

# 带有可拆卸柔性剪切轴的牵引电机设计方法

张经伦

西安重装德秦技术开发有限公司 陕西 西安 710032

**摘要：**采煤机牵引机构高效作业直接影响采煤机的工作效率、稳定性和适应性。针对传统牵引电机结构存在故障频率高、过载保护能力弱、更换难度大、安装不合理等问题，提出一种可拆卸柔性剪切轴的牵引电机。该剪切轴在牵引电机轴心布置，尺寸较小，从电机端面即可拆装。从结构、安装、受力分析等方面出发，验证了其有效性，能有效解决现有牵引传动系统花键轴拆装困难的问题，同时更利于对牵引电机的过载保护，具有设计合理、成本低，拆装方便等优势，可降低采煤机维护成本，提升生产效益，对现代化煤矿“安全、高效和智能”生产至关重要。在煤矿装备智能化进程中，该创新方式可为采煤机装备制造水平的提升提供新思路，提升煤矿装备智能化、高端化水平。

**关键词：**可拆卸；柔性；剪切轴；牵引电机

## 引言

煤炭在我国能源领域的核心地位长期不会改变，煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的关键支撑，而提升全矿井设备研制水平是智能开采的核心突破方向。根据《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》，我国计划2030年基本实现煤炭开采智能化与重点煤矿区综采工作面无人化。陕蒙地区作为我国重要煤炭生产基地，其煤层具有特厚、高硬度、高石英含量的特点，传统采煤机开采时面临截割阻力大、设备磨损快、智能化程度不足等难题。经设计优化、安装结构调试及受力分析验证，该方案能有效解决传统牵引传动系统的拆装难题，实现对牵引电机的过载保护，大幅降低采煤机整体维护成本，为煤矿智能化开采提供了可靠的技术支撑。

## 1 结构布置

### 1.1 传统牵引机构保护结构

在常规采煤机传动系统中，动力传递通常采用“实心电机+花键传动+机械剪切保护”的三级结构设计，由大功率异步或永磁电机通过矩形花键或渐开线花键将动力输出至减速机构，经行星轮系或平行轴齿轮传递至行走箱，并在关键位置设置带V型剪切槽的花键轴作为机械过载保护装置<sup>[1]</sup>。然而实际应用表明，该方案存在保护响应滞后、定位精度不足和维修复杂等问题。常规的传动系统如图1-1所示（为了直观的展示传动系统，将行走箱旋转90°）。

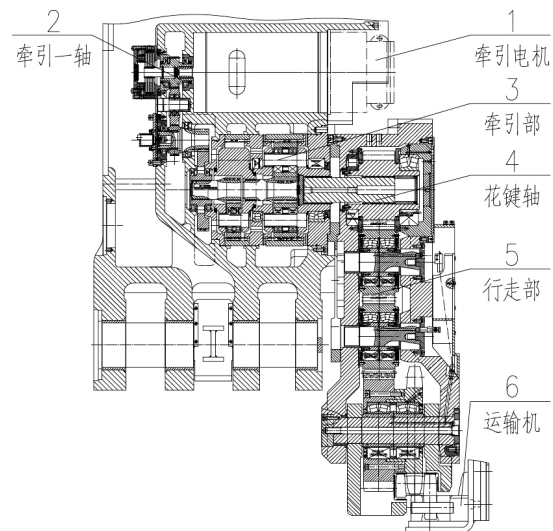


图1-1 传统牵引机械保护系统

由图1-1所示，序号1为牵引电机，序号2为牵引一轴，序号3为牵引部，序号4为花键轴（设置剪切槽），序号5为行走部，序号6为运输机。序号3牵引部与序号5行走部通过序号4花键轴联接，序号1牵引电机直接与序号2牵引一轴连接，输出动力最终驱动采煤机在序号6运输机上行走，当行走过程遇到较大阻力时候，序号4花键轴断裂保护传动系统<sup>[2]</sup>。

### 1.2 可拆卸柔性剪切轴结构设置

本文所提可拆卸柔性剪切轴的牵引电机采用的牵引传动系统的结构是在牵引电机轴心处增设一根可拆卸的柔性长轴，该轴贯穿牵引电机，两端设置有花键，一端与牵引电机的内花键联接，一端与牵引一轴内花键联接，两端花键中部的轴区域可以起到较好的缓冲作用，在靠近在电机尾端设置防退出端盖，当拆开端盖时可以方便

中图分类号：TD421 文献标识码：A

**作者简介：**张经伦(1982-06-09)，陕西西安人，汉族，工程师，现任西安重装德秦技术开发有限公司副总经理，邮箱343992102@qq.com。

的将剪切轴拆出。其结构如图1-2:

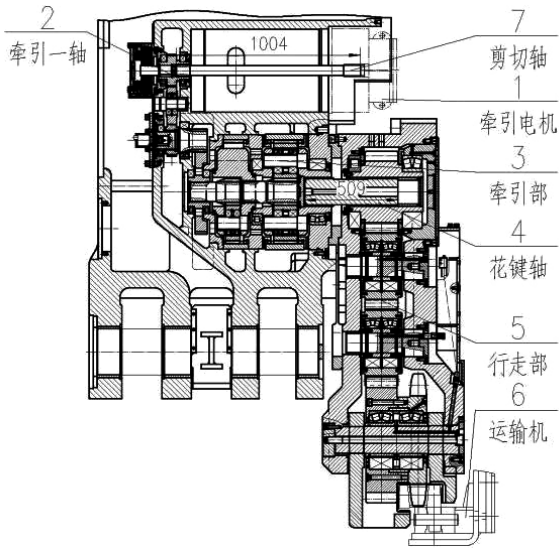


图1-2 新牵引机械保护系统

由图1-2所示, 序号1为牵引电机, 序号2为牵引一轴, 序号3为牵引部, 序号4为花键轴(可不设置剪切槽), 序号5为行走部, 序号6为运输机, 序号7为剪切轴。序号3牵引部与序号5行走部通过序号4花键轴联接, 序号1牵引电机通过序号7剪切轴与序号2牵引一轴连接, 输出动力最终驱动采煤机在序号6运输机上行走, 当行走过程遇到较大阻力时候, 序号7剪切轴断裂保护传动系统。

由上述结构可知, 所提结构具有较好的防缓冲作用, 并且当拆卸时, 具有较高的拆卸便利性, 符合现场作业需求, 一定程度上可提升工作效率。

### 1.3 剪切轴安装结构设计

在采煤机传动系统中, 剪切轴作为关键的机械过载保护装置, 其安装结构的合理性直接关系到设备的安全性和可靠性<sup>[3]</sup>。为了提升方案的合理性, 本文设计了一种剪切轴安装结构, 为精确过载保护响应、降低设备损害风险、便于维护及更换提供了参考模板, 其布置形式如图1-3。

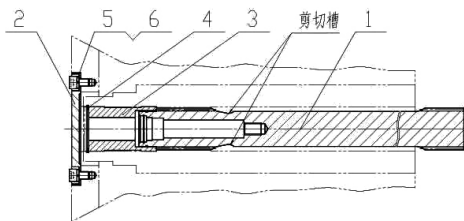


图1-3 剪切轴结构

其中: 序号1为剪切轴, 序号2为端盖, 序号3为调整套, 序号4为挡圈, 序号5为螺钉, 序号6为垫圈。序号1剪切轴在靠近老塘侧开设机械保护结构剪切槽, 当传动系统受到大于保护值的冲击载荷时, 剪切轴从此处断裂,

断裂后, 检修人员可以通过拧掉序号5螺钉, 打开序号2端盖, 取掉序号4挡圈和序号3调整套, 用长螺杆拧入序号2剪切轴中间的拆卸螺孔将断裂的剪切轴整组从老塘侧拉出牵引电机, 然后更换好新的剪切轴即可。

由上述安装结构可知, 所提结构具有易安装、易拆卸、流程简单等特点, 可提升系统整体可靠性, 适应复杂工况需求, 降低维护成本。

### 2 受力计算分析

为了科学评估剪切轴与花键轴在采煤机传动系统中的机械保护性能差异, 通过比较不同轴结构的扭矩、直径、长度、重量等因素, 基于对比分析及实验, 验证了采用剪切轴进行机械保护的性能优势。

假定, 我们设定单台牵引电机的牵引功率为 $P = 200\text{kW}$ , 额定转速 $n_1 = 1470\text{r/min}$ , 牵引部的总速比 $i = 95.13$ , 剪切轴与花键轴均采用中碳合金钢材料, 淬火处理, 该材料的抗扭许用应力取 $\tau_p = 253\text{Mpa}$ :

首先进行计算外力, 由扭矩公式 $T$ :

$$T = 9550P\eta/n \quad (2-1)$$

其中 $P$ 为功率,  $\eta$ 为传动系统功率因数,  $n$ 为转速。

由于剪切轴未经齿轮传动, 则 $\eta = 1$ , 我们可以计算出剪切轴所受到的扭矩 $T_1$ :

$$T_1 = 9550 \times 200 \times 1/1470 = 1299.32\text{N} \cdot \text{m}$$

计算得出 $T_1$ 等于 $1299.32\text{N} \cdot \text{m}$ 。

(2) 当外力计算出来后, 我们再计算轴所能承受的内力, 我们假定剪切轴与花键轴都为实心轴, 受到纯扭力的作用, 达到力系平衡。

由公式:

$$\tau_p = T/W_p \quad (2-2)$$

其中:  $W_p$ 为抗扭截面模量

$$W_p = \pi d^3/16 \quad (2-3)$$

其中:  $d$ 为实心轴直径,  $\pi$ 为圆周率

由公式(2-2)、(2-3)可以推导出公式:

$$d = \sqrt[3]{16T/\pi\tau_p} \quad (2-4)$$

根据公式(2-4), 可以计算出剪切轴最小直径 $d_1$ :

$$d_1 = \sqrt[3]{16T_1/\pi\tau_p} \quad (2-5)$$

计算得出 $d_1$ 等于 $0.03\text{m}$ 。

(3) 计算花键轴的传递的扭矩 $T_2$ 和最小直径 $d_2$ 。

我们先计算花键轴的转速 $n_2$ :

$$n_2 = n_1/i \quad (2-6)$$

计算得出 $n_2$ 等于 $15.45\text{r/min}$

由于牵引部为齿轮传动, 传动效率较高, 我们设定功率因数 $\eta = 0.85$ , 那么可以计算出花键轴传递的扭矩 $T_2$ :

$$T_2 = 9550 \times 200 \times 0.85 / 15.45 = 105080.9N \cdot m$$

计算得出 $T_2$ 等于105080.9N·m。

将结果代入公式2-4, 可得:

$$d_2 = \sqrt[3]{16T_2 / \pi\tau_p} \quad (2-7)$$

计算得出 $d_2$ 等于0.32m。

(4) 根据图1-2我们可以看出, 剪切轴长度 $l_1 = 1004 \text{ mm} = 100.4 \text{ cm}$ , 花键轴的长度 $l_2 = 509 \text{ mm} = 50.9 \text{ cm}$ , 钢材的密度取 $\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$ , 我们可以计算出剪切轴重量 $m_1$ 和花键轴的重量 $m_2$ :

由公式:

$$m = \rho V \quad (2-8)$$

$$V = Sl = \pi(d/2)^2 l \quad (2-9)$$

其中:  $V$ 为体积, 单位 $\text{cm}^3$ ;  $S$ 为面积, 单位 $\text{cm}^2$ 。

通过公式(2-8)、(2-9)我们可以推导出重量公式:

$$m = \rho\pi(d/2)^2 l \quad (2-10)$$

由公式(2-10), 将数据代入, 求取剪切轴的重量 $m_1$ :

$$m_1 = 3.14 \times (3/2)^2 \times 100.4 \times 7.85 = 5568.2 \text{ g}$$

因此, 可以得出剪切轴的重量约为5.6kg。

同理, 我们可以求取花键轴所需的重量 $m_2$ :

$$m_2 = 3.14 \times (32/2)^2 \times 50.9 \times 7.85 = 321186.3 \text{ g}$$

因此, 可以得出花键轴的重量约为321.2kg。由此可见, 在牵引电机中间设置剪切轴重量更轻, 所需用到的材料更少。

由上述计算结果可知, 采煤机牵引部剪切轴受到的扭矩更小, 最小直径更小, 同时具有更小的重量, 对比实验验证了本文所设计剪切轴的结构及性能优势, 证明了该设计方式的合理性。

### 3 结语

针对传统牵引电机结构存在故障频率高、过载保护能力弱、拆卸难度大、安装不合理等问题, 设计了一种带有可拆卸柔性剪切轴的牵引电机, 从结构、安装、受力分析等方面出发, 验证了其有效性, 能有效解决现有牵引传动系统花键轴拆装困难、牵引电机过载保护能力弱等问题, 具有设计合理、成本低, 拆装方便等优势, 可

降低采煤机维护成本, 提升生产效益<sup>[4]</sup>。

所提可拆卸柔性剪切轴的牵引电机与现有牵引电机传动结构比较, 具有以下6方面技术优点:

(1) 将剪切轴设置在高速区, 可使剪切轴外形尺寸减小, 重量更轻, 既可以降低生产厂家制造成本, 也可以降低用户配件消耗成本。

(2) 在采煤机牵引部维护方面, 由于其流程简单、容易拆卸的安装步骤, 以及尺寸、重量等优势, 可以较大程度上减轻工人劳动强度。

(3) 可有效保护采煤机牵引电机, 当传动系统因齿轮卡死、轴承烧结或异物侵入导致突发性抱死故障时, 避免过载冲击烧毁牵引电机。

(4) 将采煤机牵引电机和输出轴进行分体设计, 当输出轴花键磨损损坏后, 可直接更换剪切轴, 无需拆解电机进行更换处理, 可有效缩短维护周期。

(5) 在大功率采煤机重载行走箱设计时, 如果采用花键轴做为易损件, 其重量过大必然会造成运输和人员操作困难的问题, 而且会造成优质轴材的浪费, 更加适合设计为常规件。

(6) 在采煤机牵引电机中部设置剪切轴, 其具有重量更轻, 运输和更换更加方便等优势, 而且该结构用材节省, 更加适合做为易损件用于牵引系统的机械保护<sup>[5]</sup>。

### 参考文献:

- [1]刘峰,曹文君,张建明,等.我国煤炭工业科技创新进展及“十四五”发展方向[J].煤炭学报,2021,46(1):1-15.
- [2]王国法,张良,李首滨,等.煤矿无人化智能开采系统理论与技术研发进展[J].煤炭学报,2023,48(1):34-53.
- [3]魏文艳.综采工作面智能化开采技术发展现状及展望[J].煤炭科学技术,2022,50(S2):244-253.
- [4]王国法.煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J].煤炭科学技术,2022,50(1):1-27.
- [5]赵亦辉,赵友军,周展.综采工作面采煤机智能化技术研究现状[J].工矿自动化,2022,48(02):11-18+28.