

中等专业学校试用教材

# 钻探工程

(上册)

长春地质学校  
昆明地质学校 编

地质出版社

中等专业学校试用教材

# 钻 探 工 程

(上 册)

长春地质学校  
昆明地质学校 编

地 质 出 版 社

## 内 容 提 要

《钻探工程》包括：绪论，岩石物理机械性质及破碎机理，硬质合金钻进，金刚石钻进，钢粒钻进，冲洗钻孔，岩矿心采取和编录，钻孔弯曲的预防、测量、矫正及定向钻进，护壁堵漏，孔内事故的预防与处理，水井成井工艺，浅孔石油钻探，钻探新方法，钻探生产管理等内容。

本书是中等地质专业学校钻探专业的试用教材，也可作野外地质队钻探工程技术人员参考。

本书系长春地质学校和昆明地质学校合编，由王世光、曹日照、王生、周声振、许维新等同志执笔，由刘玉华和刘震等同志绘图。

## 钻 探 工 程

(上册)

长春地质学校 编  
昆明地质学校

\*

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

1979年12月北京第一版·1979年12月北京第一次印刷

印数1—9,790册·定价2.20元

统一书号：15038·教63

# 绪 论

## 一

利用机械设备和工具破碎地壳岩石，钻出直径较小深度较大的柱状圆孔，取出岩矿样品以进行分析鉴定和掌握地下地质情况，或者专门作为某种用途的通道，从而满足地质矿产勘探及国民经济其它部门需要所进行的全部工程，称为钻探工程，或简称为钻探。

钻探工程是地质勘探工作中的主要手段之一，在普查找矿阶段，为揭露矿体或地质界限，以及了解地质构造等一系列地质问题，需要配合槽、井探工作进行一些浅钻。在矿床勘探阶段，对形状比较规则的层状、似层状的矿床（如沉积铁、锰、铝、磷、煤、石油、建筑材料石灰岩等矿床），内生巨型块状矿床（如斑铜矿等）及砂矿床等都是以钻探为主，配合少量坑、井探；对产状较陡，形状不规则，成份复杂的有色金属、稀有金属矿床（如脉钨及脉金等）及非金属矿床（如金刚石矿床等），则以坑探为主，配合一定钻探工作量，从而查明矿产储量、矿体形状、产状、品位变化、埋藏深度以及开采技术条件等资料，以便地质人员对矿床进行正确评价，提高设计部门对矿床进行开采设计。

由于钻探较坑探进度快、成本低、工作条件好，而且不受矿区地下水的影响，不受矿体埋藏深度的限制，并能保证一定的质量，因此在地质勘探工作中，钻探工程被广泛应用。

钻探工程在国民经济中占有重要地位，它的应用也极为广泛。现将钻探工程的主要用途列表如下：

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| 钻探工程应用范围 | 地质普查：揭露地表，探明基岩性质、产状、分布、地质构造等及地球物理探矿爆破钻孔等。              |
|          | 矿产勘探：查明矿区地质构造、矿体产状、品位、储量及矿区水文地质等。                      |
|          | 水文水井钻探：地下水文地质钻探、农业、工业、国防、生活用水钻探，及基岩标钻探。                |
|          | 油气井钻探：石油、天然气的勘探及开采。                                    |
|          | 盐井、矿泉水钻探：岩盐、芒硝及各种矿泉水的勘探及开采。                            |
|          | 地热钻探：勘探及开发地下热水及热能。                                     |
|          | 工程地质勘探：桥基、坝址、水库、港口、路基、大型建筑物和大型设备基础钻探等。                 |
|          | 其它技术钻孔：如坑道掘进指示孔、探气孔、通风孔、排水孔、冻结孔、运输孔、安装线路和管路钻孔、地震观测钻孔等。 |

## 二

我国幅员辽阔，矿产资源丰富，是世界最早应用钻探的国家，远在二千二百多年前，我国劳动人民在四川地区就钻凿盐井了，同时发现了天然气，而汲取卤水用以煮盐，

更是世界上最早的发现和创举。在出土文物汉砖上就有自盐井汲取卤水煮盐的图案，据历史材料记载，唐朝凿井640余口。明朝宋应星著《天工开物》对四川地区开凿盐井有如下记载：“凡蜀中石山去向不远者，多可造井取盐，盐井周围不过数寸，其上口一小孟覆之有余。深必十丈以外，乃得卤信，故造井功费甚难。其器冶铁锥，如碓嘴形，其尖使极刚利，向石山春凿成孔。其身破竹，缠绳夹悬此锥。每春深入数尺，则又以竹接其身，使引而长。初入丈许，或以足踏碓梢，如舂米形。太深则用手捧持顿下，所舂石成碎粉。随以长竹接引，悬铁盞挖之而上。大抵深者半载，浅者月余，乃得一井成就。”说明当时是采用人力钻杆冲击的方法开凿盐井，所用的钻头是碓嘴形的铁锥，其刃是坚固而锋利的。钻杆是竹片，随井的加深而加长。冲击破碎后的岩粉，用专门工具“铁盞”捞取干净后再继续冲击钻进。井深半年左右即可完成，浅井一个月左右即可完成。可见，当时的钻探事业已经比较发达，有了比较完善的钻进工序（与现代的工序极其相似），造创了很多打捞工具和修井方法。这充分说明勤劳智慧的我国劳动人民在历史上对钻探事业的发展是有重大创造和杰出的贡献。

我国的钻探事业虽然有着悠久的历史，但是由于封建制度的长期束缚，钻探技术一直不能顺利发展。尤其是解放前近百年来，由于封建买办阶级的反动统治及帝国主义的压迫和掠夺，地质勘探事业极其薄弱，钻探技术特别落后，当时全国只有十多台破旧的外国造钻机。

1949年中华人民共和国成立后，党和政府十分重视地质勘探工作，在伟大领袖毛主席和敬爱的周总理的亲切关怀下，地质勘探工作得到了飞跃的发展，举办了各种专门训练班，创建地质院校，陆续培养了大批的钻探工人和各种地质勘探技术人材。壮大了地质勘探队伍。建立了探矿机械制造厂和地质仪器厂，生产了成套钻探机械设备、工具和地质仪器装备。各种地质勘探研究机构也相应建立，担负着地质勘探的理论和方法的研究。全国钻探平均台月效率，1957年比1952年提高了23%，单位成本约为1952年的50%左右，探明了大批的矿产资源基地，基本满足了我国大规模经济建设的需要。

建国廿八年来，在毛泽东思想的指引下，广大地质战线职工，克服了种种干扰和破坏，充分发挥群众的集体智慧，开展了深入持久的技术革新和技术革命的群众运动，无论在钻进效率和质量上都取得了很大成绩，钻探新技术、新方法层出不穷，另外还创造了许多新设备、新工具，使钻探工作面貌焕然一新：在钻探机械设备和仪器方面，由过去的进口、仿制、进入了自行设计、制造的新阶段，朝着轻便化、自动化发展。液压给进钻机代替了陈旧的手把式钻机，适应于小口径金刚石钻进的高速液压钻机已经试制成功并大批生产，全液压动力头式钻机正在进行生产试验，水文水井钻机和浅孔工程钻机也都成批生产，与金刚石钻机配套的新型水泵也研制成功并大批投产，螺杆泵已得到推广使用，变速泵的试制正在加紧进行。适用于磁性和非磁性矿区的钻孔测斜仪品种增多，小口径钻孔数字显示陀螺测斜仪已经初步鉴定，钻孔测漏仪已研制成功，在钻进工艺方面，小口径金刚石钻进正在全国推广使用，对人造金刚石及天然金刚石钻头的研制也取得了较好成绩，钻头品种增多，钻头质量逐日提高，小口径管材、工具初步形成系列，金刚石钻进用的绳索取心工具也日益完善，小口径金刚石钻进技术操作水平也有很大提高；在钻孔冲洗方面，已由清水、普通泥浆发展到采用乳状液、乳化液浆、低固相泥浆冲洗，有机和分子化学处理剂已得到广泛的应用。空气吹洗钻进的生产试验已在进行；在护孔堵漏方面，各种水泥快干

早强剂得到广泛的应用，化学浆液护孔堵漏也正在加紧研究，其中脲醛树脂、氰凝、301聚脂等已在生产试验中取得可喜的效果。

在以华国锋同志为首的党中央领导下，地质勘探战线的革命和生产形势蒸蒸日上，广大职工决心大干快上，为使我国在本世纪内早日实现四个现代化而奋勇前进。

### 三

钻探方法可根据破碎岩石的方法不同，分为机械的、物理的和化学的三种。物理的和化学的破碎岩石方法，目前尚处于研究试验阶段，未能有效地用于生产实践。机械方法可破碎所有类型岩石，因此在钻探生产中被广泛应用。

机械方法破碎岩石，主要是在外加集中压缩载荷作用下，岩石中产生很大的局部应力使岩石破碎。因此，在机械破碎岩石中，根据外力作用的性质和方式不同，钻探方法主要可分为：冲击钻探、回转钻探、冲击回转钻探三大类。

#### （一）冲击钻探

冲击钻探是利用冲击钻头，周期性地对孔底岩石进行冲击，岩石受到突然的集中的冲击载荷而破碎，为了使钻孔保持柱状圆孔，钻头每冲击孔底岩石一次后，转动一定角度再行冲击，当孔底岩粉达一定数量后，提出钻头，下入专门捞砂工具将岩粉捞出，然后再下入钻头继续冲击破碎岩石，如此反复进行加深钻孔，当遇到孔壁岩层不稳定而坍塌掉块时，可用下入套管的方法加固，然后换径继续钻进。

冲击钻探根据采用的动力不同，可分为人力冲击钻探和机械冲击钻探两种。根据冲击工具的不同又可分为钢绳冲击钻探和钻杆冲击钻探两种。人力冲击钻探，劳动强度大，效率低，目前已被机械冲击钻探所代替。

冲击钻探多用于第四纪卵砾石层和开采地下水的水井钻探，以及大直径的灌浆钻孔，露天采矿爆破钻孔等。

#### （二）回转钻探

回转钻探是利用钻头在轴向压力和水平回转力同时作用下，在孔底回转以压入压碎和剪切等方式破碎岩石，被破碎的岩屑、岩粉随冷却钻头的冲洗液及时携带出孔外，随着钻进时间的延长，钻头逐渐被磨钝，钻进速度也随之降低，因此当钻头被磨钝时，应从孔内提出更换新钻头继续钻进。如遇到孔壁岩层不稳定而坍塌、掉块或岩石中有空洞、裂隙使冲洗液漏失时，可用泥浆、水泥浆、化学浆液或入下套管等方法加固孔壁和堵漏。

回转钻探根据所用动力的不同可分为人力手摇回转钻探和机械回转钻探两类，前者劳动强度大，钻进效率低，因此早已被淘汰，现在采用的主要是机械回转钻探。

回转钻探根据对孔底岩石破碎的形式不同可分为孔底全面钻进（即无岩心钻进）和孔底环状钻进（即岩心钻探）。因为从孔内取出的完整柱状的岩心，可以揭示岩石的岩性、产状、层序、层厚等，是研究地下地质的可靠根据。因此，岩心钻探是勘探固体、液体和气体矿产及工程地质勘探的主要方法。

回转钻探还可根据用来破碎岩石的磨料的不同分为：硬质合金钻进、钢粒钻进、金刚石钻进三种方法。

#### （三）冲击回转钻探

冲击回转钻探是钻头在孔底回转破碎岩石的同时施加冲击载荷，因此兼有回转和冲击

两者破碎岩石的作用。根据动力的不同可分为液动冲击回转和风动冲击回转两类。

冲击回转钻探主要用于坚硬岩石，它对提高坚硬岩石钻进效率和钻孔的垂直性方面有显著效果。

#### 四

《钻探工程》是一门应用技术课程，是钻探专业的主要专业课程之一。它的任务是研究钻探工程的理论，施工技术方法，施工中的技术管理和生产管理。它的具体内容包括：岩石的物理机械性质及可钻性、硬质合金钻进、钢粒钻进、金刚石钻进、冲洗钻孔、岩矿心采取、钻孔弯曲的预防测量与定向钻进、护壁与堵漏、孔内事故的预防与处理、水井成井工艺、浅层石油钻探、钻探新方法、钻探生产管理等。

钻探工程是一门应用技术，它的发展是和其它科学领域的发展是紧密相关的，工程技术科学领域中的新成就已被引进钻探工程，如液压技术、粉末冶金技术、电子技术、有机高分子与化工技术等等，这些新技术的引进促进了钻探工程的发展。因此在学习《钻探工程》时，必须同时学好本专业开设的基础课程和技术基础课程，为学习专业课打下良好的基础。

《钻探工程》又是一门专业实践性很强的课程，因此，在学习时必须重视实践性环节，在实验和生产实践中，要认真观察问题、分析问题，做到理论与实践的统一。

# 目 录

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 绪论                | I   |
| 第一章 岩石的物理机械性质及可钻性 | 1   |
| 第一节 岩石的物理机械性质     | 1   |
| 第二节 岩石的可钻性        | 3   |
| 第三节 岩石破碎的基本概念     | 8   |
| 第二章 硬质合金钻进        | 11  |
| 第一节 硬质合金钻进的基本原理   | 11  |
| 第二节 硬质合金及硬质合金钻头   | 14  |
| 第三节 硬质合金钻进技术参数    | 37  |
| 第四节 各种地层中的硬质合金钻进  | 42  |
| 第五节 硬质合金钻进技术操作    | 43  |
| 第三章 金刚石钻进         | 46  |
| 第一节 概述            | 46  |
| 第二节 金刚石钻进机理       | 48  |
| 第三节 金刚石           | 50  |
| 第四节 金刚石钻头和扩孔器     | 54  |
| 第五节 金刚石钻头的选择和使用   | 78  |
| 第六节 金刚石钻进技术参数分析   | 87  |
| 第七节 减振与润滑         | 96  |
| 第八节 金刚石钻进操作注意事项   | 102 |
| 第四章 钢粒钻进          | 106 |
| 第一节 钢粒钻进原理        | 106 |
| 第二节 钢粒钻进孔底情况分析    | 107 |
| 第三节 钢粒及钢粒钻头       | 109 |
| 第四节 钻进技术参数        | 115 |
| 第五节 钻头及岩心“变形”分析   | 121 |
| 第六节 钢粒钻进的操作与注意事项  | 122 |
| 第五章 冲洗钻孔          | 123 |
| 第一节 概述            | 123 |

|            |                                 |            |
|------------|---------------------------------|------------|
| 第二节        | 泥浆 .....                        | 125        |
| 第三节        | 乳状液和乳化泥浆 .....                  | 157        |
| 第四节        | 饱和盐溶液 .....                     | 169        |
| 第五节        | 空气吹洗 .....                      | 170        |
| <b>第六章</b> | <b>岩矿心采取和编录 .....</b>           | <b>173</b> |
| 第一节        | 提高岩矿心采取率和采取品质的意义 .....          | 173        |
| 第二节        | 影响岩矿心采取率和采取品质的因素 .....          | 174        |
| 第三节        | 采取岩矿心的一般方法 .....                | 177        |
| 第四节        | 提高岩矿心采取率和采取品质的几种工具 .....        | 180        |
| 第五节        | 绳索取心与反循环连续取心 .....              | 212        |
| 第六节        | 岩矿心的补取 .....                    | 220        |
| 第七节        | 岩矿心的整理编录和现场保管 .....             | 224        |
| <b>第七章</b> | <b>钻孔弯曲的预防、测量、矫正与定向钻进 .....</b> | <b>226</b> |
| 第一节        | 地质勘探工作中预防钻孔弯曲的意义 .....          | 226        |
| 第二节        | 钻孔弯曲的原因 .....                   | 227        |
| 第三节        | 钻孔弯曲的预防 .....                   | 231        |
| 第四节        | 钻孔弯曲的测量 .....                   | 235        |
| 第五节        | 钻孔弯曲作图 .....                    | 286        |
| 第六节        | 钻孔弯曲的矫正和定向钻进 .....              | 291        |

# 第一章 岩石的物理机械性质

钻探工作必须钻进并破碎组成地壳的各种岩石矿物。为了高速、优质、安全地进行钻探工作，我们必须首先解决钻头与岩石这一对矛盾，也就是要解决钻进时破碎岩石的问题。为此，我们必须研究与钻进有关的岩石物理机械性质，以便掌握破碎岩石的规律性，更好地选择钻探设备、钻进方法、钻进规程和提高钻探质量的方法等。

岩石是由各种晶质或非晶质的矿物组成，一般岩浆岩的硬度都较大(如花岗岩)，沉积岩的硬度均较低(如页岩、泥岩)，以地表风蚀作用变质的变质岩较软(如高岭土)，由于温度及压力作用变质的变质岩较硬(如砂灰岩、石英岩)。

“差异就是矛盾”。由于岩石是由不同形状和大小矿物颗粒组成，并具有不同物理机械性质，这种性质上的差异就构成了岩石内部的固有矛盾。通过机械作用，这些矛盾被激化而使岩石破碎。如加速岩石破碎过程，也要充分利用岩石内部固有的矛盾性。

## 第一节 岩石的物理机械性质

### 一、岩石的物理性质

与钻进有关的岩石物理性质有

#### 1. 密度、比重和孔隙度

岩石质量与其体积之比称为岩石的密度。岩石的孔隙度与密度、比重有关，孔隙度大的岩石易透水，并能降低岩石的强度及稳定性。一般岩石埋藏越深，密度、比重越大，强度也愈大。岩浆岩比沉积岩致密，孔隙度小，密度大、强度也大。

#### 2. 含水性和透水性

岩石有含水的性质称含水性。由于岩石有孔隙存在，地下水便会浸入岩体，而使岩石含水。岩石含水的多少取决于孔隙的大小和数量。

岩石能透水的性质称透水性；它以单位时间内通过岩石的水量来表示。

#### 3. 松散性和流散性

松散性是指岩石结构的致密程度，松散性强的岩石即岩石颗粒之间的连接力弱，容易破碎和坍塌。岩石的自由面，有极力趋向水平的性能，称作流散性；如流砂的流散性就大，钻进时孔壁易坍塌。

#### 4. 稳定性

在岩体内钻出钻孔(有自由面)时，岩石不坍塌不崩落的性能称稳定性。

### 二、岩石的机械性质

岩石在外力作用下所表现的性质，称作岩石的机械性质。与钻进有关的岩石机械性质有强度、硬度、研磨性等。

#### 1. 强度

岩石的强度是指岩石在各种外力(拉伸、压缩、弯曲或剪切等)作用下抵抗破碎的能

力，常用衡量单位是公斤/厘米<sup>2</sup>。岩石的抗压强度最大，而抗剪、抗弯和抗拉强度依次减小（见表1-1）。根据实验以岩石的抗压强度为1，则抗剪强度为抗压强度的1/5—1/11，抗弯强度为抗压强度的1/5—1/12，抗拉强度为抗压强度的1/10—1/15。因此，利用岩石的抗剪、抗弯和抗拉强度弱的特点，找出一种相应的破碎岩石的方法，对提高钻进效率非常有利。但钻进时，大都是用压力破碎岩石，只在少数情况下利用剪切破碎岩石，所以应重视对岩石抗压强度的研究。衡量强度常用的单位是公斤/厘米<sup>2</sup>。

岩石和某些金属的临界强度（相对值）

表1-1

| 材 料   | 单向压缩 | 拉 伸       |      | 弯 曲        |      | 剪 切      |      |
|-------|------|-----------|------|------------|------|----------|------|
|       |      | 从→到       | 平 均  | 从→到        | 平 均  | 从→到      | 平 均  |
| 花 岗 岩 | 1.0  | 0.04~0.02 | 0.03 | —          | 0.03 | —        | 0.09 |
| 砂 岩   | 1.0  | 0.05~0.02 | 0.02 | 0.20~0.083 | 0.14 | 0.12~0.1 | 0.11 |
| 石 灰 岩 | 1.0  | 0.1~0.40  | —    | 0.10~0.08  | 0.09 | —        | 0.15 |
| 页 岩   | 1.0  | 0.2~0.028 | 0.06 | 0.50~0.07  | 0.14 | 0.5~0.10 | 0.25 |
| 砂泥质页岩 | 1.0  | 0.14~0.11 | 0.12 | —          | —    | —        | —    |
| 砂质页岩  | 1.0  | —         | —    | 0.25~0.066 | 0.1  | —        | —    |
| 钢     | 1.0  | 0.9~1.0   | 0.95 | 0.9~1.0    | 0.85 | —        | —    |
| 铸 铁   | 1.0  | 0.17~0.28 | 0.23 | 0.17~0.28  | 0.23 | —        | —    |

影响岩石强度的因素有以下两方面：

（1）自然因素方面 岩浆岩的强度在很大程度上取决于矿物成分。矿物成分中石英含量愈多，则岩石强度愈大（石英强度可达3000—5000公斤/厘米<sup>2</sup>）。在组成矿物和结构相同的情况下，矿物颗粒的尺寸对强度也有影响，如粗粒花岗岩抗压强度为800—1200公斤/厘米<sup>2</sup>，而细粒的为2000—2500公斤/厘米<sup>2</sup>。

岩石的孔隙度对岩石的强度有较大影响，岩石孔隙度大的则强度低。岩石随着埋藏深度的增加，充填密度上升因而强度也增加。

岩石的层理对强度的表现具有明显的异向性，垂直于层理处的抗压强度最大，平行于层理的抗压强度最小，与层理方向成某种角度的抗压强度介于二者之间。

（2）技术因素方面 影响岩石强度的技术因素，最明显的是岩石产生变形的形式。据实验：相同的岩石对抗压、抗拉、抗剪、抗弯的变形有很大差别。岩石的抗压强度最大，而抗拉强度仅为抗压强度的10%，其表现形式是：抗压>抗弯>抗剪>抗拉。

## 2. 硬度

岩石硬度是指岩石抵抗其它物体压入的阻力。衡量的单位是公斤/厘米<sup>2</sup>。一般把矿物的硬度分为十级，即莫氏硬度。岩石是由各种矿物组成的，因此，可以间接地以划分矿物硬度的方法来划分岩石。岩石的硬度在一定程度上，直接反映了破碎岩石的难易程度。岩石越硬，切削具越难切入岩石，钻进效率就愈低；如燧石、石英岩、砂页岩等就很硬，页岩、泥岩、大理岩等较软。

影响岩石硬度的因素与影响强度的因素相似。但层理对硬度的影响与强度相反，垂直层理方向的硬度值最小，而平行层理方向的硬度值最大。所以，在垂直层理方向上，岩石比较容易破碎。实际工作中可发现如图1-1所示的现象，据此还可以解释孔斜原因和孔斜规律。

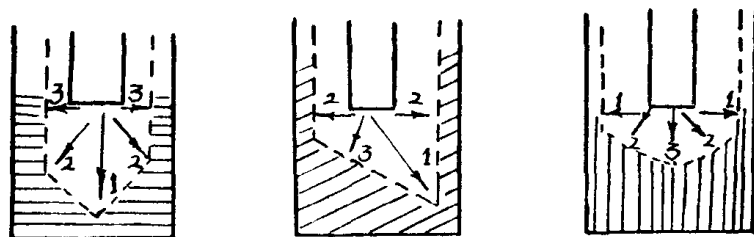


图 1-1 层理对硬度的影响

### 3. 研磨性

钻进时岩石磨损切削工具的性能称为岩石的研磨性，通常用切削具磨损的体积与所消耗的磨擦功之比，来表示研磨性的大小，衡量单位是厘米<sup>3</sup>/公斤·米。

影响岩石研磨性的自然因素主要是岩石的硬度，组成岩石矿物颗粒的大小和形状、以及岩石的裂隙和孔隙度等。

岩石破碎时，首先是在矿物颗粒交界面处产生破碎，多数情况下矿物颗粒本身不破碎。因此，岩石上的矿物颗粒与破碎下来的矿物颗粒，都直接磨损工具，所以矿物颗粒的硬度愈大，则磨损作用愈大。一般岩石中随石英的含量增大而研磨性增大，随胶结物强度的降低而研磨性增大。如石英岩、砂岩的研磨性较大，而页岩、大理岩的研磨性较小。

钻进时钻具的轴向压力不是分配到“视接触面”上，而是分配到矿物颗粒上（点接触），而使应力集中，对工具进行磨损。当正压力增加时，切削具的磨损也增加；但当正压力超过岩石的局部抗压入硬度值时，则岩石会产生体积破碎而减少磨损。用泥浆钻进比用清水钻进能降低岩石的研磨性。

岩石研磨性越大对切削具的磨损越厉害，钻进时钻头的寿命就越低，以致影响钻进效率和回次长度。所以，在一般情况下，为提高钻进效率和延长钻头寿命，当钻进研磨性强的岩石时，应采用较大压力和适当转速，而钻进研磨性弱的岩石时，则应采用高转速和适当的压力。

### 4. 弹性、塑性和脆性

岩石受到外力后产生变形，外力取消后仍恢复原状的性质，称为岩石的弹性。一般岩石的弹性都不显著。结晶颗粒细、结构致密、坚硬的岩石弹性较大。钻进时，弹性大的岩石由于其弹性变形会消耗一部分功率，同时也会造成钻具的跳动，给钻进工作带来一定困难。

岩石受到外力后改变形状而不产生断裂的性质叫塑性。例如：粘土、泥页岩、高岭土等塑性较大。塑性岩石一般都较软、容易钻进，但钻进时易产生缩径、蹩水、糊钻等现象，也会造成钻进中的困难。

岩石在外力作用下不产生变形，而直接破碎的性质叫脆性。如滑石、烟煤等岩石的脆性比较大，容易钻进，但不易采取岩心，有时孔壁还易坍塌。

## 第二节 岩石的可钻性

### 一、岩石的可钻性

岩石的可钻性就是在一定技术条件下钻进岩石的难易程度，也可以说是钻进时，岩石

抵抗破碎的能力。岩石的可钻性取决于许多因素，其中主要的是岩石的物理机械性质、钻进方法和钻进规程等。通常是在相同的钻进方法和相同的钻进规程条件下，以钻进时的机械钻速和回次进尺来表示岩石的可钻性；它也是制定钻探生产定额的依据之一。在地质勘探钻进中，常用的是岩心钻探岩石可钻性，我国将其划分为十二级，见表1-2。

目前对于金刚石钻进，国内外还没有制定出相应的岩石可钻性分级方法。现行的岩石可钻性分级只是在硬质合金和钻粒钻进技术条件下制定的，如表1-3所示。今后如何试验，对比定出适合于金刚石钻进的岩石可钻性分级方法，已是我们钻探工作者的课题之一。

## 二、岩石可钻性的划分

### 1. 刻划对比法

刻划对比法是比较粗略的，但操作简单，所以野外队广泛应用。具体指标如下：

- (1) 大姆指甲：刻划1—3级的岩石矿物；
- (2) 铁 刀：刻划3—4级的岩石矿物；
- (3) 普通钢刀：刻划4—5级的岩石矿物；
- (4) 锉 刀：刻划5—6级的岩石矿物；
- (5) 合金刀：刻划7—8级的岩石矿物。

### 2. 模拟对比法

可将岩石制成一定规格的标本置于钻床或试验用钻机下，以小口径、同样钻头和规程参数，进行模拟钻进，做出相对的分级标准。

### 3. 摆球硬度仪测量

摆球硬度仪是我国地质科学院勘探技术研究所六十年代初期研制的，方法比较科学，操作也比较简单。图1-2是北京地质仪器厂生产的KJYJ-62型摆球硬度仪，采用的钢球为8210轴承中的滚珠。试样为50×60毫米的岩心，两面要磨平光亮。

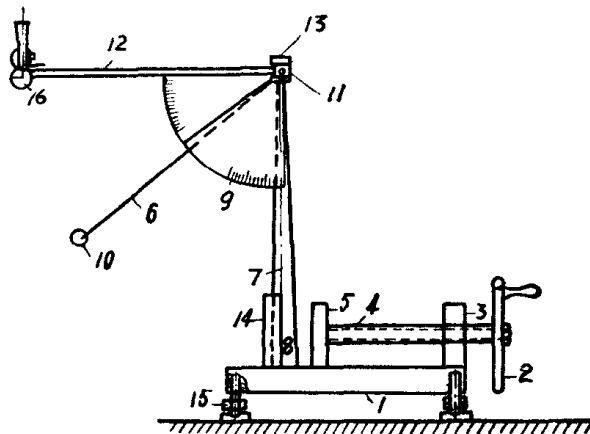


图 1-2 摆球硬度仪

1—底盘；2—手轮；3—固定螺丝；4—推进螺杆；5—活动顶盘；6—摆线；7—支柱；8—准心；9—角度规；10—摆球（重5克）；11—支杆；12—摆球支架；13—螺钉；14—马蹄形固定顶环；15—水平螺钉；16—夹子。

各类岩石用摆球硬度仪测得硬度N值，与岩石可钻性十二级各区间相对应的关系，见表1-2。勘探技术研究所研究摆球硬度仪的同时，用摆球硬度仪测定的硬度值N，和十二级岩石可钻性分级指标，并配合实际钻进的统计资料，制成如图1-3所示的曲线表，可供生产时使用。例如，测得岩石的摆球硬度值N为77—80，在N座标自该两点引两条水平线，

岩石动力硬度值划分岩石可钻性级的间距表

表1-2

| 岩石动力硬度N值 | 岩石可钻性级别 | 岩石动力硬度N值 | 岩石可钻性级别 | 岩石动力硬度N值 | 岩石可钻性级别 |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| 125以上    | Ⅺ       | 75~84    | Ⅷ       | 30~44    | Ⅳ       |
| 105~124  | Ⅹ       | 65~74    | Ⅵ       | 15~29    | Ⅲ       |
| 95~104   | X       | 55~64    | Ⅴ       | 14以下     |         |
| 85~94    | Ⅸ       | 45~54    | V       |          |         |

与摆球硬度曲线交于A、B两点，再自A、B两点引垂直线，交K座标于a、b两点，a、b两点在8级岩石分界线两侧，于是可知所测定的岩石等级为8级。Aa和Bb两线与各可钻性曲线分别有交点，说明该岩石可以分别选用不同钻进方法；其相应的可钻性指标，可以由Aa和Bb两线与各可钻性曲线的交点，引水平线与机械钻速座标相交，其交点即是可钻性指标。如采用金刚石钻进方法，机械钻速指标为0.90~1.10米/小时。从图中可求得岩石的摆球硬度后，即可大致知道各种岩石的机械钻速指标和应使用的钻进方法。

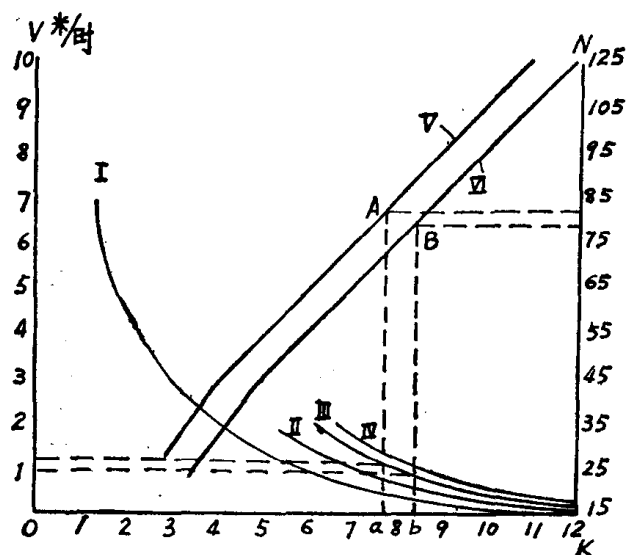


图 1-3 摆球硬度与岩石可钻性关系

I—合金铁砂钻进；II—钢粒钻进；III—细粒金刚石钻进；IV—冲击回转钻进；V—N的上限；VI—N的下限。

岩石可钻性分级表

表1-3

| 岩石级别 | 岩石类别<br>(硬度) | 每一级有代表性的岩石                                                                                                              | 可钻性<br>(米/小时) | 一次提钻长度<br>(米/回次) |
|------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| I级   | 松软疏散的        | 次生黄土；次生红土，泥质土壤松软的砂质土壤（不含石子及角砾），冲积砂土层，湿的软泥。<br>硅藻土<br>泥炭质腐植层（不含植物根）                                                      | 7.50          | 2.80             |
| II级  | 较松软疏散的       | 黄土层、红土层、松软的泥灰层<br>含有10~20%砾石（小于3厘米）的粘土质及砂质土层、砂姜黄土层。<br>松软的高岭土类（包括矿层中之粘土夹层）<br>泥炭及腐植层（带有植物根的）冰                           | 4.00          | 2.40             |
| III级 | 软的           | 全部风化变质的页岩、板岩、千枚岩、片岩<br>轻微胶结的砂层<br>含有超过20%砾石（大于3厘米）的砂质土壤及超过20的砂姜黄土层<br>泥灰岩<br>石膏质土层、滑石片岩、软白垩。<br>贝壳石灰岩<br>褐煤、烟煤<br>松软的锰矿 | 2.45          | 2.00             |



续表二

| 岩石级别   | 岩石类别<br>(硬度) | 每一级有代表性的岩石                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 可钻性<br>(米/小时) | 一次提钻长度<br>(米/回次) |
|--------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| Ⅵ<br>级 | 中等<br>硬度     | 砾石 (50%的砾石、系水成岩组成、钙质和硅质胶结的)<br>砾石层、碎石层<br>轻微风化的粗粒花岗岩、正长岩、闪长岩、斑岩、玢岩、辉<br>长岩及其他火成岩<br>硅质石灰岩、燧石石灰岩<br>极松散的磷灰石矿                                                                                                                                                                                            | 0.57          | 1.10             |
| Ⅶ<br>级 | 硬<br>的       | 硅化绢云母板岩、千枚岩、片岩<br>片麻岩、绿帘石岩、明矾石<br>含石英的碳酸盐岩石<br>含石英重晶石岩石<br>含磁铁矿及赤铁矿的石英岩<br>粗粒及中粒的辉石石榴子石砂卡岩<br>钙质胶结的砾岩<br>轻微风化的花岗岩、花岗片麻岩、伟晶岩、闪长岩、辉长<br>岩、石英电气石类<br>玄武岩、辉绿岩、钙钠斜长石岩、辉石岩、安山岩、石英安<br>山斑岩<br>含矿的橄榄岩、纯橄榄岩等<br>中粒结晶钠长斑岩、角闪石斑岩<br>水成赤铁矿层、层状黄铁矿、磁硫铁矿层<br>细粒硅质胶结的石英砂岩<br>含大粒燧石石灰岩<br>粗粒宽条带的磁铁矿、赤铁矿、石英岩<br>赤铁矿、磁铁矿 | 0.38          | 0.85             |
| Ⅷ<br>级 | 硬<br>的       | 高硅化的板岩、千枚岩、石灰岩及砂岩等<br>粗粒的花岗岩、花岗闪长岩、花岗片麻岩、正长岩、辉长<br>岩、粗面岩等<br>伟晶岩<br>微风化的石英粗面岩、微晶花岗岩<br>带有溶解空洞的石灰岩<br>硅化的凝灰岩、角页凝灰岩、绢云母化角页岩<br>细晶质的辉石、绿帘石、石榴子石砂卡岩、硅钙硼石、石榴<br>石、铁钙辉石微晶砂卡岩<br>细粒细纹状的磁铁矿、赤铁矿石英岩<br>层状重晶石<br>含石英的黄铁矿、带有相当多黄铁矿的石英<br>含石英质的磷灰岩层                                                                | 0.25          | 0.65             |
| X<br>级 | 坚<br>硬<br>的  | 细粒的花岗岩、花岗闪长岩、花岗片麻岩等<br>流纹岩、微晶花岗岩、石英钠长斑岩、石英粗面岩<br>坚硬的石英伟晶岩<br>细纹结晶的层状砂卡岩、角页岩<br>带有微晶硫化矿物的角页岩<br>层状磁铁矿层夹有角页岩薄层<br>致密的石英铁帽<br>含碧玉玛瑙的铝矾土<br>玉髓层                                                                                                                                                            | 0.15          | 0.50             |

续表三

| 岩石级别 | 岩石类别<br>(硬度) | 每一级有代表性的岩石                                                      | 可钻性<br>(米/小时) | 一次提长钻度<br>(米/回次) |
|------|--------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| Ⅱ级   | 坚硬的          | 刚玉岩、石英岩、碧玉岩<br>块状石英、最硬的铁质角闪岩<br>含赤铁矿、磁铁矿的碧玉岩<br>碧玉质的硅化板岩<br>燧石岩 | 0.09          | 0.32             |
| Ⅲ级   | 最坚硬的         | 完全没有风化的极致密的石英岩<br>碧玉岩、角闪岩、纯钠辉石刚玉岩<br>石英、燧石、碧玉                   | 0.045         | 0.16             |

注：1—上列分级表中各级岩石的可钻性，对XB—300、XU—650A、XU—1200A型钻机都适用，对XU—75、XU—150型钻机Ⅰ—Ⅲ级岩石采用校正系数1.28。

2—各类型钻机一次提钻长度不变。

3—未列入上表中的岩石，应在规定的技术条件下，根据实际可钻性，列入适当的岩石级别中。

4—当钻进破碎带，有裂隙和易膨胀的岩石，以及流灰层等地层时，同样应按其实际可钻性列入适当的岩石级别中。

5—为了准确地标定各种岩石的可能性，必须用秒表进行测定。

测定岩心钻探岩石可钻性的技术规程列于表1—4内。

表1-4

| 技 术 条 件                      | Ⅰ—Ⅲ级用硬合金钻进    | Ⅳ—Ⅵ级用钻粒钻进     |
|------------------------------|---------------|---------------|
| 钻 孔 直 径 (毫米)                 | 91            | 91            |
| 立 轴 转 数 (转/分)                | 140           | 140           |
| 钻 头 压 力 (公斤)                 | 450~600       |               |
| 孔底单位压力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> ) |               | 50~20         |
| 冲 洗 液 量 (升/分)                |               |               |
| 投 砂 量                        |               | 一次投砂法或部分供给    |
| 钻 机 类 型                      | XB—300或XB—500 | XB—300或XB—500 |

### 第三节 岩石破碎的基本概念

一般用机械方法破碎岩石的过程，都是用工具通过外集中载荷作用使岩石局部破碎的过程。研究岩石破碎的目的就是了解孔底破碎岩石时发生的全部现象和规律，以便利用这些规律更有效地破碎岩石。

#### 一、岩石在压缩下的破碎机理

##### 1. 物体在压缩下的应力状态

物体在压缩作用下，在物体内部加载处引起应力，应力值的大小与加载处距离的远近有关。靠近外力处（即加载处）正应力最大，组成最大应力带，它的边界是最大切应力，再向外扩张，正应力、切应力都逐渐减小，但不论其大小变化如何，其应力的分布如图1-4所示。

所有的线条（b）表示“等切应力带”，呈圆球形，在这条带上切应力相等，此带以内和以外的正应力不相等，而且以内的正应力必大于以外的正应力，即 $\sigma_a > \sigma_c$ 。两等切应力带上的切应力也不相等，即 $T_{b1} > T_{b2}$ 。两等切应力带之间范围内的正应力必相等，而组