

Analysis of construction technology and method of prestressed anchor cable in water conservancy and hydropower

Boji Chen

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

Abstract

As an effective deep-seam reinforcement method, prestressed anchor cables have been widely adopted in large and medium-sized water conservancy projects, water diversion tunnels, dam-bank junctions, and reservoir bank reinforcement. This construction technique enhances rock mass stability by establishing an internal-external anchor system through embedded cable arrays with controlled prestress application, significantly improving shear resistance, crack prevention, and sliding resistance. Drawing from China's hydropower engineering practices, this paper first outlines the fundamental principles and workflow of prestressed anchor cable installation. It then provides detailed analysis of specific operational procedures including drilling techniques, acoustic detection, grouting consolidation, cable fabrication and installation, and grouting applications, offering practical references for optimizing this technology in water conservancy projects.

Keywords

Hydropower engineering; Prestressed anchor cables; Construction techniques; Methodology; Analysis

水利水电预应力锚索施工技术方法探析

陈波汲

中国水利水电第七工程局有限公司，中国·四川·成都 611130

摘要

预应力锚索作为一种较为有效的深部位加固形式，凭借于此广泛应用在大中型水利枢纽、引水隧洞、厂坝结合部和库岸加固等工程建设上。这一施工技术在水利水电工程中应用主要借助在岩体内部布置锚索体系并施加适当的预应力而组成内锚-外锚的组合锚固结构，如此能显著提高岩体整体抗剪、防拉裂以及防滑移的破坏能力。对此，文章由我国水利水电工程建设实践出发，先简要介绍了预应力锚索施工的基本原理与工艺流程，随后就其诸如钻孔施工和声波检测、固结灌浆、锚索制作与安装、锚固注浆等具体工序环节的应用方法展开深入分析，以期为该技术在水利水电工程建设中更好地发挥作用提供参考。

关键词

水利水电工程；预应力锚索；施工技术；方法；探析

1 引言

随着国民经济水平的显著上升，我国水利水电工程的项目建造规模也在持续扩张，水利水电工程的迅速发展对于新技术及工艺设备的开发做出了重要的贡献，而预应力锚索技术作为水利水电工程建设中不可缺少的技术之一，不但便于操作，并且能够成功实现项目的成本控制，在不消耗过多费用的同时还提升工程的建造质量。有鉴于此，本文结合研究与实践针对水利水电预应力锚索施工技术方法展开探析，以供参考。

2 预应力锚索施工技术概述

预应力锚索施工技术是指以预应力锚索具体通过预应力方式将锚索锚固至岩体内部的索状支架，这样能对于边坡实施有效加固。锚索主要依靠锚头插入软弱结构岩体孔，进而锚入岩体内部，其可将滑体和稳固岩层实施有效连接，进而变更当前边坡岩体的应力状态，提升边坡失稳岩体整体性强度，而且实际预应力锚索施工阶段，要求配置合理的拉紧装置及机具。其中，锚索体系主要由内锚头、锚索体、外锚具组成。内锚头用机械锚固或者水泥基浆液胶结的方式与围岩牢固连接；锚索体被张拉后产生轴向拉力并能长时间维持在恒定的应力水平上；外锚具主要用于锁定及传力作用^[1]。水利水电工程中采用该技术可以提高潜在滑体的抗滑能力，并能对坝基、隧洞洞口以及库岸软弱带产生深层次加固的效果。从我国水利水电工程建设实际来看，该技术应用时一般

【作者简介】陈波汲（1988-），男，中国四川成都人，工程师，从事水利水电工程施工技术与管理研究。

将预应力锚索的施工分为分级张拉和分段注浆且二者同步进行,从而达到锚固段密实、耐久的目的。另外,若水利水电工程存在岩体条件差,结构面发育或者软弱夹层多等特征时还需要进行固结灌浆以及孔道处理,从而使锚固区岩体具有足够的承载力。

3 水利水电预应力锚索施工技术方法探析

3.1 钻孔施工和声波测试工序

钻孔施工直接影响预应力锚索成孔的质量和锚固后的使用效果,而不同工艺方法的预应力锚索受力状态差异极大。水利水电工程建设时钻孔施工须根据设计资料确定孔位、倾角、孔深,利用全站仪进行精确放样,完成孔位精确定点。然后采用潜孔锤干式钻进或风动机械钻进的方式进行钻进作业,严禁采取水钻以防造成孔壁软化塌陷。钻进期间,应注意孔径稳定和孔偏斜度等参数的控制,一般不允许超过设计轴线 1.5%,当钻孔完成后以高压空气管对孔道反复清孔,目的在于清除干净孔内岩屑、粉尘以及泥浆等。紧接着就需要对锚固段进行声波透射检查,即在锚索孔内布置换能器开展锚固段声速测定,以观察围岩的致密程度和完整情况。如果测得的平均波速满足设计标准那么就转入下道工序,但检测值小于标准的话则需采取孔壁固结灌浆与二次清孔等措施予以补强,随后接着开展复测确认合格为止。钻孔施工和声波测试这两个环节的紧密衔接,一方面确保锚固区岩体条件的可靠,另一方面则给后续工序开展打下坚实基础。

3.2 固结灌浆工序

固结灌浆是水利水电工程预应力锚索施工里围岩稳定控制的关键工序,其必须按岩体结构特点、设计参数确定灌浆工艺方法。待钻孔结束后,安装机械式封孔器并保持孔壁及孔口平顺严密封闭,以免浆液发生反串现象,然后将灌浆管放置孔底,采用从下往上进行分段压注,严格按照设计参数控制分段长度,浆液可用水灰比为 0.5 : 1-0.8 : 1 的水泥浆液,再根据岩体裂隙的发育程度加入适量的膨胀剂或早强剂等,一方面有助于改善浆液流动性以及稳定性,另一方面则避免浆液沉降离析情况的发生^[2]。压注时每段要始终保持在 0.5 ~ 1.5MPa 范围内,并持续监控好注浆量的压力曲线变化情况,直至发现压力显著提升、吸浆量变缓的现象便可以停下来并立即封段,确保浆液得到及时固化不至于在微裂隙及软弱夹层中形成局部渗透区域。首次压浆后需等待 24h 以上,并且浆体初步凝固后方准许开展后续作业。对固结效果进行声波透射检测,如果发觉局部区域的渗透系数值仍然偏高时,则需重新打孔补浆或在原有孔位处重新注浆,补浆压力应略大于首次压力,这样才能使浆液得以进入残余尚未饱和的裂隙区中。另外,固结灌浆施工须注意孔口的密封情况以及浆液的黏结性,要避免串浆给围岩带来扰动或使浆液流出现象发生,只有这样才能为锚索施放、张拉等工

序开展提供较为稳定的孔壁环境。

3.3 锚索制作及安装工序

锚索制作质量直接决定锚固段、自由段是否达到预期的受力效果,其涉及钢绞线下料、表面处理、编号管理等内容。锚索制作中根据设计图的标注信息确定每束锚索长度和数量,在加工场内一次性下料完毕。在加工时,应将钢绞线表面油污及杂质利用机械或化学的方法清理干净,并在其外表面刷涂防锈剂防止运输及储存时的生锈。同时表面管理环节,在自由段一般套设聚乙烯波纹管并灌注防护油脂,减少锈蚀和摩擦损失,而在锚固段则应裸露并保证与锚具接触良好以利后期的浆液注入。编号管理环节,按编号要求单独对每一根钢绞线进行编码,并登记到施工记录中,以利于安装过程的回溯。锚索安装环节,采用人工下放的方式把锚索体徐徐放入钻孔底部,同时避免出现锚索体的弯折或扭转变形。孔口位置设置好临时支撑装置,锚索定位时使其始终处于轴线状态且保证自由段得到有效地保护,同时须避免出现泥浆或者杂物进入,接着检查孔深、锚索长度及编号是否和设计相同。

3.4 锚固注浆工序

锚固注浆过程中必须严格控制各个工序中的操作参数,从而确保预应力锚索与围岩形成高强的整体。先以高压空气或清水冲洗孔道,直到孔壁不再有残余岩粉及泥浆沉积,随后在孔底放置耐压止浆塞以防止浆液向下溢出;浆液以 42.5 级普通硅酸盐水泥配制,水灰比为 0.45 ~ 0.50,采用高速搅拌设备混合均匀,可结合水利水电工程具体地质条件添加 3% ~ 5% 高效膨胀剂来抵消硬化的收缩作用。锚固注浆作业采取分段压注法,从孔底向孔口压注,每段长 2 ~ 3m,采用持续压注方式不能中断留有空隙,注浆压力不得超过 1.0 ~ 2.0MPa,接着经排浆管观察出浆情况,发现排出浆体的稠度与注入浆体的稠度相同且没有大量气泡溢出时可认为此段注浆密实饱满;若注浆中发生串浆或浆液上窜,及时减小注浆速率并封堵补浆,严重者可在该处灌注双液浆进行密封加固^[3]。此外,锚固注浆全程需做好记录,包括注浆的压力、注浆总量和排浆状况,以获得完整的施工日志用于后期的质量追溯。最后,注浆完成后浆体初凝期间的锚孔内不可扰动,养护时间不得少于 48h,从而促使水化完全,随后等浆体强度达标后以钻芯取样法或声波透射法检测锚固段密实度,以此确认浆体与围岩结合作用是否良好、结合面是否均匀。

3.5 浇筑铺墩工序

水利水电工程预应力锚索施工中,浇筑铺墩作为锚索外锚具传力和保护的关键环节,其会对预应力张拉可靠程度产生直接影响。在施工前,按照设计图开展墩体放样,同时孔口周围的基础整平加固以满足承压面的稳定要求;钢筋表面应清理掉氧化皮及油污等杂物,绑扎好的钢筋笼要连接好并固定牢靠,随后安装时要严格按尺寸及间距控制,使轴线

与钻孔中心线重合,钢筋笼的主筋应与钻孔的轨迹重合,以防受力不均;锚垫板应同墩孔口保持同心并与钢筋骨架紧密结合成一体;选择高强钢模或厚木模作为模板,安装后要检查刚度、严密性,防止浇筑混凝土时胀模、漏浆;混凝土宜采用中、低水灰比,浇筑前必须先做坍落度和含气量试验,以控制和保证工作性和耐久性,接着浇筑环节应分层下料并做好振捣密实,以避免蜂窝麻面出现。待墩身表面平整后要及时覆盖浇水养护,不得少于14天以确保混凝土强度^[4]。另外,基于后期补浆作业提供通道目的,在浇筑完成后在墩体内预留注浆管及排气管。按规范做好墩体浇筑施工才能保证锚索外端的荷载能够全部传递到基桩上,从而给接下来的锚索张拉工作创造条件。

3.6 锚索张拉工序

锚索张拉作为确保设计预应力能够精确加载到锚索上的重要工序,其施工前提为锚固段浆液、墩体混凝土二者强度满足设计标准。进行张拉之前须以校验合格的千斤顶和压力表同时对设备予以标定,做到加载准确。张拉以分级加载进行,预紧力一般先加载10%-15%设计荷载以使锚索无初隙、均匀变形,接着逐级加载至设计预应力,同时张拉作业将钢绞线受力拉起,有助于减轻钢绞线因为坠垂对周围土体的压力。针对多根钢绞线锚索张拉作业中可采用对称、分组、循序加载的工艺顺序,使每束钢绞线均匀受力,防止偏压造成锚具损坏。同时关注伸长量及油压表读数,两者差值要严格控制允许的范围内,从而判断预应力是否传递到位。如果实测伸长量误差大,则说明存在如孔口局部有压缩现象、钢绞线损伤或是锚具滑移等问题,此时须马上停机查明原因。锚索张拉结束后必须即刻开展补偿加载,目的在于对初期徐变和松弛效应予以抵消。最后,基于设计荷载下进行锁定工序,同时查看锚具齿口内钢绞线咬合程度是否达标,从而保证锚固牢靠性,接着将实测的数据整理归档存库。

3.7 封锚工序

封锚工序作用在于对张拉完成的锚索做端部和长期的防护,以保证水利水电工程运行过程中锚固端预应力稳定性。在开始施工之前应对锚具和外露钢绞线是否出现松动、滑移或损伤等现象进行检查,确定没有问题才可以进行封锚作业。锚具区开展二次补浆,即以水泥浆或者是高性能微膨

胀浆液填满锚具孔和孔口的缝隙,这样起到堵空隙的作用,同时也有助于增加整个结构整体的密封性。补浆之后要等到初凝后再把外露的钢绞线进行切除,一般要留出5-10cm左右的余量。接着对外露端口部位要均匀涂抹上防护油脂或环氧防腐层且包裹上聚乙烯套管,防止外部的水汽、腐蚀介质进入内部侵蚀造成破坏。基于进一步增强耐久性目的,可以微膨胀混凝土或高强砂浆在锚具周围浇筑一圈保护墩,须注意其尺寸要和原墩体相同以紧密结合,同时还要做好振捣密实及表明抹平,从而做到平整、无蜂窝麻面与裂纹^[5]。随后通过材料覆盖方式对保护墩面进行养护,时间须超过7天,这样一来促使保护层强度稳定。最后,封锚结束之后应检查端部保护效果,随后将锚具锁定情况、防护层是否完好、浆液是否饱满等情况予以详细记录归档留存,从而给今后的运行维护提供参考依据。

4 结语

综上所述,水利水电工程建设进程里预应力锚索施工技术应用已形成比较完整的工艺体系,其施工工序主要包括钻孔及检测、固结灌浆、锚索制安、锚固注浆、墩身浇筑、张拉施加及封锚防护等方面,各个工序之间紧密联系、相互制约,同时还会对工程整体稳定性与耐久性产生直接影响。随着水利水电工程规模的扩大以及对地质复杂性的要求提高,在实际施工过程中需要不断调整优化预应力锚索的施工参数、加强施工过程中各项工序的质量控制以及过程的监管力度,这样一来才能确保预应力锚索受力可靠并长时间保持受力。

参考文献

- [1] 满红山.水利水电预应力锚索的施工技术措施探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(7):2.
- [2] 华维.水利边坡预应力锚索结构力学性能研究[J].水利技术监督, 2023(4):138-141.
- [3] 伍平生.水电站边坡预应力锚索施工技术探析[J].国际援助, 2021(34).
- [4] 任高强,刘晓博,张勇.桐子林水电站闸墩预应力锚索施工技术优化研究[J].四川水利, 2020, 41(6):5.
- [5] 周滔.预应力锚索技术在水库导流隧洞施工中的应用[J].工程建设与设计, 2024(22):97-99.