

# 热控设备全生命周期可靠性管理模式分析及建议

庄琰<sup>1</sup> 李娜<sup>2</sup> 姜肇雨<sup>3</sup>

1 华能临沂发电有限公司 山东临沂 276002

2 华能青岛热电有限公司 山东青岛 266409

3 华能日照电厂 山东日照 276826

**摘要：**热控设备是能源系统安全稳定运行的关键核心部件，其可靠性直接关系到整个系统的综合性能，当前热控设备可靠性管理仍以事后维修为主，预防性、预测性维护不足，存在管理模式粗放、数据利用率低、协同联动性差等问题。本文在剖析热控设备可靠性管理现状的基础上，深入分析了全生命周期可靠性管理对于设备安全运行、经济效益提升、系统稳定性保障的重要意义，针对性地提出了构建全周期监控体系、应用预测性维护策略、搭建数字化管理平台等优化建议，以期为热控设备可靠性管理水平的整体跃升提供参考。

**关键词：**热控设备；可靠性管理；全生命周期；预测性维护；数字化平台

## 引言：

随着现代能源系统向大型化、集成化、复杂化方向发展，热控设备作为系统安全稳定运行的“心脏”，其可靠性对于整个系统的技术经济性能具有决定性影响，一旦热控设备发生故障或性能衰退，不仅会影响系统运行安全，还会造成不必要的能源损耗和经济损失。面对新形势下能源行业高质量发展的迫切需求，亟需创新热控设备可靠性管理模式，由“事后维修”向“预防维护”转变，由“粗放管理”向“精细管控”升级，进而实现安全、经济、环保的有机统一。

## 1. 热控设备可靠性管理现状分析

### 1.1 管理模式现状

当前，我国热控设备可靠性管理总体上仍处于粗放型阶段，普遍存在重事后维修、轻预防维护的问题，在运行维护管理中多以“出现故障 – 抢修 – 消除故障 – 再运行”的被动模式为主，对设备退化规律、故障征兆等缺乏前瞻性研判，预防性维修保养不到位，导致设备非计划停机率偏高。绝大多数企业的设备管理信息化水平不高，缺乏全生命周期跟踪管理手段，设备台账、运行工况、维修记录等关键数据分散孤立，数据整合应用不足，数据价值难以充分释放。而设备选型、采购、安装、调试等环节与运维管理环节脱节，全周期各环节管理协同性不强<sup>[1]</sup>。

### 1.2 存在的主要问题

具体来说，当前热控设备可靠性管理主要存在以下问

题：缺乏完整的设备全生命周期管理规划，对设备的可靠性设计、制造装配质量、安装调试效果、运行工况变化等缺乏系统把控，环节衔接不够紧密，管理的系统性、连续性有待加强；对设备性能衰退规律、故障发生机理等缺乏深入研究，预防性和预测性维护不足，检修往往依赖经验和感觉，缺乏客观依据，存在检修不足或过度检修的现象；设备运行工况参数采集不完善，“可监测、可控制、可诊断”的特征不明显，对设备状态缺乏精准“画像”，远程监控、故障诊断等智能化水平偏低；维修策略不完善，备品备件管理不科学，定期维护、状态检修、故障维修等方式缺乏最优组合，备件需求预测不准确，维修资源配置不合理<sup>[2]</sup>。

### 1.3 影响因素分析

造成以上问题的原因是多方面的，既有管理认识偏差的影响，也有管理手段和管理能力不足的制约，其中有对设备全生命周期管理的重要性认识不到位，重视程度不够，全生命周期的管理理念尚未真正树立，对设备前期可靠性设计和制造质量控制的投入不足，对后期故障诊断和预防性维修的重视程度欠缺。可靠性管理专业人才匮乏，既缺乏既懂设备又懂管理的复合型人才，也缺乏熟练运用信息化手段开展设备状态监测、故障诊断、维修决策的专业人才，人才支撑不足制约了管理水平的提升，缺乏先进的设备管理信息化平台作为支撑，设备台账、运行数据、维修记录等关键信息的采集、传输、存储、挖掘和应用能力不足，数据资源价值难

以充分释放，无法为精细化、科学化管理提供有力支撑<sup>[3]</sup>。

## 2. 全生命周期可靠性管理的重要性

### 2.1 设备安全运行的基础保障

热控设备的安全可靠运行关系到整个能源系统的平稳有序运转，开展全生命周期可靠性管理，有助于从设备选型设计源头介入，把好设备采购入口关，建立完善的设备安装调试评估机制，实现由源头质量控制到过程监管维护再到后期优化改造的全闭环精细化管理，从而最大限度减少设备质量缺陷和系统故障，为热控设备安全平稳运行提供坚实基础。通过全生命周期的可靠性管理，各管理环节形成“1+1>2”的协同放大效应，使得设备本质安全水平不断提升，非计划检修次数明显减少，重大事故风险大幅降低。

### 2.2 经济效益的重要支撑

开展全生命周期热控设备可靠性管理，不仅能够提升设备安全性和稳定性，也是企业控本增效的重要抓手。通过对设备全寿命周期成本结构的分析优化，在保证设备安全可靠的基础上，优化备品备件库存，减少不必要的保养费用和故障损失，维修成本将显著降低；通过及时发现和消除设备隐患，避免非计划停机，可有效提高设备完好率和负荷率，设备利用效率和产出水平将明显改善；通过优化检修策略，减少不必要的预防性停机检修，同时避免因维护不及时造成的损坏程度加剧，停机时间可明显缩减，设备运转更加高效顺畅，设备全生命周期成本与效益的动态优化，将显著提升企业的经济效益。

### 2.3 系统稳定性核心要素

在复杂能源系统中，热控设备犹如系统运行的“心脏”，一旦出现故障，极易引发连锁反应，诱发系统级事故，对整个系统的安全稳定带来严峻挑战，开展热控设备全生命周期可靠性管理，深入分析各环节对系统稳定性的影响机理，前瞻性地识别和控制各类可靠性风险因素，能够从根本上提升热控系统的固有可靠性水平。特别是通过状态监测与故障预警技术的应用，提前发现设备性能退化和故障征兆，有针对性地实施预防性维护或状态检修，可最大限度降低或避免设备崩溃对系统的突发性冲击，从而为能源系统安全稳定高效运行筑牢坚实屏障。

## 3. 热控设备可靠性管理优化建议

### 3.1 全周期监控体系的构建

构建贯穿热控设备选型、设计、制造、安装、运维、

改造等全生命周期的可靠性监控评估体系，是实现精细化、科学化管理的重要基石，该体系需要在设备全寿命周期内，以设备结构、功能、性能退化等为监测对象，运用数据采集、特征提取、故障诊断、寿命预测等技术手段，动态感知设备健康状态，掌握其退化规律，并结合风险评估、经济性分析等，制定差异化的预防性维修策略，从而实现设备管理全过程的信息化、数字化。具体而言，在设备选型和设计阶段，要从可靠性、可维修性、测试性等方面提出设计需求，优选高可靠结构形式，严把设计质量关；在设备制造和装配阶段，应严格把控制造工艺，开展老化筛选试验，淘汰早期失效产品；在设备安装调试阶段，要依据相关标准规范，细化调试项目和验收指标，全面评估系统匹配性和接口适配性；在设备运行阶段，要持续开展状态监测和故障诊断，并动态优化系统运行参数，在确保安全可靠的前提下，提高设备生产效率，要综合考虑设备状态、故障风险、检修成本等因素，优化检修时机与频次。

例如，大型石化企业的热控设备近年来故障率居高不下，严重影响了装置的安全稳定运行，该企业痛定思痛，决定构建全周期可靠性监控体系，他们成立了由设计、工艺、设备、自控、检维修等部门组成的专项工作组，明确了体系构建的目标、原则和实施路径。在前期准备阶段，工作组系统梳理了热控设备的功能结构、故障模式、退化机理等基础数据，形成了设备知识库；同时，针对薄弱环节，提出了一系列可靠性优化需求，并在新建和改造项目中予以落实，在项目实施阶段，他们引进了先进的状态监测、故障诊断、寿命预测等软硬件系统，在关键设备上安装了温度、压力、振动、油液污染度等传感器，实现了设备运行工况的实时采集与分析，据此建立了设备健康管理数据库和预警模型，同时他们制定了状态维修策略，根据设备健康评价结果，动态优化检修方式、周期和任务包，在降低检修成本的同时，有效降低了设备故障率，有力提升了企业安全环保和经济效益水平。

### 3.2 预测性维护策略的应用

预测性维护是设备管理的前沿方向，其基本思想是以状态监测数据为基础，运用机器学习、专家系统等人工智能技术，提前预知设备的潜在故障，并制定最优的检修时机与资源配置，从而在降低维修成本的同时，提高设备运行可靠性，开展预测性维护，需要构建完善的设备状态监测系统，

通过振动、油液、热像等传感器，采集设备部件的退化特征数据，在获得高质量监测数据后要运用数据挖掘和机器学习算法，构建能够反映退化过程的数学模型，并基于退化模型对部件和整机的剩余寿命进行预测。同时，要综合考虑故障后果、维修成本、备件储备等因素，优化检修时机与检修方案，还要搭建预测性维护管理平台，支持设备状态查询、故障预警、检修决策等业务应用，通过预测性维护策略的实施，可实现维修资源的精准投放，有效降低事故风险，从而实现安全、经济、可靠的一体化目标。

例如，电厂锅炉给水泵是热力系统的关键设备，一旦发生突发故障，后果不堪设想，该电厂为此引入了预测性维护策略，重点针对给水泵的机械密封、轴承等薄弱部件，部署了先进的状态监测装置，通过高频率、全方位地采集设备振动、温度、压力等信号，该系统能够及时捕捉设备性能的微小变化，同时监测数据会自动传输至后台的预测性维护专家系统。该系统基于海量历史运行数据和仿真试验数据，构建了多种机器学习算法模型，可实时评估关键部件的健康状态，预估其剩余寿命，当预测剩余寿命低于设定阈值时，系统会自动生成检修工单和备件需求清单，为检修决策提供参考。

### 3.3 数字化管理平台的搭建

随着信息技术与制造技术的日益融合，搭建数字化设备管理平台已成为提升热控设备全生命周期管理水平的必由之路，一套功能完备、架构合理、接口开放的设备管理平台，能够支撑起涵盖设计选型、制造装配、安装调试、运行维护、故障诊断、检修决策等在内的一系列业务应用，实现管理流程的数字化和业务知识的模型化，为设备全生命周期价值的持续释放提供基础支撑。搭建数字化管理平台，要从顶层设计入手，围绕企业战略目标，制定切合实际的信息化建设规划，合理设置功能架构与技术架构，要高度重视工业数据的互联互通和集成共享，建立统一的数据采集、传输、存储和分析标准，着力打通设计、生产、管理等各环节的数据壁垒，同时数字化平台还要嵌入基于机理的设备健康管理模型，支持状态监测、故障诊断、寿命预测等智能应用，为预测性维护等新型管理模式提供数据支撑和知识保障。

例如，大型核电运营商近年来数字化转型成效显著，

其自主研发的热控设备智能管理系统功不可没，该系统采用B/S架构和面向服务的系统设计理念，可灵活部署在企业内网环境中。系统充分遵循工业大数据的采集与治理标准，可自动归集设备铭牌参数、运行工况、故障缺陷、维修记录等多源异构海量数据，进行智能关联和融合分析，同时平台内嵌了多种设备状态监测和故障诊断算法模型，可自动解析设备报警信息，溯源故障发生节点，形成风险预警信号，针对设备全生命周期各环节，系统开发了相互关联又相对独立的业务应用模块，包括设备台账、备件管理、缺陷管理、状态监测、故障诊断、检修决策等，使得海量工况数据与维修经验知识可高度赋能一线生产管理。数字化管理平台的建设使用，使该企业关键设备的平均故障间隔时间延长了2倍以上，且日常巡检报表工作量减少了80%，使得设备管理的精细化、科学化水平实现了整体跃升。

结语：面对新形势下能源行业的高质量发展要求，创新热控设备可靠性管理模式势在必行，树立全生命周期系统管理理念，强化与设备设计、制造、采购等上游环节的协同，重视大数据、人工智能等新技术在设备状态监测、故障诊断、风险预警中的创新应用，加快构建全周期动态监控和预防性维护体系，着力打造设备可靠性管理数字化平台，将是实现热控设备管理模式变革的重要突破口。可靠、高效、智能化管理下的热控设备，必将为供热系统高质量发展保驾护航，推动能源行业向着安全、经济、清洁、高效的方向迈进。

### 参考文献：

- [1] 贾帅兵, 刘耀, 陈小豹. 基于 DCS 的电厂热控保护系统设计研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (12): 205-207.
- [2] 张筱娴, 沈苑, 张军, 李锴, 林士峰. 中高轨卫星热控涂层性能退化研究 [J]. 中国空间科学技术 (中英文), 2024, 44(06): 132-139.
- [3] 陈阳, 陈庆, 苗建印, 陈建新, 向艳超, 张栋, 赵亮, 邵兴国, 刘自军, 张有为, 宁献文, 张红星, 张冰强, 王录, 吕巍, 蒋凡. 我国深空探测器热控技术发展 [J]. 航天器工程, 2024, 33(06): 82-91.

### 作者简介：

庄琰 1990年7月生，男，汉族，山东临沂人，硕士研究生，工程师，研究方向：热控自动装置。