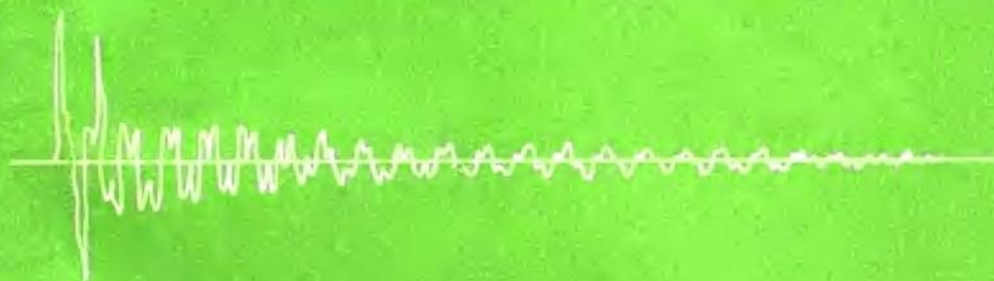


冲击凿岩工具及其理论基础

冲击凿岩工具及其理论基础

刘宗平 编著



地

D231.5

3

社

地质出版社

TD231.5

1

3

冲击凿岩 工具及其理论基础

刘宗平 编著

地质出版社

D432419

内 容 简 介

本书系统地介绍了岩石的性质、分级及相应的测定方法；用波动理论分析了冲击凿入系统，介绍了冲击凿岩破碎原理；书中除对冲击凿岩工具作一般介绍外，重点对小直径钎杆、钎头的材质、设计、制造和使用等方面作了系统的论述。全书文字简明，阐述透彻。可供地质、冶金、煤炭、铁道和建材等系统从事冲击凿岩工具设计、制造及使用等方面的工程技术人员参考。

冲击凿岩工具及其理论基础

刘宗平 编著

责任编辑：冯士安 徐一嘤

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（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：850×1168¹/₃₂ 印张：12¹/₈ 插页：8页 字数：319,000

1987年4月北京第一版·1987年4月北京第一次印刷

印数：1—1,305册 国内定价：3.55元

统一书号：13038·新334

前 言

冲击凿岩是破碎坚硬岩石的主要工序，迄今仍在国内外各种采掘工作中广泛应用。

在冲击凿岩系统中，凿岩机是动力机构，钎杆是动力传递机构，钎头是破碎岩石的工作机构。凿岩机输出的能量借助钎杆和钎头一冲击凿岩工具，传递给岩石，达到破碎岩石形成炮眼（孔）的目的。因此，冲击凿岩工具是冲击凿岩系统中一个重要的中间环节。其能量传递效率的高低和使用性能的好坏，直接影响着凿岩生产率和成本。特别是冲击凿岩工具，不但应用广泛，而且消耗量很大，所以提高其使用寿命是一个关系到经济效益的突出问题。

近年来，国内外在冲击凿岩工具方面，无论在理论上还是在实践中都有了很大的进展。作者试图根据所掌握的国内外有关文献资料结合本人多年来从事有关冲击凿岩工具教学与科研的体会，以简明的语言，系统地介绍冲击凿岩工具及其理论基础。包括：岩石性质及其分级；冲击凿岩理论基础；冲击凿岩工具（重点为小直径钎头与钎杆）有关设计、制造和使用等方面问题。

本书可供采矿和勘探坑道掘进以及其它有关专业的师生，钎具研制和使用部门的工程技术人员参考。

由于作者的水平有限，对于书中的缺点与错误，恳请读者指正。

书中参考和引用了中外作者及单位的资料，在此一并致谢。

刘宗平

1985年9月

目 录

第一章 岩石性质及分级	1
第一节 概 述	1
一、岩石的成分	1
二、岩石的结构	2
三、岩石的构造	4
四、岩石的非均质性	5
五、岩石的各向异性	6
六、岩石的裂隙性	6
第二节 岩石密度特性及其测定方法	8
一、岩石密度特性	8
二、岩石密度特性的测定方法	9
第三节 岩石变形、强度特性及其测定方法	12
一、概述	12
二、岩石弹性	13
三、岩石强度	17
四、岩石变形及强度的测定方法	19
第四节 岩石硬度及其测定方法	30
一、概述	30
二、压入试验	30
三、回弹试验	33
第五节 岩石磨蚀性及其测定方法	36
第六节 岩石可钻性和可爆性	38
一、岩石可钻性	39
二、岩石可爆性	45
第七节 岩石坚固性	47
一、岩石坚固性及其分级	47
二、岩石坚固性系数的测定方法	47

第二章 冲击凿岩理论基础	63
第一节 凿岩机输出能量	63
第二节 凿岩机输出能量的传递	65
一、前言	65
二、波的概念	66
三、波阵面守恒条件	68
四、波的叠加	70
五、波的透射和反射	71
六、撞击、入射波	75
七、凿入分析	82
八、入射波形对凿入效果的影响	86
九、轴推力及其计算	88
十、波形测试方法	90
第三节 冲击凿岩破碎原理	93
一、岩石破坏准则(强度理论)	93
二、岩石在楔形钎刃作用下的应力状态	98
三、岩石在楔形钎刃作用下的破碎机理	101
四、岩石在球形钎刃作用下的应力状态	107
五、岩石在球形钎刃作用下的破碎机理	114
第三章 冲击凿岩工具总论	117
第一节 概述	117
第二节 整体钎	120
第三节 分体钎	124
第四节 接杆钎	126
第五节 可拆式钎头	133
第四章 钎钢	143
第一节 中空钎钢断面形状与尺寸	143
第二节 中空钎钢的钢种	146
第三节 中空钎钢生产工艺简述	157
第五章 钎杆及其制造工艺	159
第一节 钎杆形状与尺寸	159

第二节 钎杆制造工艺	169
一、钎杆制造工艺流程	170
二、钎杆锻造	172
三、钎杆热处理	180
四、钎杆制造缺陷	189
第三节 装配式钎肩	194
第六章 钎杆的破断与寿命	203
第一节 钎杆的服役条件	203
一、凿岩时钎杆的运动	203
二、凿岩时钎杆承受的应力	206
三、环境介质	211
第二节 钎杆的破断	214
一、钎杆破断部位与断口特征	214
二、疲劳裂纹的形成与扩展	218
三、应力强度因子与断裂韧性	220
四、疲劳裂纹的扩展速率	223
第三节 钎杆的寿命	226
一、S—N曲线	226
二、疲劳累积损伤	229
三、钎杆疲劳寿命估算	231
四、钎杆疲劳寿命试验	235
第七章 钎头结构与参数	239
第一节 钎刃数目、构造与排列	239
第二节 相对翼厚、排粉沟与水孔	246
第三节 体型	247
第四节 钎头与钎杆的连接	249
一、锥体连接	249
二、螺纹连接	251
三、偏心连接	256
第五节 钎头直径	259
第六节 刃弧半径、刃角和隙角	261
第七节 钎头型式与基本尺寸实例	263

第八章 钎头材质	266
第一节 钢材	266
一、国外钎头用钢	266
二、国内钎头用钢	269
第二节 硬质合金	272
一、硬质合金生产简介	274
二、硬质合金性能	275
三、硬质合金牌号	282
四、硬质合金型号	286
五、硬质合金技术进展	296
第三节 钎料与钎剂	301
一、钎料	301
二、钎剂	305
第九章 钎头制造工艺	310
第一节 钎头钢体成型	310
第二节 硬质合金的钎焊	312
一、钎缝形成过程	312
二、钎焊应力	317
三、钎焊方法与工艺	325
第三节 硬质合金柱齿的镶嵌	331
第四节 钎头修磨与整形	334
一、一字形钎头的修磨特征	335
二、十字形钎头的修磨特征	337
第十章 钎头使用	340
第一节 关于钎头体受力分析	340
一、关于钎头体受力的计算	340
二、关于钎头体受力的测试	344
第二节 硬质合金磨损机理	349
第三节 钎头使用寿命分析	353
第四节 钎头使用技术	361
参考文献	357

第一章 岩石性质及分级

第一节 概 述

岩石作为自然界普遍存在的物质具有一系列特性，以岩石作为工作对象的不同学科，研究不同的岩石特性，即使同一特性，其研究的观点也是不同的。

包括坑探工程在内的各种采掘工作是以岩石为对象的。它们研究岩石特性的目的主要是为了破碎岩石和防止岩石破碎的有效性和安全性。

对于凿岩工作来说，主要研究与岩石破碎有关的岩石特性。

一、岩石的成分

岩石是构成地球上层部分（地壳和上地幔）的天然产出的矿物集合体。

岩石按其成因可分为：岩浆岩，沉积岩和变质岩。各类岩石在地壳中的分布是不均匀的。在地壳表面陆地上沉积岩的分布面积约占75%，岩浆岩和变质岩的分布面积约占25%；而在地壳深至16km范围内岩浆岩约占95%，沉积岩约占5%（变质岩包括在上述两个百分数内）。

岩石主要由造岩矿物组成。

矿物是由地质作用所形成的天然单质或化合物。它们具有相对固定的化学组成，呈固态者还具有确定的内部结构，是组成岩石和矿石的基本单元。

地壳中主要含有八种元素（见表1—1），合计占地壳成分98.6%，并与其它一些元素组成12种常见的造岩矿物（见表1—2），

表 1—1 地壳中主要元素

序 号	元 素	百 分 比
1	氧(O)	46.7
2	硅(Si)	27.7
3	铝(Al)	8.1
4	铁(Fe)	5.0
5	钙(Ca)	3.6
6	钠(Na)	2.8
7	钾(K)	2.6
8	镁(Mg)	2.1

其它的造岩矿物虽有千种以上，但只占地壳总量的1%，即十二种造岩矿物构成地壳岩石的99%。由硬度较高的矿物所组成的岩石，其强度也高。

表 1—2 常见的造岩矿物

序 号	名 称	化 学 成 分
1	正长石	$K[AlSi_3O_8]$
2	斜长石	$Na[AlSi_3O_8]$ 或 $Ca[Al_2Si_2O_8]$
3	石 英	SiO_2
4	白云母	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$
5	黑云母	$K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}] \cdot (OH, F)_2$
6	角闪石	含(OH)的Na, Ca, Mg, Fe, Al的硅酸盐
7	辉 石	Na, Li, Ca, Mg, Fe, Al的硅酸盐
8	橄榄石	$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$
9	方解石	$Ca[CO_3]$
10	白云石	$Ca Mg[CO_3]_2$
11	高岭土	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$
12	氧化铁	$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ 或 Fe_2O_3

二、岩石的结构

岩石的结构说明岩石微观的组织特征，是指岩石组成部分的结晶程度，颗粒大小，形态和相互关系等。矿物颗粒可由晶质颗粒直接连结，也可由颗粒间分子相互作用力连结，或者由胶结物

胶结。由此，岩石可分为晶质岩，非晶质岩和碎屑岩。

晶质岩包括岩浆岩，变质岩和一些沉积岩，其晶粒大小有粗粒的(大于1mm)；中粒的(1—0.1mm)；隐晶的(0.1—0.01mm)；和微晶的(0.01—0.002mm)，(小于0.002mm的为非晶质)，其晶体形状有各种形状的体积晶体，板状，柱状、针状等。晶体结构的基本类型见图1—1。

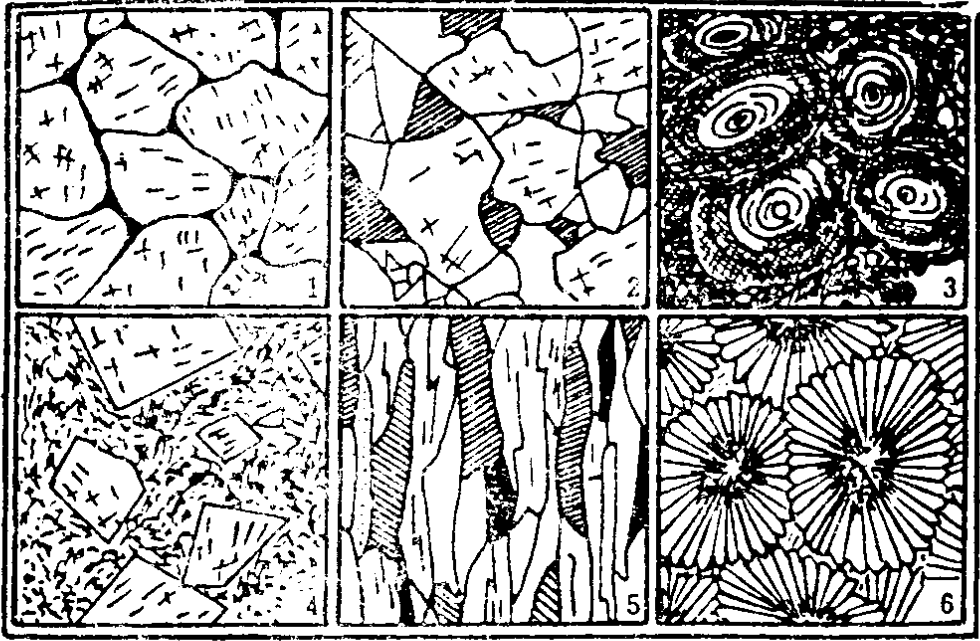


图 1—1 晶体结构的各种类型^{①)}

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

非晶质岩石包括燧石和煤等。

同一物质可以是晶质的也可以是非晶质的，如氧化硅就有晶质的石英和非晶质的硅石。

碎屑岩包括由各种尺寸和形状的矿物碎屑胶结而成的沉积岩。按照碎屑颗粒大小分为：砾岩(>1—2mm)；砂岩(1—0.1mm)；细砂岩(0.1—0.01mm)；泥岩(<0.01mm)。胶结物的结构见图1—2。

接触胶结物集中在颗粒的接触面上，胶结强度大小的顺序：硅质、铁质、石灰质、泥质、泥灰质、石膏质等。

由不同胶结物胶结的岩石，其强度取决于组成岩石的颗粒强

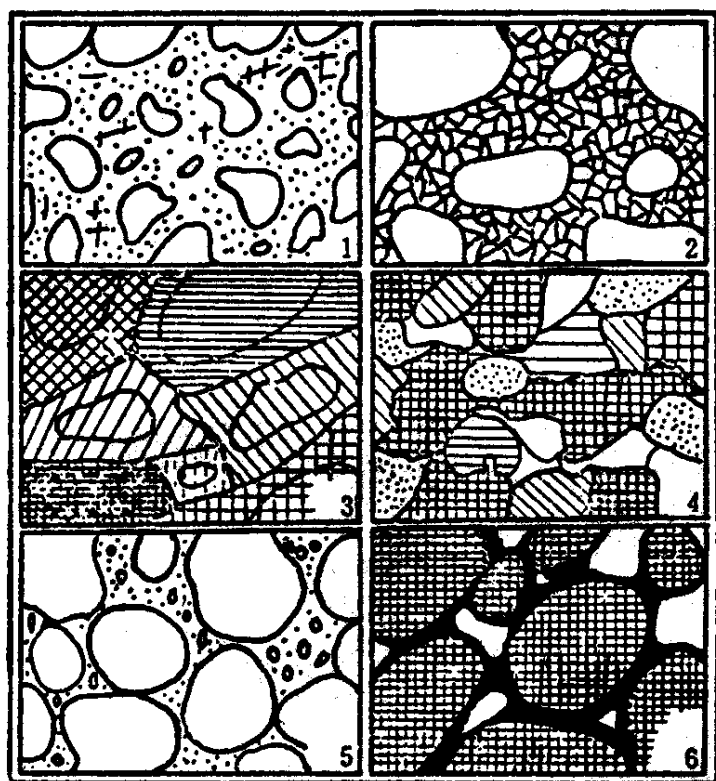


图 1—2 各种类型的胶结物结构

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

度和胶结物的强度。岩石断裂时，其断裂面可能沿着岩石颗粒，也可能沿着胶结物。同名称的岩石，其强度往往相差很大。由最小的，棱角最多的颗粒和最强的胶结物胶结的岩石，具有较高的强度。

三、岩石的构造

岩石的构造说明岩石宏观的组织特征，即岩石的各个组成部分的空间分布和相互关系的特征。

岩浆岩的构造特

征是块状、流纹和流动构造。所谓流动构造是指岩浆在运移和冷凝过程中使长形矿物及捕虏体等呈长轴定向排列所形成的、流线和流面构造。块状构造对于破碎岩石时的岩石力学性质没有显著的影响，而流动构造会造成岩石的各向异性。

沉积岩的构造特

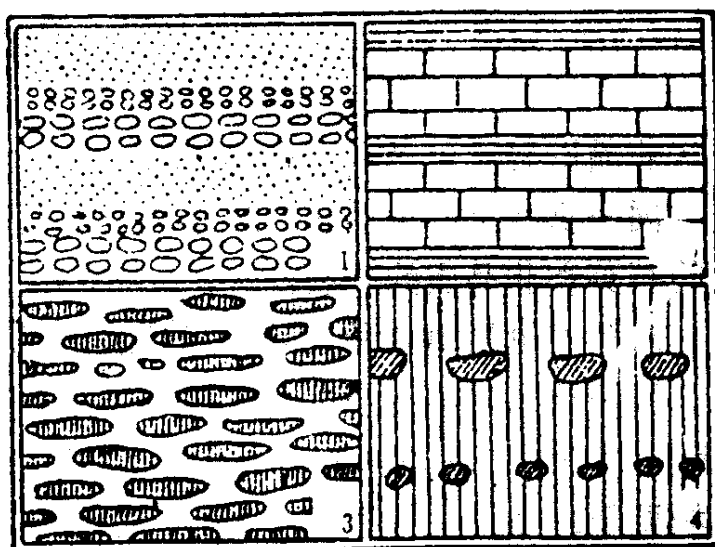


图 1—3 层理种类⁽²¹⁾

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

征是层状（即层理），岩石的层理表明岩石的成分在垂直走向上的变化，这种变化可能是由于成分相同的矿物颗粒大小的变化或者由于不同成分的矿物颗粒交替变化的结果。层理种类见图1—3。

变质岩的构造特征是片状（即片理），岩石的片理表明岩石沿着平行的平面分裂为薄片的能力。

层理面和片理面的方向并不经常一致，其共同特征是连结薄弱，容易分裂并且具有明显的各向异性。

岩石的成分、结构和构造造成岩石的非均质性、各向异性和裂隙性。

四、岩石的非均质性

当一种岩石不论取它哪一部分，其物理、化学性质都一样时称为均质的，反之则称为非均质的。一般来说，在其他条件相同情况下，组成岩石的颗粒越细小、均匀，结构越致密，其性质越均匀。

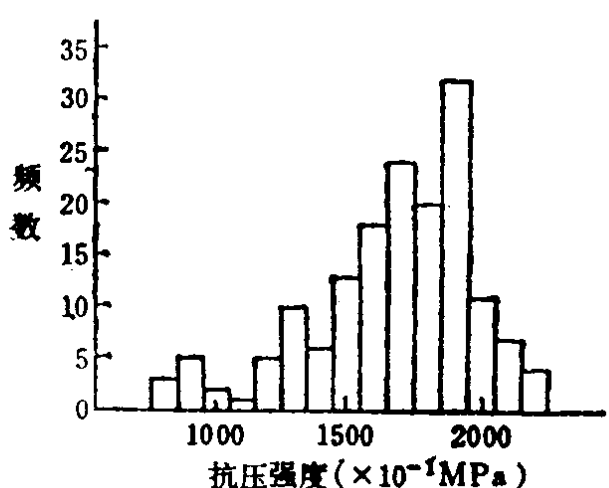


图 1—4 花岗岩抗压试验的直方图⁽⁷⁾

岩石的非均质性表现在进行各种试验时，其测定值往往波动很大。例如，花岗岩的抗压强度试验的直方图见图1—4。因此，在处理岩石试验数据时，必须采用数理统计方法。

岩石的非均质性可用试验数据的偏差系数 V （%）来估计，即

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \% \tag{1-1}$$

式中： $\bar{x}$ ——观测值的算术平均值；
 S ——标准差。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-2)$$

式中： x_i ——观测值， i 由 1— n ；

n ——观测次数。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-3)$$

偏差系数越大，说明观测值越分散，岩石越不均质。例如，岩石抗压强度的 $V = 15-40\%$ ，抗拉强度的 $V = 20-60\%$ ，而质地均匀的金属材料的 $V = 4-7\%$ 。

五、岩石的各向异性

岩石的各向异性就是岩石的性质随方向而不同。

构造有规则的岩石通常都具有各向异性。这是由于构成岩石的矿物具有定向排列，方向不同则结合力也不同，岩石各种构造的结构面都是结合弱面，在垂直于和平行于结构面的方向上的力学性质有明显的差异。

构造不规则的岩石，其性质在所有方向上是近似的，可看作近似各向同性体，这是由于构成岩石的矿物沿着各个不同方向均匀排列，即使岩石含有某些具有明显弱面的矿物，但可认为弱面在各个方向上出现的概率是相同的，使得弱面的作用在各个方向上分散了，因此，宏观上可近似看作均质的。

试验表明，即使岩块裂隙和构造不明显，也可能各向异性，这是岩石内部结构的反映。因此，在研究岩石性质时要考虑到可能是各向同性的，也可能是各向异性的。

六、岩石的裂隙性

岩石的裂隙性反映岩体的完整性和连续性，是岩块与岩体性

质产生差异的主要因素。为了表征岩体中裂隙的数量及分布情况，可用裂隙平均间距，岩石质量指标以及裂隙系数等指标。

裂隙平均间距通常指沿着钻孔或巷道壁方向上裂隙之间的平均距离。例如裂隙平均间距为100~300cm时，为整体岩石；30~100cm时为块状岩石；5~30cm时为破碎岩石；小于3~5cm时为极破碎岩石。

岩石质量指标 (R. Q. D) 通常以修正的岩芯采取率来表示。岩芯直径不小于5cm。以钻孔总长度中（通常取 1.5m 为一区段总长度），长度为10cm（4 英寸）以上岩芯所占比例（%）来判断岩石的质量，即：

$$R. Q. D (\%) = \frac{\text{10cm以上岩芯累计长度}}{\text{钻孔总长度}} \times 100 \quad (1-4)$$

实践表明，R. Q. D 不仅取决于岩体中裂隙的多少，而且与岩石抗压强度，弹性模量，纵波速度等有关，故国外常用它作为岩体分类的一个指标。一般认为：R. Q. D > 90% 为优质岩体；75~90% 为良好岩体；50—75% 为一般岩体；25—50% 为差的岩体；< 25% 为很差的岩体。

通常在有裂隙影响的岩体内所测定的声波速度 V ，要小于不受裂隙影响的岩石试件内所测定的声波速度 v 。

岩体内和相同岩石的试件内相应的声波速度平方之比定义为裂隙系数（或完整系数）：

$$K = \left(\frac{V}{v} \right)^2 \quad (1-5)$$

当 $K > 0.75$ 时，裂隙很少，裂隙间距 $> 80\text{cm}$ ，为整体结构。

当 $K = 0.45 \sim 0.75$ 时，裂隙较多，裂隙间距 $20 \sim 80\text{cm}$ ，为块体结构；

当 $K < 0.45$ 时，裂隙很多，裂隙间距 $< 20\text{cm}$ ，为碎体结构。

欧洲常用裂隙平均间距，美国常用岩石质量指标，而日本提倡裂隙系数。

第二节 岩石密度特性及其测定方法

一、岩石密度特性

岩石密度特性包括：密度、颗粒密度、比重、容重和孔隙度等。对于岩石来说，分别定义如下：

岩石密度（整体密度）定义为岩石单位体积（包括岩石中固相、液相和气相）的质量，可用下式表示：

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-6)$$

式中： M ——试样整体质量；

M_s ——颗粒质量；

M_w ——孔隙水质量；

V ——试样整体体积。

此外在矿业书籍中还有一个岩石密度的定义即在单位岩石体积内，固体颗粒所占体积。可用下式表示：

$$\rho' = \frac{V_s}{V} \quad (1-7)$$

式中： V_s ——颗粒体积（固相体积）。

ρ' 反映在一定岩石体积内被矿物充填的程度，其值等于或小于1，笔者认为把 ρ' 称为“致密度”更为确切。

岩石颗粒密度定义为岩石固相质量与固相体积之比，可用下式表示：

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-8)$$

岩石比重定义为岩石固相部分单位体积的重量，可用下式表示：

$$d = \frac{G_s}{V_s} = \frac{M_s}{V_s} \cdot g = \rho_s \cdot g \quad (\text{N/m}^3) \quad (1-9)$$

式中：

G_s ——颗粒重量（固相重量）；

g ——重力加速度。

岩石容重定义为岩石单位体积（包括岩石中固相、液相和气相）的重量，可用下式表示：

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{M}{V} \cdot g = \rho \cdot g \quad (\text{N/m}^3) \quad (1-10)$$

式中： G ——试样整体重量。

根据含水状态，岩石容重分为天然容重，自然容重，干燥容重和饱和容重等，一般泛指干燥容重。

岩石容重始终小于其比重，只有极致密的岩石，两者才能近似相等。

岩石孔隙度定义为岩石的孔隙体积与岩石整体体积之比（%），可用下式表示：

$$\Pi = \frac{V_v}{V} \times 100 (\%) \quad (1-11)$$

岩石孔隙度与致密度是相反的概念，因此有如下关系式：

$$\Pi + \rho' = 1 \quad (1-12)$$

岩石孔隙度与比重和容重有如下关系式：

$$\Pi = \left(1 - \frac{\gamma}{d} \right) \times 100 (\%) \quad (1-13)$$

孔隙度越大，则致密度越小，比重与容重的差值越大。

孔隙的存在降低了岩石的强度，增加了岩石的变形性。

二、岩石密度特性的测定方法

岩石的颗粒密度与比重和密度与容重可以实测，并按照（1—9）和（1—10）式分别确定，然后，按照（1—13）式可计算孔隙度。

岩石颗粒密度与比重的测定：

常用比重瓶法。比重瓶是具有一定容积（50ml或100ml）的玻璃烧瓶，如图1—5所示。测定方法如下：

把岩样粉碎，全部通过0.25mm筛孔，并在105—110℃的温