

高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段施工技术

王勇

新疆北新路桥集团股份有限公司

摘要：高速公路工程建设中，隧道洞口浅埋段施工有很强的复杂性与专业性，为保证隧道洞口浅埋段施工的安全与质量，必须科学应用各种施工技术手段。当前的高速公路工程的隧道洞口浅埋段施工中积累了较多宝贵经验，应注重推广应用，主要是强调进行地表防渗处理、进行超前地质预报、应用三维监控量测系统。详细言之，在高速公路工程的隧道洞口浅埋段施工中，要着重应用加固技术、开挖技术、防排水施工技术，主要是预注浆施工技术、预支护施工技术、洞口土方和锚网喷的施工技术、锚杆注浆预支护技术、丙烯酸盐喷膜施工技术、隧道排水管施工技术。

关键词：高速公路；隧道洞口；浅埋段；超前地质预报

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.056

一、引言

在高速公路工程中，隧道工程施工是重点和难点，隧洞工程的主体结构和附属结构的施工均有很强的专业性与复杂性。《公路隧道设计细则》（JTG/T D70-2010）对浅埋隧道进行系统阐述，指出当上部覆盖层不足隧道洞跨2倍的隧道或区段，可称之为浅埋式隧道，浅埋段的开挖施工、支护施工均较为特殊，必须综合各方面因素确定出施工方法，且全过程进行隧道洞口浅埋段施工安全与质量的管控^[1]。目前来看，已经在隧道洞口浅埋段施工中进行了较多尝试，有效应用当前的多种成熟技术手段，且强调进行超前地质预报，可有效对隧道围岩进行地质描述。不过总的而言，高速公路工程的隧道洞口浅埋段施工涉及加固、开挖、防排水这些施工内容，当前还需要进一步做好研究和积累经验，对于此，笔者结合自己的工作经验，谈一谈高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段施工技术要点，现作如下的论述。

二、高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段施工宝贵经验

一直以来，高速公路工程的隧道洞口浅埋段施工都得到高度重视，与之相关的研究较多，且在长时间的研究与实践中积累了较多宝贵经验，确保和提高隧道洞口浅埋段施工的安全与有效。以某高速隧道为例，隧道的右洞与左洞均进行浅埋段施工作业，通过应用各种施工技术手段，顺利完成浅埋段施工，取得良好成效。鲁山隧道的左线与右线的长度分别是3447m、3442m，最小埋

深达到3.7m，洞身开挖是属于超浅埋段。通过实地探勘发现一点，即浅埋段覆盖土层薄，以岩石为主，山谷为最低处，在汛期时会有地表径流。与此同时，鲁山隧道是位于鲁山林场核心区，所以浅埋段施工过程中必须充分保护好环境与植被，且传统的盖挖法、地表注浆法难以有效应用。对于此，经过分析研究确定出浅埋段施工方案，要求根据地质情况优化和调整施工方法及变更施工方案，主要是有六方面的要点。第一，认真进行地表防渗处理，在上游加筑小型拦水坝，通过安装排水管而有效引流地表水，且通过砂浆封闭径流水沟底部，如此可避免地表水渗漏，并且不会破坏林场植被^[2]。第二，分部开挖作业中应用CD法（中隔壁法），显著优势是最大程度减少地表扰动，为加强支护效果，采用双层超前小导管。第三，在钻孔施工时充分利用凿岩台车，最大程度减少掌子面施工作业的人数，也因此降低隧道洞口浅埋段施工风险。第四，高度重视超前地质预报，为达到最佳效果，可联合应用地质雷达法、地震波反射法，基于超前地质预报的结果，可以在早期进行隧道围岩的描述，且有针对性的做好保护措施。第五，洞内观测至关重要，可在洞内观测过程中应用当前成熟的三维监控量测系统，且要求对浅埋段施工作业进行24小时的全过程、全自动的监测。与此同时，要关注超浅埋段的变化情况，关键做法是在超浅埋段按照要求设置地表沉降观测点，由专人进行监测作业，且可以加大观测频率。第六，超浅埋段的施工要确保安全性，一方面是专职安全爆破警戒人员要发挥好职能，在超浅埋段的爆破作业时要指挥附近居民躲避在安全位置，全过程进行地表振动的观测，另一方面是可以提前组织隧道防坍塌应急演练，提高应急预案管理能力。除此之外，隧道洞口浅埋段的防排水施工至关重要，当前已经成熟应用丙烯酸盐喷膜为主的防排水工艺及超前预注浆为主的防排水工艺，各种新型的防排水工艺可避免隧道洞口出现渗水现象，有良好的防排水效果。

三、高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段加固施工技术

高速公路工程的隧道洞口浅埋段施工中，加固施工是一大重点，要确保加固作业的安全性与稳定性。当前成熟的加固技术以三种为主，包括预支护施工技术、预注浆施工技术、洞口土方和锚网喷的施工技术。

（一）预支护施工技术

在预支护施工技术应用中，要发挥好超前小导管的

作用,可广泛应用于预支护施工作业中,注浆加固施工时可以将超前小导管与钢拱架有效结合起来。在安装钢拱架之前,要按照要求对隧道洞口边仰坡进行封闭处理,然后可以贴着洞面安装钢拱架。在安装超前小导管的过程中,要求是通过钢拱架腹部而到达围岩,通过发挥出超前小导管、钢拱架的共同作用,可以形成良好的预支护体系。在超前小导管中注入浆液,当管壁出现溢浆现象,则表明地表空隙的注浆作业顺利完成。

混凝土钢筋护拱施工是一大重点,应该发挥好大管棚的作用,主要是有三方面的技术要点。第一,现场施工人员要按照要求测量纵横断面,在此基础上开挖轮廓线,通过进行预支护施工,可使隧道洞口有更好的稳定性^[3]。第二,将钢筋与50cm的三榀型钢拱架有效焊接,然后经过长度约100cm的导向钢管安装至钢支撑上。要确保形成有效的导向墙,关键做法是通过混凝土的浇筑作业有效形成钢支撑与导向管,浇筑周围仰坡面时使用C20混凝土。第三,在丝扣的作用下,钢管有效连接在一起,在管棚钢管的改进时要应用好机械手段。要促使钢管与导向管有良好的连接效果,关键做法是提前设置进浆孔与排气孔,对注浆压力进行科学控制,通常是控制为2-3MPa,将水泥浆水灰比严控为1:1。

(二) 预注浆施工技术

隧道洞口浅埋段施工过程中要强调洞口围岩的稳定性,为此,对洞口表面要进行加固处理,重点是对含水层进行处理,且做好预注浆施工作业。在进行隧道洞口浅埋段的预注浆施工时,要着重把握好三方面技术要点。第一,需要在隧道洞顶建立起一个安全良好的成拱壳,应用地表注浆的方式,且确保一次性注浆,以求有效防止塌孔。若是发现有坍塌风险,或是坍塌较为严重,则应该采用分段前进方式进行注浆作业,将注浆水灰比控制为1:1。如果一些特殊区域不可以进行地表注浆,难以发挥出地表注浆方法的最佳优势,则在加固地表时可以应用超前帷幕注浆法。第二,在完成洞面整修任务之后,需要进行开挖作业,且要浇筑浆墙,浆墙的浇筑高度以设计方案为准。为确保开挖作业的安全与稳定,要确保布孔作业的科学有效,目前主要是应用梅花形布孔方法,将间距控制为1.5m×1.5m。与此同时,要促使软弱地层、玻璃纤维锚杆有效结合为一体,控制好岩土注浆段的钻孔深度,确保开挖面处于稳定状态。第三,在进洞之后要修筑洞门,然后可进行隧道边坡与阳坡的施工作业,最后按照要求设置好排水设施。要充分确保隧道洞口安全性,关键做法是前期应用好预支护技术,但若是效果不佳,则要采取一些其他措施,主要是临时竖向支撑、水平旋喷超前支护,还可以通过喷射混凝土而进行掌子面的封闭开挖作业^[4]。

(三) 洞口土方和锚网喷的施工技术

在隧道洞口浅埋段施工之前,现场施工人员要进行洞口土方的刷坡处理,为有效避免雨水对洞口坡面产生有危害性的冲刷作用,施工过程中需要先边仰坡放线,在此基础上进行坡顶的截水沟设置,进行分层坡度开挖作业,要求遵循“从上到下”这一顺序原则。在软石打眼时,可以利用好风钻机,在开挖土方时可以利用挖掘机,对土石稳定性进行综合分析,在此基础上确定出坡度,必要时设置分级台阶。为了有效观测边坡的变化情况,要在合适位置设置沉降观测点与位移观测点。在开挖边仰坡这一过程中,现场施工人员要利用好锚网,可利用锚网喷使暴露的围岩得以封闭,钻孔时可以应用直径、长度分别为50mm、3.5m的风钻机,且要按照设计要求预留好梅花形疏水孔。待完成钻孔任务,且清理好钻孔之后,现场施工人员要小心插入PVC管,所用PVC管的直径是50mm,要确保PVC管有10cm可以处于外部。在混凝土施工之后,现场施工人员要进行锚管施工,可以使用无缝钢管,将无缝钢管的尾端安装垫板,然后在钢管上有效钻溢浆孔。在锚管的布置时,可以考虑按照梅花形进行布置,将间距严格控制为1.5m×1.5m。

四、高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段开挖施工技术

在高速公路工程隧道洞口浅埋段开挖施工中,要始终确保开挖过程的安全有效,所以要格外注重开挖方式的选择。结合当前已有研究成果而言,应用全断面爆破法进行洞口施工时,会使围岩的稳定受到影响,严重时会出现坍塌事故,所以不应使用全断面爆破法。洞口施工时,可以考虑应用预留核心图台阶法、双侧壁导坑法,若是IV级软弱围岩与V级软弱围岩,则可以应用预留核心图台阶法。在应用预留核心图台阶法的过程中,关键之一是设置台阶,通常将台阶控制为3-5m,开挖上台阶时可以使用风钻机钻孔弱爆破方式,开挖下台阶时可以使用预留核心图台阶法。

如果洞口段围岩具有不稳定性,则可以在开挖时使用双侧壁导坑法,关键做法是开挖隧道两侧导坑,要求长度在5m以上^[5]。在施工过程中为充分确保洞口段的稳定性,需要开挖导坑5m,然后开挖正洞上部,开挖侧壁导坑时可以应用松动爆破方法,这一过程中应该将人工方法与挖掘机有效结合起来,应尽量避免使用爆破施工方法。目前来看,已经成熟应用双侧壁导坑法,有完整且科学的施工流程,关键工艺是超前地质预报、测量放线、超前支护与注浆、开挖导坑上台阶、开挖导坑下台阶、喷混凝土封闭岩面、架设周边钢架、架立钢架、施作锚喷支护、浇筑填充混凝土。应用双侧壁导坑法的整个过程中,必须做好监控测量工作,要实时掌握支护变化情况,时刻关注地质预报,在此基础上对隧道洞口浅埋段开挖施工方案进行优化。

五、高速公路工程建设中的隧道洞口浅埋段防排水施工技术

隧道防排水至关重要，当前隧道洞口浅埋段防排水施工中遵循“防、排、堵、截”的四字原则，且强调进行数值模拟，可以用Midas/GTS2D计算模型进行隧道洞口浅埋段防排水模拟。以雪山梁隧道为例，隧道洞口浅埋段防排水施工较为特殊，原因之一是雪山梁隧道位于高寒高海拔地区，经过工程实践与数值模拟，最后确定应用两种隧道防排水工艺，一种是丙烯酸盐喷膜为主的防排水工艺，另一种是超前预注浆为主的防排水工艺。一些隧道洞口浅埋段有丰富的地下水，所以要增设排水设施，可进行洞内管道排水，洞外可进行“截”水，基于综合治理的原则，可以考虑通过防水设置将隧道封闭成一个密闭空间，并利用好二次衬砌结构。

（一）锚杆注浆预支护施工

在开挖掌子面之前，要进行超前地质预报，通过分析超前地质预报结果，判断掌子面前方的围岩是否在开挖过程中存在渗漏水风险，结合实际情况在开挖前进行围岩的超前预注浆施工作业，要确保富水区围岩有良好的稳定性。锚杆注浆预支护施工过程中，要按照一定的配比制成所需要的浆液，在高压注浆泵的支持下将浆液有效压入隧道围岩或衬砌壁后的空隙中。通过围岩注浆堵水处理，可使地层中的渗水裂隙得到有效封堵，围岩流向隧道的渗水风险可以大大降低，从而使隧道洞口浅埋段处于“干施工”状态。在雪山梁隧道施工中，锚杆注浆预支护施工技术发挥出重要作用，使用3m注浆工艺，孔口管可以使用当前常用的热轧无缝钢管，确保孔口管埋设的牢固性，并进行止浆处理。

（二）抗渗混凝土喷射施工

通过将BR-2型防水剂添加至喷射混凝土中，便可以形成抗渗喷射混凝土，要求将掺量严格控制为水泥质量的3%-4%。在抗渗混凝土喷射施工过程中，要确定出渗水较大部位，找到出水点，然后需要钻集水孔，可将集水孔的深度控制为10-20cm，需要在孔内插导水管，从而达到排水效果^[6]。与此同时，现场施工人员要在已经确定的渗水位置围绕导水管进行抗渗混凝土喷射作业，按照“由远到近”的喷射原则，确保水可以集中于导水管。要求喷射混凝土可以达到自身强度的70%左右，便可以进行堵漏处理，需要应用BR-1型防水剂。

（三）丙烯酸盐喷膜施工

在完成喷射混凝土施工任务之后，现场施工人员便可以进行丙烯酸盐喷膜施工。喷膜防水有一些显著优势值得肯定，当前使用的丙烯酸喷膜是一种柔性防水材料，可以和喷射混凝土有效密贴，不会出现接缝问题。丙烯酸盐喷膜可以不溶于水，且耐低温和化学性质稳定，可适应低温变化，对混凝土的硬化与强度均有很小的影响。还有重要一点，即喷膜防水施工工艺简单与易

操作，当前既可以进行机械喷涂作业，也可以进行人工喷涂作业。在丙烯酸盐喷膜施工时，可由工厂提供半成品，比如可以提供主液，正式施工之前将还原剂加入主液中，确保搅拌均匀，氧化剂加入水中之后要搅拌3min，然后用泵计量送入喷枪。现场施工人员不可以直接向防水界面进行喷膜施工，而是可以先向非防水面进行喷射试验，待一切正常则可以正式进行喷膜施工，将喷头与界面的距离控制在30-40cm，确保喷头处于缓慢移动状态。如果有排水层情况，则需要先喷排水层，然后向两侧延伸。除此之外，丙烯酸盐喷膜施工中，要认真检查膜厚、接缝，通常是进行抽样检测。

（四）隧道排水管施工

在隧道洞口浅埋段防排水施工中，需要进行隧道排水管施工作业，使用到环向排水管与纵向排水管。在环向排水管施工过程中，可以在隧道拱墙环向设置HDPE环向波纹管，盲沟接头可以采用PVC管，不可以在盲管主体部分包裹土工布，环向排水滤管要直接接入侧沟中。纵向排水管施工过程中，需要在隧道两侧墙角布设纵向排水盲管，当前主要是应用HDPE排水支管，将排水滤管的安设坡度和线路坡度保持一致，盲沟接头应用PVC管。纵向排水管和防水板之间可形成空隙，可考虑浇注C15无砂砼，确保形成有效的排水体，然后通过防水板有效包裹。在隧道排水管施工过程中，可以考虑适当加密环向排水波纹管个数，土工布铺设、防水板铺设都要和隧道排水管施工保持良好的协调状态，避免出现质量问题。

六、结束语

充分意识到高速公路工程隧道洞口浅埋段施工的难度与挑战，坚持在隧道洞口浅埋段施工中应用先进技术手段，当前在隧道洞口浅埋段施工中所积累的宝贵经验有很强的复制性，后续要做好推广应用，同时要进一步加大研究力度，可着重研究双侧壁导坑法施工技术、丙烯酸盐喷膜施工技术、预注浆施工技术、隧道排水管施工技术应用时的要点和注意事项。

参考文献

- [1] 黄继家. 高速公路隧道洞口浅埋段施工工艺[J]. 交通世界, 2020(29): 108-109.
- [2] 匡翔. 高速公路隧道洞口浅埋段施工技术[J]. 交通世界, 2021(23): 147-148.
- [3] 彭正瑞. 高速公路隧道洞口浅埋段的施工技术[J]. 绿色环保建材, 2020(03): 166+169.
- [4] 库雁兵. 黄土隧道洞口浅埋段施工技术[J]. 山西交通科技, 2023(02): 97-98+134.
- [5] 陈浩. 隧道洞口浅埋段开挖双侧壁导坑法施工技术[J]. 江西建材, 2023(01): 215-217.
- [6] 王鑫. 隧道洞口浅埋段施工技术分析[J]. 山西水利, 2020(12): 31-32+42.