

浅谈盾构隧道管片修补及堵漏施工方法

宋艳江

北京城建中南土木工程有限公司 北京 100020

DOI:10.12238/etd.v3i4.5255

摘要：随着城市轨道交通的日益发展，盾构法隧道施工工艺以其高效性和安全性得到普遍运用，并不断完善，尤其在软土地层中盾构法隧道施工工艺已非常成熟，但管片破损及成型隧道错台漏水现象却屡见不鲜，为提高盾构掘进施工中成型隧道质量，结合某轨道交通一号线某标段施工工程实例，隧道施工过程中成型隧道质量问题详细进行原因分析和研究，并将控制隧道质量的技术措施进行实践和优化，希望给类似工程施工提供指导。

关键词：盾构；隧道；管片；修补；堵漏

中图分类号：TU997 **文献标识码：**A

Construction Methods of Patch Repair and Plugging of Shield Tunnel

Yanjiang Song

Beijing Urban Construction Zhongnan Civil Engineering Group Co., Ltd. Beijing 100020

Abstract: With the increasing development of urban rail transit, shield tunnel construction technology has been widely used with its efficiency and safety, and constantly improved, especially in the soft land layer, the cause analysis and research of the tunnel quality problems in the tunnel construction, hoping to provide guidance for similar engineering construction.

Keywords: Shield; Tunnel; Pipe; Repair; Plugging

1 工程概况

某城市轨道交通某标段区间采用土压平衡盾构施工，盾构隧道为环形断面，采用预制混凝土管片，管片强度 C50，抗渗为 P10；每环采用“标准块 B1、B2、B3+邻接块 L1、L2+1 封顶块 F”组成，管片采用 M30 螺栓连接，每环管片上块与块之间有 12 个螺栓连接，环与环之间 16 个螺栓连接；采用错缝拼接；区间隧道断面主要穿越土层为粉砂夹粉土、粉砂、粉质粘土，隧道均位于地下水位以下，盾构隧道局部断面要穿越的砂层较厚，砂层自稳性差，强透水性，且在水压差作用下容易产生涌砂、流砂等现象，砂层在扰动后，收敛快，盾构施工易引起变形。

2 管片错台、破损原因分析

2.1 设备原因（可避免）

管片拼装机上平面定位小油缸无力，导致管片容易发生环内各管块之间错台，管片拼装不顺利，且易磕碰，造成管片防水胶圈局部脱胶或搓断，导致漏水。

2.2 管理原因（可避免）

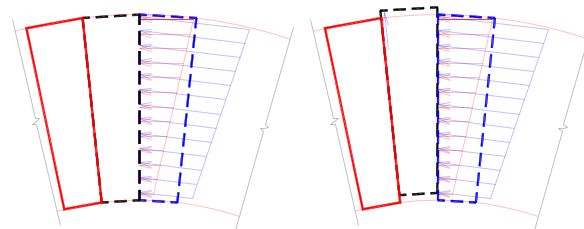
管片拼装手质量意识淡薄，只求速度，不求质量；因在掘进时皮带漏泥和从盾尾出漏浆，造成管片和止水条叠浆和泥，拼装时止水条不被压紧，止水效果不佳。

管片螺栓复紧不及时，或螺栓拧紧度不够，导致脱出盾尾环管片产生错台，甚至管片破损、防水胶圈损坏。

2.3 线路规划原因（不可避免）

盾构在 $R=347m$ 曲线半径上掘进，转弯半径偏小，盾构掘进过程中，为达到盾构转弯效果，左右两侧推进油压差达

180~250bar，管片左右受力不均，容易使新拼装的管片整体向曲线外侧平移或椭圆，产生错台。错台过大时，在纵向螺栓部位产生破损。如图：



随盾构掘进，径向分力加大，错台开始；管片与盾尾内力加大，致使推力加大（内耗），错台加剧。

2.4 掘进地质原因（不可避免）

发生错台较大部位的地层主要为上软下硬地层（上部全风化，下部中、微风化，且石英含量较高），盾构掘进推力取值过大（18000~26000KN），且左右两侧推力差值较大，加剧管片错台、椭圆，甚至发生管片破损。

在富水地层掘进，盾尾漏浆、注浆不足，隧道上浮，管片上浮过程中起拱，止水条间距增加，出现渗漏。

2.5 二次注浆原因（可避免）

二次注浆压力未有效控制，致使成型管片左右压力差值过大，导致成型管片错动，形成错台。

2.6 管片自身质量缺陷

（1）管片有一道安装止水条的沟槽，沟槽处的砼在浇

筑的时候质量不好，形成气泡，或者管片背后的防水涂层不好，水通过边角和气泡绕过止水胶条，出现以渗的漏水。

（2）管片在拼装后形成贯穿的裂纹，性能渗漏水。

2.7 其他

（1）止水胶条地面粘贴不实，形成空鼓，在拼装过程中稍微一摩擦，止水胶条位移，失去止水效果。

（2）在管片进场卸车过程叉车对管片止水条后面保护层的破坏，易造成止水条脱落，位移，不能达到防水效果。

3 管片质量控制措施

（1）对设备问题部位彻底维修，或通过其他辅助措施进行纠正，杜绝拼装错台、磕碰。

（2）加强施工管控力度，增强职工质量意识；安排专人监管螺栓复紧工作，杜绝螺栓穿不上和螺栓紧度不够现象，在下一环掘进10cm内，进行后方5环管片的螺栓复紧（其中2环在尾盾内），减小管片脱出盾尾时因重力产生错台。

（3）根据掘进地层改进浆液配比，加强同步注浆施工管理，确保脱出盾尾环管片外侧间隙及时填充。

（4）采用分段推进法，即每掘进50cm时，分批逐一收松推进油缸，进行千斤顶的应力释放，缓解因内力消耗导致的推力过大而产生的管片错台，甚至破损。

（5）加强推进管理，不强行纠偏（转弯），按“小纠偏，勤纠偏”原则进行纠偏，保持平稳推进，特别是控制管片脱出盾尾前20cm范围内的掘进速度及推力，防止管片快速错动，致使管片破损。

（6）加强管片选型，严控盾尾间隙和千斤顶行程差，避免推力内耗，致使推力增大，导致管片错台或破损。

（7）每隔五环进行二次注浆，及时固定管片。

（8）对管片自身的原因，要对进场管片严格检查，如出现大批次的自身质量缺陷的管片，找准管片质量缺陷的源头，改进工艺，加强对管片检测，出厂管片质量严格把关。

（9）在叉车托举管片前，先将叉车托举臂伸入能托举的位置，再与管片接触，缓慢托举运输管片（严禁托举背接触管片后多次伸缩，可能造成止水条后面的保护层被破坏）。

（10）拼装手要有良好的拼装习惯，管片内表面先平齐后，在纵向位移靠紧已拼装的管片，管片上下位移不能超过15mm，盾构司机在拼装过程中要进行监督。

（11）拼装机在抓举管片过程中要调整管片与已经拼装好的管片的线型平行，在管片旋转过程中采用慢速档，点动，严禁高速旋转，野蛮操作。

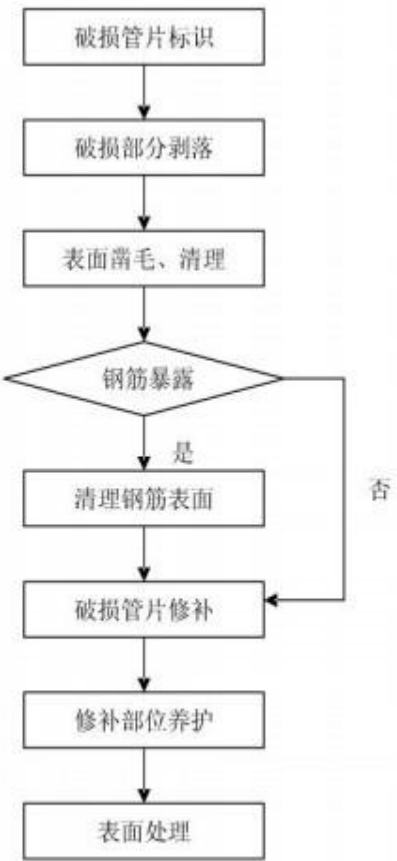
（12）拼装前冲洗管片、清理盾尾的泥沙和浆液，同时也要清理干净上环因漏浆污染的管片和止水条。

（13）严禁为了盲目抢进度，不顾盾尾间隙小，不更换当前管片型号的懒惰行径。

4 管片修补施工

（1）管片缺陷修补应在下一道工序施工前完成，并进行专项验收。

（2）管片修补施工流程（见下图）



管片修补施工流程图

（3）主要施工步骤

1）现场检查与标识

首先有现场工程师与质检员共同检查所有掘进完成的区间隧道，做好质量情况统计，在需要修补的地方做好施工标记。

2）缺陷部位的清理

修补时，先用凿子或灰刀将片状或有裂缝的地方清除干净，再用凿子修整破损边缘，然后将清理干净的混凝土表面凿毛，使表面无灰尘、无碎渣。如果清理干净的地方钢筋已经暴露，应除去钢筋表面上的所有混凝土碎渣及锈迹，并用钢丝刷将钢筋清刷干净。

3）管片修补

对于管片表面破损面积较小时，按照水泥浆配合比搅拌修补剂，然后用毛刷涂抹在管片破损处，每层厚度不超过5mm。

缺棱、掉角面积较大时，须采用修补砂浆进行修补。修补砂浆充分搅拌、粘稠状态（机械搅拌），修补层越薄，浆液用量越大。修补前，混凝土缺损位置必须清理干净，无灰尘、无松散碎渣，在涂抹前须对破损表面浇水湿润。防止原

有管片缺水，把修补剂中的水分吸收了，从而使修补剂与管片脱离，修补完后待修补位置砂浆达到一定的强度后必须对修补位置进行洒水养护，修补位置应保持湿润，防止修补部位收缩、开裂、强度不足等其他缺点，若出现钢筋外露等较大缺陷，应对其采取外挂钢丝网片后在进行砂浆填充，钢丝网片用钢钉打入砼内或与钢筋焊接。

如果裂缝较大、较深时，应将裂缝附近的混凝土表面凿毛，或沿裂缝方向凿成深为15~20mm、宽为10~20mm的V形凹槽，清理干净表面并洒水湿润，先涂刷一层水泥砂浆，然后用水泥浆材料修补表面，分2~3层涂抹，总厚度控制在10~20mm，并压实抹光。修补强度达到要求后，沿裂缝方向每隔100~150mm钻孔注入环氧树脂填满混凝土内的缝隙，孔深度为100mm。

a. 填充

按照缺陷修补设计要求，管片修补部分混凝土强度应比目前管片强度C50高一等级。因此修补部分混凝土强度应达到C50。

根据经验 C50 混凝土材料配比如下（1m³填充材料）

水泥	细砂	石子	水
475kg	500kg	1285kg	190

其中，该配合比须经现场试配，根据试块强度等级进行调整，达到强度后，进行填充使用。

b. 养护

在砼表面少量洒水，防止龟裂

c. 表面处理

待填充材料达到强度后，利用42.5水泥、白水泥、108胶做表面处理。材料配比需提前做试验，待材料终凝后，以已经成型管片的颜色做标准对材料配比进行调整，并最终确定。同时，每环管片的表面处理均需做此试验，以求尽量降低修复部位与管片其他部位的表面色差，现场利用靠把、刮刀进行表面找平。

4) 处理

粘性泡沫塑料片、金属条在混凝土凝固后即可拆除。同时、利用砂纸进行打磨处理，保证修复部位的光滑。

5) 修补结束后

管片修补部位达到和原管片颜色一致，修补位置强度基本可以和原构件一致。

6) 管片修补部位的养护与成型

管片修补剂在未凝固前，应将修补的部位加水润湿进行养护，养护过程中应避免阳光直射及雨水冲刷而导致砂浆失水过快而导致干缩裂缝及强度降低达不到修补要求等问题。待修补部位具有一定强度后，再用砂纸将其表面磨平以保证修补的效果。

（4）管片渗漏包括裂缝渗水、吊装孔渗水、螺栓孔渗水、管片之间纵横缝的渗水，处理应在管片背后注浆完成后实施。

（5）渗漏处理应遵循以防、排、截、堵相结合的原则。

（6）渗漏处理应由有防水专业资质的单位及防水专业人员作业，作业人员及单位资质经业主审批后方可实施。

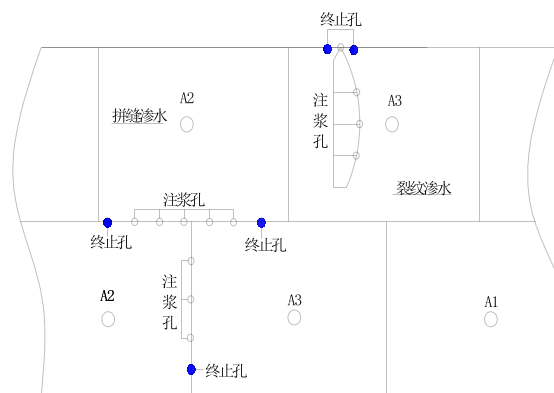
（7）渗漏处理施工时应按先拱底后拱顶的顺序进行，尽量少破坏管片原有结构及防水层。

（8）管片错台严禁采取砂浆抹面顺平的方式修复。错台情况严重时，承包商应组织专题会议研究解决方案。

（9）料桶在使用完后必须清理干净，以免遗留的灰浆粘在料桶上影响下一次配料的效果。

5 隧道堵漏方法

根据下图所示，管片不同渗漏位置采用不同方法进行堵漏，渗水裂缝修复后，须达到二级防水要求。



管片主要渗漏方式及封堵示意图

5.1 盾构隧道渗水一般在管片的表面和环纵缝上主要表现形式及解决措施如下：

（1）少量渗水：一般发生在隧道产生的管片裂缝上。

先观察其渗水情况，经过一段时间之后，对还在渗水的部位，沿管片裂缝方向每隔100~150mm钻孔注入环氧树脂堵漏剂填满混凝土内的缝隙，孔深度为100mm。

（2）漏水：一般发生在管片的环、纵缝上，主要为滴漏和线漏。

管片环纵缝上的渗漏水是因为在盾构机掘进施工过程中，盾构机姿态与隧道管片偏差过大，盾构千斤顶造成管片外缘破损，管片防水密封垫不能紧密压紧失去防水作用，针对这种情况采用以下措施：

1）在漏水部位，通过漏水点两侧管片上的注浆孔注入水泥浆，水泥浆的水灰比为1:1，对漏水大的情况采用注入双液浆，水泥与水玻璃注入比1:0.4，每环管片有6个注浆孔，先从漏水点处注浆孔注入，然后依次在其他孔注入浆液，在隧道管片四周形成一个防水层。

2）在漏水点所在的环缝上，用硬水泥将环缝填满，再在漏水点部位钻孔，孔深10cm，注入环氧树脂堵水，最后对环缝进行嵌缝防水处理。

（下转第9页）

组，场地类别是第三类，框架抗震级别是2级。项目于某年年底移交完成，根据作业经验，结合设计中经常出现的屋面渗漏现象，根据屋面绿化建设，明确了可行的防水操作技术与质量管理策略，旨在可以为有关人员提供参考。

（2）技术要求调查。建设之初，应该根据设计规划、图纸等，根据实地勘察，确定全面的施工技术规划，同时邀请有关人员一起会审，比如业主、监理方，在会审中针对技术要求，应该进行详细记录，全方位落实好屋面状况调查。深入掌握屋面结构特点、建材利用种类等，并且应该找到渗水的因素，判定基层有没有出现开裂情况等，确定防水结构破损状况，同时根据结构调研，确定技术运用类型。其次，应该全面分析屋面渗漏情况，及时判定渗漏类型，比如局部、全面渗漏，确定修补范围与施工方式，确定作业中所用材料，能不能符合施工需要。比如，当对防水膜进行选取时，应该注意其厚度，同时开展实地考察，专业化设置滤水层与保护层，把屋面出现渗漏情况的概率最大程度降低。最后，需要确定全面的设计与施工方案，涉及维修治理策略，漏水解决方案，同时针对防水维修，列出有关作业计划，选择和防水层材料一致的建材来作业，优化流程与步骤，作业中所采用的材料，不可以和原材料腐蚀。

（3）工程施工质控措施。第一，应该控制基层与其附近建设环境。对于建筑所有构造层，需要加大关注力度，确保项目施工中所采用材料的清洁与干燥，对于混凝土等级，也需要满足要求。第二，施工中质量控制。对作业过程开展控制，防止由于测量误差，进而造成材料采购不够情况出现，

需要结合建筑等级、功能与寿命等，选取可行的施工方案，最大程度简化流程与工艺，以针对项目验收环节，实现其质量评估标准^[4]。第三，对细部构造开展质控。就可能出现渗漏的细部构造而言，像排水口与变形缝等，需要进行全面的检查，同时积极排查渗水事故。制定科学化检测流程以及制度，确保整体施工质量。

结论

房屋施工中总会有问题，它们的出现均会影响到建筑功能有效发挥，当面对这些问题时，相关人员需要尽到自己使命，确保防水材料质量，确保结构设计科学、制造可行，确保屋顶质量满足标准，根据标准施工技术与机器，就能够建造切实具备防水能力的建筑。

参考文献：

- [1]陈福楠.房屋建筑工程屋面防水施工技术及其质量控制[J].四川水泥,2022,(01):168-169.
- [2]刘振凡.建筑工程屋面防水施工技术探讨[J].江西建材,2021,(12):213-215.
- [3]郑飞.探讨提高建筑工程屋面防水施工技术的对策[J].建筑与预算,2021,(11):95-97.
- [4]苏阿舍.关于建筑工程屋面防水施工技术控制探析[J].居业,2021,(10):43-44.

作者简介：曾琪（1995-08），女，汉族，四川简阳人，本科，北京铁城建设监理有限责任公司监理员，主要研究方向：建筑工程技术。

（上接第6页）

（3）管片拼缝渗水处理

管片纵横缝渗水，应从渗漏点对应的管片吊装口进行二次补浆，从上往下，进行注浆。若通过注浆后，管片纵横缝仍有渗漏宜在纵横缝两侧与混凝土表面30°夹角进行钻孔（需钻至管片环止水带外则），并反复注浆（压力不得大于0.5MPa），直至无渗水现象，封堵注浆孔。管片螺栓孔渗水，应采取钻孔、注浆处理，要求同管片纵横缝渗水处理措施，不能采取封堵手孔处理。

吊装孔旁渗漏，则按渗漏水裂缝进行处理；先在管片裂缝处打入针眼，通过注浆泵注入环氧树脂，吊装孔渗漏，则应进行二次注浆处理，首先将管片吊装孔打穿，在安装注浆球阀，通过二次注浆泵注入双液浆，当二次注浆结束后，若仍出现渗漏，需打孔布置针眼，往里注入环氧树脂浆液。管片吊装孔，应配置安装止回阀及封口盖。封口盖必须设置卡紧装置并配备橡胶密封圈。

（4）管片裂缝渗水处理

- ①清除裂缝周边灰尘，检查渗漏源，做好标记；
- ②沿缝钻孔，孔径0.7cm，孔深7.0cm，孔间距20~30cm；

- ③沿缝开槽，槽宽<3.0cm，深≤4.0cm；
- ④清理钻孔灰尘，清理槽道碎渣，对槽道凿毛处理；
- ⑤用毛刷将拌制均匀的水泥浆涂刷在凿毛混凝土表面，且需分层涂刷，每层厚度不能超过设计要求；
- ⑥裂缝边缘钻孔植入注浆针眼，将注浆泵管路接至针眼头上，往里注入改性环氧树脂化学浆液，注入化学浆液以注入压力为主，注浆量为辐，达到压力后，拔出注浆管，待后期浆液凝固后将突出管片的针眼拆掉，用白水泥封口。

参考文献：

- [1]程晓.盾构施工技术[M].上海:上海科学技术文献出版社,1990.
- [2]施仲衡.地下铁道设计与施工[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [3]项兆池.楼如岳.最新泥水盾构技术[M].上海:上海隧道公司研究所,2001.
- [4]朱伟.隧道标准规范(盾构篇)及解说[M].北京:中国建筑出版社,2001.