

地下水位变化对明挖隧道支护结构的影响研究

Research on the Influence of Groundwater Level Changes on the Support Structure of Open Cut Tunnels

苏成玉 杭斯荃 王刚 马俊杰

Su Chengyu, Hang Situan, Wang Gang, Ma Junjie

(中国建筑第七工程局有限公司 河南郑州 450004)

(China Construction Seventh Engineering Bureau Co., Ltd. Zhengzhou 450004, Henan)

摘要: 隧道作为城市交通建设的重要组成部分,承担着日常出行的关键功能。然而,在隧道的施工和运营过程中,地下水位的波动可能会对隧道的稳定性和安全性产生重大影响。本研究以郑州市新龙路道路工程为案例,系统研究了地下水位变化对明挖隧道支护结构的潜在影响。通过此案例,旨在为类似工程提供理论指导和操作建议,以应对地下水位变化对隧道工程的挑战。

Abstract: As an important component of urban transportation construction, tunnels bear the key function of daily travel. However, during the construction and operation of tunnels, fluctuations in groundwater levels may have a significant impact on the stability and safety of the tunnel. This study takes the Xinlong Road project in Zhengzhou City as a case study to systematically study the potential impact of groundwater level changes on the support structure of open cut tunnels. Through this case study, the aim is to provide theoretical guidance and operational suggestions for similar projects, in order to address the challenges of groundwater level changes to tunnel engineering.

关键词: 地下水位变化, 明挖隧道, 支护结构, 影响机理, 适应性调整, 优化设计

Keywords: changes in groundwater level, open cut tunnels, support structures, impact mechanisms, adaptive adjustments, optimization design

1 引言

本文旨在探讨地下水位变化对明挖隧道支护结构的影响。通过对郑州市新龙路道路工程的地形、水文、气候和地层等自然条件进行分析,深入研究了地下水位变化对明挖隧道稳定性的影响机理、支护结构的类型和设计原则。

郑州市新龙路道路工程位于郑州市北部,该工程地处黄河冲积平原郑州东部泛滥平原区。场地表层广泛覆盖着杂填土和局部素填土,杂填土厚度变化范围为 0.50~15.5m,其中隧道里程段 K18+720~K19+520 杂填土厚度在 0.80~11.2m 之间,桥址区杂填土厚度约为 8.00~18.00m,其他一般地段的杂填土厚度介于 2.00~5.70m 之间。杂填土结构松散,分布不均匀,主要成分包括沥青、混凝土块、碎石、粉土以及少量的砖瓦块或生活垃圾。在勘探孔位,部分区域含有植物根茎。场地地形总体平坦,但也存在局部地形起伏。工程基坑最大深度约为 18m,基坑侧壁主要由杂填土、粉质黏土、粉土、粉砂以及细砂构成。

本研究发现,地下水位的升降都会对明挖隧道的稳定性产生影响,主要表现为渗流、涌水、土体变形和支护结构破损等问题。为了应对这些问题,本文提出了适应性调整策略,包括预测地下水位变化趋势、合理选择和设计支护结构,以及在施工和运维中采取的措施。此外,本文还对不同类型的支护结构进行了优缺点分析,并介绍了新型支护材料与技术对明挖隧道中的应用。最后,通过对支护结构的优化设计和施工技术进行讨论,强调了在明挖隧道工程中关键技术及注意事项的重要性。

2 地下水位变化与明挖隧道的关系

2.1 地下水位变化对明挖隧道稳定性的影响机理

地下水位变化对明挖隧道工程有重要响应,隧道所在地区的地下水位变化直接导致隧道周围土体的含水量和饱和度发生变化。当地下水位升高时,隧道周围土体的饱和度增加。根据水文数据,郑州市地表水主要由淮河流域的沙颍河水系供应,其中,魏河作为贾鲁河支流流经项目附近。随着季节性降雨、人工降水和地表水体补给,地下水位呈现丰水期和枯水期交替变化。在每年 7 月中旬至 10 月上旬的丰水期,地下水位升高,水土压力的增大对隧道稳定性产生不利影响。这一时期,隧道周围土体的饱和度增加,土壤渗透性增强,可能引发渗流、涌水等问题,对支护结构稳定性构成挑战[1]。

当地下水位下降时,土体的饱和度减小,土体变得相对干

燥。这将导致土体沉降、收缩甚至裂缝的形成,进而影响支护结构的稳定性。特别是在干旱季节,土体的干缩会导致隧道周围土体的体积减小,可能引发地表下陷,影响地表交通和建筑物的稳定性。

2.2 明挖隧道支护结构的类型与设计原则

在地下水位升高的情况下,为应对涌水问题,需要选择合适的支护结构类型和设计方案。针对魏河等地表水供应源,地下水位最高埋深约为 2.0m,历史最高水位埋深 1.0m。钢支撑和混凝土衬砌作为明挖隧道支护结构常见类型,均需要考虑防水措施,以减缓水分渗透对支护结构的不利影响。钢支撑结构可以通过适当的调整以缓解水压对支护结构的影响,但需要防腐处理以防止腐蚀。混凝土衬砌具有稳定性强、耐久性好的特点,适用于长期使用,但需注意设计防水措施以防止水渗透引发裂隙和腐蚀[2]。

另外其他支护结构类型如下:

1) 钢拱架支护:通常用于大跨度的隧道,钢拱架可以提供足够的强度和刚度,以支撑覆土的重量和地下水的压力。在施工过程中可以相对迅速地安装,但可能需要额外的防腐保护措施,以防止钢材受到腐蚀。

2) 混凝土梁板支护:适用于中小跨度的隧道。通过预制混凝土梁和板,可以形成一个稳定的结构,用于支撑地下土壤和水压。这种结构相对坚固,但施工周期可能较长。

3) 喷射混凝土衬砌:喷射混凝土是通过高速喷射混凝土材料来形成衬砌,适用于各种地质条件和隧道形状。可以适应不规则的洞壁,并在短时间内形成坚固的支护结构。

4) 预制混凝土拱顶:适用于大跨度的隧道,通过预制混凝土拱顶板来形成稳定的结构。可以加快施工进度,但需要在制造和运输预制构件时注意。

5) 纤维增强材料支护:玻璃纤维、碳纤维等纤维增强材料可以用于加固岩土体,增加结构的韧性和抗裂性。这种方法对于防止裂缝扩展和变形具有良好的效果。

6) 锚固支护:锚固技术将锚杆、锚索等固定在岩土体中,增强结构的稳定性。这对于具有不稳定地质情况的隧道尤为有用,如滑坡或塌方地段。

3 地下水位变化对明挖隧道支护结构的影响

3.1 地下水位升高对隧道的影响

3.1.1 渗流和涌水问题

在丰水期,地下水位升高至地表下 4.6~6.2m,最高水位埋深达到 2.0m,根据魏河的水流特征,隧道周围土体饱和度明显增加,土壤渗透性增强。根据实测数据,地下水位上升 2.6m 时,隧道纵向收敛变形量达到 6mm,横向膨胀变形量达到 3mm,较低水位时变形量明显增大。这种情况下,地下水位变化可能引发渗流、涌水等问题,对隧道支护结构的稳定性产生不利影响。因此,丰水期需要采取防水措施,以减缓或避免对工程的水致灾害。

3.1.2 隧道内土体的变形与稳定性问题

地下水位升高使隧道内部土体的变形和稳定性问题突出。根据气象数据,隧道所在地区具有明显的季节性降雨,而丰水期正值降雨频繁的时段。水渗透土壤可能引发土体膨胀、坍塌等问题,对隧道结构产生不良影响。因此,在设计明挖隧道时,需要充分考虑地下水位变化对隧道内部土体变形和稳定性的影响,选取合适的支护结构类型和防水措施,以确保隧道的安全稳定运行。

3.2 地下水位降低对隧道的影响

3.2.1 土体沉陷和收缩

地下水位降低导致隧道周围土体饱和度减小,引发土体沉陷和收缩。以花园路隧道工程为例,数据显示,在主体隧道纵向收敛方向,隧道纵向收敛变形量随地下水位从高位下降至低位逐渐增大。当地下水位下降约 2.6m 时,主体隧道的纵向收敛变形量达到峰值,约为 6mm;在横向膨胀方向,地下水位从高位下降至低位时,隧道横向膨胀变形量逐渐增大,当地下水位下降约 2.6m 时,横向膨胀变形量达到峰值,约为 3mm。这说明地下水位降低会引发土体沉陷和收缩,进而改变支护结构受力情况。

3.2.2 支护结构破损风险

地下水位降低使隧道周围土体变干燥,增加支护结构破损风险。数据显示,含膨胀性土壤的地段在干燥条件下可能产生体积收缩,形成裂缝和下沉。在花园路隧道工程中,隧道主体开挖阶段地下水位较低,虽支护结构较稳定,但需特别关注土体干燥收缩引发的潜在破坏风险。土壤干燥收缩可导致支护结构周围应力重新分布,应力集中于局部区域,增加支护结构破损风险。此外,地下水位降低还可能使土体松散,土体强度快速衰减,失去侧向支撑能力,加剧支护结构破损风险[3]。

4 明挖隧道支护结构的适应性调整策略

4.1 预测地下水位变化趋势

考虑郑州市新龙路道路工程地质、水文和气候等复杂条件,预测地下水位变化趋势尤为关键。涵盖广泛的地理区域,需综合分析历史水位、气象、降雨和地质等信息,建立准确的地下水位变化模型。此模型须考虑季节性变化和降雨影响,尤其多雨季节可能引发的水位波动。模型预测可使工程管理团队采取针对性措施,如调整进度、强化排水系统,以适应不同水位变化。

4.2 支护结构的合理选择与设计

因郑州市新龙路道路工程地质多样,应根据不同地下水位变化选择支护结构和设计方案。水位升高时,应选用抗水压性优异的材料,如防水混凝土衬砌,以承受增大水压。对于可能遇到涌水的地段,可考虑设置防渗帷幕等措施,减缓水渗透影响。水位降低时,支护结构设计需特别关注土体沉陷和破损风险,选用坚固结构,如钢支撑或混凝土衬砌,保障整体稳定。

4.3 针对地下水位变化的施工与运维措施

结合郑州市新龙路道路工程地质和水位变化,施工和运维阶段需制定有针对性的措施。水位升高时,施工过程应考虑水隔离、排水系统等,减少渗流和涌水干扰。建立稳定排水系统,实时清除渗水,维持隧道内稳定环境。水位降低时,需加强支护结构监测,及时发现处理土体沉陷、支护破损等问题,保障结构稳定。工程运营时,持续监测支护结构状况,定期巡检和

维护,确保适应不同水位变化的安全运行。可利用智能监测系统,实现实时数据收集和远程监控,提升支护结构管理效率[4]。

5 支护结构的优化设计与施工技术

5.1 不同类型支护结构优缺点分析

在明挖隧道工程中,支护结构类型各有优劣,需综合考虑。钢支撑因具有较高的强度和刚度,适用于大跨度或深埋隧道,但湿润环境易使钢材受到腐蚀。混凝土衬砌稳定、耐久,适宜长期使用,但施工周期较长。喷射混凝土适应性强,适合复杂地质,需专业技术。预制拱顶可加速施工进度,适用于大跨度,但定制成本高。支护结构的优缺点如表 1 所示,需根据实际工程选择。

表 1 不同类型的明挖隧道支护结构优缺点分析

支护结构类型	优点	缺点
钢支撑结构	强度高,稳定性好	需要防腐处理,成本较高
混凝土衬砌	稳定性好,耐久性高	施工周期长,不适用于复杂地质
喷射混凝土	适应性强,施工灵活	需要专业技术,成本较高
预制拱顶	适用于大跨度	需要定制,成本较高

5.2 新型支护材料与技术应用

新型材料和技术创新可用于明挖隧道工程。纤维增强材料(如玻璃纤维、碳纤维)可提升结构韧性和抗裂性,减缓结构变形和裂缝扩展。岩土锚固技术通过锚杆、锚索等连接地层,增强稳定性,适用于易发生滑坡、塌方等地段。喷射加固填充空隙,改善围岩强度。智能监测系统通过传感器实时监测结构变形、地下水位,提升管理效率。应综合考虑新技术的适用性、难度和成本[5]。

5.3 支护结构施工关键技术及注意事项

合理的施工顺序可确保工程质量,特别是水位高时需排水减渗。地下水管理的关键在于降低水位、封闭隔离。监测变形、水位和地应力,调整施工策略,应对不良地质。应用新技术需专业知识,确保质量。此外,需注意环境保护以减少对环境的影响。制定应急预案,确保安全。综合考虑技术和注意事项,确保支护结构稳定施工与安全运行。

结束语

在郑州市新龙路道路工程施工项目中,明挖隧道的设计与施工面临着复杂的地质、水文和气候条件。为确保隧道的稳定性和安全性,必须进行地下水位变化趋势预测、合理支护结构设计、新型材料与技术应用以及关键施工技术的掌握。通过综合分析不同类型支护结构的优缺点,选择适宜的结构方案;应用纤维增强材料、岩土锚固技术等新型技术,增强支护效果;在施工过程中重视地下水控制、监测变形等关键技术,实施环保措施,制定应急预案,以确保明挖隧道工程的顺利进行。这些措施的综合运用将为工程的成功实施提供有力支持,同时也为类似工程的规划与实施提供有益借鉴。

参考文献:

- [1] 郑州市勘察设计院. 郑州市新龙路道路工程勘察设计报告[R]. 2020.
- [2] DG/TJ 08-2033-2008 道路隧道设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2018.
- [3] 李展华. 地下工程隧道施工技术研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020, (11), 93-96.
- [4] 杨志坚, 周大龙, 胡俊杰. 新型隧道支护技术研究与应用[J]. 隧道建设, 2019 (8), 126-130.
- [5] 陈红艳, 张亮. 明挖法隧道施工新技术研究[J]. 建筑施工, 2018(9), 92-94.