

# 拉压复合型预应力锚索在边坡加固中的应用

钟林, 闫志强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

**摘要:**介绍了一种新型锚固方式——拉压复合型预应力锚索,并将其成功推广应用于某水电站厂房高边坡加固工程,通过运行和监测,取得了良好的效果,可为今后在边坡锚固工程中进一步提高锚索锚固性能、降低成本等方面提供借鉴。

**关键词:**预应力锚索;拉压复合型;锚固方式;边坡加固

中图分类号:TV7;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)05-0090-02

## 1 概述

岩体锚索由内锚固段(内锚根)及自由段(张拉段)两部分组成,施加在锚索上的荷载可由锚固段的顶端向下传递,亦可由底部向上传递,取决于锚索在内锚固段内的锚固方式。比较传统的拉力型,其是将锚索直接埋置在水泥浆体内,靠彼此间的粘结传递拉力,锚固段的应力分布很不均匀,锚索周围灌浆体处于受拉状态,因而拉伸裂缝和剥离现象首先在顶端出现;另一种是压力型,由于其锚索与锚固段灌浆体完全分开,荷载通过锚索直接传递到锚固段底部锚板上,然后由锚板向上推压灌浆体并传递给周围岩体。在这种情况下,灌浆体受压,锚固段的应力分布仍很不均匀。因此,笔者在文中提出的拉压复合型预应力锚索就是将上述两种锚固方式联合应用,使锚固段的应力分布趋于均匀,并使最大应力值明显减小,因而,在施荷条件下,灌浆体内的裂缝或剥离现象有可能不出现或很少出现,进而增加了锚固效果及防腐蚀系统的可能性。此外,其还可以提高锚索的锚固性能、降低施工成本。

## 2 拉力型、压力型和拉压复合型锚固段荷载及应力分布特性与比较

### 2.1 荷载沿锚索长度方向的分布

为了量测预应力锚索沿锚固段长度上的实际荷载分布,我们分别按照拉力型、压力型和复合型三种模型进行了室内弹性模拟试验,试验结果表明:在相同荷载作用下,拉力型锚固段顶端荷载最大,向下逐渐减小,至锚固段底部几乎为零;压力型的锚索与灌浆体完全脱开,其顶端和底部的荷

载完全相同,荷载通过锚索直接传递至底部锚板上,然后由锚板推压灌浆体并传递给周围岩体。压力型与拉力型恰好相反,部分荷载的传递主要集中在锚固段孔底的锚板上,后段部分荷载由拉力型钢绞线传递至锚固段的前段,说明沿锚固段长度锚索传给灌浆体后再传给周围岩体,传至底部锚板上的部分荷载由锚板推压灌浆体后再传给岩体。由此可见:复合型锚固方式使荷载分散作用于整个锚固段长度上,而不是集中作用于其上部或下部,进而改善了锚固段的应力状态。

### 2.2 应力在灌浆体与锚索孔岩壁间的传递

#### 2.2.1 拉力型

通过室内弹性模型试验得知,拉力型锚索锚固段的剪应力呈倒三角形分布,顶端最大,为应力集中区,向下迅速减小,当顶端交界面上的剪应力超过其抗剪强度时将出现剪切破坏,最大剪应力则向下转移;由此可以说明:当拉力型锚索承载后,从锚固段传至四周岩基的荷载是以拉剪方式传递的,主要承载部位位于锚固段顶部以下几米内。由于其顶部剪切力过大,常出现剥离现象,同时,锚索受拉力,锚孔壁亦受拉伸,因而锚索周围的灌浆体处于受拉状态进而出现拉伸缝,影响其锚固性能和永久防腐效果。

#### 2.2.2 压力型

由于荷载是由锚固段下端的锚板向上推压灌浆体传递给基岩的,所以,锚固段孔壁的应力与拉力型相反。交界面上的剪应力为底部最大,向上逐渐减小,呈正三角形分布;同时,锚固段孔壁中心方向受压缩,底部最大,向上逐渐减小。室内弹性试验亦表明:当锚索承载后,从灌浆体到四周基

收稿日期:2017-06-10

岩的荷载传递是以压剪方式传递的,主要承载部位的锚索周围灌浆体受压缩,因而不会出现拉应力区。由于底部锚索孔内灌浆体受力很大,允许应力问题值得考虑,特别是在低强度岩体内易致使锚体压裂而破坏。

### 2.2.3 复合型

拉压复合型锚索避免了锚固体应力集中分布情况,使沿锚固段交接面上的剪应力分布趋于均匀,锚孔岩壁底部压应力最大,向上逐渐减小并转为拉应力,其最大拉应力亦减小一半。当锚索承载后,从灌浆体到四周岩基的荷载转移是以压剪方式传递的,而上部仍以拉剪方式传递,主要荷载均匀地分布在整個锚固段上,因而锚固效果更好,

增强了锚固寿命。同时,根据分析还可以得出:锚索的埋置长度越短,越能发挥其粘接阻力作用,因而还可缩短锚固段长度。

### 3 拉压复合型锚索的结构设计

拉压复合型锚索是在传统拉力、压力型锚索基础上,利用承载板上部裸钢绞线与浆体的粘接力承受拉力,而承载板下部则由 PE 管保护的无粘接钢绞线与浆体的粘接承受压力,从而使得锚固体内既有受拉部位,又有受压部位,整个锚固体内的应力及锚固体与周围岩石间的粘接摩阻应力分布比较均匀,应力峰值大幅度降低。其结构组成为:高强度无粘接钢绞线、挤压头、锚板、托板等(图 1)。

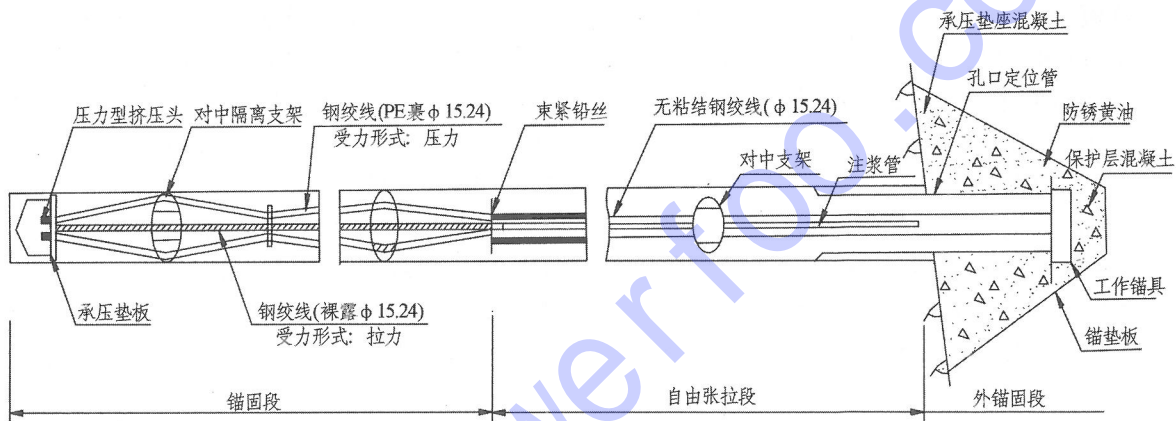


图 1 拉压复合型锚索结构图

## 4 拉压复合型锚索在四川某水电站厂房高边坡加固中的应用

### 4.1 概述

某水电站厂房后边坡地质条件十分复杂,断层裂隙发育,岩体破碎,风化卸荷作用强烈、岩石抗剪强度低、边坡高陡,1 438 m 高程以上覆盖层边坡发生过一次崩塌。为了保证该边坡的长期稳定和工程的安全运行,分别在 1 438 m 高程以上、1 410 m 高程马道、1 390 m 高程和 1 377 m 高程增加了共 64 束 1 000 kN 级锚索进行加固。锚索设计为拉压复合型,工程完工后一年的监测结果表明:锚索永久赋存力达 90% 以上。

### 4.2 锚索结构

边坡加固采用的 1 000 kN 级复合型锚索由 7 根无粘接钢绞线组成,设计锚固段长度为 10 m。为满足这一要求,在编制锚索时,将 7 根钢绞线分成两组,一组剥去 10 m 长的塑料外皮,按规范要

求进行清洗,另一组则无需剥掉塑料外皮,也不需要清理钢绞线上的油脂,而是在锚固段下部安装了 1~2 块锚板。

### 4.3 锚索监测

(1) 根据观测记录可知:应力损失最大的为 12%,赋存锚固力为 968 kN,应力损失最小的为 10%,赋存锚固力为 990 kN。

(2) 锚索应力损失基本发生在集中张拉后的第一个月内,随后应力损失逐渐下降,至张拉 3 个月,锚索应力基本保持稳定。

(3) 预应力损失的主要原因是由于钢绞线松弛所致。

### 5 对复合型锚索设计、施工方面的建议

(1) 根据以上分析可知:复合型锚索埋置长度越短,越能发挥其粘接阻力作用。传统拉力型锚索在锚固段长度为 10 m 时,实际灌浆体仅在顶

(下转第 105 页)

表2 某水电站1号机组进水球阀动水关闭试验测值表

工况	阀门全关时间 /s	导叶开度 /%	过机流量 / $m^3 \cdot s^{-1}$	噪音 /dB	阀前水压 上升率 /%	阀体变形 垂直 /mm	阀体变形 水平 /mm	前钢管 变形垂直 /mm	前钢管 变形水平 /mm	后钢管 变形垂直 /mm	后钢管 变形水平 /mm	伸缩节 变形轴向 /mm
空载	106.5	6	5.5	97.3	100.4	-0.18	0.08	0.08	0.3	0.25	0.05	1.56
70 MW	102.5	34.2	35.5	98.8	102.4	-0.17	0.05	0.09	0.5	0.13	0.1	1.51
140 MW	101.8	59.4	66.8	109.2	106	-0.2	0.11	0.07	0.51	0.18	0.08	1.6

注:表中数据为试验过程中测得的最大值。

### 3.2 数据分析

对所测得试验数据进行分析后可以各工况下球阀前后钢管压力上升值均不大。阀体、阀体前后钢管、阀体基础和球阀接力器基础的振动测值均呈现随试验工况所带负荷的增加而增大的趋势,在额定负荷工况下做球阀动水关闭试验时达到了最大值,试验后经检查各处焊缝无裂纹,重新开启球阀至试验前同样工况各处振动测值均能恢复到试验前状况,说明各振动测值只是在试验过渡过程中瞬态的增大,并未对球阀和接力器产生破坏性影响。阀体、阀体前后钢管和伸缩节在各工况试验后均有一定的变形量,在静止一段时间后重新平压开启球阀后各变形量均能恢复,说明测得的变形量只是弹性变形,并无危害球阀安全的变形产生,从而得出以下结论:某水电站1号

(上接第91页)端几米以内受拉应力,以下范围浆体受力几乎为零,故在采用拉压复合型锚索加固时,笔者建议:根据地层情况缩短锚固段长度以增强锚固效力。

(2)理想的情况是千斤顶系统应向锚索的各锚固单元同时施加等量荷载,但这在事实上难以实现。尽量整体张拉是一种常用的、快而有效的方法,但由于复合型锚索钢绞线在锚固段内既有未剥出PE塑料管的,又有剥掉PE塑料外皮的,在整体张拉时,易出现钢绞线受力不均匀而影响锚固效果的情况,故笔者建议:采用小千斤顶单独加荷的方式进行逐根循环加载张拉,以使得每根钢绞线伸长值趋于一致。

## 6 结论

### 我国电力市场化交易初具规模

近年来,我国有序放开发用电计划,市场化交易初具规模。2016年,全国包括直接交易在内的市场化交易电量突破1万亿千瓦时,约占全社会用电量的19%。新一轮“电改”提出稳步推进售电侧改革,有序向社会资本放开配售电业务,双方“协商定价”的市场化交易规模日益扩大。今年上半年,全国各地签订直接交易年度、月度合同以及交易平台集中交易电量累计9500亿千瓦时左右,已执行的合同每千瓦时电平均降价4.7分。预计2017年全年电力直接交易电量规模约1.2万亿千瓦时,同比增长约50%。在保障无议价能力用户正常用电基础上,发改委还将加快放开其他购电主体参与市场交易,引导需求侧放开规模与发电侧相匹配。2017年,全国市场化交易电量力争达到全社会用电量的35%以上。据了解,近年来我国加快放开配售电业务,售电侧市场竞争机制初步建立。截至目前,全国在电力交易机构注册的售电公司有1859家,为电力用户提供了多样化选择。

机组在任何运行工况下进水阀门均能动水关闭且不产生有害振动。

## 4 结语

笔者在试验前后查找资料时发现目前国内大部分水电站并未进行过进水阀门动水关闭试验,也无相应的国家和行业规程对试验过程中的关键参数做出限定要求。希望笔者对某水电站进水球阀动水关闭试验数据进行的分析能给阀门生产厂家、水电站以及同行进行进水阀门动水关闭试验时提供参考。

### 作者简介:

李娜(1986-),女,四川南充人,助理工程师,从事水电站机组调试试验工作;

周蓉(1972-),女,广东广州人,助理工程师,从事水电站机组调试试验工作。(责任编辑:李燕辉)

拉压复合型锚索作为一种新型锚固方式,继承了传统拉力、压力型锚索各自的特点,具有独特的传力机制和良好的工作特性,其避免了沿锚固段锚固体应力集中分布的状况,使全锚固段应力分布更趋于均匀,避免了由于应力集中而导致的锚索失效,延长了锚索寿命。同时,因其结构合理,还可缩短锚索长度,节省工程材料,降低工程造价。随着岩土锚固技术的广泛应用,拉压复合型锚索值得大力推广和应用。

### 作者简介:

钟林(1982-),男,四川冕宁人,工程师,从事水利水电、市政工程施工技术与管理工作;

闫志强(1970-),男,辽宁朝阳人,工程师,从事水利水电、市政工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)