

工厂机电设备全生命周期运维管理对策研究

张天亮 倪余城 何江涛

陕西彬长大佛寺矿业有限公司 陕西 咸阳 713500

摘要：工厂机电设备是生产的物质技术基础，其运维水平直接影响到生产的连续性和产品的质量和整个生命周期的成本。而目前工厂设备管理中存在的问题主要表现在重视使用而忽视维护，重视局部而忽视整体，重视应急而不重视预防等方面。为此，笔者提出基于全生命周期的理念对设备进行管理，即将设备的一生分为规划选型及采购、安装调试及验收、运行维护及状态监测、改造升级及报废更新四个部分，并对其每一部分的特点以及需要关注的问题进行了探讨。得出结论机电设备全生命周期运维管理的核心思想就是从“分段式”的管理模式向“一体化”的管理模式转变，在此过程中最重要的是建立贯穿设备一生的环节数字化链条以及可以追踪的责任人制度。

关键词：机电设备；全生命周期管理；运维管理；状态维修

引言

工厂机电设备是企业主要固定资产，其整个生命周期内维护费用远远大于购买价格。但是目前企业管理中往往注重使用而不重视设计及废弃，造成各个环节之间脱节、责任不明晰的现象。引入全生命周期理念就是要做到“从摇篮到坟墓”，也就是说设备管理不能仅仅局限于投产之后，而要提前至选型论证甚至更早，还要延后至报废处理，把所有过程中的数据以及经验反馈到下一个循环当中去。这是扩展了管理范围，也是思维方式的变化：即不是单纯考虑某一方面效率最大，而是要总体上寻求最优解决方案。消除各个部分之间的隔阂，使前期的设计、中期的运行、后期的处置融为一体，提高整个企业的资产管理水平。

1 全生命周期运维管理的理论内涵

1.1 设备寿命规律的阶段性特征

机电设备在其整个寿命周期内性能的变化是有一定规律可循的。根据设备劣化曲线，一般情况下设备的工作过程可以分为磨合期（安装调试之后达到一个相对稳定的状态）、正常发挥功能期（工作效率高、出现问题的最佳时期）以及劣化加速期（磨损加快、问题频繁出现、维修费用急剧增加）。各个时期的设备状况及其所要达到的目标均有所不同，在磨合期内主要是消除安装时存在的问题并且使工作人员熟悉设备的操作方法；在正常发挥功能期内主要是保持设备处于良好状态并防止突然发生故障；而在劣化加速期内则是考虑经济效益问题，即是否值得花费更多的钱去修理该设备而不是购买一台新的设备更加划算。因此，对设备进行全寿命期

管理就要根据不同情况采取相应措施而不是一味地实行固定保养制度。

1.2 全生命周期管理的基本框架

机电设备全生命周期运维管理包含四个方面：一是规划设计及采购环节（设备管理前端关口）；二是安装调试及验收环节（设备正式服役之前的质量检查环节）；三是运行维护及监测环节（设备服役期间主要管理工作）；四是改造更新及退役环节（设备退役之前价值回收以及评价）^[1]。以上四个部分是一个环环相扣的整体，在后续一个环节处理情况以及数据都应当反馈到前一个环节当中去，从而实现良性循环。理想状态下就是对设备在整个使用过程中制定一套完整数据规范以及信息平台，在不同时间段之间进行有效沟通并且落实责任。

2 规划选型与采购阶段的预防性管理

2.1 基于全生命周期成本的技术经济比选

规划选型阶段是决定设备先天属性的重要步骤，在此之后即使有再好的后期运营管理手段也无力回天。传统的选型都是以采购成本及供货时间为主导，而忽略了能耗、可维护性、零部件通用性、制造商售后服务等因素。从全生命周期角度出发，选型应该使用全生命周期成本法对拟选购设备的一次性投入成本、每年的电费支出、预计每年的维修费、大修间隔期以及大修花费还有预期使用寿命都折算成每年的成本做对比。尤其是对于大功率机电设备而言，由于效率不同所导致的能耗差距会随着时间累加远远大于设备本身的价格差异，这是选型时必须重视的问题。

2.2 设备选型的可维护性要求

良好的可维护性包括但不限于：易损件及重要部件的通用性和模块化水平、常规维护工作便利性（例如润滑油嘴集中布置、滤芯快捷拆换结构）、故障检测接口完整性以及维修余地预留等。工厂设备管理部门应在选择时就参与到对供应商技术方案评估中，把可维护性作为一项内容写入采购技术要求并据此给供应商打分。同时也要考虑供应商售后服务质量、当地是否有足够的库存备件和技术支持等因素。

2.3 供应商技术文件与初始数据管理

设备采购过程中的相关技术文档（如出厂试验报告、性能曲线、安装图纸、电气原理图、备件清单以及润滑图表等）对以后设备检修维护具有重要意义。但是很多企业在设备验收后就将这些技术文档束之高阁，甚至由于人员变动导致丢失，使得今后发生问题无法查阅相关资料进行处理^[2]。而在整个设备生命周期中，在设备采购时就要确定好谁负责保存这些技术文档以及如何保存，建立设备初始的技术档案，即设备出厂时所具备的基本技术参数（例如：振动基准值、温升限值、功率特性曲线等），这些都是以后用于设备运行期间的状态监测以及性能退化的判断依据。

3 安装调试与验收阶段的规范化管理

3.1 安装过程质量控制要点

安装过程中应注意的问题有：基础施工质量、地脚螺栓紧固力矩是否符合要求、联轴器对中的精度（对于旋转设备来说，对中误差在允许范围内可以防止振动及轴承损坏的前提条件）、管道连接处产生的应力是否消除以及电气接线是否正确等。设备管理部门需参加或主持安装过程中的重要环节验收，保证隐蔽工程及主要工序的质量可追溯性，不能把安装缺陷带到使用之中。

3.2 调试与试运行验收规范

验收应当根据采购合同以及技术协议一条条地检查，主要为：设备在额定工况和部分负荷工况下的各项指标（流量、压力、温度、电流、振动等）是否符合设计；保护连锁的动作正确性和响应速度是否符合安全标准；自控系统调节质量是否符合生产工艺要求等。验收中出现问题或者不符合项都必须有书面材料并且要落实到责任人和完成时间上。另外一点需要说明的是，验收不能只做空载或者轻载情况下的测试，尽量做到接近正常生产条件下的负载下进行试验，以便使该设备投运后能正常运行。

3.3 初始运行数据的采集与建档

此时需全面记录设备处于不同工况时的工作情况，形成初始工作状态台账。如振动频谱、温度场分布、运行电流曲线、润滑剂初始质量情况等。初始工作状态台账的作用是用于以后的状态监视进行比较，而不是单纯保存。一些较为先进的管理模式在这一时期还会进行一段时间的加密检测形成设备的“指纹档案”，以便日后对设备实施全过程的健康管理。

4 运行维护与状态监控阶段的精益化管控

4.1 基于状态的维修策略转型

从计划性预防维修到基于状态维修转变，是提高检修效率重要途径。基于状态维修并非否定定期保养必要性（定期更换易损件、定期给设备加油等都是必不可少基本保养内容，不能完全取消），而是主张对于一些重要设备或者大型机组不需要规定一个固定大修时间间隔，用不断获得状态监测信息来决定何时进行维护。这就要求维修计划制定由“设备已使用多少小时”变为“设备当前处于何种状况”。而要实行这种转变必须有可靠的状态监测方法以及明确的标准来判断设备是否处于良好工作状态。

4.2 分级维护策略与资源优化配置

用分层的方法进行管理，依据设备在生产线上所起的作用（是否单线设备、是否瓶颈工序）、故障的风险程度（故障发生率以及维修难易度）及维修费用情况等对设备进行分层，不同的层次有不同的检测方法、备件储备量以及维修人员的数量，重要的设备有实时监控并且有应急维修力量作保障，一般的设备有定期巡检并且有通用备件可供使用，在线监测较少或者无需在线监测的设备就减少投入，这样可以做到以较小的投入获得最大的可靠性。

4.3 设备健康档案与状态趋势管理

设备健康档案是对单台设备个体全过程的技术档案，包括该设备的相关信息、维修情况（每次故障发生的时间、现象、原因及对策）、零部件替换情况、状态监测值以及劣化趋势等^[3]。良好的设备健康档案使设备管理人员能够一目了然地了解每台设备“健康状况”，一旦出现问题，就可以根据以往的经验及时准确地识别问题及其严重性从而减少不必要的重复劳动。更重要的一点是通过不断的状态监测数据进行总结和分析可以对设备劣化情况进行定量描述进而为检修时间和更新作出合理建议。

4.4 维修知识资产的积累与传承

机电设备维修是一种需要较强实践经验的工作。有

经验维修工凭借多年工作经验,在听声音、摸温度、看颜色等方面可以很快发现问题所在。但是这种隐性知识不容易自行传播,当老一辈维修工人退休或者离职后,公司维修水平会有所降低。把维修经验变成企业的知识财富也是设备整个生命周期管理工作一部分内容。例如设立故障数据库,把每次发生较有代表性的故障处理方法详细记录下来;编写常见故障诊断指南,把零散的经验整理汇总;定时开展维修经验交流会以及故障分析讨论会,让知识在班组内得以共享。虽然知识管理不会带来立竿见影的利益,但是对于提高维修水平以及工作效率有着长远影响。

5 改造升级与报废更新阶段的评估决策

5.1 设备退役的技术经济评估

当设备进入服役后期后,由于设备老化导致的工作效率下降和频繁出现故障造成的经济损失越来越大,而且维修费用还越来越高。这时候管理者所要解决的问题就是是否继续对其进行维修使用或者对其进行技术改造提高性能还是直接报废更新的问题,这不能凭主观臆断决定,而是要经过详细的经济技术分析来确定。分析的方法是:估计设备在其寿命剩余期间内的维修费用以及因性能下降带来的影响,与购买新设备所需的资金及预计运行的成本进行对比,还要考虑到设备更新所带来的附带利益(例如节约用电带来的电费节省、提高可靠性的减少停工造成的损失以及工艺水平提高造成的产品质量提升所带来的收益等)^[4]。如果更新之后总的经济效益优于继续使用的话,就应该及时进行更新。

5.2 技术改造的经济性边界

对于一些基础条件好、局部技术落后设备,技术改造是除报废更新外一种选择。一般机电设备改造有电机节能(用高效电机替换低效电机)、控制系统更新(用PLC及变频技术代替继电器逻辑控制以及机械调速)以及重要零部件修复等等。而技术改造是否进行主要取决于经济可行性分析:改造投入应在一定期限内通过节约能源消耗和降低维修费用所获得收益得到补偿。另外还要注意改造后设备寿命应能满足改造投资回收年限要

求,以免造成“改造不久就报废”现象发生。

5.3 报废数据的反馈与采购优化

报废时应对手动葫芦进行解剖或者拆解分析,记录其主要部件的真实磨损状况以及失效方式,将其与手动葫芦使用期间的所有维修记录及状态信息相结合进行综合评价该种型号的手动葫芦的设计水平、材质质量以及生产工艺的优点和缺点,出具一份设备选型报告。此报告对以后购买相同型号的手动葫芦具有直接借鉴意义——它指出了“哪些地方设计不合理”、“哪个厂家的产品更可靠”,让采购人员有据可依而不是盲从厂家宣传资料。

6 结语

工厂机电设备全生命周期运维旨在实现管理活动的纵向贯通与横向协同。本文从规划选型、安装调试、运行维护及改造报废四个阶段,阐述了以全生命周期成本为导向的决策、状态监测驱动的精益维护、健康档案跟踪及数据反馈改进等策略,推动管理模式由“分段负责”向“全程闭环”转变。需明确,这是涉及采购、生产、工艺及财务等多部门协同的系统工程,无法一蹴而就。务实路径应从关键设备入手,建立单台设备的全生命周期档案与成本核算,积累经验后逐步推广至全厂。唯有持续更新管理理念、夯实数据基础并深化跨职能协作,方能最大化设备全生命周期价值,为工厂生产系统的稳定高效运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 王建军,沙全友,张洪亮.面向全生命周期的设备管理模式研究[J].管理工程学报,2022,36(4):78-86.
- [2] 李德源,张兴,刘艳.制造企业设备资产全生命周期成本评价方法研究[J].工业工程与管理,2023,28(2):166-174.
- [3] 陈晓慧,但斌,刘飞.基于状态的设备维护决策优化研究综述[J].系统工程学报,2022,37(3):389-402.
- [4] 杨海东,张智聪,李从东.基于工业大数据的设备故障预测与健康研究进展[J].计算机集成制造系统,2024,30(4):1278-1292.