

水利水电工程高边坡支护施工中的锚固技术选择与质量保证措施

张哲

中水东北勘测设计研究有限责任公司

DOI:10.32629/btr.v8i12.5195

[摘要] 水利水电工程高边坡支护施工是保证整个工程的安全及正常运行的重要内容,而锚固技术又是高边坡加固的主要方式,合理的选用以及质量把控直接影响到支护效果。本文介绍了预应力锚索、非预应力锚杆、自钻式锚杆三种主要锚固技术的特点及其适用范围,并结合实际工程情况分析影响这些因素的因素包括地层特点、边坡变形机理、施工环境以及成本等,在此基础上提出了一个根据多种因素进行比较的方法。同时在材料控制、施工工艺、张拉锁定、防腐防护以及监测反馈等方面建立了全方位的质量管理体系并阐述了如何进行无损检测以及如何评估其长期稳定性的问题。希望可以给水利水电工程中高边坡锚固的设计与施工有所借鉴。

[关键词] 水利水电工程; 高边坡支护; 锚固技术; 技术选用; 保证质量

中图分类号: TV223 **文献标识码:** A

Selection of Anchoring Technologies and Quality Assurance Measures for High Slope Support Construction in Water Conservancy and Hydropower Projects

Zhe Zhang

China Water Resources Northeast Investigation, Design and Research Co., Ltd.

[Abstract] High slope support construction is an essential component of water conservancy and hydropower projects, playing a critical role in ensuring the safety and normal operation of the entire project. Anchoring technology is one of the primary methods for high slope reinforcement, and its rational selection and quality control directly affect the effectiveness of slope support. This paper introduces the characteristics and applicable conditions of three major anchoring technologies: prestressed anchor cables, non-prestressed anchor bolts, and self-drilling anchor bolts. Based on practical engineering conditions, it analyzes the factors affecting technology selection, including geological characteristics, slope deformation mechanisms, construction environment, and cost. On this basis, a multi-factor comparative method for technology selection is proposed. Meanwhile, a comprehensive quality management system is established covering material control, construction procedures, tensioning and locking, corrosion prevention and protection, and monitoring feedback. The paper also discusses methods for nondestructive testing and the assessment of long-term stability. The results are expected to provide a reference for the design and construction of high slope anchoring in water conservancy and hydropower projects.

[Key words] water conservancy and hydropower projects; high slope support; anchoring technology; technology selection; quality assurance

引言

在水利水电工程中,高边坡稳定问题是影响工程建设安全及进度的重要地质风险源,在西部水电开发向高山峡谷区发展过程中,坝肩边坡、溢洪道边坡以及引水系统进口和出口边坡开挖高度一般都达到上百米,局部坡度非常大,地质条件较差,在施工期间和运行期间对边坡变形进行有效控制难度较大。锚固由于具有主动加固、深部锚固、对岩体扰动小等特点,在高边坡

防护中是最重要的方法,但是很多项目的锚杆锚索方案都是通过借鉴类似项目而来的,并无系统的依据;施工过程中的质量管理比较松散,检查的方法也比较单一,造成锚杆锚索的实际效果与设计的目标有所差距。说明对于锚固技术的选择以及施工的质量都需要进行全面的研究。

1 锚固技术类型及其力学机理与适用边界

1.1 预应力锚索技术

预应力锚索是高边坡深层加固的主要锚固结构,主要由锚固段、自由段以及外锚头三部分构成,在施加几百到上千千牛的预应力作用下,主动向边坡岩体内引入压应力场,改善岩体内部应力分布情况,大大增加滑动面上的法向抗滑力。依据锚固段的不同形式可分为压力分散型、拉力集中型、拉压复合型等类型,而压力分散型锚索是采用若干个分段承压元件将载荷分散传到较深的稳固岩层中去,适合应用于软弱破碎岩层;拉力集中型一般用于坚硬完整的岩石。预应力锚索的优点是可以及时提供主动抗力,可以有效地抑制边坡在开挖卸载后发生较大变形,但是对其施工技术要求较高,而且其寿命很大程度上取决于防腐措施的质量。

1. 2非预应力锚杆技术

非预应力锚杆以杆体与灌浆体以及围岩之间的粘结剪应力来承受外载,是一种被动支护方式,在岩体发生位移之后才起到作用并产生抵抗力。根据其工作原理的不同可划分为机械端锚型、全长粘结型以及摩擦型三种类型。全长粘结型锚杆利用水泥砂浆或者树脂将杆体全长锚入孔内,具有良好的抗剪能力和拉拔能力,适用于中等稳定的岩体中的支护工程;而缝管式、水胀式等摩擦型锚杆则是靠管壁与孔壁之间的摩擦力来对岩体进行支撑,适合于快速支护的情况^[1]。非预应力锚杆造价低廉且施工方便,但是强度较小,也不能主动改变岩体内的应力分布情况,一般用于浅部系统的锚固或者是作为预应力锚索的辅助使用。

1. 3自钻式锚杆与特殊锚固技术

自钻式锚杆将钻、锚、注浆三项工作合为一体,杆身为钻杆,钻头为空心并带有注浆孔,在一次钻孔后既可完成锚杆的布置也可进行高压注浆。此方法主要用于松散破碎、易塌孔地层,解决了传统锚杆难以在软弱地层中成孔的问题。另外,近年来发展的玻璃纤维增强聚合物锚杆由于其高强度、耐腐蚀、绝缘等特点可用于禁止使用金属材料或者经常性浸水场合;扩孔型锚杆通过增大锚固段直径从而增加胶结面积也是增强软弱地层中锚固力的一个有效手段。虽然这些特殊的锚固方式应用范围较小,但是在某些不良地质条件中不可或缺。

2 锚固技术选择的影响因素与综合决策方法

2. 1地质条件的主控作用

地质条件是决定锚固方案的第一要素,包括岩体完整性、结构面发育情况、地下水存在与否以及地应力大小等因素。对完整性良好、强度较高的硬质岩体,预应力锚索可以发挥其大承载能力的特点,锚固段传力清晰;而在破碎软弱岩体中,则更倾向于采用压力分散型锚索或者自钻式锚杆——前者防止因应力集中造成岩体压溃,后者避开钻孔问题。结构面对锚固的方向和长度有影响,在以主要控制结构面向坡外的情况下,要使用较长的锚索穿过潜在滑动面并且锚固段位于该滑动面之外较为稳定的岩层内^[2]。如果有较多地下水存在,则对锚杆防腐级别要求较高,一般的螺纹钢锚杆容易被锈蚀,建议使用镀锌或者环氧涂层锚杆并采取有效的封堵和排导措施。地应力也决定了预应力损失

的风险,在高应力地区由于岩石发生蠕变会造成较大的预应力损失,因此应选用可进行预紧的锚索。

2. 2边坡变形特征与支护时机

边坡变形原因以及所处的发育时期决定了锚固方法的选择。对于开挖即卸载造成的弹性回缩变形,预应力锚索可以及时施加反力,防止其进一步发展,是“主动超前支护”,而对于蠕滑或者渐进式破坏的边坡需要根据监测结果分析变形速度,在变形速度超过每天几毫米的情况下,采用大吨位预应力锚索进行应急加固的同时配合排水、削坡等处理方法。而对于已经处于相对稳定的老龄滑坡,只需要非预应力系统锚杆配合框架梁就可以达到长久稳定的目的,过多使用预应力锚索会造成不必要的浪费。而且支护时机和锚固方式也有联系,预应力锚索要尽早张拉锁定,减少岩体松弛范围扩大;而全长粘结锚杆可以在岩石有一定位移后再安装,利用岩石本身的承载力。

2. 3施工条件与经济性权衡

施工场地条件、设备能力和工期要求是技术上可供方案的选择限制因素。高陡边坡作业面较小,大吨位钻机难以进入现场,此时轻便、小型化锚杆钻机更易操作;寒冷或高海拔地区有效施工时间较短,自钻式锚杆由于工序简单、成孔快而在工期上占优。经济性比较不应该只考虑每米锚固成本,还应该考虑整体寿命期内的成本,包括材料耐久性、后期维修费用以及失效造成损失等。预应力锚索单价较高,但是其一根锚索所承担荷载却是普通锚杆几倍甚至几十倍,在深部加固情况下,从每吨锚固力计算成本则更为经济合理。因此,在实际工程中,可以根据边坡各个部位稳定性情况采取差异化锚固方式——对主要滑动面以及重要块体使用大吨位预应力锚索,而对相对稳定的地段使用一般锚杆,这样既可以保证安全又能节省投资。

2. 4多因素综合评判决策框架

锚固技术选择是多目标、多约束问题。本文提出从“地质适应性—力学有效性—施工可行性—经济合理性”的四方面进行评估的方法。首先根据地质勘探结果将边坡不同区域划分为多个锚固段落,在每个段落中确定其岩体质量级别、主要结构面特征以及水文情况;然后给出每一个锚固段落所需要的锚固力大小以及位移限制;之后给每一个备选锚固方法在上述各个方面的打分并用层次分析法求出总评分;最后考虑到工期以及施工机械等因素来最终选定最合适的锚固方法。这种方法注重地质条件向设计参数的量化转变,防止仅凭经验造成的失误,同时也留有一定余地供工程师们发挥主观能动性。

3 锚固施工全过程质量保证措施

3. 1原材料质量控制

锚固工程质量始于原材料把控。锚筋材料应根据设计强度等级选购,预应力锚索钢绞线每批进行抗拉强度、弹性模量以及松弛试验,表面不允许存在锈蚀、划痕或者油污;非预应力锚杆所使用热轧带肋钢筋需做屈服强度和伸长率测试,其尺寸和螺纹须与所选锚固剂相符。锚具、夹具或连接器构成整体锚固系统须经过静载锚固性能试验,效率系数及总应变率符合相关要

求。水泥推荐使用普通硅酸盐水泥,强度等级不低于42.5,水灰比必须按配合比投料,禁止使用含有可导致锚筋发生氯离子腐蚀的外加剂。防腐材料方面,环氧涂层厚度、是否有针孔以及与基材粘结力都必须达到标准规定要求,注浆体中使用的膨胀剂要限制其中所含硫含量以免后期产生膨胀而造成裂缝^[3]。所有进场材料实行“检查—标识—追踪”制度,不能让不合格产品进入施工现场。

3.2 钻孔与成孔精度控制

钻孔是锚固施工第一步也是最重要一步,孔的质量好坏直接影响到锚固力以及灌浆饱满程度。孔位偏差一般要求不超过50mm横向、100mm纵向;孔倾斜率在整个施工过程中都是一项难题,在长度大于30m预应力锚索中,孔底部倾斜累计误差不应大于该孔深2%。在钻进过程中要根据地质情况不断改变所用钻具种类及钻进参数,在松散土质中使用跟进管钻进方法,在破碎地带减慢速度并减少施加在钻头上力量以防塌孔。钻好之后要对孔径、孔深还有孔壁是否干净进行检查,用高压风吹或者用高压水流把孔里面碎石和灰尘吹干净,孔底残留物不得超过50mm。如果遇到容易塌方地段,在钻完之后要及时安装锚杆并进行灌浆,时间不能超过24h,特殊情况可留备用孔。

3.3 锚筋制作与安装精度管理

锚筋体制作应在专门加工场地进行,钢绞线下料长度根据孔深、外露长度以及张拉设备工作行程确定,切割使用砂轮锯而不能用电焊烧断,以防损伤钢绞线。锚固段架线环与自由段隔离支架按设计间距绑扎牢固,保证锚筋体在孔内居中并且每根钢绞线相互平行、平顺,隔离支架在锚固段间距为1~2m,在自由段间距为2~3m。防腐涂层施工应在清洁、干燥环境中完成,涂层厚度和完整性符合设计规定^[4]。锚筋体放入孔中要慢慢送入,不得扭动或者碰撞孔壁造成隔离架移位或者涂层破坏;如果难以插入查明原因后不得用锤子打。安装完毕后马上对孔口进行临时封闭,防止杂物掉入。

3.4 注浆与张拉锁定过程控制

注浆是形成锚固体系承受力的重要步骤,使用孔底返浆工艺,随着注浆进行逐步提升注浆管,但是管口始终位于浆面以下至少1m,保证孔内气体全部排出。注浆压力根据现场情况一般为0.5~2.0MPa,在破碎地层可适当加大压力以便浆液能更好地填充挤密。浆液配合比通过试验得出,流动性、泌水量以及结石体强度需满足要求,注浆不间断,如果停止时间过长超过浆液初凝时间需要用清水清洗后再继续注浆。孔口补浆不少于两次直至孔口不再有液体溢出。预应力张拉需在注浆体以及锚墩混凝土强度达到设计值的75%以上方可实施,张拉设备定期标定,分阶段加载,每一段加荷保持一段时间读取位移,超张拉到设计值的

105%~110%,然后锁定,锁定伸长量不超过10%,锁定之后48小时内监控预应力变化,若出现较大损失及时补充张拉或者查清原因采取相应措施。

3.5 防腐防护与排水协同措施

锚固系统长期耐久性很大程度上取决于防腐防护系统是否完善以及排水是否良好。永久性预应力锚索应采取两道防线进行防腐,自由段用塑料管包裹并在其中填充防锈油,在锚固段利用水泥浆体中的碱性介质起到钝化作用,但是要注意灌浆饱满程度对防腐性能的影响。外锚头可用混凝土封闭或者钢罩内注沥青,罩顶设透气孔并设有检查孔以便日后维护。同时边坡排水与锚固同步进行,深部排水孔与锚索孔交错布置,坡面上设截水沟及仰斜排水孔,降低地下水位及孔隙水压力,防止水进入锚固部位造成破坏。防腐与排水相互促进:排水良好使得锚固体含水率较低从而延缓防腐材料老化速度;防腐良好使钢筋不被腐蚀保证锚固力长期有效。

4 结语

本文通过对预应力锚索、非预应力锚杆以及一些特殊锚固方式的工作原理及其适用范围进行总结归纳,得出影响锚固方式选择的因素是多种多样的,包括地质条件、变形特征、施工环境以及经济成本等,在此基础上提出一种基于综合评估的方法来确定锚固方式。同时针对锚固质量管理建立了从原材料把控到钻孔精度再到锚筋安装、注浆张拉、防腐排水以及后期检查维护的一整套管理体系。目前锚固技术的发展已经不是单纯考虑其承重能力而是更加强调其耐久性和可维护性,未来的研究方向主要集中在锚固系统的[1]长期行为、智能检测以及自愈合材料的应用还有在恶劣天气下如何提高锚固结构的耐久度等方面,在实际工程中只有做到科学合理的选择锚固方案并且做好严格的管理才能达到安全可靠、经济实用的目的。

[参考文献]

- [1]王仁坤,张建设.水利水电工程高边坡稳定性分析与支护设计[J].水利学报,2022,53(4):401-410.
- [2]李建林,刘杰,王乐华.预应力锚索锚固机理与长期性能研究进展[J].岩石力学与工程学报,2021,40(8):1521-1533.
- [3]陈祖煜,汪小刚.边坡锚固结构耐久性设计方法及工程应用[J].岩土工程学报,2020,42(11):1981-1990.
- [4]黄润秋,许强.高边坡变形破坏机制与主动锚固控制策略[J].工程地质学报,2021,29(3):589-598.

作者简介:

张哲(1991—),男,满族,辽宁人,本科,中级工程师,研究方向:水利水电工程。