

采煤机截割电机扭矩轴卸荷槽尺寸研究

郝燕萍

(太重煤机有限公司,山西 太原 030032)

摘要: 国产采煤机截割电机扭矩轴在割支架顶梁或遇到岩石断层等过载情况下机械保护作用效果不好.通过对国外采煤机扭矩轴的结构和性能分析,结合使用工况、理论设计计算,应用有限元分析研究,确定卸荷槽尺寸;利用 CAE 技术对结果进行验证,并在产品中试用校验;最终得出适合功率的扭矩轴卸荷槽尺寸,从而探索一种设计截割电机扭矩轴卸荷槽尺寸的合理方法.

关键词: 扭矩轴;材料选取;有限元;卸荷槽尺寸

中图分类号: TD421.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2016)04-0062-04

On safety groove dimension of torque axis of coal mining machine's cutting motor

HAO Yanping

(Taiyuan Heavy Coal Mine Machinery Co. Ltd., Taiyuan 030032, China)

Abstract: When the coal mining machine cuts the canopy of support or comes across the fault rock, the home-made torque axis of coal mining machine's cutting motor can't have the effect of mechanical protection. Through the analysis of the structure and the capability of foreign shearers' torque axis, and combining the service conditions with the theoretic designing and calculating, this paper uses the finite element to analyze and determine the safety groove dimension. It also uses the CAE to validate the results and check them in the products, and finally get the safety groove dimension of torque axis with the suitable power. Thus, this paper has explored a reasonable method for designing the safety groove dimension of torque axis of cutting motor.

Key words: torque axis; material selecting; finite element; dimension of safety groove

目前,多电机横向布置采煤机普遍应用,其截割电机采用扭矩轴传递动力,并对截割传动系统起弹性缓冲和过载机械保护作用.扭矩轴具有传递动力、缓冲减震、过载保护的功能.当采煤机遇到突发性严重超载时,如滚筒截割到液压支架的金属顶梁或遇到岩石断层等时,截割部首先通过扭矩轴的扭断来实现电机与传动系统的分离,有效地保护机械传动系统和电机,而设备不致损坏.更换扭矩轴,立即恢复设备运行.

煤机制造行业中,以德国艾柯夫公司、美国 JOY 公司为代表,研制出一批技术先进的电牵引采煤机,在适用性、装机功率、智能控制、监控和故障诊断等方面的发展非常突出,机械保护较为可靠,体现了当今世界电牵引采煤机的最新发展方向.国内以太重煤机有限公司、上海天地、西安煤矿机械厂、鸡西煤炭机械厂等为代表,已经研制形成了采煤机的普通全系列产品.在采煤机机械过载保护方面,国外进口产品使用效果良好;国产产品在设计计算、参数选取、制造工艺、试验等方面理论缺乏,技术不成熟,实践使用效果不佳.采煤机在割支架顶梁或遇到岩石断层等情况下扭矩轴不断裂,起不到机械保护作用,造成传动系统损坏而停机.

本文通过分析对比国内外高端煤机装备截割电机扭矩轴设计参数的选取,研究井下实际工况,经有限元分析计算,使其最大限度地发挥其过载保护及传递扭矩的功能。

1 扭矩轴的结构及使用工况对载荷系数的影响

图1是扭矩轴的基本结构图,扭矩轴的两端为渐开线花键,在中间圆柱靠采空侧端设计一处卸荷槽,当采煤机发生过载时,该处首先断裂,实现电机与传动系统的分离,从而保护电机及传动系统中所有的零件;同时扭矩轴要无扭曲、无变形,断口处齐整,无斜碴^[1],便于取出断轴并安装更换新轴。

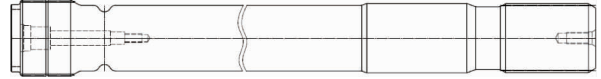


图1 扭矩轴的结构

在采煤机摇臂电机中,扭矩轴的结构按如图1设计,其一端通过渐开线花键与电机转子轴的内花键相联,另一端通过渐开线花键与轴齿轮内花键相联,经二级直齿减速、双级行星减速后通过滚筒座来驱动滚筒转动,完成截煤和装煤。它在采煤机的割煤时承受巨大冲击载荷,当过载时,摇臂中的传动齿轮靠它保护。扭矩轴的破坏一般是根据对所联接电动机的保护来确定的^[2],通常情况300,400 kW 摇臂电机扭矩轴的破坏扭矩是按照电机扭矩的2.5倍载荷确定的。但经过近年跟踪反馈,不同工况下载荷系数应取值不同;对于地质条件差、煤质硬的煤层,载荷系数为2.5^[1]则出现扭矩轴未断而摇臂传动齿轮损坏现象。我公司经过试制探索,对地质条件差、煤质硬的煤层,为更好的保护电机和传动系统,载荷系数取为1.5^[3,4]。

2 材料及热处理方式不同对扭矩轴的影响

常用扭矩轴材料40Cr,42CrMo,40CrNiMoA的机械性能^[1,5]分析对比(截面直径 ≤ 80)如表1。

表1 试制材料力学性能对照

材料	热处理方式	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服点 σ_s /MPa	伸长率 δ /%	冲击功/J			硬度/HB	断面收缩率 ψ /%
					A_{KU}	A_{KDVM}	A_{KV}		
40Cr	调质	≥ 735	≥ 540	15	≥ 39	≥ 39	241~286	≥ 45	
42Cr Mo	调质	900~1 100	≥ 650	12	≥ 40	≥ 35	269~321	≥ 50	
40CrNiMoA	调质	≥ 980	≥ 835	≥ 11	≥ 78	≥ 78	295~341	≥ 55	

可见,40Cr低温冲击韧性较低,缺口敏感性高,40CrNiMoA具有优良的综合机械性能,低温冲击韧性强,缺口敏感性低,无回火脆性,不容易断裂^[6]。目前我公司外购电机厂家的扭矩轴选用40CrNiMoA,因此在割支架顶梁或遇到岩石断层等情况下都不易断裂,安全系数太大,不能起机械保护作用。应选取缺口敏感性较高的材料做扭矩轴。

同样的材料采用的热处理方式不同,扭矩轴的性能不同。同样的热处理方式,温度控制情况也会对扭矩轴的机械性能有影响,需做试棒进行试验。

3 扭矩轴危险截面设计计算及有限元分析

根据第三强度理论,最大剪应力 τ_{max} 达到了极限数值 $\frac{\sigma_b}{2}$,材料发生断裂失效,扭矩轴的失效形式为断裂,故以抗拉强度极限 σ_b 进行校核^[7]。

3.1 300 kW 截割电机扭矩轴卸荷槽的设计计算及有限元分析

3.1.1 设计计算

材料40Cr,抗拉强度: $\sigma_b = 735$ MPa。

电机的额定扭矩:

$$M_H = \frac{95\ 850\ 000 \times P}{n} = 1\ 935\ 800\ \text{mm};$$

$$\text{轴的最大剪应力: } \tau_{max} = \frac{M_k}{W_t}$$

式中, M_k :轴的最大扭矩, $M_k = KM_H$;K:载荷系数,取1.5; W_t :抗扭截面系数,对于圆截面扭矩轴 $W_t = \frac{M_k}{W_t}$

$\leq [\tau]$.

为保证轴安全可靠地工作,应使轴内的最大剪应力不超过材料的许用剪应力 $[\tau]$,即:

$$\tau_{\max} = \frac{M_k}{W_t} \leq [\tau].$$

静载荷条件下,材料的许用剪应力 $[\tau]$ 和许用拉应力 $[\sigma]$ 则有: $[\tau] = (0.5 - 0.6)[\sigma]$,取 $[\tau] = 0.5[\sigma]$,取安全系数 $n_s = 1.8$, $[\tau] = 0.5 \times 1.8 \times 735 = 204$.代入上述公式得: $d_0 \approx 41.69$ mm.

该扭矩轴卸荷槽取 $d = 42$ mm,载荷为截割电机满载功率的1.5倍扭矩时,计算结果显示该轴卸荷槽处为危险截面,最大剪应力为217.41 MPa.如图2所示.扭矩轴材料为40Cr,要使该轴在1.5倍满载时瞬间断裂,该最大许用剪应力应大于等于204.17 MPa.

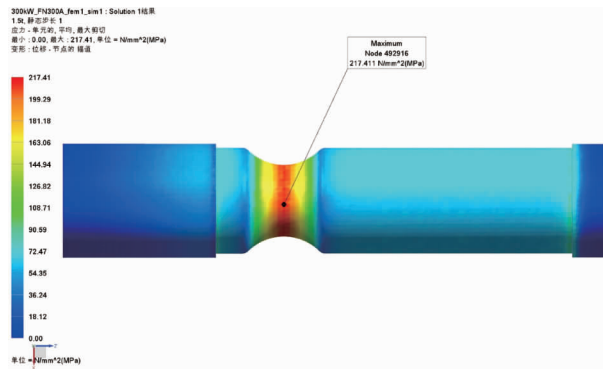


图2 卸荷槽 $D = 42$ mm时,300 kW 扭矩轴1.5倍满载时最大剪应力

3.1.2 三维建模

利用已有图纸建立三维有限元模型(图3).在如实反映扭矩轴结构和力学特性的前提下,为简化和方便建模,以适当减小分析的运算量,对局部的小特征进行了简化^[8].



图3 截割电机扭矩轴的三维模型

3.1.3 有限元分析

利用UG进行有限元分析^[9]、网格划分,为得到更加准确的结果,选用10节点四面体单元网格类型,卸荷槽部分采用加密网格(网格大小5 mm),其它部分采用较疏网格(网格大小10 mm)^[10,11].工况分析及施加载荷与约束,设扭矩轴与电机连接端为固定约束,与传动系统连接端为加载端^[12],载荷为电机的额定转矩 $204.17 \text{ N} \cdot \text{m}$

3.2 400 kW 截割电机扭矩轴卸荷槽的设计计算

3.2.1 设计计算

扭矩轴材料40Cr,抗拉强度: $\sigma_b = 735$ MPa.

电动机的额定扭矩:

$$M_H = \frac{9\,550\,000 \times P}{n} = 2\,581\,081 \text{ N} \cdot \text{mm};$$

400 kW 扭矩轴为空心轴,对于空心圆截面扭矩 $W_t = \frac{\pi}{16D}(D^4 - d^4)$;

空心部分内径 $d = 12$ mm;

$$\tau_{\max} = \frac{M_k}{W_t} \leq [\tau].$$

同理得出: $D_0 \approx 45.95$ mm.

该扭矩轴卸荷槽 $D = 46$ mm,载荷为截割电机满载功率的1.5倍扭矩时,计算结果显示该轴卸荷槽处为危险截面,最大剪应力为204.914 MPa,如图4所示.要使该材料的轴在载荷为截割电机满载功率的1.5倍时瞬间断裂,此时最大许用剪应力必须大于等于204.17 MPa.

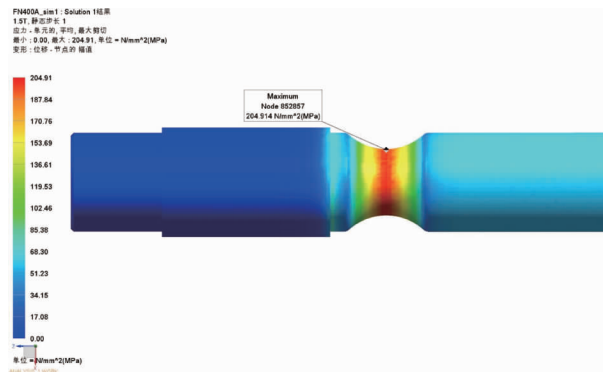


图4 卸荷槽 $D = 46$ mm 时, 400 kW 扭矩轴 1.5 倍满载时最大剪应力

3.2.2 有限元分析

利用 UG 进行有限元分析^[9]、网格划分、工况分析及施加载荷与约束条件^[10,11]与 300 kW 相同。

4 应用效果

通过计算分析,对于地质条件差、煤质硬的煤层,采煤机摇臂工作载荷为截割电机满载功率的 1.5 倍扭矩时,300 kW 电机扭矩轴卸荷槽直径为 42;400 kW 电机扭矩轴卸荷槽直径为 46 mm;而实际 300 kW 电机扭矩轴卸荷槽直径为 52 mm,400 kW 电机扭矩轴卸荷槽直径为 60 mm.因此过载时扭矩轴不会断裂.江苏大屯使用我公司 MG300/730-WD、MG400/930-WD 电牵引采煤机,由于该矿地质条件差、煤质硬,于 2010 年定制的我公司的机组频繁出现摇臂齿轮因冲击断齿而扭矩轴安然无恙,起不到机械保护作用,用户非常不满.2013 年以来,将该矿 300,400 kW 电机扭矩轴进行卸荷槽修正加工试用,再没有出现齿轮断齿问题。

之后进行技术推广,山西华晋韩咀煤业有限责任公司的 930 采煤机也作了同样修正,效果良好。

本项目研究,针对国内基础研究不足的情况,通过消化、吸收国外成熟产品,找到了一种设计采煤机截割电机扭矩轴的合理方法,为下一步个性化精确设计提供了理论基础.下一步,通过大量的实践应用,对不同煤质条件个性化的设计进行经验积累,逐步形成一套设计理论,从而探索一种设计截割电机扭矩轴卸荷槽尺寸的合理方法。

参考文献:

- [1] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 机械工程手册、电机工程手册编辑委员会.机械工程手册[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [3] 东北大学《机械零件设计手册》编写组.机械零件设计手册[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [4] 朱术云,鞠远江,姜振泉.“三软”煤层采动底板变形特征数值模拟与实测对比分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2010,25(1):13-16.
- [5] 中国重型机械工业协会、重型机械标准编写委员会.重型机械标准[M].昆明:云南科技出版社,2007.
- [6] 熊剑.国外热处理新技术[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [7] 武文虎,杨兆建,范秋霞.采煤机摇臂扭矩轴设计[J].煤矿机械,2013,33(11):12-13.
- [8] 郝燕萍.WC5E 型防爆运输车的特性分析与优化[J].煤矿机械,2014,35(5):85-87.
- [9] 张建,张敬东,张翔翔.二次曲线形卸荷槽采煤机扭矩轴有限元分析[J].煤矿机械,2014,35(5)103-105.
- [10] 赵丽娟,李明昊,谢波.采煤机扭矩轴可靠性研究[J].机械设计与研究,2013,29(8)35-37.
- [11] 李永明,刘长友,黄炳香,等.急倾斜煤层覆岩破断和裂隙演化的采厚效应[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2012,27(3):10-15.
- [12] 周海峰,杨怀东,徐明显,等.国内外采煤机扭矩轴对比分析[J].煤矿机械,2011,32(8)22-24.