

关于公路高边坡支护预应力锚索的施工技术应用分析

黄凯

北新路桥集团股份有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：随着国家交通基础设施建设步伐的日益加快，公路工程建设正不断向更为复杂多变的地质条件发起挑战，特别是在山区高速公路建设过程中，高边坡稳定性问题已成为制约工程进展和安全运行的关键因素。山区地形复杂且地质构造多变，使得高边坡的支护工作面临着前所未有的难度，如何确保公路在复杂地质条件下的安全、稳定运行，逐渐成为当前公路工程建设领域亟待解决的问题。基于此，笔者结合自身工作经验与研究总结，对预应力锚索施工技术在公路高边坡支护中的应用进行深度剖析，希望能够对相关单位有所帮助和启发。

关键词：高边坡支护；预应力锚索；公路工程

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.005

高边坡支护是公路工程中的重要环节，其施工技术选择与应用将直接关系到整体施工的安全性、经济性及可持续性，预应力锚索以其高效、可靠的特点，在公路高边坡支护中展现出独特优势。预应力锚索通过预先施加张力的方式将锚索与岩土体紧密结合，形成强大的锚固力以提升边坡稳定性，大幅减少滑坡、崩塌等地质灾害发生。因此，本文将结合具体工程案例对该技术的工艺流程进行研究，旨在进一步验证预应力锚索技术在公路高边坡支护中的可靠性和有效性。

1 工程概况

某高速公路建设项目地处某省山区位置，该路段所穿越的地形较为复杂，沿线多处存在高陡边坡，边坡高度在 20—50m 范围内，具体地段超过 50m。边坡主要由风化岩石、碎石土和少量粘性土组成，岩层节理发育、裂隙较多且地下水丰富，对其稳定性构成较大威胁。项目团队为保证公路施工及运营期间的整体安全，尽可能避免边坡失稳、滑坡等地质灾害发生，设计采用预应力锚索作为主要支护结构，结合喷射混凝土面层、排水系统等措施进行综合加固。预应力锚索的设计长度（20—50m）则根据边坡高度、地质条件及稳定性分析来确定，锚索采用高强度低松弛钢绞线，注浆材料为水泥砂浆或水泥净浆。

2 预应力锚索施工技术在公路高边坡支护中的应用

2.1 施工准备

施工团队在进行地下水位相对较高区域施工时，在调查地下水状态和水质情况过程中要评估水土流失、土壤松动或结构稳定性下降等问题是否会对边坡支护施工带来不利影响。此外，施工团队还必须通过调查工程

周围实际情况以及既有建筑物来预测地面沉降、建筑物损坏等潜在问题，并以此为参考依据制定应急响应措施来保障周边环境安全。

施工团队在成孔作业过程中对于污水等废物可以通过设置污水收集系统、采用环保型处理技术等方式进行科学处理，而且还需对现场施工空间及临时道路进行充分调查并制定相应保证措施，确保施工期间物流畅通、人员安全。在施工准备阶段，施工团队在对施工所用各类原材料、设备进行检查时要着重关注材料规格、质量以及设备性能等方面；在锚索孔钻孔施工中，为了稳定钻孔作业并提高施工效率，施工团队通常会利用钢管或门架搭建钻孔平台并在结束后检查平台结构稳固性，便于钻机快速准确就位，为后续的钻孔作业奠定坚实基础^[1]。

2.2 成孔施工

在成孔施工环节，施工人员必须在相关设计要求约束下通过联合使用水平钻机、空压机等设备来实施成孔作业，在施工开始前，测量专业人员需要精确标定孔位，设置好标桩并赋予每个孔唯一编号；在开钻之前，必须对钻机的就位情况进行二次复测来保证钻机准确、稳固就位，防止在钻进过程中发生位移问题。在钻进过程中，开孔角度的误差根据相关技术要求必须严格控制在 $+1^{\circ}$ 以内，为后续施工顺利进行奠定基础。

完成钻机就位后，锚杆与钻孔之间的水平、垂直方向距离的误差检查也必不可少，应使之不超过 50mm，进一步确保钻孔的精确度。在本工程中，主要是通过风动冲击回转钻进方法与长螺旋干钻风动潜孔锤冲击回转方法相结合进行钻进，充分发挥两种方法各自优势，提高钻进效率、质量；在钻进至设计要求的深度后需将钻机撤走并立即用高压空气将钻孔内的粉尘、水清除干净，

为后续的施工步骤提供清洁、干燥的工作环境^[2]。

在成孔施工的整个过程中, 鉴于钻孔作业操作方式及细节直接关系到成孔的质量、后续工程稳定性, 采取干钻方式能够避免水钻对岩体工程地质条件所造成的恶化情况, 进而影响孔壁形成后的黏结性能及后续锚杆安装。钻孔倾斜角度需严格按照设计要求进行控制, 一般设定为 20° 且实际施工中的偏差不能超过 1° ; 实际钻孔深度应比设计提出要求大出 0.2m, 预留出一定空间有利于后续的施工操作、质量控制。

施工人员在钻孔过程中应详细记录各孔地层变化、实际钻进状态、地下水等各类实际情况, 为后续分析地层结构、判断施工难度以及优化施工方案提供数据支持。如果发现地层出现松散且破碎的迹象应立即采取跟管钻进的方式, 防止塌孔事故的发生。一旦遇到塌孔情况应立即停止钻进并使用水泥砂浆进行灌浆处理合理调控其初凝时间, 在达到初凝状态后再开始扫孔钻进。

钻孔结束后需使用高压空气将钻孔内的粉尘、碎屑等杂物清除干净, 而且需要特别注意孔底不能存在积水, 避免影响砂浆、孔壁之间的黏结而降低锚固效果。此外, 钻孔时应全面记录钻孔时间、深度、地层变化、钻进状态等, 如果发现实际地形条件与设计存在偏差应立即上报相关部门, 以便及时调整施工方案, 做好变更设计^[3]。

2.3 锚索制作

锚索下料长度必须与最短张拉长度保持契合性, 尽可能保证其在安装使用过程中充分满足设计要求和安全标准, 进行下料操作时应严格使用砂轮切割机进行切割, 该设备具有精确、高效且对材料损伤小等特点。施工人员要禁止使用电焊或气割等热切割方式, 因为钢筋锚索材料在受热后极易发生内部结构变化, 因抗拉强度大幅降低而严重影响锚索整体性能。

编束作业需要在一个相对稳定的工作环境下进行, 施工开始前要检查钢绞线是否保持顺直、均匀的排列状态以及有无明显锈迹等, 对于存在污垢的钢绞线则要将杂质彻底清除。此外, 施工人员还要仔细检查钢绞线是否存在机械损伤或锈蚀严重等情况, 一旦发现此类问题需要在编束前将其剔除, 以免对锚索整体性能造成不良影响; 编束过程必须严格按照设计图纸的要求进行安装, 只有当每一根钢绞线的位置和角度都准确无误后才能编出均匀的锚索来满足设计要求^[4]。

2.4 锚索安装与一次注浆

施工团队在完成清孔作业后要随之对锚索编号与对应孔号进行逐一核对, 保证每一根锚索都能准确无误地安装到预定位置; 待核对确认无误后方可开始锚索安装工作。锚索安装过程要充分利用其自身重力, 辅以必

要的人力、机械设备来保障锚索被平稳送至孔内, 技术人员在此过程中要保持高度专注性, 务必确保锚索在孔内自然下滑直至稳稳抵达孔底。同时, 锚索下降期间严禁对其进行随意敲击, 更不允许在上面悬挂任何重物, 防止对锚索造成不必要的损伤而影响其安装位置准确性。

施工人员在入锚索的过程中还要同步放入注浆管, 其放置过程同样要保持谨慎, 使其可以随锚索一同顺畅地下滑至孔底, 进而为后续注浆作业做好准备。注浆施工是整个锚索支护的核心所在, 一次注浆材料主要以水泥砂浆为主并使强度达到 25MPa 以上; 注浆前先利用压缩空气对孔内进行彻底清除, 将孔内积水与残渣清除干净后再把锚索、注浆管缓慢推送至钻孔中使其自然下滑至孔底^[5]。

同时, 基于注浆管向孔内灌入水泥浆, 若采用锚杆进行支护则要在锚固段上界面安装隔离塞并在孔内放置排气管; 注浆时要提前将浆液搅拌均匀并做到随搅随用, 避免浆液长时间静置而导致性能下降。此外, 浆液需要在达到初凝状态前使用完毕并严禁杂物进入浆液中, 以免对注浆整体质量造成较大影响。一旦注浆过程中途因故停顿较长时间, 恢复注浆前需用清水对注浆泵与整条管线进行充分润滑, 防止因长时间停顿而导致的堵塞、磨损情况出现; 注浆管插入深度也要按照与孔底相距 5—10cm 的距离加以控制, 当孔口处有浆液溢出或孔内排气管不再排气时方可判断注浆作业已完成。但注浆作业并非一蹴而就, 若注入的浆体在硬化后依然未能将锚固体完全充满则要根据具体情况进行补浆作业, 使锚索支护稳定性、完整性能够得到大幅提升。

2.5 地梁制作

施工人员在绑扎钢筋前要对边坡进行必要的修整处理, 削平边坡上所有凸出的岩石或土体部分并使其表面尽量平整, 便于后续钢筋绑扎和混凝土浇筑作业的顺利进行。修整完成后要在边坡表面设置短钢筋锚钉以起到固定钢筋网、增强钢筋边坡连接强度的效果; 准备与钢筋保护层厚度相同的砂浆垫块, 其主要作用在于将处于绑扎状态的钢筋垫起, 使其与边坡表面保持适当距离并满足设计要求。

待一切准备工作就绪后方可开始钢筋绑扎作业, 施工人员在绑扎过程中要保证钢筋之间的连接牢固性与可靠性, 以减少松动或错误等情况出现; 利用之前准备好的砂浆垫块将钢筋垫起, 使其与边坡表面保持一定距离以满足保护层厚度要求; 钢筋还要与边坡上的短钢筋锚钉进行紧密连接, 进一步增强整个支护结构的稳定性。

施工团队在立模作业开始前要全面检测钢筋质量,

仔细核对钢筋规格、数量、位置以及绑扎牢固程度等参数并进行相应记录，待检查确认钢筋施工质量合格后方可进行后续立模作业。立模前必须在模板表面均匀涂刷一层隔离剂，方便脱模的基础上还能够避免混凝土浇筑、硬化过程对模板造成损坏。同时，模板拼装应达到平整、严密的要求，避免混凝土浇筑过程出现漏浆或气泡等问题；模板支立后仍需进行一次加固处理来提升其承载能力。

相关人员在立模完成后要进行必要的质量检查并做好相关记录，该步骤主要是保证模板尺寸、位置及加固措施等均符合设计要求，为后续混凝土浇筑作业打下坚实基础。同时，施工团队要需按照相关规范要求进行混凝土浇筑作业，具体过程要严格控制混凝土配合比、浇筑速度和振捣强度等参数，使其均匀性和密实度满足设计要求。

2.6 锚索张拉

施工团队进行张拉作业前必须保证注浆完成且浆液达到完全固结状态，为保证浆液充分固结和锚索达到足够强度，需要连续对其养护 28d 才能满足张拉要求；但在实际施工中考虑到施工进度等因素，可以在浆液中掺入适量早强剂以缩短养护时间。张拉作业开始前要对承压支撑构件平面进行整平处理，台座与锚具安装要与锚索轴线方向保持垂直；千斤顶轴线必须与锚索轴线精确保持在同一直线上，这是预应力锚索张拉过程中的一项关键要求。只有保证两者轴线一致才能有效避免在张拉作业期间对锚头产生不必要的压弯情况，从而维护锚索结构的完整性和预应力传递的效率，这一细节的关注对于提升整个公路高边坡支护系统的稳定性和耐久性具有重要的实践价值。

正式张拉开始前要想保证锚杆所有部位紧密接触且杆体保持平直，则必须进行二次张拉操作，实际张拉力要控制在设计张拉力 0.1-0.2 倍；张拉控制应力的设定也要按照锚索自身极限抗拔力 60% 进行控制，尽量使其在承受设计荷载时具有足够的安全储备。此外，张拉荷载的施加应遵循分级进行原则，不可一次性施加到锁定荷载（如表 1 所示）；分级施加荷载的目的是逐步增加锚索预应力，避免土壤施加过大荷载而导致锚索或周围岩土体破坏。

表 1 张拉荷载分级与观测时间

张拉荷载分级/Nt	观测时间/min	
	砂质土	黏性土
0.1	20-30	20-30
0.25	5	5
0.50	5	5

0.75	5	5
1.00	5	5
1.10	10	15
锁定荷载	10	10

2.7 二次注浆与封锚

二次注浆阶段与内锚固阶段可以使用同样类型的浆液，这样可以提升注浆效果的一致性；超试拉结束后方可对张拉段实施封孔灌浆作业，该步骤主要为将张拉段与周围岩土体结合成一个整体受力结构，以提升锚索承载能力及稳定性。当灌浆接近最后 5m 时要采取循环灌浆的方式，基于反复注浆和排气的方式使浆液在孔内充分扩散，直至出浆浓度与进浆浓度完全相同后方可结束灌浆；施工团队在灌浆结束后应检查钻孔是否完成灌浆，若发现未达到指定深度的钻孔要进行复灌。

当张拉与锚孔注浆均完成后要对锚索进行封锚处理，从锚具开始量出 5cm 钢绞线并将其余部分截去，随后浇筑强度等级为 C20 的混凝土并将锚头完全封闭起来，以避免锚头和钢绞线受外界环境侵蚀；钢绞线外露长度不宜过大以免影响锚索整体性能。

3 结语

总而言之，本文结合具体工程案例，对预应力锚索施工技术在公路高边坡支护中的应用进行深度探究，分析其技术原理、施工流程、质量控制要点以及在实际工程中的应用效果。希望通过本文研究能够为同类工程提供理论参考与实践指导，促进预应力锚索施工技术在公路高边坡支护领域的创新与发展，进一步推动我国公路工程建设事业的可持续发展。

参考文献

- [1] 李健. 公路高边坡支护预应力锚索施工技术[J]. 交通世界, 2022, (18): 115-117.
- [2] 邱友波. 公路高边坡支护预应力锚索施工技术分析[J]. 住宅与房地产, 2021, (34): 212-213.
- [3] 杨柏轩, 隆威. 预应力锚杆(锚索)在湖南某高速公路高边坡支护中的应用[J]. 中外建筑, 2019, (09): 169-171.
- [4] 杨帆. 关于公路高边坡支护预应力锚索的施工技术应用分析[J]. 低碳世界, 2018, (07): 312-313.
- [5] 廖旋. 公路高边坡支护预应力锚索施工技术研究[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41 (03): 50-51.

作者简介：黄凯，男，（1971.10-），兰州铁道学院，工程造价（专），开放大学，土木工程（本），北新路桥集团股份有限公司，项目经理，工程师。