

GEOTECHNICAL ENGINEERING RESEARCH

岩土工程研究

(1)

主 编 杜时贵
副主编 罗战友 许四法 刘俊龙

地震出版社

浙江建设职业技术学院教师专著出版基金资助出版

岩土工程研究

(1)

主 编 杜时贵

副主编 罗战友 许四法 刘俊龙

地 震 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程研究. 1/杜时贵主编. —北京:地震出版社, 2006. 04

ISBN 7-5028-2819-2

I. 岩… II. 杜… III. 岩土工程 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 006594 号

地震版 XT 200600012

内 容 提 要

本书是浙江建设职业技术学院岩土工程研究所的一本连续性出版物的第 1 本, 它汇集了该所同仁的最新研究成果。本书主要收集了岩土工程技术方面的论文, 内容涉及岩体抗剪强度经验估算、轻量土新技术、垃圾填埋技术、基坑工程、混凝土构件波速测试、软土工程特性、废水治理、公路施工与监理等。本书适于从事土木工程技术人员以及从事勘察、设计施工、监理和管理等工程人员参考, 也可作为院校相关专业的师生学习参考。

岩土工程研究 (1)

杜时贵 主编

责任编辑: 陈晏群

责任校对: 郭京平

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.roi.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版(印)次: 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 358 千字

印张: 14

印数: 001~500

书号: ISBN 7-5028-2819-2/TU·202 (3468)

定价: 36.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编 委 会

名誉主任：徐公芳 丁夏君

主 编：杜时贵

副 主 编：罗战友 许四法 刘俊龙

委 员：张 敏 沙 玲 姜 健 刘世美 来丽芳

王晓翠 胡晓飞 楼建东 李 强

前 言

浙江建设职业技术学院作为浙江省唯一的一所公办建设类高职院校，办学历史已近 50 年。经过近半个世纪的发展，学院已成为浙江省建设行业人才培养的基地和摇篮。这所学校很好地发挥了服务社会、服务经济、服务行业的作用，为浙江省建设系统和地方经济建设输送了各类人才逾万名，他们已经成为浙江省建设事业中一支不可缺少的中坚力量。为了进一步加强内涵建设，开展以应用研究为特色的科学研究活动，学院于 2005 年 5 月 3 日创建了岩土工程研究所。该研究所由著名工程地质学与岩石力学专家王思敬院士为名誉所长，结构面粗糙度系数研究专家、浙江省中青年学科带头人杜时贵教授为所长。

岩土工程研究所成立以来，学术氛围浓、思维活跃，科研热情高、凝聚力强。该所现有成员 33 名，其中有博士 5 名，硕士 13 名。他们分别来自浙江建设职业技术学院、浙江工业大学、浙江科技学院、浙江省交通规划设计研究院、温州工程勘察院、金华职业技术学院等单位。研究所坚持每周一次学术活动制度，内容涉及邀请外部专家作报告，研究所成员之间作学术交流，以及做课题研究进展专题，学位论文开题与答辩预演等。研究所创办至今已取得一批有价值的成果：其中获浙江省重点科研项目、省科技专项等项目 7 项，厅级课题和院级项目 8 项；获浙江省科学技术二等奖 1 项，金华市科学技术一等奖 1 项，有 3 项发明专利申请被受理，5 项发明专利正在申请中。

王思敬院士非常关注岩土工程研究所的成长。当他看到研究所科研活动如此活跃，感到十分高兴与欣慰。他以自身的经历和奋斗过程勉励研究所全体成员，要将自身兴趣与国家需求相结合，将个人志愿、抱负与国家的整体发展相结合，为了祖国的召唤而努力奋进。王思敬院士为研究所题词：“岩越攻越坚，土越研

越细，技术有创新，建设大发展。”并为岩土工程研究所和本书题字。我们对王思敬院士表示崇高的敬意和衷心的感谢！

在岩土工程研究所成立周年之际，为总结研究所同仁的研究成果，争取更好、更快地发展，我们搜集整理了研究所一年来的研究成果编辑出版，奉献给有志于我国岩土工程建设的广大读者。我们还打算将《岩土工程研究》一书作为浙江建设职业技术学院岩土工程研究所的连续性出版物，每年出一本，让所内同仁的研究成果与更多的同行分享。我们力争将本书办成以下特色：一是作者面广，尽量收集浙江省几大院校及设计院从事岩土工程技术的人员的研究成果，并收录研究所以外成员的研究成果；二是涉及的内容较为丰富，其内容不仅包括岩体抗剪强度经验估算、轻量土新技术研究、垃圾填埋技术、基坑处理、混凝土构件波速测试、软土工程特性研究等新的科研进展，还包括废水治理、公路施工与监理等经济建设急待解决的问题；三是大部分论文的成果均属原创性成果，本书尽量选用高水平的优秀论文。

浙江省建设厅张苗根厅长，及赵如龙、贾宝林、张文平3位副厅长以及各职能处室的领导对岩土工程研究所的发展给予了积极的支持。浙江建设职业技术学院领导特别是徐公芳书记和丁夏君院长对岩土工程研究所工作给予了极大的关注和全力的支持，这也是研究所广大成员努力工作的动力源泉，也是本书得以顺利出版的重要保证。本书得到浙江建设职业技术学院教师专著出版基金的资助，并得到地震出版社的大力支持，在本书出版之际一并表示衷心的感谢！

本书编辑出版工作历时半年，数易其稿，虽已竭尽全力，但限于水平有限，仍有许多不足之处，敬希读者指正。

编 者

2006年2月10日

目 录

国家地质处置库和地下实验室节理抗剪强度

经验估算 杜时贵 胡晓飞 王晓翠 姜健 (1)

建筑用砂轻量土物理力学特性的试验研究

..... 杜时贵 罗战友 林伟军 张敏 姜健 (21)

建筑用砂轻量土的影响因素分析 林伟军 杜时贵 罗战友 张敏 姜健 (28)

不同容重的 EPS 对轻量土的强度和密度的影响 张敏 罗战友 杜时贵 (34)

库伦主动土压力系数的简易算法 朱传培 (39)

垃圾填埋场防渗材料的温度应力评价 许四法 戎百齐 冯伟彪 (49)

不同测试方法对混凝土构件波速的影响研究 沙玲 余伯增 沈毅 (58)

纤维增强高性能混凝土在冻融与腐蚀共同作

用下的强度变化 刘俊龙 余红发 李美丹 翁智财 陈浩宇 (66)

新旧混凝土结合面粗糙度的研究现状 李强 向芳 杨文领 (73)

上下翼缘角钢半刚性连接节点的有限元分析 向芳 王晓翠 杨文领 李强 (81)

温州地区软土工程特性研究 马盛元 楼建东 (87)

城市垃圾填埋场渗滤液生物处理技术 陈江 来丽芳 许四法 杨益 杨文领 (94)

利用林业资源数据更新基础地理信息数据的

初步探讨 来丽芳 张书博 陈江 (99)

无侧限抗压强度与轻量土配比参数的非线性

回归分析研究 姜健 汤捷 杨先忠 (105)

EPS 轻量土特性及在岩土工程中的应用

..... 毛肖 杜时贵 杨先忠 张敏 王晓翠 (111)

岩体结构面抗剪强度数值仿真研究设想 胡晓飞 杜时贵 (117)

喷射混凝土施工方法研究现状·····	王晓翠 向芳 于健 张敏 毛肖	(122)
PowerBuilder 动态报表的解决方案·····	邵梁	(130)
单面焊接在钢构件对接中的工艺改良·····	胡轶敏 毛玉红	(139)
榨菜废水对平原河网水质的污染调查及治理措施初探·····	陈秀琴 詹建益	(145)
深基坑排桩支护结构受力性能分析·····	沈毅 余伯曾 沙玲	(151)
运用私人融资方式建设城市基础设施的政策建议·····	杨益 朱雅彬 肖琳琛	(163)
混凝土耐久性对钢筋锈蚀的影响 ·····	刘世美 毛玉红 潘丽君	(170)
有关单桩承载力若干问题的讨论 ·····	余伯增 沈毅 沙玲	(176)
日本垃圾填埋场防渗材料使用情况·····	冯伟彪 戎百齐 许四法	(181)
公路施工期环境监理实施的探讨·····	杨文领 单银丽 向芳 陈江	(187)
大体积桥梁墩台混凝土施工裂缝控制·····	王云江 项志云 许立伟	(193)
半刚性基层沥青路面反射裂缝的分析与防治 ·····	崔春霞 杨先忠 蒋莉 毛肖 潘丽君	(199)
市政公用设施项目建设的环境保护·····	蒋莉 崔春霞 毛肖 王晓翠	(206)
附录：2005 年度浙江建设职业技术学院岩土工程		
研究所学术活动汇总表·····		(211)

Contents

Empirical estimation for shear strength of the surrounding rock joints of national geological disposal repository and underground laboratory	Du Shigui Hu Xiaofei Wang Xiaocui Jiang jian (1)
Experimental study on properties of the lightweight soil mixed with construction sand	Du Shigui Luo Zhanyou Lin Weijun Zhang Min Jiang Jian (21)
Influencing factors analysis of lightweight soil mixed with construction sand	Lin Weijun Du Shigui Luo Zhanyou Zhang Min Jiang Jian (28)
Influence analysis on lightweight soil's strength and density as variant EPS density	Zhang Min Luo Zhanyou Du Shigui (34)
A simplified method of coulomb's active earth pressure coefficient.....	Zhu Chuanpei (39)
Evaluation of temperature stress of liner sheet.....	Xu Sifa Rong baiqi Feng weibiao (49)
Studies on wave velocities of concrete members measured with different test methods	Sha Ling Yu Bozeng Shen Yi (58)
Strength development of fiber reinforced high performance concrete subjected to the combined action of freezing-thawing cycles and chemical attack	Liu Junlong Yu Hongfa Li Meidan Weng Zhicai Chen Haoyu (66)
The present situation about interfacial roughness of new-to-old concrete	Li Qiang Xiang Fang Yang Wenling (73)
Nonlinear finite element analysis of top and seat angle connections	Xiang Fang Wang Xiaocui Yang Wenling Li Qiang (81)
Studise on engineering property of soft soil in Wenzhou area	Ma Shengyuan Lou Jiandong (87)
The biological treatment technology of MSW landfill leachate	Chen Jiang Lai Lifang Xu Sifa Yang Yi Yang Wenling (94)
A method of updating basic geometrical information by incorporating forest resource data	Lai Lifang Zhang Shubo Chen Jiang (99)
Studies on non-linear regression analysis of parameters of lightweight mixture proportion and	

unconfined compression strength.....	Jiang Jian Tang Jie Yang Xianzhong (105)
The fundamental characteristics of EPS light soil and the applications in geotechnical engineering	
.....	Mao Xiao Du Shigui Yang Xianzhong Zhang Min Wang Xiaocui (111)
A sumption of studies on numerical simulation of shear strength of rock joints	
.....	Hu Xiaofei Du Shigui (117)
Present research status of construction methods of shotcrete	
.....	Wang Xiaocui Xiang Fang Yu Jian Zhang Min Mao Xiao (122)
The usage of dynamic report in powerbuilder solution.....	Shao Liang (130)
Technical improvement of Single weld on steel components' butt joint	
.....	Hu Yimin Mao Yuhong (139)
Study on waste water polluted by szechuan pickle.....	Chen Xiuqin Zhan Jianyi (145)
The analysis of stress performance of piling of supporting structure in foundation pit	
.....	Shen Yi Yu Bozeng Sha Ling (151)
Suggestion to the government policies for introducing private finance to China's	
infrastructure construction.....	Yang Yi Zhuyabin Xiaolinchun (163)
The effect of indurance on steel bar rust.....	Liu shimei Mao Yuhong Pan lijun (170)
The discussion of certain problems about single-pile bearing capacity	
.....	Yu Bozeng Shen Yi Sha Ling (176)
Introduction of barrier sheet used for landfill in Japan	
.....	Feng Weibiao Rong Baiqi Xu Sifa (181)
Discussion on the environmental supervision during the construction of highway projects	
.....	Yang Wenling San Yinli Xiang Fang Chen Jiang (187)
Control of Construction-induced Cracking in Large-mass Concrete of Abutment	
.....	Wang yunjiang Xiang zhiyun Xu liwei (193)
Studies on the prevention and treatment of the reflective crack of the semi-rigid type base-course	
Asphalt pavement.....	Cui Chunxia Yang xianzhong jiang Li Mao xiao pan Li jun (199)
The environment protection of municipal project constructing	
.....	Jiang Li Cui chunxia Maoxiao Wang xiaocui (206)
Appendix: Collections of Academic Activities of Institute of Geotechnical Engineering,	
Zhejiang College of Construction in 2005	(211)

国家地质处置库和地下实验室节理 抗剪强度经验估算

杜时贵^① 胡晓飞^② 王晓翠^① 姜 健^①

(① 浙江建设职业技术学院 杭州 311231)

(② 金华职业技术学院 金华 321007)

摘 要: 节理抗剪强度参数是地质处置库和地下实验室预选地段工程地质对比和围岩稳定性分析的重要指标。本文在地质处置库和地下实验室围岩节理分组的基础上,运用定向统计测量方法估测节理粗糙度系数,通过评价节理粗糙度系数的尺寸效应,确定节理抗剪强度经验估算有效长度,由 JRC-JCS 模型求得各组节理四个方向的抗剪强度参数,最后评价了地质处置库和地下实验室围岩节理抗剪强度的各向异性特征。

关键词: 地质处置库; 节理抗剪强度; 经验估算; 各向异性

世界各有核国家都把安全处置高放射性废物(简称高放废物)提高到保证核能工业可持续发展、保障人民健康、保护环境的高度来认识。对高放废物最终处置,普遍接受的可行方案是深地质处置,即把高放废物埋在距地表深约 400~1000m 的地质体中,使它永久与人类的生存环境隔离。埋藏高放废物的地下工程即称为高放废物处置库。高放废物处置库采用的是“多重屏障系统”设计。即把高放废物贮存在废物罐中,其外是缓冲/回填材料,再向外为围岩地质体。一般把废物体、废物罐和缓冲/回填材料称为工程屏障,把周围的地质体称为天然屏障。考虑到处置库中的废物毒性大,半衰期长,要求处置库的寿命至少达到 1 万年。

开发高放废物地质处置库是一个长期的系统工程。一般需要经过基础研究,处置库选址和场址评价,地下实验室建设、处置库设计、建造和关闭等阶段。从规划到建库完成需要 50~70 年的时间周期。

1 国内外高放废物地质处置概况^[1]

1.1 国际高放废物地质处置进展

自美国国家科学院 1957 年提出高放废物地质处置的设想至今已有 40 多年的历史。40 多年

来, 高放废物地质处置已从原来的概念设想、基础研究、地下实验研究和示范, 到现在大部分处置技术已基本成型, 部分处置库设计已基本完善, 部分国家已确定场址(芬兰, 2001; 美国, 2002)。

(1) 法律法规。在国际原子能机构的支持下, 有关国家之间签定了针对放射性废物处置的《乏燃料安全管理与放射性废物管理公约》; 国际辐射防护委员会出版了《固体放射性废物处置的辐射防护原则》(ICRP-64)、《放射性废物处置的辐射防护政策》(ICRP-77); 国际原子能机构也颁布了一系列国际认同的非强制性放射性废物安全标准 (RAWASS)。

(2) 处置方法。深地质处置已成为公认的高放废物永久处置方法。

(3) 燃料循环技术路线。英、法、德、日、俄和印度等国采取对乏燃料进行后处理、玻璃固化、暂存和最终处置的技术路线。而加拿大、瑞典、芬兰、和瑞士则对乏燃料直接进行处置。美国目前暂采取乏燃料直接处置方案, 但其方案中考虑了在 100 年之内还能从处置库中回取乏燃料。

(4) 地质处置技术路线。各国基本认同的地质处置技术路线是: 处置库选址和场址评价→特定场址地下实验室研究→处置库建造。

(5) 地质处置规划。一般高放废物地质处置库从规划到最终建成需要 50~70 年时间, 美国自 1957 年提出设想, 将于 2010 年建成尤卡山高放废物地质处置库。芬兰将于 2020 年建成乏燃料地质处置库。瑞典将于 2006 年确定场址并开始建库。法国经过 15 年的大规模研究将于 2006 年提交建造高放废物地质处置库的可行性报告。欧盟已于 2002 年通过导则, 敦促成员国必须于 2008 年制定选址计划, 并于 2018 年确定各国的最终场址。

1.2 我国高放废物地质处置现状

我国的高放废物主要来源于核电站乏燃料经后处理产生的高放废液以及以前积累的军工高放废液, 此外还包括一部分 CANDU 堆乏燃料和超铀废物。

1985 年 3 月中国自主设计的第一座核电站——秦山核电站开工建设, 1991 年 12 月 15 日并网发电, 开创了中国核电发展的新纪元。目前, 中国已建成核电机组 8 套 (秦山一期 1 套, 秦山二期 1 套, 秦山三期 2 套, 大亚湾 2 套, 岭澳 2 套), 还有 3 套正在建设中, 到 2005 年将全部建成。届时中国的核电装机容量将达到 $87 \times 10^5 \text{ kW}$ 。为满足 2020 年前经济发展对电力的需求, 中国的核电还将有进一步的发展, 核电新项目的可行性研究正在进展之中。按照我国核电发展规划, 预计到 2010 年核总装机容量将达 $2 \times 10^7 \text{ kW}$, 到 2020 年有可能达到 $(3.2 \sim 4) \times 10^7 \text{ kW}$ 。按核电发展规划推算, 到 2010 年中国积累的乏燃料将达 $1 \times 10^3 \text{ t}$, 到 2015 年则将达到 $2 \times 10^3 \text{ t}$, 2020 年以后, 每年都将卸下近千吨乏燃料。卸下的乏燃料将进入后处理厂, 回收其中有元素铀和钚, 剩下的高放废液经玻璃固化后将被最终处置。

因此, 能否做好核电高放废物的安全处置, 是关系到核电能否获得公众认可, 获准建设、发电并做到可持续发展的关键问题。

1985 年核工业部制定了《高放废物深地质处置研究发展计划》(即 SDC 计划, 后称 DGD 计划), 并于 1986 年 2 月开始实施。该计划分 4 个阶段, 即技术准备阶段、地质研究阶段、现场试验阶段和处置库建造阶段, 目标是最终于 2040~2050 年建成一座国家处置库。

高放废物处置库选址工作始于 1985 年。整体选址工作分为四个阶段: 即全国筛选、地区筛选、地段筛选和场址筛选。近 20 年来, 经过全国筛选、地区预选, 综合对比华东预选区、华南预选区、西南预选区、内蒙预选区和甘肃预选区的各种条件之后, 已初步确定甘肃北山

为重点预选区。从 1999 年开始实质性的地段筛选工作。即对甘肃北山的 3 个预选地段旧井、向阳山和野马泉开展地表地质、水文地质和地球物理调查、钻孔施工和各种孔内实验、工程地质条件等相关研究工作后,确定重点预选地段。为今后在重点预选地段内各预选场址的地质、工程地质、水文地质研究,最终选定地质处置库和地下实验室场址奠定基础。这项工作计划在 2007 或 2008 年完成。对不同地段的岩体结构面进行粗糙度系数统计测量和抗剪强度经验估算,提供用于各预选地段工程地质条件对比和围岩稳定性分析所需的结构面 JRC 值和抗剪强度参数具有十分重要的工程意义。受核工业北京地质研究院的委托,今年开展的是北山预选区旧井预选地段岩体结构面抗剪强度估算工作。

2 甘肃北山预选区区域地质条件

2.1 区域稳定性

北山位于塔里木板块内,属加里东—海西期褶皱带,古生代末到中生代初构造运动比较活跃。但到中生代以来,地壳稳定上升,仅有部分地区接受沉积,现代地壳运动微弱,故北山预选区可视为地壳稳定地区。区域地震活动性表明,北山区为弱震区,历史上仅发生过 2 次地震,最大震级为 5.2 级,但在预选区内最大震级 <4 级。地震地质研究证实,预选区内不存在明显的发震构造。区域内现代构造主应力方位为近 NE—SW (大致在 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 范围),最大主应力量级在几到几十兆帕。预选区上升速率为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mm/a}$,因此本区在新构造分区上属微隆起区。经热释光定年测定,旧井地段自 3 万年来地壳是基本稳定的。

2.2 地层岩性

研究区属塔里木—南疆地层大区南天山—北天山地层区天山—北山地层分区柳园地层小区。地层分布面积约 170 km^2 ,占研究区总面积的 37%,出露地层主要为前长城系敦煌岩群、长城系咸水井群变质岩系和第四系松散堆积层。旧井地段花岗岩类属塔里木板块北缘北山南带构造—岩浆带的一部分,分布面积 292 km^2 ,约占研究区总面积的 63%。花岗岩类主要为中元古代和晚元古代岩浆活动的产物,主要岩性为似斑状二长花岗岩和英云闪长岩,花岗岩类分布深度为 2500 m ,花岗岩类岩体的分布条件对建库十分有利。在地表,花岗岩类的露头和地貌特征表现为强烈夷平的平缓起伏的石漠或低丘陵,人迹罕至。

2.3 地质构造

研究区位于北山南带中段,大地构造位置处于塔里木板块东端,属二级大地构造单元塔里木地台和北山古生代褶皱带的衔接部位。区内构造以断裂和裂隙为主,其次为韧性剪切变形。

区内断裂构造比较发育,华力西晚期东西向逆冲断裂构造、印支期形成的北东向断裂等相互交织在一起,将区内岩石地层单位大多分割成近于四边形的块状体。依据其几何性质和力学性质,可将它们划分为东西向断裂和北东向断裂两大系统。东西向断裂构造由两条区域性大断裂组成,分布于研究区南北两侧旧井单元岩体与前长城系敦煌岩群变质岩的接触带附近。其中南侧断裂带由帐房山—华窑山断裂 (F_{26})、半滩南—华窑山北断裂 (F_{25})、半滩南山北断裂 (F_{28}) 等七条东西向断裂组成;北侧断裂带主要由两个黑包北—十月井北断裂 (F_{11})、两

个黑包北断裂 (F_{10})、蛇跃区断裂 (F_1) 等六条东西向断裂组成。北东向断裂比较发育, 将区内岩石分割成菱形块状, 其代表性断裂主要有旧井断裂 (F_{21})、十月井断裂 (F_{18}) 和半滩东-十月井西断裂 (F_{17})。

研究区裂隙构造主要为构造节理, 包括张节理、剪节理和区域性节理。形成时代相对较早的节理多被花岗岩脉、石英岩脉等充填, 其他未被脉体充填的节理多属岩浆作用及热液作用后期岩石脆性变形的产物。区内花岗岩脉充填的节理主要有七组, 其中最为发育的有东西向、北西 325° 、北东 15° 和北东 35° 走向的四组, 它们属于压剪性“X”型节理系。

2.4 岩石力学性质

北山预选区深部岩石主要是似斑状二长花岗岩和英云闪长岩, 北山 1 号孔岩石质量指标 RQD 值 >75 的占 76.6%。似斑状二长花岗岩和英云闪长岩的单轴抗压强度 $>136\text{MPa}$, 劈裂法抗拉强度 $>6\text{MPa}$, 双面剪切条件下的抗剪强度 $>12\text{MPa}$ 。

在孔深 161~413m 的测试范围内, 实测到最小水平主应力的量值变化范围 4.12~8.37MPa, 最大水平主应力的量值变化范围 6.51~12.56MPa。各测段最大水平主应力的方向为北东向, 平均值为 $N34.5^\circ E$ 。在埋深 166~413m 的范围内, 主应力的赋存规律表现为:

$$\sigma_H > \sigma_V > \sigma_h$$

式中: σ_H 为水平主应力; σ_V 为垂直主应力; σ_h 为平均主应力。

根据地应力实测数据, 并参考岩石单轴抗压强度参数, 初步判定, 北山 1 号孔附近, 在埋深 500m 左右的范围内, 由于地下洞室的开挖发生岩爆的可能性不大。

3 北山预选区旧井地段岩体结构面发育特征

北山预选区旧井地段英云闪长岩中发育的结构面以剪节理为特征, 空间上多呈 X 型, X 型节理将岩体切割成菱形块体 (图 1)。野外调查发现, 岩体中节理较平直, 产状稳定, 延伸较远。统计量测可知, 节理长度 4~12m, 间距 $>2\text{m}$, 岩体完整性好。地质处置库和地下实验室的围岩稳定性, 主要取决于节理的空间组合和节理抗剪强度。



图 1 由 X 型节理切割而成的菱形结构体

杨春和*采用窗口统计调查法对 BS03 号钻孔附近 63 个露头点的 1394 条节理的几何要素（位置、产状、迹长、隙宽、端点类型）进行了详细的测量，得到了节理极点分布图（图 2），对节理极点分布图进行统计分析，得到极点分布等密度图（图 3）；同时对节理倾向以 10° 的间隔进行统计（表 1），绘制节理走向玫瑰花图（图 4）和节理倾向玫瑰花图（图 5）。作者通过上述图和表的分析，将旧井地段节理分成四个走向节理组或六个倾向节理组（表 2）。

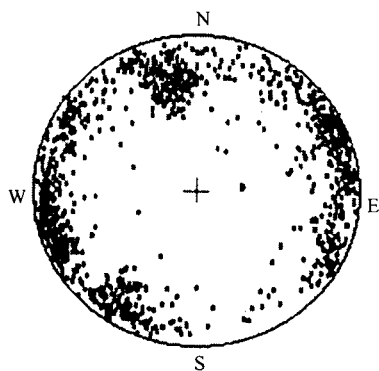
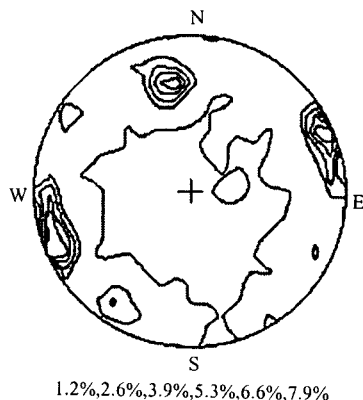


图 2 节理极点分布图



1.2%, 2.6%, 3.9%, 5.3%, 6.6%, 7.9%

图 3 节理极点分布等密度图

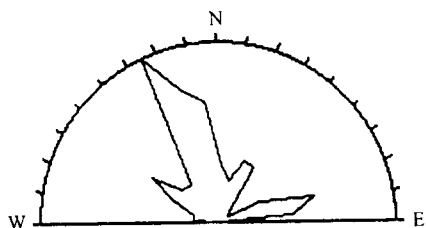


图 4 节理走向玫瑰花图

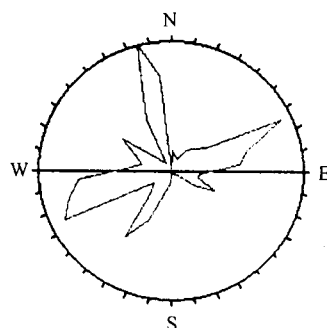


图 5 节理倾向玫瑰花图

表 1 节理在不同倾向范围内的分布统计值

倾向范围 / ($^\circ$)	条数	倾向平均值 / ($^\circ$)	倾角均值 / ($^\circ$)	倾向范围 / ($^\circ$)	条数	倾向平均值 / ($^\circ$)	倾角均值 / ($^\circ$)
0~9	18	2.61	70.11	180~189	13	185.07	57.54
10~19	14	14.28	65.71	190~199	16	195.75	76.44
20~29	10	26.3	66	200~209	49	205.08	73.84
30~39	22	34.55	73.36	210~219	72	214.04	73.24
40~49	28	43.89	76.79	220~229	28	222.39	74.71
50~59	34	55.2	79.5	230~239	18	234.61	81.22
60~69	105	64.47	81.31	240~249	102	244.82	78.42

* 杨春和，甘肃北山预选区 BS01、BS02、BS03 号孔周围节理调查及三维模拟研究，中国科学院武汉岩土力学研究所，2004。

续表

倾向范围 / (°)	条数	倾向平均值 / (°)	倾角均值 / (°)	倾向范围 / (°)	条数	倾向平均值 / (°)	倾角均值 / (°)
70~79	71	74.41	78.02	250~259	92	254.59	80.38
80~89	60	84.08	78.18	260~269	82	263.98	79.99
90~99	26	94	78.28	270~279	40	273.7	78.4
100~109	22	103.91	75.14	280~289	27	283.78	77.31
110~119	45	113.26	77.86	290~299	36	294.86	74.11
120~129	24	123.21	76	300~309	49	304.37	77.79
130~139	3	132.67	70	310~319	15	315.6	75.5
140~149	4	145.25	70.25	320~329	10	324.4	65.67
150~159	2	154.5	76	330~339	53	334.66	75.44
160~169	1	160	76	340~349	119	344.88	62.21
170~179	3	175.33	64.33	350~359	85	353.49	62.21

表 2 旧井地段岩体节理分组

走向分组		倾向分组		节理统计长度 /m
节理代号	优势产状	节理代号	优势产状	
J ₁	336°	J ₁₋₁	246°∠88°	6.2
		J ₁₋₂	66°∠88°	4.6
J ₂	82°	J ₂	352°∠60°	5.3
J ₃	306°	J ₃	216°∠75°	2.6
J ₄	25°	J ₄₋₁	115°∠73°	5.0
	30°	J ₄₋₂	300°∠74°	10.8

4 北山预选区旧井地段岩体结构面 JRC 定向统计测量

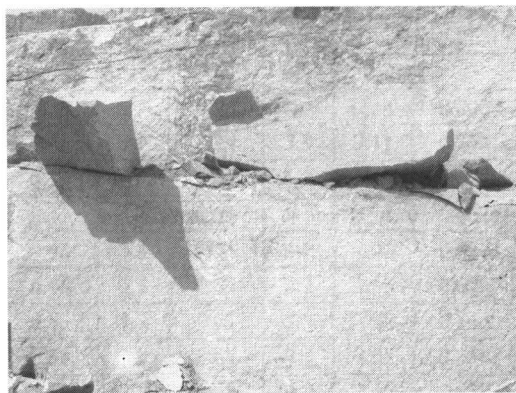
4.1 测线布置

本次 JRC 测量地点选择在磨场石材采石场 (图 6)。由于岩体被人工开采, 各组节理出露条件非常好。在野外调查的基础上, 对每一组节理确定代表性节理面进行 JRC 测量。图 6 (b) 中, 下部是 J₁₋₁ 节理的代表性节理表面, 上部是 J₁₋₂ 节理的代表性节理表面。

各组节理的代表性节理表面选定后, 按图 7 所示布置测量方向。对每一测量方向, 按图 8 方法布置测段, 运用轮廓曲线仪^[2]和 JRC 修正直边法^[3]进行节理粗糙度系数的定向统计测量。



(a)



(b)

图6 野外 JRC 测量位置

(a) 磨场采石场全景; (b) 野外 JRC 测量的节理面

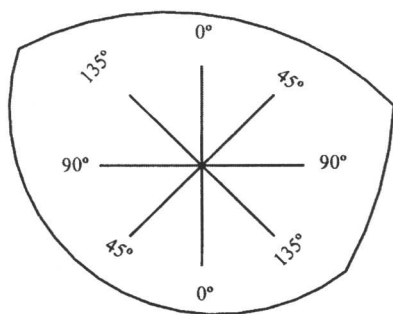


图7 JRC 测量方向的布置

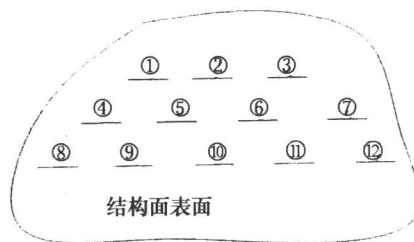


图8 沿某一方向 JRC 测量的测段布置方法

4.2 节理 JRC 尺寸效应有效长度的确定^[4]

表 3 列出了 J_{1-1} 沿节理倾向方向 (0°)、沿节理斜交方向 (45°)、沿节理走向方向 (90°) 和沿节理斜交方向 (135°) 等四个方向测量的, 取样长度分别为 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm、60cm、70cm、80cm、90cm 和 100cm 时的 JRC 实测值。各方向统计 JRC 与取样长度的关系见图 9。由表 3 和图 9 可以发现, 随着节理规模增大, 节理粗糙度系数减小; 取样长度达到一定值后, 粗糙度系数随节理规模增大而降低的趋势不明显, 即节理规模达到某一值后, JRC 的尺寸效应可不予考虑。

定义 f_n 为取样长度为 L_n 时的 JRC 尺寸效应率, 对表 3 的资料分析得到 J_{1-1} 节理 JRC 尺寸效应率 f_n 的值 (表 4)。由表 4 的统计值发现, 取样长度 $n > 90$ 时, JRC 尺寸效应率仅为 $n = 20$ 时的 4.17%~4.41%。可以认为, $n \geq 90$ 时, 随着结构面规模增大, JRC 减小的趋势很不明显。因此, 结构面规模 $> 80\text{cm}$ 以后, JRC 的尺寸效应可以不予考虑, 即 JRC 尺寸效应估算长度为 80cm。