采煤机截割部行星架断裂原因分析与改进

李庆亮,贠瑞光,宋 振,魏 升
(天地科技股份有限公司 上海分公司,上海 200030)

摘 要: 针对 MG200/446-WD 型采煤机截割部行星架频繁断裂的现状,运用化学成分和机械性能检测、显微组织检测、有限元分析和实地考察等方法,分别从行星架材料、结构和使用环境 3 个方面进行分析。结果表明: MG200/446-WD 型采煤机截割部行星架存在强度不足和应力集中的问题,需改进材料、工艺和结构; 改进后的行星架强度提高了 32%,所受最大应力减小至原来的 58%; 通过现场使用效果,验证了改进方案的正确性。该改进方法能有效提高行星架强度,可为薄煤层采煤机行星架的设计研究提供参考。

关键词: 采煤机; 截割部; 行星架; 断裂; 强度
中图分类号: TD421.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)05-0172-05

Analysis on reason of fracture and lmprovement for planetary mechanism of shearer cutting unit

Li Qingliang, Yun Ruiguang, Song Zhen, Wei Sheng
(*Shanghai Branch, Tiandi Science and Technology Corporation, Shanghai* 200030)

Abstract: According to status of the frequent fracture for planetary mechanism of cutting unit of MG200/446-WD type shearer, using the testing of chemical composition and mechanical properties, the testing of microscopic structure, and the finite element analysis and on-site inspection, analyzing from material, structure and use of the environment. The results showed that the planetary mechanism of MG200/446-WD type of shearer problems such as insufficient strength and stress concentration, should be improved from the materials, process and the structure design; the strength of planetary mechanism increased by 32% and maximum stress value decreases to 58% after improvement; using effect verify the validity of the improved scheme. The paper puts forward the improved method can effectively improve the strength of planetary mechanism. It can provide the reference for design and research of thin seam shearer planetary mechanism.

Key words: shearer; cutting department; planetary mechanism; fracture; strength

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引 言

某矿薄煤层工作面地质构造复杂,煤层直接顶为 0.1~0.5 m 厚黑色炭质页岩,富含球状黄铁矿结核,煤层平均厚度 1.2 m 左右,煤层内含 1~2 层夹矸,夹矸厚度为 0.05~0.20 m,煤层直接底由约 3 m 厚的白色铝土和约 2 m 角砾岩组成,较为杂乱。该矿在使用 MG200/446-WD 型采煤机 3 个月期间,过煤量 5 万 t 左右,截割部行星架连续断裂 5 个,行星架断裂部位均位于行星架筋板输出端的根部,断面整齐,有规则。行星架一旦断裂,整个摇臂传动系统则会瘫痪[3],采煤机也就无法工作,煤矿则会面临停产威胁。对于行星架的可靠性研究一直是学者研究的重点,例如文献[2]对行星组件进行了有限元分析和疲劳寿命分析,并根据分析结果对行星组件进行结构优化,但优化后的行星机构在实际工况应用效果如何并未涉及; 文献[4]提出了薄煤层采煤机摇臂行星机构的新型支撑结构,从整体上改善了整个行星机构的受力状况,但是对于单独的行星架可靠性未做研究; 文献[5]提出了通过工艺方法减小行星架应力集中的方法,但未涉及冲击载荷对行星架强度影响的相关研究。为找出该行星架频繁断

收稿日期: 2015-12-11; **责任编辑:** 赵 瑞 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.05.033
作者简介: 李庆亮(1984—),男,山东淄博人,助理研究员,硕士。Tel: 13661660917, E-mail: liql1012@126.com
引用格式: 李庆亮,贠瑞光,宋 振,等.采煤机截割部行星架断裂原因分析与改进[J].煤炭科学技术,2016,44(5):172-176.
Li Qingliang, Yun Ruiguang, Song Zhen, *et al*. Analysis on reason of fracture and lmprovement for planetary mechanism of shearer cutting unit[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 172-176.

裂的主要原因,有效避免类似问题再次发生,笔者利用仪器检测手段,有限元分析方法,使用环境现场考察相结合的方法,对该行星架断裂原因进行深入分析研究,提出改进设计方案,并通过理论分析和工况检验,验证了改进方法的正确性。

1　断裂原因分析

针对 MG200/446-WD 采煤机截割部行星架断裂情况,从材料方面,结构方面和使用环境对断裂产生的原因进行分析。

1.1　材料方面

1) 化学成分和机械性能。MG200/446-WD 采煤机截割部行星架为整体铸造结构,材料为 ZG42CrMo,是一种中碳调质低合金铸钢,在采煤机械中有较广的应用范围,调质处理,硬度 260~300 HB。对断裂部分的化学成分和机械性能进行检验,结果见表 1 和表 2。该材料检测报告显示,其化学成分和机械性能符合相关要求。

表 1　化学成分(质量分数)检测结果

Table 1　Chemical composition(mass fraction) testing results　%

化学成分	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
标准值	0.38~0.45	0.3~0.6	0.6~1.0	≤0.035	≤0.035	0.8~1.2	0.2~0.3
实测	0.38	0.39	0.76	0.006	0.018	0.9	0.20

表 2　机械性能检测

Table 2　Mechanical properties testing

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	收缩率/%	冲击值/(J·cm^{-2})
指标要求	740~880	≥540	≥11	≥40	≥12
实测结果	820	546	12	40	29

2) 显微组织检测。通过对材料样本的显微组织进行检测,结果表明,该材料的心部组织为: 回火索氏体+少量贝氏体+极少量铁素体,为调质组织。该铸件显微组织形貌如图 1 所示,无明显缺陷。根据以上检验和检测结果显示,该铸件热处理工艺符合设计要求,无质量缺陷。

1.2　结构方面

采煤机沿工作面往复割煤,截割部行星架受交变载荷作用。若煤层较硬或有夹矸,则交变载荷变大。在图 2 所示的 R 处,为应力集中部位,在长时间交变载荷作用下易形成裂纹。随着时间推移,裂纹会逐渐扩展,最终导致该行星架疲劳断裂。

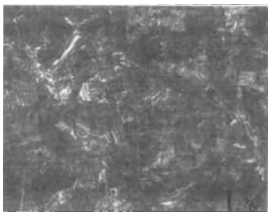


图 1　材料显微组织检测结果

Fig. 1 Material microstructure test result

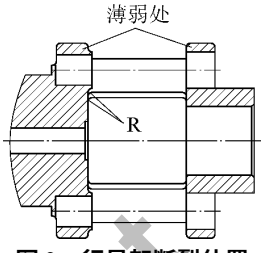


图 2　行星架断裂位置

Fig. 2　Fracture location of planetary mechanism

为验证该行星架结构上的薄弱部位,利用有限元分析软件对行星架进行有限元分析。利用 Solid-edge 创建行星架三维模型,并对三维模型进行简化,定义材料特性: 弹性模量 $E=200$ GPa,泊松比 $\mu=0.3$,材料密度 $\rho=7\ 850$ kg/m^3,选用六面体和四面体联合网格,网格类型为 Quad/Tri,实体共划分网格数 28 715,节点数 76 874。MG200/446-WD 型采煤机单摇臂输出功率 $P=200$ kW,输出转速 $n=61$ r/min,传功效率 $\eta=0.915$,则该行星架输出转矩 $T=9\ 550P\eta/n=28.6$ kN·m。心轴中心到行星架中心的距离 $r=0.108$ m,该行星架所受力 $F_z=T/r=264.8$ kN。此力由 8 个心轴孔承担,每个孔受力 $F_8=F_z/8=33.1$ kN,考虑实际情况,每个孔受力存在大小差异,故取均载系数 1.15,每个孔受力按 1.15 F_8,即 38.1 kN 施加,得到计算结果。该行星架载荷分布和应力云图如图 3 所示。

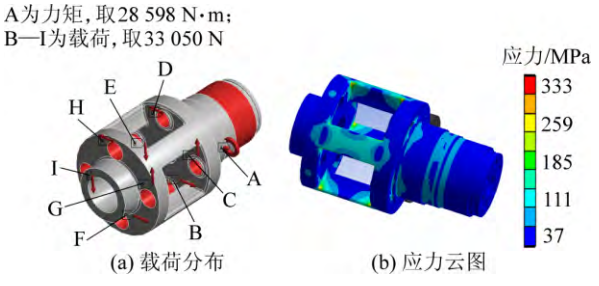


图 3　行星架载荷分布和应力云图

Fig. 3　Distribution of planetary mechanism and stress nephogram of planetary mechanism

分析图 3b 可知: 最大应力所处的部位与图 2 中

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

的薄弱位置相符，即在该行星架 4 个筋板与 2 个台面的交界处，是行星架的应力集中部位，最大应力为 333 MPa。如果铸造时在此处存在初始缺陷将加大应力集中，在长时间交变载荷作用下，裂纹会逐渐扩展，最终导致该行星架疲劳断裂。

1.3　使用条件

此工作面采高 1.1～1.4 m，煤层普氏系数约为 4，工作面倾角约为 25°，工作面起伏较大，工作面中部有长 20～30 m 的全岩断层。煤层沿工作面方向及走向的大起伏造成煤层分布错综复杂。断层和工作面起伏较严重处采取炮采与采煤机割矸相结合的方式，局部工作面剖面如图 4 所示。

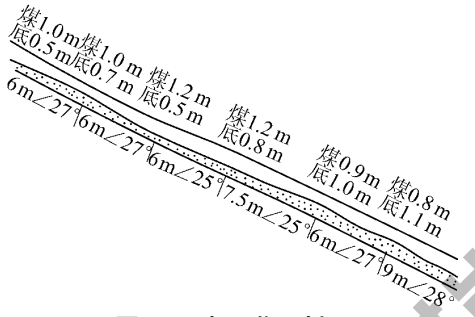


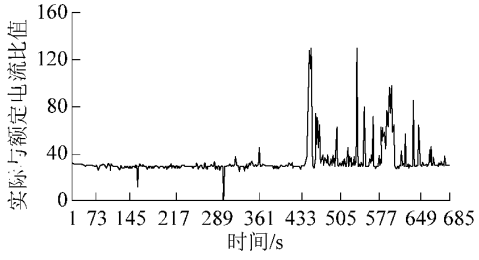
图 4　局部工作面剖面

Fig. 4　Profile of local working face

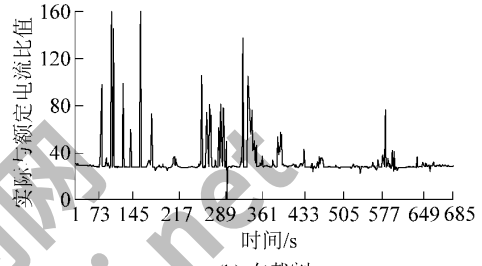
采煤机截割部行星架在此工作条件下运行，则会受到较强的冲击载荷，倘若瞬时的冲击载荷超过其强度极限，则会造成该行星架薄弱处断裂。根据图 3b 所示应力云图结果，该行星架理论所受最大应力为 333 MPa，在实际工况中，其瞬时冲击载荷可达到此最大应力的 2～3 倍，超过材料的强度极限 820 MPa，使该行星架瞬时断裂。

通过读取采煤机自带的 CF 卡，得到某段时间其左右截割电动机电流的变化曲线，如图 5 所示。由图 5 可知，在取样时间段内，CF 卡记录最大电流值出现在右截割电动机处，最大电流超过额定电流的 160%，且在取样时间段中，过载时间占此段时间内采煤机工作时间的 13.4%，因此断定行星架也受到较强冲击载荷作用。

综上所述，可以推断该行星架损坏原因主要存在 2 个方面：①由于薄煤层工作面煤层赋存条件复杂的客观因素，导致该采煤机行星架长时间承受较大交变载荷，一段时间后在行星架筋板靠近输出轴端根部的应力集中处，由于疲劳产生细微裂纹，随着时间推移，裂纹扩展，最终导致行星架断裂损坏；②传统的铸造材料和工艺无法满足复杂工作面对行星架强度的要求，导致该行星架在受到冲击载荷时瞬间断裂。



(a) 左截割



(b) 右截割

图 5　左右截割电动机电流变化

Fig. 5　Current change of left and right cutting motor

2　行星架改进及其效果

2.1　行星架改进设计方案

针对上述行星架断裂的原因，对该行星架作提出如下改进设计方案：

1) 将该行星架由铸造改为锻焊结构，材料由 ZG42CrMo 改为某优质材料，以提高行星架整体强度和韧性。

2) 改进结构设计，一方面加大断裂部位强度，将断裂部位的厚度由 15 mm 增加到 28 mm；另一方面，减小应力集中，将断裂根部圆角由 R5 改为 R15。改进后的行星架如图 6 所示。

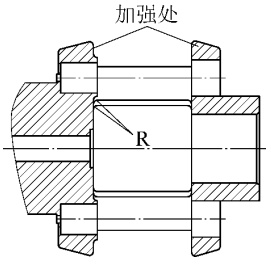


图 6　行星架改进示意

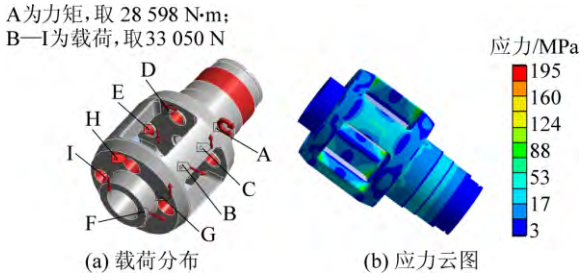
Fig. 6　Improvement sketch of planetary mechanism

3) 增加强化喷丸处理，消除应力，提高行星架表面质量，减少裂纹产生的概率。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

2.2　改进设计效果

1) 理论分析。对改进后的行星架进行有限元分析,假设其所受载荷不变,载荷分布和应力云图如图 7 所示。



(a) 载荷分布　　(b) 应力云图

图 7　改进后行星架载荷分布和行星架应力云图

Fig. 7　Distribution of planetary mechanism and stress nephogram of planetary mechanism after improved

改进后行星架应力分析结果显示: ①行星架在正常工作时,所受最大应力为 195 MPa,降低至原最大应力的 58%,较改进前明显减小,最大应力部位出现在行星架 4 个筋板与 2 个台面的交界处; ②由于改进后的行星架采用新材料、新工艺,其抗拉强度达到 1 080 MPa,较改进前提高了 32%,冲击载荷在最大应力值 5 倍以内都不会造成行星架断裂,因此改进后的行星架强度大幅增加。

2) 实际效果。自行星架改进后,在同一煤矿至今已连续 9 个月未出现行星架断裂的情况,9 个月期间过煤量共计 20 万 t 左右,实际效果较改进前有显著提升。

3　结　　语

通过对 MG200/446-WD 型采煤机截割部行星架损坏原因的深入研究,从行星架的材料,结构及工作面使用条件等多方原因进行分析,找出了该型采煤机截割部行星架断裂的主要原因: 所受冲击负荷和交变载荷大,原铸造行星架不能满足工况需求。针对以上问题提出了相应改进方案,通过理论和实践验证,改进设计后的行星架强度有显著提升。本研究对今后薄煤层采煤机行星架的设计具有一定的参考价值和借鉴经验。

参考文献:

[1] Hoseinie S H, Ataei M, Khalokakaie R, *et al*. Reliability analysis of the cable system of drum shearer using the power law process model [J]. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2012, 26(4): 309-323.

[2] 赵丽娟,张农海.含硫化铁结核薄煤层采煤机行星组件优化设计 [J].机械设计,2010,27(7):74-78.
Zhao Lijuan, Zhang Nonghai. Planetary components optimization design of shearerin thin coal seam with Pyrite nodules [J]. Mechanical Design, 2010, 27(7): 74-78.

[3] 李建平,杜长龙,张永忠.我国薄及极薄煤层开采设备的现状和发展趋势 [J].煤炭科学技术,2005,33(6): 34-36.
Li Jianping, Du Changlong, Zhang Yongzhong. Present status and development tendency of mining equipment for thin and ultrathin seam in China [J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(6): 34-36.

[4] 章立强.薄煤层采煤机摇臂行星机构的支撑结构研究 [J].煤炭工程,2015,47(10):132-134.
Zhang Liqiang. Support structure of ranging arm planetary mechanism of thin coal seam shearer [J]. Coal Engineering, 2015, 47(10): 132-134.

[5] 李嘉鹏.薄煤层采煤机截割部行星架有限元分析 [J].煤矿机械,2012,33(4):93-95.
Li Jiapeng. Finite element analysis of planetary carrier of seam shearer cutting department [J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(4): 93-95.

[6] 赵丽娟,孟　阳,田　震,等.薄煤层采煤机行星机构强度分析 [J].机械传动,2014,38(12):128-132.
Zhao Lijuan, Meng Yang, Tian Zhen, *et al*. Strength analysis of thin seam shearer planetary mechanism [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2014, 38(12): 128-132.

[7] Par J, Jean Jacques T. Extrapolation of rain flow matrices [M]. Kluwer: Academic Publishers, 2002: 241-262.

[8] 许金龙,吴　波,王畏寒.电牵引采煤机行星减速器可靠性增长研究 [J].矿山机械,2011,39(8):27-29.
Xu Jinlong, Wu Bo, Wang Weihan. Study on reliability growth of planetary reducers in electric haulage shearers [J]. Mining & Processing Equipment, 2011, 39(8): 27-29.

[9] 翟雨生.采煤机摇臂壳体断裂原因分析及改进措施 [J].煤矿机械,2014,35(10):192-193.
Zhai Yusheng. Fracture analysis and improvement measures of ranging shell for shearer [J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(10): 192-193.

[10] 赵丽娟,乔美娜,兰金宝.新型采煤机截割部行星轮系强度分析 [J].机械传动,2015,39(2):107-110.
Zhao Lijuan, Qiao Meina, Lan Jinbao. Strength analysis of planetary gear train of a new shearer cutting unit [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2015, 39(2): 107-110.

[11] 张东进.电牵引采煤机行星减速轮系中太阳轮有限元应力及模态分析 [J].煤矿机械,2011,32(10):119-120.
Zhang Dongjin. Stress and modal analysis of sun gear in planetary reducer of electric traction shearer based on finite element analysis [J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(10): 119-120.

[12] 赵丽娟,刘旭南,吕铁亮.基于虚拟样机技术的采煤机截割部可靠性研究 [J].广西大学学报: 自然科学版,2011,35(5):738-746.
Zhao Lijuan, Liu Xunan, Lyu Tieliang. Reliability research of

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

shearer cutting unit based on virtual prototyping technology [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2011, 35(5): 738-746.

[13] 张铁毅,张华明.露天煤矿自卸车后桥壳失效原因分析 [J].煤炭科学技术,2014,42(4):75-78.
Zhang Tieyi, Zhang Huaming. Analysis of mining dump truck rear axle housing failure in surface mine [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 75-78.

[14] 张世洪.我国综采采煤机技术的创新研究 [J].煤炭学报,2010,35(11):1898-1900.
Zhang Shihong. Study on the innovation of fully mechanized coal shearer technology in China [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1898-1900.

[15] 贺声阳.大功率电牵引采煤机整机系统可靠性研究 [D].太原:太原理工大学,2009: 7-21.

[16] 赵丽娟,董萌萌.含硫化铁结核薄煤层采煤机工作机构载荷问题研究 [J].煤炭学报,2009,34(6):840-844.
Zhao Lijuan, Dong Mengmeng. Load problem of working mechanism of of shearerin containing pyrites and thin coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(6): 840-844.

[17] 杨德星,王素玉,于 涛.采煤机行星减速机构的仿真分析 [J].煤矿机械,2012,33(1):237-239.
Yang Dexing, Wang Suyu, Yu Tao. Simulation and analysis of planetary gear reducer for shearer [J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(1): 237-239.

[18] 赵丽娟,杨程程.薄煤层采煤机截割部可靠性分析 [J].制造业自动化,2012(2):161-163.
Zhao Lijuan, Yang Chengcheng. Analysis on reliability of shearer working in thin coal seam with pyrites nodules [J]. Manufacturing Automation, 2012(2): 161-163.

[19] 赵丽娟,李 佳,田 震,等.新型薄煤层采煤机截割部建模与及仿真研究 [J].机械传动,2013,37(1):47-50.
Zhao Lijuan, Li Jia, Tian Zhen, *et al*. Reliability analysis of a new shearer cutting unit in thin coal seam [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2013, 37(1): 47-50.

[20] 张勇涛,李 英,郑德福,等.采煤机截割部结构优化 [J].煤矿机械,2012,33(11):177-178.
Zhang Yongtao, Li Ying, Zheng Defu, *et al*. Shearer cutting unit structure optimization [J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(11): 177-178.

(上接第 78 页)

China Coalbed Methane, 2011, 8(6): 18-21.

[16] 张遂安,曹立虎,杜彩霞.煤层气井产气机理及排采控压控粉研究 [J].煤炭学报,2014,39(9):1927-1931.
Zhang Suian, Cao Lihu, Du Caixia. Study on CBM production mechanism and control theory of bottom-hole pressure and coal fines during CBM well production [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1927-1931.

[17] 陈振宏,王一兵,孙 平.煤粉产出对高煤阶煤层气井产能的影响及其控制 [J].煤炭学报,2009,34(2):229-232.
Chen Zhenhong, Wang Yibing, Sun Ping. Destructive influences and effectively treatments of coal powder to high rank coalbed methane production [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 229-232.

[18] Douglas Magill, Jordan R, Devon, *et al*. Controlling coal-fines production in massively cavitatedopenhole coalbed methane wells [C]. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Brisbane, Queensland, Australia, 2010.

[19] Marclnew R P, Hinkel J J. Coal fines-origin effects and methods to control associated damage [C]. Petroleum Society of CIM/Society of Petroleum Engineers, 1990: 1-8.

[20] 黄卫星,陈文梅.工程流体力学 [M].北京:化学工业出版社,2001: 140-151.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net