



应用型本科院校“十三五”规划教材/石油工程类

主编 张立刚 孙鹏宵
李士斌 李岳祥
主审 孙学增

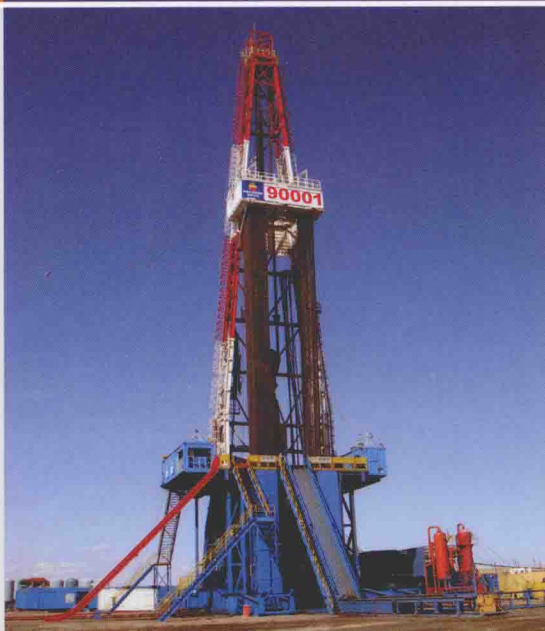
岩石力学基础与应用

(第3版)

Fundamentals and Application of
Rock Mechanics

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业

哈尔滨工业大学出版社





应用型本科院校“

油工程类

主编 张立刚 孙鹏宵
李士斌 李岳祥
主审 孙学增

岩石力学基础与应用

(第3版)

Fundamentals and Application of
Rock Mechanics



哈尔滨工业大学出版社



内 容 提 要

本书结合石油工程中的生产问题,从岩石力学概念、基本原理和相关理论等方面,围绕油气井钻井完井工程、油气井开发工程进行了较系统的阐述。本书分七章内容介绍了普通地质知识和油气藏的基本特性;岩石强度与变形特征等物理力学性质,岩石的破坏机理与强度准则;地应力概念和测量方法,地应力计算模式理论知识;岩石可钻性和井眼力学稳定机理;地应力状态下注采井网模型选择依据和防止套损的措施;岩石力学在完井工程中确定压力剖面的基础理论与计算方法、油气井出砂原因与防砂方案选择的技术等知识。

本书的特点是通俗易懂,各章节的理论知识紧密结合油田生产实际,实用性强,重点突出,是石油工程专业的必备教材。也可供石油工程硕士研究生,矿山工程、土木工程和水利工程的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学基础与应用/张立刚等主编. —3 版. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2016.7

应用型本科院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5603-6112-3

I. ①岩… II. ①张… III. ①岩石力学-高等学校-
教材 IV. ①TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 152521 号

策划编辑 赵文斌 杜燕

责任编辑 尹 凡

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.75 字数 380 千字

版 次 2012 年 6 月第 1 版 2016 年 7 月第 3 版

2016 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6112-3

定 价 30.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校“十三五”规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 张金学 吕其诚 线恒录 李敬来 王玉文

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 马志民 王庄严 王建华

王德章 刘金祺 刘宝华 刘通学 刘福荣

关晓冬 李云波 杨玉顺 吴知丰 张幸刚

陈江波 林 艳 林文华 周方圆 姜思政

庾 莉 韩毓洁 蔡柏岩 臧玉英 霍 琳

序

哈尔滨工业大学出版社策划的《应用型本科院校“十三五”规划教材》即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学

习,而且满足就业市场对应用型人才的迫切需求。应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的《应用型本科院校“十三五”规划教材》,在选题设计思路认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科

体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的 PPT 多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

《应用型本科院校“十三五”规划教材》的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才

的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

马长利

前 言

《岩石力学基础与应用》是大庆石油大学华瑞学院石油工程系针对本系专业学生设置的一门专业基础必修课程,指导思想和定位是:为了结合独立院校学生的知识结构、接受能力,以及培养学生的学习兴趣,提高学生的自学能力,使相关读者容易掌握、消化,我们在编写过程中注意到由浅到深、由易到难、由简单到复杂,尽量避免复杂的数学、力学的推导过程。在内容方面,强调基础理论和试验,加强油田钻井、采油和开发实践应用,着重基本理论、基本知识、基本方法和实际应用方面的教育,以促进终身学习基础知识的理念;在培养实践能力方面重视岩石力学与石油工程设计思路、树立创新意识、实验动手能力和初步设计技能的培养。

《岩石力学基础与应用》主要讲授有关岩石的物理力学性质,岩石的强度理论和试验方法,岩石的静、动态弹性参数,破坏机理以及相关的强度理论;油田地应力、应力状态和应力张量概念,地应力测量技术和分布规律以及地应力计算模式;钻井工程中的破岩工具和破岩参数优选,钻井井眼和射孔孔道的稳定性;油气田开发中地应力方向的确定,低渗透油田开发方案的设计原则;四种压力剖面预测新技术与应用,油气井出砂原因与防砂基本理论和完井方案的选择。了解当前岩石力学理论的最新进展,为后续课《钻井与完井工程》、《采油工程》、《钻井参数优化》等专业课程的学习打下必要的基础。

岩石力学经过半个多世纪的发展,在一些工程领域的应用上获得快速发展。在地质勘探方面,地质构造形成与演变、储层中油气运移和聚集、天然气裂缝的形成和扩展、断层的形态和分布,都与岩石的应力状态有密切的关系。在钻井过程中,岩石的破碎、井眼轨迹的控制、井壁的稳定性以及井身结构的优化设计等,也都与岩石力学特性有密切的关系。在完井工程设计中,完井方式的优化设计、射孔方案设计都涉及岩石力学问题。在油气井开采工程中,注采井网布置、提高采收率和防止储层出砂,延长油气井寿命等领域的设计工作同样与岩石力学特性有着广泛和密切的联系。可以说,岩石力学已经成为石油工业的基础学科和基本理论,但是在石油工程中的应用则是最近 20 多年逐渐发展起来的一门科学。

此外,石油天然气的勘探开发所涉及的深度和地质条件的日趋加深和复杂,非常规的钻井(例如欠平衡钻井)和开发技术越来越多的被采用,给岩石力学的研究提出新的课题

和要求。与石油工程有关的岩石力学研究中,地层埋藏深度已经从 1 000 m 加深到 8 000 m,而围压则高达 200 MPa,温度高达 200 ℃ 以上,地层流体孔隙压力也可达到 200 MPa。所以,它与水利水电、大坝建设、矿山巷道的开采,边坡和隧道的稳定,以及其支护工程,一些深度不超过 1 000 m 的浅层工程相比存在较大的差别,也不同于以火山岩、变质岩为研究主体、研究深度超过万米的研究地壳和上地幔岩石物理力学问题的科学,中国岩石力学与工程学会将其研究领域划分到深层岩石力学专业委员会。

本书由张立刚、孙鹏宵、李士斌和李岳祥主编,其中:第 1 章、第 2 章由李岳祥编写;第 3 章由张立刚、李岳祥编写;第 4 章由孙鹏宵编写;第 5 章和第 6 章由李士斌、张立刚编写;第 7 章由孙学增编写。

本书的出版得到了哈尔滨工业大学出版社的大力支持和帮助。并受到院长王玉文、任福山的热心关照和帮助,在此向他们深表谢意。

由于编写者的水平有限,难免存在疏漏之处,敬请读者加以批评指正。

编者

2016 年 4 月

读者反馈表

尊敬的读者：

您好！感谢您多年来对哈尔滨工业大学出版社的支持与厚爱！为了更好地满足您的需要，提供更好的服务，希望您对本书提出宝贵意见，将下表填好后，寄回我社或登录我社网站（<http://hitpress.hit.edu.cn>）进行填写。谢谢！您可享有的权益：

☆ 免费获得我社的最新图书书目

☆ 可参加不定期的促销活动

☆ 解答阅读中遇到的问题

☆ 购买此系列图书可优惠

读者信息

姓名_____ ☐ 先生 ☐ 女士 年龄_____ 学历_____

工作单位_____ 职务_____

E-mail_____ 邮编_____

通讯地址_____

购书名称_____ 购书地点_____

1. 您对本书的评价

内容质量 ☐ 很好 ☐ 较好 ☐ 一般 ☐ 较差

封面设计 ☐ 很好 ☐ 一般 ☐ 较差

编排 ☐ 利于阅读 ☐ 一般 ☐ 较差

本书定价 ☐ 偏高 ☐ 合适 ☐ 偏低

2. 在您获取专业知识和专业信息的主要渠道中，排在前三位的是：

①_____ ②_____ ③_____

A. 网络 B. 期刊 C. 图书 D. 报纸 E. 电视 F. 会议 G. 内部交流 H. 其他：_____

3. 您认为编写最好的专业图书（国内外）

书名	著作者	出版社	出版日期	定价

4. 您是否愿意与我们合作，参与编写、编译、翻译图书？

5. 您还需要阅读哪些图书？

网址：<http://hitpress.hit.edu.cn>

技术支持与课件下载：网站课件下载区

服务邮箱 wenbinzh@hit.edu.cn duyanwell@163.com

邮购电话 0451-86281013 0451-86418760

组稿编辑及联系方式 赵文斌(0451-86281226) 杜燕(0451-86281408)

回寄地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区复华四道街10号 哈尔滨工业大学出版社

邮编：150006 传真 0451-86414049

目 录

第1章 绪论	1
1.1 岩石力学与生产实践的关系	1
1.2 岩石力学在石油工程中的研究内容	3
1.3 岩石力学在石油工程中的研究方法和发展趋势	4
习题	7
第2章 石油工程钻采地质基础	8
2.1 石油钻采地质知识	8
2.2 油气藏的基本特性	40
习题	48
第3章 岩石基本物理力学性质	49
3.1 岩石的基本物理性质	49
3.2 岩石的强度特性	56
3.3 岩石的变形特性	65
3.4 岩石的流变特性	73
3.5 动态参数测试	79
3.6 岩石破坏机理及强度理论	83
习题	96
第4章 油田地应力测量和计算	97
4.1 地应力的成因及分布特点	97
4.2 原地应力与应力状态及应力张量	103
4.3 地应力测量技术与测量方法	109
4.4 地应力分布规律和我国的分区特点	127
4.5 地应力计算模式与参数的确定	138
4.6 应力状态应用举例	145
习题	146
第5章 岩石力学在钻井工程中的应用	148
5.1 岩石的研磨性与硬度	148

5.2 岩石可钻性	157
5.3 钻头优选方法	165
5.4 基于岩石可钻性的钻井参数优选方法	169
5.5 井壁稳定的力学机理	174
习题	189
第6章 岩石力学在油气田开发工程中的应用	191
6.1 地应力方向与水平井最优产能方位的选择	191
6.2 地应力场状态下注采井网模型的选择	192
6.3 地应力场状态下低渗透油田开发方案的设计原则	194
6.4 岩石力学在套损机理研究中的应用	199
习题	207
第7章 岩石力学在完井工程中的应用	208
7.1 完井方式概述	208
7.2 四种压力剖面预测新技术与应用	212
7.3 油气井出砂原因与预测技术和计算方法	217
7.4 防止油气井出砂的基本理论和完井方案的选择	233
7.5 油水井防砂技术现状及新进展简介	237
习题	245
附录	247
附录 A 动态地应力理论模型	247
附录 B 钻孔崩落形状反演现场地应力	249
附录 C 直井井眼围岩和井壁岩石应力状态方程	250
参考文献	254

第 1 章

绪 论

1.1 岩石力学与生产实践的关系

岩石力学来源于生产实践,近 40 年才作为一门独立的学科。可是人类在岩石上修建工程的历史,却可追溯到几千年以前。

岩石力学可定义为:“岩石力学是研究岩石过去的历史,现在的状况,将来的行为的一门应用性很强的学科。”过去的历史是指岩石的地质成因和演变,包括地应力场的变化;现在的状况是指工程建造前和建造过程中对岩石性状改造前后的认识;将来的行为是指预测工程建成以后可能发生的变化,以便研究预防或加固措施。即岩石力学一刻也离不开生产实践。

美国地质协会岩石力学委员会对岩石力学也有类似的定义:“岩石力学是关于岩石的力学性态理论和应用的科学;它是与岩石性态对物理环境力场反应有关的力学分支。”岩石力学是以地质学为基础,运用力学和物理学的原理,研究岩石在外力作用下的物理力学性态的理论和应用的一门学科。其目的在于充分认识岩石的固有特性,从而更好(经济和安全)地利用它、改造它,为人类造福;同时藉以解释和解决国民经济建设中岩石工程提出的实际问题。

岩体的力学性质是岩体结构力学性质的综合反映。岩体中含有孔隙、裂隙、节理等结构层面。节理和裂隙有连续的,也有不连续的。但不连续的在适当条件下(如长期风化、温度或应力变化等),又有可能变成连续贯通的。在许多实际工程中,往往由于节理裂隙形成了连续的破裂面。一旦被黏土矿物充填或挤压破碎之后,则有可能形成力学性能最差的软弱夹层或破碎带,成为影响工程稳定的关键,也是岩石力学的重点。

岩体通常是指与人类生活相关的地壳最表层部分。地壳是由玄武岩基底之上的花岗岩类岩浆岩、沉积岩和变质岩组成。其中岩浆岩占地壳组成物成分的 98%,它是由花岗岩类熔融的岩浆冷凝而成的;沉积岩是岩石风化和搬运沉积而成的;变质岩则是岩石经过高温高压变质形成的。由于地壳的形成而赋存应力,以后又经历多次地质构造运动,使应力场变得复杂化,而且破坏了岩体的完整性和连续性,产生许多裂隙、节理和断层。

对沉积岩与由沉积岩变质的变质岩,还有层理和层面。裂隙、节理、断层、层理等称为

地质上的结构面。岩体就是由许多这样的结构面和被其切割的最小岩块组成的岩体结构(图 1.1),而最小岩块也是具有一定结构的集合体,叫做岩石单元。就岩石单元来讨论,它是由许多造岩矿物晶体颗粒组成的集合体。在这些颗粒内部和颗粒与颗粒之间的边界上,又贯穿许多微观的裂隙,而其边界层的强度,随着胶结物材料的力学性质也有所不同,因此很容易产生错动,颗粒内部也会有错动,叫做裂纹;在裂纹尖端由于应力集中引起的错动称为位错(图 1.2)。

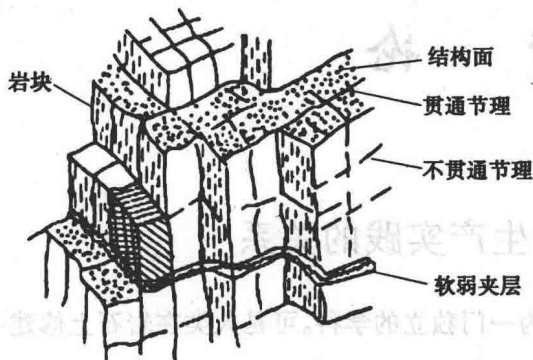


图 1.1 岩体结构示意图

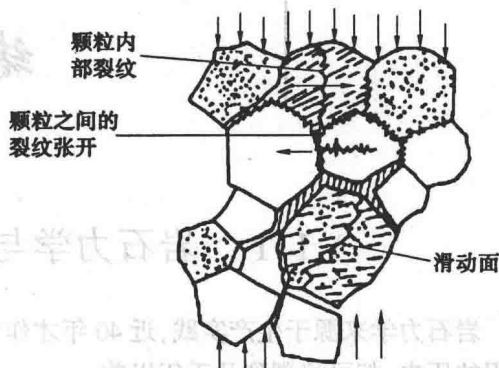


图 1.2 颗粒内部的裂纹和位错

造岩矿物的物理力学性质,主要取决于原子结构的结合力。结合力越强,矿物晶体的强度和刚度越高,表现为弹性性质;反之,呈塑性或黏滞性质。各种造岩矿物的颗粒强度、大小、结晶方向和热传导系数不同,构成岩石具有各向异性的特征。岩石在岩浆形成的过程中,由于高温高压的作用,矿物颗粒内部产生内应力。而颗粒的不均匀和晶体之间存在一定的摩擦力,往往导致颗粒内部和颗粒之间出现缺陷或裂纹,在颗粒的边界或沿着裂纹,又易产生滑移或位错。但是这种形变和位错是不协调的,一部分受到阻碍造成应力积聚仍处于平衡状态,形成封闭应力;另一部分即便产生形变或位错,也需要一个较长的调整应力的时间,这就反映了岩石具有流变的性质。因此,岩石也是一种流变体。

我国举世闻名的万里长城、连接湘江和桂江的古老运河灵渠,都是在 2 200 余年前的秦代兴建的,还有四川的都江堰水利工程,至今还巍然屹立于中华大地,仍在继续发挥效益,这就是最好的岩石力学在工程中应用的历史见证。此外,国内外还有许多历史悠久的采矿、水利、交通和建筑工程涉及岩石力学。但是岩石力学发展迟缓,一直把岩石当作材料处理而形不成学科,则与当时的工程规模和认识水平有关。

第二次世界大战以后,国际上出现了一个相对稳定的和平环境,许多国家都致力于国民经济建设,医治战争的创伤。其中特别是水电、煤炭、石油及金属矿山等能源和资源的开发,工程建设规模越来越大。地下洞室越挖越深,跨度越来越大,大坝越筑越高,边坡越来越深越陡,然而所遇到的岩石却越来越差,经常发生岩体坍塌、滑坡、垮坝、顶板冒落等严重事故。这就迫使人们不得不研究失事的原因,开始从岩石力学方面进行探索。1959 年 12 月 2 日法国 67 m 高的马尔帕塞(Malpasset)拱坝因坝基失稳而毁于一旦。时隔 4 年之后,意大利 265 m 高的瓦昂(Vajont)拱坝又在其上游托克山左岸发生大规模的滑坡。滑坡体从大坝附近向上游扩展长达 1 800 m,并横越峡谷滑移 300 ~ 400 m,估计有 2 ~ 3 亿 m^3 的岩块

滑入水库,冲到对岸形成 100 ~ 150 m 高的岩堆,致使库水漫过坝顶,冲毁了下游的朗格罗尼镇。

据调查研究认为产生滑坡的原因可能是在边坡底卧有一条几米厚的滑动带,在长期的流变下形成不连续的黏滞 - 塑性滑动;一旦横切岩层就转变为脆性破坏,以致造成整个滑坡体在 1963 年 10 月 9 日一夜之间突然发生滑坡。

这两起震惊世界的特大灾害,都涉及岩石力学问题,直接给人们敲响了警钟。它提醒人们:在岩石工程中必须重视岩石力学。因此,从 1964 年国际大坝会议的第八届大会以来,几乎每届大会中岩石力学问题都是主要议题之一。

1.2 岩石力学在石油工程中的研究内容

1.2.1 目前国内外石油工程岩石力学主要研究的内容

1. 岩石(体)的地质特征

主要包括:岩石的物质组成和结构特征,结构面特征及其对岩石力学性质的影响,岩体的结构及其力学特征,以及工程分类。

2. 岩石的物理、水理和热力学性质

主要包括:岩石的颗粒或体积密度(或比重),描述岩石内部所存在各种缺陷的孔隙性,岩石在水溶液作用下的水理性质,受温度影响所表现出来的热膨胀性和热理性。

3. 岩石的基本力学性质

主要包括:岩石(体)在各种力学作用下的变形特征和强度特征;衡量岩石(体)力学性能的指标参数(例如岩石的抗压强度指标等);影响岩石力学性能的主要因素(例如岩石的地质特征,矿物成分、结构、构造等);形成岩石后所受外部环境因素(压力、温度、水化,以及实验条件和实验方法);分析研究岩石变形破坏的基本理论和判断其破坏的准则。

4. 结构面力学性质

主要包括:岩石(体)结构面在法线方向上的压应力、剪应力作用下的变形特征和其参数的确定方法;结构面所能承受的剪切强度特征以及测量方法和测试技术。

5. 岩体力学性质

主要包括:岩体的变形特征、强度特征以及原地测量技术和方法;岩体力学参数的弱化处理和经验判断;影响岩体力学性能的主要因素(例如岩体中地下水的储存、运移规律和岩体的力学特征)。

(1) 岩体的力学特征:

① 不连续性;

② 各向异性;

③ 不均匀性;

④ 岩块单元的可移动性;

⑤ 地质因子特性(水、气、热、初应力)。

(2) 研究的任务

① 基本原理方面(建模与参数辨别);

② 实验方面(实验方法):仪器,信息处理,室内、外,动态和静态;

③ 现场测试;

④ 实际应用。

6. 原岩应力(地应力)分布规律以及测量理论与方法

主要包括:地应力的形成原因,应用不同的试验方法(例如现场水力压裂)和岩石力学理论确定或估计地应力的大小、方向及其随埋藏深度的变化规律;应用直接或间接测量途径测量其大小、方向,以及测量原理。

7. 工程岩体的稳定性

主要包括:钻开油气层形成井眼或采油射孔形成孔道后,地下岩石在各种荷载(如井内钻井液液柱压力、地应力)作用下,井眼围岩(井壁上)岩石的应力分布,应力-应变(位移)分布规律;井眼或射孔孔道的破坏条件,保持井眼稳定的岩石力学分析和评价方法,以及力学-化学耦合分析与评价。

8. 岩石工程稳定性维护技术

主要包括:岩石(体)性质的改善和加固技术等。

9. 各种新技术、方法与新理论在岩石力学中的应用。

10. 工程岩体的模型、模拟实验以及原地检测技术。

1.2.2 我国岩石力学与石油工程关系的应用概况

(1) 我国应用岩石力学理论开展了地应力、压裂优化设计;油藏开发中的流固耦合理论研究,并引入到了油藏数值模拟。

(2) 在地质勘探方面:地质构造的形成与演化、储层油气的运移与聚集、天然气裂缝的形成与扩展,断层的形态与分布。

(3) 在钻井过程中,岩石的破碎、井眼轨道的控制、井壁的稳定性与井身结构的优化等都与岩石力学性能有密切关系。

(4) 在完井工程、完井方式优化、射孔方案优化设计中,都涉及岩石力学性能问题。

(5) 在油气开采工程中,注水井网布置、压裂优化设计、储层变形和孔隙坍塌预测、提高采收率和防止储层损坏、延长油气井寿命等领域都与岩石力学性能存在着广泛和密切的关系。

1.3 岩石力学在石油工程中的研究方法和发展趋势

1.3.1 研究方法

由于岩石力学在石油工程领域属于一门交叉学科,研究内容又非常广泛,对象的物性、力学性能和变形及强度特征比较复杂,因此,决定了岩石力学的研究方法具有多样性。根据采用的研究手段或所依据的基础理论所属学科的领域(如矿山、石油工程、水利水电、建筑)不同,可将岩石力学的研究方法大致归纳为以下四种。

1. 工程地质研究法

该方法着重研究岩石和岩体的地质特征,如:岩矿的鉴定方法,即了解岩石类型、矿物组成、岩石的结构构造。从而可用地层学法、构造地质学法以及工程勘测法等来了解岩石的成因、空间分布,以及岩体中各种结构面的发育情况等,而用水文地质学法可了解赋存于岩层中地下水的形成与运移规律。

2. 科学试验法

该方法主要包括室内岩石力学参数的测定、模拟试验、现场岩石(体)原地试验以及监测技术(例如本书第4章的岩石强度测定)。尽管室内岩石性能试验与测井资料相比存在一定的不足,但它仍然是一种重要的研究手段,特别是在油气微观测定方面。现代发展起来的遥感技术、切层扫描技术、三维地震勘测成像技术、三维地震CT成像技术、微震技术等都在石油工程岩石力学中得到应用。

3. 数学力学分析法

实验是进一步完善某种理论的手段之一,而理论又是指导实验研究的科学依据,所以数学力学分析方法是岩石力学研究中的一个重要环节。它是通过建立工程力学模型、利用适当的数学力学分析方法,预测研究对象岩石在各种应力(或应力场)的作用下的变形、破坏和稳定性条件以及规律性,从而为石油工程(钻井、开发)设计和施工提供科学的理论依据。其中,建立符合钻井、开发实际条件的力学(力学-化学耦合)模型、选择合理的分析方法是数学力学分析方法的关键。

4. 整体综合分析法

该方法是以系统工程为基础(即整个工程进行多种方法研究)的综合分析方法。它是岩石力学在石油工程研究中极其重要的配套工作方法。表1.1和表1.2为岩石和岩体研究方法。

表 1.1 岩石(体)试验和理论研究方法

试验	室内	岩块(拉、压、剪)	
		模拟	
	野外	位移	收敛(表面位移)
			应变
			绝对位移、相对位移(内部)
		应力	
理论	压力		
	连续介质		
	非连续介质		
	数值方法	有限元	
		离散元	
		DDA	

表 1.2 岩石(体)模拟试验和数值计算研究方法



1.3.2 国内外研究的发展趋势

近年来,随着石油勘探开发工作的不断发展,软泥页岩地层井眼的不稳定性、酸化压裂在增产增注技术,防止油井出砂和减少新老油田套损,延长油气井生产寿命等方面在石油工程领域中的应用受到了石油工程科技人员和广大石油工作者的高度重视。

岩石力学在解决油气藏开发中复杂问题的同时,也促进了与石油工程相关的岩石力学学科快速发展。目前,岩石力学不仅在减少钻井事故,降低开发成本,制定合理、可行的开发方案,提高油气藏的采收率,防止地层破坏、延长油气井开采寿命,降低油气勘探开发成本等领域获得了广泛的应用,而且形成了固定的发展和研究方向。其研究可归纳为以下几个主要方面:

- (1) 实际环境下的岩石力学性质以及在开采过程中的变化规律;
- (2) 开采中流固耦合以及孔隙结构的变形与坍塌;
- (3) 应力、渗流和温度场作用下的流固耦合分析;
- (4) 由于开采引起的地层错动、蠕变和地面沉降;
- (5) 地应力测量技术;
- (6) 地应力场的演变以及天然裂缝的形成与扩展的分布规律;
- (7) 实际地层环境下岩石的物性和声学的响应特性;
- (8) 岩石物理力学性质的井下地球物理解释;
- (9) 井眼稳定、储层出砂、优化射孔、稠油热采等井下工程研究;
- (10) 水力压裂力学研究;
- (11) 流固耦合油气藏数值模拟理论与方法的研究。

就石油工程来讲,油气开发过程中的岩石力学性质及其变化规律的获取;水力压裂理论,地应力测量技术,油气藏的流体-固体耦合理论和数值模拟理论,以及这些理论在油气藏开采中的应用等课题,都是当今和今后一定时期国内外研究的热点。