

# 矿用锚索参数设计与施工

闫莫明

(煤炭科学研究总院 北京 100013)

**摘要:** 本文综合介绍了矿用预应力锚索主要参数设计方法和单束树脂锚固锚索的施工工艺。在计算公式中引入锚具效率系数和张拉应力控制系数等重要影响因素,对确定锚索安全系数有重要参考价值。文中总结的计算公式更明确、更实用。

**关键词:** 矿用锚索 参数设计 施工

## 1 引言

锚索支护技术近年来发展迅速,尤其在我国的煤矿巷道支护中占的比例越来越大,应用范围也越来越广。目前已从岩巷支护发展到煤巷支护,在需要加大支护长度和支护强度的地方,采用锚索支护是一条十分有效的途径。凡是遇到困难条件的支护问题,往往用锚索支护来解决。

锚索支护的显著特点是:锚索长度较长,能够锚入到深部较稳定的岩层中;锚索可施加预应力,承载力大。一般说来,要提高锚索支护的可靠性,首先要保证锚索产品的质量,其次要保证锚索支护有足够的长度和适当的密度以及可靠的承载力。

锚索支护是一种主动支护,只需较小密度的锚索即可达到良好的支护效果。锚索支护的广泛应用,极大地提高了巷道支护的整体水平,对保证安全生产,发展高产高效起到了重要作用。

2005年我国煤炭产量突破21.6亿t,其中煤巷锚索支护和锚杆支护的作用功不可没。仅以阳泉矿区为例,2005年煤炭产量达到3246万t,使用锚索的数量达到44.5万根之多。粗略估计,全国仅煤巷支护用锚索全年用量足以超过500万根。

锚索支护技术的发展概况:

1934年在阿尔及利亚的舍尔法大坝应用锚索加固是世界上第1例。

1964年我国水电系统首次将锚索技术应用在梅山水库坝基加固是国内第1例。

1984年鹤壁四矿与工程兵科研三所和煤炭总

院北京建井所合作将锚索技术应用在煤水泵房硐室群加固是国内煤矿第1例。

此后北京建井所相继在开滦、潞安、阳泉、淮南、邢台、平顶山、龙口、阜新、哈密等矿均成功地应用了锚索加固技术,取得了良好的效益。在锚索技术的研究上曾获得省部级科技进步二等奖3项、三等奖4项。其中部重点项目“煤矿巷道锚索系列化及配套机具研究”的成果,为煤矿早期推广锚索技术提供了必要的条件。

1995年煤炭部决定引进澳大利亚的先进技术,在邢台、新汶重点示范。北京建井所支护室承担了其中的煤巷锚索和树脂锚固剂两个子课题的研究任务,其中,邢台示范项目曾获得部科技进步特等奖。至此,关于煤巷锚杆、锚索支护技术的科研攻关已初步完成,开始进入推广应用阶段。

1997年在煤炭部科教司的统一部署下,动员了有关科研院、校及企业的一大批科技人员,在我国大面积推广煤巷锚杆支护技术,其中煤巷锚索支护得到了长足的发展,其规模之大,应用范围之广,前所未有。

煤巷锚索的成功应用,有效地解决了煤巷支护的难题,对矿井的高产高效和安全生产起到了积极的作用。

## 2 矿用预应力锚索

### 2.1 矿用预应力锚索分类和系列化

#### (1) 矿用预应力锚索分类

矿用预应力锚索按不同的方法有多种分类,但考虑到正处在发展阶段,锚索类型还比较简

单，因此按用途和锚固方式综合分类。

矿用预应力锚索综合分类见图1。

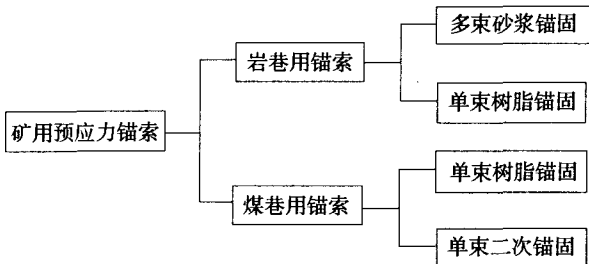


图1 矿用预应力锚索综合分类

(2) 矿用预应力锚索系列

目前，矿用预应力锚索还是以小型为主，矿用预应力锚索系列见表1。

2.2 矿用预应力锚索主要参数设计

(1) 矿用锚索设计承载力

$$N_t \leq m \cdot n \cdot S_n \cdot R_m \quad (1)$$

式中： $N_t$ —矿用锚索设计承载力，N；  
 $m$ —矿用锚索张拉应力控制系数，取0.60；  
 $n$ —组成锚索的钢绞线根数；  
 $S_n$ —钢绞线参考截面面积， $mm^2$ ；  
 $R_m$ —钢绞线抗拉强度，MPa。

(2) 矿用锚索最大力

$$R_u \leq \eta_a \cdot n \cdot S_n \cdot R_m \quad (2)$$

式中： $R_u$ —矿用锚索最大力，N；  
 $\eta_a$ —锚具效率系数，取0.95；  
 $n$ —组成锚索的钢绞线根数；  
 $S_n$ —钢绞线参考截面面积， $mm^2$ ；  
 $R_m$ —钢绞线抗拉强度，MPa。

(3) 矿用锚索安全系数

$$K = \frac{R_u}{N_t} \quad (3)$$

式中： $K$ —矿用锚索安全系数；

$R_u$ —矿用锚索最大力，N；

$N_t$ —矿用锚索设计承载力，N。

代入公式(1)和(2)，即得出  $K = \frac{\eta_a}{m}$ ，

因此，锚索的安全系数与锚具效率系数 $\eta_a$ 和张拉应力系数 $m$ 有关。也可给出 $K$ 值再算出 $m$ 值，但影响安全系数的因素必须明确。由于矿山井巷工程的复杂条件，本文建议张拉应力控制系数取0.60为宜。如果岩层条件较好，张拉应力控制系数也可取0.65。

2.3 岩巷用锚索（多束砂浆锚固）

(1) 多束锚索结构

多束锚索结构见图2。

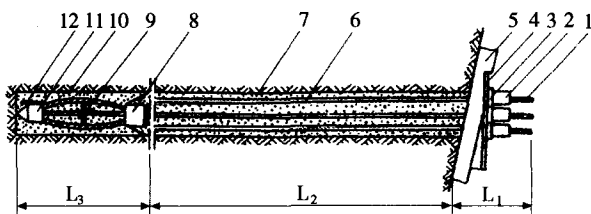


图2 多束锚索结构示意图

1—钢绞线；2—锚具；3—球铰垫片；4—垫板；5—钢垫墩；  
 6—自由段索体；7、10—水泥砂浆；8—对中支架；9—架线环；  
 11—导向帽；12—排气管； $L_1$ —张拉端； $L_2$ —自由段；  
 $L_3$ —锚固段

这种锚索在结构上采用了钢结构垫座和可调角度的球铰垫片，可采取单孔锚自由组合或采用群锚方式。

表1 矿用预应力锚索系列

序号	钢绞线根数	锚具型号	设计承载力 (kN)	锚索最大力 (kN)	锚固方式		锚索长度 (m)	锚索适用孔径 (mm)	托板尺寸 (mm)
					树脂	砂浆			
1	1	○○M15-1	150	250	+	-	5~10	28~32	150 × 150 × 20
2	1	○○M15-1	150	250	-	+	5~10	28~32	
3	2	○○M15-2	300	490	-	+	5~15	50~75	250 × 250 × 20
4	3	○○M15-3	450	740	-	+	10~15	90	
5	4	○○M15-4	600	990	-	+	10~20	90	300 × 300 × 25
6	5	○○M15-5	780	1230	-	+	10~20	90	
7	6	○○M15-6	900	1480	-	+	10~25	110	
8	7	○○M15-7	1100	1730	-	+	10~25	110	

注：计算以 $\phi 15.24mm$ 、1860MPa的钢绞线为例。

(2) 多束锚索用途

多束锚索主要用于岩巷、交叉点、大硐室及破损井巷工程的加固，也可用于露天矿边坡治理。

2.4 煤巷用锚索(单束树脂锚固)

(1) 单束锚索结构

单束锚索的结构比较简单，通常由单根钢绞线和与之相匹配的单孔锚具和各种附件组成。长度为5~10m，也可分为锚固段、自由段和张拉段。根据锚固方式不同，其结构形式略有区别，目前在煤矿多采用树脂端头锚固。单束锚索结构见图3。

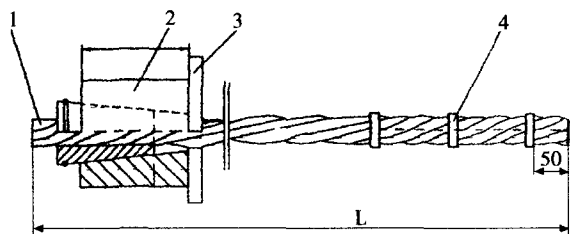


图3 单束锚索结构示意图

1—钢绞线；2—锚具；3—垫板；4—锚固段卡箍

(2) 单束锚索施工工艺

单束锚索施工工序如图4所示。

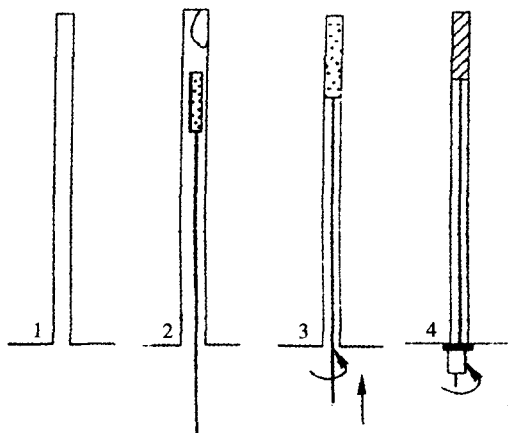


图4 单束锚索树脂锚固工序

1—钻孔；2—放入树脂卷；3—旋转锚索绞线搅拌树脂；  
4—安装锚具进行预应力张拉

钻孔→安放树脂卷并插入锚索→连接钻机边推进、边旋转锚索搅拌树脂→安装垫板、锚具进行预应力张拉。

(3) 单束锚索的工程应用

单束锚索用于煤层巷道加强支护，优点十分

突出。锚索安装孔径仅28~32mm，长度5~10m，利用单体轻型锚杆钻机及接长钻杆等配套机具即可施工，并且可以方便地采用树脂锚固剂快速锚固。

3 预应力锚索的锚固效果

3.1 预应力锚索的作用特点

预应力锚索是向岩层传递力的一种支护手段，它可按给定的方向和荷载大小将力从岩体表面传递到岩层深处，从而使加固的岩体受到一个有益的预压应力。锚固总是使岩体产生预应力。在这一过程中，岩体得到加固并使其强度增加，其它力学性能会得到改善。

预应力锚索的作用特点有以下几个方面：

(1) 预应力锚索由高强度材料组成并有可靠的锚固体系，因而它能提供数量可观的预应力。

(2) 预应力锚索的长度一般较长，能够锚入到深部比较坚固稳定的岩层中去。

(3) 预应力锚索可按给定的荷载大小、方向设计和施工，目标明确，参数可灵活调整。

(4) 施工工艺简便，影响因素小，而且还能与其它加固措施相配合。

3.2 预应力锚索的锚固效果分析

(1) 原状岩样锚固效果的模型实验

采用原状岩样进行模型对比实验[3]，实验条件更接近实际情况。

选取两组在同一地质条件下的原状岩样进行锚固效果的对比实验，由于岩样的组成、厚度、含水量、粗糙度等基本相同，并且实验条件也完全一样，从而实验结果能突出反映预应力锚索的锚固效果。

实验结果如图5所示。

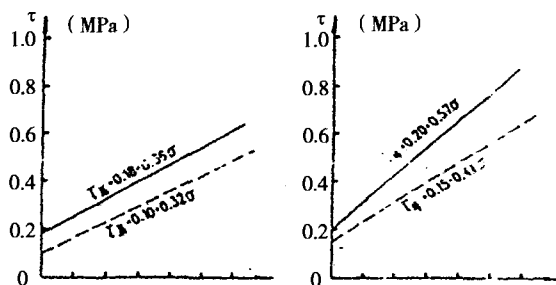


图5 原状岩样锚固实验抗剪强度对比曲线  
——锚固试样    ---- 未锚固试样

实验结果表明,在构造破碎带的岩层中施加预应力锚索后,岩体的 $c$ 值、 $f$ 值均有不同程度的提高。

#### (2) 锚固巷道收敛量测

预应力锚索的锚固效果也可反映在锚固巷道的收敛变化上。巷道的收敛变化是锚固效果的综合反映。采用现场工程量测的方法,按照可比条件,对巷道在锚固前后的收敛变化进行比较。实测结果如图6所示。

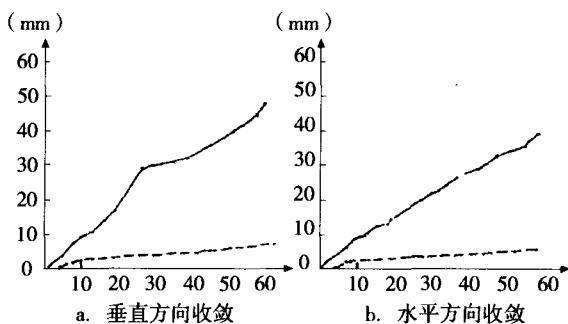


图6 锚固前后巷道收敛对比曲线  
— 锚固前 --- 锚固后

加固效果是显而易见的。加固后的收敛曲线远低于加固前的收敛曲线。也即是说,加固后的收敛值小于加固前的收敛变化值。此外,从曲线的形态上也可明显看出,加固后的收敛曲线平缓(即速率小),加固前的收敛曲线较陡(即速率大)。

## 4 工程应用实例

### 4.1 大断面硐室锚索支护

阳泉新景矿芦南分区胶带驱动机硐室长10.3m、净宽9.72m、净高10.86m,墙高6.0m,二次支护为预应力锚索并复喷混凝土。锚索长度为10~13m,设计荷载300~450kN,间排距为2.1m×2.6m,梅花形布置。

### 4.2 锚索加固软岩夹层

潞安常村煤矿副井马头门原支护为600mm厚双层钢筋混凝土,由于横穿泥岩层,遭到严重破坏,在拆除重建中采用了预应力锚索。

锚索沿两帮泥岩层布置,间距2.0~3.0m,锚索长度10.0m,锚固到硬岩中至少2.0m,施加预应力300kN。

### 4.3 锚索加固破损工程

阳泉贵石沟矿排矸井马头门与邻近总回风巷的岩柱仅有5~6m。两帮收敛变形严重,拱顶混凝土开裂掉块,钢筋外露,破坏情况严重。

原混凝土衬砌不拆除,在旧衬砌内加槽钢拱,与锚索相连,锚索排距2.5~3.0m,间距1.8m~2.8m,锚索长度约10~14m,施加预应力300kN。

### 4.4 煤层巷道锚索支护

单束锚索目前主要用于煤层巷道,如复合顶板回采巷道、大跨度开切眼和交叉点等。具体应用还与小锚杆、锚网、带钢等多种形式联合支护。目前这种形式的锚索支护已在全国大多数煤矿大面积推广,为实现高产高效提供了必要的保障。

### 4.5 露天煤矿边坡治理

1990年在新疆哈密露天煤矿东端帮运煤干线首次采用预应力锚索治理滑坡并获得成功,锚索长度30m,施加预应力1000kN。

2002年在内蒙平庄西露天煤矿非工作帮464站场边坡采用预应力锚索加固治理,完成900kN级锚索204根,加固边坡110m,加固工程取得了可喜进展。

## 5 结束语

(1) 矿用锚索有其特点,尤其是单束树脂锚固的小锚索,施工简便,可快速锚固,快速承载,特别适用于地下工程的初次支护和补强加固。

(2) 文中提出的参数设计公式,引出的锚具效率系数和张拉应力控制系数等,对分析、确定锚索的主要参数,将更加明确、更加实用。

(3) 提高锚索支护的可靠性,首先要保证锚索产品的质量,其次要保证锚索支护有足够的长度和适当的密度以及可靠的承载力。

### 参考文献

- [1] 闫莫明,徐祯祥,苏自约. 岩土锚固技术手册. 北京:人民交通出版社,2004
- [2] 袁和生. 煤矿巷道锚杆支护技术. 北京:煤炭工业出版社,1997
- [3] 郭映龙,夏万仁. 原状岩体锚固抗剪效应试验研究,《岩土工程中的锚固技术》,北京:地震出版社,1992