

# 地铁盾构管片预留预埋技术的研究

杨 龙

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

**摘 要** 介绍和解析了目前地铁区间盾构隧道设施安装的施工工艺, 如因使用化学植筋或膨胀螺栓而在管片上钻孔, 以及部件的预留预埋技术(预埋槽道, 挂耳+外置槽道, 预埋套筒+外置槽道和预埋尼龙套管)。预留预埋技术相对于传统工艺对管片结构的损伤小, 设计、施工及安装精度高, 性能和经济上对比优势明显。因此, 全面推行预留预埋技术意义重大。

**关键词** 地铁; 盾构管片; 预留预埋技术

**中图分类号** U455.43

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2021.01.028

## Research and Study on Reserved and Embedded Technology of Metro Shield Segment

YANG Long

**Abstract** The construction technology of current metro interval shield tunnel facility installation is introduced and analyzed, such as drilling holes on shield segment using chemically-planted steel bar or expansion bolt, and reserved and embedded technology of segments (embedded channel, hangers + external channel, embedded sleeve + external channel and embedded nylon sleeve). Compared with conventional technology, reserved and embedded technology causes less damage to segment structure, and has higher precision in design, construction and installation. The comparative advantage in performance and economy is obvious. Therefore, it is of great significance to fully implement the reserved and embedded technology.

**Key words** metro; shield segment; reserved and embedded technology

**Author's address** China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

地铁对城市的未来发展影响深远, 为百年大计工程。随着城市轨道交通建设技术的发展, 对地铁隧道的安全建设、施工工期及后期运营维护的要求越来越高, 缩短建设工期、降低建设成本、便于后期维护等要求已逐渐成为地铁项目建设的重要理念<sup>[1-2]</sup>。但实际建设过程中, 在隧道壁需要通过钻孔

来安装大量设施。此类对地铁隧道主体结构的破坏性施工所带来的损伤一直成为地铁后期运营维护中的重要隐患。

## 1 国内地铁隧道设施安装施工现状

地铁工程是由土建各分项工程及机电、供电、照明、给排水、接触网信号等多种工程组成的一个复杂的系统工程, 电缆、给排水管、接触网架、疏散救援平台、机电设备等均需搁置在支架上并通过支架与隧道管片或车站结构固定, 或直接与隧道管片或车站结构固定。对于固定方式, 普遍采取的是钻孔打设膨胀螺栓或注入固体胶后插入固定螺栓进行固定。

### 1.1 隧道设施安装施工及后期维护中存在的问题

根据目前国内运营的城市地铁隧道调研统计得知, 在施工及后期维护中主要存在以下问题<sup>[3]</sup>:

1) 传统的设施安装工艺对土建结构破坏严重, 造成隧道健康状况变差: 化学植筋或膨胀螺栓都需要在既有结构上钻孔, 众多的管线和设备在管片上密集、反复地钻孔(见图1)都严重地破坏了混凝土结构, 使管片伤痕累累、千疮百孔, 隧道管片的百年使用年限难以得到保证; 且钻孔过程中可能碰到结构钢筋, 对结构本身造成一定的损伤, 植入的钢筋或膨胀螺栓与钢筋网接触, 容易引起结构钢筋腐蚀, 影响结构耐久性。

2) 设施安装效率低、工期长、成本高: 由于要在土建工程完工后再开展机电安装, 必须现场逐一钻孔, 施工效率低, 在工期紧张情况下只能采取人海战术; 同时混凝土管片内钢筋密集, 钻孔遇钢筋

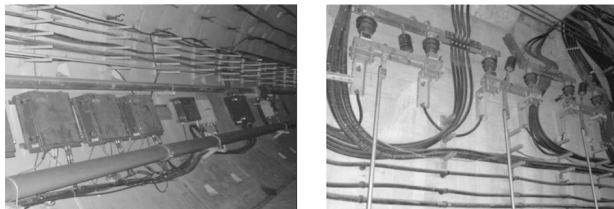


图1 在地铁隧道管片上密集钻孔以安装设备实景图

的频率高,一孔多钻情况屡见不鲜,使施工进度缓慢、施工强度高,对机具损耗大,增加了施工成本。

3) 施工质量难以控制、工作环境差:需要专业的钻孔设备,钻孔质量受人为因素控制,尤其是隧道顶部设施安装时施工难度大、费时费力;施工中产生的噪声、震动、粉尘等污染会严重影响现场施工人员健康,脏乱的安装环境也易造成对精良设备的破坏。

4) 设施维护困难、增加运营成本、存在安全隐患:隧道管片经多年使用后,孔洞、裂缝渗漏情况严重,修补困难,后期新增或更换设备仍需钻孔作业。

## 1.2 隧道设施安装施工传统钻孔安装工艺的危害性

化学植筋或膨胀螺栓本身寿命有限,在地铁环境下容易腐蚀,一般使用不超过25年就要进行维护或更换,远远达不到地铁100年的耐久性要求,届时需二次、三次钻孔,会严重降低主体结构寿命。

膨胀螺栓在混凝土中产生应力集中,从而使得结构破坏几率大大增加,造成结构不安全。化学锚栓施工步骤复杂,对钻孔要求很高,同时锚固胶的锚固质量不能得到有效的保证,为后期安全运营埋下了严重隐患。

传统的钻孔安装工艺会给以后运营造成事故。例如,中新网2012年12月3日就“日本隧道坍塌事故或因固定天花板的螺栓脱落”作了报导:日本中央高速公路上行线笹子隧道2012年12月2日上午8点许(当地时间)发生了塌方事故。事故发生于距离东京方向出口约1.7 km处,发生混凝土天花板从高处塌落。据山梨县警方截至3日上午(当地时间)统计,被砸压的3辆车中共有9人死亡。公路管理方中日本高速公路公司称,事故原因很有可能是固定天花板的金属吊具上的螺栓脱落。据中日本高速公路公司称,1977年隧道开通后天花板未接受过大规模翻修。天花板及金属吊具的使用年限没有规定,若检查发现异常则进行更换。该公司称没有更换螺栓的记录。

地铁工程在国内称之为百年工程。为保证隧道结构本身的完整性和耐久性,确保其使用功能真正实现百年,改变隧道设施传统的钻孔安装工艺已成为当务之急。新型无损伤快速安装的盾构管片预留预埋技术便应运而生。

## 2 地铁盾构管片预留预埋技术

相较于传统钻孔安装的锚栓工艺,目前国内外

常见的新型无损伤快速安装的盾构管片预留预埋技术主要采用以下4种预埋方式:预埋槽道,挂耳+外置槽道,预埋套筒+外置槽道和预埋尼龙套管。

### 2.1 预埋槽道

1) 预埋槽道简介:预埋槽道<sup>[4]</sup>是一种预埋于混凝土中的槽形装置,由一条U型槽和分布在U型槽背面的锚杆组成(见图2)。可预先安置于盾构混凝土管片内部(见图3),使用与之配套的T形螺栓安装区间隧道内的接触网、供电电缆、通信电缆、信号电缆、泄漏电缆、排水及消防管道、疏散平台及其他设备与器材等。可减少后期设备安装时在区间隧道管片上的后锚固作业量和对衬砌管片的损伤与破坏,提高管片的耐久性。

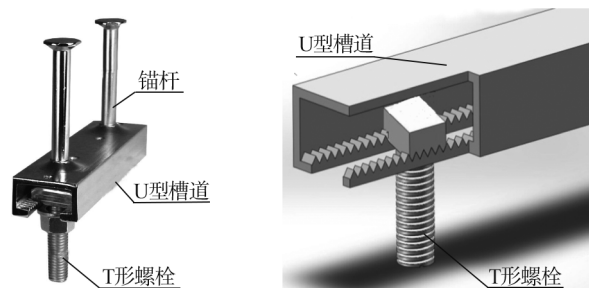


图2 预埋槽道及T形螺栓



图3 槽道在管片上的安装

2) 国外预埋槽道使用情况:国外预埋槽道技术的应用起始于1931年,至今已有80多年历史。目前,已广泛应用在建筑幕墙、高速铁路隧道、火车站、核电厂、电梯、桥梁、市政隧道与电力隧道等领域。德国和法国最早于上世纪60和70年代开始在地铁隧道内应用预埋槽道技术,至今使用状况良好。目前,预埋槽道技术在日本、埃及、新加坡、韩国和马来西亚等多个国家和地区的地铁隧道内得到广泛应用。

3) 国内预埋槽道使用情况:预埋槽道技术在香港的地铁隧道内早已得到广泛应用。中国大陆的预埋槽道技术在高速铁路中应用较早,在郑西、武广、



哈大及京沪等多条高速铁路中均有应用,主要用于固定接触网吊柱以及附加导线支架等设备(见图4)。其已形成铁路行业标准 TBT 3329—2013《电气化铁路接触网隧道内预埋槽道》。国内地铁行业,在深圳地铁9号线首先采用了预埋槽道技术<sup>[5-6]</sup>,全线盾构区间(约20 km)预埋槽道为全环布置(见图5);上海地铁从2012年开始研究预埋槽道技术,目前在9号线3期、12号线、13号线2期等线路全面铺开使用预埋槽道;南京地铁在宁溧线选取TA10标段作为盾构管片预埋槽道技术的试点;天津地铁在6号线选取一盾构区间隧道作为试验段<sup>[7]</sup>;兰州地铁在1号线一期工程全线采用管片预埋滑槽技术<sup>[8]</sup>;其他在建地铁城市,如北京、成都、南宁、乌鲁木齐、佛山、宁波、杭州、沈阳、合肥、郑州、长沙等地均正在采用或计划采用预埋滑槽<sup>[9]</sup>。

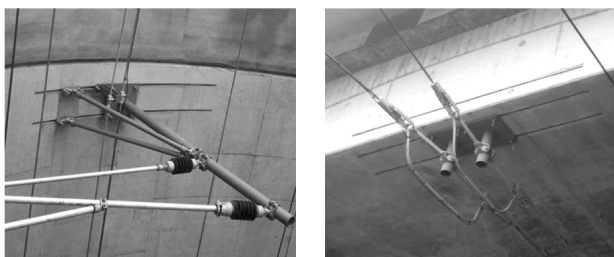


图4 预埋槽道在国内铁路隧道接触网应用案例



图5 预埋槽道在深圳地铁9号线应用案例

## 2.2 挂耳+外置槽道

1) 挂耳+外置槽道简介:外置槽道通过挂耳(专用固定件,见图6)与盾构管片纵向螺栓固定,U型槽道与挂耳固定,无需在管片生产期间进行部件预埋。可使用与之配套的T形螺栓安装区间隧道内的接触网、供电电缆、通信电缆、信号电缆、泄漏电缆、排水及消防管道、疏散平台及其他设备与器材等(见图7)。可减少后期设备安装时在区间隧道管片上的后锚固作业量和对管片的损伤、破坏,提高了管片的耐久性。

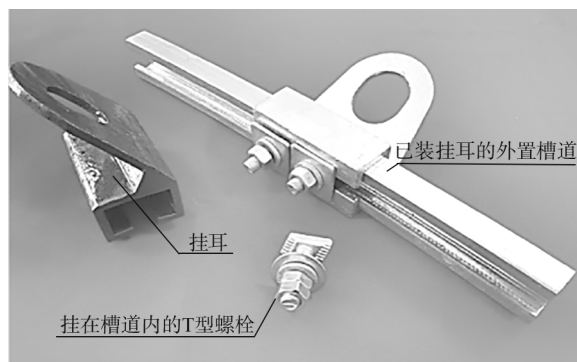


图6 挂耳、外置槽道及T型螺栓实景

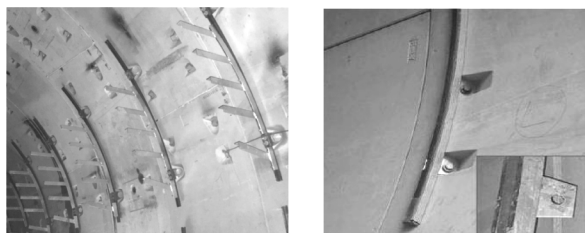


图7 外置槽道使用效果图

2) 挂耳+外置槽道使用情况:国内南京地铁宁溧线试验段中山湖站—幸庄站区间的中间盾构工作井小里程侧双线各15环管片采用挂耳+外置槽道方案(见图8、9),现已正式投入运营。福州地铁2号线上街站—沙堤站区间在长为100 m的区段实施了挂耳+外置槽道的试验,效果良好<sup>[10-11]</sup>。



图8 南京地铁宁溧线试验段挂耳+外置槽道实景图

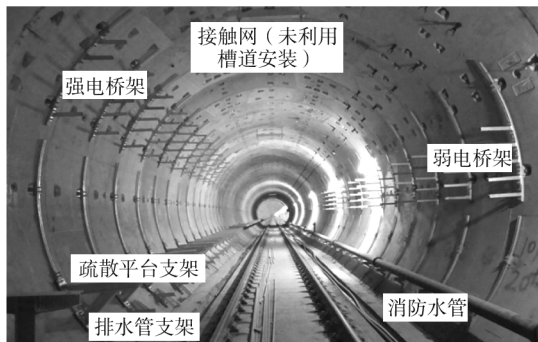


图9 南京地铁宁溧线试验段挂耳+外置槽道整体安装情况

## 2.3 预埋套筒+外置槽道

1) 预埋套筒+外置槽道简介: 通过管片生产期间预埋螺栓套筒(见图 10、11), 外挂 U 型槽道通过螺栓与预埋套筒固定。可使用与之配套的 T 形螺栓安装区间隧道内的接触网、供电电缆、通信电缆、信号电缆、泄漏电缆、排水及消防管道、疏散平台及其他设备与器材等。可减少后期设备安装时在区间隧道管片上的后锚固作业量以及对管片的损伤和破坏, 提高了管片的耐久性。

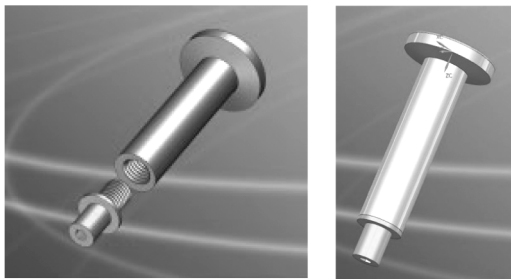


图 10 预埋套筒及端盖

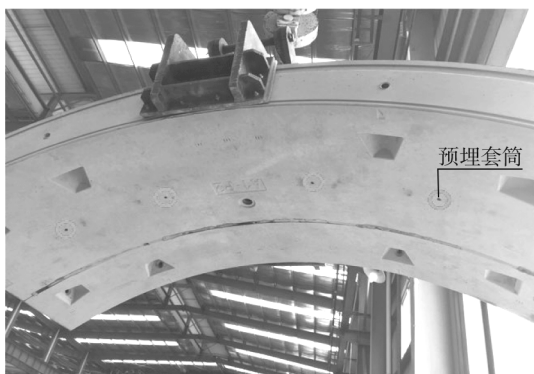
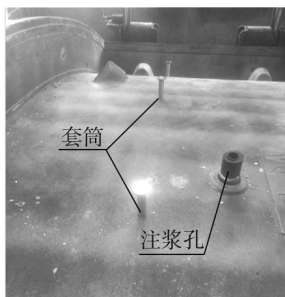


图 11 广州地铁 11 号线已预埋套筒的管片

2) 预埋套筒+外置槽道使用情况: 国内广州地铁 11 号线采用了预埋套筒+外置槽道(见图 12、13), 目前正处于管片生产阶段, 其中广州东站在—沙河站区间作为试验段已进行盾构始发。同时广州地铁 13、18 及 22 号线等后续在建线路同样考虑采用预埋不锈钢套筒+外挂槽道方案。

## 2.4 预埋尼龙套管



a) 在管片模板预埋了套筒 b) 管片模板上的套筒和钢筋笼

图 12 套筒在管片上的安装



a) 管片上预埋的套筒

b) 外置槽道试安装

图 13 广州地铁 11 号线预埋套筒+外置槽道试安装

1) 预埋尼龙套管简介: 尼龙套管方案<sup>[12]</sup>是将高分子尼龙材料制成的套管浇筑在混凝土管片内(见图 14), 通过螺栓连接外部构件与混凝土管片。



图 14 尼龙套管在管片上的安装

2) 预埋尼龙套管使用情况: 预埋尼龙套管方案尚无投入国内地铁运营线路使用的案例, 但在地铁接触轨绝缘支架底座采用现浇混凝土预埋尼龙套管的做法已比较普遍<sup>[13]</sup>, 比如深圳地铁 3 号线(见图 15)、北京地铁 5 号线、北京地铁 10 号线等。

## 3 预留预埋技术与传统钻孔安装技术对比

笔者对福州地铁 2 号线试验段、广州地铁 11 号线、深圳地铁 9 号线西延线、南京地铁宁溧线试验段等线路的预留预埋技术的使用情况进行实地考察调研, 并与各地生产厂商、施工单位及设计单位进行了深入的交流。

### 3.1 技术性能对比

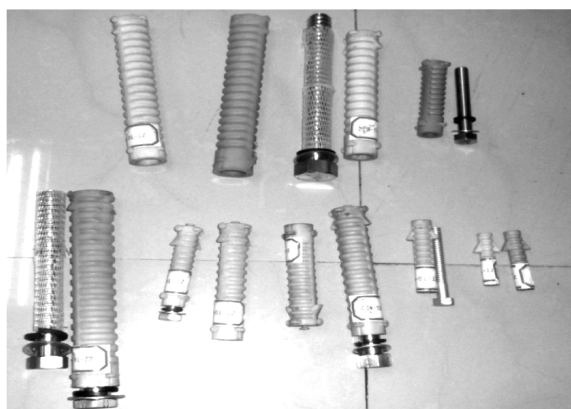
#### 3.1.1 预埋槽道

1) 相比传统钻孔锚栓、外置槽道, 预埋槽道主要的优势有:

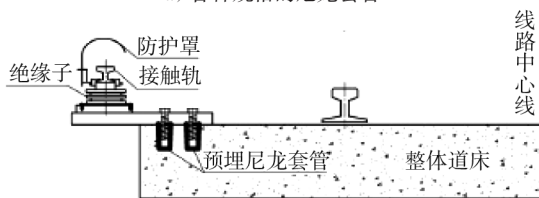
(1) 避免打孔, 改善了施工环境, 对结构不会造成损伤, 保证了结构的耐久性;

(2) 管线安装操作简单, 效率高, 环境清洁;





a) 各种规格的尼龙套管



b) 接触轨下预埋尼龙套管示意图

图 15 深圳地铁 3 号线高架区间使用的尼龙套管

(3) 运营期维护、更换隧道内设备和管线等比较方便;

(4) 不占用管片预留变形空间。

2) 预埋槽道存在的主要问题有:

(1) 预埋槽道需对既有管片模具进行改造,若地铁管片采用错缝拼接,需全环预埋,增加了工程造价,且维护保养无成熟方案、成本较高;

(2) 预埋槽道实施后不可更换,目前管片寿命按照 100 年设计,槽道能否满足 100 年使用要求有待检验;

(3) 预埋槽道锚杆与管片钢筋网无法完全绝缘(见图 16),难以避免杂散电流腐蚀<sup>[14]</sup>;

(4) 管片错缝拼装时的误差可能导致预埋槽道不在一条线上,影响后期设备的安装;

(5) 预埋槽道弧度与管片模具不密贴,槽道预埋易出现漏浆问题,槽道与混凝土结合部位的不密实可能会产生渗漏水现象;

(6) 预埋槽道为防止槽道灌浆要使用填充物,安装后垃圾比较多,为防止运营过程中填充物脱落、影响安全,故拱顶部位的预埋槽道需清理干净;

(7) 钢筋焊接机和混凝土振捣无法保证对槽道保护层的零损伤,若混凝土振捣过程中槽道变形严重,则会影响使用。

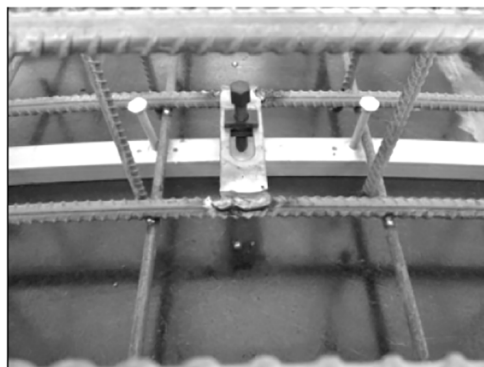


图 16 预埋槽道与钢筋笼实景图

### 3.1.2 挂耳+外置槽道

1) 根据目前国内地铁外置槽道使用经验,相比钻孔锚栓、预埋槽道、预埋套筒等方案,挂耳+外置槽道主要有以下优势:

(1) 采用外置式槽道,无需对既有管片模具进行改造;

(2) 挂耳及外置槽道不直接与管片钢筋连接,不存在绝缘及杂散电流问题;

(3) 外置槽道可根据设备安装需求相应安装,基本无废弃,可节省造价。

2) 挂耳+外置槽道存在的主要问题:

(1) 挂耳需在管片拼装过程中同步固定于管片的纵向连接螺栓,增加了土建施工工序,施工组织难度加大;后期更换需拧开管片连接螺栓,可能对管片结构安全产生影响;

(2) 管片拼装错台时,无法通过调整管片纵向连接螺栓使槽道与管片内壁实现密贴,会加大占据预留变形的空间;

(3) 外置槽道需占用结构预留变形量约 45 mm 的空间,在小曲线半径地段需对限界进行核对。

### 3.1.3 预埋套筒+外置槽道

1) 本方案相比钻孔锚栓、预埋槽道方案,主要有以下优势:

(1) 通过预埋套筒+固定螺栓安装外置槽道,无需打孔,不直接影响管片结构安全及使用寿命;

(2) 后期安装快捷便利,施工效率高,节省了工期;外置槽道可根据设备安装需求调整长度,节省了造价。

2) 预埋套筒+外置槽道存在的主要问题:

(1) 预埋套筒的固定安装需对既有管片模具进行改造;

(2) 预埋套筒实施后不可更换,目前管片寿命

按照 100 年设计,套筒能否满足 100 年使用要求有待检验;

(3) 预埋套筒的固定需要有可靠措施,否则管片生产过程中易造成套筒偏位甚至脱落,导致后期无法使用;

(4) 针对通用环,当错缝拼装管片时,需全环预埋套筒,并考虑到后期螺栓安装过程中套筒存在滑牙的可能性,故需增加备份数量,使得投资增加;

(5) 套筒的固定无法保证与管片的钢筋网绝缘,存在杂散电流腐蚀的可能性;

(6) 受列车运营过程中长期振动作用,套筒与混凝土间存在因产生空隙而脱落的可能;

(7) 管片拼装错台时,无法通过调整套筒及固定螺栓使槽道与管片内壁实现密贴,会加大占据预留的变形空间;

(8) 外置槽道需占用结构预留变形量约 45 mm 的空间,在小曲线半径地段需对限界进行核对。

#### 3.1.4 预埋尼龙套管

1) 本方案与钻孔锚栓、预埋槽道、外置槽道方案相比,主要有以下优势<sup>[15]</sup>:

(1) 通过预埋尼龙套管加固定螺栓连接盾构管片与构件,无需打孔,不会直接影响管片结构安全及使用寿命;

(2) 不占用管片的预留变形空间;

(3) 耐腐蚀、抗老化,不存在绝缘及杂散电流问题。

2) 预埋尼龙套管存在的主要问题<sup>[16]</sup>:

(1) 预埋尼龙套管的固定安装需对既有管片模具进行改造;

(2) 尼龙套管预埋数量多,预埋、浇筑时需对尼龙套管进行逐个定位,效率低、施工工艺要求高;

(3) 预埋套管的固定需要有可靠的措施,安装定位要求高,质量控制难,对管片生产影响较大;

(4) 受预埋套管位置限制,增加吊点则须打孔。

#### 3.2 经济指标对比

传统钻孔安装与预留预埋安装的经济指标对比见表 1~5。

#### 4 结语

1) 存在的问题:

(1) 规范缺失对技术要求的影响:目前关于盾构管片预留预埋技术暂无国家规范可供参考,仅部分城市推行了预埋槽道的技术标准。如:北京市轨

表 1 传统钻孔安装单价(管片环宽 1.5 m)

项目	螺栓型号	数量/ (套/环)	单价/ (元/套)	每环费用/ 元
接触网	M20	0.400	96.35	38.54
通信	M12	3.750	17.99	67.46
信号	M16	0.125	平均 50.00	6.25
	M12	0.125		
	M10	0.125		
电力	M12	3.750	40.00	150.00
动力照明	M12	3.500	2.00	7.00
给排水	M16	2.040	77.71	158.53
火灾报警系统	骑马卡螺丝	1.940	4.20	8.15
线路标识	M8	0.140	1.50	0.21
疏散平台	M20	5.000	96.35	672.63
	M12	2.500	76.35	
人工及其他费用				1 000.00

注:合计每环 23.150 套、2 108.77 元;每 km 管片的钻孔安装费用(螺栓使用年限为 25 年,本次费用未考虑后期更换)约 141 万元。

表 2 预埋槽道经济分析表(管片环宽 1.5 m)

项目	每环 数量	概算 单价	每环费 用/元	每 km 费 用/万元
预埋槽道	18.5 m	125.0 元/m	2 312.5	154.17
T 型螺栓	25 套	5.5 元/套	137.5	9.17
人工及其他费用			250.0	16.67
总计			2 700.0	约 180

注:已含垫圈等所有配件,单价为国内地铁投标价,槽道规格为 4022;管片采用错缝拼装,需全环预埋,故费用较高。

表 3 挂耳+外置槽道经济分析表(管片环宽 1.5 m)

项目	数量	概算 单价	每环费 用/元	每 km 费 用/万元
挂耳	12 个	45.0 元/个	540.0	36.0
外置槽道	12 m	120.0 元/m	1 440.0	96.0
T 型螺栓	25 套	5.5 元/套	137.5	9.2
人工及其他费用			250.0	16.7
总计			2 367.5	约 158

注:已含垫圈等所有配件,单价为国内地铁投标价,槽道规格为 4022。

表 4 预埋套筒+外置槽道经济分析表(管片环宽 1.5 m)

项目	数量	概算 单价	每环费 用/元	每 km 费 用/万元
预埋套筒	32 个	28.0 元/个	896	59.7
外挂槽道	8 m	120.0 元/m	960	64.0
T 型螺栓	20 套	5.5 元/套	110	7.3
人工及其他费用			250	16.7
总计			2 216	约 148

注:已含垫圈等所有配件,单价为国内地铁投标价,槽道规格为 4022。

道交通建设管理有限公司组织编写的 QGD-001—2016《北京市建设工程技术标准—轨道交通工程预埋槽道应用技术规程》,太原市轨道交通发展有限公司组织编写的 Q/J 01 BGD 001—2018《太原市

表5 预埋尼龙套管经济分析表(管片环宽 1.5 m)

项目	数量/个	概算单价/ (元/个)	每环费 用/元	每 km 费 用/万元
M12 尼龙套管	40	21.0	840	56.0
镀锌渗层白螺栓	20	28.9	579	38.6
转换梯式支架			1 020	68.0
人工及其他费用			50	3.3
总计			2 539	约 166

注:以上均为预估价,实际以招标合同为准。

轨道交通发展有限公司企业标准—轨道交通工程盾构管片预埋槽道应用技术规程》,而由深圳城市轨道交通协会组织编写的深圳市标准《城市轨道交通预埋槽道及套筒技术标准》尚在审查阶段。目前,预埋槽道相关的技术标准仅有 TB/T 3329—2013《电气化铁路接触网隧道内预埋槽道》。盾构管片预留预埋技术在近几年才开始逐步应用于国内城市轨道交通中,相关设计、施工与管理等尚处于摸索阶段。现阶段设计过程中往往综合各地的技术标准后,取其高标准,检测项目也多而全;实际建设过程中,建设单位、检测单位往往会对标准的依据和合理性提出质疑。

(2) 预埋槽道耐久性达到 100 年的衡量标准尚无规范依据。《电气化铁路接触网隧道内预埋槽道》未提出耐久性的要求,地方技术标准中也仅提及“预埋槽道的使用寿命应与地铁结构 100 年设计使用年限的要求相匹配”<sup>[17-18]</sup>,但未提出满足该条标准应采取的措施及要求。

2) 结论与建议:尽管盾构管片的预留预埋技术存在初装费用高及一些不足之处,但与传统钻孔安装技术相比,预留预埋技术的采用可大大地提高盾构管片的耐久性,在施工工艺、施工环境、设备安装效率、外观效果、运营维护,以及减少隧道损伤等方面均有较大优势,其技术先进性,值得推广。

3) 展望:目前,国内地铁盾构隧道采用预留预埋技术而正式投入运营使用的经验仍较少,各地的技术要求、检测、验收尚无统一标准,差异性较大。因此,应尽快出台统一标准和规范,以促进地铁盾构区间装配式建筑的快速发展,彻底改变地铁盾构区间建筑安装行业传统粗放的施工工艺,促使工程施工向着精细化、标准化、工厂化生产的方向发展。

## 参考文献

- [1] 张庆贺,朱合华,庄荣,等.地铁与轻轨[M].北京:人民交通出版社,2002:14.
- [2] 杜峰.深圳地铁 9 号线盾构法隧道管片预埋滑槽设计研究及探讨[J].隧道建设,2014(3):249.
- [3] 刘卡丁.预埋件施工技术及镀锌渗层防腐技术在地铁工程中的应用探讨——延长工程寿命降低维护运营成本[J].隧道建设,2013(7):537.
- [4] 中华人民共和国铁道部.电气化铁路接触网隧道内预埋槽道:TB/T 3329—2013[S].北京:中国铁道出版社,2013.
- [5] 邓剑荣,丁先立.预埋滑槽技术在城市轨道交通工程中的应用[J].城市轨道交通研究,2016(8):90.
- [6] 曾斌.管片预埋滑槽在深圳地铁 9 号线的应用[J].都市快轨交通,2015(1):114.
- [7] 李学峰.天津地铁盾构管片预埋槽道技术标准研究[J].建筑·建材·装饰,2017(1):154.
- [8] 马晓波.盾构管片预埋滑槽技术在兰州地铁中的应用[J].铁道标准设计,2016(3):101.
- [9] 吴天林.预埋滑槽技术在哈尔滨地铁工程中的可行性分析[J].筑路机械与施工机械化,2017(11):90.
- [10] 雷建军,代文佳.中铁电气化局福州总包部采用外挂槽道新技术助力福州轨道交通 2 号线建设 [EB/OL].(2017-11-21)[2018-12-05].http://www.peoplerrail.com/rail/show-478-357902-1.html.
- [11] 福州广播电视台.创新+匠心—康元科技助力福州轨道交通建设 [EB/OL].(2018-01-21)[2018-12-05].http://www.zohi.tv/p/14197.html.
- [12] 郭桃明,陈成阳.城市轨道交通盾构区间预埋尼龙套管技术研究[J].山西建筑,2014(18):160.
- [13] 姜海东,杜银龙.轨道交通接触轨绝缘支架底座螺栓套筒预埋施工技术研究[J].硅谷,2011(5):79.
- [14] 李威.地铁杂散电流腐蚀监测及防护技术[M].北京:中国矿业大学出版社,2004.
- [15] 刘永祥.预留预埋技术在城轨工程中的探索与应用[J].铁路技术创新,2018(2):26.
- [16] 郑文玺.地铁盾构隧道预留预埋方案研究[J].建设科技,2016(12):133.
- [17] 北京市轨道交通建设管理有限公司.北京市建设工程技术企业标准—轨道交通工程预埋槽道应用技术规程:QGD-001—2016[S].北京:北京市轨道交通建设管理有限公司,2016.
- [18] 太原市轨道交通发展有限公司.太原市轨道交通发展有限公司企业标准—轨道交通工程盾构管片预埋槽道应用技术规程:Q/J 01 BGD 001—2018[S].太原:太原市轨道交通发展有限公司,2018.

(收稿日期:2019-02-26)