

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的研究与应用

杨俊志 冯杨文

(四川准达岩土工程公司 四川 成都 610072)

摘要: 本文介绍了自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的结构特点研究以及在工程中的成功应用。

关键词: 单孔多锚头 预应力锚索 钢绞线 应用

1. 前言

高边坡工程的加固支护处理, 预应力锚索是一种有效的支护技术, 它能合理地提高、调用可利用岩体或土体的强度, 已在国内外高边坡工程加固支护处理中广泛使用。

作为一种新型的预应力锚索, 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索以其诸多的优点, 已在多个工程中成功应用。在此, 笔者就自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的研究及应用情况进行介绍, 供参考。

2. 研究背景

2.1 锚固段扩孔或增长问题

(1) 拉力型预应力锚索在内锚固段设计中采用的是剪应力沿内锚固段长度均匀分布的假设, 其计算公式(式2.1-1):

$$T_f = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_u \quad (\text{式2.1-1})$$

式中, T_f —锚固力, kN;

D —锚孔直径, mm;

L —锚固段长度, m;

τ_u —注浆结石体与孔壁之间的极限剪应力, MPa。

(2) 锚固段长度计算公式(式2.1-2):

$$L = k \cdot \frac{q_m}{\pi \cdot D \cdot C} \quad (\text{式2.1-2})$$

式中, L —锚固段长度, m;

q_m —单根锚杆(索)超张拉力, kN;

D —锚孔直径, mm;

C —胶结材料同孔壁的粘结强度, MPa;

k —锚固段长度的安全系数, 1.2—1.5。

根据式2.1-1、式2.1-2, 在锚索吨位、锚固段结石体与孔壁粘结强度不变的条件下, 锚孔直径 D 增大, 锚固段长度 L 减少; 反之, 锚固段长度 L 增加, 锚孔直径 D 减小。一般地, 在预应力锚索设计时, 如遇大直径锚孔造孔困难时, 就采取增加锚固段长度, 以期达到提供足够锚固力的目的。但是, 有关试验表明“在内锚固段中剪应力既不是均匀分布的, 又不是沿全长都受力的, 而是在内锚固段口部附近有高度的剪应力集中, 存在着各个‘击破’现象”, 很明显, 增加锚固段长度并不能有效增加锚固力。因此, 一味增加锚固段长度缺乏科学性, 于是, 就把预应力锚索的锚固段设计成扩大头型或增加锚孔直径, 以期达到提供足够锚固力的目的。锚索孔施工时, 就需要扩孔增大锚固段孔径, 将会导致施工进度慢和工程投资增加。

2.2 二次注浆问题

拉力型预应力锚索在选钢绞线时一般用有粘结钢绞线, 锚索注浆采用二次注浆工艺, 即在锚固段附近卡塞先进行锚固段注浆, 在候强张拉后再进行自由段注浆(图1)。采用此工艺不仅锚固质量不易得到保证, 而且锚索注浆工效低, 注浆施工亦不方便。

(1) 锚固段一次注浆

须在锚索体上锚固段与自由段界线处设置止浆塞以防止锚固段注浆时浆液进入自由段

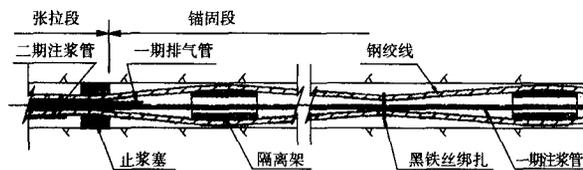


图1 二次注浆示意图

内。从锚固段结石体的密实度上讲, 这种方法是难以保证锚固段结石体的密实度, 这对锚固体的抗渗十分不利。从止浆效果上讲, 并不是一止就灵, 浆液进入自由段是不可避免的, 导致自由段长度减小。

(2) 自由段二次注浆

在锚索张拉完毕后, 才进行自由段注浆。

(3) 由于锚索分二次注浆, 从工期上讲亦会增加施工时间, 注浆工效低。

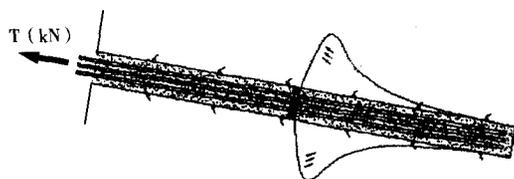
2.3 锚固段应力集中问题

一般地, 预应力锚索依据锚固段锚固体系受力状态(应力分布)分为拉力型索、压力型锚索。

(1) 在有粘结钢绞线编成的锚索体的锚固段部分的周围注入水泥浆液使锚索与锚固段围岩粘结成一体, 形成“锚固结石体”受力体系, 施加在锚索上的荷载, 由“锚固结石体”自锚固段顶端向下传递, 此时“锚固结石体”受拉, 这种方式为拉力型。

(2) 锚索钢绞线与注浆形成的水泥结石体完全隔离开, 在锚索底部设置锚板, 施加在锚索上的荷载先作用在锚板上, 再由锚板给其前部的水泥结石体以压力, 并由锚固段底部向上传递, 此时“锚固结石体”受压, 这种锚型为压力型。

(3) 不难看出, 拉力型锚索和压力型锚索的锚固段均存在应力集中区, 可导致锚索发生破坏(图2)。拉力型预应力锚索的锚固段顶部为拉应力集中区, 并逐渐衰弱至底部, 易产生剪切破坏; 压力型预应力锚索的锚固段底部为压应力集中区, 锚索荷载的大部分作用于该区, 易致锚固体压裂破坏。



拉力型锚索应力分布



压力型锚索应力分布

图2 拉力型锚索和压力型锚索锚固段应力分布示意图

2.4 地下水侵蚀问题

预应力锚索在使用过程中, 地下水对钢绞线的侵蚀亦是一个不容忽视的问题。一旦水泥结石体在荷载作用下受到破坏出现裂隙时, 或者水泥结石体本身的抗渗性差, 地下水就会渗入结石体, 对钢绞线进行腐蚀, 严重时将使锚索失效。

(1) 拉力型锚索一般采用有粘结钢绞线, 钢绞线全长裸露, 不与地下水接触的部位几乎为零。尽管现在也有采用无粘结钢绞线的, 但锚固段的钢绞线仍是裸露的, 依然存在被地下水侵蚀的可能性。在拉力型锚索体外套上“波纹管”制成“双层保护式”锚索, 依然避免不了地下水对锚固段钢绞线的侵蚀。

(2) 压力型锚索在钢绞线外穿上保护套, 将钢绞线与地下水隔离开, 在很大程度上对钢绞线起到了保护作用, 但地下水可从钢绞线端头对其进行侵蚀。

2.5 复杂地层适应性差

传统锚索由于存在锚固段应力集中及锚索腐蚀问题, 对地层, 尤其是复杂地层的适应性自然就差。

2.6 其他

国外的压力分散型预应力锚索, 只适用于小吨位锚索。大吨位的锚索体外径较大, 所需孔径就大, 因此, 较少采用。

3. 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的研究

针对传统锚索存在的上述问题,四川准达岩土工程公司进行了深入的研究,并研制完成了新型锚索—自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索。

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索是四川准达岩土工程公司专利产品、四川省重点科研成果,总体上达到国际领先水平。

3.1 研究概况

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索项目采用理论对比分析与现场试验相结合的方法,从钢绞线材料选择、锚索结构型式设计、现场试验等方面开展研究工作。

(1) 钢绞线选择无粘结钢绞线,既有助于解决钢绞线腐蚀问题,又能解决锚索二次注浆问题,简化注浆工艺,以及可以二次张拉等。

(2) 锚索结构型式采用新型的“单孔多锚头防腐型”结构,既解决锚固段应力集中问题,又解决锚索腐蚀问题,以及有效减小孔径。

(3) 结合紫坪铺工程锚索施工,现场测试了拉力型锚索与自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索锚固段的应力,获得了锚索锚固段的应力分布情况,提供客观依据,据此指导和完善锚索的结构型式设计。

3.2 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索组成结构

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索采用新型的“单孔多锚头防腐型”结构,由导向帽、单锚头、锚板、注浆管、高强低松弛无粘

结钢绞线等组成(图3),具有改善锚固段应力集中、有效防腐、有效减小孔径、全孔一次注浆、可进行二次补偿张拉等特点,增强了对复杂地层的适应性,增强了锚固效果。

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索结构基本点:

(1) 基本(防腐)单元:单锚头。单锚头由无粘结钢绞线、挤压套及其密封套组件组成,具有良好的防腐性能。

(2) 单孔多锚头结构:一根锚索由多组锚头构成,每组锚头包括锚板、单锚头,锚头数目及组合结构根据工程地质特性和锚索吨位大小进行选择。

(3) 整体性锚头结构:各组锚头连接成为一个整体。

3.3 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的特点

3.3.1 改善锚固段应力集中分布状况

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索采用单孔多锚头结构,每组锚头分别承载一定荷载(图4),克服了传统锚索荷载作用在一组锚头上的不利现象,总锚固力沿锚固段长度进行分散分布,改善了应力集中的状况,减少了单位面积上围岩应力,大大改善了围岩的受力条件,增强了对复杂地层的适应性。从工程角度上讲,一方面,锚固段不需要扩大孔径,锚索孔深度也不必一直加深直至使锚固段位于弱风化弱卸荷岩体内,节约了工程成本,缩短了工程工期;另一方面,锚固段围岩及水泥结石体受力条件的极大改善,对防止锚固段的破坏致使锚索失效有着重要作用。

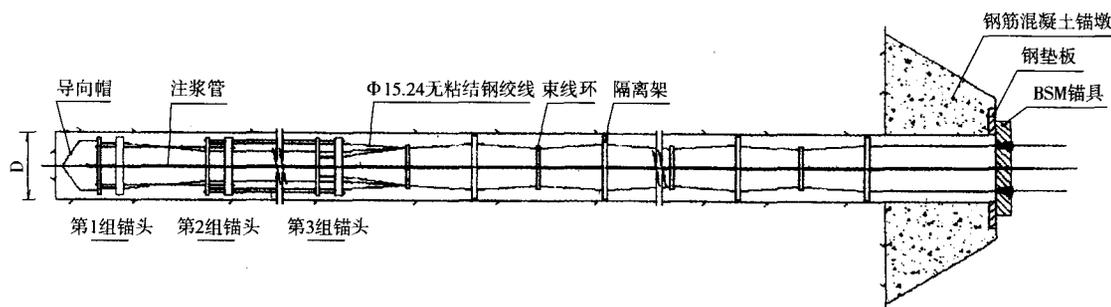


图3 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索示意图

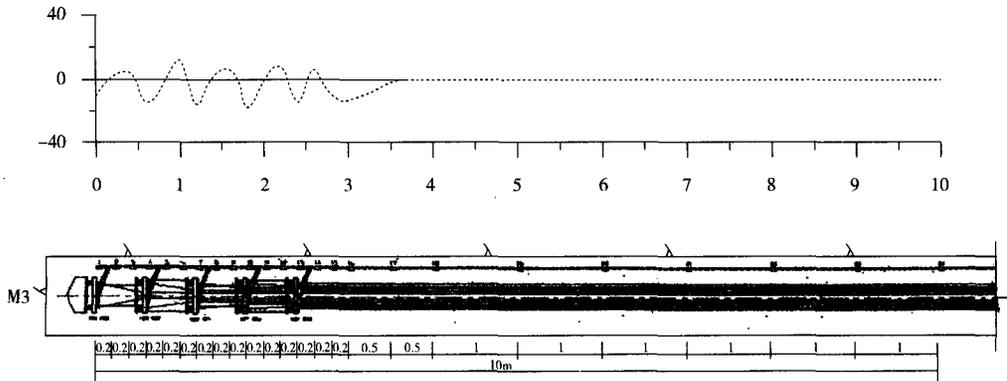


图4 自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索应力分布图

3.3.2 有效防腐

国内外不乏预应力锚索因地下水的腐蚀而失效并带来重大经济损失的实例。自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的单锚头密封套组件与无粘结钢绞线PE套一起构成了阻水效果十分良好的防渗体系,使钢绞线免遭外界侵蚀,有效地解决了锚索腐蚀问题,大大地降低了锚索因地下水的腐蚀而失效的可能性,从而增加了边坡的安全性。

3.3.3 有效减小孔径

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的锚头数目及组合结构根据工程地质特性和锚索吨位大小进行选择,使制作成的锚索体的外径尽量最小,并且满足锚固段围岩地质体条件及锚固力对锚孔孔径的要求。这对锚索孔钻进施工而言,意义非常深远,不仅降低了施工设备、器具的要求,而且极大地提高了工程进度。

1000kN~6000kN自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索的孔径一般为 $\Phi 100\sim\Phi 220\text{mm}$ 。

3.3.4 全孔一次注浆及二次张拉

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索采用无粘结钢绞线,可采用全孔一次注浆工艺,即一次完成锚固段与自由段注浆,浇筑锚墩,候强后,进行锚索张拉,亦可进行二次张拉。

(1) 全孔一次注浆工艺,既保证了注浆质量,又简化了工序、提高了施工工效。

(2) 由于任何预应力锚索都存在荷载锁定时钢绞线回缩、钢绞线松弛、混凝土徐变及岩

石蠕变等情况,应力损失必然存在,尤其在覆盖层等复杂地层的锚索。

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索所用的无粘结钢绞线为外用PE套包裹、内用防腐油脂敷裹,使得钢绞线裸线不直接与水泥结石接触,张拉时钢绞线裸线在PE套里面能自由伸缩不受影响,可在注浆后再进行锚索张拉,并可进行二次张拉。因此,自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索可方便地在锚索荷载低于设计荷载时,能再次张拉进行补偿,保证锚固永久赋存力,以保证边坡的安全稳定性。

3.4 创新点

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索创新点如下:

(1) 单孔多锚头结构:一根锚索由多组锚头构成,每组锚头包括锚板、单锚头。

(2) 全程有效防腐:锚索用钢绞线全长外裹PE套及内锚固段单锚头有密封套组件,使钢绞线免遭外界侵蚀。

(3) 整体性锚头结构:即各组锚头连接成为一个整体。

(4) 对复杂地层适应性强。

针对上述创新点进行科技查新,国内外未见有整体性多锚头结构及单锚头密封套组件。

3.5 专利实施

中华人民共和国国家知识产权局于2003年1月8日授予“自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索”实用新型专利(专利号:ZL01256700.0)。

3.6 鉴定意见

2003年11月,四川省科技厅组织有关专家对“自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索”项目进行鉴定,该成果属国内首创,总体上达到国际领先水平。

3.7 相关成果

自由式拉压复合型预应力锚索—公司另一专利产品,获中国电力科学技术奖。

4. 工程应用

日前,自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索已在紫坪铺水利枢纽工程、紫坪铺213国道改线公路滑坡抢险工程、瀑布沟水电站、冶勒水电站、金河水电站、水牛家水电站等大中型水利水电工程高边坡锚索加固工程中应用,取得良好的效果,经济和社会效益显著。

4.1 紫坪铺水利枢纽工程边坡锚索

紫坪铺水利枢纽工程引水发电隧洞进口、溢洪道及右坝肩边坡岩性为砂岩、泥质粉砂岩与煤质页岩互层,含煤层,强卸荷水平深度约40~50m,岩体破碎。设计上千根2000kN、3000kN级自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索进行加固处理。

设计锚索孔深40~60m,上仰5°,2000kN锚索孔径 $\Phi 135\text{mm}$ 、3000kN锚索孔径 $\Phi 165\text{mm}$ 。

4.2 紫坪铺213国道改线公路滑坡抢险工程边坡锚索

紫坪铺水利枢纽工程淹没区内的213国道K1011+350~450m段滑坡采用钢筋混凝土框格梁锚索支护、边坡截排水、边坡喷素砼及自钻式锚杆的综合处理方案。

锚索型式采用自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索。预应力锚索俯角20°,深入基岩14米;锚索钢绞线12束。由于边坡处于坡、堆积层的松散体上,锚索孔采用跟管钻进解决了成孔难题。

4.3 金河电站厂房边坡覆盖层锚索

西藏金河水电站厂房边坡覆盖层厚约40m左右。为了保证施工过程中厂房开挖的安全性和电站永久运行的稳定性,设计62根2000kN级自

由式单孔多锚头防腐型预应力锚索进行加固处理。采用跟管钻进成孔技术,有效孔径 $\Phi 135\text{mm}$,孔深58m~60m,采用全孔一次有压注浆成功解决了覆盖层锚索注浆难题。

4.4 小湾电站堆积体锚索

云南小湾电站右坝肩堆积体厚达40m左右,边坡采用了大量的1800kN级锚索进行加固处理。部分锚索采用自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索,孔深55m~60m,采用跟管钻进成孔技术,有效孔径 $\Phi 138\text{mm}$ 。由于使用全孔一次注浆工艺,避免了拉力型锚索二次注浆工艺中止浆包止浆效果不佳给锚固注浆质量带来的隐患。

4.5 瀑布沟电站工程边坡锚索

瀑布沟水电站工程地质条件较为复杂,工程高边坡稳定性问题较突出,预应力锚索处理方案较常采用。为了使预应力锚索支护效果满足边坡开挖施工期和电站运行期的安全稳定要求,针对采用预应力锚索支护的边坡进行了锚索结构型式的选择。经过技术分析及对比,决定采用自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索。

该锚索在瀑布沟水电站泄洪洞进出口、引水系统、导流洞进口等工程部位的应用情况为:锚索级别1000kN~3000kN,孔深25~60m,数量400多根。

施工监测表明,该锚索所加固的边坡稳定,支护效果显著,保证了边坡在施工期及运行期的安全稳定要求,取得了良好的社会效益及经济效益。

4.6 冶勒水电站主厂房锚索

冶勒水电站主厂房岩石为石英闪长岩,岩石较破碎,稳定性较差,设计采用预应力锚索进行加固,上游边墙60根,下游边墙56根,锚索吨位1000kN级。

锚索孔径 $\Phi 110\text{mm}$,锚孔仰角100°如采用拉力型锚索,其施工,尤其是二次注浆,不仅难度大,而且注浆质量不易保证。采用自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索,采用全孔一次有压注浆技术,成功地解决了这一难题。

4.7 水牛家水电站左坝肩边坡锚索

左坝肩开挖后,受岩体卸荷和雨季影响,局部产生较大变形,危及坝基施工及左坝肩自身安全。采用了1000kN自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索及锚筋束等进行支护处理。

锚索孔深30~40m,锚索孔径 $\Phi 110$,锚孔俯角 300° ,37根。

4.8 其它

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索即将在舟坝、溪洛渡、锦屏等工程中应用。

5. 结语

当前,越来越多的水利水电工程、岩土工程的上马,无疑给预应力锚索的大量使用带来了契机。

随着锚索技术研究的进一步深入,人们对预应力锚索锚固段应力集中及锚索腐蚀影响预应力锚索的锚固效果和锚固寿命等问题予以高度重视,而自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索重点地解决了这些问题。

自由式单孔多锚头防腐型预应力锚索采用单孔多锚头防腐型结构,具有改善锚固段应力集中、有效防腐、有效减小孔径、全孔一次注浆、可进行二次张拉等特点,增强了对复杂地层的适应性,对工程的长效锚固保持有效性,已在多个工程中成功应用,取得了良好的经济技术指标。

因此,该锚索具有广阔的应用前景以及显著的技术效益、经济效益和社会效益。

(上接第7页)

格;第二,锚固段长度的影响:试验锚索锚固段短,平均锚固力比工程锚索要大;第三,时间因素:尽管加荷速度慢,与工程锚索所受的恒载相比仍然快得多,锚固强度仍偏高。

5.4 现场试验实例

河南小浪底水利枢纽处于砂页岩互层岩体区,交通洞设计锚索为600kN,采用现场试验法确定锚固段长度,现试验结果列于表4。

表4 600kN级锚索现场拉拔试验成果表

孔号	注浆体强度 (MPa)	钻孔深度 (m)	钻孔直径 (mm)	锚固段长度 (m)	锚索破坏时拉力 (kN)	锚固强度 (kN/m)
1	29	2.05	115	0.75	667	889
2	29	1.20	115	0.66	775	1174
3	29	1.00	115	0.64	716	1118

取最小锚固长度 $P_{\min}=889\text{kN/m}$,代入式5.1得小浪底水利枢纽工程600kN锚索锚固段长度

$$L_a = 600 \times 3 / 889 = 2.0\text{m}$$

凡是我部在小浪底水利枢纽施工的600kN级锚索,内锚固段长度均采用2.0m。

6. 结论

岩体是多种多样的,选用锚索加固的岩体结构一般都非常复杂,影响锚索锚固段锚固力的因素又很多,采用计算公式计算出的锚固段

长度,无论是理论计算或者是平均应力法都很难符合实际情况,何况计算公式中一个重要力学参数是两个粘结强度,任何文献提供的表格中仅仅是岩石名称和粘结强度的对应,对于粘结强度的试验方法、注浆体强度、岩体强度和结构等都不得而知。现场试验法比较符合工程的实际情况,尽管也存在些问题,毕竟是在在建工程的岩体中实际测出的参数,与其它方法相比应当更可靠,更可信。我们认为锚索工程,特别是一些大型锚索工程,采用现场试验来确定锚固段长度更真实,更有把握,也可减少不必要的浪费。实践证明:这比锚索规范建议的先现场求出两个粘结力再利用式3.1和3.2计算锚固段长度更直接、更简洁、更易于操作。

参考文献

- [1] 闫莫明等. 岩土锚固技术手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2004. 5
- [2] 刘玉堂, 翟金明. 常用预应力锚索的结构和特点[J]. 防护工程, 2005. 5
- [3] 梁炯望主编. 锚固与注浆手册[M]. 北京:中国电力出版社, 1999. 9
- [4] SL212-98. 水工预应力锚索设计规范. 北京:中国水利水电出版社, 1998. 8
- [5] 水工现代预应力技术专业委员会. 第二届学术交流会论文集[C]. 北京: 1999. 10