

公路隧道改扩建工程重大风险预防与控制

朱维全

中交一公局集团有限公司 北京 101119

摘要: 公路隧道施工往往面临复杂的地质条件,如断层、破碎带、岩溶等,这些不良地质可能导致坍塌、涌水等事故。同时,施工方法的选择、施工工艺的合理性、支护的及时性和充分性等技术问题,也直接影响隧道结构的稳定性,增加安全风险。因此,为了确保隧道改扩建工程的安全和质量,必须进行全面的风险评估,并采取有效的预防措施,包括加强地质勘察、优化施工方法、完善支护方案、加强施工监控等,以应对和降低潜在的安全风险。本文就公路隧道改扩建工程施工重难点及重大风险的预防与控制策略进行分析,旨在为既有隧道工程的安全施工提供一定的帮助。

关键词: 公路隧道; 改扩建; 重大风险; 预防; 控制策略

引言

随着交通需求的日益增长,公路隧道的改扩建工程显得尤为重要。然而此类工程往往伴随着一系列重大风险,给施工安全和工程质量带来严峻挑战。公路隧道改扩建不仅涉及复杂的地质条件,还需考虑现有结构的稳定性和安全性,施工过程中稍有不慎,就可能引发坍塌、涌水等安全事故。本文深入探讨了公路隧道改扩建工程中的重大风险预防与控制策略,这不仅有助于提升隧道改扩建工程的安全性,还能为类似工程提供有益的参考和借鉴,推动公路隧道建设事业的持续健康发展。因此,本文的研究具有重要的理论和实践意义。

1. 工程概况

烟岗一号隧道位于高山、峡谷区域,地形地质条件复杂。岩层多呈薄层状,层间结合程度较差,岩体破碎,围岩级别全部为V级千枚岩夹薄层变质砂岩和碳质千枚岩,其中碳质千枚岩中含有瓦斯,围岩无自稳能力,极易坍塌。为利用既有隧道扩建,工程主要分为暗洞工程、明洞工程、洞门工程、洞内防排水工程、洞内路面工程、设备槽(沟)室。主要工程量为隧道开挖量28287m³,混凝土15870m³,钢筋及型钢725.8t,φ22锚杆18997m,超前小导管12070m。

2. 工程施工特点

1) 该隧道是在既有隧道的基础上进行扩建,这就意味着在施工过程中必须保持隧道的通行能力,以满足交通需求。这一保通要求大大增加了施工的安全风险,因为施工期间既要确保既有隧道的结构安全,又要避免施工活动对交通

造成干扰。因此,施工团队需要采取一系列的安全措施,如加强交通管理、优化施工方案等,以确保施工期间的安全和交通顺畅。

2) 隧道岩性复杂,主要由千枚岩夹薄层变质砂岩和碳质千枚岩组成。特别是碳质千枚岩中可能含有瓦斯,这对隧道施工提出了更高的安全要求。为了保障施工安全,施工团队必须加强通风和监测工作,确保隧道内的空气质量符合安全标准,并实时监测瓦斯浓度,防止瓦斯爆炸等安全事故的发生^[1]。

3) 洞身开挖工艺及支护类型多样,也是该隧道改扩建工程的一大特点。由于隧道的地质条件复杂,施工团队需要根据实际情况选择合适的开挖工艺和支护类型。因此,施工中要求专业班组和管3.4理人员具备较高的技术水平和管理能力,能够灵活应对各种地质条件和施工难题,确保隧道的施工质量和安全。

3. 公路隧道改扩建工程重大风险预防与控制策略

3.1 塌方事故安全控制

公路隧道改扩建工程中,塌方事故是施工过程中的一大安全隐患,其不仅威胁着施工人员的生命安全,还可能造成重大的经济损失,延误工程进度。为了有效预防和控制塌方事故,必须充分了解设计、地勘文件中的地质情况,开展施工实际地质描述,并随时与设计对照,同时加强地质超前预报和监控量测工作,确保施工方案的合理性和安全性。

首先,地质情况的掌握是预防塌方事故的基础。在设计阶段,地质勘察工作应全面、细致地进行,以获取隧道沿

线详尽的地质资料,包括但不限于地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质现象(如断层、滑坡、泥石流等)以及特殊岩土(如软土、膨胀土、岩溶等)的分布情况^[2]。设计文件应基于这些地质资料,合理确定隧道的走向、埋深、断面尺寸以及支护结构等关键参数。然而,设计文件所依据的地质资料往往基于有限的勘探点和勘探深度,难以完全反映隧道实际施工过程中的地质情况。因此,施工阶段必须开展施工实际地质描述,随时与设计对照,这就要求施工人员具备丰富的地质知识和实践经验,能够准确识别施工过程中的地质现象,如地层变化、节理发育、地下水涌出等,并及时与设计单位沟通,反馈实际地质情况。

其次,地质超前预报是预防塌方事故的重要手段。即施工人员利用地质雷达、地震波、电磁波等探测技术,对隧道前方一定范围内的地质情况进行预测。通过地质超前预报及时发现潜在的地质风险,如断层破碎带、岩溶发育区等,为施工方案的调整提供依据。同时,监控量测工作也是不可或缺的,通过对隧道围岩变形、支护结构受力等参数的实时监测,定量实测分析隧道施工过程中的稳定性状况。一旦发现异常情况,应立即提出变更要求,经设计确认后调整施工方案。

再次,在支护结构的设计和施工方面,必须严格按照设计文件执行。支护结构是保持隧道围岩稳定性的关键,锚杆的长度、间距,钢筋网的尺寸,喷射混凝土的厚度和钢拱架的间距等参数,都必须达到设计要求。这些参数的合理确定不仅依赖于设计阶段的地质勘察和设计计算,还依赖于施工阶段的严格控制。施工过程中应加强对支护结构质量的检查和验收,确保支护结构的可靠性和耐久性。

此外,还应加强施工人员的安全教育和培训,使他们充分了解塌方事故的危害性和预防措施,掌握正确的施工方法和操作流程。同时,建立健全的安全管理制度和应急预案,确保在发生塌方事故时能够迅速、有效地进行救援和处理。

3.2 岩体失稳风险控制措施

目前隧址区范围内不良地质主要为隧道出口段的危岩落石。出口段为基岩陡壁,发育凹岩腔,上部发育零星危岩,多为坡面出露基岩部位被裂隙切割但尚未完全切割贯通、可能失稳的暂时稳定块体。

隧道开挖采用钻爆法,以新奥法理论指导施工,选用光面爆破。采用气腿式凿岩机钻孔,采用挖掘机配合装载

机装渣,自卸汽车运渣。施工时根据工程的地质条件、开挖断面、掘进循环进尺、施工机具和爆破材料等进行钻爆设计。合理分配炮眼装药量及装药结构,根据围岩变化情况及时调整爆破参数,优化爆破效果,确保施工安全,加快施工进度,同时提高工程质量、降低成本。周边眼采用 $\phi 32\text{mm} \times 200\text{mm} \times 150\text{g}$ 小直径药卷间隔装药方式,其余炮眼采用连续装药,掏槽眼采用复式楔形掏槽。爆破材料采用1~14段普通毫秒延期雷管和塑料导爆管起爆,周边眼采用低爆速、低密度、高爆力、传爆性好的2#岩石乳化炸药,炮泥堵塞,导爆管复式网路联接,各部一次起爆^[3]。

隧道开挖采用钻爆法配合光面爆破技术,旨在优化隧道断面轮廓、提升围岩承载能力。基于光面爆破,隧道周边轮廓得以圆顺呈现,有效避免了棱角突变处可能产生的应力集中现象,不仅有助于减少围岩的破坏,还能充分发挥围岩自身的承载力,为隧道的长期稳定奠定基础。施工过程中,严格遵守“管超前、严注浆、短开挖、强支护、勤量测、紧封闭”的十八字方针。其中,“管超前”和“严注浆”旨在提前加固围岩,提高围岩的整体性和稳定性;“短开挖”则有助于减少每次开挖对围岩的扰动范围,降低施工风险;“强支护”则强调支护结构的强度和刚度,以确保支护体系能够有效承受围岩压力;“勤量测”和“紧封闭”则要求施工团队加强对围岩与支护动态的观察和监测,及时发现并处理异常情况,从而有效控制围岩变形。

3.3 洞口滑坡风险控制措施

超前长管棚施工是一种有效的滑坡预防手段。通过在隧道洞口前方施工一排或多排长钢管(即管棚),形成一道坚固的支护屏障,能够有效抵御滑坡体的推力,保护隧道洞口不受滑坡影响。该项目工程管棚钢管均采用 $\phi 108 \times 6\text{mm}$ 热轧无缝钢管,环向间距40cm,置于衬砌拱部 120° 范围内,管心与衬砌设计外轮廓线间距大于30cm,平行路面中线布置;接头用长15cm的丝扣直接对口连接;当管棚钢管已深入微风化岩层时可以适当缩短长管棚长度,管棚具体施作长度结合洞口围岩情况按照25m长设置^[4]。

管棚注浆参数:

- ①管棚注浆前先插入钢筋笼,以增强管棚的刚度和强度;
- ②灌注浆液:水灰比1:1水泥浆;
- ③注浆压力:初压0.5~1.0MPa,终压2.0MPa;
- ④注浆结束标准:注浆量达到或接近预估注浆量可结

束本孔注浆；注浆压力达到设计压力，注浆量逐渐减少，最终小于 1L/min*m，维持 10min 以上可结束本孔注浆；

⑤压浆完毕用 M30 砂浆进行管棚填充。

超前小导管和超前锚杆是滑坡风险控制中的辅助支护措施。它们通常被布置在隧道洞口的周边，与长管棚形成互补，共同增强隧道的支护能力。超前小导管一般较短，但具有较高的刚度，能够迅速传递和分散滑坡体的推力。而超前锚杆则通过深入岩体内部，提供强大的锚固力，有效固定滑坡体。这两种支护措施的施工简便、成本较低，且能够根据地质条件进行灵活调整，因此在滑坡风险控制中得到了广泛应用^[5]。

该公路隧道洞身超前锚杆采用超前小导管和超前锚杆。超前小导管适用于 A5a、A5b、A5c 型衬砌，小导管采用外径 50mm 的热轧无缝钢管，壁厚 4mm，长 4.5m，环向间距 35cm，外插角控制在 10°（与隧道纵向开挖轮廓线之间的夹角），尾端支撑于钢架上，每排小导管纵向至少需搭接 1m，设置范围为拱部 120°，当围岩为土质 V 级围岩浅埋，偏压段及洞口段 V 级围岩软岩，洞壁较薄段采用双层超前小导管进行支护，环向间距 40cm，外插角分别为 10° ~ 14° 和 30° ~ 40°，上下两层交错布置。

超前锚杆适用于 A4b、A4c 型衬砌，采用 $\phi 22\text{mm}$ 超前锚杆，环向间距 40cm，外插角控制在 10° 左右（与隧道纵向开挖轮廓线之间的夹角），尾端支撑于钢架上，超前锚杆纵向至少需搭接 1m，设置范围为拱部 90°。

注浆参数：纯水泥浆，水灰比 1:0.5 ~ 1:1，注浆压力为 0.5 ~ 1MPa。

除了超前支护措施外，对既有隧道洞口的加固也是滑坡风险控制的重要环节。加固措施通常包括增加衬砌厚度、设置钢支撑、注浆加固等。增加衬砌厚度能够提高隧道的承载能力，抵御滑坡体的推力；设置钢支撑则能够增强隧道的整体稳定性，防止滑坡体对隧道造成破坏；注浆加固则能够填充岩体中的裂隙和空洞，提高岩体的整体性和强度。这些加固措施的实施需结合隧道洞口的地质条件和滑坡风险等级进行综合考虑，以确保加固效果。

3.4 施工保通交通风险管控措施

首先，施工前需制定详细计划，设立临时交通标志和警示牌，提前告知驾驶人员施工情况。同时，保证施工现场

的作业安全，设置足够的防护设施。施工期间还需根据交通流量调整交通管制措施，确保交通流畅。

其次，在施工区域内设置施工标志和警示标志，引导驾驶人员注意施工区域，减速慢行。并配备专人指挥交通，根据施工计划合理安排交通管制，如设置临时通道或绕行路线。而且，还可以通过临时交通导向标志，引导驾驶人员绕行或按照指定路线行驶。确保指示清晰、明确，避免交通混乱。

此外，制定相应的应急预案，包括设置领导小组、安全组、通信组和救援组等。定期排查隧道内潜在的安全隐患，如火灾、塌方等，并配备足够的应急物资和设备。事故发生时，迅速启动应急指挥系统，组织救援人员赶赴现场，确保人员安全和交通畅通。

结束语

总而言之，公路隧道改扩建工程施工中，针对重大风险的预防与控制，通过加强地质勘查、优化支护结构、强化机械设备管理、严格施工用电管理、优化施工通风、落实高处作业安全措施以及预防物体打击等一系列措施，有效降低了施工过程中的安全风险。这些措施的实施不仅保障了施工人员的安全，还确保了隧道改扩建工程的顺利进行。同时，相关部门还加强了监测和预警工作，及时发现并处理异常情况，为公路隧道改扩建工程的安全稳定提供了有力保障。

参考文献：

- [1] 吴涛, 胡瑶瑶, 孟杰. 黑峪隧道改扩建工程总体设计[J]. 山东交通科技, 2022, (04):77-79.
- [2] 戴世颖. 复杂环境下既有隧道改扩建断面力学行为研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(07):147-151+156.
- [3] 邱礼球. 基于物元可拓模型的改扩建隧道施工安全风险评估[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(S2):25-30.
- [4] 李昊煜, 徐晓东. 分离式隧道改扩建方案论证对比[J]. 工程与建设, 2018, 32(05):693-697.
- [5] 臧万军, 王猛. 既有公路隧道改扩建安全风险评估——基于风险熵权物元可拓模型[J]. 福建建筑, 2018, (03):67-71.

作者简介：

朱维全, 19770804, 山东菏泽, 汉、男、本科、高级工程师、桥梁工程