

Settlement law of vertical crossing pipeline using shallow buried middle hole method in complex strata

Tao Wang

Exploration Team 173 of China Coal Geology Administration, Zhuozhou, Hebei, 072750, China

Abstract

This study addresses the challenging issue of settlement control during the construction of a tunnel crossing underground pipelines under complex geological conditions using the middle-bore method. It systematically analyzes the phased impact of different construction sequences on pipeline settlement. By establishing an enhanced monitoring system and real-time feedback mechanism, combined with dynamic optimization of construction parameters, information technology in construction, and whole-process dynamic control methods, effective management and control of pipeline settlement risks have been achieved. Based on the correlation analysis between on-site monitoring data and construction procedures, the impact weights of key procedures such as side-bore excavation and the removal of middle diaphragms on both sides of the middle bore on pipeline settlement are quantitatively revealed, and corresponding technical measures for settlement control are proposed. The research indicates that side-bore excavation is the dominant factor inducing settlement of the pipelines above the tunnel. The use of targeted back-grouting technology can significantly improve the distribution of stratum stress and effectively suppress the development of uneven pipeline settlement.

Keywords

Shallow burial and hidden excavation; Pipeline settlement; Deformation monitoring

复杂地层浅埋中洞法垂直穿越管线沉降规律

王涛

中国煤炭地质总局一七三勘探队, 中国·河北涿州 072750

摘要

本研究针对复杂地质条件下中洞法施工穿越地下管线引发的沉降控制难题, 系统分析了不同施工步序对管线沉降的阶段性影响规律。通过建立强化监测体系与实时反馈机制, 结合施工参数动态优化、信息化施工技术及全过程动态控制等方法, 实现了管线沉降风险的有效管控。基于现场监测数据与施工工序的关联性分析, 定量揭示了边洞开挖及中洞两侧中隔壁拆除等关键工序对管线沉降的影响权重, 并提出了相应的沉降控制技术措施。研究表明: 边洞开挖是诱发隧道上覆管线沉降的主导因素, 采用针对性壁后注浆技术可显著改善地层应力分布, 有效抑制管线不均匀沉降的发展。

关键词

浅埋暗挖; 管线沉降; 变形监测

1 引言

在城市地下空间开发中, 浅埋隧道穿越既有地下管线是地铁、市政隧道等工程面临的常见难题。中洞法因其结构稳定性和地层适应性, 在复杂地层条件下得到广泛应用^[1]。然而, 在浅埋工况下, 隧道开挖会显著扰动周围土体, 导致上方管线产生不均匀沉降^[2], 甚至引发管线断裂、渗漏等工程事故, 威胁施工安全和城市基础设施的正常运行^[3]。特别是在复杂地层(如软硬互层、高含水量、松散砂层等)中, 地层的不均匀性和地下水渗流作用会进一步加剧沉降的不可预测性^[4]。目前, 国内外学者针对隧道施工引起的管线沉

降问题已开展大量研究, 但多数集中于单一地层或简化工况, 对复杂地层条件下中洞法施工的管线沉降规律仍缺乏系统性分析^[5]。因此, 本文基于现场监测、施工步序和理论分析, 研究复杂地层中洞法施工对垂直穿越管线的沉降影响, 探讨地层特性、支护参数及土方开挖作用对沉降的耦合影响机制, 以为类似工程提供优化设计和风险控制的科学依据。

2 工程概况

以某地铁车站暗挖风道为研究对象, 采用暗挖中洞法施工, 暗挖段通道宽度 13.2m, 高度 6.92m~8.74m。覆土 9.74m, 穿越的地层主要为粉细砂、粉质黏土、细中砂。工程开挖范围内存在一层潜水(二), 水位埋深为 2.70~5.24m, 水位标高为 28.32~29.92m, 含水层主要为黏质粉土、砂质粉土③层, 地下水位处于年逐渐上升的变化中, 垂直下穿

【作者简介】王涛(1984-), 男, 本科, 工程师, 从事地质勘探, 水文地质, 环境地质研究。

2000×2250 电力管沟, 沟内底埋深 9.04m, 细中砂粉质黏土; 接近关系为较接近, 竖直距离约 1.0~2.35m。

3 施工技术与工艺

中洞法暗挖工艺是一种用于城市地下工程(如地铁站、大型地下空间等)的隧道开挖方法,属于浅埋暗挖技术的分支。工艺原理是将大断面隧道划分为中洞和侧洞,先开挖中部导洞(中洞),施作初期支护和永久结构(如梁、柱),形成刚性支撑框架;再对称开挖两侧洞体,逐步连接成整体。采用全断面深孔注浆搭配超前小导管进行土体加固,采用格栅拱架、钢筋网、C25 喷射混凝土完成初期支护。

中洞先行形成支撑体系,有效控制地表沉降(尤其适用于软弱地层),本工程共分七步进行开挖。第一步:对暗挖段通道上导洞进行全断面深孔注浆止水加固,注浆完成后开挖中洞上导洞,预留核心土,施作初期支护及中隔壁,间隔 3~5m 施作中隔板封闭成环。第二步:对其下导洞进行注浆加固,注浆完成后台阶法开挖中洞下导洞,施作初期支护、中隔壁封闭成环。第三步:中洞洞通后,铺设混凝土垫层并施做底板防水,浇筑底板及部分中墙。施做拱顶防水后拆除临时中隔板,进行中隔壁结构施工,浇筑混凝土。第四步:中洞两侧边洞上导洞对称进行注浆加固,注浆完成后开挖边洞上导洞,预留核心土,施作初期支护、中隔板封闭成环。第五步:对其下导洞进行注浆加固,注浆完成后台阶法开挖边洞下导洞,施作初期支护封闭成环。第六步:分段拆除中隔壁,施做底板及侧墙防水,并浇筑混凝土。第七步:分段拆除两侧临时仰拱,施做拱顶及侧墙防水,并浇筑混凝土。

4 监控量测

4.1 监测对象、项目及精度

本工程监测对象主要为暗挖上方地下管线,监测项目为管线沉降及差异沉降,监测范围为暗挖底板深度的一倍。监测对象及精度见表 1。施工开始后按要求的频率进行监测,当工程施工结束,施工影响安全的因素消除,监测对象变形趋于稳定后,可停止相应的监测工作。

表 1 监测对象、项目、精度

序号	类别	监测对象	监测项目	监测仪器	监测精度
1	周边环境	地下管线	地下管线沉降	水准仪	0.5mm
2			地下管线差异沉降	水准仪	0.5mm

4.2 现场监测频率与周期

监测频率为开挖面前方: $L \leq 2B$ 时, 1 次 /d; $2B < L \leq 5B$ 时, 1 次 /4d; 开挖面后方: $L \leq 2B$ 时, 1 次 /d, $2B < L \leq 5B$ 时, 1 次 /2d; $L > 5B$ 时, 1 次 /7d; 监测数据趋于稳定后, 1 次 / 30d。B—隧道直径或跨度 (m); L-- 开挖面与监测点或监测断面的水平距离 (m)。

5 监测数据分析

5.1 变形数据统计分析

从超前注浆加固到土方开挖完成直至结构施工完成,整个过程的监测数据最大值统计如下。

表 2 监测项目监测数据统计表

监测类别	监测项目	监测对象	测点编号	累计变化最大值 (mm)	控制值 (mm)
基坑周边环境	管线竖向位移	电力管线	DLG-41-28	-39.0	+20~-20
	管线斜率	电力管线	DLG-41-24~DLG-41-25	2.1‰	5.0‰

5.2 地下管线竖向位移

地下管线沉降测点超控的有 12 个, 共 32 个监测点, 占测点总数 37.5%。暗挖风道横通道土方开挖的过程中, 周边地下管线沉降较快, 在结构施工期间沉降较缓, 累计沉降最大值达到 -39.0mm, 控制值 30.0mm, 为控制值的 130.0%。周边岩土体的变形随着超前注浆加固和土方开挖的进行而发生协调变形, 开挖引起的水平和竖向变形在处置完成后慢慢地变缓, 到拆除中隔壁时再次出现快速沉降的变形特点, 直到二衬结构施工完成后开始趋于稳定。

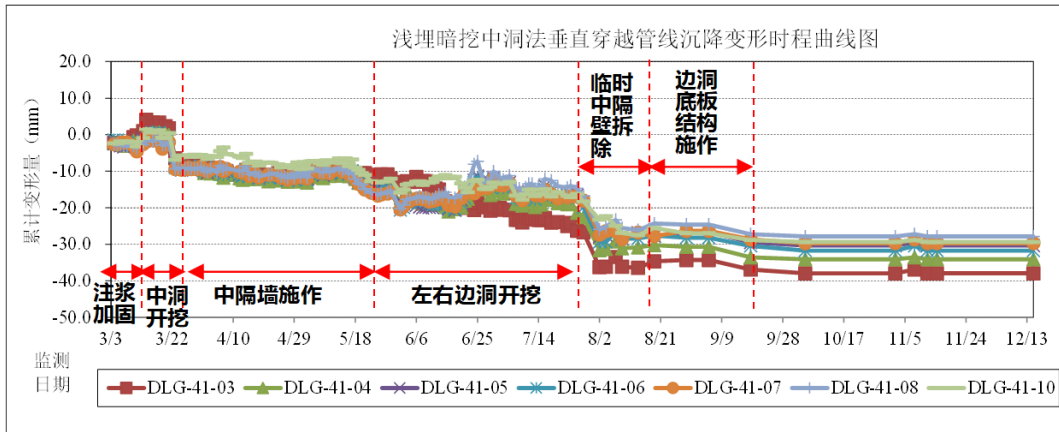


图 1 地下管线竖向位移变形曲线图

在开挖前期全断面注浆加固造成了该电力管线的隆起,隆起约+0.2~+5.0mm,然后随着中洞土方的开挖,快速下沉,阶段沉降约-5.0~15.0mm,约占整体沉降的20%,土方开挖引起的应力释放造成的周围岩土体的弹性变形,引起电力管线的沉降。中隔板施作完成后开始对围岩土体起到实质性的支撑作用,减缓了隧道收敛变形,此阶段沉降约-2.0~4.0mm;左右边洞同时对称破洞开挖,该阶段受到超前小导管注浆加固及两个边洞开挖的双重作用,变形数据呈现波动性下沉的特点,边洞开挖阶段沉降约-8.0~16.0mm,约占整体沉降的40%,左右边洞同时开挖释放了更大的原土应力。拆除中洞初支开挖施工的两侧格栅,此时中洞以及左右边洞的拱顶土体压力开始从临时中隔壁的支撑中得到释放,拱顶上方浅埋土体快速反应直接引起了约-5.0~15.0mm的沉降,约占整体沉降的20%,在边洞二衬施工完成后,暗挖上方管线沉降基本保持稳定。

5.3 地下管线差异沉降

地下管线差异沉降是造成管线破裂或渗漏的主要原因,因此分析沿着管线方向的相邻不同测点的差异沉降可以为管线现状提供参考数据。管线差异沉降呈现中间沉降大,两侧沉降小的特征,管线最大差异沉降测点编号DLG-41-24~DLG-41-25,最大斜率为2.1‰,管线最大差异沉降出现在隧道边洞上方,边洞上方的管线测点累计沉降值最大,由于中洞中隔墙的支撑作用在整个隧道的正中间反而不是沉

降最大的测点,向两侧逐渐减小。

6 结论及建议

(1) 浅埋暗挖中洞法垂直穿越地下管线施工中,引起管线沉降最大的施工工序是左右边洞的土方开挖,约占整体沉降的40%,建议在边洞初支完成后针对沉降较大区域进行壁后注浆,动态控制管线沉降变形,及时进行初期支护背后注浆,加强监控测量,提高监测的数量及频率,根据反馈信息,随时调整施工参数,保证管线沉降风险可控。

(2) 中洞法垂直穿越管线施工中,最大沉降监测点位于边洞正上方,为减小差异沉降避免管线受剪破裂,建议针对边洞上方进行加强注浆,提高注浆压力控制管线差异变形,防止地下管线局部受力集中而破坏。

参考文献 (References):

- [1] 马涛.浅埋暗挖隧道近距离下穿大直径管线影响分析[J].工程技术研究,2024,9(23):11-14.
- [2] 边璐玮.复杂环境下软弱富水地层中浅埋暗挖法地铁出入口施工技术研究[J].工程与建设,2025,39(02):369-371..
- [3] 冀凯玄,李小鹏,王媛,等.浅埋多导洞暗挖隧道下穿高风险源沉降控制研究[J].建筑技术,2024,55(24):2962-2965.
- [4] 薛小义.浅谈浅埋暗挖穿越地下管线施工技术[J].建设监理,2024,(S1):136-139.
- [5] 程思齐.软土地层暗挖隧道下穿邻近大直径市政管线施工保护技术研究[J].中国水运,2023,23(08):112-114.