中国煤炭行业知识服务平台（中国煤炭期刊网）
CHINA COAL INDUSTRY KNOWLEDGE SERVICE PLATFORM

推荐阅读：

“智能化煤矿建设关键技术”专题

智能化煤矿分类、分级评价指标体系

煤矿智能化标准体系框架与建设思路

煤矿智能化(初级阶段)研究与实践

综采工作面煤层装备联合虚拟仿真技术构想与实践

煤矿井下随钻测量定向钻进技术与装备现状及展望

智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术

虚拟现实技术在煤矿领域的研究现状及展望

德国工业 4.0 与中国煤机装备智能制造的发展

智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向

智能矿井安全生产大数据集成分析平台及其应用

基于 TOA 压缩感知的矿井分布式目标定位方法

松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势

我国煤层气钻井技术及装备现状与展望

煤矿井孔钻进技术及发展

2311m 顺煤层超长定向钻孔高效钻进技术

我国煤矿区钻进技术装备发展与应用

煤矿井下人员精确定位方法

智慧矿山建设架构体系及其关键技术

矿山工程信息物理系统研究及挑战

智能化无人开采系列关键技术之一——综采智能化工作面调斜控制技术研究

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

神东 ZDD25000/35/65 垛式支架柱窝设计与优化

曹　帅[1],夏大勇[2],原长锁[1]
(1.神华神东煤炭集团有限责任公司,陕西 榆林　719315;2. 平顶山平煤机煤矿机械装备有限公司,河南 平顶山　467000)

摘　要:首先通过对比材料性能,确定了 ZDD25000/35/65 垛式支架顶梁和底座柱窝的材料,其次对柱窝经济性和包覆面重合量进行了分析,确定了柱窝的外形和弧面大小;最后借助有限元软件对柱窝力学性能进行了分析验证,证明设计的柱窝外形和球面能够满足支架的使用要求。结合柱窝的实际加工工艺进行了相关优化工作,在满足设计性能的前提下进一步降低了柱窝的生产成本和加工难度系数。研究为设计柱窝模型和确定加工工艺,提供了参考和借鉴。

关键词:柱窝;材料性能;液压支架
中图分类号:TD402　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:0253-2336(2019)S2-0032-04

Design and optimization of Shendong ZDD25000/35/65 stacked support

CAO Shuai[1], XIA Dayong[2], YUAN Changsuo[1]
(1.*Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., Yulin*　719315, *China*; 2.*Pingdingshan Pmj Coal Mine Machinery Equipment Co., Ltd., Pingdingshan*　467000, *China*)

0　引　　言

ZDD25000/35/65 垛式支架是为 8.8 m 超大采高工作面回撤辅助运输巷道研制的专用支架,能有效地解决采高 8.8 m 工作面设备外形尺寸大、质量大,辅助运输巷道需支护面积大,辅助运输巷道支护和维护困难等问题。在垛式支架设计和制造过程中,立柱柱窝是支架可靠性的关键部件之一,而且立柱柱窝是与立柱直接接触,工作面顶板压力通过立柱直接作用在柱窝上,受力情况比较恶劣,设计不合理或者加工不合格都将会出现焊缝开裂[1],柱窝裂缝甚至柱窝直接被立柱顶穿等问题[2]。再者,大采高超大工作阻力液压支架柱窝体积大,成本高,在设计生产时还需要考虑经济成本。因此,在柱窝设计过程中需要进行针对性研究,既要满足支架使用条件,还需要对加工工艺进行合理优化。

主要通过对比分析的方法,从各种材料和外形上对柱窝进行了筛选,结合有限元软件进行了优化,得到适合大采高专用垛式支架使用的柱窝模型。

1　柱窝材料选用

支架顶梁及底座柱窝因其外形不规则,既有平面也有曲面,因此在实际生产中一般采用铸造和锻造 2 种加工方法[3]。对于立柱缸径在 ø400 mm 以上的高端支架,由于铸造件先天容易产生气孔夹砂等缺陷,为了提高柱窝的强度和寿命,设计时均采用锻件结构,主要选用的是低合金刚度材料钢[4],适用煤机行业的常用材质有 27SiMn、30CrMnSi 和 30CrMo,三者性能对比见表 1。

表 1　材料性能对比

序号	材料	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	冲击吸收功 A/J	焊接性能
1	27SiMn	980	835	39	一般
2	30CrMnSi	1 080	885	39	一般
3	30CrMo	930	785	63	差

从表 1 对比可以看出,抗拉性能最好的为 30CrMnSi,其抗拉强度 1 080 MPa,高出 30CrMo150 MPa。3 种材料中,30CrMnSi 屈服强度最高,比 30CrMo 高 105 MPa,27SiMn 性能居中。30CrMo 冲击功最大,30CrMnSi 和 27SiMn 冲击功相同。垛式支架一般是用在工作面回采末期。27SiMn 和 30CrMnSi 属于中碳调质钢,淬硬倾向大,焊前预热,需要用小线能量施焊,焊接性能一般[5]。30CrMo 可焊性较差,进行焊接时很可能出现裂纹,其与顶梁底座主筋所用 S690Q 板材焊接时所需温度和焊接方

收稿日期:2019-06-15;**责任编辑**:朱恩光
作者简介:曹　帅(1987—),男,内蒙古鄂尔多斯人,工程师。E-mail:894545832@qq.com
通讯作者:原长锁(1969—),男,陕西蒲城人,高级工程师。E-mail:yyz2505162163.com

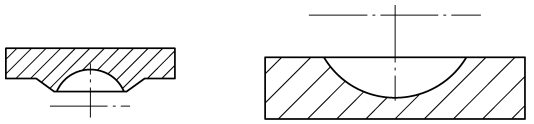
中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

法也不易控制。

综上所述,27SiMn 虽然各项性能较为平均,为了保证超大工作阻力垛式支架的可靠性,未予采用 27SiMn 材料,而选用 30CrMnSi 作为柱窝材质。

2　柱窝型式对比

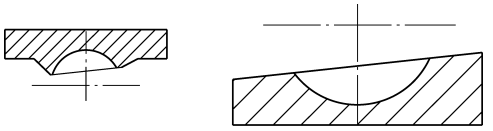
ZDD25000/35/65 垛式支架为四柱支撑式支架,根据要求立柱柱窝均采用锻造结构。锻造柱窝承载部分按平面外形分,可分为 2 种[6]。一种是水平柱窝,如图 1 所示,柱窝上平面与柱窝下平面平行。



(a) 顶梁　　(b) 底座

图 1　平行式柱窝

另一种是倾斜柱窝,柱窝上平面为斜面,如图 2 所示。



(a) 顶梁　　(b) 底座

图 2　倾斜式柱窝

垛式支架立柱根据工作阻力需要选用 ø420 mm 立柱,立柱的具体规格参数如下:

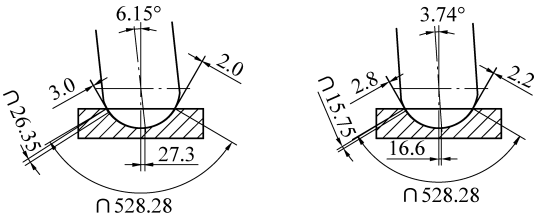
缸径(一级/二级)/mm	420/290
柱径(一级/二级)/mm	390/260
顶球半径/mm	110
底球半径/mm	250

支架在使用过程中,立柱与柱窝受力状况与支架的高度有关,当高度一定时,柱窝的抗压强度和柱窝对柱头包覆量有直接关联[7],下面就支架不同高度时球面重合量进行对比分析。ZDD25000/35/65 垛式支架,在不同支护高度时,立柱与竖直方向夹角见表 2。

表 2　支架高度与立柱夹角

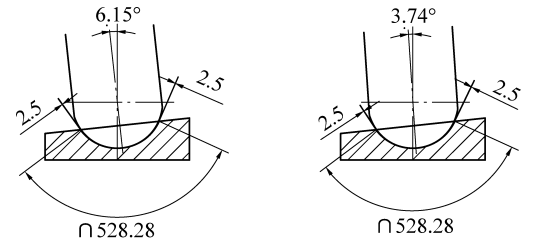
序号	支架高度/m	前立柱夹角/(°)	后立柱夹角/(°)
1	3.5	6.15	6.13
2	4.0	4.43	5.82
3	6.0	4.51	1.65
4	6.5	3.74	1.86

支护高度不同时,立柱缸底与底座柱窝接触点形态如图 3—图 4 所示。



(a) 支架高度3.5 m　　(b) 支架高度6.5 m

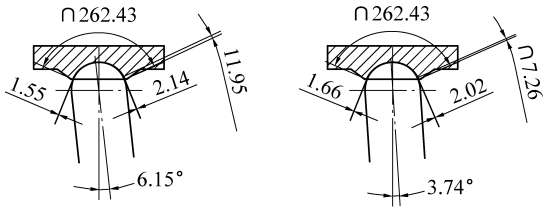
图 3　底座平行式柱窝接触



(a) 支架高度3.5 m　　(b) 支架高度6.5 m

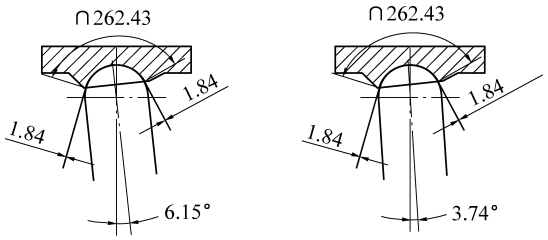
图 4　底座倾斜式柱窝接触

在不同支护高度时,立柱柱头与顶梁柱窝接触点形态如图 5—图 6 所示。



(a) 支架高度3.5 m　　(b) 支架高度6.5 m

图 5　顶梁平行式柱窝接触



(a) 支架高度3.5 m　　(b) 支架高度6.5 m

图 6　顶梁倾斜式柱窝接触

柱窝设计为倾斜式时,外缸底在底座柱窝内的接触面值为 100%,柱窝设计为平行式时,外缸底在底座柱窝内的接触面比例(未接触到的弧长/总弧长),柱头在柱帽内的情况,见表 3。

表 3　支架高度与球面重合量

序号	支架高度/m	缸底在柱窝内的接触面比例/%		柱头在柱帽内的接触面比例/%	
		平面结构	斜面结构	平面结构	斜面结构
1	3.5	95	100	95.4	100
2	6.5	97	100	97.2	100

由表 3 看出:支架立柱最大夹角只有 6.15°;立柱柱窝设计为水平时,外缸底在底座柱窝内的最小

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

接触面比为 95%,设计时柱窝、柱帽的窝深均有较大的富裕量,故立柱与柱窝、柱帽的夹角对接触面的影响很小。

3　柱窝外形经济性分析

柱窝从功能结构可以分为 2 大部分:一部分为承载部分,另一部分为连接部分。承载部分为柱窝的主体部分,其作用是承受来自顶梁和底板的压力,并将压力传递给立柱,外形可分为平行式和倾斜式。柱窝外形因要求较多,承载部分外形会有细微差异,为了降低成本有时会对柱窝承载部分进行减重,对于与立柱缸底接触部分,为防止应力集中,会开有应力凹槽。连接部分用来固定立柱,其耳板可与柱窝整体锻造也可以采用板料加工后与承载部分组合焊接。作为四柱支撑式液压支架,垛式支架由于前后立柱在支架行程范围内倾斜角度有一定差异,因此前后立柱柱窝设计时是否考虑互换也是其外形变化的重要因素。

以 30CrMnSi 为例,说明柱窝不同外形对柱窝价格的影响。当前垛式支架锻件柱窝基准价格为 9 000元/件。表 4 通过不同外形和结构对生产成本产生的变化,为柱窝的设计优化提供参考。

表 4　柱窝不同结构形式发生的费用变化情况

项目	费用变化/元				
	平行窝面	焊接耳板	应力凹槽	厚度降低	前后互换
有	0	80	50	-500	0
无	800	300	0	0	400

从上述对比可以看出,平行柱窝、厚度、互换性和焊接耳板是造成柱窝价格的主要因素,其中除厚度因素外,平行柱窝和焊接耳板都是因为增加了开模及锻造难度,而不能前后互换则需要将模具数量增加 1 倍,多开模具导致成本上升。

立柱柱窝设计为水平时立柱与柱窝、柱帽的夹角对接触面的影响很小,因此选择柱窝承载部分外形为平行式,采用焊接耳板的形式,并适当降低厚度,减轻柱窝主体重量。

4　柱窝有限元分析

通过 SolidWorks 三维软件的实体拉伸和旋转切除等命令构建三维实体模型,在建模过程中,为了后续分析需要可以对模型的一些细节进行简化处理,一方面有利于模型网格的划分,另一方面可以提高有限元的计算速度。

4.2　COSMOSXpress 模块设置

从工具栏中点击进入 COSMOSXpress 模块,在对话框中可以进行相关设置,主要有系统单位、相关注释、材质等,与 ANSYS 不同的是 SolidWorks 自带了相关材质库,如果对材质性能区分不清楚可以选择一类材质,比如 30CrMnSi 材质性能可以直接用合金钢来代替,也可以自定义材料性能。

4.3　分析计算

在 SolidWorks 中计算较为方便,只需要对分析对象添加约束,再施加载荷,最后点击应力分析。在应力分析前会有网格划分,常规项以选择默认项,软件会自动划分网格并进行计算。

柱窝的受力情况分析采用了 2 种方法,一种是按照 GB25974.1—2010《液压支架通用技术条件》中检验要求,在施加外接约束条件(垫块)的情况下,通过模拟液压支架型试验工况(GB 25974—1 或者 EN1804—1),对支架整架进行有限元分析,按 1.2 倍立柱压力进行加载的方式,对包含柱窝在内的顶梁和底座进行整体分析;一种是将柱窝单独列为分析对象,通过底部或顶部约束,再按 1.2 倍的立柱工作阻力加载在柱窝表面进行分析[8]。

通过以上 2 种方法分析,得出垛式支架柱窝产生的最大屈服应力是 620 MPa,而 30CrMnSi 材料的屈服强度为 885 MPa,其安全系数约为 1.4 倍,高于液压支架设计规范中关于顶梁安全系数 1.1~1.3 倍的要求,因此认为设计的柱窝能够满足使用要求[9]。

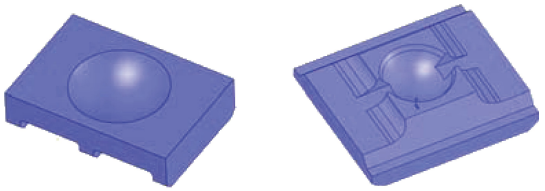
5　柱窝工艺优化

通过对柱窝平面外形和材料的对比,可以看出,在保证设计和使用性能的情况下,可以对柱窝上表面作水平处理,其性能变化差异较小,同时选用性能较好的 30CrMnSi 作为锻件材质。而为了降低加工生产成本和加工难度,还需要对柱窝进行局部优化[10]。具体包括:将柱窝耳板部件由整体式改为焊接式,降低锻造难度及开发模具成本;柱窝弧面底部增加圆形凹槽,防止柱窝因应力集中开裂;降低柱窝厚度,将部分锻造厚度改为柱窝底部焊接箱体厚度;需要干涉处理的结构对称处理,方便柱窝前后左右互换。ZDD25000/35/65 垛式支架顶梁和底座柱窝优化后的模型如图 7 所示。

根据以上方法,选用锻造平行柱窝,焊接耳板和应力凹槽,同时降低柱窝厚度和增加互换性优化后的柱窝价格为:①底座柱窝价格=9 000+0+80+50-500+0=8 630 元/件。②顶梁柱窝价格=9 000+0+50-500+0=8 550 元/件。

按整批支架 190 架计算,每架用到顶梁柱窝和

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net



(a) 底座柱窝　　(b) 顶梁柱窝

图 7　柱窝优化

底座柱窝各 4 件,则节约的资金为:节约金额 = [(9 000-8 630)+(9 000-8 550)]×4×190 = 62.32 万元。

6 结　　语

总结了 ZDD25000/35/65 垛式支架在顶梁和底座柱窝设计时的选型和优化方法,在保证支架柱窝使用可靠性的前提下,通过对比分析,优化了产品的外形结构,简化了工艺难度,降低了柱窝的生产成本,为广大设计人员进行类似工作时提供了借鉴和参考。

参考文献:

[1] 魏　鹏.ZF10000/23/35 型液压支架柱帽压裂原因分析[J].山西焦煤科技,2015,39(2):16-18,46.

[2] 吕金龙.液压支架底座柱窝穿底情况分析[J].煤矿机械,2014,35(12):136-138.

[3] 王保东,卢云杰.新型液压支架柱窝材料的研制[J].煤矿机械,2008(2):78-80.

[4] 闫振生.液压支架柱窝常见铸造缺陷及预防措施[J].山西焦煤科技,2010,34(6):19-20,40.

[5] 冯占淼,孟贺超.液压支架底座柱窝焊接结构及工艺改进[J].焊接技术,2016,45(2):39-41.

[6] 潘　铭.ZY12000/28/63D 型液压支架柱窝结构的优化[J].煤矿机械,2014,35(9):262-264.

[7] 孟凡龙,孟二存,曾明胜,等.液压支架柱帽和柱窝设计制造的研究[J].煤矿开采,2005,10(2):85-86.

[8] 刘　刚.基于 SolidWorks 的液压支架柱帽的有限元分析[J].金属加工:冷加工,2010(8):73-74.

[9] 徐亚军,蒲宝山,朱　军.液压支架柱帽的有限元分析及其优化[J].煤矿机械,2005,25(10):49-51.

[10] 韩会军.高端液压支架柱窝强度分析及优化设计[J].矿山机械,2017,45(9):14-17.