

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2010.14.019

电机云母槽自动下刻机双探针接触式检测系统设计

刘乐平, 钟名东

(华东交通大学载运工具与装备教育部重点实验室, 江西南昌 330013)

摘要: 分析电力和内燃机车直流牵引电机换向器的结构特点, 研究其云母槽自动下刻加工的关键技术, 并针对现有云母槽下刻加工检测系统的不足, 提出一种双探针接触式的检测方法, 建立其数学模型, 并设计相应的检测系统。采用这种检测方法, 能准确识别云母槽与铜排的边界、快速计算出云母槽中心线位置及其相对于电枢轴线的偏角, 实现偏差补偿。试验表明, 该方法有效地提高了检测系统在获取换向器表面信息时的准确度和可靠性, 是一种经济、高效、简便的方法。

关键词: 电机换向器; 云母下刻机; 检测; 偏差补偿

中图分类号: TP391.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-3881(2010)14-056-3

Design of the Two-probe-contact Detection System for Electromotor Mica-slot Chiseling Machine

LIU Leping, ZHONG Mingdong

(Key Laboratory of Ministry of Education for Conveyance and Equipment,
East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: The structural characteristic of motor commutator in electric locomotive and internal-combustion locomotive was analyzed. The key technology of mica-slot automatically chiseling was researched. A two-probe-contact detecting method was presented aimed at the deficiency of the existing detection system of the electromotor mica-slot chiseling machine. The mathematical model was established and the detection system was designed. Using this improved detection method, the boundary of mica-slot and the copper-bar could be identified accurately, and the mica-slot centerline could be calculated quickly. Regarding the angle between the mica-slot centerline and the armature axis, the compensation for the deviation was realized appropriately. The experimental result indicates that this method can improve the detection system's accuracy and reliability effectively when it gains the commutator surface information. It is economic, efficient and simple.

Keywords: Motor commutator; Mica-slot chiseling machine; Detection; Deviation compensation

牵引电机是铁路电传动机车的关键部件, 无论是电力机车还是电传动内燃机车, 都用直流电动机作为牵引部件。机车直流牵引电机的运行环境比普通直流电机要恶劣得多: (1) 它要承受来自轨道的冲击和振动; (2) 它悬挂在车体下面, 易受潮和受污, 加快了换向器的磨损; (3) 电机起停、过载和高速运行时会有较深的磁场削弱, 这都给牵引电机换向带来困难^[1]。因此, 牵引电机运行一段时间后, 电刷与换向器铜排之间的接触摩擦会导致换向器表面磨损, 磨损到一定程度时, 云母槽内积聚部分碳粉和铜粉的混合物, 使换向器相邻铜排之间形成导电电桥, 这将引起电刷换向不良而造成闪络、火花等级升高, 严重时会造成换向器环火而致使牵引电机不能正常工作。换向器由于受高温、高转速磨擦等不利因素影响, 是牵引电机的薄弱环节^[2]。为了保证牵引电机正常运行, 确保行车安全, 在机车运行一段时间以后, 要检查换向

器的状态, 磨损严重的换向器必须重新进行精车, 同时进行相邻铜排之间的云母刻槽加工, 铁路行业上习惯称为电机换向器云母槽下刻。由于其槽数多至近300条, 一般要求下刻能自动进行。

1 换向器表面整修工艺分析

换向器表面的整修工艺路线安排如图1^[3]示。

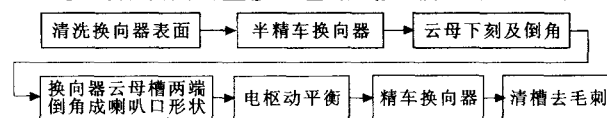


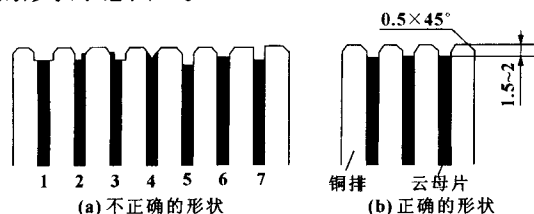
图1 换向器表面整修工艺

检修前先对电枢进行清洗, 用清洗液和高压水把换向器云母槽内、升高片片间、退刀槽内的碳粉、油污等冲洗干净并烘干, 保证槽内、片间无铜毛刺、碳粉、焊渣等导电污物。云母下刻是整修换向器工作面的云母片比换向片低一点。电机运转时, 换向器铜片

收稿日期: 2009-08-10

作者简介: 刘乐平 (1965—), 男, 副教授, 高级工程师, 主要从事机电一体化、液压与气动技术方面的教学与数控机床的开发研制工作。E-mail: jxllp@163.com。

比云母片磨损快, 如不下刻, 电机运行一段时间后, 云母就会凸出, 使电刷与换向器接触不良, 产生火花。若下刻深度太浅, 到下次维修的间隔期将缩短; 下刻深度太深时, 云母槽容易积碳粉、铜粉和油污, 影响换向片之间绝缘性能; 而下刻宽度太宽时, 又减少了换向器的工作面。如图 2 所示为换向器云母槽下刻的形状示意图^[4]。



1—槽太宽 2—槽太窄 3—槽偏 4—没清理槽底
5—槽太深 6—槽太浅 7—没倒角

图2 换向器云母槽下刻的形状

因此, 云母槽下刻是直流牵引电机维修的重点和难点。云母下刻深度应按各牵引电机的机型技术要求进行, 宽度以云母槽厚度为准, 换向片两侧的倒角一般为 $0.5 \times 45^\circ$, 这能有效阻止换向片边缘产生小鳞片状的铜毛刺, 减少火花。由于云母槽下刻工序是在半精加工和精加工之间进行, 所以用于接触式检测的探针在换向器表面形成的微小划痕可在精加工时去除, 不会影响牵引电机的换向性能。

2 云母槽下刻工艺的关键技术和难点

电机换向器自动下刻技术的关键是定位系统, 而精确定位的关键就是准确识别云母槽和铜排的边界, 确定为刀控制系统提供可靠的给定值^[5]。如图 3 所示, 电机云母槽在制造时受加工精度的影响, 云母槽不可能完全按照规定的间隔宽度均匀地分布在电机换向器的圆周上; 同时, 还存在云母槽中心线与电机中心轴线不平行的情况。所以, 采用数控机床对云母槽下刻时, 若简单地采用数控程序均等分度, 则可能导致云母槽中的云母片或无法完全刻除, 或将靠近云母槽边缘的铜片刻削掉, 影响下刻质量, 严重时还可能导致被加工电机因此报废, 造成很大的经济损失。

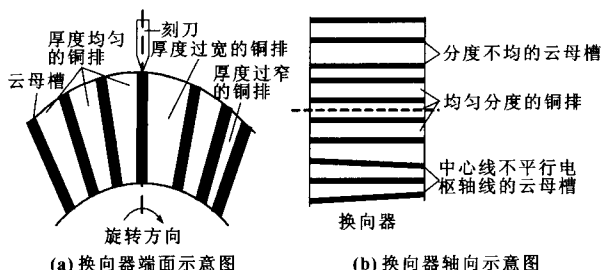


图3 换向器云母槽分度误差示意图

有学者曾经探讨过国内实际使用的各种数控下

刻机, 均采用诸如激光探头、CCD 传感器、光电技术等方式检测云母槽的实际分布情况, 但其检测系统光路复杂、对环境要求高、不易维修, 有时需要手动微调进行误差补偿, 且费用高昂、软件控制算法复杂、效率太低, 特别是效率太低这个致命弱点, 导致推广困难, 即使配备了, 操作人员也不愿意用, 成了摆设。而以往使用的单探针接触式检测方法也没有考虑云母槽中心线与电枢轴线不平行的情况, 不能对此进行偏差调整。为此, 在满足加工工艺要求的情况下, 提出一种双探针接触式的检测方法以降低下刻机成本, 并提高检测的可靠性和自动化水平。

3 检测原理

3.1 检测原理分析

机车在铁轨上运行时, 由数百块铜片和云母片紧密相间排列成圆柱型的电机换向器的实际温度高达 150°C , 由于铜片和云母的热膨胀系数不一样, 这两种不同材料间的应力将不平衡, 将造成铜排和云母片之间出现错位。同时, 电枢运转过程中的离心力也会使铜排和云母片之间出现错位。而以往使用的接触式探针检测云母槽和铜排的边界时, 只在换向器表面选取一个检测点, 虽然这样简化了检测系统, 但不能检测到云母槽中心线与电枢轴线不平行的情况, 也不能对此进行偏差调整。这必将造成其检测精度低于运用激光探头、CCD 传感器、光电技术等方法的检测精度。为了达到降低检测成本、保证检测精度的要求, 如图 4 所示, 可在换向器表面选取两个检测点, 通过相应的数据处理而达到检测精度要求, 并进行偏差补偿。

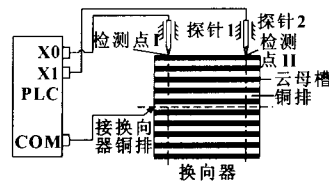


图4 检测原理示意图

检测系统有两个探针, 分别接在 PLC 的 X0 和 X1 端上, 同时并排检测, 探针 1 检测的是分度数据, 探针 2 检测的是轴向偏差调整数据。检测时, 测控系统先驱动探针至检测点, 然后驱动主轴电机匀速转动 360° , 即使被检测牵引电机匀速转动 360° 。以探针 1 检测分度数据为例, 探针在与铜排接触时, PLC 的 X0 端有输入, 探针离开铜排后, 输入断开。当探针由云母槽运动到铜排时, X0 接通, 并产生一个上升沿, 可在 PLC 程序中取 X0 中信号的上升沿, 读取当前的分度值, 作为检测点 I 处当前电机换向器上云母槽和铜片边缘的极坐标值, 存入 PLC 相应的寄存器中。当探针由铜排运动至云母槽时, X0 断开, 并产生一个下降沿, 可在 PLC 程序中取 X0 中信号的下降

沿, 读取当前的极坐标值, 作为检测点 I 处当前电机换向器上云母槽和铜片边缘的另一极坐标值, 存入 PLC 相应的寄存器中。

由于探针 1 与探针 2 是同时并排检测, 因此可根据探针 1 与探针 2 所采集的信号是否同步, 来判断云母槽中心线与电枢轴线是否平行, 并可通过 X1 的输入信号超前还是滞后 X0 的输入信号来判断云母槽中心线偏移的方向。如此循环直至采集完检测点处云母槽与铜排所有边缘的极坐标值, 如图 5 所示, 检测点 I 处的采点 A、B、C... 与检测点 II 处的采点 a、b、c... 一一对应, 进而计算出相应的云母槽中心线 1、2、3... 的极坐标值, 并存入 PLC 寄存器中。

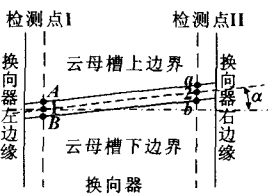


图 5 云母槽中心线偏差示意图

当云母槽中心线与电机中心轴线不平时, 还需要找到它们之间的偏差角度, 进行偏差补偿。

3.2 偏差补偿的简化数学模型

如图 6 所示, 以电枢轴线为 Z 轴建立柱面坐标, 建立偏差补偿的简化数学模型

$$\begin{cases} \alpha = \theta_2 - \theta_1 \\ \delta = R \cdot \alpha = R(\theta_2 - \theta_1) \\ \Delta\theta = \frac{L_1 \cdot \delta}{L_2 \cdot r} = \frac{L_1 R(\theta_2 - \theta_1)}{L_2 r} \\ \Delta L = \frac{L\delta}{L_2} = \frac{LR(\theta_2 - \theta_1)}{L_2} \end{cases}$$

式中: α 是云母槽中心线的偏差弧度, 根据 α 的正负来确定偏差补偿时主轴电机的旋转方向、尾座的横向移动方向; θ_1 、 θ_2 分别是图 5 中云母槽中心线上的点 1 和点 2 的极坐标; δ 是 α 在换向器圆周上对应的弧长, 可简化为直线来处理; $\Delta\theta$ 是偏差调整时, 主轴电机所需旋转的弧度 (增量值); R 、 r 分别为换向器和被加工电机轴承端的半径; L_1 是下刻机前顶尖至被加工电机换向器左边缘的距离; L_2 是被加工电机换向器长度; L 是被加工电机被顶紧之后, 下刻机前后顶尖之间的距离; ΔL 是尾座为补偿偏差所需运动的位移。

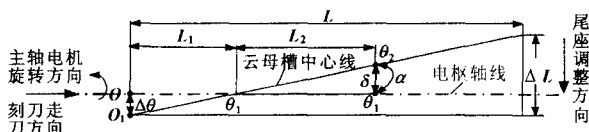


图 6 偏差补偿示意图

3.3 偏差补偿的实现措施

如图 6 所示, 当要下刻的云母槽中心线不平行于电枢轴线时, 即云母槽不平行于下刻刀走向时, PLC

应控制下刻机主轴电机先旋转 $\Delta\theta$, 使被加工电机的轴承端上的 O_1 点到达 O 点位置, 然后驱动尾座横向电机移动 ΔL , 使云母槽中心线平行于下刻刀走向, 确保下刻刀走向对准云母槽, 将云母槽中的云母片完全刻除, 并保证铜排的完好。操作完成后, 尾座回零, 测控系统调取下一个云母槽中心线的数据, 准备下刻下一个云母槽。如此循环, 直至加工完所有云母槽。

4 检测系统整体设计

4.1 检测系统硬件设计

将三菱 FX2N-16MR 的 PLC 作为主控制器, 负责整个系统的逻辑控制和数据运算等功能的实现, 并将三菱 PLC 定位单元 FX10GM/FX20GM 作为控制系统的轨迹控制部件, 用于偏差补偿时控制主轴电机的旋转和尾座的横向调整。eView 系列的 MT5500T 人机界面作为控制系统的控制界面及数据输入和状态显示界面。

刀架气动系统设计是检测系统硬件设计的重点, 其结构如图 7 所示, 将探针和刻刀都安装在刀架上, 选用单活塞杆双作用气缸将探针气缸和刻刀气缸串接, 并用三位四通电磁换向气阀来控制其上升与下降, 使检测和下刻这两种操作互不干涉: 探针伸出, 刀具则缩回; 反之, 刀具伸出, 探针缩回。当进行检测和下刻操作时, 气动系统控制探针和刻刀升降到满足工艺要求的位置以进行相应的操作。在下刻机工作台上装有两个顶尖座, 尾座是可以调节的。电枢装在两个顶尖上并顶紧, 然后刨刀对准一个云母槽进行下刻, 下刻刀和倒角刀装在一起, 当下刻刀到达一定深度后, 倒角刀就开始倒角, 因此下刻和倒角是同时完成的, 保证了加工精度。

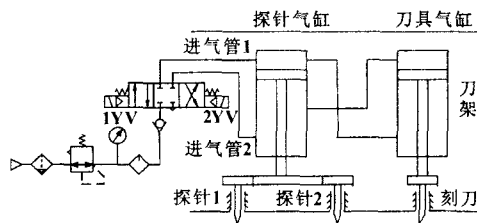


图 7 刀架气动系统结构示意图

4.2 检测系统软件设计

检测系统软件的设计主要包括系统初始参数的设定, 牵引电机型号的选择, 刀具、滑枕、尾座的回零操作以及对刀操作, 人机界面实时动态显示加工状态并在出错时报警。其中, 云母槽中心线位置的确定、偏差补偿功能的实现是编程的关键所在。如图 8 所示为云母槽加工检测系统的软件流程图。

(下转第 55 页)

温度检测传感器的测量值作为待校核样本（每个位置测量 5 次），实验数据如表 1 所示。可以看出，此种 PN 节温度检测法，与通用的温度计测量的测量精度基本接近且更加稳定。

表 1 人体多个位置温度样本与实际温度值的对比（环境温度为 17℃）

测量次数	测量位置		
	颈部	腋下	腹部
1(PN 节测量)	36.0	36.2	35.8
2(PN 节测量)	36.1	36.4	36.1
3(PN 节测量)	36.1	36.4	35.9
4(PN 节测量)	35.9	36.5	36.0
5(PN 节测量)	36.0	36.2	36.2
PN 节测量平均值	36.02	36.34	36.0
温度计测量值	36.1	36.5	36.2
两者差值	0.08	0.16	0.2

5 结论

在 ARM9 2440 开发平台的基础上，设计出了人体表面温度控制系统的基本框架，设计了气体温度检测、人体表面温度检测、气体加热、气体流量控制等模块。核心模块的仿真和实验数据分析表明，气体温度采集、气体加热、流量输送、人体表面温度测量等均能够达到人体表面温度恒定的智能控制要求，实现系统所需的功能。

参考文献：

- [1] 华惠娟节译. 麻醉期间体温的监测[J]. 国外医学·麻醉学与复苏分册, 1983(3): 182-185.
- [2] 胡文娟, 沈玲, 李珏芳, 等. 手术中浅低温现象与并发症的关系[J]. 解放军护理杂志, 2004, 21(9): 10-12.
- [3] 王海莲, 朱水莲, 樊彩玲. 术中体核温度监测[J]. 护理研究, 2002, 8(15): 478.
- [4] 张冬泉, 谭南林, 苏树强. Windows CE 使用开发技术[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 袁修干. 人体热调节系统的数学模型[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [6] 杨帆, 王烨, 李国平, 等. 基于 AT89S52 的温度测控系统设计[J]. 电器自动化, 2009(31): 53-54.
- [7] Sessler D I, McGuire J, Moayeri A, et al. Isoflurane-induced vasodilation minimally increases cutaneous heat loss[J]. Anesthesiology, 1991, 74: 226-232.
- [8] <http://staff.ustc.edu.cn/~yhe/lecture-6.pdf>, 2010-3-1.
- [9] Taguchi Akiko, Ratnaraj Jebadurai, Kabon Barbara, et al. Effects of a Circulating-water Garment and Forced-air Warming on Body Heat Content and Core Temperature[J]. Anesthesiology, 2004, 100: 1058-1064.
- [10] Lenhardt Rainer, Sessler Daniel I. Estimation of Mean Body Temperature from Mean Skin and Core Temperature

[J]. Anesthesiology, 2006, 105: 1117-1121.

- [11] 詹长江, 陈坚, 康勇, 等. 基于空间矢量 PWM 算法的全数字化调速系统[J]. 电力电子技术, 1997(4): 30-33.

(上接第 58 页)

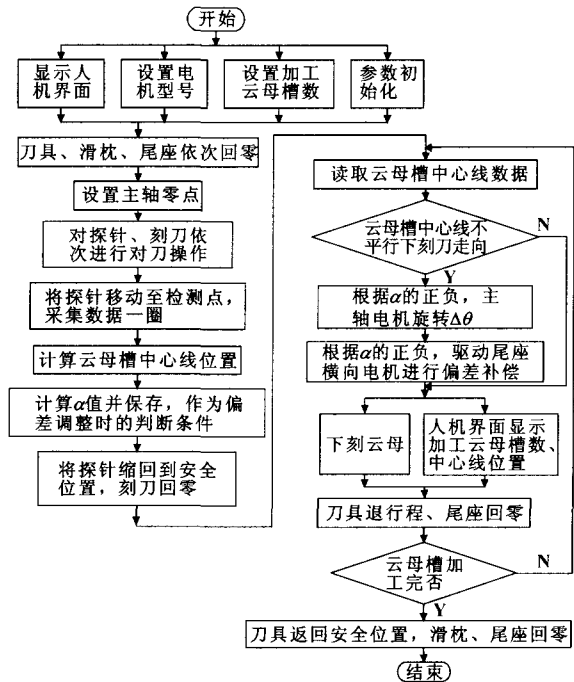


图 8 检测系统的软件流程图

5 结束语

经过实践验证，该下刻机采用双探针接触式检测系统后，能准确识别云母槽与铜排的边界、快速计算出云母槽中心线位置及其相对于电枢轴线的偏角，并实现了偏差补偿。同时该检测方法有效地提高了检测系统在获取换向器表面信息时的抗干扰能力和可靠性，减小了检测累计误差，保证了加工精度，有利于其在电机检修部门推广使用。

参考文献：

- [1] 陈春俊, 伍川辉, 宁静. 电机云母槽自动下刻机测控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2004(8): 738-740.
- [2] 王阳, 邱成, 张占军, 等. 基于索引式绝对位置编码线阵 CCD 的下刻机定位系统[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2006(5): 7-9.
- [3] 赵文斌. 提高换向器—电刷部件可靠性的工艺措施[J]. 内燃机车, 2004(4): 33-35.
- [4] 连级三. 电传动机车概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2001: 167-170.
- [5] 喻凌宇, 朱衡君, 景文军. 基于面阵 CCD 的云母自动下刻机检测定位系统[J]. 仪器仪表学报, 2000(6): 618-620.