

风力发电机电动叶轮锁

姚红宾 张洪峰 乔少帅 李立龙

华能国际电力股份有限公司河北清洁能源分公司 河北 石家庄 050051

摘要: 风力发电机组在长期停机和维护时,需要将轮毂锁住。结合机舱空间小的结构特征,研制出了一种风力发电机电动叶轮锁。将电动机、减速机构和丝杠螺母结构设计成一体结构,实现了锁杆的自由伸缩、定位锁紧、极限位置保护。

关键词: 叶轮锁驱动机; 构连接件; 风力发电

引言: 风力发电机叶轮锁是风力发电机制动系统的一部分,在叶轮组装及后期对叶轮中的各种装置进行维修保养时起着重要的作用。现在我国制造的叶轮锁分为手动式和电液式。手动式操作烦琐,安全性低。电液式占用空间大,维护困难。

1 整体结构设计

风力发电机电动叶轮装置包括法兰基座、驱动机构、连接件、锁销、锁定螺钉。法兰基座作为整个装置的载体,整个机构靠基座的法兰安装到风力发电机机舱基座上,封闭的结构防止驱动机构和锁销暴露在外。基座一侧设有面板安装孔。驱动机构控制锁销的运动状态。连接件避免锁销的振动或安装偏差造成驱动机构受阻。锁定螺钉起到防止锁杆脱落的保护作用。电气部分实现的功能包括电机的正反控制、锁销位置检测、锁定螺钉开启和锁杆脱落报警。

1.1 设计原理

在原来的变速箱箱体上安装电动机构,利用自动化控制原理,由电机提供动力,通过独立设计的单片电路板控制电路,提供过流保护,达到保护电机的功能^[1]。针对风机的工况,设计结构紧凑,重量轻,外观大方简洁,电气自动化程度高,稳定可靠,安装使用方便,节省人力,维护简单的电动叶轮锁系统。

1.2 设计元件组成

电动叶轮锁系统主要由系统电源,控制系统,交流防爆电机,大扭矩平行轴齿轮减速机,手动操作转轮,安装法兰,浮动接头,锁销和控制按钮等部分组成。

1.3 系统结构设计

1.3.1 安装法兰

利用原箱体安装螺纹孔,设计安装法兰。

1.3.2 齿轮减速机构

采用平行轴齿轮减速机构,传动速比大,传动平稳,噪音低。

1.3.3 安全防护设计

叶轮锁在锁定状态下,叶轮锁销受来自轮毂的径向剪切力的影响,锁销与主轴锁定孔之间存在很大的摩擦力,极易造成电机过载^[2]。因此在电机的控制策略中,设计过载保护功能,避免电机烧毁情况的发生。

1.3.4 手动操作功能

为避免因电气故障造成叶轮锁无法关闭或打开的情况,考虑在电气设计的基础上增设手动操作功能,检修人员可以通过手动旋转手柄的方式控制锁定销进退,实现锁定轮毂的目的。

1.3.5 刹车功能

为方便。

2 机械结构设计

2.1 驱动机构

作为电动叶轮锁的关键结构,12V小型直流电机产生的驱动力通过三级减速器和丝杠螺母结构传送至锁销,使得锁销在电机的控制下前进或后退。为提高装置的空间利用率,将电机、减速器和丝杠螺母结合在一起,使得驱动部件结构紧凑。其三级减速器采用三组标准齿轮,依照速度的递减顺序,划分为一级、二级、三级。一级齿轮组材料使用40Cr(调质后淬火),二级和三级齿轮组材料采用45Cr(调质后表面淬火)^[3]。丝杠螺母结构分别采用45钢和青铜材料,受空间限制,丝杠导程 $S = 2\text{mm}$ 、直径 $d = 10\text{mm}$ 。电机的输出额定转速为4000r/min,输出额定功率为60W减速器的传动比为26.25,则减速器输出转速约为150r/min,丝杠螺母结构的输出转速为5mm/s。根据减速器和丝杠螺母的效率计算,驱动机构输出最大推力可稳定达到3000N

2.2 叶轮锁定

将310控制柜门上的“手/自动旋钮”旋转开关置于“手动控制”,通过操作产品上的“刹车打开”与“刹车关闭”按钮,控制主轴刹车动作,使锁销对准叶轮孔

位。对准孔位后按下产品上的“急停”按钮，使机组刹车处于抱死状态，使叶轮停止转动。按下产品上的“前进”按钮，锁销移动插入叶轮孔位，完成叶轮锁销的插入工作。

2.3 叶轮解锁

确保人员及工具物品都处于安全位置后，按下产品上的“后退”按钮，使锁销退出叶轮孔位。当锁销受来自叶轮的径向剪切力4.5KN时，产品进入过载保护模式。此时状态指示灯闪烁，所有操作按钮失效。待状态指示灯停止闪烁后，方可继续操作产品上的“后退”按钮，使锁销退出叶轮孔位^[1]。当过载保护频繁触发时，可通过操作产品上的“刹车打开”与“刹车关闭”按钮，控制主轴刹车状态（必要时可进行偏航或手动盘车），调整叶轮孔位角度，降低锁销承受的径向剪切力。锁销收回后，松开叶轮锁上的急停按钮，并将310柜门上的刹车“手/自动旋钮”置于“自动控制”，复位风机故障。

3 电气控制原理

3.1 电气结构

整个电气机构由电动机、接触器、控制按钮、紧急停止按钮。

3.2 控制原理

在电动叶轮锁外壳处装配一个急停按钮和四个控制按钮。急停按钮与机组原有急停按钮进行串联，保证在危险情况出现时，对机组、人员的安全保护。四个控制按钮中的两个刹车按钮分别控制刹车制动器的关闭和开启，实现轮毂孔位的精确对准；另外两个叶轮锁电机控制按钮控制不同接触器的吸合，进行对叶轮锁电机的正向旋转和反向旋转控制，实现对叶轮锁销的伸展和收缩动作^[2]。

从安全的角度出发，在叶轮锁电机的控制策略中，只有在叶轮锁上的急停按钮被按下的情况下，才可以对叶轮锁电机启动接触器供电。

4 叶轮锁操作过程简述

操作电动叶轮锁动作的过程主要分为两个阶段：即锁定轮毂和轮毂解除锁定。锁定轮毂：将310控制柜门上的刹车“手/自动旋钮”旋转开关旋到手动控制状态，通过电动叶轮锁上的“刹车打开”按钮与“刹车关闭”按钮来控制轮毂孔位校正。校正对准孔位后按下电动叶轮锁上的“急停”按钮使机组刹车处于持续抱死状态，完成对正叶轮锁孔位工作，并同时给电动叶轮锁的控制系統供电。按下电动叶轮锁上的“前进”按钮完成轮毂锁销的插入工作^[3]。

4.1 解除轮毂锁定

轮毂内工作完成，确保人员及工具物品都处于安全位置后，按动电动轮毂锁上的“后退”按钮使锁销退出。最后松开叶轮锁上的急停按钮，并将310柜门上的刹车“手/自动旋钮”旋回自动控制状态，按复位按钮将风机故障复位。

4.2 安装工艺

电动叶轮锁整体设计金属外壳，外壳端面与原叶轮锁法兰端面对接并使用螺杆固定。导线从绝缘蛇皮管内部走线，蛇皮管沿齿轮箱内壁走线并用强磁固定^[1]。

4.3 连接件

连接件共两个，采用45钢作为材料。与驱动机构的连接采用销轴连接，与法兰和锁销采用螺纹连接。由于锁销的振动和摩擦，采用粗牙螺纹，以提高连接强度和互换性。

4.4 锁销

锁销设有导向锥头和防脱槽。导向锥头在锁销运动时具有导向作用，避免锁销发生卡位的现象。在锁销的开锁状态时，锁定螺钉下压，锁定锁销，防止因震动产生脱落。

5 电气控制设计分析

本装置的电气部分由按钮开关、12V小型直流电机和驱动机构中限位开关组成。在锁销处于开锁状态下，前进按钮（SB1）按下后，电机正向运转，锁销前进。当到达驱动机构中的限位开关时，锁销完成上锁状态，电机主电路切断，电机停止^[2]。锁定状态下，后退按钮按下后，电机反向运转，锁销后退。当到达驱动机构中的限位开关时，锁销完成开锁状态，电机主电路切断，电机停止测试数据与结果分析设计完成后，用制造出来的实物与传统的手动式叶轮锁进行测试比较。在同一安装环境、同一锁销孔直径下进行多次测试。计算装置的空间占用率，记录锁销的上锁时间、开锁时间，验证电动叶轮锁的便捷度和稳定性。

6 叶化锁的研究措施

研究电动叶伦锁系统，帮助风场检修人员摆脱繁重的手动机械式叶轮锁定工作方式，风力发电机组电动叶伦锁研究与实现是一种自动化控制技术，能够实现叶伦锁的电控打开和锁定，遵循叶轮锁定的机理与特性，开发新型电动叶伦锁系统，研究成果可应用于替换各类风电机组的机械式叶伦锁，对推动风力发电机组智能化进程具有重要意义^[3]。同时，通过对刹车系統控制部分的迁移，可以实现一人单独操作叶轮的锁定与打开工作，既降低了维护工程师的工作强度，也提高了维护工程的人身安全。

6.1 叶伦锁的电动控制模型的研究

使用电机、减速机、丝杠等搭建电动叶伦锁模型，并依据建立的控制策略和防过载保护控制思路对其进行研究。

6.2 控制模型策略的研究

依据自动化控制原理，按照风机叶伦锁定的实际工作方式，设计其控制策略，并根据叶伦锁工作的实际需要，开展控制模型的策略研究，实现更完美的自动叶伦锁的工作方式^[1]。

6.3 防过载保护系统的建立

大风工况下，在轮毂是锁定受力状态，锁销受轮毂方向传来的较大抱紧力，导致锁销无法轻易拔出，使用电动控制会直接导致电机过载，设计电动叶伦锁的防过载保护系统是保障其长期可靠使用的重要环节。

6.4 技术关键

(1) 采用电动控制原理，利用电机及减速机驱动浮动接头，通过安装法兰带动丝杆丝母进行轴向运动，进而完成对叶轮的锁定、解除工作。

(2) 采用平行轴齿轮式减速机械结构，许用扭矩大，传动效率高，运行可靠平稳，能够克服轮毂横向压力对锁销造成的影响。

(3) 在正常工作状态下，必须确保安装位置的平行

度，同心度以及机架结构的强度等因素，确保应用电动叶轮锁的设备结构部分不能对电机运动部件施加径向力或者超过比例的惯性。

(4) 当发生过载时，驱动器的正、反、禁止旋转，避免导致电机的损坏风险^[2]。

结语

风力发电机电动叶轮锁能实现电气化操作和锁销的精准锁定，解决了目前手动叶轮锁费时费力、安全性低的问题。在结构上，其具有较高的紧凑性，便于安装拆卸，同时在控制系统上，拥有机械互锁功能，有利于风机后期的电气自动化。在应用范围上，该电动叶轮锁能够适用各种型号规格的风力发电机。目前，许多风机企业急需此类自动化产品，因此该电动叶轮锁具有很高的市场竞争力和存活力，具有十分可观的发展前景。

参考文献

- [1] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [2] 朱龙根. 机械系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [3] 宁朝阳, 周华祥. 箱形主梁结构优化设计[J]. 长沙交通学院学报, 2017, 23(2): 60-64.