

# 压力分散型锚索锚固锁定预加拉力值的探讨

王宪章, 杨志银, 姜晓光, 王召磊

(中国京冶工程技术有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518054)

**摘要:** 压力分散型锚索各承载体上钢绞线的长度不同, 长期使用因坡体的向外位移, 引起各承载体上钢绞线拉力的差异, 尤其是当坡体位移到极限值时, 锚索中较短钢绞线拉断的几率较高。解决这一问题可从钢绞线的预加拉力着手。根据压力分散型锚索的受力特性并结合实际经验, 理论推导出合适的预加拉力值, 使其在坡体位移至设计允许值时, 各组钢绞线的拉力趋于相等, 从而使锚索中各组钢绞线在坡体位移至临界值时共同发挥最大锚固作用。

**关键词:** 压力分散型锚索; 预加拉力; 坡体位移

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)07-1320-03

**作者简介:** 王宪章(1953-), 男, 北京人, 本科, 教授级高级工程师, 主要从事地基处理及基坑工程等方面的研究工作。E-mail: wxz1013108@sina.com。

## Study on locked pretension of pressure-dispersive anchors

WANG Xian-zhang, YANG Zhi-yin, JIANG Xiao-guang, WANG Zhao-lei

(China Jingye Engineering Corporation Limited Shenzhen Branch, Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** The same slope displacement causes different tensions among steel strands considering its different lengths. Especially the shorter one, when the slope displacement is close to its limited value, has a higher probability of abruption. The solution to this problem can consider the prestressing of steel strand. Proper pretension value is derived based on mechanical characteristics and practical experience in order to equalize the tension of every steel strand when the slope displacement reaches its allowable value, which makes the anchor work best.

**Key words:** pressure-dispersive anchor; pretension; slope displacement

## 0 引言

由于压力分散型锚索(可拆卸式)具有独特的传力机制和良好的工作性能, 在重要的和永久性岩土锚固工程中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。压力分散型锚索在长期使用中, 坡体由于受多种因素影响可能引起向外位移, 这些位移量对锚索体的所有钢绞线都是相等的, 由于压力分散型锚索的各个承载体的钢绞线长度不同从而引起各组钢绞线拉力的值存在差异(图1)。如果锚索中钢绞线的预加拉力(预加锁定荷载)不合适, 则由坡体位移引起的附加拉力在最短的钢绞线中是最大。这不利的因素可能造成最短钢绞线先被拉断, 从而使坡体失稳而发生工程事故<sup>[2]</sup>。

笔者通过多年的施工经验和对压力分散型锚索特性的研究, 认为解决这一问题可以从压力分散型锚索的锚固锁定预加拉力值着手。即推导出合适的各组钢绞线预加拉力值, 使其在坡体位移(包括边坡和桩锚支护体)至设计允许值时, 各组钢绞线的拉力趋于相等, 从而使锚索中各组钢绞线在坡体位移临界值时共

同发挥最大锚固作用。

## 1 压力分散型锚索的工作概况和参数设定

### 1.1 压力分散型锚索张拉锁定后的工作概况

为了叙述方便, 现以由3个承载体构成的压力分散型锚索为例进行说明。由图1可知, 各承载体上钢绞线原始长度分别是  $L_1, L_2, L_3$ ; 张拉锁定后的钢绞线长度分别是  $L'_1, L'_2, L'_3$ ; 在张拉锁定过程中的钢绞线变形量是  $\Delta L_{s1}, \Delta L_{s2}, \Delta L_{s3}$ ; 锚索张拉锁定后, 外锚头随着坡体的位移而变化, 该过程锚索中各承载体上的钢绞线伸长量  $\Delta L$  是相等。

压力分散型锚索(可拆卸式)的构造特点是每根钢绞线绕过承载体再成对出现在张拉端, 即由单根钢绞线的两端组成一个张拉单元。假设: 在锚索张拉锁定后承载体1、承载体2和承载体3上钢绞线的预拉力值分别为  $P_1, P_2$  和  $P_3$ ; 在锚索使用期间, 边坡因

为各种原因将继续发生变形,多数情况是向外变形(即边坡位移),在此期间坡体位移量  $\Delta L$  是一变量。根据设计和使用要求坡体极限位移量为  $s$ , 即  $\Delta L_{\max}=s$ ; 此时压力分散型锚索的钢绞线变形在弹性变形范围之内, 变形量超出  $s$  值边坡工程即视为破坏, 该情况不予讨论。当边坡变形量趋近于  $s$  值时, 该状态下的钢绞线最佳受力工况是各个承载体的钢绞线拉力值趋于相等。

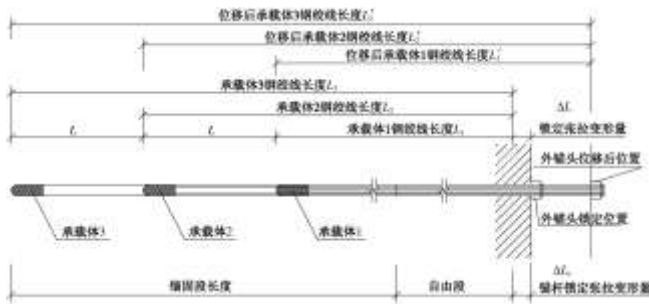


图1 压力分散型锚索在张拉锁定后的工作示意图

Fig. 1 Schematic diagram of locked pressure-dispersive anchor

## 1.2 压力分散型锚索的参数

压力分散型锚索计算参数: 各承载体之间的间距均相等, 以  $L$  表示; 承载体1的钢绞线长度为  $L_1$ , 承载体2的钢绞线长度为  $L_2=L_1+L$ , 承载体3的钢绞线长度为  $L_3=L_1+2L$ ; 坡体在张拉锁定后继续发生的位移量为  $\Delta L$ , 坡体在使用期间的最大允许位移量是  $\Delta L_{\max}=s$ , 钢绞线在张拉锁定过程的弹性变形量为  $\Delta L_s$ ; 钢绞线的弹性模量为  $E_s$ ; 钢绞线的截面积为  $A_s$ 。

## 2 压力分散型锚索预加拉力值推导

推导计算条件: ①当坡体位移  $\Delta L_{\max}=s$  时, 钢绞线的相对应弹性变形量为  $s$ ; 钢绞线总变形量为  $s+\Delta L_s$  ( $\Delta L_s$  分别是  $\Delta L_{s1}$ ,  $\Delta L_{s2}$ ,  $\Delta L_{s3}$ ), 钢绞线处于弹性变形范围内, 此时各个承载体钢绞线的拉力趋向于相等, 设为  $P$ 。②对于某一具体边坡工程来说, 承载体的间距  $L$ 、距孔口最近的承载体钢绞线长度  $L_1$ 、坡体允许最大位移量  $s$ 、承载体数量  $m$ 、钢绞线弹性模量  $E_s$ 、钢绞线截面积  $A_s$  等均为定量。③根据《岩土锚杆(索)技术规程 CECS22:2005》取最短钢绞线的预加拉力值  $P_1 \geq 0.75N_t/m$  ( $N_t$  是锚索轴向拉力设计值) [3-4]。

以压力分散型锚索含有3个承载体为例(图1): 根据《岩土锚杆(索)技术规程 CECS22: 2005》每个单元锚杆的弹性位移量计算公式得以下关系式:

$$\text{承载体 1: } s + \Delta L_{s1} = PL_1 / (E_s A_s) \quad (1)$$

$$\text{承载体 2: } s + \Delta L_{s2} = P(L_1 + L) / (E_s A_s) \quad (2)$$

$$\text{承载体 3: } s + \Delta L_{s3} = P(L_1 + 2L) / (E_s A_s) \quad (3)$$

$$\Delta L_{s1} = P_1 L_1 / (E_s A_s) \quad (4)$$

$$\Delta L_{s2} = P_2 (L_1 + L) / (E_s A_s) \quad (5)$$

$$\Delta L_{s3} = P_3 (L_1 + 2L) / (E_s A_s) \quad (6)$$

式中  $s$  为坡体在张拉锁定后所发生的最大位移量;  $\Delta L_{s1}$  为承载体1的钢绞线在张拉锁定过程的位移量;  $\Delta L_{s2}$  为承载体2的钢绞线在张拉锁定过程的位移量;  $\Delta L_{s3}$  为承载体3的钢绞线在张拉锁定过程的位移量;  $P_1$  为承载体1的钢绞线张拉锁定变形为  $\Delta L_{s1}$  时对应的拉力;  $P_2$  为承载体2的钢绞线张拉锁定变形为  $\Delta L_{s2}$  时对应的拉力;  $P_3$  为承载体3的钢绞线张拉锁定变形为  $\Delta L_{s3}$  时对应的拉力;  $P$  为坡体位移量为  $s$  时的各承载体钢绞线的拉力值;  $L_1$  为距孔口最近的承载体钢绞线长度;  $L$  为各承载体之间的距离;  $E_s$  为钢绞线弹性模量;  $A_s$  为钢绞线截面积(两根钢绞线面积)。

将式(1)~(6)中的  $\Delta L_{s1}$ ,  $\Delta L_{s2}$ ,  $\Delta L_{s3}$  和  $P$  替代后整理得

$$\text{承载体 1: } P_1 \geq 0.75N_t / m \quad (\text{由规范而定})^{[3-4]}, \quad (7)$$

$$\text{承载体 2: } P_2 = P_1 + sE_s A_s L / [L_1 (L_1 + L)], \quad (8)$$

$$\text{承载体 3: } P_3 = P_1 + sE_s A_s \cdot 2L / [L_1 (L_1 + 2L)] \quad (9)$$

式中  $N_t$  为锚杆轴向拉力设计值;  $m$  为承载体数量。

推论: 若压力分散型锚索含有  $m$  个承载体, 承载体  $n$  的 ( $1 \leq n \leq m$ ) 的预加拉力值为

$$P_n = P_1 + sE_s A_s (n-1)L / \{L_1 \cdot [L_1 + (n-1)L]\} \quad (10)$$

为实际工程应用方便起见, 设一工况系数  $C$ :

$$C = sE_s A_s (n-1)L / \{L_1 \cdot [L_1 + (n-1)L]\} \quad (11)$$

压力分散型锚索通用预加拉力值公式为

$$P_n = P_1 + C \quad (12)$$

式中,  $P_n$  为锚索张拉锁定时第  $n$  个承载体钢绞线的预加拉力值,  $P_1$  为承载体1的钢绞线张拉锁定预加拉力(根据规范而定),  $C$  为工况系数(由锚索体设计参数确定)。

式(12)表明, 当坡体位移到设计要求的极限值  $S$  时, 压力分散型锚索各个承载体的拉力值趋于相等的条件是:

(1) 各个承载体钢绞线的预加拉力(锁定拉力)关系:  $P_m > \dots > P_n > P_{n-1} > \dots > P_1$ , ( $1 \leq n \leq m$ );  $P_1 \geq N_t/m$ 。

(2) 当设计参数确定后, 各个承载体的预加拉力的差值是一个固定值。它只与承载体数量  $m$ 、承载体间距  $L$ 、距孔口最近的承载体钢绞线长度  $L_1$ 、坡体最大位移量  $s$ 、钢绞线弹性模量  $E_s$ 、钢绞线截面积  $A_s$  等有关。

$$(3) P_m + \dots + P_n + P_{n-1} + \dots + P_1 \leq N_t。$$

## 3 各个承载体钢绞线预加拉力验算

### 3.1 3个承载体钢绞线预加拉力验算

设计参数：压力分散型锚索轴向设计拉力  $N_t=600$  kN, 承载体数量是 3 个, 承载体之间距离  $L=5000$  mm,  $L_1=15000$  mm, 钢绞线弹性模量  $E_s=1.99 \times 10^5$  MPa, 钢绞线直径为 12.75 mm,  $A_s=197.7$  mm<sup>2</sup>。取  $P_1=0.75$  N<sub>t</sub>/m。由式 (1) ~ (3)、(11)、(12) 得到表 1。

表 1 承载体钢绞线不同位移值下的计算参数

Table 1 Parameters of strand under different displacements    kN

S/mm	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$\sum_{i=1}^3 P_i$	$P$
30	150	169.7	181.5	501.2	228.7
40	150	176.2	192.0	518.2	254.9
50	150	182.8	202.5	535.3	281.1
60	150	189.3	212.9	552.2	307.4
70	150	195.9	223.4	569.3	333.6
80	150	202.5	233.9	586.4	359.8

由表 1 可以看出, 按位移量 80 mm 计算的总预加拉力  $\sum_{i=1}^3 P_i=586.4$  kN, 小于  $N_t=600$  kN; 此时的承载体钢绞线的拉力  $P=359.8$  kN 接近钢绞线的最大拉力  $=371.2$  kN ( $2 \times 185.6$  kN)。这对于位移量控制不严的锚固工程而言是可行的; 若对位移量要求较严的工程, 则应将  $P_1=0.75$  N<sub>t</sub>/m 适当提高。

3.2 4 个承载体钢绞线预加拉力验算

设计参数：压力分散型锚索轴向设计拉力  $N_t=800$  kN, 承载体数量是 4 个, 承载体之间距离  $L=5000$  mm,  $L_1=15000$  mm, 钢绞线弹性模量  $E_s=1.99 \times 10^5$  MPa, 钢绞线直径为 12.75 mm,  $A_s=197.7$  mm<sup>2</sup>。取  $P_1=0.80$  N<sub>t</sub>/m。由式 (1) ~ (3)、(11)、(12) 得到表 2。

表 2 承载体钢绞线不同位移值下的计算参数

Table 2 Parameters of strand under different displacement    kN

S/mm	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$\sum_{i=1}^4 P_i$	$P$
30	160	179.7	191.5	199.3	730.5	238.7
40	160	186.2	202.0	212.5	760.7	264.9
50	160	192.8	212.5	225.6	790.9	291.1
60	160	199.3	222.9	238.7	820.9	317.4
70	160	205.9	233.4	251.8	851.1	343.6
80	160	212.5	243.9	264.9	881.3	369.8

由表 2 可以看出, 位移量控制在 50~60 mm 之间, 钢绞线受力情况均符合规范和设计要求。

4 结 语

压力分散型锚索锚固锁定预加拉力值的通用公式的导出, 为工程技术人员提供了合理的计算方法, 并可以检验其设计参数是否合理; 同时该公式也适合拉力分散型锚索; 从而使压 (拉) 力分散型锚索的设计在工程实际中更加方便、合理。依据该计算公式张拉锁定锚索, 在边坡位移量达到设计最大值时各组钢绞线拉力相等, 这能充分发挥其最佳的锚固作用, 使各组钢绞线的使用更加安全; 使岩土锚固工程的可靠性大大提高。

参考文献:

[1] 程良奎, 范景伦, 等. 压力分散型 (可拆芯式) 锚杆的研究与应用[J]. 冶金工业部建筑研究总院院刊, 2000(2): 1 - 8. (CHENG Liang-kui, FAN Jing-lun, et al. The research and application of pressure-dispersive anchors[J]. Journals of Central Research Institute of Building and Construction, Ministry of Metallurgical Industry, 2000(2): 1 - 8. (in Chinese))

[2] 刘玉堂, 袁培中, 等. 压力分散型锚索不宜作为永久性锚索[C]// 岩土锚固技术的新发展与工程实践. 北京: 人民交通出版社, 2008: 200 - 204. (LIU Yu-tang, YUAN Pei-zhong, et al. Unsuitability of pressure-dispersive anchors as permanent anchors[C]// The New Development and Engineering Practices of Geotechnical Anchoring Technique. Beijing: People's Communications Publishing House, 2008: 200 - 204. (in Chinese))

[3] CECS22:2005 岩土锚杆 (索) 技术规范[S]. 2005. (CECS22:2005 Technical specification for ground anchors[S]. 2005. (in Chinese))

[4] GB 50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 2002. (GB50330—2002 Technical code for building slope engineering[S]. 2002. (in Chinese))