

水文水井钻探

刘志国 等编著

工程技术

SHUIWEN SHUIJING
ZUANTAN
GONGCHENG
JISHU



黄河水利出版社

水文水井钻探工程技术

刘志国 吴青松 王现国 张秋冬 刘新红 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是为钻探工人技术等级培训考试而编写的, 主要内容包括水文地质学基础、机电基础、钻前工程、钻探设备、钻井工艺、成井工艺、地热能开发、钻井事故处理、旧井修复、施工管理、钻井技术展望等方面的知识。

本书既可作为技工等级考试培训的教材, 也可作为高等教育、成人教育的教材, 还可供从事本专业的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文水井钻探工程技术 / 刘志国等编著. — 郑州:
黄河水利出版社, 2008.4
ISBN 978-7-80734-414-8

I .水… II .刘… III .钻探-技术培训-教材
IV .P634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 055550 号

组稿编辑: 王路平 电话: 0371-66022212 E-mail: hhsllwlp@126.com

出 版 社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsicbs@126.com

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 20.50

字数: 470 千字

印数: 1—3 700

版次: 2008 年 4 月第 1 版

印次: 2008 年 4 月第 1 次印刷

定价: 45.00 元

前 言

钻探技工是整个钻探行业发展的基石，其技术水平的高低，直接影响到各项技术的推广应用效果。现有的钻工队伍技术水平参差不齐，实际工作中，又没有全面而系统的理论教材供大家学习参考。据了解，迄今仍有很多单位在沿用老的钻探工艺，导致效率低下，事故频发，钻探质量难以保证，已不能适应飞速发展的技术需求。近年来，笔者每年都参加河南省直机关事业单位钻探技术工人等级考试培训工作，感受尤其深刻。怎样使老的机班长通过培训能掌握一定的理论知识，使新工人经过一段时间的言传身教多一份处理具体问题的能力，是摆在培训组织者面前的一个难题。经过多年的沟通、酝酿，大家基本上形成若干共识：不论如何培训，都应该让参加培训者对于本专业的知识有一个相对全面的认知；教材中应保留传统的技术装备工艺，更应展现新的知识，引导每个级别的钻探工人在观念上有所创新、提高；杜绝那种为应付考试而组织的教材，更不能为了完成定级而降低要求，这也是笔者编写本书的真实目的。

本书相对系统地介绍了水文水井钻探的技术、装备、工艺及其相关联的地质、机电、管理等知识，保留了仍在使用的部分传统工艺，有选择地引进了一些新的技术、工艺，试图使参加培训或学习者，通过对本书的认知能够梳理自己的思维，顺利完成定级考试任务。如果这些知识能对今后实际工作有所裨益，则是笔者最愿看到的。

本书为水文水井钻探工的初级、中级、高级和技师培训的统一教材，对理论与实践进行了论述，各章结尾针对考工级别的不同给出了难易不同的复习题。人总是要发展提高的，现在是初级，将来要升到中级、高级，因而建议要系统地了解、掌握书中的知识，以便学习者对整个行业技术有一个较为系统的认识，从而拓宽自身的知识面。

为了把本书编写好，编者多次组织河南省内部分水文水井钻探专家进行研讨，又征求了很多老技师、老机长的意见，力求内容准确、全面、完整。本书的编写者均是多年来从事钻探生产技术管理的技术人员，实践与理论两方面能力都比较强，这也是本书编写中所着力突出的一个钻探特色。

本书的编写与出版，得到了河南省人事厅工人技术等级考试中心和河南省地矿局等单位及相关技术人员的强力支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于笔者水平所限，很多观点只是源于实践，又归于实践，有些观点在水文水井钻探中是首次提出的，部分内容亦未在理论上严格论证，难免有一叶障目之嫌。加之时间仓促，不足和错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编著者

2007年12月于郑州

目 录

前 言	
绪 论	(1)
复习思考题	(5)
第一章 水文地质基础知识	(6)
第一节 地质学基础	(6)
第二节 岩石的物理—力学性质	(12)
第三节 地下水基本知识	(14)
复习思考题	(18)
第二章 机电基础知识	(19)
第一节 机械制图基本知识	(19)
第二节 机械基础知识	(31)
第三节 内燃机及空压机	(37)
第四节 电工知识	(48)
第五节 电焊知识	(59)
第六节 液压传动	(64)
复习思考题	(67)
第三章 钻前工程	(69)
第一节 井口准备	(69)
第二节 设备运输与安装	(70)
复习思考题	(72)
第四章 主要设备及附属设施	(73)
第一节 钻 机	(73)
第二节 常用的泥浆泵	(78)
第三节 动力机	(82)
第四节 钻塔和游动系统	(82)
第五节 钻 头	(86)
第六节 钻具及钻井工具	(93)
第七节 井口工具	(98)
第八节 水龙头	(100)
复习思考题	(103)
第五章 钻井工艺	(105)
第一节 钻孔结构	(105)
第二节 钻进方法	(108)
第三节 钻进参数	(111)

第四节 钻具结构	(117)
第五节 钻井液	(117)
复习思考题	(124)
第六章 成井工艺	(126)
第一节 成井工艺选择	(126)
第二节 通井与破壁	(127)
第三节 井管安装	(128)
第四节 冲孔换浆	(131)
第五节 过滤器选择	(132)
第六节 填砾技术	(135)
第七节 止水与固井	(137)
第八节 洗井与抽水试验	(144)
第九节 钻探质量评价	(149)
复习思考题	(153)
第七章 地热能开发	(155)
第一节 地热能简介	(155)
第二节 国内外地热钻井情况	(160)
第三节 地热深井钻进设备	(161)
第四节 地热井钻进工艺要求	(165)
复习思考题	(166)
第八章 常见事故的处理	(167)
第一节 孔内事故的传统处理方法	(167)
第二节 常见事故及处理工具	(170)
第三节 钻具事故及处理	(177)
第四节 落物事故及处理	(179)
第五节 卡钻事故及处理	(180)
第六节 压差卡钻	(186)
第七节 井管整形及泵室换取	(189)
第八节 成井过程中常见事故及处理	(191)
复习思考题	(193)
第九章 旧井修复技术	(194)
第一节 研究对象及仪器	(194)
第二节 金属井管的腐蚀	(196)
第三节 旧井处理方法	(198)
复习思考题	(204)
第十章 钻井施工技术	(205)
第一节 基础知识	(205)
第二节 井场安装	(208)

第三节	钻柱的受力分析	(211)
第四节	直井防斜控制	(217)
第五节	事故处理方法	(222)
第六节	侧钻成井技术	(227)
第七节	螺杆钻具	(229)
第八节	泥浆性能的测量与调整	(231)
第九节	防漏与堵漏	(238)
第十节	井管的受力分析	(241)
第十一节	抽水试验的操作	(243)
	复习思考题	(246)
第十一章	钻井施工展望	(248)
第一节	钻井工程技术的发展	(250)
第二节	科学钻探工程	(258)
第三节	钻井技术的发展趋势	(261)
	复习思考题	(268)
第十二章	施工管理	(269)
第一节	质量管理	(269)
第二节	成本控制	(271)
第三节	岗位责任	(273)
第四节	安全管理	(277)
	复习思考题	(284)
第十三章	实际操作技能	(285)
第一节	设备的安装、调试	(285)
第二节	设备故障判断与排除	(287)
第三节	钻探设备的操作及故障排除	(295)
第四节	钻探工艺操作技能	(299)
第五节	安全防护	(305)
第六节	泥浆泵易损件	(308)
第七节	活塞式空压机的维护保养	(309)
第八节	设备日常管理及修理分类	(310)
第九节	抽水设备的选择	(312)
第十节	深井下钻、起钻过程要求	(313)
	复习思考题	(314)
附录	钻井施工中常用的术语	(315)
	参考文献	(320)

绪 论

钻探是一门古老的技术。在我国,钻探技术历史悠久,源远流长,且极具特色。伴随着现代科学的发展,这门学科博采众长,有了日新月异的发展,有力地支撑着人类对已知领域的建设、开发和对未知领域的不倦探索。

二战后,随着新的技术、工艺、设备和材料的广泛应用,钻探工程已形成了多学科相互交叉、融合的科学技术。进入 21 世纪,这项技术历久弥新,正在刷新着一个又一个世界。苏联 SG-3 钻孔,深达 12 869 m,为世界第一超深孔;德国 KTB 科学深钻,终孔深度 9 101 m;我国在东海实施的大陆科钻项目,深达 5 180 m,取得了一系列重大成果。超深科学钻探采用了大量的高新技术,几乎所有先进适用的工程技术措施(含人工智能钻井专家系统)都在其中得到创造性的应用。现代钻探技术不但可以施工垂直孔,而且可以钻进分支孔、水平孔。自动化、智能化系统已应用于钻探领域,实现了人为可控。

一、水文水井钻探

水文水井钻探是钻探工程的一个分支,它的发展也得益于钻探领域,特别是石油钻井工艺的实破。传统的施工技术在水文水井钻探中既有存留,又有舍弃,已形成全新的理念。近十几年来,伴随着水资源需求量的增大,水文水井钻探技术更加显现出无穷前景——水井深度在不断加大,服务范围更加广泛,在松散层、基岩层的深部都找到了地下水,突破了固有的传统观念。目前我国的水文水井钻探深度已经达到 4 000 余 m,这在若干年前还是不可想象的。

(一)钻孔分类

钻孔分勘探孔、试验孔、观测孔和探采孔四种。

(1)勘探孔:用于水文地质普查而布置的钻孔。主要是为了获取地层的岩性、地质构造和含水层的埋藏深度、厚度、性质及富水性等资料。钻探时要求满足岩心采取率、校正孔深、测量孔斜、简易水文地质观测、原始记录和封孔等六项指标。

(2)试验孔:用于初勘阶段而布置的钻孔。在初步掌握地层岩性、地质构造等资料的基础上,着重了解地下水的水量、水位、水质、水温等资料。要求进行分层观测、分层抽水、单孔或群孔抽水等。

(3)观测孔:用于研究地下水动态变化规律与抽水孔水位变化关系,以及了解不同含水层的水位、水温、水质变化而布置的钻孔。

(4)探采孔:用于已定水源地的详勘阶段而布置的钻孔。在已取得水文地质资料的基础上,结合工农业生产开采水源的需要布置钻孔。通过钻探进一步取得水文地质资料后,即可作为开采井使用。钻探时要求既满足获得有关水文地质资料,又要满足开采生产并对水质、水量、卫生防护等的要求。

另外,供水井是为满足供水需要而进行钻井成井的。按成井规范要求,一般其直径

都较大。

(二)钻孔布置

在水文地质测绘和工程地球物理勘探的基础上进行,其目的是查明勘察区的水文地质条件,取得水文地质参数和评价地下水资源所需的资料。在松散沉积物地区,需根据地质、地貌及水文地质条件布置勘探线网,勘探线间距与孔距按勘察阶段和不同类型松散沉积物地区的水文地质条件的复杂程度而定。在碎屑岩地区,勘探线的布置应能控制勘察区不同水文地质单元和地质构造、地貌条件,并且需垂直构造线或沿地层水文地质条件变化最大的方向布置。在岩溶地区,除按碎屑岩地区布置勘探线网外,还应考虑布置在沿地表水系和断层附近,岩溶裂隙发育带和岩溶微地貌发育处。

二、水文水井钻探常遇地层分析

(一)第四系孔隙含水层的特征

1. 山前平原地下水

山前堆积的洪积物和山坡上坡积物,在暂时水流的汇合后形成的宽广的平坦山前平原。山前平原由无数个洪积扇组成,由山麓至低地,由戈壁平原过渡为细土平原。洪积物、冲积物的颗粒由粗变细,冲积砂与洪积物往往互相叠置。在洪积层与冲积层中主要分布着潜水,由山麓向低地径流补给。含水层由单层潜水逐渐过渡为多层承压水,一般富水性强,水质较好,广泛用做供水水源地。

2. 狭窄河谷地下水

河谷内多为山区季节性流水侵蚀后堆积的粗颗粒的洪积与冲积物,分选性极差,河谷纵向坡度较大。其地下潜水由大气降水、地表水和基岩水补给,水质较好,可开采利用。

3. 宽阔河谷地下水

在河谷盆地内沉积着厚达数百米的第四系,上部为冲积层,下部常为湖积层,山前地带为洪积层。盆地内有常年流水河流通过,常有多级阶地。地下水资源丰富,以基岩为隔水底板形成良好的储水构造,分布着潜水和层间承压水,沿河岸开采地下水时可由河水获得补充,开采利用价值大。

4. 山间平原地下水

山间平原是由断陷和侵蚀等成因造成的盆地,一般四周环山,常有过境河流穿过。盆地内由河湖相堆积物组成,有的上部以冲积物为主,下部以湖积物为主。地下水以层间承压水为主,也有潜水分布,补给条件与周围山地的汇水条件有关,有时来自流水,水质好,易于开采利用。

5. 冲积平原地下水

冲积平原的含水层位为多层冲积层,常呈条带状分布,颗粒较细,古河道地带与河道间地带相间分布,与湖积物共存者含水层发育较差。地下水径流较迟缓,水位埋藏较浅,常有咸水存在。古河道地带水量丰富,水质较好,可作供水水源。

6. 海陆交互沉积的辽阔平原地下水

海陆交互沉积的辽阔平原的含水层为多层状含水结构,淡水含水层主要为细颗粒的

砂层，为陆相沉积物，以层间承压水为主，深部常有较好的淡水，可开采利用。

7. 海相堆积狭窄平原地下水

滨海堆积层一般分布面积不太大，厚度一般不超过数十米。此类平原含水以潜水为主，淡水呈透镜体存在，可作分散供水用。

8. 黄土高原地下水

由黄土覆盖的高原称为黄土高原，黄土高原地形平坦，但常被冲沟切割还保持大片平缓倾斜的黄土平台，称为黄塬。

黄土具有垂直的沟孔和孔隙，地表水容易渗透到底部，因此黄土高原地下水一般埋藏较深。地下水主要受雨水垂直渗透补给，在塬边沟谷以泉的形式排出。水质良好，可作为中小型供水水源。

(二)基岩裂隙水

1. 风化裂隙水

由沉积岩构成的丘陵山区的风化带中，一般均含风化裂隙水，呈面状分布，厚度一般为 30~50 m。在火成岩及变质岩的表层普遍分布风化带，均含水，属孔隙—裂隙潜水。富水性与岩性、风化程度、深度及地形条件有关。

2. 层间裂隙水

沉积岩中的含水层与相对隔水层互层，地下水赋存于一定层位的岩层中，呈层状分布，一般具承压性。富水性取决于岩层性质、厚度，成岩与区域裂隙发育程度有关。在岩浆岩中常见于火山碎屑岩中，分布于软硬岩层相间的裂隙发育上，一般水量不大。大理岩沿走向延伸较远，且厚度较大，能形成含水岩层。

3. 脉状裂隙水

基岩的构造破碎带、裂隙发育或破碎岩脉，均富存着丰富的地下水，呈脉状或带状分布，具有一定方向性，富水性与构造破碎带的规模和断裂破碎带的性质、规模及补给条件有关。

(三)岩溶地下水

在弱岩溶化的白云岩、薄层灰岩山区，岩溶地下水赋存于各种裂隙中，成为岩溶裂隙潜水。强烈发育的岩溶山区，由强烈溶蚀作用形成地下管道，地下水在其中构成暗河或暗河带，有一定的汇水面积和主要地下河道。在溶蚀和冲刷作用下形成较大的空间，聚集地下水形成地下湖泊。

三、岩石性质对钻井的影响

其影响主要表现在：影响钻进速度与钻头进尺；使钻进过程中出现井漏、井喷、卡钻等复杂情况；钻井液受到污染，性能变坏，井径不规则，进而影响到测井、固井等。

(1)黏土岩层。泥岩和页岩一般较软，钻速快，但容易产生钻头泥包。这种地层极易吸收钻井液中的自由水而膨胀，导致井径缩小。随着浸泡时间的延长，井壁会产生垮塌现象，井径扩大。

(2)砂岩层。砂岩一般来说是较好的渗透层，在井壁上易形成较厚的滤饼，易引起泥饼黏附卡钻。另外，滤饼对测井也有影响，所以必须使用优质钻井液。

- (3)砾岩层。在砾岩层中钻进易发生跳钻、蹩钻和井壁垮塌。
- (4)当地层软硬交错时，易发生井斜，地层倾角较大者也易发生井斜。
- (5)当岩层中含有可溶性盐类，即钻到石膏层、盐岩层时，要注意其对钻井液性能的影响。

四、断裂构造对钻进的影响

节理和断层是岩层遭受破坏的产物，它使岩石的不均匀性和各向异性更为明显，对钻进的影响表现为以下几方面：

(1)孔壁不稳定，容易出现坍塌、掉块现象，当护壁措施不力时，就会产生钻具回转阻力大、泵压高、蹩车及钻进效率下降等情况，最终导致卡、埋、烧钻及钻具折断和脱落等孔内事故。事故一旦发生，性质都比较严重，提升钻具的阻力较大。

(2)节理和断层的存在使岩石的孔隙度增大，程度不等地消耗钻井液。如节理和断层是连通的或开放性的，就成为地下水和钻井液的活动通道，在两者不平衡的情况下，产生涌水或钻井液严重漏失，使钻进不能正常进行。

(3)节理和断层中钻进容易造成钻孔弯曲，特别是钻孔沿断层面的滑动。岩层的不均性及孔壁间隙的增大，是造成钻孔弯曲增大的主要原因。

五、地球物理测井

地球物理测井简称测井，是在钻孔中测量电、声、放射性等物理性质的仪器，以辨别地下岩石和流体性质的方法，是勘探和开发油气田、地热等的重要手段。

(一)电阻率测井

电阻率测井是在钻孔中采用布置在不同部位的供电电极和测量电极来测定岩石(包括其中的流体)电阻率的方法。通常所用的三电阻率测井系列是：深侧向、浅侧向和微侧向电阻率测井。

(二)声速测井

声速测井是利用不同的岩石和流体对声波传播速度不同的特征进行测定的一种测井方法。通过在井中放置发射探头和接收探头，记录声波从发射探头经地层传播到接收探头的时间差，声速测井也叫时差测井。用时差测井曲线可以求出储集层的孔隙度，相应地辨别岩性，特别是易于识别含气的储集层。

(三)放射性测井

放射性测井即在钻孔中测量放射性的方法，一般有两类：中子测井与自然伽马测井。中子测井是用中子源向地层中发射连续的快中子流，这些中子与地层中的原子核碰撞而损失一部分能量，用探测器(计数器)测定这些能量用以计算地层的孔隙度并辨别其中流体的性质。自然伽马测井是测量地层和流体中不稳定元素的自然放射性发出的伽马射线，用以判断岩石性质，特别是泥质和黏土岩。

(四)井温测井

井温测井又称热测井，它可以进行地温梯度测量；可以在产液井中寻找产液的井段；在注入井中寻找注入的井段进行热力测井；可以通过邻井的井温测量检查注蒸汽的效果；

可以评价压裂酸化的效果等。

(五)地层倾角测井

地层倾角测井是在钻孔中测量地层倾斜方向和倾斜角度的方法。根据测得的数据，可以研究地质构造与沉积环境，从而追踪地下资源的分布情况。

(六)井径测井

井径测井仪是用来测量钻孔直径的。在未下套管的井中可以测量井径不规则程度，提供下套管固井施工所需要的水泥用量参数；还可根据钻孔的不规则形态，分析判断地下岩层裂缝的发育程度和裂缝的方向。在套管受损坏的井中，可以测量套管损坏的位置和变形情况。

(七)自然伽马射能谱测井

自然伽马射能谱测井用来测量地层中放射性元素铀、钍和钾 40 和伽马射线强度谱，从而确定它们在地层中的含量，以分析岩石和流体性质。

(八)声波变密度测井

补偿声波测量的是接收到的声波波列的首波达到的时间，用于测定地层的声波传播速度，源距较短，其资料用来计算地层孔隙度和确定气层。全波列声波测井记录的是接收到的声波全部波列，可测定岩层的全部弹性模量，其源距较长，其资料用于求解岩层强度、检查压裂效果及固井重量等，在求解地层孔隙度及判断气层方面比补偿声波更为准确。

(九)测井相

测井相又名电相，是从测井资料中提取与岩相有关的地质信息，并将测井曲线划分成若干个不同特点的步单元，经与岩心资料详细对比，明确各单元所反映的岩相。在一个地区建立了测井相后，可以利用测井曲线解释出井的柱状岩性剖面图。

复习思考题

1. 水文水井钻孔分为哪几种？(初级工)
2. 地下水分为什么几种？(初级工)
3. 岩石的性质对钻井有哪些方面的影响？(中级工)
4. 简述断裂构造对钻井的影响。(中级工)
5. 什么叫地球物理测井？测井包括哪些方面的内容？(高级工)

第一章 水文地质基础知识

第一节 地质学基础

一、地球的组成

地球作为一个整体，在构造上有它自己显著的特征，即它由同心圈所组成，不论是地球内部还是地球表面都是如此。地球的结构如图 1-1 所示。

地球最外面的一层叫地壳，这就是地球的表皮，假如把地球比做鸡蛋的话，那么，地壳就相当于鸡蛋的蛋壳。地壳由各种岩石组成，除地表覆盖一层薄薄的沉积岩、风化土和海水外，上部主要由花岗岩类的岩石组成，由于富含硅和铝，称为硅铝层，硅铝层的厚度并不到处一样，在大洋深处有的

地方甚至没有硅铝层；下部主要由玄武岩或辉长岩类的岩石组成，由于富含硅和镁，称为硅镁层。除大洋底部有硅镁层直接出露处，其余都埋在硅铝层之下。地壳的平均厚度为 33 km，大陆所在的地方比较厚一些，海洋所在的地方比较薄。如我国青藏高原下面的地壳厚度在 65 km 以上，海洋下面的地壳，厚度只有 5~8 km。在地壳表面还有一层风化壳，上面“发育”了一层薄薄的土壤。地壳的压力由上至下逐渐加大，由表面的 1 个大气压增至 1 300 个大气压，温度至底部增加到 1 000℃左右。

地壳同我们人类生产和生活的关系最为密切，里面含有大量的矿产，可供我们开采利用。

地壳往下的一层叫做地幔，又称“中间层”，介于地壳和地核之间，是固体层，厚度 2 900 km 左右。地幔可分为上、下两层。上地幔离地面 35~1 000 km，上地幔最靠地壳的一层是由橄榄岩一类的物质组成，这种物质非常坚硬。现在知道最深的地震，是发生在地下 700 km 的地方，即地幔上部。地幔的物质可能是固态的，也可能是像粘胶一样处在半流动状态，当它受到外力作用时，能够变形而不致破裂。如果地壳的某个地方发生了裂缝，地幔上部的物质就会喷出地表，变成熔融赤热的熔岩，这就是火山喷发了。下地幔离地面 1 000~2 900 km，可能比上地幔含有更多的铁。地幔体积占地球总体积的 83%，质量占整个地球总质量的 66%。

地幔再往里就是地核，它的半径约 3 500 km。地核可分为外地核和内地核两层。处在地表以下 2 900~4 980 km 的部分叫外地核，是液体状态；4 980~5 120 km 深处，是一个过渡带；从 5 120 km 直到地心则为内地核，是固体状态。地核的成分主要是铁，另外还有一些镍和碳的元素。

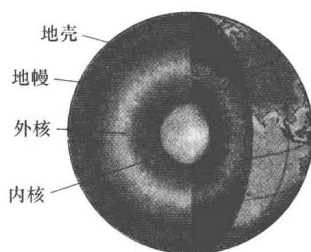


图 1-1 地球的结构

二、岩石与矿物

(一)岩石

岩石是天然产出的具稳定外型的矿物或玻璃集合体按照一定的方式结合而成的，是构成地壳和上地幔的物质基础，按成因分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。其中岩浆岩是由高温熔融的岩浆在地表或地下冷凝所形成的岩石，也称火成岩；沉积岩是在地表条件下由风化作用、生物作用和火山作用的产物经水、空气和冰川等外力的搬运、沉积和成岩固结而形成的岩石；变质岩是由先成的岩浆岩、沉积岩或变质岩由于其所处地质环境的改变经变质作用而形成的岩石。

(二)矿物

矿物是天然产出的、具有一定的化学成分和有序的原子排列，通常由无机作用所形成的均匀固体。

在科学发展史上，矿物的定义曾经多次演变。按现代概念，矿物首先必须是天然产出的物体，从而与人工制备的产物相区别。但对那些虽由人工合成，而各方面特性均与天然产出的矿物相同或密切相似的产物，如人造金刚石、人造水晶等，则称为人工合成矿物。

1. 矿物的形态

矿物千姿百态，就其单体而言，它们的大小悬殊，有的用肉眼或一般的放大镜可见(显晶)，有的需借助显微镜或电子显微镜辨认(隐晶)；有的晶形完好，呈规则的几何多面体形态，有的呈不规则的颗粒存在于岩石或土壤之中。矿物单体形态大体上可分为三向等长(如粒状)、二向延展(如板状、片状)和一向伸长(如柱状、针状、纤维状)3种类型。而晶形则服从一系列几何结晶学规律。

2. 矿物的物理性质

长期以来，人们根据矿物的物理性质来识别矿物。如颜色、光泽、硬度、解理、比重和磁性等都是肉眼鉴定矿物的重要标志。作为晶质固体，矿物的物理性质取决于它的化学成分和晶体结构，并体现着一般晶体所具有的特性——均一性、对称性和各向异性。

三、地质作用

地球的岩石圈(或地壳)已经形成40多亿年了。在这漫长的地史期间中，它无时无刻不在发生变化，从成分、结构、构造直至地球表面的形态。这种使岩石圈(或地壳)发生变化的作用就是地质作用；使它发生变化的力量叫地质营力。

科学家根据地质作用的速度把地质作用分为两类。一类是突发的或突变性的地质作用，如火山、地震和海啸、山崩或雪崩、山洪和泥石流等。另一类是极缓慢而安静的地质作用，常不易被人们觉察，如湖泊沉积作用、地表的沉陷、海岸的变迁等。沈阳附近的一座皇陵今天已被2 m多厚的黄土覆盖了，每年堆积1 mm左右，与华北地区普遍有百余米厚的黄土比较，堆积就是缓慢的了。

根据地质营力还可把地质作用分为内力作用和外力作用。内力作用由地球内部的能——主要是重力能和放射性元素蜕变产生的热能所引起，或者说，内力作用就是要通过

各种不管是突变的还是渐变的方式和手段来释放地球内部积累起来的能量。相应地，由地球以外的能源引起的是外力作用。太阳的辐射能是最主要的外力作用，有了太阳，才有昼夜的温差，一年才有四季，地球才有气候带；也因为有了太阳，才有了地球的生物圈。

地质构造是地壳运动的产物。构造运动是一种机械运动，涉及的范围包括地壳及上地幔上部即岩石圈，可分为水平运动和垂直运动，水平方向的构造运动使岩块相互分离裂开或是相向聚汇，发生挤压、弯曲或剪切、错开；垂直方向的构造运动则使相邻块体做差异性上升或下降。

构造运动在岩层和岩体中遗留下来的各种构造形迹，如岩层褶曲、断层等，称为地质构造。地质构造的规模有大有小，大的如构造带，可以纵横数千千米，小的如岩石片理等，它们都是地壳运动造成的永久变形和岩石发生相对位移的踪迹。

褶皱、节理和断层是最基本的地质构造，它们是岩石圈中构造运动的产物。

(一)岩层的产状要素及其测定方法

1. 岩层产状

岩层的产状是指岩层的空间位置，它是研究地质构造的基础。产状用岩层层面的走向、倾向和倾角三个产状要素来表示，见图 1-2。

走向：指岩层面与水平面交线的方位角，其表示岩层在空间延伸的方向。

倾向：指垂直走向顺倾斜面向下引出的直线在水平面的投影的方位角，表示岩层在空间的倾斜方向。

倾角：指岩层面与水平面所夹的锐角，表示岩层在空间倾斜角度的大小。

可见，用岩层产状的三个要素，能表达经过构造变动后的构造形态在空间的位置。

2. 岩层产状的测定及表示方法

在野外是用地质罗盘直接在岩层的层面上测量岩层产状的。

测量走向时，使罗盘的长边紧贴层面，将罗盘放平，水准泡居中，读指北针所示的方位角，就是岩层的走向。

测量倾向时，将罗盘的短边紧贴层面，注意将罗盘的北端朝向岩层的倾斜方向，水准泡居中，读指北针所示的方位角，就是岩层的倾向。

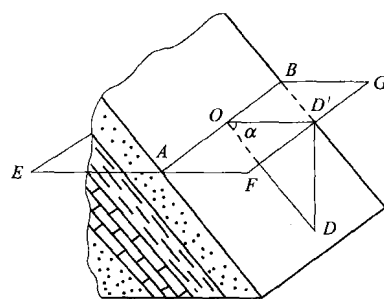
测量倾角时，需将罗盘横着竖起来，使长边与岩层的走向垂直，紧贴层面，等倾斜器上的水准泡居后，读悬锤所示的角度，就是岩层的倾角。

一组走向为北西 320° ，倾向南西 230° ，倾角 35° 的岩层产状，可写成：

$$N320^\circ W, S230^\circ W, \angle 35^\circ$$

在地质图上，岩层的产状用符号“ $\perp$ ”表示，长线表示岩层的走向，与长线垂直的短线表示岩层的倾向(长短线所示的均为实测方位)，数字表示岩层的倾角。

由于岩层的走向与倾向相差 90° ，所以在野外测量岩层的产状时，往往只记录倾向和倾角。如上述岩层的产状，可记录为 $SW230^\circ \angle 35^\circ$ 形式。如需知道岩层的走向时，只



AOB—走向线；EFGH—水平面；
 α —倾角；OD—倾斜线；
OD'—OD 的水平投影

图 1-2 岩层产状要素

需将倾向加减 90° 即可。

岩层的产状意义、测量方法及表达形式也适用于后面所学的褶皱轴面、裂隙面和断层面等的产状。

(二)褶皱构造

褶皱构造：指组成地壳的岩层，受构造应力的强烈作用，使岩层形成一系列波状弯曲而未丧失其连续性的构造；褶皱构造是岩层产生的塑性变形，是地壳表层广泛发育的基本构造之一。

1. 褶皱的概念

褶皱指褶皱构造中的一个弯曲，是褶皱构造的组成单位，每一个褶皱由褶皱要素组成，褶皱要素包括核部、翼、轴面、轴及枢纽等几个部分。

核部：指位于褶皱中央最内部的一个岩层，是褶皱的中心部分。

翼：位于核部两侧，向不同方向倾斜的部分。

轴面：指从褶皱顶平分两翼的面，轴面是为了标定褶皱方位及产状而划定的一个假想面，其可以是一个简单的平面，也可以是一个复杂的曲面，还可以是直立的、倾斜的或平卧的。

轴：指轴面与水平面的交线。轴的方位，表示褶皱的方位；轴的长度，表示褶皱延伸的规模。

枢纽：指轴面与褶皱同一岩层层面的交线，褶皱的枢纽有水平的，有倾斜的，也有波状起伏的；枢纽可以反映褶皱在延伸方向产状的变化情况。

2. 褶皱的类型

褶皱的基本形态是背斜和向斜，见图 1-3、图 1-4。

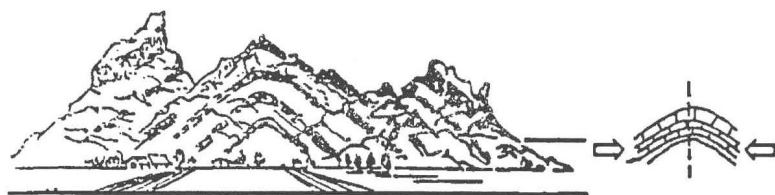


图 1-3 背斜素描图



图 1-4 向斜素描图

(三)断裂构造

构成地壳的岩体，受力作用发生变形，当变形达到一定程度后，使岩体的连续性和完整性遭到破坏，产生各种大小不一的断裂，称为断裂构造。

断裂构造是地壳上层常见的地质构造，分布很广，特别是在一些断裂构造发育的地带，常成群分布，形成断裂带。根据岩体断裂后两侧岩块相对位移的情况，断裂构造可分为裂隙和断层两类。

1. 裂隙

裂隙是存在于岩体中的裂缝，是岩体受力断裂后两侧岩块没有显著位移的小型断裂构造，也称为节理，见图 1-5。

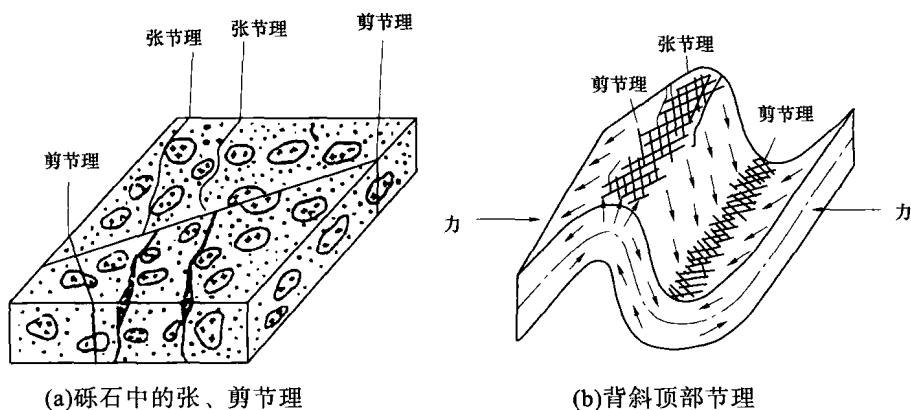


图 1-5 节理

2. 裂隙的类型

按成因裂隙可分为构造裂隙和非构造裂隙两大类。

(1)构造裂隙：岩体受地应力作用随岩体变形而产生的裂隙，在成因上与相关构造(如褶皱、断层等)和应力作用的方向及性质有密切联系，故其在空间分布上具有一定的规律性。

按裂隙的力学性质，构造裂隙可分如下两种：

张性裂隙：主要发育在背斜和向斜的轴部，裂隙张开较宽，断裂面粗糙，一般很少有擦痕，裂隙间距较大且分布不匀，沿走向和倾向都延伸不远。

扭(剪)性裂隙：一般多是平直闭合的裂隙，分布较密，走向稳定，延伸较深、较远，裂隙面光滑，常有擦痕。扭性裂隙常沿剪切面成群平行分布，形成扭裂带，将岩体切割成板状。有时两组裂隙在不同的方向同时出现，交叉成“X”形，将岩体切割成菱形块体。扭性裂隙常出现在褶皱的翼部和断层附近。

(2)非构造裂隙：指由成岩作用、外动力、重力等非构造因素形成的裂隙，如岩石在形成过程中产生的原生裂隙、风化裂隙，以及沿沟壁岸坡发育的卸荷裂隙等，其中风化裂隙主要发育在岩体靠近地面的部分，一般很少达到地面下 10~15 m 的深度。裂隙分布零乱，没有规律性，岩石多成碎块，沿裂隙面岩石的结构和矿物成分也有明显变化。

(四)断层

岩体受力作用断裂后，两侧岩块沿断裂面发生了显著位移的断裂构造，称为断层。