

# 公路施工中高边坡预应力锚索施工技术研究

张化强

山东省公路桥梁建设集团有限公司

**摘要:** 在公路工程施工中,尤其是山区公路项目,经常遇到高边坡,需采用合理有效的高边坡加固技术应用,避免高边坡塌方、滑坡、泥石流等灾害引起的交通事故。预应力锚索因其良好的力学性能、安全环保等优点,在边坡治理工程中得到广泛应用。边坡预应力锚索施工技术作为一种新的边坡治理技术,将其应用于边坡治理中可以有效提高边坡稳定性,保证公路施工质量。本文就预应力锚索在公路施工中高边坡预应力锚索施工技术应用展开探讨,希望为相关工作人员提供参考。

**关键词:** 高速公路;高边坡防护;预应力锚索;工程质量

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.21.042

高边坡加固技术是公路基础工程建设的关键环节,因此,在开展公路高边坡防护施工中,需根据不同地质情况,合理选择施工工艺,保障高边坡结构稳定性。龙溪<sup>[1]</sup>指出,在开展公路工程建设中严格把控高边坡施工质量控制会在一定程度上促进公路工程整体稳定性的提升。结合某在建高速公路项目高边坡现场地质岩层及水文地质情况,从开挖前准备及开挖工艺选择上着手,对边坡开挖施工要点及预应力锚杆加工施工技术要点进行了经验总结,为同类型工程建设起到了很好的借鉴作用。本文通过对相关文献资料的整理,以某在建高速公路工程为例,探讨了高边坡预应力锚索施工技术应用及控制要点,希望能为促进国内公路网高质量建设提供帮助。

## 一、工程概况

某在建高速公路工程所处区域属于亚热带季风气候,温暖潮湿,地形总体为相对平缓的山地。在公路工程施工过程中,该公路沿线存在大量的高边坡工程,其中,以K+900-K9+300范围内的高边坡最为典型。该路段边坡地形变化较大,且多为坡形复杂、坡度较陡的岩质边坡。边坡高度分别为12m、14m和15m。经现场调查发现,该路段高边坡主要由以下2种形式构成:(1)位于山坡上的高路堤;(2)位于陡坡上的高路堑。其中,第一种高路堤形式为两个台阶式高路堤,主要由高约7~8m的石砌挡墙以及10~15m高的石砌台垛组成;第二种形式是高约7~8m的陡崖路基。对于第一种高路堤形式,设计设计采用混凝土挡墙和挡土桩施工技术;第二种高路堑式边坡上游结构坚硬,拥有较强抗风化能力,下部岩性相对较软,容易出现风化剥落情况,产生边坡失稳块体,可能因为连接界面连续破坏发生边坡垮塌风

险,为保证高边坡稳定,设计采用预应力锚索防护施工技术。

## 二、高边坡预应力锚索施工技术应用

### (一) 施工准备

准备工作包括施工人员进场培训,场地清理等及张拉和动力设备选择等。作为高边坡施工所不可缺少的设备,张拉、动力设备性能往往会给钻孔深度、成孔质量产生直接影响。鉴于此,相关人员应做到以现场情况和前期所掌握资料为依据,对设备进行科学选择,同时保证钻机耗风量不超过12m,由于灌浆需求得到满足,因此施工效果能够达到预期。

### (二) 确定锚索荷载

使用预应力锚索以前,首先要通过试验检测其性能,确保锚索参数及质量均能够达到项目要求。前期准备阶段,最关键的环节是检验其抗拉强度,根据测试结果调整锚索各项参数,保证其各方面性能均符合公路建设标准,同时向设计单位提交检测所得数据。要想使该环节发挥出应有作用,就需要确定初始荷载、特征荷载,试验方法如下:

将岩土体性质设为刚体,在锚固力达到最大值前,内锚段各接触界面位置固定,同时自由段不存在粘结应力,此时,荷载位移所发生变化如图1所示。

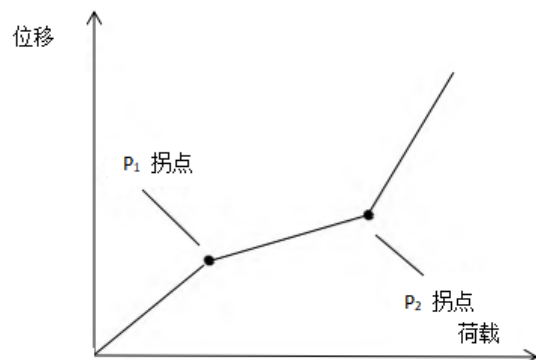


图1 荷载位移理想变化

该状态下,自由段对应工作应力用 $\sigma_0$ 表示,被锚岩体向外锚段施加反力用 $N_0$ 表示,应力和反力间的关系如公式(1)所示。

$$N_0 = A\sigma_0 \quad (1)$$

式中,A代表锚索的横截面积(图2)。



图2 锚索初始受力情况

在试验过程中，由相关人员施加 $N_2$ 的荷载并对其进行拉拔，同时保证 $N_2+N_1=N_0$ 。在 $N_2$ 取值逐步增加的工况下， $\sigma_1$ 将由初始的0变为 $\sigma_0$ ，由被锚岩体所提供反力为 $N_1=0$ ，对应拉拔荷载为 $N_2=N_0$ （图3）。位移曲线所出现拐点 $P_1$ 为工作荷载。随后，持续增加 $N_2$ 取值，自由段应力将变为 $\sigma'_0$ ，同时 $N_2+N_1=A\sigma'_0$ ，若继续进行加载，将导致自由段应力超过黏结应力的极值 $\tau'$ 。此时，位移曲线将新增拐点 $P_2$ ，其取值为锚索荷载的最大值。

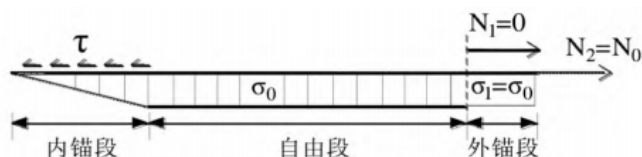


图3 锚索拐点受力情况

在该项目中，相关人员先对初始荷载进行了加载，随后通过循环加载的方式，得出了以下数据：初始加载量的极值为20kN；首次循环的加荷为20kN，加载极值为30kN，卸荷同样为20kN；二次循环的加荷为20kN，加载极值为40kN，卸荷为30kN；三次循环的加荷保持不变，加载极值为50kN，对应卸荷为40kN。由此可见，锚索具有较为理想的塑性，可确保安全系数与项目要求相符。

### （三）锚索伸长量计算

锚索伸长量极易被材质、地质条件和灌浆质量所影响，导致理论值与实际伸长量不符，但只要将偏差值控制在规定范围内，就能够发挥锚索的作用。该文研究的预应力锚索，通过预应力加强结构的稳定性，保证岩土体完整，使结构物整体质量达到预期，若伸长量偏差超过规定范围，便会给预应力造成影响，最终影响结构的稳定性。综合考虑可能影响伸长量的因素，可得出以下公式：首先是若锚索孔道呈直线，可利用下列公式计算自由段伸长值，如公式（2）所示。

$$\Delta l = \frac{\bar{F}}{EA} L \quad (2)$$

式中，

$L$ —张拉端孔道和截面间的距离，m。

$E$ —弹性模量，MPa。

$A$ —钢绞线横截面积， $\text{mm}^2$ 。

$F$ —张拉力的平均值，N。

其次是将孔壁和钢绞线间受摩擦影响所形成应力损失用 $\sigma_{12}$ 替代，若 $kx + \mu \theta \leq 0.3$ ，可利用公式（3）进行计算。

$$\sigma_{12} = (kx + \mu \theta) \sigma_{con} \quad (3)$$

式中：

$x$ —截面和张拉端间孔道的实际长度。

$\theta$ —截面和张拉端间孔道切线对应夹角的总和，其取值通常为0。

$k$ —摩擦系数，取值往往在0.0035左右。

$\mu$ —孔壁和钢绞线所对应摩擦系数，其取值通常

为0.09。

### （四）钻孔、清孔

根据设计要求在现场确定施工作业面，钻机就位后对孔位进行精确定位，并测量放样钻孔。在钻进过程中严格控制钻孔倾角，严格保证孔斜角度不得大于 $10^\circ$ 。钻孔深度应当根据实际地质情况确定，在下钻时必须保证孔底不低于设计要求。除泥钻进过程中必须保证钻机与孔壁之间保持垂直状态，避免在钻进过程中出现倾斜、位移等现象，使钻孔深度与设计深度相符合。

### （五）锚索制作及组装

预应力锚索制作需严格根据锚头、自由端、锚固段及各类配件的尺寸进行制作，同时根据设计要求进行锚具的安装，并根据相关标准对锚具进行检测试验。在锚固段的外侧应设置足够长度的护筒，以防止预应力锚索被水浸泡或者被风吹走。

在锚索制作过程中应注意以下几点：（1）锚索孔加工及清孔后，孔位偏差不得大于设计要求。在安装前应进行检查，确保无锈蚀和机械损伤等；（2）锚索采用热轧无缝钢管，强度和刚度要满足设计要求，张拉过程中不得对无缝钢管产生任何变形；（3）锚索钢绞线采用国家标准制造，外包无纺布护套；（4）锚头处理采用机械加工成型，加工前应去除毛刺；（5）锚头尺寸和位置准确；（6）采用标准量具控制钢绞线的长度，对控制钢绞线的伸长量和张拉力有很大影响，如不在允许误差范围内及时调整钢绞线长度，将导致施工误差过大而无法确保工程质量。（7）张拉前应进行三次清孔，保证孔内无杂草、石块和其他杂物；8、张拉过程中要确保不对无缝钢管产生任何变形；（9）锚具及钢绞线必须与无缝钢管连接牢固，不允许有松动和脱落现象。当出现松动或脱落时要及时进行加固处理；（10）对锚具的预应力进行检测：确保其张拉伸长量满足设计要求。

### （六）放置锚索

在放置锚索时，相关人员应重视以下内容：一是贯穿硬塑料管，彻底清理孔内残留的岩屑。二是将锚索放入孔内，对外留长度进行严格控制。三是考虑到吹孔过程中极易出现碎石掉落的问题，除特殊情况外，均不得在吹孔的同时放置锚索。要想降低问题发生概率，关键是要调整施工步骤，先钻孔再放置锚索，最后进行吹孔。四是锚索的放置效果极易被地下水所影响，鉴于此，相关人员应确保该环节钻杆始终处于匀速转动的状态，只有水质变清后，才能停止对钻杆进行转动。

### （七）张拉锚固

锚索安装完成后要对其进行有效的张拉，并使其锁定在设计位置上，防止出现移动或者位移等情况。张拉后应当对锚索的预应力进行测试，查看其是否达到设计值。同时为了保证锚固能够满足设计要求，还应在张拉过程中确保锚索处于锁定状态。如有必要还要及时进

行补充张拉。

### (八) 灌浆

灌浆前,应清理锚头浮渣和浆体表面松散物,并冲洗干净;灌浆孔钻进过程中,如遇孔壁坍塌等现象,应立即停止钻孔,待孔壁稳定后重新钻进;灌浆时采用专用的注浆压力计严格控制压力和注浆量,每段注浆管最大注浆压力不得超过0.2MPa;锚固段灌浆时应先将封孔塞插入孔底,待灌满后拔出封孔塞,并用清水清洗孔壁;灌浆结束后应进行封孔处理,以避免浆体对锚具的侵蚀。若灌浆结束时仍有浆体未灌满,则应采用压力水将锚具中的水冲洗干净;锚固材料采用高强低松弛预应力钢绞线(SMA-5),其抗拉强度不小于100MPa。在施工过程中要严格控制锚固段的长度和锚头外露长度。如果发现预应力钢绞线弯曲变形、锈蚀和断丝情况,要立即对其进行处理;灌浆过程中应避免出现串浆现象,以免造成灌浆质量不合格。对于串浆严重的部位要进行二次注浆;对施工现场的设备设施、材料及机具等进行检查维护,确保其完好、可靠。

### (九) 张拉封锚

锚固段和框架混凝土强度达到设计值80%后,进行张拉作业。按照设计张拉荷载的1/10~1/5进行1~2次预张拉,确认各部位紧密接触,钢绞线平直后,可以进行正式张拉。使用公称张拉力2500kN群锚穿心千斤顶进行张拉。按照设计次序分单元、分步张拉,根据荷载和锚固筋长度确定张拉荷载。在预应力补足荷载后,分5级张拉,各级荷载达到设计值的25%、50%、75%、100%和110%,前四级稳压5min,最后稳压10~20min。张拉后,对准钢绞线,将锚具穿进,与钢板一致,使用钢管将锚具和夹片等压紧,使张拉程度达到锁定数值。按照总数5%进行锚索抽检,任意抽取4孔进行验收,确认各孔在50%试验荷载时的锚头位移变化量超出设计伸长量的80%,同时比自由段和1/2锚固段的伸长量小,确保抗拉性能符合要求。张拉结束2d后,检查确认锚具、钢绞线等无异常后,锚具外预应力筋保留9cm,用砂轮机将多余钢绞线进行切断。针对支撑钢板外侧混凝土,应做好凿毛处理,将锚具等清洗干净,将孔内空气排净后,使用C30混凝土进行封锚,直至将锚具完全包裹。使用封锚砂浆,需二次振捣,增强密实度。检查确认表面质量合格后,将外露钢绞线切除。

### (十) 边坡防护

边坡护坡的常见方式包括挡土墙、浆砌片石和锚杆喷浆,虽然上述方式均能够用来稳定、加固边坡,但是灰白色的外观并不具有观赏价值,同时无法使边坡植被得到恢复,与当今社会所提倡的美化环境、保护生态不同。对于风化程度强且降雨频率高的区域,该方式极易使工程结构出现脱空的情况,进而引起滑坡问题。此

外,在对人工边坡支护进行施工的初期,上述方式往往能够起到弱化侵蚀、提高坡面稳定性的作用,但在混凝土老化、风化加重的影响下,防护效果必然会随着结构强度的降低而减弱,加上该方法均要投入大量的物力及人力资源,现在已不采用。在该背景下,业内人士提出了全新的护坡方式,即生态护坡,这样做既能够确保微生物、小动物有生存的空间,又可使生物链得到恢复,将边坡施工给环境造成影响降至最低。边坡绿化往往需要考虑2个方面的内容:一是对美观环境进行营造,二是保证结构稳定,充分利用现有景观设计、护坡技术,实现生态边坡全覆盖的目标。在该项目中,施工方结合现场情况制定了以下防护方案:相关人员出于保证无锚索坡体、锚索加固坡体相统一的考虑,最终决定利用草、灌木进行护坡,其中,草种植在坡面上,灌木种植在马道上,优先选择生命力强、耐干旱且高度在2m以下的灌木植物,包括夹竹桃、木槿等。事实证明,混合种植草和灌木,可使二者所具有优势得到充分发挥,延长护坡时间并改善景观效果。

### 结束语

综上所述,预应力锚索在高边坡工程中的应用越来越广泛,不仅能够有效提高边坡稳定性,而且能够降低工程造价。然而,高边坡施工的步骤烦琐且难度极大,较易被外界因素所影响,一旦出现操作不合理的情况,便会引起失稳等问题。为了解决这些问题,首先要在进行锚索张拉之前要做好充分的准备工作,例如检查机械设备、场地等。在进行锚索张拉之前,要做好对地层的检查工作。同时严格按照施工要求进行操作,并做好相应的检查工作。总之,只有采取有效的质量控制措施,才能保证预应力锚索施工质量达到设计要求。

### 参考文献

- [1] 龙溪.高速公路高边坡开挖和加固施工关键技术[J].珠江水运,2020-(05)-15.
- [2] 郑开涌.公路施工中高边坡预应力锚索施工技术研究[J].运输经理世界,2022,(24):144-146.
- [3] 张宁宁.高速公路高边坡防护预应力锚索施工技术研究[J].交通世界,2022,(11):96-97.
- [4] 贺清.路桥施工中高边坡预应力锚索施工技术研究[J].四川建材,2021,47(11):150-151.
- [5] 冯志奎.高速公路高边坡防护中预应力锚索的施工技术研究[J].交通世界,2020,(21):46-47.
- [6] 彭鹏铭.公路高边坡工程中预应力锚索施工技术工艺分析[J].工程技术研究,2020,5(23):60-61.
- [7] 池旭珍.浅谈预应力锚索在公路路堑高边坡加固施工中的应用[J].福建交通科技,2014(3):23-26.
- [8] 游国华.预应力锚索技术在公路高边坡施工中的应用[J].交通世界,2019(18):66-67.