

小直径管缝式锚杆受力分析及试验研究

119-123

王连广 刘之洋
(采矿系)

FD

摘 要 阐述了小直径管缝式锚杆的结构和工作原理,建立了锚杆的力学模型,并对锚杆进行受力分析,提出了锚杆的锚固力与锚杆管径成反比的理论,并通过现场试验数据证明了小直径锚杆的锚固力大于同材质制成的大直径锚杆的锚固力,小直径锚杆比大直径锚杆节约钢材,建议工业生产中推广使用小直径管缝式锚杆。

关键词 小直径,管缝式锚杆,锚固力,力学模型。

分类号 TD 353.6

锚杆 矿山支护

管缝式锚杆是一种新型的全长锚固锚杆,它是美国 James · Sott 教授同英格索兰(Ingersoll-Kand)公司在 1973 年共同研制成功的。这种锚杆具有独特的力学性能和许多优点,美、日、澳等国已广泛应用。美国首先应用于金属矿山,随后在煤矿中也大量使用。迄今,世界上利用管缝式锚杆加固岩体近 20 年^[1]。但是,对这种锚杆的作用机理及承载能力,特别是对其锚固力与管径关系的研究,尚未得到良好的结果,目前主要是依据经验来设计和使用的。作者在前人研究基础上,通过理论分析和现场试验,对锚杆的作用机理及承载能力作初步研究,获得锚杆的锚固力与管径及锚固力随时间的变化规律。

1 锚杆的结构及工作原理

锚杆的主体结构是一根有纵向开缝的高强度钢管,钢管上端呈锥形,下端焊有一个圆钢卷成的圆环,钢环上套一个托板。

锚杆安装时,首先在安装处钻一个比锚杆外径稍小的孔,孔深比锚杆长几厘米,将托板安在锚杆上,然后用凿岩机或风镐等机具将其压入孔内,到托板紧贴岩壁为止。利用外力将锚杆压入小于其外径的钻孔内,钢管的弹性对孔壁产生径向压力,在围岩产生位移时,锚杆与孔壁间产生摩擦阻力,锚杆的托板对岩壁形成压力,使围岩处于三向受力状态,达到加固围岩,阻止围岩移动的目的^[2]。工作状态见图 1。

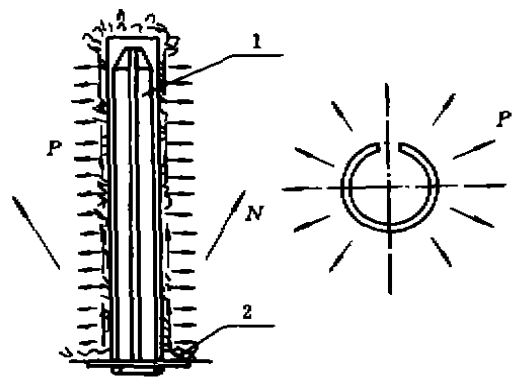


图 1 锚杆工作状态
1—锚杆,2—托板。

2 锚杆的应力分布及受力分析

2.1 应力分布

锚杆的作用是靠杆体与岩体之间摩擦力及托板压力阻止围岩的变形. 在不同的岩体结构中, 锚杆的应力分布不同. 靠近巷道外面的一段围岩要向外移动, 锚杆阻止其移动, 因而锚杆表面受到指向巷道的剪力; 在远离巷道一段围岩阻止锚杆移动, 锚杆受到背向巷道的剪力, 在锚杆的全长上必存在一个中性点, 该点剪力为零, 由剪力产生的轴向拉力必然沿锚杆全长呈曲线分布, 在中性点处轴向力最大^[3]. 锚杆应力分布见图 2.

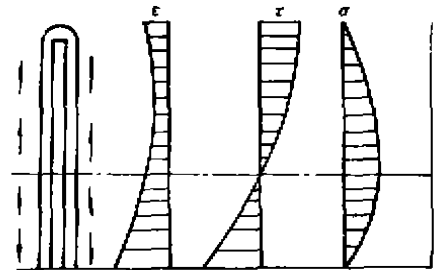


图 2 锚杆应力分布

对围岩而言, 巷道表面围岩的变形受到锚杆的阻止, 变形大大减小. 巷道内部围岩, 受锚杆拉动, 变形较大.

2.2 锚杆的受力分析

小直径管缝式锚杆同岩体接触, 假设锚杆与岩体间的径向力均匀分布, 并略去切向力, 在锚杆轴上取单位长度, 则其受力如同一个端曲梁, 单元体上任一截面的弯矩 $M(\theta)$, 见图 3.

$$M(\theta) = \int_0^{\varphi} R d\theta P \cdot R \sin(\varphi - \alpha - \theta) = R^2 P [\cos(\varphi - 2\alpha) - \cos\alpha]$$

式中, P — 单元体径向压力; R — 锚杆管内半径; φ — 任一截面的方向角; θ — 计算点的方位角; α — 开缝内心角一半.

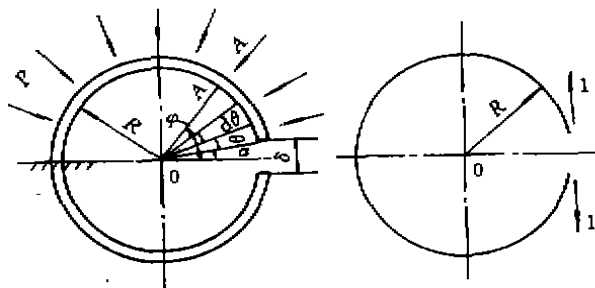


图 3 单元体受力分析

切口处的间距为 δ , 在该处加一对单位力, 则相应截面 $A-A'$ 的弯矩为 $M^0(\theta)$.

$$M^0(\theta) = R - \cos(\varphi - \alpha)R = R[1 - \cos(\varphi - \alpha)]$$

根据结构力学知, 切口相对位移 Δ :

$$\begin{aligned} \Delta &= 2 \int_0^{\pi-\alpha} M(\theta) \cdot M^0(\theta) ds / (EJ) \\ &= 2PR^2 \left[\frac{5}{4} \sin\alpha + \sin 3\alpha + \frac{1}{4} \sin 5\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \left(2\alpha - \frac{3}{2}\pi \right) \cos\alpha \right] / (EJ) \end{aligned}$$

令 $C = \frac{5}{4} \sin\alpha + \sin 3\alpha + \frac{1}{4} \sin 5\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \left(2\alpha - \frac{3}{2}\pi \right) \cos\alpha$

则 $\Delta = 2PR^2 C / (EJ)$

$$P = EJ\Delta / (2CR^4)$$

根据材料力学知,对刚性材料 $J = \frac{1}{12}bt^3$

$$P = E\Delta bt^3 / (24CR^4) \quad (1)$$

式中, E — 管材弹性模量; J — 单元体截面惯性矩; Δ — 管缝闭合位移量, $\Delta = n\pi$, $n = d_2 - d_1$, 钻孔与管外径之差; t — 锚杆管壁厚; b — 单位宽度。

可见,管缝式锚杆的径向压力与其直径的 4 次方成反比。

考虑到岩体的不均匀性,在层状岩体中层间的移动,锚杆渐变成不同程度的弯曲和扭曲,在施工中岩体冒落处或在工作面回采完毕处都发现了这种现象^[4]。

Lorig 提出一个有效长度来描述这种特性,以公式(2)、(3)分别表示锚杆所受的轴向力和剪切力。

$$F_a = K_a \Delta U_a \quad (2)$$

$$F_s = K_s \Delta U_s \quad (3)$$

式中, F_a — 锚杆所受轴向力; F_s — 锚杆所受剪切力; K_s, K_a — 锚杆的剪切刚度和轴向刚度; $\Delta U_s, \Delta U_a$ — 锚杆的剪切和轴向位移。

$$K_a = \pi d_1 K, K = \frac{1}{2} G_R E_b (d_1 / d_2 - 1)^{\frac{1}{2}}$$

式中, G_R — 所锚岩层剪切模量; E_b — 锚杆的弹性模量; d_1 — 锚杆外直径; d_2 — 钻孔直径。

$$K_s = E_R I \beta^2$$

式中, I — 锚杆横截面的惯性矩; E_R — 所锚层弹性模量; $\beta = (K / 4 E_b I)^{\frac{1}{2}}$, $K = 2 E_R / (d_1 / d_2 - 1)^{\frac{1}{2}}$

锚杆在层状岩体中发生剪切变形,锚杆受力见图 4。

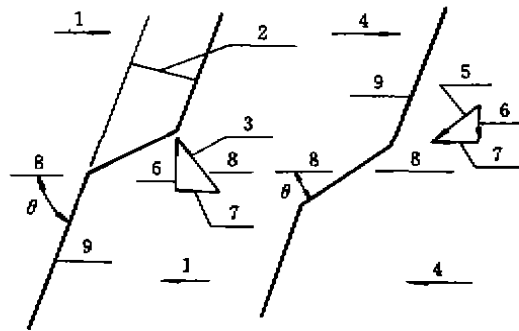


图 4 锚杆在层岩中变形及受力

- 1—剪切方向; 2—锚杆剪向位移; 3—合剪切力;
- 4—剪切位移; 5—合轴向力; 6—法向力;
- 7—切向力; 8—不连续面; 9—锚杆。

2.3 锚固力计算

锚固力即锚杆与钻孔间的摩擦力,锚杆的径向压力是产生摩擦力的正压力^[5],已知径向压力 P ,则锚杆单位长度的摩擦阻力 F 为

$$F = 2\pi R \cdot f \cdot P \quad (4)$$

将式(1)代入式(4)中,

$$F = \pi E \Delta t^3 f / (12CR^3) \quad (5)$$

式中, f — 钢与岩石摩擦系数, $f = 0.35 \sim 0.40$ [6].

锚杆拉拔时摩擦阻力是非均匀的, 沿锚杆呈双曲线函数形式分布 [2], 见图 5.

$$\tau_{(x)} = \beta T \frac{\text{ch}\beta x}{\text{sh}\beta l} \quad (6)$$

式中, T — 锚杆拉拔力; l — 锚杆有效长度; β — 系数, $\beta^2 = K/(Et)$; K — 围岩周边剪切刚度, $K = 30 \sim 60 \text{ MPa/m}$; sh , ch — 双曲正弦, 双曲余弦.

在锚杆孔处摩擦力最大, $x=l$, 令 $F = \tau_{(x)}$

$$\text{则 } T = [\pi E \Delta f t^3 / (12\beta R^3)] \cdot [\text{sh}\beta l / \text{ch}\beta l] \quad (7)$$

即锚固力可由式(7)计算.

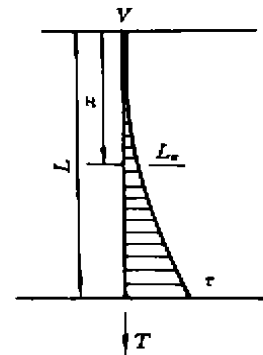


图 5 锚杆拉拔时摩擦阻力分布

3 试验与数据处理

试验是在平庄矿务局红庙煤矿二井 480 顺槽中进行, 分别选取 3 根长为 1.8 m 直径为 30 mm 和 43 mm 两种管缝式锚杆, 两种钻孔直径分别为 28.5 mm 和 41.5 mm, 在三个不同地点测试, 得到数据见表 1.

表 1 两种锚杆拉拔力 [4] (kN)

时间 天	直径 30 mm			直径 43 mm		
	I	II	III	I	II	III
0	37.4	36.2	38.1	30.7	33.1	31.4
1	37.4	38.5	38.1	30.7	33.0	32.0
3	39.0	38.2	38.0	33.1	32.8	33.1
7	42.1	40.1	41.3	35.3	34.6	35.1
10	42.3	40.1	54.2	36.7	38.4	37.4
20	51.0	49.5	54.2	38.0	38.3	38.6
30	60.2	56.7	58.6	41.1	42.0	38.4
40	60.2	58.1	59.1	41.8	42.2	41.8
50	64.1	67.1	60.0	42.4	42.2	42.1
60	65.7	60.7	60.3	42.4	41.8	42.5

从试验结果知, 影响锚固力因素很多, 特别是锚杆直径与钻孔内径之差, 二者之差大, 锚固力就越大, 反之, 锚固力就小. 在其它条件相同时, 小直径管缝式锚杆的锚固力大于大直径管缝式锚杆的锚固力.

4 结 论

(1) 小直径管缝式锚杆结构简单, 便于加工制造, 安装方便, 工作性能可靠, 有利于机械化作业.

(2) 小直径管缝式锚杆适宜于各种围岩, 特别适宜松散岩体、破碎岩石及煤体.

(3) 小直径管缝式锚杆耗钢量较少, 大大地降低成本; 小钻孔钻速较大, 降低了钻孔工作量.

(4)管缝式锚杆的锚固力与管径 3 次方成反比,小直径锚杆锚固力大于同种材料制成的大直径锚杆的锚固力。

参考文献

- 1 王继良. 矿井支护技术手册. 南京:江苏科学技术出版社,1991.520,173
- 2 Cheng Liang Kui. Proceedings of the International Symposium on Engineer in Compler Roch Formation,1986(3),739~744
- 3 王明恕. 锚喷支护理论论文集. 沈阳:东北工学院出版社,1987
- 4 王连广. 回采巷道锚网桁架支护原理的研究.[硕士学位论文]. 沈阳:东北大学,1993
- 5 樊文熙. 管缝式锚杆受力分析与试验研究. 煤炭学报,1989(1),1~7
- 6 郑颖人. 地下工程锚喷支护设计指南. 北京:中国铁道出版社,1988.33~35

Experimental Study on Bolting Conditions of Small-Size Slotted Tube Bolts

Wang Lianguang, Liu Ziyang

ABSTRACT Based on a discussion on the structure and working principle of small-size slotted tube bolts, a mechanical model is developed with bolting conditions analyzed. The bolting force is proved in inverse proportion to the diameter of tube and through experiments made in situ, the bolting force exerted by small-size slotted tube bolt is revealed greater than that by large-size bolt, both are made from the same material. In view of saving steel materials, it is suggested to spread further the application of small-size slotted tube bolts to industrial production.

KEY WORDS small size, slotted tube bolt, bolting force, mechanical model.

(Received July 16, 1993)