

文章编号: 1006- 2106(2010) 01- 0068- 05

齐岳山隧道高压裂隙水注浆堵水技术^{*}

张民庆 黄鸿健^{**}

(铁道部宜万铁路建设指挥部, 湖北 恩施 445000)

摘要: 研究目的: 齐岳山隧道出口平导 PDK 366+ 295~ + 155和正洞 DK 366+ 296~ + 148段为中厚层石英砂岩, 隧道纵方向竖向间隔 3~ 10 m 为 20~ 90 cm 厚的页岩、煤线夹层, 超前探孔单孔涌水量为 10~ 500 m³/h, 水压力为 2. 1~ 3. 2 MPa。针对高压裂隙水, 采用何种注浆液进行注浆施工, 才能达到良好的堵水效果进行研究与分析, 提出可采用的注浆材料和注浆液, 保证隧道的安全开挖。

研究结论: 通过现场平导 9个循环和正洞 5个循环的现场实践, 对高压裂隙水采用普通水泥单液浆、普通水泥- 水玻璃双浆液的注浆堵水措施, 堵水效果很好, 堵水后隧道渗漏量可达到 4. 9 L/m in·m, 当隧道断面不大时(如平导), 可采取周边注浆堵水, 堵水范围为隧道开挖轮廓线外 3~ 5 m; 当隧道断面大时(如正洞), 采取全断面注浆堵水, 堵水范围为隧道开挖轮廓线外 5~ 8 m。

关键词: 高压裂隙水; 注浆; 堵水

中图分类号: U 455. 4 **文献标识码:** A

Technology for Blocking Water by Grouting for High- pressure Cranny Water of Qiyueshan Tunnel

ZHANG Min-qing¹, HUANG Hong-jian¹

(Yichang- Wanzhou Railway Construction Headquarters of the Railway Ministry, Enshi Hubei 445000, China)

Abstract Research purposes The strata of the Qiyueshan tunnel exit at PDK 366+ 295- + 155 and the main tunnel at DK 366+ 296- + 148 are the strata with the medium thickness seam quartz sandstone, and the stratum of vertical interval 3- 10m of the tunnel in longitudinal direction is 20- 90 cm thick shale rock and shed coal interlayer. The water inflow from the one exploration bore is 10- 500 m³/h with the water pressure of 2. 1- 3. 2 MPa. The study and analysis of using which kind of grouting liquid to block the high- pressure cranny water are made for achieving good result of water blocking and the grouting material and liquid are presented for ensuring safe excavation of the tunnel.

Research conclusions The practices of 9 whirligigs to the parallel pilot tunnel and the 5 whirligigs to the main tunnel show the good result of water blocking with the amount of water seeping of 4. 9 L/m per minute is achieved by adopting the single liquid slurry of Portland cement and double liquid slurry of Portland cement and water- glass to block the high pressure cranny water. If the tunnel section is not big (e. g. the parallel pilot tunnel), the surrounding grouting can be adopted for blocking water and the water blocking range covers 3- 5 meters outside of the tunnel. If the tunnel section is big (e. g. the main tunnel), the water blocking range covers 5- 8 m outside of the tunnel.

Key words high- pressure cranny water; grouting; water blocking

* 收稿日期: 2009- 07- 15

** 作者简介: 张民庆, 1970年出生, 男, 教授级高级工程师; 黄鸿健, 1962年出生, 男, 教授级高级工程师。

1 工程概况

宜万铁路齐岳山隧道全长 10 528 km (DK 361+255~ DK 371+783), 隧道最大埋深 670 m。隧道进口标高 1 126 m, 自进口至出口为单面下坡, 坡度依次为 - 13‰ (345 m)、- 15.3‰ (9 300 m)、- 6‰ (883 m)。为保证工期, 设置贯通平行导坑 (隧道左侧 30 m 处) 和斜井各 1 座。

2005 年 8 月 12 日, 齐岳山隧道出口平导开挖到 PDK 366+295 位置, 采用地质钻机进行超前深孔钻探。探测表明, 隧道前方为 T3xj (三叠系上统须家河组) 中厚层石英砂岩, 隧道纵向局部竖向间隔性夹页岩、煤线地层。探测段落 + 290 位置为宽约 50 cm 的页岩、煤线夹层, 探孔涌水量为 90 m³ /h; + 285 位置为宽约 40 cm 的页岩、煤线夹层, 探孔涌水量为 110 m³ /h; + 277 位置为宽约 60 cm 的页岩、煤线夹层, 探孔涌水量为 460 m³ /h 喷射距离约 30 m, 实测水压力 2.8 MPa。探测到瓦斯浓度为 4.9%。随后, 经注浆堵水后平导向前开挖, 按循环进行超前地质钻探, 探测揭示地质为: PDK 366+295~ + 155 段为 T3xj (三叠系上统须家河组) 中厚层石英砂岩, 隧道纵向方向竖向间隔 3~ 10 m 为 20~ 80 cm 厚的页岩、煤线夹层, 地层超前探孔单孔涌水量为 10~ 500 m³ /h, 水压力为 2.6~ 3.2 MPa。正洞施工到相应位置时, 揭示地层与平导相同。

2 注浆设计

针对高压裂隙水, 考虑到水量大、水压力高的特点, 经多次专家会议论证, 采取注浆堵水措施进行高压裂隙水处理。注浆堵水完成后, 按 K1.0 MPa 抗水压衬砌结构进行开挖支护及衬砌。初期支护采用 I18 钢架, 喷射混凝土厚度 25 cm, 衬砌厚度 65 cm。

根据地层为“以中厚层石英砂岩为主, 隧道纵向方向竖向间隔 3~ 10 m 为 20~ 80 cm 厚的页岩、煤线夹层”的地质特点, 注浆设计时, 尽量以完整的石英砂岩作为止浆岩盘, 以减少止浆墙厚度。

2.1 平导钻孔注浆设计

2.1.1 平导第一循环注浆设计

平导第一循环为注浆试验段, 采取周边注浆进行堵水施工, 注浆设计参数如表 1 所示, 注浆设计如图 1 所示。

表 1 注浆设计参数表

参数名称	参数值
止浆墙厚度 /m	1.5
纵向加固长度 /m	7 (PDK 366+295~ + 288)
帷幕厚度 /m	开挖轮廓线外 5 m
浆液扩散半径 /m	2
终孔间距 /m	2.4~ 2.6
注浆孔数量 /个	33

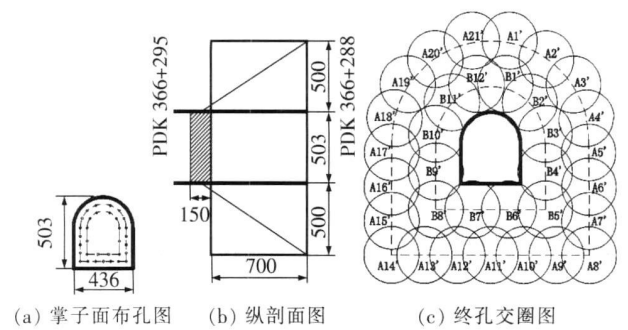


图 1 平导第一循环注浆设计图 (单位: cm)

2.1.2 平导第二循环注浆设计

平导第一循环钻孔注浆试验段完成, 经注浆效果检查评定后进行开挖施工, 开挖过程表明注浆堵水效果很好, 因此, 在平导第二循环注浆设计时, 将纵向堵水段落长度调整为 11.5 m, 以提高钻孔注浆利用率。

2.1.3 平导第三循环注浆设计

在平导第三循环注浆设计时, 又根据第一、第二循环注浆成果, 将纵向注浆堵水段落长度调整为 17 m, 进一步提高钻孔注浆利用率。注浆设计时, 在纵向 10.5 m 处设计补孔断面。

2.1.4 平导第四循环注浆设计

在平导第四循环注浆设计时, 又根据前 3 个循环的注浆成果, 将纵向注浆堵水段落长度进一步加大, 调整为 20 m, 从而进一步提高钻孔注浆利用率。注浆设计时, 在纵向 14 m 处设计补孔断面。

2.1.5 平导第五循环注浆设计

在平导第五循环注浆设计时, 进一步完善注浆设计, 将注浆堵水范围由开挖轮廓线外 5 m 调整到 3.8 m, 从而减少注浆孔数, 注浆设计如图 2 所示。

2.1.6 平导第七~九循环注浆设计

通过试验研究, 不断优化注浆设计, 形成注浆堵水范围可靠, 纵向段落长度利用率高, 注浆孔数合理的注浆设计——第五循环注浆设计。在平导随后第七~九循环注浆设计中均采用第五循环注浆设计, 注浆设计参数如表 3 所示。

2.2 正洞钻孔注浆设计

在平导试验的基础上, 形成正洞钻孔注浆设计。同时, 考虑到正洞断面大, 施工风险高, 因此, 采取全断

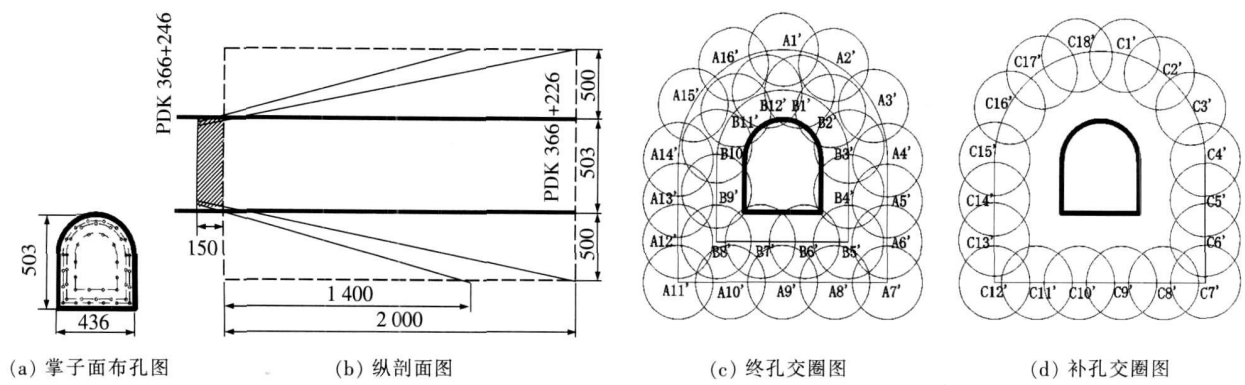


图 2 平导第五循环注浆设计图 (单位: cm)

面帷幕注浆设计,注浆设计参数如表 2所示,注浆设计如图 3所示。

表 2 平导与正洞注浆设计参数表

参数名称	参数值	
	平导	正洞
止浆墙厚度 /m	1.5	0.5~4 m(若掌子面围岩完整、强度高时采用喷射混凝土封闭,厚度0.5 m;否则施作止浆墙,厚度2~4 m)
纵向加固长度 /m	20	30
帷幕厚度 /m	开挖轮廓线外3.8 m	开挖轮廓线外6.88 m
浆液扩散半径 /m	2	2
终孔间距 /m	2.4~3.2	2.2~2.6
注浆孔数量 /个	46	141

3 注浆材料

注浆材料采用普通水泥单液浆、普通水泥-水玻璃双液浆,浆液配比参数如表 3所示。

表 3 注浆材料配比参数表

注浆材料名称	配比参数		
	水灰比	水泥、水玻璃体积比	水玻璃浓度 /Be'
普通水泥单液浆	0.6:1~0.8:1	-	-
普通水泥-水玻璃双液浆	0.6:1~0.8:1	1:1	30~35

4 设备配套

钻孔注浆设备配套如表 4所示。

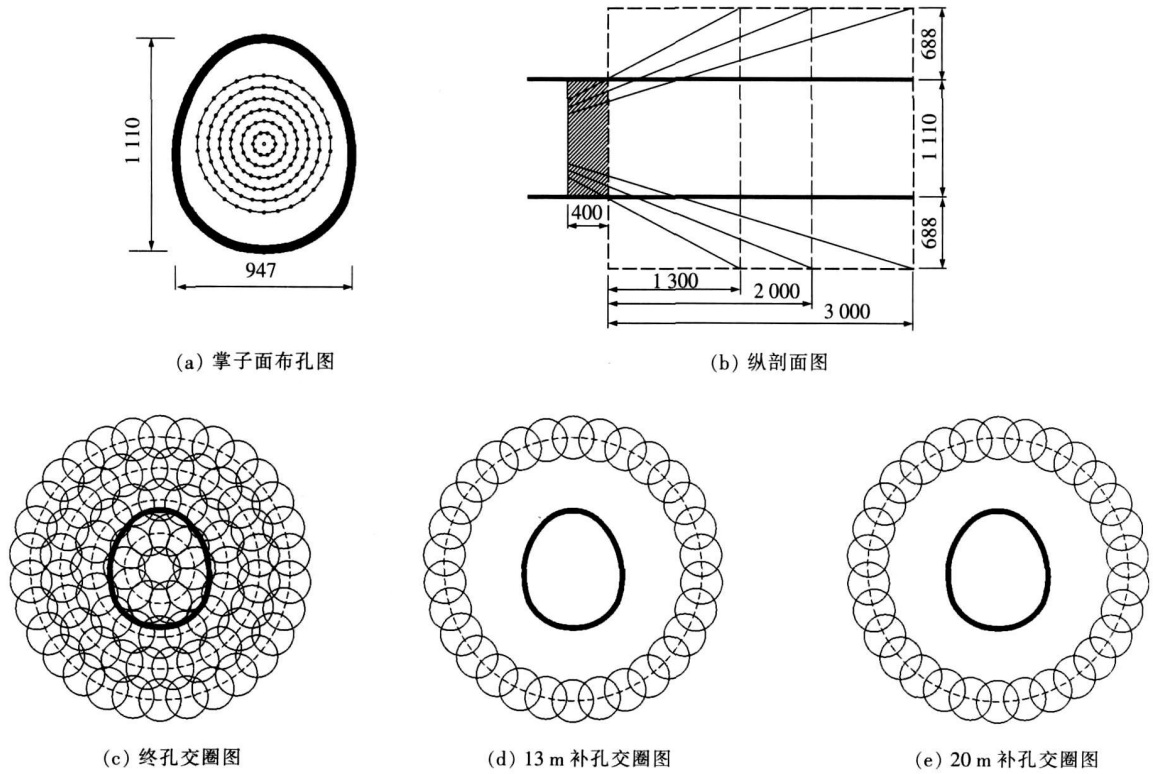


表 4 钻孔注浆设备配套表

机械设备名称	型号	数量 /台	备注
钻机	MGJ- 50地质钻机	4	
注浆泵	BW - 150单液泵	3	
	KBY - 80/120双液泵	2	
搅拌机	自制	3	制浆 2台、 储浆 1台

5 注浆施工

5.1 注浆参数

注浆参数如表 5 所示。

表 5 注浆参数表

参数名称	参数值
注浆终压 /MPa	6~ 7(取水压力的 2~ 3倍)
注浆分段长度 /m	(1) 遇到高压裂隙水, 水量大于 30 m ³ /h 时立即注浆; (2) 水量小于 30 m ³ /h 时, 注浆分段长度取 5 m
注浆速度 /(L· m min ⁻¹)	5~ 100

5.2 注浆顺序

钻孔注浆顺序按由外向内, 同一圈孔采取间隔跳

孔施工。

5.3 钻孔注浆施工

钻孔注浆施工前必须安设孔口管, 以防止发生突水。注浆施工时, 严格按制定的注浆顺序和注浆参数进行, 注浆原则上采取定压原则进行。

5.4 注浆结束标准

单孔注浆结束标准: 注浆达到设计终压时, 注浆速度小于 5 L /m in。

全段注浆结束标准:

(1) 所有注浆孔均符合单孔结束标准, 无漏注现象;

(2) 检查孔涌水量小于 0.2 L /m in· m;

(3) 检查孔取芯, 裂隙浆液填充饱满。

5.5 现场钻孔注浆实施

平导共进行 9 个钻孔注浆循环, 钻孔注浆实施循环如图 4 所示, 现场钻孔注浆统计结果如表 6 所示。正洞共进行 5 个钻孔注浆循环 (其中第 5 个钻孔注浆循环为平导通过横通道拐入正洞后与第 4 个钻孔注浆循环形成对接), 正洞钻孔注浆实施循环如图 5 所示, 现场钻孔注浆统计结果如表 7 所示。

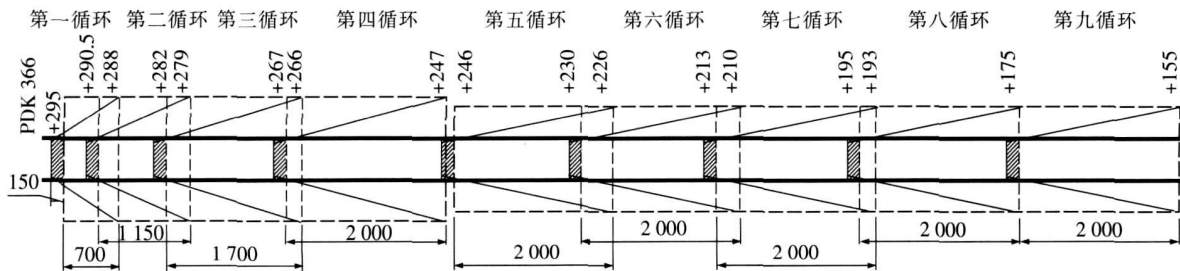


图 4 齐岳山隧道出口平导高压裂隙水段钻孔注浆循环图 (单位: m)

表 6 齐岳山隧道出口平导高压裂隙水注浆堵水统计表

循环	钻孔注浆段落		钻孔数量 /个				钻孔注浆时间	
	里程段	长度 /m	A 圈	B 圈	C 圈 (补孔)	合计	日期	时间 /d
第一循环	PDK 366+ 295~ + 288	7	21	12	-	33	2005- 08- 23- 09- 26	33
第二循环	PDK 366+ 290.5~ + 279	11.5	21	12	-	33	2005- 10- 01- 10- 17	17
第三循环	PDK 366+ 282~ + 265	17	18	14	18	50	2005- 10- 22- 11- 17	27
第四循环	PDK 366+ 267~ + 247	20	18	14	18	50	2005- 12- 10- 12- 25	16
第五循环	PDK 366+ 246~ + 226	20	16	12	18	46	2006- 01- 03- 01- 18	16
第六循环	PDK 366+ 230~ + 210	20	16	12	18	46	2006- 01- 21- 02- 11	22
第七循环	PDK 366+ 213~ + 193	20	16	12	18	46	2006- 02- 18- 03- 02	13
第八循环	PDK 366+ 195~ + 175	20	16	12	18	46	2006- 03- 08- 03- 23	16
第九循环	PDK 366+ 175~ + 155	20	16	12	18	46	2006- 04- 01- 04- 13	13

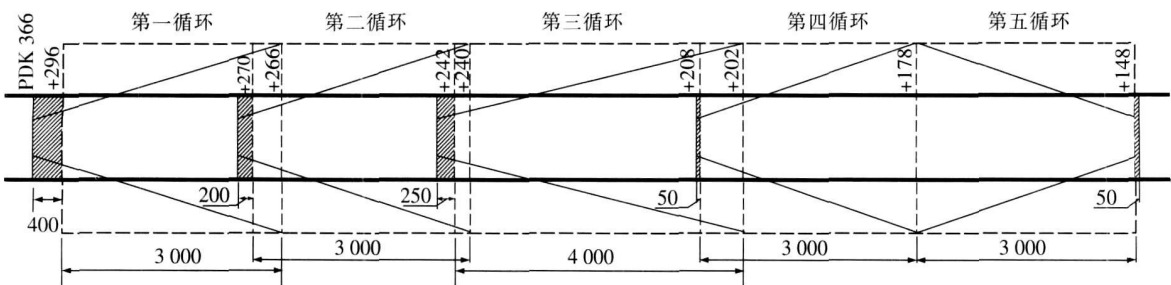


图 5 齐岳山隧道出口正洞高压裂隙水段钻孔注浆循环图 (单位: cm)

表 7 齐岳山隧道出口正洞高压裂隙水注浆堵水统计表

循环	钻孔注浆段落		钻孔数量 /个	钻孔注浆时间	
	里程段	长度 /m		日期	时间 /d
第一循环	DK 366+ 296~ + 266	30	141	2006- 01- 05- 03- 04	59
第二循环	DK 366+ 270~ + 240	30	141	2006- 06- 06- 07- 07	31
第三循环	DK 366+ 242~ + 202	40	141	2006- 07- 26- 08- 27	32
第四循环	DK 366+ 208~ + 178	30	141	2006- 09- 11- 09- 30	20
第五循环	DK 366+ 148~ + 178	30	141	2006- 09- 11- 10- 05	25

5 6 注浆效果检查与评定

每循环注浆结束后进行注浆效果检查, 检查主要采用检查孔法, 要求检查孔单孔涌水量达到 $0.2\text{ L/m in}\cdot\text{m}$ 。
注浆前后现场施工照片如图 6 和图 7 所示。由注浆后开挖照片来看, 浆液有效地填充了裂隙, 达到了良好的注浆堵水效果, 保证了开挖安全和工程质量。该段注浆结束后, 段落涌水量为 $85\text{ m}^3/\text{h}$ 折合平导 (140 m)、正洞 (148 m) 延米涌水量为 $4.9\text{ L/m in}\cdot\text{m}$ 。

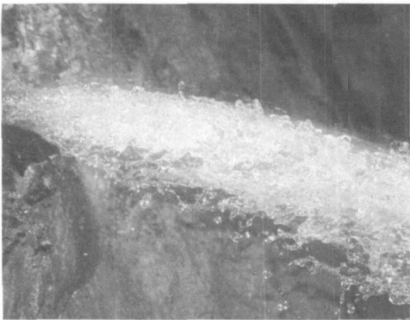


图 6 注浆前探孔出水照片



图 7 注浆堵水后开挖照片

6 结论

- (1) 通过齐岳山隧道平导 9 个循环和正洞 5 个循环的现场实践, 针对砂岩地层高压裂隙水, 采用普通水泥浆、普通水泥 - 水玻璃双液浆作为注浆材料进行超前预注浆堵水后, 隧道延米渗漏水量可以达到 $4.9\text{ L/m in}\cdot\text{m}$, 注浆堵水效果好。
- (2) 当隧道开挖断面不大时 (如平导), 可采取周边注浆堵水, 注浆堵水范围为隧道开挖轮廓线外 3~ 5 m。对于正洞大断面, 采取全断面注浆堵水, 注浆堵水范围为隧道开挖轮廓线外 5~ 8 m。

参考文献:

[1] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册 [K]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
Editorial Committee of Engineering Geological Handbook Engineering Geological Handbook [K]. The Third Edition Beijing China Building Industry Press 2004

[2] 张民庆, 彭峰. 地下工程注浆技术 [M]. 北京: 地质出版社, 2008
Zhang M inqing Peng Feng Underground Engineering Grouting Technology [M]. Beijing Geological Industry Press 2008

[3] 张民庆, 孙国庆, 彭峰. 圆梁山隧道高压富水区径向注浆技术研究及应用 [J]. 隧道建设, 2004 (5): 21- 27.
Zhang M inqing Sun Guoqing Peng Feng Research and Application of Radial Grouting Technology in High Pressure Water Zone Within Yuanliangshan Tunnel [J]. Tunnel technology 2004 (5): 21- 27.

- 公司, 2005
- Shanghai Shentong Metro Group Co Ltd General Report on Network System Integration of Shanghai Urban Mass Transit[R]. Shanghai Shanghai Shentong Metro Group Co Ltd, 2005
- [2] 中铁二院工程集团有限责任公司. 重庆市利用铁路资源开行城市列车方案研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2007
- China Railway Eryuan Engineering Group Co Ltd. The Research on the Urban Train Plan Using Railway Resources in Chongqing[R]. Chengdu China Railway Eryuan Engineering Group Co Ltd, 2007.
- [3] 李犁峰. 国有铁路参与城市轨道交通运营的研究与规划[R]. 成都: 西南交通大学, 2003
- Li Lifeng The Studying and Planning on Operation of National Rail Participating in Urban Mass Traffic[M]. Chengdu Southwest Jiaotong University, 2003
- [4] 周厚文. 珠三角区域城际轨道交通线网规划方案研究[J]. 铁道工程学报, 2009(8): 96–100
- Zhou Houwen Research on the Intercity Rail Transit Network Plan for Pearl River Delta Region[J]. Journal of Railway Engineering Society 2009(8): 96–100
- [5] 卢桂英, 薛波, 牛淑霞. 北京机场线直线电机车辆基地设计创新与应用[J]. 铁道工程学报, 2008(11): 77–81
- Lu Guiying Xue Bo Niu Shuxia Design Innovation and Application of Linear Motor Vehicles Depot in Airport Express Line of Beijing[J]. Journal of Railway Engineering Society 2008(11): 77–81
- [6] 负虎. 城市轨道交通车辆选型及车辆段设计中值得注意的几个问题[J]. 铁道标准设计, 2004(1): 93–94
- Yun Hu Several Issues Worth Noting on Urban Rail Vehicle Selection and Depot Design[J]. Railway Standard Design 2004(1): 93–94
- [7] 尚漾波, 叶霞飞. 城市轨道交通车辆段规模影响因素分析[J]. 中国科技论文在线, 2008(10): 731–736
- Shang Yangbo Ye Xiafei Analysis on the Influence Factors of Depot's Scale in Urban Mass Transit System[J]. Sciencepaper Online 2008(10): 731–736
- [8] 朱捷. 节约城市轨道交通车辆基地投资及用地的探讨[J]. 铁道标准设计, 2003(9): 67–69
- Zhu Jie Saving the Cost for Car Base and Land Use of Urban Rail Transit[J]. Railway Standard Design 2003(9): 67–69
- [9] 叶霞飞, 李君, 霍建平. 国内外城市轨道交通车辆段对比研究[J]. 城市轨道交通研究, 2003(1): 72–77
- Ye Xiafei Li Jun Huo Jianping A Comparison of Car Depots in Chinese & Foreign Cities[J]. Urban Mass Transit 2003(1): 72–77
- [10] 马沂文. 对地铁车辆段用地情况的分析[J]. 都市轨道交通, 2004(1): 42–47
- Ma Yiwen Analysis on the Land Use of Metro Depot[J]. Urban Rapid Rail Transit 2004(1): 42–47

(上接第 72 页)

- [4] 张民庆, 黄鸿健, 殷怀连, 等. 齐岳山隧道富水溶槽注浆堵水技术[J]. 现代隧道技术, 2006(3): 47–50
- Zhang Minqing Huang Jian, Yin Huailian, etc Grouting to stop the Water Ingress from a Water-contained Karst Depression in Qiyueshan Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology 2006(3): 47–50
- [5] 田四明, 张民庆, 黄鸿健, 等. 齐岳山隧道进口背斜地段岩溶发育特征分析与治理[J]. 现代隧道技术, 2006(4): 27–33
- Tian Siming Zhang Minqing Huang Hongjian, etc Qualitative Analysis and Countermeasures for the Karst Developing Anticline Section on the Entrance of Qiyueshan Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2006(4): 27–33
- [6] 李鸣冲, 张民庆, 黎代仁. 宜万铁路高坪 1^号隧道岩溶发育特征分析与治理[J]. 隧道建设, 2006(3): 68–72
- Li Mingchong Zhang Minqing Li Dairen Qualitative Analysis and Countermeasures for the Karst Developing Anticline Section of the Gaoping No. 1 Tunnel Entrance on Yichang–Wanzhou Railway Line[J]. Tunnel Technology 2006(3): 68–72
- [7] 张民庆. 圆梁山隧道深埋充填粉质粘性土溶洞注浆加固技术[J]. 铁道工程学报, 2004(1): 99–104
- Zhang Minqing Strengthening Technique by Grouting with Filling Silty Clay for Deep Burying Karst Cave in Yuanliang Mountain Tunnel[J]. Journal of Railway Engineering Society 2004(1): 99–104
- [8] 段贵安, 张勇. 华蓥山隧道涌突水、涌泥、涌砂原因分析与综合整治措施[J]. 铁道建筑技术, 2001(1): 36–39
- Duan Guian Zhang Yong Colligate Punish Measure to the Breakout Water and Effuse Mud and Effuse Sand in Huayinshan Tunnel[J]. Railway Construction Technology, 2001(1): 36–39