

# 7 m 大采高采煤机易维护全直齿摇臂设计研究

张子飞<sup>1</sup> 杨鹏<sup>1</sup> 罗文<sup>2</sup>

(1. 神华神东煤炭集团有限责任公司 陕西 神木 719315; 2. 神华神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿 陕西 神木 719315)

**摘要:**为解决进口摇臂故障多且不易维护的问题,通过数值模拟和现场实践的方法,提出适用于 7 m 大采高的国产易维护全直齿摇臂设计方案,采用了全直齿传动、铸焊结合型壳体、时分性强制润滑和组合多路冷却等关键技术,实现了易维护全直齿摇臂五级全直齿传动,提高了减速机构的稳定性。易维护全直齿摇臂在大柳塔煤矿 7 m 大采高综采工作面应用 7 个月,故障率较进口摇臂降低了约 20%,维护时间缩短了约 30%,大幅降低了设备故障率及工人的劳动强度,提高了采煤效率和效益。

**关键词:**易维护全直齿摇臂;7 m 大采高;直齿传动;强制润滑

中图分类号:TD421.6 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)05-0125-04

## Study on Design of Easy Maintenance Full Direct Gearing Ranging Arm for 7 m High Cutting Height Coal Shearer

ZHANG Zi-fei<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>, LUO Wen<sup>2</sup>

(1. Shenhua Shendong Coal Group Company Limited, Shenmu 719315, China;

2. Daliuta Mine, Shenhua Shendong Coal Group Company Limited, Shenmu 719315, China)

**Abstract:** In order to solve the many faults and difficult maintenances of the imported shearers ranging booms, with the numerical simulation and site practices method, a design plan of a domestic easy maintenance and full straight gearing ranging arm was provided for 7 m high cutting height. A full gearing driving, a casting and welding combined casing, real-time analysis forced lubrication, combined multiple cooling and other key technologies were applied to realize five grade direct gearing driving of the easy maintenance direct gearing ranging arm and to improve the stability of the gearing mechanism. During the 7 months application of the easy maintenance and full direct gearing ranging arm in Daliuta Mine, the failure rate was 20% lower than the imported ranging arm and the maintenance time was reduced by about 30%. The failure rate of the equipment and labor intensity of the miners were highly reduced and the coal mining efficiency and benefit were improved.

**Key words:** easy maintenance full direct gearing ranging arm; 7 m high cutting height; direct gearing driving; forced lubricating

## 0 引 言

采煤机是煤炭综采开采最重要的设备之一,摇臂是采煤机的关键部件<sup>[1]</sup>,摇臂质量和适用性直接影响到采煤机的运行工况,进而关系到采煤效率和回采安全。神东煤炭集团公司对厚煤层开采的采出率要求严格,采高在 7 m 左右的综采工作面均采用一次采全高的回采工艺。国外的 SL1000 型和 7LS7 型大采高采煤机能满足 7 m 采高的要求,但摇臂行

星齿轮传动机构内部结构复杂,行星头容易损坏,维修成本高且不易更换和维护<sup>[2]</sup>,维修难度大,影响了综采工作面的安全高效生产。为了克服这一难题,神东煤炭集团公司联合国内设备厂家研发适合 7 m 大采高综采工作面使用的易维护全直齿摇臂,这种摇臂的设计和研制在国内尚属首例。我国现行采煤机摇臂壳体的设计基本上都采用传统的设计方法,即根据经验和以往设计实例设计所需的产品,通过适当加大小功率采煤机摇臂尺寸来设计更大功率

收稿日期:2013-12-12;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.05.034

基金项目:国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合基金资助项目(U1261207)

作者简介:张子飞(1958—),男,安徽太和人,教授级高级工程师,现任神华神东煤炭集团有限责任公司董事长。

引用格式:张子飞,杨鹏,罗文.7 m 大采高采煤机易维护全直齿摇臂设计研究[J].煤炭科学技术,2014,42(5):125-128.

ZHANG Zi-fei, YANG Peng, LUO Wen *et al.* Study on Design of Easy Maintenance Full Direct Gearing Ranging Arm for 7 m High Cutting Height Coal Shearer[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 125-128.

的采煤机摇臂。为了优化采煤机摇臂的整体结构,易维护全直齿摇臂设计采用 ANSYS 软件对采煤机摇臂进行有限元分析,通过分析获得摇臂的应力状态,为采煤机摇臂结构的设计优化提供理论依据<sup>[3-4]</sup>。笔者以神东煤炭集团公司所采用的 7 m 大采高采煤机摇臂为研究对象,对其设计、应用效果进行分析,以避免采煤机摇臂频繁出现故障,进而实现矿井安全高效开采。

## 1 易维护全直齿摇臂结构设计

1) 设计要求。易维护全直齿摇臂采用平行齿轮传动替代行星轮传动,用以解决摇臂不易维修的问题。通过对现有大采高综采工作面的采煤机配套研究,确定摇臂合理的外形尺寸,使其满足中部断面配套、割机头和机尾三角煤、保证采煤机机身在垂直煤壁方向上倾斜 $5^\circ$ 时不会割到支架顶梁,并且在支架高度为 4.5 m 时可以正常生产等各项要求。

2) 数值模拟分析。利用 ANSYS 软件建立三维数值模型,对易维护全直齿摇臂关键部件进行柔性化及动力学分析,对易维护全直齿摇臂壳体的受力状态进行模拟分析。通过对易维护全直齿摇臂壳体施加不同的许用应力,得出易维护全直齿摇臂壳体的应力分布情况。易维护全直齿摇臂壳体在许用应力为 305.55 MPa 条件下的应力分布如图 1 所示。由图 1 可知,易维护全直齿摇臂壳体所受应力较大的区域主要集中在滚筒轴处和下端铰接孔处,在许用应力为 305.55 MPa 时,其最大应力时刻在 1.027 s,其 10 个较薄弱点的应力值分别为 685.56、343.95、274.00、247.66、470.99、419.88、336.62、322.67、335.49、385.53 MPa。

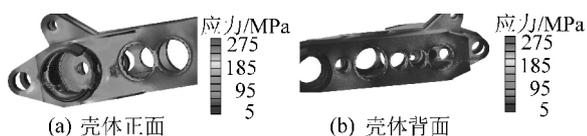


图 1 易维护全直齿摇臂壳体应力分布

易维护全直齿摇臂壳体在许用应力为 383.33 MPa 条件下应力较大的区域也集中在滚筒轴处和下端铰接孔处,在许用应力为 383.33 MPa 时,其最大应力时刻在 1.238 s,其 3 个较薄弱点的应力分别为 370.72、360.41、275.65 MPa。

ANSYS 软件分析结果表明,易维护全直齿摇臂滚筒轴和下端铰接孔所受的应力最大,据此对易维护全直齿摇臂壳体结构进行了优化,完成了齿轮数

比分配、轴系布置、轴承选型,从而设计出满足采煤机抗压强度及整体重量要求的摇臂。最终确定易维护全直齿摇臂壳体采用焊接和铸造相结合的方式制作而成,其中容装截割电机的部分和输出端采用铸造件<sup>[5]</sup>,其他部分采用 Q550 和 Q690 高强度钢板焊接而成。易维护全直齿摇臂外形尺寸为 5 040 mm × 2 600 mm × 1 700 mm,比国外的摇臂长 300 mm;质量为 23 000 kg,比国外的摇臂重 5 500 kg,易维护全直齿摇臂结构如图 2 所示<sup>[7]</sup>。

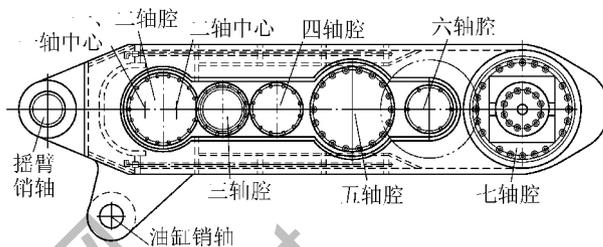


图 2 易维护全直齿摇臂结构

## 2 易维护全直齿摇臂轴承和齿轮设计

鉴于原进口摇臂的轴承和齿轮经长期使用或受到冲击载荷后,容易造成轴承或齿轮损坏,致使摇臂不能使用。据统计,损坏部件为轴承或齿轮的故障所占比例高达 95%,而且一旦损坏后,维修工作十分复杂,维修费用也很高。

### 2.1 轴承设计

易维护全直齿摇臂采用的轴承比原进口摇臂上的轴承尺寸(内径、外径、厚度)大,承受的载荷也大幅提高,从而提高了摇臂的使用寿命。易维护全直齿摇臂的 13 个轴承全部采用进口轴承,轴承参数见表 1<sup>[8]</sup>。

表 1 易维护全直齿摇臂轴承型号

编号	型号	编号	型号
G1	NJ2226ECML	G8	23144CC/W33
G2	NJ2222ECML	G9	23076CC/W33
G3	22322E	G10	NJ222E-M1
G4	NJ2326ECMA	G11	NCF29/530V
G5	23238CC/W33	G12	NCF29/500V
G6	23236CC/W33	G13	TRB1171/500-SQ170
G7	23068CC/W33	—	—

以最小轴承为例,原进口摇臂中最小轴承型号为 NJ226EC3M,其尺寸为 110 mm × 200 mm × 38 mm。而易维护全直齿摇臂中最小的轴承型号为

NJ2222ECML 其尺寸为 110 mm × 200 mm × 53 mm , 比进口摇臂中的轴承厚 15 mm<sup>[9]</sup>。NJ2222ECML 为直线运动球轴承, 其结构是在外圈内装有保持器, 保持器装有多球做无限循环运动。保持器的两端用内弹簧挡圈固定, 在各钢球受力工作轨道上没有缺口窗的影响使此部分受载荷的钢球与中心轴做滚动接触, 用非常低的摩擦因数做相对移动, 减小了运动时的摩擦。

### 2.2 齿轮设计

易维护全直齿摇臂取消了以前的行星传动, 采用全直齿传动, 同时将原来的 7 级传动变成现在的 5 级传动, 这样增加了传动的稳定性, 同时也大幅提高了摇臂的抗冲击载荷能力<sup>[10]</sup>。易维护全直齿摇臂中的齿轮采用 8Cr2Ni4WA 高强度优质钢制造而成, 摇臂中所有齿轮参数见表 2。另外, 该摇臂均匀的安装有 4 个过载剪切销, 这样可以满足 3 倍的过载要求, 从而进一步提高了摇臂的抗冲击载荷能力。

表 2 易维护全直齿摇臂齿轮参数

编号	齿数	模数	齿轮转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	编号	齿数	模数	齿轮转速/ (r · min <sup>-1</sup> )
Z1	24	8	1 490.0	Z7	23	18	96.1
Z2	41	8	872.2	Z8	47	18	47.0
Z3	20	9	872.2	Z9	18	28	47.0
Z4	66	9	264.3	Z10	27	28	31.3
Z5	20	12	264.3	Z11	28	28	30.2
Z6	55	12	96.1	—	—	—	—

## 3 易维护全直齿摇臂的润滑和冷却

摇臂良好的润滑既可以减少齿轮及其他运动部件的磨损, 延长摇臂寿命, 又可以减少采煤机功率损失, 还可以降低工作噪声、减少振动和齿轮间的冲击<sup>[11-12]</sup>。

### 3.1 易维护全直齿摇臂时分性强制润滑技术

采煤机摇臂若采用普通的飞溅式润滑, 当滚筒割顶煤时, 由于摇臂高度升高, 摇臂高速齿轮区的齿轮油就无法达到低速齿轮区需要润滑的部位; 同理, 当滚筒割底煤时, 摇臂的高速部分就无法润滑。为此, 易维护全直齿摇臂采用时分性强制润滑。当滚筒割顶煤时, 一路由后泵吸油并通过强迫润滑泵, 经冷却器将齿轮油输送到轴承和齿轮进行润滑; 另一路则给前泵供油, 以防泵因缺油而损坏<sup>[13-14]</sup>。同

样, 当割底煤时则改为由前泵润滑, 另一路给后泵供油, 易维护全直齿摇臂时分性强制润滑原理如图 3 所示。

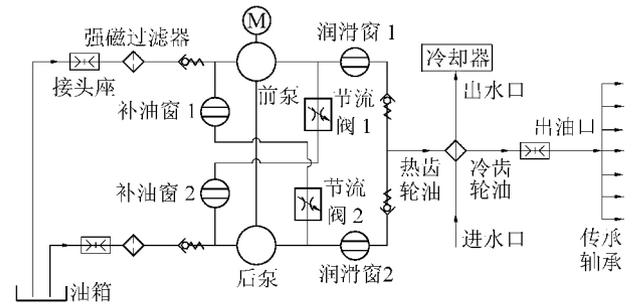


图 3 易维护全直齿摇臂时分性强制润滑原理

### 3.2 易维护全直齿摇臂组合的路冷却技术

易维护全直齿摇臂中共有 3 趟冷却进水, 分别为外喷雾进水、内喷雾进水、电机冷却水。外喷雾冷却系统、内喷雾和电机冷却系统分别如图 4 和图 5 所示。此种冷却方法经过易维护全直齿摇臂冷却后以喷雾的形式流出, 这样既降低了割煤过程中产生的煤尘, 同时又对易维护全直齿摇臂壳体起到了一定的冷却作用。其中易维护全直齿摇臂外喷雾进水又是通过 3 路流出, 一路是经板式冷却器, 另 2 路经带式冷却器和易维护全直齿摇臂夹层流出, 而进口摇臂中只有一路板式冷却器。若只用板式冷却器, 摇臂温度约为 55 °C; 而将另 2 路带式冷却和易维护全直齿摇臂夹层加上, 易维护全直齿摇臂温度则降为 45 °C, 这样易维护全直齿摇臂的冷却效果更好<sup>[14]</sup>。假如板式冷却器有故障不能使用, 可将该水路封堵, 易维护全直齿摇臂通过带式冷却器和其夹层冷却, 同样可以正常工作, 从而提高了易维护全直齿摇臂的稳定性<sup>[15]</sup>。

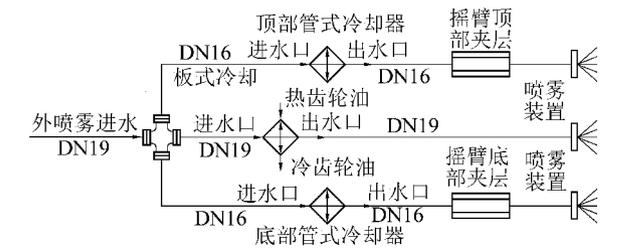


图 4 外喷雾冷却系统



图 5 内喷雾和电机冷却系统

## 4 易维护全直齿摇臂应用效果分析

易维护全直齿摇臂在应用过程中出现了以下问

题:①易维护全直齿摇臂比国外摇臂重 5 500 kg,解决措施为通过减小其直齿齿面,进一步优化壳体设计降低质量;②更换易维护全直齿摇臂润滑的齿轮油量较大(700 L);解决措施为通过在腔体内加装隔板将其内腔分隔成多个部分,从而减少其腔体内不必要的容油空间,进而减少齿轮油的需用量;③易维护全直齿摇臂牵引部的情轮和齿轮磨损严重,解决措施为通过减轻其质量减小磨损,通过改变其的重心减小磨损。易维护全直齿摇臂通过在实际应用中不断优化改进,于2013年9月2日在大柳塔煤矿7 m大采高52305综采工作面配套使用,截止到2014年3月底,累计系煤量600多万t,应用7个月,故障率较原国外摇臂降低了20%,维护时间缩短了约30%,应用结果表明易维护全直齿摇臂结构简单、运行稳定、应用效果良好。

## 5 结 语

通过对摇臂关键部件进行了柔性化及动力学分析,获取了合理的设计参数,并且对轴承及齿轮的选择进行了优化。自主研发的易维护全直齿摇臂的设计取消了原来的行星传动,全部采用直齿传动。这种设计结构简单易维护,在使用过程中只需要进行润滑油的定期更换、取样化验等基础性维护,甚至可以实现齿轮、轴承及密封的免维护,这些在国内外的尚属首例。易维护全直齿摇臂的国内研发成功,对我国6.5~7.5 m厚煤层高产高效开采具有巨大的推动作用,同时对高产高效大采大功率采煤机实现国产化具有及其重要的意义。同时,该摇臂首次采用五级全直齿传动,不仅提高了减速机构的稳定性,而且降低了摇臂的故障率以及工人的劳动强度。大柳塔煤矿采用易维护全直齿摇臂大幅降低了设备故障率,提高了采煤效率和效益。易维护全直齿摇臂的使用减少了国内采煤机对国外设备的依赖,加快了我国煤矿井下采煤设备国产化的进程。

### 参考文献:

- [1] 刘春生. 滚筒式采煤机理论设计基础[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007: 1-9.
- [2] 李炳文, 王启广. 矿山机械[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007: 17-19.
- [3] 刘 荣, 孙玉福. 热处理工艺对低合金耐磨钢组织和性能的影响[J]. 热加工工艺, 2006, 35(14): 53-55.
- [4] 马先贵. 润滑与密封[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985: 3-5.
- [5] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社,

2002: 7-9.

- [6] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 186-204.
- [7] 吕广庶, 张远明. 工程材料及成形技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 11-14.
- [8] 刘 伟. 国产大采高放顶煤开采成套装备及开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(80): 115-117.
- [9] 王金华. 特厚煤层大采高综放工作面成套装备关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 1-5.
- [10] 曹召奇. 大采高工作面矿压规律分析及支架选型研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 13-16.
- [11] 王金华. 特厚煤层大采高综放开采关键技术[J]. 煤炭学报, 2013, 38(12): 2089-2098.
- [12] 申宝宏, 郭玉辉. 我国综合机械化采煤技术装备发展现状与趋势[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 1-3, 44.
- [13] 刘俊利, 赵豪杰, 李长有. 基于采煤机滚筒截割振动特性的煤岩识别方法[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 93-95, 116.
- [14] 王金华. 我国煤矿开采机械装备及自动化技术新进展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(1): 1-4.
- [15] 韩斌慧, 孙大刚, 秦国强, 等. 悬臂式掘进机截割减速器壳体固有动特性研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 76-79.

(上接第117页)

### 参考文献:

- [1] 杨毛生, 郭 德. 中煤破碎再选的研究[J]. 煤炭工程, 2010(12): 95-97.
- [2] 曾凡桂, 王祖讷. 中煤的煤岩学特征[J]. 燃料化学学报, 1998(2): 165-168.
- [3] 管 涛, 黄文锋, 李炳才. 梁北选煤厂中煤破碎再选研究与工艺改造[J]. 煤炭工程, 2012(12): 61-63.
- [4] 赵闻达, 李延锋, 谢彦君, 等. 中煤破碎再选的应用研究[J]. 煤炭工程, 2012(7): 97-99.
- [5] 张祖国, 沈笑君, 史春华. 中煤再选的必要性和可行性[J]. 中国煤炭, 2007, 33(3): 53-55.
- [6] 张 镜, 刘莉君, 杨 涛. 中煤再选改造方案初步设计[J]. 中国矿业, 2012, 21(6): 78-80.
- [7] 吕玉庭, 吴 鹏, 孙玉堂. 中煤再洗工艺及其主要分选设备[J]. 选煤技术, 2010(4): 43-45.
- [8] 杨洪占. 开滦炼焦中煤解离分选的研究[J]. 民营科技, 2012(7): 49-50.
- [9] 张 磊, 刘文礼, 马克富, 等. 炼焦中煤再选技术试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(3): 125-128.
- [10] 李 萍, 傅晓恒, 周建军, 等. 炼焦中煤深度降灰的研究[J]. 洁净煤技术, 2005, 11(2): 20-22.
- [11] 傅晓恒, 王祖讷. 疏水絮凝浮选法分选主焦煤的研究[J]. 中国矿业大学学报, 1996, 25(1): 58-61.