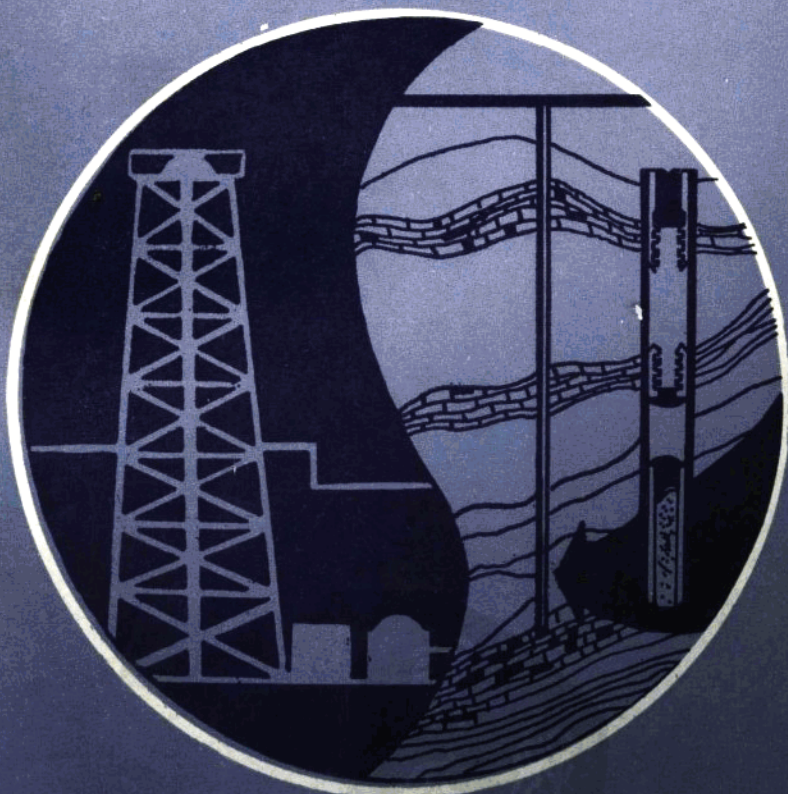


中等专业学校教材

钻探工程

(上册)

王世光 主编



地质出版社

中等专业学校教材

钻 探 工 程

上 册

王世光 周声振 刘济生 编

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书系按照地质矿产部教育司颁发的中等地质学校钻探专业四年制教学计划及《钻探工程》教学大纲编写。

本教材主要包括：岩心钻探、冲孔护壁与堵漏、水文地质钻探与工程地质钻探、石油钻井概论四篇。上册内容包括：绪论、岩石物理力学性质、硬质合金钻进、金刚石钻进、钻粒钻进、冲击回转钻进、开孔及复杂地层钻进、岩矿心采取、钻孔弯曲与定向钻进、原始报表与孔深校正、简易水文观测、封孔、孔内事故的预防及处理等十二章。

本书除作为中等地质学校钻探专业的教材外，还可供野外地质勘探队钻探工程技术人员参考用。

* * *

本书经地质矿产部中等专业学校探矿工程教材编审委员会于1984年10月主持召开的审稿会议审稿，同意作为中等专业学校教材出版。

* * *

中等专业学校教材

钻 探 工 程

上 册

王世光 主编

责任编辑 杨学涵

* * *

地 质 工 业 出 版

(北京西四)

地 质 工 业 钻 探 印 刷 厂 印 刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

* * *

开本：787×1092¹/₃₂ 印张：24 字数：570,000

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数：1—6070 册 定价：3.25元

统一书号：13038·教268

前 言

《钻探工程》教材是为适应地质学校钻探专业教学需要，按照地质矿产部教育司1983年7月颁发的中等地质学校钻探专业四年制教学计划及《岩心钻探工艺》、《冲孔护壁与堵漏》、《水文地质钻探与工程地质钻探》等课程教学大纲（试行）的要求和时数而编写的。它是在原试用教材和各地地质学校钻探专业教材的基础上，由地质矿产部中专探矿工程教材编审委员会组织长春地质学校、昆明地质学校、长春冶金地质学校共同讨论，编写大纲，分工编写，并经统一编审而成的统编教材。

本教材主要包括：岩心钻探工艺、冲孔护壁与堵漏、水文地质钻探与工程地质钻探、石油钻井概论几部份内容。按教学计划规定其中岩心钻探工艺应控制在180学时左右（包括实习试验、下同），冲孔护壁与堵漏应讲授75学时左右，水文地质钻探与工程地质钻探应讲授55学时左右，石油钻井概论应控制在40学时左右（可在选修课内讲授）。本书分上下两册，上册包括岩心钻探工艺，下册包括冲孔护壁与堵漏、水文地质钻探与工程地质钻探、石油钻井概论。

《钻探工程》是一门实践性较强的应用技术课程，是钻探专业的主要专业课之一。为此，教学过程中必须与实验课很好配合，做到理论联系实际，在紧扣教学目的和要求的前提下，处理好重点和难点的关系，注意培养学生分析问题和解决问题的能力，以及实际操作和独立工作的能力。教学过程中还应适当注意岩心钻探工艺、冲孔护壁与堵漏、水文地质钻探与工程地质钻探、石油钻井概论等内容间的联系和配合。此外，在《钻探工程》课讲授之前应进行一次钻探教学实习，并在实习过程中讲完《钻探概论》，以增强学生的感性知识。各地质学校在安排授课过程中，可根据具体情况进行调整。

本书编写分工是：长春地质学校王世光编写绪论、第一篇第一、二、四、五、六章和第四篇；昆明地质学校周声振编写第一篇七、八、九、十、十一、十二章和第三篇第四章；长春冶金地质学校刘济生编写第一篇第三章；长春地质学校曹日照编写第二篇第一、三、四、五章；修宪民编写第二篇第二、六、七章；焦恩远编写第三篇第一、二、三章。全书由王世光主编。

本书在编写过程中除参阅原有试用教材及各地地质学校自用教材外，还参考并引用了五院校编写的《钻探工艺》学教材的有关内容和插图。地矿部探矿装备工业公司、勘探所、有关省地质局、仪器厂、核工业部三局等为本教材提供很多有益的资料和科研成果，在此编者一并向他们表示感谢。

由于编者水平有限，再加上时间紧迫，书中定会有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1984年12月

目 录

绪 论	1
第一篇 岩心钻探	
第一章 岩石的物理力学性质	6
第一节 岩石的物理性质	6
第二节 岩石的力学性质	8
第三节 岩石的可钻性	18
第四节 岩石破碎的基本概念	29
第二章 硬质合金钻进	33
第一节 概述	33
第二节 硬质合金钻进原理	33
第三节 钻探用硬质合金的材料及型式	39
第四节 硬质合金钻头	43
第五节 硬质合金钻进技术参数	62
第六节 各类地层中的硬质合金钻进	72
第七节 硬质合金钻进的操作及注意事项	74
第三章 金刚石钻进	76
第一节 概述	76
第二节 金刚石钻进原理	79
第三节 金刚石	81
第四节 金刚石钻头	91
第五节 扩孔器	106
第六节 金刚石钻进技术参数	108
第七节 钻头的选择与使用	117
第八节 金刚石钻进注意事项	124
第四章 钻粒钻进	130
第一节 概述	130
第二节 钢粒钻进原理	132
第三节 钢粒及钢粒钻头	133
第四节 钢粒钻进技术参数	143
第五节 钢粒钻进的操作与注意事项	150
第五章 冲击回转钻进	152
第一节 概述	152
第二节 冲击回转钻的技术经济效果	155
第三节 液动冲击器结构及作用原理	160

第四节	风动冲击器.....	175
第五节	液动冲击器基本参数及部件设计要.....	182
第六节	设备及钻头.....	186
第七节	冲击回转钻进工艺.....	192
第八节	冲击回转钻进操作注意事项.....	194
第九节	液动冲击回转钻的发展方向.....	197
第六章	开孔及复杂地层钻进.....	199
第一节	钻孔结构.....	199
第二节	开孔前的准备及开孔.....	200
第三节	表土层钻进.....	200
第四节	流砂砾石层钻进.....	201
第五节	卵砾石层钻进.....	202
第六节	冲积层钻进的防斜和纠斜.....	203
第七章	岩矿心采取.....	204
第一节	概述.....	204
第二节	影响岩矿心采取质量的因素.....	205
第三节	采取岩矿心的一般方法.....	208
第四节	双层岩心管取心.....	211
第五节	绳索取心.....	219
第六节	反循环钻进取心.....	224
第七节	岩矿心的补取.....	241
第八节	岩矿心的整理、编录与保管.....	244
第八章	钻孔弯曲与定向钻进.....	246
第一节	概述.....	246
第二节	钻孔弯曲的原因及类型.....	248
第三节	钻孔弯曲的预防.....	255
第四节	钻孔弯曲的测量.....	262
第五节	钻孔空间位置的确定.....	304
第六节	钻孔弯曲的纠正.....	308
第七节	定向钻进.....	312
第九章	原始报表与孔深校正.....	332
第一节	原始报表.....	332
第二节	孔深校正.....	333
第十章	简易水文观测.....	336
第一节	概述.....	336
第二节	钻孔简易水文观测内容及方法.....	336
第十一章	封孔.....	340
第一节	概述.....	340
第二节	封孔方法.....	341

第三节 封孔质量的检查.....	342
第十二章 孔内事故.....	344
第一节 概述.....	344
第二节 钻具折断、脱落和跑钻事故.....	354
第三节 钻具挤夹、卡阻事故.....	358
第四节 埋钻事故.....	364
第五节 烧钻事故.....	366
第六节 孔内落物事故.....	368
第七节 套管事故.....	371

绪 论

一

《钻探工程》是一门应用技术课程，是钻探工程专业的主要专业课程之一。

本课程的具体内容包括：岩石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、冲击回转钻进、钻孔冲洗、护壁与堵漏、岩矿心采取、钻孔弯曲的预防与测量、定向钻进、孔内事故、水文地质钻探与工程地质钻探、浅层石油钻探、钻探新方法等。

本课程的任务是研究钻探工程的基本理论、钻探施工技术方法、钻探生产工艺流程，以及有关保证钻探“优质、高产、安全、低耗”的生产科学技术方法。通过本课程的教学，应使学生较全面掌握钻探工艺的基本知识、基本理论和基本技能；了解岩石的破碎机理、岩石物理机械性质与钻探的关系、岩石可钻性及其定级方法；掌握不同地层钻探施工方法和操作技能，以及开孔、封孔技术；掌握各种钻探工具、仪器的工作原理、并会合理的选择使用；能初步掌握冲洗液和护孔堵漏的理论及复杂地层护孔堵漏技术，以及冲洗液的配制、性能调整方法；能预防和处理常见孔内事故；初步掌握水文地质和工程地质钻探的技术方法及成井工艺等。

“钻探工程”的内容涉及的知识领域较广，它的发展是和其它科学领域的发展分不开的，现代工程技术科学领域中的新成就、新技术已广泛地引入钻探工程，因而也进一步促进了钻探工程的发展。它与地质学、化学及有机高分子化学、物理学及工程力学、水力学及液压技术、电工电子技术、机械制图、钻探机械、钻探企业管理等课程都有密切的联系。因此，在学习本门课程的同时，必须学好这些有关的基础课及专业基础课程。

《钻探工程》又是一门实践性很强的课程。因此，在教学时必须重视实践性环节，要充分利用试验、实习和参加生产实践，做到理论与实践相结合，培养学生的实际操作技能和独立工作的能力。

二

凡是利用钻机及其它钻探设备向地下钻孔，并取出孔内岩石(岩心)、岩粉，或向孔内投放测试仪器，以供地质勘探人员或有关人员了解不同深度地层的地质情况，为矿床勘探、工程施工等提供地质资料的工作统称为钻探工程。一般凡是需要取出孔内岩心的钻探工作，统称为岩心钻探。为开采地下石油、天然气、盐水或地下水等液体、气体矿床而向地下钻探的工作(可以不取岩心)称为钻井工程。

岩心钻探的深度一般在二千米以内，孔径在36—150mm之间。石油钻探钻井的深度可达几千米，井径一般在500mm以内。

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 (如铁、锰、铝、磷、煤、石油、建筑材料、石灰岩等), 内生巨型块状矿床 (如斑铜矿等), 以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, 成分复杂的有色金属、稀有金属矿床 (如脉钨、脉金等), 以及非金属矿床 (如金刚石等), 则以坑探为主, 配合一定的钻探工作。通过探矿工程查明矿产储量、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, 提交设计部门对矿床进行开采设计的资料。

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很重要的地位, 它的应用极为广泛。现将钻探工程的主要用途归纳如下:

(1) 地质普查钻探: 为揭露地表, 探明基岩性质、产状、分布、地质构造等, 或为配合物探工作而进行的爆破钻孔, 以及普查找矿钻探等。在地质普查找矿中常用地表取样钻或浅孔轻便钻等。

(2) 矿产勘探钻探: 详细查明矿区地质构造、矿体产状、品位、储量及矿区水文地质等, 为矿产的开采提供必要的地质资料。通常在勘探矿区布置一定的勘探网或勘探线, 一般用固定式钻机进行钻探。

(3) 水文地质钻探: 为查明地下水的赋存状态、水质水量及其运动规律等水文地质情况, 以及农业、工业、国防、生活用水等, 都需要进行水文钻探; 根据探采结合的精神, 有时在水文勘察后进行水井的成井工作。水文水井钻探多以专门的水文水井钻机进行钻探或钻井。

(4) 工程地质钻探: 为查明桥基、坝基、路基、水库、港口、大型建筑物和大型设备基础的钻探工作, 钻孔大多为浅孔并有特殊的取样要求。工作中都用特制的工程钻机进行钻探。

(5) 油、气田钻探: 石油、天然气的勘探及开采都需要进行钻探工作, 通常石油、天然气勘探钻井和开采钻井结合在一起, 通称石油钻井。此类钻井较深, 大都用专门的设备进行钻探。

(6) 工程技术钻探: 利用钻探工程进行工程施工和为达到工程技术目的进行的钻探工作, 如坑道掘进指示孔、探气孔、通风孔、排水孔、冻结孔、灌浆孔、运输孔、安装线路和管路的钻孔, 各种观测孔及专门的标孔钻探等。

随着科学技术和国民经济的迅速发展, 钻探工程又开辟了许多新的领域, 例如目前正在大力开展的为开发地热资源及大陆架海底石油、天然气资源的地热钻探和海洋 (石油) 钻探, 以及滨海钻探、海底地质钻探和大型建筑工程施工钻探等。为了解新地区和地球深处地质情况, 国外还进行了南极极地钻探和超深井钻探, 以及月球表层钻探等。以上情况, 进一步表明钻探工程的应用范围有了新的扩展。

三

钻探方法可根据破碎岩石的方法不相同,分为机械的、物理的和化学的三种。物理和化学破碎岩石的方法,目前尚处于研究试验阶段,不能有效地用于生产实践。用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,主要是在外加集中载荷作用下,岩石产生很大的局部应力而破碎。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

冲击钻探是利用钻头凿刃,周期性地对孔底岩石进行冲击,岩石受到突然的集中冲击载荷而破碎,为使钻孔保持圆柱状,钻头每冲击孔底一次后,转动一定角度再进行冲击,当孔底岩粉达到一定数量后,提出钻头,下入专门的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,现已被机械所代替。

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,在孔底以压皱、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,钻头被逐渐磨钝,钻进速度也随之降低。这时,应从孔内把钻头提出,更换新钻头再下入孔内继续钻进。如遇到孔壁岩层不稳定而坍塌掉块,或岩石内有空洞、裂隙使冲洗液漏失时,可用泥浆、水泥浆、化学浆液或下入套管等方法加固孔壁和堵漏。

回转钻探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、金刚石钻进等三种方法。又可根据破碎孔底岩石的形式不同,分为无岩心钻探(又称全面钻进)和岩心钻探(又称环状钻进)两类。岩心钻探可以从孔内取出完整的柱状标本——岩心,从而能够揭示地下岩层的岩性、产状、层序、层厚等。它是研究地下地质情况的可靠根据。因此,岩心钻探是地质勘探固体、液体和气体矿产及工程地质勘探的主要方法。

(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。冲击回转钻根据动力传动介质的不同,分为液动冲击回转钻和风动冲击回转钻两类。

冲击回转钻探主要应用于坚硬岩石,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

我们伟大的祖国，幅员辽阔，矿产富饶，应用钻探的历史悠久。钻探技术是我国古代许多科学技术发明之一。我国古代人为了寻找饮用水而挖凿水井。从钻探技术的演变过程来说，“凿井”可算作我国钻探历史的开端。凿井可追溯到春秋战国时代和周朝，甚至更早。以四川盐井而言，史书记载开始于秦，实际上凿盐井取卤水在秦以前（公元前约四百年）已开始。在出土文物汉砖上就有自盐井汲取卤文煮盐的图案。据历史材料记载，唐朝凿井已有六百四十余口。明朝宋应星著《天工开物》对四川地区开凿盐井有如下记载：

“凡蜀中石山在向下远者，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。其器治铁锥，如锥嘴形，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，或以足踏锥梢，如春米形。太深则用手棒持顿下，所春石成粉碎。随以长竹接引，悬铁盂之而上。大抵深者半载，浅者月余，乃得一井成就。”根据以上记载，说明当时是采用人力钻杆冲击的方法开凿盐井，所用钻头是锥嘴形、其刃坚固而锋利的铁锥。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“铁盂”捞取干净，然后再继续钻进。深井约半年左右完成，浅井一个月左右即可完成。当时的钻探工艺（与现代工艺很相似），创造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有重大贡献。

虽然我国的钻探事业有着悠久的历史，但是由于长期的封建制度的束缚，钻探技术一直得不到发展。特别是解放前的近百年来，由于封建买办阶级的反动统治及帝国主义的压迫和掠夺，地质勘探事业十分薄弱，钻探技术极其落后。解放前夕，全国只有十几台破旧钻机，钻探人员不及数十人。

解放后，党和政府十分重视地质勘探工作，地质勘探工作得到了巨大发展。国家陆续创建了地质院、校和钻探工程专业，举办了各种专门训练班，培养了大批钻探工人，技术人员，壮大了地质勘探队伍。另外还相继建立了探矿机械、仪器厂和勘探技术研究机构，担负着钻探机械设备、仪器的制造工作和钻探技术的研究工作。目前，钻探工程作为地质勘探工作的一个工种，已形成专门的学科，得到了很大的发展，为探明矿产资源做出了巨大贡献。

党的十一届三中全会以来，全党工作的重点已转移到社会主义现代化建设上来，开创了一个新的历史时期。广大钻探人员奋发图强，充分发挥群众的智慧，使钻探工作面貌焕然一新，表现在钻探工艺方面：已发展了国产硬质合金和各种硬质合金钻头；在煤田和某些软至中硬围岩中发展了轻便刮刀钻头无岩心钻进；在硬及坚硬岩层采用优质钢粒钻进；推广了金刚石钻进工艺，研究掌握了金刚石钻头的四种制造工艺；成批生产了人造金刚石高强度单晶、高耐磨聚晶，并用以制造各种人造金刚石钻头；初步推广了绳索取心钻进及小口径液动冲击回转钻进；初步试验掌握了潜孔锤（水井）、空气洗井、泡沫洗井钻进和高温地热井钻进；逐渐掌握了深孔钻进工艺，金刚石绳索取心钻进孔深记录已达2351m（ $\phi 76$ mm），台效已达470m；初步采用了若干种井下定向器具进行定向钻进，并因地制宜地发展了多种取心工具；另外还研究采用了各种优质轻泥浆、低固相泥浆、多种润滑剂、减阻

剂、乳化剂等冲洗液,实现了千米以内的深孔孕镶金刚石高速钻进。在钻探设备仪器制造方面:已能生产各种型号的岩心钻机,并初步形成系列(即300、600、1000、1500m)。另外定型生产了钻探100m、300m、500m大口径水文水井钻机,及30m、50m、100m工程钻机和若干特种钻机、潜孔振动钻机、空气反循环钻机、液压转盘钻机、动力头式全液压钻机、砂矿钻机和多用途钻机等。泥浆泵亦形成系列、即泵量可变的90、150、200、300型泥浆泵,还研制了钻井参数测定仪、测漏仪、小口径测斜仪和新型泥浆测试仪器等。

尽管钻探工作已取得很大成就,但在新的历史时期内钻探工作的发展还很不平衡,还有许多薄弱环节,它还不能适应四个现代化建设的需要。为了迅速提高钻探工程的水平,我们必须大力发展钻探工程的科学、教学工作,研究基础理论,提高认识能力,及时总结推广先进经验和先进技术,做好钻探管理工作,努力提高钻探水平。

第一篇 岩 心 钻 探

第一章 岩石的物理力学性质

钻探工作的对象是岩石。钻探工作必须了解组成地壳的各种岩石矿物。岩石的物理力学性质，因其成分和构造的不同而相差很大，对钻进的影响和反应也是各种各样的。为了更好的进行钻探工作，提高钻进质量和效率，必须对岩石的物理力学性质进行全面的了解。

研究岩石的物理力学性质，主要是研究与破碎岩石有关的因素，从而掌握其破碎的规律性，以便创造更有利的破碎条件，更好地选择钻进方法、钻进规程和切削具，研磨材料以及钻探设备类型等。

岩石是由各种晶质或非晶质的矿物组成。由于岩石本身分子结构以及成因条件的不同，岩石的基本状态可以分为坚硬的、可塑性的和松散性的三类。构成坚硬岩石的矿物颗粒间，存在着联结力和摩擦力，其联结力明显地大于摩擦力。这类岩石破碎以后，无论是湿润、压缩或同时湿润并压缩，都不能恢复原状，如花岗岩、石灰岩。和坚硬岩石一样，构成塑性岩石矿物颗粒间也具有联结力和摩擦力，但是其联结力与湿润程度有关，在联结力受到破坏时，如果加以压缩和湿润，则其联结力可以部分地或全部地恢复，各种泥质类岩石都有这种塑性现象。可以把松散性岩石看成颗粒间相互没有联结力，而只靠摩擦力相结合，如疏松的岩石，在被水饱和或完全干燥的情况下，都没有联结力。当含水达15—20%时，这种岩石则具有一定的联结力，典型的是砂子和砾石。岩石的上述三种状态并不是永恒的，它们可以在外界条件的影响下互相变化，如坚硬岩石经过地质构造和变质作用，能变成塑性岩石；经过外营力的风化作用，也能变成松散性岩石，而塑性岩石或松散性岩石，经过变质、沉积等作用，也会变成坚硬岩石。

组成地壳的各种岩石，按其成因特征可分为：岩浆岩、沉积岩和变质岩。如果把变质岩包括在岩浆岩中，则在地壳内，岩浆岩占95%，沉积岩占5%（其中泥质页岩占4%，砂岩占0.75%，碳酸岩类岩石占0.25%）。上述三类岩石，钻探工作中几乎都会遇到。煤田钻探、石油天然气和地热井勘探，所遇到的岩石大都是沉积岩。

由于岩石的构成和状态不同，所表现出的物理力学性质也不相同。一般岩浆岩的硬度较大（如花岗岩等），沉积岩的硬度较低（如页岩、泥岩等），由地表风蚀作用变质的变质岩较软（如高岑土）、而由于温度及压力作用变质的变质岩较硬（如矽卡岩、石英岩等）。

第一节 岩石的物理性质

岩石的物理性质又可称岩石的基本性质，它是岩石在生成过程中，由于构造变动和风化作用中形成的，如比重、容重、密度、孔隙度、裂隙性，含水性、透水性、松散性、流散性和稳定性等。与钻进有关的岩石物理性质有：

一、密度和孔隙度

岩石质量与其体积之比称为岩石的密度。假设用 G 表示岩石试样的重量，用 V 表示岩石试样的总体积，则岩石的容重 δ 为：

$$\delta = \frac{G}{V}$$

一般岩石的密度常以容重来衡量。

大多数岩石往往不是完整无隙的，矿物颗粒之间的全部孔洞，不管其大小和形状如何，都是岩石的孔隙。岩石的孔隙是由于地质构造作用，外力和内部应力的作用而产生的，岩石孔隙又与组成岩石的颗粒形状、大小及性质有关。岩石孔隙的多少常用孔隙度 η 来表示，孔隙度 η 是岩石中孔隙的体积 V_0 与岩石总体积 V 之比：

$$\eta = \frac{V_0}{V} \times 100\%$$

岩石的孔隙度与密度有关，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，岩石的密度、比重越大，其强度和硬度也愈大。岩浆岩比沉积岩致密，孔隙度小，因而其密度大，强度和硬度也大。常见岩石的孔隙度如表1—1所示。

表 1—1

岩石种类	孔隙度 (%)	岩石种类	孔隙度 (%)
花岗岩	1.2	砂岩	3—30
辉绿岩和辉长岩	1.0	砂	30—50
石英岩	0.8	泥质页岩	4
碳酸盐	1.5—22	粘土	45

岩石的密度变化范围从1400到3700kg/m³。超基性岩浆岩密度最大，如辉长岩密度变化范围是2700—3700kg/m³，橄榄岩的密度为2800—3400kg/m³；岩浆岩随着向酸性过渡而密度减小，如花岗岩密度是2500—2750kg/m³；变质岩密度的变化范围较大，如石英岩为2500—3600kg/m³，片岩和角闪岩为2500—3700kg/m³；沉积岩随压实和胶结程度的不同，密度有很大变化，如泥质岩类（泥岩、粉砂岩、砂岩）其变化范围从1600—1700kg/m³到2800—3000kg/m³；常见的是泥岩为2000—2500kg/m³，粉砂岩为2000—2400kg/m³，砂岩为2100—2650kg/m³；灰岩的密度取决于它的裂隙和胶结矿物，一般是2300—2900kg/m³；化学沉积的岩石密度较稳定，如岩盐为1970—2200kg/m³，石膏为2300—2500kg/m³。

二、含水性和透水性

由于岩石中有孔隙存在，地表水便会浸入岩体，从而使岩石含水。岩石含水的多少取决于孔隙的大小和数量。岩石的含水性一般用湿度或含水量来表示，一般由干燥岩石重量的百分数来测定，如砂岩为60%，石灰岩为2.5%。

岩石的含水性对岩石的强度有影响，孔隙大的岩石，水浸后其抗压强度降低25%—45%，一般也要降低15%—20%。致密的岩浆岩，由于孔隙度小，所以其强度降低最少。水中含有表面活性物质，则会使岩石的强度减低，因此，在坚硬岩石中钻进可试用软化剂来处理。

岩石透水的性能称为透水性；它以单位面积和时间内通过岩石的水量来表示。一般岩石孔隙度愈大，透水性愈高，岩石的强度和稳定性愈低。由于水是一种溶剂，当水透过岩石时，会溶解岩石中的某些成分而形成大孔隙或溶洞。因此，在透水性强的岩石中钻进，还容易发生冲洗液的漏失。某些小孔隙的岩石，在吸收一定水分后，其体积会膨胀，如有的粘土吸水后体积可增加50%，高岭土可增加200%；此时水就不会通过，具有这种性质的岩石叫不透水岩石，钻进时易引起缩径，糊钻或蹩泵现象。

三、松散性和流散性

当岩石从岩体上分开后，岩石碎块的体积，比在天然埋藏下原有体积增大的性能称松散性；松散性也是指岩石结构的致密程度，松散性强的岩石其颗粒之间的连接力弱，钻进时容易破碎但孔壁易坍塌。

岩石的自由面有极力趋向水平的性能称流散性。在流散性强的岩石（如流砂）中钻进，孔壁极易陷落、淤塞钻孔，使钻进困难。

四、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。所有的岩石可分为：稳定性良好的、稳定性中等的和稳定性差的三类。在稳定性差的岩石中钻进时容易发生孔壁坍塌现象，必须采取措施保护孔壁。

第二节 岩石的力学性质

岩石在机械外力作用下所表现的性质，称为岩石的力学性质。与钻进有关的岩石力学性质有强度、硬度、研磨性等。

一、强度

（一）岩石强度的概念

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，常用的强度单位为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。

坚固岩石和塑性岩石（如粘土）的强度，主要取决于岩石的内连结力和内摩擦力。松散性岩石的强度主要取决于内摩擦力。

岩石的内连结力主要是矿物颗粒之间的相互作用力，或者是矿物颗粒与胶结物之间的连结力，或者是胶结物与胶结物之间的连结力。一般颗粒之间相互的作用力大于胶结物之间的连结力；而胶结物之间的连结力又大于颗粒与胶结物之间的连结力。

岩石的内摩擦力是颗粒之间的原始接触状态，即将被破坏而要产生位移时的摩擦阻力。岩石的内摩擦阻力，构成岩石破碎时的附加阻力，且随应力状态而变化。

（二）影响岩石强度的因素

影响岩石强度的因素是各种各样的，但基本上可分为两个方面：即一种是自然因素，如岩石的矿物成分、结构及构造等；另一种是技术因素，如载荷作用的速度、形变的方式等。

1. 自然因素方面

岩石的机械强度，在很大程度上取决于组成岩石的矿物成分。石英在造岩矿物中具有最高的强度，其强度值可达 $3000-5000 \times 10^5 \text{Pa}$ ；因而在其它条件相同的情况下，岩浆岩中含石英矿物成分愈多则岩石的强度愈大。碳酸盐类的岩石主要由方解石、白云石组成。

方解石的强度是 $160 \times 10^5 \text{Pa}$ ，白云石的强度是 $200 \times 10^5 \text{Pa}$ 。随着方解石在岩石中的含量由100%减至7%时，则岩石的强度由 $1600 \times 10^5 \text{Pa}$ 可增至 $3000 \times 10^5 \text{Pa}$ 。由矿物颗粒胶结成的岩石，其强度决定于胶结矿物的成分，有时会遇到组成岩石的矿物本身强度很大，而整个岩石的强度则很小，岩石内胶结物所占的比例愈大，则矿物颗粒本身强度对岩石强度的影响愈小。

在相同矿物结构下，组成岩石的矿物颗粒直径的尺寸，对岩石的强度也有很大影响。根据对某些粘土质页岩的试验，其强度值与组成该岩石的颗粒直径成反比，当岩石中含有直径小于0.01mm的颗粒时，其强度很快增大；在花岗岩中，也存在同样的现象，粗粒花岗岩的抗压强度是 $800 \times 10^5 - 1200 \times 10^5 \text{Pa}$ ，而细粒花岗岩的强度则增加到 $2000 \times 10^5 - 2500 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

岩石的孔隙度对岩石的强度也有巨大影响。一般岩石的强度随孔隙度的下降而增大，如当石灰岩容重由1.5增至2.7时，其抗压强度就由 50×10^5 增至 $1800 \times 10^5 \text{Pa}$ ，砂岩的容重由1.87增至2.57时，其抗压强度就由 150×10^5 增至 $900 \times 10^5 \text{Pa}$ 。同样理由，岩石的孔隙度会随着深度的增加而减小，如图1-1所示，因而岩石的强度随其埋藏深度的增加而增加。

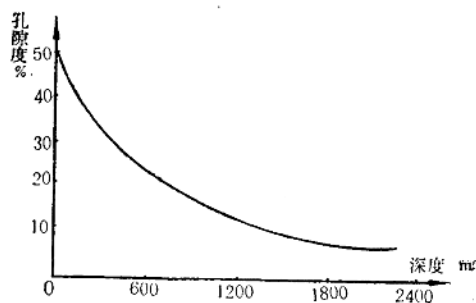


图 1-1 岩石孔隙度和埋藏深度的关系

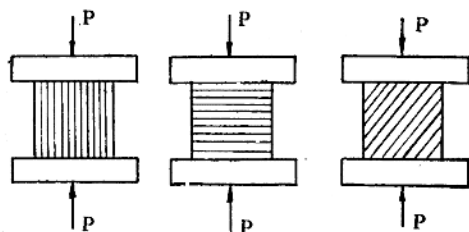


图 1-2 岩石层理对强度的影响

岩石的层理对强度的影响具有明显的异向性，垂直于层理的抗压强度最大，平行层理方向的抗压强度最小，与层理方向成某种角度的抗压强度介于二者之间。其原因是岩石层理面之间的连结力最薄弱，在沿平行于层理方向加压时，岩石易从层理面裂开。据实验资料证明：泥质页岩垂直于层理的强度比平行于层理的强度大1.05—2.00倍，砂岩大1.03—1.20倍，石灰岩大1.08—1.35之间。如图1-2所示。

另外岩石结构构造上的缺陷，也对强度有一定影响；在外力作用下，应力会在岩石缺陷处集中，而使岩石局部破碎，因而使岩石的强度降低。

(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，而抗剪、抗弯和抗拉强度依次减小，抗拉强度仅为抗压强度的10%以下。其表现形式是：

抗压 > 抗弯 > 抗剪 > 抗拉

表1-2列出几种岩石对不同变形时强度的实际数据，其中取单向抗压强度为100。一些岩石的强度极限列于表1-3中，供实际工作时参考。

表 1-2

岩 石	相 对 硬 度 %		
	抗 弯	抗 剪	抗 拉
花 岗 岩	9	8	2—4
砂 岩	10—12	2—6	2—5
石 灰 岩	15	8—10	4—10

表 1-3

岩 石	强 度 极 限, P_a		
	抗 压	抗 拉	抗 弯
砂岩: 粗 粒 的	1420×10^5	51.4×10^5	103.0×10^5
中 粒 的	1510×10^5	52.0×10^5	131.0×10^5
细 粒 的	1850×10^5	79.5×10^5	249.0×10^5
砂质泥质页岩	180×10^5	32.0×10^5	35×10^5
含有石膏的灰岩	420×10^5	24.0×10^5	65×10^5
泥 质 页 岩	$140-610 \times 10^5$	$17-80.0 \times 10^5$	$40-360 \times 10^5$
石 膏	170×10^5	19.0×10^5	60×10^5
角 闪 石	$1700-1808 \times 10^5$	$90-120 \times 10^5$	—
灰 岩	$906-1200 \times 10^5$	120×10^5	120×10^5
石 英 岩	$2930-3000 \times 10^5$	$108-150 \times 10^5$	$150-207 \times 10^5$
大 理 岩	$600-1900 \times 10^5$	$60-160 \times 10^5$	$240-310 \times 10^5$
砂 岩	$350-1500 \times 10^5$	$30-100 \times 10^5$	230×10^5
煤	$200-500 \times 10^5$	$15-25 \times 10^5$	90×10^5
玄 武 岩	$300-400 \times 10^5$	—	$175-460 \times 10^5$
花 岗 岩	$1000-2500 \times 10^5$	$100-150 \times 10^5$	$100-300 \times 10^5$

外载作用的速度与岩石的强度也有一定影响, 据实验证明, 物体 (包括岩石在内) 的强度与其内部应力增长的速度、外力作用的时间有关, 例如, 利用花岗岩进行抗压试验时, 把应力增长的速度由每秒 $19 \times 10^5 \text{Pa}$ 、提高到 $40 \times 10^5 \text{Pa}$, 其抗压强度由 $1588 \times 10^5 \text{Pa}$ 增加到 $1840 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在外力瞬时作用下石灰岩、砂岩、泥质页岩等的强度, 均较外力缓慢作用时增加 10—15%, 加载速度对塑性岩石的影响要比脆性岩石大。

钻进时所用的冲洗介质对岩石强度的影响, 对实际生产有现实意义, 是值得我们注意的。因绝大多数岩石的破碎, 都是在含有各种电解质和有机表面活性物质的液体介质中进行的。大量的电解质和表面活性物质可以被吸附在岩石表面, 形成吸附层; 吸附层不仅在岩石表面形成, 而且也会顺着联结力弱的地方 (岩石交界面或细微裂隙), 侵入表层的深处。这样, 岩石细微裂隙表面, 很快被吸附物质的单分子组成的吸附层遮盖住, 从而使自由表面能下降, 产生所谓楔裂压力, 使岩石在变形过程中, 保持或扩展其细微裂隙, 而使岩石的强度降低。必须指出的是, 介质对岩石性质的影响, 在很大程度上取决于岩石中孔隙和裂缝的存在, 孔隙和裂缝都给介质深入岩石深处创造了条件, 只有在这种条件下, 岩石强度才会受到较为显著的影响。例如: 孔隙大的砂岩和灰岩为水所饱和时, 其强度减小 25—45%。