

文章编号: 1006—2106(2010)07—0055—05

狮子洋隧道下穿珠江大堤注浆加固技术研究

彭 峰¹ 刘广均^{2*}

(1. 北京中铁瑞威基础工程有限公司, 北京 100055; 2. 中铁十二局集团有限公司, 太原 030024)

摘要: 研究目的: 新建铁路广深港客运专线狮子洋隧道下穿珠江主航道, 在隧道进口方向穿越珠江大堤下方的不均匀地层时, 地面发生大面积塌陷, 危及珠江大堤安全, 同时盾构机被困, 不能正常掘进。为解决此难题, 针对该工程的最佳地层加固方案和实验采用 50 m 以上深孔袖阀管注浆工艺进行研究, 提出可行办法和措施, 保证施工的顺利进行。

研究结果: 通过研究提出的地层加固方案和深孔袖阀管注浆工艺, 解决了深孔袖阀管注浆的“卡、掉芯管”问题; 解决了在盾构机前方注浆施工可能发生的“包裹、固结”盾构机的问题。通过注浆改良地层, 保证了盾构机施工的正常。

关键词: 狮子洋隧道; 袖阀管注浆; 破碎地层; 地层加固

中图分类号: U455.4 **文献标识码:** A

Research on Sleeve— valve— pipe Grouting Technology for Reinforcing the Pearl River Dam Underpassed by Shiziyang Tunnel

PENG Feng, LIU Guang— jun

(1. Beijing Zhongtie Railway Soil Engineering Co. Ltd. Beijing 100055, China; 2. China Railway 12 th Construction Bureau Co. Ltd. Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract Research purposes: The Shiziyang tunnel of Guangzhou— Shenzhen— Hong Kong High— speed Railway underpasses through the main channel of the Pearl River. When TBM tunnelled in the uneven stratum near the Pearl River dam in the direction of the tunnel portal, the ground collapse occurred in large scale, endangering the safety of the Pearl River dam. At the same time, TBM could not move. To resolve this problem, the research was done on choosing the optimal construction scheme and using above 50 m deep long sleeve— valve— pipe to reinforce the stratum. The feasible methods and measures were offered for guaranteeing the construction conducted smoothly.

Research conclusions: The stratum reinforcement scheme and the sleeve— valve— pipe technology presented in this research could solve the problem that the core of the deep sleeve— valve— pipe was stuck or fallen when grouting and the problem that the TBM was probably packaged when grouting in front of TBM. With improving the stratum by grouting, TBM could work normally.

Key words: Shiziyang tunnel; sleeve— valve— pipe grouting; the broken stratum; stratum reinforcement

在地下工程施工过程中经常遇到软弱地层, 目前国内铁路工程普遍采用的施工方法是注浆加固改良地层。但注浆施工工艺众多, 各注浆工艺适用的地层、施作成本、效果等不尽相同, 如果注浆施工工艺和方法选

择得当, 则能以较小的成本达到预期的加固效果。作者全程参与了狮子洋隧道下穿珠江大堤软弱地层注浆加固技术的方案讨论和施工, 研究了在国内 50 m 以上深孔袖阀管注浆工艺的实施技术。通过对该工程的研

* 收稿日期: 2010—04—02

** 作者简介: 彭峰, 1982 年出生, 男, 工程师; 刘广均, 1970 年出生, 男, 高级工程师。

究与分析,选择合适的注浆工艺可节约投资和保证工程质量。

1 工程概况

新建广深港铁路客运专线广州至深圳段位于广东省中南部,是内地联接香港的快速通道,线路长度约 105 km,设计速度 350 km/h。狮子洋隧道工程为全线控制性工程,全长 10 800 m,其中盾构段长 9 277 m。隧道在番禺区东涌镇入地下,以直线先后下穿小虎沥水道、小虎岛、沙仔沥水道、沙仔岛、珠江狮子洋出海主航道、虎门港沙田港区,再以 7 000 m 的曲线半径左转下穿沿江高速公路后,在东莞市沙田镇出洞。

盾构段采用 4 台泥水平衡式盾构施工。隧道施工方案为:2 个工作井、4 台盾构机江中对接。隧道段内径 9.80 m,外径 10.80 m,采用“7+1”分块式的通用楔形环钢筋混凝土单层管片衬砌。是我国目前在建的第一座穿越大江、大河铁路隧道,也是迄今为止我国修建的标准最高的铁路穿江隧道。

该标段工程具有规模大、工期紧、设计标准高、涉及工法多、水压大、盾构掘进距离长等施工特点。同时,还存在地质复杂且不均匀,不利于盾构掘进等工程难点。

2 工程遇到的困难

2.1 问题的出现

2009 年 10 月狮子洋隧道进口掘进至珠江大堤堤脚时(DK36+450 左右),在珠江大堤下方遇到宽度为 100 m 以上的强风化碎裂带地层(DK36+450~590)。2009 年 10 月底右线盾构机在试图穿越该段地层时,珠江大堤的堤脚处的水塘出现巨大的陷坑群塌落,最大陷坑直径达到 20 m,深度达到 10 m,2 台盾构机先后被困,无法正常向前掘进,如图 1 所示。

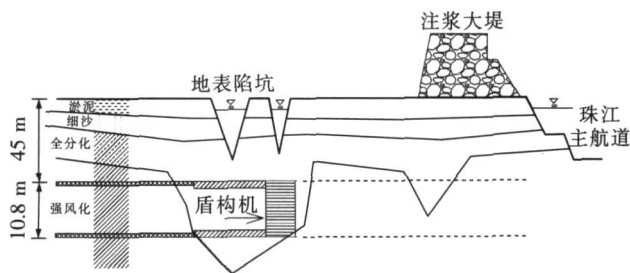


图 1 地表陷坑形成位置示意图

2.2 原因分析

依据地质详勘显示,揭露的不均匀岩层单轴极限抗压强度,最低的仅为 1.23 MPa,最大的达到了 61.9 MPa,差异很大,属于典型的“上软下硬、上破碎下完整”的

复合地层。

盾构机在不均匀地层掘进过程中,隧道下部的硬质地层掘进速度较慢,隧道上方强风化软弱地层崩解较快,崩解后的土体被循环泥浆运出隧道,隧道拱顶坍塌逐渐发展,最后形成地表陷坑。另外,崩解的块石极易堵塞泥水仓的出浆口,导致反复需要开仓排石,泥水平衡模式无法长期建立,也是导致隧道超挖、地表塌陷的另外一个主要原因。

3 施工方案研究

要保证安全施工必须对隧道前方的破碎地层进行预加固,重点对“地表高压旋喷加固地层方案”和“地表深孔袖阀管注浆加固地层方案”进行了深入的研究。“地表高压旋喷加固地层方案”存在的主要问题如下:

(1) 隧道前方地层为全风化花岗岩,虽然极易产生块状崩解,但单个块体强度依然很高,旋喷注浆工艺不易喷开块石,很难达到预计的加固效果;

(2) 旋喷的设计深度需要达到 52 m,施工时大量的浆液可能返至地表 30 m 以上的淤泥质地层,浪费大量浆液,成本高;

(3) 旋喷施工压力较大,浆液的扩散范围不易控制,存在浆液可能因不规则扩散而包裹固结盾构机。

采用“地表深孔袖阀管注浆加固地层方案”的优点是:

(1) 袖阀管注浆工艺为静压力注浆,浆液低速缓慢运行,能有效填充岩层裂隙,固结裂隙发育的岩体;

(2) 在靠近盾构机的注浆孔注入低强度浆液(如:聚氨酯类),离盾构机稍远的注浆孔采用水泥类浆液,因低强度浆液的隔离作用,避免水泥浆液固结盾构机事故的发生;

(3) 采用袖阀管注浆工艺施工时浆液不易上返,能实现控域注浆,浆液不会因大范围超出扩散范围而浪费,节约成本。

存在的问题是,54 m 深的袖阀管注浆施工在铁路工程中尚未见到相关施工经验,需要注浆施工单位有一定的科研攻关能力。

综上所述,确定采用“地表深孔袖阀管注浆加固地层方案”,并由专业注浆队伍进行技术攻关和施工。

4 深孔袖阀管预注浆施工方案及实施

4.1 注浆加固范围的确定

根据地质剖面图显示的破碎地层的段落分布及深浅范围,确定地表袖阀管注浆加固范围如图 2、图 3 所示。I 区加固范围主要加固隧道左线,因隧道右线已

掘进通过, 地表采用回填的方法处理, 不再进行注浆加固, 但左线通过对右线的扰动作用肯定存在, 故 I 区采用的注浆范围为全断面注浆加固。II 区为没有扰动过的原状地层, 加之破碎带侵入地层也相对较浅, 故设计仅在隧道顶部注浆加固, 实现针对性注浆, 以节约施工成本。

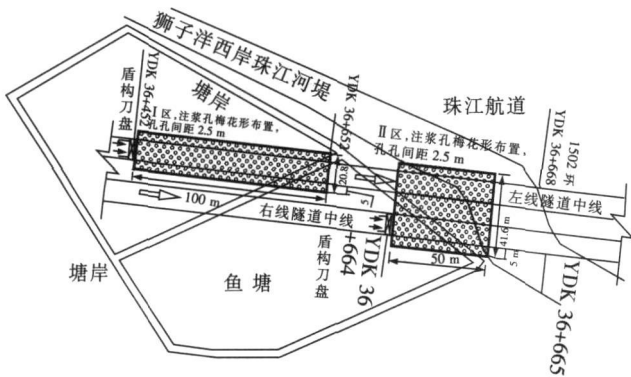
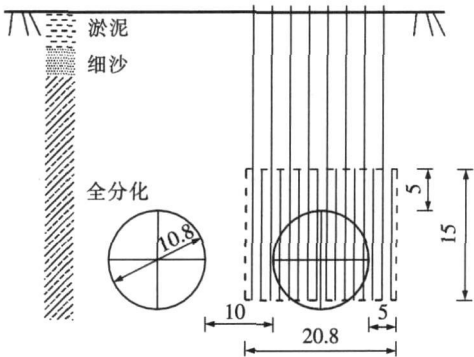
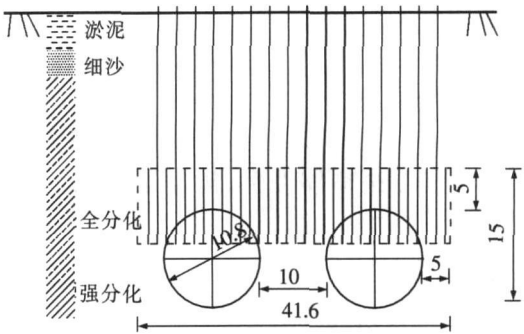


图 2 注浆加固范围平面图



(a) I 区注浆范围剖面图



(b) II 区注浆范围剖面图

图 3 注浆加固范围断面图 (单位: m)

4 2 施工工艺

4 2 1 钻孔工艺

从地表向下, 注浆穿越多种地层, 钻孔施工工艺如何保证最深 54 m 的注浆孔不塌孔、不偏移, 袖阀管能依据设计要求下入是本工程的主要难点之一。为解决此项钻孔困难, 施工中采用多功能地质钻机, 钻机能实现跟管钻进的套管施工工艺, 钻杆为双层, 钻杆偏移的可能性大大降低, 钻孔的终孔偏移能控制在 20 mm 之内。钻机成孔后, 将内钻杆推出, 保留外套管, 袖阀管沿外套管内下入, 然后再拔出外套管, 完成注浆孔钻孔工艺的施作 (表 1)。

4 2 2 袖阀管注浆工艺

4 2 2 1 本次注浆加固工程另一个难点是对盾构机的保护, 防止注入的浆液渗入或串入盾构机。现场注浆过程中采取的保护措施是: 保持盾构机带压运转, 防止串入浆液凝结包裹刀盘; 开始注浆时, 给盾构机前方

表 1 套管钻孔施工工艺钻具规格配套表

名称	钻孔间距 /m	套管外径 /mm	套管内直径 /mm	内钻杆直径 /mm	袖阀管外径 /mm	袖阀管内直径 /mm
尺寸	2.5	133	117	76	50	40

注入聚氨酯, 将盾构机包裹起来, 填充盾壳与地层之间的空隙, 保证浆液不进入这个空隙而将盾壳与地层固结; 在靠近盾构机刀盘较近的 4 排注浆孔注入强度较低的改性水玻璃浆液, 填充盾构刀盘前方的孔隙, 隔断其它注浆孔与盾构刀盘之间可能存在的浆液串通联系。

4 2 2 2 采用袖阀管注浆工艺, 该工艺需要克服的主要难点是袖阀管的内芯管下入的深度达到 54 m。为攻克此项技术难题, 采用了“气囊式止浆塞”, 气囊式止浆塞的特点是通过水压膨胀气囊达到止浆的目的。当水压泻去之后, 气囊变小, 减去了止浆塞与袖阀管之间的摩擦力, 不会出现卡芯管、丢止浆塞的情况。但止浆塞操作相对复杂, 必须按工艺流程谨慎细致的操作。本工程共采用 10 套气囊式注浆塞施工, 没有出现卡芯

管、丢止浆塞的情况, 顺利的完成了施工任务。

4 2 3 注浆参数

注浆参数如表 2 所示。

表 2 注浆参数表

参数名称	设定参数
扩散半径	3~4 m
注浆终压	2~3 MPa
注浆速度	10~100 L/min
水囊塞压力	1.5 MPa
袖阀管后退式分段注浆长度	100 cm
水泥—水玻璃双液浆配比	W : C=0.6 : 1~0.8 : 1 (重量比)
	C : S=1 : 1 (体积比)
普通水泥单液浆配比	W : C=1.2 : 1
该性水玻璃配比 (重量比)	水玻璃 : 碱性外加剂 = 100 : 4
套壳料配比 (重量比)	水泥 : 膨润土 : 水 = 2 : 1 : 3

5 注浆加固效果检查

5.1 效果检查方法

采用“渗透系数法”作为评价注浆效果的最终检验方法。该方法整体性强,对注浆效果的评价比较准确。

5.2 效果检查

5.2.1 选取注浆孔孔数的 3%作为检查孔,共设注浆检查孔 20根,设在孔与孔之间的注浆薄弱环节,分别为 1~20 其中 1~10为第Ⅰ区的检查孔,10~20为第Ⅱ区的检查孔。

5.2.2 2009年 11月 26日,对注浆效果注水实验进行了检查,对注水量、时间、压力等参数进行了现场采集。注水时间采集使用工具为普通秒表,记录从注水开始到注水结束的时间。对现场储水容器量测,算出注浆前后水量的变化,得出精确的注浆量。测得储水桶的容积内径为 70 mm液面每下降 1 mm水量减少为 $3.14 \times 0.352 \times 0.01 \times 1\,000 = 3.8$ L注水压力:注水压力设定为 2 MPa

5.3 效果评定计算及结论

采用注水试验和根据现场注浆状况,根据式(1)计算注浆前后地层的渗透能力。

$$K=0.527 \cdot \omega \cdot \frac{\lg \frac{1.32}{\gamma}}{\gamma}$$
$$\omega = \frac{\bar{V}}{L \cdot \bar{P}}$$

式中 K——渗透系数;
ω——地层单位吸水量;
L——注浆段长度(m);
γ——注浆孔半径(m);
V——注水(浆)时稳定流量(L/min);
P——注浆压力。

5.3.1 注浆前,根据注浆时统计的平均初始数值,注浆泵的起始流量为 60 L/min起始压力为 0.3 MPa分段注浆长度为 1 m 故取平均值 $\bar{V}=60$ L/min $L=1$ m $\bar{P}=30$ mH₂O $\gamma=0.02$ m(内径为 φ40 mm)。计算得注浆前浆液在地层的渗透系数 $K_{前}=2.56$ m/d= 2.96×10^{-3} cm/s

5.3.2 注浆后的注浆实验数值如表 3所示。

表 3 注水实验数据表

检查值	参数	持续时间 /min	消耗水的体积 /L	稳定流量 /(L·min ⁻¹)	注浆段长 /m	注浆孔半径 /m	注浆压力 /m(H ₂ O)	单位吸水量 ω /L/(min·m·m)
I 区检查孔平均值		10	19	1.9	10	0.02	200	0.00095
II 区检查孔平均值		10	13.5	1.35	5	0.02	200	0.00135
平均地层单位吸水量 ω [L/(min·m·m)]						0.00115		

计算得出注浆后地层平均渗透系数为:
 $K_2=0.0016$ m/d= 1.85×10^{-6} cm/s

6 结论

(1)在盾构机经过的线路上施作 50 m深孔袖阀管注浆在铁路工程中尚属首次,通过攻关和实施,解决了深孔袖阀管注浆的“卡、掉芯管”问题,保证了注浆芯管下到预定深度;采用袖阀管注浆工艺,做到浆液扩散范围可控,选用不同的浆液,可消除在盾构机前方注浆施工可能发生的“包裹、固结”盾构机的隐患。

(2)注浆前后,地层平均渗透系数分别为 2.96×10^{-3} cm/s 和 1.85×10^{-6} cm/s通过注浆改良地层,使地层的渗透量下降了 3个数量级,改良效果明显,地层的降透率达到了 99%以上。

(3)注浆前地层渗透系数为 2.96×10^{-3} cm/s渗透能力较强,因而在这种地层中注浆,注浆机理是扩散和剪切渗透相结合。施工中采用普通水泥~水玻璃双液浆,普通水泥单液浆为主要注浆材料是适合的。

(4)目前 2台盾构机已顺利穿越了珠江大堤,大堤没有发现开裂、下沉等问题,并且盾构机在掘进通过注浆加固体时,推进平稳,没有再出现频繁堵管问题,专项方案效果明显,为以后类似工程提供了借鉴。

参考文献:

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

[2] 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

[3] 张民庆,黄鸿健,齐岳山.隧道高压裂隙水注浆堵水技术[J].铁道工程学报,2010(1):71-72

- Zhang Mingqiang Huang Hongjian Technology for Blocking Water by Grouting for High Pressure Granny Water of Qiyueshan Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society 2010 (1): 71—72
- [4] 阳芳. 狮子洋隧道明挖敞开结构抗浮设计 [J]. 铁道工程学报, 2009(10): 66—67.
Yang Fang Design of the Open Structure of Shiziyang Tunnel for Float—resistance [J]. Journal of Railway Engineering Society 2009 (10): 66—67
- [5] 赵香萍. 狮子洋隧道泥水盾构始发的风险控制 [J]. 铁道工程学报, 2009(1): 169—170.
Zhao Xiangping Risk Control on the Slurry Shield Initiation of Shiziyang Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society 2009 (1): 169—170
- [6] 付新喜. 广深港客运专线狮子洋隧道水文地质特征研究 [J]. 资源环境与工程, 2007(2): 70—73.
Fu Xinxi Hydrogeological Feature of the Shiziyang Tunnel of Guangzhou—Shenzhen—Hongkong Passenger Dedicated Railway [J]. Resources Environment & Engineering 2007 (2): 70—73
- [7] 张民庆, 张文强, 姜才荣. 袖阀管注浆工法的改进与应用 [J]. 施工技术, 2003(9): 4—6
- Zhang Mingqiang Zhang Wenqiang Jiang Cairong Improvement and Application of the Sleeve—valve—Pipe Grouting Construction Method [J]. Construction Technology 2003 (9): 4—6
- [8] 袁辉. 袖阀管注浆加固深层土技术 [J]. 市政技术, 2005 (6): 65—67.
Yuan Hui Injection Grouting Technique for Deep—level Soil Stabilization by Sleeve Valve [J]. Municipal Engineering Technology 2005 (6): 65—67
- [9] 应金星. 袖阀管注浆加固设计与施工工艺研究 [J]. 吉林水利, 2009(7): 26—29.
Ying Jinxing The Design of Sleeve Valve Pipe Grouting Reinforced and Research of Construction Technique [J]. Jilin Water Resources 2009 (7): 26—29
- [10] 孙春华. 袖阀管注浆工艺在软基处理中的应用 [J]. 广东公路交通, 2009(3): 29—30.
Sun Chunhua Application of Sleeve—valve Pipe Grouting Technology on Soft Soil Foundation Treatment [J]. Guangdong Highway Communications 2009 (3): 29—30

(上接第 54 页)

- [6] Tommy H T Chan L Guo Z X Li Finite element modeling for fatigue stress analysis of large suspension bridges [J]. Journal of Sound and Vibration 2003 (261): 443—464
- [7] 殷爱国. 含局部焊接细节的桥梁钢桁架结构静动力响应实验研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006
Yin Aiguo Experimental Research on Static and Dynamic Responses of Bridge Longitudinal Truss with Typical Welded Details [D]. Nanjing College of Civil Engineering Southeast University 2006
- [8] 殷爱国, 刘明辉, 黄跃平. 数控拟动力系统在多尺度模型试验中的应用 [J]. 2007(1): 129—131
Yin Aiguo Liu Minghui Huang Yueping Application of DC Pseudo—dynamic System in Multi—scale Modeling [J]. 2007 (1): 129—131
- [9] 李兆霞, 郭力, 徐玉兵. 桥梁焊接构件疲劳损伤测试与分析 [J]. 东南大学学报, 2005(3): 415—420
Li Zhaoxia Guo Li Xu Yubing etc Measurement and Analysis on Fatigue Damage of Bridge Welded Component [J]. Journal of Southeast University 2005 (3): 415—420
- [10] 余洋, 殷爱国, 钱方, 李兆霞, 等. 含局部焊接细节的钢桁架结构静动力响应实验研究 [J]. 实验力学, 2008(5): 377—386
Yu Yang Yin Aiguo Qian Fang Li Zhaoxia etc Experimental Research on Static and Dynamic Response of a Steel Truss with Local Welding Details [J]. Journal of Experimental Mechanics 2008 (5): 377—386