电站锅炉及附属压力容器压力管道完整性管理

禹 洋

宁夏特种设备检验检测院 宁夏 银川 750010

摘要：电站锅炉及附属压力容器压力管道的完整性管理是确保电力生产安全稳定的关键。相关承压特种设备的管理需要严格依据于相关法律法规和安全技术规范及标准，结合科学的检验检测技术来评估设备的安全性和可靠性。本文从承压特种设备安全管理的法规标准体系、检验检测技术体系以及设备状态评估三个方面进行深入探讨，分析了国家和行业对承压特种设备的相关法律法规及规范标准，重点阐述了电站锅炉及压力容器压力管道的定期检验要求，介绍了电站承压特种设备检验检测技术的应用与创新，重点讨论了压力管道系统的完整性评价，通过对检验数据的分析，探讨了设备损伤特征分析与寿命评估方法，提出了基于数据分析的设备状态评定标准。

关键词：电站锅炉；压力容器；完整性管理

引言：电站锅炉及附属压力容器压力管道共同组成发电厂汽水循环系统，作为电力生产中的重要特种设备，其安全性和稳定性对于电站的安全运行至关重要。为了保障设备的完整性和运行安全，电力行业必须依照严格的法规标准进行设备管理，并结合先进的检验检测技术，进行全面的设备状态评估^[1]。随着科技进步和无损检测、理化检测技术的不断发展，电站锅炉及压力容器压力管道的完整性管理已从传统的手段逐步过渡到更加精细化、科学化的管理方式。本文旨在探讨电站锅炉及附属压力容器压力管道在发电系统中的完整性评价，分析当前特种设备安全管理中的技术路线和应用方法，提供更加可靠的管理策略和技术支持，以确保电力生产过程的安全性和可靠性。

1 电站特种设备安全管理的法规标准体系

1.1 国家特种设备相关法律法规及规范标准解读与应用

电站锅炉及附属压力容器压力管道作为特种设备，其安全管理的法规标准体系主要由国家层面的法律法规、安全技术规范及相关标准构成。国家层面的法律法规，如《中华人民共和国特种设备安全法》和《特种设备安全监察条例》明确规定了特种设备的定义、管理制度及安全要求。根据《中华人民共和国特种设备安全法》，所有特种设备的使用、维修、检验等行为必须遵循国家规定的安全技术规范要求，确保设备的安全性^[2]。

在具体应用过程中需依据《锅炉安全技术规程》、《固定式压力容器安全技术监察规程》、《压力管道定期检验规则-工业管道》等安全技术规范，进行严格的设备检验与评定，确保设备的安全运行。安全技术规范在电站锅炉及承压设备的安全管理中发挥着至关重要的作

用。规范的制定不仅对设备的设计、制造、安装和运行提出了详细要求，还对设备的日常维护和定期检验进行了规范^[3]。特别是《特种设备使用管理规则》，它明确了特种设备使用单位责任，整合了特种设备使用管理的基本要求，统一了特种设备使用登记程序，是一部特种设备使用管理的综合规范，为电力企业特种设备管理提供指导。

1.2 电力行业特种设备检验检测技术规范与评定标准分析

电力行业对特种设备的检验检测技术具有严格要求，尤其是锅炉及附属承压设备。行业标准中规定了多项检验技术规范，包括无损检测、压力试验、泄漏检测等。无损检测技术在电站锅炉的检验中应用广泛，主要包括超声波探伤、射线检测、磁粉检测、渗透检测等方法。超声波探伤技术具有探测精度高、适用范围广、能够发现埋藏缺陷的特点，是锅炉及压力容器常用的无损检测技术。

电力行业的检验技术标准也涉及到设备的安全评定标准。如《电站锅炉压力容器检验规程》、《火力发电厂金属技术监督规程》，通过无损检测技术获取的检验数据，需要依照行业标准进行评定，判断设备的损伤程度、腐蚀状态、焊接质量等方面的情况。根据检验结果，设备的使用寿命、维修周期、是否存在重大隐患等方面的信息可以被评估，为设备管理者提供决策依据^[4]。

1.3 电站锅炉及承压设备定期检验要求与管理制度建设

电站锅炉及附属压力容器压力管道的定期检验是确保设备安全运行的保障。安全技术规范明确要求电站锅炉及承压设备进行定期检验，包括锅炉定期检验（包

括外部检验、内部检验、水压试验)、压力容器和压力管道定期检验(包括定期检验、年度检查)。定期检验是指特种设备检验机构按照一定的时间周期,根据相关安全技术规范的规定对在用特种设备的安全状况所进行的符合性验证活动。定期检验项目有宏观检验、壁厚测定、无损检测、安全附件检验、强度校核等。

定期检验要求不仅仅是对设备的技术检查,还涉及到管理制度的建设,使用单位需要根据设备的使用情况和检验结果,建立健全设备管理档案,记录每一次检验的数据和结果,并根据评定标准实施相应的整改措施。此外,使用单位应定期对员工进行专业培训,确保检验操作人员具备足够的技术能力和安全意识。管理制度还应当包含设备的维修检查计划,特别是对压力容器、锅炉本体和附属管道等关键设备的检查要求,以确保设备的长期可靠性。

2 电站特种设备检验检测技术体系

2.1 电站锅炉本体及受压部件无损检测技术应用与方法创新

电站锅炉及其受压部件在长期运行过程中容易受到温度、压力和腐蚀等因素的影响,导致部件出现埋藏损伤。无损检测技术能够在不破坏设备本身的情况下,对锅炉的本体及其受压部件进行全面检查,是保障设备安全运行的重要手段。常见的无损检测方法包括超声波探伤、射线检测、磁粉检测等。

超声波探伤技术通过利用超声波的反射原理,能够高效、精确地检测锅炉部件内的裂纹、气孔等缺陷。射线检测则利用射线穿透物体的特性,通过分析射线透过设备后的图像,识别设备内部可能存在的结构缺陷。这两种技术在电站锅炉的定期检查中应用广泛,尤其适用于对焊接接头、管道接口等容易发生疲劳裂纹或腐蚀的部位进行检测,随着检测技术的不断发展,近年来一些新的无损检测方法逐渐应用于电站锅炉的检验中,比如衍射时差法超声检测技术通过超声波的尖端衍射来检测缺陷,通过波的传播时差来测量缺陷,通过信号的图像化处理来显示缺陷,能够更加精确地判断锅炉部件的损伤程度。

2.2 压力容器在役检验技术要求及检测方案优化研究

压力容器作为电站锅炉系统的重要组成部分,其定期检验对于保障电站安全运行至关重要。压力容器的定期检验需要依照国家与行业的相关标准进行,包括宏观检验、壁厚测量、表面缺陷检测、安全附件检验等环节。宏观检验主要检验压力容器本体结构、几何尺寸、表面情况(如裂纹、腐蚀、泄漏、变形),以及焊缝、

隔热层等。

在实际应用中压力容器的无损检测技术尤为重要。无损检测技术能够帮助检验人员发现难以通过肉眼观察到的缺陷,比如内壁腐蚀、微裂纹等。超声波检测、射线检测和渗透检测等技术已经成为压力容器检验的常规手段。近年来,随着检测技术的不断创新,针对压力容器的检测方案也在不断优化,比如利用声发射检测技术,可以实时监测压力容器的内部变化,及时发现裂纹扩展的风险,为设备的维修和更换提供依据,此外,压力容器的定期检验不仅仅依赖单一的检测方法,结合不同检测技术的优势,制定科学合理的检验方案,能够最大限度地提高检验效果。

2.3 压力管道系统完整性评价技术路线及检验重点分析

在电站锅炉及附属承压设备的完整性管理中,压力管道系统的完整性评价是保障设备安全运行的关键环节。压力管道系统作为高温高压介质的输送通道,承受着复杂的工作环境与极端的操作条件,因此其完整性评价需要依赖系统的技术路线和科学的检验重点分析,压力管道系统的完整性评价通常从多个维度进行分析,包括管道的结构强度、材料性能、焊接质量以及运行过程中的减薄、腐蚀、疲劳等因素,评价技术路线应着眼于压力管道的各个关键部分,通过无损检测技术对其进行全面的检查。

压力管道系统的完整性评价还需要关注运行环境对管道造成的影响。管道在长期运行过程中,可能受到温度波动、介质腐蚀、机械应力等多重因素的影响,导致管道结构发生微小变化,进而影响其整体稳定性。因此,定期的应力分析和腐蚀监测是完整性评价的重要组成部分。采用应力分析技术,可以准确评估管道在不同运行条件下的应力状态,预测其潜在的疲劳破坏;而腐蚀监测则可以及时发现管道表面受到腐蚀的迹象,防止因腐蚀引发的管道失效,在实际检验过程中,应重点关注管道焊接区域、阀门连接部位以及管道承受较大压力和温度波动的部位,这些部位由于受到局部应力集中或高温腐蚀的影响,往往是管道系统故障的高发区域。

3 检验数据分析与设备状态评价

3.1 基于检验数据的设备损伤特征分析与寿命评估方法

设备损伤特征分析是对电站锅炉及压力容器压力管道在使用过程中可能出现的各种损伤进行识别和分析的过程,如《承压设备损失模式识别》。电站锅炉等承压设备的工作环境复杂,温度、压力、腐蚀、磨损等因素

都会导致设备的材料性能发生退化。通过对设备的检验数据进行深入分析,可以发现设备在长期运行中积累的微观损伤特征,比如金属的疲劳裂纹、腐蚀坑等。这些损伤特征通常是在无损检测过程中通过超声波、射线检测等技术手段发现的,损伤特征分析不仅有助于评估现有损伤的严重程度,还能为设备的寿命评估提供基础数据。寿命评估是对设备在未来一段时间内是否能继续安全运行的预测,通常依据设备的材料特性、工作环境、历史运行数据等因素,结合先进的预测模型进行综合分析,如《承压设备合于使用评价》。

3.2 承压设备缺陷分类、量化评价及处置措施研究

在电站锅炉及承压设备的检验过程中,常常会发现不同类型的缺陷,如裂纹、腐蚀、过度磨损等。不同类型的缺陷对设备的安全性和运行稳定性有不同程度的影响,因此,进行缺陷分类并进行量化评价至关重要。通过检验数据,缺陷可以被归类为不同的等级,通常分为轻微缺陷、较大缺陷和重大缺陷,每一类缺陷的危害程度不同,处理措施也应有所不同。

量化评价是缺陷评估中的核心部分,通过分析缺陷的尺寸、形态、位置及其对设备性能的影响,可以量化缺陷的风险程度,比如对于裂纹类缺陷,可以通过测量裂纹的长度、深度、扩展速率等,结合材料的强度参数,计算裂纹扩展对设备承载能力的影响。

针对不同类别的缺陷,需采取相应的处置措施。轻微缺陷可以通过简单的修复或持续监测处理;较大缺陷则可能需要进行局部更换或加强结构支撑;重大缺陷则可能要求设备停运,进行全面的检修或更换。量化评价方法的应用,使得缺陷处置的决策更加科学和精准,从而避免了因不当处理造成的设备故障或安全事故。

3.3 锅炉及承压设备安全状况等级评定标准与实施

锅炉及承压设备的安全状况等级评定是通过综合分析设备的检验数据、缺陷分类、运行环境等因素,对设备的整体安全性进行评估。安全状况等级评定通常依据一系列标准化的评估模型,结合各项检验数据,划分设备的安全等级。评定标准往往包括设备的运行年限、历

史故障记录、检验数据、缺陷类型与严重程度、设备所在环境的腐蚀性等因素。

在实施过程中要根据设备的实际运行状况进行初步评估,了解设备的基本性能和可能存在的安全隐患。然后,利用无损检测技术对设备进行详细检查,获得设备的损伤数据,并与安全评定标准进行对照,得出设备的安全等级,比如符合安全要求的设备可以被评定为1、2级,而存在较大缺陷的设备则可能被评定为4级甚至5级,需要监控使用乃至立即对缺陷进行处理。

安全状况等级评定的实施,不仅有助于明确设备的安全性,还能够为设备的日常维护和管理提供依据。根据安全等级的不同,制定相应的维护计划和应急措施。如果设备评定为较低安全等级,管理人员需优先进行检修或更换,以防止设备故障的发生。通过系统化的安全评定,电站锅炉及承压设备的管理变得更加规范、科学,为设备的长周期安全运行提供了保障。

结语:电站锅炉及附属压力容器压力管道的完整性管理是确保电力行业设备安全的重要环节。通过对相关法规标准体系的深入研究,结合先进的无损检测、理化检测技术,可以实现对设备的全面评估和风险预警。本文从特种设备的法律法规、检验技术、设备损伤分析等多个角度进行了详细探讨,提出了系统化的管理思路。随着无损检测、理化检测技术的进步和检验数据分析方法的成熟,电站锅炉及压力容器压力管道的使用和管理将更加科学、高效。

参考文献

- [1]徐锐军,刘禹鹏. 电站锅炉压力容器重点部位的检验探析[J]. 环球市场,2020(24):221.
- [2]褚靖. 电站锅炉压力容器重点部位的检验探析[J]. 电力系统装备,2019(13):181,183.
- [3]王云霞,杨增阳,岳海蛟,等. 计算机视觉的电站锅炉水冷壁缺陷检测方法[J]. 机械设计与制造,2024,396(2):246-249,254.
- [4]生晓茹,贾超洋,张龙力,等. 电站燃油锅炉腐蚀抑制剂的合成及作用机理[J]. 精细化工,2023,40(7):1596-1604.