

公路路基高边坡锚杆(索)支护施工技术应用

刘 伟

青海省公路工程咨询监理有限公司, 青海 西宁 810000

[摘要]公路路基高边坡常因地质条件错综复杂、边坡稳定性不佳而面临安全方面的风险。作为一种高效的边坡加固方式,锚杆(索)支护技术,能极大提升边坡整体稳定性,保证工程安全与质量。依托工程实际,研究了锚杆(索)支护施工的基本原理、工艺流程、关键技术环节和质量把控办法,还剖析了其在复杂地质环境里的应用成效。该技术拥有施工轻松、经济实惠和适应能力强等长处,对公路工程建设有重要推广意义。

[关键词]公路路基;高边坡;锚杆支护;锚索支护;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17506

中图分类号: U416

文献标识码: A

Application of Anchor Rod (Cable) Support Construction Technology for High Slope of Highway Roadbed

LIU Wei

Qinghai Highway Engineering Consulting and Supervision Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

Abstract: High slopes of highway subgrades often face safety risks due to complex geological conditions and poor slope stability. As an efficient method of slope reinforcement, anchor rod (cable) support technology can greatly improve the overall stability of slopes and ensure engineering safety and quality. Based on engineering practice, the basic principles, process flow, key technical links, and quality control methods of anchor rod (cable) support construction were studied, and its application effectiveness in complex geological environments was analyzed. This technology has the advantages of easy construction, affordability, and strong adaptability, and has important promotion significance for highway engineering construction.

Keywords: highway subgrade; high slope; anchor rod support; anchor cable support; construction technology

引言

伴随我国交通基础设施建设的迅猛推进,公路工程逐步朝山区与丘陵地区延展,高边坡工程数量持续攀升。因地形和地质条件的制约,高边坡施工过程中极易引发滑坡、塌方这类地质灾害,既危及施工人员安全,又可能引发重大经济损失。为了增强边坡稳定性与抗滑性能,公路路基工程中大量采用锚杆(索)支护施工技术,作为主动加固方法,锚杆与锚索,可使潜在滑动面维持在稳定状态,促成“支护-边坡-地基”共同作用体系。本文借助对施工工艺、技术要点和质量控制的深度剖析,研究该技术在工程中的应用意义与优化途径,为类似工程提供借鉴。

1 锚杆(索)支护技术原理

锚杆(索)支护是一种主动对边坡进行加固的施工手段,关键是钻孔后埋设高强度钢筋或钢绞线,随后灌入水泥浆液,让其和周围岩土体紧密结合,形成稳固的整体构造。锚固体系凭借锚固段和稳定岩层间的摩擦力与黏结力,可有效抑制边坡土体或岩体的潜在滑动,基本原理主要在以下几个方面得以体现。锚杆(索)支护可施加持续约束,管控边坡岩土体的位移及变形,杜绝因应力集中造成的裂缝扩展或滑移破坏,增强边坡整体稳固性^[1]。

在进行锚索张拉的操作期间,能给岩土体施加一定预应力,促使潜在滑动体与深部稳定岩体形成联合作用体,

充分展现“拉住-压紧”的加固效应,提高抗滑能力。该预应力作用不但可改善边坡的受力情形,又能在一定范围内降低土体孔隙中的水压力,从而进一步降低失稳几率。此外,锚杆(索)支护常与喷射混凝土、挡土墙、格构梁等组合运用,构建出复合支护体系,既能在表层实现防护与抗侵蚀功能,又在深部构建稳固的锚固力学结构,进而提升边坡整体安全系数。

2 施工工艺流程

2.1 施工测量放样

在锚杆(索)支护施工进度里,测量放样作为整个工艺流程的起始步骤,是保障施工精度与后续工序顺利推进的关键所在。测量人员要按照设计图纸,考虑边坡实际地形状况,利用全站仪、水准仪以及激光测距仪等现代化测量器具,精准确定钻孔的平面位置、入射角度和深度控制线。该过程不但要让钻孔布置与设计精准契合,又要依据边坡地质状况对局部做适度调整,保证锚固段能深入稳定岩层或强风化层以下的持力层。

2.2 钻孔施工

钻孔作业是锚杆(索)支护的关键流程,其质量好坏直接影响锚固成效。钻孔作业时应挑选适配的钻机设备,像潜孔钻机或者液压钻机,按照岩土条件改变钻进方式。在坚硬岩层区域,实施冲击回转钻进操作;若处于松散土

层或者破碎带,要选用护壁管辅助钻进,避免孔壁出现坍塌。需严格把控钻孔角度,一般设计成 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的下倾角度,从而让锚固段深入稳定岩体。深度控制由设计锚固长度与持力层埋深决定,一般需越过潜在滑裂面 $2 \sim 3\text{m}$,以此提升抗滑稳定性^[2]。

2.3 孔壁清理

孔壁的清理工作对保证锚固效果起着重要作用。钻孔完工后,孔内常常残留大量钻渣、粉末和水分,若清理不彻底,浆液难以渗入孔壁的微裂隙,造成锚固力下滑。因此,清孔宜采取高压水冲洗或压缩空气吹扫的形式,若有必要可搭配机械清理工具,使孔内杂质彻底排出。清孔操作期间,需多次冲洗,直至排出的液体澄清无杂质,且孔内不见明显沉渣,针对深孔或倾斜角度大的钻孔,应实施分段清理并进行循环冲洗,保证孔段整体符合清洁要求。此外,清孔作业时间需与注浆施工紧密配合,杜绝因时间间隔太长引发孔壁坍塌或再次堵塞。若处于气候潮湿、地下水丰富的地段,更要着重做好孔壁清理工作。

2.4 锚杆(索)安装

支护体系的稳定性与锚杆(索)的安装状况直接相关。安装前要对锚杆或钢绞线开展质量检查,查看强度、直径、防腐处理等是否契合设计标准。需依照设计的角度和深度,把锚杆匀速送入孔中,避免冲击孔壁导致孔径扩张或钢筋弯折。进行锚索施工时,需借助专用设备将钢绞线分段送入,使各根钢丝均匀排布。为提升耐久性,锚杆(索)表面一般需实施防腐涂层处理或加装塑料护套。要设置定位垫块或者中心架,使锚杆处于居中状态,保证浆液均匀包裹。此外,针对长锚索,需杜绝钢绞线在孔内打结或扭曲现象,必要时可采用分段穿入并逐步校正的办法。安装结束后,需马上开展封口操作,避免泥沙或杂物进入孔洞,干扰注浆质量。

2.5 注浆加固

注浆作为关键环节形成锚固力,其工艺好坏直接影响锚固体系承载能力。常见做法是采用分段压浆法,即先从孔底起始注浆,持续向上推进,每完成一段注浆就停止浆液封堵,接着开展上段注浆。此方法能让浆液完全填充孔隙,杜绝空洞出现,注浆压力应依据地层条件加以调控,一般压力值在 $0.5 \sim 1.5\text{MPa}$ 区间,若压力过低,浆液就无法充分渗透,过高则会引发孔壁破裂或浆液外溢。浆液配比要做到科学合理,一般选用 $0.45 \sim 0.55$ 的水灰比,也能掺入适量外加剂以提升流动性和抗渗能力。在进行注浆作业期间,需实时把控注浆量、压力和返浆情形,保证浆液均匀扩散,面对复杂地层以及渗水较多的孔段,可选用双液浆或速凝浆,来增强锚固成效。完成注浆操作后,需保证充足的养护时长,只有浆液强度达到设计要求才可开展后续工作^[3]。

2.6 张拉锁定

张拉锁定作为关键环节,保障锚索充分展现预应力功

效。注浆养护结束且强度达标后,需利用千斤顶对锚索实施分级张拉,分级张拉的准则是逐次加大拉力,一般分 $3 \sim 4$ 个级别,各级分别张拉至设计荷载的 60% 、 80% 、 100% ,且在各级拉力下维持一定时长,检测锚索伸长与回缩情况。要是发现异常状况,像回缩幅度过大或者伸长量不够,要马上找出原因并实施补救办法。张拉作业结束后,要用锚具实施锁定,保证预应力可长期稳定地传递到岩土体。锁定时应保证锚具和钢绞线保持同轴,杜绝偏心受力现象,应针对锁定后的锚具开展防腐处理,一般选用密封盖或者环氧灌浆的方式,提升其耐久性。张拉锁定不只是力学行为的达成,还是对整个锚固体系质量的全面检验,需严格依照设计规范执行操作。

2.7 防护层施工

防护层施工是锚杆(索)支护的最后一步,既保护锚固体系不被外界侵蚀,又可提升边坡表层整体稳定性。常见的防护手段涵盖喷射混凝土、挂网喷浆以及植被护坡等形式。喷射混凝土工艺较为常见,施工时要先铺设钢筋网片,和锚杆头部焊接或绑扎紧实,接着用湿喷机把混凝土均匀喷到坡面,厚度一般把控制在 $8 \sim 12\text{cm}$ 。能往混凝土中添加速凝剂和纤维材料,来增强早期强度和抗裂能力。针对环境条件要求严苛的区域,可运用植生袋、客土喷播等生态防护手段,促成结构与生态相结合。要精准把控喷射压力与喷层厚度,防止产生空鼓或脱落现象,防护层施工结束后,需开展洒水养护工作,让混凝土充分硬化。

3 关键技术要点

3.1 勘察与设计优化

勘察及设计优化是公路路基高边坡锚杆(索)支护施工的先决与基础步骤。借助细致的地质勘查与科学合理的设计方案,保证支护体系可有效遏制边坡失稳。要全面调查边坡的地形地貌、岩土体结构、风化状况、地下水分布和潜在滑坡面,常运用钻探、取样、室内试验以及原位测试相结合的方式,得到岩土力学相关参数,涵盖抗剪强度、弹性模量、内摩擦角、黏聚力等。利用这些参数,可开展针对边坡稳定性的极限平衡分析及数值模拟预测,识别潜在的失稳模式及危险区域^[4]。

在设计优化环节,要按照勘察结果确定锚杆(索)的长度、间距及布置样式,一般情况下,锚固段需深入稳定岩层 $2 \sim 3\text{m}$,以确保有足够的支撑力条件;间距需按照边坡高度、岩体的完整性以及潜在滑裂面的特征来明确,既要保障整体的稳定性,又要防止因布置过密导致施工成本攀升。在布置形式上,可采用梅花状、矩形或环形的分布方式,让荷载均匀传递。要结合坡面形态以及水文条件,规划科学的排水与防护体系,防止地下水渗透降低边坡强度。

3.2 施工设备选择

施工设备能否合理选择,会直接左右锚杆(索)支护

的施工质量与效率。面对高边坡工况,施工环境繁杂,坡面险峻且作业空间狭小,故而需选用高效、安全且适应性强的设备,选择钻孔设备时,需依据岩土性质挑选适配的钻机。针对坚硬的岩层,可选用潜孔钻机或者液压钻机,达成高效钻进;若面对松散或者破碎的岩土,要选用带有护壁装置的回转钻机,防止孔壁塌陷。面对施工条件不利的狭窄坡面,可挑选轻便型履带钻机,从而保障机动性与稳定性。对于注浆设备而言,注浆设备宜选用高压注浆泵,保证浆液可均匀渗透到孔壁微裂隙,提升锚固成效,注浆系统应当增配压力监测和流量控制装置,从而对注浆过程进行实时调整。

张拉设备的挑选同样极为关键。进行锚索张拉时需运用大吨位千斤顶与精密油泵系统,以实现张拉力分级均匀施加。张拉装置需额外配备压力表和位移计,以监控锚索的伸长与回缩状况,保障张拉力精准传递。在进行设备配置,得兼顾安全与环保两方面,需为高边坡钻机安装防护与防坠装置,保证操作人员的安全;应给施工现场的注浆设备设置防溢系统,杜绝浆液污染周边环境。合理选择施工设备,既能提升施工效率与质量,而且能降低安全隐患,保证锚杆(索)支护施工平稳推进^[5]。

3.3 质量控制措施

质量管控是保障锚杆(索)支护体系长期稳定施展作用的要点。需搭建全流程质量管理体系,从材料入场到最终锁定都得严格把关。材料质量需符合国家标准以及设计要求,锚杆钢筋应拥有充足强度与防腐能力,钢绞线要经过防腐涂层或护套防护,水泥浆液应选用新拌的水泥,防止结块或过期。在施工程序里,要对钻孔、注浆、张拉等关键环节安排专人监控,应实时监测钻孔深度与角度,防止偏差阻碍锚固段进入稳定岩层;需对注浆的压力、流量以及返浆情况加以记录,保证浆液充分填充;需对锚索的伸长量和锁定情形进行检测,防止出现预应力不够或传递不均匀的情况。

此外,要搭建位移与沉降的监测机制。通过布置监测点,实时捕捉边坡表面的位移和沉降改变,及时把握边坡动态稳定情形。若察觉到异常变动,需马上剖析缘由并实施应对举措,像增添临时支护或者变更施工次序。锚固力检测是质量控制的关键部分。可利用现场拉拔试验检验锚杆(索)实际承载能力是否契合设计要求。

施工记录是否完整也是质量控制的核心要素。要构建细致的施工日志,涵盖各孔钻进状况、注浆量、张拉力等参数,为后续工程验收与长期监测提供支撑。

3.4 安全管理

公路路基高边坡锚杆(索)支护施工期间,安全管理工作需贯穿始终。鉴于施工环境状况复杂,人员与设备在陡峭坡面集中作业,面临高空坠落、设备倾翻、岩石滚落等诸多安全隐患。因此,要构建一套系统的管理机制,保障施工有序开展。施工区域需配备防护设施,如安全防护网、防护栏和防坠落装置,以此降低坠物或人员滑落事故的发生。针对边坡顶部与坡脚,要构建安全隔离带,严禁无关人员踏入施工危险区域。需构建完备的排水系统,杜绝雨水或地下水侵蚀边坡,诱发失稳。

施工人员应历经严格的安全培训,掌握操作规范与应急方案。尤其是操作钻机、千斤顶和注浆泵等设备时,需专业持证人员上岗,坚决杜绝违规操作。高空作业期间,作业人员必须佩戴安全带与头盔,且安排专人监督。施工现场需构建应急管理体系,若检测到坡体呈现裂缝、位移或者滑动的征兆,要即刻启动应急计划,安排人员疏散,还要实施临时加固手段^[6]。

4 结语

公路路基高边坡的锚杆(索)支护施工技术优势明显,加固效果佳、适用范围宽且经济实惠,是确保高边坡稳定与安全的关键举措。凭借科学设计、精准施工和严密质量把控,能切实预防滑坡与坍塌危险。未来开展推广应用时,要进一步将信息化监测技术与绿色施工理念相融合,达成支护施工的智能化与可持续发展。

【参考文献】

- [1]刘珏.高速公路扩容工程路基边坡锚杆支护施工技术研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(4):135-137.
- [2]刘绪斌.公路路基挖方高边坡防护工程施工技术研究[J].工程建设与设计,2025(14):126-128.
- [3]郝家伟.锚杆框架梁技术在山区路基高边坡防护中的应用[J].交通世界,2025(19):81-83.
- [4]左小龙.锚杆支护在公路高边坡路基防护施工中的应用[J].汽车画刊,2025(5):116-118.
- [5]欧阳勇.高速公路路基高边坡锚杆框架梁施工技术探析[J].交通世界,2025(14):68-70.
- [6]薛金龙.公路路基边坡锚杆格梁防护技术研究[J].北方交通,2025(1):57-60.

作者简介:刘伟(1990.1—),毕业院校:广西科技大学鹿山学院,所学专业:土木工程,单位名称:青海省公路工程咨询监理有限公司,就单位职务:专业监理工程师,职称级别:中级工程师(一建公路专业)。