

# TBM/EPB双模盾构机连续皮带排渣与有轨机车排渣应用分析

钱 超

中国葛洲坝集团市政工程有限公司 湖北 宜昌 443000

**摘 要:**近年来,随着TOD的迅速发展,大直径TBM盾构机在城市轨道交通隧道施工中得到了广泛的应用,但其排渣方式有连续皮带机排渣和有轨机车排渣两种,各具特点。随着TBM盾构机的广泛使用,两种排渣方式的选择问题尤为突出。选择合适的排渣方式,可以充分发挥大直径TBM盾构施工高效的特点,有效缓解工程工期压力,提高效率。因此,如何选择合适的排渣方式,本文将从技术、经济性两方面探讨连续皮带排渣与有轨机车排渣的优缺点及应用场景。

**关键词:** TBM盾构; 连续皮带排渣; 有轨机车排渣; 应用

随着TOD及城市快线的快速发展建设,大直径TBM/EPB盾构掘进技术在城市工程建设项目中的应用越来越多,TBM/盾构法有效、快速排渣的问题凸显。对配套的排渣设备在施工条件的适应性、工艺流程的研究和改进等方面具有较高的研究价值。探讨有轨机车排渣和连续

皮带排渣的适用性,为相似工程建设提供参考<sup>[5]</sup>。

## 1 国内地铁市场概况

截止2022年10月国内地铁运营里程总计7535km,概况如下图所示:

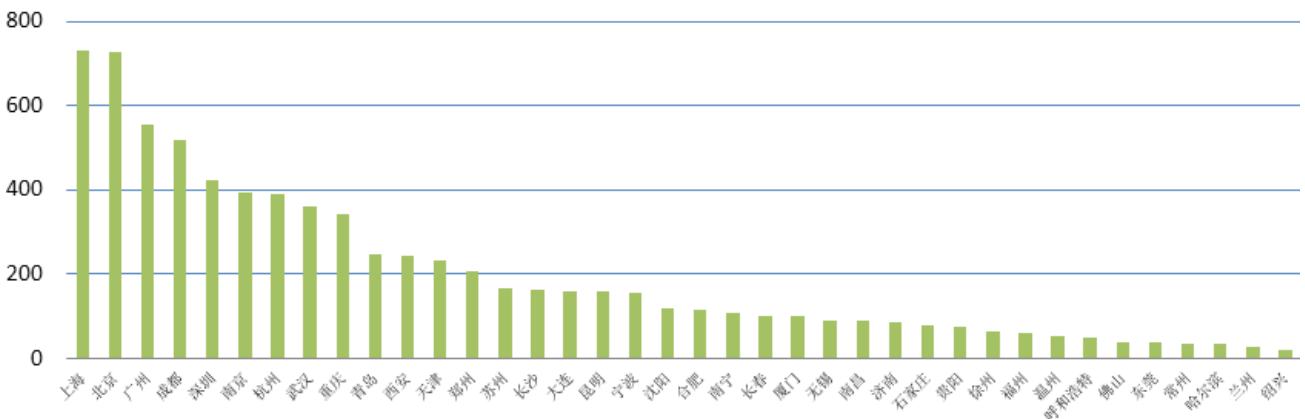


图1 国内地铁运营概况分布图

## 2 国内盾构机发展趋势

2015年前,国内地铁盾构主要使用管片内外径分别为5.4m/6m、5.5m/6.2m两种类型为主。随着TOD的迅速发展,自2015年开始,国内大部分城市的地铁盾构隧道内径不断进行调整,如北京、上海、广深港等城市相继采用大尺寸的管片设计,以满足更高的运行速度、城际铁路的建设需求,管片尺寸开始多样化、大尺寸化,因而国内地铁盾构机的直径也在不断发生变大的趋势。

根据《广东省发展改革委转发国家发改委关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划批复的通知》(粤发改基础

函(2020)1528号)、《交通运输部关于深圳市开展高品质创新型国际航空枢纽建设等交通强国建设试点工作的意见》(交规划函(2020)585号)、《广东省发展改革委转发国家发改委关于做好粤港澳大湾区城际铁路计划开工项目前期工作的通知》(粤发改基础函(2021)330号)、《2021年轨道交通建设责任书》中相关5条城际铁路项目盾构法施工合计420KM,开挖直径达9150mm,深圳作为我国经济特区示范窗口,显而易见后续地铁及城际铁路建设中8.8m管片内径的盾构机逐渐成为主流,目前其变化趋势及分布城市情况见下表。

表1 地铁隧道直径变化趋势及分布城市情况表

项目	设计时速	盾构管片类型 (m)	城市
地铁 (内/外)	60 ~ 120km/h	5.5m/6.2m	深圳、武汉、郑州、长春、杭州、石家庄、兰州、太原、徐州、南京等
		5.8m/6.4m	北京、广州、济南等
		5.9m/6.6m	上海、苏州、天津、重庆等
		5.9m/6.7m	深圳、武汉、绍兴等
		6.1m/6.9m	杭州机场线
		6.4m/7.2m	武汉
		6.6m/7.3m	北京
城际铁路 (内/外)	120km/h	5.9m/6.6m	上海地区
		6.0m/6.7m	东莞、杭州地区等
	140km/h	7.1m/7.9m	成都、重庆等
		7.5m/8.3m	成都、福州等
		7.7m/8.5m	广州、重庆等
	160km/h	7.9m/8.8m或8m/8.8m	深圳、北京、长株潭等

### 3 排渣方式比较

#### 3.1 有轨机车排渣

TBM盾构有轨机车排渣,即在隧道内铺设轨道,采用铁路蓄电池机车或内燃机车牵引方式将渣运至洞口工作井,再利用龙门吊垂直吊至地面,进行隧道开挖出渣的运输作业方式。有轨机车排渣出洞,是一种适应性强的运输方式。它占地面积小,运输量大。因此,它在地下工程和隧道施工中得到了广泛的应用,在TBM盾构施工中已经相当成熟。

##### 3.1.1 优势:

- ① 应用成熟度高,采用的技术和产品极其成熟可靠;
- ② 适用性强,可运送各类型的渣土和施工材料,适应各种长度隧道;
- ③ 模块化定制,犹如搭积木般,无需安装。

##### 3.1.2 缺点

相对连续皮带出渣缺点如下:

- ① 效率低,长距离运输效率极低,严重制约了隧道施工效率;
- ② 安全性低,在荷载作用下边坡较大时易发生溜车,速度过快时易出轨;
- ③ 污染严重,蓄电池机车由于电池寿命短、废电池处理困难、成本高,内燃机车尾气严重,增加了对隧道通风的要求;
- ④ 浪费资源,电瓶机车需设置充电室,不利于狭小场地的施工,需要专人对电瓶进行维护和充电;

#### 3.2 皮带机连续排渣

TBM/盾构掘进产生的弃渣经过刀盘渣斗后或螺旋输送机,依次进入TBM盾构主机带式输送机、桥架带式输

送机、后配套带式输送机,由隧道内的长距离连续带式输送机通过长距离运输将弃渣输送至隧道口。再由隧道外带式输送机或垂直皮带机输送至暂存位置,最后由自卸汽车运至渣场。作为地铁TBM盾构施工的配套设备,连续皮带机排渣系统已在国内外地铁、隧道等施工现场得到了广泛的应用。原理示意图如下。

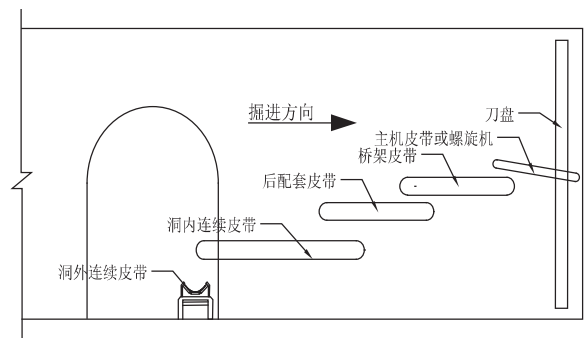


图2 连续皮带排渣系统原理示意图

##### 3.2.1 优势

- ① 无需等待渣车,可连续掘进,提高施工效率;
- ② 减少维修人员,降低劳动强度;
- ③ 低污染,无废气,降低隧道通风要求;
- ④ 当有轨电车不能工作时,可在大坡度条件下运输;
- ⑤ 洞外无需大吨位龙门吊、翻土机、卸渣机等;
- ⑥ 适应性强,适用于不同直径的隧道项目;
- ⑦ TBM连续带式输送机可重复使用;
- ⑧ 降低工程安全风险;
- ⑨ 应用成熟度很高<sup>[1]</sup>。

##### 3.2.2 缺点

- ① 皮带跑偏,需频繁调节;
- ② 皮带支架需要手动伸出;

③ 垂直带排渣受限，遇涌水、大含水量渣土排渣效果差；

④ 初始安装时间长。

⑤ 设备成本高，价格比较贵。

#### 4 应用分析

##### 4.1 技术经济性比选

以目前在建项目深大城际1标项目土建三工区为例，该项目采用 $\phi 9100$ TBM/EPB双模盾构掘进施工，管片为8.8/8.0-1.8m，开挖直径为 $\phi 9150$ mm，平均掘进距离为3.5KM；实方排渣量 $118\text{m}^3/\text{环}$ ，虚方量 $160\text{m}^3/\text{环}$ ，排渣量成倍增长，采用常规45T机车编组排渣，掘进1环机车需要进出2次，严重影响掘进速度、制约工期。应对该情况出渣方式有三种方案，方案一：采用45T有轨机车编组排渣，掘进一环机车需进出两次；方案二：采用65T有轨机车编组排渣，掘进一环机车需进出一次；方案三：采用连续皮带排渣系统排渣，25T有轨机车编组运送施工材料。以下就该项目实际情况，从技术经济性比较两种排渣方式的三种方案。

有轨机车空载速度 $10\text{KM}/\text{h}$ ，重载 $5\text{KM}/\text{h}$ ；盾构机掘进时长 $45\text{min}/\text{环}$ ，管片拼装速度按 $45\text{min}/\text{环}$ ；工作井深

$64/72\text{m}$ 深，龙门吊升降速度按 $10\text{m}/\text{min}$ 考虑则翻土、下料需用时 $20\text{min}/\text{次}$ ；理想状态下一环耗时最短为拼装+掘进时长，即 $45+45=90\text{min}$ 。

方案一：一环时间 =  $2(3/10+3/5) + (3+2 \times 4) \times 20 + 45 = 373\text{min}/\text{环}$

3公里24小时不间断施工理想条件下耗时 =  $3000 \div 1.8 \div 60 \div 24 \times 185 = 432\text{d}$

设备成本 =  $200 \times 3 + 300 + 240 = 1140$ 万元

方案二：一环时间 =  $3/10 + 3/5 + (6+3) \times 20 + 45 = 279\text{min}/\text{环}$

3公里24小时不间断施工理想条件下耗时 =  $3000 \div 1.8 \div 60 \div 24 \times 279 = 323\text{d}$

设备成本 =  $320 \times 2 + 420 + 240 = 1300$ 万元

方案三：此方案仅需龙门吊下管片、辅助施工材料。一环时间 =  $3/10 + 3/5 + 3 \times 20 + 45 = 159\text{min}/\text{环}$

连续皮带安装需要20d，则3公里24小时不间断施工理想条件下耗时 =  $3000 \div 1.8 \div 60 \div 24 \times 159 + 20 = 204\text{d}$

设备成本 =  $1250 + 240 + 2 \times 100 = 1690$ 万元

如上所述，三种方案排渣功效、经济、技术比较情况见下表。

表2 3公里24小时不间断施工排渣方案比较情况表

序号	项目	方案一		方案二		方案三	
1	配置方式	有轨出渣(2列/环)		有轨机车(1列/环)		连续皮带机出渣	
	设备配置	50T/20T龙门吊	1台	70T/32T龙门吊	1台	32T/10T龙门吊	1台
		32T/10T龙门吊	1台	32T/10T龙门吊	1台		
		45T有轨机车 (1台45t机车+4台 $20\text{m}^3$ 渣土车+1台 $6\text{m}^3$ 砂浆 车+2台25T管片车)	3列	65T有轨机车 (1台65t机车+6台 $27\text{m}^3$ 渣土车+1台 $12\text{m}^3$ 砂浆 车+2台25T管片车)	2列	25T有轨机车 (1台25t机车+1台 $12\text{m}^3$ 砂 浆车+2台25T管片车)	2列
2	轨道配置	双轨(43kg)+固定道岔		双轨(43kg)+固定道岔		双轨(38kg)+固定道岔+浮放道岔	
3	人员配置	司机、调度、轨道		司机、调度、轨道		司机、调度、轨道	
4	应用成熟度	高		高		高	
5	出渣能力	低		中		高	
6	设备成本	1140万		1300万		1690万	
7	功耗	高		中		低	
8	安全性	低		低		高	
9	掘进效率	$373\text{min}/\text{环}$		$279\text{min}/\text{环}$		$159\text{min}/\text{环}$	
10	理想工期	432d		323d		204d	

通过上述三种方案的比较可知，连续皮带排渣具备以下三个优势：

能耗方面，我们学过物理，从能量守恒角度可知，将同一物体采用不同路径方式运至同一位置所消耗的能量相等，由于有轨机车使用时需要能量多次转换，转换

过程中必定会有损耗，因此有轨机车排渣能耗必定大于连续皮带排渣；

安全性方面，连续皮带排渣方案，仅需运输管材、砂浆等施工材料，也无需龙门吊频繁翻土，由此减小了有轨机车溜车、脱轨的几率，同时，吊装作业是地铁施

工的一重大安全风险险源,采用连续皮带出渣,有效减少的吊装次数,由此,安全性也得到了极大改善;

成本方面,在理想状态下,3公里隧道采用连续皮带排渣,虽然初期投入设备成本相对高出390万,但缩短的工期至少是117天,对直接费用的降低和由工期缩短而提前完工、提前运营带来的收益可完全弥补初期设备投入成本,提前运营带来社会效益甚至远大于此。

## 4.2 施工经验案例

### 4.2.1 广州地铁十三号线珠鱼区间

目前,在地铁建设项目领域,征地难、环保要求高,明挖车站受限很大。越来越多的地下车站,给区间建设带来了很大的困难。广州地铁13号线珠鱼段盾构竖井长度为12米,竖井与既有线末端长度约12米,共24米,不能满足正常电瓶车编组的要求,不能有效提高施工效率。根据竖井预留洞口大小,合理布置,可满足垂直带式输送机的地下布置,不影响施工物料的准备和运输。珠鱼段左线用小土斗挖至200m后,准备带式输送机安装调试,两个月内达到带式输送机排渣条件。采用带式输送机除渣运输后,可在开挖过程中完成物料运输工作,不需等待运输时间即可实现连续开挖。随着掘进距离的增加,施工效率显著提高。

垂直带式输送机系统在地铁建设中的应用在技术上是可行的,并日趋成熟。但由于初始采购成本较高、安装周期稍长,在一定程度上限制了其普及应用。连续胶带出渣在地铁竖井施工中的应用,有效地解决了这一问题<sup>[2]</sup>。

### 4.2.2 成都轨道交通18号线一期工程(世~海区间)

成都轨道交通18号线一期工程设计时速140km/h,管片内径7.5m、外径8.3m。全线采用盾构法施工,开挖直径8630mm。世纪城站至海昌路站区间6100m(双线),为解决长大隧道排渣问题,依据车站结构、地质条件、周边环境等条件,进行了有针对性的设计,使用了连续带式输送机配套盾构排渣技术,极大地促进了连续带式

输送机排渣技术的发展。连续带式输送机排渣系统作为一种新型的盾构排渣技术,将继续应用于城市轨道交通长大隧道的盾构施工中,其高的排渣效率、低的维护成本将继续推动其发展<sup>[3]</sup>。

### 4.2.3 兰渝铁路西秦岭隧道

兰渝铁路西秦岭隧道全长28.236km。出口段采用开挖直径10.2m的敞开式全断面隧道掘进机施工。TBM施工段计划开挖长度16249m。西秦岭隧道TBM施工排渣,采用连续带式输送机与有轨机车相比,可节约综合成本2669.5万元;因工期提前而节省的人工费和管理费未计入;同时,连续带式输送机将降低隧道通风压力和通风设备购置及运行费用;带式输送机排渣后,有轨机车运输车辆投入量大大减少,对于运输调度压力小,便于组织施工。但连续带式输送机初期一次性投资较大,采用有轨机车排渣方式采购运输设备,可根据进度分期投入,有利于减少项目初期资金压力<sup>[4]</sup>。

## 5 结论与讨论

从技术经济性分析和使用实例可以看出,在地铁TBM盾构掘进机施工中,大直径、长距离隧道及工作井受到限制时,连续带式输送机运输排渣方式在经济效益和社会效益两方面具有有轨机车运输无法比拟的优势。

## 参考文献

- [1]王园.盾构排渣TBM连续皮带机[J].工业技术,2015(01):80.
- [2]陈学海.垂直皮带出渣在地铁竖井始发施工的应用[J].建筑模拟,2020(03):59-62.
- [3]杨志先,陈丽娟,夏莹.连续皮带机配套盾构出渣的设计与施工[J].四川水力发电,2017(06):59-62.
- [4]齐梦学,邓勇,王雁军,周雁领.敞开式TBM施工出渣方式对比分析[J].工程机械,2009(09):52-56.
- [5]王雯.浅析我国TOD的发展现状和趋势[J].建筑学研究前沿.2019(07):