

矿山巷道锚喷支护参数设计

朱浮声 郑雨天 杜嘉鸿

目前,锚喷加固技术已在我国矿山井巷支护中占有越来越大的比重,但由于支理论落后于支护工程实践,锚喷加固系统设计往往依靠经验法。通常,根据外地与他人经验选取的支护参数虽然在技术上是可行的,但无法判断是否最优。在我国锚喷加固的矿山巷道中,普遍存在支护成本较高,锚喷施工速度较低,成为影响该项技术推广的重要原因。本文试图对影响这两个问题的一些因素进行分析和比较,以便找到在节理中等发育的层状顶板巷道(Ⅱ、Ⅲ类及部分Ⅳ类围岩)中有效的解决途径。

一、锚杆支护密度的合理选择

在我国矿山巷道中,锚杆支护普遍采用“短而密”的形式。一般锚杆长度1.6~3.0m,使用最多的是1.6~2.0m;锚杆支护密度一般为1.2~1.8根/m²。对比国外资料可以发现,我国矿山巷道的锚杆间距往往偏小(见表1)。

表1 锚杆间、排距典型值

国别	锚杆间、排距(m)
中国	0.6~1.0
澳大利亚	0.8~1.3
美国	0.9~1.8
前苏联	0.8~1.3

从降低支护成本与提高掘进速度角度考虑,锚杆支护间距越大、密度越小,效果越好。当支护密度过大时,采用锚杆支护系统从经济上讲是不合理的,因此,美国矿山局规定其最小间距为0.9m。对于极软弱、破碎岩体,Laubscher等曾建议采用小于0.75m的锚杆间距^[1],此时主要是找到围岩稳定的支护手段,例如,对于我国Ⅴ类围岩矿山软岩巷道(地力学分级RMR<30),在保证稳定的前提下,锚杆间距0.6~0.8m仍是一个可望优化(增大)的值。因为,如果锚杆间距从0.7m增大到1.0m,通常的巷道锚杆支护材料成本可降低50%左右,而成巷速度也可提高,具有明显经济效益。可见这是一个值得深入研究的问题。

二、锚杆长度与间距的合理搭配

根据实验室试验结果分析和现场经验,目前广泛采用的锚杆长度L和间距S之比按如下经验法则:

$$1.2 < L/S < 2.0 \quad \text{①}$$

如果锚杆长度为1.8~2.0m,由①式得到的S为:0.9m<S<1.5m和1.0m<S<1.7m。此结果也表示我国矿山锚杆间距有适当增大的可能。另一方面,①式也说明,通过锚杆长度与间距的合理搭配,可得到较为安全、合理的锚杆支护系统。

事实上,大断面永久性地下工程通常采用较长的锚杆。例如,在著名的地力学分级系统中,对于埋深小于1000m,跨度10m的地下工程,Bieniawski建议采用表2中锚杆参数。

表2 地力学分级锚杆参数建议

RMR	稳定性	锚杆长(m)	间排距(m)	锚杆直径(m)
81~10	极稳定		一般不需要支护	
61~80	稳定	2~3	2.5	
41~60	极稳定	3~4	1.5~2	
21~40	不稳定	4~5	1~1.5	0.02
<20	极不稳定	5~6	1~1.5	(树脂)

注:对于不稳定与极不稳定围岩,需喷混凝土、加网或金属支架,表中未列出。

事实上由于受巷道几何尺寸及施工机具等多种因素限制,锚杆长度的可选范围是有限的,但并非不可调整,由此可直接影响锚杆间、排距的合理选择。

三、预应力锚杆与锚杆预紧力

当锚杆长度与间距选择适当时(通常当满足①式时),预应力锚杆将在围岩中形成一个连续承压拱,从而阻止围岩破裂扩展并承受围岩自重载荷。

按照锚杆承压拱原理^[2],对巷道跨度4.2m,岩石容重25.6kN/m³,岩石内摩擦角30°的典型条件,进行了不同锚杆间、排距对应锚杆预紧力的理论分析。结果见表3。

由表中理论值可见,当锚杆间、排距较小时

(0.8×0.8m), 预紧力值恰与我国常用的锚杆初锚力30~50kN一致, 对应的锚杆直径也在常用值16~20mm范围内。当锚杆间、排距增大时, 锚杆预应力也应增大, 换言之, 通过适当增加锚杆预紧力与承载能力, 有可能对锚杆长度与间、排距进行合理调整。表4列出的四国典型锚杆直径与预紧力值从实践上得到印证。从表4可见, 我国矿山常用锚杆直径与预紧力值远低于国外矿山相应值, 我国矿山锚杆间、排距小于国外。

表3 破碎顶板锚杆预紧力理论值

锚杆间、排距 (m)	预紧力理论值 (kN)	对应锚杆直径 (mm)
0.7×0.7	41.6	17(15)*
0.8×0.8	59.8	20(18)*
0.9×0.9	84.1	23(21)
1.0×1.0	116.8	28(24)
1.2×1.2	224.3	(32)

*—括号外数值为3号钢锚杆杆体, 括号内为5号钢

表4 四国锚杆直径与预紧力典型值

国别	直径(mm)		预紧力值(kN)
	树脂锚	水泥卷锚	
中国	16-22	16-22	25-45
澳大利亚	24	—	45-80
美国	19-25	—	60-120
前苏联	16-24	—	—

另一方面, 增大锚杆预紧力可有效控制围岩变形量。澳大利亚煤矿采用60~70kN的锚杆预紧力就有效控制了顶板下沉。图1表示在高地应力巷道中预紧力对顶板位移的影响^[3]。由图1可见, 220kN承载力(预紧力110kN)使顶板位移大大减小, 仅是未支护巷道顶板的1/4。同时, 顶板承载能力由4.5MPa提高到8.5MPa。因此, 高预紧力锚杆对提高顶板承载能力和控制顶板位移有重要作用。

四、重视喷层柔性

喷射混凝土具有很好的柔性, 可以在随同围岩产生较大变形的同时, 提供必要的支护抗力, 因此, 在巷道支护中占有重要地位。但是, 在软岩矿山中, 普通混凝土喷层的柔性通常远低于围岩变形性能, 造成软岩巷道中常见的喷层裂纹, 甚至断裂破坏。目前, 很多矿山习惯采用增大喷层厚度的办法提高支护可靠性, 这既不经济, 又

常常因较大变形压力导致支护系统破坏^[4]。

一种行之有效的办法是采用强度高、柔性好

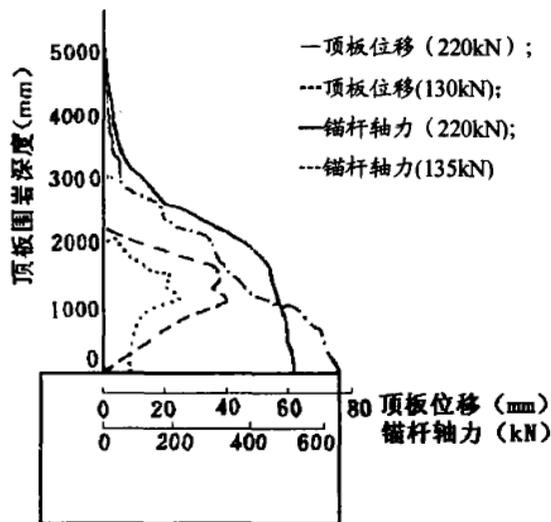


图1 锚杆预紧力对顶板位移与承载力的影响

的喷层材料, 例如, 以环氧树脂、聚脂或聚氨酯树脂等形成的喷射聚合物^[6]或通过添加纤维产生的纤维混凝土。表5说明, 聚合物喷层与纤维混凝土喷层变形特性与软岩的基本协调, 而普通混凝土的柔性远低于软岩的变形特性。另外, 改性混凝土的力学性能大为改善, 强度增高, 韧性增大, 应在软岩巷道中广泛推广应用。

表5 围岩与喷层材料变形模量 (GPa)

软岩	其它岩层	索混凝土	纤维混凝土	聚合物
<1-4	4-10	12-30	0.5-4	1.7-12

参考文献

1. Laubscher D.H. et. The importance of geomechanics classification of jointed rock masses in mining operations. Proc Symp on Explanation for Rxx Engng 1976. PP119-128
2. 朱浮声 层状破碎岩体锚杆加固分析的理论解。东北大学学报(力学专利) 沈阳, 1995
3. Gale W.J.et. Optimis of reinforcement design of coal mine roadways, 11th Int Conf Ground Control in Wollongong. 1992
4. 郑雨天等 井巷整体式支护的合理厚度。煤炭学报 北京 1994.9(3)263-269
5. 朱浮声 锚喷加固设计方法。冶金工业出版社 北京 1993.9.
6. 杜嘉鸿等 地下建筑注浆工程简明手册。科学出版社 北京 1998.5 PP.76-84.