

立柱布置方式对掩护式液压支架力学性能的影响分析

辛家祥, 李明忠, 王建国

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013)

【摘要】立柱布置方式对液压支架的很多力学参数都有影响, 立柱布置不合理容易引起液压支架发生故障或损坏, 影响煤矿安全生产。建立了掩护式液压支架的力学模型, 分析了立柱布置方式对支架底座前端比压及连杆受力的影响, 为立柱的合理布置提供了理论依据和可行方法。

【关键词】立柱; 布置方式; 底座比压; 连杆受力

【中图分类号】TD355.41 【文献标识码】A 【文章编号】1006-6225(2012)04-0035-03

Influence of Prop Arrangement on Mechanical Characteristic of Shield Powered Support

XIN Jia-xiang, LI Ming-zhong, WANG Jian-guo

(Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: Several mechanical characteristics of prop arrangement are influenced by prop arrangement. Irrational arrangement may result in powered support failure or damage and influence safe mining. Mechanical model of shield powered support was set up to analyze the influence of prop arrangement on specific pressure of foundation's front end and force of connecting rod, and provide theoretical basis and feasible method for rational prop arrangement.

Keywords: prop; arrangement; specific pressure of foundation; force of connecting rod

掩护式液压支架多年的使用经验和试验研究发现, 立柱的布置方式对该型支架很多力学参数都有影响。如果立柱布置不合理, 会造成支架受力不当, 进而引起支架发生故障或结构损坏, 影响煤矿安全生产。因此, 液压支架设计过程中, 必须合理布置立柱, 使支架的综合力学性能达到最优。

本文着重分析了立柱布置方式对底座前端比压及连杆受力的影响。

1 力学模型建立

液压支架二维杆系力学模型及受力分析如图1所示。

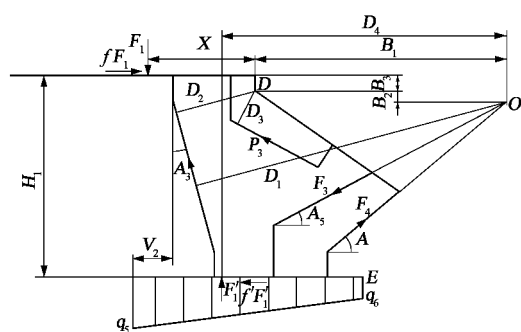


图1 液压支架受力

取顶梁为研究对象, 对顶梁与掩护梁铰点 D 取矩, 由 $\sum M_D = 0$, 得:

$$P \cdot D_2 \pm P_3 \cdot D_3 + f \cdot F_1 \cdot B_3 - X \cdot F_1 = 0 \quad (1)$$

取顶梁、掩护梁整体为研究对象, 对前后连杆瞬心 O 点取矩, 由 $\sum M_O = 0$, 得:

$$F_1 \cdot (X + B_1) - f \cdot F_1 \cdot (B_2 + B_3) - P \cdot D_1 = 0 \quad (2)$$

由 (1), (2) 式可得:

$$F_1 = \frac{P \cdot D_2 \pm P_3 \cdot D_3 - P \cdot D_1}{f \cdot B_2 - B_1} \quad (3)$$

$$X = \frac{P \cdot D_2 \pm P_3 \cdot D_3 + f \cdot F_1 \cdot B_3}{F_1} \quad (4)$$

同理, 由水平方向和竖直方向合力分别为零, 可得:

$$F_3 = \frac{F_1(f + \cot A) - P(\sin A_3 + \cos A_3 \cdot \cot A)}{\sin A_5 \cdot \cot A - \cos A_5} \quad (5)$$

$$F_4 = \frac{F_1 - P \cdot \cos A_3 - F_3 \cdot \sin A_5}{\sin A} \quad (6)$$

取底座为研究对象, 对前后连杆瞬心 O 取矩, 由 $\sum M_O = 0$, 得:

$$P \cdot D_1 = F'_1 \cdot D_4 + f' \cdot F'_1(H_1 - B_2 - B_3) \quad (7)$$

由 (5), (7) 式可得:

$$F'_1 = \frac{P \cdot D_1}{D_4 + f'(H_1 - B_2 - B_3)} \quad (8)$$

其中, (3) 式与 (8) 式是等价的, 使用时根据具体情况选用。

【收稿日期】2012-05-02

【基金项目】国家高科技研究发展计划(863)资助项目: 两柱式超强力大采高放顶煤液压支架研制(2012AA06A407)

【作者简介】辛家祥(1983-), 男, 山东阳谷人, 工程师, 主要研究方向为采煤工作面液压支架设计。

上述各式中, P 为立柱工作阻力, kN; D_2 为顶梁与掩护梁铰点到立柱中心线的垂直距离, mm; P_3 为支架平衡千斤顶工作阻力, kN; D_3 为顶梁与掩护梁铰点到平衡千斤顶中心线的垂直距离, mm; f 为顶梁与顶板间的摩擦系数; F_1 为顶板对顶梁的集中载荷, kN; B_3 为顶梁上表面到顶梁与掩护梁铰点垂直距离, mm; X 为顶梁与掩护梁铰点到顶梁外载作用点的水平距离, mm; B_1 为前、后连杆瞬心到顶梁与掩护梁铰点的水平距离, mm; B_2 为前、后连杆瞬心到顶梁与掩护梁铰点的垂直距离, mm; D_1 为前、后连杆瞬心到立柱中心线的垂直距离, mm; F'_1 为底板对底座的作用力, kN; D_4 为前、后连杆瞬心到底板对底座支反力作用线的水平距离, mm; f' 为底座与底板间的摩擦系数; H_1 为支架的计算高度, mm; F_3, F_4 分别为前、后连杆力, kN; A_3 为立柱与竖直线的夹角, ($^\circ$); A_5, A 分别为前、后连杆与水平线夹角, ($^\circ$)。

2 立柱布置对底座前端比压的影响

在布置立柱时, 假设立柱下铰点相对底座前端距离固定, 在立柱行程许可的条件下, 如果把立柱上铰点前移, 立柱倾角增大, 不仅可以增加支架调高范围, 还可以提高顶梁前端对煤壁的水平分力, 但会造成底座前端比压增大, 松软底板条件下会造成支架扎底, 移架困难。

假设支架底座与底板均匀接触且载荷呈线性分布, 则底座底板比压为梯形分布或三角形及矩形分布。图 2 所示底板比压为梯形分布情况。

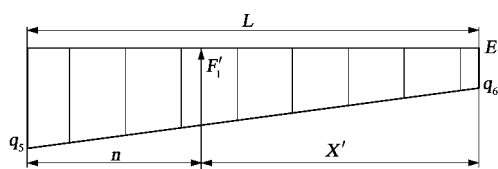


图 2 底座比压梯形分布

由图 2 可知, 若 $\sum F = 0$, 得:

$$F'_1 - \frac{1}{2} \cdot (q_5 + q_6) \cdot L \cdot B = 0 \quad (9)$$

若 $\sum M_E = 0$, 得:

$$F'_1 \cdot X' - \int_0^L X' \cdot B \cdot \left(q_6 + \frac{q_5 - q_6}{L} X' \right) \cdot dX' = 0 \quad (10)$$

由 (9), (10) 两式, 可得

$$q_5 = \frac{2 \cdot F'_1 \cdot (2X' - n)}{L^2 \cdot B} \quad (11)$$

$$q_6 = \frac{2 \cdot F'_1 \cdot (2n - X')}{L^2 \cdot B} \quad (12)$$

上述各式中, F'_1 为底板对底座的合力, mm; L 为底座总长度, mm; B 为底座有效宽度, mm; q_5, q_6 为底座前、后端比压, MPa; X' 为合力作用点到底座后端距离, mm; n 为合力作用点到底座前端距离, mm。

由 (11), (12) 两式可知, 支架的主体结构参数确定后, F'_1 一般变化不大, 可以认为是定值, 底座宽度及形状等结构性要素对前端比压也有影响, 但合力作用点 X' 位置的变化对前端比压 q_5 影响最大, 减小 X' 对减小前端比压 q_5 效果明显。由 (11) 式可知, 当 $X' = n/2$ 时, $q_5 = 0$, 比压呈三角形分布, 此时前端比压最小; $X' > n$ 时, $q_5 > q_6$; $X' = 2n$ 时, 比压呈倒三角形分布, 此时前端比压最大。因此对于松软底板, 为避免底座前端比压过大, 应使底座合力作用点尽量靠后。

通过以上分析, 可以得出, 在采高不变的情况下: 底座总长度不变, 如果立柱位置平行前移或只是上铰点前移, V_2 减小, 底座合力作用点位置前移, 前端比压变大; 立柱位置平行后移或只是上铰点后移, V_2 增大, 底座合力作用点位置后移, 前端比压变小。

立柱布置方式及位置不变, 如果底座前端加长, V_2 增大, 底座合力作用点位置不变, 载荷分布长度变大, 前端比压变小; 底座前端缩短, V_2 减小, 底座合力作用点位置不变, 载荷分布长度变小, 前端比压变大。

所以, 不能为了增大支架的调高范围而一味地增大立柱倾斜角度, 而应当综合考虑, 把底座前端比压控制在合理的范围内, 支架设计方案的评判也应该把 V_2 当作判断底座前端比压相对大小的一个重要指标来考虑。

3 立柱布置对前、后连杆附加力的影响

早期的两柱支掩式掩护支架, 在实验室试验台上升到与上试验台接触时, 顶梁立刻向前移动, 移动量一般大于 200mm, 当试验台开始加载时, 顶梁继续前移, 同时底座后端有一定的抬起量; 现在的两柱支顶式掩护支架, 仍有上述现象, 但移动量控制在 100mm 左右, 且底座后端不上抬。四柱支撑掩护式支架也存在前移现象, 但移动量较小, 在 60~100mm 之间。经分析, 支架在试验台上前移是由于立柱倾斜布置所产生的水平力的作用。而由 (3), (4) 两式可以看出, 立柱由于倾斜布置 (参数 D_1, D_2 的影响) 所产生的水平分力对支架的力学性能产生了影响。

顶板对支架顶梁产生的摩擦力（取 $f = 0 \sim 0.3$ ）由立柱及前、后连杆承受，合理布置立柱倾角可使立柱倾斜所产生的水平分力部分或全部平衡掉顶板对顶梁的摩擦力，减小和改善前、后连杆产生的附加力。分析如下：

如果立柱垂直布置或接近于垂直布置，可以提高支撑效率，改善对顶板的支护效果，但由于垂直布置时立柱不产生水平分力，因此：当 $f = 0$ （顶板对顶梁不产生摩擦力）时，前、后连杆附加力会很小；当 $f = 0.3$ （顶板对顶梁摩擦力取最大值）时，由于立柱不产生水平分力，摩擦力将全部由前、后连杆承受，此时前、后连杆附加力最大。

如果立柱倾斜布置，使其由于倾斜所产生的水平分力可以完全平衡掉顶板的摩擦力，可以计算出此时 $A_3 = \arctan 0.3 = 17^\circ$ 。当 $f = 0$ 时，立柱倾斜所产生的水平分力由前、后连杆承受，这时的前、后连杆附加力会很大；当 $f = 0.3$ 时，摩擦力将全部由立柱来承受，与立柱的水平分力平衡，这时的前、后连杆附加力会减小很多。

虽然顶板与顶梁间的摩擦系数在 $f = 0.1 \sim 0.2$ 之间出现的概率最大，但是也要考虑 $f = 0$ 和 $f = 0.3$ 时的情况，避免出现前、后连杆附加力范围变化太大。因此，要通过优化设计立柱的倾角，使前、后连杆受力出现“哑铃”型结果，即在摩擦系数 $f = 0$ 和 $f = 0.3$ 时，连杆的附加力可以适当变大，而在 $f = 0.1 \sim 0.2$ 之间，连杆的附加力一定小，这样既符合井下顶梁的实际受力情况，又改善了支架的总体力学性能。

以 ZY6800/18/37D 液压支架为例，在确定四

连杆机构的前提下，通过优化立柱的布置方式，使连杆出现“哑铃”型的受力结果，在支架 3.5m 高度时： $f = 0.3$ 时，前连杆力 4066kN，后连杆力 3877kN； $f = 0$ 时，前连杆力 3399kN，后连杆力 2738kN； $f = 0.1 \sim 0.2$ 时，前连杆力 686kN，后连杆力 574kN。

可以看出，立柱布置较为合理。

4 结论

重点分析了掩护式液压支架立柱布置方式对底座前端比压和连杆受力的影响，为合理地布置立柱提供了理论依据，为支架设计方案的优劣提供了一种快速可行的评定方法，所得结论同样适用于四柱支撑掩护式液压支架。

【参考文献】

- [1] 王国法，等．液压支架技术 [M]．北京：煤炭工业出版社，1999.
- [2] 刘俊峰．两柱掩护式大采高强度液压支架适应性研究 [D]．北京：煤炭科学研究总院，2006.
- [3] 朱凤志．厚煤层掩护式四连杆机构的受力分析 [J]．煤矿开采，1993（4）：34-37.
- [4] 王恩鹏，张英．液压支架底板比压的试验与研究 [J]．煤炭科学技术，1996（12）：33-35.
- [5] 杨培举．两柱掩护式放顶煤支架与围岩关系及适应性研究 [D]．徐州：中国矿业大学，2009.
- [6] 乔忠寿．关于液压支架顶梁上水平力的探讨 [J]．矿山压力，1986（4）：10-13.
- [7] 王正木，赵志超．两柱掩护式液压支架使用和设计中的几个问题 [J]．煤炭科学技术，1990（5）：52-54.
- [8] 丁绍南．采煤工作面液压支架设计 [M]．北京：世界图书出版社，1992. [责任编辑：徐亚军]

（上接 31 页）

程中压力损失不超过 2MPa。仿真结果如表 1 所示，选取管径为 64mm，其压力损失为 1.424MPa，满足要求；实际系统中采用的管径为 64mm，其压力损失为 1.68MPa。仿真与实际工况较为接近，根据仿真结果所选取的管径可以满足实际工程要求。

表 1 仿真结果

管道内径/mm	压力损失/MPa	
	400L/min	600L/min
40	13.371	27.023
51	4.208	8.566
64	1.424	2.915
76	0.626	1.286
89	0.029	0.606

3 结论

长距离供液管道压力损失主要为沿程压力损

失，接头处产生局部压力损失很小，管长越长，流量越大，压力损失越大；管径越大，压力损失越小。根据实际工况下的管长与流量，需合理选择管径，使压力损失满足要求；在长管道大流量的情况下，需选择较大的管径，随着管径的逐渐增大，压力损失变化幅度显著减小，管径到达某值时，其对压力损失的影响微乎其微，此时再增大管径效果不再明显，同时会大幅增加系统造价，降低系统安全等级。

【参考文献】

- [1] 路甬祥．液压气压技术手册 [M]．北京：机械工业出版社，2002.
- [2] 蔡亦钢．流体传输管道动力学 [M]．杭州：浙江大学出版社，1990.
- [3] 李华聪，李吉．机械/液压系统建模仿真软件 AMESim [J]．计算机仿真，2006（12）. [责任编辑：王兴库]