

高等学校試用教材

钻探工程学

(勘探、水文工程地质专业用)

長春地质学院 北京地质学院 成都地质学院 合編

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校試用教材



钻 探 工 程 学

(勘探、水文工程地质专业用)

长春地质学院 北京地质学院 成都地质学院 合編

中国工业出版社

本书由长春地质学院勘探技术教研室、北京地质学院钻探教研室和成都地质学院勘探技术教研室依原有试用教材修改编成。

本书主要包括岩石物理机械性质及可钻性分级，浅孔钻探，机械冲击钻探，机械回转钻探和深井回转钻等，而着重讲述机械回转钻探，对机械回转钻用的各种设备工具和各种条件下的钻进方法和工艺过程，都有较为详细的讲述，另外钻探技术今后的发展途径也有扼要的叙述，全书除对各种方法做扼要介绍外尚附有图表。

本书适用于地质院校勘探及水文工程地质专业作为教材之用，同时也可从事钻探工作的工程技术人员和钻工所参考，以及各地质类中等技术学校有关专业作为教学参考资料。

钻 探 工 程 学

(勘探、水文工程地质专业用)

长春地质学院 北京地质学院 成都地质学院合编

*

地质部地质书刊编辑部编辑 (北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $11^{7/8}$ ·插页1·字数 283,000

1962年9月北京第一版·1964年10月北京第四次印刷

印数 4,257—5,316·定价 (科五) 1.40元

*

统一书号: K15165·1683 (地质-164)

前 言

本教材是在长春地质学院、北京地质学院、成都地质学院原有三本讲义基础上选编而成。教材中系统的、概括的介绍了各种鑽探方法，重点的介绍了机械迴轉鑽探；增加了1958年大跃进以来鑽探上所获得的新成就，所以教材内容是比较丰富和全面的。

本教材适合金属和非金属勘探专业、煤田勘探专业以及水文工程地质专业，并可作为普查找矿专业学生的参考书。

給勘探专业講授“鑽孔抽水”这一节时应根据本专业的教学大纲适当的精简内容。

給水文工程地质专业講授时，适当精简“机械迴轉鑽探”及“鑽孔弯曲及其测量”两节的内容，而“鑽孔抽水”这一节則应适当的增加内容。

本教材是由长春地质学院主编，北京地质学院及成都地质学院参加编写，由于编者水平有限以及编写时间比较仓促，难免有错误与不妥之处，希望读者多多給予指正，以便再版时修改。

长春地质学院

北京地质学院

成都地质学院

1961年6月編

目 录

緒論	3	3. 設計鑽孔結構	90
一、鑽探在地质勘探工作中的作用及其在 国民經济中的应用范围	3	4. 鑽探设备及工具的选择	91
二、我国鑽探发展簡史	3	5. 鑽探设备的安装与布置	91
三、鑽孔及其要素	4	第五节 清洗鑽孔	93
四、鑽进的基本程序及鑽孔結構概念	5	1. 洗孔目的及洗孔方式	93
五、鑽探方法分类	7	2. 洗孔物质的种类及其应用范围	95
第一章 岩石的物理机械性質	8	3. 泥浆原料	96
第一节 岩石主要的单一物理机械性質	8	4. 泥浆的主要性能及其測定	97
第二节 岩石主要的綜合物理机械性質	10	5. 泥浆处理及所用的試剂	102
第二章 浅孔鑽探	16	6. 泥浆的制造与淨化	104
第一节 手动浅孔鑽探	16	7. 粘土的寻找与鑑定	106
1. 概述	16	第六节 鑽进方法	107
2. 手动鑽探设备与工具	17	1. 岩心鑽进	108
3. 手动鑽进工艺	21	2. 无岩心鑽进	128
4. 取土样	22	3. 复杂地层鑽进	133
5. 班加钻	25	4. 斜孔鑽进与地下鑽探	133
6. 洛阳鑽	25	第七节 采取岩心及判层	140
7. 竹弓法	25	1. 采取岩心	140
第二节 机动浅孔鑽探	27	2. 判层	145
1. 螺旋钻	27	第八节 鑽孔弯曲及其測量	148
2. 震動钻	29	1. 概述	148
第三章 机械冲击鑽探	32	2. 鑽孔弯曲的原因	149
1. 概述	32	3. 鑽孔弯曲的标志	151
2. 鋼繩机械冲击鑽探设备与工具	33	4. 鑽孔弯曲的預防	151
3. 鑽进工艺	40	5. 鑽孔弯曲的測量	152
第四章 机械迴轉鑽探	43	6. 鑽孔弯曲的矫正	157
第一节 概述	43	7. 鑽孔弯曲的应用	158
第二节 鑽探工具	45	第九节 鑽孔抽水	159
1. 鑽头	45	1. 概述	159
2. 岩心管	46	2. 鑽孔止水	160
3. 取粉管	47	3. 过滤器	163
4. 异径接头	47	4. 抽水设备	166
5. 鑽杆	48	第十节 鑽探孔內事故、保安及防火	169
6. 鑽挺	50	1. 鑽探孔內事故	169
7. 套管	51	2. 鑽探安全技术及防火措施	172
8. 孔內钻具的配合	52	第十一节 封孔	174
9. 附屬工具	53	第十二节 鑽探工作的組織与计划	174
第三节 鑽探设备	55	1. 劳动組織	175
1. 钻机	55	2. 生产计划与管理制度	175
2. 水泵	72	3. 作业时间的分析和劳动生产率的提高	176
3. 动力机	75	第五章 深井迴轉鑽探	180
4. 钻塔	82	第一节 深井轉盘鑽	180
第四节 鑽进前的准备工作	89	第二节 井底发动机鑽	182
1. 拟定鑽孔鑽进的技术条件	89	1. 渦輪钻	182
2. 鑽探方法的确定	90	2. 电钻	183
		鑽探工程发展途径	185

緒 論

一、鑽探在地质勘探工作中的作用及其 在国民經济中的应用范围

鑽探就是利用一定的設備工具，破碎地壳岩石，完成一个直径較小而深度較大的圓形孔，取出岩矿心后进行分析对比，掌握地质情况，以滿足地质勘探及国民經济其它各部門的需要。鑽探的应用范围是极其广泛的：矿产地质勘探、水文地质及工程地质勘探、采掘工业、农业、建筑业及其它工业部門。

在普查找矿阶段，为了剝离地表（制造人工露头）、了解地质构造、寻找盲矿体等，需要配合輕型坑探工程进行一些浅鑽；在勘探阶段，煤田、石油、大的磁鉄矿以及其它金属与非金属矿床，均須采用鑽探来取得品位、矿体形状及其它地质矿产技术条件，如构造、矿区水文地质等，以便对矿床作出正确的工业评价，計算儲量，为矿山开发設計提供必需的技术經济資料。

在水文地质和工程地质工作中亦多应用鑽探。如建筑巨大的工业与民用建筑必須用鑽探对地基进行了解；铁路、公路路基的工程地质勘测；水工建筑的工程地质勘探；地下水的观测和实验等工作中，均須借助于鑽探。

在采掘工业中，鑽探的应用也是很广泛的。如开采石油、天然气、盐水、工业或民用水等。

此外，还有很多輔助鑽孔，如矿山通风排水鑽孔；豎井掘进用的冻结和水位降低鑽孔；巷道内电纜、水管、风管的安装鑽孔；爆破鑽孔；掘进巷道时的超前指示鑽孔以及加固地基的灌浆鑽孔等。

凡是以勘探为目的的鑽孔称为勘探孔；以开采为目的的鑽孔称为开采孔；同时具有两种性质的称为勘探-开采孔；而以完成其它工程为主要目的的称为輔助鑽孔或技术鑽孔。

鑽探学是研究鑽孔方法、鑽孔設備、鑽进工艺以及如何将鑽探多、快、好、省的应用于国民經济各部門的一門技术性課程。鑽探是找矿勘探工作中重要手段之一。地质工作者必須具备鑽探学知識，才能够根据不同的地质条件，合理地选择鑽探方法，多快好省地安排鑽探工作，給快速鑽探創造有利条件。

二、我国鑽探发展簡史

鑽探起源于我們伟大的祖国。远在二千二百余年以前，我国古代杰出的水利地质学家李冰父子，在四川发现有咸泉存在，于是他們就凿井为泉，汲取卤水，解决用盐問題。当时凿井方法都是利用木材、竹条等制成簡易的設備和工具，以冲击方式进行凿孔的，那时設備虽然簡單，但已經能够鑽凿大口径且深度相当大的盐井。据記載在唐朝（公元618—906年）先后凿井640余口，其深度有超过300丈（約900米）的，可見当时凿孔技术是相当高的。这充分說明我国劳动人民在鑽探事业上有重大創造和貢獻的。但历代的封建統治者是不重視和发揚这些生产成就的，社会制度束縛了生产力的发展，工业进展迟緩，因而

一千多年来我国钻探事业也停滞不前。

在解放前的旧中国，反动统治者、军阀、买办资产阶级勾结帝国主义大量掠夺我国矿产资源，他们为了获得最高的利润，以掠夺式地见矿就采和专采富矿的资本主义经营矿山企业的方式掠夺我国地下宝藏，当时虽亦有少量钻探工作，但是极为有限，因而到解放时，仅遗留下14台残缺不全的钻机，可见那时根本谈不上钻探事业的发展。

1949年中华人民共和国成立以后，大规模的社会主义建设，需要大量的矿产资源，地质勘探工作得到了飞跃的发展，由于党和毛主席英明领导，我国的钻探工作才进入新的历史阶段，得到了史无前例地发展。在探矿机械方面，各地机械厂先后制造了国产钻探设备，并在很多地方建立了探矿机械厂，大量生产钻探设备与工具，钻机已由解放前破旧不堪的14台增加到几千台。目前全国探矿厂钻探设备生产量已基本满足全国钻探队生产的需要。在培养技术干部方面：从1951年起，在我国几所地质院校中，曾先后成立了有关探矿工程的专业，陆续培养了大批钻探技术工人和干部。使得我国钻探技术队伍在党的培养下，迅速成长起来。

1958年以来，钻探工作取得了很大成绩。例如创造了适合我国经济技术条件的“两大、两快、一小、一好”一整套快速钻探的方法和措施，基本上解决了中硬以下地层钻进问题。在钻探设备方面：试制成了油压钻机和轻便桅杆钻塔等。在升降工序机械化方面：创造了各种捞管机，提引器等。在新的钻进方法和新的破碎岩石方面：如冲击回转钻进法、水电效应破碎岩石等也进行了不少研究工作，且获得了初步成果。今后将会取得更光辉的成就。

几年来的大跃进，使钻探事业面貌焕然一新，但由于我国国民经济持续高速度地发展，这就要求地质勘探事业能满足国民经济发展的需要，以更高速度向前迈进。此外，坚硬地层、复杂地层钻进的两大难关还未完全被攻破；升降工序、搬运、拆卸等方面还未脱离手工操作，新的钻进方法和破碎岩石方法的研究工作还需大力开展。因此今后必须在党的领导下，继续鼓足干劲，创造性地进行钻探工作，使我国钻探技术在不久的将来赶上世界先进水平。

三、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（井口），底部叫孔底（井底），侧面叫孔壁（井壁），如图1所示。

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

钻孔的方向，有垂直的（垂直孔），各种不同倾斜的（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2所示。在勘探中一般多用直孔，急倾斜矿床则用斜孔。地质勘探钻孔孔径大致为75至150毫米，石油钻井直径可由 $3\frac{1}{8}$ "— $25\frac{1}{8}$ "。在采矿中采用大直径钻进竖井时，直径可达1米至数米，而爆破孔的孔径则可小至35—45毫米。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），目前钻进设备钻进技术水平已能钻进深度达到7000米以上的钻孔。

根据孔深，钻孔分为

0—150米为浅孔，常用于物探地质调查，水文及工程地质。

150—1000米为中深钻孔，是勘探一般矿藏所用的。

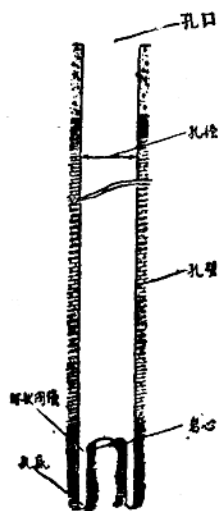


图 1

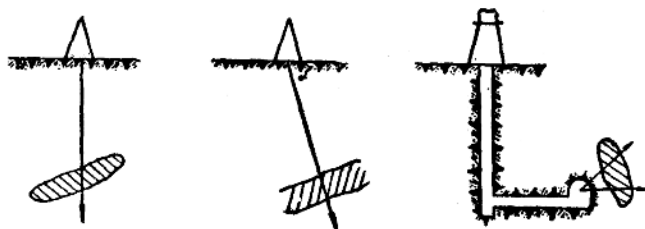


图 2

1000米以上称为深钻孔，为勘探和开采石油以及勘探深部矿藏时所采用。

四、钻进的基本程序及钻孔结构概念

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

1. 破碎孔底岩石：钻孔首先要进行破碎岩石的钻进工作，破碎岩石的快慢就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，可用冲击的方法及回转切削的方法或两者的综合，因之有冲击钻进、回转钻进和冲击回转钻进等方法。

冲击钻进破碎孔底岩石是利用具有楔形的冲击钻头，提升到一定高度自由下落，对孔底岩石进行冲击而破碎岩石。如此反复的提升与降落钻头，钻孔即被加深。利用这种方法使孔底岩石全部被破碎，故称为无岩心钻进或全面钻进。

回转钻进破碎岩石，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，沿着孔底刮取岩石，或用钻头施加压力于研磨材料，且带动研磨材料，在岩石上滚动来研磨岩石和刮取岩石。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岩石，中间保留岩石柱（岩心）称为岩心钻进。

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

近几年来还有一些其它新的破碎岩石的方法，如震动法、热力法、超声波、水电效应等，这些都还未完善和成熟，正在研究中。

2. 提取岩心和岩粉：岩石破碎过程中，产生岩心和岩粉。为了获取地质资料及继续有效的进行钻进，必须及时取出岩心和岩粉。由孔底取出所破碎岩石的方法有以下几种：

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

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

(3) 岩心随岩心管或取心器提出孔外；现在迴轉钻进，常用它来获取地下岩心。

(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，这是目前最常用的方法。

3. 加固孔壁：当岩石破碎后，则在地层中留下一个孔穴，破坏了原来地层的平衡状态，在不坚固的岩层（松软的、软质的、有大裂隙的、遇水膨胀的岩石等），为防止孔壁坍塌，隔离含水层和堵塞漏失等工作，必须加固孔壁。

加固孔壁的方法有如下几种：

(1) 借助于孔内循环的泥浆。由于泥浆的胶体化学性质，在孔壁形成泥皮可保护孔壁；同时泥浆本身所产生的静水压力，也可防止坍塌或隔离地层，这种方法最为经济。

(2) 用金属套管下入孔内，并借粘土或水泥封闭之，隔离地层或防止孔壁坍塌。

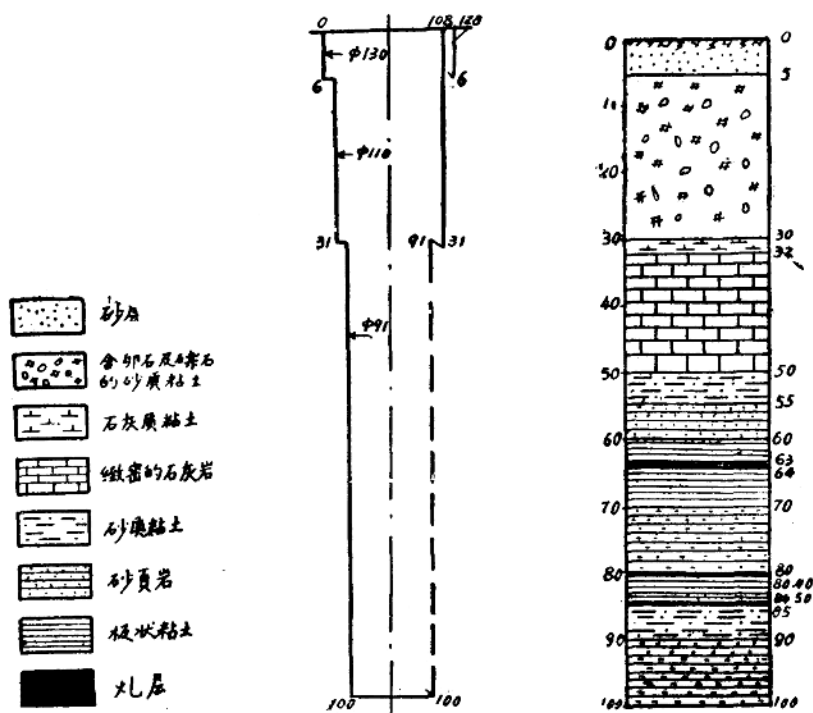


图 3 鑽孔結構圖

(3) 利用粘土和水泥。将粘土做成球状投入孔内，用鑽具捣实粘住孔壁，在缺乏套管或孔壁有严重裂隙、破碎的情况下，可以向鑽孔内灌入水泥，待干固后用小一级鑽具鑽穿，結果于孔内留一薄层的水泥圈以代替套管保护孔壁。

很显然当我们使用套管加固不稳固的孔壁后，如果还想繼續加深鑽孔，鑽孔直径就不能不发生变化，因而鑽孔并不是一个直上直下直径不变的圓孔，而呈阶梯状如图3所示，所以必須对鑽孔结构加以闡述。

鑽孔结构（鑽孔构造）也就是鑽孔的技术剖面，在该剖面中应该表明：1) 鑽孔的总深度和不同直径的分段深度；2) 鑽孔各段的直径及套管直径；3) 加固鑽孔的方法。

鑽孔在施工之先必須根据鑽探目的、鑽探方法、技术条件及地质条件进行鑽孔结构的設計。正确的設計鑽孔结构可以节省各种材料及动力、提高鑽进速度、保証順利鑽进，并能取得地质所需的足够資料，鑽孔结构問題，以后将在相应的章节进一步加以討論。

五、鑽探方法分类

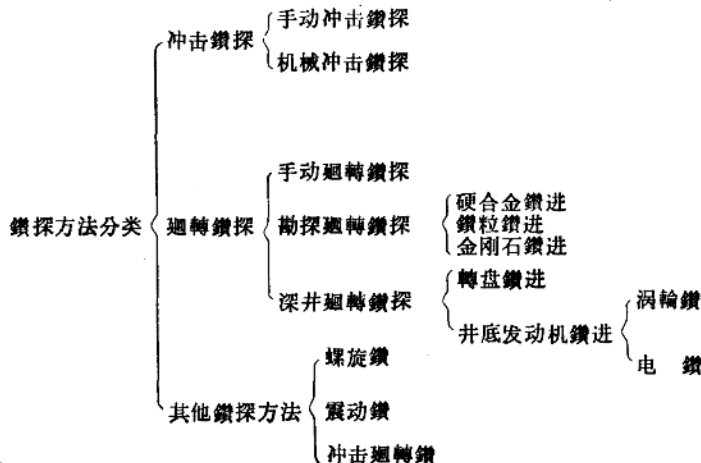
鑽探方法分类是根据破碎岩石方法不同而分为物理的、化学的和机械的。

物理方法破碎岩石有用高温（1400—3500°C）高压（20—25大气压）使岩石破碎、熔化和部分燃烧的热力。高温高速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的破碎方法，高频率加热时岩石的分裂和水电效应的破碎方法，还有爆炸法、无线电波法等。

化学方法破碎岩石应用很少。例如溶解、气化、軟化岩石等。

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）或者是应用高频率的震动力以破碎岩石。

根据破碎岩石的方法，考虑到目前的鑽探实际情况，可以将机械鑽探方法做如下簡要分类：



第一章 岩石的物理机械性质

形成一个鑽孔，首先須要破碎岩石，然后把岩石从鑽孔中清除出来。当岩石被清除之后，在地表内部留下了一个空洞，岩石本身所具有的平衡状态就被破坏，以致有坍塌之趋势。为了維持鑽孔的繼續延深，有时需要保全孔壁。

很明显，从鑽探全部程序看来，破碎岩石与防止岩石的破碎（加固孔壁）是鑽探工作中突出的矛盾。由于勘探鑽孔具有临时性以及鑽孔在空間暴露的面积不大的特点。我們可以看出，主要矛盾是破碎岩石。因此鑽探工作研究岩石物理机械性质的目的，就在于掌握其內在規律，給我們更有效的破碎岩石提出依据，即正确的选择破碎方法、破碎材料和鑽探設備；合理的确定最优的鑽进技术規程。

应当指出，鑽进是在复杂的自然条件下进行的，对鑽进有影响的并非岩石的某一种物理机械性质，而是許多綜合在一起产生的共同影响，如鑽进松軟的岩石时，岩石的硬度和强度不大，故破碎是容易的，但其含水性往往較大，顆粒間的粘結性較弱，保护孔壁則又較困难；又如鑽进坚硬岩石时，岩石的硬度較大，研磨性較强，以致鑽进速度异常緩慢，鑽头磨損与材料消耗大大增加，但岩石的穩固性有时較好，无須保全孔壁。

我們研究岩石物理机械性质的目的，既然在于提高鑽探效率，应当不单独局限于与目前机械破碎方法有关的岩石物理机械性质，也还需要研究与其他物理、化学方法破碎岩石有关的岩石物理机械性质，例如为了提高热力破碎岩石的效果，需要研究岩石的热力性质。但是目前生产中应用的仅是机械破碎方法，因此我們研究重点是与此有关的岩石物理机械性质，并且着重討論岩石的內在規律和在不同外界載荷作用下对岩石固有特性的影响，以利于正确的选择破碎岩石的方法。

第一节 岩石主要的单一物理机械性質

（一）强度

强度的意义是指岩石抗破碎的能力。亦即在不同形式外力作用下（拉伸、弯曲、剪切和压缩）岩石抗破碎阻力的总称。强度是以作用于岩石单位面积上极限应力来衡量的，单位是公斤/厘米²。

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所列出的数值可以看出，若岩石

的抗压强度为1，則抗剪强度为其 $\frac{1}{6} - \frac{1}{11}$ ，抗弯强度为其 $\frac{1}{5} - \frac{1}{12}$ ，抗拉强度为其 $\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$ 。

因此，利用岩石的抗拉与抗弯强度比較弱的特点，采用相应的机械破碎方法是可以得到較好的效果，但目前絕大多數破碎岩石的方法还仍用压入和剪切的方式。

岩石的抗压、抗剪强度取决于組成岩石的矿物之性质，顆粒間的胶結关系，胶結物的性质及分布，顆粒的大小，顆粒的充填程度（即容重或密度），結構，构造和风化程度等

表 1-1

岩 石 名 称	抗 压 强 度	抗 拉 强 度	抗 弯 强 度	抗 剪 强 度
花崗岩	1	0.02—0.04	0.08	0.09
砂岩	1	0.02—0.06	0.06—0.12	0.1—0.12
石灰岩	1	0.04—0.1	0.08—0.1	0.15

等因素。例如矿物本身顆粒較小，顆粒的充填程度大，胶結物质系硅质或灰质胶結，而且分布的比較均匀的岩石其抗压、抗剪强度一定大于矿物本身顆粒較大顆粒間的充填程度較差，灰质或泥质胶結而且胶結物分布的不很均匀的岩石。

此外，岩石的各向异性也反映出不同的强度，对一般的岩石，作用于垂直岩层层面的强度最小，平行于岩层面的强度次之，斜交于岩层面的强度最大。掌握这一規律，并依此选择鑽孔鑽穿岩层的方向，对提高鑽进效率也是重要因素之一。

岩石的抗压强度，一般都是指单向压缩所得的試驗数值，如岩石处于各向压缩的情况下，則岩石的机械性质将会大大变化。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是有着很大的差别，同时，也可以推断鑽深孔时，孔內的冲洗液柱所产生的靜水压力也会影响孔底岩石的强度。

(二) 硬度

硬度与强度的概念是有区别的。强度是一般的概念，是抵抗在不同形式外力作用下破碎阻力的总称，是抵抗其全部体积破碎的能力。硬度是岩石抵抗其他刚体压入的阻力，是岩石抵抗其局部表层破碎的能力，也就是岩石的抗压入阻力或称抗压入强度。

試驗証明，岩石的硬度較同一岩石，在单向压缩时的抗压强度要大好多倍，这說明岩石的硬度与岩石的抗压强度是不同的。例如花崗岩的抗压入强度（硬度）为3500—6200公斤/厘米²，而其抗压强度为800—2500公斤/厘米²。目前在工程上測定硬度的方法很多，适于岩石形态变化特点的是以各种不同形状的压模（球体、圓柱体、圓錐体等）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来表示的，其单位为公斤/厘米²。

岩石的硬度对鑽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測定岩石硬度的方法，在应力状态上与鑽进过程中切削具作用下，所发生的应力状态是相似的。

影响岩石硬度的因素也是多方面的，它与造岩矿物的成份，胶結物质的性质，岩石的结构等有密切关系。造岩矿物硬度大，則岩石的硬度也大，由粘土质胶結的矿物所組成的岩石比灰质、硅质胶結的岩石硬度小，結晶程度愈完善，結晶顆粒愈小，則岩石的硬度愈大。

岩石在靜載荷作用下与动載荷作用下所表現的硬度是不同的，靜硬度比动硬度要大的多，因此利用冲击动載荷去破碎极坚硬的岩石是非常有利的，表 1-2 所列几种岩石在动、靜載荷作用下的岩石硬度。

表 1-2

岩 石 名 称	靜 硬 度 (公斤/厘米 ²)	动 硬 度 (公斤/厘米 ²)
石英岩	70000	8000
石灰岩	16000	1900
輝綠岩	37000	4200

(三) 弹性、塑性和脆性

弹性、塑性和脆性是物体受外力作用后，对变形的不同表现。弹性是固体在除去所加之负载后，恢复原来状态的性能。岩石所具有的弹性并不是很强的，在除去负载后，岩石还留有某种残余变形。岩石的弹性很大程度上决定于矿物晶体的弹性。在岩石中应力与应变之间不是线性关系，也就是说岩石并不符合虎克定律，同时岩石的弹性极限不是一个定值，它决定于岩石和矿物本身固有的特性，也和外界因素有极大关系。例如负载的作用时间长短等。

当所加之负载去掉后，固体保持其变形的性能称为塑性。岩石的这一特性也往往通过外界因素影响而表现出来，在某些条件下如高的各向压缩的情况下，几乎所有岩石都呈现有塑性，一般情况下，泥质页岩粘土等岩石都具有塑性。岩石的塑性还受到湿度的影响，当湿度增加时，岩石的塑性加强，但当湿度超过一定限度后，则岩石出现了另一种现象即蠕变性。

脆性也是固体具有的特性之一，岩石一般都属于脆性体。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，因此外载荷达到岩石的弹性极限时，很快的出现了固体的完全破碎。固体的脆性也不是绝对的，是受外界条件影响，如作用时间与所加外载的速度。

总之，岩石的塑性与脆性是相对的。物体呈现塑性或脆性与外力作用方式，作用时间，加载速度和外界温度有关，如塑性体在各向拉伸条件下呈现脆性；脆性体在各向压缩条件下呈现塑性。物体受外力缓慢作用时呈现塑性；快速作用时呈现脆性。在高温时呈现塑性；低温时可能呈现脆性。

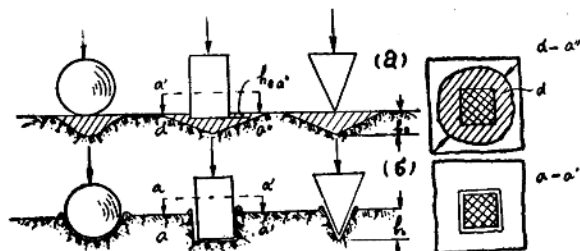


图 1-1 各种不同形状压模破碎岩石的特点

a—脆性岩石；b—塑性岩石。

d—破碎圈； b_0 —破碎深度； h_0 —压模压入深度

岩石的塑性与脆性，还可以从不同形状压模（球形、圆柱形、锥形等）破碎岩石的实际现象来观察到。从图 1-1 可以看出，对于塑性强的岩石，破碎圈和压模与岩石的接触面积几乎相等，破碎深度也和压模压入深度相同。脆性岩石则出现另外一种情况，破碎圈大于压模与岩石的接触面积，破碎深度也大于压模压入深度。

因此脆性岩石易于破裂成小块，而塑性岩石吸收部分无益于破碎的机械功，使钻进时功率的消耗增加，岩石不易破裂，但往往会成块的被剪切下来。实际现象表明，在脆性岩石中宜于用冲击或压碎压入的方式破碎，塑性岩石则宜于用迴转剪切的方式破碎。

组成岩石的矿物具有不同的形状，颗粒和弹性限度，因此加载荷后，产生形变也不一样，有些颗粒稍有变形，而另一些颗粒则已超过弹性极限开始破坏，这种实际现象对破碎岩石是有利的条件。

第二节 岩石主要的综合物理机械性质

(一) 可钻性

岩石的可鑽性是表示鑽頭破碎岩石的难易程度，它是岩石的綜合特性。一般可以依两个指标表示：即机械鑽速（純鑽進時間內，单位時間的進尺米數）和鑽頭的進尺數（一个鑽頭在磨損前一次鑽進的米數）。

鑽探工作中，將岩石按可鑽性分級的目的在于編制生产定額和預算，并依此选择鑽進方法、破碎岩石的材料、鑽頭的型式和合理的鑽進技術規程。

岩石可鑽性决定于岩石的物理机械性质、使用的鑽進方法和現有的技术水平。岩石的各种物理机械性质中，特别是硬度对可鑽性影响很大。硬度愈大的岩石，可鑽性等級也愈高。同样岩石，鑽進方法不同，則其鑽速也各异，因此不同的鑽進方法，不同的破碎岩石材料及鑽机的类型，都应有其相适应的可鑽性分級表。如手动鑽、机械冲击鑽等都有单独的可鑽性分級。鑽進時使用的設備，操作方法，对鑽進速度有很大的关系，故可鑽性也反映了技术水平。

在岩石迴轉鑽進中，依据目前的技术条件，把岩石按机械鑽速不同分为12級，該分級表編制的技术条件，如表1—3所示。岩石可鑽性分級如表1—4所示。

上述分級表有許多缺点，随着技术水平的提高，鑽進工艺的改善（完善的鑽進規程和合理的鑽頭结构）都将使机械

表 1—3

技 术 条 件	I—VI級岩石用 硬質合金鑽進	Ⅶ—Ⅻ級岩石用 鉄砂鑽進
鑽頭直径(毫米)	91	91
立軸轉數(轉/分)	160	160
軸心压力(公斤)	700	—
鑽頭底部单位面积压力(公斤/厘米 ²)	—	25
冲洗液量(升/分)	60—150	10—25
鉄砂供給法		一次供給法或連續供給法

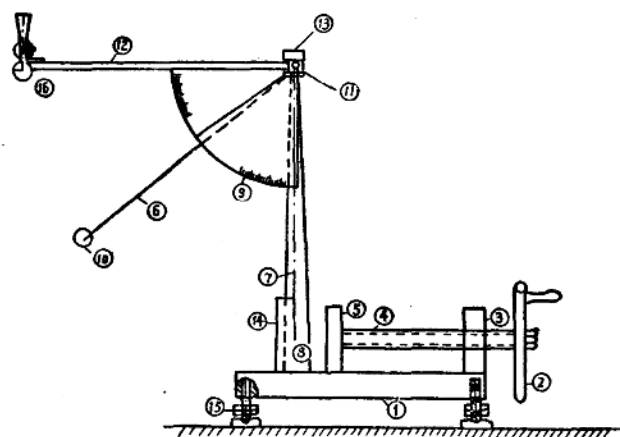


图 1—2 擺球式硬度計

- 1—底座；2—挤夹岩石样品的手輪；3—固定螺母；4—推进螺杆；
5—活动夹盘；6—摆綫；7—支柱；8—准心；9—角度規；10—摆球；
11—支杆；12—摆球杆；13—螺釘；14—固定岩石頂环；15—水平螺絲；16—夾子

自由下落运动，改变为摆式运动。当鋼球沿摆綫向岩石試样冲击时，它所具有的位能即变为动能。由于大部分岩石是弹性脆性体，岩石受打击后，在鋼球打击的中心部分，应力达到

鑽速大大提高，同时还改变了各种岩石鑽進速度之間的比值，这就必須定期地修改分級表。因此沒有客觀的关于岩石物理机械性质和岩石可鑽性的关系的資料，仅仅根据鑽進速度还不能評价这种或那种鑽進規程和鑽頭类型选择的合理性。为了消除上述的缺点，必須拟制客觀的評价岩石可鑽性的方法，但到目前为止，尙无令人滿意的結果。地质部勘探技术研究所根据推理，試驗了一种摆球式硬度計，經過多次試驗結果，有大部分岩石样品与測出的可鑽性等級相一致。儀器的结构如图1—2所示。

摆球硬度計，是将鋼球的自

表 1-4 按可鑽性岩心鑽探岩石分級表

岩石級別	岩石类别 (硬度)	每一級有代表性的岩石	可 钻 性 (米/小时)	一次提钻长度 (米/回次)
I 級	松 軟 疏 散 的	次生黃土, 次生紅土, 泥質土壤 松散的砂質土壤(不含石子及角礫), 冲積砂土层, 湿的軟泥 黏壤土 泥炭質腐植层(不含植物根)	7.50	2.80
II 級	較 松 軟 疏 散 的	黃土层, 紅土层, 松散的泥灰层 含有10—20%砾石(小于3厘米)的粘土质及砂质土层, 砂 姜黃土层。 松软的高岭土类(包括矿层中之粘土夹层) 泥炭及腐植层(带有植物根的) 冰	4.00	2.40
III 級	軟 的	全部风化变质的: 頁岩、板岩、千枚岩、片岩 輕微胶結的砂层 含有超过20%砾石(大于3厘米)的砂质土壤及超过20%无 砂姜黃土层 泥灰岩 石膏质土层, 滑石片岩, 軟白堊 貝壳石灰岩 褐煤, 烟煤 松软的錳矿	2.45	2.00
IV 級	較 軟 的	頁岩: 砂质頁岩、油頁岩、炭质頁岩、含錳頁岩、鈣质頁岩 及砂頁岩互层 較致密的泥灰岩 泥质砂岩 块状石灰岩、白云岩 风化剧烈的: 礫攪岩、純礫攪岩、蛇紋岩: 鋁矾土、菱錳矿、 滑石化蛇紋岩、磷块岩(磷灰岩) 中等硬度煤层 岩盐、鉀盐、結晶石膏、无水石膏 高岭土层 褐鉄矿(包括疏松的鉄帽) 冻结的含水砂层 火山凝灰岩	1.60	1.70
V 級	稍 硬 的	卵石、碎石及砾石层、崩积层 泥质板岩 絹云母綠泥石板岩、千枚岩、片岩 細粒結晶的石灰岩、大理石 較松软的砂岩 蛇紋岩、純礫攪岩、蛇紋石化的火山凝灰岩, 风化的角閃石 斑岩, 粗面岩 硬烟煤, 无烟煤 松散砂质的磷灰石矿 冻结的: 粗粒砂、砾层、泥层、砂土层 螢石帶	1.15	1.50

(續表)

岩石级别	岩石类别 (硬度)	每一级有代表性的岩石	可钻性 (米/小时)	一次提钻长度 (米/回次)
Ⅵ 级	中 等 硬 度	石英、綠泥石、云母、絹云母板岩、千枚岩、片岩 輕微硅化的石灰岩 方解石及綠帘石砂卡岩 含黃鉄矿斑点的千枚岩、板岩、片岩 鉄帽 鈣质胶結的砾石、长石砂岩、石英砂岩 微風化含矿的礫岩及純礫岩 石英粗面岩 角閃石斑岩、透輝石岩、輝长岩、阳起石、輝石岩 冻结的砾石层 較純明矾石	0.82	1.30
Ⅶ 级	中 等 硬 度	角閃岩、云母、石英、磁鉄矿、赤鉄矿的板岩、千枚岩、片岩 (如含鉄鉄矿物的鞍山式貧矿) 微硅化的板岩、千枚岩、片岩 含长石石英砂岩 石英二长岩 微片岩化的鎂长石斑岩、粗面岩、角閃石斑岩、玢岩、輝綠 玢灰岩 方解石化的輝石、石榴子石砂卡岩 硅质叶腊石(寿山石), 多孔石英 有硅质的海绵状鉄帽 鎂鉄矿、硫化矿物、菱鉄赤鉄矿 含角閃石磁鉄矿 含矿的輝石岩类, 含矿的角閃石岩类 砾石(60%的砾石, 系水成岩組成, 鈣质和硅质胶結的) 砾石层, 碎石层 輕微風化的: 粗粒花岗岩、正长岩、閃长岩、斑岩、玢岩、 輝长岩及其他火成岩 硅质石灰岩, 燧石灰岩 极松散的磷灰石矿	0.57	1.10
Ⅷ 级	硬 的	硅化絹云母板岩、千枚岩、片岩 片麻岩、綠帘石岩、明矾岩 含石英的碳酸盐岩石 含石英重晶石岩石 含磁鉄矿及赤鉄矿的石英岩 粗粒及中粒的輝石石榴子石砂卡岩 鈣质胶結的砾石 輕微風化的: 花岗岩、花岗片麻岩、伟晶岩、閃长岩、輝长 岩、石英电气石岩类 玄武岩, 輝綠岩, 鈣鎂斜长石岩, 輝石岩, 安山岩, 石英安 山斑岩 含鉄的礫岩、純礫岩等 中粒結晶鎂长斑岩, 角閃石斑岩 水成赤鉄矿层, 层状黄鉄矿, 磁硫鉄矿层 細粒硅质胶結的石英砂岩, 长石砂岩 含大块燧石灰岩 粗粒寬条带的磁鉄矿、赤鉄矿、石英岩 赤鉄矿、磁鉄矿	0.38	0.85

續表

岩石級別	岩石类别 (硬度)	每一級有代表性的岩石	可 钻 性 (米/小时)	一次提钻长度 (米/回次)
Ⅴ 級	硬 的	高硅化的: 板岩、千枚岩、石灰岩及砂岩等 粗粒的: 花崗岩、花崗閃長岩、花崗片麻岩、正長岩、輝長岩、粗面岩等 伟晶岩 微风化的: 石英粗面岩、微晶花崗岩 带有溶解空洞的石灰岩 硅化的凝灰岩、角闪化凝灰岩、絹云母化角闪岩 細晶质的輝石。綠帘石、石榴子石砂卡岩; 硅鈣硼石、柘榴石, 鉄鈣輝石微晶砂卡岩 細粒細紋狀的磁鉄矿、赤鉄矿石英岩 层状重晶石 含石英的黃鉄矿, 带有相当多黃鉄矿的石英 含石英质的磷灰岩层	0.25	0.65
Ⅳ 級	坚 硬 的	細粒的: 花崗岩、花崗閃長岩、花崗片麻岩等 流紋岩, 微晶花崗岩, 石英納長斑岩, 石英粗面岩 坚硬的石英伟晶岩 細紋結晶层状的: 砂卡岩、角闪岩 带有微晶硫化矿物的角闪岩 层状磁鉄矿层夹有角闪岩薄层 致密的石英鉄帽 含碧玉瑪瑙的鋁鋁矾土 玉髓层	0.15	0.50
Ⅲ 級	坚 硬 的	刚玉岩, 石英岩, 碧玉岩 块状石英, 最硬的鉄质角闪岩 含赤鉄矿磁鉄矿的碧玉岩 碧玉质的硅化板岩 燧石岩	0.09	0.32
Ⅱ 級	最 坚 硬的	完全没有风化的极致密的: 石英岩、碧玉岩、角闪岩、純納輝石刚玉岩、石英、燧石、碧玉	0.045	0.16

注: 1. 上列分級表中各級岩石的可钻性, 对KA-2M-300、KAM-500、3HΦ-300、3HΦ-650、3HΦ-1200型钻机都适用。对3HB-150、3HB-75型钻机Ⅰ—Ⅳ級岩石采用校正系数1.28。

2. 对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, 依其实际可钻性, 列入适当的岩石級別中。

4. 当钻进破碎带, 有裂隙或易膨胀岩石以及流砂层等, 同样应按其实际可钻性列入适当的岩石級別中。

5. 为了准确的确定岩石的可钻性, 必須用秒表进行測定。

表 1-5

岩石級数	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅷ	Ⅸ
回跳次数范围	5以下	6—10	11—15	16—20	21—25	26—31	32—37	38—43	44—48	50以上
平均值		8	13	18	26	28.5	34.5	40.5	46.5	