

中空注浆锚杆在加固碎裂边坡中应用试验研究

王四巍^{1,2}, 姜彤², 刘汉东², 高丹盈¹

(1. 郑州大学, 河南 郑州 450002; 2. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011)

摘要: 河南省省道 S246 线 K60+535~K60+585 段位于豫西王屋山脉洛阳市新安县境内。该段山高坡陡, 石灰岩裸露, 节理发育且贯通性好, 对坡体一般碎裂区和严重碎裂区分别采用中空注浆锚杆和全长黏结锚杆加固处理, 从极限拉拔力和位移、注浆压力、注浆量进行对比分析 2 种锚杆的加固效果, 在一般碎裂区 2 种锚杆的拉力极限值为 179~189 kN, 注浆压力为 1.8~2.3 MPa, 注浆量为 97~128 L, 表明在该岩体下 2 种锚杆所提供极限拉拔力相差不多, 而在严重碎裂区中空注锚杆极限拉拔力为 179 kN 远大于全黏锚杆的 153 kN, 第一次注浆压力较小, 经二次注浆后压力可达 2.1 MPa 左右, 空锚杆和全黏锚杆的注浆量分别为 683 和 627 L, 在严重碎裂区中空锚杆提供极限拉力远大于全黏锚杆。采用 UDEC 模拟实际岩体的节理和锚杆的布置, 分析杆体的轴力和剪力分布特征, 进一步验证岩体破碎情况下, 中空注浆锚杆加固效果要优于全黏锚杆。

关键词: 岩石力学; 中空注浆锚杆; 全长黏结锚杆; 碎裂边坡; 加固技术

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2008)增 2 - 3963 - 05

STUDY ON TESTING IN REINFORCED SLOPE WITH HOLLOW GROUTED BOLT

WANG Siwei^{1,2}, JIANG Tong², LIU Handong², GAO Danying¹

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou, Jiangsu, Henan 450002, China; 2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, Henan 450011, China)

Abstract: The hollow grouted bolt can improve grouting pressure by hollow bolt bar. Contrast has been done between hollow grouted bolt and full-length bonded one in reinforcing high slope of K60+535 - K60+585 of road S246 in Xin'an county, Luoyang City, Henan Province. There is limestone in this area, and joint develops strongly. There are two kinds of bolt in reinforcing the slope. Analysis has been done according to grouting pressure, grouting volume, the maximum tension force and the displacement. The maximum value is 181 kN for the hollow grouted bolt, and the full-length bonded one is 183 kN in the common fractured areas, but in the strongly fracture areas the maximum values is 179 and 153 kN, respectively. And the distributions of axial and shear force in the bolt are analyzed by the UDEC software.

Key words: rock mechanics; hollow grouted bolt; full-length bonded bolt; fractured slope; reinforcing technology

1 工程概况

河南省省道 S246 线 K60+535~K60+585 段位

于豫西王屋山脉洛阳市新安县境内。该段山高坡陡, 石灰岩裸露, 节理发育且贯通性好, 坡顶裂隙宽度 4 cm, 坡中最大宽度 6 cm, 坡底最大裂隙宽度 22 cm, 坡体有浮土。崩塌发育, 每年雨季发生崩塌、

收稿日期: 2008 - 05 - 07; **修回日期:** 2008 - 07 - 21

作者简介: 王四巍(1978 -), 男, 2000 年毕业于华北水利水电学院水文地质与工程地质专业, 主要从事岩土力学方面的教学和研究工作。E-mail: wsw@ncwu.edu.cn

砸坏路面危及行车安全。

鉴于坡体节理发育，岩体破碎严重，考虑喷锚支护加固边坡。然而普通砂浆锚杆遇到了一些无法克服的问题，如塌孔、卡钻、注浆不满等，这些问题对施工安全和工程质量影响很大。要解决它必须从锚杆本身着手，新型中空锚杆与传统的砂浆锚杆相比有很大改进，能够最大限度地保证砂浆充填饱满、密实，砂浆可在较高的注浆压力下渗透入岩体裂隙，充分保证注浆饱满，解决了传统锚杆的诸多缺陷。相关研究成果^[1~13]阐述了中空锚杆的特点和应用情况。为验证中空注浆加固崩塌碎裂边坡效果，选用中空注浆锚杆和全长黏结锚杆进行对比，根据现场锚杆拉拔力及位移、注浆压力、注浆量来对比分析两种锚杆的加固效果，并采用 UDEC 软件分析锚杆体的轴力和剪切力分布特征。

2 现场试验及结果分析

坡体加固处理共完成长 5.0 m、直径 25 mm 全长黏结锚杆和中空注浆锚杆各 9 根，3.0 m 的插筋

104 根，坡体全部挂网喷混凝土支护。为检查中空锚杆的支护效果，共进行 5 根的中空注浆锚杆和 4 根全黏锚杆的拉拔试验。5 根中空注浆锚杆的编号为 2[#]、4[#]、5[#]、8[#]和 15[#]，全黏锚杆的编号为 3[#]、6[#]、7[#]和 14[#]，其中 14[#]、15[#]处于严重破碎区，其余锚杆处于为一般破碎区。锚杆布置及试验锚杆位置见图 1。

2.1 强度对比

根据坡体加固要求每根锚杆的设计值为 150 kN。试验的锚杆拉力均大于设计值，完全满足设计要求。在一般破碎区锚杆拉拔极限值在 179~189 kN 之间，而在严重破碎区锚杆的极限值为 153 kN 和 179 kN。一般破碎区锚杆拉拔极限值大于严重破碎区下锚杆的极限值；不同岩体下全黏锚杆最大相差 36 kN，中空锚杆最大相差为 4 kN。一般而言，随着岩体完整性降低锚杆的拉拔极限值随之降低，全长黏结锚杆随着岩体破碎程度加剧拉拔极限值下降更加显著，图 2 可直观表示 14[#]全黏锚杆的极限值明显偏小，而中空注浆锚杆在严重破碎岩体中拉拔极限值损失较小。

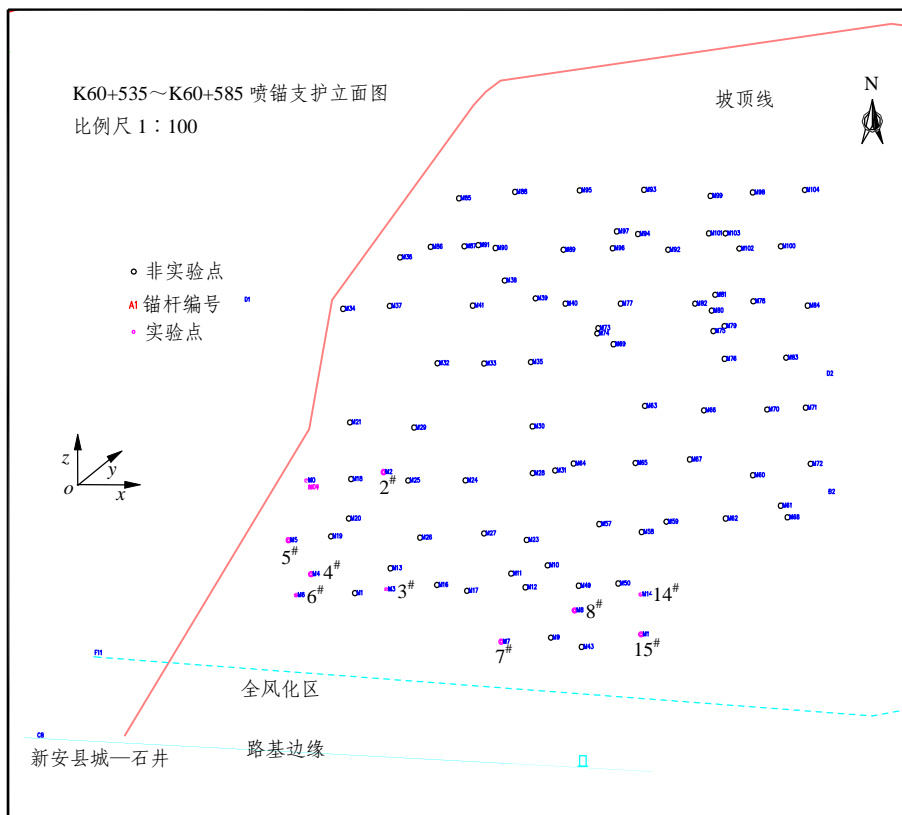


图 1 试验锚杆布置图

Fig.1 layout of testing bolt

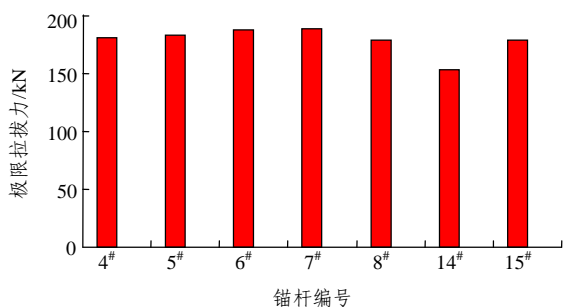


图 2 锚杆极限拉拔结果对比图
Fig.2 Contrast of results of limited pull testing

2.2 变形分析

锚杆的变形间接反映了杆体的力学及变形特性。本文从锚杆的极限变形和循环加载下变形情况来对比分析中空注浆锚杆和全长黏结锚杆的变形性能。

2.2.1 极限变形分析

锚杆的极限变形直接影响其极限拉拔力下的变形性能，从一个侧面反映了锚杆抵抗拉力的变形特征。从表 1 及图 2 分析，试验中所有锚杆的极限变形都在 30~38 mm，没有很大变化。一般破碎区和严重破碎区内锚杆的极限变形值也相差较小，在同类型岩体中空注浆锚杆的极限变形比全长黏结锚杆的变形略小。

表 1 中空注浆锚杆和全黏锚杆拉拔试验及灌浆结果对比表
Table 1 Contrast of hollow grouted bolt and grouted bolt

锚杆类型	灌浆压力/MPa	灌浆量/L	拉力/kN	伸长量/mm
2#中空锚杆	2.3	117		
3#全黏锚杆	2.1	97		
4#中空锚杆	2.3	105	181	30
5#中空锚杆	2.3	103	183	32
6#全黏锚杆	2.2	101	188	36
7#全黏锚杆	2.3	121	189	38
8#中空锚杆	2.2	128	179	37
14#全黏锚杆	1.3, 2.1	627	153	36
15#中空锚杆	1.8, 2.2	683	179	33

2.2.2 循环加载变形分析

循环加载的变形能体现锚杆在反复作用力下的变形性能。从循环加载图分析，在一般破碎区内：2#中空锚杆的最大变形 20 mm，最终变形 18 mm；

3#全黏锚杆最大变形为 30 mm，最终变形为 28 mm。具体变形过程为：在加载段内，2#中空锚杆初始变形较大，而后逐渐增加，而 3#全黏锚杆初始变形较小，随荷载增大变形增加大，在 150 kN 下，中空锚杆的变形仅为 20 mm，而全黏锚杆已达 30 mm，在卸载过程中，锚杆的变形较小，两者均只有 2 mm 的减少量。

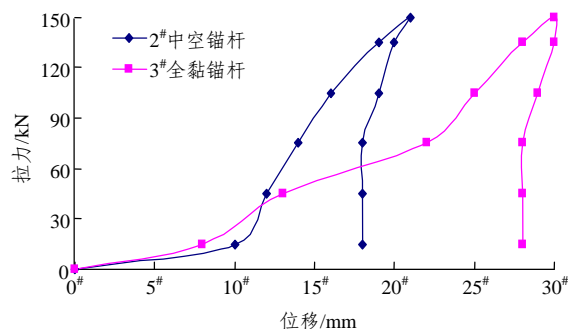


图 3 2#中空和 3#全黏锚杆循环加载结果
Fig.3 Results of cyclic loading of bolts No.2 and No.3

根据循环加载试验和极限拉拔试验分析，在正常的设计值内，中空锚杆的变形要略小于全长黏结锚杆，而达到拉力设计值后卸载后两者的变形减小均较少。

2.3 注浆效果分析

锚杆的注浆效果直接影响到锚杆的锚固质量，影响到锚杆正常使用。注浆压力和注浆量是反映注浆效果 2 个主要指标。

2.3.1 注浆压力分析

岩体破碎程度严重影响到注浆压力和注浆量，一般破碎区注浆压力在 2.0 MPa 以上，而在严重破碎区，第一次的注浆压力为 1.3~1.8 MPa，经二次灌浆，压力可达到 2.0 MPa。

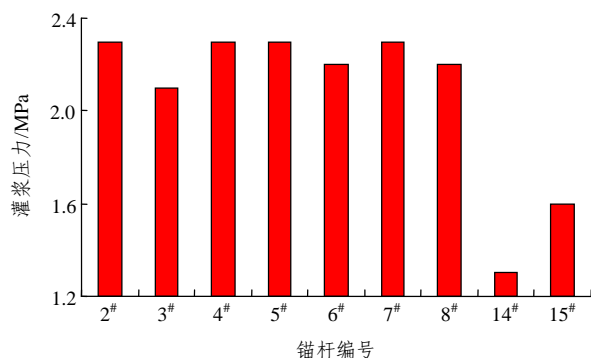


图 4 两种锚杆注浆压力对比
Fig.4 Contrast of grouting pressure of 2 kinds of bolts

在一般破碎区，中空注浆锚杆的注浆压力略大于全长黏结锚杆，而在严重破碎区，中空注浆锚杆注浆压力明显大于全黏锚杆的注浆压力。

2.3.2 注浆量分析

从注浆量对比图可直观反映在严重破碎区内锚杆的注浆量远高于一般破碎区的注浆量，可达4~6倍。在相同的岩体内，中空注浆锚杆的注浆量稍微大于全长黏结锚杆的注浆量。

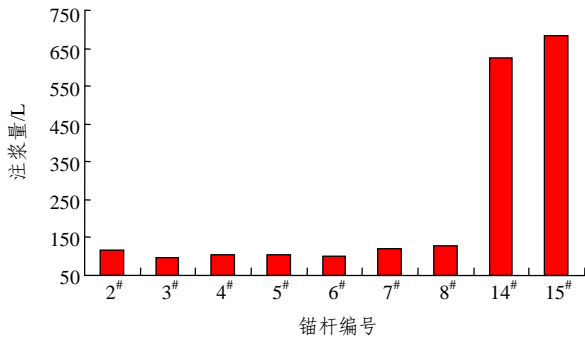


图5 两种锚杆注浆量对比

Fig.5 Contrast of grouting volume of 2 kinds of bolts

3 杆体应力分布数值模拟

选用通过2#中空和3#全黏锚杆的剖面，进行离散元 UDEC 分析，计算范围为长 60.0 m，最大高度 43 m 计算中主要考虑 2 组主要节理。岩土体计算参数分 2 种，石灰岩的容重 27.8 kN/m³，体积模量 9.26 GPa，变形模量 2.52 GPa，泊松比 0.32，黏聚力 22 kPa，内摩擦角 30°。节理面的法向刚度为 1×10⁸ Pa，切向刚度 6×10⁷ Pa，黏聚力为 0，内摩擦角为 12°。钢筋选用 cable 单元模拟。

边界条件：坡体后部垂直方向 x 方向的速度为 0，坡体底部水平方向 y 方向的速度为 0。以坡体受重力作用下的应力作为地应力。

根据拉拔试验的数据和离散元结果进行对比，对比结果见图 6。

根据 2 种锚杆在 150 kN 荷载下的变形值，利用离散元得到的杆体的轴向应力分布情况。

据图 7 杆体的轴力分布知，在外荷载拉力下，杆体在加载段应力较大，沿着杆体向深部迅速衰减。

据图 8 剪切力分布和轴力分布具有相似的特征，在加载段剪切力很大，沿着杆体向深部迅速降低。

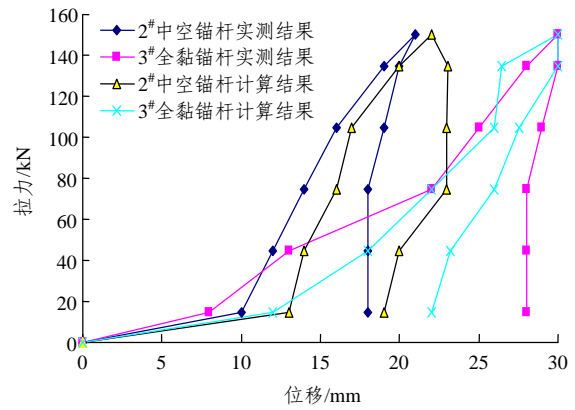


图6 2#中空和3#全黏锚杆实测结果与计算结果对比

Fig.6 Contrast between measurement and calculation value of two kinds of bolts

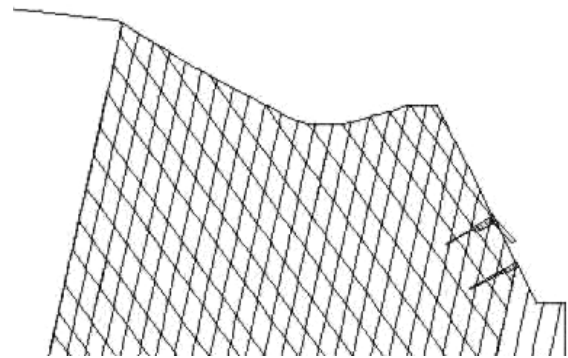


图7 杆体轴力分布

Fig.7 Distribution of axial force of bolts

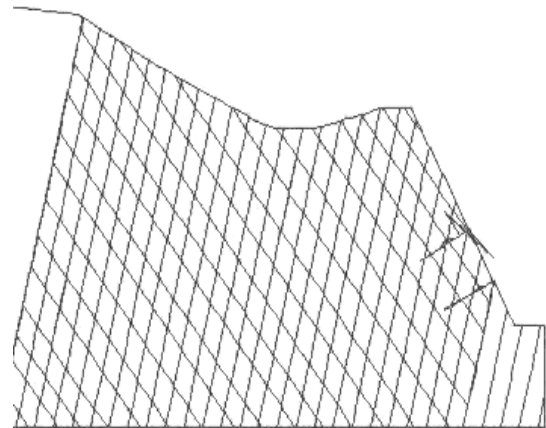


图8 杆体剪力分布

Fig.8 Distribution of shear force of bolts

4 结论

中空注浆锚杆在加固碎裂边坡中具有较大的优点，节省钢材，施工方便，灌浆压力易控制，能有效提高灌浆压力，增加灌浆量，有效增加杆体同围岩黏聚力。

岩体破碎程度越高, 中空注浆锚杆加固效果相对于全长黏结锚杆越明显。中空注浆锚杆在一般破碎区内极限拉拔力和全长黏结锚杆的相差不大, 本试验区在 180 kN 附近, 在严重破碎区, 中空注浆锚杆的极限值(179 kN)大于全长黏结锚杆(153 kN), 中空注浆锚杆和全长黏结锚杆相比, 变形相差不大, 不因杆体中空而加剧杆体的变形量, 其变形性能和一般锚杆性能类似。

根据离散元模拟结果, 在加载端轴力和剪切力最大, 后沿杆体急剧减少, 而不是沿杆体平均分布, 同等条件下, 中空锚杆的力沿杆体衰减更剧烈。

参考文献(References):

- [1] 程良奎. 岩土锚固研究和新进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3 803 - 3 811.(CHENG Liangkui. Research and new progress in ground anchorage[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3 803 - 3 811.(in Chinese))
- [2] 张民庆, 黄鸿健, 苗德海, 等. 宜万线隧道洞口滑塌分析与治理[J]. 铁道工程学报, 2008, 113(2): 54 - 60.(ZHANG Mingqing, HUANG Hongjian, MIAO Dehai, et al. Analyses of the sloughing of tunnel portal of Yichang—Wanzhou railway and its treatment[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 113(2): 54 - 60.(in Chinese))
- [3] 谢小林, 杨贵仲, 陈波. 自钻锚杆在边坡破碎岩体及浅层塌方中的应用[J]. 四川水力发电, 2007, 26(2): 90 - 92.(XIE Xiaolin, YANG Guizhong, CHEN Bo. Application of self-bored bolt in the fractured slope and hallow cave in[J]. Sichun Water Power, 2007, 26(2): 90 - 92.(in Chinese))
- [4] 陈耕野, 刘斌, 万明富, 等. 韩家岭大跨度公路隧道应力监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(增 2): 5 509 - 5 515.(CHEN Gengye, LIU Bin, WAN Mingfu, et al. Analysis of stress monitoring of a large-span highway tunnel in Hanjialing mountain[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(Supp.2): 5 509 - 5 515.(in Chinese))
- [5] 王华. 富溪连拱隧道洞口段堆积体施工技术[J]. 山西建筑, 2008, 34(6): 329 - 330.(WANG Hua. Construction technology of accumulated body at the entrance section of Fuxi continuous arch tunnel[J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(6): 329 - 330.(in Chinese))
- [6] 祝建周. 四角田膨胀岩隧道施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2008, (4): 44 - 46.(ZHU Jianzhou. Engineering technique in the Sijiaotian tunnel[J]. Railway Construction Technology, 2008, (4): 44 - 46.(in Chinese))
- [7] 孙亮. 中空注浆锚杆的应用实践[J]. 铁道建筑, 2005, (5): 45 - 46.(SUN Liang. Practice of application of hollow grouted bolt[J]. Railway Construction, 2005, (5): 45 - 46.(in Chinese))
- [8] 朱晗迓. 破碎岩质边坡锚固技术研究[博士学位论文][D]. 杭州: 浙江大学, 2005.(ZHU Hanya. Research on prestressed anchoring technique in cracked rock slope[Ph. D. Thesis][D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.(in Chinese))
- [9] 马治国. 中空注浆锚杆在隧道工程中的应用[J]. 山西交通科技, 2002, 147(1): 41 - 42.(MA Zhiguo. The application of hollow grouting anchor to tunnel engineering[J]. Shanxi Science and Technology of Communications, 2002, 147(1): 41 - 42.(in Chinese))
- [10] 翟飞飞. 管式注浆锚杆在软弱破碎围岩地下(边坡)工程中的应用[J]. 隧道建设, 2007, (增): 442 - 444.(ZHAI Feifei. Application of grouting tubular anchoring bolts in underground works and slope treatment works in fractured ground[J]. Tunnel Construction, 2007, (Supp.): 442 - 444.(in Chinese))
- [11] 乔国华, 陈红兵, 潘健, 等. 隧道病害整治施工中的锚固与注浆技术[J]. 施工技术, 2007, (增): 199 - 201.(QIAO Guohua, CHEN Hongbing, PAN Jian, et al. Bolt and up-inject technology in tunnel diseases repairing engineering[J]. Construction Technology, 2007, (Supp.): 199 - 201.(in Chinese))
- [12] 罗宗伟, 钟汶均, 马振亮. 中空注浆锚杆在金河电站施工中的应用[J]. 水利水电技术, 2004, 35(增): 49 - 51.(LUO Zongwei, ZHONG Wenjun, MA Zhenliang. Application of hollow grouted anchor bars to Jinhe hydropower station construction[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(Supp.): 49 - 51.(in Chinese))
- [13] 袁正如, 颜海春. 中空锚杆在地下工程抗浮中的应用[J]. 施工技术, 2007, 36(增): 68 - 69.(YUAN Zhengru, YAN Haichun. Application of hollow anchor in underground engineering anti-floating[J]. Construction Technology, 2007, 36(Supp.): 68 - 69.(in Chinese))