

机电设备能耗映射模型构建及节能型检修策略应用研究

张春莉

(宝鸡钛业股份有限公司, 陕西 宝鸡 721014)

摘要 本文围绕机电设备运行过程中的能耗形成机理和识别方法, 建立运行状态下的能耗映射模型。从电能到机械能的转换过程出发, 分析摩擦损耗、电磁损耗、系统阻力等主要来源, 确定能耗的构成基础; 整合运行参数、状态信息、控制变量, 建立多维数据关联结构, 提出同工况对比分析方法, 区分负荷变化和效率下降。在此基础上, 对高耗能问题的演化路径和类型进行划分, 提出面向能效提升的分级检修策略, 构建“识别—检修—验证”的闭环机制, 以期使能耗问题得以持续改善, 为机电设备节能管理提供可参考的分析路径。

关键词 能耗映射模型; 节能检修; 状态维护

中图分类号: TH17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.006

0 引言

机电设备是工业系统中的重要能量转换部件, 运行状态好坏直接影响整个能耗水平。传统能耗分析大多以结果统计为主, 不能揭示能耗变化的内在机理, 造成高耗能问题识别存在偏差。设备在长时间运行过程中会受到磨损、控制偏差、系统阻力变化等各方面的影响, 容易产生隐性能耗, 增加运行成本。因此, 有必要从运行过程出发, 建立可以反映状态变化和能耗关系的分析方法。本文采用能耗映射模型, 利用多源数据整合和分层分析, 研究机电设备能效管理问题。

1 机电设备能耗映射模型的构建基础

1.1 机电设备能耗的形成机理

在机电设备在运行过程中, 其能耗本质上是电能向机械能、其他形式能量的转化。能量转换过程中除了有效输出外, 还会不可避免地产生机械摩擦损耗、电磁损耗、流体阻力损耗和控制调节过程中产生的附加损耗等。这些损耗一起成为设备实际能耗水平的重要组成。

从电气角度看, 设备的瞬时功率可由电参数表示为:

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi \quad (1)$$

式(1)中, P 为有功功率, U 为电压, I 为电流, $\cos\varphi$ 为功率因数。该公式说明设备能耗水平和电流大小有关, 但还和电压稳定性和功率因数有关。当设备运行状态发生改变的时候, 上述参数也会随之变化, 进而体现出不同的能耗特点。

设备在一段时间内的能量消耗可表示为:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \quad (2)$$

式(2)中, W 为设备在选定运行时段内的累计能耗, $P(t)$ 为设备在 t 时刻对应的瞬时功率, t 为时间变量, 积分区间对应所考察的设备运行时间范围, 该公式表明, 能耗就是功率随时间变化的累计。因此, 在对机电设备能耗进行分析的时候, 不能只看瞬时功率, 还要考虑运行时长、负荷的持续性以及运行模式的变化等, 才能得到对能耗特性全方位的描述^[1]。

1.2 能耗映射模型的基本内涵

能耗映射模型核心就是建立设备运行状态和能耗变化的对应关系, 从而实现对能耗形成机理结构解构。不同于传统以统计结果为导向的分析方式, 它把运行过程当作切入点, 把各种数据整合起来并加以系统分析。就实际情况来说, 应该把运行参数、状态信息、控制变量和维护记录都纳入分析框架当中, 利用时间维度以及逻辑关系的结合, 找出各个因素对能耗变化的影响途径。在该体系中, 运行参数用来表征负荷水平, 状态参数反映设备健康状况, 控制参数体现运行调节策略, 维护信息记录设备干预过程。通过多维变量的交叉分析, 可以把能耗异常分解成效率下降、阻力增大或者控制偏差等问题, 从而大大提高问题识别的针对性和可解释性。该模型把能耗分析由单个结果判定转变为机理导向分析, 为检修决策提供直接支撑。

作者简介: 张春莉(1987-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 机械工程。

1.3 模型构建中的边界与对象划分

在创建能耗映射模型的时候,确定分析边界以及对象划分是保证模型有效性的前提条件。机电系统一般具有很强的耦合性,单台设备的能耗变化常常受到系统运行状态和上下游工况的影响。因此,如果只从单机的角度来分析,就会产生判断偏差,有必要从分层结构出发进行系统的建模。通常可以从设备层、工序层、系统层这三个方面进行划分。设备层主要是对单机运行特性以及局部效率问题进行分析,工序层主要是对设备在具体任务中所起的作用进行分析,可以找出不同的工况下能耗的差异,系统层主要是分析多设备协同运行的关系,可以评价整体的能效水平。使用分层建模的方法可以有效地将局部问题和系统性问题区分开来,避免出现分析片面化的状况,并且为之后检修策略的分级执行赋予结构化的依循准则^[2]。

2 基于映射模型的高耗能问题识别

2.1 负荷变化与效率下降的区分

在机电设备运行过程中,能耗增加并不一定意味着设备有异常,其原因既可以是任务负荷增加或者工况加强,也可以是由于设备效率下降造成的附加损耗。两者在表征上都表现为功率上升或者电耗增加,但是内在机理和处理路径存在本质的区别。前者属于需求侧的变化,需要结合工艺条件、运行强度、产出水平来综合分析;后者属于设备性能的变化,应该主要排查传动状态、部件磨损、系统阻力、维护质量等因素。根据能耗映射模型,可以比较相近工况下输入能量和有效输出,找出超出正常负荷范围的附加能耗。单位任务能耗不断偏高的时候,一般就表明设备已经偏离了合理的效率区间,应该进行有针对性的诊断。需要注意的是,只根据能耗绝对值来判断,很容易把负荷变化误判为效率下降,从而影响到检修决策的准确性。

2.2 高耗能问题的形成路径

机电设备高耗能问题一般不会突然产生,而是沿着“局部退化—性能下降—能耗放大”的路径慢慢发展。初期阶段主要为轻微的温升、振动波动或者响应迟滞等现象,对运行影响不大,容易被忽略。由于磨损累积、润滑失效、结垢堵塞、控制参数偏移等因素的不断加剧,设备内部能量损耗也越来越大,功率增大、效率降低、运行稳定性变差。若不及时干预,将演变为持续性高耗能问题。能耗映射模型的价值就在于可以对这个演化过程进行分阶段识别,把分散的异常信号纳入统一的分析框架中,从而实现从事后识别到提前预警的转变,提高问题处置的前瞻性、有效性。

2.3 高耗能问题的类型划分

为了使识别结果更有针对性,有必要根据形成机理将高耗能问题分类。一般可以分为设备效率下降型、控制失配型、系统阻力异常型和维护不足型。设备效率下降型主要是指在相同工况下能量消耗增大,多与磨损、老化、传动损失有关;控制失配型主要是由于设定值偏高或者调节逻辑不合理造成的,其本质就是运行方式不经济;系统阻力异常型多发生在泵、风机和管网系统中,表现为局部负荷被系统问题放大;维护不足型与清洁、润滑、校准不到位造成的长期内耗有关。

对高耗能问题进行机理分类,可以避免采用一刀切的处理方式所造成的决策偏差,也为后面制定不同的检修策略提供了依据^[3]。

3 节能型检修策略的构建与实施

3.1 检修目标的转变

节能型检修是恢复设备基本运行功能的同时,使设备运行效率得到同步提高的一种检修方式。传统检修一般以设备能够正常启动、运行、停机,满足基本负荷需求为检修目标,虽然可以保证生产连续性,但是忽略了设备在实际运行过程中的能效表现。实际上,一些设备处于可以运行的状态下,但其内部损耗过大或者能量利用率不足,存在隐性能耗。因此,检修目标应由“恢复运行”转变为“恢复高效运行”。设备效率可表示为:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中, η 为设备运行效率, P_{out} 为设备有效输出功率, P_{in} 为设备输入功率, $\times 100\%$ 表示将有效输出功率与输入功率的比值换算为百分数形式。该指标体现的是输入能量向有效输出的转化程度。检修时要结合效率变化对设备运行状态进行综合评价,不能只以设备是否恢复运行行为唯一判据,实现检修由功能恢复向能效优化的转变。

3.2 分级检修策略

节能型检修并不意味着对所有的设备采取同样的措施,而应该根据能耗偏离的程度、状态异常的水平以及它对系统运行的影响来实行分级管理。对于能耗长期偏高、状态参数同步异常的设备,应作为重点对象进行处理,必要时对系统产生高耗能风险的局部问题进行停机检修。对于能耗呈现趋势性上升但还没有形成明显异常的设备,更适宜采取预防性维护方式,用局部调整和状态修复来提前控制问题。对于由于控制策略不合理造成的高耗能现象,首先应该从参数优

化、运行方式调整入手,不能直接进行结构拆检。

3.3 关键节能检修措施

节能型检修要以影响能量转换效率和运行阻力的有关因素为对象。从实际运行机理来说,大部分高耗能问题都是由于长时间的积累造成的隐性损耗。因此应该重点做好清洁疏通、润滑密封、传动校正等工作,消除结垢堵塞、降低摩擦损失、减少附加机械阻力,控制参数优化以避免设备在不合理设定下运行^[4]。

3.4 检修后的效果验证

节能型检修的有效性,不在于检修过程本身,而在于它能否在实际运行中达到能效改善的效果。如果没有系统的验证环节,检修工作就会停留在经验判断的层面,不能形成闭环管理。效果验证要从多个方面入手:一是近似工况下检修前后能耗的比较,看额外损耗是否得到控制;二是对关键状态参数的变化情况做核对,判断温升、振动、压差等是否同步变好;三是设备运行状态的周期性跟踪,防止短期改善后出现反弹。检修验证不能只当作一次性的验收手段,而应该成为模型修正的重要依据。

4 机电设备能耗映射模型应用路径分析

4.1 数据整合与基础支撑构建

在实际应用中,首先要对机电设备的相关数据进行系统化整合,不能简单地汇总。重点围绕运行参数、状态信息和维护记录做统一采集和标准化处理。具体而言,应当确定电流、电压、功率、流量、压力等主要参数的采集方式和采样频率,保证数据的时间上的连续性;对设备编号、系统归属、计量边界进行规范化的梳理,避免数据混用或者重复计量现象;异常数据还要进行筛查和修正,如传感器漂移或者停机状态下产生的异常记录等。数据整合的关键不在于规模,而在于质量和可用性。只有保证数据真实、准确、具有可比性,才能给后续模型分析、决策提供可靠的基础。

4.2 能耗映射模型构建与特征提取

在数据基础可靠的前提下,要针对不同的设备建立具有可解释性的能耗模型,而不是依靠复杂的计算方法。具体实施时,可以以负荷参数(流量或者转速)为被测变量,分析负荷参数的变化和功率之间的响应关系,从而确定出设备在不同的工况下正常能耗的区间。同时,还要结合温升、振动和压差等状态参数来判断能耗变化是否伴随着状态异常。关键之处在于创建“同工况对比”的机制,依靠横向比较找出异常偏离之处,而不是单纯依靠一个绝对值来判定,这样就能有效地避免把正常的负荷波动当成能耗异常^[5]。

4.3 高耗能问题识别与检修决策转化

在识别出能耗偏离特征后,应将分析结果直接转化为具体检修措施,而非停留于诊断层面。对在相同负荷下功率偏高的设备要重点检查润滑状况、传动对中、内部阻力的变化;对负荷较低但能耗仍偏大的情况,应先从控制参数是否被过度设定入手;当系统内多台设备同时出现能耗上升的时候,则应从系统阻力或者整体调节方式入手,不能盲目逐台拆检。通过建立“问题—措施”直接对应关系,可显著减少无效检修,提高检修工作的针对性与实施效率。

4.4 检修验证与闭环优化机制

检修完成后,应基于实际运行数据对节能效果进行验证,而不能仅依据检修完成情况进行判断。可以在相近工况下对比检修前后功率的变化,结合温升、振动等状态参数来综合评价检修的效果。能耗下降但是状态没有明显改善,说明问题还没有完全解决;如果短期改善后再次回升,就要进一步优化控制策略或者运行方式。更关键的是,应该把验证结果反馈到能耗映射模型当中,对原来的判断标准进行动态的修正,重新确定正常能耗区间。经过不断的反馈和迭代优化,可以使节能管理由经验驱动变为数据驱动,进而达到设备能耗长期稳定的优化。

5 结束语

机电设备能耗是由多种损耗因素共同影响的,负荷变化和状态、控制方式都会影响机电设备能耗。建立能耗映射模型,可实现运行状态与能耗变化的相关分析,进而提高高耗能问题识别的准确性。在此基础上,采用以问题类型为分类标准的分级检修方式,可以提高检修决策的针对性以及资源的利用率。节能型检修把效率恢复当作核心,用“识别—实施—验证”闭环体系来实现对能耗问题的持续改善。未来还需要继续提高数据质量以及模型适应性,从而支撑机电设备能效管理的长期稳定运行。

参考文献:

- [1] 李阳,王超.变频器技术在机电设备节能改造中的实践分析[J].中国设备工程,2026(02):244-246.
- [2] 杨刚.机电设备协同控制技术在煤矿节能降耗中的应用[J].能源与节能,2026(01):78-81,225.
- [3] 段笑蔚.矿井主要机电设备能耗分析及节能措施研究[J].自动化应用,2020(10):57-58,64.
- [4] 陶涛.机电设备电气故障检测方法分析[J].电气传动自动化,2023,45(06):58-61.
- [5] 施冷恒.水利工程中泵站机电设备安装和检修措施研究[J].内蒙古水利,2023(01):74-75.