

坑探工程技术讲座

徐 一 啸

第一讲 坑探总论

第一节 坑探工程在地质勘探工作中的地位

一、地质勘探工作的目的和程序

地质勘探工作的最终目的在于寻找和查明各种矿产资源的种类、产状、厚度、成分、品位、规模,研究矿床成因与类型,求得工业储量,对资源作出综合评价,为发展国民经济提供可靠的地下资源。

地质勘探工作通过普查、勘探两大阶段,对地下资源进行由浅入深,由表及里的调查研究。

二、地质勘探工作的手段

由于大自然千变万化,各种矿产深埋地下,生成情况又十分复杂,因此在发现有益矿产和对矿区进行评价时,必须借助各种勘探手段和方法才能完成勘探任务。包括地质测量、航空测量、遥感遥测、地球物理探矿、地球化学探矿、探矿工程以及采样、化验、鉴定等。

探矿工程是诸种勘探手段中的一种,它又包括钻探工程和坑探工程。

钻探工程是利用钻探机械采取岩、矿芯,通过对岩、矿芯的测量、分析、化验了解岩矿的种类、产状、埋深、厚度及有益矿物或有用组分的品位。

坑探工程利用掘进的槽、井、坑道除使地质人员可以对地表被揭露的露头进行观察、编录、取样外,还可以直接进入地下进行实地观察、地质编录、取样和详细研究地质构造。

为了完成地质勘探任务,往往多种勘探手段同时并用,以便互相验证,加速取得地质成果,提高地质勘探工作质量。

三、坑探工程的特点和应用

坑探工程与其它勘探手段相比较,其特点是直观

性强和准确性高。因此常常用在以下几方面:

(一) 验证性坑道:以核实、验证钻探以及物探、化探等勘探手段的结果。

(二) 满足对矿产储量等级的要求:对于不同矿种、不同类型的矿床其储量等级的要求亦不同。储量等级高低的关键是看投入的坑探工程在整个工程中所占比例多少。坑探工程量比例越大,反映了地质勘探工作的可靠性、准确性越高,所得的储量等级也越高。坑探工程量投入的多少,要根据规范来确定。

(三) 特殊矿种的勘探手段:在其它勘探手段难以取得合格的矿芯的情况下如石棉、钨矿、砂金等,也往往多采用坑探工程。

(四) 复杂矿体的勘探手段:对于矿体形状复杂,变化多,矿体内有用组分分布不均匀等等稀有、分散元素的矿体,必须采用坑探工程才能控制住矿体,其它勘探手段往往无能为力。

四、坑探工程在地质勘探工作中的地位

综上所述,可见坑探工程是完成地质勘探工作中最全面、最可靠的手段和方法,它是加速取得地质成果,提高地质工作质量的重要手段。在地质勘探的各个阶段都离不开坑探工作,地质人员除了用它揭露地表、验证物、化探,配合钻探弄清矿体产状,求得储量外,在稀有金属、分散元素、特殊金属、非金属矿种及不规则矿体的勘探方面乃是一种主要手段。

坑探工程作为一种勘探手段,它和地质勘探工作的质量是紧密相连的,摒弃和忽视坑探工作往往使地质勘探工作“欲速则不达”。过去曾经由于否定必要的勘探程序,忽视必要的坑探工作量,致使有的矿山上马后储量不足或无矿可采,又被迫下马,有的矿区重新补课,几上几下。在66年—76年期间,坑道工作量与钻探工作量的比例大幅度下降,结果造成大量的地质勘探工作返工浪费,这些很值得我们今天认真总结。

第二节 坑探工程的种类

坑探工程按其距地表的深浅可分为地表坑探工程和地下坑探工程。探槽、浅井、浅坑为前者；后者为距地表较深的各种井坑。此外还有坑钻结合工程。

坑探工程施工后，在土层、岩石及矿体内产生的场地或空间均叫坑道。坑道开始部分叫坑口，坑口可露出地表或与其它坑道联通。由于掘进工作的进展，坑道的终点不断向前推移，这些终点叫做工作面（俗称掌子面）。坑道的两侧称为帮或壁，其上界称为顶板，下界称为底板。与井坑中心线垂直的截面叫横断面，简称断面。

一、地表坑探工程

（一）剥土：用来揭露倾斜地带，厚度不超过1米表土层下面的基岩和矿体。

（二）探槽：在厚度3米以内的浮土及风化岩层上挖掘断面尺寸和深度不大而长度很大的沟道。探槽主要用来追索与圈定矿体和矿体的上部及下部的岩层（见图1）。

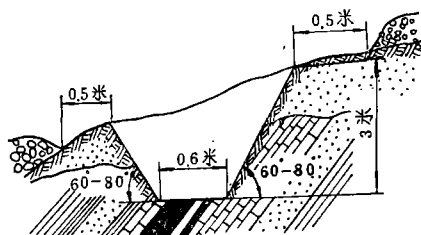


图1 探槽

（三）小园井：在稳固干燥的土层内挖掘直径为0.8—1.0米的圆形断面的浅井。用来揭露土层下面的基岩和矿体。深度不超过5米。

（四）浅井：在20米以内的浮土及岩矿内挖掘的垂直井筒。断面为0.96—2.21平方米。浅井用来揭露浮土较深地区的基岩和矿体；了解砂矿和埋藏不深的水平矿体的产状、厚度、成分及品位；探明急倾斜矿

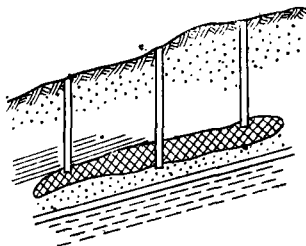


图2 浅井

体浅部的产状、成分及品位（见图2）。

（五）手掘短浅平巷：在50米以内的风化岩层及岩矿内挖掘的水平坑道。断面为2.16平方米。用来了解接近地表处矿床的产状、品位及成分等。

二、地下坑探工程

（一）水平坑道：在岩层或矿体内挖掘成坡度为3—7%的向上缓坡巷道。地表有直接出口的水平坑道称平峒。地表无直接出口，开在围岩中与矿体走向相交叉的称石门。横穿矿体的称穿脉。追索矿体走向延长的称沿脉。其断面规格：高为1.8—2.2米，宽为1.2—2.2米，长度一般在500米以内。根据具体情况亦有千米长坑。水平坑道主要用来了解接近地表或距离地表较深处矿床的产状、品位、成分及开采技术因素。

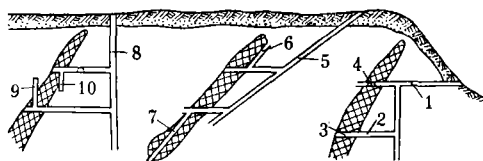


图3 地下坑道

1—平峒；2—石门；3—穿脉；4—沿脉；5—斜井；6—上山；7—下山；8—竖井；9—天井；10—暗井

（二）倾斜坑道：在岩层或矿体内开凿的向下或向上的倾斜坑道。向下挖掘的，在地表有直接出口的倾斜坑道称斜井，倾斜角度不得超过35°。地表无直接出口向上或向下挖掘的倾斜坑道称上山或下山。断面规格：高为1.6—1.8米，宽为1.0—2.5米，深度最大不超过300米。用途与水平坑道相同。

（三）垂直坑道：在地表向下及坑内向上或向下挖掘的垂直井筒。由地表向下掘进深度20米以上的井筒称竖井，坑内向上或向下挖掘的井筒称天井或暗井。勘探竖井的断面为1.6—6.0平方米。竖井多用于勘探埋藏较深的复杂金属矿体，特别是稀有金属和贵重金属。其深度视矿体埋藏位置及延伸情况而定，一般不超过100米。勘探天井或暗井多用于探明一定距离处（30—60米）矿层的厚度、成分、品位及围岩性质，深度5—30米。

（四）硐室：是一种长度很小，断面相当大的坑道。多用作井底车场、地下炸药库或材料库、坑道钻机机场。

三、坑钻结合工程

随着勘探工作的发展，坑探工程逐渐吸收新的操

作工艺,以提高施工速度。某些实际上不是坑探工程的手段部分代替了坑探手段,并为地质工作所承认,这就是坑钻结合的工程手段,它至今往往被视为坑探工程的一部分。

(一) 取样钻:一种小型轻便的岩心钻探机械,由于它的轻便、灵活,非常适合地质勘探工作中高度分散、交通不便的槽、井探工程的特点,它已经部分地代替了槽、井探工程。与槽井探工程相比,它的效率高、成本低,作用与槽井探相同,其地质效果已被地质工作人员所承认。

(二) 坑道钻:在坑内安装岩心钻机进行钻探,此种手段在国外和国内已使用。经验证明:对于地形切割厉害,比高较大或产状较陡的矿床勘探,比单独采用钻探或坑探更能取得多快好省的效果。

第三节 探矿手段的选择及坑探工程的总体设计要求

一、探矿手段的选择

坑探工程在地质勘探工作中具有可靠性和准确性,但是另一方面坑探工程施工速度慢,成本高。因此,在对新区的矿产评价时,必须以地质、矿山技术和经济条件为依据,合理选择探矿手段。选用时可参考以下条件。

(一) 矿体的形状越复杂,变化多,矿体越小,含矿系数越低,矿石有用组分分布越不均匀,则应采用坑探工程。

(二) 在地形平坦、矿体埋藏较深的地区,对复杂的金属矿体,特别是稀有金属和贵金属可采用竖井,其它矿体应该以钻孔代替掘进成本高的竖井。在地形很陡、矿体倾斜较大的地区,采用平坑最合适。

(三) 地层中涌水量大、矿体变化不大的地区应选用平坑。如果地形不适合布置平坑,勘探较深的矿体时应尽量采用钻探。

(四) 在交通不便,岩矿层非常坚硬,又没有动力基地的地区以及在岩矿层松软或破碎,本地及附近缺乏支护材料的地区,均妨碍大规模坑探的开展,以采用钻探为宜。

(五) 在岩层裂隙非常发育,矿石及岩石松散、地层不稳、岩矿芯容易被水冲散的地区,以及在缺水地区或在老隆和喀斯特溶洞较多的地区,应尽量布置坑探工程。

二、坑探工程的总体设计要求

在坑探工程的布置上,除了考虑各种类型坑道的

适用条件外,在强调经济效益的今天,尤其应该强调总体设计。切忌胸无全局,信手拣来,随便应付。

就坑道类型本身而言,也各为特点。水平坑道在坑探工程中施工最简单,掘进速度快,掘进成本低,设备多少只影响机械化程度的高低。而水平坑道机械化程度的提高,则可以明显地提高掘进速度和减轻体力劳动强度。竖井掘进施工困难,速度慢,必要设备多,掘进成本高。斜井则介于上述两者之间。

对于具体的矿区勘探,坑探工程的布置往往并非只有一种方案可以满足地质工作的要求。工程技术人员应在几个合理的设计方案之中充分考虑施工地区的地形,水文地质条件,岩石机械物理性质,地区经济交通情况,矿体的赋存条件,矿种的经济价值,以及所能获得的掘进设备,坑道的服务年限,用途,坑道掘进可能达到的掘进速度,掘进成本,工程完工期限等等主客观因素,进行反覆分析、比较、核算,选出最优的设计方案,以达到技术先进,经济合理,高速优质,安全低耗的要求。

第二讲 坑道掘进工艺

第一节 坑道掘进方法

掘进勘探坑道有不同的掘进方法。各种掘进方法均根据坑道穿过的岩石性质,坑道掘进方向,断面大小和坑道深度,坑道用途及服务年限,以及规定的完工期限和当地的技术经济条件等因素来决定。

通常根据岩石的物理机械性质,坑道的掘进方法可分为普通掘进法和特殊掘进法两大类。

一、普通掘进法

在岩层稳定、涌水量小的条件下,掘进坑道时,坑道四壁及工作面可以暴露一定的时间而不发生坍塌,在这种情况下,允许用普通掘进法。其主要工作过程为:钻眼、爆破、工作面通风、装岩等。为主要工作过程创造正常的工作条件,还必须做好支护、排水、照明、接管、铺轨运输等辅助工作。

工序是生产过程在工艺上的一个单独部分,通常由一个或数个工人在同一工作地点利用同样的设备和工具来完成的。上述主要工作过程又称主要工序,辅助工作过程又称辅助工序。主要工序和辅助工序不是固定不变的,当着施工条件改变后,辅助工序也可能变成主要工序,反之亦然。

各主要掘进工序经过一定时间重复出现,每重复一次叫做一个掘进循环,循环一次所需的时间叫循环

时间。

根据岩石硬度、机械化程度和一般工作组织的不同,各个工序在时间上的比例关系如表1所示。

一个掘进循环中各主要工序的关系 表1

工 序	手持钻眼机和人工装岩		钻车和机械装岩	
	$f = 5 \sim 8$	$f = 12 \sim 15$	$f = 5 \sim 8$	$f = 12 \sim 15$
钻 眼	40~60	60~75	25~45	40~50
爆 破	5~8	5~7	7~10	7~10
通 风	3~6	3~5	5~8	5~8
装 岩	40~60	25~40	50~70	40~45

注: f —岩石坚固性系数

二、特殊掘进法

在岩层特别松软或极端破碎,坑道四壁和掘进工作面不允许暴露,或者岩石稳定,但涌水量很大,采用一般的排水方法不能完全将工作面的涌水排出坑外,此时必须采用特殊掘进方法。例如插板法,井壁下沉法,化学胶结法,地下水位下降法,岩层冻结法,裂缝堵塞法等。特殊掘进方法施工困难,工程复杂,设备多,成本高,进度慢,在地质勘探阶段很少采用。为减少勘探投资,简化掘进工艺过程,勘探坑道应尽量布置在岩层稳定、涌水量小的区域。

第二节 坑道掘进工艺

为了叙述方便,按坑道掘进工艺工序顺序介绍。

一、凿岩(钻眼)

坑道掘进中,一般采用冲击式凿岩方式钻凿炮眼,所以本文仅介绍冲击式凿岩。

(一)冲击式凿岩原理

凿岩时岩石破碎过程可分为三个阶段,即弹性变形,压裂与压碎,最后产生裂缝,使岩石破碎。

岩石的抗压强度是很大的。凿岩破碎岩石时主要并不是靠“压碎”的,而是“剪碎”的,因为岩石抗剪强度大大小于岩石的抗压强度。岩石抗剪强度 τ 与抗压强度 σ_H 的关系如下式所示。

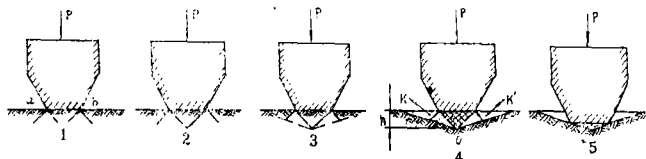


图4 凿岩时的岩石破碎过程

$$\tau = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{13} \right) \sigma_H$$

以岩石抗压强度为1,花岗岩的抗剪强度仅为0.09,砂岩为0.1—0.12,石灰岩为0.15。

岩石破碎的简略过程如图4所示。

当钎头接触岩石后,随着正压力 P 的增大,当 a 、 b 处的边缘应力超过岩石弹性变形极限之后,首先产生细微的裂隙。随着时间的推移或正压力的增大,裂隙继续发育,最后岩石发生剪切破坏,岩屑迸出,整个钎头跳跃式地吃入岩石。实际上,在冲击力的作用下,每冲击一次的岩石破碎过程包含着一系列不连续的体积破碎。冲击一次在岩石上留下的刻痕宽度总是大大超过钎头的刃锋宽度 Δ 。当钎头转动一个角度第二次冲击时,在岩石上留下第二道刻槽。图5所示 $\Delta 169$ 和 $\Delta 4710$ 两部分岩石,则由于水平力 F 的作用而被破碎。当钎头转动 180° 以后,整个孔底 h 层厚的岩石被破碎。如此继续进行,便形成整个钻眼过程。

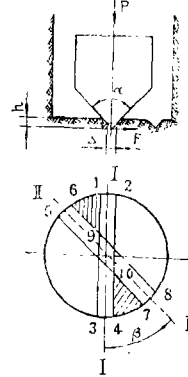


图5 炮眼孔底的岩石破碎过程

(二)凿岩速度的主要影响因素

提高凿岩速度是提高凿岩生产率的中心环节。因此必须认真分析影响凿岩速度的各主要因素,以便采取提高凿岩速度的措施。

影响凿岩速度的主要因素如下:

1. 岩矿石性质:

根据岩性实测结果列表于“地质部的岩石分级表”内(表略)。岩石等级越高,凿岩速度越低。

2. 凿岩机工作参数

凿岩机能力与活塞的冲击功 A 、冲击次数 n 成正比,即:

$$N = \frac{A \cdot n}{60 \times 75} \text{ 马力}$$

式中: A ——冲击功,公斤·米;

n ——冲击次数,次/分。

根据岩石破碎机理分析,冲击功越大,凿岩速度越快,在条件允许的情况下尽可能选择冲击功大的凿岩机;冲击次数越多,凿岩速度越快。活塞冲击功不变,若增加冲击

次数, 则可达到不增加机器重量同样提高凿岩机能力的效果, 故凿岩机多向高频方向发展。

3. 凿岩机的轴向推力

推力过大, 增加钎头回转阻力; 推力不足, 凿岩机和钎子则不能有效地破碎岩石。因此使用凿岩机凿岩时, 存在一个最佳的轴向推力, 其值可根据凿岩机说明书选出或用下列经验公式求出。

$$P = 1.55 \frac{n}{60} \sqrt{2Am} \quad (\text{公斤})$$

式中: n ——凿岩机冲击次数, 次/分;
 A ——凿岩机冲击功, 公斤·米;
 m ——活塞(冲击部分)质量, 公斤·秒²/米。

① 当使用气腿支架凿岩时, 则存在气腿支架的最优支承角度 α 。

$$\alpha = \arctg \frac{G}{P}$$

式中: P ——最优轴推力, 公斤;
 $G = G_1 + G_2 + G_3$

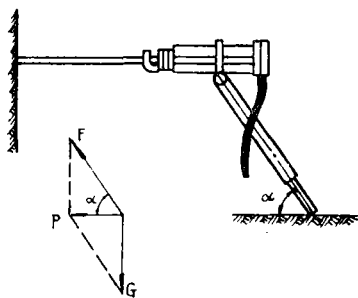


图 6 气腿支架的支承角度

G_1 ——凿岩机重量, 公斤;
 G_2 ——风、水管重量, 公斤;
 G_3 ——钎子重量, 公斤。

② 当使用凿岩台车时, 尚需考虑克服滑架上仰时凿岩机和跑床向下的滑动力。

此时推进机械的推进力 F ;

$$F = K(P + G \sin \beta)$$

G ——凿岩机和跑床等重量, 公斤;
 β ——滑架向上的仰角;
 K ——考虑摩擦等未计入的系数, 为 1.1—1.3。

4. 压缩空气压力(风压)对凿岩速度的影响

通过实测资料总结, 凿岩速度 V 为:

$$V = \frac{K}{0.785d^2a} (P-1)^{1.2}$$

式中: a ——凿岩功比耗(破碎单位体积岩石所消耗的功), 公斤·米/毫米³;

d ——炮眼直径, 毫米;

P ——压缩空气压力;

K ——凿岩机类型系数, 手持式凿岩机为 900—1680。

当风压由 4—5 大气压提高到 5.5—6.5 大气压时, 凿岩速度可提高 20—40%。

5. 炮眼直径对凿岩速度的影响

在一定条件下, 凿岩速度与炮眼直径的关系如下式所示:

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{d_0}{d} \right)^n, \quad V = V_0 \left(\frac{d_0}{d} \right)^n$$

式中: V_0 ——钎头直径为 d_0 时的凿岩速度, 毫米/分;

V ——钎头直径为 d 时的凿岩速度, 毫米/分;

n ——凿岩指数, 与凿岩具体条件有关, 通常 $n = 1 \sim 2$, 以 $n = 1.6 \sim 1.8$ 居多。

d 越小, 则凿岩速度越快。所以在药径允许的范围内, 应尽量采取小直径钎头凿岩。

6. 炮眼深度对凿岩速度的影响

凿岩速度随着炮眼深度的增加而降低。这是由于随着钎杆长度及其自重增加, 消耗于克服惯性和钎杆弹性形变的冲击功以及钎杆与孔壁的摩擦阻力也随之增加, 炮眼底部岩粉排除也逐渐困难。

根据实测, 其关系如下式:

$$V_l = \frac{V}{\sqrt[l]{l}}$$

式中: V ——炮眼深度为 1 米时的凿岩速度, 毫米/分;

V_l ——炮眼深度为 l 米时的凿岩速度, 毫米/分;

m ——凿岩条件系数, m 在风压低, 岩石硬时趋近于 2; 风压高, 岩石软时, 趋近于 3。

7. 影响凿岩速度的其它因素

其它因素包括钎头形状, 打眼方向, 排粉方式以及凿岩机类型的选择等。本文不再赘述。

关于凿岩生产率将在本讲最后一节叙述。

(未完待续)