

分析公路工程中的高边坡预应力锚索施工技术

弭新, 牛家学

德州市公路事业发展中心, 山东 德州 253000

摘 要 : 在公路工程建设不断推进的当下, 高边坡作为工程中的关键组成部分, 其稳定性直接关乎公路的安全运营与使用寿命。预应力锚索作为一种高效且常用的高边坡加固技术, 凭借其独特的工作原理和显著优势, 在实际工程中发挥着重要作用。该技术通过对锚索施加预应力, 将高边坡岩土体与稳定部分紧密相连, 有效提升岩土体抗滑力和稳定性。本文全面且深入地阐述了预应力锚索施工技术的原理、特点, 详细介绍施工工艺, 着重分析质量控制要点, 并探讨施工中常见问题及解决措施, 为公路工程高边坡预应力锚索施工提供有力技术支持与参考。

关 键 词 : 公路工程; 高边坡; 预应力锚索; 注浆

The Construction Technology of Prestressed Anchor Cable for High Slope in Highway Engineering is Analyzed

Mi Xin, Niu Jiaxue

Dezhou Highway Development Center, Dezhou, Shandong 253000

Abstract : With the continuous advancement of highway engineering construction, high slope, as a key component of the project, its stability is directly related to the safe operation and service life of the highway. As an efficient and commonly used high slope reinforcement technology, prestressed anchor cable plays an important role in practical engineering with its unique working principle and obvious advantages. By prestressing the anchor cable, this technology closely connects the high slope rock and soil with the stable part, effectively improving the sliding resistance and stability of rock and soil. This paper comprehensively and deeply expounds the principle and characteristics of prestressed anchor cable construction technology, introduces the construction technology in detail, emphatically analyzes the key points of quality control, and discusses the common problems and solutions in construction, so as to provide strong technical support and reference for prestressed anchor cable construction on high slope of highway engineering.

Keywords : highway engineering; high slope; prestressed anchor cable; slip casting

引言

高边坡的稳定性不仅影响着公路工程的建设成本和工期, 更对公路运营期间的安全构成潜在威胁。一旦高边坡出现滑坡、坍塌等灾害, 不仅会导致公路交通中断, 造成巨大的经济损失, 还可能危及周边居民的生命财产安全。预应力锚索技术作为一种主动的加固手段, 能够适应不同地质条件的高边坡, 通过主动施加预应力, 有效改善岩土体的应力状态, 增强边坡稳定性。因此, 深入研究和合理应用预应力锚索施工技术, 对于保障公路工程质量和安全具有重要的现实意义。

一、预应力锚索施工技术相关阐述

(一) 技术原理

预应力锚索主要由锚头、锚索体、锚固段三个部分组成。其工作原理是通过钻孔将锚索体插入至稳定岩土层内, 并对锚索施加预应力, 让锚索处于受拉的状态, 从而将高标岩土体和稳定的

岩体紧密连接到一起。锚索的预应力通过锚头传递给岩土体表面, 在岩土体内产生压应力, 提升岩土体抗剪强度、稳定性, 限制岩土体变形、位移^[1]。

(二) 技术特点

1. 主动加固

预应力锚索可主动对岩土体施加预应力, 改变岩土体的应力

作者简介:

弭 新 (1996.07-), 女, 汉族, 山东德州人, 科员, 学位: 硕士, 从事公路项目建设与技术管理;

牛家学 (1997.10-), 男, 汉族, 山东德州人, 科员, 学位: 硕士, 从事公路项目建设与技术管理, 邮箱: 13864111852@163.com。

状态，提高岩土体的稳定性、抗滑性，相比被动加固技术，预应力锚索技术具有更好的加固效果。

2. 适应性强

预应力锚索技术可适用于各类地质条件和不同类型的高边坡，可根据边坡实际情况进行设计、施工，满足各类工程的需求。

3. 施工方便

施工工艺较为简单，施工速度快，对周围环境影响较小，可在不中断交通的情况下展开施工。

4. 经济效益好

相比其他的高边坡加固技术，预应力锚索技术材料投入量更少，因此施工成本更低，具有较好的经济效益。

二、预应力锚索施工工艺

（一）施工准备

1. 场地平整

清除施工现场中树木、石块、旧建筑物基础等障碍物，为施工设备正常运行创造良好条件。场地平整度误差应控制在5cm以内，确保钻机能平稳放置。针对高边坡施工场地，还需要适当修整坡面，保持坡面的稳定性、平整度。

2. 材料准备

提前准备充足的锚索体、锚具、水泥、砂等材料。锚索体通常采用高强度低松弛的钢绞线，其抗拉强度标准值应达到1860MPa以上。锚具应具备可靠的锚固性能，锚固效率系数应达到0.95及以上。水泥应选用强度等级在42.5及以上的普通硅酸盐水泥，砂的含泥量不得超过3%。对各类材料进行质量检查，保证材料质量达标，不合格材料严禁使用^[2]。

3. 机械设备准备

提前调试好施工机械设备，如钻机、注浆泵、张拉设备等。钻机的钻孔能力应满足设计标准，对于孔径150mm的锚索孔，钻机扭矩应达到3000N·m以上。注浆泵额定压力应达到5MPa以上，排量应满足注浆要求和标准。张拉设备的张拉力应大于锚索设计张拉力的1.2倍，且精度为1%。以保障各类施工设备性能良好，施工中不会出现故障。

4. 测量放线

结合项目设计图纸，采用全站仪等测量设备精准放出锚索孔位置，作出明显标记。锚索孔位偏差不得超过50mm，孔距最大偏差不得超过100mm。完成测量放线工作后，对其进行复核，以保证孔位精准无误。

（二）钻孔施工

1. 钻机就位

将钻机精准就位设置，调节钻机的水平度、垂直度，使钻机的钻头中心与锚索孔位中心重合。钻机的垂直度偏差不得超过1%，确保钻孔方向与位置符合设计标准。

2. 钻孔

采用潜孔锤钻孔、回转钻孔等方法。针对硬岩地层，潜孔锤

钻孔可提升效率，可达3-5m/h；在软土层中，更加适用于回转钻，钻机速度可达1-2m/h。在钻孔期间，应严控钻孔速度以及垂直度，以防孔洞倾斜。待到钻孔深度达到设计标准的50%时，必须进行一次垂直度检测，如若检测结果偏差超标，则要及时采取调整措施。

3. 清孔

完成钻孔工作后，及时清理孔内的岩屑、残渣。使用高压风或高压水清理，需持续清理10min以上，直到孔内返出风或水无杂质为止，保持孔壁的清洁性。

（三）锚索制作与安装

1. 锚索制作

结合设计标准，将钢绞线按照一定长度、根数进行编制。通常情况下，锚索体的长度应比设计长度长1-1.5m，以更好地满足锚固和张拉需求。之后安装隔离架、对中支架灯配件。隔离架的设置间距为1-1.5m，对中支架应保持钢绞线在钻孔中居中。

2. 锚索安装

将制作好的锚索体缓慢放入到钻孔内，放置速度不宜过快，通常为0.5-1.0m/min，保持锚索体在孔内居中，以防锚索体扭矩、破坏。在锚索体放入孔内长度达到设计标准的80%时，应暂停安装，检查锚索体是否居中，一旦偏差超过需及时调整。

（四）注浆施工

1. 浆液配置

根据设计标准，配置合适的水泥浆或水泥砂浆，通常水泥浆的水灰比为0.4-0.5，水泥砂浆的配合比为水泥：砂=1:1-1:1.5。具体要根据地质条件、工程要求调整浆液配合比，以保障浆液强度、流动性能满足标准^[3]。

2. 注浆

采用压力注浆法，将浆液注入到钻孔内。注浆压力通常为0.5-1MPa，在孔口返出浓浆时即可停止注浆。根据钻孔体积以及岩土体孔隙率确定注浆量，通常要大于钻孔体积的1.2倍，确保浆液充满钻孔和锚固周围空隙，形成锚固段。

（五）锚头制作与安装

1. 锚头制作

结合设计标准制作锚头，如混凝土锚头、钢锚头等，混凝土锚头要求强度等级不低于C30，尺寸也要达到设计标准。

2. 锚头安装

待到锚头制作完成后将其安装在锚索体的外露端，之后进行混凝土浇筑或其他固定措施。混凝土浇筑应振捣密实，确保锚头和岩土体紧密连接到一起。

（六）张拉锁定

1. 张拉设备标定

在正式张拉前，对张拉设备进行标定，标定有效期应不超过6个月或张拉次数不超过200次，以保证张拉设备精度以及可靠性。

2. 张拉

待到浆体强度达到设计强度的80%以上后，即可对其张拉。张拉应按照设计标准的顺序、张拉力进行，分级张拉，每级张拉

后稳定5-10min，观察锚索的变形状况。通常分3-4级张拉达到设计张拉力^[4]。

3. 锁定

张拉达到设计张拉力后及时将其锁定，将锚固体固定在锚头上，以防锚索体回缩，锁定之后的锚索做好保护，以防锚索体受到损坏。

三、预应力锚索施工质量控制要点

（一）材料质量控制

严控锚索体、锚具、水泥、砂等材料质量。锚索用的钢绞线，其各项性能指标均要达到行业标准。如抗拉强度标准值应不低于1860MPa，弹性模量为 $(1.95 \sim 2.06) \times 10^5$ MPa，且表面上不得出现裂纹、油污、折叠等情况。锚具的锚固效率系数应达到0.95以上，实测极限拉力时总应变应大于2.0。水泥应选用强度等级不低于42.5的普通硅酸盐水泥，其凝结时间、安定性等指标应符合设计要求，每个批次水泥入场后均要对其抽样检查。砂含泥量不得超过3%，泥块含量不得超过1%，以保证材料质量满足设计标准以及相关规定。

（二）钻孔质量控制

保证钻孔位置、方向、孔径、孔深等达到设计标准。孔位偏差不得超过50mm，孔距偏差不得超过100mm，钻孔倾斜度偏差不得超过1%。钻孔期间，时刻关注地层变化情况，如若遇到岩石破碎带等特殊地质条件，应调节钻孔参数。对于孔径150mm的锚索孔，钻头直径应不小于155mm，确保孔径质量达标。钻孔深度应比设计深度大200-300mm，以保证锚固长度。同时，应预防钻孔偏斜、塌孔等问题，一旦出现此类情况，需立即采取措施处理^[5]。

（三）锚索制作与安装质量控制

严格按照设计标准编制锚索体，钢绞线排列整齐，不得出现交叉、扭结问题。隔离架设置间距为1-1.5m，对支架应龙确保锚索体在钻孔内居中。锚索体长度比设计长度长1-1.5m，以满足张拉、锚固需求。安装期间，缓慢下放锚索体，速度为0.5-1m/min，以防锚索体出现扭曲、损坏。完成安装工作后，检查锚索体的外露长度，确保符合设计要求。

（四）注浆质量控制

精准控制浆液配合比，根据不同地质条件、工程要求，科学调节水灰比、水泥与砂的比例。注浆压力控制在0.5-1MPa。注浆量大于钻孔体积的1.2倍，保证浆液能填满钻孔、锚索体周围空隙，否则容易出现空洞、蜂窝麻面等缺陷。注浆期间应做好记录，包括注浆时间、注浆压力、注浆量等。

（五）张拉锁定质量控制

定期标定张拉设备，张拉期间严格按照标准顺序、额定张拉力分级张拉，氛围3-4级张拉至设计张拉力。如按照额定张拉力的30%、50%、80%、100%进行张拉，每级张拉后稳定5-10min，观察锚索变形状况。完成张拉后及时锁定和保护锚索，以防锚索体受损。锁定力误差不得超过5%，确保锚索的锚固

效果达标。

四、施工中常见问题及解决措施

（一）钻孔偏斜

钻孔偏斜主要是因为钻机就位不精准、钻孔遇到障碍物、地层变化等造成的结果。当钻孔偏斜超过允许范围（一般为1%）时，会影响锚索的锚固效果。

针对此类问题，需重新调整钻机位置以及垂直度，确保钻机的钻头中心与锚索孔位中心重合，钻机垂直度偏差控制在1%以内。一旦遇到障碍物，应立即停钻，采用适宜的方法清除障碍物或调整钻孔方向。根据地层变化情况调节钻孔参数，如在岩石硬度变化较大的地层中，需适当降低钻孔速度，提升钻头的稳定性^[6]。

（二）塌孔

塌孔主要是因为地层松散、地下水丰富、钻孔速度过快等造成的结果。塌孔会导致钻孔无法成孔，影响后续锚索安装。特别是在一些松散的地层中，塌孔发生率高达10%以上。

针对此类问题，可采用套管护壁措施，正式钻孔前现将套管打入地层内，之后在套管上钻孔，从而预防塌孔事故。降低钻孔速度，以防因钻孔速度过快导致孔壁失稳。增加护壁泥浆浓度，将泥浆比重控制在1.1-1.2之间，强化孔壁整体的稳定性。

（三）锚索体安装困难

该问题主要是因为钻孔不直、孔内有残渣、锚索体编制不规范等引发的结果。锚索体锚索体安装困难，会增加施工难度和成本。

针对此类问题，需要重新清理钻孔内部，使用高压风、高压水清孔，清孔持续10min以上，保证孔壁清洁无残渣。对锚索体进行检查和调整，保持锚索体编制的规范性，钢绞线应排列整齐，无交叉、扭曲等现象。如若钻孔不直，则要通过扩孔、纠偏等方法对其修复。

（四）注浆不饱满

该问题主要是因为注浆压力不足、注浆量不够、浆液配比不当等造成的结果。注浆不饱满会影响锚索的锚固力，降低边坡整体的稳定性。通常情况下，注浆量应大于钻孔体积的1.2倍，才能保证注浆饱满。

针对此类问题，需要提高注浆压力，控制在0.5-1MPa之间，保证浆液能充分填充钻孔。增加注浆量，根据钻孔实际情况，适当增加注浆量，保证浆液充满钻孔和锚索体周围的空隙。调整浆液配合比，确保浆液的流动性和凝固性能满足要求，如适当调整水灰比或水泥与砂的比例^[7]。

（五）张拉期间锚索体断裂

该问题主要是因为锚索体质量不合格、张拉速度过快、张拉力过大等原因引起的结果。锚索体断裂会导致锚索失效，严重影响工程安全。

针对此类问题，应做好锚索体的质量检查工作，确保锚索体的各项性能指标符合设计要求，如抗拉强度、弹性模量等。控制

张拉速度，一般张拉速度应控制在10-20kN/min，避免因张拉速度过快导致锚索体受力不均。按照设计要求的张拉力进行张拉，张拉力的误差应控制在5%以内，防止张拉力过大导致锚索体断裂。

五、结束语

综上所述，预应力锚索施工技术作为公路工程高边坡加固的一种有效方法，具有主动加固、适应性强、施工方便、经济效益

好等优点。在施工过程中，应严格按照施工工艺和质量控制要点进行施工，加强对材料质量、钻孔质量、锚索制作与安装质量、注浆质量和张拉锁定质量的控制，及时解决施工中出现的问題，确保预应力锚索的施工质量和高边坡的稳定性，为公路工程的安全运营提供保障。随着公路建设的不断发展，预应力锚索施工技术将在高边坡加固中得到更广泛的应用和发展。

参考文献

[1] 李建奎.山区公路高填方边坡滑坡成因及施工治理工艺[J].四川建材,2024,50(6):192-193,203.
[2] 曾红莲.高速公路工程高边坡治理预应力锚索施工技术[J].安家,2023(1):142-144.
[3] 卢淑春.公路边坡施工中的预应力锚索技术[J].工程技术:文摘版,2021(28):35-36.
[4] 梁伟锡.预应力锚索技术在高速公路高边坡施工中的应用研究[J].工程技术研究,2023,8(2):207-209.
[5] 蒋明跃,吴琰.预应力锚索抗滑桩治理公路高陡边坡的应用[J].工程设计与施工,2023,5(8):43-45.
[6] 元波,许爱兰.公路工程中高边坡预应力锚索施工技术研究[J].运输经理世界,2023(27):31-33.
[7] 杨剑.公路工程中高边坡预应力锚索施工技术研究[J].新材料·新装饰,2023,5(1):163-166.