

高等学校教学用书

岩石力学与井巷支护

北京矿业学院岩石力学教研组
东北工学院岩石力学教研室 合编



中国工业出版社

高等学校教学用书



岩石力学与井巷支护

北京矿业学院岩石力学教研組
东北工学院岩石力学教研室 合編

中国工业出版社

本書是根据矿业建設专业“岩石力学与井巷支护”課程的要求而編写的教学参考書，在內容上也适当地考虑了現場工程技術人員、科研及設計人員的需要。全書共分兩篇，第一篇——岩石力学，对井巷围岩的性質、活动規律及研究方法等作了較詳尽的闡述；第二篇——井巷支护，論述了井巷支架的构造、使用和设计。

本書除可作为高等院校的教材外，也可供現場工程技術人員、科研和设计人員参考。

本書編写人

审 編：严志才 邱 源 魏順仪 顧小芸 于学復 华安增
 李世平 李先煒 林韻梅 洪元禎 张葆君 饒 魯
参加編写教师：华安增 李世平 李先煒 汪伯煜 陈启美 郑永学
 郑丽天 林韻梅 洪元禎 饒 魯
参加編写学生：王貴文 刘清泉 沈渭昌 梁忠生 张葆君 程 凱
 魏俊全

岩石力学与井巷支护

北京矿业学院岩石力学教研組
东北工学院岩石力学教研組 合編
(根据煤炭工业出版社紙型重印)

*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)。

(北京市書刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华書店科技发行所发行·各地新华書店經售

*

开本 787×1062¹/₁₆·印张 34·插頁 3·字數 700,000

1960年 8月北京第一版

1961年 6月北京新一版·1961年 6月北京第一次印刷

印数 0001—2,030·定价：3.85元

統一書号：15165·226(煤炭-11)

前 言

1958年以来，随着工农业生产大跃进，我国科学技术与文化教育事业也有了巨大发展和提高。为了适应和形势的要求，进一步贯彻党的教育为无产阶级政治服务，教育与生产劳动相结合的方针，更好地提高教学质量，我们在北京矿业学院和东北工学院的党和行政的领导与关怀下，通过协作方式，以结合中国实际情况和反映世界先进水平为努力目标，编写了本书，作为矿井建设专业的教材。

本书在编审过程中，抚顺、阜新、开滦、京西等局矿提供了许多资料，北京煤炭科学研究所、北京煤炭设计院、北京有色金属设计院、中国科学院力学研究所、北京钢铁学院等给予大力协助。

本书从着手准备到完全脱稿，共用了三个月的时间，第二次印刷虽又进行了一次校核工作，但由于时间仓卒和编写人员水平的限制，缺点和错误在所难免。我们殷切地希望读者提出意见，以便再版时修正。

目 录

前言

緒論 7

第一篇 岩石力学

第一章 岩石的物理力学性質	11
第一节 研究岩石性質的重要意义	11
第二节 岩石的分类特征	12
第三节 岩石的結構特征	12
第四节 固結性岩石的变形和强度特征	14
第五节 松散性岩石(土)的变形与强度特征	34
第六节 岩石力学性質的測定	38
第二章 岩体的应力、变形与破坏	60
第一节 原岩体的应力状态	60
第二节 井筒围岩的应力分布、变形及破碎	61
第三节 巷道围岩的应力分布、变形及破碎	64
第三章 巷道地压学說	77
第一节 概 論	77
第二节 松散体学說	80
第三节 弹塑性体学說	94
第四节 其他地压学說	109
第五节 平巷地压学說的小結	116
第六节 斜巷地压	122
第四章 豎井地压学說	125
第一节 松散体学說	125
第二节 弹塑体学說	128
第三节 关于豎井地压学說的簡單分析	134
第五章 几种地压現象	135
第一节 冲击地压	135
第二节 巷道围岩的鼓胀現象	139
第三节 受回采工作影响的巷道地压	142
第六章 現場研究	146
第一节 概述	146
第二节 实测技术分类及对仪器的要求	147
第三节 支架上荷載測量方法	149
第四节 岩体应力測量方法	162
第五节 岩层位移和离层的观测方法	168
第六节 巷道围岩破碎带的实测方法	177
第七节 实测工作的一般原則	181
第八节 巷道地压与位移現場研究实例	183

第七章 模拟研究	187
第一节 概述	187
第二节 相似原理	188
第三节 光测弹性模型法	190
第四节 变形网模型法	202
第五节 相似材料模型法	205
第六节 离心模型法	210
第七节 振动模型	212
第八节 砂子模型试验	214
第九节 小结	215
第八章 井巷维护	217
第一节 井巷维护的意义	217
第二节 选择合理的井巷位置	218
第三节 利用矿柱维护	220
第四节 利用自然平衡状态	222
第五节 加固围岩	223
第六节 安设支架	223
第七节 合理的断面形状	223

第二篇 井巷支护

第九章 支架设计原理	227
第一节 支架设计与选择原则	227
第二节 支架静力计算	236

平巷支架

第十章 木材支架	284
第一节 坑木	284
第二节 支架的结构型式	285
第三节 木材支架的连接与可缩性	291
第四节 支架的计算和应用	293
第五节 木材及木材支架的防腐方法	296
第十一章 石材支架	297
第一节 石材	297
第二节 石材支架的型式	303
第三节 拱	306
第四节 墙和基础	312
第五节 支架设计	317
第六节 石材支架的使用	330
第十二章 装配式钢筋混凝土支架	333
第一节 使用情况和构件型式	333
第二节 装配式钢筋混凝土支架的型式	334
第三节 装配式钢筋混凝土支架的可缩性	342
第四节 预应力钢筋混凝土的应用	345
第五节 预应力钢筋混凝土支架的结构特点	345

第六节	装配式鋼筋混凝土支架构件的連接	349
第七节	鋼筋混凝土背板	350
第八节	装配式鋼筋混凝土支架的設計	353
第九节	装配式鋼筋混凝土支架的制造	371
第十节	装配式鋼筋混凝土支架的发展方向	373
第十三章	金屬支架	375
第一节	材料	375
第二节	金屬支架的結構型式	375
第三节	金屬支架的連接	380
第十四章	錨杆支架	381
第一节	錨杆支架的作用原理	381
第二节	錨杆支架的种类与結構	382
第三节	錨杆的設計	395
第四节	錨杆的試驗工作	402
第五节	錨杆的技术經濟效果及使用条件	406
第十五章	其它坑木代用品	407
第一节	蒸养矽酸盐支架	408
第二节	竹材支架	409
第三节	陶瓷支柱	411
第四节	菱苦土支架	411
第五节	玻璃鋼	412

斜巷支架

第十六章	斜巷支架	414
第一节	斜巷支架的特点	414
第二节	木材支架	414
第三节	石材支架	415
第四节	金屬支架	415
第五节	装配式鋼筋混凝土支架	416
第六节	斜井井頸支架	417

豎井支架

第十七章	木材支架	418
第一节	木材支架的类型和构造	418
第二节	豎井木支架的計算	422
第三节	豎井木支架的使用范围	424
第四节	矩形井筒使用装配式鋼筋混凝土支架的經驗	425
第五节	立眼中使用圓形耐压木砖支架的經驗	426
第十八章	石材支架	427
第一节	石材井壁的类型及应用	427
第二节	井壁厚度計算	430
第三节	段高的影响因素及其决定	436
第四节	无壁座砌井及壁座的使用	441
第五节	井頸支架	445

第十九章 鋼筋混凝土弧板支架	455
第一节 鋼筋混凝土弧板支架的类型与构造	455
第二节 鋼筋混凝土弧板支架的设计与计算方法	462
第三节 鋼筋混凝土弧板的制造与使用	474
第二十章 金屬支架	479
第一节 临时支架	489
第二节 永久支架	484
井巷交接处与峒室支架	
第二十一章 井巷交接处及峒室支架	485
第一节 巷道交接的形式	485
第二节 平頂巷道交接处支架	486
第三节 拱頂巷道交接处支架	491
第四节 豎井与平巷连接处(井門)支架	495
第五节 峒室支架	500
第二十二章 支架試驗方法	508
第一节 概述	508
第二节 支架构件試驗	509
第三节 支架整体試驗	511
第四节 工业試驗	512
× × ×	
結束語	513
附录	515
一、彈塑性理論基本知識	515
二、測定数据的整理和分析	534
代表符号一覽表	541



緒 論

“岩石力学”是研究岩石力学现象及其活动规律以便于控制围岩活动的一門科学。

“井巷支护”是研究用支架——人工结构物——来维护井巷的科学。

采矿工程中，我們每天所必須进行的最基本的工作，便是把岩石（包括矿石）从地壳中加以破碎而采掘出来，从而不断在地下形成空间——井巷和回采工作面。这些空间破坏了岩体原来的平衡状态。为了建立新的平衡，围岩产生变形、破碎、冒落等一系列力学现象，这也就是通常所称的地压现象。要保證正常的采掘工作，就必須进行巷道维护和頂板管理，以控制或防止这些现象，特别是围岩破碎现象的产生。由此可見，破碎采掘岩石和防止围岩的破碎，是采矿工程中的基本矛盾，而岩石是采矿工作最主要的对象。对岩石的性质、岩石的破碎过程和巷道围岩活动的客观规律掌握得愈清楚，則采矿工程就能在愈加可靠的基础上进行。因此，完全可以認為，岩石力学这門科学是采矿工程的主要基础。

从力学的观点来看，井巷稳固性、回采工作面的頂板管理、岩层的移动、露天边坡的稳定以及岩石破碎理論等一系列問題都应当屬於岩石力学研究的范畴。但是，由于这門科学还不够成熟，同时上述問題都与某一个生产环节有密切的联系，因此其中許多問題都分別列入其它課程（如“采矿方法”、“矿山測量”、“露天开采方法”、“岩石破碎学”等）之中。而本課程的研究范围則只限于与井巷支护有关的岩石力学现象，所以这里所指的“岩石力学”是一門研究井巷围岩力学现象及其活动规律的学科。

研究岩石力学的目的当然不仅仅在于掌握围岩活动的客观规律，更重要的还是要控制围岩的活动，掌握这些力学规律，从而使它服务于生产实践，而不是妨碍生产实践。这也就是“井巷支护”課程所要研究的内容——井巷维护方法。其中最主要的维护方法是采用支架，因此在维护方法里就着重論述井巷支架的构造、使用及設計。

岩石力学提供控制地压的科学根据，井巷支护則研究控制地压的基本方法——矿井支架，所以它們就成为同一学科中密切相关的两个重要組成部分。所有的科学都是以人类生产实践活动为基础形成和发展起来的。人們从事某种生产的規模愈大，活动愈頻繁，則与此有关的科学也就发展得愈迅速。“岩石力学与井巷支护”这門科学也不例外，它的形成过程是与采矿工业的发展分不开的。

我們伟大的祖国是世界上采矿工业发展最早的国家，远在几千年前，我国就已經能开采銅、鉄、金、煤等矿石。到了周代（紀元前1122年）金屬矿床开采已相当发展，并开始了地下采煤。元朝（公元1200年）就有了深达数百米的盐井。所以我国劳动人民很早就懂得利用支架、留矿柱和充填等方法来防止围岩破碎、冒落等地压现象，而且摸索到許多地压现象出現的规律，能够凭借丰富的經驗預知頂板会不会冒落，支架能不能保証巷道的稳定性等。如我国較早的一本工程書籍，明朝宋应星所著的“天工开物”一書中提

到：“……或一井而下，炭縱橫廣有，則隨其左右闕取。其上枝板，以防壓崩耳。凡煤炭取空，而後以土填實其井”。在1920年出版的“山西礦務志略”中則有了更具體的記載，說明古代豎井井口多用石砌，井壁材料有磚、扇面石、荊笆、柳笆等。而且說磚石井壁可耐數百年之久。這些史料充分說明，勤勞勇敢、心靈手巧的中國人民，在採礦科學中，也和在其餘各個領域中一樣，為人類留下了寶貴的遺產。

但是由於舊中國長期處在封建統治下，後來又被帝國主義和官僚資本所壟斷掠奪，生產力被束縛，採礦技術長期停留在十分落后的手工業式的基礎上，得不到發展；同時資本家們只醉心於利潤，將工人的性命視為草芥，根本不重視對確保礦工安全生產有重大意義的井巷維護技術。而礦工們自身則處在被奴役與被剝削的境域之中，衣不蔽體，食不果腹，沒有學文化的機會，因而很難將實踐中積累的經驗系統總結並上升到理論，以致使“岩石力學與井巷支撐”長期未能形成系統的科學體系。

解放以後，在黨中央和毛澤東同志的英明領導下，黨和政府對舊有礦井的恢復、改建和新建都給予極大的重視，我國採礦工業和礦井建設工程面貌煥然一新。它已經由解放前的落后局面，轉變為擁有先進技術的強大國民經濟的一個部門。十年來，我們在採礦工業上取得的成就是十分巨大的，發展速度也是史無前例的。以其中最重要的兩種產品為例：在1949年，我國的煤炭產量還只有3243萬噸，而到了1959年，則已增長到34780萬噸，使我國在煤炭產量上由1949年的世界第九位一躍而為第三位；鐵礦石產量的增長速度則更為驚人，如以1949年為100%，則1959年已增長到14261%，從而有力地保證了我國鋼鐵工業的飛躍發展。

同時，為了適應採礦工業的高速發展，我國人民進行了巨大的礦山基本建設工作。僅在煤炭系統，十年來投入生產的礦井設計生產能力就達10179萬噸。

採礦和礦山基本建設工作的迅速發展為我國採礦科學的形成與發展奠定了良好的物質基礎，並有力地推動了“岩石力學與井巷支撐”這一年輕學科的迅速成長。

在過去，絕大部分礦井的規模都很小，生產工作主要依靠繁重的體力勞動進行。採掘工作面，特別是回採工作面的長度很小，圍岩的暴露面積也不大，因而產生的地壓現象，不論就其規模或就其表現形式來講，都遠遠不如現在大規模機械化生產那樣明顯、廣泛和多样化。隨着現代化大型礦井的出現，過去認為能夠滿足要求的木材支架與某些維護方法，現在就不一定合用，在服務年限達幾十年的基本巷道中迫切需要更耐久的支架材料和更合理的支架結構。此外，隨着礦石和煤產量的急劇增長，坑木的需要量也迅速地增加，這就很自然地產生了坑木供不應求的矛盾，提出了尋找坑木代用品的任務。採礦工作者為解決生產上提出的一系列的問題，就需要不斷地去研究、試驗和實踐，從而為“岩石力學與井巷支撐”這一學科提供了豐富的內容。

在井巷支撐方面，我們不僅迅速掌握了各種新型支架的使用技術——如混凝土和混凝土磚支架、裝配式鋼筋混凝土支架、鑽杆支架、金屬支架等，而且根據我國多快好省建設社會主義的方針，根據高速度建設和勤儉建國的特點，找出一些適合我國國情的支架結構、支架材料並摸索出一些使用經驗，也創造性地發展了我國古代比較成熟的經驗。例如在平巷中普遍推廣料石支架和裝配式鋼筋混凝土支架，前者能夠就地取材，強

度高，服务年限长，因此早已为我国古代人民所采用，解放后受到了广泛的重视，到1958年，利用料石支架维护的巷道已占总长度的6.76%，在各类支架中占第二位。特别值得注意的是近年来在荒料石砌架上创造了很宝贵的经验，降低了对石材加工的要求，所以已使这种支架的使用价值更加提高。后者还是于1952年才开始在焦作矿务局采用；但到1958年，全国已建立装配式钢筋混凝土预制厂20余处（包括手工业生产在内），总生产能力达年产47万架。

锚杆支架于1957年才开始提出，但不到二年，就推广到十万根以上，而且结合我国国情在木锚杆上进行了相当多的研究工作。

在坑木代用品方面的成就则更为显著。1954年在萍乡开始使用我国南方盛产的竹材做支架，1957年在河南禹县创造了土法制造的陶瓷支架。自1958年大跃进以来，出现的新材料则不下十几种：如竹筋混凝土、塑化竹材、矿渣、炉渣混凝土和灰砂制品等。在这方面所进行的巨大工作不仅节约了坑木，保证了生产，而且也丰富与发展了本门学科。

由于进行了大规模的建井工程，在井筒支架方面也有了发展，如混凝土、混凝土砖、天然石材、装配式混凝土弧板支架都在实践中得到了运用，其中天然石材支架的广泛应用同样反映了我国的建井特色。此外，创造性地发展了无壁座砌井的施工经验，简化了竖井砌壁工作中最复杂的一道工序——砌壁座，从而大大地加快了建井速度。

在岩石力学方面，由于党和政府的重视，也大量开展了研究工作。例如，在1950年推广新采煤法，遇到的主要困难是顶板管理，于是，东北煤矿管理局在1951年公开向全国广泛征集有关顶板管理的论文，1952年就出版了“矿内地压问题及顶板管理论文专集”。这本书的内容偏重于有关采场的岩石力学问题，而且其中有不少文章译自外文，但也是我国涉及井巷地压问题的第一本书，在当时对推动生产起了一定的作用。1952年和1954年苏联专家又为东北工学院和北京矿业学院师生开设了“岩石力学与井巷支护”课程，系统介绍苏联在这方面的成就，为我国岩石力学的科学研究创造了有利条件。1956年起相继成立了煤炭建井和采矿方面的科学研究所和各矿务局的科学研究组织以后，科研工作就更加蓬勃地开展起来。现在已经有许多单位进行过矿山现场观测和模拟研究，其中如北京煤炭科学研究所对大同煤矿刀柱采煤法的研究，东北工学院对龙烟庞家堡矿岩石性质和顶板压力的研究，北京矿业学院对峰峰地区采准巷道的维护问题的研究，以及各种新测压仪器的试制成功与应用，都说明了我们正在这方面迅速地开展工作，而且取得了一定成果。

近年来，各国对“岩石力学与井巷支护”的研究都好重视，苏联在这方面则取得了更大的成就。例如M. M. 普罗托奇雅诺夫教授在1909年提出的自然平衡拱地压学说至今尚为人所推重，而最近则在应用弹塑性力学解决地压理论和现场观测仪器方面得到了很大的进展，因此我们应当继续虚心向世界各国，特别是向苏联学习先进科学技术。

应当指出，“岩石力学”的发展与“力学”的发展有非常密切的关系。例如，正是由于近年来在弹塑性理论方面所取得的成就，才有可能提出上述用弹塑性力学解决地压问题的途径；又如最近力学中蠕变理论的发展，为解决地压与时间的关系这一问题提供了有利条件，所以我们在研究岩石力学的同时，必须密切注意力学上的最新成就。但

是，另一方面，也应当看到岩石力学本身的特殊性，而不能生硬地搬用力学理论。

尽管如此，目前这门学科的发展速度还远远不能与我国采矿生产力空前发展的情况相适应；许多迫切需要解决的问题摆在我們面前，其中特别重要的任务是：

(1) 千方百计地节约坑木，寻找更加符合多、快、好、省要求的坑木代用品，以适应采矿工业迅速发展的需要。

(2) 掌握地压规律，逐步建立符合我国采矿工业情况的地压理论，創設新的地下结构形式及其计算理论。

为完成上述任务，必须坚持政治挂帅，坚持理论和实践相结合，专业队伍与群众运动相结合的方针，不仅坑木代用品的研究应如此，就是地压理论的研究也应如此。如果只靠少数专门队伍，只重视理论分析，而不去系统总结实践中存在的大量经验和进行现场的实际观测，必定是理论脱离实际，縱然在理论上取得一些成果，也不能有效地用来指导生产实践，更何况离开实践去找理论，在理论上也就不可能取得什么成就。

本书主要是按照高等院校矿井建设专业的教学要求，根据“岩石力学与井巷支护”教学大纲编写的，但也适当考虑了现场工程技术人员和科学研究人员的需要。書的内容以我国在矿井建设工程方面所积累的丰富经验和世界各国特别是苏联的先进技术为基础。全书分“岩石力学”与“井巷支护”两大部分。在“岩石力学”中，注意充实了“岩石力学性质”、“现场研究”和“模拟研究”等章节的内容，因为力学性质是建立岩石力学理论的基本根据，而现场观测及实验室模拟等以实践为主的研究方法则是当前研究地压问题的主要途径，所以有必要给予更大的重视。当然，各国学者过去在理论研究上所得到的成果对我们也是很宝贵的，所以尽管目前所有的地压学说都还不能令人满意，但在本书中仍用了相当的篇幅加以阐述，希望能在学习和掌握这些学说的基础上，了解前人的研究概况，吸取他们的经验，并且今后能遵循着毛主席在“实践论”中指出的研究方法，創立能更好地解决现场实际问题的地压理论。

“井巷支护”部分中，分别讲授平巷、竖井以及斜巷的各种支架结构，其中包括木材支架、石材支架、装配式钢筋混凝土支架、锚杆支架、金属支架和各种新型的坑木代用品，如矿渣混凝土支架、竹材支架、陶瓷支架等。在取材中以中国现场的经验为主，同时也介绍世界各国经过实践考验证明有效的支架结构和先进技术。此外，将所有的支架设计原理归纳成一个体系，放在这部分的开始一章内进行讲授，这只是一个企图按地下结构的特点加以系统化的初步尝试，是否合适，希望能得到各方面的宝贵意见。为了有助于对各种支架结构，特别是坑木代用品的研究工作，在最后还增加了“支架试验”方法一章。

“岩石力学与井巷支护”与很多课程，特别是“材料力学”、“建筑材料”、“结构原理”与“井巷工程”等有关，学习本课程前应当具备这方面的知识。此外，鉴于本书所介绍的地压学说及支架结构计算中用到一部分比较深的基础理论，同时估计到今后现场观测工作必将大量增加，为便利广大读者，特在本书最后增加附录部分，其中包括連續介质力学的基本方程和测定数据的整理及分析。

第一篇 岩石力学

第一章 岩石的物理力学性质

第一节 研究岩石性质的重要意义

岩石，和一般力学研究对象（材料）比较，有许多共同性，但是也有其特殊性。毛主席在“矛盾论”中说：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。……科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。……”。岩石力学区别于其他力学的最大特点，正是岩石物理力学性质的特殊性。

研究岩石性质，一般分为下列两类：

1. 物理性质——如容重、比重、密度、孔隙度、温度、湿度、硬度、热学性质、电学性质、碎胀性、耐风化侵蚀性等；

2. 力学性质

(1) 变形性质——如弹性、塑性、脆性、韧性、蠕变、松弛、弹性后效、强化等。

(2) 强度——对压、拉、弯、剪等各种破坏岩石组织构造作用力的抵抗。

岩石性质的特殊性突出表现在：成分组织构造复杂且不均匀、脆性、非线性变形、抗压抗拉强度相差悬殊以及物理力学性质的各向异性等方面。本章将着重分析这些特性。

研究岩石性质的问题，对于采矿科学特别是岩石力学，具有极为重要的意义。从岩石力学的发展过程和采用的研究方法，都可以看到岩石性质所起的重要作用。例如，采用弹塑性力学方法研究地压理论，其根本前提是把岩石当作弹塑性变形体处理；采用松散介质静力学方法研究岩石力学问题，根本出发点则在于把岩石当作松散体处理；用大多数的模型试验方法研究地压规律时，所用模型材料必须模拟真实岩石的性质；此外，许多现场观测研究方法，也都需要和岩石性质的研究相互配合，才能取得成果。由此可见，岩石性质的研究，是岩石力学以至整个采矿科学发展中的最根本问题之一。

我国解放以前，整个科学事业不受重视，对于岩石力学及岩石性质的研究，几乎无从谈起。

解放以后，由于党和政府的重视，以及采矿工业的生产需要，科学事业一日千里地向前跃进，属于岩石力学范畴的研究工作也蓬勃开展起来。在岩石性质研究方面，许多矿山、科研机关和学校共同协作，取得不少成绩〔1-15〕，今后，研究工作定将更大规模、更高速度地发展。

国外从事岩石性质的研究，就其规模、深度和所取得的成就等方面来看，任何国家

都不能和苏联相比。早在1937年，苏联就开展了顿巴斯和乌拉尔地区岩石性质的系统研究工作〔24〕。1941~1956年间，顿巴斯煤炭科学研究所、全苏煤炭科学研究所和全苏矿山测量科学研究所等科研机构陆续对顿巴斯煤田岩石的力学性质进行过多次的深入研究〔24, 25, 26, 27, 28, 29〕。现在苏联仍在大力从事岩石性质和地压问题的研究〔29—32〕，同时也广泛开展了有关水力开采、鑽眼爆破以及机械切割作用下岩石变形和破碎规律的研究工作〔29〕。

这些研究工作使我们对岩石性质有了比较科学的深入的了解，但是，总的说来，岩石性质的研究工作，依然是很不充分的，需要进一步重视和加强。

第二节 岩石的分类特征

地质学中，按照成因，岩石分为岩浆岩、沉积岩和变质岩，又按照生成顺序，分为基岩(母岩)和表土(冲积层)。

煤田基岩绝大多数是沉积岩，其中，石灰岩、砂岩、砂页岩和粘土页岩最为典型常见。我国仅抚顺、京西等少数煤田，赋存有岩浆岩和变质岩。

我国的铁矿大部分也是沉积矿床，龙烟型沉积铁矿占一半以上。

我国煤田表土分布，有三种类型。

华北、西北、东北以及秦岭淮河以北，大部分煤田表土为大孔性土(黄土)构成，有的地方有次生多孔性土、砂礫层及粘土等间隔层。河南鹤壁是这类表土比较典型的矿区，表土厚度20~130米，土质稳定，但受水的影响很大，施工时需要注意控制处理。

另一类分布广泛的是非粘性表土(砂、粉砂、礫石等)。开滦煤田较为典型，表土厚度20~360米，一般60~90米。其他东北、华北有些地区，表土厚度达200~300米。这类表土特点是含水多，稳定性差，建井时常需采用特殊施工方法。

第三类以淮南煤田为代表，表土分布以粘土、砂质粘土为主，土质致密，性质稳定，厚度一般小于30米。

除上述分类方法以外，从对岩石力学研究和应用方便来说，常常采取一种按照岩石结构颗粒(矿物晶体或岩屑)之间固结程度的分类方法。岩石结构颗粒之间的固结程度，和颗粒本身的强度比较相差不多的，称为固结性岩石；相差悬殊的，则称为松散性岩石。

按照这种分类方法，基岩(石灰岩、砂岩、页岩等)一般属于固结性岩石，而所有表土(黄土、粘土、砂土等)属于松散性岩石。

当基岩遭受强烈地质构造作用，风化侵蚀作用，或者在由于采矿工作造成节理裂隙十分发育的情况下，也可作为松散性岩石处理。

第三节 岩石的结构特征

岩石的结构颗粒，有的是具有规则形状的矿物晶体，如岩浆岩和某些变质岩。这种晶体结构的岩石，在晶体之间往往没有晶间物质而直接联系；也有的是通过晶间物质使

晶体相互联系。

沉积岩是由形状不定、顆粒大小不一的矿物和岩石碎屑粘結在一起而成。顆粒之間有各种胶結質，有的是粘結性強的砂質和石灰質，有的則是粘結性較差的粘土質或白堊質等。

从岩石力学观点出发，研究岩石物理力学性質，一般不需要考虑岩石微觀結構的特征，而仅仅从統观方面，也就是从較大范围着眼，考察微觀性質的平均表现。这对于岩石力学一般問題來說，是完全够用了。不过，当需要深入地研究岩石变形和破坏机理（本質規律），或者研究某些特殊問題，如煤及瓦斯突出、岩石冲击等，有时也要涉及岩石的微觀結構。

学习岩石力学，开始还必须明确树立对于岩石的非均質性、层理性和裂隙性的認識。因为这三者，可以說是岩石区别于其他力学对象（材料）的最突出的結構特征。

岩石的非均質性，表现在其結構单元、粘結質、晶間質以及孔隙的形状、大小、分布和排列的多样性方面。岩漿岩的晶体，有的小到显微镜下亦难以察見，有的則大到數十厘米，大小相差可能达到一千倍以上〔25〕。沉积岩也是如此，有顆粒小到肉眼不可察見的石灰岩和砂岩，也有块度达数十厘米到数米的礫岩。同一地点的同种岩石，或者同一块岩石，矿物或岩屑顆粒的尺度往往也相差很大，岩石結構顆粒及孔隙的分布和排列也是杂亂无章。組織結構十分均匀的岩石是絕无仅有的。

岩石的层理，是其生成条件所决定的。沉积岩的层理最典型。某些变質岩，如片麻岩，也有层理。地質剖面图上，不仅看出种类不同的許多岩层，就是同一层岩石，内部也往往有許多小的分层。

岩石的裂隙性，更是突出的結構和构造特征。所有使岩石固結程度削弱的面，不論小到几毫米或大到几厘米或数十厘米，都可以認為是裂隙。节理也看作是裂隙。有些裂隙可能是有規律分布的，如节理。有的則是无規律的。按照成因，裂隙可以分为滑移裂隙（剪应力造成）和张开裂隙（张应力造成），主要都是由地質构造运动所造成，风化侵蝕作用，也促使裂隙扩大，或者造成新裂隙。从較大范围看，完全沒有裂隙的岩石是不存在的。

岩石的非均質性、层理性及裂隙性，对于岩石的物理力学性質有重大的影响，岩石物理力学性質的連續或不連續、均匀或不均匀、各向同性或各向异性，都是根本取决于这些結構特征。

但是，也要認識到上述的非均質性、层理性和裂隙性，对于所有岩石并非都是程度相同的。有的岩石，这几种性質表现得突出些和显著些；有的岩石，則表现得不太显著。在岩石力学研究中，对于这些性質的处理，有时还要看問題涉及空間的大小以及研究任务的要求，而有所不同。例如，从大的范围看沉积岩，其层理是明显存在的，但如果所研究問題只局限于較厚的一层岩石的内部，則完全可以認為层理的影响不大。再如从单个晶体看岩石，沿晶体各軸方向的物理力学性質截然不同，但研究范围稍大一点，便看到許多晶体实际排列杂亂无章，以致任意晶軸方向的性質都不占压倒优势，其物理力学性質也就不会在某一方向上有所特殊，这时就可以近似地当作各向同性的岩石处

理。总起来說，在有些条件下，岩石的非均質性、层理性和裂隙性，或者說不連續性、非均匀性和各向异性，必須考虑，不得忽視；而在另种条件下，則可以把岩石作为均匀的、各向同性的和連續的物体来处理，应当根据具体条件和研究任务的要求来考虑。

第四节 固結性岩石的变形和强度特征

岩石的变形性質及強度，和金屬或混凝土材料的变形性質和強度，在很多地方是相同的，特別是和混凝土的性質較近，但也有許多地方不同于这两种材料。

一、固結性岩石的变形特征

地下采掘工作所造成的各种岩石力学現象，都和岩石的变形特征有关系。当我们用固体力学的方法来研究这些現象时，首先就必须了解岩石的变形特征，即岩石的应力应变关系，此外，加上与材料性質无关的平衡方程及几何方程以及由所研究問題的生产条件决定的边界条件，才能得出解答（参見附录）。

井巷及采場围岩所处的应力状态，以复杂应力状态居多数，简单应力状态的情况是小部分的。因而岩石变形特征的研究不应该局限于简单应力状态情况，复杂应力状态下岩石的变形特征的研究更为重要。可是复杂应力状态下岩石性質的研究，只是在最近二三十年才逐渐开展起来（〔23, 24, 27〕），至今这方面的研究仍不充分，远远不能满足岩石力学科学发展的要求。

本节将順次叙述下列問題：单調加载条件下岩石的变形特征，层理、湿度的影响，在反复加卸载条件下的变形特征，时间因素的影响，以及岩石的应力应变方程及状态方程，并列举岩石变形特征的試驗数据。

为了便于說明問題，本节引用的内容和图表，很多是在現有資料基础上簡單化和典型化了的。比較詳細的試驗和分析資料，可以参考本卷未所列文獻。

1. 岩石在单調加载条件下的变形特征

所謂单調加载，就是在試驗过程中荷载一直增加，中間不停頓，也不卸载。

岩石在单調加载条件下的典型应力应变曲綫如图 1-1 和 1-2 所示。

图中点 A 为弹性极限。弹性极限以內的应力应变关系一般不符合直綫关系。許多試驗資料說明，当岩石中的应力很小，一般不超过破坏应力的 15~20% 时，即出現残余变形。也就是进入塑性状态。塑性变形范围的总应变中，有一部分是不可恢复的残余变形。残余变形的大小，随应力的增加而增加。

試驗資料还說明，不論外力的作用方式如何（压、拉、弯、剪、单向或三向），所得应力应变曲綫的形状大致相同。根据弹塑性理論，这时可以引用一种应力应变关系的統一表达参数，即应力強度（广义应力） $\bar{\sigma}$ 和应变強度（广义应变） $\bar{\epsilon}$ ，其定义如下式所示：

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$