

岩石力学与
工程研究著作

丛书

膨胀岩与工程

◎范秋雁 著



科学出版社

www.sciencep.com

岩石力学与工程研究著作丛书

膨胀岩与工程

范秋雁 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书首先介绍膨胀岩的基本物理力学特性,重点阐述膨胀岩及膨胀岩围岩体的蠕变机理和膨胀机理;在此基础上,提出了地下工程中膨胀岩的流变地压和膨胀地压的计算方法及控制原则。通过对膨胀岩边坡变形破坏特性的分析,阐述了膨胀岩边坡的治理原则及治理方法;通过对浅基础下膨胀岩地基承载性状的分析,论述了膨胀岩地基承载力的确定方法;通过对膨胀岩中桩基础承载性状的分析,给出了膨胀岩中桩基础承载力的确定方法及计算公式。书中针对各类膨胀岩工程列举了较多的工程实例。

本书是一本涉及地面及地下膨胀岩工程的专著,可供建筑、水利、矿山、公路、铁路及人防等行业从事岩石力学和岩土工程的科技工作者及相关专业的高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

膨胀岩与工程/范秋雁著. —北京:科学出版社,2008
(岩石力学与工程研究著作丛书/冯夏庭主编)
ISBN 978-7-03-021441-6

I. 膨… II. 范… III. 膨胀性-岩石-岩土工程 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 037662 号

责任编辑:周 炜 王志欣 / 责任校对:赵燕珍
责任印制:刘士平 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2008 年 5 月第一次印刷 印张:14 1/2

印数:1—3 000 字数:279 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

《岩石力学与工程研究著作丛书》编委会

名誉主编: 孙 钧 王思敬 钱七虎 谢和平

主 编: 冯夏庭

副主编: 何满潮 黄润秋 周创兵

秘书长: 黄理兴 刘宝莉

编 委: (以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

蔡美峰	曹 洪	戴会超	范秋雁	冯夏庭
高文学	郭熙林	何昌荣	何满潮	黄宏伟
黄理兴	黄润秋	金丰年	景海河	鞠 杨
康红普	李 宁	李 晓	李海波	李建林
李世海	李术才	李夕兵	李小春	李新平
廖红建	刘汉东	刘汉龙	刘宝莉	刘泉声
吕爱钟	栾茂田	莫海鸿	潘一山	任辉启
余诗刚	盛 谦	施 斌	谭卓英	唐春安
王 驹	王金安	王明洋	王小刚	王学潮
王芝银	邬爱清	徐卫亚	杨 强	杨光华
岳中琦	张金良	赵 文	赵阳升	郑 宏
周创兵	周德培	朱合华		

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

随着西部大开发等相关战略的实施,国家重大基础设施建设正以前所未有的速度在全国展开:在建、拟建水电工程达 30 多项,大多以地下洞室(群)为其主要水工建筑物,如龙滩、小湾、三板溪、水布垭、虎跳峡、向家坝等,其中白鹤滩水电站的地下厂房高达 90m、宽达 35m、长达 400 多 m;锦屏二级水电站 4 条引水隧道,单洞长 16.67km,最大埋深 2525m,是世界上埋深与规模均为最大的水工引水隧洞;规划中的南水北调西线工程的隧洞埋深大多在 400~900m,最大埋深 1150m。矿产资源与石油开采向深部延伸,许多矿山采深已达 1200m 以上。高应力的作用使得地下工程冲击岩压显现剧烈,岩爆危险性增加,巷(隧)道变形速度加快、持续时间长。城镇建设与地下空间开发、高速公路与高速铁路建设日新月异。海洋工程(如深海石油与矿产资源的开发等)也出现方兴未艾的发展势头。能源地下储存、高放核废物的深地质处置、天然气水合物的勘探与安全开采、CO₂ 地下隔离等已引起政府的高度重视,有的已列入国家发展规划。这些工程建设提出了许多前所未有的岩石力学前沿课题和亟待解决的工程技术难题。例如,深部高应力下地下工程安全性评价与设计优化问题,高山峡谷地区高陡边坡的稳定性问题,地下油气储库、高放核废物深地质处置库以及地下 CO₂ 隔离层的安全性问题,深部岩体的分区碎裂化的演化机制与规律,等等,这些难题的解决迫切需要岩石力学理论的发展与相关技术的突破。

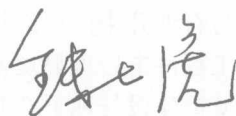
近几年来,国家 863 计划、国家 973 计划、“十一五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金重大研究计划以及人才和面上项目、中国科学院知识创新工程项目、教育部重点(重大)与人才项目等,对上述科学与工程技术的难题的攻克陆续给予了有力资助,并针对重大工程在设计和施工过程中遇到的技术难题组织了一些专项科研,吸收国内外的优势力量进行攻关。在各方面的支持下,这些课题已经取得了很多很好的研究成果,并在国家重点工程建设中发挥了重要的作用。目前组织国内同行将上述领域所研究的成果进行了系统地总结,并出版《岩石力学与工程研究著作丛书》,值得钦佩、支持与鼓励。

该研究丛书涉及近几年来我国围绕岩石力学学科的国际前沿、国家重大工程建设中所遇到的工程技术难题的攻克等方面所取得的主要创新性研究成果,包括深部及其复杂条件下的岩体力学的室内、原位实验方法和技术,考虑复杂条件与过程(如高应力、高渗透压、高应变速率、温度-水流-应力-化学耦合)的岩体力学特性、变形破裂过程规律及其数学模型、分析方法与理论,地质超前预报方法与技术,工

程地质灾害预测预报与防治措施,断续节理岩体的加固止裂机理与设计方法,灾害环境下重大工程的安全性,岩石工程实时监测技术与应用,岩石工程施工过程仿真、动态反馈分析与设计优化,典型与特殊岩石工程(海底隧道、深埋长隧洞、高陡边坡、膨胀岩工程等)超规范的设计与实践实例,等等。

岩石力学是一门应用性很强的学科。岩石力学课题来自于工程建设,岩石力学理论以解决复杂的岩石工程技术难题为生命力,在工程实践中检验、完善和发展。该研究丛书较好地体现了这一岩石力学学科的属性与特色。

我深信《岩石力学与工程研究著作丛书》的出版,必将推动我国岩石力学与工程研究工作的深入开展,在人才培养、岩石工程建设难题的攻克以及推动技术进步方面将会发挥显著的作用。



2007年12月8日

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

近二十年来,随着我国许多举世瞩目的岩石工程不断兴建,岩石力学与工程学科各领域的理论研究和工程实践得到较广泛的发展,科研水平与工程技术能力得到大幅度提高。在岩石力学与工程基本特性、理论与建模、智能分析与计算、设计与虚拟仿真、施工控制与信息化、测试与监测、灾害性防治、工程建设与环境协调等诸多学科方向与领域都取得了辉煌成绩。特别是解决岩石工程建设中的关键性复杂技术疑难问题的方法,973、863、国家自然科学基金等重大、重点课题研究成果,为我国岩石力学与工程学科的发展发挥了重大的推动作用。

应科学出版社诚邀,由国际岩石力学学会副主席、岩石力学与工程国家重点实验室主任冯夏庭教授和黄理兴研究员策划,先后在武汉与葫芦岛市召开《岩石力学与工程研究著作丛书》编写研讨会,组织我国岩石力学工程界的精英们参与本丛书的撰写,来反映我国近期在岩石力学与工程领域研究取得的最新成果。本丛书内容涵盖岩石力学与工程的理论研究、试验方法、实验技术、计算仿真、工程实践等各个方面。出版时间计划为2007~2011年,分期分批出版。到2007年底,已有二十多本专著列入出版计划。

本丛书编委会编委由58位来自全国水利水电、煤炭石油、能源矿山、铁道交通、资源环境、市镇建设、国防科研、大专院校、工矿企业等单位与部门的岩石力学与工程界精英组成。编委会负责选题的审查,科学出版社负责稿件的审定与出版。

在本套丛书的策划、组织与出版过程中,得到了各专著作者与编委的积极响应以及各界领导的关怀与支持,中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士特为丛书作序;中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭、黄理兴研究员与科学出版社刘宝莉、沈建等编辑做了许多繁琐而有成效的工作,在此一并表示感谢。

“21世纪岩土力学与工程研究中心在中国”,这一理念已得到世人的共识。我们生长在这个年代里,感到无比的幸福与骄傲,同时我们也感觉到肩上的责任重大。我们组织编写这套丛书,希望能真实反映我国岩石力学与工程的现状与成果,希望对读者有所帮助,希望能为我国岩石力学学科发展与工程建设贡献一份力量。

《岩石力学与工程研究著作丛书》

编辑委员会

2007年11月28日

前 言

岩石或岩土工程问题总是与经济建设的发展密不可分。膨胀岩由于其特殊的工程性质,对生产建设有重要的影响。我国最早出现规模性的膨胀岩工程问题是在煤炭行业,即 20 世纪 70 年代开始的对第三系褐煤田的开发中,地下矿山巷道出现的变形大支护困难的工程问题。之后,铁路、水利、人防、公路及建筑等行业都相继出现了规模性的膨胀岩工程问题,比较典型的如铁路行业在建设南昆线工程中遇到的强膨胀岩工程问题。在地下工程中出现了膨胀岩工程问题之后,膨胀岩边坡问题也相继出现。建筑行业在浅基础及深基础中出现膨胀岩工程问题相对较晚,有关建筑行业膨胀岩工程问题的报道相对其他行业较少些。像膨胀土工程问题一样,处理膨胀岩工程问题经历了从感性到理性的认知过程,在初始阶段,由于对膨胀岩工程特性认识不足,在勘察、设计及施工阶段,都没有采取有针对性的措施。随着研究的不断深入,相关行业或多或少地制定了膨胀岩工程问题处理的技术文件,如煤炭行业提出了膨胀岩巷道的支护指南,铁路行业在有关规范中对膨胀岩工程的勘察和设计作出了技术上的规定。但至今国内尚无一本关于膨胀岩与工程问题的专著,有关研究成果主要分散反映在软岩方面的文献中。随着我国建设工程的飞速发展,膨胀岩工程问题越来越多,迫切需要一本系统的专著为研究和工程建设服务,如建筑行业,由于没有相关技术规范,较多情况下对膨胀岩的勘察与设计都沿用膨胀土的技术规范。

本书是作者二十多年从事膨胀岩及膨胀岩工程问题研究工作的一个总结。作者对膨胀岩及膨胀岩工程问题的认识,也经历了从感性到理性的过程。在研究的初期更多地是从膨胀岩工程问题的表象来研究,随着研究的深入,作者发现,不从力学机理上认识膨胀岩是难以从根本上解决膨胀岩工程问题的,所以,从力学机理上较为系统而深入地阐述膨胀岩特性是本书的第一个特色;由于作者从事膨胀岩工程问题研究的范围较广,所以,涉及膨胀岩地面及地下工程问题是本书的第二个特色。作者的研究工作包括国家自然科学基金和省级自然科学基金及科技攻关项目在内的多个科研项目,也包含了作者指导的研究生的研究工作,他们分别是凌国智、曾继杰、吴起星和黄海龙。有些研究成果也借鉴了广西大学林育梁教授、张信贵教授、黄绍铿教授及周东教授的研究成果及他们指导的研究生的研究成果。在多年的膨胀岩与工程问题的研究中,得到了作者导师冯豫教授、陈子荫教授、朱维申教授和王同良教授的倾心指导。感谢作者的研究生阳克青及刘财林在书稿整理过程中所作的工作。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,衷心希望读者批评指正。

目 录

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 膨胀岩的概念及名称	1
1.2 膨胀岩的分布与成因	2
1.2.1 膨胀岩的分布	2
1.2.2 膨胀岩的成因	4
1.3 膨胀岩地区的工程问题	7
1.3.1 地下膨胀岩工程	7
1.3.2 膨胀岩路基	8
1.3.3 膨胀岩边坡	9
1.3.4 膨胀岩地基	11
1.4 膨胀岩与工程问题的研究现状	12
1.4.1 膨胀岩巷道地压研究的现状	12
1.4.2 膨胀岩边坡稳定性分析研究现状	14
1.4.3 膨胀岩地基承载力的研究现状	16
第 2 章 膨胀岩的基本物理力学特性	18
2.1 膨胀岩的物质组成及结构	18
2.1.1 膨胀岩的矿物成分	18
2.1.2 膨胀岩的粒度组成	20
2.1.3 膨胀岩的微观结构	22
2.2 膨胀岩的基本物理特性	23
2.2.1 膨胀岩的基本物理特性	23
2.2.2 膨胀岩的崩解性	26
2.2.3 膨胀岩的裂隙性	29
2.3 膨胀岩的基本力学特性	29
2.3.1 强度特性	29
2.3.2 胀缩特性	43

2.3.3 流变性	43
2.3.4 易扰动性	44
2.4 膨胀岩的判别与分类	44
2.4.1 膨胀岩的判别方法	44
2.4.2 膨胀岩的分类方法	47
第3章 膨胀岩的流变和膨胀特性	48
3.1 膨胀岩的流变特性	48
3.1.1 膨胀岩的流变特性	48
3.1.2 膨胀岩蠕变性质的影响因素	49
3.2 膨胀岩的蠕变机理	51
3.3 膨胀岩的膨胀特性	53
3.3.1 胀缩特性	53
3.3.2 膨胀岩膨胀的影响因素	59
3.4 膨胀岩的膨胀机理	60
3.4.1 岩石的吸力理论	61
3.4.2 吸力试验	62
3.4.3 岩石膨胀稳定准则	64
第4章 地下工程中膨胀岩的地压计算与控制	65
4.1 膨胀岩围岩的蠕变变形机理	65
4.1.1 围岩的瞬时力学状态	65
4.1.2 弹性围岩蠕变机理	65
4.1.3 弹塑性围岩蠕变机理	66
4.2 流变地压控制机理	67
4.2.1 几个问题的讨论	67
4.2.2 控制原理	68
4.3 膨胀岩围岩的膨胀变形机理	69
4.3.1 围岩内部有水情况	69
4.3.2 围岩周边供水情况	69
4.3.3 围岩里外都无水的情况	70
4.4 膨胀地压控制原理	70
4.4.1 几个问题的讨论	70
4.4.2 膨胀地压控制原理	71
4.4.3 膨胀岩巷道地压控制原理	71
4.5 地压计算	72

4.5.1	力学模型建立的基本思想	72
4.5.2	力学模型	72
4.5.3	工程算例	75
4.5.4	锚固岩体地压计算	77
第5章	膨胀岩边坡的变形破坏特征	80
5.1	膨胀岩边坡应力分布特征	80
5.1.1	边坡开挖对应力分布的影响	80
5.1.2	边坡应力分布特征	82
5.2	膨胀岩边坡的变形破坏特点	82
5.2.1	边坡的失稳破坏类型	82
5.2.2	膨胀岩边坡破坏特点	84
5.2.3	膨胀岩边坡变形破坏机理	85
5.2.4	工程实例	86
5.3	膨胀岩边坡失稳的影响因素	87
5.4	水对边坡稳定性的特殊影响	89
5.4.1	地下水压力	89
5.4.2	地下水压力对边坡的影响	89
5.4.3	地下水补给及疏干	91
5.4.4	降雨入渗对膨胀岩边坡的影响	92
5.4.5	降雨入渗条件下膨胀岩边坡开挖稳定性模拟分析	103
第6章	膨胀岩边坡稳定性分析与防治	111
6.1	膨胀岩边坡失稳破坏模式	111
6.2	边坡稳定性分析的强度参数选择	112
6.2.1	滑动面抗剪强度参数变化规律	112
6.2.2	抗剪强度参数的确定	113
6.3	边坡稳定分析的计算方法	115
6.3.1	工程地质比拟法	115
6.3.2	极限平衡法-通用条分法	115
6.3.3	有限元法	116
6.3.4	地质构造力学分析法	116
6.3.5	膨胀岩边坡稳定性分析特点	116
6.4	膨胀岩滑坡防治设计及施工原则	117
6.4.1	膨胀岩滑坡的防治工程分类	117
6.4.2	膨胀岩边坡治理现有工程措施	117

6.4.3	膨胀岩边坡失稳治理研究现状	119
6.4.4	膨胀岩滑坡防治设计原则	120
6.4.5	膨胀岩施工原则	123
6.4.6	膨胀岩边坡工程实例	124
第7章	膨胀岩地基	134
7.1	膨胀岩地基承载性状	134
7.1.1	地基的变形破坏过程	134
7.1.2	地基的破坏形式	135
7.1.3	影响地基承载力因素	138
7.2	浅基础膨胀岩地基承载力现场试验	138
7.2.1	南宁盆地地质概况	138
7.2.2	试验场地地质条件	139
7.2.3	现场静力载荷试验设备及方法	142
7.2.4	试验结果	145
7.2.5	现场试验结果分析	148
7.3	膨胀岩地基承载力确定方法	149
7.3.1	确定膨胀岩地基承载力的方法对比	149
7.3.2	建议采用的确定膨胀岩地基承载力的方法	152
7.4	确定地基承载力的勘察方法	152
7.4.1	确定地基承载力的勘察方法	152
7.4.2	膨胀岩旁压试验简介	155
第8章	膨胀岩中桩基承载性状	157
8.1	桩基荷载传递机理	157
8.1.1	膨胀岩桩基础形式	157
8.1.2	桩基荷载传递规律	157
8.2	桩端膨胀岩破坏模式	161
8.2.1	桩端膨胀岩受力状态	161
8.2.2	桩端膨胀岩破坏模式	161
8.2.3	桩端破坏的影响因素	162
8.3	嵌膨胀岩段侧阻力工作机理	162
8.3.1	嵌膨胀岩段侧阻力特性分析	162
8.3.2	嵌岩段侧阻力工作机理	163
8.3.3	嵌岩段侧阻力的影响因素	167
8.3.4	嵌岩段侧摩阻力现场试验	167

8.4 最大嵌岩深度和最佳嵌岩深度	171
8.4.1 概述	171
8.4.2 概念的来源	171
8.4.3 关于嵌岩深度的评价	171
第9章 膨胀岩中桩端承载力确定方法	173
9.1 深层平板载荷试验法	173
9.1.1 试验装置系统	173
9.1.2 试验要点	174
9.1.3 试验资料的分析与整理	174
9.1.4 膨胀岩深层载荷试验资料整理	178
9.2 刚塑性理论计算法	180
9.2.1 概述	180
9.2.2 Terzaghi 极限承载力公式	181
9.2.3 Terzaghi 理论公式计算值与现场载荷试验值比较	184
9.2.4 Terzaghi 理论公式的修正	185
9.3 计算机模拟方法	188
9.3.1 桩端承载力有限元分析	188
9.3.2 计算模型的确定	190
9.3.3 计算参数的确定	191
9.3.4 桩端极限承载力判定方法	192
9.3.5 模拟过程	193
9.3.6 模拟计算结果分析	195
9.3.7 有限元弹塑性模型的验证	206
9.3.8 有限元法回归公式计算值与现场载荷试验值的关系	206
参考文献	209

第 1 章 绪 论

1.1 膨胀岩的概念及名称

膨胀岩类属软岩,但又不同于膨胀土和一般的软岩。软岩是世界上分布最广泛的一类岩石,其中泥岩和页岩就占地球表面所有岩石的 50% 左右,软岩工程问题已成为当今岩石工程中最复杂的工程技术问题之一。对于软岩的定义,我国各行业规范认识较一致,我国岩土工程勘察规范^[1]规定,新鲜岩块的饱和单轴抗压极限强度低于 30MPa 的岩石为软质岩石。但就世界范围而言,因各国地质差异和工程人员认识的不同,软岩的定义差异较大,如日本定义的软岩,其物理力学指标仅相当于我国定义的粉质黏土指标,承载力甚至比我国所指粉质黏土还低,属可塑性土类。由于软岩形成方式有两类:第一类为成岩后因风化由硬变软;第二类为成岩过程不彻底,并未完全成岩,强度低,类似于土。所以日本定义的软岩形成方式为第二类,和我国湛江的上新世黏性土差不多。

膨胀岩是对工程危害较大的一种常见的软岩,是岩石力学领域中的一个重点研究对象。虽然国内外对膨胀岩和岩石的膨胀性进行过大量研究,但在概念上仍未统一。

在《岩石力学有关名词解释》^[2]一书中仅能查到相近的名词“膨胀性围岩压力”,其解释为由于围岩吸水发生膨胀而对支护产生的压力。这种压力实质上是变形围岩压力的一种,只是其引起变形的原因特殊,是含有大量蒙脱石等膨胀性矿物的黏土岩所特有的一种围岩压力。从这里可以看出所谓膨胀岩,一是能吸水发生体积膨胀,二是含有蒙脱石类等矿物。

1983 年,国际岩石力学学会膨胀岩专业委员会曾对岩石膨胀提出如下概念:“岩石膨胀是与水的物理化学反应有关的体积随时间增大的作用。”

《膨胀岩学术讨论会会议总结》^[3]则将膨胀岩统指为那些与水发生物理化学反应,引起岩石含水量随时间增加、体积增大的一类岩石,属于易风化、软化的软岩范畴。

《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB10038—2001)^[4]对膨胀岩的定义为:“膨胀岩是指含有较多亲水矿物,含水率变化时发生较大体积变化的岩石,其具有遇水膨胀、软化、崩解和失水收缩、开裂的特性”。

曲永新等在“中国膨胀性岩、土一体化工程地质分类理论与实践”^[5]中将膨胀

岩分为两大类:一是指含硬石膏、钙芒硝、污水芒硝等膨胀性盐类矿物的沉积岩(如泥岩、泥灰岩、白云岩等),这类膨胀岩是因硬石膏、钙芒硝等吸收水分后通过化学反应将这些水变成结晶水而使体积膨胀,如硬石膏将吸附水变成两个结晶水后体积增大 61% 而成为石膏,无水芒硝吸水后体积增大 3.11 倍变成芒硝,这种膨胀也称为岩胀或结晶膨胀;二是指岩石中含有蒙脱石类膨胀性黏土矿物等的黏土岩、泥岩、凝灰岩等沉积岩类,其膨胀是因为黏土矿物的活动晶层间距(失水收缩,吸水扩展)在吸水过程中扩张引起的。

本书研究的膨胀岩是指含有较多亲水矿物、含水率变化时发生较大体积变化的一类特殊岩石,相当于曲永新等在“中国膨胀性岩、土一体化工程地质分类理论与实践”中介绍的第二大类膨胀岩。

1.2 膨胀岩的分布与成因

1.2.1 膨胀岩的分布

我国膨胀岩的分布十分广泛,东起渤海之滨的山东龙口矿区,西到新疆六道湾煤矿;南起广东茂名矿务局石鼓煤矿,北到黑龙江鸡西矿务局的穆棱煤矿^[6]。从膨胀岩形成的地质时代区分,早自上二叠统,晚到上第三系甚至早更新统都有,因此,我国膨胀岩的工程性质是十分复杂的。以下按成因阐述膨胀岩的分布^[7]。

1. 沉积型泥质膨胀岩

大量的分析测试结果表明,并非所有的泥质岩(如泥岩、页岩、黏土岩和粉砂质泥岩等)都是膨胀岩,而仅有低和中等成岩胶结程度的泥质岩为膨胀岩。

1) 微弱及弱膨胀岩分布

对于广大的华北地台(台块)而言,膨胀岩的下限即最老的膨胀岩为下二叠统的上部,即上石盒子组、石千峰组;而华南地台的云南绿劝康乐隧洞中泥盆系的绿色和紫色泥岩被发现具有弱的膨胀性。

通过对我国 9 省区(山西、河北、河南、安徽、湖北、湖南、江苏、浙江、宁夏)18 个矿山和其他工程(汾西矿务局柳湾矿、水浴矿,引汾入沁工程,开滦矿务局赵各庄矿,邯郸矿务局陶二矿,平顶山矿务局四矿、七矿、十一矿,淮南矿务局潘集一号井、二号井、三号井、新庄煤矿、李一矿,淮北矿务局芦岭矿,徐州矿务局柳新庄矿,浙江长广矿,涟邵牛马司矿,石嘴山矿务局石嘴山矿等)的 117 个上古生界(中石炭统至上二叠统)泥质岩样进行宏观、微观和 X 射线衍射等实验室研究,所获结果如下:

(1) 在黏土矿物组构上,以伊利石为主,仅个别层位的铝土页岩和本溪统的中下部以高岭石为主。有效蒙脱石含量小于 5%。

(2) 上古生代泥岩都属于强胶结和极强胶结,因而具有较高的强度和风化耐久性,具有微弱膨胀性。但淮南煤田潘集矿区上石盒子组 P_2 深灰色泥岩、炭质页岩,淮南新庄子矿区的灰色泥岩、沙质泥岩,徐州柳新矿上二叠统黑色泥岩等蒙脱石含量较高(7%~15%)的岩石,属弱膨胀泥岩。

2) 较强及强膨胀岩分布

我国的下第三系均已明显成岩(单轴抗压强度一般大于等于 5MPa),而上第三系泥质沉积物浅表层单轴抗压强度通常为 0.4~1.0MPa,即处于硬黏土和软岩之间的过渡类型。我国 20 多个省区不同地质时代 2000 余组泥质岩样膨胀性质测试结果表明,在我国泥质岩系中有 4 个区域性强和较强膨胀性的地层。

(1) 上侏罗统膨胀性泥岩层。

目前已查明大面积上侏罗统膨胀性泥质岩分布在内蒙古东部和黑龙江、吉林、辽宁三省西部的大型沉积盆地中,在这一地区的褐煤资源的地下和地表开挖中遇到了大量中强膨胀性的泥岩,如内蒙平庄矿务局红庙矿、小风水沟矿、西藏天矿、五家矿等,及元宝山露天矿、霍林郭勒市的霍林河露天矿和呼伦贝尔市的伊敏河露天矿、大雁煤矿等。其具有岩石强度低、胶结程度差、有效蒙脱石含量高(20%~35%)的特点,有的有效蒙脱石含量高达 58%,该套膨胀性地层的广泛分布与该区为火山岩沉积盆地密切相关。

(2) 白垩系泥质膨胀岩层。

我国白垩纪阴山以南为半干旱炎热气候区,尽管沉积物以陆相粗碎屑岩为主,但泥质岩层或泥质岩夹层的蒙脱石含量很高。如葛洲坝工程 308、227、129 等黏土岩层,其蒙脱石含量高达 70%。高蒙脱石含量的泥质岩还见于山东南部白垩系的王氏组、吉林梅河盆地底部和四川盆地西部。陕西石泉马池一带砂质泥岩的有效蒙脱石含量也达 18.9%,岩块干燥饱和吸水率为 51.9%。中生代白垩纪红色泥岩,如吉林梅河三井盆地底部亦分布有很高膨胀性的赤色泥岩。

(3) 下第三系泥质膨胀岩。

下第三系泥质岩除了地层中大量有机质胶结、强铁质胶结类型外,它们多为中等和强膨胀性地层,岩块干燥饱和吸水率高达 40%~110%,有效蒙脱石含量 15%~45%。如山东龙口矿区的北皂矿、洼里矿、梁家矿,吉林珲春煤矿、舒兰矿,沈北矿区(前屯矿、蒲河矿、大桥矿),天津蓟县电厂基础,山东张家洼铁矿,广西南宁盆地的那龙煤矿,百色盆地右江四号井及广东高州石鼓煤矿等。

(4) 上第三系膨胀性泥岩。

广西那龙煤矿、右江煤矿及云南小龙潭煤矿、昭通煤矿等泥岩样品分析结果如下:

① 蒙脱石含量高(10%~31.6%),物理化学活性强(阳离子交换量为 100~305.7meq/100g,其中 meq=mol/L×离子价数)。

② 成岩胶结程度低,为弱胶结,水稳性差,膨胀性显著(较强膨胀至强膨胀),强度低,风化耐久性差,遭受一次干湿循环作用便解体成泥状。

③ 在新第三系泥岩中也有少量中等和强胶结的泥岩,如广西北明灰褐色泥岩,蒙自盆地含 CaCO_3 的泥灰岩高达 77.8%。

2. 蒙脱石化火成岩(侵入体)类膨胀岩

尽管蒙脱石化中小型侵入体类膨胀岩体积不太大,但在岩浆活动频繁的环太平洋各省区,特别是低温热液活动区的中基性侵入体岩体的蒙脱石化作用并非偶然分布,如河北燕山平某地湖大冶铁矿,南京梅山铁矿,南京秦淮新河,山东三山岛金矿,辽宁沈北大桥矿、前屯矿等,由于此类膨胀岩的不良工程特性都造成了对工程的严重危害。

3. 蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩

沉积于盆地中的火山灰通常都要发生脱玻作用,不仅可以形成富有经济价值的膨润土矿床(如辽宁凌源、黑山、锦西、北票,吉林四平刘房子、九台,长春石碑岭等膨润土矿),也大量形成达不到成矿品位的蚀变凝灰岩(如抚顺西露天矿、龙凤矿,吉林蛟河煤矿,辽宁沈北前屯矿大桥矿,黑龙江鸡西穆棱矿)。它们出露在地表时,在降雨条件下会产生滑坡,在地下则造成巷道底鼓或流泥。

4. 断层泥类膨胀岩

在区域性活动断裂的剪切区,由于断层的多次构造活动常常形成很宽的断层泥带,如我国东部的郯庐断裂、浑河断裂、伊兰—伊通断裂等。这些断层泥带由于富含蒙脱石而具有很高的物理化学活性,如抚顺西露天矿北缘的浑河断层泥有效蒙脱石含量高达 37%~50%。断层泥由于遭受构造的剪切破坏,不需要干燥活化,只要发生应力松弛便可以吸水膨胀变形。断层泥的大变形作用曾给梅河三井巷道造成了严重危害,在北京军都山隧道也发生了衬砌的严重变形。

1.2.2 膨胀岩的成因

根据膨胀岩的成因不同,国际岩石力学学会膨胀岩专业委员会把膨胀岩分为^[8]:

- (1) 泥质岩类膨胀岩。
- (2) 含硬石膏、无水芒硝类膨胀岩。
- (3) 断层泥类膨胀岩。
- (4) 含黄铁矿等硫化矿物类膨胀岩。

曲永新等将我国的膨胀岩按成因分为^[5]: