

门式起重机大车行走机构同步性研究

彭志

红河广源水电开发有限公司

摘要：为解决门式起重机大车卡顿、啃齿及减速器齿轮断齿、破裂等故障，本文对门式起重机大车行走机构车轮组精准同步控制系统及反馈纠偏系统进行研究及应用，并提出了针对行走机构车轮组同步失灵发生故障的解决办法。以期对相关研究者提供参考。

关键词：门式起重机（门机）；门式起重机大车行走机构；门式起重机同步性研究

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.054

一、简介

南沙水电厂大坝门式起重机（简称门机）工作级别为A3，采用西门子S7-300系列PLC作为主控单元，四台18.5KW变频器控制八台7.5kw的电机作为大车行走动力。水电厂大坝门机主要作用为起吊、搬运、下放检修闸门阻挡水流，并兼顾大坝拦污栅清洁及坝前清污工作。

自南沙水电厂大坝门机投产以来其门机行走时经常出现卡顿、啃齿、啃轨现象，并在近3年中出现过门机大车二台减速器齿轮断齿、破裂故障和一台大车行走轮动力电机烧坏故障。严重影响大坝门机正常使用，不利于电站的安全稳定运行。在对门机故障进行检查、分析时，发现以上现象是门机大车行走机构不同步导致。

为提高门式起重机大车行走机构运行安全可靠，解决门机大车行走机构不同步所导致的各种问题。应进一步优化完善大车行走机构，决定对其同步机构进行研究，采用新的门机大车行走机构控制系统、反馈调节机构，改变门机大车行走机构减速器与大车台架的刚性连接方式，采用弹簧柔性连接方式，解决由于门机大车行走机构同步失灵导致车轮及减速器机械部件受力不均发生的各种故障^[1]。

二、市场调研及行业现状

经过查阅相关资料，对市场进行调研，发现市场上的门式起重机大车行走机构同步性控制均不能形成闭环控制。大车行走机构同步性只能通过加强观察，定期调节的方式来控制，可靠性较差、精确度不高。大车行走机构的减速器都是固定连接，少部分为悬吊式硬连接。在门机大车行走中都出现过减速器齿轮断齿、破裂现象，门机使用时间越久出现这种故障的概率越大，齿轮破裂越严重。

三、研究目的

为改善门机行走机构不同步的现状，结合市场、行业调研及借鉴同类设备的使用情况，针对门机行走机构出现的各种问题对其进行分析、研究、改进及评估。以解决门机大车行走机构各种故障为目的，以实现门机大车行走机构智能化和快速化，达到精准同步行走的目标，为企业设备安全运行、汛期安全度汛及降低设备检修成本做贡献。

四、原设备情况分析

（一）原大车行走机构控制原理分析

原门机大车行走机构控制系统采用西门子S7-300系列PLC作为主控单元，四台18.5KW变频器控制八台7.5kw的电机作为大车行走动力，每台变频器控制两台电机，1、2号变频器控制大坝下游侧四台电机，3、4号变频器控制大坝上游侧四台电机。在对门机大车行走机构研究中发现，两侧支腿轮组行走速度不一致，经过调整变频器参数、调整制动器制动距离、更换变频器等措施，效果均不理想。通过对变频器输出频率、大车轮组行走距离进行检查、分析最终确定门机大车行走机构不同步的电气原因为：

1. 四台变频器运行中存在输出频率不一致，响应时间有微小差异，导致电机转速存在差异。

2. 上游侧轮组所用变频器为1、2号变频器，下游侧轮组所用变频器为3、4号变频器，每台变频器只单一控制一侧轮组，当变频器输出频率不一致时，上下游两侧轮组会产生一侧先行一侧后行的现象。

3. 大车行走机构控制系统为开环控制系统，PLC通过操作室控制手柄挡位变换调节变频器输出，没有大车轮组反馈信号，不能形成闭环控制，当轮组间行走距离产生差异时，主控单元（PLC）无法及时调节变频器输出改变减速电机转速，导致车轮组行走速度无法改变。

对比图纸与实物，从控制终端到执行终端进行观察、检查、分析。发现在控制手柄发出动作信号到大车减速电机动作的过程中，其电气回路中变频器、接触器、断路器、制动器动作时间不同步，导致左右两侧支腿各车轮行走速度不同步。在观察中发现大车车轮组速度偏差一直存在，未有纠偏现象，分析门机大车行走机构原控制方式存在弊端且没有闭环反馈调节装置是导致门机大车行走机构不同步的主要原因。

根据以上分析决定精简控制系统，并加入反馈纠偏系统来对门机大车行走机构进行研究。

（二）原大车行走机构机械原理分析

原门机大车行走机构采用分散驱动方式，机构车轮总数16个，其中主动轮8个，即采用对半驱动方式。经对大车行走机构结构的研究，发现门机减速器与台车架为刚性连接，大车行走时由电机转动带动减速器齿轮转动，再由齿轮组带动传动轴、车轮转动。原行走机构机械结构见图1^[2]。

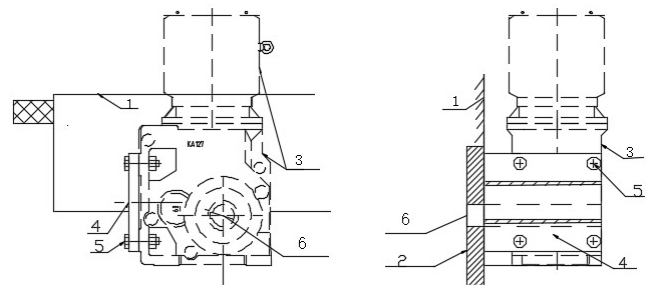


图1 原行走机构机械结构

图中各部件名称：1、门机架；2、行走车轮；3、减速电机；4、连接架；5、螺栓；6传动轴。

在对门机大车行走机构研究分析中发现，减速电机断齿、破裂是因大车行走机构不能精准同步或同步失灵导致。再对现有的门式起重机大车行走机构结构的研究，发现门机减速器与台车架的连接方式大都为刚性连接。

其刚性连接的受力情况：在利用大车减速电机驱动门机行驶过程中，当大车行走机构制动时，其行走车轮（2）的前进惯性通过传动轴（6）传递至减速电机（3）上，继而减速电机（3）通过刚性连接架将惯性推力传递至门机架（1）上。

由于刚性支撑力臂不能很好的缓冲、消纳门式起重机制动时的巨大惯性力，所以门机大车每次停车时都会对减速器齿轮造成强烈的冲击，容易造成减速器齿轮破裂、断齿等现象。采用刚性连接作为减速电机与门机架的连接方式，在门机行走机构制动时其各机械部件都受到了惯性冲击力，由于是刚性连接没有卸荷力的结构及部件，设备部件其受力面越小、材质越脆弱，越容易损坏。而减速器齿轮是所有部件中受力面最小的结构，所以门机减速器齿轮破裂、断齿，电机烧坏故障最常见^[3]。

根据以上分析决定对门机大车行走机构减速电机的连接方式进行改进，以攻克门机大车减速电机出现的故障。

五、研究方向

根据原门机大车行走机构原理及结构分析及研究，决定采用新型的门机大车行走机构控制系统、反馈调节机构、减速电机柔性连接方式来达到门机大车精准同步运行。

六、研究方案

（一）门机大车行走机构同步电气控制系统及反馈调节机构

为解决造成门机行走机构不同步的电气原因，主要从以下两个方面对原大车行走机构控制系统进行研究：

1. 调整变频器控制轮组，优化控制方式

原八台电机采用四台变频器进行控制，在运行中变频器由于干扰信号、响应时间等原因可能存在输出频率不一致，导致四组轮组可能产生四种转速。为减小轮组与轮组之间的转速差异，通过分析研究，确定采用一台PLC（西门子SMART 300）作为主控单元，将四台变频器改为功率满足要求的二台变频器。另一方面，为解决每台变频器只单一控制一侧轮组，导致上下游两侧轮组会产生一侧先行一侧后行的问题，将每台变频器控制的大车轮调整为每侧各两个支腿。第1、3、5、7号轮子为一组，第2、4、6、8号轮子为一组，分别由两台变频器进行控制，当其中一台变频器故障时，仍然可以依靠另一台变频器控制一组轮组带动起重机稳定行走。

2. 增设同步监测装置设计，实现闭环控制：

门式起重机未设计有大车行走同步监测装置，PLC通过操作室控制手柄档位调节变频器输出，没有大车轮组反馈信号，不能形成闭环控制，其轮组之间的同步

性主要依赖于电机转速同步来保证，作业现场只能通过加强观察，定期调节的方式来控制，可靠性较差、精度不高。当轮组之间产生转速差异时，PLC不能及时对变频器输出频率进行调整。即使将四台变频器改进为二台，也难以实现两侧轮组之间的电气、机械完全同步。因此，通过研究决定在门式起重机的电气控制系统中增加同步检测装置并通过数据反馈形成闭环控制系统，将对保证起重机的结构稳定和安全使用意义重大。在1号轮子和8号轮子上各安装一个同步检测传感器，通过PLC实时采集并对比传感器数据，再根据对比结果调节轮组运行速度，实现闭环控制。同步控制采用主从控制方式，将一侧（如下游侧）传感器的输出值与另一侧（上游侧）传感器的输出值进行对比，在保持第1组轮组行走速度不变的情况下，通过调节第2组变频器的输出频率，达到调节第2组电机运转速度的目的，从而使所有轮组同步^[4]。

3. 大车纠偏传感器选择及安装

由于实施同步比较的需要，要求编码器具有良好的抗干扰能力，同时要求编码器位置具有唯一性、不受断电影响。为了保证编码器脉冲信号不丢失，参与控制的纠偏仪必须采用长线驱动编码器，电缆线必须采用双层屏蔽线，编码器到主机的电缆尽量避免接头。故大车纠偏传感器选用多圈绝对式编码器，使用计米轮配合编码器工作。结合现场实际情况，考虑后期维护的需求，选择安装的编码器型号为：BCM58S10，编码器在量程范围内最小圈数远远满足要求，内部由齿轮组构成减速器与单圈高精度解码器相配合，可记录转动圈数与每圈角度，抗电磁干扰，精度高，采用格雷码方式输出。计米轮安装保证牢固、可靠、稳定，计米轮贴着大车从动轮安装^[5]。

确定控制偏差，由于现行国家标准中暂无对于门式起重机支腿位移偏差的要求，只能根据原门式起重机前期运行时偏差、编码器精度等因素综合考虑，确定目标偏差。我们对其运行后的偏差进行了测试，由于本门式起重机为专用设备，在重载工作情况下进行测试。根据测试结果，门式起重机支腿位移偏差在0.10米~0.18米之间波动，长期这样运行，啃齿风险较大。结合门式起重机结构设计资料，比起升机构动滑轮角度偏差<1%的要求，将目标控制偏差设定为门式起重机跨度的0.5%（本门式起重机轨距为12米），也就是两组行走轮偏差暂定为0.06米^[4]。

（二）大车行走机构减速电机柔性连接结构及原理

为解决门机大车行走机构同步失灵造成的后果，主要从大车行走机构减速电机与门机台架的连接结构进行研究：

在设备现场增加三合一减速器专用支撑力臂来与台车架柔性连接（所谓柔性连接结构可为真正的铰接，即主梁与支腿连接采用球铰或柱铰，也可以为假想铰连接）。弹簧力矩支撑臂装置由：销轴、受力拉杆、弹簧、垫片、螺帽、减速器连接座、门机连接座等组成。

1. 减速机柔性支撑力臂见图2。

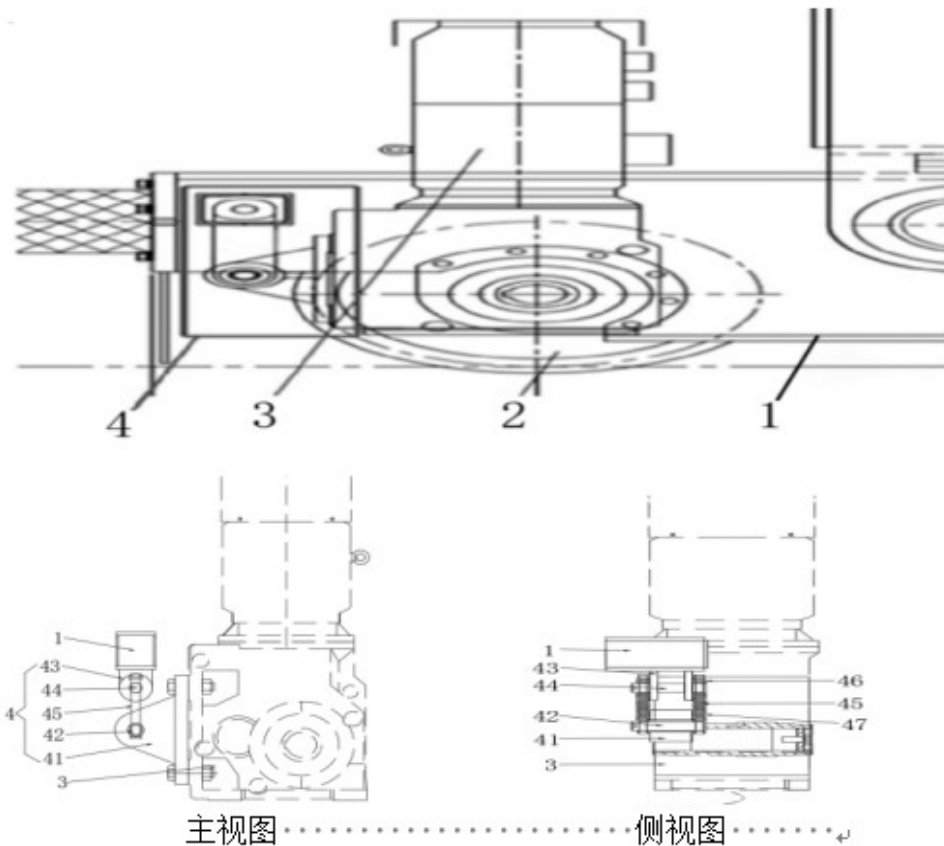


图2 减速机柔性支撑力臂

图中各部件名称：1、门机架；2、行走车轮；3、减速电机；4、柔性支撑力臂；41、减速器连接座；42、第一销轴；43、门机连接座；44、第二销轴；45、受力拉杆；46、压缩弹簧；47、缓冲垫片。

2. 柔性支撑力臂工作原理和受力情况分析：

在利用大车减速电机驱动门机行驶过程中，当大车行走机构制动时，其行走车轮（2）的前进惯性通过传动轴传递至减速电机（3）上，继而减速电机（3）通过减速器连接座（41）与第一销轴（42）将惯性推力传递至受力拉杆（45）与压缩弹簧（46）的组合上，推动受力拉杆（45）沿门机架（1）上的门机连接座（43）弹性伸出，利用压缩弹簧（46）的弹性压缩，将减速电机（3）齿轮端受到的硬性扭矩力转化为柔性支撑力臂（4）的弹性前进推力推动压缩弹簧（46）的伸缩。

柔性支撑力臂的优点：采用柔性支撑力臂作为减速电机与门机架的柔性连接点，能够以柔性连接方式，以达到卸载大车行走机构制动时行走车轮由于惯性产生的过大负荷，减小减速器齿轮受力将行走车轮不同步时的不平衡负荷通过柔性支撑力臂进行释放，解决减速器齿轮破裂、断齿等现象，延长减速器齿轮使用寿命。

七、研究成果检测、评估

在大车行走机构同步性研究获得成功后，经实际运用后通过监控系统上1号轮子和8号轮子上的位移显示对比其位移偏差为0.02M。再通过大车行走前后车轮记号标识与轨道记号标识重合度判断各车轮的同步性。

经验收、评估，门式起重机大车行走机构已实现精准同步。同时，为同行业门机设备研究提供一种简便、高效、可靠的方案，且为公司节约门机大车行走机构检修维护成本。

结论

通过采取以上技术研究并经落实运用后，其大车行走更顺畅，减低了门机各部件的金属疲劳，未再出现卡顿、啃齿、啃轨现象，未出现减速器、电机损坏故障。门机可靠性、安全性有了显著提升。在电厂防洪度汛中能及时辅助泄洪设备的检修保养，这些研究应用对今后同类型的门机安全运行及设备改造，具有重要参考价值。

参考文献

[1] 邓黎黎，周雄聪，金文忠，等. 门机大车行走机构的同步控制系统：CN202021150256.8 [P]. CN212450319U [2024-03-20].
 [2] 杨关智. 草街航电枢纽2×2500kN坝顶门机安装技术[J]. 水电站设计. 2013, (03), 59-61.
 [3] 谭广焕，招子安. 一种自行车用的电子变速机构：CN205737961U [p]. 2016206432658. [2016-11-30].
 [4] 张权. 大跨度门式起重机大车走行同步控制技术及应用[J]. 装备制造技术, 2015, (02): 75-76.
 [5] 张慧东，吴新义，李东，等. 一种基于编码器的机车定位装置：CN201921275226.7 [P]. CN210212373U [2024-03-20].