

# 饱和软土敏感环境地铁车站的盾构法施工技术方案

刘洪波 吴迪

(上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 通过梳理国内外盾构法地铁车站发展现状, 对上海典型软土地区采用盾构法施工地铁车站的关键问题及技术方案进行了探讨。根据上海超大客流的实际情况和国内既有规范要求, 盾构法施工车站的消防疏散设计与车站规模之间的矛盾是需要重点考虑的问题, 而车站的建筑布局方案是解决问题的关键。基于单圆盾构、三圆盾构及类矩形盾构, 提出了四种车站断面设计思路。还根据国内外消防规范的主要区别, 提出了相应的结构设计要点和施工控制策略。

**关键词** 地铁车站; 盾构法; 软土地区; 车站断面

**中图分类号** U455.43

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.05.028

## Shield Tunneling Scheme for Metro Station Construction in the Sensitive Environment of Saturated Soft Soil

LIU Hongbo, WU Di

**Abstract** Based on the development of metro stations built with shield tunneling in foreign countries, the key problems and technical schemes for metro stations constructed by shield tunneling method in soft soil areas of Shanghai are discussed. According to the practical situation of the super passenger flow in Shanghai rail transit and the existing regulations in China, the contradictions between the station fire excavation design and the station scale should be emphasized, in which the architectural layout plan could possibly be the main solution. According to the forms of single circle shield, three-circle shield and quasi-rectangular shield, four station section design schemes are proposed. Finally, based on the differences in fire codes at home and abroad, corresponding structural design points and construction control strategies are proposed.

**Key words** metro station; shield tunneling method; soft soil area; station section

**Author's address** Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

目前, 修建地铁车站常采用的明挖法施工需长期占用道路, 且管线和绿化搬迁量大, 建筑拆迁量多, 车站周边的环境及交通等受到极大负面影响,

使城市轨道交通建设同社会环境、城市主要交通线及居民生活质量之间的矛盾日益凸出。解决该问题的最有效方式是采用暗挖技术修筑轨道交通地下车站。通过选取适当的暗挖工法直接开挖形成地下空间, 可减小对城市敏感环境的扰动。

软土地区最为常见的暗挖工法为盾构法<sup>[1-2]</sup>, 其施工效率高且易于控制地层损失, 在国内各大城市的城市轨道交通工程及市政工程中得到了广泛应用。在国内, 盾构法多用于修建地铁区间隧道, 仅在北京、广州及重庆等地层条件较好的城市中曾考虑采用盾构法结合扩挖施工技术修筑地下车站<sup>[3]</sup>。文献[4]结合国内施工技术水平探讨了我国以盾构法与暗挖法相结合来修建地铁车站的技术应用前景, 但目前软土城市中仍无采用盾构法修建地下车站的实例。

近年来, 国外地铁出现了双圆及三圆等多圆盾构直接修建地铁车站的方法<sup>[5]</sup>。本文通过梳理国内外车站盾构法施工技术发展现状, 对上海典型软土地区采用盾构法修建车站的关键问题及技术方案进行探讨, 针对在软土地层采用盾构法施工的车站(以下简为“盾构法车站”), 提出建筑布局方案、结构设计要点及施工控制策略, 以期丰富国内软土地区敏感环境地铁车站设计施工方法, 并为远期网络建设做技术储备, 可供同行借鉴参考。

## 1 上海地区盾构法车站建设面临的关键问题与挑战

### 1.1 上海地铁建设的工程环境特征

上海位于长江中下游冲击平原, 其地表以下多含有滨相沉积形成的深厚软土层, 还有相当区域的地基承载力小于 50 kPa, 属于极软土。人们对软土地区工程的设计极软依然存在算不准、认不清、把不住等问题。这些都会给车站盾构法施工技术的实施造成了极大困难。

此外, 城市建设的一般规律总是先易后难, 随

着上海市区近 30 年的大规模建设和发展,城市轨道交通建设将面临越来越苛刻的周边制约影响。特别在无法实施明挖法的区段,周边管线、交通及建筑分布通常极其复杂,又会给车站的盾构法施工带来诸多挑战。

1.2 车站盾构法施工面临的关键问题及挑战

在上海这类富水极软弱地层中采用盾构法直接修筑车站尚无先例可循。盾构法车站的布局形式、结构设计及施工安全控制策略没有类似工程可以借鉴。同时,上海城区环境保护等级极高,且我国城市轨道交通行业规范及标准要求严苛。这都给实施车站的盾构法施工带来极大困难。盾构法车站施工面临的关键问题主要存在几方面。

1.2.1 车站断面建筑布局形式

优化设计车站断面建筑布局形式,以满足上海超大客流及车站功能基本需求是首要问题。车站断面尺寸受盾构机外径影响较大,而且会使车站站台宽度受限。通常最需采用地下暗挖技术施工的

车站均位于上海城市中心区域,而且均面临超大客流运输和集散等问题。这与受盾构机尺寸限制的车站建筑功能相矛盾。

此外,盾构法车站多为单层(站台层)侧式站台,且圆形断面利用率较小,如何优化圆形断面设计以实现上下行客流的联系以及与站厅层的连通,如何布置车站设施设备等,均为需要优先考虑的问题。

1.2.2 车站消防要求

车站消防要求与车站规模之间的矛盾亟待解决。从现有工程案例的调研情况来看,日本多数采用盾构法施工的车站长度均超过 100 m,最长达 275 m(饭田桥站)。而国内地下工程受消防疏散规范要求的限制,考虑设置楼扶梯,最长的盾构暗挖段仅长 82 m(上海轨道交通 14 号线静安寺站的顶管段)。表 1 为上海使用的 GB 51298—2018《地铁设计防火标准》(以下简为“我国规范”)与日本的《地铁防火规范详解》(以下简为“日本规范”)的对比。

表 1 我国规范与日本规范的主要条文对比

主要指标	我国规范	日本规范
疏散距离	站台公共区任一点与楼梯口下部距离不得大于 50 m	车门与楼梯口下部距离最大不大于 75 m
疏散时间	车站从站台层疏散至站厅公共区或其他安全区域的时间≤6 min	从站台层至站厅层疏散时间一律为 7 min
安全区认定	消防专用通道、二侧式站台之间的连通道、地下换乘车站的换乘通道不应作为安全出口	从站台向下走到邻近的建筑物进行疏散,或者向下走过连接侧式站台的下部联络通道,从一侧站台逃到另一侧站台也认为是到了疏散安全区;通过上行联络通道(需设能够阻碍线路间烟流动的设施)到另一侧站台也认为是到了疏散安全区

我国规范中要求站台公共区任一点与楼梯口下部距离不得大于 50 m,相应的日本规范则要求车门与楼梯口下部距离不超过 75 m。需要重点强调的是,我国规范中对安全区的认定为:消防专用通道、二侧式站台之间的连通道及地下换乘车站的换乘通道,不应作为安全出口;而日本规范则认为:从站台向下走到邻近的建筑物进行疏散,或者向下走过连接侧式站台的下部联络通道,均是到了疏散安全区(如图 1 所示),通过上行联络通道(需设能够阻碍线路间烟流动的设施)到另一侧站台也认为是到了疏散安全区。

由此可见,我国规范对于暗挖车站规模的限制很大。因此,如何通过创新设计与优化,实现车站真正意义上的盾构法施工,已成为亟需解决的问题。

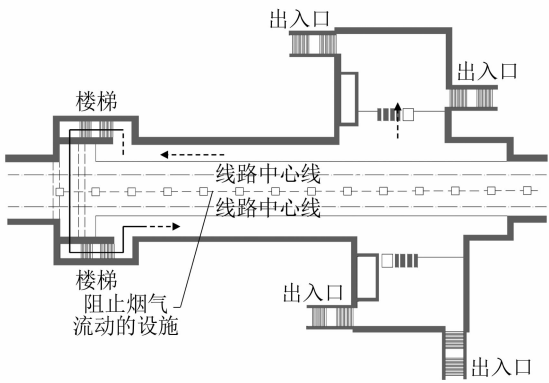


图 1 日本规范中的疏散通道和安全区认定示意图

1.2.3 盾构法车站的耐久性与防水

盾构法车站要实现站台间的连通与联系、达到防火疏散要求、扩大车站规模,势必要在成型盾构隧道基础上进行管片衬砌的破除和结构之间的通道连接。这对结构设计的可靠性提出了新的要求。

具体表现在:如何从设计源头控制新型柔性车站在长期列车运行荷载与周边复杂环境中的变形与沉降稳定,如何解决多接缝及新旧结构搭接的防水问题等。

### 1.2.4 施工安全控制策略与周边环境保护技术

盾构法车站施工,不仅需要研制与建筑结构设计相匹配的单圆大断面、双圆、三圆甚至多圆盾构设备,还需要研发一套新型大断面盾构施工的周边环境保护策略。此外,对于破除既有衬砌结构的环节,也需要配套创新的施工工艺来保证工程的质量与安全。

## 2 盾构法车站的施工技术方案

在明确上海地区工程环境特征的基础上,结合目前技术水平,从建筑布局、结构设计及施工技术等方面对上海的盾构法车站施工技术方案进行初步探索。根据上海客流情况,目前盾构法车站断面主要可采用单圆大盾构左右布置断面、两单圆左右布置断面、三圆断面及类矩形断面等形式。

### 2.1 单圆大盾构左右布置断面

单圆大盾构左右布置的车站断面如图 2 所示。这种断面形式可以将站厅与站台置于同一盾构断面内,但圆形断面的利用率较低。当站台宽度为 10.0 m 时,隧道断面直径已达 17.6 m。从既有案例的调研结果来看,目前世界范围内类似断面盾构设备极少,其断面直径过大导致盾构机定制成本很

高,而且由于站台宽度较小,对市区大客流适应性较差。

此外,受制于大断面隧道的最小覆土要求,车站段的埋置深度将超过 10 m。这对附属结构的施工难度和周边环境保护提出了更高要求,不但增加了建设成本,也不利于客流疏散,车站功能较弱。

### 2.2 两单圆左右布置的断面

两单圆左右布置的车站典型断面如图 3 所示。这种断面形式的布局同日本地铁杂司谷站及西早稻田站的车站类似,即在每条隧道中分别设置轨行区和侧式站台,两条隧道间通过横向联通道进行联系。

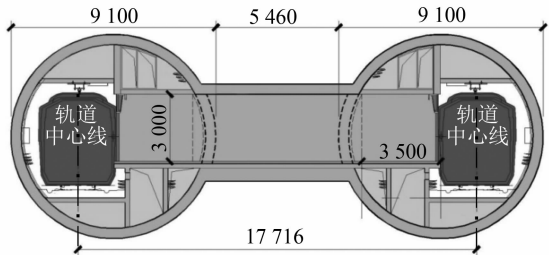


图 3 两单圆左右布置的车站断面示意图

与单圆大盾构左右布置断面相比,该方案的隧道直径仅为 9.1 m,可有效解决盾构设备的问题,且埋深限制也大大减小。然而,由于该方案只有一层(站台层),因此需要考虑站台与站厅的连通问题,同时还需要对消防疏散等问题进行专题研究,否则会影响盾构段长度与车站规模。

两单圆左右布置的车站断面方案中,隧道断面的形式可以根据不同客流进行选择<sup>[9]</sup>。不同隧道断面尺寸的车站特点见表 2,对应的站台布置形式如图 4 所示。

三种断面尺寸各有优劣。内径为 6.76 m 的断面所对应的站台宽度仅 2.5 m,无法满足上海超大客流的现状需求,盾构法车站施工方案中不宜进行考虑。内径为 8.00 m 的断面布置形式已在东京地铁的杂司谷站及西早稻田站进行了应用;该断面的盾构设备在国内尚需定制,若不进行推广则成本较高;另外,还须结合消防疏散距离等因素来确定暗挖段的长度。内径为 10.00 m 的断面可设置相应的临时避难区,且站台宽度能够适应较大客流量,但隧道施工占用宽度大,需根据市区狭窄街道的实际勘察情况分析可行后方可应用。

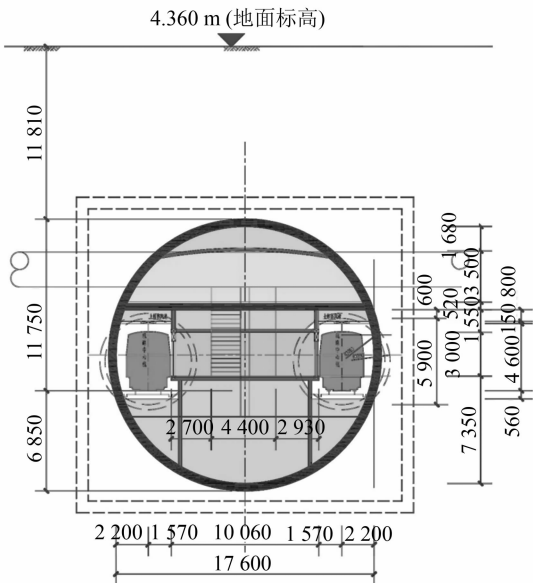


图 2 单圆大盾构左右布置的车站断面示意图

表 2 不同隧道断面尺寸的车站特征

特征指标	内径为 6.76 m 的断面	内径为 8.00 m 的断面	内径为 10.00 m 的断面
站台宽度	2.5 m (侧式站台)	3.5 m (侧式站台)	5.2 m (侧式站台, 其中有效站台宽度为 3.4 m)
适应客流	小客流	较大客流	较大客流
选用设备	外滩观光隧道所用的盾构机	需定制	复兴路隧道所用的盾构机
施工占用宽度	约 17 m	约 20 m	约 25 m
应用情况	无应用	日本杂司谷站、西早稻田站	无应用

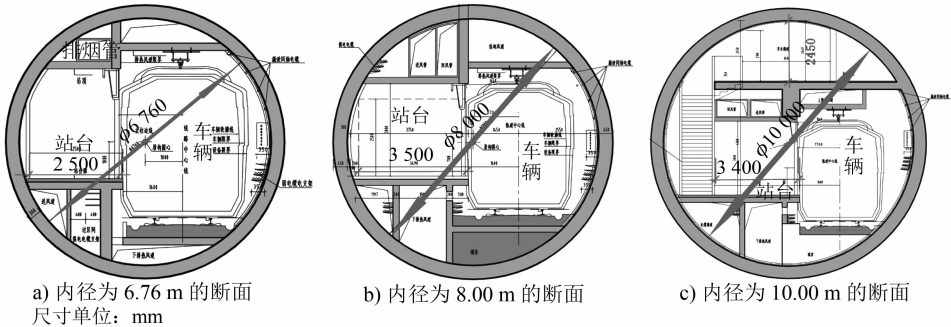


图 4 不同断面尺寸对应的站台区布置形式

2.3 三圆断面

采用三圆盾构修筑的三圆断面车站布局如图 5 所示。由图 5 可知,三圆断面可以做出满足大客流要求的岛式站台布局形式(站台宽 13 m)。此时的断面尺寸为 22.4 m×8.5 m。三圆盾构车站隧道断面的利用率大大提高,但该方案施工占用宽度较大,且需要重新定制盾构装备,相应的施工经验尚不成熟。三圆盾构车站断面通常只有站台层,因此也需要考虑站厅与站台的连通方式及消防疏散距离问题。

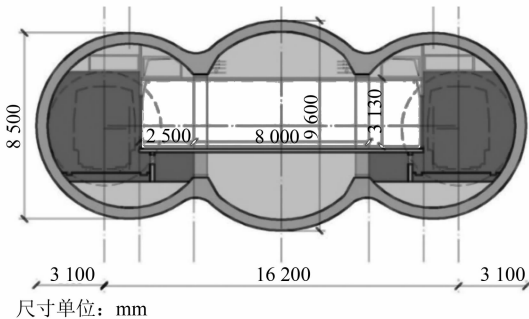


图 5 三圆断面车站布局示意图

2.4 类矩形断面

类矩形断面的车站布局与单圆盾构类似,相比于圆形断面,类矩形对空间的利用率更高,其相应的施工设备可选择类矩形盾构机。然而,类矩形隧道的结构受力性能不如圆形好,在车站周边发生不对称加卸载时容易受偏心荷载而对结构产生不利影响,其远期的耐久性保持难度和治理难度等均大

于圆形隧道。

在结构设计和施工方面,特别是在高灵敏性软土地层中,复杂地下结构的受力计算与耐久性保障技术,以及施工微扰动控制技术等均亟为亟待攻克的难题,需要根据具体的建筑设计方案,辅以更精细化的计算理论和动态控制技术方能实现。另外,结构的设计和施工能力也对建筑方案有制约作用。从目前国内的结构设计水平和施工控制经验来看,工作重点在于解决富水软土地层中的衬砌开口设计与多次、长距离暗挖通道施工影响等问题。

2.5 断面型式选择的影响因素

综上所述,车站断面的选择应综合考虑线路走行关系、车站客流、地下空间尺寸、施工技术及设备等因素。结合上海实际情况,可从单圆大盾构断面及两单圆断面等方案入手,深入研究能保证建筑功能、客流需求、消防安全和结构可靠的设计方案。

由于盾构法车站的规模在很大程度上受到消防疏散距离的限制,故车站的设计方案还需要进行深入的消防专题研究,且需考虑站厅与站台层的连通方式。两单圆左右布置断面车站更需考虑两站台的连通,其中常见的站台连通方式如图 6 所示。能同时满足消防规范与暗挖长度需求的建筑方案也有待进一步研究。

3 结语

本文以上海轨道交通为例,针对软土地区采用

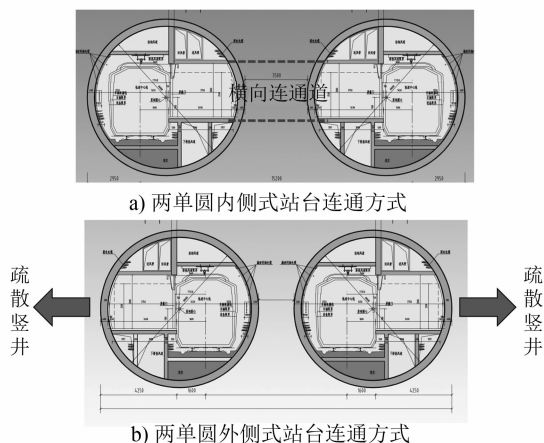


图6 两单圆左右布置断面车站常见的站台连通方式

盾构法车站的技术方案进行初步研究,从客流适应、建筑功能、消防疏散、结构设计及施工安全等方面提出了软土地层盾构法施工车站的建筑布局方案、结构设计要点及施工控制策略,可为远期盾构

法车站的实施提供一定参考和借鉴。

## 参考文献

- [1] (日)地盘工学会著.盾构法的调查·设计·施工[M].牛青山,译.北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 刘建航,侯学渊.盾构法隧道[M].北京:中国铁道出版社,1991.
- [3] 何川,丁建隆,李围.配合盾构法修建地铁车站的技术方案[J].西南交通大学学报,2005,40(3): 293.
- [4] 路美丽,刘维宁,孙晓静.盾构法、暗挖法结合修建地铁车站在我国的应用前景[J].都市轨道交通,2004,17(2): 30.
- [5] 刘洪波.城市轨道交通地下车站暗挖工法综述[J].城市轨道交通研究,2015(7): 99.
- [6] 刘洪波.软土地层暗挖施工地铁车站技术的研究与应用[J].应用技术学报,2018(2): 154.
- [7] 曹文宏,申伟强.软土地层中暗挖轨道交通车站设计方案探讨[J].地下工程与隧道,2015(1): 1.

(收稿日期:2018-05-17)

(上接第 117 页)

## 2.5 运营期的监测

整体道床补强加固完成后,运营工班每月应按照巡检计划对此处进行巡查与检测,并做好相关数据的上报。

某项目实施补强加固措施后,对其进行了接近 3 年的监测。根据近 3 年的运营数据,现场轨道几何尺寸数据与道床结构表面病害均没有异常。工程实践结果表明,本文的道床分析与补强加固措施是符合现场实际的。

## 3 结语

本文通过基本假定,提出道床受力的力学模型;对整体道床进行力学分析,提出临界脱空面,并通过对临界脱空面渗水至浸水过程的探讨来分析道床脱空破损的机理。

基于整体道床脱空破损的机理,本文提出采用环氧树脂进行补强加固的措施。3 年正常运营期的跟踪与反馈结果表明,本文对整体道床破坏机理的分析是符合工程实际情况的,补强加固措施具有实

际操作性和良好的加固效果。

## 参考文献

- [1] 黄宏伟.隧道及地下工程的全寿命风险管理[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 中华人民共和国铁道部.铁路桥隧建筑物劣化评定标准隧道:TB/T 2820.2—1997[S].北京:中国铁道出版社,1997.
- [3] 董飞,房倩,张顶立,等.北京地铁运营隧道病害状态分析[J].土木工程学报,2017(6): 104.
- [4] 赵振江,乔小雷.地铁隧道整体道床病害机理及防治措施[J].城市轨道交通研究,2014(12): 98.
- [5] 胡怡东.EAA 环氧树脂在广州地铁 1 号线整体道床病害治理中的应用[J].城市轨道交通研究,2005(6): 75.
- [6] 练松良.隧道工程[M].上海:同济大学出版社,2010.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [8] 陈富强,田唯,刘占国,等.匹配浇筑混凝土接触面摩擦系数试验研究[J].中国港湾建设,2014(12): 34.

(收稿日期:2018-06-28)