

分段灌浆 张拉 预应力 锚杆 锚索

锚索锚杆

⑧
31-3p

分段灌浆分级张拉预应力锚索(杆)

伍晓军 δ TU 753.8

【摘要】 本文通过分析胶结锚固类锚索(杆)施加预应力时在胶结段引起的剪应力分布,提出了大吨位预应力锚索(杆)在灌浆张拉施工中采用分段灌浆分级张拉的新工艺,从而提高锚索(杆)的抗张拉能力。

【关键词】 锚索 锚杆 预应力 剪应力 新工艺

一、前言

预应力锚索(杆)作为一种工程的加固手段在边坡、坝基、洞室、挡墙等工程中得到了广泛的应用。在目前加固工程中应用的预应力锚索(杆)中,其预应力吨位在数十吨至数百吨。本文通过对锚索的通常的安装工艺中灌浆张拉过程中的受力状态进行理论分析,从而得出在大吨位预应力锚索(杆)施工中采用分段灌浆分级张拉的新工艺。

二、预应力锚索(杆)的抗张拉强度

预应力锚索(杆)一般是用钢绞线、高强钢丝或精轧螺纹钢作为锚索(杆)体材料。用加入一定外加剂的水泥砂浆把锚索(杆)的锚头与锚孔底部的孔壁(围岩)胶结起来。对于锚固段在软岩或土层中,锚固段的钻孔一般还需扩孔。

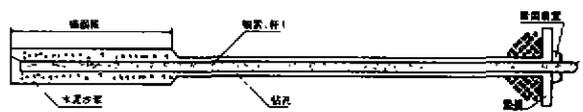


图1 预应力锚索(杆)结构示意图

从预应力锚索(杆)的结构形式(图1)可知其抗张拉强度的控制因素有五个:

- ① 锚索(杆)体的抗拉强度;
- ② 砂浆凝固体与锚头的胶结界面的抗剪强度;
- ③ 砂浆凝固体与钻孔壁的胶结界面的抗剪强度;
- ④ 围岩的抗压和抗剪强度;
- ⑤ 砂浆凝固体抗剪强度。

伍晓军 铁道部科学研究西南分院

在结锚索(杆)进行预应力张拉时,上述五个强度对应着五个应力,只要其中之一达到对应的强度,即认为此预应力锚索(杆)失效(或破坏)。本文仅对上述②、③强度对应的应力进行分析。

三、锚索(杆)锚固段的受力分析

从受张拉预应力P作用的锚固段(长度为l)中取出一微段dx(图2)作平衡分析有:

$$dN_x = \tau_x U dx \quad (1)$$

其中, N_x 、 τ_x 为x处锚头的轴力和剪应力; U为锚头的周长, $U = \pi \Phi$; Φ 为锚头的直径。

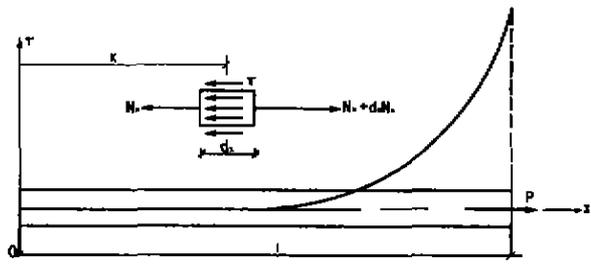


图2 锚索(杆)锚固段的受力分析

锚头周边剪应力 τ_x 与锚头和钻孔壁的相对位移 U_x 成正比:

$$\tau_x = KU_x$$

$$\frac{dN_x}{dx} = \tau_x U = KUU_x \quad (2)$$

$$\frac{d^2 N_x}{dx^2} = KU \frac{dU_x}{dx} = KU \epsilon = KU \frac{N_x}{EA}$$

$$\frac{d^2 N_x}{dx^2} - \frac{KU}{EA} N_x = 0$$

其中, ϵ 为锚头的应变; E为锚头的弹模; A为锚头的截面积

$$\text{令 } a^2 = KU/EA \quad (3)$$

$$\text{得 } N_x = C_1 e^{ax} + C_2 e^{-ax} \quad (4)$$

锚索锚杆

代入边界条件: $x=0$ 时 $N_x=0$; $x=l$ 时 $N_x=P$

即 $C_1+C_2=0$ (5)

$C_1e^{al}+C_2e^{al}=P$

由(5)解得:

$C_1 = \frac{P}{2\text{sh}(al)}, C_2 = -\frac{P}{2\text{sh}(al)}$ (6)

其中, $\text{sh}(x)=(e^x-e^{-x})/2$ 为双曲正弦函数。

代(6)入(4)得:

$N_x = \frac{\text{sh}(ax)}{\text{sh}(al)}P$ (7)

$\tau_x = \frac{a \text{ch}(ax)}{U \text{sh}(al)}P$ (8)

记 $\tau(l, x, P) = \tau_x = \frac{a \text{ch}(ax)}{U \text{sh}(al)}P$ (9)

可当知 $x=0$ 和 $x=l$ 处时, τ_x 取得最小值和最大

值

$\tau_{\min} = \frac{a}{U \text{sh}(al)}P$ (10)

$\tau_{\max} = \frac{a}{U} \text{cth}(al)P$ (11)

由(11)可知当 $al \rightarrow 0$ 时, $\text{cth}(al) \rightarrow \infty$, 所以一次灌浆长度 l 必须超过一定长度。而在剪切强度一定时, 当 $al \rightarrow \infty$ 时, $\text{cth}(al) \rightarrow 1$, 见图3。也就是说灌浆段达到一定长度后, l 的增长对其抗拉张力 P 的增长影响甚微。因此一次灌浆长度不宜过长。

为了在相同灌浆长度下提高其抗张拉能力, 本文提出分段灌浆分级张拉的新方法。对于分段灌浆分级张拉, 设各分段的灌浆长度为 l_i , 相应的各级张拉增量为 ΔP_i , 共分 n 段。

对于第一段, 其最大剪应力 τ_1 为:

$\tau_1 = \sum_{i=1}^n \tau_{1i} = \sum_{i=1}^n \tau(L_1, L_1, \Delta P_1)$

对于第二段, 其最大剪应力 τ_2 为:

$\tau_2 = \sum_{i=2}^n \tau_{2i} = \sum_{i=2}^n \tau(L_1, L_2, \Delta P_1)$

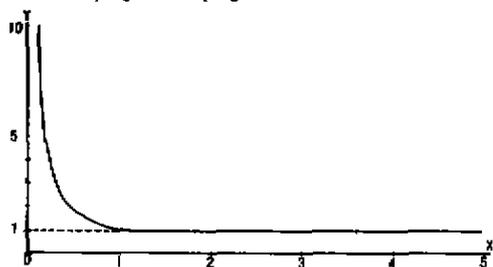


图3 双曲余切函数曲线

对于第 i 段, 其最大剪应力 τ_i 为:

$\tau_i = \sum_{j=1}^i \tau_{ji} = \sum_{j=1}^i \tau(L_i, L_j, \Delta P_j)$

对于第 n 段, 其最大剪应力 τ_n 为:

$\tau_n = \sum_{j=1}^n \tau_{ni} = \sum_{j=1}^n \tau(L_n, L_n, \Delta P_n)$
 $= \tau(L_n, L_n, \Delta P_n)$

上述各式中 $\tau_{ji} = \tau(L_i, L_j, \Delta P_j)$ 为第 i 级张拉增量对第 i 段灌浆体外端处剪应力的贡献。

$\tau_i = \sum_{j=1}^i \tau_{ji}$ 为第 i 段灌浆体外端处总的剪应力。

其中 $(j=1, 2, \dots, n), (i=j, j+1, \dots, n)$

$L_i = \sum_{j=1}^i l_j \quad (i=1, 2, \dots, n)$

因此, 在分段灌浆分级张拉施工中只要使 $\text{Max}\{\tau_j (j=1, 2, \dots, n)\} \leq [\tau]$, 那么灌浆体即能提供可靠的设计张拉力。

四、例题

例如: $E_g=2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ $\Psi=0.10\text{m}$ $A=\pi \Psi^2/4$

$r_0=0.05\text{m}$ $U=\pi \Psi$

$E_t=1.8 \times 10^4 \text{MPa}$ $K=12 \times r_0 \times E_t=1.08 \times 10^4 \text{MPa/m}$

$a^2=KU/E_gA=4K/E_g\Psi=(4 \times 1.08 \times 10^4)/(2.1 \times 10^5 \times 0.05)=4.11(\text{m}^{-1})$

$a=2.03(\text{m}^{-1})$

设总张拉力为 $P=3000\text{kN}$, 总灌浆长度为 $L=6\text{m}$ 。

方案1: 一次灌浆, 张拉到位

由式(12)可知此时 $n=1$ 锚头外端处的剪应力为: $\tau=T(L, L, P)=(a/U)\text{cth}(aL) \times P$

此时的 τ 即为此方案的最大剪应力

$aL=2.03 \times 6=12.18$

$\tau=(a/U)\text{cth}(aL) \times P \approx (2.03/0.314) \times 1.0 \times 3000 \approx 19.4(\text{MPa})$

方案2: 分两次灌浆 ($l_1=l_2=3\text{m}$, 即 $L_1=3\text{m}, L_2=6\text{m}$)。两级张拉 ($\Delta P_1=\Delta P_2=\Delta P=1500\text{kN}$)。

由式(12)可知此时 $n=2$ 各灌浆段外端处的剪应力分别为:

锚索锚杆

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \sum_{i=1}^2 T(L_i, L_i, \Delta P_i) = \sum_{i=1}^2 \frac{a \operatorname{ch}(aL_i)}{U \operatorname{sh}(aL_i)} \Delta P_i \\ &= \frac{a \operatorname{ch}(aL_1)}{U \operatorname{sh}(aL_1)} \Delta P_1 + \frac{a \operatorname{ch}(aL_2)}{U \operatorname{sh}(aL_2)} \Delta P_2 \\ &= \frac{a}{U} \left[\frac{\operatorname{ch}(aL_1)}{\operatorname{sh}(aL_1)} + \frac{\operatorname{ch}(aL_2)}{\operatorname{sh}(aL_2)} \right] \Delta P \\ &\approx \frac{2.03}{0.314} (1.0 + 0.00227) \times 1500 \approx 9.72 \text{ (MPa)} \\ \tau_2 &= \frac{a \operatorname{ch}(aL_2)}{U \operatorname{sh}(aL_2)} \Delta P_2 \approx \frac{2.03}{0.314} \times 1.0 \times 1500 \approx 9.70 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

方案2的最大剪应力 $\tau_{\max} = \operatorname{Max}\{\tau_1, \tau_2\} = 9.72 \text{ MPa}$

方案3: 分三次灌浆 ($L_1=L_2=L_3=2\text{m}$, 即 $L_1=2\text{m}$, $L_2=4\text{m}$, $L_3=6\text{m}$),

三级张拉 ($\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 = \Delta P = 1000\text{kN}$)

由式(12)可知此时 $n=3$ 各灌浆段外端处的剪应力分别为:

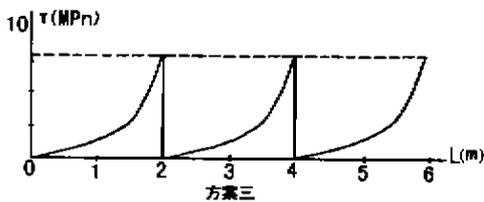
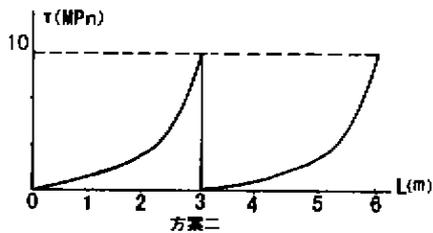
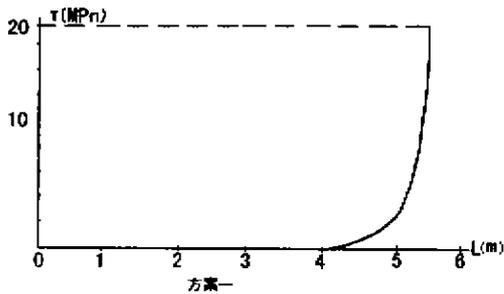


图4 各方案锚固段的剪力图

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{a \operatorname{ch}(aL_1)}{U \operatorname{sh}(aL_1)} \Delta P_1 + \frac{a \operatorname{ch}(aL_2)}{U \operatorname{sh}(aL_2)} \Delta P_2 + \frac{a \operatorname{ch}(aL_3)}{U \operatorname{sh}(aL_3)} \Delta P_3 \\ &= \frac{a}{U} \left[\frac{\operatorname{ch}(aL_1)}{\operatorname{sh}(aL_1)} + \frac{\operatorname{ch}(aL_2)}{\operatorname{sh}(aL_2)} + \frac{\operatorname{ch}(aL_3)}{\operatorname{sh}(aL_3)} \right] \Delta P \\ &\approx \frac{2.03}{0.314} (1.0 + 0.0172 + 0.0003) \times 1000 \approx 6.58 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \frac{a \operatorname{ch}(aL_2)}{U \operatorname{sh}(aL_2)} \Delta P_2 + \frac{a \operatorname{ch}(aL_3)}{U \operatorname{sh}(aL_3)} \Delta P_3 \\ &= \frac{a}{U} \left[\frac{\operatorname{ch}(aL_2)}{\operatorname{sh}(aL_2)} + \frac{\operatorname{ch}(aL_3)}{\operatorname{sh}(aL_3)} \right] \Delta P \\ &\approx \frac{2.03}{0.314} (1.0 + 0.0172) \times 1000 \approx 6.576 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_3 &= \frac{a \operatorname{ch}(aL_3)}{U \operatorname{sh}(aL_3)} \Delta P_3 \\ &\approx \frac{2.03}{0.314} \times 1.0 \times 1000 \approx 6.46 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

方案3的最大剪应力 $\tau_{\max} = \operatorname{Max}\{\tau_1, \tau_2, \tau_3\} = 6.58 \text{ MPa}$ 。

五、结语

从以上三个方案可知当最终提供的张拉力相同时, 分段灌浆分级张拉方案在锚头引起的最大剪应力要比一次灌浆张拉方案的小很多。因此在剪应力强度确定时, 分段灌浆分级张拉方法能提供更大的张拉力。

但是, 分段灌浆分级张拉给施工带来不便, 多次张拉要求在上次灌浆体凝固达到一定强度后才能进行张拉工作。所以使单根锚索(杆)的安装时间加长, 须采用快硬早强类胶结剂作为锚固剂, 以便缩短施工周期。

参考文献

1. 伍晓军, 全长锚固式锚杆与围岩的相互作用(硕士学位论文), 1992。
2. 王建宇、伍晓军, 隧道工程中全长粘胶型锚杆使用中的两个问题, 岩土锚固工程, 1992。
3. 许立珊, 端点及全长粘胶混合锚固锚杆的受力分析, 东北工学院。

注: 本文原载于铁道部科学研究院西南分院《建院四十周年论文集》