

高速铁路隧道工程岩溶施工技术研究

李明浩

辽宁省路桥建设集团有限公司

摘要:在岩溶地质地段进行隧道建设,其整体稳定性和荷载承受能力较差,对隧道工程的施工和运营安全有着严重的影响,需要采取有效的措施给予解决。本文详细介绍了加强型防排水设计、二衬设计及施工工艺优化、隧底综合处理等复杂岩溶地质隧道设计与施工关键技术。结果表明:在高铁复杂岩溶隧道建设阶段采取上述措施可有效提升隧道质量,降低隧道运营期发生渗漏水、开裂、掉块等病害的概率,保障运营安全。

关键词:高速铁路;隧道工程;岩溶施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.04.057

引言

由于我国地域辽阔,地质复杂多样,在进行隧道开挖时常常会遇到不良的地质条件。岩溶富水地质属于一种常见的不良地质,在我国西南地区进行铁路工程建设时较为常见,在岩溶富水地质中开挖隧道容易发生涌水、塌方、隧道变形等灾害,因此在岩溶富水地质中进行隧道开挖成为难点问题。对于岩溶富水地质隧道工程,学者们做了许多研究,主要包括:关于隧道掌子面安全厚度的计算研究,关于岩溶的发育规律及岩溶突水防治措施研究,关于隧道施工风险、风险预备及隧道支护参数的研究,岩溶隧道突涌危险性及其危险性评价系统研究。目前对岩溶富水地质及铁路隧道工程的研究已取得一定的成果,尚存在不足,例如对工程的定量分析较少、在施工安全方面的风险管理和控制措施尚不足。

一、工程概况

某铁路隧道工程,进出口里程为DK51+328—DK55+286.2,全长3958.2m。进口、出口轨面高程分别为799.158m、732.973m,隧道为纵向坡度-12%、-17.4%的单面下坡,最大埋深约365m。地质勘察结果显示,隧址区分布以岩溶区为主,不利于该铁路隧道工程施工进程的顺利推进。

二、岩溶区的地质条件

实际开挖情况表明,DK53+678处有巨型溶洞,包含厅堂状廊道、主溶裂隙通道、支洞。隧道正洞跨越溶洞长度约71m,影响长度124m。隧道轨面以下空腔深度为30~55m,拱顶以上溶洞高度约2m。水文条件方面,大气降水下渗明显,是溶洞地下水的主要补给途径。溶洞地下水和局部渗水均由裂隙排泄,因此溶洞整体的水侵蚀作用相对较弱,呈干溶洞。但需考虑的是,溶洞发育规模较大,为铁路隧道的建设造成阻碍。通过现场地

质调查、物探、钻探等多重方法的落实,全方位掌握现场的地质条件以及水文条件,对溶洞的实际情况形成准确的认识;与此同时,进一步考虑溶洞的特征以及其与拟建隧道的位置关系。经过多重考量后,确定适用于本岩溶区铁路隧道的施工方法,即在路基回填环节选用洞砾回填与上部注浆相结合的方式。

三、隧道防排水设计

(一) 衬砌背后排水系统

为有效提高衬砌背后排水能力,降低衬砌背后水压致裂、渗漏水等病害风险和排水系统运营维护成本增加。衬砌背后排水系统采取如下设计:(1)对环向盲管进行纵向加密,一般地段环向盲管间距取为5m,岩溶及地下水发育地段纵向间距取为2m。(2)在矮边墙增设孔径不小于110mm的泄水孔(管),孔(管)间距不大于2m,并与盲管错开布置。在侧沟(槽)立模浇筑前,疏通孔内结晶物并钻孔深入围岩0.5m。(3)隧底布设环向盲管,管径不小于50mm,纵向间距不大于5m;同时采用无纺布进行包裹用以收集仰拱底部地下水,波纹管两头弯入边墙侧沟。(4)拱墙环向施工缝1.5m范围布设“凸”壳型排水板,发挥“凸”壳型排水板的“面排水”功能。

(二) 隧道内排水系统

首先在左右边墙侧沟槽壁与道床之间各纵向拉通增设尺寸为宽0.3m×深0.2m的道床侧沟。然后在道床侧沟与中心沟之间增设横向排水沟,沟顶板低于道床板0.15m,排水坡度2%。横向排水沟宽0.4m、深0.17~0.23m,沿纵向每隔30m设置一道,使得道床与侧沟之间的积水汇入道床侧沟,再经横向排水沟连接中心水沟排出洞外。最后在边墙侧沟与横向排水沟之间埋设 \varnothing 110mm的PVC弯头进行连接,从而分流边墙侧沟的水,使得排水系统更加通畅、科学、合理。

(三) 施工期间集水廊道

在隧道施工过程中,当原设计排水系统不能满足排水需求时,需增设集水廊道对其进行汇集,然后引排至泄水洞、平导、横洞等辅助坑道排水设施中。贵南铁路贵州段朝阳隧道掌子面开挖至DK163+786处,揭示岩性主要为灰岩,掌子面左侧边墙有一裂隙,裂隙内富水,水量约为150m³/h,裂隙张口尺寸约为0.3m,向隧道外轮廓斜上方发育,拱顶向上发育一黏土充填溶腔,溶腔内富水,出水位置为一竖向发育溶槽,溶槽尺寸约为1.0m(长)×0.25m(宽),向上发育高度不明。隧区岩溶

中等~强烈发育,地下水属于岩溶裂隙~管道水,局部可能存在大的溶隙或隐伏岩溶管道,可能导致突泥涌水。在建设过程中,为将隧底及拱顶岩溶水引排至洞身平导,达到泄水降压的效果,分别于线路左侧和拱顶处各增设了一集水廊道,集水廊道与溶腔和平导联通,将该处出水引排至平导内,使岩溶、裂隙水排水畅通,降低了突泥涌水的风险,减小二衬结构的水头压力,保证隧道施工质量的同时,也为运营安全提供保障。

四、回填法施工技术

(一) 设计思路

溶洞体偏大,填筑空间接近 50万m^3 ,在回填体注浆施工中投入的浆液约为 15万m^3 ,浆液的制备以及现场注浆均面临挑战。回填体上部因体量较大而对下部产生荷载作用,随着时间的延长,下部具有密实性,工后沉降形式以蠕变沉降为主,虽然有沉降但相对较小;相比之下,回填体的上部未受到足够的荷载作用,压缩效果较差,工后压密沉降现象明显,需加强处理。此外,列车通行时的荷载扰动也是需要着重考虑的因素,其会作用于回填体的上部,增加工后沉降。针对各种局限性,宜采用回填体上部注浆代替全部注浆的方法,此时着重围绕隧道主洞两侧沉降影响区做沉降处理。考虑厅堂状廊道填筑量较大(约 5万m^3)的特点,使注入的浆液覆盖至厅堂状廊道的大部分面积,以提升浆液的加固效果。此外,构筑周边浆液封堵区,控制浆液的流动范围,以防注浆过程中浆液大范围流失。

(二) 注浆施工

提前测量放线,确定注浆施工范围,再钻进成孔,得到合适规格、合适数量的注浆孔。回填采用抛填的方法,由于未分层回填、压实,可能会影响回填体的结构完整性以及稳定性,钻孔时有卡钻、塌孔的风险。针对此情况,为高效钻孔,采用地质取芯机跟管施工,钻进时检测钻机的水平度和垂直度,及时校正;钻进位置即将到达孔底时,适当放慢钻进速度,不可损伤底部止浆层。跟管钻孔到位后,插入注浆钢花管,用手拉葫芦拔出钢套管,并对孔口处采取防护措施。前述施工作业落实到位后,准备浆液,进入注浆施工环节。按照先周边、后中间的顺序注浆,优先施工分布在注浆区域周边的孔,随后再转向中间区域,对中间孔进行注浆。本次注浆采取跳孔分序的方法,因此先对注浆孔编号,得到一序孔(单号)和二序孔(双号),先对一序孔注浆,再向二序孔注浆。为使浆液被推送至注浆孔内,施工中加强对注浆压力的控制,终压 $0.5\sim 1\text{MPa}$,正常情况下注浆速度保持在 $10\sim 100\text{L}/\text{min}$ 。

五、隧道施工管理措施

(一) 做好前期准备工作

(1) 实地勘察。在铁路隧道施工之前,需要安排

专业人员进入施工现场,对地质、水文等环境进行详细勘察,对软弱围岩、不良地质、滑坡隧洞等特殊区域的地质环境信息资料进行全面细致地收集,为后续施工方案科学合理制定提供有力支持。(2) 施工设计,施工设计的好坏直接影响铁路隧道施工的顺利进行和实际施工质量,因此,必须高度重视铁路隧道施工设计,实际操作中除了要对施工图纸进行认真分析外,还要结合实地勘察工作所掌握的资料信息对铁路隧道施工图纸进行优化设计,特别是出现的与工程实际不相符情况,需要以实地勘察了解的讯息为主,并在此基础上对工程设计进行协调优化,为后续施工的顺利展开奠定良好基础。由此带来的施工变更情况也能减少发生,并起到提高施工效率和保证施工质量的作用。(3) 材料准备。铁路隧道施工所需材料有很多,如水泥、砂石等,这些材料质量是否达标也会给整体施工质量带来极大影响,这时就要根据铁路隧道的实际施工需要,对施工过程中可能运用到水泥、砂石等材料进行科学选用,并加强材料管理,确保进场材料质量达标,也能防止发生由此引发的施工质量问题。

(二) 充分的工装备备

铁路隧道工程施工中一般对装备投入有着较高的要求。具体来看,影响工程装备投入的因素包括但不限于工程规模、进度目标和安全、质量标准。其次,从工程施工队伍的角度来看,其最终的根本目的是经济效益的最大化。这使得实践中更多施工队伍采取了少投入、慢慢干的方式。因此,针对这一问题,不能够将装备投入事项完全交给施工队伍。另外,在铁路隧道工程装备投入的过程中,如果项目存在进度指标强度大、隧道长、施工标准要求高等特点,则一般会需要应用大量运输车辆、装挖载机械、三臂凿岩台车、钢拱架拼装机等进行辅助,并同时保证湿喷机械手、通风设备、抽排水装备的充足及备用。

(三) 把握关键工序

如果施工过程出现重点工序把握不准的情况,势必会给铁路隧道施工埋下诸多安全、质量隐患,这时就要对铁路隧道重要施工工序进行全面分析,科学规范施工,有效把握各重点工序的施工质量,最终整个铁路隧道施工质量也能得到有力保障。(1) 洞口施工,铁路隧道洞口施工需要将重点放在隧道洞口边、仰坡土石方等方面,在正式施工之前对施工具体环境和边坡稳定性进行细致检查和综合分析,如果发现存在不稳定的岩石,应采取有效措施进行处理。施工过程中也要始终确保实际施工符合规范标准,施工活动不会对周围环境产生较大扰动。(2) 支护施工。隧道施工具有一定的危险性,除了对支护施工材料质量加强检查和管理外,还要结合实际情况科学合理地选用支护手段,严格按照施

工流程进行操作,在充分发挥支护技术优势的同时,隧道施工安全和质量也能得到保障。(3)衬砌施工。衬砌施工是隧道施工中的重点内容。施工时要加强仰拱基底标高控制,并顺着隧道边墙对仰拱外控制点、控制测量点等进行科学设置,在增强结构稳定性的同时,促进仰拱和底板浇筑工作能够一次性完成。

(四) 落实安全法规制度

良好的施工安全依赖于安全制度的建立与落实,这是实现安全生产的保障。在现代施工安全管理中,隧道施工安全处于基础性地位,为保障隧道施工安全要做到建立科学合理的法规体系和严格执行的安全管理。与此同时,要加强监督,才能真正保证安全工作落到实处。作为企业,要带头践行相关法律制度,带头学习安全法规,带头遵守施工安全规定,积极接受监督检查,以自身的实际行动和良好形象影响带动广大工人队伍。同时,为促进安全法规落到实处,应通过一言一行、一举一动,尽好天天必进的职责,坚持签订安全责任书,明确安全目标、责任义务和奖惩措施。此外,要不断优化监督机制,对法律的实行加以监督,对不执行法律的加以惩办。施工单位各级部门要深刻认识监督的巨大作用,不断健全优化监督机制,把安全执法监督纳入议事日程,保证各类监督有法可依,切实做到体系完备、制度健全。

(五) 做好监控量测

监控量测工作的开展能够帮助技术人员在第一时间内了解隧道的变形问题,能够确保隧道工程的施工质量和使用的安全性。隧道支护结构的设置需要考虑岩体变形、应力状态以及稳定性等情况,而在支护结构变形前,通常都会出现比较明显的变形或位移,采用监控量测的方式能够获得真实、准确的结果,并且还要有效验证支护结构的支护效果,从而为支护方案的制定和施工技术的选用提供重要依据。就隧道围岩应力状态的变化而言,最明显的表现就是拱顶下沉和周边收敛位移,通过对这两个参数进行监控量测,可以帮助技术人员更好地判断隧道空间的稳定性。对地表沉降数据分析可知,隧道洞口地表在下导坑和仰拱施工过程中,会出现一个比较短暂的突变,其余时间则是平缓变化。而在下沉量变化方面,在围岩开挖过程中,存在刚性支护滞后的问题,导致围岩变形和下沉量较大,刚性支撑完成后,下沉速度也在明显下降,表明通过及时有效的刚性支护,可以很好地实现对围岩变形和地表沉降问题的有效控制。

(六) 隧道坍塌防治

在隧道不良地质段施工过程中,容易出现隧道坍塌问题。其原因除去不良地质的影响,还有设计施工方法

不合理、施工作业不恰当等,地质条件是主要诱发因素。对于隧道坍塌事故,要做到预防为主,综合防治。在施工前需要做好隧道洞口水文地质条件以及周边环境的调查分析,保证施工设计的合理性。同时,对隧道施工过程中可能会出现隧道安全事故进行分析,采取有效措施进行防范。对于已经出现的坍塌事故,需要停止施工,加固处理前后影响段,这样可以使坍塌的范围得到有效的控制,当坍塌的范围相对较大时,就需要在衬砌施工完成后进行回填操作;当坍塌的范围相对较小时,首先要先进行清理工作,然后再进行回填加固。

(七) 落实质量验收

在铁路隧道施工完成后及时进行质量检查验收,不仅可以及时发现施工中存在的问题,而且能最大限度地保证工程施工质量。在实际施工中,要对铁路隧道施工内容进行全面了解,将重点放在各环节联系比较紧密的施工工序上,执行时除了要加强施工过程管控外,还要在各工序施工完成后,对施工质量进行细致检查,待上一环节施工质量检查合格后,才能进入下一环节,通过层层把关,提高铁路隧道施工质量。另外,在铁路隧道竣工后,要组织专业人员对工程项目施工质量进行检查验收,对照项目质量验收表,每完成一个项目施工质量验收,要对其检查的项目、数据、内容等进行全面、准确地记录,针对质量不过关的情况,也要组织施工人员采取有效措施进行优化完善,并且所得资料数据也能为铁路隧道后续维护管理提供有力支持。

六、结束语

综上所述,铁路隧道穿越岩溶区时,施工期间易受到现场地质条件的影响,容易因施工扰动而导致溶洞坍塌,轻则影响施工进度,重则诱发安全事故。本文分析了岩溶地区铁路隧道工程中的应用思路,通过应用该方法,能够有效减轻地质问题的影响,保证铁路隧道施工的安全性,施工质量也满足要求,具有参考价值。

参考文献

- [1] 郝志强,马林,陈林,祝煦益,勾承藻.岩溶区盾构隧道管片的上浮影响因素及控制措施[J].建筑施工,2020,42(12):2324-2327.
- [2] 唐志杰.综合超前地质预报技术在岩溶隧道施工中的应用[J].中国高新科技,2020(23):85-86.
- [3] 张少雄,孙龙,王璐.岩溶隧道富水段超前地质预报与处治技术[J].公路,2020,65(12):163-165.
- [4] 王金兴.浅埋暗挖岩溶富水隧道下穿河流施工技术[J].工程机械与维修,2020(06):106-107.
- [5] 胡炜,谭信荣,李奎,蒋尧.高压富水地区岩溶隧道防排水设计方案优化研究[J].高速铁路技术,2020,11(05):97-101+106.