

可调节碳刷研磨装置研制与应用

李长江,王长亮,张 浩

(南水北调东线江苏水源有限责任公司宿迁分公司,江苏 宿迁 223800)

摘要:碳刷作为同步电动机励磁系统关键导电枢纽元件,其安装质量直接影响电动机运行安全。为改进传统手工研磨或研磨筒研磨方法存在精度较低、通用性差等问题,以南水北调东线工程江苏段为应用场景,研制一套基于几何仿形原理的可调节碳刷研磨装置,通过“固定轴心+滑杆摆动”复现集电环圆弧轨迹,由直流电机驱动金刚砂磨头执行研磨,结合X-Z轴定位平台,实现标准化弧面研磨。在泗洪泵站应用表明,该装置操作简便、研磨精度高、通用性强,提升了运维效率,相关成果可适用于各类集电环-碳刷电机系统,具备一定的推广价值和行业应用前景。

关键词:同步电动机;碳刷;仿形研磨;泵站

中图分类号:TV675 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2026)06-0065-0004

Development and application of adjustable carbon brush grinding device

LI Changjiang, WANG Changliang, ZHANG Hao

(Suqian Branch of The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd.,
Suqian 223800, China)

Abstract: As a key conductive hub component in the excitation system of synchronous motors, the installation quality of carbon brushes directly affects the operational safety of the motor. Traditional manual grinding or grinding cylinder methods suffer from issues such as low precision and poor versatility. To address this, taking the Jiangsu section of the East Route of the South-to-North Water Diversion Project as the application scenario, a set of adjustable carbon brush grinding device based on geometric profiling principles has been developed. Through the “fixed axis + sliding rod swinging” mechanism, the circular arc trajectory of the collector ring is reproduced, and the diamond grinding head is driven by a DC motor to perform grinding. Combined with an X-Z axis positioning platform, standardized arc surface grinding is achieved. The application at the Sihong Pump Station shows that this device is easy to operate, has high grinding precision, and strong versatility, improving operation and maintenance efficiency. This achievement can be applied to various collector ring-carbon brush motor systems and has good promotion value and industry application prospects.

Key words: synchronous motor; carbon brush; profile grinding; pump station

南水北调东线工程江苏段新建泵站主机组采用了立式或卧式大型同步电动机驱动,其励磁系统结构特点决定了必须通过集电环与碳刷实现电能

传输^[1]。碳刷作为同步电动机励磁回路中唯一的滑动电接触元件,工作状态直接关系到励磁稳定性、电机效率乃至整个泵站系统的运行安全。在运行

收稿日期: 2026-01-05

作者简介: 李长江(1989—),男,工程师,本科,主要从事水利工程运行管理工作。E-mail:287847078@qq.com

中长期承受电流、摩擦与热应力的耦合作用^[2]。由于新碳刷端面初始为平面,而集电环为圆柱面,若直接安装,仅在端面形成线接触或点接触,导致接触电阻增大,极易引发局部过热与电弧,严重时可引发环火、集电环烧蚀甚至励磁中断,造成非计划停机,可能影响泵站安全稳定运行^[3]。因此,每只新碳刷在投运前必须根据对应集电环的曲率进行端面仿形研磨,以确保初始接触面积达到70%以上,方能确保电流均匀分布、避免局部过热或电弧放电^[4]。因此,碳刷投运前的端面研磨是保障电机长期稳定运行的关键工艺环节。

1 碳刷研磨方法简介

目前,大型同步电动机碳刷的端面研磨主要依赖手工研磨和研磨筒研磨两类方法。

1.1 手工研磨法

手工研磨主要使用砂纸和锉刀等工具对碳刷端面进行粗加工,然后将细砂带围在集电环表面一周,并将碳刷在其表面进行反复研磨,过程中不断与集电环表面匹配测试,依靠目视和经验判断弧度匹配程度。该方法虽然简单,但精度较低,集电环表面加上细砂带后也改变集电环直径,只能研磨出近似弧度,不能实现精准研磨,吻合度完全依赖个人经验,而且作业过程粉尘大、效率低。因此,难以保证同一批次多只碳刷的一致性,易导致电流分配不均,进而加速局部磨损和集电环烧蚀。

1.2 研磨筒研磨法

研磨筒研磨即采用定制金属圆筒作为研磨基体,即研磨筒直径与集电环一致。将碳刷装在刷握中并固定在同轴旋转的构建上相对研磨筒旋转进行研磨成形^[5]。此法可在一定程度上提高弧面一致性,且可同时多组电刷进行研磨,但滚筒需按集电环尺寸1:1制作,整个部件体积庞大,不便携带。另外,由于滚筒尺寸固定,只能匹配一种尺寸集电环,通用性比较差,难以适应南水北调东线工程江苏段多泵站、多机型的复杂场景。

在“远程集控、少人值守”的现代化运行模式下,传统研磨方式已难以满足高质量、标准化的运维要求。针对上述问题,本文以南水北调东线工程江苏段泵站工程为典型应用场景,研制一套高精度、可调节的碳刷研磨装置,为全段泵站提供统一、可靠的碳刷预处理技术支撑。本研究旨在从根本上提升碳刷初始安装质量,保障同步电动机安全运行,为同类碳刷运维提供可推广的标准化技术路径。

2 研磨装置原理与结构设计

研磨装置基于几何仿形原理设计,采用“固定轴心+滑杆摆动”构建一个与集电环同轴、等半径的虚拟圆弧轨迹,由直流电机驱动金刚砂磨头沿该轨迹运动,从而在碳刷端面研磨出匹配的凹弧面。装置结合X-Z轴定位平台精确调整碳刷位置,并通过人机协同遥控电动推杆实现往复运动,辅以吸尘装置保障作业过程清洁及人员健康。整体采用模块化布局,主体结构由铝合金底板与导轨组件构成,重量轻、刚性好,便于在泵站检修现场携带使用。

整套研磨装置主要分为圆弧仿形机构、碳刷定位平台、研磨执行单元构成,装置结构见图1。

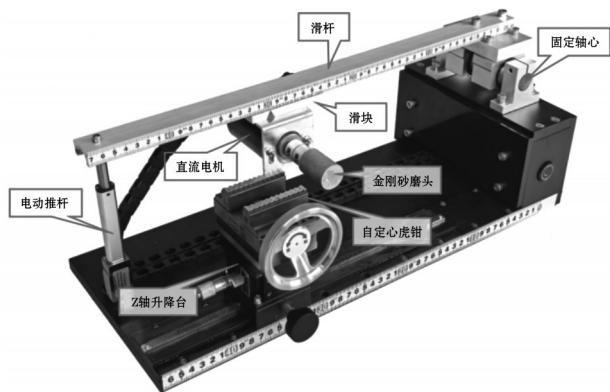


图1 研磨装置结构

2.1 圆弧仿形机构

圆弧仿形机构由固定轴心、滑杆及带锁紧旋钮滑块构成,滑杆一端铰接于固定轴,电机支架安装在滑块上。为便于操作,控制磨头中心和固定轴心与滑杆距离相等,同时在滑杆侧面安装刻度尺,滑块侧壁标注对应磨头切点指示位置,实现“可视化”的半径调节。设磨头中心至固定轴心的距离为 L ,金刚砂磨头半径为 r ,当滑杆绕轴心摆动时,则磨头外缘切削出半径为 $R(R=L+r)$ 的圆弧,详见图2。滑块位置可通过锁紧旋钮调节,覆盖150~400 mm半径范围,适用于南水北调东线工程江苏段新建泵站。

2.2 碳刷定位与对中

采用光学高精度X轴滑台叠加Z轴升降台结构,并在Z轴升降台顶部安装自定心虎钳构成碳刷精准定位平台。碳刷夹持于Z轴升降台顶部的自定心虎钳中,通过转动X轴滑台手轮调整碳刷径向距离和参照装置底板侧面刻度尺调节研磨量,并利用本体锁定旋钮实现位置锁定。为模拟碳刷与集电

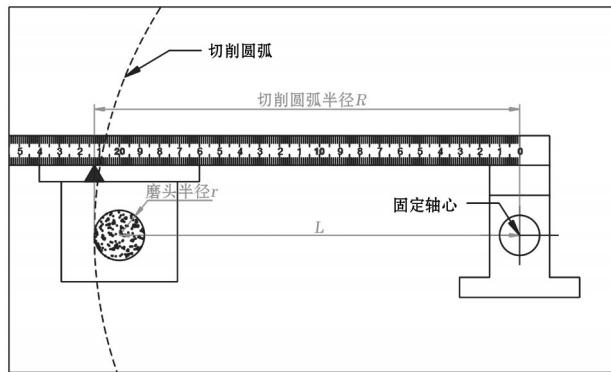


图2 圆弧仿形原理

环中心的相对位置,调节Z轴驱动千分尺,实现碳刷高度调节,保障不同宽度的碳刷相对轴心的位置及角度与实际一致,从而实现对称研磨(图3)。

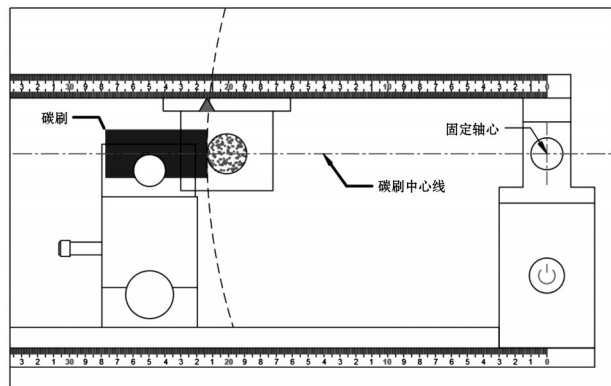


图3 碳刷定位与对中调节示意

2.3 自动研磨执行单元

研磨执行单元包括金刚砂磨头、直流电机及电动推杆,提供稳定切削力与往复扫切运动。

2.3.1 金刚砂磨头选型

金刚砂磨头直径的选择需综合考虑以下几方面因素:一是与碳刷尺寸的匹配性,磨头直径应接近碳刷端面宽度,磨头长度应该大于最大碳刷轴向宽度,以确保研磨均匀;二是研磨效率与表面质量的平衡,既要能提供足够切削力,又应满足电接触面光洁度需求;三是装置结构空间限制,便于集成于装置的紧凑布局中;四是经济性与标准化,最好选用工业常用标准件,避免非标定制增加成本。综上,选用 $\varnothing 25$ mm 金刚砂磨头在功能性、精度、效率、经济性与实用性之间实现了最优平衡,适配碳刷尺寸的高精度研磨需求。

2.3.2 直流电机选型

直流电机作为研磨装置的动力源,其选型需兼顾转速稳定性、输出功率、体积尺寸及供电安全

性。首先,转速直接影响磨削效率与表面质量,转速过低会导致切削力不足,研磨时间延长,转速过高则易引起碳粉飞溅不便收集。经试验对比确定标准转速 3 500 r/min 最适合装置工作,既能保证稳定的材料磨削速度,又可使碳粉得到有效控制。其次,电机外形需紧凑,便于集成在滑块支架上,且干涉滑杆摆动轨迹。最终采用型号为 XD-3420 的 12 V/30 W 直流有刷电机,其转速稳定、启停响应快、成本低廉,满足本装置对研磨动力的核心要求。

2.3.3 电动推杆选型

电动推杆作为实现研磨往复运动的执行部件,其选型需综合考虑行程范围、运行速度、推力能力、控制方式及与整机结构的匹配性。首先,行程需覆盖碳刷径向宽度,常用碳刷径向宽度一般在 25~32 mm 之间,同时考虑两端安全余量,确保磨头完整扫掠整个端面,避免研磨盲区。其次,运行速度直接影响研磨质量与效率。速度过快超过磨头研磨切削速度易导致磨头跳动、表面振纹明显,粗糙度超标;速度过慢则研磨时间过长,影响作业效率。经试验对比,选用 2 mm/s 电动推杆可以适配装置切削速度。综上,所选 75 mm 行程、2 mm/s 速度、60 N 推力的电动推杆,较好适配本研磨装置的工艺要求。

2.4 环保与安全设计

为保障作业环境清洁和人员健康,在装置旁配套设置伸缩式桌面吸尘器,通过拉升伸缩管对准碳刷下方位置,实时捕集研磨产生的碳粉,有效防止粉尘扩散。在装置本体设置自锁式按钮用于直流电机启停控制。为保障操作人员安全,在装置工作过程中人员与设备保持一定距离,同时执行对电动推杆启停与方向控制,选用适配电动推杆控制的遥控模块实现人机交互控制。此外,整个装置中直流电机、电动推杆、吸尘器全部采用 12 V 额定电压,各功能模块独立控制,符合电气安全规范。

2.5 装置操作流程与规范

2.5.1 操作前准备

(1)测量或查阅滑环半径,调节滑块至该刻度并锁紧;

(2)测量碳刷径向端面宽度,计算Z轴调节高度、千分尺刻度,调节Z轴手柄至对应刻度并锁紧,以保持碳刷中心高度与固定轴中心齐平;

(3)进行研磨调节量计算。

2.5.2 具体操作步骤

(1)碳刷装夹:将待研磨碳刷放入自定心虎钳,保持碳刷端面伸出虎钳5 mm左右,旋紧虎钳手轮固定;

(2)位置及研磨量调节:将滑杆调节至水平位置停止→转动X轴旋钮,将碳刷端面紧贴在磨头切面→遥控抬高滑杆至磨头中心高于碳刷顶面→转动X轴旋钮将碳刷向内侧前进再锁定滑块;

(3)研磨启动:启动吸尘器→启动电机(磨头旋转)→启动电动推杆(遥控往复扫切);

(4)停机与检测:研磨完成→依次停止电动推杆、直流电机、吸尘系统→取下碳刷,检查研磨质量。

3 工程应用与效果分析

泗洪泵站是南水北调东线工程的第四梯级泵站,规模为大(1)型,工程等别为I等。泵站安装5台套(含1台备机)3 000 HSTM后置式灯泡贯流泵,单机流量30 m³/s,配备TG 2000-56卧式同步电机,总装机容量10 000 kW。

使用本装置对12只新碳刷(MG70, 25 mm×32 mm×60 mm)按照集电环半径365 mm完成端面研磨,单只碳刷研磨耗时约5 min。完成研磨后采用红丹粉印痕法对弧面与集电环的接触情况进行检测,目视评估平均接触率达95%以上,接触率、粗糙度及研磨用时均高于标准要求质量。安装在泗洪泵站1#主电机进行试运行,经过720 h的稳定运行平稳无异常。此外,装置操作仅需1人,操作直观、简便,无需特殊技能,大幅降低了对管理人员经验的依赖。此次应用验证了装置在真实工况下的可靠性与实用性,为后续推广奠定了基础。

4 结 语

该装置通过精巧的机械联动与人机交互设计,实现了“精准、高效”的碳刷端面预处理目标,提升了碳刷初始安装质量,有效降低接触电阻与电火花损耗,从源头上杜绝因接触不良引发的事故。该装置主要具有以下3项优势:一是高精度,通过纯机械结构仅需调整滑块位置与定位平台,即可完成碳刷高精度定量研磨,标准化研磨流程减少了对人员技能的依赖;二是强通用性,一套设备适配不同尺寸集电环和不同尺寸碳刷,可长期服务于不同工程的不同型号同步电动机;三是其结构简单、成本低廉,契合当前水利工程提质增效、智能运维的发展目标。该装置结构设计 with 操作流程具备标准化推广价值,不仅适用于南水北调工程等大型水利工程,还可进一步推广至火电、水电、大型工业风机等采用“集电环-碳刷”系统的旋转电机领域,其应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 闻昕,李精艺,谭乔凤,等.南水北调东线工程江苏段中长期优化调度研究[J].水力发电学报,2022,41(6):65-77.
- [2] 杨祥,宗和刚,蔡红猛,等.水轮发电机组励磁碳刷温度高原因分析及处理[J].云南水力发电,2025,41(4):142-145.
- [3] 艾永俊,谢建红,卢坤.水轮发电机集电环跳火故障机理分析及处理技术[J].云南电力技术,2024,52(5):27-32.
- [4] 李庆健,柏通,张津鹏,等.基于新型装置的碳刷高质量适形研磨机制研究[J].中国安全科学学报,2023,33(增刊2):209-215.
- [5] 崔海龙.一种用于交流电机的电刷研磨装置[J].上海大中型电机,2020(3):7-11.