

# 提高汽轮机真空系统密封性的检查方法与消漏策略分析

李金庸

中天合创能源有限责任公司化工分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017300

**摘要:** 文章探讨了提高汽轮机真空系统密封性的检查方法与消漏策略。通过轴封系统优化、凝结水补水系统改造, 凝结水泵密封水系统调整等多方面入手, 详细分析各系统的泄漏原因及改进措施。同时提出加强热网系统与电导测量装置监视等辅助措施。综合运用这些检查方法和消漏策略, 可有效提升真空系统的密封性, 确保汽轮机的稳定运行和高效性能。

**关键词:** 汽轮机真空系统; 密封性; 消漏策略; 分析

## 1 汽轮机真空系统概述

### 1.1 系统组成与工作原理

汽轮机真空系统主要由凝汽器、抽气器、冷却水管路、真空泵以及相关的阀门和管道等组成。其工作原理是基于热力学的原理, 通过凝汽器将汽轮机排汽中的蒸汽凝结成水, 同时释放出大量的热量。这个过程中, 凝汽器内部需要维持一定的真空度, 以确保蒸汽能够顺畅地流入并凝结。抽气器和真空泵的作用就是不断地抽出凝汽器内部的不凝结气体, 如空气和其他杂质, 以维持凝汽器内部的真空状态。冷却水管路则负责将凝结过程中产生的热量带走, 确保凝汽器的正常运行。

### 1.2 密封性对系统性能的影响

密封性是汽轮机真空系统性能的关键因素之一。如果系统的密封性不好, 就会导致外部空气和其他杂质不断渗入凝汽器内部, 破坏原有的真空状态。这不仅会增加抽气器和真空泵的工作负担, 降低它们的效率, 还可能导致凝汽器内部的结垢和腐蚀, 进一步影响汽轮机的运行效率和安全性。

## 2 汽轮机真空系统泄漏原因分析

### 2.1 设备与管道泄漏

汽轮机真空系统涉及众多设备和管道, 这些部件的泄漏是导致真空系统失效的主要原因之一。主机和空冷设备的质量问题可能导致系统泄漏。例如, 管道、阀门、联箱、膨胀节等部件在制造过程中可能存在缺陷, 如焊缝不严密、材料强度不足等, 这些缺陷在机组运行过程中会逐渐显现, 导致系统漏气。安装质量不达标或工艺粗糙也是造成泄漏的常见原因<sup>[1]</sup>。在机组安装过程中, 如果工期短、进度快、人员短缺和技术力量薄弱, 就可能导致安装质量不达标。例如, 管道连接处的密封垫圈未正确安装或紧固, 焊接质量不佳等, 这些问题都会在机组运行过程中引发泄漏。在机组投产运行过程

中, 运行环境也会对设备与管道产生影响。例如, 主汽参数、排汽参数调整不当可能会使负压系统设备出现漏入空气的现象。特别是在冬季低温环境下, 空冷岛降低风机转速或采取防冻措施时, 如果不当或不及时调整, 可能会使空冷散热器管束、焊口等设备冻裂, 从而导致空气漏入。随着机组运行时间的增加, 设备和管道会逐渐老化, 出现磨损和腐蚀现象。管道连接处的密封垫圈和阀门等部件也可能因长期磨损而失去密封性能。在机组启停调峰过程中, 与疏水扩容器连接的疏水管路焊口受交变热应力影响, 如果焊接质量不佳或热处理不当, 可能会导致焊口开焊或产生裂纹, 造成空气漏入。

### 2.2 轴封系统泄漏

轴封系统是汽轮机真空系统的重要组成部分, 其作用是防止外界空气漏入汽缸内部, 同时防止汽缸内部的高压蒸汽外泄。轴封系统泄漏也是导致真空系统失效的常见原因。汽轮机低压轴端处于真空部位, 其轴封间隙和工作压力正常与否对真空度有着重要影响。如果轴封间隙过大或过小, 或者工作压力异常, 都可能导致空气漏入汽缸内部。轴封供汽压力不能随负荷的变化而作相应的调整, 也可能造成空气进入凝汽器汽侧而降低其真空度。汽封间隙的大小、汽封的完好程度也是造成轴封漏泄的重要因素。一些机组的轴封系统结构存在缺陷, 如单进、单出轴封系统轴封套上半部轴封无进、出汽管, 只有下半部轴封套有进、出汽管, 导致上、下轴封压力不均匀, 影响轴封密封效果。在机组运行时, 主机轴封通过高低压差进行自密封和自动跟踪, 而小汽机的轴封送汽则由于前后轴封由同一根管道从辅汽直接引入, 前后轴封阻力不等, 导致了小机前后轴封漏空气。

### 2.3 其他因素导致的泄漏

除了设备与管道泄漏和轴封系统泄漏外, 还有一些其他因素也可能导致汽轮机真空系统泄漏。具体来说,

这些因素主要包括：（1）凝汽器水位异常。凝汽器水位过高可能会淹没铜管，使凝结水过冷却，过冷却度增加，同时减少汽-水换热面积，导致传热温差增大，排气温度升高，真空降低。凝汽器水位过低也可能导致空气漏入凝汽器内部；（2）循环水系统故障。循环水系统故障也可能导致真空系统泄漏。例如，循环水泵故障、冷却风机断电、循环水管道阻塞或泄漏等问题都可能导致循环水量不足或循环水温度异常升高，从而影响凝汽器的换热效果并降低真空度；（3）抽气器故障。抽气器是维持凝汽器真空度的重要设备之一。如果抽气器出现故障，如喷嘴堵塞、汽源不足、射水箱内水温过高等问题，都可能导致抽气器抽气能力下降，无法及时抽出凝汽器内部的不凝结气体，从而降低真空度<sup>[2]</sup>；（4）机组运行操作不当。机组运行操作不当也可能导致真空系统泄漏。例如，在机组启停过程中加减负荷过猛可能导致汽缸和管道的热胀冷缩现象加剧，从而引发泄漏；在机组运行过程中未及时调整真空系统相关参数也可能导致真空度下降；（5）外部因素干扰。一些外部因素也可能对真空系统产生影响。特别是在冬季低温环境下，如果机组周围的空气流通不畅或环境温度过低，都可能导致凝汽器内部结冰或管道冻裂等问题。

### 3 提高汽轮机真空系统密封性的检查方法

#### 3.1 高位灌水查漏法

高位灌水查漏法是一种直观且极为有效的检查汽轮机真空系统密封性的方法。在具体操作时，首先需要将汽轮机的凝汽器及其与之相连的管道系统完全充满水，并确保水位保持在一个相对稳定的高度。这一步骤的关键在于确保整个系统的每一个角落都被水充分覆盖，以便能够全面检测潜在的泄漏点。随后，通过仔细观察水位的变化情况，或者留意水面是否有气泡不断冒出，可以准确地判断系统是否存在泄漏。这种方法的优势在于，它能够迅速定位泄漏的大致位置，尤其对于那些较大的泄漏点，其检测效果尤为显著，几乎可以立即发现问题所在。此外，高位灌水查漏法不仅操作简单易行，而且成本相对较低，无需复杂的设备或高昂的投入，因此成为汽轮机真空系统日常维护和检修中一种常用的、经济实用的检查手段。

#### 3.2 凝结水含氧量检测法

凝结水含氧量检测法是一种通过分析凝结水中的含氧量来精确评估汽轮机真空系统密封性的科学方法。在正常情况下，凝汽器内的蒸汽在凝结成水的过程中，应该几乎不含氧气，因为蒸汽在凝结时会把大部分氧气排除出去。如果凝结水中的含氧量异常升高，那么这很

可能是一个警示信号，说明有空气漏入了真空系统。这种空气泄漏不仅会降低真空系统的效率，还可能对汽轮机的整体运行造成不利影响。因此通过定期、准确地检测凝结水的含氧量，可以及时发现系统密封性存在的问题，并据此采取相应的修复措施，确保系统的正常运行。这种方法具有极高的灵敏度和准确性，即使对于微小的泄漏点，也能够有效地检测出来，为系统的维护和修复提供了有力的数据支持。

#### 3.3 双背压凝汽器真空比较法

双背压凝汽器真空比较法是一种巧妙利用双背压凝汽器的特性来检查真空系统密封性的方法。在汽轮机的设计中，如果采用了双背压凝汽器，那么这两个凝汽器的真空度在理论上应该保持一致或者相差很小。这是因为双背压凝汽器的设计目的是为了更高效地利用蒸汽的能量，而如果两个凝汽器的真空度存在显著差异，那么很可能说明与某个凝汽器相连的管道或设备存在泄漏点。通过比较两个凝汽器的真空度，可以直观地判断系统是否存在泄漏问题<sup>[3]</sup>。这种方法的优点在于，它需要汽轮机具备双背压凝汽器的设计，但一旦具备这一条件，其在检测泄漏方面就具有极高的准确性和可靠性，能够为系统的维护和修复提供有力的依据。

#### 3.4 现代检测技术应用

随着科技的进步，现代检测技术也在汽轮机真空系统密封性检查中得到了广泛应用。这些技术包括超声波检测、红外热成像检测、氦质谱检漏等。超声波检测可以通过分析声波在材料中的传播特性来定位泄漏点；红外热成像检测则可以利用物体表面的温度分布来发现潜在的泄漏区域；氦质谱检漏则是通过注入氦气并检测其泄漏情况来定位泄漏点。这些现代检测技术具有高精度、高效率、非破坏性等优点，能够迅速准确地定位泄漏点，为汽轮机真空系统的维护和检修提供有力支持。在实际应用中，可以根据具体情况选择合适的检测方法或组合多种方法进行综合检测，以提高检测的准确性和可靠性。

### 4 提高汽轮机真空系统消漏策略分析

汽轮机真空系统的密封性对于机组的稳定运行和效率至关重要。一旦系统出现泄漏，不仅会导致真空度下降，影响机组的出力和热效率，还可能引发一系列的安全问题。因此提高汽轮机真空系统的消漏能力，是确保机组安全、高效运行的关键。

#### 4.1 轴封系统优化

轴封系统是防止外界空气进入汽轮机内部，同时防止汽轮机内部高压蒸汽外泄的重要屏障。轴封系统的泄

漏是导致真空系统失效的主要原因之一。首先,要对轴封间隙进行合理调整,轴封间隙过大或过小都会导致泄漏,因此需要根据机组的运行状况和轴封的磨损情况,定期检查和调整轴封间隙,确保其处于最佳状态。其次,要改善轴封系统的供汽方式。传统的单进、单出轴封系统往往存在供汽压力不稳定、轴封温度波动大等问题,容易导致轴封泄漏。可以采用双进、双出或环形供汽方式,提高轴封系统的稳定性和可靠性。另外,还可以对轴封材料进行改进,选用耐高温、耐磨损、密封性能好的材料,延长轴封的使用寿命,减少泄漏的发生。

#### 4.2 凝结水补水系统改造

凝结水补水系统是维持凝汽器水位稳定,保证凝结水质量的重要系统。然而,补水系统的泄漏也是导致真空系统失效的原因之一。因此对凝结水补水系统进行改造,提高其密封性,是消漏策略中的重要一环。一方面,要对补水系统的管道和阀门进行全面检查,更换存在泄漏隐患的管道和阀门,确保补水系统的完整性。另一方面,可以对补水系统进行优化设计,采用更加可靠的密封方式和连接方式,减少泄漏的可能性。还可以加强补水系统的日常维护和检修工作,定期检查管道和阀门的密封情况,及时发现并处理泄漏问题。

#### 4.3 给水泵密封水系统调整

给水泵是汽轮机组中的重要设备,其密封水系统的泄漏也会影响真空系统的密封性。给水泵密封水系统的主要作用是防止泵内的高压水泄漏到外界,同时防止外界空气进入泵内。要对给水泵的密封件进行定期检查和更换,确保其处于良好的密封状态。要对密封水系统的压力和流量进行合理调整,确保密封水能够充分覆盖密封面,形成有效的密封层。还可以对密封水系统的管道和阀门进行改造,采用更加可靠的密封方式和连接方式,减少泄漏的发生。

#### 4.4 热网系统与电导测量装置的监视

热网系统和电导测量装置虽然与真空系统没有直接连接,但其运行状态却会影响真空系统的密封性。加强对热网系统和电导测量装置的监视,也是提高真空系统消漏能力的重要措施。对于热网系统,要定期检查其管道和阀门的密封情况,及时发现并处理泄漏问题<sup>[4]</sup>。要加强对热网系统的运行管理,确保其处于稳定的运行状态,避免因运行不稳定而导致的泄漏。对于电导测量

装置,要定期对其进行校准和维护,确保其测量准确可靠。因为电导测量装置的准确性直接影响到对凝结水质量的判断,如果测量不准确,可能会导致对凝结水处理的不当,进而引发真空系统的泄漏。

#### 4.5 其他辅助措施

除了上述主要措施外,还可以采取一些辅助措施来提高汽轮机真空系统的消漏能力。一是加强机组的日常维护和检修工作,定期对机组的各个部件进行检查和维护,及时发现并处理潜在的泄漏问题。同时要加强对机组运行状况的监视和分析,及时发现异常现象并采取处理措施。二是提高机组的运行管理水平,建立健全的机组运行管理制度和规程,确保机组的运行符合规定要求。加强对运行人员的培训和教育,提高其安全意识和操作技能水平。三是采用先进的检测技术和设备,随着科技的进步和发展,越来越多的先进检测技术和设备被应用到汽轮机真空系统的消漏工作中。这些技术和设备具有高精度、高效率、非破坏性等优点,能够迅速准确地定位泄漏点并采取处理措施。因此可以积极引进和应用这些先进技术和设备,提高真空系统的消漏能力。四是加强对机组周围环境的监视和管理,机组周围的环境因素对真空系统的密封性也有一定影响。因此要加强对机组周围环境的监视和管理,确保其处于有利于机组稳定运行的状态。

#### 结束语

提高汽轮机真空系统密封性是一项长期而艰巨的任务。通过本文的分析,我们明确了检查方法与消漏策略的重要性。未来,将继续深入研究,不断探索新的技术和方法,为汽轮机的安全、高效运行提供有力保障。同时也希望业界同仁共同努力,共同推动汽轮机真空系统密封技术的进步与发展。

#### 参考文献

- [1]刘亿鑫,赵新宇.某电厂凝汽器真空低导致汽轮机跳闸分析[J].电气时代,2020(11):67-69.
- [2]刘冰.汽轮机凝汽器真空下降的原因分析及处理[J].技术与市场,2020,27(9):78-79.
- [3]乔跃江.汽轮机真空系统严密性降低的原因及解决措施分析[J].应用能源技术,2021(6):11-13.
- [4]荣士龙.燃气电厂汽轮机真空严密性优化策略[J].中国高新科技,2021(19):84-85.