

成都地铁19号线二期工程盾构始发井基坑支护形式综合比较分析

叶至盛¹ 王洪松² 杨凤梅³

(1. 中国电建集团铁路建设有限公司, 100044, 北京; 2. 中国水利水电第六工程局有限公司, 110179, 沈阳;
3. 中国电建华东勘测设计研究院有限公司, 310014, 杭州 // 第一作者, 高级工程师)

摘要 成都地铁19号线二期工程是全国地铁长大高速线路中工期最为紧张工程,其主要特点为施工工期紧、盾构区间长、设置车站少、线路速度等级高、隧道掘进断面大等。首先提出了盾构始发位置选择建议,总结了19号线提供盾构下井的基坑的支护形式;从基坑设计方案、基坑安全、施工便利性、工程经济性等方面,对最常用的放坡和旋挖桩加内支撑两种基坑支护形式进行了对比分析。根据分析结果建议:成都地铁针对3层及以上深度提供盾构下井的基坑,其支护形式应采用旋挖桩加内支撑。

关键词 成都地铁; 盾构始发井; 基坑支护; 旋挖桩; 内支撑

中图分类号 U455.49

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.09.025

Comprehensive Comparison and Analysis of Foundation Pit Support Types for TBM Wells of Chengdu Metro Line 19 Second Phase Project

YE Zhisheng, WANG Hongsong, YANG Fengmei

Abstract Chengdu Metro Line 19 second phase project is one of the most tightly scheduled long high-speed metro lines in China. The project is characterized by a tight schedule, long ranges, fewer stations, high level of line speed and large sections of tunnel excavation. First, suggestions on launching location choice for TBMs are given and forms of foundation pit support for the TBM wells of Line 19 project are summarized. Second, comparison among most common foundation pit support forms is conducted from aspects of design scheme, safety, construction convenience and economic efficiency of foundation pits. Analysis results suggest that foundation pits should be provided for TBMs operating under the depth of three and lower levels in Chengdu metro projects, and that spun-digging piles and internal bracing should be utilized as the form of foundation pit support.

Key words Chengdu metro; TBM well; foundation pit sup-

port; spun-digging pile; internal bracing

First-author's address Power China Railway Construction Co., Ltd., 100044, Beijing, China

1 工程概况

成都地铁19号线二期工程为连接双流机场与天府国际机场的机场快线,线路全长约43.2 km,均为地下线。全线共设站12座、停车场1个、主变电所2个、区间风井8个。盾构施工区间共12段,矿山法施工区间共7段,明挖施工区间共10段。列车为A型车8辆编组,设计速度140~160 km/h。开工日期为2019年11月26日,总工期仅37个月,共1132 d,工期非常紧张,国内类似规模线路的建设工期约为4.5~5.5年。

19号线二期工程12段盾构区间双线长34 km,共投入32台直径8.6 m大型盾构机(成都地铁设计速度100 km/h以下的线路采用直径6.28 m小型盾构机)。九江北站(线路起点)—高峰站主要地层为全断面砂卵石、上部砂卵石下部泥岩的复合地层,该区段盾构掘进指标为200 m/月;高峰站—合江站(线路终点)主要地层为全断面岩层,该区段盾构掘进指标为240 m/月。19号线二期工程盾构施工的主要特点是盾构区间长、工期紧、掘进指标高、掘进断面大、下穿重特大风险多、大型盾构机投入多。盾构区间的洞通节点(2021年10月31日)为关键节点,直接影响后续轨通、轨行区移交、初期运营时间。本文提出了盾构始发点位置选择建议,对提供盾构下井的基坑支护形式进行了对比分析,并提出相应的建议。

2 盾构始发点位置选择建议

在项目前期筹划时,笔者提出,为确保洞通节

点这一关键节点,建议多利用机电安装工程量小的区间风井和明挖区间始发盾构,减少从机电安装工程量的车站始发盾构,目的是保证盾构机顺利洞通后能尽快给机电安装及装修单位提供进场条件,做到洞通后的土建剩余工程和机电安装工程能在不同场地同期施工。避免以往在车站始发盾构时,需土建单位把车站尾工全面完成后机电单位才进场作业的做法,这种做法耽误站后机电工程工期,直接影响轨行区和车站移交时间。

在 19 号线二期工程实施阶段,利用区间中间风井始发盾构 18 台,在车站前后配线的明挖区间始发盾构 10 台,传统意义上的车站始发盾构仅 4 台(红莲站和天府商务区站)。该基坑支护工程情况见表

表 1 成都地铁 19 号线二期工程盾构始发点和提供盾构下井基坑支护工程情况

基坑支护形式	盾构始发井名称	始发台数	地下层数	基坑 (长×宽×深)	地质情况	基坑实质性 开工时间	基坑第一 见底时间	提供首台盾 构下井时间	基坑开挖 到首台盾构 下井工期/d
围护桩+ 内支撑	九龙风井	4	两层	135.0 m×25.5 m×21.6 m	砂卵石	2020-03-12	2020-05-03	2020-07-15	120
	龙双风井	4	三层	135.0 m×25.9 m×33.2 m	砂卵石	2019-11-15	2020-04-15	2020-07-28	225
	双龙风井	4	三层	130.0 m×27.4 m×32.8 m	砂卵石	2019-11-15	2020-03-31	2020-07-16	210
	龙温 1# 风井	2	两层	67.0 m×2.5 m×21.3 m	砂卵石	2019-12-30	2020-03-23	2020-07-13	165
	正兴湾站 前后配线段	4	两层	505.0 m×41.8 m×22.0 m	砂卵石、 强中风化泥岩	2019-12-14	2020-04-11	2020-07-25	195
	蓝天风井	4	三层	130.0 m×22.4 m×31.3 m	砂卵石、 中风化砂岩	2019-11-26	2020-04-17	2020-08-15	225
两侧放坡喷	温家山站 站前明挖	2	两层	252.0 m×8.7 m×23.7 m	砂卵石、 强中风化泥岩	2019-12-27	2020-04-02	2020-08-15	195
	牧华路站 站后明挖	2	两层	865.0 m×27.6 m×30.0 m	砂卵石、 强中风化泥岩	2020-01-03	2020-04-25	2020-10-20	225
	天府新站 站后明挖	2	一层	209.0 m×7.6 m×16.5 m	强中风化砂岩	2019-11-16	2020-01-05	2020-03-29	105
单侧桩锚、 对侧放坡	红莲站	2	两层	430.0 m×27.4 m×22.5 m	黏土、 强中风化砂岩	2020-01-06	2020-06-07	2020-09-21	225
上部放坡、 下部桩锚	天府商务区站	2	四层	220.0 m×28.6 m×36.0 m	强中风化泥岩、 砂岩	2020-01-06	2020-07-30	2020-11-28	285

3 两种常用的提供盾构下井的基坑支护形式对比分析

19 号线二期工程全线涉及盾构始发的基坑共 11 处,采用旋挖桩加内支撑形式始发的盾构共 22 台,采用放坡支护形式始发的盾构共 6 台,采用单侧桩锚、对侧放坡始发的盾构共 2 台,采用上部放坡、下部设桩锚始发的盾构共 2 台。可见,涉及盾构始发的基坑围护结构常用旋挖桩加内支撑和放坡支护两种形式,旋挖桩加内支撑形式最为常用^[1]。

选取基坑宽度和深度相近的 2 个提供盾构始发的基坑进行比较。双龙风井采用旋挖桩加内支撑

1. 利用车站始发盾构的缺点为:区间隧道贯通后车站范围内还剩余大量土建尾工,如:盾构设备吊拆,区间轨道和管线清理,盾构施工占压区的底板混凝土回填,以及区间人防隔断门、盾构始发孔及出土孔的封堵,还有盾构始发影响范围的站台板、轨顶风道等土建工程需要逐一完成。而车站范围内机电安装及装修工程量大,工期紧张,往往区间隧道贯通后至少 90 d 后机电关键设备房工程才能启动,将延长关键线路工期,影响轨行区移交和车站移交节点。利用风井、明挖区间始发盾构的优点为:涉及机电安装工作量和剩余的土建内部结构工作量少,无机电关键设备房、无区间人防隔断门、无轨顶风道等工程,剩余尾工的完成不影响移交关键节点。

形式,基坑尺寸为 130.0 m(长)×27.4 m(宽)×32.8 m(深),提供 4 台盾构始发;牧华路站站后明挖区间(以下简称“明挖区间”)采用放坡支护形式,基坑尺寸为 865.0 m(长)×27.6 m(宽)×30.0 m(深),盾构始发井长度设定为 130.0 m,提供 2 台盾构始发。目前,这 2 个基坑开挖和主体结构均施工完成,已顺利提供盾构机下井。

3.1 基坑支护形式对比分析

1) 明挖区间基坑支护形式(见图 1):地层从上至下依次为可塑黏土,稍密、中密、密实卵石,强、中风化泥岩,基坑底位于中风化泥岩中。始发处坡高约 30.0 m,坡宽约 26.8 m,分 4 级放坡,由上而下为

1:0.75 放坡加钢花管土钉墙、1:0.5 放坡加钢花管土钉墙、1:0.5 放坡加钢花管土钉墙、1:0.3 自然放坡加 100 mm 锚喷支护。

2) 双龙风井基坑支护形式(见图2):地层自上至下依次为杂填土,黏土,粉细砂,稍密、中密、密实卵石,强、中风化泥岩,基坑底位于中风化泥岩中。围护结构采用直径 1.2 m 间距 2.0 m 的旋挖桩,嵌固深度 3.0 m;竖向设置 4 道支撑,均采用 ϕ 800 mm 钢管支撑^[2];桩间采用挂网喷射混凝土,喷射 C20 混凝土,厚度为 150 mm。

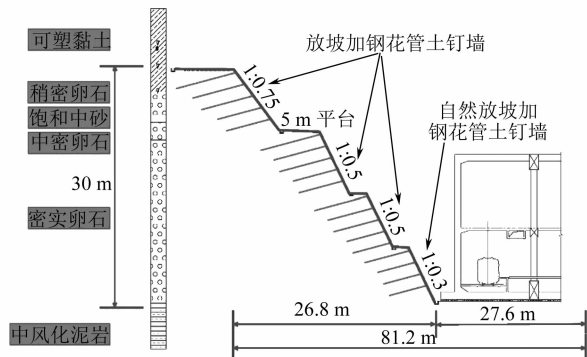


图1 明挖区间基坑横断面及支护形式示意图

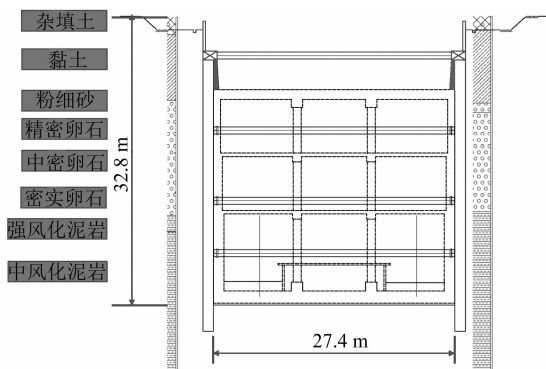


图2 双龙风井基坑横断面及支护形式
(旋挖桩加内支撑)示意图

3.2 基坑安全性对比分析

明挖区间累计地面沉降达到 31.4 mm,超过了预警控制值(30.0 mm)^[3],发生过 1 次基坑变形预警,双龙风井未发生预警。成都地铁采用放坡支护方案的基坑易出现各种监测预警,尤其是在夏季暴雨期,此类基坑让参与建设的相关五方责任主体夜不能寐。从开工起截至 2020 年 9 月底,19 号线二期工程基坑已顺利经过一次汛期的考验,共出现预警 26 次,其中,采用旋挖桩加内支撑形式的基坑出现预警 3 次,采用放坡支护方案的基坑出现预警 17

次,采用其它形式支护方案的基坑出现预警 6 次。

结合成都地铁约 15 年建设史和 19 号线全线基坑监测数据分析可知,基坑采用旋挖桩加内支撑形式比采用其它支护形式更为安全可控。

3.3 盾构吊装下井过程对比分析

8.6 m 直径大型盾构机总长约 110 m,总质量约 1 200 t,下井吊装平台常设计为 40 cm 厚钢筋混凝土板,通常设置在端部侧墙外侧。吊装设备需采用 500 t 及以上大型履带吊,作用在平台上的最大荷载工况近 650 t,为盾构刀盘(约 139 t)整体起吊过程的总质量,吊装质量大。

1) 明挖区间盾构下井:在结构端墙处开挖阶段采用分级放坡(见图3)。为避免盾构刚开始时引起地表沉降,在端墙结构完成后,在其下部采用 C15 素混凝土回填,在其上部采用掺 6% 的水泥砂卵石土回填,回填到场平高程,且保证地基承载力满足设计要求前期下,才能启动吊装平台施工。由于回填阶段占用盾构下井的直线工期,时间紧张,回填质量往往不易控制,吊装过程中存在平台开裂、沉降的风险^[4]。

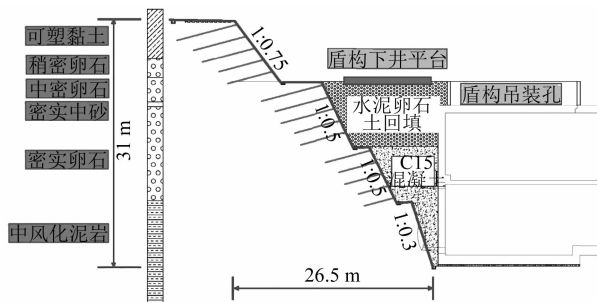


图3 明挖区间盾构下井时端墙处放坡、回填方案

2) 双龙风井盾构下井:吊装平台可在基坑开挖或者结构施工过程中择机实施,不占用盾构下井直线工期。吊装平台钢筋与围护结构冠梁相连,且设置在原状未扰动地基上,沉降开裂风险小^[5]。

由分析可知,采用放坡支护形式的基坑不利于盾构下井吊装平台的及时实施和后期的安全使用。

3.4 龙门吊基础设置对比

龙门吊的正常使用对于盾构正常掘进的作用不言而喻。19 号线二期工程同一端始发的 2 台盾构机通常配置 3 台龙门吊,1 台 25 t 的龙门吊设于盾构下井孔上方,主要用于管片吊装;2 台 55 t 的龙门吊分设于 2 个出土孔上方,主要用于渣土吊装。

1) 明挖区间龙门吊基础设置:为确保龙门吊使用安全,需在侧墙和地面开口线间回填完成后才能

启动其基础施工。回填层易发生密实度不够的通病,因此常采用桩基础形式穿过回填层,打入在基坑底以下的原状地层作为桩基持力层。在明挖区间共增加28根、直径1 m、间距10 m、深度35 m的摩擦端承桩作为龙门吊基础,总造价约200万元。

2) 双龙凤井龙门吊基础设置:龙门吊基础常设置在围护桩顶冠梁或冠梁上部挡墙上,工期快,安全可靠,节省投资。

由分析可知,采用旋挖桩加内支撑形式基坑,在工期上有利于龙门吊安装,也更有利于龙门吊使用阶段其基础的安全保障,无需额外增加投资。

3.5 施工便利性对比分析

施工的便利性直接决定了施工工期长短。从混凝土浇筑、材料吊装、操作平台搭设、侧墙模板等方面进行对比:采用放坡形式支护的基坑,由于采用分级放坡,因此其地面开口线的宽度明显大于采用旋挖桩加内支撑形式的基坑。

1) 明挖区间施工:结构宽27.6 m,两侧放坡宽53.6 m,占用地面场地总宽度为81.2 m,占用地面场地大,造成地面施工场地狭小,不能采用2台天泵对称浇筑,只能采用1台天泵加1台地泵进行浇筑,施工效率低;材料吊装距离长,投入汽车吊数量多、吨位大,且吊装效率低,既不经济也不利于抢工;侧墙外侧需搭设两次施工操作平台,第1次用于侧墙外侧绑钢筋、立模,第2次用于做防水;侧墙浇筑需采用双侧支模,外侧模板需加固支撑,增加了人力、设备、材料的投入,延长了结构施工工期。

2) 双龙凤井施工:结构宽27.4 m,两侧围护桩宽2.4 m,占用地面场地总宽为29.8 m,相对较小,能够采用2台天泵对称浇筑,施工效率高;材料吊装距离短,可投入小吨位汽车吊抢工,既经济又高效;侧墙外侧无需搭设操作平台;侧墙采用单侧支模、单侧支架,减少了人力、设备及材料等资源的投入,既缩短了结构施工工期又节约了成本^[6]。

3.6 生产作业场地及地面构筑物影响对比分析

明挖区间始发段基坑深31.0 m,采用分级放坡后地面开口线距端墙26.5 m。开口线宽导致35 kV高压电塔需迁改,增加基坑直线工期约60 d,增加迁改费用数百万元。若采用旋挖桩加内支撑形式可有效避免迁改高压电塔,只需在盾构下穿前对高压塔基础采取有效保护措施。双龙凤井地面开口线小,对地面构筑物影响范围小。

明挖区间和双龙凤井两者基坑底宽度相近,分

别为27.6 m和27.4 m,但放坡支护形式基坑占用地面场地宽度明显大于旋挖桩加内支撑形式基坑,分别为81.2 m和29.8 m。由于放坡导致地面开口线宽,占用地面资源多,租地费用多,也有更大机率对地面建筑、管线、道路等造成影响。由于地面围挡宽度往往是根据场地实际情况打围,若假设两者打围宽度同样为100 m的情况下,采用放坡支护形式的基坑,其地面使用生产作业场地宽度仅18.8 m,而采用旋挖桩加内支撑形式的基坑,其宽度为70.2 m,少了51.4 m宽的生产作业用地。采用放坡支护形式的基坑虽打围宽,但实际用于生产作业场地小,不利于正常组织生产,不利于结构主体施工场地及盾构始发场地布置。

3.7 基坑开挖到首台盾构下井工期对比分析

1) 明挖区间工期:从基坑开挖到首台盾构下井历时195 d。由于采用放坡支护形式,引起端头35 kV高压电塔迁改,再加上新冠疫情影响,耽误约60 d,实际工期约225 d。

2) 双龙凤井工期:从基坑开挖到首台盾构下井历时8个月。由于受新冠疫情影响,耽误约30 d,实际工期约210 d。

工程人员往往会根据经验直观地认为采用放坡支护形式的基坑的开挖速度更快,若基坑较浅无可厚非;如基坑较深,则需深入分析对比。根据表1数据和前文的施工便利性对比分析可知,采用旋挖桩加内支撑形式基坑提供盾构下井工期略短于或相近于采用放坡支护形式基坑的,无明显差距。但基坑越深,放坡开口线会越宽,主体施工工效会越低,导致采用放坡支护形式基坑的工期明显加长。

3.8 经济性对比分析

1) 从施工方角度对比分析:采用放坡支护形式的基坑,由于基坑宽、施工不便,会增加如混凝土浇筑(含泵车)、材料吊装(大吨位汽车吊和塔吊)、模板支架、作业人数、场地规模等的投入,经济性差。

2) 从业主方角度对比分析:一般采用放坡支护形式的基坑的造价略低,但若能对采用旋挖桩加内支撑形式的基坑进行精细化设计,合理设计桩径和间距,桩主筋采用分段配筋,两种支护形式基坑的造价基本相同。

4 结语

笔者基于成都地铁19号线二期工程切身经历

(下转第126页)

2.2.3 挂篮跨路防护与蒸汽养护暖棚一体化系统应用效果

采用挂篮跨路防护与蒸汽养护一体化系统,大大增强了悬臂浇筑块段冬季施工期间的保温效果,提高了混凝土的养护质量,有效提高了劳动生产率(平均每个节块缩短 2~3 d),同时还保证了悬臂浇筑块段张拉时间,减少了梁体养护与挂篮防护的工序,确保了跨省道 S243 的安全防护,达到了预期效果。

3 结论

1) 悬臂浇筑施工 0# 块节段新型支架体系具有体积小、用材省、传力明确等特点,该体系取消了主承力钢管支撑,借助临时固结钢管,将荷载传递至墩柱承台上。在复杂地形、地质条件下,该新型支架体系省去了 0# 块常规支架法施工所需开展的大量地基处理工作,避免了因场地地质条件差异引起的支架体系差异沉降问题。同时,使用材料设备较少,所需作业空间较小,有利于狭小空间条件下施工。此外,由于利用该技术施工时,桥梁墩柱与上部梁体间无需设置临时固结支撑,支座直接承担上部各类荷载,可以最大程度减小支座临时固结解除后所产生的结构次内力。

2) 挂篮蒸汽养护暖棚与跨路防护施工一体化系统,减少了常规挂篮防护的前上横梁、前下横梁和后下横梁的防护平台及钢丝网等防护结构的投

(上接第 120 页)

建议:利用区间中间风井和明挖区间始发盾构,尽量减少从车站始发盾构,可避免相关施工占用车站机电安装及装修施工的直线工期,有利于保障轨行区和车站移交节点。

本文选取了基坑宽度、深度相近的旋挖桩加内支撑和放坡支护两种基坑支护形式从多方面进行对比分析,包括对 19 号线共 11 处提供盾构下井基坑施工的全过程跟踪,得出结论为:采用放坡支护形式的基坑,往往由于各种原因会导致提供盾构下井时间滞后;采用旋挖桩加内支撑形式的基坑,施工便利性好,对地面建构筑物影响小,有利于后期施工,更加安全可控,能确保盾构下井工期。由于本文采用的是约 30 m 深度的基坑进行对比分析,未深入对其它深度的基坑进行分析,故建议成都地铁在砂卵石、泥岩地层中,针对 3 层(一般约 24 m 深)或者 3 层以上深度提供盾构始发的基坑,即使在周

边环境空旷有条件放坡的地区,其围护结构仍采用旋挖桩加内支撑形式。

参考文献

- [1] 李孝平,庞凌志. 改建沪蓉铁路小角度上跨宁西下行线设计方案[J]. 铁道建筑,2018(1): 90.
- [2] 靳炳强. 干旱寒冷地区铁路冬季施工混凝土质量控制技术[J]. 铁道建筑,2014(10): 123.
- [3] 雷俊卿. 桥梁悬臂施工与设计[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 惠小锋. 跨繁忙铁路干线连续梁无防护棚悬臂施工技术[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版),2014(增刊1): 210.
- [5] 崔越超. 上跨既有高速铁路桥梁施工关键技术[J]. 铁道建筑,2017(4): 34.
- [6] 廖满平,丁学正,曹洁. 河道跨现有桥梁大跨度钢管贝雷支架施工技术[J]. 施工技术,2019(17): 41.
- [7] 李磊. 大跨度连续梁桥悬浇施工关键技术研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2018.
- [8] 谢军. 京沪高铁新型花式贝雷梁支架施工设计[J]. 建筑机械,2018(5): 99.
- [9] 王飞,张晓利. 跨既有线连续梁附着式防护棚施工[J]. 铁道建筑技术,2012(12): 113.
- [10] 梁衍涛. 60 m+100 m+60 m 连续梁悬臂施工控制技术研究与实践[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2018.

(收稿日期:2019-11-06)

参考文献

- [1] 周欢,王佳庆,詹谷益. 成都地铁 7 号线膨胀土基坑支护设计[J]. 铁道建筑,2015(7): 68.
- [2] 邓舒,姜振泉,王艳萍,等. 青岛地铁双山站深基坑开挖支护综合分析[J]. 铁道建筑,2014(2): 41.
- [3] 冯慧君. 深圳地铁明挖隧道基坑支护的施工与监测[J]. 铁道建筑,2004(7): 32.
- [4] 王小文,钱春阳. 深基坑支护结构变形及内力有限元分析[J]. 铁道学报,1999(6): 3.
- [5] 杨德春,唐琪. 浅析盾构始发井设计与始发技术应用[J]. 隧道建设,2007(增刊2): 307.
- [6] 宋冶,高尔洋,马德云. 广州地铁 1 号线车站深基坑支护技术述评[J]. 中国铁道科学,1998(4): 3.

(收稿日期:2020-10-23)