探对切削具所要求的硬度大、耐磨、抗弯、抗冲击、导热能力好,便于镶焊和更换等特点。

地质钻探用的YG类硬质合金性能见表2-2-1所示。

由表2-2-1可知,随着硬质合金中含钴量的增加,密度有所下降,硬度逐渐降低,耐磨性能有所减弱;而硬质合金的抗弯强度却逐渐增大,冲击韧性也有所提高。在成分相同的钨钴类硬质合金中,碳化钨相的颗粒越细,则硬质合金的硬度愈大,耐磨性能增高。反之,则抗弯强度提高,韧性增加。

表 2-2-1

合金 牌 号	化学成分(%)		物理机械性质			特 性 及 用 途
	(杂质不计)		密 度 g/cm ³	硬 度 HRA	抗弯强度 MPa	
	碳化钨	钴				
YG3x	97	3	15.0~15.3	82	1050	耐磨性最好,冲击韧性最差,常用于金属切削加工 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
YG4c	98	4	14.8~15.2	80	1400	
YA3	91-93	6	14.4~15.0	82	1400	基本上是碳化钨-钴合金,加有少量TaC成分,提高了硬度 用于地质勘探回转钻进,使用效果仅次于YG4c合金
YG6	94	6	14.6~15.0	89.5	1400	
YG6x	94	6	14.6~15.0	81	1350	属细粒碳化钨合金,其强度接近YG8,耐磨性较YG6高 硬度降低不多,强度较高,地质勘探和石油回转钻进主要品种
YG8c	92	8	14.4~14.8	89	1500	
YG8	92	8	14.4~14.8	88	1750	属超细粒碳化钨合金,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 耐磨性最差,冲击韧性最高,用于冲击回转凿岩
YG11c	89	11	14.0~14.4	87	2000	
YG15	85	15	13.9~14.1	87	2000	同 上

* 硬质合金牌号中的附加字母“C”表示粗颗粒合金,“X”表示细颗粒合金。

一般在适宜用硬质合金钻进的地层中,对研磨性较高的均质硬岩石宜采用硬度较高、耐磨性好的低含钴量硬质合金。而对研磨性较低的软及较软岩石,对不均质、多裂隙的岩石,宜采用含钴量较高或碳化钨颗粒较粗的硬质合金,以保证切削具具有较高的强度和韧性。如果钻孔很深,钻孔弯曲较剧,钻头在孔底工作条件比正常情况恶劣,则应考虑选用具有较高的强度和韧性的硬质合金。针状硬质合金常用于自磨式钻头,其硬质合金受到周围胎体材料的保护,允许选用强度较低而耐磨性高的硬质合金。

不同的钻进方法,所选用的硬质合金牌号也不同。冲击钻进应采用含钴量较高的硬质合金;回转钻进应采用含钴量较低的硬质合金。

实践证明,采用含钴量不高的粗颗粒硬质合金有助于提高钻进效率,并能保证一定的钻头寿命。例如YG4c硬质合金强度近于YG8硬质合金,但比YG8耐磨,表现了极好的钻进性能。在Ⅴ~Ⅷ级及部分Ⅸ级研磨性砂岩中,钻进比YG8高12~42%,回次长度延长57%。

(二) 硬质合金切削具形状和规格

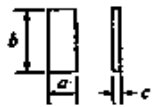
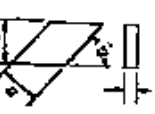
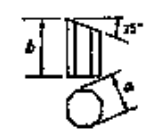
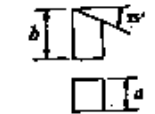
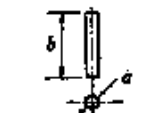
钻探常用硬质合金切削具形状和规格如表2-2-2所示。

表内所列形状可归纳为如下几类:

1. 片状

有短片状、直角片状、菱形片状。片状切削具刃薄易于切入和切削岩石,但抗弯能力低,主要用于钻进Ⅰ~Ⅴ级软岩,它在钻头上出刃应大些。

表 2-2-2

型 号	名 称	几 何 形 状	规 格, mm			每个平均重量 g	使 用 条 件
			a	b	c		
K411 K413 K414	片	矩形薄片 	3 5 8	15 20 25	1.5 4 6	1.0 0.9 13.3	适用于补强刮刀式钻头
K511 K512 K513 K515	块 合	直角薄片 	5 7.5 8.5 10	7 10 8 14	3 3 3 4	1.4 3.0 2.8 7.6	适于钻进1~4级软岩
K521 K522	金	菱形薄片 	8.5 12	— —	3 4	4.4 12.9	适于钻进1~3级软岩
K531 K532 K533 K534	柱 状	八角柱 	5 7 7 10	10 10 15 18	— — — —	2.3 3.0 7.2 17.5	适于钻进4~7级中硬岩层
K571 K572 K573	合 金	四方柱 	5 5 5	8 10 13	— — —	2.8 3.4 4.3	适于钻进4~7级中硬岩层
K561 K562	针 状 合 金		2 2	10 15	— —	0.6 0.9	用于刮自磨式钻头。钻进中硬以上研磨性岩层

2. 柱状

有方柱状和八角柱状。柱状切削具抗弯、抗压的能力较强,主要用于Ⅵ~Ⅷ级中硬岩石。

3. 针状

主要用来制造自磨式钻头,在中硬及硬岩层或研磨性岩石中使用。

三、硬质合金钻头结构参数

根据施工要求是否取芯,可将硬质合金钻头制成取芯的硬合金钻头和不取芯的全面钻头。岩芯勘探钻进中常采用的是取芯硬合金钻头。

硬合金钻头是将硬质合金切削具镶焊在用45°钢制成的钻头体上,由于硬合金切削具在钻头体上镶焊时,可以根据岩石性质不同,在切削具出刃的大小,切削具的镶焊角及大小,

切削具的数目多少，切削具在钻杆上排列和布置方式上等方面采用的差异，就构成了硬质合金钻头结构的差异。

(一) 切削具出刃

为了使切削具顺利地切入岩石，使冲洗液的畅通以及减少钻头体的磨损，切削具必须突出于钻头体。此突出部分称为出刃。出刃有内出刃、外出刃和底出刃。

内、外出刃是使钻具与岩芯、钻具与井壁之间留有间隙、保持一定的井径和岩芯直径的依据。很显然，内、外出刃必须选择恰当，一般对中硬岩石，内、外出刃可取 $1.0\sim 1.5\text{mm}$ ；而对软岩，则可取 $2\sim 3\text{mm}$ 。

底出刃是用来刮取井底岩石。其切入岩石深度为 h_0 ，为保证冲洗液流通畅并为清除岩粉和冷却切削具，所需高度为 h_1 。在软岩中， h_0 和 h_1 都要求大些，底出刃可大至 $3\sim 5\text{mm}$ ；在中硬岩层中， h_0 和 h_1 则应稍小些。通常取底出刃 $2\sim 3\text{mm}$ 。

(二) 切削具的刃角和镶焊角

切削具在钻头体上镶焊角度不同会使破碎岩石时，切削具对岩石面作用的角度也不同。这就影响了碎岩效果（切削具在钻头体上各角见图2-2-4）。

一个具有一定刃角 β 的切削具，以不同的切削角 α 镶焊在钻头体上，即镶焊角 ϕ 不同，可以获得不同的钻进效果。

如图2-2-5所示，当(a) $\phi=0$ 时，即 $\alpha=90^\circ$ 时切削具垂直于钻头端面，称为直镶；当(b) $\phi>0$ 时，即 $\alpha<90^\circ$ 时，称为正斜镶；当(c)为 $-\phi$ 时，即 $\alpha>90^\circ$ 时，称为负斜镶。

刃角 β 值直接表示着切削具切入岩石的难易程度，同时也反映了切削具的抗磨损能力以及抗崩断强度。刃角愈小，愈易切入岩石，但其抗磨、抗崩能力也愈差；相反，刃角大了，虽然其切入能力较差，但抗磨抗崩能力却较好。实际钻进中，磨损、崩刃往往成为主要矛盾，因此，一般在较软岩石中，选用较小的 β ；在较硬岩石中，则选用较大的 β 。

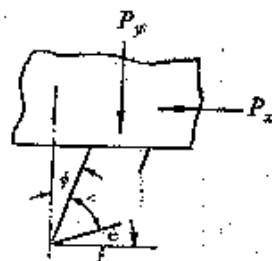


图 2-2-4 切削具的镶焊角度
 P_y —轴向压力； P_x —回转水平力； ϕ —刃角（镶焊角）； β —刃角； ϵ —后角； α —切削角

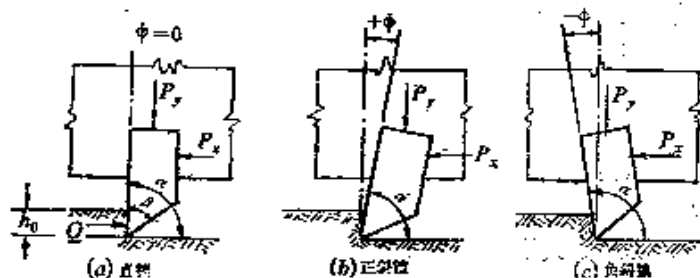


图 2-2-5 切削具在钻头上的三种镶焊形式
 P_y —轴向压力； P_x —回转水平力； β —刃角； α —切削角； ϕ —镶焊角（前角）； h_0 —切入深度； Q —切削力

后角 ϵ 的大小，影响切削具回转钻进时后面与岩石表面的接触和磨损。必须有一定的后角，才能使后面与岩石表面不接触和少磨损。但后角过大，会使刃角减小过多，也无必要。所以，有时用 $\beta+\epsilon$ ，即用切削角 α 来衡量切削具的切削性能。

切削角 α （相应地反映镶焊角 ϕ 的大小），应根据所钻岩石而选定。一般说来，钻进软岩 α 选用小些，如在油井钻进中，对刮刀式钻头（或鱼尾钻头）而言，钻泥岩时，钻头切入岩石较深，进尺很快， $\alpha=70^\circ$ ，钻砂页岩时， $\alpha=75^\circ\sim 80^\circ$ 。

但是对脆性的及较硬的岩石来说，则不应按上述意见来决定切削角。在该类岩石中，如前所述，切削具主要是按压碎和剪切作用破碎岩石，尤其是在钻具转速较快而钻速较慢的情况下，则不宜采用正斜镶式，因为切削具被磨钝为主要矛盾，最好是采用直镶式或 $\phi=-10^\circ$ 的负斜镶式。这样，切削具的抗磨性能较好，同时岩屑也可排出。

关于切削角 α 影响切削具抗磨性能的情况，如图2-2-6所示。当刃角 β 一定时，假如磨损高度相同，则三种不同切削角（ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ）的切削具磨损 y 后，接触面积不同。由图可知： $S_2 < S_1 < S_3$ 。所以负斜镶的刃比较锋利，易于切入岩石且抗磨性能较好，因而多使用于研磨性强的较硬岩层。

在选择切削角或镶焊角时，还必须考虑到切削具镶焊的方便性。使切削具镶焊成正、负一定角度，镶焊工作比较困难。所以如无特殊必要，则以选取直镶为好。这也是直镶刃使用十分广泛的一个原因。

（三）切削具的排列和布置

硬合金切削具在钻头体底面上

的排列形式多种，如有单环排列，多环排列，密集排列等（见图2-2-7所示）。排列形式的多种是由于钻进中所遇到的岩石性质各异，为利于提高钻进机械效率和钻探生产率而不断创新发展起来的。其考虑因素主要有如下几个方面。

（1）切削具应成组地排列在钻头底端，每组完成一个环隙宽度的切削；

（2）前切削具为后切削具创造更多的自由面，有利于碎岩；

（3）尽量提高抗磨能力使各个切削具的磨损均一，以免局部磨损过甚而影响整体；

（4）便于排除岩粉，减少岩屑对切削具的磨损和避免重复碎岩。

（四）切削具的数目

切削具在钻头底面的数目，应包括切削具的组数和每组的颗数。很明显，组数与每组的颗数之乘积就是切削具在钻头体上的总数目。

每组切削具完成一个环槽宽度的切削。因此，在一定条件下，组数愈多，单位时间切削量也愈大，则钻速愈高。机械钻速与切削具数目的关系可用下式表示：

$$v = h \cdot q \cdot n \quad (2-2-1)$$

式中 v ——机械钻速；

h ——切削具的切入深度；

q ——切削具的组数；

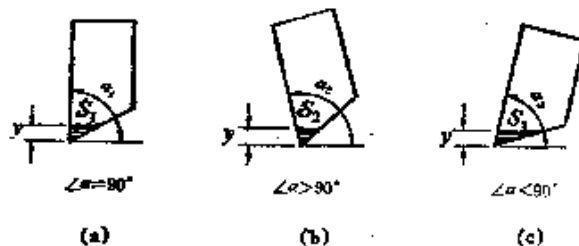


图 2-2-6 三种不同镶焊位置的刃端磨损

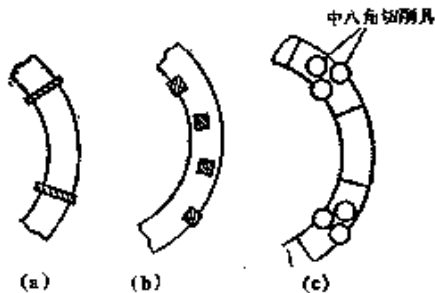


图 2-2-7

n ——钻头的转速。

显然,当切入深度和转速不变时,钻头体上的组数愈多,机械钻速愈高。但组数受每组切削具的排列形式及钻头直径的限制。并且在组与组之间还必须为冲洗水口留出一定的距离,因此切削具在钻头体上可能的最大组数就受钻头周长所限。

显然,当钻头直径增大,周长也就愈长,则钻头上可能镶焊的切削具也就愈多。但是随着直径增大,切削具数目增多必须相应地增大轴向压力,以保证切削具切入岩石。过多的切削具,若使得切削具不能切入岩石,反而降低钻速。因为切削具达体积碎岩的不到压力,就只能以表面破碎的方式碎岩,效率很低,磨损很大。

另外切削具在钻头上数目的选择,还必须考虑到钻头在井底工作的稳定和钻孔截面的规整,一般情况不得少于4个。切削具若少于4个则可能发生钻孔异形,即钻孔不成圆形的问题。选择时,还应当考虑到钻头镶焊和修磨的方便。

(五) 钻头的水口和水槽

硬合金钻头上必须有合理的水口和水槽。如图2-2-8所示,水口和水槽是冲洗液流经钻头而到井底并返回井筒的通道,直接影响着冲洗岩屑和冷却切削具的效果,因而影响着钻进效率和磨损状况。

通常每组切削具就应当配制一个水口,所以一般水口数目与切削具的组数相同。水口的总面积应大于钻头与岩心之间或者钻头与井壁之间的环状间隙的面积,以免过水断面太小。为使小而引起不必要的水头损失。但水口面积也不宜过大,而使冲速太低,对于冲洗岩屑和冷却切削具不利。即水口的大小应能满足冲洗液畅通,并使岩粉很好地排除,钻头有效地冷却。水口应尽量安置在靠近切削具,以保证排粉与冷却及时。水口面积主要根据所钻岩石而定,如钻进软岩,钻速高,单位时间所产生的岩粉量多,且岩粉粘滞性大容易糊钻等因素,因此对软岩须选用较大的水口,反之则可小些。

钻头体外壁(有时内壁)加工水槽,其目的是补充增加钻头内、外环隙过水面积的不足,水槽须与水口连接。



图 2-2-8

四、各类地层钻进特性及其所用钻头举例

(一) 松软及中软地层

在该类地层中钻进的特点是:压入硬度较小,可在小的轴向压力下切入岩石;切入深度大,岩屑的颗粒也较大,但也较易分散成小粒;钻速甚高,单位时间内产生的岩粉量大,要求钻头易于排粉;该类地层粘滞性较大,容易发生糊钻或遇水膨胀等问题,因此需要大的环隙;岩屑的研磨性较小,可以选用锋利的切刃。例如可用如图2-2-9所示的薄片硬质合金钻头。

(二) 中硬及较硬地层

在该类地层中钻进的特点是:岩石的压入硬度较大,为了保证切削具切入岩石,须有大的轴向压力,因此切削具本身应有较大的抗弯抗压的能力。同时切入深度较小,钻速相对较低,所以单位时间产生的岩粉量也没有软岩那么多。一般说来,这类岩石脆性大、粘性小,排粉问题不很突出。在这类岩层中钻进的主要矛盾是碎岩和磨损。所以在切削具排

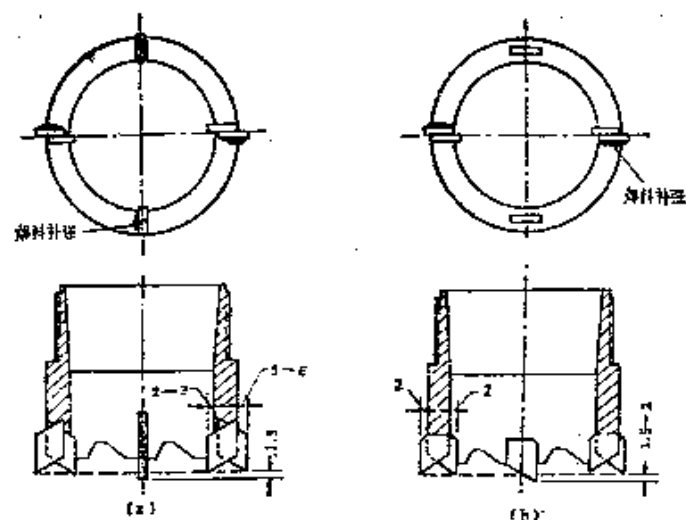


图 2-2-9 薄片硬合金钻头

列和布局上应创造条件, 有利于碎岩有利于抗磨。多采用方柱状、八角柱状掏槽式钻头如图2-2-10所示。

(三) 具有较大研磨性和裂隙发育的较硬地层

在该类地层中钻进, 硬质合金切削具磨损快和容易崩刃, 因此常采用带有支撑体的切削具磨损时端面面积不改变的自磨式钻头, 如图2-2-11所示。

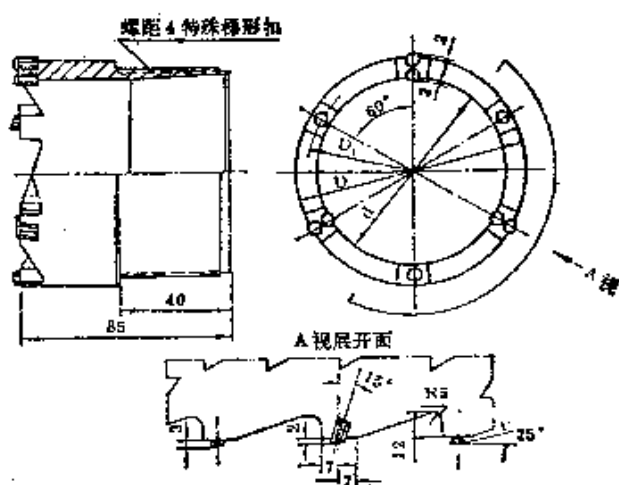


图 2-2-10

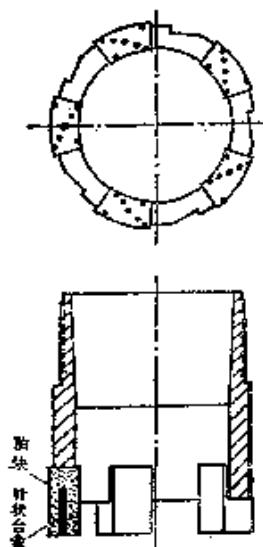


图 2-2-11

五、硬合金钻进规程

硬质合金钻进规程参数主要包括钻压、转速、冲洗液量等内容。这些规程参数对钻头

在孔底工作的好坏、钻进效率、钻孔质量、磨料消耗和施工安全等有直接的影响。因此，应该根据岩石的物理机械性质、钻头的结构、钻孔深度、钻孔质量（岩芯采取率和孔斜）设备能力、钻具强度等因素来合理掌握，并通过实践总结出最优的指标。

（一）钻压 P （亦称轴向压力、简称轴压）

钻压是回转钻进保证破碎井底岩石和有效的破碎井底岩石的必要参数。

在脆性岩石，当轴向压力不同时，岩石破碎可能出现如下三种情况：

1. 当轴向压力很小时

切削具不能很好地切入岩石，只在回转力的作用下，使岩石产生表面研磨破碎。并且单位进尺切削具的磨损很大。

2. 进一步增加轴向压力时

切削具与岩石接触面附近产生向深部发展的裂隙，由于切削具回转运动多次交变作用的结果，发生岩石表面一层剥离，即疲劳破碎。

3. 当轴向压力再继续增加时

轴压增大到超过岩石抗破碎强度时，切削具下方的岩石压皱，促使其接触面周围的岩石崩出，岩石由疲劳破碎过渡到发生脆性体断裂，在切削具回转力作用下，产生连续的体积破碎，切削速度猛增，而单位进尺切削具的磨损降低。

从理论上讲， $P_s > S \cdot \sigma_s$ 是切削具能够破碎岩石的主要条件。此处 P_s 是加在切削具上的压力(N)， S 是切削具与岩石的接触面积(cm^2)，而 σ_s 是岩石的抗压入强度(Pa)。如果根据不同岩石的抗压入强度数据和切削具同岩石接触面积的数据进行计算，则使岩石达到体积破碎所需要的轴向压力，比实际钻进所需要的要大10倍左右(见表2-2-3)。这是因为岩石在静压入条件下，和在钻进条件下所表现的抗破碎阻力有着很大的差异。这是由于在实际钻进过程中，不但有轴向压力和水平回转力，而且还有钻杆柱的振动力。

表 2-2-3

岩 石	切削具类型	静压入时第一次 破碎极限, kg	在双向载荷作用下 出现破碎时的压力 kg	$\eta = \frac{P_s}{P_{实际}}$
大理岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	426	44	9
粗砂岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	630	70~80	9~8
砂质板岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	710	110~120	8.4~6
灰岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	850	100~120	8.5~7
细砂岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	940	130~150	7.2~6.3
粗粒花岗岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	1100	80~100	13.7~11
砂卡岩	方柱状 $\alpha = 70^\circ$	1244	124	10

钻压的大小由岩石性质、钻头直径、钻头类型、钻孔深度、钻具强度等因素来决定。

钻进松软岩石时，钻压可以小些。否则岩粉太多，造成重复破碎，并且岩粉不易排出，会发生堵水、糊钻，反而降低效率；钻进较硬岩石时，由于其抗压入强度较大，需要较大的钻压；钻进研磨性岩石，应适当加大压力，如果压力不足，只能造成钻头过早磨损；而钻进裂隙性岩石，切削具容易崩刃，宜适当减小钻压，一般应比钻进正常岩石降低

20~30%，钻进倾角大的岩层，也要适当减小压力，以防孔斜。

钻头直径大，切削具数目多，切削具强度大，应采用较大的钻压；切削具数目少，切削具强度小，则采用较小的钻压。硬质合金钻进的轴向压力通常按下列公式进行计算：

$$P = P_0 \cdot m \quad (2-2-2)$$

式中 P ——加在钻头上的轴向压力，N；

P_0 ——每颗切削具应加的压力，N；

m ——钻头底面切削具数目。

采用针状合金钻头时，需要较大的钻压。因为钻头上针状合金的截面积，大于同口径的普通合金钻头切削具刃部的截面积，加之一部分钻压要消耗于胎体的磨损。因此，根据实践经验，比普通合金钻头所需的钻压，还要大20%左右。

加在每颗切削具上的压力可参考表2-2-4所列的数据。

表 2-2-4

岩石性质	切削具型式	加在每颗切削具上的压力 P, N
软的塑性的1~3级岩石	片状合金	490~580
中硬的、均质的4~6级岩石	柱状合金	690~1180
硬的、致密的7~8级岩石	柱状合金	880~1470
硬的、研磨性的9~8级岩石	针状合金胎体	1500~2000/块

钻压的大小，还应考虑钻孔深度。孔浅时，更换钻头所需要的辅助时间短，所加的钻压，首先要求获得最大的钻速，其次才考虑钻头的耐久性。孔深时，所加的钻压，即要求获得较高的钻速，又要照顾到延长钻头的寿命和增加纯钻时间。

钻具的强度也是影响钻压的一个因素。钻杆强度大，能承受较大的压力，则可加较大的钻压，使钻头获得应有的压力。有时，由于钻杆强度的限制，不得不被迫采用较小的压力，使钻头在压力不足的情况下工作。

(二) 转速 n

从理论上讲，钻速与转数有如下关系式：

$$v_n = 60nmh_1 \quad (2-2-3)$$

式中 v_n ——机械钻速，m/h；

n ——钻头转速，r/min；

m ——钻头上切削具数目；

h_1 ——每个切削具每转吃入岩石的深度，m。

即在单位时间内，钻头转数愈多，则破碎岩石的机会也愈多。实践证明，在一定条件下，提高转速可以增大钻速。但并不是在任何情况都有同样的效果。

对于不同岩石，都有一个最优的极限转速值，在未到达这个极限转速值之前，钻速随转速增加而增大，但是超过这个极限转速值之后，再增加转速，钻速反而下降。对于较软的岩石，这个极限转速值偏高，而对于较硬的岩石，这个极限转速值偏低。其特性如图2-2-12所示。

在软的、中硬的和研磨性不大的岩石中钻进时，切削具切入岩石深度较大，破碎变形

发育较易完全,切削具磨钝较慢,在转速较高的情况下,仍能发挥其破碎岩石效能。而在硬的岩石中钻进时,切削具切入岩石深度较小,如果转速过高,则破碎变形发育不完全,同时,在单位时间内,切削具与岩石摩擦作用强烈,产生热量较多,使切削具磨损加剧,迅速磨钝。另外,钻杆柱振动频繁,还会使钻头工作条件恶化,切削具产生崩刃现象。这些因素都造成钻速下降。

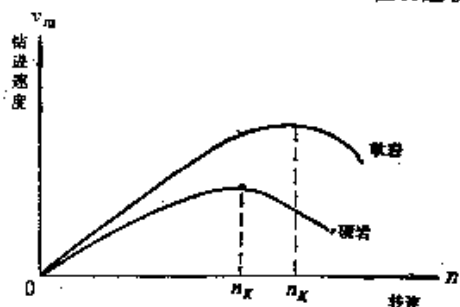


图 2-2-12

保存合金,防止过早崩刃。也要适当降低钻头转速。

此外,转速还受到钻孔深度、钻探设备和钻具强度的影响,孔愈深、设备功率不足、钻具强度不够,都限制转速的提高。

硬质合金非自磨式钻头推荐采用的转速值见表2-2-5。

表 2-2-5

岩石性质	钻头圆周线速度, m/s	不同直径钻头的转速, r/min				
		150	130	110	91	75
研磨性小的软岩	1.2~1.4	160~180	180~210	210~250	250~300	300~350
稍有研磨性的中硬岩石	0.9~1.2	100~120	120~150	150~200	200~250	250~300
研磨性的、裂的裂隙岩石	0.6~0.8	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180

(三) 冲洗液量Q

钻头上的切削具破碎岩石后产生岩粉,必须送入冲洗液及时排除,才能暴露出新鲜的岩石面让切削具继续切削,否则岩粉将堆积在孔底,造成重复破碎,降低钻进效率;切削具切削岩石时,因摩擦而生热,也须送入冲洗液加以冷却,否则会过早磨损,而缩短工作寿命;另外,孔底岩粉过多,容易产生糊钻、憋钻、增加回转阻力,严重时会导致埋钻、烧钻及钻杆折断事故。因此,送入足够的冲洗液是保证孔底清洁,确保安全钻进的重要问题。

一般地说,冲洗液量越大,携出岩粉能力越强,孔底越干净,而且冲洗液冲刷孔底兼有辅助破碎岩石的作用(特别是在松软岩层)。另外,冷却效果也好,有利于切削具耐磨性的提高。但是,冲洗液量过大,当钻头与孔壁和岩芯之间的间隙很小时,会使钻具产生浮力,而降低轴向压力;当岩层松软时,会冲毁岩芯和冲垮孔壁。

由于硬质合金钻进时,岩粉颗粒较粗,钻头口径较大,钻杆与钻孔环状间隙较大,冲洗液流通阻力较小,为保证足够的冲洗液上升流速,一般采用较大的泵量,而泵压则比金刚石钻进小些。但使用针状合金钻头时,因岩粉颗粒较细,同时,钻头口径一般小些,钻杆与钻孔环状间隙也小,所以采用较小的泵量和较大的泵压。冲洗液量的具体数值可参考表2-2-6。

表 2-2-6

冲液量, L/min	钻头及钻杆直径, mm	150	130	110	P1	75	冲液液上升流速, dm/s
		φ59 钻杆			φ42 钻杆		
岩石性质:							
软的岩石		200~250	150~200	140~130	100~120	60~80	3~4
中硬、硬的及研磨性岩石		130~200	140~180	160~140	80~100	40~60	2~3

(四) P 、 n 、 Q 参数间的配合

在钻进过程中, 钻压、转速和冲液量是相互配合的。试验表明: 对于同一种岩石, 钻压不同, 转速的最优值也不一样 (图2-2-13)。钻压增加, 转速的最优值有增大的趋向。这是因为在钻压大的情况下, 破碎变形发育较完全, 时间因素的影响较小的缘故。由此可见, 在增大钻压的同时, 加快转速, 对提高效率是有利的。

钻进软岩层时, 切削具很易切入岩石, 因此, 在有足够的钻压使切削具切入岩石后, 应尽量加大转速, 以求得最好的钻进, 此时, 岩粉增多, 岩粉颗粒较大, 应相应增加冲液量, 以保证孔底清洁。

钻进中硬及硬岩层时, 特别是研磨性岩层, 主要问题是有效地切入岩石和防止切削具过早磨损。因此, 必须采用尽可能大的钻压和适当转速, 以求得切削具有较大的切入深度和较小的磨损, 至于冲液量的作用主要是冷却钻头, 适量即可。

硬质合金钻进的规程参数较好地掌握。

对每一种岩层, 采用几种型式的钻头, 以不同的规程参数, 进行对比试验, 看哪种钻头和什么样的钻进参数配合关系, 钻头的钻速和四次进尺都比较理想, 而后确定出合理的操作规程。

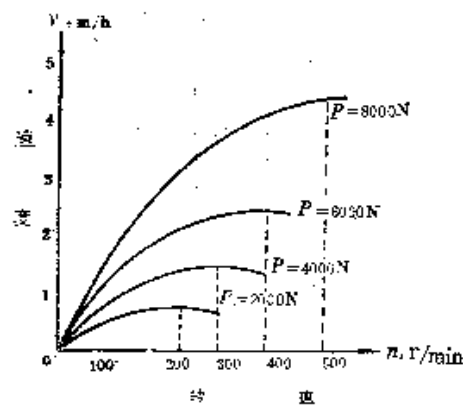


图 2-2-13

第二节 钢粒钻进

钢粒钻进是用未镶有切削具的钻头钢体压住不与钻头钢体镶在一起、呈自由状态、尺寸不大 ($\phi 2.5 \sim 4\text{mm}$) 的钢粒, 并带动它们在孔底翻滚而破碎岩石的钻进方法。它称为钢粒钻进。

钢粒钻进是通称的钻粒钻进, 其磨料系采用钢材制的。由于用铁铸造的铁砂已被淘汰, 而铸钢砂因其制造工艺复杂性一直未被广泛采用, 所以现在生产上主要采用钢粒。此节专门阐述钢粒钻进。

一、钢粒钻进特性及其应用范围

(一) 钢粒钻进并破碎岩过程

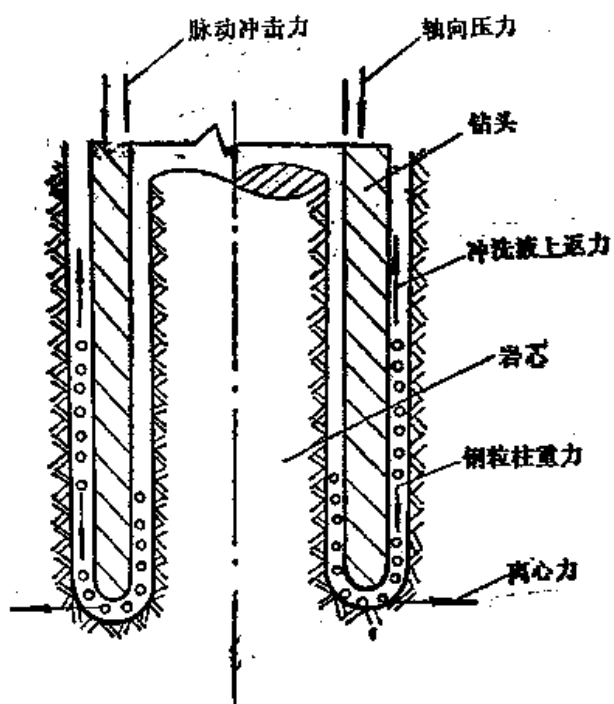


图 2-2-14

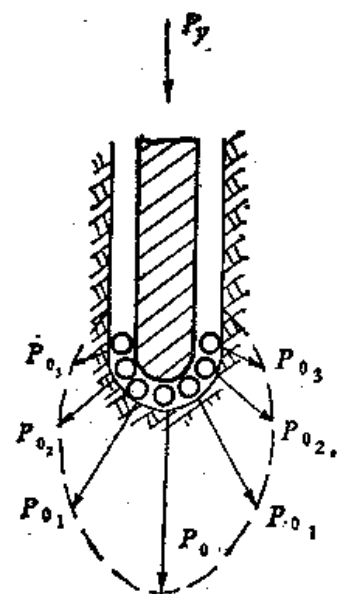


图 2-2-15

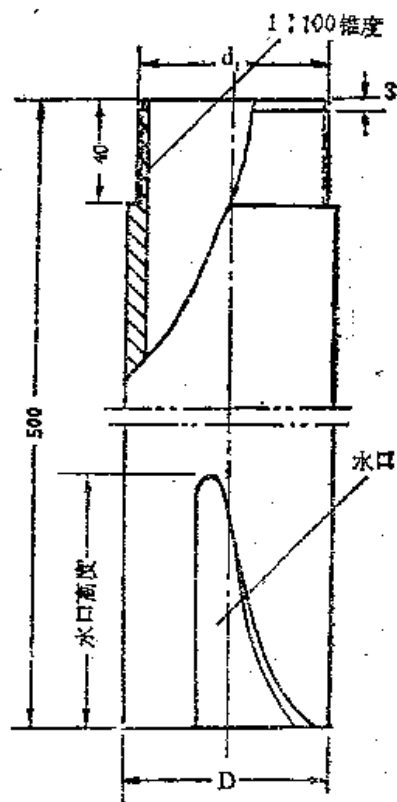


图 2-2-19 钻粒钻头

第三节 金刚石钻进

金刚石钻进是利用硬度最大的金刚石做磨料的一种钻进方法。

由于金刚石的硬度大,耐磨、抗压性能好,所以它能钻进多种坚硬岩石,也能打各种不同角度和深度的钻孔,它具有钻进效率高、质量好、钢材消耗少、成本低、设备轻便等优点。随着人造金刚石的试制成功和质量的不断提高,为我国钻探工程采用金刚石钻进开辟了广阔的前景。

一、金刚石钻进特性及其应用范围

(一) 金刚石钻进并底碎岩过程

金刚石钻进不同岩石,采用不同类型的钻头和不同的钻进参数,其并底碎岩过程有所不同。

表镶钻头上的金刚石颗粒及其出刃量都较大,所以分析表镶钻头破碎岩石过程时,往往取钻头上单颗金刚石,并视之为球体。对于球体压入坚硬脆性岩石的作用过程,一般认为主要破碎方式为压裂、压碎加体积剪切,而切削破碎方式是次要的。对于塑性大的中硬岩石,则主要以切削方式破碎岩石,而以压裂压碎为辅。所谓切削破碎作用如图2-2-21所示。

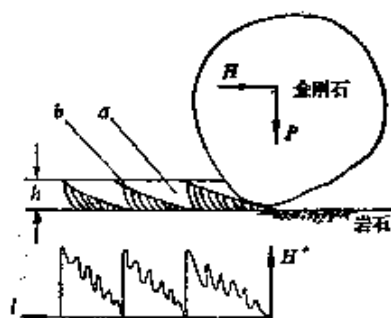


图 2-2-21 切削破碎作用
 P —垂直压力; H —水平力; h —切入深度;
 H' —水平阻力; l —水平移动距离; a —大体积剪张体; b —小体积剪张体

单颗金刚石在垂直载荷 P 作用下保持切入岩石 h 深度,然后在水平力 H 的作用下,金刚石以前棱面切削岩石,产生大体积剪张体 a ,水平力 H 随之骤然下降趋于零。金刚石继续受力运动,与岩石的接触面积逐渐增大,形成逐渐增大的小剪张体 b ,水平阻力随之脉动变化并逐渐地相应加大,直到金刚石同岩石接触接近 h 全高时,又产生一个大体积剪切破碎。单颗金刚石就是如此依次循环,进行破碎岩石的。

对于孕镶钻头的破岩机理,存在着不同的观点,一种观点认为与砂轮的磨削原理相似,称为磨削碎岩;另一种观点则认为孕

镶钻头碎岩机理与表镶钻头相似,差别仅在于用的金刚石粒度不同,因而,对于脆性岩石,以微压裂压碎加微体积剪切为主,对于塑性岩石,则以微切削为主。

孕镶钻头唇部金刚石颗粒的工作情况也不同于表镶钻头,在与岩石接触时,金刚石钻头的唇部胎体首先开始磨损,金刚石逐渐出刃,只有当金刚石露出足够量并保证切入岩石时,才能有效地破碎岩石。

孕镶钻头在工作过程中,胎体的底表面与岩石之间留有一定的间隙,间隙里充满了已破碎的岩石颗粒,这些颗粒在被冲洗液从孔底冲走之前,一直对胎体起研磨作用,使孕镶钻头进行自锐。

当金刚石吃入岩石时,在应力作用下,金刚石中出现裂纹,这些裂纹逐渐积累和发

展,就导致金刚石的脆性碎裂。随着钻进的进行,胎体不断磨损,逐渐失去了对工作金刚石的包镶能力,致使工作金刚石从胎体上陆续脱落下来。而另一方面,具有工作能力的工作金刚石即不断的从胎体中出露,这就保证了孕镶金刚石钻头始终具有恒定的碎岩能力。

图2-2-22绘出了分布于切削线上的许多金刚石,据此图可以看出金刚石颗粒的工作情况。

(二) 金刚石钻进的优越性

1. 钻进效率高

目前,一般在技术和地质条件相同的情况下,与钢粒钻进相比,小时效率高一倍左右,台月效率高50%以上。如果采用高强度钻杆和减振润滑剂,实现高转速钻进,则小时效率还有可能提高。如能采用绳索取芯钻进和井底换钻头技术,则将大大减少辅助时间,增加纯钻时间,台月效率也将随之上升。因此,金刚石钻进效率还有很大潜力可挖。

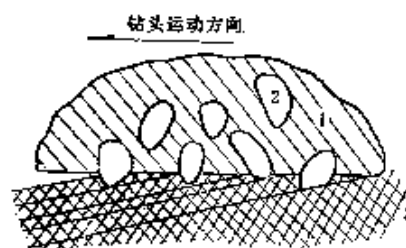


图 2-2-22 孕镶钻头的金刚石颗粒工作情况
1—胎体; 2—金刚石; 3—岩石

2. 钻孔质量好

(1) 岩矿芯采取率高,代表性好 在完整和较完整的地层中,金刚石单管钻进的岩矿芯采取率一般可达90~100% (而钢粒钻进仅有60~85%)。在破碎和裂隙发育的地层中,由于采用双管钻进,岩矿芯采取率通常也有90%左右。而且金刚石钻进所取的岩矿芯,一是完整度高,表面光滑清晰,结构可保持原状,有利于地质观察;二是矿芯品质好,因此,金刚石钻进所取的岩矿芯,更能反映岩矿层的真实情况,也更具有代表性。

(2) 钻孔弯曲度小 在金刚石钻进中,钻具与孔壁的间隙只有1~2mm,岩芯管不易偏离钻孔轴线方向。所以,钻孔弯曲度比较小,一般每100m只增加1°上下。而钢粒钻进时,钻孔弯曲度往往是每100m达3°左右。

3. 设备工具轻

金刚石钻进的全套设备比钢粒钻进轻一倍左右。例如,钻进600m钻孔的全套装备(包括设备、管材和厂房),大口径钢粒钻进时为16t,而小口径金刚石钻进时仅为8t上下。钻进1000m的全套设备,大口径为27t,而小口径只有13t。

装备轻便,更有利于高山地区和其它交通困难地区进行钻探施工。

4. 劳动强度低

由于金刚石钻进口径小,钻头在孔底回转扭矩小,升降钻具时,钻杆较易拧卸。

由于设备轻便,搬运运输量减少,安装和拆卸的劳动强度也减轻。

5. 孔内事故少

小口径金刚石钻进时,孔内事故较少。据某队统计,小口径的平均事故率为1.3~4.0%,而大口径则达10~12%。这是由于口径小,钻头刮取岩石所产生的岩粉少,而且又因冲洗液流速快,岩粉排除比较干净,因此,孔内清洁,不易发生卡埋事故。

由于钻杆与孔壁间隙小,一旦发生钻杆折断事故,也容易打捞。不致出现“插蜡烛”现象,造成难以处理的局面。

孔内事故减少,也是提高生产效率,减轻劳动强度的一个重要方面。

6. 钻探成本低

钻进机械效率和生产效率的提高、设备工具装备的减轻、孔内事故的减少都是降低钻探成本的主要因素。

(三) 金刚石钻进的应用范围

由于金刚石是矿物硬度最大的矿物,所以可以取代钢粒钻进应用于中硬以上地层。随着金刚石切削具形状的变化(出现片状、三角形等),使金刚石亦可应用于中硬以下软地层中钻进。

金刚石钻进在孔径和孔深方面几乎不受限制,最小孔径为28mm,最大孔深已达4000m。金刚石钻进可以打任意角度的钻孔。

不过,金刚石钻进虽然有很多优点,但也有不足之处。比如,遇到破碎、裂隙发育地层,较易产生金刚石崩裂,岩芯堵塞;另外,遇到石英砂岩等研磨性极强的地层,钻头寿命大大降低;又如,金刚石价格较贵,在一些无研磨性中硬以下较软地层中使用,其经济性就不如硬质合金,因此,目前金刚石钻进还不能完全取代其它钻进方法。

二、钻探用金刚石

(一) 金刚石的分类

金刚石按成因分为天然的和人造的两大类。

1. 天然金刚石

天然金刚石按品种和用途的不同分为9个等级,地质钻探、整形和建材工具用的金刚石,被列为第9级。一般它们为浑圆形和碎粒金刚石。

(1) 浑圆形金刚石 如“包尔兹”金刚石,一般为无色、黄色或灰色,透明或不透明,多呈不规则粒状或放射状结构,具有高的硬度,价格便宜,常用作表镶钻头。

(2) 碎粒金刚石 如“刚果”金刚石,颜色有白、灰、黄、绿等,细晶结构,硬度略低于“包尔兹”,是一种品级较低的金金刚石,大多数呈碎粒状,用作孕镶钻头。

2. 人造金刚石

人造金刚石又分单晶和聚晶两种(见图2-2-23a、b)

单晶为人工合成后的自然单个晶粒,有JR₁(特级)、JR₂(优级)、JR(标准级)等品级,多用于制作金刚石钻头。

聚晶是由许多十分细小的金刚石微粒,经过再次人工聚合成大颗粒的多晶金刚石,有



(a)



(b)

图 2-2-23

直径为 $\phi 2, \phi 2.5, \phi 3, \phi 4$ 长度为2.5~5.5不等的多种规格的聚晶体,可作表镶钻头和孕镶钻头保径之用。

此外,目前又出现多种超硬材料复合体,复合体常呈片状,又称复合片,见图2-2-24。它是由一层金刚石聚晶和一层碳化钨硬质合金组成,因此它有良好的耐磨性和抗冲击韧性。复合片可根据钻头结构的需要制成不同的直径,然后镶嵌在钻头体上。

(二) 金刚石的晶形

钻採用金刚石的晶体常见的是八面体,菱形十二面体较少,六面体更少。除了单晶平面晶体外,还有浑圆状复合晶体,如凸八面体、凸十二面体、凸六面体等,如图2-2-25所示。

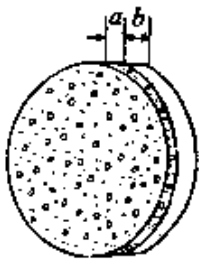


图 2-2-24 复合片形状
a—聚晶金刚石层; b—碳化钨
硬质合金层

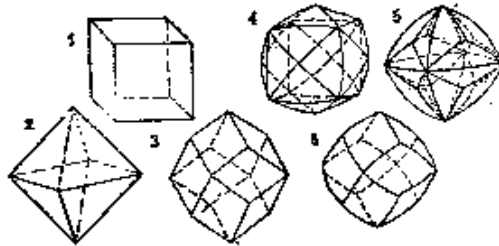


图 2-2-25 天然金刚石常见的标准晶体形态
1—立方体; 2—八面体; 3—十二面体; 4—凸
立方体; 5—凸八面体; 6—凸十二面体

制造人造金刚石的原料是石墨。金刚石和石墨的化学成分都是碳,只是两者的晶体结构不同,二者是同素异晶体。金刚石的晶格见图2-2-26;石墨的晶格如图2-2-27所示碳原子以片状排列成为平面六角形图。

人工制取金刚石,就是设法使石墨改变其晶体结构成为正四面体结构的金刚石。

石墨转化成金刚石,必须在高温高压下进行。在有触媒的情况下,压力一般在 5×10^4 大气压即 $49 \times 10^8 \text{ Pa}$ 以上,温度 1300°C 左右。

(三) 金刚石的物理性质

1. 硬度与耐磨性



图 2-2-26 金刚石晶格

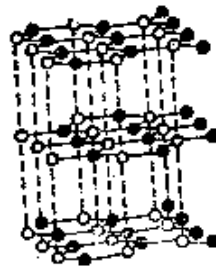


图 2-2-27 石墨晶格

自然界中，金刚石是最硬的物质。它的硬度是刚玉的150倍，是石英的1000倍；金刚石的耐磨性是刚玉的九倍，硬质合金的100倍，铜的900倍。

金刚石的硬度与其晶体形状有关，八面体最硬，十二面体次之，六面体硬度较小。此外，金刚石在同一晶体的不同方向上，硬度也有很大的差别，说明金刚石上的硬度是有方向性的。

2. 脆性

由于某些金刚石有不同程度的“节理”，这种金刚石受到一定的冲击力时，就会不同程度地碎裂成许多不规则的小块，这就是金刚石具有脆性的表现，也是金刚石的最大弱点。

3. 可燃性

金刚石是碳元素在高温、高压下的结晶体，所以它在一定温度下可以燃烧。金刚石在空气中加热到800℃时就开始氧化，当温度上升至1000℃时就烧成灰渣。在真空中，加热到2000℃以上时，金刚石会变成很软的石墨。

(四) 金刚石的粒度

金刚石的粒度有两种表示法，凡直径大于1mm的金刚石，通常以“粒/克拉”来表示，用于作表镶钻头；直径小于1mm的金刚石，通常以“目”来表示。“目”即网目数，为筛网每英寸长度内的网眼数，用于作孕镶钻头。

大于1mm颗粒金刚石又分为：粗粒：15~25粒/克拉；中粒：25~40粒/克拉；细粒：40~100粒/克拉。

小于1mm颗粒金刚石又分为：24、36、46、60、70、80、100目等档次。

三、金刚石钻头

(一) 金刚石钻头的组成部分

金刚石钻头是金刚石钻进破碎岩石的工具，它由三部分组成：即金刚石、胎体和钻头体，如图2-2-28所示。

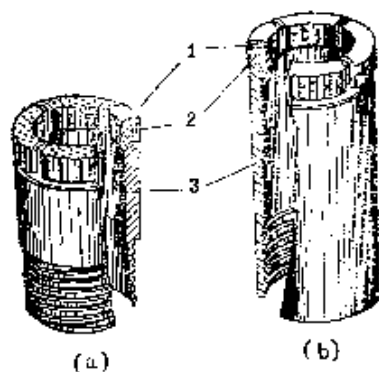


图 2-2-28 金刚石钻头组成部分
1—金刚石；2—胎体；3—钻头体

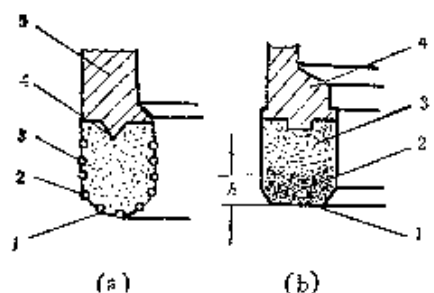


图 2-2-29 金刚石钻头刃部剖视图
a. 表镶钻头：1—底刃金刚石；2—边刃金刚石；3—刃刃金刚石；4—胎体；5—钻头体。
b. 孕镶钻头：1—金刚石；2—工作部分胎体；3—非工作部分胎体；4—钻头体；h—孕镶层高度

1. 金刚石部分

金刚石是钻头的刃部, 对于表镶钻头, 金刚石镶嵌在胎体的表层, 如图2-2-29a。按照镶嵌位置的不同, 分为底刃金刚石, 边刃金刚石和侧刃金刚石。

(1) 底刃金刚石 是钻取岩石的主力, 要选用晶形较好, 强度较大的金刚石, 而且应尽量让金刚石最硬的棱角或边缘作为底刃的突出部分。

(2) 边刃金刚石 其作用除钻取岩石外, 还要保持钻头内外径, 受力比较复杂, 所以亦要选用质量最好、颗粒较大的一些球形金刚石。

(3) 侧刃金刚石 其作用仅是保持钻头内外径, 一般选用晶形和质量较差的金刚石。

由于表镶钻头的金刚石只有一层, 因此当突出胎体的金刚石锋刃磨钝后, 其钻取效率大大降低, 甚至失去工作能力, 此时钻头就应回收。

孕镶钻头的金刚石是镶嵌在胎体之中的, 如图2-2-29b。钻头唇部分工作层与非工作层, 金刚石均布在胎体工作层中。内外侧为了保径采用大颗粒天然金刚石或人造金刚石聚晶补强。钻进时, 随胎体的磨损, 工作层中的金刚石就不断地出露和更新, 工作层高度磨损完了后, 钻头也就用完。

孕镶钻头只能回收内外侧保径金刚石。

2. 胎体

胎体 (胎环) 是钻头底部包镶金刚石的一圈合金, 其主要功用是牢固包镶金刚石颗粒和牢固地与钻头钢体焊接在一起。为了不使金刚石轻易掉粒或胎体本身崩裂和脱落, 对胎体性能有一定的要求。

目前钻头胎体只按硬度进行分级, 共分六级, 硬度范围从 HRC10至 HRC>45, 见表2-2-11。

钻头胎体硬度分级

表 2-2-11

级 别	代 号	胎体硬度HRC	级 别	代 号	胎体硬度HRC
特 软	0	10~20	中 硬	Ⅱ	35~40
软	I	20~30	硬	Ⅲ	40~45
中 软	Ⅰ	30~35	特 硬	Ⅳ	>45

胎体部分开有水口, 供流通冲洗液之用。

电镀钻头的电镀层也起胎体的作用, 故也可称作胎体。

3. 钻头体

钻头体是指钻头的钢体部分, 用中碳钢制成。单管钻头的钢体长为71mm, 上端车有外丝扣, 丝扣长度为30mm。双管钻头的钢体长为115mm, 上端车有内丝扣, 丝扣长为33mm。钻头的丝扣与扩孔器下端相应的丝扣连接。丝扣规格都是牙距为4mm、齿高为0.75mm的特殊梯形扣。为加强和胎体的粘接强度, 便于胎体压实, 并且传递更大的扭矩, 钢体下端加工成三棱牙嵌式 (图2-2-30) 或阶梯形、方形及螺纹形等 (图2-2-31)。

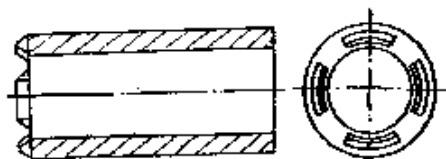


图 2-2-30 钻头钢体（三棱牙嵌式）

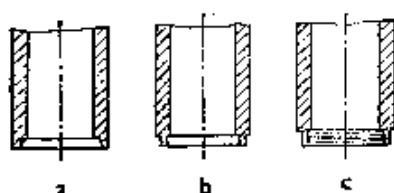


图 2-2-31 钻头钢体下端形式
a—阶梯形；b—方形；c—螺旋形

（二）金刚石钻头结构参数

在实际工作中，必须根据所钻岩层的性质，设计和选择合理的钻头结构，以便使钻头获得良好的经济技术指标。

金刚石钻头的结构参数包括金刚石质量（品级）、金刚石含量（浓度）、金刚石的粒度、金刚石排列、胎体性能、水道数目和形状、底唇形式等。钻头的设计工作也就是确定钻头的结构参数。

1. 金刚石质量（品级）

金刚石质量是影响钻头质量最关键的因素。质量好，钻头寿命就长，金刚石磨损量就小。用于表镶钻头的金刚石，特别是底刃和边刃，必须是一些质量较好的、符合钻探要求的金刚石，而且岩层愈硬，研磨性愈强，则金刚石质量应愈好。

为了合理使用金刚石，表镶钻头上可以采用新、旧金刚石搭配方法，即新金刚石作边刃，回收后较好的金刚石作底刃，回收后较差的作侧刃。一般新、旧金刚石搭配比例可在1:2至1:3左右。

孕镶钻头所用的金刚石比较细小，而且品级可以低一些，常用人造金刚石或等外级的天然金刚石。

2. 金刚石含量

金刚石含量决定于钻头直径和岩石性质。钻头直径大，克取岩石面积大，则所需的金刚石数量多，反之，则少些。同一直径的钻头，钻进强研磨性岩层时，由于工作条件困难，金刚石磨损快，为维持钻头在孔底较长时间工作，金刚石数量也要增加。

对于孕镶钻头，金刚石含量还与金刚石浓度有关。金刚石浓度是指胎体工作层单位体积中所含的金刚石量（体积浓度）。当金刚石占胎体体积的四分之一时，其体积浓度应为25%。据此而定的标准称“100%浓度制”。若按金刚石的（计算）比重3.52换算，当体积浓度为25%时，胎体中金刚石的含量为4.4克拉/cm³。但在国际砂轮制造业中，习惯采用“400%浓度制”，即把砂轮含金刚石的4.4克拉/cm³的浓度称为100%的浓度。因此，标称砂轮含金刚石的浓度为实际体积浓度的四倍。

确定胎体的金刚石浓度时，应考虑岩石性质和金刚石的质量、粒度。岩层愈是坚硬、致密、金刚石的浓度愈应降低。金刚石质量好、粒度细，浓度取低值；反之，取高值。

孕镶钻头的金刚石含量还与其胎体工作层高度有关，一般为3.5~4mm。岩层愈坚硬、研磨性愈高，为保持较高的工作寿命，工作层应加大，金刚石用量就增多。一般常用18.75~25%的浓度。（100%浓度制）

钻头金刚石用量可参考表2-2-12。孕镶钻头的金刚石用量一般比同径表镶钻头稍多。

3. 金刚石的粒度

金刚石的粒度主要根据岩性来选择。岩层愈硬，粒度愈小；岩层愈致密，金刚石粒度愈细小。根据岩层不同推荐的金刚石粒度见表2-2-13和表2-2-14。

钻头的金刚石用量（克拉）

表 2-2-12

钻头规格, mm	36	48	56	66	76
钻头种类					
表 镶 钻 头	7~8	8~10	10~15	12~20	13~22
孕 镶 钻 头	8~10	10~12	12~17	14~19	16~22

表镶钻头用金刚石粒度

表 2-2-13

等 级	粗 粒	中 粒	细 粒	特 细 粒
粒度, 粒/克拉	15~25	25~40	40~60	60~100
地 层	中 硬	中硬—硬	硬	硬—坚硬

孕镶钻头用金刚石粒度

表 2-2-14

粒度, 目	人 造	>46	46~60	60~80	80~100
	天 然	20~30	30~40	40~60	60~80
地 层		中硬至硬			硬至坚硬

4. 金刚石的分布与排列

表镶钻头金刚石的排列应当遵循以下几个原则：

（1）保证岩粉能排除，避免重复破碎及岩粉对金刚石的磨损。如粘塑性岩石，采用较疏的排列，使冲洗条件良好；硬而完整的岩石，采用较密的排列，以增加克取点数量；破碎、裂隙岩石，采用密的排列，使冲击载荷分配到更多的金刚石上。

（2）保证孔底截面全被破碎，不留空位。并且钻头底唇上的金刚石相互重叠一部分，起到相互保护作用。

（3）应有足够的充满度（密度），即胎体表面应有足够的金刚石。如排布过于稀疏，则钻头工作寿命短，胎体内外棱容易全部磨光；如排布过密，则在金刚石密集处，也即胎体薄弱处，由于应力集中会出现裂纹，严重影响钻头质量。

（4）应使每颗金刚石的克取工作量相等。钻头外侧，因圆周线长，刮取路程长，应排布较多的金刚石；而内圆则应较少。这样，才能使钻头内外径磨损趋于一致。

目前表镶钻头常用的金刚石排列形式有以下如图几种（图2-2-32）。

5. 胎体性能

胎体成分主要由骨架材料和粘结金属组成。骨架材料为高熔点材料，能形成胎体的硬

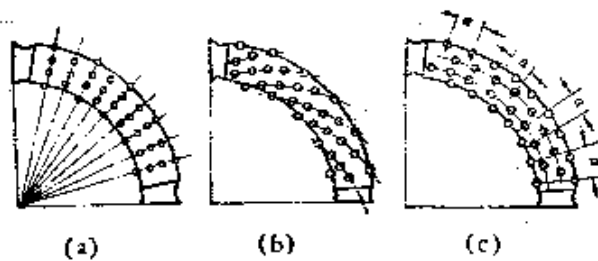


图 3-2-32 表镶钻头金刚石排列形式
(a)—放射状; (b)—螺旋状; (c)—等间距

质点,使胎体具有高的硬度和耐磨性,它的高温时保持固相(或少量溶入液相中),使金刚石不会松动。目前骨架材料一般多采用碳化钨(WC),因为它成型性能好,对金刚石侵蚀性小,对多种金属有较好的浸润性;在高温下不与金属化合,并能形成较高的硬度、耐磨性和强度的假合金。粘结金属一般为低熔点金属材料,其作用是在烧结过程中形成液态,充填在骨架之间,并能溶解少量骨架金属,将金刚石、骨架粘结在一起,形成机械混合的假合金,使胎体具有一定的强度和韧性。粘结金属一般是多种元素或合金,目前普遍采用铜基合金,以铜为基,加以钴、镍、锌、锰、银、锡等,因为单以铜为粘结金属与碳化钨不能形成致密的假合金。改变骨架材料和粘结金属的配方比例就能改变胎体的性能。

对于表镶钻头,胎体的作用主要是牢固包镶金刚石并可靠地与钢体焊接,所以胎体硬度一般不分很多等级,常用中硬和硬胎体(HRC35~45)。

对于孕镶钻头,胎体的作用除了牢固包镶金刚石和与钢体牢固焊接外,还要保证金刚石在钻进过程中有自锐作用,因此对孕镶钻头的胎体性能要求更为严格。孕镶钻头的胎体磨损和金刚石磨损状态基本上有下述三种(图2-2-33 a、b、c):

a. 胎体与金刚石相应地磨损,而且胎体的磨损略微超前于金刚石磨损,钻头能自锐,此时金刚石在旋转方向的背后有蝌蚪状的胎体支撑,用手摸有粗糙感,说明选用的钻头胎体性能与岩性适应;

b. 胎体磨损过快使金刚石过早脱落或破裂,这说明岩石的研磨性强而钻头胎体则不耐磨。虽然能获得一定高的钻速,但钻头寿命过短,使钻进成本显著提高;

c. 胎体磨损过慢,致使金刚石不出刃。这表明岩石对胎体的研磨性弱而所设计的胎体的耐磨性偏高,致使在钻进过程中,钻头出现“打滑”现象,即不进尺。

6. 水道

水道包括水口及水槽,其作用是保证能通过足够的冲洗液达到排粉和冷却金刚石。如果钻头上的水道不符合要求,轻则影响钻进效率,重则烧坏钻头。在钻进过程中发生堵水原因,往往是水口小、水槽浅。水口水槽的数目及尺寸取决于钻头类型、钻头直径、钻头

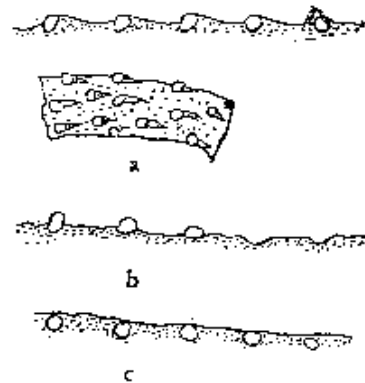


图2-2-33 胎体和金刚石相应的磨损状态
a—胎体硬度适当,出刃正常; b—胎体偏软,磨损太快,金刚石磨刃,掉粒; c—胎体太硬,磨损太慢,金刚石不出刃

转速、岩层性质、金刚石粒度、出刃大小、冲洗液种类等。

表镶钻头的水口水槽，不宜过大过多，因冲洗液主要通过底唇面进行排粉，即主水路直接通向金刚石；而通过水口的水路是辅助水路，它只起均分冲洗液和排除粒度较大的岩粉作用。如水口水槽过大，必然使水流大部分从水口处排出，影响主水路的水量。而孕镶钻头水口水槽应该比表镶的多，因为对于孕镶钻头，冲洗液不可能通过胎体唇面与岩石接触面之间的间隙进行排粉和冷却，而是主要靠钻头回转使唇面转动位置，由流经水口的水流冲刷岩粉。

7. 唇面形状

金刚石钻头唇面形状多样，常用的有矩形（又称平底形）和弧形，前者用于孕镶钻头，因加工方便，后者用于表镶钻头。还有锥形、阶梯形等。近几年来为了解决研磨性和“打滑”地层中钻进问题，创新了多种异形唇面，如锯齿形和高低形钻头，并取得了较好的效果。

四、金刚石钻进规程

在正确选择钻头类型的情况下，金刚石钻进效率的提高在很大程度上取决于合理选择钻进参数——钻头压力、转速和冲洗液量。而钻进参数又受许多可变因素的影响，如岩石的物理力学性质；钻头类型、规格和结构；钻孔深度；冲洗液类型；所用设备与钻具性能及参数间配合等。根据金刚石破碎岩石的机理和金刚石硬而耐磨的特性，金刚石钻进应采用以高转速为主的钻进规程。同时，考虑到金刚石性脆和不耐高温的弱点，配用适当的压力，尽量减少对金刚石的振动冲击作用；供给充足的冲洗液量，保证钻头及时排粉和有效的冷却。

（一）钻压

钻压一定要保证金刚石有效地破碎孔底岩石。机械钻速在一定限度内与钻头压力的增大成比例地增长。钻压值低于最佳值会造成金刚石磨光，不能保证有效的钻进。当钻压高于所钻岩石的压入硬度时，岩石就由表面破碎发展到体积破碎，钻速增长很快。但压力过高会使金刚石切入岩石深度过大，使钻头底部排粉间隙过小，恶化了孔底的净化和冷却条件，岩粉堵塞，钻速下降，钻头磨损严重，甚至烧钻。或使金刚石破碎，钻头失去工作能力，而引起钻速骤降和钻头磨损。因此可见钻压大小是有个最佳值。对于孕镶钻头来说，这个最佳值还应当保证钻头很好地自锐，维持恒定的钻速，保证钻头有高的寿命。总之，不管岩性、钻头类型、金刚石粒度、金刚石浓度和质量等因素如何改变，最佳钻压值虽然不同，但都要使钻速较高，而金刚石消耗量较少。

钻压的确定必须以钻头类型为依据，表镶钻头的钻压 F 与加在钻头端面单颗金刚石上的压力有关，可按下列公式计算：

$$F = f m E F_1 \quad (2-2-6)$$

式中 F ——钻头上总压力，N；

m ——钻头上金刚石总含量，克拉；

E ——金刚石粒度，粒/克拉；

F_1 ——每粒金刚石上的压力，N/粒；

f ——系数（考虑钻头上表镶的金刚石并非同时参与破碎岩石）。

式中 F 实指金刚石允许的承载能力, 而非其抗破碎能力。在钻进中, 钻压即要保证金刚石有效切入岩石, 又要保证不超过每颗金刚石的允许承载能力。换句话说, 作用于钻头上的钻压, 应使每粒工作的金刚石与岩石的接触应力既要大于岩石的抗压入强度 δ , 又要小于金刚石本身的抗压碎强度 δ_s , 即:

$$f m E A \delta < F < f m \delta_s E \quad (2-2-7)$$

式中 A ——单颗金刚石与岩石接触面积, m^2 。

孕镶钻头的钻压确定, 可根据下式计算:

$$P = p A \quad (2-2-8)$$

式中 P ——钻头总压力, N ;

p ——推荐的单位压力 (见表 2-2-15 所列);

A ——钻头端面与岩石接触面积, m^2 。

实际上影响钻压的因素较多, 在生产中钻压的确定必须依具体情况分别对待。

表 2-2-15

岩 层	单位压力, MPa
中硬—硬	5~7
表	7~9
硬—坚硬	9~10

(二) 转速

转速是影响金刚石钻进的主要因素。在多数硬岩中, 在一定的条件下, 机械钻速随金刚石转速的增大而增大, 而单位进尺金刚石耗量实际上并不增加。

孕镶钻头所用的金刚石颗粒细小, 一般为 40~100 目, 直径相当于 0.3~0.125mm, 因此出刃非常微小, 切入岩石深度就更小, 所以只有靠单位时间内尽量增加钻头转速, 实现多次破碎, 才能获得较快的进尺, 一般要求钻头的圆周线速达到 1.5~3.0m/s。

表镶钻头要求的转速低于孕镶钻头, 这是由于表镶钻头的金刚石出露于胎体较多, 转速高钻具振动加大时, 容易损伤出露的金刚石, 表镶钻头的圆周线速度一般在 1.0~2.0m/s。

(三) 冲洗液量

冲洗液的类型、泵量和泵压是金刚石钻进很重要的钻进规程参数。对泵量要求连续均匀, 能形成较高流速, 保证清洗孔底所钻出的岩粉, 防止出现糊钻及岩粉的重复破碎而影响金刚石有效地碎岩; 同时, 能有效地冷却钻头, 防止钻进中产生的高温降低金刚石的性能。当采用乳化液或泥浆作冲洗液时, 还能起到减振、润滑、护壁作用。

由于金刚石钻进口径小, 钻具与孔底及孔壁间隙小的特点, 冲洗液的流通阻力大。为了克服冲洗液流通阻力, 必须有较大的泵压和较高的流速, 适宜的泵量。

冲洗液量的大小由岩石性质、环状间隙、钻头类型、金刚石粒度、胎体性能等因素来决定。

冲洗液量不足时, 会使岩粉堆积于孔底, 降低机械钻速, 增大钻头金刚石和胎体的磨损, 减少钻头寿命。在冲洗液量不足和孔底岩屑堆积的条件下, 钻头逐渐变热并有产生烧钻的危险。冲洗液量太大, 其结果会使钻具的举离力增大, 抵消一部分钻压, 并增加钻具振动, 增大对胎体的冲蚀; 冲蚀岩芯, 造成岩芯堵塞, 对不稳定地层还会降低孔壁的稳定性。

在实际钻进中, 排除岩粉所需冲洗液量要大于冷却钻头所需冲洗液量。因此, 在确定冲洗量时主要考虑是否有效地排除岩粉。冲洗液排粉效率取决于液流返流速度。所以往往依返流速度来确定冲洗液量, 一般可按下式计算。

$$Q=6vS \quad (2-2-9)$$

式中 Q ——流量, L/min;

S ——钻孔与钻杆之间的环状面积, cm^2 ;

v ——推荐的返流速度, m/s; 一般不应小于0.4~0.6m/s。

冲洗液量亦常用经验公式求之。

对于均质弱裂碱性, 弱研磨性岩石, 亦可用下式计算,

$$Q_1=qD \quad (2-2-10)$$

式中 Q_1 ——冲洗液量, L/min;

D ——金刚石钻头外径, mm;

q ——供给钻头外径单位长度 (mm) 上的单位冲洗液量, L/min·mm。

对于研磨性、裂隙性岩石, 可用下式计算,

$$Q_2=\delta qD \quad (2-2-11)$$

式中 δ ——考虑岩石研磨性和裂隙性的系数, δ 在1.3~1.4范围内取值。

每毫米钻头直径上的单位冲洗液量见表2-2-16所示。

表 2-2-16

岩石可钻性级别	每毫米钻头直径上的单位冲洗液量, L/min·mm
II	0.8~1.2
III	0.8~1.0
X	0.7~0.8
II	0.6~0.8
II	0.6~0.8

(四) 各类地层推荐的金刚石钻进规程

1. 表镶钻头钻进规程 (见表2-2-17)

表镶钻头钻进参数推荐表

表 2-2-17

岩 层	规格	$\phi 36\text{mm}$	$\phi 46\text{mm}$	$\phi 59\text{mm}$	$\phi 75\text{mm}$	$\phi 81\text{mm}$
转 速, r/min						
软—中硬		730~1400	500~1000	500~600	350~600	400~500
中硬—硬		600~1000	500~750	400~600	300~500	350~450
硬—坚硬		450~800	350~600	250~500	200~400	250~350
压 力, N						
软		1500~3000	2500~4500	3000~5000	4500~7000	5000~8000
中 硬		2000~3500	3000~5000	4000~6000	6000~9000	7000~11000
硬		3000~5000	4000~6500	5000~8000	7000~11500	8000~12000
坚 硬		4000~8000	6000~8500	7000~10000	10000~14000	12000~16000

续表 2-2-17

岩 层 \ 规格	φ38mm	φ42mm	φ50mm	φ75mm	φ91mm
泵 量, L/min					
软—中硬	30~60	40~70	50~80	70~90	80~100
中硬—硬	20~30	30~50	40~60	60~80	70~90
硬—坚硬	10~30	20~40	30~50	50~70	60~80

2. 孕镶钻头钻进规程 (见表2-2-18)

孕镶钻头的钻进参数推荐表

表 2-2-18

岩 层 \ 规格	φ38mm	φ42mm	φ50mm	φ75mm	φ91mm
转 速, r/min					
中硬—硬	950~1550	750~1200	500~1000	450~750	500~800
硬—坚硬	800~1250	500~1000	400~800	300~600	400~500
压 力, N					
中硬—硬	2500~4000	4000~6000	5000~7000	7000~10000	8000~12000
硬	4000~5000	6000~7500	7000~9000	10000~12500	11000~14000
坚 硬	5000~6000	7500~9500	9000~10500	12500~14000	15000~15000
泵 量, L/min					
中硬—硬	20~40	30~50	40~60	60~80	70~90
硬—坚硬	10~30	20~40	30~50	50~70	60~80

第四节 冲击回转钻进

前几章所讨论的钻进方法都属于回转式钻进。回转钻进都是钻头上的切削具在钻压作用下切入岩石, 在回转力矩的作用下连续不断地破碎岩石, 使钻孔逐渐延伸。但是, 在硬—坚硬的岩石中钻进时, 所需钻压大, 切削具在大钻压下与岩石相互摩擦, 既易于磨损又易于破裂, 致使碎岩速度和效果明显下降, 钻头寿命短。

冲击回转钻进方法主要是在回转钻具的基础上增加一个冲击器, 以达到提高钻进效率的一种方法。专门用来产生冲击力的冲击器一般是联结在钻头或岩芯管上。钻进中, 钻头在受到一定的钻压和回转力矩的同时, 又受到冲击器以一定频率的冲击能量, 钻头在孔底则以冲击剪切和回转切削的共同作用下破碎岩石。

一、冲击回转钻进特性及其应用范围

(一) 冲击回转钻进并底碎岩过程

冲击回转钻进时, 钻头上的切削具同时受到三种力的作用, 即回转力、轴向静压力和

冲击力。在三个力的联合作用下，岩石以冲击剪切和回转切削方式破碎。在两次冲击之间造成孔底局部岩脊，利用回转的切削具则将这已经产生了裂纹的岩脊从孔底岩体上切削下来。所以，冲击回转钻进孔底碎岩过程具有回转钻进和冲击钻进的 特性（参见图2-2-34）。

但是，在不同性质的岩石中钻进，冲击碎岩和回转切削碎岩所起的作用是不同的。在硬的、脆性的岩石中钻进，岩石破碎主要是冲击力的结果，钻具的回转只是移动切削具位置，改变冲击点，在移动中将裂隙发育的岩脊切削掉，而轴向静载则是用来克服钻具在冲击时的反弹力，以改善钻具的工作性能。因而，在冲击频率和冲击功一定的情况下，钻头回转速度是十分重要的，在考虑其最佳转速时，主要因素是两次冲击间形成的扇形面岩脊（或冲击夹角），应在钻头回转切削作用下能有效地被切削掉。

对于中硬的、塑性较大的岩石，其破碎方式仍然是以回转切削为主，冲击作用是辅助性的。冲击作用是对岩石造成裂隙，为回转钻进切入岩石和切削岩石创造了十分有利的条件。因而，轴压是保证有效碎岩的主要参数，它关系到切入岩石深度和产生体积破碎的程度。轴压的最小值取决于岩石的硬度，切削具的大小和形状，而最大值则取决于切削具的强度。对于塑性大的岩石来说，冲击力碎岩作用不大，因为大部分冲击能量被岩石的塑性变形所吸收，不可能导致岩石大体积的破碎与分离，而回转切削碎岩作用处于主导地位。

从冲击与回转两种碎岩作用的分析可知，钻头切削具的磨损主要发生在回转过程中。在硬-坚硬岩层中，以冲击碎岩为主，冲击力在孔底造成裂隙，因而切削这些岩石不需要很大的轴压，且切削具同孔底岩石处于动的接触摩擦中，同时，冲击回转钻进所采用的回转速度很低（一般在30~80r/min之间）。所以，切削具的磨损较小。

（一）冲击回转钻进特点及其应用范围

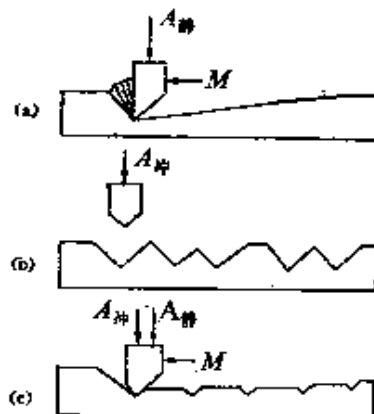


图 2-2-34 不同钻进方法的碎岩特征

2. 无阀冲击器

无阀冲击器未设置配气的阀，其控制活塞往复运动的配气系统是布置在活塞或气缸壁上的。当活塞运动时，自动进行配气。

无阀冲击器的特点是：能够利用压气的膨胀功，推动活塞继续运动，从而减少了动力气的消耗；该类冲击器零件少、结构简单、加工方便；与有阀冲击器相比，压气消耗量可节省30%左右。

无阀冲击器有C-100 B、C-200 B（现已停产，改型为C1R-150，C1R-170）及W-150型、W-200型。W-200型冲击器的结构图如1.6—19所示。前已指出，其工作原理与前述DHD-260型冲击器相似，其中喷嘴10起到节流和喷射的作用，其性能参数可参见表1.6—7所列。

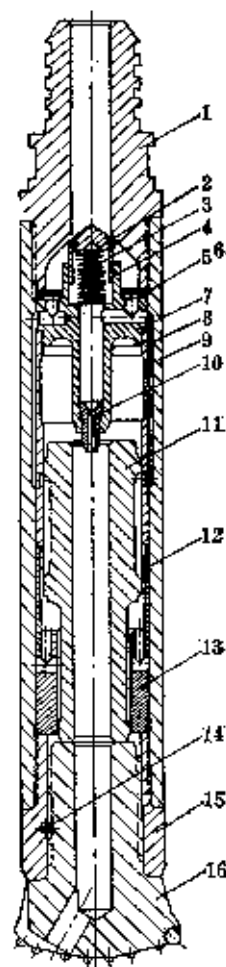


图 1.6—19 W-200 风动冲击器结构图

1—上接头；2—密封圈；3—弹簧；4—止逆塞；5—垫圈；6—密封垫圈；7—进气座；8—内缸；9—外缸；10—喷嘴；11—活塞；12—隔套；13—导向套；14—圆锥；15—下接头；16—钻头

第三章 钻孔冲洗

第一节 概述

一、钻孔冲洗介质的功用

钻孔中的冲洗介质又称钻探的“血液”。一旦钻孔中冲洗介质停止循环,或者选择不当时,就会发生烧钻,钻进时破碎的岩粉不能及时排出孔外,甚至不能进尺。同时还会发生孔壁坍塌夹埋钻具等一系列孔内事故。因此,正确选择和合理使用冲洗介质是提高钻探效率和降低钻探成本的必要手段。

钻孔冲洗介质的主要功用有:

1. 冷却钻头

钻头在破碎孔底岩石时,因摩擦而产生大量的热,如不及时冷却,会使切削具很快的磨损,降低破碎岩石的效率,甚至会发生烧钻事故。特别是在小口径金刚石钻进时,由于口径小,金刚石颗粒细出刃小,要想获得高的效率,必须采用高的转速。因此,只要冲洗介质停止循环,在数分钟内,就会发生严重的烧钻事故。

2. 清洗孔底

把破碎的岩粉及时的排出孔外,以防岩粉在孔底堆积产生重复破碎,增加钻头、钻具的磨损,影响钻头的寿命和钻进效率。故要求冲洗介质具有较大的输送及悬浮岩粉的能力。

3. 保护孔壁

在钻进中,由于破坏了岩层的平衡状态,如果岩层本身稳定性差,易发生变形甚至坍塌。因此,冲洗介质应具有一定的比重以平衡地层的压力。同时还要求冲洗介质具有造浆性能,能在孔壁上形成一层薄而致密的泥皮,以保护孔壁。

4. 润滑钻具

由于钻具在孔内回转速度大,阻力也大。故要求冲洗液在钻具上形成一层润滑层,减少功率的损耗、钻具的磨损,提高钻具的使用寿命。

除了以上的功用外,冲洗介质中加入表面活性物质,还起到软化岩石的作用。

近几年发展起来的喷射钻井中,利用钻头喷嘴处的水马力(喷嘴处的流速达 100m/s 以上),将钻头下面的软岩石和不稳固的岩石进行直接破碎或造成应力小裂隙有利于钻头切削具碎岩。另外,冲洗介质还可以作为孔底发动机的动力等功用。

二、冲洗介质的类型及适用的条件

目前钻探中常用的冲洗介质类型有:

1. 清水

清水粘度小，因此钻具回转和水泵工作阻力小，液柱压力对阻碍孔底岩石破碎的影响小，故钻进效率较比泥浆时高，清水中岩粉容易净化，对钻具和水泵的磨损小，此外清水洗孔成本低，操作方便，机场清洁。因此，在稳固的岩层和钻孔深度不大的漏失地区（当水源丰富时）应尽量采用清水冲孔。

2. 泥浆

泥浆是由优质粘土与水混合后（根据不同的地层需要加入一定数量的有机或无机化学处理剂以改善泥浆的性能）所形成的一种胶体悬浮液。在复杂地层钻进时多采用这类冲洗液冲洗钻孔。通过对泥浆性能的调整，能有效地对付涌水、井喷、部份漏失、钻孔缩径、坍塌掉块等许多复杂情况。

3. 乳化液

这类冲洗液的基本组成成分为油（机油或重柴油）和乳化剂（即表面活性剂和水）通过强力搅拌配成。它具有良好的润滑、冷却、排粉、减振等性能。它是近几年来为适应小口径金刚石钻进而发展起来的冲洗液。

4. 空气

采用压缩空气或高压天然气冲洗钻孔，国内、外在石油钻井中应用较多，近年来在岩芯钻探中也开始采用。

由于空气的比重小，流速快，有利于孔底清洁和提高钻速，特别是在干旱缺水地区具有很大的经济意义。

纯空气钻进只适用于干燥地层。在潮湿地层易泥包粘卡钻具。如果将高压空气通入一定比例的发泡溶液中形成空气泡沫，空气泡沫能适用于含水地层。

三、钻孔冲洗方式

为了将岩粉从孔底排出或者是某种取芯的需要，根据不同的地层条件，冲洗液在钻孔中可采用不同的循环方式。其循环方式有正循环和反循环，而反循环又包括全孔反循环和孔底局部反循环。

1. 正循环洗孔

正循环洗孔如图2-3-1所示。冲洗液由水泵输送至高压胶管到水接头，沿钻杆的中空而下，通过钻头的水口，冷却钻头，冲洗孔底，然后带上岩屑沿孔壁与钻具的环状间隙返回地表，流入地面的循环槽中。

返回地面的冲洗液在循环系统得到净化后可再压入钻孔重复使用。在多孔隙或裂隙的岩石中钻进时，冲洗液往往会部分或全部漏失，此时，需向水源箱中补充新的冲洗液。

2. 反循环洗孔

①全孔反循环 反循环冲洗钻孔如图2-3-2所示。冲洗液经水泵的压送，由钻具与孔壁的外环状间隙压入孔内，然后由钻头水口进入钻具和钻杆柱内孔中，将携带上的岩屑返回地表。其循环途径与正循环相反，此为全孔反循环。

采用全孔反循环时，由于钻杆内孔断面尺寸小，冲洗液上升速度大，因而能将较大的岩屑（岩芯）冲出孔口，由于冲洗液及时地将岩芯冲出，减轻了冲洗液对岩芯的冲刷和岩芯块互相碰磨的影响，因而可以提高松软地层的取芯率。

但是，这种全孔反循环洗孔时，孔口必须用一个特殊的压盖加以密封，才能使冲洗液

压入孔内，同时压盖还要允许钻杆柱自由转动和上下移动。

压盖因钻杆回转和上下移动造成磨损而使密封失效时，钻杆孔内冲洗液循环便停止，因而常发生岩粉沉淀堵塞或卡住岩芯。此时需提钻处理，因而影响钻进。所以全孔反循环冲洗钻孔，只有在某些特殊要求时才采用之。

②孔底反循环 孔底反循环又称局部反循环。它是正、反循环结合的一种循环方式。它是在正循环钻具的上部与钻杆之间加了一个喷射式反循环接头。接头以下为反循环，接头以上仍为正循环状态。如图2-3-3所示（其原理见取芯一节阐述）。

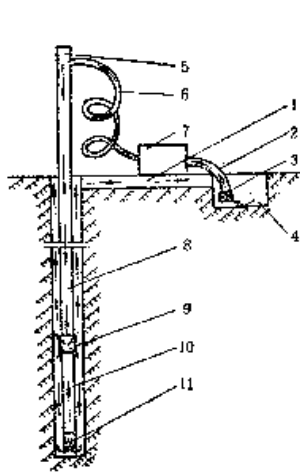


图 2-3-1 全孔正循环冲洗
钻孔示意图

1—循环槽；2—吸水管；3—
塞蓬头；4—水源箱；5—水接
头；6—高压胶管；7—水泵；
8—钻杆；9—钻头

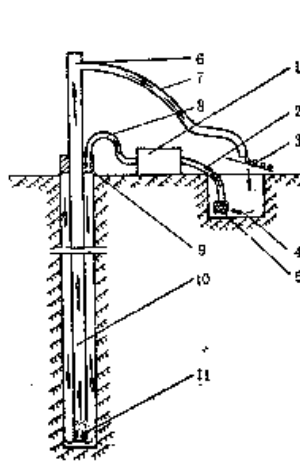


图 2-3-2 全孔反循环冲洗
钻孔示意图

1—水泵；2—吸水管；3—
岩屑；4—水源箱；5—塞蓬头；
6—水接头；7—回水管；8—
高压胶管；9—孔口密封器；
10—钻杆；11—钻头

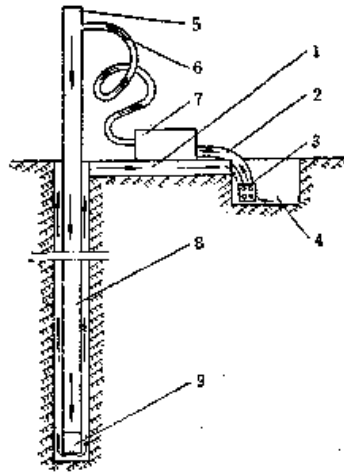


图 2-3-3 孔底喷射式
反循环示意图

1—循环槽；2—吸水管；
3—塞蓬头；4—水源
箱；5—水接头；6—高
压胶管；7—水泵；8—
钻杆；9—喷射反接头；10
—岩芯管；11—钻头

这种循环系统常用于难以取芯的松散地层和硬、脆、碎地层，作为提高岩矿芯采取的技术措施之一。

第二节 钻探泥浆

一、概 述

(一) 泥浆的组成

泥浆是粘土在水中均匀混合后，所形成的一种胶体悬浮液。其中粒土是分散相，水是分散介质。

把粘土放在水中，粘土中放出的离子与水中放出的离子进行交换，使粘土颗粒带电。由于电的作用使粘土颗粒吸附水。粘土颗粒因吸水而形成一层水化膜。这种作用叫水化作

用。由于造浆粘土片状颗粒的边角部分水化膜较薄，成为粘结的活动中心，使粘土颗粒连结在一起，形成连续的网状结构，如图2-3-4所示。自由水被包围在网状结构内。泥浆内部网状结构的形成，因而使泥浆产生了粘度、切力、比重和阻止泥浆向孔壁失水等一系列性能。而且这些性能可通过处理剂进行调整，以达到在各地层中钻进时对泥浆性能的要求。

在钻进时由于地下水和岩粉颗粒的侵入，会使泥浆性能发生变化。因而需要在泥浆中加入一些有机或无机处理剂来进行调整和处理，以保持各地层对泥浆性能的需要。

(二) 泥浆的类型

目前钻探中使用的泥浆类型有：

1. 水基泥浆

水基泥浆是钻探中使用最久，应用广泛的一种泥浆。其主要组成是粘土、水和化学处理剂。其中粘土为分散相，水为分散介质。

属于这种类型的泥浆有：

(1) 淡水泥浆 这种泥浆使用的最早，又称为细分散泥浆。它是用粘土、淡水和一般处理剂组成。其含盐量(NaCl) $<1\%$ ，含钙量(Ca^{2+}) $<1200\text{ppm}$ 。

这种泥浆的特点是固相(粘土)含量高且高度分散于水中。通过高含量粘土的分散程度来调整泥浆的各种性能，以满足地层的要求。

(2) 盐水泥浆 用氯化钠(NaCl)含量 $>1\%$ 的盐水和粘土配制的泥浆称为盐水泥浆，其含盐量多少视地层而定。如在盐层中钻进时，需用含盐量达到饱和状态的饱和盐水泥浆。使用中还要在泥浆中加入某些有机处理剂，以达到泥浆的某些性能要求。

(3) 钙处理泥浆 这种泥浆是在淡水泥浆中加入絮凝剂(如石灰、石膏、氯化钙)配制而成的。并用稀释剂和降失水剂来调整其性能。根据絮凝剂的种类又分为石灰泥浆、石膏泥浆和氯化钙泥浆。

2. 低固相泥浆

凡粘土含量(重量计) $<10\%$ (如以体积计，小于 $3\sim6\%$)的泥浆，称为低固相泥浆。这种泥浆又有水基低固相泥浆和油基低固相泥浆之分。它是本世纪70年代为适应小口径金刚石钻进而研制成的新型泥浆。

这种泥浆比重小，流动性好，护壁性能好，并有利于提高机械钻速。常用于松散坍塌地层、溶胀性地层和水敏性地层。

3. 混油泥浆

在上述各种泥浆中，按照各种需要加入若干数量的柴油或原油，形成水包油型(即O/W型)混油乳化泥浆。这种泥浆的流动性、润滑性好，摩擦系数低，特别适用于小口径金刚石钻进。

4. 油基泥浆

(1) 油包水乳化泥浆 它是以粘土及水等物质为分散相，柴油(或原油)为分散介质，再加入乳化剂等处理剂，配制成W/O型乳化泥浆。这种泥浆常用于石油钻井中易坍塌

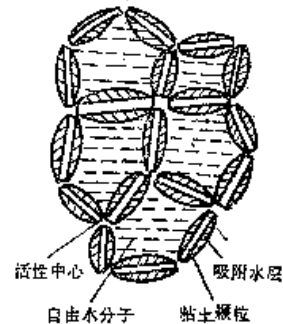


图 2-3-4 泥浆内部网状结构

的地层和低压油层。

(2)油基泥浆 这种泥浆由壤土(或沥青)、柴油(或原油)及处理剂配制而成。它抗侵污能力强,对油层损害小,多用于油层钻进。

5. 充气泥浆

这种泥浆是在原泥浆的基础上,加入一定数量的发泡剂并对泥浆充气。充气后泥浆内含有细小的泡沫,使泥浆的比重降低到0.6~0.95。由于泥浆的比重低,在漏失地层钻进具有良好的效果。

(一) 失水量及造壁能

失水量和造壁能是泥浆最重要的性能之一。在钻进时,若泥浆柱与地层间有压力差存在时,泥浆中的自由水逐渐脱离泥浆向孔壁岩层的孔隙中渗入,这个过程叫作泥浆的失水。表示泥浆失水多少的性能称为失水量。在泥浆失水的同时,泥浆中的一些较大的粘土颗粒附着在孔壁岩石上,形成一层泥皮(见图2-3-7),泥浆的这种能力称为泥浆的造壁能。形成的泥皮能阻止泥浆继续失水,同时又能保护孔壁不坍塌掉块,实现顺利钻进。

泥浆失水量的大小,主要取决于粘土的分散度和粘土颗粒的水化能力。

若粘土分散性好,泥浆中胶体颗粒就多,且水化作用好,就使泥浆中吸附水多而自由水少,同时胶体颗粒又能堵住孔隙通道,在孔壁上形成一层薄而致密坚硬的泥皮因而泥浆失水量就小,如图2-3-7a所示。

若粘土分散不好时,则胶体颗粒少。附着在孔壁岩石上的是一层厚而疏松的泥皮。泥浆中的水分子还可以不断地向岩石的孔隙中渗透,如图2-3-7b所示。故泥浆失水量就大。

此外,泥浆失水量的大小还与泥浆柱与地层的压力差和岩石的孔隙度有关。压力差越大,岩石孔隙越多,泥浆的失水量也就越大。

目前,我国测量泥浆失水量用的ZNS型失水测定仪见图2-3-8。泥浆的失水量是在 $6.867 \times 10^5 \text{ Pa}$ 压力作用下,30min内通过截面积为 45.3 cm^2 的过滤面积的渗透液量,通常以ml表示。

泥浆的失水过大,形成的泥皮厚而疏松,会给钻进工作带来不良的影响。

在水敏性地层中,如泥岩、页岩、粘土因吸水膨胀而造成钻孔缩径,使起下钻困难,同时还会造成卡埋钻具;由于泥皮过厚,会产生泥包钻头,使钻头冷却不良,寿命降低,因泥皮过厚,使钻孔外环空间减少,起下钻时激动压力增加,导致孔壁坍塌和漏失。

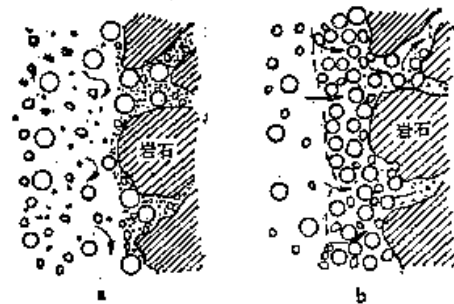


图 2-3-7 泥皮形成示意图

a—泥饼薄而韧,失水小; b—泥饼厚而松,失水大

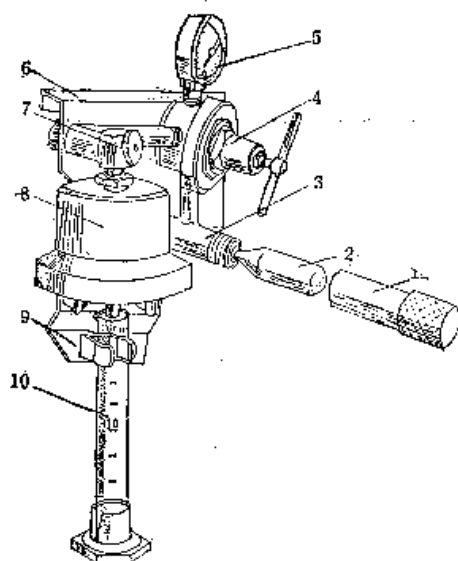


图 2-3-8 ZNS型泥浆失水量测定仪
1—盖；2—气瓶；3—气源接头；4—减压阀；
5—压力表；6—安装板；7—放空阀；8—泥
浆杯；9—挂架；10—量杯

上述岩层对泥浆失水量的要求较高，一般应小于 $10\text{ml}/30\text{min}$ 。但在一般岩层中，泥浆失水量不超过 $30\text{ml}/30\text{min}$ 即可。

在钻探工作中，降低泥浆的失水量，主要是提高泥浆胶体颗粒的浓度和粘土颗粒的水化程度。

提高泥浆胶体颗粒的浓度的方法有二：一是增加泥浆中粘土的含量；二是采用造浆好的粘土提高其分散度，以改善粘土颗粒间的自由水分程度。

提高粘土颗粒的水化程度的方法有：一是加入适量的 Na_2CO_3 或 NaOH 处理剂来改善粘土颗粒的表面性质；二是加入有机及高分子处理剂来降低泥浆的失水量。常用的处理剂有煤碱剂、硝基腐植酸及 Na-CMC 野生植物胶等。

(二) 触变性和静切力

泥浆静止时，粘土颗粒两端水化膜薄处粘结（如图2-3-4），而形成结构，稠化成胶状物质。当再进行搅拌或振荡时，又恢复其原有的流动性，这种性质称为泥浆的触变性。

要使静止状态的泥浆开始运动，破坏单位面积网状结构所需的力，称为静切力。其单位为 Pa 。

一般规定，静止 1min [美国石油学会的标准为 10s (秒)] 后测得的静切力，称为初切力。静止 10min 后测得的切力，称为终切力。

泥浆触变性能的好坏，以终切力和初切力的差来表示。差值越大表示触变性能越好。

泥浆的触变性，对钻探有很大影响。静切力大的泥浆当停钻时，能形成一定的网状结构，有利于岩粉的悬浮，不会因岩粉的沉淀而引起埋钻事故。同时，在裂隙地层钻进时，使用静切力大的泥浆可防止漏失。但是，静切力大的泥浆，钻具回转和水泵启动困难，泥浆中的岩粉也不易净化。因此，一般要求泥浆的静切力在 $0.98 \sim 3.92\text{Pa}$ (即 $10 \sim 40\text{mg}/\text{cm}^2$)。

泥浆静切力的测量，一般采用旋转粘度计。其工作原理是利用外圆筒（或内圆筒）的高速回转造成的速度梯度，使内外筒之间的泥浆受到剪切力，并以和内筒（或外筒）相连接的扭力弹簧（或钢丝）扭转角的大小来反映回转时的摩擦阻力的大小。

我国目前常使用 ZNN-D_6 型六速旋转粘度计，其外貌如图2-3-9所示。它由电机、变速机构、测量部分、读数窗、外筒、支架、底座等组成。粘度计的转筒有六个速度：3, 6, 100, 200, 300, $600\text{r}/\text{min}$ 。

测量时，使粘度计的转筒以某个速度旋转，读取最大值，分别按一些简单式换算，即能得到切力、粘度等若干性能参数。

对于塑性流体，

$$\tau_{10} = 0.5 \times \phi 3 \text{ 读数 (1min), Pa;}$$

$$\tau_{30} = 0.5 \times \phi 3 \text{ 读数 (10min), Pa。}$$

式中 τ_{10}, τ_{30} —— 泥浆的初切力和终切力;

$\phi 3$ 读数 —— 粘度计在 3r/min 时的读数。

(三) 粘度

粘度是泥浆流动难易程度的指标。它反映泥浆流动时, 其内部摩擦阻力的大小。摩擦阻力包括液体之间、粘土颗粒之间以及粘土颗粒与液体之间的摩擦阻力, 并且也有泥浆结构的影响。一般静切力大的泥浆, 其粘度也高。

在正常钻进时, 如泥浆的粘度过大, 会造成泵压过高、净化岩粉困难、泥包钻头、影响钻速和起下钻抽吸作用大等问题。

因此, 在正常情况下, 要求泥浆漏斗粘度在 18 秒左右。在漏失及破碎地层钻进时, 要采用高粘度的泥浆。

泥浆粘度的测量, 在钻探施工中常采用野外漏斗式标准粘度计 (如图 2-3-10 所示)。该仪器携带方便, 易掌握。测量时用量杯分别取 200ml 和 500ml 泥浆, 通过筛网注入漏斗, 然后使泥浆从漏斗流出, 流满 500ml 量杯所需的时间 (秒) 即为所测泥浆的粘度 (视粘度)。

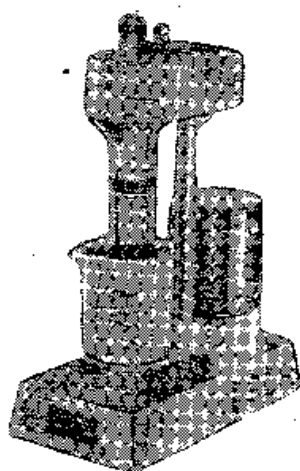


图 2-3-9 ZNN-D₆型粘度计

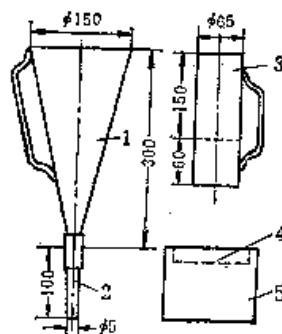


图 2-3-10 野外漏斗式泥浆粘度计
1—漏斗; 2—管子; 3—量杯; 4—筛网; 5—泥浆杯

同样, 也可以利用 ZNN-D₆ 型粘度计进行粘度测量。此时, 对于塑性流体:

$$\eta_{\text{视}} = \frac{1}{2} \phi 600 \text{ cP (厘泊);}$$

$$\eta_{\text{塑}} = \phi 600 - \phi 300 \text{ cP。}$$

式中 $\eta_{\text{视}}$ —— 泥浆的视粘度;

$\eta_{\text{塑}}$ —— 泥浆的塑性粘度;

$\phi 600$ —— 粘度计 600r/min 时的读数;

φ300——粘度计300r/min时的读数。

在钻进过程中，应根据所钻地层的要求，来调整泥浆的粘度和切力。

1. 降低泥浆的粘度和切力

降低泥浆粘度和切力的办法是：一是加入清水稀释泥浆，降低泥浆中粘土颗粒的浓度，以达到降低粘度和切力的目的。但是，加入清水会使泥浆的失水量增加。二是加入低固相的稀泥浆，可以降低泥浆中粘土颗粒的浓度。三是泥浆粘度和切力的提高与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子侵入有关，在泥浆中加入适量的 Na_2CO_3 等电解质可使钙镁等离子沉淀，达到降粘的目的。另外，还可以在泥浆中加入有机降粘剂，如煤碱剂、单宁碱和铁铬盐等。

2. 提高泥浆粘度和切力

提高泥浆粘度和切力的办法：一是在泥浆中增加粘土的含量，使粘土颗粒浓度增加。二是在泥浆中加CMC或野生植物胶等提高泥浆粘度。三是在失水量不大的情况下可加入适量的石灰乳、水泥浆和食盐等提高泥浆的粘度和切力。

(四) 比重

泥浆的比重是指泥浆与同体积水的重量之比。泥浆比重的大小主要取决于泥浆中固相（粘土、加重剂及岩粉等）的含量和固相的比重。固相含量高和固相比重大，则泥浆的比重也大。

泥浆的比重决定着对岩层的压力。因此，在钻进时，应根据地层的稳定程度来选择泥浆的比重。如地层压力大，特别是石油钻井中发生井喷之前应在泥浆中加入加重剂（重晶石粉等），用来加大泥浆的比重以平衡井内地层内的压力。相反，在漏失地层钻进时，应加入发泡剂或减少固相的含量，用来降低泥浆的比重以减少漏失。

近年来的研究发现，泥浆的比重对钻速影响甚大，随着比重的增加，钻速下降。所以，采用泥浆钻进的钻速比清水低，而用清水的钻速又低于用空气的钻速。

其次，人们发现两种同样比重的泥浆，一种用重晶石加重，一种为普通泥浆，前者的钻速就比后者高。这主要是由于固相含量的影响，从而使钻速降低。

因此，在保证孔内正常钻进的前提下，泥浆的比重，固相含量应尽量低。尽量采用不分散低固相泥浆钻进。

泥浆比重的测量，目前，用得最多的是泥浆比重秤。其结构如图2-3-11所示。

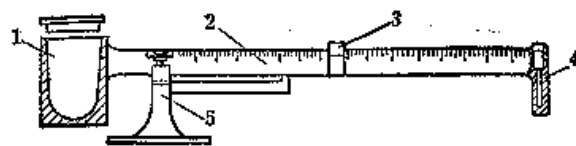


图 2-3-11 泥浆比重秤

1—泥浆杯；2—杠杆；3—游码；4—重物；5—支架

测量泥浆比重时，将泥浆装满泥浆杯中，加盖后使多余的泥浆溢出。擦干泥浆杯表面后，移动游码，使杠杆处于水平状态。读出游码左侧的刻度，即为泥浆的比重值。

(五) 含砂量

泥浆含砂量是指泥浆中不能通过200号筛孔，即直径大于0.074mm的砂粒所占泥浆总

体积的百分含量。

泥浆的含砂量高，不仅增大泥浆的比重，影响钻速。而且也磨损钻具、钻头和水泵等设备。同时在循环中止时还会因砂子的沉淀，发生埋钻事故。故要求含砂量越低越好。一般不应超过4%。

测定含砂量常采用图2-3-12所示的含砂量测定器。测量时取50ml泥浆和450ml清水，在测定器内混合、掏匀，然后静止1min。读出砂子在量杯细管内沉淀的刻度数，再乘以2，即为泥浆含砂量的百分数。

(六) 胶体率

泥浆在静止24h时间内分离出水的体积的百分数，即为泥浆的胶体率。

泥浆的胶体率可作为初步评定泥浆质量好坏的简易方法。高质量的泥浆，因粘土颗粒分散和水化好，在静止时不分离出水。而粘土颗粒分散和水化程度不高的劣质泥浆，往往能分离出许多水。

胶体率的测定，是在量筒内注入100ml泥浆加盖，静止24h，观察量筒上部澄清液的体积，如澄清液为4ml，则胶体率为96%。泥浆胶体率一般不应低于96%。

(七) pH值

泥浆的pH值（酸碱度）对泥浆性能有重大影响，也是泥浆进行化学处理的重要依据。

一般情况下，泥浆pH值应控制在8~10之间，而钙处理泥浆pH=11左右。

泥浆pH值的测量方法简单，一般采用pH试纸进行比色测量。



图 2-3-12 含砂量测定器

第四章 钻探质量

钻探质量包括：岩矿芯的采取、钻孔弯曲、简易水文测量、孔深校正、原始报表和封孔等六项内容。这六项中尤以岩矿芯的采取和钻孔弯曲更为重要。

第一节 岩矿芯的采取

一、取芯的目的和要求

(一) 取芯的目的

在地质勘探中，从地下取出岩芯、矿芯以满足地质方面的要求，是进行岩芯钻探的主要目的之一。因为岩、矿芯是计算矿产储量和进行地质研究的依据。通过对它的观察、鉴定和化验，可以了解矿体的厚度、埋藏深度、产状、分布规律、矿物的组成、矿石的品位、化学成分、矿物与岩石的结构构造以及水文地质特性等。显然，岩矿芯采取的数量与品质直接影响着判断地质构造，评价矿产资源，提交矿产储量和矿山开采设计的准确性与可靠性。因此，在钻探工作中，不仅要求钻探效率，而且也必须重视采芯质量，力求取出的岩矿芯能最大限度地保持其原生结构和含矿的品级。

(二) 对岩矿芯质量的要求

1. 岩(矿)芯的采取率

岩(矿)芯的采取率是指在回次钻进过程中，实际取出的岩(矿)芯长度与实际钻进进尺之比值。即：

$$\text{岩(矿)芯采取率} = \frac{\text{回次取芯长度(m)}}{\text{回次进尺长度(m)}} \times 100\%$$

很明显，采取率反映出取上岩(矿)芯的数量，它越高越好。

根据普查、勘探程度的不同，及钻进矿层岩层条件的不同，按要求各自有一定的岩矿芯采取率，才能满足地质方面的要求。

对于岩矿芯采取率的一般要求是：岩芯不低于65%，矿芯不低于75%，如果不足应进行补取。

2. 完整性

所谓完整性即取出的岩芯、矿芯要保持其天然的结构和构造。如岩石的胶结状态、孔隙度、层理、片理、原始接触界面、矿物的颗粒形状、大小等。以便划分矿石类型，观察其原生结构和共生关系。所以要求在钻进时取上的岩芯，在退芯过程中尽量避免人为的破碎、颠倒和扰动。

3. 纯洁性

要求取上的岩矿芯不受外污的浸蚀，以免影响矿石的品位、品级和物理性能。如煤芯混入粘土，灰分增加；滑石混入泥浆，二氧化硅提高等。

4. 避免选择性磨损

岩矿芯的选择性磨损, 会使其内在物质成分发生变化, 造成矿物人为的贫化和富集。从而歪曲原来的品位和品级, 丧失其代表性。为了避免选择性磨损, 在矿层钻进时, 一般都采用结构性能好的钻具, 限制钻进时间和控制进尺长度等方法和技术措施。

二、影响岩矿芯采取的因素

达不到岩矿芯采取率和品质的因素很多, 归纳起来, 不外乎地质方面和工艺技术方面的原因。因此, 为了提高岩矿芯的采取, 必须根据地质条件, 工艺技术的特点, 找出一定的规律和相应的措施。

(一) 地质因素

影响岩矿芯采取的地质因素主要有岩石的强度、硬度、完整度、胶结性、研磨性和易溶度等。钻进坚硬、致密、完整的岩矿时, 岩矿芯不怕冲刷, 不怕钻具振动。取出的岩矿芯完整能保持其原生结构, 而且采芯率也高; 钻进松散、破碎、节理发育的岩矿时, 取出的岩矿芯多呈粒状、块状和粉状。不仅原生结构遭到破坏, 而且岩矿芯的采取率也低, 甚至取不上岩矿芯; 钻进研磨性强的地层时, 切削具易磨钝, 钻进效率低, 回次时间长, 岩矿芯受外力作用时间也长, 因而增加了岩矿芯振动破坏的可能性, 也影响到岩矿芯采取的品级和采取率。

(二) 工艺技术因素

工艺技术因素主要是未能根据不同的地层条件合理地选择钻进方法、钻进规程参数、取芯钻具及冲洗液类型, 因而影响到岩矿芯的采取品级和采取率。

(三) 岩矿芯取芯难易程度对岩矿层的分类

从取芯难易程度对岩矿层进行分类的目的, 是试图根据岩矿层不同的物理力学性质。不同的岩矿层组成及组织结构等特性, 研究相应的基本符合实际情况的取芯方法和工具, 从而力求使取芯数量和质量上能满足地质要求。

根据我国目前钻探工作所遇到的岩矿层, 可大致分为五类。分类提出了较为合理的取芯方法和工具, 如表2-4-1所示。

在第一类岩矿层中钻进, 采用一般的单管硬质合金、钢粒、金刚石钻进, 用卡料或卡簧取芯都能达到圆满的效果。因此, 保证岩矿层采取质量问题是要在二、三、四、五类岩矿层中, 针对各类难取特性, 采用适宜的专门取芯工具和方法, 以达到对取芯质量的要求。

按取芯难易程度对岩矿层分类

表 2-4-1

岩 矿 层 类 别			可钻性 等级	岩矿层主要物理力学性质	适用取芯方法和取芯钻具
一 类	完整、致密、少裂隙、不怕冲刷的岩矿层	如板岩、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, 取芯容易, 采取率高。	普通单管合金钻进和钢粒钻进, 卡料取芯, 金刚石双管钻进, 卡簧取芯。
(第一亚类)	节理、片理、裂隙发育的破碎的岩矿层	如中硬、硬、脆岩矿层如砂卡岩、辉绿岩、千枚岩、轻硅化灰岩、汞矿、黄铁矿、硼矿、石墨、滑石等)	4~7	粘性低或无粘性, 抗磨性低, 回转振动易破碎, 或碎裂、怕冲刷易磨损流失和污染。	无泵钻进, 双动双层岩芯管、隔水单动、活塞式单动、爪囊式单动双层岩芯管, 或喷射式孔底反循环钻具。

续表

岩 矿 层 类 别			可钻性 等级	岩矿层主要物理力学性质	适用取芯方法和取芯钻具
(第二亚类)		硬、碎、脆岩矿层, 如石英二长斑岩、粗面岩、变质安山岩、花岗斑岩、强硅代灰岩、钼矿、铅锌矿等	7~9 10~11 (部分)	无粘性, 易受钻具振动和冲洗液冲刷而破碎成块状, 易磨损、流失, 不易取出完整岩矿芯	钢粒钻进喷射式反循环钻具, 金刚石双管钻具, 无泵双动双管钻具。
	三类	软硬不均、变化频繁极不稳定岩矿层	可钻性相差悬殊	固岩与矿体和岩层间可钻性悬殊, 易破碎和磨损, 粘性强, 怕冲刷, 煤层怕烧灼变质, 不易钻进和取芯。	爪瓣式单动双管隔水式单动双管等。
四类	软、松散破碎的岩矿层	如表土、粘土层、煤层、软粘土、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, 双层双动岩芯管, 阿氏双管, 喷射式孔底反循环等。
五类	易被冲洗液溶蚀、溶化的岩矿层	如岩块、钾块、石膏、芒硝、冻土层等	2~5	易溶解、溶蚀, 怕冲刷。	采用不同介质的饱和冲洗液, 进行无泵钻进。

表2-4-1 中列有上述4类岩矿层中所应采用的专门取芯方法, 兹将有代表性的方法在下节予以简介。

三、提高岩矿芯采取质量的钻进方法及工具

(一) 双层岩芯管取芯钻进方法

具有内外两层岩芯管的钻具称为双层岩芯管钻具。

双层岩芯管钻具是目前提高岩矿芯采取率和采取品质的重要工具, 在复杂地层和金刚石钻进中应用较为普遍。

双层岩芯管钻具种类较多, 但基本上可分为双动双管钻具和单动双管钻具两类。

1. 双动双管钻具

双动双管钻具是在钻进过程中, 内岩芯管和外岩芯管都同时转动的钻具。一般用于钻进松散、易坍塌和怕冲刷的岩矿层。钻进时冲洗液由内外管之间的环状间隙进入, 然后由外管与孔壁之间的环状间隙返出, 因而避免了冲洗液对岩矿芯的直接冲刷, 同时球阀3隔离了钻杆内冲洗液液柱的压力, 对岩矿互相挤压和磨损的影响。因此, 能够保证足够的岩矿芯采取率。钻具结构如图2-4-1所示。

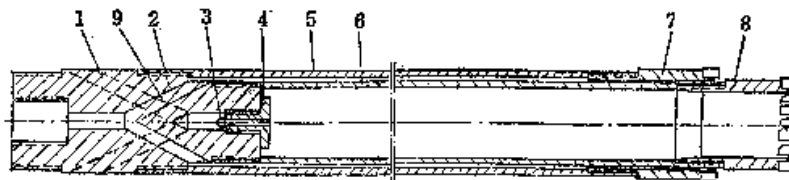


图 2-4-1 双层双动岩芯管钻具

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, 9—送水孔

双动双管一般都带有两个钻头，内钻头和外钻头。为了保护岩矿芯不被冲洗液冲刷，内钻头大都采用超前式。根据钻进的岩矿种不同，内钻头的超前距离也不一样，一般为30~50mm。岩层越松散、胶结性越差，超前距离就越大。

2. 单动双管钻具

在钻进过程中，外管转动而内管不转动的双管钻具称为单动双管钻具。

采用单动双管钻具可避免因钻具转动而产生的振动所造成岩矿芯的机械破碎。因而取芯质量较高。在金刚石钻进和硬合金在矿层钻进时较为普遍采用。

图2-4-2所示的是金刚石钻进一般地层时常用的单动双管。它主要由异径接头、单动装置、回流阀、外、内管和卡芯装置等组成。

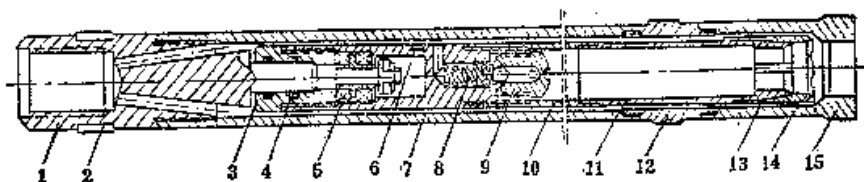


图 2-4-2 金刚石钻进单动双管

1—异径接头；2—合金；3—内管接头；4—“O”型密封圈；5—滚动轴承；6—注油孔；7—外管；8—弹簧；9—球阀座；10—内管；11—内管短节；12—扩孔器；13—卡簧；14—卡簧座；15—钻头

异径接头的外扣，连接带有钻头和扩孔器的外管。中部内扣，连接心轴。内管连同其下部的卡簧提断器悬挂在心轴的轴承上。钻进时，外管随异径接头回转，内管不转。冲洗液通过异径接头上的六个斜开水孔，流经内、外管的环状间隙冲洗孔底；随着岩矿芯进入，内管上部的冲洗液经回流阀、心轴中心孔和侧开水眼流入内、外管间隙。回次終了，上提钻具，借卡簧提断器卡断岩芯。

单动双管钻具种类较多，孔内地层条件不同选用的钻具结构也不一样。现选两种较典型的介绍于下。

(1) 阿式单动双管钻具 阿式单动双管钻具，主要用于煤层钻进和1~3级松软的夹层，夹矸少的稳定煤系地层钻进。其效果良好，能够取出较完整的柱状煤芯和岩芯。此外，也可用于钻进1~2级松散、易被冲毁的岩矿层，如磷矿、菱镁矿等。

钻具结构如图2-4-3所示。它主要由异径接头、联动装置、缓冲装置、单动装置、内外管及内外钻头、岩芯容纳管和卡簧护芯装置等组成。

外钻头20是一特制的中部开有八个直通水口的硬质合金钻头。内钻头21是淬火钢制成的具有锐利刃口的硬质圆筒。矿层软时，在压力作用下，可预先压入矿层；防止冲洗液冲刷岩矿芯根部。因而保护了矿芯（煤芯）。矿层（煤层）越软，内钻头越加超前。内外钻头的差距由缓冲弹簧8自动调节。缓冲弹簧还有吸收振动、稳定钻具的作用。

拉杆4的凸肩与连接器3滑槽的滑动配合，构成该钻具独特的联动装置，它既可传递回转动力，又可纵向伸缩，控制爪簧护芯装置24。取芯时，内钻头拔断岩矿芯后，提升钻具时内管16借助拉杆相对外管18首先上行，爪簧露出并向中心收拢，封闭内钻头底端，托住岩矿芯，防止提升时中途脱落。

在内管中还设置了第三层岩芯容纳管17，便于提钻后退芯，防止人为破坏岩矿芯。

采用阿式单动双管钻具钻进时，一般选用5~6kN的压力，80~150r/min的转速和60~

100L/min冲洗液量的规程参数。

(2) 压卡式单动双管钻具 压卡式单动双管钻具适用于4~6级较完整的、节理发育的或呈纤维状的岩矿层,如白云岩、蛇纹石化白云岩、石棉等,效果良好。

钻具的结构如图2-4-4所示。

这种钻具由回转、单动、卡芯、回水装置和钻头等主要部件组成。

回次终采芯时由钻杆投入钢球球阀4,开泵送水,滑阀6在液柱的压力下,向下移动。当滑阀上的锥形槽移到与钢球5相对时,钢球5即进入槽内。从而解除了分水接头、滑阀与外管接头之间的锁接关系。与分水接头连接的中心轴、内管等部件在水压和自重的作用下向下移动,迫使提断器强力卡取岩矿芯。此时,由于分水接头下移到外管接头的出水孔以下,钻柱中的冲洗液便由内外管之间的环状间隙,流至孔底。

这种钻具具有机动灵活、卡芯牢靠、隔水效果好、矿芯直径粗、磨损轻等特点。在软、酥、脆的岩矿层或软硬互层的石棉矿层采芯特别有效。是一种较好的专用取芯工具。

取芯时,采用6~8kN压力,120~180r/min的转速和60~80L/min的泵量的规程参数值。

(二) 喷射式孔底反循环取芯钻具

喷射式孔底反循环取芯钻具,简称“喷反”钻具,它是利用射流泵的工作原理来形成孔底反循环的。在松散、胶结性差、易磨损的岩矿中钻进时,由于孔底冲洗液呈反循环流动,将钻头破碎下来的岩屑和岩芯一起收拢在岩芯管内。回次终了时停钻停泵,岩芯管内的岩屑和岩芯便会沉淀自行卡紧。这对于保护岩矿芯和提高采取率等方面有较好的效果。

“喷反”钻具的工作原理是:钻进时冲洗液 Q_1 由钻杆进入喷嘴1(见图2-4-5),由于喷嘴内腔为锥形,出口处断面逐渐缩小,冲洗液以高速(13~30m/s)射入扩散管4。由伯努力方程可知,当喷出速度很大时,出口处压力大大减小。由喷嘴喷出的液流将出口附近的液流带进扩散管使喷嘴附近的压力低于大气压,形成速度真空(负压区),孔底液流 Q_2 经岩芯管吸入扩散管中。高速液流 Q_1 与吸入的液流 Q_2 在混合室2进行混合,并同时同时进行能量传递与交换。高速液流 Q_1 失去能量,低速液流 Q_2 得到能量。最后,两者达到相等的流速时进入喉管3,形成稳定的流动状态。液流由喉管进入扩散管后,流速减慢、压力升高,经弯管5排出。其中部分液流在剩余压力作用下,沿孔壁与钻具的环状间隙返回地表;另一部份冲洗液在负压的作用下,使孔底的冲洗液不断流入岩芯管,从而形成对孔底的反循环冲洗。

用“喷反”钻具钻进硬、脆、碎地层及松散、胶结性差的地层,因其采取率高,故已成为复杂地层提高岩矿芯采取质量的主要工具之一。

“喷反”钻具适用于硬质合金钻进、钢粒钻进和金刚石钻进,也适用于漏水地层和涌水地层。

不足之处是:由于冲洗液反向循环,对破碎的岩(矿)芯仍有一定的层次混乱和分选现象。同时在钻孔较深时,由于冲洗液的压头损失和泵量的漏失,局部反循环效果较差,易于造成岩屑堵塞或发生烧钻事故等。

“喷反”钻具的类型一般有弯管式和分水接头式两大类。其中又分为单管喷反钻具和双管喷反钻具。弯管式单管喷反钻具的结构如图2-4-6所示。主要由喷嘴、扩散器、弯管、岩芯管和钻头所组成。

如果将单管喷反钻具的喷嘴接头换成双管的喷嘴接头并加以外管，便成为双管喷反钻具。

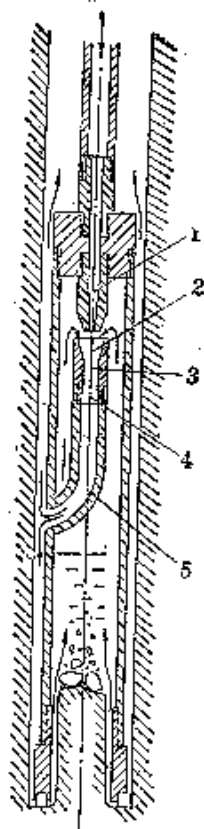


图 2-4-5 “喷反”钻具孔底反循环工作原理

1—喷嘴；2—混合室；3—喷嘴；
4—扩散室；5—钻管

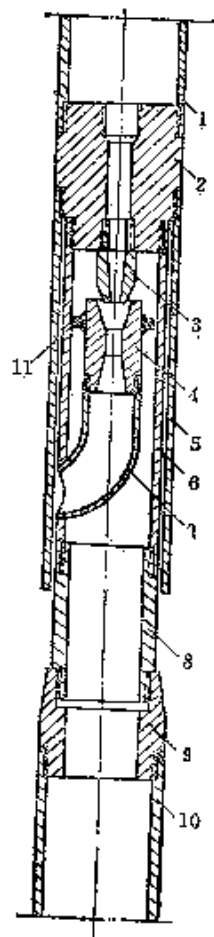


图 2-4-6 弯管型喷射式孔底反循环单管钻具

1—导正管；2—喷嘴接头；3—喷嘴；4—扩散管；
5—持水管；6—连接管；7—弯管；8—接箍；
9—异径接头；10—岩芯管；11—导正圈

第二节 钻孔弯曲

一、概 述

(一) 钻孔类型

为了探明地下矿产资源而设计的每一个钻孔，都是依据地质特点、地质要求及施工条件而设计的。当前设计的钻孔类型，归纳起来有以下三种，如图2-4-17所示：

1. 垂直孔

如图2-4-17(a)所示，钻孔轴线 OA 呈直线或近似直线，方向垂直或近似垂直。

2. 斜孔

如图2-4-17(b)所示，钻孔轴芯线 OA 朝一定方向成一斜直线或近似斜直线，与铅垂线 OP 夹有一定角度。

3. 定向孔

如图2-4-17(c)所示，钻孔轴线 OA 成一预定的曲线，其切线与铅垂线 OP 之间的角度，在各个孔段是不同的。图2-4-17(c)为单孔底定向孔；图2-4-17(d)为多孔底定向孔（也称分支定向孔）。

(二) 钻孔弯曲度

在施工过程中，由于种种原因，钻孔都要偏离设计的轴线，凡是钻孔实际轴线偏离了设计的钻孔轴线（包括顶角和方位角）者，均称为钻孔弯曲，简称孔斜。

衡量钻孔弯曲的程度，称为钻孔的弯曲度。

弯曲的钻孔轴线上任一点的空间坐标位置是由该点处的孔深、顶角和方位角三要素来确定的。三者间的关系如图2-4-18所示。

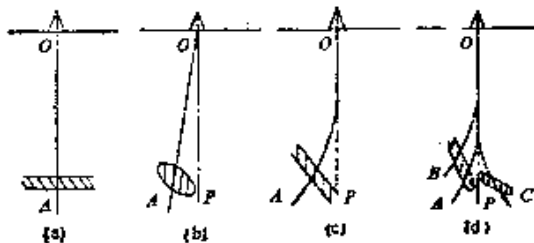


图 2-4-17 钻孔的类型

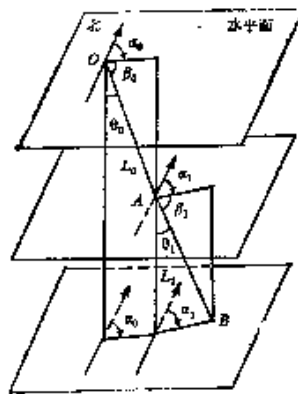


图 2-4-18 钻孔空间位置图

1. 孔深

是指由钻孔的起点(孔口)到测斜处的实际距离。

2. 顶角

是指测斜处的钻孔轴线与铅垂线所夹的角。

在钻探施工中往往采用倾角来表示开孔的角度。倾角是钻孔的轴线与水平面所夹的角度(β)。所以,顶角 θ 与倾角 β 互为余角,即顶角(θ)+倾角(β)= 90° 。

3. 方位角

从磁北方向开始,沿顺时针方向至钻孔轴心线在水平面上的投影所夹的角度(α)。

(三) 钻孔弯曲的影响

钻孔弯曲度超过了地质设计的要求时,会给地质与施工带来严重的危害,其表现为:

1. 在地质工作方面

钻孔过度弯曲不仅会降低取芯质量,而且不能穿过预定的见矿点,或者从设计的勘探线偏到另一条勘探线,从而造成地质失真,从而影响对矿床的评价,也会给矿山开采设计带来错误。

(1) 钻孔弯曲不能按设计要求穿过预定的构造带(未发现断层),会使地质构造的形态和位置被歪曲,如图2-4-19(a)所示。

(2) 因钻孔弯曲使矿层变厚,从而造成矿产储量计算上的失真,如图2-4-19(b)所示。

(3) 因钻孔弯曲而未见到矿时,会使预计见矿层被打漏掉。如图2-4-19(c)所示。

(4) 相邻两个钻孔,若相对弯曲时,可能误把小矿体看成是大矿体。如图2-4-19(d)所示。

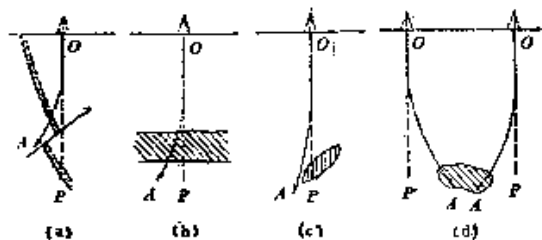


图 2-4-19 钻孔弯曲对地质成果的影响情况

2. 在钻探施工方面

(1) 钻孔弯曲大,使钻具回转阻力变大。

(2) 钻具磨损严重,从而会引起钻杆折断。

(3) 在弯曲大的钻孔内,升降钻具和起下套管困难。

(4) 弯曲严重的孔段内,若岩矿层破碎不完整,因钻具的强烈敲击,极易引起孔壁坍塌掉块,从而造成卡、埋钻具的孔内事故。

(5) 在弯曲的钻孔中发生孔内事故时,不易处理,且往往使孔内事故更加复杂化。

(6) 因钻孔弯曲而达不到地质设计要求时,常常会增加工作量(钻孔加深、偏斜、补孔),来加以弥补,从而影响到施工的进度。

(四) 钻探对钻孔弯曲度的要求

根据工程性质的不同对钻孔弯曲度的要求也不一样。一般规定:钻孔顶角的最大允许弯曲度,在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偏离度,应根据钻孔深度和矿床的类型等情况而定。如勘探煤矿的钻孔,其方位角的偏离规定为:不超过设计方位 20° 的为甲级孔,不超过 30° 的为乙级钻孔。

二、钻孔弯曲的原因及类型

造成钻孔弯曲的原因,一般认为是由地质因素和施工工艺与设备安装所引起的。

(一) 地质因素

1. 岩石的各向异性

岩石在外力作用下，在各个方向上所表现出不同的力学性质称之为岩石的各向异性。岩石的各向异性在层理和层理构造的岩石中表现为垂直层理的岩石硬度小于顺着岩石层理的岩石硬度，因此，在具有层理片理的岩层中钻进时，垂直层理的钻进速度就大于顺着层理的钻进速度（见图2-4-20），因而钻孔的顶角和方位角都趋向于垂直岩层的层面方向。如图2-4-21所示。

异向性越强的岩石，钻孔弯曲强度越大。一般来说，火成岩岩体的各向异性不明显，钻孔弯曲强度小。变质岩（如片麻岩）和层理发育的沉积岩（如片岩、页岩等）的各向异性强，钻孔的弯曲强度大。

2. 岩层遇层角的影响



图 2-4-20 孔底破碎不均匀示意图
甲—垂直层面，乙—与层面成45°交角，丙—
平行层面矢量：1—最大；2—中间；3—最小

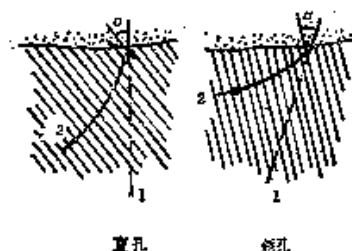


图 2-4-21 钻孔顶角变化

岩层的遇层角是指钻孔的轴线与岩层层面之间小于90°的夹角 δ 。钻孔穿过软硬互层时，因软硬岩石抵抗破碎能力的不同，使孔底产生不均匀破碎，造成钻进速度差，因而引起钻孔顶角及方位角的变化。钻孔偏斜的方向和顶角弯曲的强度取决于遇层角 δ 的大小和岩石软硬的硬度差。差值越大，钻孔的弯曲强度越大。

当钻头由软岩进入硬岩时，且遇层角 $\delta < 15^\circ \sim 20^\circ$ 时，互层的软硬又相差较大时，其钻孔弯曲的趋势如图2-4-22a所示。即钻孔有“顺层溜”的趋势。反之，当 $\delta > 30^\circ$ 时有顶层进的趋势如图(2-4-22b)。

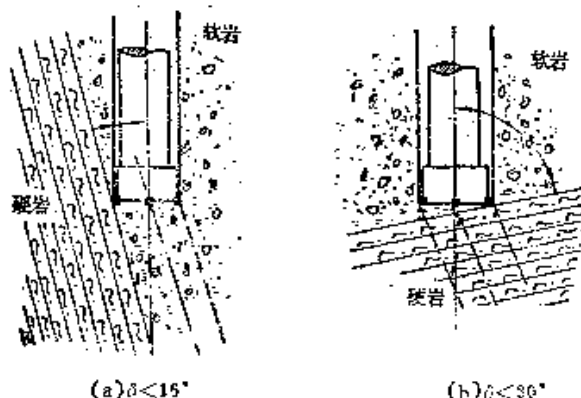


图 2-4-22 钻孔由软至硬岩时弯曲情况

当钻头自硬岩层进入软岩层时，钻孔同时向硬岩层方向弯曲。当软硬岩层接触面倾角越大时，表现得更为明显，如图2-4-23所示。

钻头由软岩进入硬岩，再由硬岩进入软岩，且硬岩层厚度较小时，钻孔顶角有回原的趋势，如图2-4-24所示。

3. 松散、溶洞地层

钻孔在松散地层（如表土、流砂层、松散破碎带）钻进时，因岩层松散、孔壁不牢固，故在钻具自重的作用下，钻孔极易下垂。

遇大溶洞时，斜孔钻进由于重力作用，钻孔顶角会急剧缩小而向下弯曲。直孔钻进时，由于孔底不规则，粗径钻具也易偏离钻孔轴线而发生弯曲。

由上述分析可知，岩层的层理、遇层角大小、地层的松散程度和溶洞等都会影响到钻

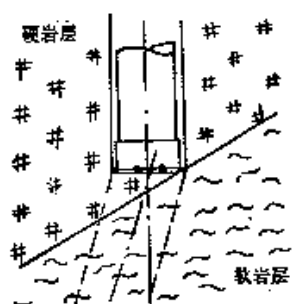


图 2-4-23 钻孔由硬岩至软岩时的弯曲情况

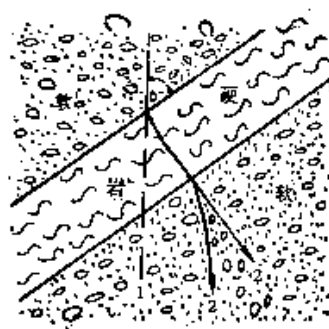


图 2-4-24 钻孔穿过软硬互层的弯曲情况

孔的弯曲。所以，在设计钻孔的轴线方向时，应考虑上述因素，使钻孔弯曲到最低限度。

(二) 设备安装及施工工艺

1. 设备安装

钻机必须安装在坚固的地基上，地基的填方不得超过三分之一，塔上滑车、钻机主轴和孔位应在同一轴线上，钻机立轴或转盘必须准确地固定在既定的倾角和方位上。否则都会导致钻孔的严重弯曲。如图2-4-25所示，原设计为直孔，其轴线为 oo_1 ，孔深为 L_1 。在安装时，若主轴偏斜 θ 角，则孔底将偏离原孔底为 R ， $R = L_1 \cdot \tan \theta$ 。 θ 角越大，孔越深，则 R 值亦越大。

2. 开孔换径

钻孔在开孔时，使用的钻具同心度差，随着钻孔的延深而没加长粗径钻具；在下定向管时，与钻孔不同心、上下固定不牢固而旷动等，都会引起钻孔弯曲。

3. 钻进方法及施工工艺

钻进方法不同时，孔径与钻具（主要指粗径钻具）之间的间隙也不相同。而两者之间的间隙是造成钻具在孔内偏斜的重要条件，如图2-4-26所示。间隙越大，则钻具轴线与钻孔轴心线的夹角越大，钻具偏斜越严重。其关系可由下式表述：

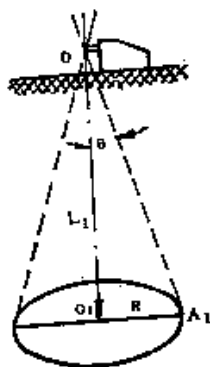


图 2-4-25 钻机立轴偏离设计的钻孔轴线

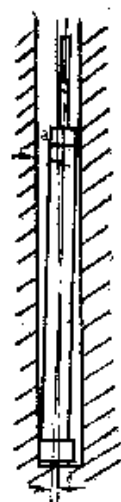


图 2-4-26 钻具在孔内偏斜示意图

$$\theta = \tan^{-1} \frac{f}{L} \quad (2-4-1)$$

式中 f ——孔径与粗径钻具之差；

L ——粗径钻具长度。

由上式可以看出，孔径与粗径钻具差值 f 越大，粗径钻具越短，则偏斜的 θ 角越大，即钻孔越易弯曲。

一般说来，钢粒钻进时，钻孔直径为钻头直径的1.4~1.6倍（7~8级岩石）到1.1~1.2倍（11~12级岩石），硬质合金钻进时，为1.1~1.3倍；金刚石钻进时，孔壁间隙最小，在7~8级岩石中为1.0~3.0mm，在11~12级岩石中仅为0.2~0.5mm。所以，钢粒钻进时，钻孔弯曲大；金刚石钻进时，钻孔弯曲最小。

但是，钻孔弯曲，也与钻具的刚度有关。由于小口径金刚石钻具的刚度较小，而钢粒钻具的刚度稍强，在易斜地层钻进时，采用金刚石钻进，有可能比采用钢粒钻进，孔斜还要严重。

此外，压力过大引起钻杆弯曲，使粗径钻具偏离钻孔轴线；过高的转速，增大了钻具的离心力，使钻具横向运动加剧，扩大了孔径；在松软地层钻进时，冲洗液量过大，返流流速过高时，会冲刷孔壁引起孔径扩大。这些不合理的工艺技术都会增大钻孔的弯曲强度。

三、钻孔弯曲的测量

为了掌握与控制钻孔空间位置的变化，以便防止钻孔的偏斜，应按实际情况和有关规定及时对钻孔的顶角和方位角进行测量。

在一般情况下，直孔每钻进50m，斜孔每钻进25m均须测量顶角一次。但在易于孔斜的复杂地层中钻进，或钻进定向孔和特殊工程孔时，则应根据设计要求，适当加密其测点。此外，在下定向管和套管前后，见矿及穿过矿体，换径后和穿过空洞等均须测量顶角。

一、钻孔弯曲测量的原理

目前有多种适用于非磁性和磁性矿区的测斜仪器。其结构和操作方法虽然不同，但它们在测量钻孔顶角和方位角的原理方面，不外乎有以下几种：

（一）顶角测量原理

根据钻孔顶角的定义可知，钻孔某点的顶角就是钻孔轴线上通过该点的切线与铅垂线的夹角。由于此角在测量处的钻孔倾斜平面（也称终点平面）内，因此，测出的角度应符合两个条件：其一是该角度代表测点钻孔轴线与铅垂线的夹角；其二是该角度在钻孔倾斜平面内。常用的有两种原理：

1. 液面水平原理

将液体装入一试管内，并使试管轴线与钻孔轴线一致，虽钻孔倾斜，但液面保持水平。此时在倾斜平面内液面的垂线与试管轴线的夹角就是钻孔的顶角。中心液面的垂线与试管轴线所组成的平面就是钻孔倾斜平面；钻孔顶角为 θ ，在此倾斜平面内（图 2.10—16 a）。如果试管为玻璃管，液体采用浓度为 20~30% 氢氟酸（HF），则停留一段时间内。

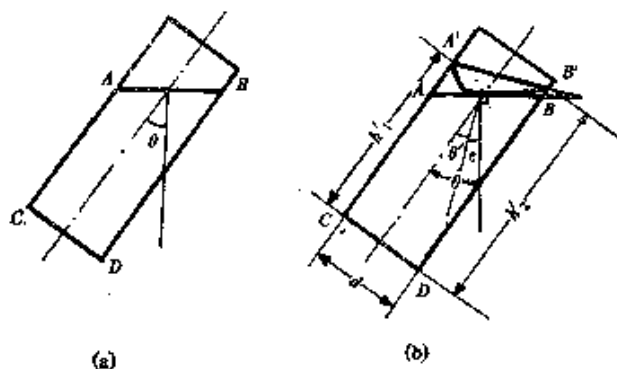


图 2.10—18 氢氟酸玻璃管测顶角计算图

（一般为 15~20 min），在玻璃管内壁上就留下蚀痕。理论蚀痕应为通过 AB 的椭圆，高点为 B ，低点为 A ；但是由于有毛细作用，实际蚀痕为通过 $A'B'$ 的弯月面，高点为 B' ，低点为 A' （图 2.10—16b）。因此，计算出来的顶角小于真实顶角。

$$\theta = \theta' + \epsilon = \tan^{-1} \frac{h'_2 - h'_1}{d} + \epsilon \quad (^\circ) \quad (2.10-41)$$

式中 θ' ——按蚀痕高度计算出来的顶角， $(^\circ)$ ；

θ ——钻孔真实顶角， $(^\circ)$ ；

h'_2 ——蚀痕高点至玻璃管底端的高度，mm；

h'_1 ——蚀痕低点至玻璃管底端的高度，mm；

d ——玻璃管内径，mm；

ϵ ——毛细校正角（该值与玻璃管直径，氢氟酸浓度，钻孔顶角大小有关）， $(^\circ)$ 。

为了避免计算和校正的麻烦，可使用倾斜仪（图 2.10—17）直接测定顶角。此时在有蚀痕的玻璃管内加入同量的有颜色的液体，复原后，在量角器上直接取得顶角读数。

氢氟酸测斜仪操作简易，但精度不高。另外，利用液面水平原理测钻孔顶角的方法还

毛细校正值与玻璃管直径的关系 (HF 浓度 20%)

表 2.10-1

玻璃管直径, mm	每度校正值	玻璃管直径, mm	每度校正值
15~16	12'	21~22	9'
17~18	11'	23~24	8'
19~20	10'		

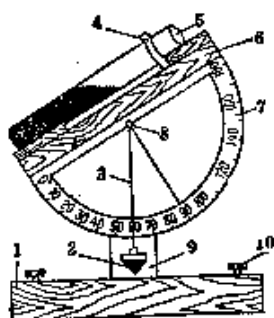


图 2.10-17 倾斜仪

1—底座；2—悬锤；3—吊线；4—固定夹；5—玻璃管；6—支架；7—量角器；8—转动轴；9—立柱；10—调平螺丝

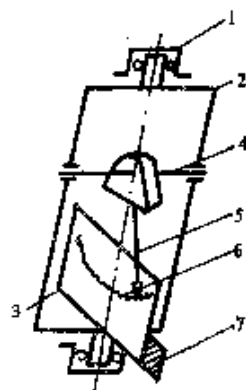


图 2.10-18 重锤测量顶角示意图

1—轴承；2—框架；3—竖板；4—转轴；5—重锤；6—弧形电阻（顶角度盘）；7—偏置块

有硫酸铜液法、显影液法和化学浆液固结法等。它们的测管直径大些，精度有一定提高。
HF 液腐蚀性很强，操作时应注意安全。

2. 重锤原理

如图 2.10-18 所示，重锤悬挂在旋转框架 2 的转轴 4 上，竖板 3 与框架垂直，因偏置块 7 的作用使转轴 4 永远垂直于钻孔倾斜平面，使重锤在倾斜平面内摆动。竖板中心线、旋转框架纵轴及钻孔轴线三者一致，共同倾斜一个角度，此时重锤处于铅直位置，因此竖板中心线与重锤指针之间的夹角就是钻孔的顶角。

指针下端可与弧形电阻锁紧（压紧接触）。触点与弧形电阻端点之间的电阻值与钻孔顶角成正比。因此，可通过电阻值的大小给出钻孔顶角读数。

(二) 方位角测量原理

根据钻孔方位角的定义可知：钻孔轴线某点的方位角是通过该点的切线在水平面上的投影与正北方向的夹角。而地球正北方向（真北）与地球磁场北极（磁北）是不完全一致的。真北与磁北之间有一个差值，这个差值称为磁偏角。如果地磁北极在地理北极之东，是为东磁偏角；若地磁北极在地理北极之西，则为西磁偏角。磁偏角不是一个常量，随地区位置不同而改变。为了获得真方位角的数值，必须对罗盘测得的磁方位角读数，进行磁偏角的校正。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha' + \lambda_E \\ \alpha &= \alpha' - \lambda_W \end{aligned} \right\} \quad (^\circ) \quad (2.10-42)$$

式中 α ——真方位角, ($^{\circ}$);
 α' ——磁方位角, ($^{\circ}$);
 λ_E ——东磁偏角, ($^{\circ}$);
 λ_W ——西磁偏角, ($^{\circ}$).

在无磁性干扰或干扰很小(在仪器允许误差范围内)的孔段中,可直接用罗盘测得磁方位角;在有磁屏障(如套管内)或磁干扰较大(如存在磁性矿体)的孔段中,因为磁针失去定向能力,所以必须在地面测定一方向,并将此已知方向用一定的方法引到孔内测点,先求出测点处的终点角,然后算出方位角。

测斜仪常用以下几种原理测量钻孔方位角:

1. 地磁场定向原理

地磁场定向原理是利用罗盘磁针指向磁北的特性,确定倾斜钻孔的方位角。此角度在水平面上。

因此,测量时罗盘必须处于水平状态,并且罗盘上 0° 线必须指向钻孔倾斜方向。

为了满足这些要求,罗盘的转动轴应垂直于钻孔倾斜平面,且在其下部装有重块使罗盘保持水平。此外,罗盘上 0° 与 180° 连线及框架上的偏重块,都在垂直且平分框架的平面(即钻孔倾斜平面)内,偏重块与 180° 线同侧。这样一来,在倾斜钻孔中, 0° 线必定指向钻孔倾斜方向。此时, 0° 线与磁针指北方向的夹角,就是钻孔的磁方位角(图 2.10—19)。

为了实现非电量的电测量,在罗盘上设环形电阻,使指针下端触点至环形电阻端点之间的电阻值,与钻孔方位角成正比。因此,可通过电阻值的大小,给出磁方位角读数。

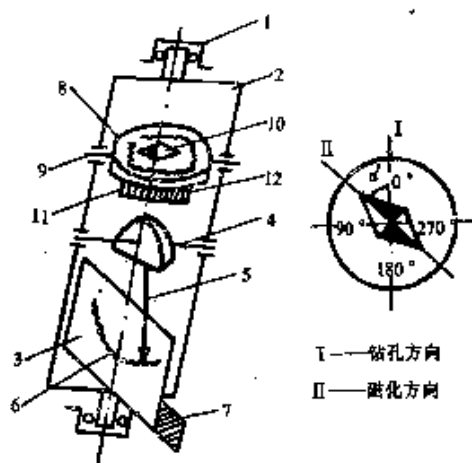


图 2.10—19 罗盘测量方位角示意图

1~7—代表的意义见图 2.10—18; 8—罗盘; 9—水平轴; 10—磁针; 11—环形电阻(方位角度数); 12—重块

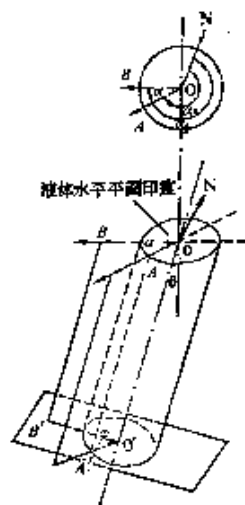


图 2.10—20 根据终点角求方位角示意图

2. 地面定向原理

在有磁屏障或磁性干扰的孔段内,磁针失去定向的能力。因而需要在地面用经纬仪,由已知坐标点导测一通过孔口中心的方向线,作为定位方向,然后,将此定位方向设法传

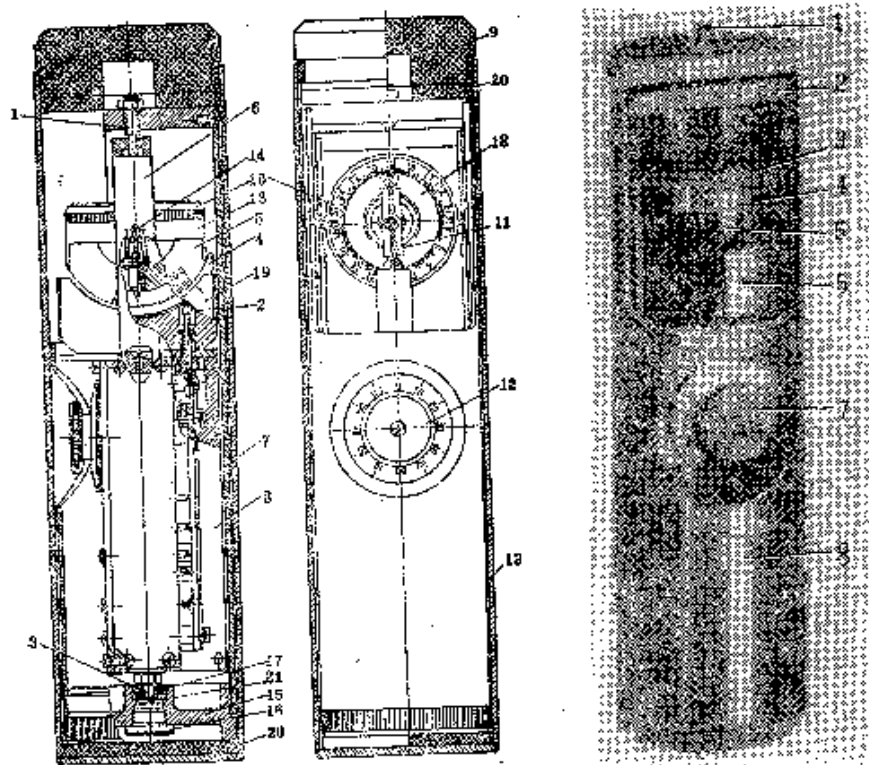


图 2.10—21 JXY-2 型测斜仪结构与外貌

1—上轴；2—定时指针；3—下轴；4—定位齿条；5—顶角刻度器；6—框架；7—电空筒；8—滚锥；9—胶木盖；10—罗盘盒盖；11—磁针；12—定时钟旋组；13—保护筒；14—水平轴承；15—轴承座；16—闷头螺钉；17—D₂₀ 轴承；18—罗盘盒底；19—定位座；20—防震橡皮垫；21—钢系（外貌说明）；1—上轴；2—框架；3—罗盘盒盖；4—罗盘盒底；5—倾斜角刻度器；6—定位齿；7—定时钟旋组；8—电空筒

五、钻孔弯曲的预防

在钻进过程中，由于地质条件和工艺技术等原因，钻孔一般都要发生弯曲。但是，只要施工的措施得当，把钻孔弯曲控制在规定的范围之内，是完全能够办到的。这些具体措施是：

（一）根据地层规律设计钻孔

1. 对于松散破碎地层，大裂隙、大溶洞发育的地层应尽量避免打斜孔，应设计直孔或大倾角的钻孔。
2. 对于软硬互层，层理片理发育地层所设计的钻孔方向应力求与层理面垂直。
3. 根据已钻过的钻孔弯曲规律，设计初级定向孔

(1) 顶角变化小,方位角变化大时 应采取下述设计,

——离线平移法 把孔位向着方位偏斜的相反方向移动,即左偏右移,右偏左移(对探线而言),如图2-4-36所示。应使移位的钻孔,在预计的见矿点穿过。

——主轴扭转安装法 施工时把钻机立轴方向逆偏斜方向扭转一个角度,即左偏右扭,偏左扭,使钻孔达到预计的见矿点。其扭转角度一般不超过全孔方位自然弯曲的二分之一,扭转角度过大会使钻孔顺扭转方向偏斜。

方位扭转角确定以后,可采用如图2-4-37的方法进行现场扭转安装。 OAB 是直角三角形,二直角边为 a 和 b , 则 $\text{tg}\Delta\alpha = \frac{b}{a}$ ($\Delta\alpha$ ——方位扭转角)。

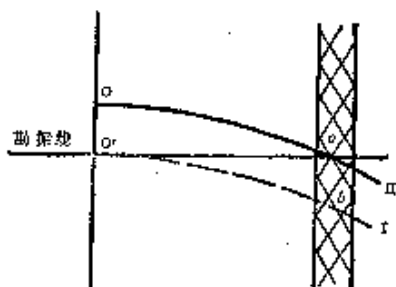


图 2-4-36 离线平移法

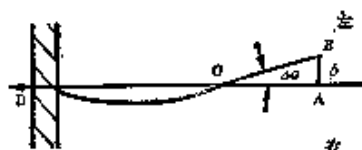


图 2-4-37 立轴扭转安装法

安装时,在勘探线方向上。向设计钻孔孔位的后方截取 $OA=a$, 然后从 A 点向左(或右)作 OA 的垂线,并截取 $AB=b$, 则 OB 所指的方向即为实际安装方位角,依此线安基台,一般取 a 为 10m 。

(2) 方位角基本稳定,顶角变化较大时 应采取下述设计,

——沿勘探线移动孔位法 施工时如从 O' 点开孔,钻孔轴线是沿着 II 上漂,见矿点偏 b 点。为了使其在 a 点见矿,可在勘探线上向后移动孔位。具体作法是过 a 点引 bO' 的平行线,于地面交于 O 点, O 点即为后移的孔位,如图2-4-38所示。

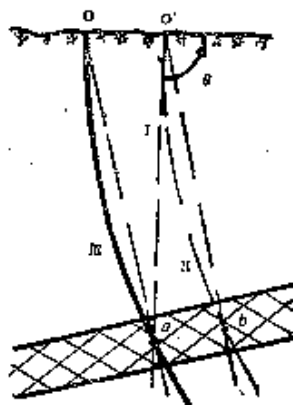


图 2-4-38 沿线移动孔位法

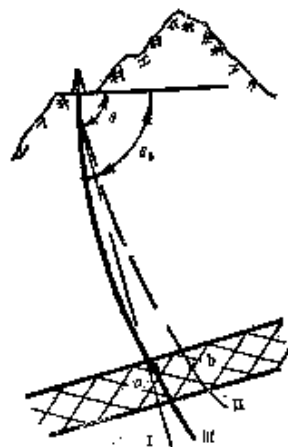


图 2-4-39 增大开孔倾角法

——增大开孔倾角法 当孔位移动困难，而按原设计开孔倾角无法在预定位置钻穿矿体时，可根据钻孔弯曲规律，用增大开孔倾角的方法钻进，如图2-4-39所示。 $\theta_1 > \theta$ (θ_1 为增大后的开孔倾角， θ 为原设计的开孔倾角)，则钻孔Ⅱ线能按要求钻到预定位置a点见矿。

(二) 确保设备安装质量

- (1) 钻机安装要平稳。
- (2) 地基要稳固，其中填方不得超过1/3。
- (3) 天车、主轴、孔位三点应在一线。
- (4) 开孔倾角、方位角应严格按设计要求。

(三) 选择合理的钻进工艺措施

- (1) 尽量采用小口径金刚石钻进，以减少孔壁与钻具的环状间隙。
- (2) 在破碎地层钻进时应采用小的钻压，防止因钻杆弯曲敲打孔壁，造成坍塌掉块，使孔径扩大。
- (3) 在松散、破碎地层钻进时，应采用优质泥浆护孔，防止孔壁坍塌造成的孔径扩大。
- (4) 换径钻进时，必须带有与原孔径同级的导向钻具，以保证换径后钻孔的同心度。

六、钻孔弯曲的纠正

在钻进过程中，当钻孔弯曲超过规定以后，一般都要进行纠正，使其在规定范围之内。具体作法是：

(一) 扩孔纠斜法

用大一级的钻具加长岩芯管，从较直的孔段向下扫扩，将偏的孔段通过扩壁纠直，此法简单，一般在浅孔或中硬岩层中采用之。

(二) 回填老孔纠斜法

一般是在老孔中灌注水泥，待凝固后，用长、粗、重的钻具，并采用无内出刃的合金钻头，钻进0.5m左右，形成新孔。钻进时应轻压慢转，并反复进行扫孔，使钻孔纠直。

此法在中硬岩石中效果较好。

(三) 在孔内下入偏心楔法

下入偏心楔法，参见后面定向钻进一节。

七、定向钻进

定向钻进是指利用钻孔的自然弯曲规律或采用人工导斜工具，使钻孔沿设计的规律弯曲，以达到地质及其它工程目的的钻进方法。用定向方法所钻成的钻孔，称为定向孔。

(一) 定向钻孔的分类

定向钻孔的分类方法较多，以下是按钻孔结构的分类类型：

1. 单底定向孔

只有主干而无分枝的定向钻孔。

2. 一级分枝定向孔

即既有主干又有分枝的定向钻孔，它又可分为：

(a) 单向羽状孔 主孔垂直或倾斜, 枝孔具有同一方位 (如图2-4-40a, b);

(b) 双向羽状孔 主孔垂直或倾斜, 枝孔具有相反方位 (如图2-4-40c, d);

(c) 多向集束孔

主孔垂直或倾斜, 枝孔从主孔按任一选定顺序向 n 个方向弯曲 (如图2-4-40e, f);

3. 多级分枝定向孔

通常为二级分枝, 即主干孔中有分枝孔, 分枝孔中又有分枝孔 (如图2-4-40g, h)。

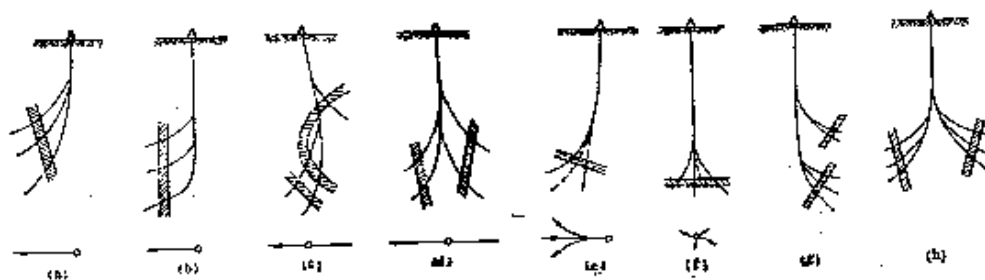


图 2-4-40

(二) 定向钻进的应用范围

1. 当勘探产状很陡的矿体时, 可采用定向孔钻进, 在一个或几个主孔中打出若干个分枝孔就可以控制矿体的储量, 如图2-4-41所示。

2. 在矿体的上部是水面、建筑物或其它无法平整场地的地区, 可采用定向钻进的方法穿过矿体, 以加快勘探速度和减少安装、拆迁及运输设备的复杂程度, 如图2-4-42所示。

3. 在岩(矿)芯采取过低的矿区, 经其它方法无法补救时, 可采用定向造斜打偏孔, 以补取岩(矿)芯, 来满足地质化验和鉴定的需要。



图 2-4-41
1—矿体; 2—钻孔

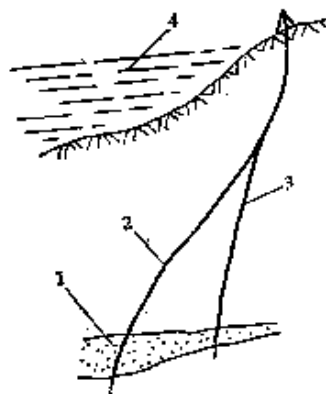


图 2-4-42
1—矿体; 2—钻孔; 3—钻孔; 4—水面

(三) 定向钻进技术

1. 偏心楔

偏心楔是孔内造斜时的导斜工具。它一般采用地质套管制成, 常用的种类有:

(1) 开口式偏心楔 开口式偏心楔 (如图2-4-43) 其导斜槽顶角一般为 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 楔子下部长为 $1.5 \sim 2\text{m}$ 。偏斜钻进时, 用铅丝固定在钻杆下部下入孔内, 并填入碎石将楔体固定, 墩断铅丝将钻杆提出, 然后可用同级或小一级的偏斜钻具钻进。

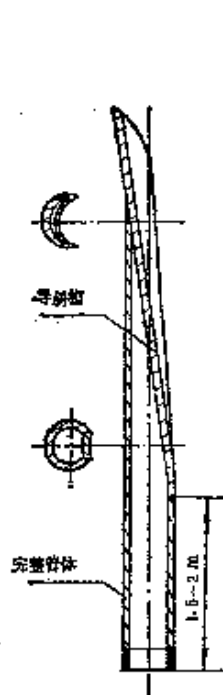


图 2-4-43 开口式偏心楔

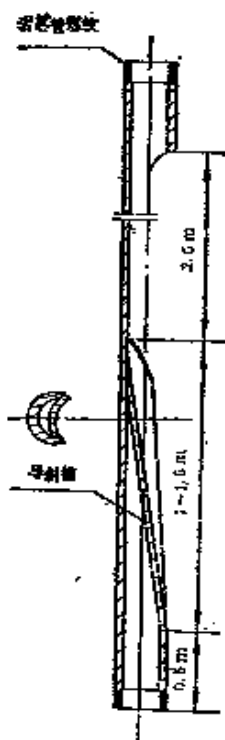


图 2-4-44 闭口式偏心楔

(2) 闭口式偏心楔 闭口式偏心楔如图2-4-44所示。其长度与角度基本上与开口式相同。导斜钻进时, 应采用比原钻孔小一级的钻具钻进。

2. 偏重活楔子

偏重活楔子的结构如图2-4-45所示。它是利用偏重原理来定向的。只要在地表将楔铁16与铅偏重5的中线, 按所需要的角度调整好, 当钻具下入钻孔后, 小径钻具接头支撑着偏重管部分呈悬重状态。由于偏重作用, 铅偏重的中心始终处于钻孔的下部, 此时楔铁面所指的方面即是需要造斜的方向。由于有铅偏重的作用及楔铁下端抓齿的作用, 小径钻具进行导斜钻进时, 楔铁不会改变方向。当导斜钻进完成后, 楔子可连同钻具一起提升上来。

无论是采用哪种楔子进行偏斜钻进, 当楔子下入孔内后, 随即下入钻粒或石子, 将偏心楔卡牢。偏心楔固定后的定向偏斜钻进与不定向偏斜钻进操作一样, 钻进 $3 \sim 5\text{m}$ 后, 应

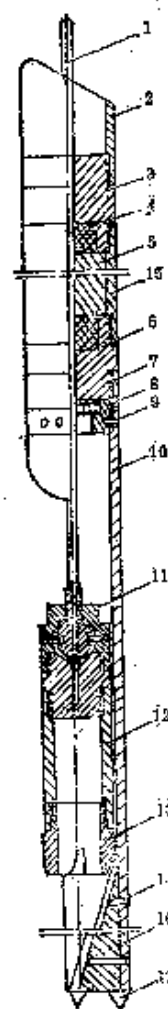


图 2-4-45 偏重活楔子

1—钻杆; 2—取粉管; 3—接头;
4—橡皮轴承; 5—铅偏重; 6—接
具; 7—光位接头; 8—轴承; 9—
销; 10—半开管; 11—万向节; 12
—光心管; 13—钻头; 14—螺钉;
15—岩芯管; 16—楔铁; 17—抓齿

立即测定方位角及倾角，若达到设计要求，即可继续钻进。

第三节 简易水文观察

一、简易水文观测的目的和项目

(一) 观测的目的

在进行矿产勘探时，要对采矿建井和矿山开采设计的矿区提供水文地质资料。为此，除了打专用的水文钻孔外，可利用普查勘探钻孔进行水文观测。这就是简易水文观测。在钻孔内进行水文观测，是研究含水层最经济、简便而富有实效的方法。将钻孔简易水文观测的资料，加以综合整理，分析研究后，可概略了解含水层的厚度、数目、分布规律、含水层的性质等作为专门水文钻孔的补充资料。为矿产资源，工程建设的评价与利用提供必要的水文地质资料，也是矿山，各种工程建设的设计与施工的依据。

(二) 观测的项目

简易水文观测的项目包括：

- (1) 钻孔中水位的测量；
- (2) 冲洗液消耗量的测量；
- (3) 钻孔的涌水量、涌水水位和水头高度的测量等。

二、简易水文测量方法

(一) 钻孔水位的测量

钻孔的水位是指钻孔内的液面，到孔口某一固定位置之间的距离，也叫水位深度。

1. 孔内水位的类别

(1) 静止水位 静止水位是指钻孔内的水较长期不流动时的水位。通过对静止水位的观测，主要是了解含水层的水头高度，或各个含水层混合水位的高度，以确定地下水的动态。

要观测静止水位的钻孔，一般是钻孔终孔后和封孔前进行。对于停钻较长时间的钻孔，也要观测其静止水位。

(2) 初见水位 初见水位是自地表钻到潜水层时，最早发现地下水时的深度。观测初见水位是为了在表土很少掩盖或基岩出露的地区，了解风化岩层的潜水位。

(3) 动水位 是指在进行连续抽水时的水位降稳定的水位。观测动水位的目的主要是了解地下水的补给量与补给关系和岩石的透水性。

(4) 冲洗液水位 是在提上钻具以后或下钻具以前，冲洗液表面在孔内的深度位置。通过对冲洗液水位的观测，可以了解含水层及漏失层的存在深度及漏失量。冲洗液水位是在钻进过程中进行的。一般应在提钻前和下钻后各测一次。

2. 测量水位的一般要求

①为了保证测量精确，应在孔口设一固定点作为标高零点；

②测量冲洗液水位时，其精度与提钻后和下钻前两次测量的时间间隔长短有关。时间越长，测量水位越精确。因此，其间隔一般不应少于3~5min；

③测量静止水时，一般为1~2h测一次，连续二次测量。若水位变化不大于2cm者，即认为是稳定水位。

3. 观测方法

测量钻孔水位，多使用测钟和电测水位计。

(1) 测钟 如图2-4-46所示，它是由铅锤（或铁）管制成的长70mm、直径40mm的金属筒。将测钟系于标有尺度的测绳上，下入孔内，当测钟与水面接触时，由于空气的压缩，测钟便发生一种特有的沉浊声音。把测绳上提少许，重复二、三次，然后，由测绳上的尺寸就可求出孔内的水位深度。

(2) 电测水位仪 电测水位仪的形式很多，是利用液体导电或者是浮子导电的原理制成的。图2-4-47是一种利用浮子导电的电测水位仪示意图。它是由电池、电流表（灯泡或电铃）、带刻度的导线、测钟等组成。测钟下入孔内，接触水面后，浮子5上升便接触触点4，使电路构成回路。可由带刻度的导线2上读出水位深度。

电测水位仪使用方便，测量结果较精确，故适合于水位较深和斜孔中测量孔内水位。

(二) 冲洗液消耗量的测量

测量冲洗液消耗量，可以对岩石透水性、裂隙发育程度等作出初步评价。

为了测量简便，可以在水箱内竖立有刻度的标尺来进行测量（见图2-4-48）。回次钻进开始时，记录时间 T_1 (min)和标尺读数 H_1 (m)；在起钻前，记录时间 T_2 及标尺读数 H_2 (m)。于是，可求出单位时间的冲洗液消耗量 Q ：

$$Q = \frac{(H_1 - H_2) \cdot F \cdot 1000}{T_2 - T_1} \quad \text{L/min} \quad (2-4-10)$$

式中 F ——水箱面积， m^2 。

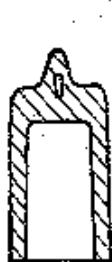


图 2-4-46 测钟

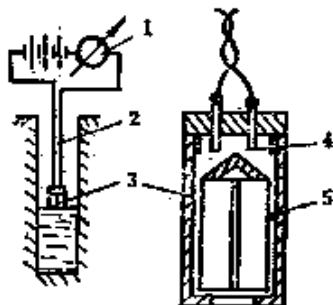


图 2-4-47 电测水位仪
1—电流表；2—导线；3—测钟。
4—触点；5—浮子

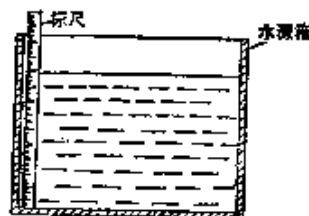


图 2-4-48 测量冲洗液消耗量

如同水量突然增加，大于进水量，即可能是遇到高压含水层；回水量骤减或消失，则可能是遇到较大的漏失层或老窿和溶洞。

(三) 涌水量的观测

当钻孔钻进到水头高度较大、并且超过孔口标高的承压含水层时，孔内的水位往往上升到孔口以上，形成涌水。观测涌水现象的目的，在于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山的排水问题。

当涌水量不大时，可用秒表量桶或水桶量之。

在发现喷出孔口的承压含水层时，除应测出水头高度外，尚需测其涌水量。测量涌水量的延续时间，一般为2h。其测量方法应根据情况，采用如下几种：

1. 接套管装截门测量法

孔内水头超过孔口不多时，可将套管接长，并在管下部装一截门，如图2-4-49所示。用截门的开关来掌握流量的大小，用测钟或电水位计测量涌水量。

2. 短套管上装压力表和截门测量法

当承压水的压力水头很高时，在套管上接一节短套管，顶部安装压力表，并在短套管中部安一截门，如图2-4-50所示。利用截门开关来调节压力表压力，测量涌水量。

3. 三角堰法

涌水量较大时常用三角堰测量。堰箱的形状与制作如图2-4-51所示。堰口为90°，堰

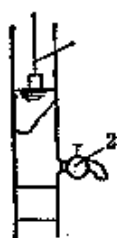


图 2-4-49 用测钟或
电水位计测涌水量
1—电水位计；2—截门

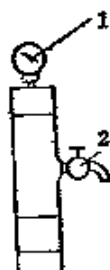


图 2-4-50 用压力表
测量涌水量
1—压力表；2—截门

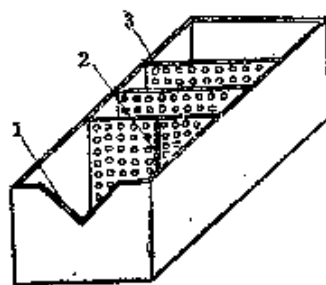


图 2-4-51 三角堰箱

口高为35cm，箱长2m，宽1m，高0.8m。箱内设有一块挡水板3，使水面平稳，堰口旁有带刻度的标尺，用以观测水位高度。

将涌水通过导管注入堰箱，再经堰口流出。测量水量时，观察水流经过堰口时的高度h，然后，按公式计算出涌水量。

三角堰流量法的计算公式为：

$$Q = ch^{5/2} \quad L/s \quad (2-4-11)$$

式中 Q——过堰流量，L/s；

c——随h而变化的系数；

h——堰口水位高度，cm。

系数c值，如表2-4-5所示。

表 2-4-5

h, cm	<6	6.1~10	10.1~15	15.1~20	20.1~25	25.1~30	30.1~35
c	0.0142	0.0141	0.014	0.0139	0.0138	0.0137	0.0134

第四节 原始报表与孔深校正

一、原始报表

(一) 原始报表的目的

原始报表是钻探生产的原始记录。它是今后查对钻探地质资料的原始依据，也是编写地质报告的基本资料。它如实地反映地下岩层的各种现象，同时也反映了钻探方法、技术水平和所采取技术措施的合理程度。所以，钻探工程把原始报表列为六项钻探质量指标之一。另一方面，它是钻探人员辛勤劳动的结晶。

(二) 原始报表的记录内容

1. 如实记录生产活动，准确划分起止时间

(1) 在正常钻进时 按回次记录各工序的时间、内容及有关数据。一般分四项记录，即：起下钻（包括准备钻具），冲孔扫孔，钻进，采芯。

凡是与回次工序平行作业的工作内容与时间，可不进行记录。

(2) 非正常钻进时 在测斜、护壁、堵漏、处理事故时，应记录孔内工作的内容与时间，但与其平行作业的内容与时间，不必作记录。

(3) 当孔内没有工作时 应记录停钻后和开钻前的主要工作和时间。

2. 准确划分和记录换层深度

钻进时应根据换层时的反映，如冲洗液返回的颜色、钻进速度等，来确定换层的位置，以供地质人员划分层位时参考。

3. 认真做好事故记录

发生孔内事故时，应详细记录事故发生的原因、处理方法，处理工具和钻具组配、数量，以及处理时间和效果。

4. 做好计算和填报工作

报表应由各班记录员认真填写。严禁涂改、撕毁、事后补记和重抄。终孔后应汇订成册，并归档备查。

二、孔深校正

(一) 孔深校正的目的和要求

为了准确地确定岩矿层的所在位置，钻孔的孔深记录必须与实际孔深相符。但是，由于丈量钻具的误差和钻进时钻具弯曲、变形等原因，都会引起记录的孔深与实际孔深不相吻合。这样，必然会使岩矿层的埋藏深度、厚度和空间位置发生错误，构造形态被歪曲，从而降低了地质资料的精度和质量，使矿床的开采设计和施工受到严重的影响。因此，每当钻进到一定深度后和遇到主要矿层前后，均需对钻孔深度进行一次校正。

根据岩芯钻探规程的要求，孔深校正最大允许误差不得超过千分之一。

当遇到下列情况时，必须校正孔深：

(1) 正常钻进每50~100m；

(2) 遇到主矿层前、后。如矿层厚小于3m时，见矿时应校正一次；过矿后，可不

校正。

(3) 换径或下套管和终孔等。

(二) 孔深误差产生的原因

大致可归纳为:

(1) 加減钻杆和更換钻杆时, 由于丈量不准和計算錯誤所产生;

(2) 更換钻杆时, 由于部分丝扣没上緊面产生的;

(3) 机上余尺丈量不准确所产生;

(4) 鋼粒钻进时, 忽視了鑽头的磨耗而产生的。

应该指出: 只要認真細心地正确計算, 以上所产生的误差是不难消除的。

(三) 孔深误差的检查与消除

应按以下两种情况检查孔深误差是否在允许范围内:

1. 原始报表未改正过

若以前分段校正孔深时未超差, 孔深误差应以本次校正时的孔深误差来计算。

2. 原始报表改正过

分段校正孔深时, 某次校正已作了改正和平差, 孔深误差范围则应以上次校正后到本次校正之间的孔深 L_p 来计算。

按规定, 孔深误差在允许范围以内, 原始报表中的记录孔深不作改正, 但可在下次记录中裁补找平; 如果超过了允许范围, 应以实测为准来校正原始记录, 将其平差消除。

孔深误差 ΔL 的出现是由于校正孔段每米进尺误差 Δl 的积累而成。平差法就是把误差 ΔL 平摊在每米进尺上。在作钻孔柱状图、計算层次和整理其它钻孔资料时, 都要把这个误差考虑进去, 即:

$$L_s = L_j(1 + \Delta l) \quad (2-4-12)$$

式中 L_s ——实际孔段长, m;

L_j ——记录孔段长, m;

Δl ——平均每米进尺误差, m。

第五节 封 孔

一、封孔的目的与要求

封孔是钻孔施工的最后项工序。钻孔终孔后, 为了封闭和隔离含水层而进行的止水工作, 称为封孔。

(一) 封闭钻孔的目的

(1) 隔离主要矿层顶底板的含水层, 防止采矿时因地下水涌入而造成淹沒矿井的事故;

(2) 防止地表水沿钻孔流入矿内, 造成采矿的困难与危害。

(3) 防止地表水与地下水对矿床的溶蚀和氧化的破坏作用。

(二) 封孔的要求和类型

根据水文地质条件的不同, 封孔的要求和类型可分为以下几种:

1. 不封闭的钻孔

需要进行长期水文观测的钻孔, 对农田灌溉有利的钻孔, 以及作为开采地下水的钻孔, 均不封闭。

2. 仅封闭孔口的钻孔

对已见矿, 但未见含水层、含水构造的钻孔, 或者水位低于侵蚀基准面以下者, 只封闭钻孔的孔口部位。

3. 严格封闭的钻孔

见主矿层、主要含水构造或含水层的钻孔, 第四纪浅层以及见天然气而暂不开采的钻孔, 均应进行分层严格封闭。

如果矿层不厚或矿层与矿层、矿层与含水层距离较近时,  一次性处理, 即进行连续封闭。

根据以上要求, 对未见矿、含水层或含水构造的钻孔, 以及对采矿价值不大的钻孔, 可采用稠泥浆封闭; 对见矿, 见含水层, 但承压水不大的钻孔, 可采用粘土封孔; 而对已见到矿、含水层、含水构造等水文地质条件复杂的钻孔, 考虑到矿产今后的开采利用, 则应进行水泥封闭。

凡是进行分层封闭的钻孔, 对主要含水层和有工业价值矿体的顶底板上、下5~10m范围内, 应该用封孔材料进行严格的封闭。

钻孔封闭后, 必须在孔口设立孔口标志。

二、封孔方法

(一) 粘土封孔

由于粘土颗粒水化后, 具有一定的抗剪强度, 经压实后又具有不透水气等特点。因此, 在地下水承压不大, 水头和流量不高的钻孔, 以及松散含泥质较多的岩层孔段, 粘土可作为封孔材料。

使用粘土封孔时, 应将粘土掺水搅和后, 制成泥球或泥柱, 并且阴干一段时间后, 便于向孔内投送。阴干的泥球可由孔口直接投入, 并逐段捣实。泥柱可用岩芯管投送。其方法是: 用一根5m左右长的岩芯管, 下端上一度钻头, 将泥柱装入岩芯管内, 装满后, 钻头下端用旧帆布或塑料布及铅丝包扎好后下入孔内, 再用泵压将泥柱压出。为了加快投送速度, 可同时开车甩动。每投入7~8m后须捣实一次。

如果制造粘土柱的工作量较大, 为了提高封孔效率, 最好采用泥柱机 (如图2-4-52所示) 制作。泥柱机的结构较简单, 粘土从漏斗处倒入, 经压缩套的压缩后, 由成型套挤出, 再用钢丝截成小段。

(二) 水泥封孔

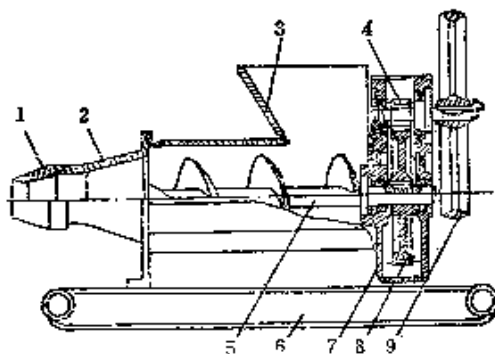


图 2-4-52 泥柱机

1—成型套; 2—压缩套; 3—漏斗; 4—主动齿轮; 5—螺旋轴; 6—蜗轮; 7—曲柄; 8—传动齿轮; 9—皮带轮

由于水泥能在水中固化，且与钻孔孔壁具有一定的胶结力，同时又具有较好的隔水性能，所以，在见有主矿层、主要含水层、第四纪浅层等水文地质条件比较复杂的钻孔中进行分层封孔时，均可选用水泥作为封孔材料。

常用的封孔水泥有：硅酸盐水泥和硅铝酸盐水泥两种。

封孔操作方法如下述：

1. 洗孔

为了使注入的水泥浆与孔壁很好地结合，保证有良好的封孔质量，在注送水泥浆之前，应进行冲孔换浆，以排除孔内的岩屑和清除孔壁上的泥皮。

当钻孔内的地层稳定时，应采用清水洗孔。一般采用喷射式洗孔器进行。洗孔时，将洗孔器下入需要封闭的孔段，用水泵送水。在泵压作用下，水从洗孔器水眼喷出，并同时开车转动，洗孔器在钢丝毛刷的作用下，孔壁上的泥皮即被刷掉冲走。洗孔器构造如图2-4-53所示。

如果孔内情况复杂、孔壁不稳固，则应采用稀泥浆洗孔，以减薄孔壁泥皮，防止钻孔坍塌。

2. 架桥

在钻孔较深、封孔段距比较大的情况下，为了使封闭的位置准确，减少水泥浆的用量，需要下入隔离物来堵截钻孔和承托水泥浆。这种方法在钻探中常称为架桥。

架桥物的种类很多，但其原理相同。一般常用的有：钢丝倒刺木塞、特制木塞、草把、竹筴等，如图2-4-54~2-4-57所示。

使用木塞时，木塞长度为1~1.5m，其直径比钻孔直径小1~2mm。其具体操作方法是：将木塞连接在钻杆上，下到预定的深度，然后由孔口投入直径为5~10mm的碎石子，待木塞卡牢后，拉紧钻具，开车正转使钻杆与木塞在反扣接头处脱离。

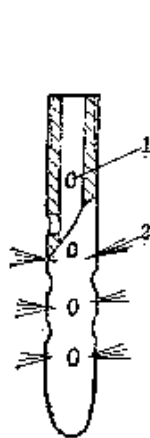


图 2-4-53 洗孔器
1—水孔；2—侧孔



图 2-4-54 木塞
1—反正接头；2—钻杆；
3—木塞；4—铁丝；5—弹簧



图 2-4-55 弹簧刺木塞
1—木塞；2—弹簧刺

3. 注送水泥浆的方法

(1) 水泵注入法 利用机房的泥浆泵，将需要的水泥浆通过钻杆送到孔内封闭段。

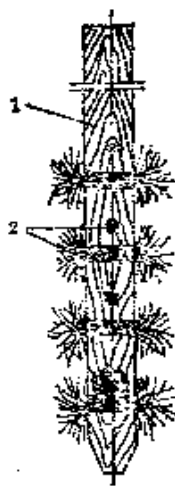


图 2-4-56 炭钢丝木塞
1—硬木棒, 2—炭钢丝



图 2-4-57 竹条木塞
1—硬木棒, 2—竹条(或细树枝), 3—铁丝

由于泵压的作用, 水泥浆能够进入岩石缝隙, 封孔效果好。这种方法适用于封闭的孔段长, 体积大, 用水泥量大的钻孔。一般采用的水灰比为 $0.5 \sim 0.6$ 。

(2) 导管灌入法 灌浆时, 将导管(一般用钻杆)下入孔内封闭段底部 $0.5 \sim 1\text{m}$ 处, 先倒入一些清水, 随即灌浆, 借助于导管内外液面的高差和比重差, 砂浆注入孔底, 如图2-4-58所示。

这种方法效率高, 设备简单, 操作方便。适用于水灰比 $0.4 \sim 0.5$ 的净浆和比重大的砂浆。

(3) 注浆器注浆法 这种方法适用于深孔, 且封闭段较小, 需要灌注砂浆体积小的孔

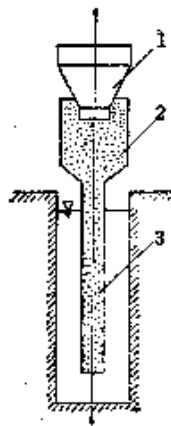


图 2-4-58 注浆导管
1—漏斗, 2—储浆筒, 3—导管

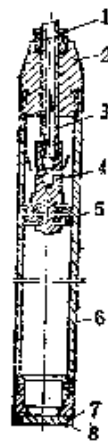


图 2-4-59 水压活塞式注浆器
1—压力表; 2—滑动接头; 3—钻杆; 4—分水接头; 5—活塞; 6—注浆管; 7—圆柱销; 8—阀门

段。

现场常采用水压活塞式注水器。其结构如图2-4-59所示。使用时，先将阀门8关闭，并用销钉7销住，下入孔内，用夹板夹于孔口；然后，将砂浆（水泥浆）装入盛浆管6内，再装上活塞5、滑动接头2及压盖1。采用钻杆送入孔内封闭段。送水后，泵压逐渐升高，而后突然下降，再有回升，这说明阀门已打开，水泥浆即注入到孔内的封闭段。

三、封孔质量的检查

钻孔封闭后，应对封孔质量进行检查。其方法有采取液样和透孔取芯两种。

（一）采取液样

采样的目的有二：一是查明封闭液面的实际位置，从而检查封闭位置是否符合设计要求，二是从浆液的稀释情况来检查其质量。如果封闭位置与设计相符，取出的样品与注入时的质量无大差异，则封孔基本符合要求。

常用的采取液样工具有提筒和取样器。

1. 提筒取样

提筒用长2~3m的小口径的岩芯管制作，在注浆完毕后，将提筒下入到孔内灌注部

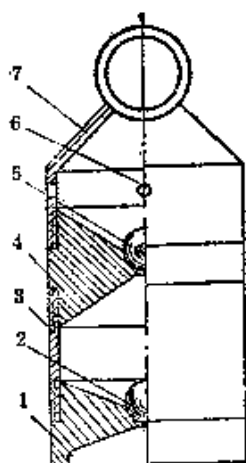


图 2-4-60 球阀式取样器之一
1—下阀座；2—球阀；3—取
样筒；4—上阀座；5—球阀；
6—排水取；7—接头

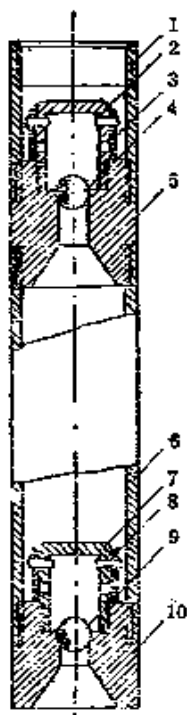


图 2-4-61 球阀式取样器之二
1—连接管；2—球阀座；3—
止水胶皮；4—球阀；5—上座
板头；6—取样筒；7—球阀座；
8—止水胶皮；9—球阀；10—
下球阀座板头

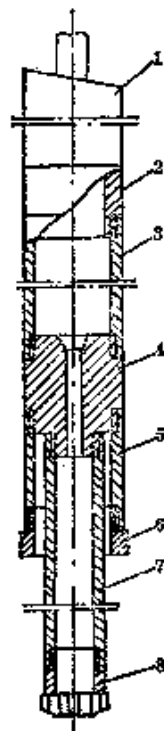


图 2-4-62 透孔检查钻具
1—取粉管；2—取粉管接头；
3—导正岩芯管；4—特制双管
接头；5—外管；6—外管接头；
7—内管；8—锥形内管钻头

分，稍停 2~3min 后提出地表，即可确定其灌注位置，并观察上部浆液的稀释情况。

2. 球阀式取样器

此种取样器有两种型式：一种是体积小，用测绳下入孔内，适用于浅孔。该取样器如图 2-4-60 所示。另一种是用钻杆或钢丝绳下入孔内，适用于采样较多的中深孔，该种取样器如图 2-4-61 所示。

上述取样器的作用原理是：借助于取样器自重作用的惯性力，使孔内的浆液顶开球阀，进入取样筒。当送到取样深度后，即可提钻。提钻时球阀受筒内液压而关闭，使液样不致漏失。

（二）透孔取芯

为了进一步了解封孔材料凝固后与孔壁的胶结情况，应在一个矿区选择少数有代表性的钻孔，进行透孔取水泥芯检查。

检查时，根据地质要求可采取：对封闭段全透或部分透，以及造斜取芯等检查方法。

在透孔时，为防止透斜钻孔及提高样品采取率，可参照图 2-4-62 的钻具来进行透孔。该钻具的特点是：导正岩芯管 3 使透孔能按原孔方向进行；内管 7 超前；钻头合金呈锥形镶焊，以减弱对孔壁的刮取。