

浅议富水砂卵石地层条件下盾构下穿地铁既有线施工技术

高彦涛

陕西建工集团股份有限公司 陕西西安 710000

摘要: 在国内诸多省会城市建设过程中, 由于地铁线路设计增加, 换成站点设计, 电力隧道及城市综合管廊建设等原因, 经常会遇到盾构下穿地铁既有线的情况, 如何确保工程本体及既有线的质量和安全是工程建设中的重点也是控制的难点。

西安电力改造提升项目某盾构区间下穿西安地铁2号线运营线路, 施工安全和质量均达到了既定目标, 各项监测指标均在技术允许的控制范围内, 其中地表累计最大沉降量为-1.7mm, 既有铁道床累计最大沉降量为-2.35mm, 轨道累计最大沉降为-0.95mm, 变形控制均在允许范围之内, 本工程的顺利实施为今后同类盾构项目施工提供了详实的技术支持和例证。

关键词: 盾构施工; 电力隧道; 近距下穿; 沉降控制

On the construction technology of shield tunneling through existing subway line under the condition of water-rich sand cobble stratum

Yantao Gao

Shaanxi Construction Engineering Group Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi, 710000

Abstract: In the construction process of many provincial capitals in China, due to the increase in subway line design, the design of stations, the construction of power tunnels, and urban comprehensive pipe corridors, it is often encountered that shield tunnel passes through existing subway lines. How to ensure the quality and safety of the engineering ontology and existing lines is the key point in engineering construction and also the difficulty of control.

A shield tunnel of the Xi'an power reconstruction and upgrade project passes through the operation line of Xi'an Metro Line 2. Construction safety and quality have reached the established goals, and all monitoring indicators are within the control range allowed by technology. Among them, the maximum accumulated settlement of the surface is -1.7mm, the maximum accumulated settlement of the existing track bed is -2.35mm, and the maximum accumulated settlement of the track is -0.95mm. The deformation controls are all within the allowable range. The smooth implementation of this project provides detailed technical support and examples for the construction of similar shield projects in the future.

Keywords: shield construction, power tunnel, near underpass, settlement control

1. 概述

电力改造提升项目某盾构区间下穿西安地铁2号线既有线施工范围分布有卵石、中砂、粗砂、砾砂、粉质黏土等地层。该工程位于灞河以西, 渭河以南, 地下水

主要径流方向为由南向北, 整体向渭河径流。本区段地下水位混合水位埋深12.5 ~ 16.5m, 标高在360 ~ 362m, 地下水位年变幅1.0 ~ 3.0m。本区间地表水及地下水丰富。

在里程K5+526.6 ~ K5+626.6处区间盾构施工下穿其上部地铁2号线已运营隧道, 该隧道结构采用盾构法施工, 混凝土管片强度标号为C50、抗渗等级P12, 外

作者简介: 高彦涛, 男, 1982年, 汉族, 西安市, 本科, 工程师。

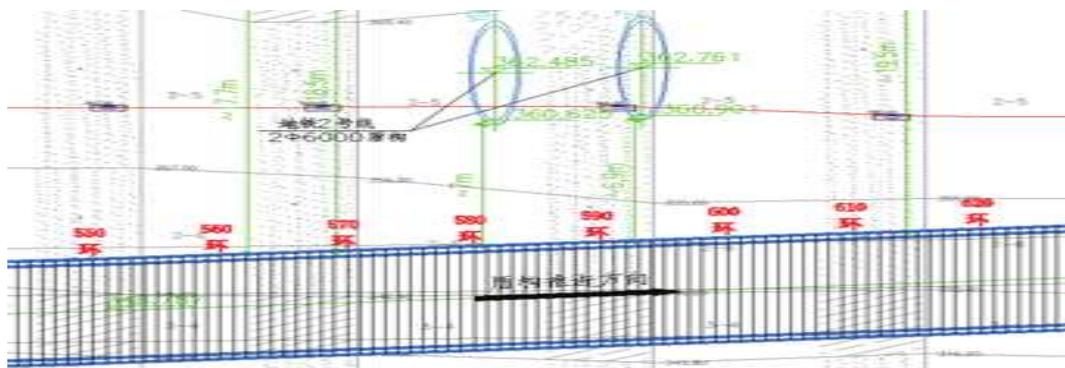


图1 盾构隧道下穿地铁2号线隧道断面图

径 $\phi 6000\text{mm}$ ，内径 $\phi 5400\text{mm}$ ；地铁2号线隧道结构底部距本工程盾构隧道顶最小净距为6.9m。根据施工要求，下穿前100m设置试验段（既503 ~ 570环，里程为：K5+450 ~ K5+550），试验段穿越地层主要有2-6粗砂和3-4粉质黏土，与下穿段水文地质类似。

盾构机从578环开始进行地铁2号线隧道下穿施工，

2. 盾构下穿地铁既有有线施工控制流程

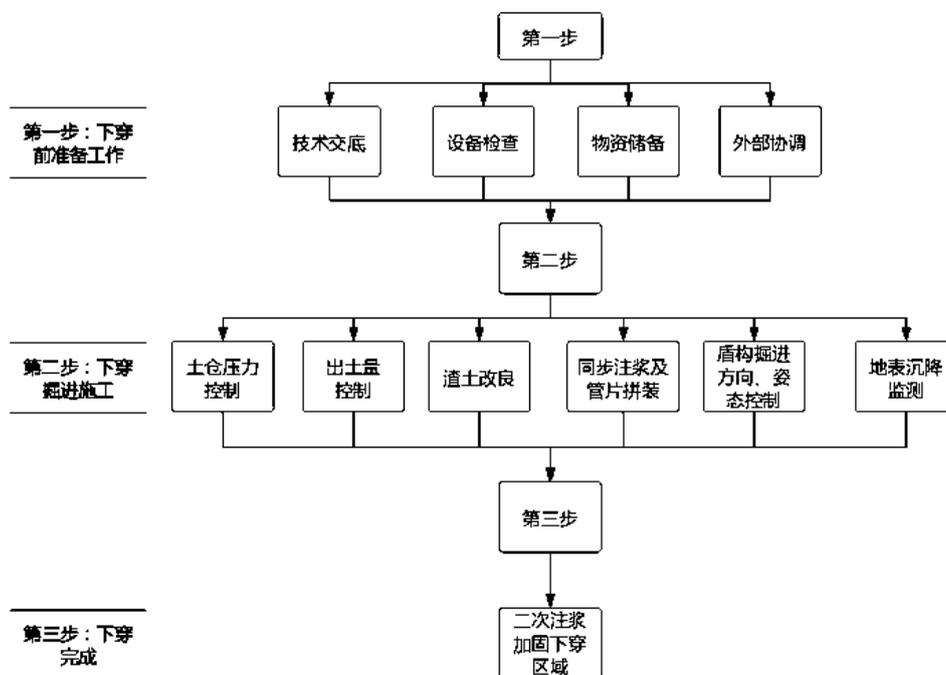


图2 下穿地铁既有有线控制程序图

3. 盾构下穿技术措施

3.1 下穿既有有线前的试验段的参数优化、技术措施

下穿前100m设置试验段（既503 ~ 570环，里程为：K5+450 ~ K5+550），试验段穿越地层主要有2-6粗砂和3-4粉质黏土，隧道平面处于R=400m的右转圆弧曲线上，断面坡度为16.694‰上坡。

3.1.1 试验段施工前对土建工程师及盾构操作手做详

至598环完成下穿，共掘进20环，穿越长度30m。

通过施工过程中不断地调整优化掘进参数，控制地铁既有有线内结构变形，确保施工高效、连续。

设计要求既有有线结构沉降 $\leq 10\text{mm}$ 、隧道结构上浮 $\leq 5\text{mm}$ 、结构变形缝差异沉降2-4mm等。成型隧道质量符合设计和规范要求。

细的书面技术交底，盾构施工试验段盾构控制参数（刀盘转速、刀盘扭矩、贯入度、总推力、推进速度、土仓压力、出土量、螺旋机转速、注浆压力、注浆量等）进行说明，并要求盾构机操作手做好记录，并组织技术小组对控制参数及监测数据进行系统分析，选取最佳的控制参数。

为了保证盾构下穿既有有线安全，必须严控出土量，

严禁超挖。

试验段数据经过优化后,掘进每环的理论出土量为 46.45m^3 ,土体松散系数、掘进过程中渣土改良注入的泡沫与膨润土浆液,综合松散系数选用1.2,为防止超挖导致的过度沉降,下穿过程中采取保压掘进,确保盾构土仓密实,即每环实际出土量控制在计算值的95%,即 $46.45 \times 1.2 \times 0.95 = 52.95\text{m}^3/\text{环}$ 。

3.1.2 试验段施工过程对盾构机状态进行摸排,设备故障点做好记录并及时进行维修保养并验收,使盾构在完成试验段施工后进入最佳状态。

3.1.3 试验段施工过程对盾构施工耗材消耗情况做好台账记录,对各类材料消耗根据下穿距离总需求量做好储备,满足盾构下穿既有有线区域施工需要。

3.2 掘进前的技术要点及主要措施

3.2.1 盾构下穿地铁既有有线前对的现场进行调查,应进一步核实地铁既有有线与盾构区间隧道关系,并按照设计及规范要求确定合理的沉降控制标准并布置监测点。

3.2.2 下穿地铁既有有线前对土建工程师及盾构操作手做详细的书面技术交底。

3.2.3 下穿地铁既有有线前停机对盾构机进行常规维修保养及设备验收,保证设备运转正常。

3.2.4 下穿地铁既有有线前清点盾构施工材料储备情况,及时补充确保下穿过程不会出现因材料不足而停机的现象。

3.2.5 结合设计蓝图,施工前联系运营单位,对施工情况做以汇报,并对期间可能出现的特殊情况及应对措施进行沟通,必要时可邀请运营单位专业人员进场监督施工。

3.2.6 配备经验丰富的施工人员,实行领导带班制度,确保不会因内部原因造成停机。

3.2.7 下穿施工开始后应及时进行监测,指派专人对监测内容负责,如有异常应及时通知并采取措施。

3.3 盾构下穿既有有线技术要点及主要措施

3.3.1 控制核心要求

核心是减小盾构对地铁既有有线结构的影响,确保结构变形满足控制值,保证结构的安全性,不对地铁的正常运营产生任何影响。

①减少盾构掘进对地铁既有有线结构产生的影响,在穿越过程中要保持匀速不间断的施工,尽量降低盾构机对周围土体的扰动。

②要及时补充由于盾构掘进造成的土体损失,选用合适同步注浆材料及配合比,确保盾构施工建筑空隙及

时填充,并通过二次补浆进一步补充地层可能存在的空隙,通过两次的注浆量及注浆压力有效的控制地层变形。

3.3.2 渣土改良的技术措施

开挖面土体良好的流塑性直接决定盾构机刀盘及螺旋机的排土能力,从而能更好的保持土压平衡状态。对于渣土的流塑性也可用坍落度试验来衡量。实践经验表明,盾构机渣土坍落度在10-15cm范围时,可满足要求。

本工程其地质条件主要以圆砾、卵石、中砂、粗砂层等,天然含水量为26.6%左右,原状土坍落度约为60mm,天然密度平均值为 $2.03\text{g}/\text{cm}^3$,需进行渣土改良。

①膨润土泥浆改良土体

采用钠基膨润土发酵12小时,胶质价大于 $400\text{mL}/15\text{g}$,膨胀倍数大于 $25\text{mL}/\text{g}$ 的泥浆作为土体的改良材料。膨润土泥浆对土体的改良作用随着不同的浓度和注入率差异明显,经过下穿前试验段参数优化后8%浓度的泥浆效果较好。

②泡沫改良土体

泡沫剂为无色透明液体,可完全溶解,密度为 $(1.01 \pm 0.02)\text{g}/\text{cm}^3$,pH值为7-8,气刨能力 $\geq 220\text{mm}$ 。通过试验,随着发泡液质量分数的增加(1%-5%),泡沫发泡倍率明显增大,从10倍增至23倍。

该发泡剂所发泡沫半衰期随发泡液质量分数从1%增加到3%时,泡沫的半衰期有较大增长,当质量分数进一步增大后,泡沫半衰期基本维持不变。所以根据以上发泡剂的性质及试验段总结,最终确定工程所采用的发泡液最佳质量分数为5%。

试验段施工参数的采集和分析,渣土改良比例为泥浆:泡沫:原状土=0:1:5.5效果最佳。

3.3.3 同步注浆快凝早强

在盾构下穿地铁既有有线施工影响区域内,采用的同步注浆浆液为水泥砂浆,通过浆液配比的优化,确定了两种配合比,分别使用在不同的区段内,优化后配合比见表1。

表1 优化后同步注浆配合比

材料名称	使用区域	水泥	粉煤灰	膨润土	砂	水	备注
1m^3 浆液所需材料用量	影响范围	120	350	50	800	450	优选配比,初凝时间8h
	地铁既有有线下方	300	381	60	710	460	初凝时间短,5h

根据同类地质条件的施工经验,在下穿地铁期间严格控制浆液的注入量及注浆压力,减少因盾构施工建筑

空隙充填不及时、不密实而造成的地层损失。

3.3.4 稳压快推、停机保压

①控制土压力

根据工程下穿地点盾构隧道深度和地质情况,以及渣土改良的效果较好,穿越区域土仓压力应参考试验段数据及理论计算结果,共同设定最终下穿掘进时土仓压力值范围为2.5~2.6bar,且在拼装管片期间土仓土压力高于掘进期间0.2bar,保持掌子面土压稳定,避免因土压波动形成的地层隆起或沉降对地铁既有有线结构产生不利影响。

②严控出土量

在盾构下穿施工过程中严格控制出土量,出土量不超 52.95m^3 ,通过盾构螺旋机和皮带机计量结合电瓶车编组渣土容积双控方式,严格掌握每环出土量,确保土仓内始终密实,保持土仓压力的稳定。

3.3.5 中盾注浆减阻

通过混合膨润土泥浆、氯化钾、水泥进行试验确定配合比,通过中盾径向孔向盾壳外注入该浆液,封堵掌子面与成型隧道间水流通道,减小盾壳周边中粗砂类地层带来的握裹力和摩擦力,同时减小盾构施工期间土体的扰动及土体固结沉降,使得盾壳与土体之间始终处于一种润滑状态,盾构推力波动减小,总推力减小。

配合比:膨润土泥浆 1m^3 ,氯化钾3kg,水泥30kg。

浆液参数:比重 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$,粘度 $\geq 60\text{s}$,PH值8-9。

3.3.6 二次注浆及时跟进

①盾构机盾尾后第三环管片上的6个吊装孔位置,选取合适的吊装孔及时进行二次补浆。

②二次注浆期间管理人员进入地铁既有有线内观察及巡视,遇到异常立即停止。

③利用同步注浆管路连接管片注浆孔进行二次注浆。注浆压力和注浆量双指标控制,当注浆压力达到1.0bar时停止注入,同时采取多点点注的原则,每环管片选取3个注入点,同时每个点位注浆量不超多 0.6m^3 。

3.3.7 监控量测

盾构区间主要对地表沉降监测和地铁既有有线自动化监测。

①地表沉降监测

地表沉降采用二等水准测量进行量测,观测时可取得地表沉降值。

②地铁既有有线监测

地铁既有有线监测主要针对地铁既有有线的道床、轨道、变形缝以及拱顶等地方进行监测,监测方式采用自动化监测,监测频率根据建设方和设计要求2h/次,并生成报表上传数字管理平台,监测数据能够及时到达各个相关方,便于及时制定措施。

4. 总结

4.1 通过制定合理的施工参数可以做到安全、快速的完成下穿地铁既有有线的施工,在安全、质量、进度、效益等方面均可取得良好的结果。

4.2 施工中既要加强隧道线型、盾构掘进参数与姿态的控制,还要控制地铁既有有线的结构沉降满足设计及规范要求,确保盾构准确、安全、顺利的下穿既有有线,避免出现地铁既有有线结构发生较大沉降变化影响地铁运营。

4.3 既有有线隧道自动化监测系统在本次下穿过程中得到了很好的应用,自动化监测及时、方便、数据更准确。

4.4 盾构机及后配套设备的全面检修和后勤保障体系的完善等工作的开展对下穿施工起很重要作用。

参考文献:

[1]徐岩,赵文,等.富水砂层土压平衡盾构关键施工技术.施工技术,2011,(7).

[2]郭卫设,高攀,等.盾构施工主要问题与案例分析.人民交通出版社股份有限公司,2020.

[3]温克兵,卢艳.盾构下穿既有地铁隧道监测分析.现代城市轨道交通,2017,(8).

[4]增量峰.砂卵石地层盾构始发段下穿既有有线施工技术.铁道建筑技术,2018,(3)