

煤矿巷道锚杆支护参数合理选择分析

修兴伟

四川川煤华荣能源有限责任公司斌郎煤矿 四川 达州 635000

【摘要】：煤矿巷道锚杆支护参数直接影响围岩承载结构、顶板离层和两帮收敛控制效果。本文分析煤矿巷道围岩支护条件，围绕锚杆长度、间排距、预紧力和锚固刚度建立参数计算与验算关系，并从顶板、帮部及断面变形响应讨论参数选择边界。锚杆参数应以地质力学评估为起点，将松动圈、稳定锚固层、支护密度和施工质量纳入设计，使支护强度、施工扰动和材料消耗保持匹配，避免单纯加长或加密造成支护失配。

【关键词】：煤矿巷道；锚杆支护；支护参数；围岩变形；预紧力

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.027

引言

煤矿巷道开挖后，原岩应力重新分布，顶板离层、两帮片帮和底鼓会共同改变断面受力。锚杆支护的合理性不只取决于杆体强度，还取决于长度、间排距、预紧力、锚固长度和托盘传力是否与围岩结构相匹配。煤巷锚杆支护技术规范把地质力学评估、初始设计和井下监测列为设计程序，参数选择应在工程条件、理论计算和现场响应之间形成校核关系，施工质量检测还要进入复算。

1 煤矿巷道围岩支护工程条件概况

煤矿巷道围岩支护条件由顶板层理、煤帮完整性、埋深应力和采动扰动共同决定。煤巷锚杆支护技术规范把地质力学评估列为设计依据，评估内容覆盖煤层厚度、倾角、构造、水文、断面、原岩应力和锚杆拉拔力；这些对象决定锚杆长度、间排距、预紧力和锚固方式边界^[1]。巷道开挖后，顶板浅部岩层先出现离层和弯曲，两帮煤体随侧向卸荷发生裂隙扩展，单个参数增大并不等于断面稳定。

2 煤矿巷道锚杆支护参数计算分析

2.1 煤矿巷道锚杆长度间排距初步估算

锚杆长度初选应先落到松动圈厚度和稳定锚固层位置。顶板为层状砂质泥岩或泥岩互层时，锚杆端部只停留在浅部破碎层内，托盘预紧力会在裂隙面附近消耗，难以把多层岩梁压成共同承载体；长度过大而间排距仍偏疏，则杆体数量不能形成连续约束带，顶板下沉仍会沿两根锚杆之间发展^[2]。较稳妥的估算顺序是识别浅部破碎范围，判断上方可锚岩层，再把锚固段伸入稳定层，并校核钻孔、锚固剂和托盘贴合质量。参数分区关系可由锚杆、松动圈和稳定层的相对位置判断。围岩分区支护构造见图1。

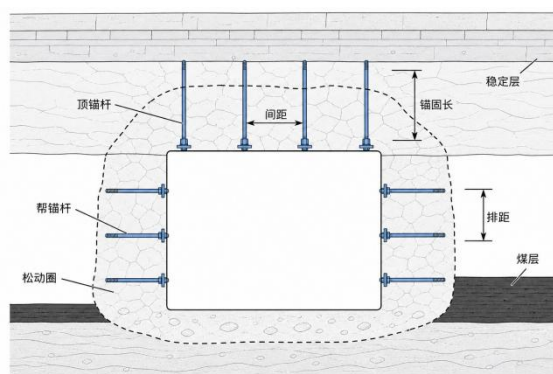


图1 煤矿巷道锚杆参数与围岩分区示意

图1中，顶锚杆穿过松动圈并进入稳定层，帮锚杆沿两帮形成侧向约束，间距和排距共同决定锚固区能否连续覆盖巷道轮廓。

2.2 煤矿巷道围岩变形锚固承载数值验算

参数初估后，还要把长度和布置密度转化为可验算的承载关系。顶板叠加梁支护理论把分层岩梁共同承载和有效锚固层厚度作为判断要点，锚杆通过预紧力、托盘和锚固段改变层间接触与变形协调。支护密度指数依次取0.60、0.80、1、1.20、1.40时，变形控制指数对应1.25、0.95、0.72、0.58、0.50，曲线斜率逐步减小，说明继续加密布置的边际控制作用会降低。支护密度响应关系见图2。

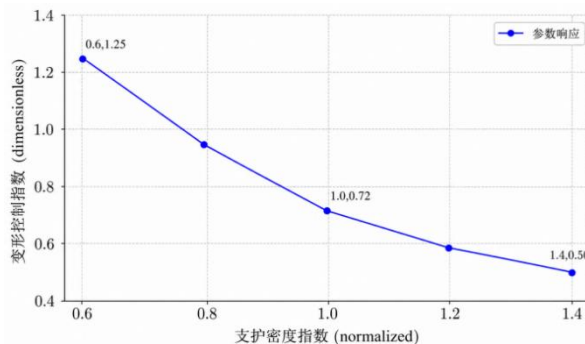


图2 支护密度与变形控制指数关系

图2中,支护密度指数依次取0.60、0.80、1、1.20、1.40,变形控制指数对应1.25、0.95、0.72、0.58、0.50,曲线斜率逐步减小,说明继续加密布置的边际控制作用会降低。

3 煤矿巷道支护参数延展选择分析

3.1 煤矿巷道顶板锚杆有效长度参数合理选择

顶板锚杆有效长度选择应优先服务于层状顶板的共同承载。若直接顶厚度小、节理裂隙密集,锚杆应穿过离层易发带并进入稳定锚固层,使托盘预紧力能够压紧浅部岩层;若顶板较完整且松动圈浅,长度过大反而增加钻孔时间和孔壁扰动^[3]。有效长度还要与锚固方式匹配,全长锚固适合需要连续黏结的破碎顶板,加长锚固可在中等完整顶板中兼顾施工效率和锚固可靠性,端头锚固只适合浅部岩层完整、离层风险较低的局部条件。锚杆有效长度控制关系见式(1)。

$$L_e = h_1 + \sqrt{kBh_s} \quad (1)$$

式(1)中, L_e 为锚杆有效长度,单位为m; h_1 为松动圈厚度,单位为m; h_s 为稳定锚固层控制厚度,单位为m; B 为巷道净宽,单位为m; k 为围岩完整性修正系数,单位为无量纲。平方根项把巷道宽度和稳定层厚度耦合,围岩越破碎, k 取值越大,有效长度随之提高。

3.2 煤矿巷道帮部锚杆间排距参数选择

帮部锚杆间排距选择的直接对象是两帮煤体的侧向扩容和片帮范围。煤体较完整时,帮锚杆主要限制浅部裂隙张开,间距可以略大于顶板控制区;当帮部受采动影响、煤体节理贯通或淋水软化时,帮锚杆需要同护网、钢带和托盘形成面约束,间距和排距应同步收紧^[4]。帮部破碎工况下,帮锚杆长度取2.30m、间距取0.75m、排距取0.70m、预紧力取60kN;顶板裂隙工况下,顶锚杆长度取2.60m、间距取0.75m、排距取0.70m、预紧力取70kN,两组参数共同约束拱肩和浅部煤帮。该类参数不宜照搬顶板布置,实际巷道仍要以拉拔力和两帮收敛监测修正。支护作用量比较关系见式(2)。

$$q_s = \frac{1}{Bsr} \sum_{i=1}^n e_i F_{p,i} \quad (2)$$

式(2)中, q_s 为单位面积支护作用量,单位为千牛每平方米; i 为锚杆求和序号,单位为无量纲;求和下限为1、上限为 n , n 为计算排内锚杆数量,单位为根; e_i 为第 i 根锚杆预紧力传递系数,单位为无量纲; $F_{p,i}$ 为第 i 根锚杆有效预紧力,单位为千牛; B 为巷道净宽,单位为m; sr 为锚杆排距,单位为m。该式用于比较加密布置和提高预紧力的等效作用。

3.3 煤矿巷道锚杆预紧力锚固刚度影响

预紧力 (pretension force) 是锚杆安装时施加在杆体上的初始拉力,它决定托盘能否及时压紧围岩表层并扩散到锚固区。预紧力不足时,锚杆只有在围岩变形后才逐步受力,浅部裂隙已经扩展,顶板下沉和两帮收敛会先形成不可逆位移;预紧力过高而锚固剂、杆体延伸率或托盘承压不足,则可能造成孔口破碎、螺母滑移或局部压碎。锚固刚度还受锚固剂凝固质量、钻孔直径、树脂药卷匹配和杆体材质影响,参数选择应把预紧力设定、锚固长度和施工检测连成一个判断单元。预紧力刚度影响关系见图3。

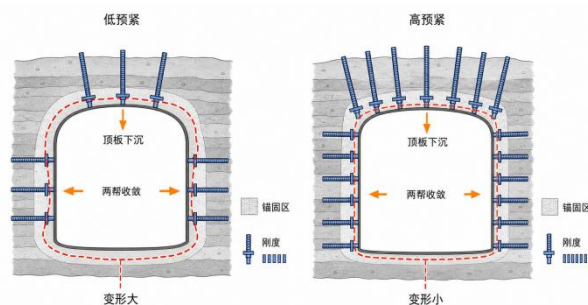


图3 预紧力与锚固刚度对断面变形的影响

图3中,低预紧状态下红色变形轮廓外扩,顶板下沉和两帮收敛更明显;高预紧状态下锚固区更连续,断面变形轮廓收缩,说明预紧力和刚度要与间排距共同校核。

3.4 对煤矿巷道断面持续变形控制效果的分析

断面持续变形控制效果应同时看顶板下沉、两帮收敛和底板响应。顶板锚杆长度满足式(1)后,若式(2)所反映的单位面积支护作用量偏低,顶板浅部仍可能在两排锚杆之间弯曲;帮部间排距收紧后,若预紧力没有传递到托盘和钢带,煤帮表层裂隙仍会沿弱面剥落。合理参数组合的特征是顶板离层增长趋缓、两帮收敛曲线斜率降低、锚杆受力没有持续突增。断层破碎带、强淋水、深部高应力和采动叠加区域不能仅靠常规锚杆加长处理,应配置锚索、注浆或让压构件。断面变形修正关系见式(3)。

$$I_d = a \frac{U_t}{u_a} + b \frac{U_r}{u_a} + c \left(1 - \frac{q_s}{q_r}\right)^2 \quad (3)$$

式(3)中, I_d 为断面变形控制指数,单位为无量纲; U_t 为顶板下沉增量,单位为毫米; U_r 为两帮收敛增量,单位为毫米; u_a 为允许变形控制值,单位为毫米; q_s 和 q_r 分别为单位面积支护作用量和目标支护作用量,单位为千牛每平方米; a 为顶板变形权重,单位为无量纲; b 为两帮变形权重,单位为无量纲; c 为支护不足修正权重,单位为无量纲。 I_d 升高说

明长度、预紧力或间排距需要重新校核。

4 结语

煤矿巷道锚杆支护参数选择应从围岩工程条件出发,把松动圈、稳定锚固层、顶帮完整性、采动扰动和施工质量放在同

一判断链中。锚杆有效长度负责跨越浅部破碎区并进入稳定层,间排距决定锚固区连续覆盖,预紧力和锚固刚度决定支护作用能否在早期变形前形成。工程实施中,初始参数可由地质力学评估和理论计算确定,再通过顶板离层、两帮收敛、锚杆受力和拉拔试验修正。

参考文献:

- [1] 张然.巷道锚杆支护在煤矿井下掘进过程中的应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2023,(6):168-170.
- [2] 杜超.井下掘进中巷道锚杆支护技术的应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(14):136-138.
- [3] 杨鹏,马平,赵俊达.高强度开采条件下煤炭巷道锚杆支护技术[J].煤炭工程,2022,54(S1):44-48.
- [4] 杨永峰.煤矿巷道锚杆支护布置技术探究[J].工程研究与实用,2026,7(10):25-27.