

①

隧道工程

全长粘结型锚杆

软弱围岩

垫板

锚索锚杆

30-36

隧道工程中全长粘结型锚杆使用的两个问题

王建宇 伍晓军

U451.2

【摘要】 针对我国隧道工程中使用全长粘结型锚杆存在的问题, 本文采用空间轴对称有限元程序ASFEM对锚杆与围岩之间的相互关系进行了计算分析, 得出下列两结论:

1. 用拉拔试验来检验全长粘结型锚杆的质量是不可行的。现行规范、规程、标准或技术指南, 将拉拔试验结果作为评定锚杆质量状况的综合性指标, 甚至规定抗拉拔力达到50kN即视为合格的条文在理论上是不正确的, 在工程实践上导致有害的结果。此类条文须尽早修订。

2. 目前国内隧道工程中广泛采用的不带垫板和锚头的砂浆锚杆虽然结构简单、安装方便, 但常常会因其支护能力不足而致使围岩失稳, 增设垫板和锚头后可以改善杆受力条件、增强其支护能力, 应大力推广带垫板和锚头的砂浆锚杆。特别是对于软弱围岩, 垫板和锚头更是锚杆十分必要的组成部分。

【关键词】 锚杆 全长粘结式 内力分析

一、问题的提出

考察使用新奥法修建隧道失败的实例可以发现, 一些工程中所发生的围岩失稳、坍塌, 不少是锚杆没有起到应有的支护作用所致。这里, 当然有锚杆布置和参数设计方面的原因, 但主要是锚杆安装质量和锚杆结构形式方面的原因。

在一些技术规则、规范和指南(以下称“规范”)中规定, 在隧道工程中可以结合围岩条件和工程具体情况选用端头锚固型、全长粘结型或端头锚固与全长粘结并用型等多种结构形式的锚杆。但是, 在我国的隧道工程中特别是在铁路隧道中, 作为永久支护的锚杆几乎清一色地采用不带锚头和垫板的螺纹钢杆体砂浆锚杆。一般的观念认为, 这种砂浆锚杆既然已沿全长“锚固”在围岩中, 锚头和垫板自然就是多余的了。同我国的情况不同, 国外一些隧道工程中使用的全长粘结式锚杆大多设有垫板, 有的还具有机械式或快凝胶结材料药包制的锚头。因此, 使用全长粘结型锚杆, 要不要强调设置垫板和锚头, 这个问题的确值得认真研究。

另一方面, 一些现行规范都规定把拉拔试验作为控制和检验锚杆安装质量的一个主要手段。

王建宇 铁道部科学研究院西南分院研究员、博士生导师
伍晓军 铁道部科学研究院西南分院

例如《铁路隧道喷锚构筑法技术规则》送审稿规定“锚杆质量检查应以拉拔试验为主。”《铁路隧道新奥法指南》第5.1.6条则指出“锚杆的锚固力或抗拔力一般可作为锚杆质量状况的综合指标, 进行锚固力或抗拔力试验时, 达到设计指标即为‘合格’”。有的规范还规定抗拔力大于50kN即可。而工程实践却表明, 有时候, 拉拔试验“合格”的砂浆锚杆, 其灌浆质量可能完全不合格, 不可能对围岩起到有效的支护作用。规范关于拉拔试验的上述条文在很多场合下已经给监理工程师正确进行锚杆安装质量检查和评定造成困难, 并经常引起建设和承包单位之间关于锚杆质量是否合格的争端。直接给施工安全和工程质量带来危害。

阐明拉拔试验的力学本质, 指出其作为灌浆锚杆质量检验手段的局限性, 乃当务之急。

针对上述问题, 本文拟采用数值方法对锚杆同围岩之间的相互作用进行分析和探讨。为改善锚杆的结构形式和安装工艺, 以及修改规范有关条文提供理论上的参考依据。

二、计算模型

与一般的平面问题有限元法程序不同, 本文采用空间轴对称有限元法程序, 在所采用的计算模型中, 岩体视为有一个临空面的半无限体, 被

锚索锚杆

离散成截面四边形的旋转体单元。锚杆被置于旋转轴位置，处理成一维线单元。而锚杆与围岩之间的粘结体则用一种一维的“线状节理单元”来模拟。各类单元中位移分布模式则采用与坐变换式相同的形函数（见图1）。

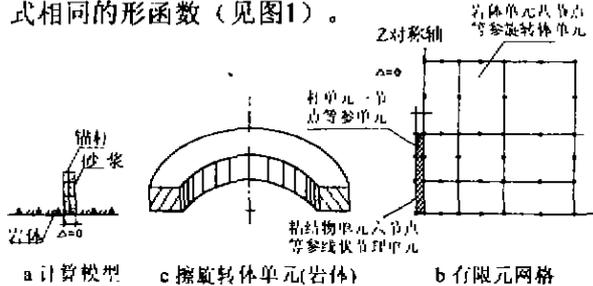


图1 计算模型

岩体单元为八节点等参元，其单元刚度矩阵可表示为下式：

$$[K]^e = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{18} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{28} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{81} & K_{82} & \dots & K_{88} \end{bmatrix}$$

式中 $K_{ij} = 2\pi \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B_i][D][B_j] r |J| d\xi d\eta$

($i=1-8, j=1-8$)

其中 $[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial r} & 0 & \frac{N_i}{r} & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial r} \end{bmatrix}$

$r = \sum_{i=1}^8 r_i N_i$

|J| 为jacobian 矩阵行列式即

$$|J| = \begin{vmatrix} \frac{\partial r}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial r}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \end{vmatrix}$$

[D] 为岩体材料的弹性矩阵：

$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \times$

$$\begin{vmatrix} 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & \frac{\mu}{1-\mu} & 0 \\ \frac{\mu}{1-\mu} & \frac{\mu}{1-\mu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \end{vmatrix}$$

以上各式中：

r, z为整体坐标；

ξ, η 为局部坐标；

E——弹性模量；

μ ——泊松比。

而 N_i 为八节点等参元形函数，对于 $i=1-8$

有：

$N_1 = (1/4)(1-\xi)(-\xi-\eta-1)$ ；

$N_2 = (1/2)(1-\xi^2)(1-\eta)$ ；

$N_3 = (1/4)(1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1)$ ；

$N_4 = (1/2)(1+\xi)(1-\eta^2)$ ；

$N_5 = (1/4)(1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1)$ ；

$N_6 = (1/2)(1-\xi^2)(1+\eta)$ ；

$N_7 = (1/4)(1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1)$ ；

$N_8 = (1/2)(1-\xi)(1-\eta^2)$ 。

粘结体单元为六节点等参元线状节理单元。

同描述两个平面相接触的Goodman节理面单元不同，此处相互接触的是两根一维的“线”（图2）。

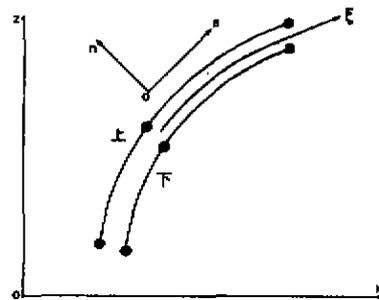


图2 六节点等参线状节理单元

仿照Goodman模型，我们也假定节理上下两边的一对对应点相对位移同节理中的“应力”成正比，即：

$\sigma_s = K_s (U_{s1} - U_{s2})$

$\sigma_n = K_n (U_{n1} - U_{n2})$

可写成 $\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_s \\ \sigma_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{s1} - U_{s1} \\ U_{n1} - U_{n1} \end{Bmatrix}$

式中 U_{s1}, U_{s2} 及 U_{n1}, U_{n2} 分别为上下边一对

对应点的切向和法向位移。令 $\begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix} = [D]$ 。

锚索锚杆

[D]称为粘结体单元的弹性矩阵。

同一般平面问题不同的是, 此处 σ_n 是指粘结体表面总剪切力在锚杆长度向上的线性集度, 其量纲为[力][长度]⁻¹, σ_n 同粘结体剪切应力 τ 之间的关系为:

$$\tau = Q / (2 \pi r_0)$$

式中 r_0 ——锚杆半径;

σ_n 的定义类同。

相应地, K_s 和 K_n 的量纲为[力][长度]⁻²。

利用虚位移原理可推得粘结体单元刚度矩阵子块表达式为:

$$K_{ij} = \int_{-1}^1 \left\{ \begin{matrix} K_s a^2 + K_n \beta^2 & (K_s - K_n) a \beta \\ (K_s - K_n) a \beta & K_n \beta^2 + K_s a^2 \end{matrix} \right\} \frac{N_i N_j}{\phi(\xi)} d\xi$$

(i=1~6, j=1~6)

$$\text{式中 } a = \sum_{i=1}^3 r_i \frac{\partial N_i}{\partial \xi}, \quad \beta = \sum_{i=1}^3 z_i \frac{\partial N_i}{\partial \xi}$$

$$\phi(\xi) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^3 r_i \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^3 z_i \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \right)^2}$$

其中 r_i, z_i 为节点i的整体坐标。而粘结体单元的形函数则可表示为:

$$\begin{aligned} N_1 &= (1/2) \xi (\xi - 1) \\ N_2 &= 1 - \xi^2 \\ N_3 &= (1/2) \xi (\xi + 1) \quad N_4 = -N_1 \\ N_5 &= -N_2, \quad N_6 = -N_3 \end{aligned}$$

锚杆单元为三节点等参杆单元, 其刚度矩阵的子块 K_{ij} 可表示为:

$$K_{ij} = \int_{-1}^1 E_p A \begin{vmatrix} \left(\frac{\partial r}{\partial \xi}\right)^2 & \frac{\partial r}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial r}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial z}{\partial \xi} & \left(\frac{\partial z}{\partial \xi}\right)^2 \end{vmatrix} \times a_i a_j [\phi(\xi)]^{-3/2} d\xi$$

(i=1~3, j=1~3)

$$\text{式中 } \phi(\xi) = \left(\frac{\partial r}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \xi}\right)^2,$$

$$a_i = \frac{\partial N_i}{\partial \xi}, \quad a_j \text{类推。}$$

其中形函数 $N_1 = (1/2) \xi (\xi - 1)$;

$N_2 = 1 - \xi^2$;

$N_3 = (1/2) \xi (\xi + 1)$ 。

所编制的ASFEM程序经与理论解对比, 证实了其正确性。

三、拉拔试验的力学本质

算例1: 假定岩体弹模 $E_r = 1 \times 10^4 \text{MPa}$, 泊松比 $\mu = 0.3$

锚杆长 $L = 3.0 \text{m}$, 直径 $\phi 22 \text{mm}$, 弹模 $E_t = 2.1 \times 10^5 \text{MPa}$

粘结体 $K_s = 200 \text{MN/m}^2$, $K_n = 1 \times 10^{10} \text{MN/m}^2$

分别按图 3a、b所示的简化图式计算拉拔力和隧道开挖引起的释放荷载作用下的锚杆受力情况。兹将两种情况下锚杆轴向应力和表面剪切力对比列表1、表2及图4。

从计算结果可以看出, 拉拔试验中, 锚杆杆体受力情况 (无论是轴向应力或是表面剪切力) 同释放荷载作用下的实际受力状态是迥然不同的

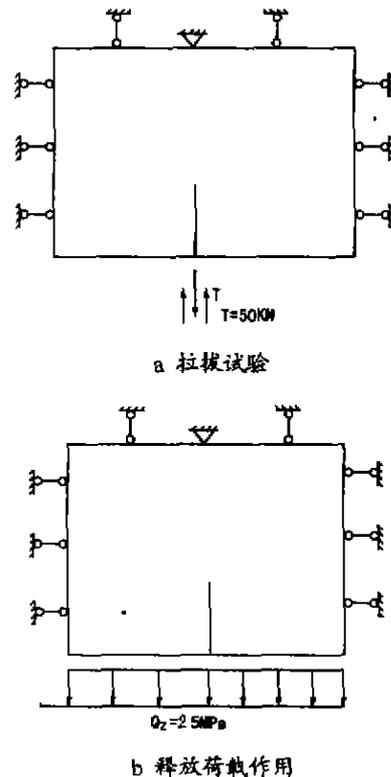


图3 拉拔试验和释放荷载作用下锚杆受力计算图式

锚索锚杆

(图4b)。以锚杆表面剪切力为例, 在拉拔试验中, 剪切力峰值出现在孔口段, 向锚杆的另一

表1 锚杆轴向应力

距孔口 距离(cm)	拉拔力为50kN		释放荷载2.5MPa	
	数值解 (MPa)	相对值	数值解 (MPa)	相对值
0	126.80	100.00	1.415	4.42
25	90.38	71.39	11.71	36.58
50	56.91	44.95	21.27	66.45
75	40.77	32.20	25.58	79.91
100	25.81	20.49	29.63	92.56
125	18.49	14.61	30.82	96.28
150	11.70	9.24	32.01	100.00
175	8.316	6.57	30.84	96.34
200	5.179	4.09	29.94	93.53
225	3.518	2.78	25.63	80.07
250	1.988	1.57	22.03	68.92
275	0.9706	0.77	11.74	36.68
300	-0.04704	-0.04	1.425	4.45

表2 锚杆表面剪切力

距孔口 距离(cm)	拉拔力为50kN		释放荷载2.5MPa	
	数值解 (MPa)	相对值	数值解 (MPa)	相对值
0	-80.47	-100	22.94	99.61
25	-53.62	-68.04	15.23	66.13
50	-35.64	-45.22	10.02	43.51
75	-23.89	-30.31	6.393	27.76
100	-16.08	-20.40	3.787	16.44
125	-10.84	-13.75	1.760	7.74
150	-7.357	-9.34	-0.01346	-0.0
175	-5.012	-6.36	-1.734	-7.53
200	-3.471	-4.40	-3.762	-16.34
225	-2.460	-3.12	-6.375	-27.68
250	-1.842	-2.34	-10.02	-43.51
275	-1.507	-1.91	-15.27	-66.30
300	-1.413	-1.79	-23.03	-100.00

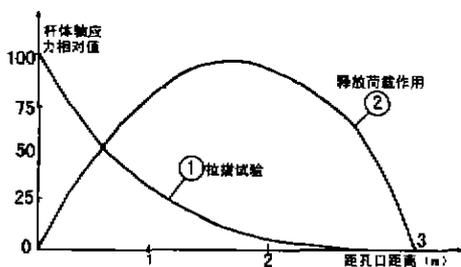


图4a 锚杆轴向应力分布图

端, 迅速衰减。平衡拉拔力的剪切力, 实际上只是分布在靠近孔口那一段杆体上。主要受力区(指剪切力相对植大于20%的杆体部分) 占总长仅1/3左右, 杆体的其余部分所受剪切力微乎其微。但是, 实际工程中锚杆表面剪切力在岩体深部的一端也将出现一个峰值。这就是说, 如果锚杆在岩体深部的一端一段范围内灌浆质量不合格并不会影响拉拔试验的抗拔力, 然而却会使锚杆失效或降低支护能力, 在实际工程中造成危害。事实上, 在拉拔试验中, 真正受检验的只是孔口部分的那一段粘结体。至于杆体的其余部分, 特别是在岩体深部的那一部分, 即使粘结型物灌浆不合格也不能被检验出来。

运用ASFEM程序可对全长粘结型锚杆的抗拔力进行计算。

算例2: 岩体、锚杆及粘结体参数同算例1, 假定粘结体分布在从孔口或孔底算起, 长度分别为 l_1, l_2 的范围内, ($l_1=30, 60, \dots, 300\text{cm}; l_2=30, 60, \dots, 300\text{cm}$)。在程序中, 锚杆拉拔时的“拉坏”考虑了三种可能:

- (1) 杆体拉断;
- (2) 岩体拉坏(采用Mohr—coulomb破坏准则);
- (3) 粘结材料抗剪粘结力不足。

同时假定:

岩体强度指标 $C=1\text{MPa}, \phi=30^\circ$;

锚杆材料破断应力 $\sigma_b=400\text{MPa}$;

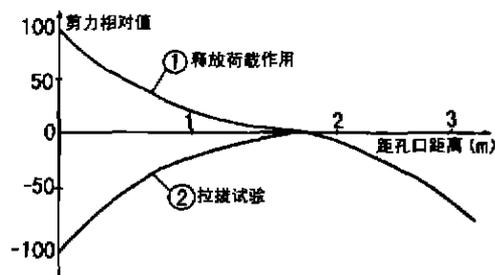


图4b 锚杆断面剪切力分布图

图4 拉拔试验和锚杆实际受力形态的比较

锚索锚杆

胶结材料200[#]砂浆破坏剪切力 $\tau_{ab}=140\text{kN/m}$, 计算结果见表3。



3.0m		3.0m	
胶结物孔口段的充填长度 l_1, cm	抗拔力 kN	胶结物在孔底段的充填长度 l_2, cm	抗拔力 kN
0	—	0	—
30	38.8818	30	39.0625
60	64.3457	60	65.0000
90	76.9434	90	78.1250
120	82.4121	120	84.3750
150	84.6094	150	86.2500
180	85.0000	180	87.5000
210	85.6250	210	87.5000
240	85.6250	240	87.5000
270	85.6250	270	87.5000
300	85.6250	300	87.5000

对于本算例的情况, 锚杆拉拔破坏的形式均为胶结体抗剪粘结力不足而剪开。

计算结果表明, 在本算例的情况下, 无论在孔底还是在孔口, 只要有短短60cm长的一段砂浆, 即使其余部分均无砂浆, 拉拔结果就能满足某些规范要求的50kN的抗拔力。而这样的砂浆锚杆显然是没有什么支护能力的。

此外, 从表3可以看出, 当砂浆充填长度大于120cm (无论在孔口还是在孔底) 以后, 锚杆的抗拔力基本不变, 这就是说, 除了长度为120cm的那一段外, 无论锚杆其余部分的灌浆质量如何都不能从抗拉拔试验中检验出来。这是进一步说明了拉拔试验实际上检验不了锚杆的灌浆质量。

四、全长粘结型锚杆中垫板和锚头的作用

可以认为, 垫板和锚头的作用在于分别使锚杆在孔口和孔底的那两点上同岩体有相同的位移。在利用ASFEM程序计算时可以分别将孔口

节理单元的孔口端一对节点和孔底端一对节点赋予相同的节点号, 如图5所示。

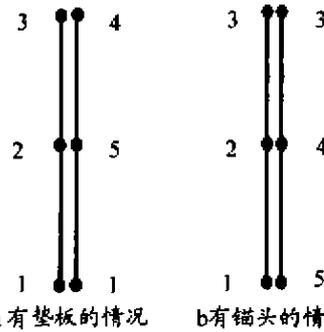


图5 考虑垫板和锚头的特殊情况

算例3: 采用图3的计算图式并假定

岩体: 弹模 $E_r=1 \times 10^4 \text{MPa}$, 泊松比 $\mu=0.3$

锚杆: 长度 $l=3.0\text{m}$, 直径 $\phi 22\text{mm}$, 弹模 $E_s=2.1 \times 10^6 \text{MPa}$

胶结体: $K_s=200\text{MN/m}^2$, $K_n=1 \times 10^{10}\text{MN/m}^2$

释放荷载取 $O_2=2.5\text{MPa}$

加垫板和锚头后的锚杆与无垫无锚头锚杆受力情况的对分别示于表4、表5、图6及图7。

可以看到, 垫板和锚头的存在在很大程度上改变了锚杆的受力条件, 改善了锚杆的工作状态:

1. 降低了由胶结材料传递的杆体所承受的剪切力。以无垫板无锚头情况下沿杆体最大剪

表4 锚杆轴应力分布 (MPa)

距孔口距离 (cm)	带锚头	带垫板	带锚头及垫板	无锚头无垫板
0	13.61	311.9	318.0	13.71
25	113.6	316.8	324.2	110.6
50	205.7	324.5	333.0	199.9
75	251.2	330.3	342.8	240.8
100	293.8	336.7	352.8	279.3
125	314.5	333.0	357.7	291.1
150	334.0	330.4	362.6	303.0
175	341.7	312.5	262.9	292.6
200	348.6	297.6	363.0	282.1
225	348.5	253.9	359.7	244.3
250	347.1	218.7	355.1	205.0
275	345.6	116.6	352.6	114.0
300	344.2	14.61	350.2	14.67
最大值 σ_{max}	348.6	336.7	363.0	303.0
均匀性系数 $\frac{\sigma - m_n}{\sigma}$	0.63	0.64	0.96	40.50

锚索锚杆

距孔口距离 (cm)	带锚头	带垫板	带锚头及垫板	无锚头无垫板
0	223.3	0.000	0.000	218.8
25	147.4	7.597	9.431	142.8
50	99.13	14.21	18.09	93.68
75	67.49	9.035	15.05	60.51
100	46.22	2.575	11.50	36.75
125	30.75	-5.391	7.461	17.65
150	19.81	-14.82	3.893	1.109
175	11.33	-26.52	0.5230	-15.44
200	4.677	-42.56	-2.728	-34.60
225	-0.2478	-64.70	-5.247	-58.84
250	-3.983	-97.83	-7.061	-93.20
275	-2.328	-150.5	-3.798	-146.4
300	0.000	-231.1	0.000	-227
$ \tau_{max} $	223.3	231.1	18.09	227
$ \tau_{max} $ 相对值	98.4	101.8	7.97	100

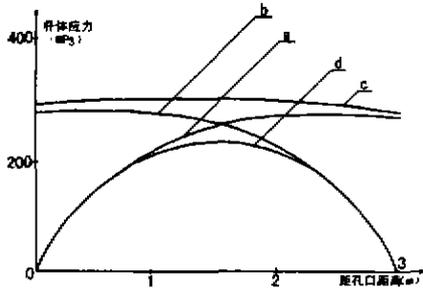


图6 不同锚杆结构杆体轴向应力分布图

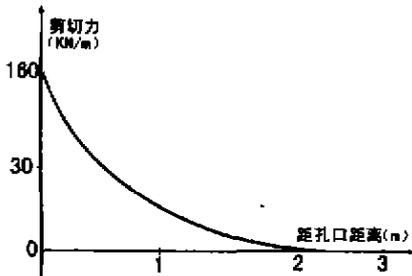


图7a 带锚头情况

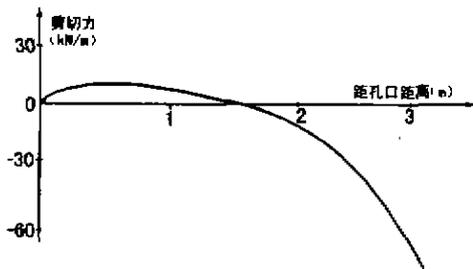


图7b 带垫板情况

力值为100，加锚头和垫板后则降低7.97，效果是明显的。

从图7d可以看出，无垫板无锚头的锚杆杆体剪切力在孔口端和底部产生峰值。因此，常常发现因砂浆强度不足在锚杆孔口段产生围岩表层坍塌或者在孔底段砂浆拉脱，锚杆被连根拔出。锚头和垫板的安设是解决此问题的一个重要途径。

2. 加了垫板和锚头后，杆体内的轴向应力有了增加。特别是杆杆的轴力分布变得较为均匀。引入轴力分布均匀性系数

$$\eta = (\overline{\sigma} - m\sigma) / \sigma \quad (0 < \eta < 1)$$

式中： $\overline{\sigma}$ ——平均轴向应力

$$m\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\overline{\sigma} - \sigma_i^2)}}{n-1}$$

从表4可知，加垫板和锚头后，轴力分布均匀性系数从0.50提高到0.96。这就说明，垫板和锚头的增设，使锚杆杆体材料强度的利用更为充分。

五、结论

1. 分析表明，全长粘结型锚杆在拉拔试验中的受力条件与实际工程中的受力情况截然不



图7c 带垫板和锚头情况

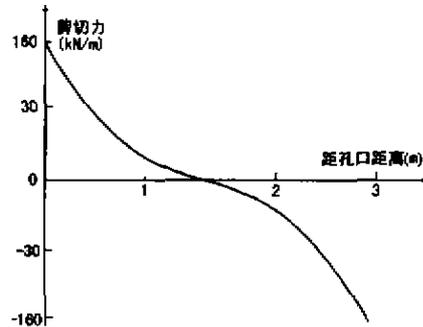


图7d 无垫板和锚头情况

切

图7 各种不同结构锚杆杆体表面剪切力分布图

锚索锚杆

问。“锚固力”的概念不适合全长粘结型锚杆。拉拔试验的结果说明不了锚杆的安装质量,也说明不了其支护能力。有关规范将拉拔试验结果作为锚杆质量状况的综合性指标,甚至规定抗拉拔力达到50kN即视为合格的条文,在理论上是不正确的,在实际上将产生有害的结果。此类条文须尽早修订。

2. 目前国内隧道工程广泛使用的不带垫板和锚头的砂浆虽然结构简单、安装方便,但常常会因其支护能力不足而致使围岩失稳。增设垫板和锚头后可以改善锚杆受力条件,增强其支护能力,应大力推广。特别是对于软弱围岩(软岩、破碎岩)垫板和锚头更是锚杆十分必要的组成部分,这一点应该反映在规范关于锚杆结构形成的条文中。

必须指出,本文所采用的计算模型只考虑了单根锚杆的作用,没有考虑“群锚”的影响。同时在计算时采用的岩体圆柱形计算域及其他边界约束条件同隧道开挖的实际情况是有区别的,将岩体视为线性弹性边连续体,也同一般围岩条件不甚相符。但是,由于一维锚杆单元和线状节理单元较好地反映了全长粘结型锚杆和岩体的相互关系。因此,对于分析杆体受力状态,围岩和锚杆之间的相互关系以及阐明拉拔试验的力学本质,采用这种简化的模型进行计算分析所得的结论是可信的。

此外,本文否定了现行规范中通过拉拔试验来检验锚杆安装质量(灌浆质量)的条文。这就是说,对全长粘结型锚杆的质量我们还必须探求一种合理、科学而又可行的检验方法。

“预应力技术应用与发展研讨会”在兰州召开

1999年12月29日,在甘肃省交通厅、甘肃省建委、甘肃省公路局的大力支持和协助下,甘肃省公路学会道桥专业委员会、甘肃省土木建筑学会路桥及地下工程学术委员会和柳州市建筑机械总厂(OVM)联合在兰州举办了“预应力技术应用与发展研讨会”。

随着国家对西部大开发政策的实施,近年来西北各省加快了建设与发展步伐。为顺应西北建设的客观需要,本次会议旨在甘、青等地就预应力技术的应用与发展前景做一个较为广泛而切实的研讨,为促进预应力技术在西北地区的推广应用,更好支援甘、青等地兴建各类高速公路、预应力桥梁和各种土木预应力结构服务。

本次会议代表191人,分别来自甘、青两省交通厅、公路局、各公路总段、甘肃省建委、兰州市建委、甘肃省交通规划勘察设计院、兰州市城建设计院、甘肃省高建办、甘肃省交通质监站、兰州市政公司、兰州市政工程设计院、铁一院兰州分院、西宁市政公司、兰州市规划局、甘肃省交通监理事务所、铁科院西北分院、青海路桥公司及兰州铁道学院等有关单位。会议由甘肃省土

木建筑学会副主任委员、省公路学会道桥专业委员会主任委员、省交通规划勘测设计院院长王景春同志主持。甘肃省公路学会道桥专业委员会主任委员、省公路局总工程师谈敦仪、柳州市建筑机械总厂厂长陈谦、甘肃省土木建筑学会袁塘秘书长参加了会议并讲了话。

会议邀请了四位国家级专家做了精彩的专题学术报告:同济大学陆宗林教授的“我国大跨径桥梁与预应力技术的发展及新世纪展望”、西安交通大学徐岳教授的“甘肃省三滩黄河大桥施工控制技术研究”、交通部第一勘测设计研究院副总工程师胡崇武的“桥梁预应力系统的应用与发展”、陕西省公路学会路桥专委会理事长王宏章高工的“预应力技术在桥梁工程中的应用”。柳州市建筑机械总厂有关技术专家介绍了OVM预应力锚固体系的各项技术特性及其应用与发展,引起了与会者的关注。会议的交流论文均分别收录在本次会议论文集里。

(柳州市建筑机械总厂经营公司 陈显鹏)