

金属矿床地质与勘查译丛

第11辑 综合钻探技术



中国有色金属工业总公司矿产地质研究院

桂林 · 1987

PDG

前 言

在钻探技术领域内，八十年代以来的很多事实表明，钻探技术已经从金刚石岩芯钻探的全盛时期过渡到多样化钻探技术的时代。纵观最近若干年来国外钻探技术的发展动向，可以说在钻进工艺方面正向综合钻探技术的方向发展。所谓综合钻探技术就是在钻探施工中多种方法并用，“因层施钻”；对整个地质勘探项目来说，就是根据矿床类型、采样要求、地层条件等因素综合考虑最佳技术经济效果，选用合理的钻探方法。实践证明，综合钻探技术的应用使地质勘探的速度显著加快，成本大幅度降低。

为了使国内钻探界同行了解国外综合钻探技术的发展情况，同时也为了借鉴国外的先进经验，我们从国际钻探学术会议以及国外杂志中选译了涉及综合钻探技术的论文共十八篇，汇编成集，以见一斑。

本译文集由情报室谈耀麟同志主编，勘探技术室部分同志参加翻译，桂林冶金地质学院张宝义同志协助校对。

由于水平所限，错漏之处请指正。

情 报 室

目 录

1. 用于矿产勘探的钻进技术.....	1
2. 地质勘探中使用的地表及坑内钻探技术.....	9
3. 岩芯钻探的优点及其未来应用的评价.....	17
4. 钻探领域中的近代发展.....	23
5. 采矿业中钻进工具使用人造金刚石的经济优点.....	27
6. 对钻进硬岩的孕镶钻头性能的继续研究.....	40
7. 完善的定向取芯方法.....	52
8. 深孔造斜取芯钻进.....	55
9. 钻孔测量数据中两个钻孔弯曲参数的计算和使用.....	61
10. 小口径取芯钻孔的分支和导斜.....	69
11. 孔底冲击锤钻进评述.....	75
12. 潜孔冲击钻进及设备综述.....	81
13. 空气吹井取芯钻进序论.....	94
14. 克里斯坦森公司用于坚硬研磨性裂隙性岩层的岩芯钻具.....	97
15. 手提式钻进设备能够取得可靠的岩样.....	99
16. 利用岩粉确定矿体的金属含量.....	102
17. 矿产勘探钻孔冲洗液.....	106
18. 关于钻探工程承包的若干问题.....	113

用于矿产勘探的钻进技术

R. O. MORRIS

目前有如此种类繁多的钻进技术和装备用于矿产勘探方面，所以对现行钻探方法和装备做一简短的评论可能对从事矿产开发和勘探的地质人员有所帮助。虽然本文主要阐述英国的实际情况，但所讲的某些技术在国外更为广泛使用。

钻 机

在近几年，人们已放弃老式常规的双油缸液压给进装置，这种给进装置的给进行程有限，只有 500 ~ 915 毫米。许多现代化钻机至少具有 1.5 米或最好是 3 米的给进行程，以便于最多倒一次立轴，岩芯管就能够装满岩芯。多功能的动力头钻机具有较宽范围的迴转速度和扭矩，适合于各种钻进工艺和高效地进行下套管作业。一些制造厂商都生产这种钻机。具有 1.5 米给进行程和转速高达 2400 转/分的坑内轻便钻机正在受到人们的欢迎。这些钻机大多数具有一些拆卸钻杆丝扣的机械辅助设备和可能有钻杆拉送装置，这对于减少费力的体力劳动都是有幫助的。在一些国家这样的钻机仅有一个人操作，甚至可钻进 1000 米深。

取 样 技 术

除了需要取岩芯的地层外，从地表到整个钻孔深度都取岩芯的传统方法正在被淘汰。许多地表钻孔采用“孔底全面破碎”方法钻进，它与岩屑或岩粉录井以及限于特定地层的取芯钻进相配合。在坑内钻探中，输送所需的大量的压缩空气或水是最困难的，而且岩粉可能是一项主要的危害，因此全孔取芯仍然是相当普遍的。在非常坚硬的岩层中它可能还是最经济和最快的钻进技术。

不 取 芯 钻 进

这是一种迅速的和比较便宜的钻孔方法，而且一个熟练的钻工能准确地记录地层变化的深度，还能可靠地记录矿层深度和厚度。但这种钻进方法很难用来获得有关矿的质量的资料。潜孔锤钻头、刮刀钻头或牙轮钻头用于空气洗井钻进时，钻进速度可高达 20 ~ 40 米/小时，几乎全部岩样被回收。但是由于孔壁的塌落或冲蚀，岩样可能有混杂或丢失，此外，岩屑可能漏失到裂缝或节理中，或者可能直接粘在孔壁上。

地下水会给排除钻孔中的岩屑带来一些问题。少量的水可能产生粘稠的岩屑，它在钻杆或钻铤上形成泥环。孔内大量的水流需要较高压力的压缩机来排升到孔外，并且使测井工作更加困难，因为岩样的颜色或成分的变化很难看出来。

采用空气洗井钻进，1200 ~ 1800 米/分的空气上升速度几乎可以使岩屑即刻上返，因此上返到孔口的滞后时间很短。采用清水或泥浆冲洗，上返速度为 25 ~ 40 米/分，已考虑到钻孔深度的需要。潜孔锤、刮刀钻头或牙轮钻头采用空气冲洗可以切削出 5 ~ 15 毫米大的岩屑，采用水和泥浆冲洗很少切削出大于 2 ~ 3 毫米的切屑。

在设备和技术方面最新的发展给地质学家提供了广泛的可选择的办法来解决钻探问题。由于有广泛的钻探器材可选用，以较少的时间和成本钻进到较大的深度都可取得较好的效果。

本文拟概述这些发展和提出它们的用途和局限性。所叙述的钻进技术包括反循环取样钻进、金刚石孕镶钻头 and 聚晶金刚石钻头取芯钻进、反循环冲洗和深孔钻进以及用泡沫和聚合物作冲洗介质的钻进技术。文中附有一张表格，列出了16种不同矿物的勘探中应用的15种钻探技术。

反循环取样钻进

反循环取样钻进通常使用空气洗井，是因为它有较快的机械钻速和带有较大切屑的高速返流的优点，但它也可以使用清水、泥浆或泡沫。

在该系统中，双壁钻杆引导空气由其环状空间向下送，在钻头上方空气转向流到外部和流过钻头切削面，把所有的切屑冲扫到钻头中心并沿内管向上返回。切屑通过排屑胶管进入取样旋流器，被沉降分离出和收集到适当的容器中。

所用的钻头可以是三牙轮钻头、碳化钨刮刀钻头或镶有金刚石或碳化钨合金镶块的取芯钻头。在某些地层中取得从中心管中吹上来的岩芯是完全可能的，此时排屑胶管和胶管必须有合适的直径而且无急弯，允许岩芯柱通过而不被卡住或过分破碎。使用一个稍加改变的底端组件，潜孔锤即可连接在中心取样管上进行钻进，切屑和岩粉的收集方式和牙轮钻头钻进时一样。

中心取样管可以有多种规格，最大外径为9英寸，但最常用的是：

· 外径×内径

3.5英寸×1.732英寸(88.9×44.0毫米)

4.5英寸×2.469英寸(114.3×62.7毫米)

5.5英寸×3.250英寸(139.7×82.6毫米)

钻头规格是关键性的因素，配外径为 $4\frac{1}{2}$ 英寸中心取样管所用的钻头的外径是 $4\frac{3}{4}$ 英寸。在钻头后面是一个耐磨套，其外径稍微大于钻头外径，气流顺着最小阻力的通路从 $2\frac{1}{2}$ 英寸的中心管向上流动。钻孔开孔时，少量的空气上逸到孔外，但钻进3~4米深之后，全部空气经中心管上返。

作者经历过两个实例，空气流都没有返回，在两次试验中钻孔钻入了人工填的地层，它

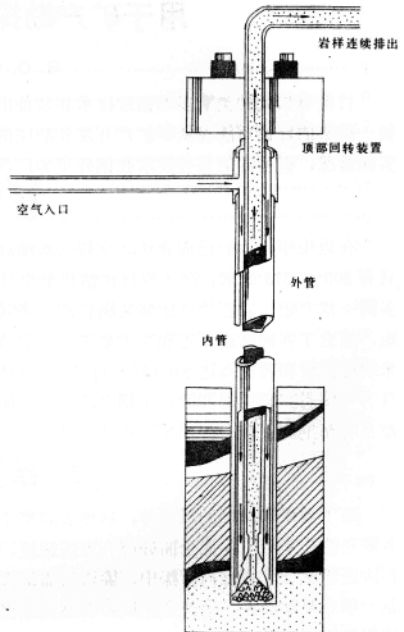


图1 反循环取样钻进系统示意图

含有许多空洞以致空气通过地层逸出和从远离钻机达 10 米的地方排出。也许如果试验进行得比较深的话，正常的空气和切屑返流想必会实现。在其它钻孔中以极小的空气回流损失钻过了三个老的煤矿作业区，这些钻孔是在早期露天开采的矿山作业区复原的地面上开钻的。

用空气冲洗时，中心管内空气的上返流速是非常高的（一般为 3600 ~ 5500 米/分），因此实际上可使切屑立即返出。这样高的流速会导致内管的磨蚀，因此用 3 ~ 4 年后可能需要更换内管。

由于岩样没有混杂和总的采样率在所钻体积的 99 % 以上，所以这是一种非常可靠的取样方法。在加拿大和美国，空气洗井被广泛地用于许多类型的矿床和煤矿的品位控制采样。采样唯一的正常损失是从旋流器净化空气排放中漏掉的极细的岩屑，然而使用现代设计的旋流器，这些损失可以小于岩屑体积的 1 %。

这个系统的主要缺点是钻杆比较重，例如外径 $4\frac{1}{2}$ 英寸的钻杆重量为 31.6 公斤/米（21.25 磅/英尺），钻机上应该有钻杆操作装置或摆头回转器，以便把钻杆水平地放倒或提起。大部分钻机能够适合于采用侧面入口的气龙头和中心排放软管，但在具有空心主轴的动力头钻机上使用最方便。优质的中心取样钻杆也是昂贵的，但它非常耐用而日使用寿命长。

螺旋钻进

螺旋钻进提供了一种在广泛的沉积岩地层中不需要任何冲洗介质的快速钻孔方法。

螺旋钻有三种基本类型：

1) 连续螺旋式螺旋钻

直径：2 $\frac{1}{2}$ 英寸 ~ 12 英寸（63 ~ 305 毫米）

2) 空心钻杆螺旋钻

外径 $5\frac{5}{8}$ 英寸 × 内径 2 $\frac{1}{4}$ 英寸 ~ 外径 $9\frac{5}{8}$ 英寸 × 内径 $6\frac{1}{4}$ 英寸。

3) 竖桩坑螺旋钻

6 英寸 ~ 36 英寸（152 ~ 915 毫米）

用连续螺旋式螺旋钻钻进时挖出的泥土和岩石通过旋转运动沿着螺旋片输送到地表。对于大批量采样这项技术是十分可靠的，但在砂层和砾石层中可能有些细屑损失。主要问题是切屑不都是以相同的速度向上运动，因此可能有一些垂直方向上的混样，同时岩样可能丢失到孔壁中或从孔壁上混入杂质。可以改变旋转速度来控制岩屑沿螺旋片移动的速度，同样也可通过使用具有不同螺距的螺旋钻来控制岩屑移动速度。如果螺旋钻保持在一个固定的深度和慢慢地增加转速，在螺旋片上的所有东西通常会上升到地表，但这不可能总是有把握的，而每个钻进地点可能产生不同的结果。

空心钻杆螺旋钻有一个连续的外部螺旋片，它的切削方式同标准的连续螺旋式螺旋钻相同，但它有一可更换的中心导向钻头。该钻头可以借助钻杆或通过绳索式的打捞器收回。任何型式的空心取样工具都能通过空心的螺旋钻工作，在螺旋钻头的前部进行取样，或者也能通过螺旋钻下入岩芯管，该螺旋钻起套管的作用。在美国它被广泛地用作一种快速简易的套管回收形式。

第三种型式的螺旋钻——通常叫做竖桩坑螺旋钻——有一不长的螺旋片，一般有 15 ~ 30

英寸 (380 ~ 760 毫米) 长, 采样时以低转速钻进一定距离, 大约为螺旋片长度的 75%, 即 11 ~ 12 英寸 (280 ~ 560 毫米)。从理论上说这一切削长度的所有泥土和岩石都保持在螺旋片上, 挖出的泥土和岩石慢慢地被提升到地表后即可清除。在某些地层这种方法能够在各钻进深度进行比较精确的采样。一般不推荐比钻机回转器的行程还大的钻进深度——因为如果必须停止钻进和从钻杆柱上卸下钻杆, 那么很有可能将钻屑失落到螺旋片下, 这就成了一种缓慢而费力的方法。

上面提到的所有规格指的是螺旋钻的直径, 但切削头比螺旋钻直径大 $\frac{1}{2} \sim 1\frac{1}{2}$ 英寸——这是减小扭矩和螺旋片边缘磨损所必需的。螺旋钻必须以 20 ~ 60 转/分的转速回转及具有 400 ~ 2000 磅—英尺 (300 — 1500 牛顿·米) 的扭矩。直径为 11 英寸的螺旋钻可能需要 8000 磅 (3600 公斤) 的向下压力。螺旋钻最适宜在具有比较长的给进行程的顶部驱动多功能钻机上使用。

螺旋钻钻头可能有各种各样的切削齿, 但如果使用镶有碳化钨合金键嵌块的切削齿, 那么就能成功地钻进在磨损粘土中的花岗岩卵石。

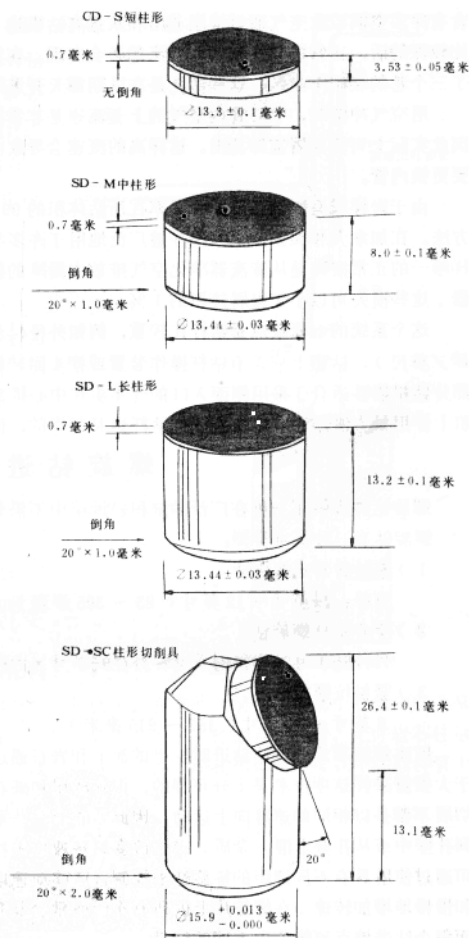


图 2 De Beers 公司 SYNDRILL 聚晶金刚石钻头坯件的标记符号略图

砂泵螺钻钻进

这是有点老式的, 然而传统的工程地质钻探技术, 除某些砂层和砂砾层勘察之外很少用于矿产勘探。这种钻进方法能获得大批量岩样, 但大不了存在一些垂直方向上的混样和往损失一些细屑。只有底端开口的或有阀的各种各样取样器容纳管都能使用——象 U4 和 U6

那样的开口式取样器可以取得非常好的粘土或其它软粘性地层的岩芯。阀式取样器可以保持完整的一段岩样，但通常存在某些扰动或混样，这往往是取出岩样时引起的，除非岩样装在一个分离的塑料衬套内。

取 芯 装 置

1. 普通岩芯管

目前设计用于空气、泥浆或清水洗孔的岩芯管已有较多的品种规格。

一些复杂的三重岩芯管正在被装有半合式内管的岩芯管取代。半合式内管可以直接代替标准内管——就是说，相同的取芯钻头和岩芯卡箍等等可以和两者中的任何一种内管一起使用。半合式内管可以打开以露出处于钻进状态的岩芯，而目岩芯可顺利地掷到岩芯箱上，扰动极小。

较大直径的岩芯管目前用于大批量取样，岩芯的大小范围从 5.5 到 7.5 英寸（140 ~ 190 毫米）。

2. 绳索取芯管

在过去的几年里绳索取芯管的主要变化是较多的使用复合式钻杆，这种钻杆重量轻而强度高——这使钻机的钻进深度能力提高了 20 ~ 25 %。绳索取芯管可以令人满意地和空气洗井一起使用。最近钻了一个 H 规格的钻孔，取芯钻进到 390 米，尽管在 75 米深以下有大量的水涌出。

一代全新的薄壁绳索取芯管现正在进行试验，经过全面改进之后将把绳索取芯钻进用于超硬岩石地区。

3. 取芯钻头

这大概是在过去的 3 ~ 4 年里变化最快的产品，不同形状的人造金刚石改变了机械钻速和每米成本。

4. 人造金刚石单晶

这种类型的产品主要是用于孕镶钻头，粒度为 200 ~ 600 粒/克拉（25 ~ 40 目）。有保障的提供均一质量和形状的人造金刚石使得孕镶金刚石取芯钻头的生产质量更加稳定；新的低温烧结胎体减少了对金刚石的热损坏；已有可能制造出镀金属层的金刚石。这在某些情况下大大地提高了金刚石在胎体中的保持力。

在改进的胎体中使用质量较好的金刚石可以采用较低的人造金刚石浓度——这样降低了钻头成本，也降低了钻头所需要的轴向压力。在非常细粒的花岗闪长岩中，10 ~ 15 厘米/分的机械钻速是正常的，钻头钻进寿命一般超过 75 米。

5. 金刚石聚晶

目前已有两种基本类型的聚晶金刚石：

(a) 钻头坯件

一层厚 0.5 ~ 0.7 毫米的聚晶金刚石粘结到碳化钨基体上。这种坏件能镶嵌在取芯钻头和取芯钻头上, 具有碳化钨镶嵌块的切屑作用, 而带有稳定的金刚石锐刃。金刚石层和碳化钨基体之间的硬度差别是如此之大, 所以切削面上产生的最大磨损只是 0.020 英寸 (0.5 毫米) ——这使钻头具有稳定的高机械钻速和长的寿命。

因为这种钻头坏件比金刚石孕镶胎体对温度更敏感, 也由于它们产生大量的粗切屑, 增大冲洗介质的流量来保持钻头唇部清洁和冷却以及更快地排除大量的切屑是很重要的。

到目前为止聚晶金刚石钻头坏件主要用在较软的沉积岩, 但当钻头设计和钻头水力特性改进后, 它们也可以扩大使用到较坚硬岩石。它们在抗压强度超过 23000 磅/平方英寸的砂岩中钻进爆破孔时已证实比碳化钨硬质合金钻头更经济; 在盐和钾盐层中, 40 ~ 60 厘米/分的机械钻速是正常的, 钻头寿命可以超过 4000 米。金刚石孕镶钻头具有同样的寿命, 然而机械钻速仅有上述的 50 %。硬质合金取芯钻头的机械钻速仅低 10 %, 但它们的寿命在需要重新磨锐以前只有 4 ~ 500 米。

(b) 金刚石聚晶体形状

金刚石聚晶体有各种各样的形状——最常见的是一种三角形截面, 但也有立方体和圆柱体的。这种镶嵌物没有碳化钨基体, 因此是整块的金刚石聚晶体。目前三角形镶嵌块最常见的规格大约重 0.3 克拉——看来用一种结构的钻头能够以高速钻进各种各样类型的岩石。

这是人造金刚石聚晶体的最新形式, 到目前为止我们现场使用经验还有限。

钻 进 方 法

1. 反循环洗井

水井钻探行业已经使用反循环洗井技术多年了。这项技术现已用于某些矿产勘探工作并改名为反循环冲洗钻进。就作者所了解的情况, 这种钻进技术一直在盐/钾盐、铅/锌或煤矿开采巷道中使用。将一根套管用水泥固定在孔口或用膨胀橡胶密封固定, 在巷道工作面外的一个盘根盒上有一冲洗介质侧入口, 绳索取芯钻杆穿过密封压盖, 冲洗介质从钻杆外部泵入而通过钻杆内部携带着岩芯和切屑返回, 从钻杆的开口端连续不断地排出。

在盐/钾盐开采矿山, 800 ~ 1200 米深的钻孔通常在 10 ~ 12 天内钻成, 一个取芯钻头可以完成数个钻孔, 因此除非钻孔完成时没有任何必要来提升钻杆。

大多数钻孔的倾角是 $\pm 25^\circ$, 但已钻进过 660 米深的垂直向下孔, 岩芯采取率达 100 %。

一个主要的困难是钻孔的垂直偏差控制。水平偏差从未超过钻孔总长度的 5 %, 这是一个次要问题。- 20° 的或较大倾角的钻孔产生事故少。钻孔超过 500 米深时垂直偏差保持在 + 15° 到 - 20° 范围内是成问题的, 曾记录到此深度的垂直偏差高达钻孔总长度的 25 %。通过改用较重的绳索取芯钻杆和正确的安置钻杆稳定器, 目前偏差已被控制, 没有几个钻孔的偏差大于它们总长度的 5 %, 即钻孔长度 1000 米时偏离目标 50 米。

2. 长孔钻进

这是一种正在发展的技术, 用于探明在很大水平距离范围内矿层的连续性。

英国煤炭部有一个工作队在研制沿煤层钻进 1000 米长钻孔的技术和设备。传感器发送回

伽马射线测井读数，它指示出煤层或岩石，同时采用了各种控制钻孔方向的技术。通过改变轴向力和回转速度，可以使钻头上漂或下垂，在煤和钾碱矿中已取得了一些成功。

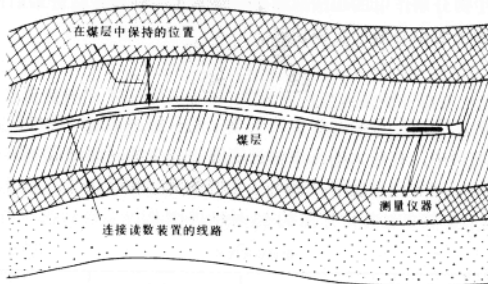


图3 在英国煤炭部的长孔钻进工作中，传感器把反映煤层或岩石的伽马测井读数发送回孔外，与此同时使用了各种控制钻孔方向的技术

孔底动力机也得到了应用，其钻杆柱是不回转，钻进冲洗介质直接驱动在钻头后部的一个动力机——有多种引导孔底动力机钻进方向的方法。

在西德，回转钻进采用不同的轴向力和转速相配合，加上最后孔段使用孔底发动机钻进，完成了一个 1770 米深的钻孔，偏离目标的距离小于 7 米。

冲 洗 介 质

我想报道的最近发展情况是近几年内所用冲洗介质方面的变化。

英国在过去的 20 年间在使用空气洗井钻进方面已经积累了丰富的经验。煤炭部的露天煤矿管理局坚决主张使用空气冲洗来减少水罐车横穿矿区的运输并减少钻进用水的抽水工作和处理问题。

空气冲洗使切屑从钻头唇部清除得更快和效率更高，这有助于减少钻头磨损和提高钻速。空气对孔壁的冲蚀比水小，因此减少了对套管的需要。切屑的高速返回有利于精确地对地层变化和厚度进行录井。岩芯管和钻头都已得到改进以适应空气冲洗钻进，只要使用正确的装置，任何地层都能令人满意地取得岩芯。

最新的技术是泡沫钻进的使用——这是空气加水与起泡剂和聚合物添加剂的一种混合物，主要优点是与使用它本身中的任何介质相比所需的空气和水量小。良好的泡沫冲洗液具有许多小气泡，很象一种刮脱剂——每一个气泡可以托起切屑并把它们一直携带到地表，虽然返回流速可以低到 30 英尺/分（10 米/分），但在钻头处的清除作用是迅速的和高效的。这样慢的返回流速不会引起对孔壁的冲蚀，如果添加了聚合物稳定剂，这同样对孔壁起到稳固作用。当加新钻杆或岩芯管被提出时，良好的泡沫冲洗液将保持切屑处在悬浮状态。

对于使用牙轮钻头或潜孔锤进行不取芯钻进，可用泡沫来减少总的空气需要量，空气压缩机的能力只需达到额定排气量的 20 ~ 30 %，这能够显著地减少运转成本和后勤供应问题。

可以用一台 120 立方英尺/分的压缩机，每分钟加 1.5 加仑（3.3 升）的泡沫混合液，使用直径为 5 英寸（127 毫米）的钻杆钻进直径为 20 英寸（508 毫米）的钻孔。

无毒的和具有生物分解作用的起泡剂和聚合物都可买到，在钻进最后的几小时内，所有的泡沫将破除，仅剩下细小分散的沉积切屑。

结 论

在钻探设备和技术方面的最新发展使地质学家们有解决钻进问题的广泛的可供选择的办法。在各种各样的地层中，在较大的深度钻进能够以较少的时间和成本取得较好的效果。本文尽了最大努力总结了这方面的发展并概述了它们的用途和局限性。最后，附上一张表，指出了在 16 种不同岩石矿物的钻探中应用的 15 种钻进技术。

勘探钻进技术

矿物	岩屑/岩粉取样					取岩芯				冲洗介质				
	不取芯钻进	中心取样	连续螺旋式螺旋钻	空心钻杆螺旋钻	潜孔钻	砂泵螺旋钻	常规钻进	绳索取芯	反循环冲洗钻进	长孔钻进	清水	泥浆	盐水	空气
1 盐 盐 U/G	0		0		×	×	0/L	0/L			×	×	0	
2 球粘土 球粘土 U/G	0	×	0		×		0	0/L		0		0		
3 漂白土 漂白土 U/G	0	0	0	0	×	0	0			0				0
4 钾碱 钾碱 U/G	0	0	0				0	0/L	0	0	0	0		
5 石膏 石膏 U/G	0	0	0				0	0	0	0	0	0		0
6 制砖粘土 制砖粘土 U/G	0	×	0	0	×	0	0	0		0	0	0		0
7 瓷土 瓷土 U/G	0		0			0	0			0	0	0		0
8 耐火粘土 耐火粘土 U/G	0					0	0			0	0	0		0
9 重晶石 重晶石 U/G	0		0		0		0	0		0	0	0		0
10 萤石 萤石 U/G	0	0			0		0	0		0	0	0		0
11 铁矿 铁矿 U/G	0	0	0		0		0	0		0	0	0		0
12 煤 煤 U/G	0	0	0		0		0	0/L		0	0	0		0
13 石灰岩 石灰岩 U/G	0	0			0		0/M	0/M		0	0	0		0
14 火成岩 火成岩 U/G	0				0		0/S	0/S		0	0	0		0
15 工业沙 工业沙 U/G		0	0	0	×	0	0	0		0	0			0
16 砂砾层 砂砾层 U/G			0			0								

U/G = 坑道内 0 = 常用 × = 不推荐使用 L = 大直径 M = 中等直径 S = 小直径

杨怀宙 译自《INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW》5/83

谈耀麟 校

地质勘探中使用的地表及坑内钻探技术

B. A. DUKAS H. C. MORKEL

摘 要

多年以来,在寻找及评价 Witwatersrand 型矿床方面,金刚石钻机一直是最重要的勘探工具。为了扩大所能提供的服务范围,同时抵消上涨的钻探成本,连续开发了一些新技术。这些新技术有许多已在地表和坑内勘探中得到同样的应用。

本文对一些钻进技术例如无岩芯前导孔钻进和深孔绳索取芯钻进加以评述,同时也评论了为满足这种现场作业特殊要求的岩芯管和钻头的设计。并讨论了特殊钻井液及用铝钻杆辅助正常钻进作业的问题。

特别提到了钻孔在某一确定方向上的自然偏斜,并利用这种引起偏斜的因素,作为定向钻进技术的有利条件。

引 言

为深的地面钻孔钻进前导孔是最近几年来已被采用的一种新方法,已取得了很大的成功。前导钻孔最重要的优点是节省很多时间,在一定程度上也能节约一些成本。过去十年中,为节省辅助时间和成本,使用了绳索取芯钻进。这一原理于四十年代首次提出,但只是在最近几年才证明是成功的。

目前正接着研究和改进一些其他的技术以试图降低钻进成本和提高操作效能。一些最近的革新,像特殊钻井液,特种岩芯管及钻头,铝钻杆和长距离控制造斜等,在本文中作了简明的论述。

在过去十年中,长倾斜的坑道钻孔,比方说超过 500 米深,已是很平常的了。当地称这种钻孔为长距离定向钻孔。作业人员的想法是利用传统的楔子或钻孔自然偏斜规律,使钻孔向某一方向偏斜,以保持钻孔沿预定轨道钻进。利用钻孔的自然偏斜可能是最重要的方面,在任何定向钻进作业中取得成功与否,完全依赖于钻孔产生自然偏斜的程度。偏斜这一术语只用来表示钻进过程中不应有的偏移,而导斜这一术语指的是钻孔方向按设计要求改变。由于自然偏斜在定向钻进中是这样重要,所以详细讨论其产生的原因是必要的。已经发展了各种各样的技术来协助加强自然偏斜和有计划的导斜。

地 表 钻 进

1. 前导钻孔

不取芯前导孔钻进到一定深度,然后继续用金刚石钻进,其结果可以大量节省时间和费用。用 Schramm 型 反转钻机可以在不到一周时间之内钻进到大于 1000 米深,而同样深的金刚石钻孔则需花大约三个月的时间。钻一个 500 米不取芯前导钻孔花的时间不超过两天,而一个 500 米金刚石钻孔则需超过一个月的时间。时间节省是如此之明显,所以无需要进一步详细叙述。

费用的节约是较为复杂的问题。虽然金刚石钻进的成本总是高于不取芯钻进的成本,但还必须考虑钻孔最终成本的各种其它因素。在一项深入的调查中,考虑到所有的因素(套管是主要因素),表明了软岩层(例如 Karoo 地层)钻进,不取芯前导孔的成本总是比金刚石钻孔为低。在不需下套管的硬岩层中钻进时,金刚石钻进就比较便宜。

为了节省时间和资金,在非得下套管不可的软岩层钻一个不取芯前导孔到其底部,而在硬岩层用金刚石钻进,是较为理想的。无论如何,如果费用无足轻重而时间是主要因素时,在开始用金刚石钻进之前,以前导孔钻进至最大深度是有利的。

在前导孔钻进过程中,可以很好地进行岩石类型的记录。由于钻出的岩屑不断从钻孔中靠空气压力而排出,因而可以在任何深度上收集到能代表岩石类型的样品。

2. 绳索取芯钻进

在绳索取芯钻进过程中,钻杆留在孔内,只有岩芯管是用绞车和钢绳从孔内取出。岩芯管倒空后,再以同样的方法放回。这种方法由于只有在不得不更换钻头时才将钻杆柱从孔内提出一次,所以明显地节省了时间。这一方法并未节省直接费用,钻进成本相同,但由于增加了钻进速度,钻孔在较少的时间内竣工,因而降低了间接成本。

绳索取芯钻进唯一的缺点是在钻孔中往往会产生不规则的偏斜。用这种方法钻成的 1500 米深孔可以偏离垂直方向大于 40° 。如果在一勘探地区,岩层的倾斜和走向是已知的,则在细心进行设计条件下这种不规则偏斜可以转化为有利条件。

3. 专用钻井液

种类众多的钻井液可以在市场上得到,包括膨润土、羧基甲基纤维素、云母片等。在某些钻孔中以必要的专门知识使用这些材料,可以得到很大好处并节约费用。

当出现像坍塌地层、水漏失、膨胀性页岩或不规则偏斜等一些问题时,应当召请解决这方面问题有经验的钻探操作人员,征求必要的建议,选用合适的钻井液。使用正确的钻井液,可以在问题发生之前予以防止并且明显地节约时间和资金。

使用钻井液同时也可延长钻头寿命,为钻探公司节约费用。

4. 岩芯管和钻头

特殊的岩芯管是为了满足专门作业需要而设计的。有多种岩芯管可供使用:单管、双管及三重岩芯管,长度从 1.5 到 18 米。双层及三重岩芯管是按以下方式设计的,即当外管相对于内管单独旋转时,内管稳定不动。使用短的、不易弯曲的岩芯管,可以使岩芯管上部钻杆的晃动降到最小程度。因此,在极易碎地层也可获得很好的岩芯采取率,而且在某些所要求的岩层内,靠使用合适的岩芯管,可以取得 100% 的岩芯采取率。这样也可以避免矿脉带上方的不必要的造斜,而明显地节省大量的时间和金钱。

钻头的研究是一个连续不断的过程,而且新的和更好的钻头正在试验和投入正式生产。为了适合特殊地层的钻进,可以设计用于绳索取芯钻进的新型孕镶金刚石钻头。在这种地层钻进,钻头寿命可能超过 60 米。在不重要的地层遇到不利的地质条件时,可以使用侧钻钻头和其它专用不取芯钻头。使用这一方法虽然得不到岩芯,但进尺较快。因此是否应当采用不取芯钻头进行钻进,必需在钻进开始前对每一钻孔分别加以考虑。

5. 铝钻杆

用铝合金制造钻杆是一项比较新的技术。这种铝钻杆比普通钢钻杆轻得多，在一些钻孔使用得很成功。现在这种较轻的钻杆，可以使小钻机钻到远比过去所能钻的深得多的深度。

使用铝钻杆可以间接节省费用，特别是在坑道钻进中就不需要为大钻机开凿洞室，而用小钻机和铝钻杆能完成同样的作业。在地表钻进中，当得不到大钻机或地形通不过而不可能运进大钻机时，这种铝钻杆迟早也会得到应用。

6. 造斜楔

虽然在不同的矿脉上或由于地层的原因而进行造斜钻进时，通常使用下楔子的办法，然而造斜楔有时也用于主孔以保持其直度或使钻孔往某一方向偏斜。定向楔子按某一方位安放，以使钻孔向所要求的方向偏斜。

为了最大限度地控制长距离造斜，首要的是楔子放置的方位应该正确。（附录中叙述了楔子的放置方法）为了增加钻孔的偏斜，已设计出多种不同的钻头。

7. 钻头

侧钻钻头（前面已提到过）重点用于大角度造斜，特别是这种钻头后边直接配用 B 规格的钻杆时更是如此。必须指出的是，这些专用的钻头仅对某些类型的岩层有效，而不是任何类型的地质条件都适用。在打算进行长距离造斜之前应当征求专家的指导才好。侧钻钻头的唯一缺点是成本高，而且事实上是一种不取芯钻头。但由于在这样的造斜过程中比平常使用较少的楔子，时间上大为节约从而弥补了它的高成本。

目前正在使用并取得很大成功的第二种类型钻头是新型 BX 到 B 规格的沿楔子钻进的锥形钻头。使用这种钻头，免去了在插入楔子之后使用牛鼻形钻头的必要。这种钻头的锥形头部保证了钻头沿楔子面钻进而不会顺向钻穿楔子。这样可预期达到最大偏斜，如果在这种钻头后直接用 迴转器和 B 规格钻杆带动，造斜作用会加强。必须再次强调，这种方法并不是在各种条件下都会同样取得成功的。也再次说明，使用较少的楔子和不使用牛鼻形钻头，得到了时间上的节约。由于不牵涉到额外的费用，楔子费用的节约是明显的。

坑 内 钻 进

1. 钻孔偏斜

各种不同的力和地层条件往往会引起钻孔偏斜，下列因素必须加以考虑：

- （1）已磨损的钻杆其直径比钻孔小；
- （2）钻孔通过层状岩层；
- （3）钻孔通过软硬交替岩层；
- （4）钻头类型，钻进速度和钻头压力及这些因素对钻孔偏斜的影响；

引起钻孔偏斜最坏的原因是上述的（2）和（3），而（2）是最难控制的。在讨论这些因素之前，说明一下钻孔的自然偏斜是必要的。

自然偏斜是钻孔往某一方向偏离的趋势，而这种方向的改变完全不是作业人员所设计的。

软硬交替的层状地层对偏斜程度有影响，而为了成功地执行定向钻进计划，充分利用自然偏斜是主要的。

在任一给定地区的自然偏斜的调查中，必须记注，所有超过 500 米的钻孔都有转向垂直于岩层的趋势（图 1）。实际表明，岩层倾角越陡，岩芯与层理交角就越大，使得钻孔更易朝向岩层钻进。钻孔穿入岩层的角度叫作遇层角。

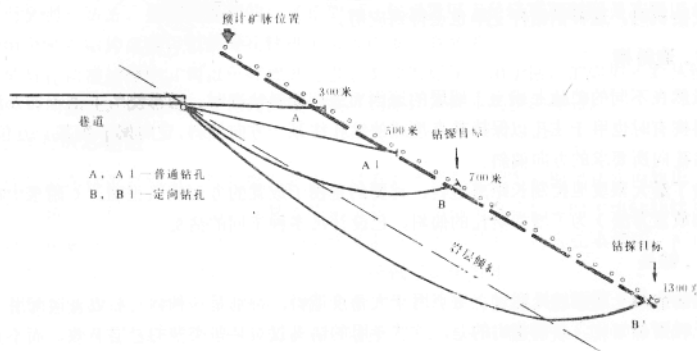


图 1. 图中指出钻孔深度大于 500 米，当钻孔是正对目标时，应以大于岩层倾斜角度来开孔，以便产生自然偏斜

在定向钻进施工计划中，钻进的初始阶段和最后阶段的遇层角应分别加以确定。在初始阶段，钻孔应钻得尽可能的直，延深至矿体底盘，以一定角度切入层面。应该采取一切预防措施，以使钻孔达到一定深度（比方说 500 到 600 米）不致偏斜。在最后阶段，钻孔应该任其偏斜。由于钻孔具有更加垂直于层面的倾向，钻孔将会上漂。

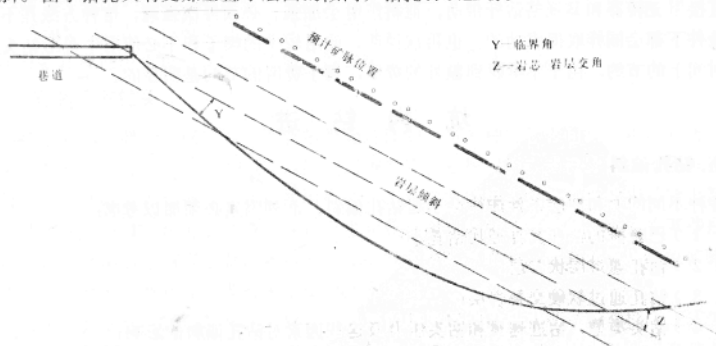


图 2. 临界角和定向钻孔按深度变化的情形

在钻进施工的最初阶段，钻孔切入层界面的角度是非常重要的（图2）。如果角度太小，钻孔可能偏斜太快而上漂，结果钻成一个浅得多的孔以致达不到目标。如果角度太大，钻孔可能朝着与原设计相反的方向偏斜，结果使钻孔不能与目标相交。由于这个角度的重要性质，有的地方就将这个角度看作临界角（图2）。遗憾的是，这个角度不能计算出来，而且从一地区到另一地区随所在地区岩层的倾角而变化。根据以前钻的钻孔的资料表明，在奥兰治自由帮金矿区采用 16° 到 20° 之间的临界角是成功的。

所以在定向钻进施工中，为取得最佳效果，开孔角度应大于岩层倾角而介于 16° 到 20° 之间，而且应先钻进到矿体下盘。钻孔应当保持约 600 米直孔没有偏斜，尔后应当允许偏斜按设计与目标相交。

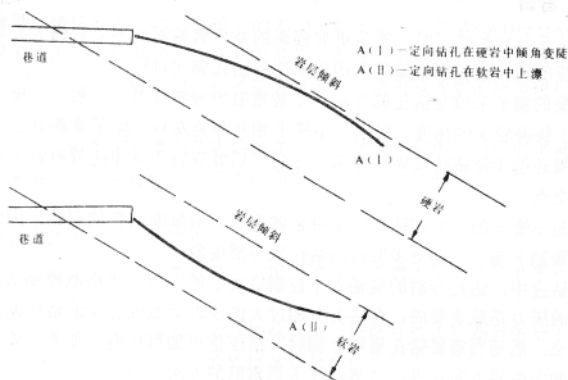


图3. 钻孔在硬岩和软岩中的状态

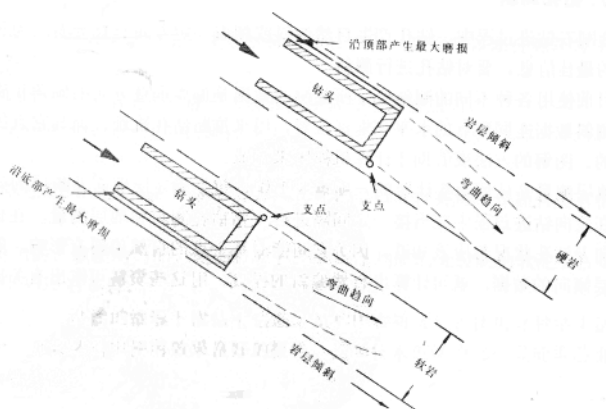


图4. 钻头在硬岩和软岩中钻进时的状态

引起偏斜最坏的原因是在层状岩层中出现软硬夹层。图 3 和图 4 表示，在硬岩中钻孔趋向于变陡，因为迴转运动的支点产生在钻头的最低点，沿钻孔上帮磨损最大。图 3 和图 4 同样也指出了相反的情形，即在软岩层中钻进时，钻孔向上漂。除了地层有软岩层之外，在层理面上出现软物质也促使钻孔向着层理面偏斜。

钻头上的压力或者说钻压对钻孔的自然偏斜有很大影响。加上额外的压力时，一般会迫使钻孔向自然偏斜趋势发展，即转向垂直于岩层。当希望钻孔不产生偏斜时，就不施加额外的钻压。自然偏斜和钻压必须同时加以考虑，而为了保证钻孔按设计方向继续钻进，钻压是唯一能严格加以控制的因素。

2. 钻孔导斜

在定向钻孔设计和施工时，通常更加强调的是自然偏斜而不太强调人工导斜。人工导斜可以使用传统的造斜楔和引起偏斜的因素来引导钻孔朝向目标。

使用传统的楔子来改变钻孔的方向，是最常用的导斜技术。一般一个楔子最大可导斜 $1^{\circ}30'$ ，而为了获得较大的角度，采用一组楔子相互靠近安放。除了重新纠正已偏斜了的钻孔之外，造斜楔还用于使钻孔偏离其原来的方向。后者应用于从主孔导斜钻出分支孔以获得与矿体的多个交点。

下楔子是不便宜的，但在钻孔中使用金属楔子，有报废钻孔的可能。因此，建议在有可能的地方应限制下楔子，而更多地利用钻孔的自然偏斜。

在定向钻进中，钻孔导斜的奥秘在于控制钻头上的压力。严格地控制钻压以确保在钻头上没有过大的压力是最重要的。在钻头上加过大的压力会造成过大的钻孔偏斜，结果可能与目标层不相交。然而当需要钻孔更加上漂时，钻压也可加以利用。如有必要，利用增加钻压以迫使钻孔朝向偏斜方向钻进，这是钻井人员常用的方法。

3. 钻孔测斜

金刚石钻进过程中，钻孔产生自然偏斜或朝着一定方向有意导斜。为获得有关钻孔钻进情况的最佳信息，要对钻孔进行测斜。

目前使用各种不同的测斜仪，所要测的数据是偏离垂直方向的倾角和磁方位角（方向）。这些测斜数据连同测点的水平和垂直位置，用来推断钻孔轨迹任何其它点的情形。这可以用数学的、图解的方法或借助于计算机程序来完成。

地层测量是任何勘探计划的一项重要工作，包括确定层理面及断层的倾向和走向。

在定向钻进过程中应当按一定间隔进行正常钻孔测斜和地层测量。在任一给定点上的地层倾向及钻孔状况都应该知道，因为它可能对那一点的自然偏斜有影响。能得到钻孔的倾角和地层倾向的数据，就可计算出自然偏斜的程度。用这些资料可作出有关钻孔定向的任何决定。