

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.01.015

锚固裂隙岩体力学特性试验研究

渠 涛^{1,2} 韩立军² 杨圣奇² 张茂林²

(1. 山西省电力勘测设计院, 山西 太原 030001 ; 2. 中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 江苏 徐州 221008)

摘要 通过对立方体红砂岩试样预置 30°、45°和 60°裂隙的试验, 研究了不同锚固状况下含单裂隙岩样力学特性及其注浆与加锚控制效应。结果表明: 注浆加固条件下的岩样峰值强度, 裂隙倾角为 45°时最小, 30°时最大; 加锚加固条件下的岩样峰值强度, 裂隙倾角为 60°时最小, 30°时最大。

关键词 裂隙岩体; 注浆加固; 加锚加固; 倾角; 岩样峰值强度

中图分类号: TU411 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2011)01-0073-05

裂隙岩体工程的稳定和安全是岩石力学领域的重要研究课题。由于漫长的地质构造作用, 岩体内部孕育了各种软弱结构面, 如断层、裂隙等。裂隙岩体由于内部裂隙的存在, 其力学特性与均匀介质呈现显著差异。在岩体工程建设和长期运营过程中, 由于开挖卸荷、渗流等因素, 原有的缺陷进一步发育、扩展直至贯通, 引发了许多岩体工程的失稳破坏。为了预防各种岩体工程的失稳破坏, 需要采用锚杆(索)或注浆技术对岩体进行加固处理。因此, 研究不同锚固作用下裂隙岩石的强度和影响因素的作用, 对于保障裂隙岩体工程的稳定与安全具有重要的理论价值和实践意义。鉴于此, 参考现有研究成果^[1-12], 笔者通过对立方体红砂岩试样预置 30°、45°和 60°裂隙的试验, 研究了不同锚固状况下含单裂隙岩样力学特性及其注浆与加锚控制效应。

1 岩性特征和试样制作

试验用砂岩为棕红色, 采自山东省济南市, 细砂结构, 呈块状构造。该岩石主要矿物成分的质量分数(w) : u (石英) 为 17% , 以花岗岩型单晶石英为主, 少量为火山岩型石英; u (长石) 为 42% , 以正长石为主, 次为酸性斜长石和微斜长石, 多数新鲜, 部分具弱绢云化和方解石化; u (岩屑) 为 25% , 为安山质火山岩屑。此外, 岩石中胶结物质量分数为 15% , 其中 u (方解石) 为 10% , 而且方解石胶结物呈斑块状, 连晶结构, 对长石英碎屑具胶结作用; u (铁质黏土) 为 5% , 呈薄膜状包围在碎屑周围。另含有质量分数为 1% 的锆石。砂岩粒径特征为 0.10 ~ 0.25 mm 粒径砂岩的质量分数为 60% , 0.25 ~ 0.50 mm 粒径砂岩的质量分数为 35% , 0.5 ~ 1.0 mm 粒径砂岩的质量分数为 5% 。胶结方式呈孔隙式胶结, 颗粒接触方式为点状-线状接触。红砂岩均质性较好, 利用 KH-3000 视频仪观察红砂岩微观形态, 结果如图 1 所示。

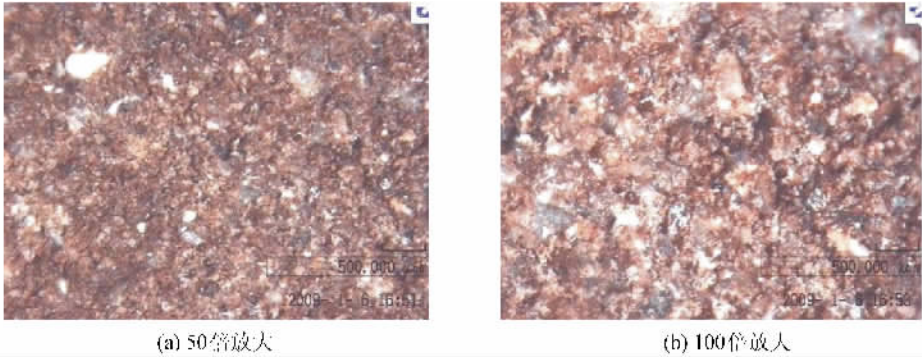


图 1 红砂岩微观结构

Fig. 1 Microstructure of red sandstone

收稿日期: 2010-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(50774082, 50709008)

作者简介: 渠涛(1983—), 男, 山西晋城人, 助理工程师, 硕士, 主要从事岩体力学特性研究。E-mail: qutaocumt@163.com

参考《工程岩体试样方法标准》,裂隙砂岩取 150 mm×150 mm×150 mm 的立方体试样,如图 2 所示.制作方法如下:首先加工完整试样,为了保证不同试验条件下岩样结果之间的可比性,试验前对加工好的完整试样外观进行了仔细观察,没有发现明显天然裂隙以及裂纹等弱面,确保了完整岩样之间宏观上没有明显差异.然后采用切割机将完整岩样沿中部对称分开成 2 块,随后将分开的两岩块拼接在一起,在中间浇筑混凝土(混凝土采用的是硅酸盐水泥和水按照质量 1:0.75 的比例混合而成).混凝土经过 28 d 龄期养护后,再进行试验.制成的裂隙厚度为 8~10 mm.为了研究裂隙倾角 α 对砂岩力学特性的影响规律,考虑了 30°、45°和 60°3 种情况的裂隙倾角.裂隙过岩石试样中点且与水平方向成 α 角,即裂隙与锚杆所成的夹角为 α .

为了反映锚固作用,首先在岩样侧面中部钻取一个小孔(图 2),然后将 $\varnothing 12$ mm 或 $\varnothing 16$ mm 的螺纹钢(图 3)插入到试样中,以模拟锚杆的作用. $\varnothing 16$ mm 的螺纹钢参数如下:屈服强度为 465 MPa;抗拉强度为 605 MPa;伸长率为 23.5%.为了考虑预应力的影响,在岩样侧面采用了厚度为 5 mm 的钢板(图 4),钢板的面积与岩样侧面积等同,通过扭力扳手对螺母施加力,作用于钢板上,从而对岩样产生预应力,施加力约为 500 N.对每一种倾角裂隙,试验过程中考虑了如下 3 种加固的作用:(a)水泥浆加固;(b)有锚杆无托盘加固;(c)预应力锚杆加固.



图 2 加工的裂隙砂岩试样
Fig. 2 Sandstone sample with single crack



图 3 锚杆
Fig. 3 Anchor rods



图 4 托盘
Fig. 4 Pallets

2 峰值强度特性分析

通过对试验结果的对比分析可知,岩样峰值强度取决于预制裂隙角度、锚杆、托盘和裂隙充填特性等因素.图 5 为各种岩石试件的峰值强度和裂隙倾角的关系.在无锚杆无预应力情况下,与完整试样相比,含 30°、45°和 60°裂隙试样的强度均明显降低,且呈现出局部化渐近破裂特征.含 30°、45°和 60°裂隙试样的强度分别为 20.01、8.29 和 14.18 MPa,分别比完整试样峰值强度 51.13 MPa 降低了 60.9%、83.8%和 72.3%.在该情况下,45°裂隙砂岩强度最低,而 30°裂隙岩样的裂隙砂岩强度为最大值.这反映裂隙倾角显著影响裂隙砂岩试样的强度.本文无锚杆无预应力情况下节理倾角对砂岩强度的影响规律与文献[3]通过模型试样得到的试验结论相吻合.

2.1 预制裂隙倾角对岩样峰值强度的影响

含不同角度裂隙岩样的轴向全应力-应变试验曲线如图 6 所示.

由图 6(a)可知:不同角度预制裂隙对岩样强度有一定影响.对于无锚杆加固的岩样,含 45°角裂隙对岩样峰值强度影响最大,仅为原岩强度的 16.2%;含 30°角裂隙在 3 种裂隙中对岩样峰值强度影响最小,为原岩强度的 39.1%;含 60°角裂隙在加载过程中岩样整体失稳,对岩样强度影响较大,仅为完整岩样强度的 27.7%.

由图 6 还可以看出:含 30°角裂隙岩样在 3 种岩样中强度最高,无锚杆加固条件下含 45°角裂隙岩样强度最低,而采用 16 mm 锚杆加固后,含 30°角裂隙岩样强度最高,含 60°角裂隙岩样强度最低.

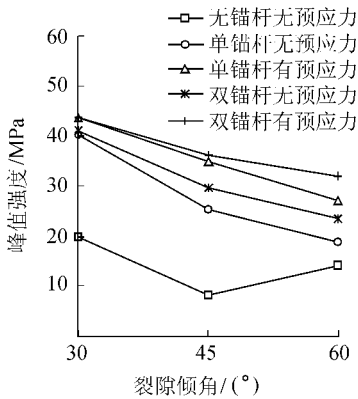


图 5 岩石试件峰值强度和裂隙倾角的关系

Fig. 5 Relationship between peak strength and inclination angle of rock samples

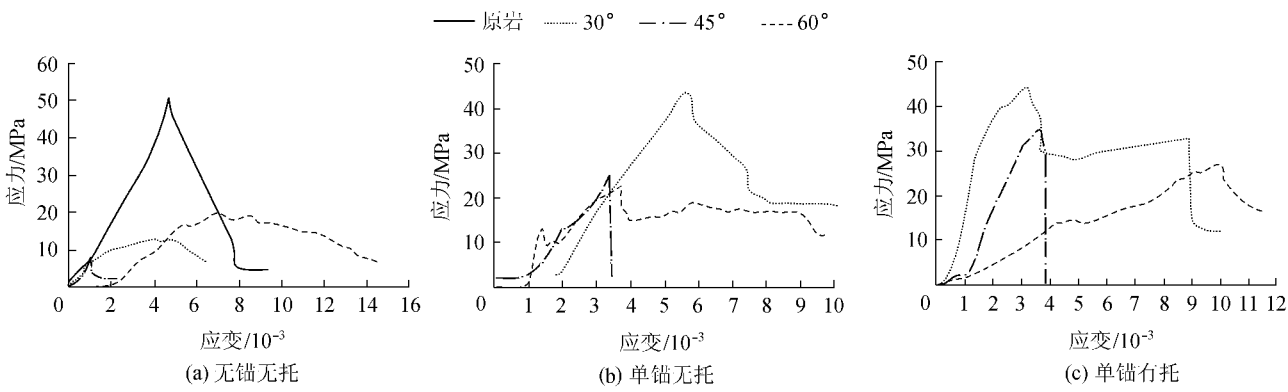


图 6 含不同角度裂隙岩样轴向应力-应变试验曲线

Fig. 6 Relationship between axial stress and strain of fractured rock samples with cracks with different angles

2.2 锚杆和托盘对岩样峰值强度的影响

不同加固方式下岩样的轴向应力-应变试验曲线如图 7 所示.

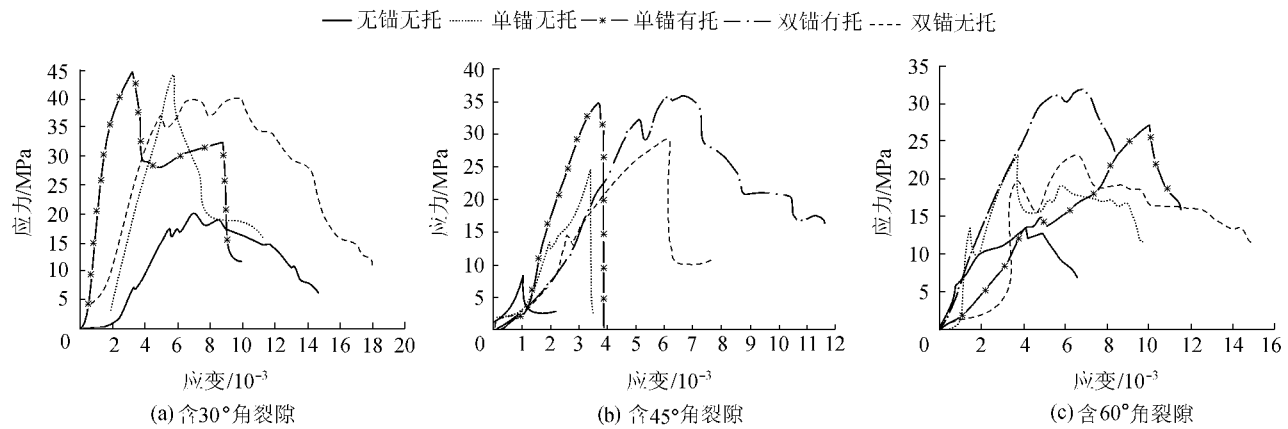


图 7 不同加固方式下岩样轴向应力-应变试验曲线

Fig. 7 Relationship between axial stress and strain of rock samples under various reinforcement patterns

由图 7 (a)可知,对于含 30°角裂隙采用不同加固方式的岩样,其峰值强度从低到高依次为:水泥浆加固方式,单、双锚无托加固方式,单预应力锚杆加托加固方式.其中,水泥浆加固岩石峰值强度 20.01 MPa,锚杆加固方式岩石峰值强度相近,锚杆加固后强度提高约 100%,接近原岩峰值强度.从应力-应变试验曲线来看,锚杆参数的改变对含 30°角单裂隙岩样的峰值强度影响不大.

由图 7 (b)可知,对于含 45°角裂隙岩样,对岩样峰值强度的影响从低到高依次为:水泥浆加固方式,单锚无托加固方式,双锚无托加固方式,单锚预应力加托加固方式,双锚预应力加托加固方式.其中:水泥浆加固岩石峰值强度 8.29 MPa,单锚无托岩石峰值强度 25.35 MPa,提高 205.7%;双锚无托岩石峰值强度 29.7 MPa,提高 258.3%;单锚有托岩石峰值强度 34.82 MPa,提高 320%;双锚有托岩石峰值强度 36.11 MPa,提高 335.6%.锚杆加固后岩石峰值强度主要受锚杆抗剪强度影响,因此,锚杆的直径及数量决定了含 45°角裂隙岩样的峰值强度.增加托盘后,岩样峰值强度分别提高 37%和 21%.

由图 7 (c)可知,含 60°角裂隙不同加固方式对岩样峰值强度的影响从低到高依次为:水泥浆加固方式,单锚无托加固方式,双锚无托加固方式,单锚预应力加托加固方式,双锚预应力加托加固方式.其中:水泥浆加固岩石峰值强度 14.18 MPa,单锚无托岩石峰值强度 18.81 MPa,提高 32.7%;双锚无托岩石峰值强度 23.48 MPa,提高 65.6%;单锚有托岩石峰值强度 27.22 MPa,提高 92.0%;双锚有托岩石峰值强度 32.09 MPa,提高 126.3%.锚杆数量及托盘对岩石峰值强度的提高有一定影响,可有效减小岩石沿最小主应力方向的变形.增加托盘后岩样峰值强度分别提高 44.7%和 36.7%.

3 结 论

笔者对完整岩样和含 30° 、 45° 和 60° 角预制裂隙采用不同加固方式岩样进行了单向加载试验,研究了岩样峰值强度特性,得到了如下结论:

a. 含不同角度单裂隙岩样在不同加固条件下的单轴抗压强度低于完整岩样的单轴抗压强度.对于单液水泥浆加固的岩样峰值强度,在裂隙倾角为 45° 角时最小, 30° 角时最大;采用 16 mm 锚杆加固后,裂隙倾角为 60° 角时最小, 30° 角时最大.

b. 含不同角度单裂隙岩样,影响其峰值强度的加固因素从低到高依次为:水泥浆加固,单锚无托加固,双锚无托加固,单锚预应力加托加固.托盘和对锚杆施加预应力对岩样峰值强度的影响大小与裂隙倾角的大小有关,裂隙倾角为 30° 时影响不大, 45° 时作用显著, 60° 时有一定作用.

参考文献:

- [1] 杨圣奇,徐卫亚,韦立德,等.单轴压缩下岩石损伤统计本构模型与试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(2):200-203.(YANG Sheng-qi, XU Wei-ya, WEI Li-de, et al. Statistical constitutive model for rock damage under uniaxial compression and its experimental study[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 32(2): 200-203. (in Chinese))
- [2] 杨圣奇,温森,李良权.不同围压下断续预制裂纹粗晶大理岩变形和强度特性的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(8):1572-1578.(YANG Sheng-qi, WEN Sen, LI Liang-quan. Experimental study on deformation and strength properties of coarse marble with discontinuous pre-existing cracks under different confining pressures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(8): 1572-1578. (in Chinese))
- [3] 张伟,周国庆,张海波,等.倾角对裂隙岩体力学特性影响试验模拟研究[J].中国矿业大学学报,2009,38(1):30-33.(ZHANG Wei, ZHOU Guo-qing, ZHANG Hai-bo, et al. Experimental research on the influence of obliquity on the mechanical characteristics of a fractured rock mass[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(1): 30-33. (in Chinese))
- [4] 吴政,张承娟.单向荷载作用下岩石损伤模型及其力学特性研究[J].岩石力学与工程学报,1996,15(1):55-61.(WU Zheng, ZHANG Cheng-juan. Investigation of rock damage model and its mechanical behaviour[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996, 15(1): 55-61. (in Chinese))
- [5] 宋桂红.加锚裂隙岩体整体力学性质研究与分析[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [6] 张海波.动、静荷载作用下不同倾角裂隙岩体力学性能试验模型研究[D].南京:河海大学,2007.
- [7] 单仁亮,陈石林,李宝强.花岗岩单轴冲击全程本构特性的实验研究[J].爆炸与冲击,2000,20(1):32-38.(SHAN Ren-liang, CHEN Shi-lin, LI Bao-qiang. Experimental study of granite constitutive properties under uniaxial impact[J]. Explosion and Shock Waves, 2000, 20(1): 32-38. (in Chinese))
- [8] 赵海斌,于新华,彭运动,等.坝陵河大桥隧道锚固岩体力学特性原位试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(6):680-684.(ZHAO Hai-bin, YU Xin-hua, PENG Yun-dong, et al. In situ tests on mechanical properties of rock surrounding tunnel-type anchors of Balinghe Bridge[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(6): 680-684. (in Chinese))
- [9] 岑威钧,王修信.堆石料本构建模新途径[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(1):102-107.(CEN Wei-jun, WANG Xiu-xin. New approach to constitutive modeling of rockfill[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(1): 102-107. (in Chinese))
- [10] 王瑶,周继凯,沈德建,等.混凝土中骨料-浆体界面过渡区的力学性能研究综述[J].水利水电科技进展,2008,28(2):89-92.(WANG Yao, ZHOU Ji-kai, SHEN De-jian, et al. Review of study on mechanical property of aggregate-mortar interface transition zone of concrete[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(2): 89-92. (in Chinese))
- [11] 朱万成,逢铭璋,黄志平,等.岩石动态剥落破裂的数值模拟[J].东北大学学报:自然科学版,2006,27(5):552-555.(ZHU Wan-cheng, PANG Ming-zhang, HUANG Zhi-ping, et al. Numerical simulation on dynamic rock spalling[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2006, 27(5): 552-555. (in Chinese))
- [12] 黄明利,唐春安,朱万成.岩石破裂过程的数值模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(4):468-471.(HUANG Ming-li, TANG Chun-an, ZHU Wan-cheng. Numerical simulation on failure process of rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(4): 468-471. (in Chinese))

Experimental study on mechanical properties of anchoring fractured rock mass

QU Tao^{1 2} , HAN Li-jun² , YANG Sheng-qi² , ZHANG Mao-lin²
(1. Shanxi Electric Power Exploration & Design Institute , Taiyuan 030001 , China ;
2. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering ,
China University of Mining & Technology , Xuzhou 221008 , China)

Abstract : Through the uniaxial compressive tests on cubic red sandstone samples preset with cracks of 30° , 45° and 60° , the mechanical properties of rock samples with single crack under different anchoring conditions as well as the grouting and anchoring reinforcement effects were studied. The test results show that the peak strength of rock samples under grouting reinforcement is the smallest when the inclination angle of the crack is 45° and is the largest when the inclination angle of the crack is 30° . The peak strength of rock samples under anchoring reinforcement is the smallest when the inclination angle of the crack is 60° and is the largest when the inclination angle of the crack is 30° .

Key words : fractured rock ; grouting reinforcement ; anchoring reinforcement ; inclination angle ; peak strength of rock sample

+++++

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63 , CN32-1117/TV , ISSN1000-1980 , 双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 , 主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 , 可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年 , 是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊 , 在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中 , 绝大部分为国家科技攻关(重点) 项目和各种科学基金资助项目的研究成果 , 部分达到了国内领先和国际先进水平 , 为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 , 发挥了较大的社会效益和经济效益 , 深受工程界和科技界赞许 , 并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“ 双效期刊 ”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版 , 国内外公开发行 , 每期定价 12.00 元 , 全年 6 期共 72.00 元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址 : 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部
邮政编码 : 210098
电话/传真 : 025-83786343
E-mail : xb@hhu.edu.cn
网址 : kkb.hhu.edu.cn/web/index_xb.asp ?l_id = 53