

高强锚杆预紧力影响因素分析研究

Study on the Influencing Factors of Pretension Force of High Strength Bolt

杜新龙

中国平煤神马集团平煤股份八矿掘进二队, 河南 平顶山 467012

DU Xin-long

Pingmei No.8 Mine No.2 Mining Team of China PingMei ShenMa Group, Pingdingshan 467012,China

【摘要】通过对锚杆预紧力有关影响因素的分析, 针对影响预紧力的因素在巷道现场进行了对比实验研究, 提出了降低锚杆预紧力扭矩系数, 提高锚杆预紧力应当着手的几个方面。在锚杆预紧力的影响因素中, 锚杆预紧扭矩影响最大, 锚杆与螺母之间、螺母与垫圈之间的摩擦力次之。

【Abstract】Based on the analysis of the influencing factors of the bolt pretightening force, a comparative experiment was carried out in the tunnel site, some aspects of reducing the torque coefficient and improving the pretension of bolt are put forward. In these influence factors, the pretension torque of the bolt is the most important, the friction between bolt and nut, nut and washer takes second place.

【关键词】高强锚杆; 预紧力; 影响因素; 分析研究

【Keywords】high strength bolt; pre-tightening force; influencing factors; study

随着煤矿开采深度的增加, 被动支护已逐渐达不到有效控制围岩变形的需要, 大力推广高强锚杆支护, 实现支护体与围岩的共同承载, 是确保矿井深部支护效果的关键, 在锚杆支护中, 预紧力又是保证锚杆整体支护系统稳定的关键。因此, 分析高强锚杆预紧力的影响因素, 找到提高锚杆支护预紧力的方法, 确保锚杆支护效果, 是确保煤矿安全高效的前提。

1 影响锚杆预紧力的有关因素分析

锚杆支护的预紧力计算可参照螺栓预紧力计算公式进行分析, 公式如下:

$$F = M / (KD) \quad (1)$$

式中: F ——锚杆预紧力, kN; M ——施加在锚杆螺母上的预紧扭矩, N·m; D ——锚杆直径, m; K ——锚杆扭矩转化为预紧力的扭矩系数;

在相同条件下, 锚杆预紧力 F 与施加在锚杆螺母上的扭矩 M 成正比, 锚杆预紧扭矩 M 越大, 预紧力就越大; 锚杆预紧力 F 与锚杆直径 D 成反比, 锚杆直径 D 越小, 相同的扭矩转化的预紧力就越大; 锚杆预紧力 F 与扭矩系数 K 成反比, 扭矩系数 K 越小, 相同的扭矩转化的预紧力就越大。

锚杆扭矩计算公式如下:

$$M = F \cdot d_2 \tan(\phi + \rho_v) / 2 + F \mu (D_w^3 - d^3) / [3(D_w^2 - d^2)] \quad (2)$$

式中: d_2 ——螺纹中径; ϕ ——螺纹升角, $\phi = \arctan[P / (\pi D)]$, P 为螺纹导程, D 为锚杆直径; ρ_v ——螺纹当量摩擦角, $\rho_v = \arctan \mu_v$, μ_v 为螺纹当量摩擦系数; μ ——螺母与垫圈之间的摩擦系数; D_w ——螺母压紧面直径(螺母对边宽度);

将式(2)代入式(1), 得: $K = d_2 \tan(\phi + \rho_v) / (2D) + \mu (D_w^3 - d^3) / [3D(D_w^2 - d^2)] \quad (3)$

由上式可知, 扭矩系数 K 与锚杆螺纹的形式、接触面摩

擦系数、材料、导程等有关。扭矩系数 K 与螺纹导程 P 成正比, 螺纹导程 P 越小, 螺纹升角 ϕ 就越小, 扭矩系数 K 就越小; 扭矩系数 K 与螺纹当量摩擦系数 μ_v 成正比, 螺纹当量摩擦系数 μ_v 越小, 当量摩擦角 ρ_v 就越小, 扭矩系数 K 就越小; 扭矩系数 K 与锚杆螺母垫圈之间的摩擦系数 μ 成正比, 锚杆螺母与垫圈之间的摩擦系数 μ 越小, 扭矩系数 K 就越小; 扭矩系数 K 与锚杆直径成正比, 锚杆直径越大, 锚杆螺母压紧面平均直径也越大, 扭矩系数就越大。通过降低扭矩系数 K 值的大小以提高锚杆预紧力, 保证锚杆预紧力满足设计要求, 是确保锚杆支护效果的重要途径。

2 高强锚杆预紧力实验分析研究

该实验在煤矿井下巷道内进行, 实验巷道埋深505米, 设计净宽×净高=4.6×3.5m, 矩形断面, 巷道直接顶为砂质泥岩, 局部为细砂岩, 基本顶为细至粗粒砂岩。采用锚杆支护, 锚杆安装使用单体锚杆机, 采用风动扳手拧紧螺母到设计扭矩。实验共分三组, 安装锚杆测力计记录下锚杆的受力状况, 分析高强锚杆实际预紧力的影响因素。

高强锚杆参数: 采用直径20mm和22mm两种, 长度2.2m, 屈服强度500MPa, 抗拉强度670MPa, 树脂药卷端头锚固。理论条件扭矩系数 K 值计算如下:

$$\phi \text{ 20mm 高强锚杆 } K \text{ 值: } K = d_2 \tan(\phi + \rho_v) / (2D) + \mu (D_w^3 - d^3) / [3D(D_w^2 - d^2)] \approx 0.094 + 0.216 = 0.31$$

式中: $d_2 = 18.38\text{mm}$; $\phi = \arctan\{P / (\pi D)\} = 2.48^\circ$, $P = 2.5\text{mm}$, $D = 20\text{mm}$; $\rho_v = \arctan \mu_v = 9.09^\circ$, μ_v 取0.16(干燥的加工表面); μ 取0.2; $D_w = 30\text{mm}$ 。

ϕ 22mm 高强锚杆 K 值:

$$K = d_2 \tan(\phi + \rho_v) / (2D) + \mu (D_w^3 - d^3) / [3D(D_w^2 - d^2)] \approx 0.093 + 0.221 = 0.314$$

式中: $d_2 = 20.38\text{mm}$; $\phi = \arctan\{P / (\pi D)\} = 2.24^\circ$, $P = 2.5\text{mm}$, $D = 22\text{mm}$; $\rho_v = \arctan \mu_v = 9.09^\circ$, μ_v

取0.16（干燥的加工表面）； μ 取0.2； $D_w=34\text{mm}$ 。

2.1 锚杆预紧扭矩对锚杆预紧力影响分析

实验方案：直径20mm和22mm锚杆，锚杆预紧扭矩情况分别为50、100、200、300、400N·m。锚杆预紧力情况如表1。

表1 锚杆预紧扭矩对预紧力影响

锚杆预紧扭矩 /N·m	50	100	200	300	400	扭矩系数
20mm锚杆 理论预紧力/kN	8.1	16.1	32.3	48.4	64.5	0.31
20mm锚杆 实测预紧力/kN	6.6	13.2	26.3	39.5	52.6	0.38
22mm锚杆 理论预紧力/kN	8.0	15.9	31.8	47.8	63.7	0.314
22mm锚杆 实测预紧力/kN	5.8	11.7	23.3	35.0	46.6	0.39

从表1可以看出，锚杆安装预紧扭矩与锚杆预紧力呈正比线性关系，增大锚杆安装预紧扭矩能够明显提高锚杆预紧力。锚杆直径越小，相同的预紧扭矩转化的预紧力越大。由于高强锚杆实际摩擦阻力往往大于理论摩擦力，因此在相同条件下，锚杆实测预紧力均小于理论预紧力。

2.2 锚杆螺母与锚盘之间的摩擦力对锚杆预紧力影响分析

实验方案：直径20mm锚杆，减摩垫圈使用情况分别为，只使用球形垫圈，使用球形垫圈和金属平垫，使用球形垫圈、金属平垫和塑料平垫配合。锚杆预紧力情况如表2。

表2 螺母与锚盘之间的摩擦力对锚杆预紧力影响

减摩垫圈 使用情况	只用 球形垫圈	使用球形垫圈和 金属平垫	使用球形垫圈、金属 平垫和塑料平垫配合
扭矩100N·m	10.2	10.9	13.2
扭矩200N·m	20.4	21.7	26.3
扭矩300N·m	30.6	32.6	39.5
实测扭矩系数	0.49	0.46	0.38

从表2可以看出，使用球形垫圈、金属平垫和塑料平垫配合的减摩副能有效减小螺母和锚盘之间的摩擦力，降低扭矩系数大小，在相同的扭矩情况下提高锚杆预紧力，并且塑料平垫对减少摩擦力的影响更为明显。

2.3 锚杆与螺母之间的摩擦力对锚杆预紧力影响分析

实验方案：直径20mm锚杆，螺纹段润滑情况分别为，螺纹表面有锈蚀锚杆，无锈蚀锚杆，在锚杆螺纹段涂油润滑。锚杆预紧力情况如表3。

表3 锚杆与螺母之间的摩擦力对锚杆预紧力影响

螺纹段润滑 情况	螺纹表面锈蚀 锚杆	无锈蚀锚杆	螺纹段涂油 润滑的锚杆
扭矩100N·m	10.4	13.2	15.2
扭矩200N·m	20.8	26.3	30.3
扭矩300N·m	31.3	39.5	45.5
实测扭矩系数	0.48	0.38	0.33

从表3可以看出，提高锚杆螺纹段的润滑程度，能够有效减小螺母与锚杆之间的摩擦阻力，降低扭矩系数大小，从而提高预紧扭矩转化到锚杆杆体上的预紧力。

2.4 提高锚杆预紧力的方法

为降低锚杆预紧力扭矩系数，提高锚杆预紧力，主要应从以下几个方面着手：

(1) 在锚杆材质允许屈服载荷范围内，尽量加大锚杆安装时施加在螺母上的预紧扭矩。具备条件的应使用锚杆台车、掘锚机组等确保大扭矩，单体锚杆钻机由于自身限制无法实现大扭矩，必须使用扭矩倍增器、风动扳手等确保安装效果。(2) 由于锚杆一般跟随工作面安装，受围岩

开挖后应力重新分布且尚未稳定的影响，锚杆安装后预紧力随着时间的推移预紧力将逐渐降低，因此必须对锚杆螺母适时进行再次补强，确保围岩应力趋于稳定后锚杆预紧力满足要求。根据围岩性质不同，锚杆螺母再次补强时间8-12小时为宜，一般不应超过24小时。(3) 安装锚杆时，锚盘应紧贴岩面安装，以保证螺母拧紧过程中在螺纹段以内即可达到设计预紧力，否则将造成该根锚杆安装失效。(4) 减少螺母与垫圈之间的摩擦系数。使用减摩垫圈降低摩擦力，在螺母与垫圈之间配备高效减摩副。减摩垫圈应具有适当的可塑性，使之在安装扭矩达到要求后，能够均匀的挤压变形，直观地反映出安装扭矩是否合格。(5) 不同直径的锚杆达到相同的预紧力所需的安装扭矩不同，即达到相同的预紧力，锚杆直径越大所需的安装扭矩越大。在满足支护强度的要求下，可适当选择直径相对较小的锚杆。(6) 在锚杆螺纹加工环节，应提高螺纹精度，降低螺纹当量摩擦系数，减小当量摩擦角，以降低摩擦扭矩，从而降低扭矩系数的大小。(7) 在锚杆螺纹段加工更小导程的螺纹，如将粗牙螺纹改为细牙螺纹，以减小螺纹升角，提高锚杆预紧扭矩转化的预紧力大小。并且，使用更小导程的螺纹更有利于锚杆螺母的自锁，增强锚杆螺母的防松性能。(8) 在锚杆运输、安装过程中，应注意锚杆螺纹段、螺母与垫圈之间的润滑。应在螺纹段、螺母与垫圈之间涂抹油脂，运输过程中避免让螺纹段接触地面，防止进入灰尘增大摩擦阻力。安装锚杆时，应检查螺纹段是否有油脂，使用放置时间较长的锚杆时，必须首先对螺纹段涂油润滑。

3 结语

(1) 锚杆预紧力与施加在锚杆螺母上的扭矩成正比，与锚杆直径成反比，与扭矩系数成反比。扭矩系数受锚杆螺纹的精度、锚杆与螺母接触面摩擦系数、螺母与垫圈接触面摩擦系数、材料、导程等多种因素影响。

(2) 在影响锚杆预紧力的因素中，锚杆预紧扭矩影响最大，增大锚杆安装预紧扭矩能够明显提高锚杆预紧力。锚杆与螺母之间、螺母与垫圈之间的摩擦力影响次之，通过降低摩擦系数，从而降低扭矩系数值的大小以提高锚杆预紧力，保证锚杆预紧力满足设计要求，是确保锚杆支护效果的重要途径。

(3) 使用球形垫圈、金属平垫和塑料平垫配合的减摩副能有效减小螺母和锚盘之间的摩擦力，降低扭矩系数大小，在相同的扭矩情况下提高锚杆预紧力，而且塑料平垫对减少摩擦力的影响更为明显。

(4) 提高锚杆螺纹段的润滑程度，能够有效减小螺母与锚杆之间的摩擦阻力，降低扭矩系数大小，从而提高预紧扭矩转化到锚杆杆体上的预紧力。

参考文献：

[1] 王晓鸣,等.锚杆支护预紧力的初步研究及应用[J].煤炭科学技术,2006,12.
[2] 袁和生.矿巷道锚杆支护技术[M].煤炭工业出版社,1997,09.
[3] 陆士良.杆锚固力与锚固技术[M].煤炭工业出版社,1998,11.

作者简介:杜新龙,男,本科,助理工程师,从事煤矿开掘技术管理工作。