

高等学校教学用书

矿 山 机 械

(钻孔机械部分)

冶 金 工 业 出 版 社

C917

高等学校教学用书

矿 山 机 械

(钻孔机械部分)

北京钢铁学院 陈玉凡 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

矿 山 机 械

(钻孔机械部分)

北京钢铁学院 陈玉凡 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 23 1/2 字数 561 千字

1981年9月第一版 1981年9月第一次印刷

印数 00,001~4,800 册

统一书号: 15062·3710 定价**2.40元**

前 言

本书是根据冶金高等院校矿山机械专业的教学计划和钻孔机械课程的教学大纲编写的。

全书共分六章。内容主要包括岩石的性质及钻孔破碎岩石原理，凿岩机械，凿岩台车，潜孔钻机，牙轮钻机和凿岩新技术等。书中重点讲述上述钻孔机械的工作原理、结构设计和设计计算；对于使用和维修知识也做了简要的介绍。

本书由北京钢铁学院陈玉凡主编。第一章由昆明工学院郭润国编写，第二章第一节由西安冶金建筑学院乔云峰编写，第二章第二节由昆明工学院徐吉昌编写，第二章第三节及第四章第二节由东北工学院张国忠编写，第三章由江西冶金学院张悦规编写，第四章（第二节除外）和第六章由北京钢铁学院陈玉凡编写，第五章由东北工学院佟杰新编写。

在审稿过程中，曾得到中南矿冶学院夏纪顺、太原重型机械学院于任灵和西安冶金建筑学院李隆秀等同志的指导和帮助，在此特表示感谢。由于我们水平有限，书中缺点和错误在所难免，诚恳希望广大读者给予批评指正。

本书系大学矿山机械专业教材，亦可供其他有关的工程技术人员和工人参考。

编者

1979年6月

目 录

第一章 岩石的性质及钻孔破碎岩石原理	1
第一节 岩石的物理机械性质	1
一、岩石的组织与构造	1
二、岩石的物理性质	3
三、岩石的机械性质	4
第二节 岩石分级	10
一、按坚固性系数 f 分级的岩石分级法	10
二、我国的岩石分级状况	11
第三节 钻孔破碎岩石原理	12
一、岩石破坏原理	13
二、冲击转动式钻孔破碎岩石原理	15
三、旋转式钻孔破碎岩石原理	25
四、旋转冲击式钻孔破碎岩石原理	30
五、热力钻孔破碎岩石原理	38
第二章 凿岩机械	40
第一节 风动凿岩机	40
一、风动凿岩机的类型及应用范围	40
二、气腿式凿岩机的构造及工作原理	41
三、外回转导轨式凿岩机的构造及工作原理	53
四、风动凿岩机设计	56
第二节 液压凿岩机	80
一、液压凿岩机发展概况及分类	80
二、液压凿岩机的结构及工作原理	81
三、液压凿岩机设计中的几个问题	91
第三节 凿岩机（包括冲击器）性能参数测试	94
一、冲击功测试	94
二、冲击次数测量	97
三、扭力矩测量	97
四、耗风量测试	98
五、钎子转速测定	98
六、国内外测试技术新发展	98
第三章 凿岩台车	101
第一节 概述	101
一、凿岩台车的分类	101
二、凿岩台车的应用	101
三、凿岩作业对台车的设计要求	101
第二节 平巷掘进凿岩台车的结构和工作原理	102
一、凿岩台车的组成及工作原理	102

二、凿岩台车的工作机构	112
三、液压系统、风水系统及台车的自动操作	117
第三节 采矿凿岩台车的结构和工作原理	119
一、采矿凿岩台车的应用及技术性能	119
二、CTC-700型采矿凿岩台车的构造及动作原理	119
三、CTC-214型凿岩台车简介	124
第四节 凿岩台车设计	125
一、台车设计依据	125
二、台车上安装凿岩机的台数	125
三、凿岩台车的外形尺寸	126
四、凿岩台车的工作尺寸	128
五、推进器设计	131
六、推进器补偿机构设计	133
七、变幅机构设计	134
八、液压平动机构设计	138
九、主要零件强度计算	147
第五节 国内外凿岩台车发展近况	150
第四章 潜孔钻机	157
第一节 概述	157
一、潜孔钻机的分类	157
二、潜孔钻机的结构组成及工作原理	157
三、潜孔钻机设计的初始参数	163
四、潜孔钻机的特征参数	166
第二节 潜孔钻具	166
一、冲击器	166
二、冲击器用钻头	177
第三节 回转供风机构	182
一、回转供风机构的组成和作用	182
二、回转供风机构的工作参数	183
三、回转供风机构的结构分析与计算	185
四、回转供风机构的维护与运转注意事项	196
第四节 提升调压机构	197
一、提升调压机构的作用	197
二、提升调压机构的组成及工作原理	197
三、提升机构的设计与计算	201
四、调压机构的设计与计算	208
第五节 接卸钻杆机构	210
一、接卸钻杆机构的组成部分及分类	210
二、接卸钻杆机构的结构及工作原理	211
三、接卸钻杆机构的设计计算	215
四、接卸钻杆机构的维护和运转注意事项	218

第六节 钻架起落机构	219
一、对钻架起落机构的要求及其分类	219
二、钻架起落机构的结构及工作原理	219
三、钻架起落机构运动参数的确定与计算	223
第七节 除尘与空气增压净化装置	230
一、除尘与空气增压净化装置的应用与分类	230
二、干式除尘器	231
三、湿式除尘系统	241
四、空气增压净化装置	243
第五章 牙轮钻机	247
第一节 概述	247
一、牙轮钻机与牙轮钻头发展概况	247
二、牙轮钻机的类型	248
三、牙轮钻机的工作原理及穿孔规范	248
第二节 牙轮钻头	252
一、牙轮钻头的类型、工作原理与结构	252
二、牙轮钻头的设计与计算	260
第三节 牙轮钻机的总体设计	279
一、牙轮钻机整机参数选择	279
二、牙轮钻机工作参数计算	279
三、牙轮钻机的稳定性	288
第四节 回转机构的结构分析与计算	290
一、回转机构减速器	290
二、钻杆连接器	294
三、回转电动机	294
第五节 提升、加压系统的结构分析与计算	295
一、提升、加压机构传动系统	296
二、回转加压小车	300
三、提升、加压系统设计计算	302
四、封闭链条及均衡张紧装置	304
五、A型架轴装置	310
六、加压系统原动机的选择	314
第六节 钻架装置的结构分析与计算	317
一、钻架	318
二、钻杆架	320
三、钻杆	324
第七节 钻机平台与支承千斤顶	326
一、平台	326
二、支承千斤顶	326
第八节 履带行走机构的结构分析与计算	330
一、履带行走装置的构造	330
二、履带行走装置的传动机构	332

三、履带行走装置计算	332
第九节 牙轮钻机的液压系统	344
一、概述	344
二、HYZ-250钻机液压系统	344
三、45-R钻机液压系统	348
四、KY-310钻机液压系统	352
第六章 凿岩新技术	355
第一节 新型凿岩机械	355
一、新型机械钻机	355
二、热力剥落钻机	358
三、熔蚀气化钻机	359
四、化学钻机	361
第二节 高压水射流技术的新发展	362
一、高压水射流技术的发展概况	362
二、高压水射流技术在采矿方面的应用	362
三、高压水射流发生器	362
四、高压水射流参数的计算	365
五、高压水射流的前途展望	366
主要参考文献	368

第一章 岩石的性质及钻孔破碎岩石原理

第一节 岩石的物理机械性质

一、岩石的组织与构造

岩石是组成厚度约16公里的地壳的自然物体。岩石一般分为基岩和冲积层。埋藏于开始形成地方的岩石称为基岩；被自然作用破坏了的岩石碎片或者在原来的地方，或者被风与冰等带动某一距离之后形成的比较松软的岩石称为冲积层。

基岩按其生成的原因分为：火成岩、沉积岩和变质岩。

火成岩由熔融的高温岩浆冷凝后形成，它又分为深成岩和表流岩。

深成岩为致密的晶体构造，具有极大的强度。这类岩石有花岗岩、正长岩、闪长岩等。表流岩则多为玻璃状构造，具有很高的硬度。这类岩石有玄武岩、安山岩和流纹岩等。

沉积岩的特征是成层状，是矿物质之堆积。由于它的生成没有经过地质作用的高温和高压的影响，所以它的构造比火成岩和变质岩疏松，强度也较小。但以二氧化矽为主要成分的沉积岩，如：砂岩、燧石质灰岩等，强度又很大。

变质岩是由沉积岩或火成岩受地质作用而生成的。它是在高温高压下形成的矿物质之再结晶，因而改变了原来的结构，机械性能也有很大变化。如：石灰岩是方解石的堆积，结构疏松、强度小；大理岩为石灰岩的变质岩，其中的方解石经过再结晶，改变了原来结构，因而强度增大。

岩石是由矿物颗粒组成的，根据矿物颗粒连结特点的不同可以分为：（1）晶质颗粒直接连结，或是依晶质颗粒间分子相互作用力而连结的岩石；（2）矿物颗粒靠胶结物质胶结的岩石。

岩石的组织是指构成岩石的矿物颗粒的成分、大小、形状及其相互间的排列位置、以及连接这些颗粒的胶结物质的种类与分量和连接特点而言的。

按组织，岩石又可分为：晶质岩、非晶质岩和碎屑岩。

火成岩、变质岩及一些沉积岩都是具有晶状组织的。按晶体的大小，岩石还可分为粗粒晶质的、中粒晶质的、隐晶质的和细粒晶质的。

要了解岩石的组织，就必须着重了解它的结构。岩石的结构是说明小块岩石的组织特征的。这些特征与矿物颗粒的外部特征有关，即与它的大小、形状、表面特征和晶体排列有关。图1-1表示岩石六种基本类型的晶体结构。很多岩石具有晶体的组织，若把岩石打碎，即可看到断口处的细小晶面，如：食盐为立方体；硫黄和重晶石为菱形体；赤铁矿为六角形体等。在许多晶体中不同方向的连接强度是不同的。某些岩石，在它的断口上没有任何晶体的征兆，这种岩石称为非晶体岩石，如煤。非晶体在所有的方向上具有相同的强度和物理性质。

有的同一物质，可以是晶质的，也可以是非晶质的，如常见的氧化硅就具有晶质结构的石英和非晶质结构的硅石两种形态。

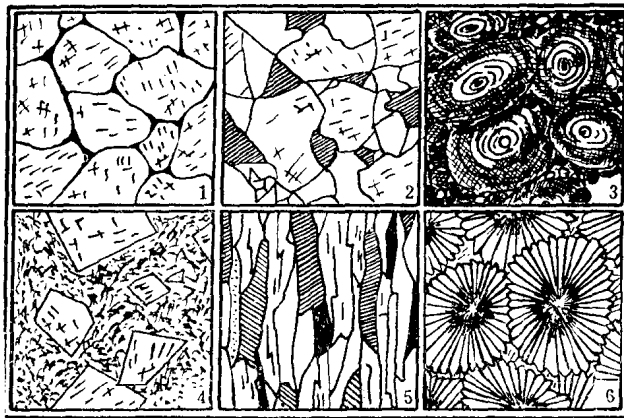


图 1-1 晶体结构的各种类型

1—等粒结构；2—不等粒结构；3—鲕状结构；4—斑状结构；5—纤维结构；6—球粒状结构

晶体的外部形状是其内部结构的反映，它决定于分子或原子在空间的排列。晶体状态的基本性质是质点的空间排列，这些质点可以是离子，也可以是原子或分子。这些质点的组合，就构成了不同形状的空间晶格。基本晶格共有四种，即：分子的、原子的、离子的和金属的。

表达晶体结构全部特征的晶格的最小部分称为晶胞。组成晶体的质点间的连接强度，可用晶格破坏时所消耗的功来表示（此功称为晶格能）。

晶格水对键的强度有很大影响，水的分子要拨开晶格，因此减弱了内部的键的强度。通常，进入晶格的水分子越多，则键的强度越小。例如石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）中存在着晶格水，这样就使其强度比硬石膏（ CaSO_4 ）减小二分之一以上。又如旦白石（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）的一个二氧化硅分子拥有几个水分子，这样就使其强度低于石英（ SiO_2 ）。

由各种大小及形状的矿物碎屑所组成的沉积岩，其性质决定于胶结物质的性质。各种类型胶结物质的结构如图1-2所示。

方解石是单晶胶结物，并形成很大的晶体，同时在晶体中沉积着岩石碎屑的颗粒。

多晶胶结物是由充满在碎屑之间的细小结晶颗粒所形成的。

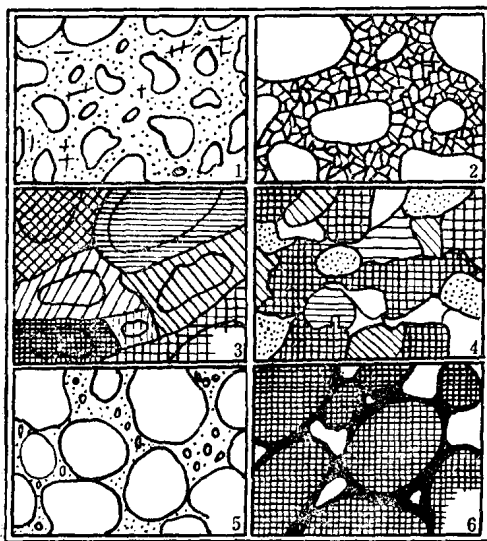


图 1-2 各种类型的胶结物结构

1—单晶胶结物；2—多晶胶结物；3—重结晶胶结物（发展胶结物）；4—与3同，但没有原始颗粒的痕迹；5—孔隙为机械充填的胶结物；6—接触胶结物

再结晶胶结物是在适当的条件下由碎屑的扩大而形成的。有时这种扩大会使碎屑的介质失去，如石英的结构即是如此。这种结构强度较大。

机械充填胶结物存在于碎屑间的自由空间，胶结物质主要是粘土。在这种胶结条件下

形成的岩石，往往仍保持其松散性，且强度较低。

接触胶结物沿碎屑接触线之间连接碎屑，在碎屑之间仍留有大小不等的自由空间。

胶结物可能是各种物质，按其强度大小依次有：硅质的、碳酸盐质的、铁质的及泥质的几种。

由不同胶结物连接矿物颗粒所组成的岩石，其断裂强度取决于两个因素：（1）组成岩石的颗粒的强度；（2）胶结物质的强度。所以，当岩石断裂时，其断裂面可能沿着组成该岩石的颗粒，也可能沿着胶结物发生破碎。因此，同名的岩石可以具有绝对值相差很大的强度。由最小的、棱角最多以及最强的物质胶结的颗粒所组成的岩石，具有较大的强度。岩石的矿物成分对岩石的物理机械性质在很大程度上具有决定意义。如石英在造岩矿物中具有极高的强度和硬度，因此某些岩石的机械性能随其石英含量的不同而改变。当构成岩石的矿物成分相同时，矿物颗粒的大小就成为影响岩石性质的重要因素。如粗粒花岗岩的抗压强度是 800~1200 公斤/厘米²，而细粒花岗岩的抗压强度则提高到2000~2500 公斤/厘米²。

岩石的构造是指岩石生成时或生成后在各种地质作用下所产生的层理、节理、片理和裂缝等现象。在岩石中具有这些现象就在不同程度上降低了其机械性能。

层理表明组成岩石的成分在垂直方向上的变化。它可能是由于成分相同之矿物颗粒大小的变化，或者是由于不同成分之矿物颗粒交替变化的结果。因此，在层理面处岩石颗粒之间连接力往往较弱，并具有明显的各向异性的性质。在外力作用时，岩石最容易从层理面处裂开。图 1-3 表示出四种层理类型。

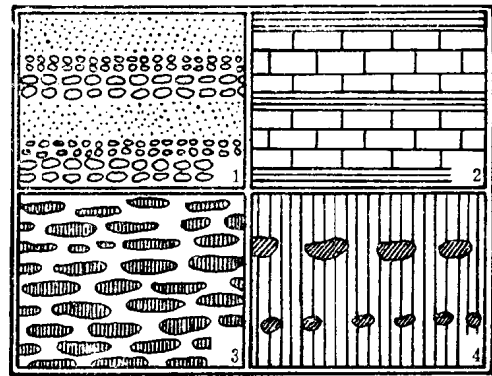


图 1-3 层理种类
1—颗粒的分散性； 2—不同矿物成分诸层的交替情况； 3—颗粒的水平指向； 4—任
何一种材料在同一平面内的分布情况

由于地质作用或风化作用，岩石的内部或表面形成了明显的裂缝，裂缝的存在使其强度降低。

二、岩石的物理性质

岩石的物理性质主要是：密度、容重、比重、松散性、孔隙性与含水性、导热性与热膨胀性等。

1. 密度 岩石的密度是指单位岩石体积内，固体颗粒（不包括孔隙容积）所占的体积，它反映了岩石构造的疏松程度和孔隙性大小。

2. 比重 岩石的比重是指岩石固体颗粒本身的重量与其固体颗粒本身所占体积之比（用于计算孔隙性和密度指标）。

3. 容重 岩石的容重是指单位体积的岩石在干燥状态下的重量。

岩石的密度、比重和容重在很大程度上反映了岩石的机械强度。如石灰岩的容重从 1.5 增至 2.7 时，其抗压极限强度由 50 公斤/厘米² 增至 1800 公斤/厘米²。某些砂岩的容重从 1.9 增至 2.6 时，其抗压极限强度由 150 公斤/厘米² 增至 900 公斤/厘米²。

表 1-1 列出几种岩石的密度、比重和容重的数值。表中页岩的比重和容重为平均值，密度为近似值。

岩石比重、容重、密度表

表 1-1

岩石名称	比 重	容 重	密 度
花 岗 岩	2.59~2.68	2.56~2.67	0.99
砂 岩	2.59~2.72	2.11~2.14	0.89
石 灰 岩	2.71~2.85	2.46~2.67	0.92
页 岩	2.46	2.16	0.88

4. 孔隙性 岩石的孔隙性取决于岩石组织的特征，以孔隙率表示，即为岩石中所含孔隙体积与岩石体积之比。

岩石的密度 D 、比重 δ 、容重 γ 和孔隙率 n 有如下关系：

$$D = \frac{V'}{V}; \quad \delta = \frac{G}{V'}; \quad \gamma = \frac{G}{V}$$

$$D = \frac{V'}{V} = \frac{G}{\delta} / \frac{G}{\gamma} = \frac{\gamma}{\delta}$$

$$n = \frac{V - V'}{V} = 1 - \frac{V'}{V} = 1 - \frac{\gamma}{\delta} = 1 - D$$

$$n + D = 1$$

式中 V ——岩石体积；

V' ——岩石中矿物颗粒所占体积；

G ——岩石重量。

5. 含水性 岩石的含水性以含水率表示，含水性往往与孔隙性相联系。含水率是指岩石孔隙中水的重量与岩石固体部分重量之比。含水率的增大常使岩石的强度降低。

6. 导热性 岩石的导热性决定于组成岩石的各种成分的导热性，一般岩石是不良导热体。

7. 热膨胀性 岩石的热膨胀随矿物成分和结晶性不同而有差异，由于组成岩石的各种矿物性质不同，因此加热岩石时，各种矿物的膨胀程度亦不同，使岩石内部易产生热应力。

三、岩石的机械性质

岩石的机械性质是指在一定条件下，岩石受到外力作用时所表现的性质。岩石受外力作用而变形，当外力撤出后，如果变形能完全消失，则这种变形叫做岩石的弹性变形。外力撤出后，岩石既不破碎，又不消失的那种变形叫岩石的塑性变形。岩石在外力作用下被破碎时不带残余变形的性能，称为岩石的脆性。

1. 岩石的弹性 在各种变形情况下（除各方向受很大静水压力情况外），所有主要造岩矿物和大多数岩石都是弹性脆性体，因此，岩石和造岩矿物在外力作用下，当应力达到弹性极限时，就要被破坏，并且没有残余变形（或者说这种残余变形很小），所以，对脆性体来讲，弹性极限就是强度极限。

这里必须明确指出，造岩矿物基本上服从于虎克定律。由表 1-2 中可以看出，所列出

的矿物的杨氏弹性系数值变化范围很小，所以，可以认为造岩矿物差不多都是弹性体（这里指的是矿物的单晶体结构），因为矿物应变时通常既没有弹性后效，也没有弹性滞后等现象。

矿物杨氏系数表

表 1-2

矿 物	杨氏系数 (公斤/毫米 ²)	矿 物	杨氏系数 (公斤/毫米 ²)
刚 玉	52000	方 解 石	5800~9000
黄 玉	30000	石 膏	1200~1500
石 英	7850~10000	岩 盐	达4000
长 石	达8000		

由于矿物是各向异性的缘故，所以矿物的弹性常数随方向的不同而改变。

相反地，岩石在作静水压力试验时，在大多数情况下是不遵守虎克定律的，也就是应力和应变不是直线关系，对一切多晶体来说，一般都有这种特点。然而金属（脆性金属除外）表现得不是那样显著。

如果矿物晶体的杨氏系数值不是主要决定于应变的种类，而是一个常量的话，岩石和本身的造岩矿物晶体不同，岩石的杨氏系数值与应变的种类和所加载荷的大小都有很大关系。当载荷小时，在各种应变情况下杨氏系数的差别是不大的，只有当载荷大时，这种差别才显著。当岩石被拉伸时，杨氏系数要随载荷的增加而减小。与此相反，当岩石被压缩时杨氏系数随载荷的增加而增大。

由表 1-3 中的数据说明：岩石的杨氏弹性系数不会超过造岩矿物的弹性系数。因为杨氏系数的大小在很大程度上决定于相互作用的分子力，而岩石中沿颗粒接触处相互作用的分子力通常小于矿物颗粒中相互作用的分子力。岩石的应变大小在很大程度上决定于晶粒间的弹性系数，这也是违背虎克定律的原因。在受压缩的情况下，两相邻晶粒的表面原子或表面离子间的距离会逐渐缩小，使吸引力增加，相应地增大了杨氏系数，而在受拉情况下却与此相反。

岩石杨氏系数表

表 1-3

岩 石	杨氏系数 (公斤/毫米 ²)	岩 石	杨氏系数 (公斤/毫米 ²)
花 岗 岩	达6000	砂 岩	5000或更大
玄 武 岩	达9700	砂 粒	30
石 灰 岩	达8500	泥质页岩	1500~2500
石 英 岩	达10000	粘 土	30

与矿物不同，岩石应变时，要产生弹性滞后、弹性后效和蠕滑现象，图 1-4 中作出了砂岩和煤的应力应变曲线。在这两种情况下，加载曲线和减载曲线不相重合，而形成一种滞后环。煤的减载曲线能回复到零点，而砂岩则产生不大的残余变形，这种残余变形显然是由于蠕滑变形所引起的。

岩石的波桑系数的变化范围也很大（0.1~0.4），但大多数岩石（特别是火成岩）的波桑系数平均等于0.25左右。

岩石的弹性性能对冲击破碎不利。在破碎岩石时，需消耗一部分功使岩石弹性变形，

岩石的弹性越大，消耗于弹性变形的这部分功也越大，致使钻凿困难，钎子回弹利害。

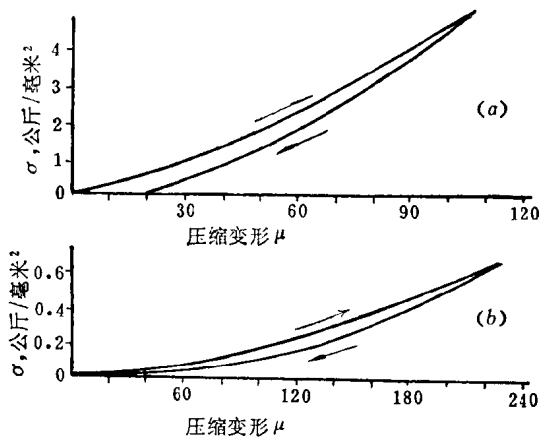


图 1-4 压缩情况下的弹性滞后环
a—砂岩；b—煤

2. 岩石的塑性与脆性 岩石的塑性对钻孔工作有不良影响，因塑性变形要消耗一定的能量。塑性岩石（粘土）抵抗拉伸和压缩的能力几乎是相同的，能承受冲击作用。当静载荷作用时，对局部应力不敏感。

在各方都受强压缩的情况下，大多数造岩矿物的塑性表现得不很明显（但岩盐例外）。岩石的塑性应变主要取决于晶粒间的滑移，决定于岩石内部结构。强力压缩时，不仅石灰岩有塑性，就是很多火成岩（如花岗岩和辉绿岩）也具有塑性。岩石在这种条件下产生塑

性变形时，也会出现硬化现象。但是，这种硬化现象是在各向强力压缩条件下产生的，不像金属材料那样，是由其塑性变形本身产生的硬化。在多晶质岩石塑性应变的过程中，颗粒边界上还会发生很严重的破坏现象，这种现象在一般情况下会降低岩石的强度。

大多数岩石属于脆性体，脆性岩石一般具有较弱的抗拉能力和较强的抗压能力，承受冲击能力很差，对局部过载应力十分敏感。在冲击凿岩时，如果脆性大则消耗于岩石上的变形功就小，即钻凿容易。

岩石的塑性和脆性除决定于岩石本身固有的性质外，尚与外力作用的性质有关。当以高速载荷作用于塑性大的岩石时，将会出现和脆性体一样的脆性破坏；脆性体岩石各向受强力压缩时，会表现出塑性；塑性体岩石各向受拉伸时，也会表现出脆性。

岩石的塑性和脆性与温度和变形速度有关。同一岩石，在较高的温度和较小的变形速度下，一般地表现为塑性；而在较低的温度和较大的变形速度下，表现为脆性。

脆性体的强度与应变速度无关，它是一个常量。这一点和金属材料不同，金属材料的抗剪强度随应变速度的增加会很快地增加。

虽然在脆性岩石中可能发生塑性应变，但是这种塑性应变是强制性的，只有在特定的条件下才会表现出来。

岩石的这些变形性质可以这样解释：在外力作用下，岩石质点间要产生相对位移，在滑移面内引起剪应力作用，当这种剪应力的能量小于滑移面内相互作用能时，只能使之达到新的平衡状态，这时即为岩石的塑性表现。对一般岩石而言，所有滑移面内的剪切能几乎和相互作用能相等，所以，当剪切一个晶格时，就在该滑移面产生裂缝，这就是岩石属于脆性体的原因。各向强力压缩时，在滑移面内作用之压缩力比相互作用力大得多，足以防止剪切能发生作用，因此表现出塑性。在这种情况下产生滑移时，虽然相互作用力大大减小，但垂直的压缩力能够防止将晶体分离，继续滑移时，分子力还可能重新恢复。然而，由于岩石本身非均质的特殊性，显然会渐渐加深晶格的破坏而使分子力不能重新恢复，经过一段时间，就会使晶格沿滑移面破坏，这种破坏是滑移面内的压缩力所不能防止的。

3. 岩石的强度 岩石的强度是说明岩石在一定条件下和一定范围内能够承受某种外力作用而不破坏的性质。或者称为岩石抵抗破坏的能力。

岩石的强度除与固有的性质有关外，在很大程度上还取决于它的变形形式。由于变形不同，其强度也有很大差异，岩石的抗压强度最大，而抗剪、抗弯和抗拉强度依次减小。但是，这些强度的变化没有定量的规律，仅仅是一种明显的趋势。

表 1-4 列出几种岩石在各种应变情况下的强度值，抗拉、抗弯和抗剪强度是以其抗压强度的百分率表示的。

岩石强度表

表 1-4

岩石	拉 伸	弯 曲	剪 切	抗压 (公斤/厘米 ²)
花岗岩	0.02~0.04	0.08	0.09	800~2500
砂 岩	0.02~0.05	0.06~0.2	0.1~0.12	200~5000
石灰岩	0.04~0.1	0.08~0.1	0.15	300~1500

在拉伸时，晶粒间的分子力要随载荷的增加而减小，而压缩时则随载荷的增加而增大。由于拉伸时相互作用力减小，致使杨氏系数及抗拉强度也相应地减小。在压缩时则与此相反，杨氏系数增加，抗压强度也相应地增加。

以上所述为单向应力状态下的强度情况，在地壳深部，岩石处于三向应力状态，在这种各方受压的状态下，岩石的强度和单向应力状态时不同，它可以承受极高的压力而不破坏。钻孔时，一面露出的岩石受到侧向力的作用，而没有受孔底以上岩石的压缩，所以孔底的岩石是处于二向受压和三向受压之间的状态（在孔底边缘上和钻具下面是三向受压）。

表 1-5 列出了大理岩和砂岩在静水压力下的弹性极限值。

岩石屈服点

表 1-5

大 理 岩		砂 岩	
静水压力 (大气压)	屈服点 (弹性极限) (公斤/厘米 ²)	静水压力 (大气压)	屈服点 (弹性极限) (公斤/厘米 ²)
0	1300	0	690
235	2100	280	2040
500	2650	555	2560
845	3210	1550	3300
1650	3900		

岩石和矿物强度的增减决定于各向压缩情况下其本身机械性质的变化情况。

对于那些在各向压缩情况下仍然保持脆性的岩石和矿物来说，抗压强度的增加是很大的，其增加量大约等于侧压力的增加值。例如石英，假设其波桑系数保持原有数值，并为 0.25，这就意味着石英横断面扩张变形为纵向压缩的四分之一，所以，为了克服静水压力所引起的横向压缩变形，必须在垂直方向加一等于静水压力四倍的力，使其横向线性尺寸恢复为大气压力下的尺寸。为了使这种状态下的石英试样破坏，还必须增加垂直压力，当所增加的数值等于石英的单向抗压强度与静水侧压力之和时，石英试样才能破坏。假设在

一般情况下，石英的极限抗压强度为 25000 公斤/厘米²，现在来确定当静水压力为 300 公斤/厘米²时石英的强度。此时为了克服横向变形，应在垂直方向加压 4×300 公斤/厘米²，为了使其破坏，垂直压力还要加上在一般情况下石英受压时的单向抗压强度和静水侧压力之和，即石英的强度为：

$$4 \times 300 + 25000 + 300 = 26500 \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

对于石英来说，所得结果与实验结果相符合，这是因为在各方受压的条件下，石英仍保持脆性的缘故，如果各方受压的矿物或岩石改变其性质时，则它的强度的增加要低于侧压力。

岩石抗压强度一般是指用边长为 5 至 10 厘米的立方体岩石置于压力机上加压发生破碎时的强度。即岩石的极限抗压强度。

4. 岩石的硬度 岩石的硬度是岩石抵抗尖锐工具侵入的性能。在钻孔过程中，必须从孔底整块岩石上不断地分割出小块岩石，所以岩石的硬度是研究分析钻孔的一个重要因素。

试验固体硬度的方法较多，对于岩石，一般采用史氏测量方法，这种测量方法是用端面面积为 1~3 毫米² 的圆柱形平端压头压入岩石，以岩石发生破裂或发生塑性变形时所承受的压力强度作为岩石的硬度，这种硬度的数值比岩石抗压强度大几十倍。表 1-6 列出部分岩石的抗压入强度（史氏硬度）和抗压强度。

岩石硬度与抗压强度表

表 1-6

岩 石	史氏硬度 (公斤/厘米 ²)	抗压强度 (公斤/厘米 ²)
石 英 岩	70000~100000	3000~5000
花 岗 岩	35500~62000	800~2500
碳酸盐类岩石	3000~50000	50~2600
硬 石 膏	20000	1200

其他各种测量岩石硬度的方法都是在各自特定的条件下对岩石局部破坏的定量标定。岩石硬度越大钻凿就越困难。

5. 摩擦与研磨性 在钻孔过程中，钻头以某一垂直孔底表面的力压于孔底岩石上，同时并有平行于孔底表面的力的移动，因此，钻头工作时，还必须克服钻头与岩石间发生的摩擦阻力，这个摩擦阻力对钻孔产生很大的有害影响，既消耗一部分功，又加速钻头的磨损。同时，由于摩擦使钻头发热，为保护钻头还必须设置必要的冷却系统。

由于岩石性质和钻头类型的不同，摩擦的性质也有所不同。在脆性岩石中钻孔时，除钻头直接和未被破坏的岩石摩擦之外，钻头破碎下来的大颗粒岩石还部分地被磨成粉状。

摩擦系数不仅与岩石的种类及结构有关，还与钻头的材料有关。例如，对泥质页岩来说，钻头材料对摩擦系数影响较小（对钻头钢 $f=0.097$ ；特硬合金 $f=0.083$ ）。对尖棱角颗粒的砂岩，钻头材料对摩擦系数影响较大（对钻头钢 $f=0.20$ ；硬质合金 $f=0.135$ ）。对带圆颗粒的砂岩，其摩擦系数最大（ $f=0.18\sim0.20$ ）。

单位压力不大时，可以认为摩擦系数 f 值和岩石的种类及清洗液质量有关。单位压力的增加与 f 值的增大大致成正比关系，钻头转速的提高将使 f 值减小。表 1-7 列出的摩擦系数值仅供旋转式钻孔时参考。

岩石静摩擦系数表

表 1-7

岩石名称	静摩擦系数	
	干燥的	在泥浆中的
尖棱角颗粒的砂岩	0.219	0.135
圆棱角颗粒的砂岩	0.195	0.18
不均匀且粗的, 尖棱角颗粒砂岩	0.18	0.113
细颗粒尖棱角硬砂岩	0.105	0.15
尖棱角粗颗粒硬砂岩	0.172	0.10
粗颗粒胶结松的砂岩	0.106	0.127
粗颗粒胶结松的含泥砂岩	0.135	0.083
中等颗粒带棱角的硬砂岩	0.24	0.157
泥 灰 岩	0.135	0.127
页 岩	0.15	0.083
砂 质 粘 土	0.21	—
搬 土 质 粘 土	0.105	0.043
颗粒均匀圆细的砂岩	0.17	0.135

使用牙轮钻头滚转时的摩擦系数值, 某些研究者认为与滑动摩擦系数值差别不太大。在钻孔过程中, 钻头工作表面与孔底岩石的接触面积是不定的, 随着工作时间的增加, 钻头与岩石的接触面积逐渐加大, 钻头与岩石间的摩擦引起孔底岩石的研磨和钻头的磨损, 机械钻速将降低。

有关研究资料指出: 钻头磨损的大小与其说和岩石硬度有关, 不如说和岩石的某些结构有关。

导致钻头强烈磨损的岩石特点一般称为研磨性, 而磨损本身称为研磨性磨损。

所谓岩石的研磨性, 就是钻头工作表面与岩石接触时, 组成岩石的颗粒的尖棱角的切削作用。此时, 整体岩石的强度低于钻头刀刃, 而组成岩石的某些小颗粒强度又比钻头刀刃高, 在这种情况下, 钻头有可能切入岩石整体内部, 破坏岩石。但在钻头刀刃部进入岩石的同时, 刀刃遇到那些强度比较高的小颗粒, 产生极高的压强, 这些小颗粒好比极微小的切刀, 从钻头刀刃上刮去细微的碎屑, 很快地磨损钻头。岩石的研磨性质是其结构呈颗粒状的结果, 颗粒的大小和形状对研磨性的影响只有在石英质岩石中钻孔时才比较显著。

6. 岩石的可钻性 岩石的可钻性是表示在岩石上钻孔时, 破碎岩石难易程度的一种概念。

前面所讲的岩石硬度是在冲头不旋转的条件下压入岩石而得到的。很显然, 在旋转的钻头下面测得的抗压入强度将和上面所讲的硬度值不同, 前面所讲的硬度值只是一种压模具测得的数值, 对于不同形状的压模具, 将得到不同的压入强度, 所以对于可钻性来讲, 可以在特定的条件下, 钻头破碎岩石的难易程度, 也可以是一种综合性的指标。

例如: 假设岩石的性质除硬度外, 其余均相同, 那末, 在一定载荷作用下, 岩石的可钻性和硬度成反比, 在此情况下, 如果采用钻速来表示岩石可钻性的话, 则得出:

$$v = k/p \quad (1-1)$$

式中 v —— 钻速;

k —— 和岩石硬度相关的常数;

p —— 岩石的硬度。