

# 岩石与矿物的

# 物理性质

● Y.S. 托鲁基安 W.R. 贾德  
● R.F. 罗伊等



石油工业出版社

45352

# 岩石与矿物的物理性质

Y.S. 托鲁基安 W.R. 贾德 R.F. 罗伊等

单家增 李继亮 等译

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是美国国家标准数据资料中心所属的信息与数据分析综合中心编篡的《材料性质数据系列丛书》之一，是一部有关岩石与矿物物理性质的手册。书中列举了经过权威机构严格筛选的最新的可靠方法。全书包括了岩石的组成，岩石的密度、孔隙度、渗透率、力学强度、应力、应变、可变形性、地震波速以及电性、磁性、粘度和热物理性质等十几个方面的物性参数及其测试技术，是国际通用的大型标准数据手册。

本书可供岩石矿物、石油地质、构造地质、工程地质、建筑材料、地球物理等专业的科技人员、研究人员以及大专院校教师和研究生参考用书，也可作为标准计量人员的主要数据手册。

该系列丛书（共42本）已出版了4本，即将出版的有6本，其余的日后将陆续出版。系列丛书的主编是Y.S.托鲁基安和C.Y.何。

本书第四、五、六、七、八章由单家增译，第一、二、十、十一、十二章由李继亮译，第三、九章由王尔康译；李继亮统校，单家增核准全部数据和公式。

石油工业出版社出版  
(北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京顺义燕华营印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 25<sup>3</sup>/<sub>4</sub>印张 640千字 印1—2,000

1989年7月北京第1版 1990年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0385-6/TE·374

定价：6.40元

## 中译本序言

当代的地球科学有两个最为鲜明的特点：其一是联合各个分支学科，例如地质学、地球物理学、地球化学等，用综合勘测、分析与研究的成果来解释地球现在的组成、结构、构造和运动特点，追索地球演化的历史；其二是尽量使用新的测试技术和模拟实验技术，为上述的研究提供精确可靠的数据与实验基础，也可以说，这是现代地球科学走向量化的起点。我们可以毫不夸张地说，当代地球科学的发展离不开大量精确而又可靠的数据。

地学研究既需要针对给定地点的既定研究对象实测出精确可靠的数据，也需要与已有的、得到公认的标准数据作对比。对于这后一类数据来说，经过系统的积累和专家的评定与选择是必要的。以这样的数据搜集成书，会起到小型标准数据库的作用，对地球科学的发展无疑是十分重要的。

麦克格罗-希尔(McGraw-Hill)信息与数字数据分析中心材料性质数据系列丛书陆续分册出版了。这套丛书有两个显著的优点：第一是包罗了现代科学技术发展最需要的材料数据；第二是所有数据都经过了严格的评定与挑选。由原书序言中所谈到的筛选与评定的过程和承担这些工作的人员与部门来看，可以说这些数据是反映当代科学技术水平的最精确最可靠的一批数据，当然随着科学的发展，将来也可以有更好的数据来代替它们。这套丛书由国际上著名的麦克格罗-希尔等六大出版社同时出版发行，也充分证明了这套丛书受到国际出版界的重视。

单家增和李继亮同志选择了这套丛书与地球科学关系最密切的一卷——《岩石与矿物的物理性质》译为中文本。这本书不仅保持了系列丛书的系统、全面的优点、数据精确并经过严格选择的特点，而且还介绍了近年来采用的测试分析技术，提供了解释与使用数据的常用方法。

中译本的出版，无疑会对使用这些数据的基础研究，如矿物物理、岩石学、岩石力学、岩石磁学、工程地质学和地球物理学各种研究有重要参考价值，同时，对于我国的一些应用研究，如能源、水源和资源研究以及工程建设都有着重要的意义。特别是对石油地质工作，由于本书对岩石的孔隙度、渗透率、密度、弹性、电性及地热提供了现代的测试方法、精确的数量和解释方法，所以无论对油气的物探、勘探、评价与开发都有重要参考价值。我愿意向广大石油地质科技人员推荐这样一本有用的书籍。当然，对于地质界的科技工作者、有关专业的大专院校教师和工程技术人员来说，也都会对本书中译本的出版表示欢迎。我希望此书能发挥它的作用，也期待我国能测试出精度及可靠程度更高的新数据，并写出我国自编的这类手册。我想，凭着我们的刻苦努力，这项任务会早日完成的。

孙 枢 1985.3.18.

## 系列丛书序言

麦克格罗-希尔CINDAS材料性质数据系统是以前书名为《物质的热物理性质》的TP-RC数据系统的继承性丛书，但它是最新的、扩充了内容，而且又完全重新编组过的一套丛书。在归属于国家数据中心的CINDAS的热物理和电子学性质范围内，重新编组的目的在于使系列丛书的每一卷对每一类有关物质的性质有一个完整的概括。

与多数数据手册的惯例不同，这套系列丛书给出的都是经过严格评价的数据，而且对给定情况下的知识状况附有一个扼要的讨论。只要有可能，便对某些实验条件下数值会发生什么样的变化加以说明。在不可能进行数据评价的那些实例中，将把文献中选择出来的代表性数据表、样品说明、注解，以及表示数据的图放在一起，以便于使用者练习对数据选择的判断能力。此外，也报导了若干单一值的物理常数和许多有关的力学性质在室温下的数值，以便提高本书在有志于材料选择和材料特征化的读者心目中的价值。

CINDAS的任务是，为了得到尽可能一致的各套物质性质数据值，而收集、评价、分析、协调、对比与综合各种材料的广阔范围的热物理和电子学性质的所有有效数据。在这种工作中，数据往往出现温度范围、成分范围等方面的一些间隙。一旦有可能，我们便使用从经验处理到详细理论计算的一系列方法把这些间隙填补起来。依据对于特殊性质和特殊材料有效的资料，以及在不同情况下采用不同的最终表达方式，可以由列举孤立数据的简单方式到详细的列表，并附有生成函数和表示不同数值相符程度的投影点图。在某些情况下，还包括现在实验室中还未探究过的参数范围中的数值。

麦克格罗-希尔CINDAS数据系统的各卷被编纂成若干组。第一组中的各卷是关于其他各组中涉及的主要性质的理论、测试与评价方法的内容。第二组中的各卷既不同于第一组也不同于其他组中各卷的内容，其主要差别在于它们与特殊的材料有关，既涉及各种性质的理论问题，也提供了该特定领域中可靠数据的理解要点与评价。更具有典型特点的数据系列是从第三组开始的各卷。其中每一卷的第一章都提供关于所表示的数据的有关知识，评价数据时所用的方法，以及单位换算表等。其后接下来的各章都是关于特定材料的，开始是这些材料的描述、选择物理常数的表格和在室温下若干选择物质性质的数值表格。随后，是表示物质的各种特定性质的数据的各节。每一节都包括关于这类性质的可靠数据和资料的讨论，在得到最后的评定与推荐意见时所作的各种考虑的讨论，这类性质的任何异常表现的讨论，推荐数值与实验数值的比较，以及所确定的推荐值的不肯定性的说明。这些内容中还附有表示实验值与推荐值的图，以及一张推荐数值表和参考文献目录。每一卷都包括关于这些性质与物质的详细索引。

麦克格罗-希尔CINDAS数据系统的这些卷书构成了工程与科学的极其宝贵的数据来源。它们第一次加入了迄今尚未知晓的或者已经是可靠的大量资料。应该强调指出，CINDAS还在继续汇集和评价新的数据。因此，使用者就此而受到鼓舞，去与CINDAS加强接触，以便得到这些卷书中所包括的任何特定领域中的最新资料。

我们衷心感谢CINDAS的50位过去与现在的发起者的多种来源的资助，这使得这些参考著作连续不断地付梓问世。特别需要指出的是，我要强调指出国防部指挥它的热物理和电子

学性质信息分析中心 (TEPIAC) 给予我们重大的支持, 国家标准局的标准参考数据室也在数据评价和评论性分析方面给予了不间断的支持。这两项主要计划所输出的数据才使我们有可能筹备出这个数据系统中的多数卷册的内容。

只要CINDAS参考数据部担负筹备与继续坚持这项工作的责任, 那么就不能没有CINDAS科学文件部直接输入的数据。各卷的作者虽然主要是负责该项工作的CINDAS编辑部的高级成员, 但是, 也应该清楚地了解, 在过去数年中, 许多别的人员也曾为此做出了贡献。我愿意借此机会向CINDAS编辑部的过去和现在的成员致以谢意。这些成员中也包括助理研究员, 学士助理研究员, 以及计算人员、绘图员和技术打字员, 没有他们的辛勤刻苦的努力, 这套著作便不可能得到成功。

最后, 由于这项工作的固有特点, 我们曾涉猎了大量的科技文献, 对于这些参考文章的作者和这里没有列出的许多作者们, 我们致以深切的感谢。由于他们所给出的结果往往不一致, 造成了我们协调这些数据时的困难, 我们认为这也正是我们面临的挑战, 而把它们相互协调起来也正是我们应做的贡献。

Y.S.Touloukian

(信息与数字数据分析综合中心主任)

## 系列丛书前言

自1955年以来，人们就看到了整个世界上科学研究的爆炸性增长。尽管这种增长有时受到经济问题的制约，但其趋势还在增强。参与研究和开发的人员数目的增多同现代仪器设备的高效能相结合，导致了科学知识的显著增长。同时，公众对于政府投向科学研究的支出的关注，导致了要求这些科学知识产生出更明显而又切实的公益。

人们所熟悉的“信息爆炸”激励了许多人的幻想，并采取了一定的行动。为了使用现代计算机技术建立更好的科学技术文献检索体系，人们付出了相当大的努力。搜集文摘与索引的方法已被计算机所革新，这导致了搜寻文献与检索有潜在利益的文献资料更为有效的方法。计算机已经使这些方法跟上记述研究与开发计划成果的杂志的文章、报告及会议记录汇编的指数增长。文献卷宗的联机搜寻快速发展，而且追踪技术更为精良。

但是，人们越来越认识到，检索适当的文献资料只是使科学研究成果得到最适当之应用的第一步。以科学研究报告中所含的数字资料为最直接的例证的硬信息，乃是证实科学研究实际价值的重要产物。经验已经表明，科学文献中所报导的资料往往是矛盾的、不完全的和缺乏证据的。鉴别过程都趋向于把注意力集中在作者的科学见解和提出的结论上，而不在于支持这些见解与结论的资料。其实，这些资料的更好质量的控制条件对于实现研究的全部潜在价值是重要的。

信息与数字数据分析综合中心 (CINDAS) 是 Y.S. 托鲁基安 (Touloukian) 教授于 1957 年建立的热物理性质研究中心 (TPRC) 的一个派生机构，它为如何最有效地使用公开发表的科学资料问题提供解答。CINDAS 对于获取与它的特定领域有关的科学文献，将它们进行编组与制成索引，提取其中包含的数据，以及提出汇集数据以便进行严格地评价与仔细地分析等方面，进行了尝试性的工作。它的最终目的是对所研究问题中的物理性质提出可能最可靠的数据，并利用这些数据对那些还不曾报导过直接测量结果的体系的性质进行外推和提供预测基础。CINDAS 便是通过这种方式把大量的科学信息精炼为便于使用而又有效的形式。

CINDAS 是国家标准参考资料系统 (NSRDS) 的一个组成部分，它由国家标准局标准参考数据办公室进行协调，以便为提供可靠的化学与物理参考数据进行全国性的努力。NSRDS 计划在寻求整个科学界在进行物理科学所有分支的资料的评价方面给予赞助。我们为 CINDAS 与 NSRDS 的长期联合和认识到它对美国科学技术的许多贡献而感到自豪。

麦克格罗-希尔 CINDAS 材料性质数据系统是体现 CINDAS 的，它以便于应用的形式致力于公共技术成就的一项主要任务。这个系统代表全世界数万个研究计划得出的主要定量成果。通过筛选数据和对数据编组，尽可能严格地评价，并在得到的数据的基础上外推，CINDAS 对科学界与工程界做出了难能可贵的服务工作。以这种活动方式，CINDAS 在将科学技术用于公众福利的一个重要方面做出了自己的贡献。

David R. Lide, Jr.

(国家标准局标准参考数据办公室主任)

# 目 录

绪论 .....	( 1 )
<b>第一章 岩石的组成</b> .....	( 3 )
1.1 引言 .....	( 3 )
1.2 岩石材料和岩体 .....	( 4 )
1.3 岩石与土壤 .....	( 4 )
1.4 地球化学 .....	( 5 )
1.5 矿物学 .....	( 7 )
1.6 岩石组构 .....	( 10 )
1.7 岩石的地质分类 .....	( 11 )
1.8 岩石的工程分类 .....	( 14 )
1.9 与其它材料的比较 .....	( 16 )
1.10 小结 .....	( 16 )
<b>第二章 参数的考虑</b> .....	( 17 )
2.1 引言 .....	( 17 )
2.2 取样方面的考虑 .....	( 17 )
2.3 地球化学方面的考虑 .....	( 18 )
2.4 结构方面的考虑 .....	( 19 )
2.5 环境方面的考虑 .....	( 20 )
2.6 测量方面的考虑 .....	( 21 )
2.7 小结 .....	( 21 )
<b>第三章 密度</b> .....	( 22 )
3.0 术语表 .....	( 22 )
3.1 引言 .....	( 22 )
3.2 术语的定义 .....	( 22 )
3.3 实验室方法 .....	( 23 )
3.4 野外方法 .....	( 24 )
3.5 已发表数据的统计分析 .....	( 25 )
3.6 相关的可能性 .....	( 26 )
3.7 小结 .....	( 28 )
附录: 表3.2中数据来源的书目 .....	( 29 )
<b>第四章 孔隙度、渗透率、分配系数和分散度</b> .....	( 34 )
4.0 术语表 .....	( 34 )
4.1 引言与界说 .....	( 34 )
4.2 孔隙度 .....	( 35 )
4.3 渗透率 .....	( 36 )



4.4	分配系数	( 37 )
4.5	分散度	( 38 )
4.6	小结	( 39 )
<b>第五章</b>	<b>岩石的强度</b>	<b>( 63 )</b>
5.0	术语表	( 63 )
5.1	引言	( 63 )
5.2	单轴抗压强度	( 64 )
5.3	围限抗压强度	( 69 )
5.4	抗张强度	( 73 )
5.5	剪切强度	( 76 )
5.6	岩石破坏	( 77 )
5.7	岩石疲劳	( 80 )
5.8	蠕变	( 83 )
5.9	小结	( 87 )
附录:	表5.1, 5.2和5.3中数据来源的书目	( 88 )
<b>第六章</b>	<b>静态应力-应变关系</b>	<b>( 91 )</b>
6.0	术语表	( 91 )
6.1	引言	( 91 )
6.2	定义	( 92 )
6.3	矿物含量、微裂隙和各向异性	( 93 )
6.4	测量方法	( 94 )
6.5	实验室试验结果	( 96 )
6.6	野外试验结果	( 124 )
6.7	小结	( 127 )
<b>第七章</b>	<b>岩石间断面的剪切阻力与可变形性</b>	<b>( 129 )</b>
7.0	术语表	( 129 )
7.1	引言、术语和观点	( 129 )
7.2	有关断面特性的理论	( 131 )
7.3	剪切间断面的装置和方法	( 136 )
7.4	间断面的阻力和可变形性	( 143 )
7.5	小结	( 158 )
<b>第八章</b>	<b>地震波速度</b>	<b>( 160 )</b>
8.0	术语表	( 160 )
8.1	引言	( 160 )
8.2	实验方法	( 161 )
8.3	速度与弹性之间的关系	( 161 )
8.4	参数影响	( 163 )
8.5	数据的表示	( 164 )
8.6	数据的讨论	( 186 )
8.7	小结	( 188 )

<b>第九章 岩石的电学性质</b> .....	(189)
9.0 术语表 .....	(189)
9.1 引言 .....	(189)
9.2 电量参数 .....	(190)
9.3 电荷传输的过程与机制 .....	(192)
9.4 电导率: 电荷传输 .....	(194)
9.5 矿物与岩石的电导率 .....	(194)
9.6 水与水溶液的电学性质 .....	(195)
9.7 岩石中的水: 混合定律 .....	(200)
9.8 小结 .....	(200)
附录A: 部分岩石、矿物和化合物在室温下的电学性质及电介质介电常数统计数值表 .....	(210)
附录B: 岩石与矿物的电导率 .....	(230)
<b>第十章 岩石和矿物的磁性</b> .....	(235)
10.0 术语表 .....	(235)
10.1 引言 .....	(235)
10.2 抗磁性 .....	(235)
10.3 顺磁性 .....	(236)
10.4 铁磁性 .....	(238)
10.5 磁滞 .....	(238)
10.6 反铁磁性 .....	(239)
10.7 弱铁磁性 .....	(240)
10.8 铁氧体磁性 .....	(241)
10.9 磁铁矿: 钛尖晶石系列 .....	(242)
10.10 赤铁矿: 钛铁矿系列 .....	(243)
10.11 变化 .....	(244)
10.12 铁的氢氧化物 .....	(245)
10.13 铁-镍-钴 .....	(246)
10.14 超顺磁性 (SP) - 单畴 (SD) 铁 .....	(249)
10.15 沉积物 .....	(250)
10.16 大洋玄武岩 .....	(250)
10.17 大陆岩石 .....	(251)
10.18 小结 .....	(254)
<b>第十一章 岩石的熔融曲线和造岩熔体的粘度</b> .....	(255)
11.1 引言 .....	(255)
11.2 熔融曲线的实验测量技术 .....	(257)
11.3 熔融间隔 .....	(257)
11.4 挥发分在硅酸盐熔体中的作用 .....	(261)
11.5 多组分挥发分体系 .....	(262)
11.6 岩石熔融温度和结晶温度的实验结果 .....	(263)

11.7	数据 .....	(263)
11.8	在高于一大气压压力下的熔融关系 .....	(272)
11.9	挥发分存在时的熔融作用 .....	(275)
11.10	熔体的粘度和密度 .....	(280)
11.11	粘度测量的实验技术 .....	(281)
11.12	粘度数据 .....	(281)
11.13	硅酸盐熔体的密度 .....	(284)
11.14	小结 .....	(285)
	附录: 定义 .....	(286)
<b>第十二章</b>	<b>岩石的热物理性质 .....</b>	<b>(287)</b>
12.0	术语表 .....	(287)
12.1	引言 .....	(288)
12.2	定义和理论上的考虑 .....	(288)
12.3	热导率测量方法 .....	(291)
12.4	误差来源的讨论 .....	(292)
12.5	估算热导率的方法 .....	(293)
12.6	联合方法 .....	(295)
12.7	热膨胀测量方法 .....	(295)
12.8	小结 .....	(298)
	附录: 数字数据 .....	(299)
	精选的岩石及其性质的数据书目 .....	(360)
	<b>全书参考文献 (按章的顺序排列) .....</b>	<b>(372)</b>

## 绪 论

这本著作对于岩石和包括某些矿物在内的其它地质材料的物理性质提供了经过评价的数据和必要的讨论。尽管涉及的范围有人为选择的因素，却也相当广泛。起始的两章是导论性的，它们概括了几乎全部物理性质讨论中都要涉及到的岩石的组成与工程分类，以及对一般参数的考虑。随后的十章，论述了岩石的物理性质、力学性质、电学性质、磁性和热物理性质，其中特别强调了在地热应用中认为有用的那些数据。

为什么要把岩石的性质汇集成书？理由是多种多样的。但是，人们已经认识到，为了确定矿产资源的产地和开采这些资源，以及对岩石上或岩石中建造的工程设施选定地点、进行设计、施工建设乃至长期维修，都必须测定一种或多种岩石性质。在本卷的准备过程中，得到了能源部的支持，该部对于开发地热能源深感兴趣，在这方面，重要的岩石性质是热性质、可钻性和渗透率。此外，在区域基础上得到的较好的热流知识，它有助于确定迄今尚未知晓的地热资源的地点。

岩石性质数据的许多其它用途包括：压缩强度有助于选择填石坝的外壳材料；密度是选择土坝的最经久耐用的护面材料的基础；在矿山开发面的准备措施中，以及设计储存核废料或容纳地下电站的岩洞设计中，岩石强度和模量是必须的数据基础；电性和磁性的变化有助于预报地震；在设计稳定岩石边坡时必须有节理剪切强度数据。另外，对于诸如对速度特点和高温高压引起的相变之类的某些基本性质的较清楚的了解，可以提供对地壳习性的更深入的理解；这种理解对于确定地热能源产地，预报地震，以及对找寻新的矿产资源都是必要的基础。

内容多寡适度的一卷书的材料必须在一个适宜的时期之内编纂起来，要想把已经发表的有关岩石性质的数以万计的数据包罗无遗是不可能的。不过，在本卷中，应用者能够获得代表性的数据，并获知若干包含岩石性质数据的出版参考文献。由于组织本卷内容的方式，读者会感到，常用的主体索引可能不是特别有用的。所以用一个详细的目录表取代之。

这部参考著作代表了31位物理学家、工程师、地质学家和地球物理学家的共同努力的成果，他们来自美国和加拿大的大学、政府的实验室和一个咨询处。编者衷心地感谢他们慷慨地贡献了其宝贵的时间和知识专长，没有这些，这本著作是难以完成的。

如果我们不对关于岩石物理性质的两种早期经典著作作出特别的申述，那么这些引论性的说明便不完善。自然，我们参考了1942年弗朗西斯·伯奇（Francis Birch）编辑的36号特殊出版物——《物理常数手册》和小克拉克（Sydney P. Clark, Jr）于1966年编辑的修订本，这两本著作都是由美国地质学会主持出版的。多年来，这些著作作为地学界作了优秀的服务。现在这本著作在结构上和内容上都不同于上述的两本书，虽然它对于地学家同样有意义，但它直接针对着工程学界。但是，就其相应的内容部分而言，我们希望现在的这本著作代表小克拉克在1966年所编的一书的最新扩充。

最后，我们以尽可能最强有力的方式强调，如果对岩石所报导的物理数据是有最大应用价值的话，将来的研究者必须把多得多的注意力花在对岩石的全面的特征化上。与此相联系，必须强调需要有特定位置的数据。另外，必须认识到，岩石性质与起源于化学、粒度和形成

方式方面的各种考虑的地质名称或岩石学名称无关。换句话说，岩石名称，比如石灰岩并不意味着必然有相同的一套性质。

编者们在能源部地热能司委任的一批高级研究员，在准备这卷参考著作时，对他们的部分支持和相互理解的合作表示衷心的感谢。

Y.S.Touloukian

W.R.Judd

R.F.Roy

# 第一章 岩石的组成

H.J.平库斯

## 1.1 引言

材料物理性质的经典模式，很少能精确地用于称为岩石的一类材料。不管大小如何，在所研究的岩石体积内，由一点到另一点的性质变化（非均一性）和性质随方向的变化（各向异性），都是规律远多于例外。

矿物是岩石的砌块。最常见的造岩矿物都是各向异性的，而且往往含有由矿物组成的杂质。矿物颗粒由相互交嵌的颗粒边界，矿物胶结物，以及粘结性颗粒集合体连接在一起。颗粒接触面上的薄膜水与摩擦力也阻碍了解离作用。与晶格不同，颗粒的网格的结构很少是均匀的和周期性的。

相象的矿物或相象的矿物群的颗粒畴，可能以席状、透镜状、球状和其它形状来排列。这些排列方式至少记录了岩石的某些地质历史。例如，席状或层状排列方式，可能由水或空气搬运和沉积的沉积物粒度或成分的差别引起，或者由曾被熔融的物质中平板状颗粒和柱状矿物垂直于速度梯度的排列引起，或者由与应力场平衡而重结晶的板状颗粒的平行排列造成的。

岩石中的矿物质布满了诸如裂纹和孔隙之类的间断面。在较大的单位中，岩石被诸如裂隙（节理）和层理间的剥离面之类的间断面所切割。裂纹、孔隙和裂隙的空间间隔与方向在岩石中很少是均匀地分布。

岩石中的空隙可能被水部分地或全部地充填。被排干了水的岩石通常还会在毛细孔隙中保留一些水分。岩石水和含岩石水的岩石彼此之间相互发生化学的和物理的作用。干岩石在一些重要方面不同于它的饱和水的对应物。同样，已经暴露在诸如水、氧和二氧化碳之类的风化营力作用下的岩石可能明显地不同于未风化的岩石。

岩石的应力历史可能在相当大的程度上取决于岩石的习性。例如，残留应力的作用达到破坏程度所需要的载荷量，而且也可能影响破坏面的方向。虽然残余应力并不是岩石成分的一部分，但在应力存在的地方立即与岩石的全部成分相互作用，并影响其性质。应力史可能直接与不均一性和各向异性有关。例如，通过岩石的破裂造成这种不均一性和各向异性，破裂岩石的习性不同于它的未破裂对应物；另外，诸如空间大小、方向和粗糙度之类的破裂特点，在岩石中常常不是均匀分布的。

在对岩石成分的所有考虑中，最根本的一条，是要记住尺度效应。就不均一性和各向异性而言，这一点特别重要。在一种尺度上可把岩石物质看作是均匀的和各向同性的，而在更大或更小的尺度上看，则可能既不是均匀的，也不是各向同性的。

本节前面的一些讨论肯定与下述观察相符：岩石性质的实验结果表现得相当分散，即使是同一岩石类型也是如此。并非所有影响实验结果的因素都讨论到了。例如，进行测试时的时间-速率会影响象抗压强度之类的常用性质的实验结果。而且，同一种性质的实验室实验和原地实验得到的结果也常常彼此不同，远比估计的测量误差要大得多。

岩石材料即使只在诸次实验间变化，我们也还是可以发现对于一种特殊的岩石类型得到的结果要比诸如金属、陶瓷乃至矿物都分散得多。出现这种情况的原因，只是因为命名（分类）岩石（第1.7节）的间隔格架要比分类许多其他材料的格架大得多。最精细的岩石分类型式可能伴有化学成分与矿物成分、粒度、颗粒形态和颗粒排列的变化，但是，却没有一种岩石的地质分类明确地论及应力历史。

“同种”岩石（例如“花岗岩”）的被测量性质可能呈现出一个宽的数值范围，因为它在所有实验中并不是“同种”岩石。除了岩石名称之外，实验数据还必须提供详细说明的背景资料，例如，地理位置、深度、采集方法、样品定向及水文条件。

但是，对于不同岩石类型的性质是能够作出有效的概括的。“花岗岩”的抗压强度平均起来大于“砂岩”的强度，“砂岩”的平均渗透率大于“花岗岩”的平均渗透率。岩石的抗压强度要比它们的抗张强度大得多。然而特定位置的岩石的性质却不能依据区域平均值或概括出的性质来推断：特殊用途所要求的性质必须在那个位置上进行测定。

## 1.2 岩石材料和岩体

岩石材料（岩石物质、原样岩石、岩石单元）是实验室进行性质测试时假定为连续的岩石物质，则某些形式的刚体连续力学可以应用于它们。就颗粒、孔隙和裂纹来看，岩石材料的体积要素是大的；而就诸如裂隙（节理）和层理面之类的不连续面之间的空间间隔来看，它又是小的。

岩体（岩石体系、原地岩石）由此相应的岩石材料更大的体积单元构成。从物理意义上看，岩体并不意味着是“岩石的块体”。岩体由岩石物质和诸如裂隙之类的明显的不连续面一起构成。经常观察到的岩石材料与岩体之间的物理性质的差别证明了两之间是有区别的。

岩石材料的强度越大，在确定岩体性质时间断面的地位便越是重要。相反，强度弱的岩石具有接近于土壤的性质，表现出岩石材料与岩体性质之间较小的差别。

岩石材料与岩体的精确而完善的野外描述，无论怎么强调，都不过份。例如，间断面的填图可以提供比高度细致的实验室研究多得多的有用资料。另外，实验工作者完成野外研究可以花费少得多的时间和低得多的费用。理想的情况是，野外研究和实验室研究都应该严格细致地进行，以便得出岩石材料和岩体的差别之处。

野外记录的特点有：岩石的构造（褶皱、裂隙、构造的可变性和宏观性质），有关环境因素（水文、地貌、经济），以及当地的岩石物理性质演变历史。在许多主要研究岩石的研究计划中，记录土壤的野外特点，尤其是土壤与岩石之间的分布关系，也是重要的。例如，土壤盖层表现出来的地表凹陷，可以作为下伏岩石中坍塌构造或断层之类的间断面的标志。

任何地质变量的面积与体积图象都需要大量的内插工作，通常为了填补一些详细的图象也需要某种外推工作。象表征力学性质之类的变量，必定不能单独用数字方法进行内插和外推。只有对在区域内起作用的地质过程和边缘区域主要地质特点有了合理的综合理解，才能做出可以信赖的内插和少量外推。即使是在这种情况下，还可能遇到意想不到的细微之处。

## 1.3 岩石与土壤

对于土壤与岩石的区别，还没有普遍接受的一致意见。如果忽视了这个问题，这种区分

可能具有重大的法律后果和财经后果。例如，把开挖的风化页岩的契约术语称作“土壤”，就与把同一种开凿物称作“岩石”可能有重大的差别。美国实验与材料学会〔1975〕把岩石与土壤〔D653-77a标准〕定义为：

岩石——以大的岩体或碎块出现的天然固体矿物物质。

土壤（土）——由岩石的物理和化学解离作用产生的沉积物或其它的固体颗粒未固结堆积物，可以含有也可以不含有有机质。

地质学家和土壤学家用规定有供养户外植物的能力来进一步限定了土壤的定义。

岩石能够转变为土壤，而且反之亦然。两者之间的接触边界可以是突变的，也可以是渐变的。它们都可以单独在地表出现。

表1.1〔Goodman, 1976,表2-1〕表示了卡尔·特扎基(Karl Terzaghi)教授的关于区分固体岩石、风化岩石和土壤的实用指导表格。这个指导表可供相对缺乏经验而又细心的观察者有效地使用。

**表1.1 特扎基区分岩石、风化岩石和土壤的指导表〔据Goodman, 1976〕**

原始状态	在反复地烘干、浸湿和振动之后，或者长期暴露于大气之中	使干的碎屑饱和和水产生的体积变化	分 类
固体 当用铁锤敲打时发出清脆声音	未变化的	难以察觉的	a) 固体岩石
	破碎为具有清晰表面的硬的小块		b) 细裂开的或者磨碎的未变化岩石
	破碎成小碎片，由于存在细粒风化产物而具有象油脂的表面		c) 稍微分解的裂开的岩石
	破碎为单个的砂或粉砂颗粒		d) 具有不稳定胶结物的砂岩或泥岩
	破碎为小的棱角状碎片，没有任何化学变化的标志		e) 岩石与粘土的中间物，岩石特点占主要地位
固体 当用铁锤敲击时发出沉闷的声音	逐渐转变为土壤颗粒悬浮物	可以测量的	f) 岩石与粘土的中间物，粘土特点占主要地位
	逐渐转变为粘土颗粒悬浮物和由棱角状岩屑组成的沉积物		g) 完全分解的岩石
	完全转变为悬浮物和（或）松散沉积物	难以察觉的到重要的	h) 在干的或者十分压实的条件下的粘土、粉砂和很细的砂

土壤的成分和结构取决于它的母源物质、从岩石转变为土壤的过程和土壤的环境历史。土壤可以很缓慢地与它们由之而来的下伏岩石混为一体。但是，如在冰川搬运与沉积的物质情况下，土壤可以与下伏岩石决无成因关系。

土壤与岩石影响彼此起作用的过程。例如，土壤控制了水渗入地下水体系的速率；就重力诱发上覆土壤盖层的运动而言，基岩地貌起伏影响上覆土壤盖层的稳定性。

## 1.4 地球化学

地壳中的主要元素的丰度在表1.2中表示出来。注意这八个元素占了大洋和大陆地壳重



量的98%，其中两个元素，氧和硅合起来占了地壳的2/3~3/4。地壳的质量是  $2.5 \times 10^{25}$ g，它是地球质量的0.4% [Turekian, 1972]。

表1.2 地壳中主要元素的丰度 (重量百分比) [据Tan与Yao, 1970]

元素	区 域				地 壳			岩 石	
	深大洋	浅大洋	大 陆	褶皱带	大洋	大陆	地球	火成的与变质的	沉积岩
氧	44	46	46	47	45	46	46	46	50
硅	23	24	29	29	23	29	27	27	21
铝	8.5	8.2	8.4	8.2	8.4	8.3	8.3	8.6	5.6
铁	8.3	6.6	4.9	4.4	7.5	4.8	5.8	6.0	3.3
钙	7.5	6.6	4.1	4.1	7.1	4.1	5.2	4.8	10.0
钠	2.0	1.9	2.5	2.5	2.0	2.5	2.3	2.5	0.9
钾	0.8	1.5	2.0	2.1	1.1	2.0	1.7	1.6	1.9
镁	4.3	3.3	3.2	1.9	3.9	2.1	2.8	2.8	2.0

单个元素的丰度变化反映了不同地质环境中地壳成分的明显的差别。例如，大洋壳的较大丰度的铁、钙和镁和大陆壳中丰度较大的钾、钠和硅，从化学上表现了“玄武岩质”大洋壳与“花岗岩质”大陆壳的差别。

上述的这种质量丰度只说了内情的一部分。元素的体积相对丰度却描绘了一种不同的画面。比其余七个主要元素中的任何一个都大的氧原子，占了地壳体积的94%左右。因此，我们是在一个氧原子的方阵上走来走去，在这个方阵中替代进了一些体积小得多其它元素。氧主要与硅和铝强烈地键合。

溶解在水中的主要元素的丰度在表1.3中表示出来。注意，氯、钠、硫和钙是海水与河流中五种最大丰度的溶解元素中的四个。它们在海水中比河水中的浓度要高几个数量级。

平均起来，溶解盐占海水重量的3.5%。氯化钠占了这些盐类的77.8%，氯化镁占10.9%。镁、钾和钙的硫酸盐占了10.8%，溴化镁和碳酸钙占了其余0.5%。

表1.3 溶解在水中的主要元素的丰度 (重量) [据Turekian, 1972]

	海 水 (mg/L)	河 流 (mg/L)
氯	$1.94 \times 10^7$	7800
钠	$1.08 \times 10^7$	6300
镁	$1.29 \times 10^6$	4100
硫	$9.04 \times 10^5$	5600
钙	$4.11 \times 10^5$	15000
钾	$3.92 \times 10^5$	2300
溴	67300	20
碳 (无机的)	28000	11500
氮	15000	没有可靠数据
锶	8100	70
氧	6000	没有可靠数据
硼	4450	10
硅	2900	6100
氟	1300	100
水: 氢	$1.10 \times 10^8$	$1.10 \times 10^8$
氧	$8.83 \times 10^8$	$8.83 \times 10^8$