

# 荷载分散型锚索的改进研究及应用

甘国荣<sup>1</sup> 吕志诚<sup>2</sup> 杨开壮<sup>1</sup> 夏赛男<sup>1</sup> 庞锐剑<sup>1</sup>

(1 广西柳州欧维姆机械股份有限公司 2 台湾宏舜工程有限公司)

**摘要:** 本文通过对压力分散型锚索主要结构特点的分析, 指出其索体的结构缺陷, 并进一步提出应用新型让压锚具技术对预应力锚索的结构改进, 克服了原有的压力分散型锚索结构的固有缺陷。在相同的锚固机理下, 作者提出根据锚固需要可设计让压锚具的让压点, 使预应力锚索具有一定的应力释放功能, 能将锚固岩土体的过大变形释放, 有效保护锚索的使用应力水平, 提高锚索使用的安全性和耐久性。经过工程应用, 证明其结构合理, 锚固方便, 极大提高了施工的可靠性。

**关键词:** 预应力 岩土锚固 荷载分散 锚索 让压锚具 施工技术

## 1 引言

压力分散型锚索作为一种锚固段荷载分散的锚索类型, 因其能较好地实现了锚索在土质地层的有效锚固, 在边坡锚固工程中得到了大量应用。但在近年来, 压力分散型锚索的锚固失效时有发生, 压力分散型锚索的耐久性问题引起了业内各方的重视, 甚至有相关研究文献提出压力分散型锚索不宜作为永久锚索使用。

因此, 研究压力分散型锚索在使用过程中发现的问题, 加以改进并克服其结构缺陷, 这对提高预应力锚索质量及工程耐久性, 消除锚固工程的安全隐患是很有必要的。



图1 边坡锚索锚头整体脱锚



图2 台湾北二高速因锚固失效的滑坡

## 2 压力分散型锚索主要结构特点

压力分散型锚索与拉力型锚索不同, 其锚索体被浆体固结后, 以一定荷载张拉对应于承载结构的钢绞线时, 设置在不同深度部位的数个承载结构将压应力通过浆体传递给被加固体, 从而提供被分散的锚固力, 锚固段内的压应力也得以有效均布, 能最大限度地调用锚索整个锚固长度范围内的地层强度。此外, 使用压力分散型锚索体系的整个锚固段长度在理论上是没有限制的, 锚索承载能力可随锚固长度的增长而提高。当锚索的锚固段位于非均质地层中时, 可以合理调整承载体的锚固段长度, 即比较软弱的地层中承载体的锚固段长度应大于比较坚硬的地层中的承载体的锚固段长度, 这样能使不同的地层强度都得到充分地应用。对普通拉力型锚索而言, 当锚固段长度大于某一定值时, 其总体承载能力增量很小或无任何增加。压力分散型锚索的基本结构原理如图3所示, 综上所述, 压力分散型锚索的优点很突出, 但其缺陷也很突出。

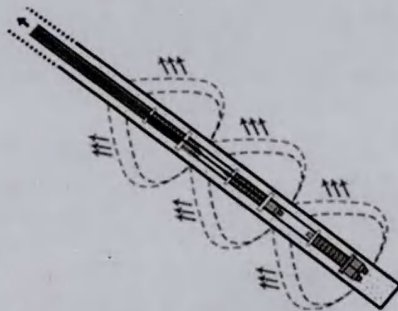


图3 压力分散型锚索结构示意图

摘自: 2013海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集

通过分析压力分散型锚索的结构特点和作用机理,我们发现由压力分散型锚索的结构特点所带来的主要结构缺陷有以下几点:

1) 内锚固段承载体的P型挤压锚具下端剥开PE的部份钢绞线与水泥浆体直接接触,造成锚具挤压弹簧或钢绞线锈蚀而脱锚。

2) 张拉端锚下有一部分钢绞线是裸露的,张拉后注水泥浆不密实,也是锚下钢绞线段防腐失效的重要原因,如图4所示。



图4 锚索锚下钢绞线锈断

3) 索体钢绞线不等长,造成了锚索的抗拔力是由单个承载体的拉力整合成整束锚索的拉力,造成破坏从多个承载体中最不利的那个开始,严重的短时间内较短的钢绞线即已被破断失效,如图5所示。

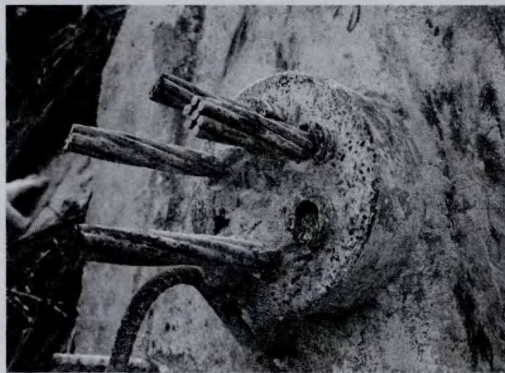


图5 锚索钢绞线断裂后弹出

4) 锚索张拉施工复杂,索体钢绞线不等长,在张拉过程中,特别是多根钢绞线索体,易导致钢绞线张拉的长度失真,加剧钢绞线之间的应力不均匀,使锚索对工况变化更敏感,大大降低了锚索体的耐久性,这也是锚索预应力失效的重要原因。其典型张拉如图6所示。

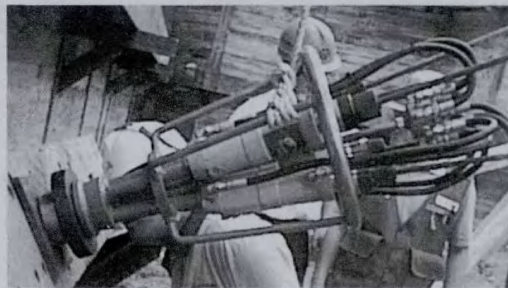


图6 压力分散型锚索典型张拉示意图

5) 锚索采用等应力张拉法,其安装工况与实际使用工况不符,很难进行锚索的整体拉拔试验,其实际极限锚固力无法按规范验证。

### 3 新型让压锚具技术研究及试验

为克服压力分散型锚索的结构缺陷,必须采用新型锚具技术对索体结构进行改进,才能更好地适应工程实践的需要,有效提高索体的耐久性。

在变形较大的地层锚固时,往往需要使用“让压”技术,使预应力锚索(杆)具有一定的塑性变形能力,释放部份外部的载荷增量,保持加固的可靠性,如在矿山使用的钢丝绳锚索、让压锚杆等。这种类型的“让压”技术锚固力低,适应变形量较小,具有较大的局限性。锚具“让压”原理如图7所示。

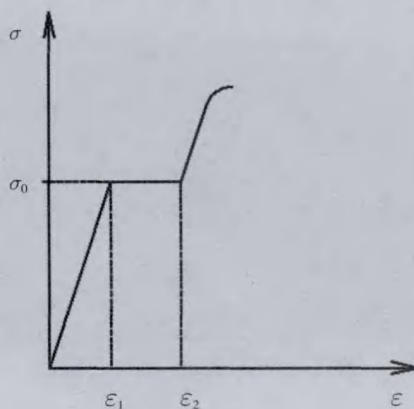


图7 让压原理示意图

新型让压锚具采用的让压锚固单元由让压套和让压簧组成,如图8所示。通过让压点的设计,让压锚固单元能保持对钢绞线的额定恒力输出,稳定输出距离超过1m,对钢绞线力学性能无影响。在实际应用时,可根据需要设计不同让压点的让压锚具,通过配套专用机具GYJD50-250型挤压机,可保证让压锚具安装的可靠性。



图8 让压锚具示意图

#### 4 让压锚具技术对索体结构的改进

为改善压力分散型锚索的索体钢绞线不等长而带来的一系列问题，并能充分发挥压力分散型锚索的优点，让压锚具技术的运用显得尤其重要。

##### 4.1 让压分散型锚索

让压分散型锚索采用钢绞线等长的让压分散体系，使锚索的内锚固段剪应力分布均匀，形成均布式压力分散的锚索。对于不同的使用场合和地质条件，该锚索体系内锚固段让压锚具的间距可以调整，可以满足其使用要求。锚索结构组成如图9所示。



图9 YJM15让压分散型锚索结构示意图

锚索一般设三级承载分散结构，相同位置的让压锚具固定在同一承压板上，形成分级承载锚索。其中第一级采用固定端锚具，为单孔密封挤压锚，第二、三级采用让压分散结构，为让压锚。锚索索体全长采用无粘结钢绞线，张拉力从张拉端传递到让压锚，让压锚自动将超过额定让压力的张拉力依次逐级传递，直至密封挤压锚发生作用。张拉完成后，各级承载单元的锚固力为张拉力的1/3。锚索内锚固段多级承载结构示意图如图10所示。

锚索锚固段的多级让压锚具能自动传递钢绞线的拉应力，这给张拉施工带来了简便，整束锚

索实现了整体一次张拉到设计索力，避免了压力分散型锚索繁琐易错的张拉操作，更有利于锚束的整体受力。

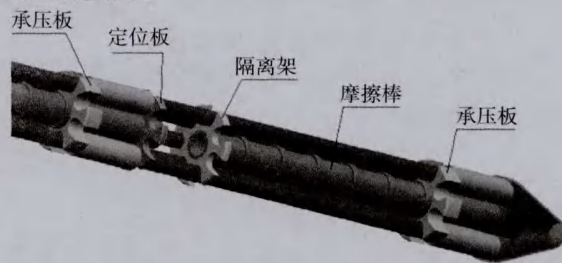


图10 多级承载结构示意图

##### 4.2 锚固机理研究

让压分散型锚索内锚固段作用机理与压力分散型锚索的作用机理一样，为多级压力分散形式，有利于充分利用锚固段岩土体的强度，提供可靠的锚固力。但两种锚索也有区别，即“拔河效应”不同。压力分散型锚索的每级锚固单元都是相对独立的，每个锚固单元都锚固自己锚固单元的钢绞线，是单人对拔的形式，是最不利的工况，其破坏总是从最薄弱的那个“人”即锚固单元开始，如图11所示。让压分散型锚索则不同，其各级锚固单元都作用在同一根绞线上，很容易形成多级承载的合力，不会形成最薄弱的锚固单元，是真正的“拔河效应”，使锚索锚固力更具适应性，如图12所示。

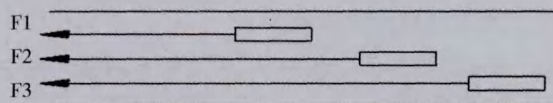


图11 锚索作用原理图（单人对拔）

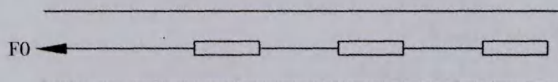


图12 锚索作用原理图（拔河效应）

根据目前预应力锚索的使用情况，设计让压锚具的让压点C为两种：0.2和0.3。

$$其中 C = P_0 / F_m$$

$P_0$  — 让压锚具的让压力 (kN)

$F_m$  — 钢绞线公称极限拉力 (kN)

锚索体系的三级承载结构中采用了二级让压体系，通过锚索多级试验模拟装置进行了锚索实际使用工况的张拉试验，得出了锚索的全应力张拉曲线，试验简图如下：

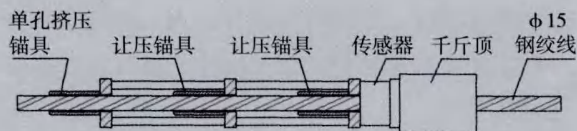


图13 锚索全应力张拉试验布置图

综合 $C_1 = 0.2$ 和 $C_2 = 0.3$ 的锚索试验数据形成组合张拉曲线如下:

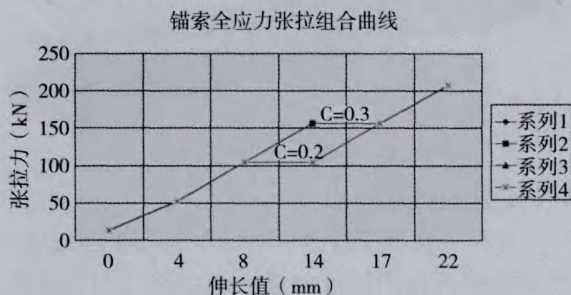


图14 不同让压点锚索全应力张拉曲线图

根据试验布置图, 实测各级锚具间距数据如下:  $L_0 = 870\text{mm}$ ,  $L_1 = 582\text{mm}$ ,  $L_2 = 1207\text{mm}$ ,  $P_1 = P_2 = CF_m$ 。

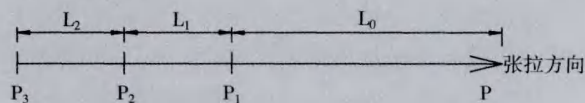


图15 锚索各级锚具间距布置图

当让压锚具 $C=0.2$ 时, A型锚索二级让压体系的让压值为

$$0.4F_m = 104\text{kN}$$

其平台理论伸长值为:

$$A = 2C_1 F_m L_2 / EA = 104 \times 1.207 / (195 \times 140) = 4.6\text{mm}$$

$$\text{试验实测 } A' = (4.3 + 5.2 + 4.8) / 3 = 4.77\text{mm}$$

当让压锚具 $C=0.3$ 时, B型锚索二级让压体系的让压值为

$$0.6F_m = 156\text{kN}$$

其平台理论伸长值为:

$$B = 2C_2 F_m L_2 / EA = 156 \times 1.207 / (195 \times 140) = 6.9\text{mm}$$

$$\text{试验实测 } B' = (6.4 + 6.8 + 7.3) / 3 = 6.83\text{mm};$$

综上, A型锚索采用 $C=0.2$ 的二级让压体系, 适用于多数的岩土体锚固使用, 其锚索二级让压体系在正常张拉作业过程中自动完成, 方便了张拉及锚固操作。B型锚索采用 $C = 0.3$ 的二级让压体系, 锚索恒力输出点为 $0.6F_m$ , 据有关设计规范, 锚索张拉锁定值 $\leq 0.6F_m$ , 锚索恒力输出点比张拉锁定值稍大, 可以满足锚索锁定后对地质

体的变形需要, 进行适度的应力释放, 保持锚索的锁定荷载, 维持地质体的安全性。

当B型锚索 $L_2$ 取为 $3.5\text{m}$ 时, 锚索恒力输出的变形量(即可释放变形)为:

$$B = 2C_2 F_m L_2 / EA = 156 \times 3.5 / (195 \times 140) = 20\text{mm}$$

#### 4.3 让压分散型锚索的结构特征

应用了新型让压锚具技术的让压分散型锚索相对于压力分散型锚索的区别:

1) 让压分散型锚索是采用单根让压锚固单元的多级让压分散锚固体系, 使锚索孔壁剪应力更有效均布;

2) 让压分散型锚索采用的让压锚固单元具有连续恒定的让压力输出特性, 并能将锚固后地质体的变形增长释放, 使锚索对地层具有自适应性, 能保护锚索的使用安全;

3) 让压分散型锚索钢绞线等长, 锚固可靠性更高, 具有良好长期工作性能, 适合多种地层永久锚固使用。

4) 让压分散型锚索安装后可一次整体张拉到位, 无需对钢绞线单独标识, 施工方便, 也适用锚索试验的验证。

#### 5 新型荷载分散型锚索的工程应用

新疆克孜尔水库右坝肩山体边坡形成以后, 由于地层产状近于直立, 走向与边坡走向基本一致, 岩体强度低, 在边坡应力场作用下, 表部岩层逐渐向外弯曲倾倒变形, 折断拉裂, 部分地段顺折断拉裂缝产生了座滑变形。根据勘察阶段、施工及除险加固勘察资料, 右坝肩山体变形范围为坝轴东(下游)125m到主坝轴线西(上游)450m, 高程由1214m至1250m以下山体。

右坝肩新鲜完整岩体的干抗压强度 $8.7 \sim 14.2\text{MPa}$ , 软化系数为 $0.26$ , 属软岩。正常地层产状 $56^\circ \text{NW} \angle 70^\circ \sim 90^\circ$ , 总体近直立。发育迭瓦断层产状 $65^\circ \text{SE} \angle 20^\circ \sim 25^\circ$ 。

该加固项目于2010年采用了OVM.YJM15-6XJA让压分散型锚索共计180束左右, 最长索长 $51\text{m}/\text{束}$ , 设计张拉力为 $1000\text{kN}$ 。经过现场拉拔试验和工程批量应用, YJM15让压分散型锚索的配套机具和施工工法得到了成功验证, 极大提高了锚固的可靠性和简化了张拉施工操作。

(下转第18页)

表2 锻造与未锻造正火状态金相组织对比

样品编号	样品材料	处理状态	硫化物	晶粒度	带状组织	金相组织	备注
12W(未锻造)	40Cr	正火	1级	8级, 局部6级	0级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
12Z(未锻造)	40Cr	正火	1.5级	8级, 局部6级	0级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
12L(未锻造)	40Cr	正火	2级	8级, 局部6级	0.5级	不规则铁素体+珠光体	铁素体含量多于珠光体
42W(锻造)	40Cr	正火	1.5级	8级, 均匀性好	0.5级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体
42Z(锻造)	40Cr	正火	1.5级	7级, 均匀性好	1.5级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体
42L(锻造)	40Cr	正火	1级	7级, 均匀性好	1级	块状珠光体+铁素体	铁素体含量略少于珠光体

样品编号说明: 此批试样选用第三批及第四批的工件, 均为同批原材料。编号第一位数字表示正火, 第二位数字表示取样位置为在500长工件的中部。L表示为工件圆截面的芯部位置, Z表示为工件圆截面的芯部与外层之间的位置, W表示为工件圆截面最外层的位置。

3、对于非锻造工件, 在调质硬度为29HRC~33HRC, 选用调质热处理方式即可。

4、工件锻造后, 其强度及硬度都有所提升, 但冲击吸收功不合格。选用正火+调质热处理方式其综合机械性能更好。

5、通过对锻造与未锻造正火状态金相组织进行对比, 发现锻造的工件由于带状组织的存在及铁素体的含量少, 而造成其冲击吸收功较小。仍需对锻造工艺及热处理工艺进一步的研究, 以

保证工件在锻造后满足机械性的要求。

通过实验对40Cr材料大直径拉杆的热处理方式有了更为合理的选择, 使拉杆的综合机械性能更好, 为今后的拉杆设计提供了参考。

#### 参考文献

- [1] 傅璞. 40Cr热处理工艺及其组织与性能[J]. 机械工程与自动化, 2005(5):110-114
- [2] 孙维连, 杨钰琪. 35CrMo钢拉杆显微组织与性能[J]. 金属热处理, 2005(11):79-81

(上接第6页)



图16 边坡除险加固概况



图17 YJM15让压分散型锚索的施工

## 6 小结

本文通过对普通压力分散型锚索的结构特点

进行分析, 指出其索体钢绞线不等长所带来的一系列问题。作者研究应用了新型让压锚具技术并对锚索结构形式进行了大胆改进, 提出了让压分散型锚索的结构特征, 经过工程应用验证了该新型锚索的结构合理, 张拉锚固简便, 使用性能良好, 希望本文研究成果能在岩土工程中进一步推广应用。

#### 参考文献

- [1] 程良奎, 范景伦等. 《岩土锚固》北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [2] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 《岩土锚固技术的新进展》北京: 人民交通出版社, 2000
- [3] 田裕甲. 压力分散型锚索与拉力型锚索的比较. 岩土锚固工程. 2002.3期
- [4] 刘宁, 高大水等. 《岩土预应力锚固技术应用及研究》湖北科学技术出版社, 2002
- [5] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 《岩土锚固技术手册》北京: 人民交通出版社, 2004
- [6] 刘玉堂, 袁培中, 白彦光. 压力分散型锚索不宜作为永久性锚索. 岩土锚固工程. 2008.2期
- [7] 郑静, 朱本珍. 荷载分散型锚索差异补偿荷载的广义确定. 铁道工程学报. 2008(1).
- [8] 何炳银, 张士环, 尹建国. 高地压巷道锚索让压支护技术的探讨. 煤炭工程. 2005(9)
- [9] 董涛, 谢友友, 祝华林. 让压与锚注法在软岩巷道中的研究与应用. 采矿与安全工程学报. 2008, 25(1).