

成型隧道受损严重管片修复加固施工技术

徐铭炜

广州市盾建建设有限公司

摘要：伴随着城市轨道交通建设规模的不断扩大，地铁作为重要的城市轨道交通设计，逐渐成为人们出行的主要交通工具，因此成型隧道施工质量备受关注与重视，其中盾构隧道质量问题大多出现在管片上，本文依托于广州地铁11号线大石区间盾构工程，当成型隧道管片由于地质荷载、地下水侵蚀等周边环境问题影响而出现严重的错台、裂缝、渗水等病害时，需对管片进行缺陷修复治理，在充分考虑了周边环境、后期隧道运营、方案经济性、作业安全性、施工工期等影响因素后，确定了采取增加钢环的方法对病害管片进行加固修复处理，以此提高成型隧道的管片质量，保证成型隧道的安全稳定，并且通过实际的加固施工证明该方法对于管片修复加固、提高隧道质量、保证隧道安全起到了良好的效果，本次隧道钢环加固措施是成功的，可为后续类似情况下管片钢环加固施工提供指导和借鉴。

关键词：盾构隧道；管片；钢环；加固

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.047

一、引言

成型隧道管片质量问题一直存在于盾构隧道建设期及运营期当中，包括管片渗水、错台、裂缝等，无法将其完全消除，针对上述质量缺陷问题，如果在建设期不能采取有效方法对其进行治理，放任其不管，则会影响到地铁运营期的安全运行，对人们出行也会产生较严重的影响，并且在运营期对隧道管片质量缺陷的治理较为困难，往往达不到理想效果，经常需不断的返工处理，从而影响隧道的整体运行，对人们出行也造成一定的困扰，如何治理好严重的管片质量缺陷，是确保隧道安全和提高成型隧道质量的关键。

二、工程概况

（一）工程简介

大塘站~石榴岗站盾构区间，沿新滘中路敷设。区间出大塘站后，下穿上涌及上涌东小桥，沿新滘中路向东前行，先后下穿上涌村人行天桥，综合管廊，龙潭立交桥，继续沿新滘中路敷设，侧穿龙潭村民房群以及龙潭村牌坊，然后下穿新光路人行天桥、侧穿龙潭涌B桥后，到达石榴岗站。

左线隧道设计起点里程为ZDK41+388.013，设计终点里程为ZDK42+908.400，总长1520.387m（含短链5.822m）；隧道埋深约15.6m~30.1m。

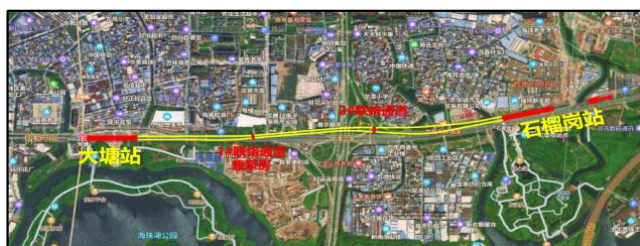


图1 大塘站~石榴岗站区间平面示意图

（二）地质概况

根据大石区间地质详勘报告显示：施工场地范围内

场地地层自上而下依次为：<1>杂填土层、<2-1B>淤泥质土层、<2-3>淤泥质粉细砂、<2-4>中粗砂、<3-1>粉细砂、<4N-3>粉质黏土、<6>全风化泥质粉砂岩、<7-3>强风化泥质粉砂岩、<8-3>中风化泥质粉砂岩、<9-3>微风化泥质粉砂岩，拱顶埋深约为23.52m。

为详细掌握本区域地质情况，在地质详勘的基础上，进行了地质加密补勘作业，根据大石区间补勘报告显示：本次施工勘察钻孔资料与详勘报告地层基本符合。

（三）水文情况

本区间场地内的含水地层主要为地下水位以下的松散填土层、砂层及破碎的强、中风化岩带、构造破碎带。淤泥质土、粉质黏土及残积土、基岩全风化层为透水性很弱的地层，为相对的隔水层。场地内的地下水按照赋存介质分类可分为孔隙水、裂隙水；按埋藏条件分类可分为上层滞水、潜水和承压水。

总体来看，场地水文地质条件复杂。

（四）衬砌设计标准

衬砌环外径6000mm，内径5400mm，管片宽度1500mm，管片厚度300mm。衬砌环由1块封顶块、2块邻接块、3块标准块组成。

三、主要施工内容

对隧道管片质量缺陷严重区域进行18环的钢环加固施工，钢环加固环号如下：Z0569~Z0586环，采用20mm厚钢板对该范围内的衬砌环进行整环加固，以提高隧道结构在后续使用工况下的安全性，其中该管片顶部区域采用宽1.4m的钢板，其余部位采用宽0.9m的钢板，连接处作三角形倒角处理。

钢环加固主要施工内容包括：

1) 钢环的放样、加工（包括钢板的除锈、防锈处理）、制作，以及安装；

2) 钢环施工的相关配套内容：包括隧道内管片裂缝修复、破损修补、管片手孔封堵、管片嵌缝封堵及注浆、管片清理；

3) 钢环壁后环氧树脂填充（包括机械锚栓孔封堵、钢环封边处理）。

四、主要技术措施

（一）施工工艺流程

施工测量→钢环定制加工→管片裂缝、破损修复→管片手孔封堵→管片嵌缝封堵及注浆→管片基面打磨→材料运输→钢环安装→钢环焊接→钢环封边及环氧填充→钢环基面清理→钢环防火、防腐层施工→工作面清理。

（二）裂缝、破损修复

裂缝处理：对于管片表面出现裂缝的区域，若裂缝宽度小于0.2mm，对裂缝处的混凝土表面进行打磨，待露出新鲜混凝土界面后，再涂抹环氧胶泥（配合比：A：B等于4：1）进行覆盖；若裂缝宽度在≥0.2mm之间，则齐缝布设注浆管，注入刚性环氧树脂对宽度较大裂缝进行注浆修补。

破损修复：清除钢环表面的剥离、疏松、蜂窝、腐蚀以及裂缝等劣化混凝土，并用堆积刚性环氧树脂的方法进行修复补平。若存在露筋现象，采用p6钢筋做成钢

筋棍与管片钢筋焊接。钢筋棍以150mm间距在受损区域梅花型布设，预留10mm保护层。然后在原管片砧表面以内布设单层6@100钢筋网片，与钢筋棍焊接固定，并堆积环氧树脂。

(三) 管片手孔封堵

使用清水清理手孔位置，去除表面污渍、灰尘，并和适量的快干高强修补材料，饱满填充手孔，并用抹子抹平，起到充分封堵手孔的效果；

(四) 环纵缝施工

注浆前对管片的环、纵缝嵌缝槽进行处理，用弹性环氧胶泥进行嵌缝处理，并预留注浆孔，灌注弹性环氧浆液。

(五) 钢环加工

1) 钢环分块

根据设计图纸，采用900mm宽、20mm厚钢环加固（顶部区域宽度增加至1400mm），共分为4块，由顶部1块环板、侧面2块环形板和底部1块环形板组成；钢板材质：材质为Q355，加工采用E50系列焊条。

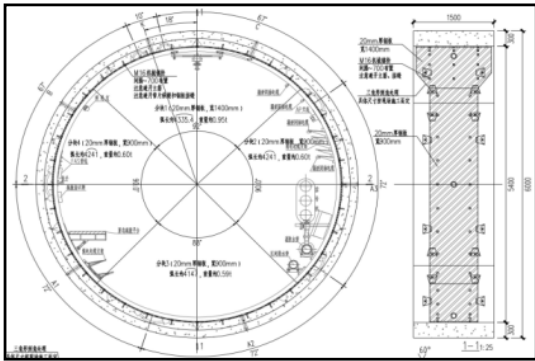


图2 钢环分块图

2) 钢环制作

采用自动切割技术对钢板进行切割和坡口制作，钢板切割表面或剪切面应无裂纹、夹渣、分层和大于1mm的缺棱，采用E50系列焊条焊接。钢板压弯采用三辊轮型轧弯机。

3) 钢环除锈

为保证钢环在隧道内安装之后不受锈蚀，需要在钢环表面喷涂环氧富锌底漆（防锈漆），喷漆前钢板表面应作除锈处理，除锈质量等级达到S3级。

4) 钢环防锈漆喷涂

喷涂施工时，调整好喷嘴口径、喷涂压力，喷枪胶管能自由拉伸到作业区域，空气压缩机气压应在0.4~0.7N/mm²。喷涂时，一般涂层厚度较薄，故应多喷几遍，每层喷涂时应待上层漆膜已经干燥时进行。

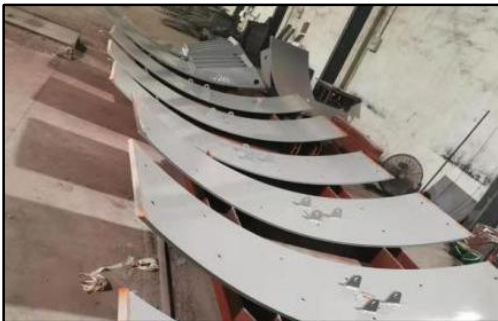


图3 防锈漆喷涂

(六) 钢环安装

1) 测量放线

钢环安装前应进行测量放线，确保钢环安装与管片中轴线重合，采用激光水平仪打线投射到环向管片上，通过调整仪器倾角及位置直至激光线连接穿过同环各块管片吊装孔位中心；采用直角尺以激光线为基准在管片上标记出钢板边缘线。

2) 垂直吊装

利用石榴岗站端头盾构井口作为钢环材料的吊装口，根据吊物重量要求，采取25/50吨吊车进行钢环等施工材料吊装下井。



图4 垂直运输

3) 水平运输

隧道内采用叉车作业运输，将工装设备和钢环运至施工面，施工模拟图如下：

4) 钢环安装

采用工装设备进行安装、叉车配合施工：利用叉车运输灵活、升降等功能，人工配合叉车将钢环安装到施工作业面，再进行工装设备定位安装施工。

①顶板安装：叉车运输工装设备就位后，调整钢板安装位置，进行支腿固定，通过工装设备4个液体油泵升降支顶顶板，调整顶板到需要安装的位置后，作业人员登上工装设备平台，完成后扩底机械锚栓钻孔和紧固后，松开设备与钢板连接螺栓后进行侧板安装。



图5 顶板安装

②侧板安装：完成顶板安装后，进行侧板的安装工作，通过调整4个液压油缸将侧板安装到指定位置后，作业人员完成后扩底机械锚栓钻孔和紧固后，松开设备与钢板连接螺栓，设备撤出再进行底板安装。

③底板安装：完成顶板和侧板安装后，需测量复核底板尺寸，再从加工厂进行定制加工，完成底板安装。

钢环全部安装完毕后，进行整体焊接，采用点焊定位，最后拼装接口的焊接采用CO2气体保护焊进行坡口焊接，焊缝等级二级。

钢环全部焊接完成后，为确保焊接质量，对焊缝进行100%的超声波探伤检测，并出具探伤检测报告。

(七) 钢环封边

钢环安装完成后，先清洁钢板边缘、侧壁表面，再使用布基胶带对钢环内侧边缘处粘贴。然后使用快干水泥对钢板边缘进行封边施工。

(八) 钢环壁后环氧树脂填充

1) 施工过程

①工艺流程：彩条布覆盖钢环底部保护→连接注浆机及注浆管→拌制环氧树脂→注浆→封闭漏浆预埋管→上移切换注浆管→继续注浆→结束。

②注浆软管埋设：钢环边缘快干水泥施工时，需对钢环背面埋设注浆软管，浆软管左右布置，间距50cm，左右错开，胶管长度25-30cm。

③浆液配置：采用刚性环氧树脂材料，由A、B双组分组成，根据产品指导配比进行浆液配置，配合比为3.5:1，搅拌采用机器搅拌，搅拌时间约3-5min。

④注浆施工：注浆遵循从低往高原则，首次注浆时从底板最低处开始，随着液面上升，相应位置的注浆管溢出浆液时及时进行封闭；注浆过程出现漏浆情况应暂停注浆，采用快速水泥封堵后继续灌注。

(九) 钢环涂装施工

1) 钢环防火层施工

本工程设计耐火等级为一级，防火涂料采用膨胀型防火涂料，涂布于防锈漆之上，防腐漆之下，厚度不小于1.5mm。

防火喷涂应分若干次完成，喷涂次数与涂层厚度应根据防火设计要求确定。下一层喷涂应在上一层基本干燥或固化后再接着喷。喷涂时，持枪手紧握喷枪，注意移动速度，不能在同一位置久留，造成涂料堆积流淌，操作者应采用测厚计检测涂层厚度，确保符合设计规定的厚度。喷涂后的涂层应适当维修，对明显的乳突，应采用抹灰刀等工具剔除，以确保涂层表面均匀。



图6 防火漆喷涂

2) 钢环防腐层施工

防腐层采用聚脲弹性体（SPUR）材料，满足钢环防腐施工要求，涂层厚度均匀、饱满，分两层进行喷涂，总厚度不少于1.2mm。

①设备调试：检查空压机和干燥器是否工作正常，打开空压机，达到最大压力，停止运转后，检查输出气管与主机的气管连接是否正常。

②喷涂时机：应确认底涂层干燥后才能进行聚脲层喷涂施工，通常为6小时左右。

③喷涂作业：先在喷涂范围薄喷一遍，施工聚脲涂层时，下一道要覆盖上一道的50%，俗称“压枪”，同时下一道与上一道的喷涂方向要垂直，只有这样才能保

证涂层均匀。

五、施工监测

钢环安装施工完成后，需对钢环加固区域实施监测，以便能及时发现问题，且能在第一时间做出正确的应对措施。监测内容如下：

①监测项目：隧道内竖向沉降、水平位移、横向收敛、钢环应力。

②监测范围：隧道左线569~586环，共18环。

③沉降监测采用水准测量、跟踪测量的方法；水平位移采用轴线投影法或小角度法观测；收敛监测采用测距仪测量。

④隧道的监测断面包含2个沉降监测点、2个水平位移监测点以及：“四点六线”的收敛监测点和收敛监测线。

⑤钢环加固施工完成后即着手开始进行监测工作，跟踪监测到隧道各项指标达到稳定为止。

⑥监测项目控制值如下：

项目	控制值	变化速率
拱顶沉降	5mm	1mm/d
供底沉降	5mm	1mm/d
净空收敛	5mm	1mm/d
水平位移	5mm	1mm/d
钢板应力	295N/mm ²	/

⑦隧道位移监测和钢板应力监测的预警值均为控制值的70%。

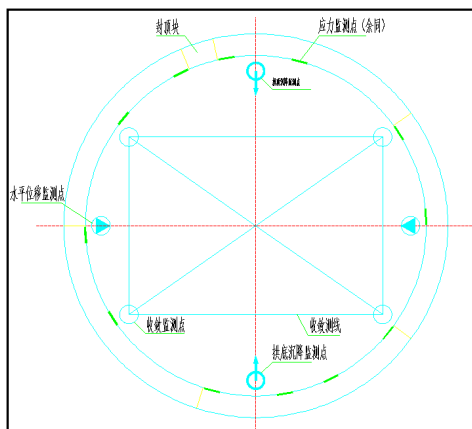


图7 监测断面示意图

结束语

地铁作为人们出行的重要交通工具，肩负着导行交、加速城市快速发展的重任，因此需要确保成品质量、保障人们出行安全、降低事故的发生率，通过在建设期对受损严重的管片采取安装钢环的加固措施，可有效的提高成型隧道的质量，确保运营期地铁运行安全，并且在工期保证、成本节约、后期维修方面也有一定的优越性，对类似条件下工程有很强的借鉴和指导意义。

参考文献

[1] 杨勇. 非运营地铁受损隧道变形分析及抢险加固技术[J]. 上海建设科技, 2014(04): 26-30.
 [2] 范志高. 盾构隧道受损管片结构安全评估方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(12): 65-70.
 [3] 林彬彬. 严重受损公路隧道支护结构安全分析及拆换处治措施研究[D]. 重庆大学, 2021.