

# 盾构隧道管片破损修补的方案与施工

马国海

杭州铁路设计院有限责任公司

**摘要:** 杭州市已建成某区间隧道, 由于周边地块勘探施工, 勘探孔钻穿隧道管片, 导致渗漏水破损, 针对此情况, 对破损管片进行修补, 取得较好效果, 对今后相类似情况有参考意义。

**关键词:** 盾构隧道; 管片破损修复

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2022. 04. 009

## 一、工程背景

随着城市建设的飞速发展, 轨道交通已成为大中城市解决道路拥堵的首选方案, 目前杭州已开通运营的地铁线路已达到306公里, 而轨道交通线网的不断加密给人们生活带来方便的同时, 也带来许多新问题, 如何很好的保护既有的地铁设施就是一个值得深入研究的问题。当前许多地方已出台城市轨道交通结构安全保护规程, 例如上海、浙江等地明确地下车站主体结构及区间结构外边线外侧50m内为轨道交通控制保护区, 保护区内进行外部作业, 应制定安全可靠的作业方案、轨道交通结构安全保护措施和安全应急预案<sup>[1]</sup>。虽然规范已规定了轨道交通保护区内的外部作业应遵循的原则, 然而, 仍有一些外部作业对既有轨道交通设施造成破坏。

目前, 国内外许多学者已对该问题进行了深入研究, 其中, 孙齐等<sup>[2]</sup>分析了施工不当造成的管片局部破损的原因, 并采用三维建模分析提出管片破损导致管片刚度局部弱化, 整环管片受力状态发生应力重分布现象, 破损前后管片变形基本无明显变化, 结构材料仍处于弹性变形范围内的结论; 周俊宏等<sup>[3]</sup>在总结区间隧道管片破损规律的基础上分析了管片修补块的受力状态, 并通过试验得到了满足强度要求的修补材料。邵义琴<sup>[4]</sup>总结国内外隧道施工过程中发生事故的处理方法结合工程实践提出了采用三重管旋喷桩加固周边地层, 暗挖修补、切除替换破损管片的修复方法。

本文以实际工程为依托, 对盾构管片破损的修补方法进行探讨, 对今后类似工程有借鉴意义。杭州地铁某区间隧道采用盾构法施工, 衬砌圆环采用六块管片错缝拼装, 内径5500mm, 外径6200mm, 管片厚度350mm, 管片宽度1200mm, 该区间贯通后, 周边地块在勘探施工过程中,  $\phi 91\text{mm}$ 的地质钻杆不慎击穿管片, 管片被击穿位置如图1、2所示。



图1 地质钻孔现场图

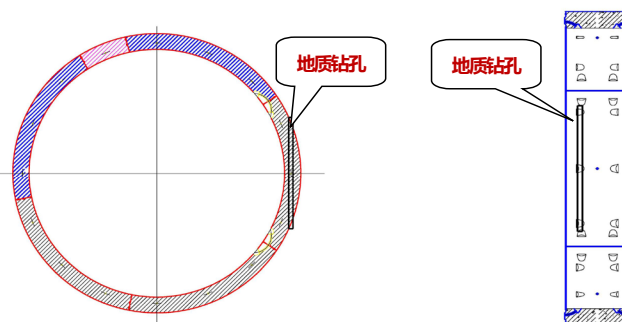


图2 管片被击穿位置剖面图

击穿位置位于盾构环腰部, 自上而下贯穿衬砌环的标准块, 具体相对关系如下图所示。地质钻采用的91mm钻头, 取芯直径约70mm, 钻孔距离管片内弧面约90mm, 碰到邻接块下部手孔(盾构圆环中心高度处)位置, 根据击穿的位置判断, 管片主筋未被破坏, 损伤局部拉结筋, 造成大量渗漏水。



图3 管片破损位置渗漏水情况

## 二、工程地质

击穿处隧道埋深约12.95m, 隧道全断面位于④<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土夹粉土, 上部土层为④<sub>1</sub>淤泥质黏土, 下部土层为⑦<sub>2</sub>粉质黏土。

根据地勘资料显示④<sub>1</sub>淤泥质黏土、④<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土夹粉土均为灰色, 流塑状, 含少量有机质及植物残骸, 高灵敏度。局部夹有粉土薄层。无摇振反应, 切面较光滑, 干强度中等, 韧性中等; ⑦<sub>2</sub>粉质黏土为灰黄色, 硬可塑为主, 含氧化铁锰质斑或结核, 局部夹粉土薄膜。无摇振反应, 切面较光滑, 干强度高, 韧性中等。

## 三、计算分析

拟采用有限元软件建模对管片破坏前、破坏后及采取加固措施后的内力进行分析, 土层参数如下:

层号	土层类型	容重 (kN/m <sup>3</sup> )	压缩模量 (MPa)	粘聚力c (kPa)	摩擦角φ
① <sub>2</sub>	素填土	(17.5)	2.5	(8)	(24)
② <sub>2</sub>	粉质黏土	19.0	4.5	16.0	14.5
④ <sub>1</sub>	淤泥质黏土	18.6	2.5	12.0	11.5
④ <sub>2</sub>	淤泥质粉质黏土夹粉土	19.3	3.5	10.0	13.5
⑦ <sub>2</sub>	黏土	19.2	12.0	28.0	20.5
⑩ <sub>1</sub>	黏土混碎石	20.0	16.0	16	21.0
⑩ <sub>2</sub>	碎石混黏土	20.3	20.0	20.0	30.0

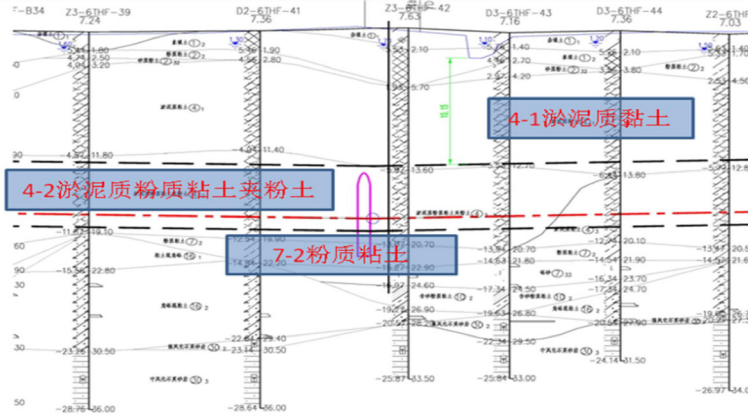
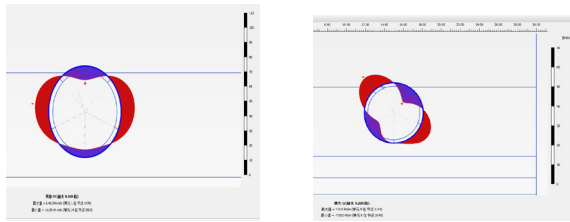


图4 管片击穿位置地质纵断面

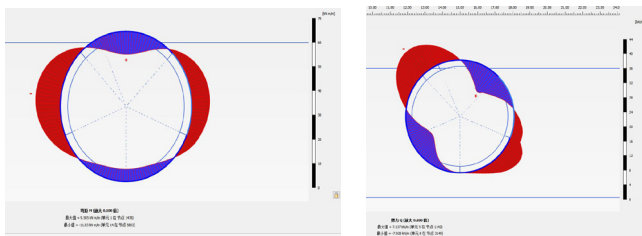
当管片未破损时，管片内力计算结果图6所示。



弯矩图 (KN.m)      剪力图 (KN)

图5 管片完整时的内力图

计算所得弯矩最大值为 $M_{max}=9.462\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ，剪力最大值为 $Q_{max}=7.916\text{kN}/\text{m}$ ，当管片破损后，采取标准块刚度折减0.7，计算结果如下图：



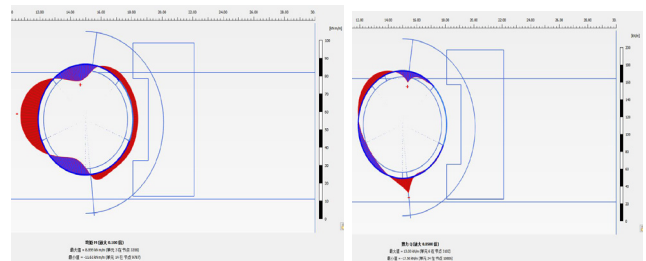
弯矩图 (KN.m)      剪力图 (KN)

图6 管片破损后的内力图

计算所得弯矩最大值为 $M_{max}=8.843\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ，剪力最大值为 $Q_{max}=6.790\text{kN}/\text{m}$ 。拟对破损管片周边土体加固后，计算结果如下：

计算所得弯矩最大值为 $M_{max}=8.899\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ，剪力最大值为 $Q_{max}=13\text{kN}/\text{m}$ 。

经过计算可知，由于管片破损导致管片内力变化很小，而当对破损管片周边土体采取加固措施后，可有效降低管片破损处的内力。因此，拟采取处理方案重点关



弯矩图 (KN.m)      剪力图 (KN)

图7 拟采取加固后的管片内力图

注管片破损导致的渗漏及处理后如何保证耐久性。

#### 四、管片破损修补方案

基于管片破损及内力计算情况，采取洞内修复补强、洞外注浆加固的方式，保证盾构环的结构安全和补强部位的耐久性要求，具体措施为：

(1) 先采用环氧树脂对基面进行涂刷，涂刷的厚度在1mm左右，让环氧树脂充分渗入混凝土基面，然后用具有微膨胀快速凝固的早强水泥（小于5min）填充。

(2) 破损空洞填充：封堵手孔后，在手孔周围钻孔并安装注射针头，注入环氧砂浆，充分填充管片破损孔洞。

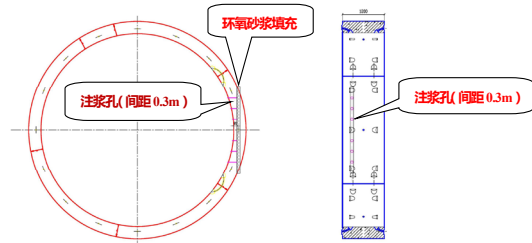


图8 破损空洞填充图

(3) 洞外土体加固, 考虑管片钻孔贯穿长度较大, 为保证结构安全, 考虑对管片周围土体进行加固措施, 改善主动土压力, 同时也为后续邻近地块施工对管片的影响增加安全储备, 因此对受损管片周围土体进行加固, 由于隧道内已完成铺轨和管线安装, 加固方法需考虑对隧道的扰动减到最小, 因此采用MJS旋喷桩+微扰动长管注浆对隧道外土体进行加固。

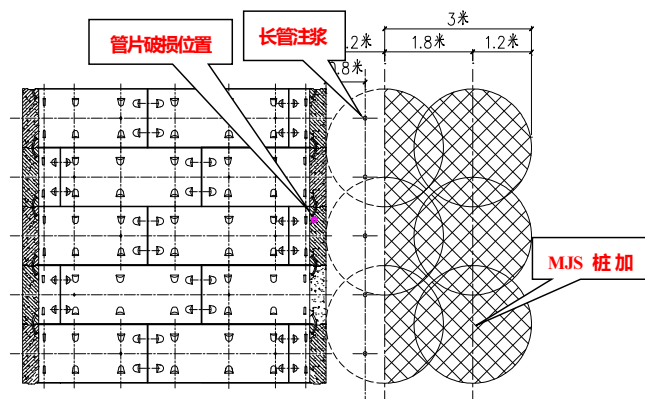


图9 破损管片位置地面注浆加固平面图

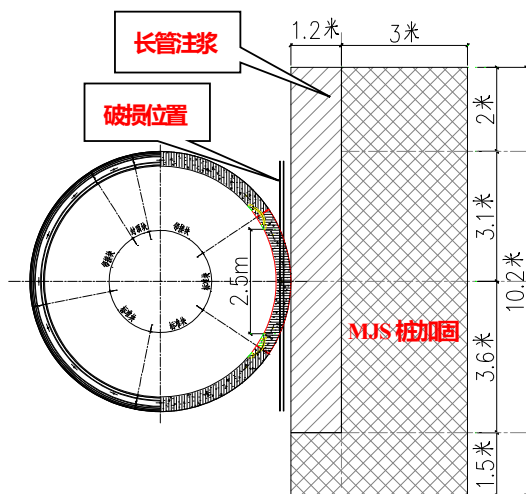


图10 破损管片位置地面注浆加固剖面图

(4) 管片内贴钢板, 在受损管片标准衬砌块内侧设置补强钢板, 钢板采用Q235钢材, 厚20mm, 钢板与衬砌采用化学锚栓连接。

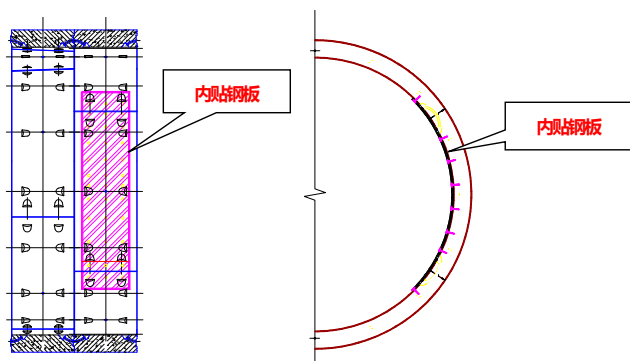


图11 破损管片内贴钢板示意图

经修补后的管片如图经加固处理后管片如图13所示, 经管片修补后, 无渗漏水, 无管片变形较大等不良情况, 目前隧道已经验收并开通运营。

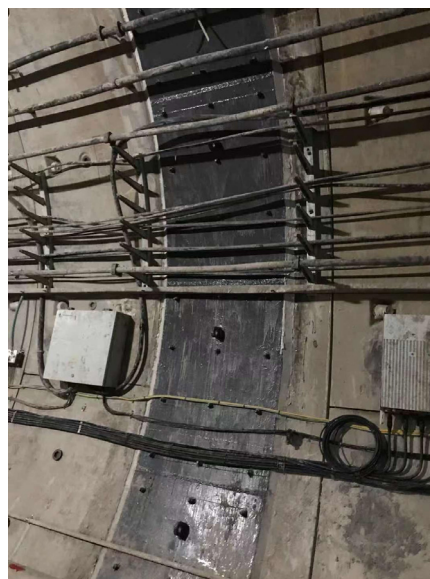


图12 破损管片修补完成后现状图

### 五、结语

当前, 各大中型城市, 地铁建设正如火如荼, 地铁建设快速发展的同时, 我们也更应重视对既有地铁设施的保护, 截至目前, 外部施工作业破坏既有地铁结构的事故屡见报道, 例如京沪铁路蕴藻浜特大桥PHC桩打穿上海市轨道交通11号线盾构区间、广州市白云区广从三路勘探作业钻穿地铁隧道等等, 本文从实际案例出发, 对既有地铁设施的保护以及当地铁设施遭受损坏时的补偿措施进行了探讨, 取得了一定成果, 对今后发生同类案例时在设计施工方面有较好的借鉴意义。

### 参考文献

[1] DB33T1139—2017, 浙江省工程建设标准城市轨道交通结构安全保护技术规程[S].  
 [2] 孙齐, 刘四进, 张增. 施工期局部破损对成形管片衬砌结构性能的影响[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(11): 90-94.  
 [3] 周俊宏, 周顺华, 吴迪, 朱欢乐. 盾构隧道破损管片修补强度的理论与试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(2): 3643-3649.  
 [4] 邵义琴. 旋喷加固暗挖法修复破损隧道的有限元分析[D]. 广东: 广东工业大学, 2012.  
 [5] 张洪彬, 张国祥, 安关峰. 盾构隧道已开裂管片的受力变形特性[J]. 土木建筑与环境工程, 2014, 36(3): 52-58.  
 [6] KUSAKABE O, KIMURA T, TAKAGI N, et al. Centrifuge model tests on the influence of axisymmetric excavation on buried pipes[C]// Ground Movements and Structures, Proceedings of the 3rd International Conference. London: Pentech Press, 1985: 133-128.