

## 丛书编审委员会

**主任:** 张智铁

**编委:** 李仪钰 夏纪顺 蔡崇勋 朱启超  
吴建南 周恩浦 吴继锐 刘世勋  
肖先金 郭赐吾 安伟 李世华  
魏胜利 刘玉恩 王振坤 廖国权  
李海源 刘同友 徐本祺 吴友海  
万云 郭友梅 李明加 戚铄  
黄力生 钟世民 梁康荣

## 序

“矿山机械使用维修丛书”就要问世了，广大读者是会欢迎它的。

我国是一个采矿大国，也是矿山机械的制造和使用大国，从事矿山机械的规划、研究、设计、制造、安装、运转、维修、管理的工人和工程技术人员是如此之多，他们迫切需要这样一套《丛书》。

设备的使用、维修在设备的一生中是至关重要的。资料表明，使用维修费用总是远远超过设备原值的。于是，国外发展了寿命周期费用评价法，进而形成了“设备综合工程学”，以设备一生作为研究对象，将设备工程分为规划工程和维修工程两个阶段，对有形资产的工程技术、管理、财务等方面从各个环节（方案、设计、制造、安装、运行、维修保养、改进、更新等）进行综合管理，以提高设备可靠性和维修性，从而使设备寿命周期费用达到最经济的程度。

“矿山机械使用维修丛书”全面总结了我国矿山机械使用、维修的成就和先进经验，对进一步提高矿山职工的技术素质、提高矿山机械的可靠性和维修性、提高矿山企业的经济效益具有实用的价值。

中国有色金属工业总公司装备局和设备管理协会委托中南工业大学矿机教研室负责编审这套《丛书》，是一个很好的尝试。在编写中，得到了冷水江有色金属矿山技工学校等单位的大力支持。我们期望，这一工作在我国矿业界和矿山机械行业产生普遍的良好反响。

洪 戈

## 矿山机械使用维修丛书

1. 矿井提升设备使用维修
2. 矿山压气设备使用维修
3. 矿井通风设备使用维修
4. 矿井排水设备使用维修
5. 矿井钻孔设备使用维修
6. 矿井装载设备使用维修
7. 矿井轨道运输设备使用维修
8. 破碎粉磨机械使用维修
9. 挖掘机械使用维修
10. 露天潜孔钻机使用维修
11. 天井钻机使用维修

743781

## 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 天井钻机发展概况 .....       | 1  |
| 第二章 天井钻机的结构 .....        | 7  |
| 第一节 钻机 .....             | 7  |
| 第二节 行走机构 .....           | 13 |
| 第三节 泵站 .....             | 15 |
| 第四节 液压系统 .....           | 17 |
| 第五节 操纵台 .....            | 19 |
| 第六节 电控柜 .....            | 19 |
| 第三章 钻具及扩孔刀头 .....        | 21 |
| 第一节 钻具 .....             | 21 |
| 第二节 扩孔刀头 .....           | 23 |
| 第四章 天井钻机的使用与维修 .....     | 30 |
| 第一节 洞室准备 .....           | 30 |
| 第二节 钻机的搬运 .....          | 31 |
| 第三节 天井钻机的安装与试车 .....     | 33 |
| 第四节 钻导孔 .....            | 33 |
| 第五节 接钻杆的方法 .....         | 34 |
| 第六节 导孔偏斜的控制 .....        | 36 |
| 第七节 导孔防堵 .....           | 37 |
| 第八节 液压系统操作注意事项 .....     | 39 |
| 第九节 扩孔 .....             | 40 |
| 第十节 扩孔时排渣 .....          | 42 |
| 第十一节 扩孔刀头的取出 .....       | 43 |
| 第十二节 一般的维护与保养 .....      | 43 |
| 第五章 天井钻机常见故障的判断与排除 ..... | 45 |
| 第一节 液压系统的故障与处理 .....     | 45 |
| 第二节 机械传动系统的故障与处理 .....   | 46 |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>第三节 电气系统的故障与处理</b> ..... | <b>48</b> |
| <b>第六章 天井钻机的选购</b> .....    | <b>58</b> |
| <b>第一节 根据使用要求选购</b> .....   | <b>58</b> |
| <b>第二节 综合效益的考虑</b> .....    | <b>58</b> |
| <b>参考文献</b> .....           | <b>59</b> |

## 第一章 天井钻机发展概况

天井是指地下矿贯通上下两中段之间的垂直井筒或斜井筒，它用于通风、溜矿、安装辅助设备和人行道等。

天井工程是矿山基建、采准和生产探矿的重要工程之一。天井工程量一般约占矿山井巷工程量的10%~15%，占采准切割工程量的40%~50%。用凿岩爆破进行天井掘进的方法是沿用已久的老方法，至今仍广泛应用。用这种方法掘进天井，不管是搭台凿岩的普通法还是较为先进的吊罐法、爬罐法，都是依靠人工在狭小的工作面内打眼爆破。由于作业空间小，充满炮烟，又是高空作业，所以工人工作条件恶劣、劳动强度大；同时，施工工人经常受到掉石、淋水、粉尘和炮烟的危害。工人的伤亡事故也较其它工程多，这已成为矿山安全生产的一大障碍。

1962年美国罗宾斯 (Robbins) 公司研制出第一台钻井直径1 m、钻井深度60m的“31R”型天井钻机，率先用机械钻扩代替人工爆破进行天井掘进，如图1所示。这种机械钻进法是将钻机安装在上部中段的峒室内，先用牙轮钻头自上而下钻通一条导向孔，然后在下部中段卸下牙轮钻头，换接扩孔刀

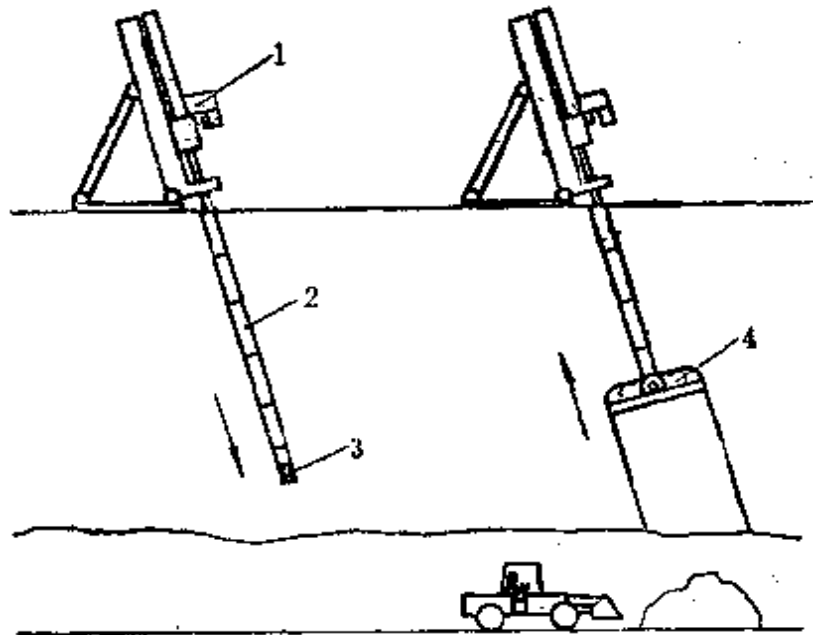


图1 钻进法掘进天井

1—天井钻机 2—钻杆 3—三牙轮钻头 4—扩孔刀头

头，自下而上反扩成井。

用天井钻机掘进天井，工人在上部中段操作，不必象用吊罐法、爬罐法那样，工人呆在工作面内，工作条件大为改善，劳动强度明显减轻，也消除了对人身安全的威胁。

自第一台天井钻机问世以来，机械钻井法迅速在全世界得到广泛应用。天井钻机的研制与生产也日新月异，适用于各种作业条件的天井钻机与扩孔刀具不断涌现。除罗宾斯公司外，芬兰的塔姆洛克(TAMROCK)公司、瑞典的斯堪斯卡(SKANSKA)公司先后推出液压或直流电机驱动的不同规格的天井钻机。我国自70年代就着手研制适用于我国井下条件的天井钻机，先后试制成功扩钻直径为 $\phi 500$ 、 $\phi 1000$ 、 $\phi 1500$ 、 $\phi 2000$ 、 $\phi 2400$ 等规格的天井钻机。

目前，我国有色金属系统和煤炭系统引进的罗宾斯83 RM系列天井钻机钻井直径已达3.66m，最大井深可达610m。

我国天井钻机研制工作虽起步较晚，又受10年动乱影响，但研制工作一开始就注意设计能满足我国井巷实际需要的具有独特风格的低矮型天井钻机。

各种型号的天井钻机主要由钻杆推进油缸、主轴回转箱、钻架、运输机构以及辅助设施等部件组成。

迄今为止所设计的各型天井钻机钻杆推进系统基本都采用液压推进方式。因为液压推进工作平稳，超载保护特性好，能适应因岩石变化而造成的负载波动。

主轴回转的驱动有两类：一种是直流电机驱动，另一种是液压马达驱动。前者工作平稳，工作方便，钻架结构简单，但电气系统复杂；后者电气系统简单，维护方便，整机占地面积较小，但工作的可靠性与液压马达质量及工作介质质量有关，特别是工作介质（液压油）在工作现场极易受到污染而影响到钻机的工作可靠性。尽管如此，由于液压元件质量提高较快，液压元件对环境的适应性与使用寿命都有较大程度的改善，所以全液压驱动仍然是当今天井钻机的主要驱动形式。

天井钻机主机结构形式大体上可以分为圆柱滑轨型与滑板框

架型两大类，美国罗宾斯公司 RM 系列天井钻机都采用圆柱滑轨结构，如图 2 所示。我国济南重型机械厂生产的 ATY-1500 型天井钻机也是采用这种结构。圆柱滑轨结构布局简单，维修空间大，便于现场维护。但是这种结构工作时最大高度一般要比低矮型钻机高。同时，这种结构刚性较差，在钻机安装前需要准备相当坚实的水泥基础。所以为安装钻机所准备的峒室开挖量比较大，安装准备工作量也较大。

另一类是我国西北有色冶金机械厂生产的低矮型滑板框架结构，如图 5 所示。这种型式结构紧凑，工作高度低，整机刚性强。同时由于设有上顶缸装置，可将轴向推力与钻井时的力矩通

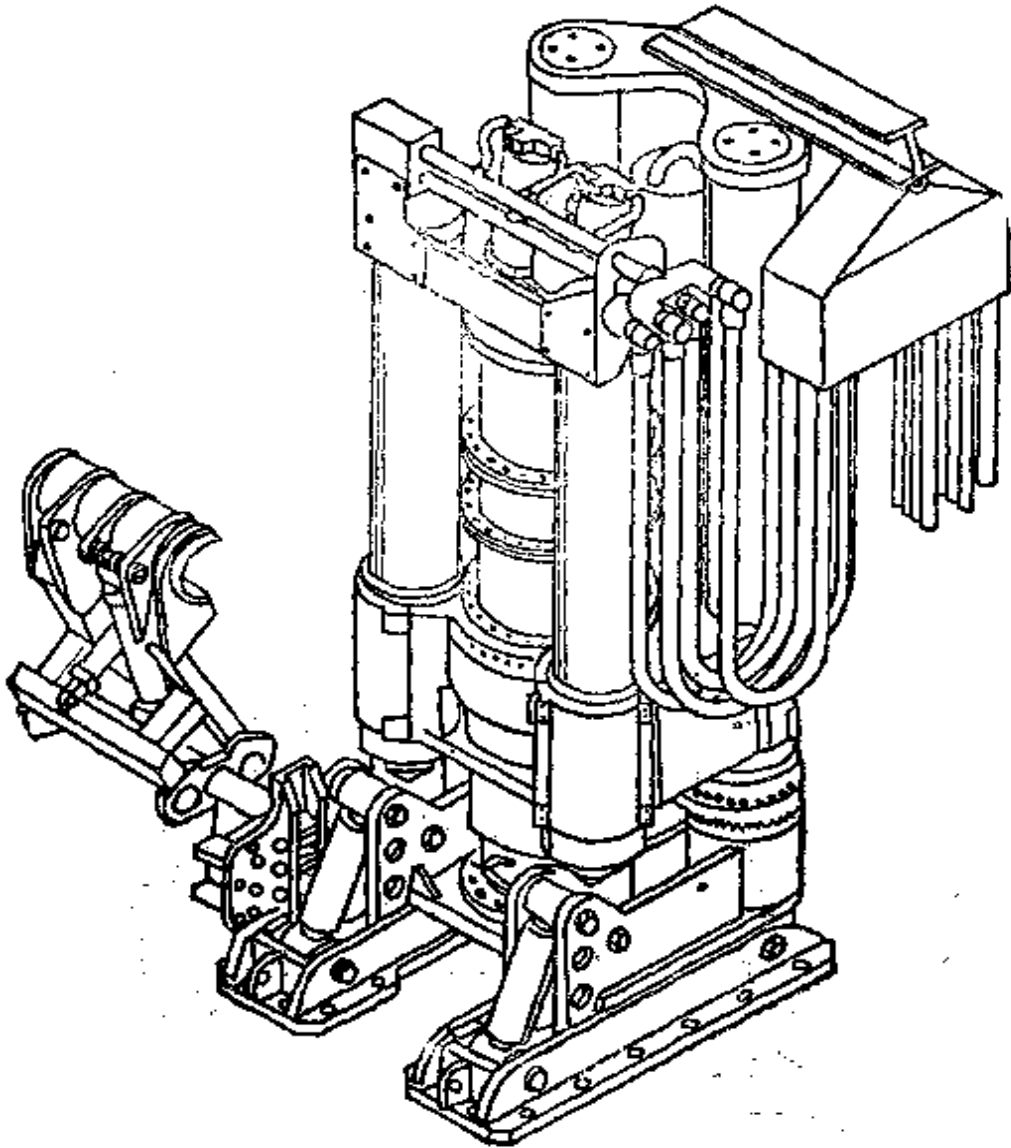


图 2 罗宾斯公司 RM 天井钻机

过上顶缸传递到峒室顶部岩层，因此工作平稳。安装钻机也不需要准备特别坚实的水泥基础。这样可以大幅度地减少峒室的开挖量和安装工作量，比较适合我国地下矿的实际条件。这种结构主要缺点在于部件安装过于紧凑。一旦框架内推进油缸发生故障，在现场检修则比较困难。另外制造过程装配技术难度较大，所以这类钻机推进油缸（包括油缸内的活塞环与密封圈）质量对钻机的安全正常工作至关重要。

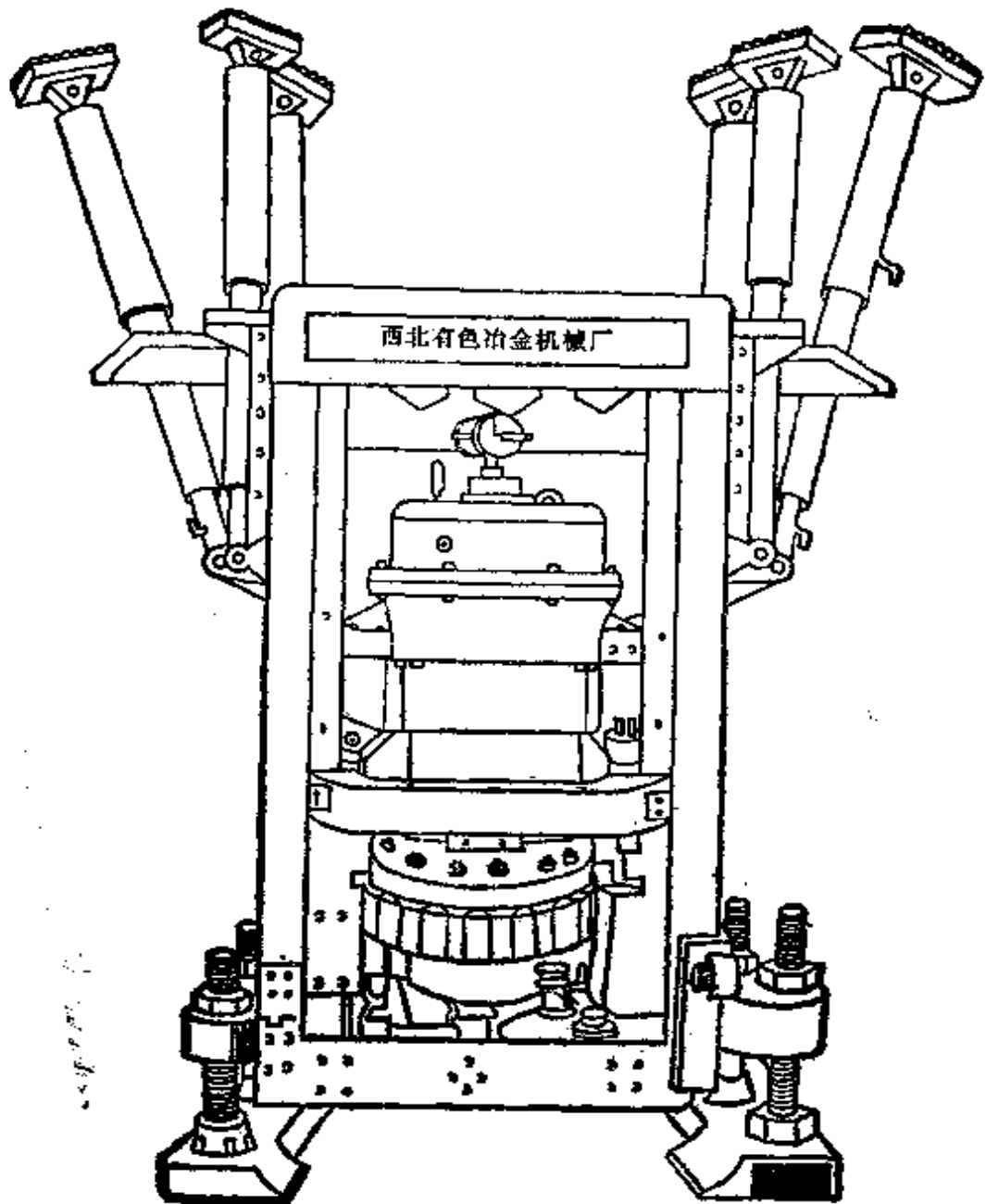


图 3 国产框架式AF系列天井钻机

一般国外天井钻机自身带有履带式行走运输机构，靠自身动力或外接电缆、风管在巷道中行走运输。而国产天井钻机基本采用轨轮式行走机构，靠电机车牵引运输，以简化机构，降低制造成本。目前我国地下矿巷道仍以轨道运输居多。

各类天井钻机一般都设计有装卸钻杆的机械手，以减轻工人的操作强度。国产AF和TYZ系列天井钻机还设计有液压吊杆来提吊钻杆，以减轻工人劳动强度。

表1是国内外几种天井钻机主要技术参数对照表，可供各使用单位选型时参考。

从表1中可以看到，与国外生产的天井钻机相比，国产天井钻机技术性能在以下方面尚存在一定距离。

1. 钻井深度浅，一般都在100 m左右。主要制约因素是：钻导孔时的排渣问题和扩孔时最大功率的限制。目前已有人在研究利用泥浆代替清水进行排渣和润滑牙轮钻头。据初步测算，在现有功率基础上，可将井深增加到150m。

2. 钻孔(尤其是钻导向孔)时主轴转速低，因而影响钻进效率。这主要由于国内缺乏合适转速的大力矩液压马达。

3. 推进油缸的推拉力较小。只有增加推进油缸的直径，才能提高轴压力。加大推进油缸直径，最终要影响到整机外形尺寸，从而又受到我国地下矿巷道条件的约束。

4. 钻井倾角范围较小。因为低矮型天井钻机是依靠上顶装置来简化钻机的安装基础，增加钻架刚性，但也使钻井倾角受到限制。

尽管如此，由于国产的低矮型天井钻机外形尺寸小，搬运方便，价格低廉，功能基本满足机械化天井掘进需要，所以深受我国矿山用户的欢迎。目前低矮型天井钻机是我国天井钻机市场上使用的主要机型。

本书将重点介绍低矮型全液压驱动天井钻机及其配套扩孔刀头的结构特点、工作原理以及使用维护知识。

表 1 国内外几种典型天井钻机主要技术性能表

| 型 号              | TYZ-1000  | TYZ-1500  | AF-2000    | ATY-1500  | AT-2000   | Robbins(美)<br>63RM | Dresser(美)<br>500 | INDAU(芬兰)<br>90-H |
|------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 扩孔直径×井深 (m)      | 1.0×100   | 1.5×100   | 2.0×100    | 1.5×120   | 2.0×120   | 1.83×300           | 1.83×300          | 1.83×300          |
| 导孔直径 (mm)        | 216       | 250       | 250        | 250       | 250       | 280                | 250               | 280               |
| 主轴转速(导孔) (r/min) | 0~40      | 0~40      | 0~27       | 0~36      | 0~54      | 36~72              | 20~33~54          | 0~50              |
| 主轴转速(扩孔) (r/min) | 0~20      | 0~13      | 0~12       | 0~18      | 0~35      | 0~12               | 7~11~19           | 0~50              |
| 最大轴压力(导孔) (kN)   | 245       | 392       | 400        | 380       | 750       | 953                | 1022              | 940               |
| 最大轴向拉力(扩孔) (kN)  | 705       | 980       | 1000       | 900       | 1340      | 2076               | 2270              | 1840              |
| 最大力矩 (kN·m)      | 26.6      | 37.5      | 70         | 42        | 96.3      | 107.6              | 86.9              | 100               |
| 与地平线倾角 (°)       | 60~90     | 60~90     | 70~90      | 60~90     | 60~90     | 30~90              | 20~90             | 15~90             |
| 总功率 (kW)         | 92        | 92        | 92         | 118.5     | 149       | 112                | 149               | 132               |
| 驱动方式             | 液压马达      | 液压马达      | 液压马达       | 液压马达      | 液压马达      | 液压马达               | 液压马达              | 液压马达              |
| 钻杆直径 (mm)        | 176       | 200       | 200        | 200       | 200       | 254                | 203               | 254               |
| 主机重量 (kg)        | 4500      | 5500      | 8900       | 6200      | 10000     | 7570               | 11900             | 6400              |
| 工作时(高×宽) (mm)    | 2700×1400 | 3300×1600 | 3327×1630  | 3790×1250 | 4030×1380 | 5110×1520          | 5410×1170         | 5120×1220         |
| 制造厂名称            | 长沙矿山研究院工厂 | 长沙矿山研究院工厂 | 西北有色金属金机械厂 | 济南重型机厂    | 嘉兴冶金机厂    | 罗宾斯公司(美)           | 德雷赛公司(美)          | (芬兰)印达公司          |

## 第二章 天井钻机的结构

天井钻机一般包括：钻机、泵站、操纵台、电控柜、钻具、行走机构等六大部分（图4）。其中钻机和行走机构在结构上组装成一个整体，搬运时钻机放在行走机构上一起拖运。

现将各部分的结构特点及其工作原理分别介绍如下。钻具是天井钻机的配套机具，在第三章专门予以阐述。

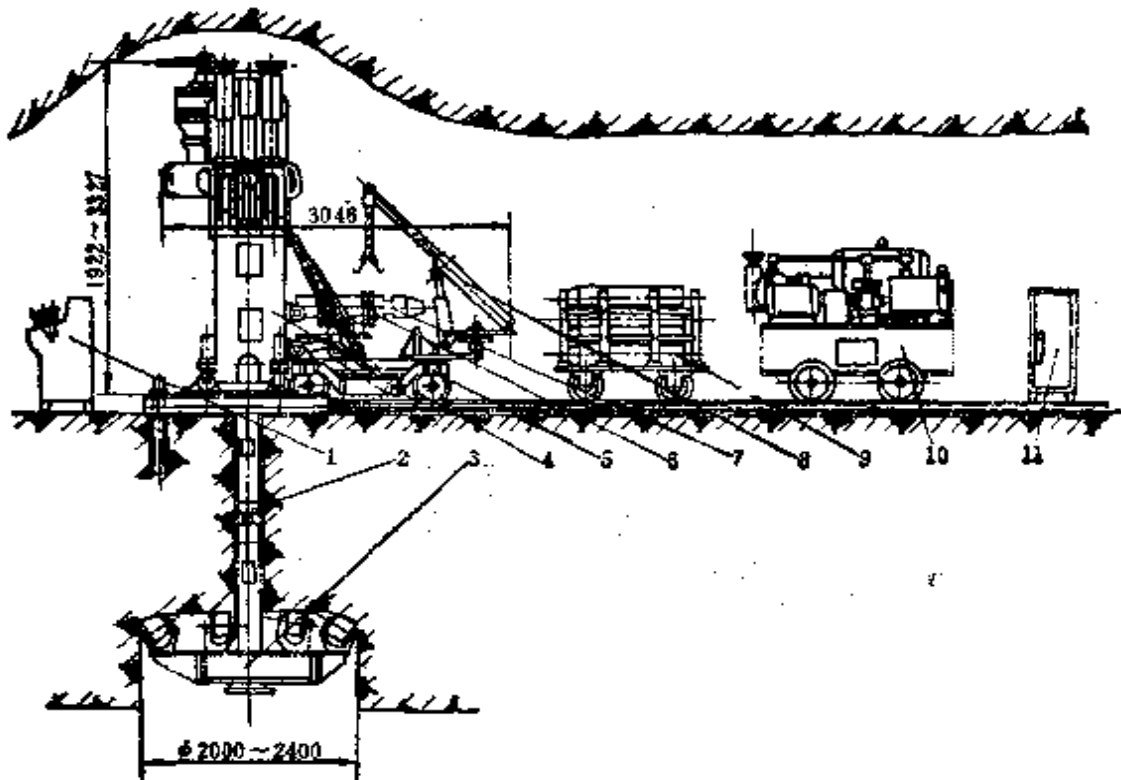


图4 钻机布置及钻扩孔示意图

1—操纵台 2—10°牙轮钻头 3—扩孔刀头 4—主机 5—行走机构 6—机械手 7—钻杆 8—转盘吊 9—钻杆车 10—泵站 11—电控柜

### 第一节 钻 机

天井钻机工作时，需要完成以下动作：主轴回转、主轴回转箱上下移动（钻杆、刀具的推进与快速移动）、钻杆的装卸、钻

架固定等。

钻机由机架、回转箱、推进油缸、辅助卸杆器、支承座等主要部件组成。

### 一、机架

机架（图5）主要是由底座、侧立槽形框架以及横梁组成的方形框架，各部件之间用螺栓和定位销联接。

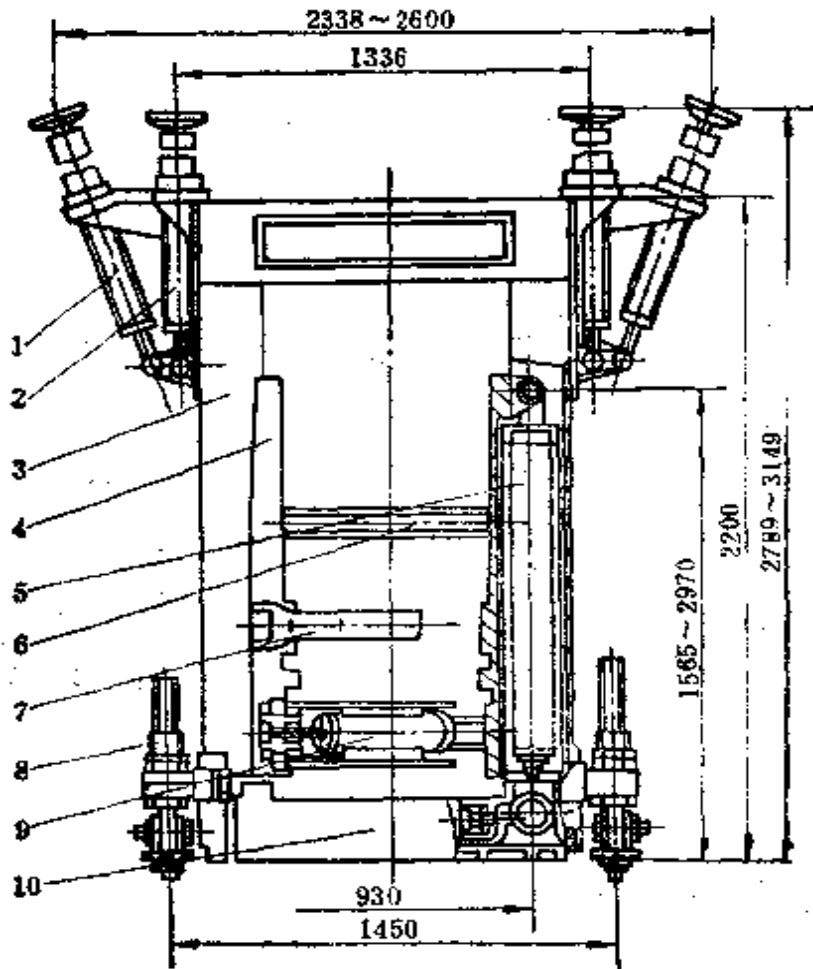


图5 机架

1—上斜顶油缸 2—上顶油缸 3—框架 4—滑轨 5—推进油缸 6—滑轨  
后联接板 7—滑轨前联接板 8—支承座 9—辅助卸杆器 10—底座

底座（图6）是一个结构件组成的方形箱体，它与侧立槽形框架、横梁等共同组成框形机架。在底座内装有扶杆器和卡杆器。扶杆器是由四个自由滚动的滚轮及滚轮座组成。滚轮座装在两块滑板上。钻井时，在液压缸（扶杆油缸）推动下，两滑板带动滚轮座向轴心靠拢，四个滚轮抱住钻杆，起扶正钻杆作用。钻

杆转动时,滚轮紧贴钻杆,随之滚动。钻机出厂前已将扶杆器对称中心调至与主轴回转中心一致,保证钻杆工作稳定。

卡杆器是一对呈 $180^\circ$ 设置的与推动油缸活塞杆联成一体卡块。在装卸钻杆时,在推动油缸作用下,卡块进入下节钻杆头部的楔槽内,即可固定钻杆,阻止钻杆转动。

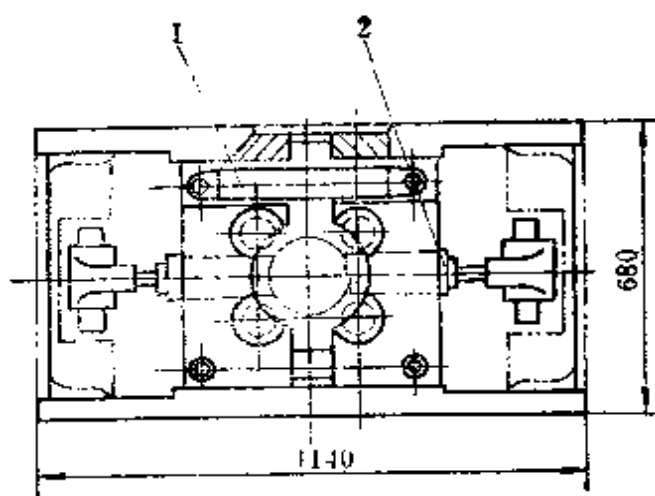


图 6 底盘

1—扶杆器 2—卡杆器

侧立槽形框架内侧,直接加工成四组平行导轨,与回转箱联接成一体的滑板在其上自由上下滑移。根据装配工艺要求,侧立框架导轨相互平行度在全长不超过 $0.2\text{mm}$ 。侧立框架外侧应有两条(在框架正面与侧面)加工过的与内侧相应导轨平行的测量基准条。这是供钻机安装时测定钻架倾斜角基准用的。

有的天井钻机侧立槽形架上还镶有标尺,便于观察钻头或刀具的进尺状况。国外生产的天井钻机钻具进尺显示一般依靠传感器与记录仪,自动记录。

用来固定钻机的下支承座与上顶缸座也是利用高强度螺钉固定在侧立框架上。侧立框架同时承受压应力与扭转力矩。

横梁是一对弓形箱式梁,它除了与侧立框架、底座共同组成刚性框架外,还用它控制侧立架上平行导轨的平行度,所以如无特殊需要,一般不要轻易拆卸。

## 二、回 转 箱

图 7 是低矮型天井钻机的一种典型结构的传动示意图。为了减小回转箱所占据的空间,尽量简化传动链,这种回转箱采用一对人字齿轮实行一级减速,其速比为 $1:3.75$ 。

主传动减速齿轮采用人字齿轮,可以提高齿轮副啮合时的重

叠系数，从而增加齿轮的承载能力。同时由于人字齿轮与斜齿轮传动不同，可以平衡传动过程中产生的轴向力，因此支承齿轮的轴承可以选用调心滚子轴承，有利于改善齿轮副的接触性能。

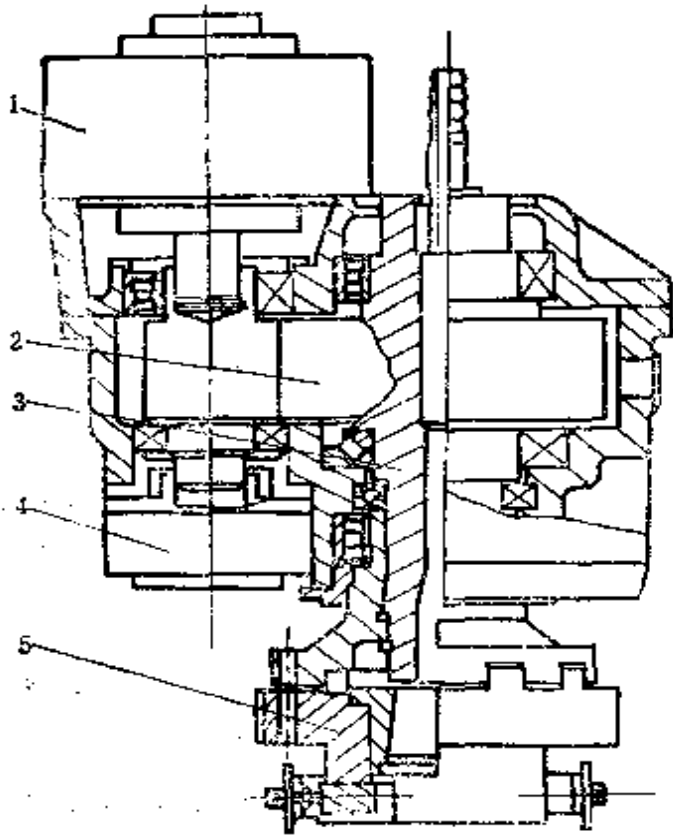


图 7 AF-2000型天井钻机回转箱图

- 1—液压马达 2—齿轮 3—主轴  
4—液压马达 5—下爪轮

可以关闭小液压马达以节省能耗。经过两年多现场使用证实，这种结构是可行的。

回转箱里的主轴是一根空心轴。轴心通孔与钻杆内孔相通，冷却刀具与排渣的冷却水即通过它流向工作面。

传动齿轮中的大齿轮与上爪轮通过花键固定在主轴上，来自液压马达的驱动力矩通过上下爪轮传递给钻杆。上下爪轮靠高强度螺栓结合在一起，相当于一对矩形爪联轴器。

主轴上相对设置的两副调心推力轴承可以将钻具工作时巨大的轴压力传递到机身上。

主轴回转的动力采用低速大力矩液压马达。国产天井钻机的液压马达是选用双速马达，以适应钻导孔与扩孔时的不同转速要求。TYZ型天井钻机采用单液压马达驱动。为了在不增大回转箱体积的条件下增加传动力矩，西北有色冶金机械厂生产的AF-2000反井钻机采取双液压马达同轴驱动结构，在输入轴的两端各装一台流量不同，转速相同的液压马达同步驱动。两台液压马达流量大小不一，主要考虑到：液压马达安装空间的限制；钻软岩时可以

下爪轮内装有一个导向套。导向套的锥形内螺纹与钻杆的锥形外螺纹相配合。制造工艺已保证导向套内螺纹的轴心与主轴回转中心保持同心。所以导向套除了起到联接钻杆、传递轴压力作用外，同时保证钻杆轴心与主轴同心，这是控制钻井偏斜率的主要措施之一。

在下爪轮下部还有一对呈 $180^\circ$ 设置的卡块（图8）。当钻杆头的外螺纹拧进导向套的内螺纹后，将卡块顶部的拉销拉出旋转 $90^\circ$ ，对准卡板上的凹槽，卡块在弹簧作用下，紧紧地被推入钻杆楔槽内，锁住钻杆。卡块起到楔键作用，传递力矩。

下爪轮的外圆面是个棘轮。卸钻杆时辅助卸杆器上的棘爪推动棘轮，使钻杆与导向套的联接螺纹松开。

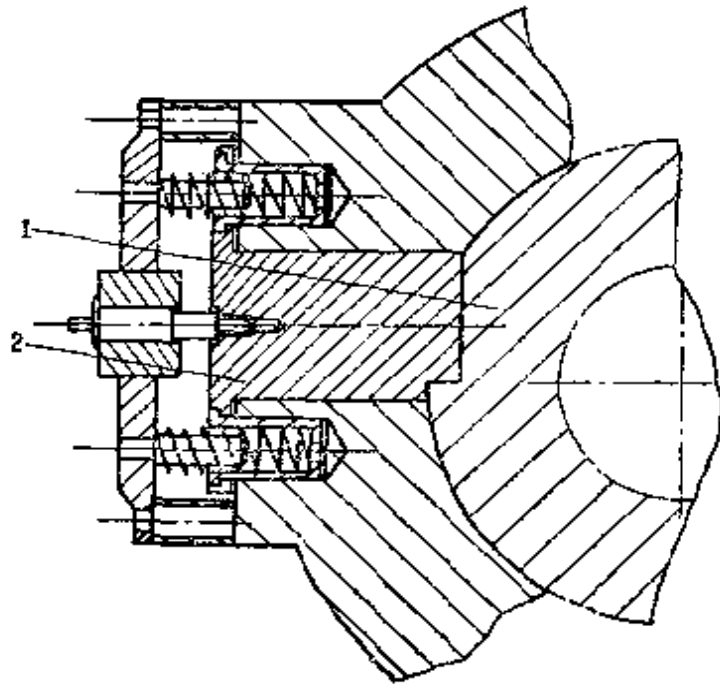


图8 卡块图  
1—钻杆 2—卡块

回转箱的箱体一般采用35铸钢件，使其有足够的强度。有的厂家将箱体设计成剖分式，目的是为了检修维护方便。但它在一定程度上削弱了箱体的强度和刚性。

国外天井钻机的回转箱多半设置多级变速齿轮。例如美国罗宾斯公司生产的83RM-HZ天井钻机采用行星齿轮变速机构，有三个换档速比 $209.65:1$ ； $57.125:1$ ； $12.5:1$ ，输出速度分别为 $0\sim 8.8\text{r/min}$ ； $0\sim 32.4\text{r/min}$ ； $0\sim 11.8\text{r/min}$ 。主驱动则由两台平行设置的同步变量液压马达执行，速度变化范围大，转速较高，可以适应不同岩层的需要，故生产效率较高。不过，虽然采用行星齿轮结构，使回转箱体积减小，但它毕竟有三对齿轮

副，加上液压变速操纵系统，总的说来其回转箱体积仍比国产低矮型天井钻机大得多。此外由于结构复杂，也给设备维护检修增加了难度。

### 三、推进油缸

推进油缸（图9）是复合式结构。大油缸的活塞杆通过销轴与铰链座联接，铰链座固定在钻架底座上。一对小油缸的活塞杆与滑板上的铰链联接。三只油缸都联结在一块联接板上。当油缸活塞端面一侧进油后，推动滑板上移；压力油进入另一侧，则滑板下移。显然，在同样压力下，滑板上升时拉力比滑板下移时的推力要大，这与刀头扩孔（滑板上移）所需的轴压力要比导孔钻进（滑板下移）时大的要求是一致的。

采用这种复合油缸结构，可使钻机工作高度降低15%~20%。同时，由于活塞行程的缩短，可增强油缸刚性，使活塞移动更平稳。对井下运输、减少峒室开挖量至关重大。

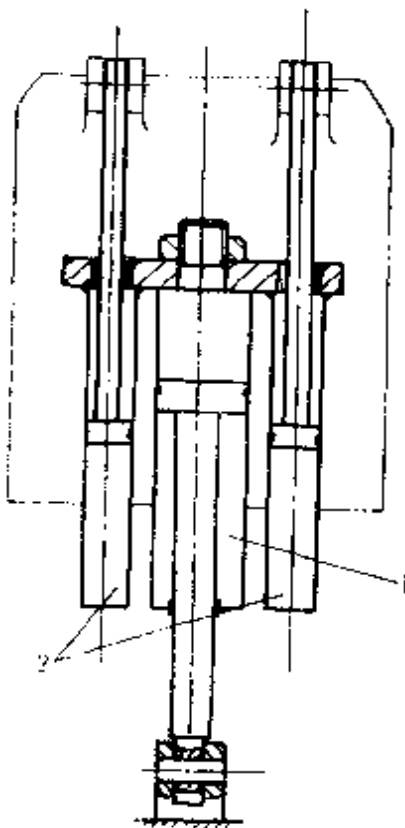


图9 推进油缸  
1—主油缸 2—侧面油缸

但是这种紧凑的结构也存在下述问题：

1. 排列紧凑，维修空间过于狭窄。特别是钻架采用槽形板框架结构，如果推进油缸内发生故障，在井下现场进行检修比较困难。

2. 每组推进油缸有三对活塞环、三组活塞杆密封圈，密封带增加近一倍。很明显，这大大增加了泄漏、窜油的可能性。因此推进油缸加工精度与密封元件的可靠性成了钻机工作可靠性的关键因素。

当然采用圆柱滑轨（其中两根滑轨又兼作推进油缸）结构也同样不是十全十美的，也存在许多问题。首先，油缸体与活塞杆除工作时承受的轴压

力外，还需承受钻具产生的弯曲应力与力矩，其次，钻机工作时的高度明显增加；第三，运行过程中难以避免的活塞杆损伤（磕碰与磨损）都会严重影响推进油缸的工作。

所以，如何综合两者优点，克服各自不足，设计出较完善的推进油缸结构是天井钻机设计工作者孜孜以求的目标之一。

#### 四、支承座

支承座（见图5）实际上是螺旋千斤顶，它与上顶缸共同构成钻机的支承固定系统。螺杆通过铰链与支承底板联接。支承板底面呈齿形沟槽状以增加底板与基础的附着力，防止滑动。底板上钻有若干地脚螺栓孔。螺杆装在螺母座里，螺母座联接在钻架上。转动螺母则带动钻架升降，以此调整钻架倾角。有的在调整螺杆内设计有液压油缸，使调整更省力。

支承座上螺杆调节完毕后即用螺母锁紧，然后启动上顶油缸，使钻架牢牢固定。

#### 五、上顶油缸

上顶油缸（见图5）是液压油缸与调节螺杆组合而成的上支承柱。在钻架两侧各设置两个上顶油缸和一个上斜顶缸，使轴压力和力矩均匀地传递到峒室上部岩层。上顶油缸的支承板和活塞杆用球铰链联接，以适应岩石面的不同角度的支撑点。

当钻架安装方位调整好后，将上顶油缸的顶紧力加到额定值（一般为22~25MPa），然后锁紧螺杆。液压缸进油路是逆止回路，以保持上顶油缸的压力。

为了增大支承面积，上顶缸的支承板并不直接支承在岩石上，中间应垫以结实的枕木。

## 第二节 行走机构

钻机在井下搬运主要有两种方式：主动型和被动型。国外生产的天井钻机多数是主动型。主动型就是除了钻机本身外，另外还配备一台专用的履带式运输车。履带车的驱动有气动和柴油驱动两种。钻机卧装在履带车上。将钻机运到现场混凝土底板上

后，履带车即可自行撤走。履带车仅适用于无轨巷道运输。

目前我国地下矿巷道中轨道运输仍占多数，因此国产天井钻机的行走机构基本上都是轨轮式的，而且自身不具备牵引能力，需另用电机车牵引。这样可以简化机构，降低钻机成本，比较符合我国多数矿山的实际条件。选用国产天井钻机必须向制造厂提供矿山的轨距。

TYZ系列和AF-2000型国产天井钻机都是轨轮式行走机构，在行走机构上安装有斜撑缸、机械手、液压吊及卡轨器等。集运输、安装、钻杆吊装诸功能于一身，结构紧凑，占据空间小。

图10是钻机处于工作状态时行走机构示意图。

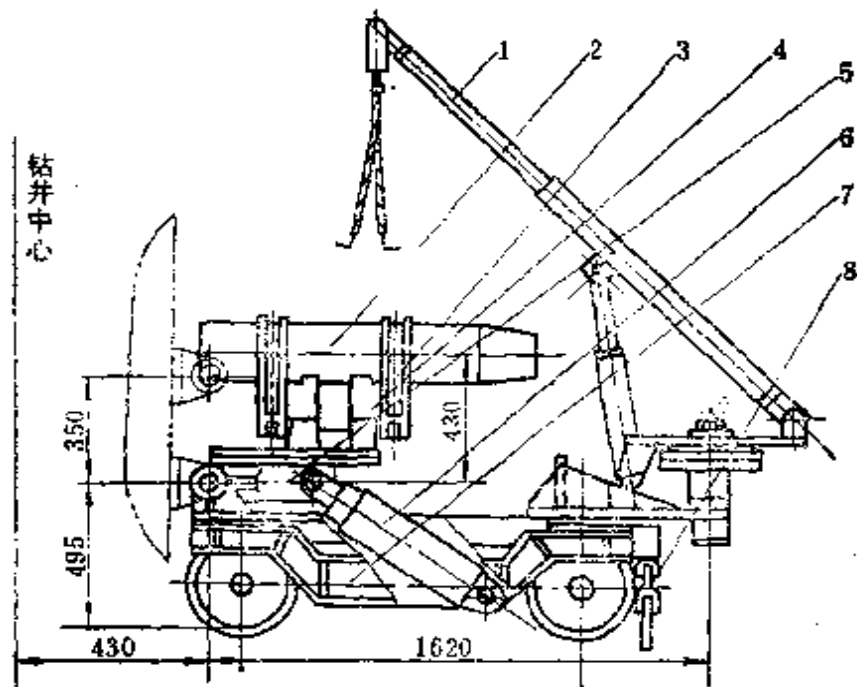


图 10 行走机构

1— 液压吊 2—机械手 3—钻杆 4—转臂 5—转动架 6—斜撑油缸  
7—行走机架 8—卡轨器

此时机械手 2 与液压吊 1 均安装在行走机构上，斜撑油缸 6 联接在机械手上，装钻杆时机械手在斜撑油缸推动下翻转 $90^\circ$ ，此时机械手圆弧爪的中心（即所夹钻杆轴心）与钻机主轴中心同心，便于钻杆的对中。

搬运钻机时应将机械手与液压吊卸下来，将斜撑油缸活塞头与钻架上的横轴连在一起，钻架的起立与放倒依靠斜撑油缸强大

推力的作用，无须另设吊装设施。

液压吊有自身单独的操纵回路，用它吊装钻杆，减轻工人劳动强度。液压回路仅承担起落钻杆。吊杆回转仍须人力推动。

机械手的动作比较简单：将钻杆抱紧或松开。机械手翻转 $90^\circ$ ，传送钻杆，将钻杆中心对准主轴回转中心。安装机械手时务必注意其定位记号。

起立或放倒机架时，行走机构自身重量远远不足于平衡钻机的重量。因此要借助于设置在行走机构后部的卡轨器，使起立或放倒机架时行走机构不致于翘起或滑行。卡轨器是一对能卡住钢轨凹部的卡爪。

### 第三节 泵 站

泵站是驱动钻机运转的压力油供给处，它主要包括油泵、油箱、过滤器、冷却器等部分。多数泵站是将油泵与油箱安装在一起。

图11是国产TYZ系列AF-2000型天井钻机泵站的典型结构。这种泵站结构是将油泵与油箱合装在一起，油泵置于油箱的上方，以简化结构，减小占用空间。但油泵自吸、初步启动较困难。

全液压驱动的天井钻机，其液压回路一般分为主驱动回路与操纵控制回路。后者包括钻杆推进油缸。这两条回路工作介质的流量与流速相距甚远，所以一般都设计两套各自独立的液压回路，安装两台油泵，分别供油。

为了减小钻机

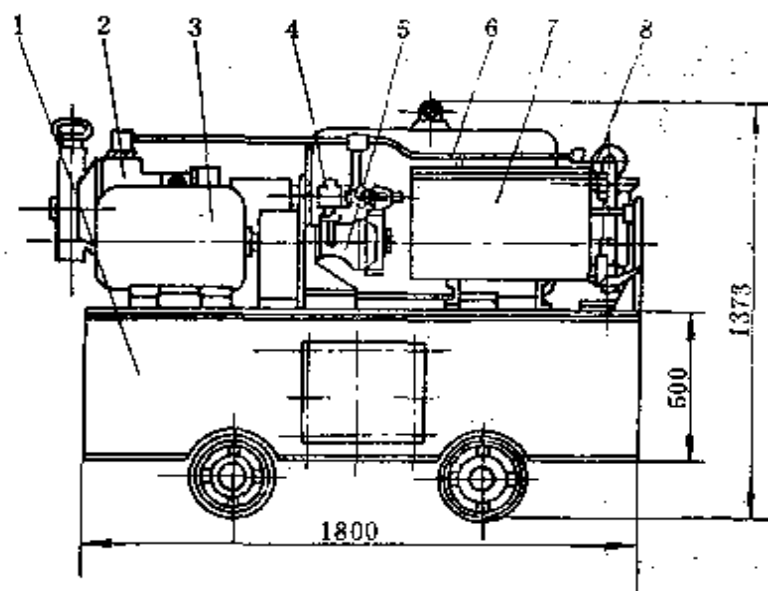


图 11 泵站

- 1—油箱 2—250SCY14-1油泵 3—JU2-62-4电动机  
4—直角单向阀 5—25SCY14-1油泵 6—泄油管  
7—冷却水箱 8—滤油器

整机体积，天井钻机液压系统的工作压力设计较高，一般高达20MPa。所以各厂家基本都选用柱塞油泵供油，且以液控变量泵居多。

泵站结构并不复杂，液压元件也不多，但它对液压系统的工作可靠性影响极大。综观许多天井钻机现场使用记录来看，约50%以上的故障是发生在液压系统，而其中的75%左右故障是发生在泵站或起因于泵站，特别是在工作介质的净化方面。这是个至关重要而又往往被操作工人忽视的问题。

泵站过滤系统的设计与滤油器的选用各生产厂都费一番心思。各种设计基本都是选用通用元件，结构上无需作什么介绍。笔者仅是根据自己现场钻井实践谈谈对过滤系统设计的一些看法与评价。

从设计角度看，滤油系统通过能力应比常规计算结果略大一些为好。尤其是回油路上的滤油器通过能力宜更大一些。这是基于下列因素考虑的：

1. 应尽可能降低回油流速、减少回油管阻，使回油得到充分的冷却，降低油温。

2. 井下作业空间狭窄、粉尘大，加上操作工人水平影响，液压油极易受到污染，滤油器易受堵塞，使用一段时间后其实际通过能力将大大低于设计能力。

3. 由于设备体积所限，油箱纵断面积不可能很大，一般吸排油口距离较近，如排油速度过快，易在吸油口附近区域形成漩涡，产生气泡，从而影响液压系统的正常工作。

液压系统应尽可能设计成全封闭式。

在过滤器的选用上不宜选用纸芯滤油器。固然这种滤油器过滤精度较高，但它需要经常更换纸芯。在井下每更换一次纸芯，都会增加工作介质污染的可能性。

另外宜将冷却器置于油箱外，便于检查，清洗和修理。

泵站工作指示仪表有的安装在泵站上方，也有的集中在操纵台上。

#### 第四节 液压系统

不管何种型号的天井钻机，只要主驱动为液压驱动者，其液压系统必然包括：主轴回转、钻具推进、操纵控制三大部分。

图12是AF-2000型国产天井钻机的液压原理图。从原理图可以看出，这种钻机的液压系统分成两个独立的系统回路。供应主轴回转的液压回路由径向柱塞变量泵250SCY14-1供油，经单向阀进入手动三位四通换向阀，然后直接进入双速液压马达NJM-

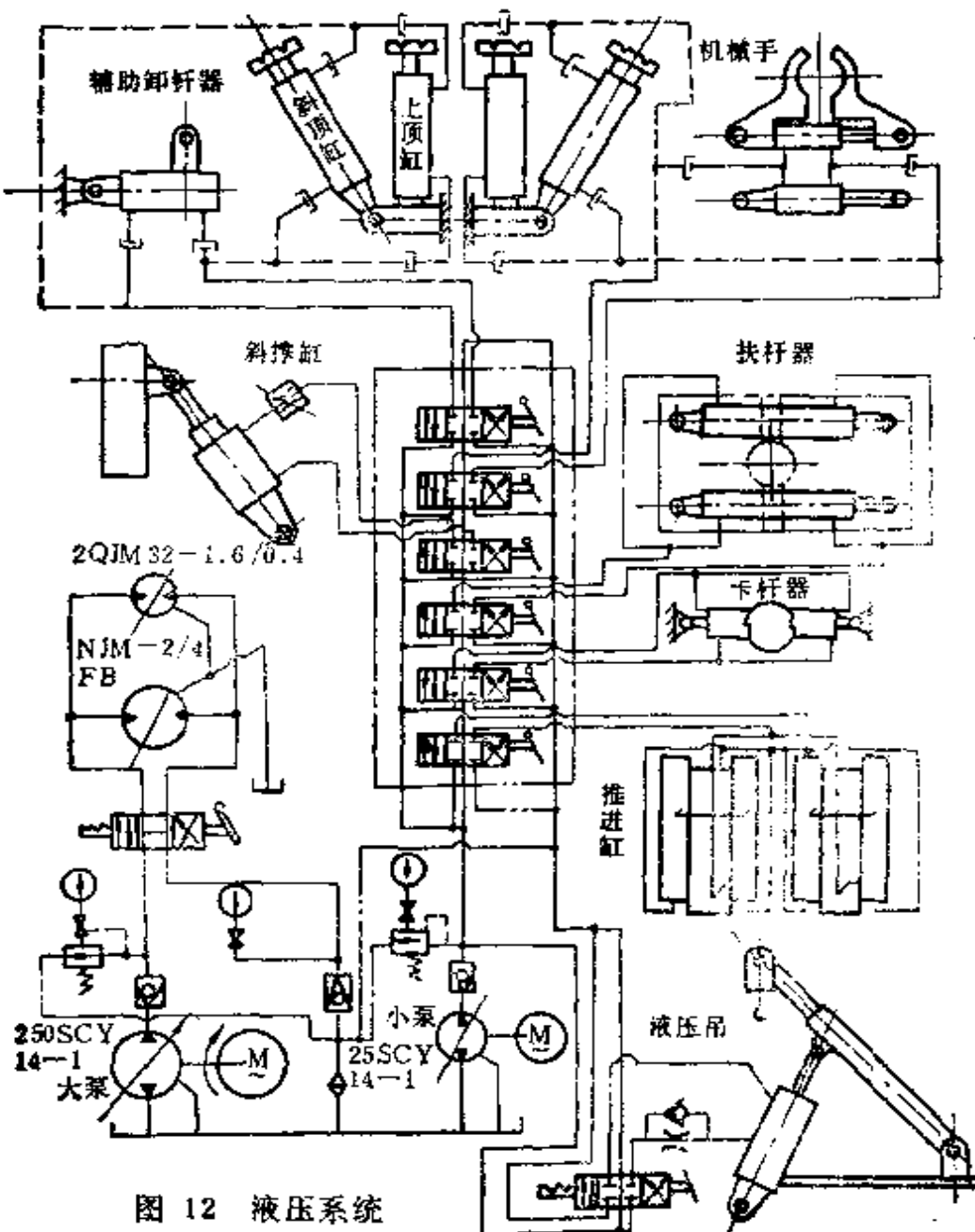


图 12 液压系统

2/4FB和2QJM32-1.6/0.4（两台双速液马达装在同一驱动轴的两端）。马达的正反转、停止由手动换向阀控制。单向阀是为了防止油泵停止运转后高压油回流而造成机械事故。系统的压力靠溢流阀调节。在液压马达的回油路上还装有背压阀（也是一种单向阀），以保液压马达运转平稳。

控制液压回路担负除主轴回转外所有液压操纵工作。该回路由小径向柱塞变量泵25SCY14-1供油。系统工作原理与主轴回转回路相似，不同的是将控制各液压缸工作的手动换向阀组合为多路换向阀，以减少元件安装面积。多路换向阀中间位置的通路选用“0”型。阀处于中间位置时，各油口全封闭。使用这种阀，当任一阀心处于中间位置时（即操纵手柄处于“停止”位置时）：油泵不卸荷；不影响其它并联的换向阀工作；可以把双作用油缸锁在行程内任何位置上。一般地说多路换向阀换向时尚较平稳。

液压吊油缸下腔油路上安装的单向节流阀的目的是：为了使吊重物时下落比较平稳，避免发生安全事故。在检修时要注意单向阀的安装方向。

为了减少钻机整机体积，液压系统工作压力一般都设计成较高压力。国内生产的天井钻机工作压力一般设计成20MPa左右。所以回路管线的泄漏成了液压系统比较突出的故障之一。尤其是管接头的密封成了液压系统急待改善的问题之一。管接头的联接有的生产厂家选用快换接头，有的选用固定接头。这两种接头各有利弊。快换接头安装使用方便，缺点是有的配套厂家产品质量不过关，快换接头互换性差，容易产生泄漏；固定接头泄漏问题相对不太突出，但其安装有些不便。

当然，上述所列液压系统与国外同类设备相比比较简陋，操纵也不方便，换向冲击比较大。不过它结构简单，维护方便，成本低廉，工作基本可靠。目前国产天井钻机液压系统大同小异，比较适合国情。

国外钻机管路联接普遍采用快换接头。不过备件供应比较困难。

## 第五节 操 纵 台

操纵台集中了液压系统与电控系统的阀、指示仪表和报警装置等。国外天井钻机的操纵台上还装有记录仪表。

国产天井钻机操纵台结构比较简单，而且多半选用手动操纵阀。操作者在操纵台前可控制：油泵的启动与停止；回转箱变速齿轮的换档，推进油缸的升降；主轴的正反转及停止；钻架的起立与放倒；上顶缸的升缩；液压吊杆的起落……，总之所有液压与电气控制的动作在操纵台前均可控制。按有关标准规定，所有操纵手柄及按钮均应设有指示标牌。总停按钮一律选用醒目的红色按钮，而且应大于其它按钮。

国产天井钻机操纵台上装有液压控制元件。液压控制元件与电气元件都比较简单，操纵台体积也较小。液压元件一般包括：溢流阀、减压阀、单向阀、多路手动换向阀等。

指示仪表有：压力表、电压表、电流表等。另外按标准规定还设置有报警联络装置，如电铃、警灯等。

进口天井钻机操纵台就复杂多了。这是因为这些钻机自动化程度都比较高。它与国产钻机的主要区别有：

1. 操纵台上操纵手柄被按钮所代替，电控伺服阀取代手动滑阀。
2. 主轴转速与进尺速度随负载变化而自动调节。操纵台上安有钻进记录仪、监视器、钻深记录仪以及报警指示灯等。
3. 专门设置有显示油位、油温的指示仪表与报警灯具。
4. 用于煤矿的天井钻机是防爆型，其操纵台还安装瓦斯监测仪。当工作现场瓦斯浓度达到0.5%时，警告灯（闪光）向操作者发出警报。如果浓度达到1%，则主电路断路器打开，自动断路。

## 第六节 电 控 柜

图13是AF-2000型国产天井钻机的电气原理图。这种天井钻



### 第三章 钻具及扩孔刀头

如前所述，天井钻机的钻井方式主要是先由上向下钻导孔，然后自下向上扩钻成井。为了完成钻导孔和扩孔工序，需要配备一套钻具和扩孔刀头。

#### 第一节 钻 具

钻具(图14)由三牙轮钻头1、短节2、稳杆器3和钻杆4等组成。

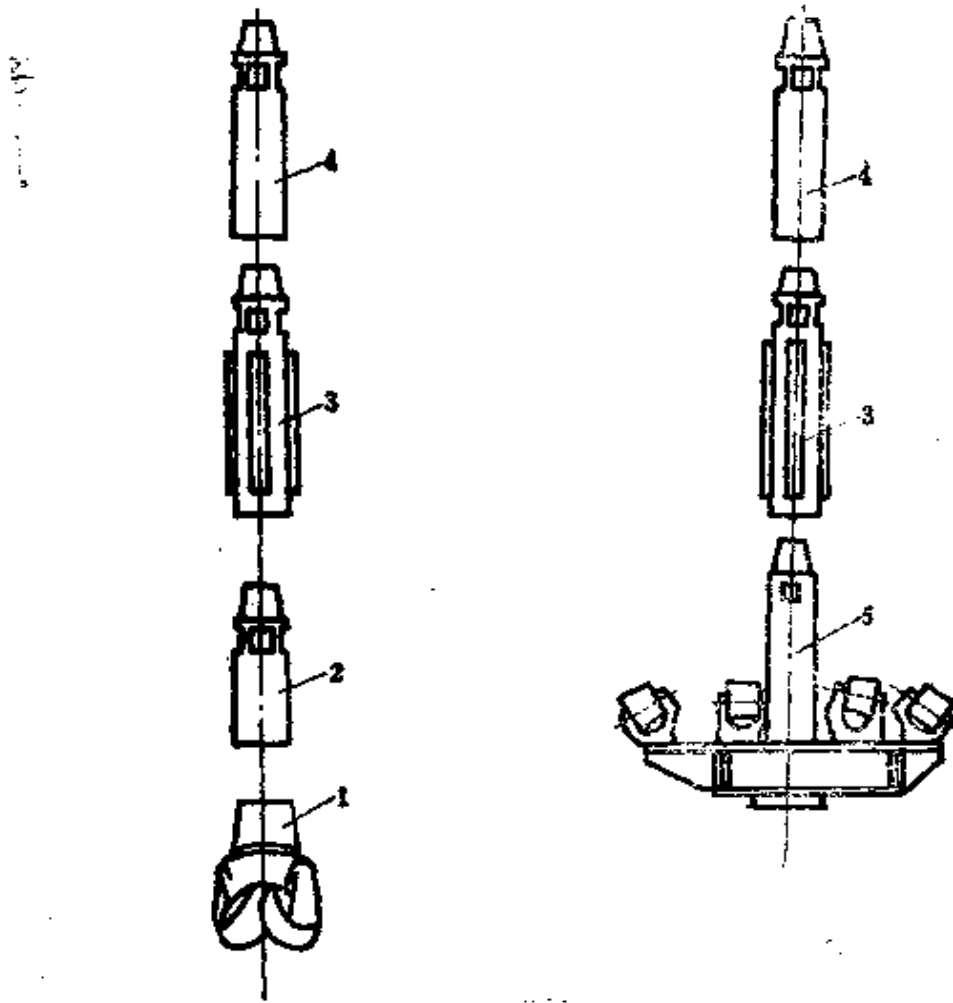


图 14 钻具

1—三牙轮钻头 2—短节 3—稳杆器 4—钻杆 5—扩孔刀头

## 一、三牙轮钻头

目前矿山主要用三牙轮钻头钻导孔。钻头直径应和钻杆直径、钻非直径相适应(见表2)。

表 2 钻头直径表

|           |            |             |                  |             |
|-----------|------------|-------------|------------------|-------------|
| 扩孔直径 (mm) | $\phi$ 500 | $\phi$ 1000 | $\phi$ 1500~2000 | $\phi$ 3000 |
| 钻杆直径 (mm) | $\phi$ 168 | $\phi$ 176  | $\phi$ 200       | $\phi$ 250  |
| 钻头直径 (mm) | $\phi$ 218 | $\phi$ 216  | $\phi$ 250       | $\phi$ 310  |

## 二、钻杆

钻杆是用来联接钻具，传递轴压力和力矩的。钻杆的直径随钻导孔的牙轮钻头的直径不同而不同(见表2)。

钻杆是一根中空的空心轴，两端分别是锥形内外螺纹，以便两钻杆首尾相接。锥形螺纹在实用中对心方便，自锁特性好。钻杆螺纹的精度对钻杆安全可靠地工作关系极大。加工螺纹的关键在于牙形精确，与轴心的同心度好。否则，两钻杆联接后，螺牙间的接触成点接触或线接触，应力集中，压力增大，在传递巨大的力矩后螺牙间容易形成胶合状态，卸杆就很困难。两钻杆同心度差钻杆在工作过程中不仅偏摆严重，加快钻杆的磨损，而且会影响钻井的偏斜率。

钻杆材质的选用与加工前后探伤检验都是不容忽视的重要环节。不然在钻进过程中如发生断杆，将造成刀头坠井事故。因此用户在选购天井钻机时有必要了解钻杆制造厂商的产品质量。

钻杆中央通孔用来通冷却水，同时也可以减轻钻杆重量。

国产天井钻机的钻杆长度一般为1m(不计外螺纹段)，进口天井钻机的钻杆普遍较长，多为1.5m。

## 三、稳杆器

天井钻机钻进过程中，钻杆组不断接长，钻杆的自重和所施加的轴压力会使钻杆组出现一定的挠度。当钻具转动时，钻杆的联接螺纹段会产生弯曲应力，容易损坏钻杆。所以在钻杆组接长过程中每隔一定距离需加接一节稳杆器。稳杆器在钻进过程起导

向作用，防止导孔偏斜。同时也对钻杆的螺纹部分起保护作用。

目前使用的稳杆器一般都比较简单，即在普通钻杆外缘焊上四条条带形的稳定块，在稳定块表面堆焊耐磨合金(如碳化钨)。条带形稳杆器与导孔壁间有较大的空隙，便于岩渣的排出。国产稳杆器其外圆直径(条带旋转轨迹直径)一般比牙轮钻头直径小3~5mm。国外也有采用滚轮式的稳杆器，结构比较复杂，易损坏。

#### 四、短节

短节用来联接牙轮钻头和钻杆，实际上相当于短钻杆，同牙轮钻头联接后的总长度与钻杆相当，直径也与钻杆相同。

### 第二节 扩孔刀头

扩孔刀头是天井钻机最主要的配套设备。它的结构受钻井直径和岩石性质制约。

扩孔刀头必须具备良好的适应能力，才能发挥其钻进效能，才能实现高效率、低费用。目前国内生产的扩孔刀头常用的有 $\phi 500$ 、 $\phi 1000$ 、 $\phi 1500$ 、 $\phi 2000$ 及 $\phi 2400$ 等规格产品，根据用户需要还可以设计出其它规格扩孔刀头。

天井钻机的扩孔刀头(见图15)由刀盘1、滚刀座2、破岩滚刀3以及拉杆4等组成。

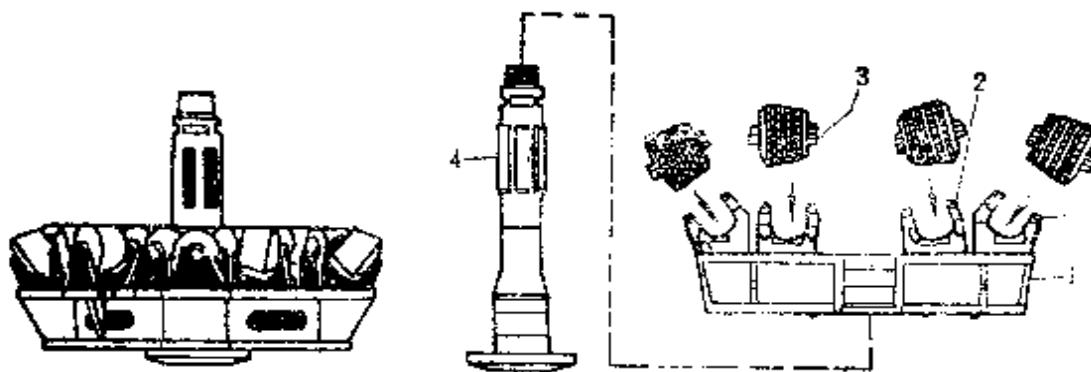


图 15 扩孔刀头

1—刀盘 2—滚刀座 3—滚刀 4—拉杆

刀座焊接在刀盘上，滚刀安在刀座上，然后通过拉杆与钻杆联接。拉杆传递拉力和力矩。各部分的结构特点分述如下。

### 一、刀盘

随着采矿工艺及其它地下开挖工程的发展，刀盘的直径不断地增大。目前国外生产的扩孔刀头直径已达到6.3m，国内目前生产的扩孔刀头直径最大者已达2.4m。当然刀头直径是与天井钻机的钻井能力相适应的。随着刀盘直径的增大，刀盘结构也发生了相应的变化。刀盘结构设计的主要趋势是向单层组合式刀盘发展。它的优点是：结构紧凑，重量轻，可实现一机多用，降低用户投资。另外单层刀盘滚刀布置在同一平面上，边刀少，所需力矩小。目前使用的刀盘结构有两种：整体式和组合式。前者多用于直径1.5m以下刀盘，后者多用于直径1.5m以上的刀盘。整体式刀盘直径是固定的。组合式刀盘用户可根据实际需要随时组合成不同直径的扩孔刀头。如与AF-2000天井钻机配套的扩孔刀头就可以组合成 $\phi 1500$ 、 $\phi 2000$ 、 $\phi 2400$ 三种规格。

刀盘工作面形状对其使用性能有很大影响，所谓刀盘工作面形状，就是指刀盘上所有滚刀的刃部钻凿天井掌子面所形成的包络面。视岩石性质、刀盘直径以及滚刀形状的不同，各扩孔刀头制造厂商都设计了各不相同的刀盘。常见的刀盘工作面形状有平面形(图15)、圆弧形及锥形

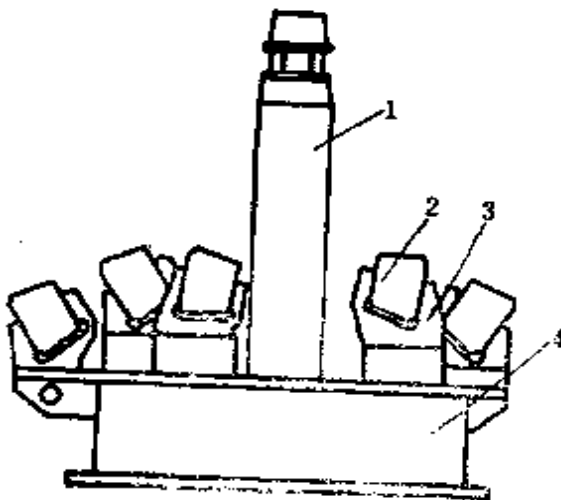


图 16 锥形扩孔刀头

1—钻杆 2—滚刀 3—刀座 4—刀盘

平面形(图15)、圆弧形及锥形

(图16)三种形状。国内目前

常用的是单层平面型刀盘。

这种刀盘结构简单，制造方

便，有良好的定心性能，可

减少滚刀和岩石间的相对滑

动，减少滚刀的磨损。

### 二、滚刀

天井钻机是用滚刀来破

碎剥离岩石的。滚刀的结构

形式及其在刀盘上的布置对

天井钻机的钻进效率具有突出作用。同时滚刀的消耗也极大地影响到使用天井钻机的掘进成本。因此必须认真谨慎地设计和选用滚刀。

滚刀的结构形式应与破碎岩石的性质相适应，它的材质应具有高强度、高冲击韧度和高耐磨性。

在滚刀的设计、制造和使用过程中应充分考虑以下几点：

1. 对不同岩石的适应性。我国矿山岩石多变，为了使滚刀有效地破碎岩石，针对不同的岩石应选用不同结构形式的滚刀。目前还没有一种单一形式的滚刀能用来破碎所有不同性质的岩石。所以在选购天井钻机与滚刀时应事先向设备供应厂商提供矿山岩石性质资料。为了制造和选用的方便，现在的滚刀已实现标准化、系列化。用户可根据不同岩石性质选用更换相应标准的滚刀。

2. 要求滚刀具有合理的钻进技术经济指标。天井钻机的钻进速度是衡量天井钻机技术水平的重要指标之一。应使滚刀能以较高的掘进速度和消耗较小的功率进行工作。一般认为，只有使滚刀将岩石成大块（片）地破碎剥离下来才能达到这个目的，这样可以减少滚刀的磨损。因此宜采用以剪切破岩方式为主的新型滚刀。

3. 滚刀应有较长的工作寿命。对于钻凿硬岩来说，滚刀的费用是钻井费用中最主要的一项。延长滚刀的使用寿命有其特别重要的意义。其中刀刃的耐磨性和轴承的使用寿命决定了滚刀的寿命。所以设计制造中应对刀刃材质的选用、轴承结构形状与制造工艺应予以特别的重视。合理的选用和经常性保养也是不可忽视的。

目前，天井钻机上用的滚刀基本有以下三种形式：

- 1) 合金钢盘形滚刀（图17a）；
- 2) 多刃镶齿盘形滚刀（图17b）。
- 3) 密齿滚刀（图17c）。

合金钢盘形滚刀和多刃镶齿盘形滚刀是以剪切为主的方式进行破岩，它的破岩机理如图18所示。

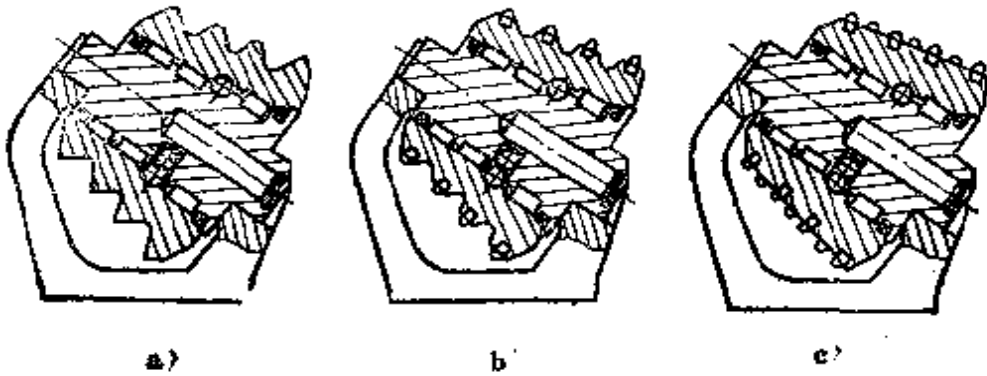


图 17 滚刀结构形式

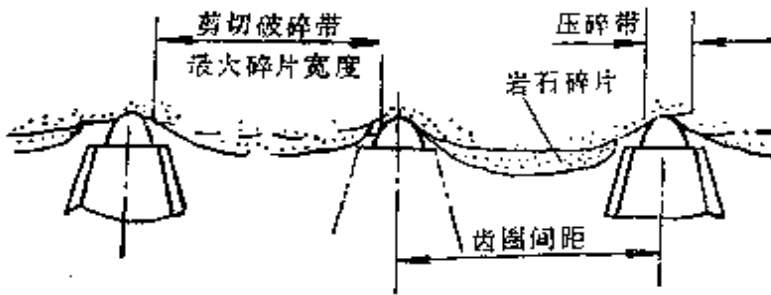


图 18 镶齿盘形滚刀破岩原理

合金钢盘形滚刀和多刃镶齿盘形滚刀的结构特点是力求缩小滚刀的刀刃和岩石的接触面积，增强刀刃对岩石的剪切作用。多

刃盘形滚刀在向上拉力的作用下，除刃口直接压入岩石面外，刃口两侧的岩石因受强烈挤压和剪切，岩石被破碎成大片状，从岩石面上崩落下来。由于滚刀刃口直接压碎岩石的体积占岩石总破碎体积的比例很小，因而盘形滚刀破岩效率较高，功率消耗也少。镶齿盘形滚刀是一种新发展的合金钢盘形滚刀。合金钢盘形滚刀的刀刃耐磨性较差，将其刀刃改用大直径锥形硬质合金齿后，可以提高刀刃的耐磨性，延长滚刀的使用寿命，同时也增大了盘形滚刀的适用范围，可适用于抗压强度80~140MPa的岩石。

密齿滚刀则是以压碎方式全断面破岩，在刀体上密布硬质合金齿。通常硬质合金齿形状为半球形，齿的直径为16mm，齿的突出高度为8mm。齿在极大负荷作用下破碎岩石。密齿滚刀是破碎坚硬岩石的一种标准刀型。

各种滚刀的性能和用途见表3。

表 3 滚刀性能和用途比较

| 滚刀形式   | 合金钢盘形滚刀           | 镶齿盘形滚刀              | 密齿滚刀              |
|--------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 工作面轨迹  | 条痕                | 条痕                  | 全断面点状压痕           |
| 滚刀造价比例 | 1                 | 1.3                 | 1.5               |
| 适用岩石   | 50~100 MPa        | 80~140 MPa          | 140~200 MPa       |
| 使用寿命   | 刀刃磨损较快            | 硬质合金齿耐磨             | 硬质合金齿耐磨           |
| 破岩深度   | 一次楔入深度大，<br>钻进速度快 | 一次楔入深度较大，<br>钻进速度较快 | 破岩深度有限，<br>钻进速度较慢 |
| 破岩效率   | 大片状岩渣             | 大片状岩渣               | 细粒状岩渣             |
| 互换性    | 外形尺寸、轴承及<br>密封均相同 | 外形尺寸、轴承及<br>密封均相同   | 外形尺寸、轴承及<br>密封均相同 |

### 三、刀座

刀座是用来安装滚刀用的，它被焊接在刀盘上。刀座一般为马鞍形，结构简单，工作可靠。滚刀两端的方形支承轴座落在刀座支架的方形槽中，用螺钉或压板使之固定。固定方式如图19所示。其中图19a为螺栓联接；图19b为压板联接。



图 19 滚刀支承轴固定方式

a) 螺栓联接 b) 压板联接

根据滚刀在刀盘上的安装位置，刀座又分为边刀座、正刀座和中心刀座三种。各种刀座的结构形式相同，只是支承轴线的角度不同，如图20所示。其中图20a为边刀座，图20b为正刀座，图

20c为中心刀座。

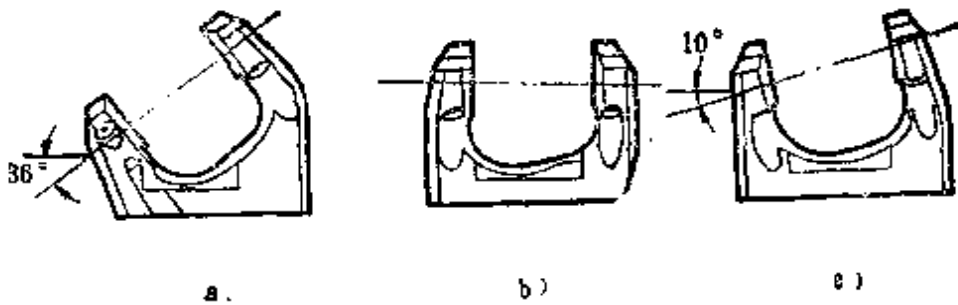


图 20 刀座

a) 边刀座 b) 正刀座 c) 中心刀座

#### 四、拉杆

刀头的拉杆用来传递拉力和力矩。拉力包括钻具组(含钻杆)重量与压向岩石掌子面的轴压力。扩孔刀头直径2.0m, 钻井深度100m时, 拉杆承受的拉力高达1000~2000kN, 力矩可达70~100kN·m。因此拉杆必须要有足够的强度和可靠的联接方式。拉杆的结构形式及其与刀盘的联接方式, 各制造厂商的产品各不相同。其中国产组合式刀盘上的拉杆结构形式较有代表性。从图16可以看到, 这种拉杆是可拆卸的花键——凸台型拉杆。花键可以传递力矩, 凸台承受拉力。这种拉杆结构简单, 拆装方便, 联接可靠, 易于制造。

#### 五、滚刀在刀盘上的布置

刀盘工作面划分为若干同心圆的布刀区, 每一布刀区可装一把或两把滚刀。使用合金钢盘形滚刀破岩时, 在同一布刀圆周上只需布置一把滚刀, 而使用镶齿盘形滚刀或密齿滚刀时, 必须布置两把滚刀, 而且其齿圈需互相交错(见图21), 以提高剪切破碎效果。

布刀区分布在刀盘上不同直径的同心圆上。按布刀区在刀盘上的位置, 可分为边刀区、正刀区和中心刀区三种。边刀安装在刀盘的最外缘, 起维持钻进最大直径的作用。边刀要有较陡的倾角, 以保证刀座外侧和井壁间有足够的间隙。正刀、中心刀与边刀组合, 对工作面的岩石进行分片剪切。刀盘上滚刀的分布见图22。

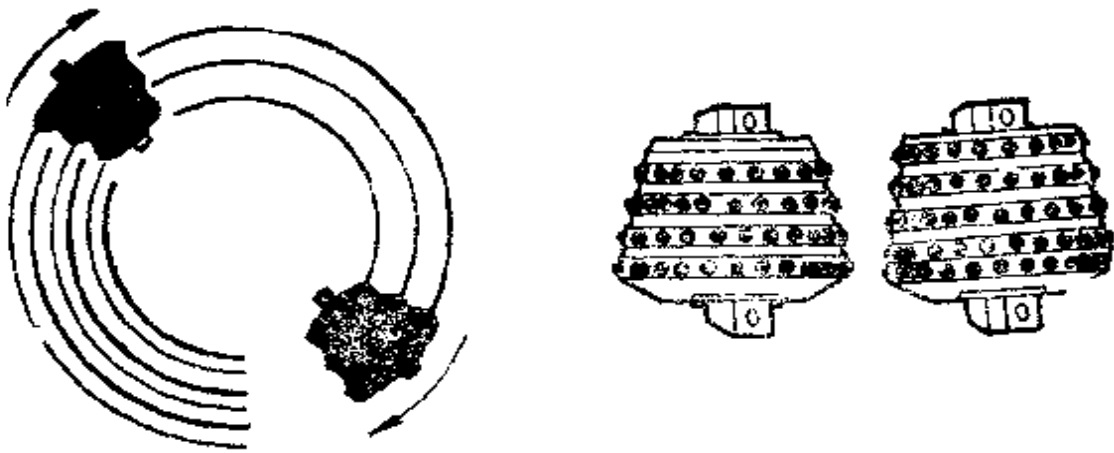


图 21 滚刀破岩轨迹

合金钢盘形滚刀、镶齿盘形滚刀和密齿滚刀，它们只是滚刀的破岩机构的形式不同，而滚刀的轴承结构和密封形式都是相同的，外形尺寸也完全相同。根据岩石情况，在现场可以换用与岩石性质相适应的滚刀。

刀盘上滚刀的数量主要是视刀盘的直径大小而定。目前国产不同直径刀盘上安装的滚刀数量见表4。

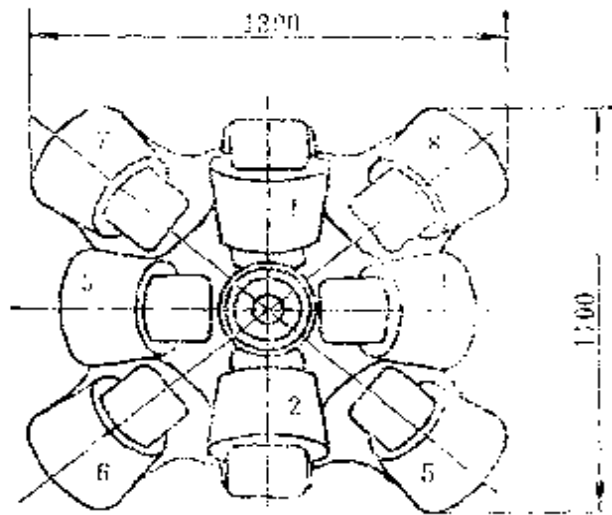
图 22 直径 $\phi 1500$ 刀盘上的滚刀排列图  
1、2—中心刀 3、4—正刀 5、6、7、8—副刀

表 4 刀盘直径与滚刀数量对应表

| 刀 盘 直 径 (m) | 滚 刀 数 量 (把) | 其中边刀数量 (把) |
|-------------|-------------|------------|
| 1.0         | 4           | 2          |
| 1.5         | 8           | 4          |
| 2.0         | 10          | 4          |
| 2.4         | 12          | 4          |
| 3.0         | 16          | 4          |

## 第四章 天井钻机的使用与维修

### 第一节 峒室准备

目前广泛使用的反扩式天井钻机，安装在上部中段峒室里，向下钻通导孔后从下部中段峒室换接扩孔刀头，然后向上反扩成井。因此在拟钻井地点的上下中段均应开掘峒室。上中段峒室用以安装钻机，是工人操作的地方；下中段峒室换接刀头，进行排渣。开挖的峒室大小因天井钻机类型不同差异甚大。国产1.5~2.0m直径的低矮型天井钻机安装峒室的尺寸只要：3.5m×4.0m×3.7m（长×宽×高）。排渣峒室视各矿排渣条件自行决定其大小，一般可比上中段峒室小。

安装峒室应清除松散浮石，岩石不稳固处需作良好的支护，以保生产安全。

在安装天井钻机处应按说明书要求浇注混凝土基础。为防止峒室掉底和井筒扩通后钻机掉入井内，在混凝土基础内还应用槽钢敷设成“井”字形机座，用以安装钻机（见图23）。

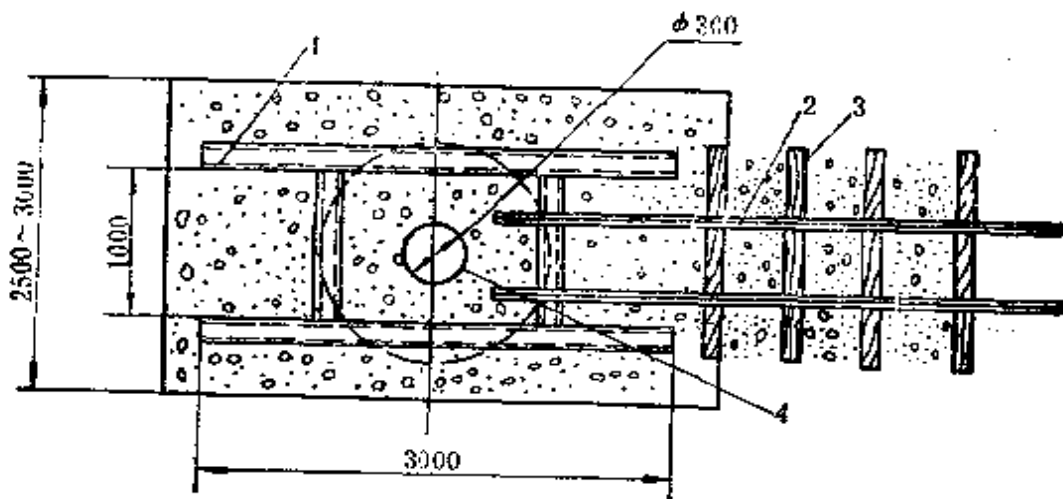


图 23 峒室安装基础

1—槽钢 2—钢轨 3—枕木 4—护圈

“井”字槽钢架根据天井钻机底座尺寸而定，要按随机使用说明书要求制作。护圈的作用是保护孔口，便于排渣，其直径略大于牙轮钻头直径，可用2~5 mm钢板卷制，高度与混凝土基础厚度相当或略大。

混凝土基础浇注步骤是：清除峒室地平的浮石至岩基后，在钻孔中心埋护圈，然后浇注混凝土。混凝土基础厚度一般为300 mm（应根据说明书要求），浇注过程中放置“井”字架和枕木，然后继续浇注，使“井”字架、枕木上的表面与混凝土基础表面处于同一平面。要注意“井”字架的对称中心必须和护圈同心。护圈内不要浇注混凝土。待混凝土凝固后即可铺设钢轨。峒室内轨道放置在枕木和“井”字架槽钢上，且其轴线调至与“井”字架轴线重合，然后将轨道焊在“井”字架上。

图23所表示基础尺寸为钻井直径1.5~2.0 m 低矮型天井钻机的基础参考尺寸。

根据选用的排渣方式，合理布置排渣用水管路。若用清水排渣，水压为0.5~1.0 MPa（这是钻导孔时排渣，钻井越深，需要水压越高），水量约20~30 m<sup>3</sup>/h；若选用气水排渣，气水压力为0.5~1.0 MPa（气压达0.7 MPa即可），用水量约10~15 m<sup>3</sup>/h。在少水矿山也可以在峒室附近巷道里堵挖水坑，利用水泵抽回水排渣。

按钻机功率容量敷设供电电缆。注意电缆和水气管都应固定在巷道壁上，防止互相撞击。

完成基础设施后即可运进设备。有条件的地方在设备运到峒室前先拉临时照明线路，便于设备安装。

## 第二节 钻机的搬运

国产天井钻机多为被动式轨轮行走，可用电机车拖运。低矮型天井钻机体积较小，一般井下巷道都能通过。直径1.0 m 天井钻机通过巷道的最小断面为1.4 m × 1.3 m（宽 × 高），最小转弯半径为12 m；直径1.5~2.4 m 天井钻机通过巷道的最小断面为1.4 m

×1.6m (宽×高), 最小转弯半径为 12 m。天井钻机的主机和泵站自身都配有行走轨轮, 可整机拖运。其它部分需放置在拖车上拖运。

主机放倒在行走机构上拖运, 在本书的第二章中已介绍过, 各型号天井钻机的行走机构差异很大。现在重点介绍在我国市场上占主导地位的低矮型天井钻机放倒机架待运的步骤:

在井下施工的天井钻机需要移位时, 放倒机架可按下列程序操作:

1. 拆除行走机构上的机械手、液压吊; 卸下钻架上的上顶缸。
2. 将斜撑缸同钻架上的支承轴联接, 拆除钻架螺栓斜拉杆。
3. 开动泵站的操纵液压泵 (小泵), 调整压力至 20~25 MPa。
4. 操纵斜撑缸将钻架缓缓拉回放倒在行走机构平台上。钻架与平台接触处应垫枕木或方木 (不必太高, 以防搬运时超高)。如压力达 25 MPa 时钻架还无法拉回, 可适当提高压力, 同时用撬杆辅助将钻架撬起。
5. 拆除液压管, 用护套或破布将液压管接头包扎好, 以防刮伤或脏物进入液压管。
6. 液压管内残留油液用一空桶装上, 不能直接倒回油箱。液压管用铁丝捆扎好。

在井下可将主机、泵站、钻杆车及其它拖车组成列车组, 用电机车拖运。拖动时要注意主机 (钻架) 上方不能与电机车上方输电裸线接火。在拖运经过的途中应事先清除路轨上的浮石与杂物, 以免车组倾翻。

在组成列车组时应考虑钻机各部分的摆放位置。操纵台宜放在钻架前侧方, 既便于观察运转情况又不影响排渣清除工作。电控柜宜放在峒室口, 电缆连接方便, 上班打开照明也容易 (往往将照明线路接到电控柜上)。钻杆车应紧挨行走机构, 否则液压吊

不起作用。据此建议拖运车组的顺序按下列排列：

钻架——钻杆车——附件车——泵站

扩孔刀头直接运到下一中段待装。

### 第三节 天井钻机的安装与试车

天井钻机拖运到施工现场后，测量好钻架中心与孔中心（护圈中心）大致同心。然后将卡轨器卡住铁轨，使行走机构固定。此时可将钻架上的上顶缸装好。同时着手接通电源，联接液压管路。

检查联接无误后，即可准备启动小液压泵。启动液压泵前务必接动警铃，提醒其他现场工作人员作好准备，然后启动小液压泵，调节斜撑缸的节流阀，将压力调整到25MPa后，操纵斜撑缸，使钻架徐徐立起。随着钻架重心的移动，当钻架立起接近70°时要特别小心，此时重心已接近钻架翻转支点。钻架重心垂线越过支点后要将斜撑缸操纵柄扳向反向，让钻架缓缓落下。如果拖运前曾将钻架的下支座拆除（拆除目的使钻架宽度减小），在钻架落下前应在钻架下方垫上方木（方木断面为200 mm×200 mm），然后使钻架落到方木上。此时可以安装下支座及钻架螺栓斜拉杆，卸下斜撑缸与钻架耳座联接销轴，收回斜撑缸。

钻架倾角是通过斜拉杆和下支座上的螺旋千斤顶调整的。测量导孔方位可用水平仪、吊锤等手段。

钻机方位调准后即可向上顶缸输送压力油。在上顶缸与峒室上方岩石间应垫上枕木。上顶缸的预紧压力控制在20~25 MPa。

装上机械手、液压吊。联接其余的液压管道，接上水气管道。

至此可以认为天井钻机已经安装就绪。全面检查安装无误后，空载运转三分钟，进一步检查各部件运转是否正常。一切都正常就可以准备正式开钻。

### 第四节 钻 导 孔

钻导孔按下列程序操作：

1. 液压马达系双速马达, 钻导孔时液压马达应处于高速档。此时应将大液压马达中心螺堵卸下换上调节螺杆, 小液压马达的中心螺杆(带手轮)旋进去。操作前应仔细阅读液压马达的换档变速说明。

2. 为防止巨大的力矩使钻杆螺纹联接太紧, 卸杆困难, 联接钻杆前应加一钻杆垫圈作缓冲垫, 垫圈用 $\phi 5\text{ mm}$ 铝丝卷制而成。另外还需在钻杆联接螺纹处涂以特制的丝扣油。丝扣油配方如下:

|               |     |
|---------------|-----|
| 细锌粉           | 60% |
| 特重杯用黄油        | 35% |
| 喷涂桐油(或熬过的菜籽油) | 5%  |

3. 上好带三牙轮钻头的短节, 用钻架底座里的扶杆器扶正短节, 打开冷却水阀门, 准备开孔。

4. 开孔初期主要是为了将孔口扫平。此时推进缸的轴压(即小泵压力)不宜过大, 一般控制在 $1.5\sim 2\text{ MPa}$ 即可。应间断提升下放钻头, 以使孔内岩渣及时排出。

5. 开孔初期对钻井偏斜率影响很大。在打完短节后, 应接入一根稳杆器, 并继续以小轴压推进。待稳杆器全部进入导孔, 钻深达 $1.5\text{ m}$ 后可按正常参数钻进。以后每钻进 $10\sim 15\text{ m}$ 接入一根稳杆器, 以确保钻进偏斜率不大于 $1\%$ 。

6. 及时观察排渣情况。孔深增加到 $20\text{ m}$ 时, 接钻杆前将钻头提升 $0.2\sim 0.3\text{ m}$ , 停钻排渣 $2\sim 3\text{ min}$ 。若发现排渣不正常, 应立即采取措施迅速处理。

7. 孔壁岩石特别破碎, 塌孔严重影响钻进速度时, 应提起钻杆向孔内注浆后再钻。

8. 整个钻进过程, 应当先通水后开钻, 先停机后停水。

### 第五节 接钻杆的方法

接钻杆的程序如下:

1. 使钻杆上的方口停在便于放置插板的位置, 并稍稍提起钻

杆使钻杆方口的下侧台阶应略高于底座面。

2. 插入插板，缓缓落下钻杆，使插板贴上底座，托住钻具。

3. 操纵卡杆器，使卡爪伸入钻杆的楔槽内，卡住钻杆。

4. 反转机头卸杆。如卸不开，可使用钻架上的辅助卸杆器。将棘爪靠入下爪轮上的棘轮，操纵卸杆器推动机头反转，帮助卸杆。螺纹松开后，收回卸杆器，继续反转机头，同时操纵推进油缸使机头徐徐上升，直至螺纹完全脱开。机头的反转和上升，两项操作同时进行，难度较大，操作者要摸索操纵经验。两者配合不好，易使螺纹损坏。国外较先进的天井钻机都设计有自动调节的程控系统。在拆接钻杆时，进给量和机头转速保持同步，以适应螺纹节距，防止损坏螺纹。

5. 机头上升至最高位置，在钻杆外螺纹段放上 $\phi 5$  铝丝圈、螺纹处涂刷螺纹油。

6. 操纵液压吊将钻杆吊到机械手合适位置上，使机械手方形卡爪正好能卡入钻杆方口内。

7. 操纵机械手，抱紧钻杆。

8. 操纵斜撑缸，钻杆随机械手翻转，套入下一节钻杆上。

9. 缓缓落下机头，使钻杆的螺纹伸进机头导向套内。为了避免机头落下时，钻杆螺纹与导向套的内螺纹撞击，安钻杆时要调整机械手安装位置，并在机械手翻转角度的最佳位置留下记号，以便以后接钻杆时，机械手可以迅速准确地将钻杆送入，保持钻杆轴心基本与机头回转中心同心。机头落下的最佳位置也要留下记号。

10. 正转机头并缓缓落下，使钻杆拧入导向套。

11. 钻杆拧进导向套后，即可松开机械手，退回原位。

12. 机头继续正转并徐徐落下，待钻杆完全接上后（此时可以看到插板刚开始转动）立即停机。

13. 松开卡杆器，将钻杆略微提起，取下插板，即可继续钻进。

## 第六节 导孔偏斜的控制

导孔的钻进偏斜一般用钻进偏斜率表示，它是指已钻导孔中心线对钻机主轴轴线的斜率或此两线夹角的正切。此斜率的允许值称为允许偏斜率。一般天井钻机允许偏斜率 $\leq 1\%$ 。理论计算表明，在一定工作条件下，当钻进偏斜率为 $1\%$ 时，钻杆危险断面处的应力值比偏斜率为“0”时增大 $8.3\%$ ，安全系数大于4；当偏斜率达到 $1.75\%$ 时，危险断面处的应力值增大约 $16\%$ ，安全系数小于4。如果发生严重超偏，钻进条件恶化，钻机负荷剧增，甚至会使钻进工作被迫中断。即使勉强钻通导孔，也会因远远偏离预定地点而增加下部嗣室的开挖量，严重者甚至使导孔报废。

造成导孔偏斜的原因比较复杂。主要原因有：岩层变化大，岩石硬度不均匀，碰上断裂带或溶洞；钻机安装不正；钻机过程钻机固定处松动；钻进参数控制不合理；钻杆同心度差，缺乏导向装置等。如钻斜天井，钻具自身重量的增加也会增大钻孔偏斜。

为了减小钻井偏斜，防止井孔超偏，应采取下列措施：

1) 钻机安装时要认真调准方位，然后采取有效方法，保证钻机定位牢靠。如钻机有上顶缸装置，可适当提高顶紧压力，并在钻进过程定期检查顶紧装置是否松动。

2) 岩石较软地段，适当降低轴压。钻进中注意观察岩层变化，随时调整钻进参数。进口天井钻机一般设计有自动调节钻进参数的自控系统。使用国产天井钻机除了参考使用说明书提供的钻进参数外，还应随时观察，认真总结，积累经验，摸索出适用本矿区的合理钻进参数。

3) 每隔 $10\sim 15\text{m}$ 加一根稳杆器。

4) 碰到断层或溶洞应当缓慢推进，间断提杆。

5) 钻斜孔时，钻机的轴向方位可比钻孔的设计方位向上大 $0.5^\circ$ 。

6) 开始前应将短节杆与牙轮钻头联接，并拧紧。

7) 选用高质量钻杆。有条件者应事先抽检若干钻杆。简单的检查方法可以这样进行：任取两根联接紧靠的钻杆，检查其侧母线平行度误差。

一般说来，采取上述措施后，钻井偏斜率控制在1%是不会有问题的。

## 第七节 导孔防堵

钻进导孔时，可用压力水或水气混合的方法排渣。压力水（或水、气）从钻杆中心孔通过牙轮钻头中心孔通到孔底，将岩渣从钻杆和孔壁之间的环形空间带出孔口。当压力水在循环中受阻，水不能从孔底流通到孔口时称之为“堵钻”。堵钻后岩渣沉积在孔底，使钻杆转动扭矩加大，甚至使钻杆无法升降，造成严重事故。

堵钻的原因主要是钻进过程中供水不正常或水量太少。用三牙轮钻头钻进导孔时，在一定的钻进速度下，如果有足够的供水量即可将岩渣排出孔口，避免岩渣往复破碎，防止堵钻现象发生。

钻导孔时排渣所需最小水量可以这样计算：

应使水渣混浊液上排流速 $v_f$ 大于最大岩渣沉降速度 $v_p$ ，即

$$v_f > v_p (1-s)^k (1-\delta)^2$$

式中  $v_f$ ——钻杆与孔壁环形空间水渣混浊液上排流速 (cm/s)；

$v_p$ ——岩渣在静水中沉降速度 (cm/s)；

$s$ ——二相流中的岩渣体积浓度 (%)；

$\delta$ ——岩渣粒径与孔径之比，一般可忽略不计，比值很小；

$k$ ——干扰指数，一般 $k=1\sim 2$ 。

所以，上述公式可以简化为

$$v_f > v_p (1-s)^k$$

岩渣的静水沉降速度是根据下列经验公式计算的。

设 $d_r$ 为岩渣粒径 (cm)， $r_r$ 为岩渣密度，则

$$1) d_i \leq 0.264 \sqrt[3]{\frac{0.0001}{r_T - 1}} \text{ 时, } v_p = 5450 d_i^2 (r_T - 1)$$

$$2) 0.264 \sqrt[3]{\frac{0.0001}{r_T - 1}} < d_i \leq \sqrt[3]{\frac{0.0001}{r_T - 1}} \text{ 时,}$$

$$v_p = 123.04 d_i^{1.1} (r_T - 1)^{0.7}$$

$$3) \sqrt{\frac{0.0001}{r_T - 1}} < d_i \leq 4.5 \sqrt{\frac{0.0001}{r_T - 1}} \text{ 时,}$$

$$v_p = 102.71 d_i (r_T - 1)^{0.7}$$

$$4) d_i > 4.5 \sqrt{\frac{0.0001}{r_T - 1}} \text{ 时, } v_p = 51.5 \sqrt{d_i (r_T - 1)}$$

以石灰岩为例进行计算:

石灰岩密度  $r_T = 2.7 \text{ kg/m}^3$  又据历年统计, 在石灰岩中钻孔时, 排出的岩渣最大粒径约  $0.5 \text{ cm}$ , 且在排渣水量充足情况下, 每钻进  $1 \text{ m}$ , 耗时不超过  $10 \text{ min}$ 。干扰指数  $k$  按垂直管道考虑取  $k = 2$ 。这样:

岩渣在静水中沉降速度因

$$d_i = 0.5 > 4.5 \times \sqrt{\frac{0.0001}{2.7 - 1}} \text{ cm} = 0.175 \text{ cm}$$

$$\text{故 } v_p = 51.5 \times \sqrt{0.5 \times (2.7 - 1)} \text{ cm/s} = 47.5 \text{ cm/s}$$

岩渣体积浓度一般可取  $1\%$ 。

$$\text{所以 } v_f > v_p (1 - s)^2 = 47.5 \times (1 - 0.01)^2 \text{ cm/s} \approx 46.55 \text{ cm/s}$$

取  $v_f = 50 \text{ cm/s}$  则

$$\text{最小排渣水量 } Q_{\min} = v_f \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \times \frac{3600}{10^6} \text{ m}^3/\text{h}$$

式中  $D$ ——导孔孔径 (cm);

$d$ ——钻杆外径 (cm)。

如牙轮钻头直径  $D = 250 \text{ mm}$ , 钻杆直径为  $200 \text{ mm}$ , 则

$$Q_{\min} = 50 \times \frac{3.14 \times (25^2 - 20^2)}{4} \times \frac{3600}{10^6} \text{ m}^3/\text{h} = 32 \text{ m}^3/\text{h}$$

依据不同的钻井条件计算排渣所需水量十分重要，既可以保证及时排渣，防止堵钻，又不致浪费用水，污染工作面。

除此以外，还应注意采取下列措施防止堵钻：

(1) 严格管理供水系统，注意管路的连接及阀门开关的质量，防止管道爆裂，中途漏水。钻进过程随时观察供水状况，避免供水波动与中断。

(2) 增长排渣时间。当钻进深达 20 m 后，在每根钻杆接杆前，视水量大小，可使钻杆不推进，空转 2 ~ 3 min，以延长排渣时间。

(3) 注意操作程序，换接钻杆时，先停机后停水；接入钻杆后，先给水后钻进。

如果发生堵钻，可根据堵钻程度分别采取以下措施进行处理。

1) 轻微堵钻，在钻机的给水接头处接入气源，用气水吹洗。将进入牙轮钻头喷嘴、钻杆中心孔的岩渣顺钻杆与导孔孔壁之间的环形空间吹出，直到孔道疏通。

2) 堵钻比较严重，气风搅动已不足以排渣时，必须从机头处卸开钻杆，将胶管顺钻杆中心孔送至被堵塞处的上部，先送气，后注水，反复交替疏通排渣通路。

3) 如堵塞非常严重，用以上述方法均无能为力时，必须将钻杆卸下若干根，再用上述方法疏通。

## 第八节 液压系统操作注意事项

为了保证液压系统正常工作，应注意以下事项：

1. 在油箱里加注机械油或透平油，使用说明书有特殊规定者应遵照说明书要求。环境温度高时选用粘度较高的机械油，反之选用较稀机械油。

2. 加油和操作过程中应随时观察油箱油标所示的油位高度，以保证油箱有足够的储油量。

3. 接入液压管路的接头和元件必须清洗干净，有条件者管道

最好先用压气吹洗。

4. 应保证冷却器有足够的水量,使油箱油温不要超过 $60^{\circ}\text{C}$ 。如果油温超过 $60^{\circ}\text{C}$ 时要停机降温。

5. 启动油泵前,必须通过泄油口或回油口向泵体内灌满清洁的工作油液,否则容易将泵烧坏。同时溢流阀应卸荷,作到空载启动。油泵不得反转,操纵台上换向阀手柄应处于中间位置。空载运转 $2\sim 3\text{ min}$ ,并确认无异常现象时再调整流量和压力。

6. 液压马达的背压应保持在 $0.5\sim 0.8\text{ MPa}$ 。

7. 过滤器工作一个月就要清洗一次。油箱每季清洗一次。

8. 操纵换向阀换向时,动作不可过猛,防止剧烈冲击。

9. 发现异常响声,液压元件处异常温升以及压力表大幅度波动时应停机检查,排除故障,切不可盲目操作。

10. 一般情况下,在井下不要拆卸油泵、液压马达各部件,即使在地面上的车间内拆卸也要由有经验的技术人员或钳工负责拆卸。组装前务必清洗干净,对准原装角度和位置认真装配。

### 第九节 扩 孔

当导孔贯通后即可准备扩孔。在导孔钻通前,就要将扩孔刀头运送到下中段对应的峒室里。如采用组合刀盘,就要根据拟扩钻直径组装好扩孔刀盘。扩孔时按下列程序操作:

1. 导孔钻通后即派人到下中段观察导孔出口位置与事先测定的标准出口位置的偏差,算出其偏斜率。如果偏斜率在允许范围内就可以进行扩钻。如果偏斜率不在允许范围内就要研究处理措施。

2. 卸短节和牙轮钻头。先用手锤敲击短节和钻杆联接处,以振松丝扣。然后用链钳卸下短节(含牙轮钻头)。如果链钳卸杆有困难就用专用卸杆工具(有的天井钻机生产厂商专门配备),万一用这些方法仍然卸不开,可考虑采取下列应急措施:

钻杆联接卸不开主要原因是由于在巨大的力矩作用下,两杆联接螺纹接触端面(即外螺纹台肩与内螺纹轴端面)相互作用的

轴向压应力太大，两端面胶合在一起，螺旋面间的摩擦力成倍地增大。此时可用钢锯沿接触端面环形锯一圈，深度相当于内螺纹端面壁厚。这样就去除了接触端面的胶合层，然后用链钳就可以卸开。用这种方法会损坏钻杆台肩或端面，不到万不得已尽量避免采用这种方法。即使采用这种方法，事后也应当将损坏的钻杆或短节锉修平整。

3. 卸下短节后，将扩孔刀头运至钻杆下，使刀盘拉杆对准钻杆的螺纹孔。此时上下中段间应保持联络。联络可以使用专用电话、对讲机等。但在施工现场工人们更喜欢采用敲击钻杆联络方式，因为比较简便。具体地说，即事先约定好敲击信号，由在下中段安装扩孔刀头的人敲击钻杆指挥上中段的钻机操作司机准确操作。一般敲击信号规定如下：

- |           |                |
|-----------|----------------|
| 1响： 停止；   | 4响： 正转；        |
| 2响： 上提钻杆； | 5响： 反转；        |
| 3响： 下放钻杆； | 6响： 安装完毕，开始钻进； |

事实证明，这种联络方式简便易行，安全可靠。

4. 扩孔前的准备工作。卸下液压马达调节螺杆，拧上螺堵，使液压马达处于低速大力矩工作状态（依据液压马达操作说明。液压马达也有其它变速方式，注意随机所附液压马达变速操作说明）。

检查扩孔刀头喷水系统是否畅通，尤其在煤矿使用还要特别注意喷水量是否足够。

5. 扩孔工作面一般都是凸凹不平的。在开始扩孔时要慢转速、低拉力。待扩进深度达约0.6 m后，方可以正常钻进参数扩钻。钻进时必须放水冷却刀头和除尘，水量约为 $10\sim 15\text{m}^3/\text{h}$ 。

6. 操作者应根据岩层地质情况与岩石性质，选用合适的钻进参数，以求获得最佳钻进速度。在破碎带或断层、节理发育的岩层中钻进时，操作人员要随时调整轴压和转速，以减少钻机的振动和冲击。

7. 卸钻杆。随着扩孔刀头的提升，需逐节卸下钻杆。卸钻杆

的步骤是：

1) 每扩完一根钻杆长度的孔，将钻杆下降 10~20 cm，使刀头脱离岩石面。

2) 用插板插入钻杆方口，托住整个钻具组。

3) 操纵卡杆器，使卡块插入钻杆楔槽内，卡住钻杆。

4) 操纵辅助卸杆器，推动机头反转。此时有两种可能：一种是钻杆与机头导向套联接丝扣先松开，此时将机头上的卡爪对准钻杆楔槽卡入，继续推动机头棘轮反转将钻杆下联接丝扣松开，然后操纵液压马达反转，同时使机头缓慢上升，将钻杆下联接丝扣完全退出，机头停转，再启动斜撑缸和机械手，使机械手翻转并抱紧钻杆（机械手方形爪正好卡入钻杆的方口）。拔出机头卡爪拉销，使卡爪脱离钻杆，继续使机头反转并徐徐上升，直至钻杆完全脱离导向套。此时可以操纵机械手，使之抱着钻杆复位；另一种是钻杆下丝扣先松开。此时要略使钻杆下丝扣复紧，稍提钻杆，拔出插板，松开卡杆器，将钻杆下放一节，用插板插入待卸钻杆的方口内，并使卡杆器的卡块卡住钻杆。然后再借助辅助卸杆器推动机头反转，松开钻杆与导向套的联接丝扣。再提上钻杆，使插板与卡杆器卡住下节钻杆。然后重复第一种情况下的其余动作。

5) 落下机头，并操纵机头正转，使导向套与下节钻杆的螺纹相联。当插板刚开始转动时即使机头停转，略提钻杆，拔出插板，松开卡杆器，然后就可以继续扩钻。

如前所述，在导向套与钻杆联接前必须往钻杆螺纹处刷涂丝扣油并加缓冲垫，否则卸杆将十分困难。缓冲垫的铝丝直径宜粗不宜细。

## 第十节 扩孔时排渣

扩孔时的岩渣量相当大，因此，扩孔时下落岩渣要及时排出。假设扩孔直径为 2.0 m，每小时钻进 1 m，则每小时岩渣量就达  $4 \sim 4.5 \text{ m}^3$ 。所以若排渣不及时将会很快使扩钻的孔又堵上。

扩孔时排渣方式有两种：一种在井口处架设漏斗与输送带，使岩渣自溜到矿车上拉走；另一种使用铲运机出渣。

### 第十一节 扩孔刀头的取出

扩钻完毕，可采取下列方法之一，取出扩孔刀头：

1. 逐节加钻杆，将刀头下放井底取出。
2. 用卷扬机钢丝绳将刀头吊放井底取出。
3. 用手拉葫芦或卷扬机将刀头从井口吊出。

目前常用第三种方法取出扩孔刀头。这种方法的具体步骤是：

1) 刀盘拉杆伸出钻架底盘后，用插板插入拉杆上的方口，托住刀盘。用钢丝绳将刀盘捆系在“井”字型基础槽钢上。确定捆牢后，拔出插板，松开卡杆器。

2) 卸掉行走机构上的机械手、液压吊。

3) 用销轴将斜撑缸与钻架相联，卸掉钻架调节拉杆，上顶缸卸荷，收回上顶缸活塞。

4) 拆除除斜撑缸与小泵进排油管之外的所有油管、水管。

5) 启动斜撑缸，将钻架拉回并卧在行走机构上。注意在钻架下垫以枕木。

6) 拆除所有联接管道，将钻机拉走。

7) 拧上拉杆起重吊帽，用手拉葫芦或卷扬机将刀盘吊挂住。

8) 拆除“井”字架槽钢与铁轨。将刀盘吊出井口。

9) 在刀盘下放置轨道与拖车。将刀盘落在拖车上拉出运走。

### 第十二节 一般的维护与保养

钻机各部分需要特别注意维护之处在介绍其结构与使用时已经提及。除此之外还应当作好下列一般的常规维护和保养：

1. 每次成井后都应对钻机进行全面检查、定期维护。
2. 在钻进过程中：

1) 经常检查上下爪轮的联接螺栓是否松动,上顶油缸及座底螺旋千斤顶上锁紧螺母是否松动。

2) 滑轨与钻架导轨的接触滑动面需经常加油润滑。

3) 在每根钻杆丝扣拧上前都要刷涂丝扣油并装上铝丝垫圈。

3. 钻机拆除待运时, 必须将大小油缸的活塞杆收回, 对不易收回的应涂抹防锈油或用布包扎好。

1. 液压系统的维护:

1) 要保持泵站的清洁, 接入液压系统的接头、元件或管道, 必须清洗干净。拆卸下的管接头要及时套上保护套或用布包扎好, 敞露的管口应堵上, 严防杂物混入。

2) 油箱要定期清洗。每半年清洗一次。

3) 油箱里的过滤网如果破损要及时修复或更换。

4) 严禁油泵反转。钻进中严禁反转开车。

## 第五章 天井钻机常见故障的判断与排除

天井钻机的故障按发生故障的部位一般可分为：液压系统、机械传动系统、电气系统及钻具四个方面的故障。本章重点讨论如何根据观察的故障现象分析判断发生故障的原因和部位，继而提出井下现场应急处理方法。

### 第一节 液压系统的故障与处理

天井钻机操纵人员都有这样的体会：液压系统是故障发生频率最高的一个系统。这是因为天井钻机液压系统工作压力高，环境条件恶劣，液压油易受污染。另外液压元件的质量不过关也是一个重要因素。最常见的故障是系统或液压元件的泄漏。

液压系统的故障判断比较困难一些。工作介质在管道内流动，人们无法直观地观察到系统内部各元件的工作状态与介质流动状态，难以准确地判断发生故障的原因和所在部位。提高诊断水平主要依靠：1) 深刻地了解液压系统工作原理，了解各液压元件结构、动作程序及其在系统中的作用；2) 仔细观察、积累经验。特别要注意各液压元件处响声与表面温度的变化。

所有设备出厂，在随机携带的使用说明书中必须附有液压系统工作原理图。

对于不熟悉液压工作原理图的人来说，要看懂原理图，首先应当先搞清楚本系统采用的液压元件结构、动作程序（如阀心移动、进排油口启闭、压力油在元件内的流向等）及其在系统中的作用（如推进、伸缩、回转、保压、换向……）。然后参照设备使用说明书的文字说明逐一对照，弄清楚油液的来龙去脉。这样可以较快读懂液压原理图。

这里需要提醒的是：在液压原理图中，液压元件的表示方法

有两种：结构式与职能符号式。前者结构直观，但构图复杂、职能不详适合初学者阅读；后者职能明确，构图简单，但结构抽象，适合于技术人员和经验丰富的液压系统操作维修人员使用。目前各出版物多以职能符号表示。职能符号在国际上是通用的。表5所列的是天井钻机液压系统应用的液压元件两种表示法对照及其职能说明。

了解了天井钻机液压系统的工作原理后可以参考表6所列常见故障的原因、判断与处理方法，着手排除故障。

## 第二节 机械传动系统的故障与处理

一般肉眼容易观察到又较少出现的机械故障，这里不作介绍。现在仅对不易判断或常见的主要机械故障及处理方法列表如54页（表7）。

## 第三节 电气系统的故障与处理

进口天井钻机电气系统相当复杂，发生故障一般需要电气工程师或有经验的维修电工来排除故障。

国产天井钻机电气系统比较简单，现将其常见故障及其排除方法介绍如下。

### 一、控制系统不动作

当 $K_{12}$ 或 $K_{22}$ 不动作时，检查 $FU_5$ 、 $FU_3$ 、 $FU_4$ 熔断器的熔心是否熔断。当 $K_{12}$ 、 $K_{22}$ 有动作但不能启动时，检查 $K_{12}$ 、 $K_{22}$ 的常开触点以及 $K_1$ 、 $K_2$ 的接触器是否损坏。如损坏应修复或更换。

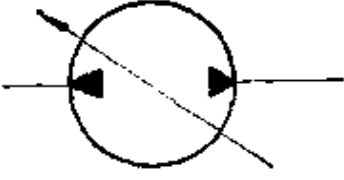
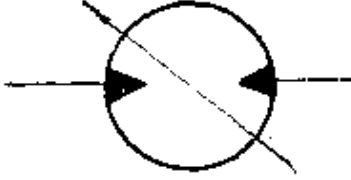
### 二、信号指示灯均无指示

检查 $FU_6$ 的熔心是否熔断。 $FU_6$ 如完好，指示灯仍不亮，则检查 $K_1$ 、 $K_2$ 的常闭触点，若损坏立即修复。如果这两项检查并排除故障后指示灯仍然不亮，就要检查变压器二次接线，看变压器是否损坏。

### 三、启动时，电流表 $A_1$ 或 $A_2$ 有表针冲击现象

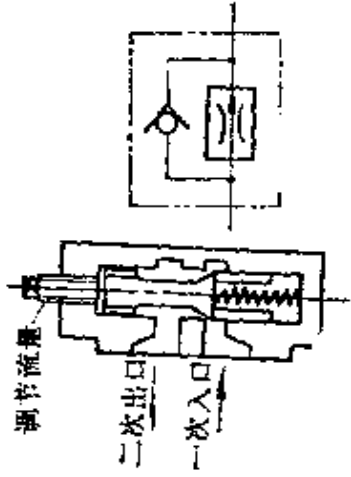
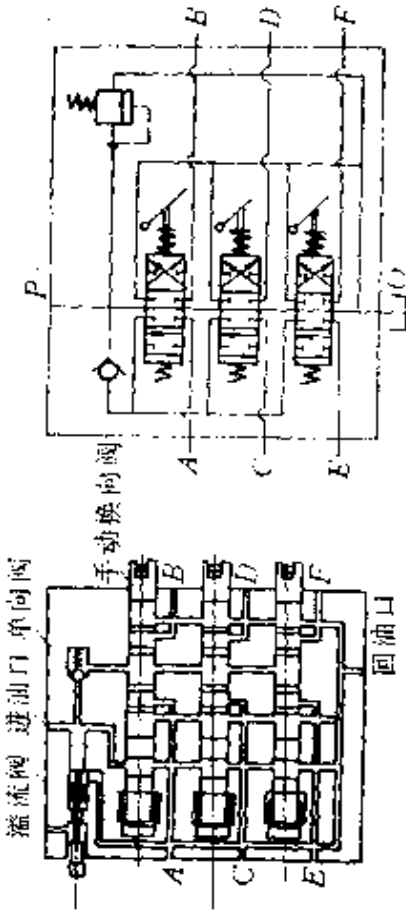
检查 $K_{11}$ 、 $K_{21}$ 时间继电器。适当增加延时打开的时间，可消

表 5 天井钻机主要液压元件职能表

| 序号 | 元件名称     | 结构示意图及职能符号   | 职能说明                                    |
|----|----------|--|---|
| 1  | 双向变量泵    |   | <p>提供压力油，流量可在最大流量范围内调节</p>              |
| 2  | 双向变量液压马达 |  | <p>结构与油泵相同，作用和油泵相反，通入压力油时输出力矩，起马达作用</p> |



(续)

| 序号 | 元件名称  | 结构示意及职能符号   | 职能说明                                     |
|----|-------|---|--|
| 5  | 单向节流阀 |   | 单向起调速作用，反向油液自由通过                         |
| 6  | 多路换向阀 |  | 实现油路换向，顺序动作及卸荷，若干换向阀组合在一起，处于中间位置时压力油短路卸荷 |

(续)

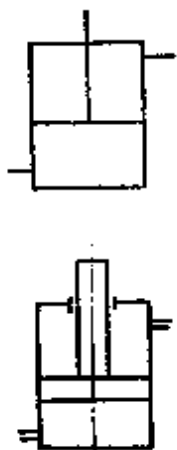
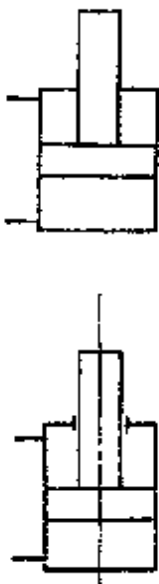
| 序号 | 元件名称              | 结构示意图及职能符号   | 职能说明   |
|----|-------------------|--|--|
| 7  | 单作用活塞油缸           |    | <p>活塞双向运动，活塞反向运动依靠外力</p>                     |
| 8  | 双作用活塞油缸<br>(差动油缸) |  | <p>活塞两端面积差较大，使油缸往复作用力和速度差较大，对系统工作特性有明显作用</p> |

表 6 液压系统故障判断与处理方法

| 序号 | 故障现象            | 故障原因   | 处理方法  |
|----|-----------------|--|---|
| 1  | 开泵后不上压          | <p>(1) 油箱液面太低<br/>(自吸式吸油高度应小于500mm)</p> <p>(2) 吸油管泄漏</p> <p>(3) 变量泵倾斜盘处于零点</p> <p>(4) 油泵内空气未排尽</p> <p>(5) 油泵磨损(间隙过大, 泵内窜漏点太多)</p> <p>(6) 电动机反转</p> | <p>(1) 按说明书要求加规定牌号的液压油</p> <p>(2) 在容易发生泄漏处(如接头)管壁外抹些机油, 在开泵状态下观察是否有向管内吸油现象, 如有则该处渗漏, 予以排除</p> <p>(3) 从小到大转动调整旋钮, 注意刻度盘是否移位, 螺杆转动时是否有卡阻或异常响声, 若不正常, 应拆开油泵倾斜盘调整器检查修理。注意泵体内腔不要輕易解体</p> <p>(4) 初次启动或长期停泵后重新开泵易产生此现象, 可打开泵上方的泄油口, 用带过滤纸的漏斗(有的钻机本身已配备)往泵内灌注清洁的机油, 将空气排尽后再开泵</p> <p>(5) 更换油泵, 注意油泵一般经修理后仍可使用</p> <p>(6) 此时油箱内会突然产生很多气泡, 将电动机接线调换</p> |
| 2  | 输油量不足, 压力下降或提不高 | <p>除第1项所列原因外还可能:</p> <p>(1) 吸油段滤油器或管道堵塞(此时伴有异常响声)</p> <p>(2) 油温过高(一般不高于60℃)</p> <p>(3) 系统内有严重泄漏, 内泄严重处元件外壁会异常升温</p>                                | <p>(1) 清洗污物, 最好尽快更换油箱内的液压油</p> <p>(2) 停机冷却, 一般连续开机时间不要超过4h, 同时加大冷却水量</p> <p>(3) 更换密封垫, 更换液压元件</p>   |



(续)

| 序号 | 故障现象          | 故障原因  | 处理方法  |
|----|---------------|---|---|
| 3  | 油温上升太快        | (3) 液压油严重污染。液压油污染必然加剧液压元件的磨损。故其故障原因往往与液压元件内泄同时存在  | (3) 按规定定期检查更换液压油  |
| 4  | 有异常噪声, 压力波动剧烈 | <p>(1) 油泵</p> <p>1) 油泵吸油段密封不严</p> <p>2) 油箱中油液不足</p> <p>3) 补油泵供油不足</p> <p>4) 油泵自吸油高度太高</p> <p>5) 油液粘度太大, 增加吸油流动阻力</p> <p>6) 吸油口截面小, 吸油不畅</p> <p>7) 吸油段滤油器堵塞 (包括补油泵滤油器)</p> <p>8) 油泵损坏 (柱塞滑靴断裂、倾斜盘严重研伤、柱塞卡死等)</p> <p>(2) 溢流阀失灵</p> <p>1) 阀座损坏</p> <p>2) 阻尼孔堵塞</p> <p>3) 阀与阀体孔配合间隙过大</p> <p>4) 弹簧损坏或疲劳致使阀心移动不灵</p> | <p>1) 拧紧吸油管接头螺母</p> <p>2) 加油至油标线以上</p> <p>3) 检查补油泵供油不足原因并排除</p> <p>4) 油泵吸油口至油箱液面高度不应大于 500mm</p> <p>5) 更换稀释油液。应急时也可以直接加入同类低标号稀油稀释</p> <p>6) 将吸油管口作 45° 斜切, 增加吸油口截面积</p> <p>7) 清洗滤油器</p> <p>8) 更换或修理损坏的零件</p> <p>1) 修复阀座</p> <p>2) 疏通阻尼孔</p> <p>3) 更换阀心, 研磨阀孔</p> <p>4) 更换弹簧</p> |

(续)

| 序号 | 故障现象          | 故障原因  | 处理方法   |
|----|---------------|---|--|
| 4  | 有异常噪声, 压力波动剧烈 | 5) 阀孔拉毛研伤, 使阀心卡死或移动不灵<br>(3) 油管管道<br>1) 管道没有固定装卡, 相互碰击<br>2) 吸油口与回油口相距太近, 产生漩涡游离出气泡进入吸油管<br>3) 油箱里油泵吸油管口高于或接近液面 | 5) 去毛刺, 研磨阀孔, 清除阀体内脏物<br><br>1) 设法将管道固定<br>2) 将回油管移远些<br><br>3) 加油或使油管浸入油面以下     |
| 5  | 液压马达转速不准      | (1) 油泵供油不足 (见项 2)<br>(2) 液压马达内泄严重<br>(3) 双速液压马达的变速阀心卡死或弹簧失效   | (1) 见项 2<br><br>(2) 检修液压马达 (尽可能在地表由有经验的钳工修理)<br>(3) 拆下阀心修研。要特别注意调节螺杆长度和说明书要求是否一致 |

表 7 机械故障的判断及处理方法

| 序号 | 故障现象                              | 故障原因         | 处理方法  |
|----|-----------------------------------|--------------|---|
| 1  | 滑道研伤                              | 滑板与滑轨间混入尖锐异物 | 1) 用刮刀或锉刀铲除积瘤<br>2) 用油石研磨伤痕去除毛刺<br>3) 清洗干净后浇注润滑油<br>4) 更换滑板端面的防尘毛毡<br>5) 强化润滑 |
| 2  | (1) 回转箱有不规则撞击声<br>(2) 装轴承处外壳有异常温升 | 可能轴承损坏       | 更换轴承  |

(续)

| 序号 | 故障现象                       | 故障原因   | 处理方法  |
|----|----------------------------|--|---|
| 3  | 齿面研伤                       | (1) 齿轮加工精度差<br>(2) 齿面硬度太低或淬硬层太薄<br>(3) 大小齿轮齿面硬度接近<br>(4) 润滑油不洁 | (1) 发现研伤, 用油石研磨伤痕, 擦洗干净后齿面加 $MoS_2$ 润滑脂<br>(2) 齿轮如磨损严重, 大修时应予更换, 否则将可能损坏昂贵的轴承 |
| 4  | 钻杆螺纹踏伤                     | (1) 堆放不小心<br>(2) 没有及时安上保护套                                     | (1) 用三角锉刀修整螺纹齿面踏伤处, 再用三角油石研光<br>(2) 及时套上防护套                                   |
| 5  | 进尺速度显著下降, 液压马达有周期性类似“闷车”响声 | 可能扩孔刀头的某个滚刀损坏  | 下放刀头, 在下中段蜗室里更换滚刀   |

除表针冲击现象。

此外, 在钻进过程中, 特别是扩孔过程中主泵电机(供液压马达回转)电流表随钻机负荷变化而摆动, 这是正常的。只要其电流表指针摆动范围不大于该电机额定电流的10%即可。若摆动太大则应降低推进轴压力。

在主泵电机和副泵电机启动时, 有时接触器都正常, 而电机刚转一下就不转了, 这时请先按下停止按钮, 使接触器失效。然后检查各自的空气开关, 看是否自动脱扣。可以适当调整, 使脱扣电流再大些。

## 第六章 天井钻机的选购

选购天井钻机需要考虑的因素很多，诸如：使用要求、资金、综合效益、备件供应、对工人技术素质的要求等等。但是应优先考虑的是：这种钻机能否满足本矿天井掘进的使用要求；能否筹集到资金；使用这种钻机能达到的经济效益与社会效益是什么。其中资金问题在本书暂不讨论，下面着重从使用功能与综合效益两个方面为设备选型提供些参考意见。

### 第一节 根据使用要求选购

所谓使用要求包括两个内容：1) 天井方面的需求条件，如钻井直径、钻井深度、井孔倾角等；2) 施工现场条件，如岩层地质条件、罐笼承载能力、井巷断面尺寸、井下供电、供水条件等。选购天井钻机首先应根据这两方面的需求与实际条件，初步确定拟购天井钻机的技术参数。

#### 一、天井

目前用天井钻机钻扩 $\phi 1000\text{mm}$ 以下的情况已较少见，一般多用于钻扩 $\phi 1500\text{mm}$ 以上的天井。有的是直接钻扩成井，有的还需进一步用吊罐法或爬罐法凿岩爆破成井。

迄今国内生产的天井钻机最大扩钻直径有 $\phi 1000$ 、 $\phi 1500$ 、 $\phi 2000$ 、 $\phi 2400\text{mm}$ 等。正在研制的有 $\phi 3000\text{mm}$ 天井钻机。其中有的天井钻机如AF-2000反井钻机) 配用组合刀盘，可分别组对成 $\phi 1500$ 、 $\phi 2000$ 、 $\phi 2400\text{mm}$ 三种规格刀盘。配用组合刀盘的天井钻机一般按其额定钻井直径设计 (AF-2000型额定钻井直径即 $\phi 2000\text{mm}$ ，钻 $\phi 2400$ 的井限定岩石硬度 $f = 6$ 及以下岩层中钻井)。用它钻较小直径的天井时可提高钻进速度。如用 $\phi 2000\text{mm}$ 天井钻机钻 $\phi 1500\text{mm}$ 天井钻进速度在同等条件下约提高20%~40%。

国外生产的天井钻机钻井直径已高达6.3m。

钻井深度受钻机功率和结构限制。国产天井钻机一般钻进深度都在120m以下。进口天井钻机钻井深度一般在200~600m。

国外天井钻机所采用四柱滑轨结构，它工作时产生的轴向力和力矩通过安装基础传到峒室地下岩层中去。这样其钻井倾角范围较大，可达到20°~90°。而低矮型框架结构天井钻机，其工作时的轴向力和力矩通过上顶缸与支承底板分别扩散到安装峒室的上层和地下岩层中去，其钻井倾角范围较小，一般只在70°~90°范围内，要钻60°斜井则比较困难。

## 二、现场条件

钻井现场条件对天井钻机的选用是个制约条件。也就是说一般是根据施工现场的运输，水电供应设施等实际条件来选购可以使用的天井钻机。否则再好的天井钻机运不到施工现场也是“英雄无用武之地”。

对于利用竖井垂直运输的矿井来说，罐笼承载能力往往是大设备下井的主要制约因素。井巷断面尺寸也限制那些超高超宽设备的运输。这些都是选型时必须考虑的问题。井下供电供水设施虽然不是使用大型设备的主要制约因素，但往往由于改造投资太大而放弃大型设备的引进。表8所列几种主要天井钻机运输参数可供用户选型时参考。

表 8 几种主要天井钻机运输参数

| 钻机型号        | 设备总功率<br>(kW) | 运输尺寸<br>(长×宽×高)<br>(mm) | 最大部件<br>重量<br>(kg) | 运输方式 | 制造厂名          |
|-------------|---------------|-------------------------|--------------------|------|---------------|
| AF-2000     | 92            | 2200×1200×1235          | 8900               | 轨道拖运 | 西北有色<br>冶金机械厂 |
| ATY-1500    | 118.5         | 2530×1000×1775          | 6200               | 轨道拖运 | 济南重型<br>机械厂   |
| RHINO-1000E | 260           | 3600×2600×2650          | 18000              | 履带车  | 芬兰<br>TAMROCK |
| 90-H        | 132           | 3120×1220×2475          | 9000               | 履带车  | 芬兰<br>INDAU   |
| TYZ-1500    | 92            | 2200×1100×1200          | 5500               | 轨道拖运 | 长沙矿山<br>研究院工厂 |

施工现场岩层地质条件主要在选用天井钻机配用扩孔刀头时着重予以考虑。用同一台天井钻机，配用不同滚刀的扩孔刀头可以在不同硬度岩石中钻孔。关键在于根据地质条件选用不同结构、不同材质的牙轮钻头和滚刀。在选购天井钻机时，用户可以要求主机制造厂配置适用的刀具，也可以自备几种不同刀具，以适用本矿各种地质条件(见表3)。

## 第二节 综合效益的考虑

综合权衡选用天井钻机的经济效益和社会效益，很有必要但又确实不易。

如第一章所述，应用天井钻机钻进是天井掘进的一场革命。这主要针对其社会效益而言。但要评价其经济效益则比较困难。因为构成成本的各种费用比例、岩石硬度、工人操纵水平、钻机和刀头的质量等条件的不同都会造成钻进成本的很大差异。例如：在国外一般劳动力成本约占总成本的55%~60%，使用天井钻机可以大大节约劳动力(一般每班只需2人)，所以可以大幅度降低钻井成本。我国劳动力成本在总成本中所占比例很小，所以钻井成本的降低有时不大明显。同时各矿山差异也很大。与普通法相比，用天井钻机单位成本(元/m)一般是在普通法的40%~90%之间。

比较国内外统计资料，可以看到：无论国内还是国外，天井钻机的钻进成本与岩石硬度关系甚大，而与钻井深度关系则不大。苏联一位专家曾将钻进一米天井的费用与岩石硬度和钻井深度之间的关系列出坐标图(图24)，这是比较有代表性的。

图24中的曲线可以这样理解：随着岩石硬度的增加，钻进工效明显下降，促使钻进成本大幅度上升。同时刀具的损耗也随着岩石硬度的增加而显著加剧。目前刀具损耗约占钻井总成本的25%~35%，致使钻井总成本上升。所以设计选用高效、长寿、价廉的刀具(尤其是扩孔用的滚刀)对天井钻机经济效益的提高至关重要。

反映经济效益的另一个主要指标就是钻进工效，即平均每个班综合进尺。

据我们收集到的统计资料来看,各矿山使用国产天井钻机,工效一般在0.5m/班~1.1m/班,是普通法天井掘进工效的3~6倍(但操作工人人数只有普通法的1/4左右)。国外使用天井钻机的工效在1.1m/班~3m/班。工效大约是国内钻机的2~3倍。但是进口同规格天井钻机其售价比国产钻机高10倍。

当然选型时还有一些也很重要的重要因素需要考虑。例如维修是否方便、备件供应能否保证等。

总之,我们提倡优先选用国产天井钻机。尽管它还有许多有待完善之处,但比较适合于目前阶段的国情。国产天井钻机也急需学习国外天井钻机的先进之处,设计出具有中国特色的高效、多功能、体积小、重量轻的天井钻机,为祖国的矿山现代化建设作出贡献。

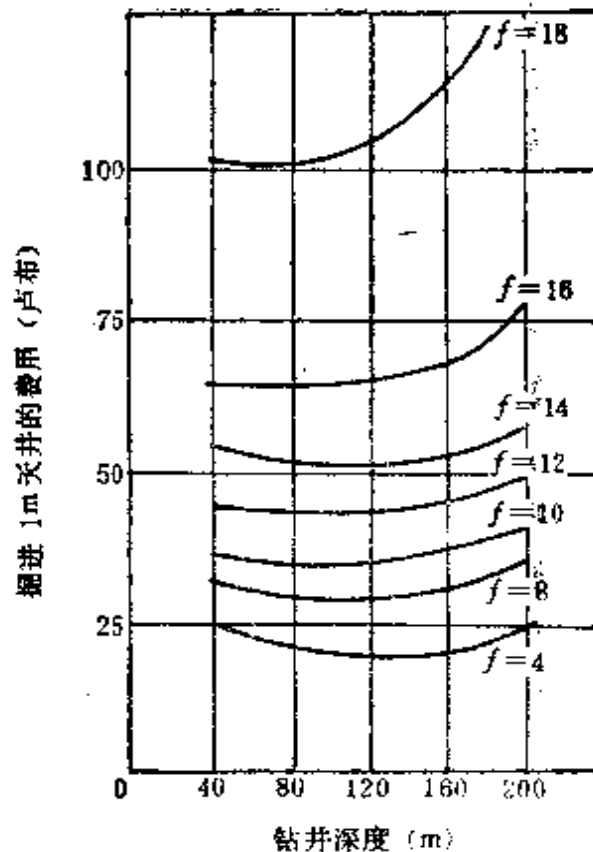


图24 费用与岩石硬度、深度关系图

### 参 考 文 献

- 1 西北有色冶金机械厂,长沙矿山研究院,白银有色金属公司。AF-2000反井钻机鉴定技术文件。1988.8
- 2 方卫民。从技术经济效果剖析钻进法在我国天井掘进中的前景。长沙矿山研究院印发,1983.3
- 3 黄国辉。AF-2000反井钻机技术条件(企业标准ZS/JQ15-88)。中国有色金属工业总公司机动设备部颁布,1988
- 4 陈中政。我国天井反钻技术的发展现状与趋向。长沙矿山研究院印发,1982.11

