

直接空冷汽轮机运行及真空度降低的原因分析和处理

周学志

国能包头煤化工有限责任公司 内蒙古 包头 014000

摘要：直接空冷凝汽器系统是指汽轮机的排汽直接用空气来冷凝，空气与蒸汽间进行热交换。所需冷却空气，通常由机械通风方式供应。直接空冷的凝汽设备称为空冷凝汽器，这种空冷系统的优点是设备少，系统简单，基建投资较少，占地少，空气量的调节灵活。影响直接空冷汽轮机真空度的主要因素，包括真空系统运行参数异常、凝汽器散热不良以及其它潜在因素。这些因素可能导致汽轮机的热效率降低、发电量减少，同时对设备寿命和安全稳定运行产生负面影响。通过综合应用措施将有助于提高汽轮机的真空度，确保其稳定运行和性能提升。

关键词：直接空冷凝汽器；真空度；原因分析；处理措施

我厂的2*50MW机组汽轮机排汽采用直接空气冷却技术冷却，从汽轮机低压缸排出的乏汽，通过一根DN3000mm的水平排汽管道从主厂房引至A排室外，而后垂直向上爬升至12m后分成三路布置。分别从三根DN1800mm支管至空冷凝汽器顶部的蒸汽分配管，向空冷凝汽器管束分配乏汽。每组配汽联箱与3列冷却单元相连接，每个冷却单元由8片冷却翅片管束和一个直径7.315米的轴流风机组成。8片翅片管束以接近60°角组成的等腰三角“A”型结构构成，“A”型两侧分别为4片管束，顺流管束长度为8.0m，逆流管束长度为7.5m，宽度均为2.3m。当乏汽通过联箱流经空冷凝汽器的翅片管束时，大量的冷空气被轴流风机吸入通过翅片管外部进行表面换热，将乏汽的热量带走，从而使排汽凝结为水。凝结水由凝结水管收集起来，排至凝结水箱，由凝结水泵升压，送至汽轮机热力系统。

1 直接空冷系统运行

1.1 空冷凝汽器的控制原则

a) 无论蒸汽负荷如何变化以及冷却空气的温度是多少，通过调节风机转速，使汽轮机排汽压力保持在一个设定值的范围内；

b) 启动风机的先决条件是凝结水收集管中的凝结水温度开始升高到高于环境温度至少5℃的温差，并且凝结水温度必须高于50℃；

c) 每台风机装有一个振动开关，当不正常的大幅振动发生时，该风机跳闸；

d) 每台风机的减速箱装配有润滑油压力开关，当相应的风机单元润滑油压力小于0.01MPa时，风机联锁跳闸。

1.2 直接空冷冬季运行防冻措施

考虑空冷岛冬季防冻，为降低空冷风机转速，要求

机组保持两台真空泵运行（机组正常运行期间，检查排汽装置至真空泵手动门应处于关闭严密状态），背压保持在30KPa左右，禁止机组低背压、风机高转速长时间运行。

空冷岛进汽后，必须严密监视背压和凝结水系统，防止室外管道发生汽水停滞甚至结冰现象。严密监视并就地实测各空冷换热单元管束金属温度、凝结水温及抽空气温度，保证各处温度稳步升高，如发现某处温度长时间不变或有降低趋势时，必须立即增加机组负荷或根据负荷情况关闭各部温度较高的一列进汽电动阀，以增大另外两列的进汽量，避免由于汽流不均局部结冰，同时严密监视隔离列各部温度，防止该列因进汽电动阀关闭不严密造成的漏汽引起管束冻凝。

对空冷岛进行就地温度实测，异常时应加强巡检频次，发现各列温度偏差大时，及时查找原因进行调整。

1.3 ACC的停止

a) 汽轮机打闸、停止进汽；

b) 进入排汽装置的所有疏水门关闭；

c) 轴封供汽系统停运；

d) 停运后保证排汽温度低于120℃。

2 直接空冷汽轮机真空度降低原因分析

直接空冷汽轮机作为我厂的核心设备，其真空度的高低直接影响到汽轮机的运行效率和性能。

2.1 真空系统运行参数异常

真空系统的稳定运行是维持直接空冷汽轮机真空度的关键。当真空系统运行参数出现异常时，往往会导致真空度降低。例如，真空泵的性能下降、气动逆止阀故障等都可能造成真空度降低。真空系统的泄漏也是造成真空度下降的重要原因。泄漏可能是由于系统密封不严、管道连接处松动、阀门故障等原因造成的。当空气

或其他不凝气体漏入凝汽器时,会导致凝汽器内的压力升高,从而降低真空度。

我厂于2024年4月针对#1号机真空系统严密性项目进行检测。检测仪器:德国英福康有限公司生产的P3000型氦质谱检漏仪,检测原理:P3000型氦质谱检漏仪是工作于逆流原理的检漏仪,氦气逆向涡轮分子泵的气流扩散进入上游的质谱室中,主要是水蒸汽不能逆向通过。检测方法:气体吸入法,最低可检漏率小于:1.0E-8。判标准规定如下:

仪器显示量:

1.0E-8至5.0E-8为小漏量;

5.0E-8至1.0E-7为中漏量

1.0E-7至2.0E-5为大漏量

2.0E-5以上为特大漏量

注:测量仪器本底量:1.0E-8

查找出的真空漏点:

a) #1机低压缸缸体内圈泄露量3.5E-1(特大泄露量);

b) 1#机3#凝结水泵泵轴封密封不严密,泄露量3.9E-4(特大泄露量);

c) 1#机前轴封泄露量4.6E-4(特大泄露量);

d) 1#机空冷岛3列2逆流区西侧散热片断裂泄露量5.9E-4(特大泄露量)。

根据以上检测出的漏点,在大修期间都已消缺,真空严密性由原来的0.8kPa/min降为0.2kPa/min。

2.2 凝汽器散热不良

凝汽器的散热性能对真空度有着直接的影响。当凝汽器散热不良时,会导致凝汽器内部温度升高,从而降低真空度。凝汽器散热不良的原因可能有多种,如北方地区风沙大、夏季树木的飞絮昆虫、凝汽器内部积垢、翅片间隙减小、散热面积不足等。凝汽器内部积垢和翅片积灰会导致热量传递受阻,使得冷凝效果下降。凝汽器的散热面积不足也可能导致其散热不良,尤其是在高负荷运行时,凝汽器需要承担更大的散热任务,如果散热面积不足,就难以满足散热需求,从而导致真空度降低。

2.3 其他可能影响真空度的因素

除了以上几个主要因素外,还有一些其他因素也可能对直接空冷汽轮机的真空度产生影响。例如,汽轮机的低压侧轴封密封不严可能导致空气漏入凝汽器,从而降低真空度。此外,凝汽器水位异常导致真空度下降。另外,机组的负荷变化、自然界大风也会对真空度产生影响。在高负荷运行时,汽轮机的排汽量增大,如果空冷凝汽器的散热能力不足以应对这种增大的排汽量,就可能导致真空度下降。

3 直接空冷汽轮机真空度降低影响分析

3.1 影响汽轮机效率和发电量

直接空冷汽轮机的真空度与其热效率密切相关。当真空度降低时,汽轮机的热效率会随之下降,导致发电效率降低,进而影响到发电量。这是因为真空度的降低会导致汽轮机排汽压力升高,进而降低蒸汽在汽轮机内的做功能力。此外,真空度降低还会导致汽轮机内部的流动阻力增大,进一步降低汽轮机的效率。因此,直接空冷汽轮机真空度的降低将直接导致汽轮机热效率和发电量的下降,对发电厂的经济效益产生不利影响^[1]。

3.2 对设备寿命和安全稳定运行的影响

直接空冷汽轮机真空度的降低还会对设备的寿命和安全稳定运行产生影响。首先,真空度的降低可能导致汽轮机内部的温度和压力升高,从而增加设备的热应力。这种热应力的增加可能会加速设备的磨损和腐蚀,缩短设备的使用寿命。其次,真空度的降低可能导致汽轮机内部的流场发生变化,使得某些部件受到不正常的冲击和振动。这种冲击和振动可能会对设备的结构安全产生威胁,增加设备故障的风险。真空度的降低还可能引发一些安全问题,如轴封泄漏等。这些泄漏可能导致空气或其他不凝气体进入汽轮机内部,对设备的正常运行造成干扰和破坏。因此,直接空冷汽轮机真空度的降低不仅会影响设备的寿命,还可能对设备的安全稳定运行构成威胁。

3.3 对工作人员操作和维护的影响

直接空冷汽轮机真空度的降低还会对工作人员的操作和维护工作产生影响。第一,真空度的降低可能导致汽轮机的运行参数发生变化,增加工作人员对设备运行状态的监控和调整难度。工作人员需要更加频繁地检查设备的运行参数,以确保设备在最佳状态下运行。第二,真空度的降低可能增加设备的故障率和维护频率。工作人员需要更加频繁地对设备进行维护和保养,以确保设备的正常运行。此外,真空度的降低还可能增加工作人员的安全风险。例如,在处理轴封泄漏等安全问题时,工作人员需要采取更加严格的安全措施,以确保自身的安全。第三,直接空冷汽轮机真空度的降低会增加工作人员的操作和维护难度,同时增加他们的安全风险。

4 直接空冷汽轮机真空度降低处理措施探讨

4.1 调整真空系统运行参数

调整真空系统运行参数是处理直接空冷汽轮机真空度降低问题的核心手段之一。这一措施的实施,直接关系到直接空冷汽轮机运行的稳定性和经济性。对真空系统和其中的关键部件,如真空泵进行全面的检查和维修

至关重要。这包括对设备的性能评估、故障诊断和必要的维护。尤其是针对那些性能下降或出现故障的设备，例如出现漏气、效率低下的真空泵，必须及时采取措施，如更换磨损部件、清洗内部积垢或进行整体维修和替换。

运行参数的优化是另一个重点。真空系统中的抽气量、抽气压力等关键参数直接影响到真空度和汽轮机的运行效率。通过对这些参数的精准控制和合理调整，可以在一定程度上恢复或提升系统的真空性能。具体方法包括根据汽轮机的实际运行状况和外部环境条件，动态调整抽气量和抽气压力，以确保真空系统的最佳工作状态。在调整参数的同时，还必须高度重视真空系统的密封性。系统的密封性是维持高真空度的先决条件，任何微小的泄露都可能造成真空度的明显下降。定期对系统的密封结构进行检查，及时发现并修复可能的泄露点^[2]。

4.2 改进凝汽器散热方式

随着技术的不断进步和应用需求的日益增长，对凝汽器散热方式进行改进和优化已成为提升汽轮机性能的关键手段。一种常见的改进方式是增加凝汽器的散热面积。通过增加散热翅片或采用高效散热材料，可以在有限的空间内提供更多的散热表面，从而加快热量传递速度，提升散热效果。这种方法能够直接增强凝汽器与外界环境的热交换能力，有效降低汽轮机排汽温度，维持较高的真空度。另一方面，采用先进的散热技术也是提升凝汽器性能的有效途径。利用空气动力学原理对凝汽器的进风和出风结构进行优化，可以减少气流阻力，增加风量，提高散热效率。同时，热管技术的应用能够将凝汽器内部的热量迅速传递至外部散热装置，通过热管的导热性能，实现对热量的高效管理。针对不同环境和工况下的散热需求，还可以考虑采用水冷却、蒸发冷却等新型冷却方式。

4.3 采取其他有效措施

直接空冷汽轮机真空度的维护不仅依赖于关键部件的调整和优化，还需要一系列综合性的措施来确保长期的稳定运行。定期清洗和维护凝汽器是至关重要的。在

运行过程中，凝汽器内部可能会积聚各种杂质和污垢，这不仅影响其散热性能，还可能导致堵塞和腐蚀。采用专业的清洗方法和工具，对凝汽器进行全面、彻底的清洗，确保其内部清洁无垢，是维持高真空度的必要手段，所以每年定期对空冷散热器翅片两侧用除盐水进行水冲洗，清洗时水喷射必须平行翅片以防翅片被损坏。同时，对汽轮机的轴封进行定期检查和维修同样不容忽视。轴封泄漏是导致真空度降低的常见原因之一，尤其是在长时间运行和磨损后。通过定期检查轴封的密封性能和磨损情况，及时更换损坏的密封件和轴封，可以有效防止泄漏，保持凝汽器的真空度。优化汽轮机的运行参数和负荷分配也是提高真空度的有效方法。汽轮机在不同的运行参数和负荷下，其性能表现会有所不同。通过合理调整运行参数，如进汽量、进汽温度等，以及优化负荷分配，可以避免因过度负荷或低负荷运行而导致的真空度降低。这需要运行人员具备丰富的操作经验和专业知识，以便准确判断并采取相应的措施。随着技术的发展，先进的监控系统和智能化技术的应用也为直接空冷汽轮机的运行管理提供了有力支持^[3]。

结束语

维护直接空冷汽轮机的真空度是确保其高效、稳定运行的关键。通过调整真空系统运行参数、改进凝汽器散热方式以及采取其他有效措施，可以全面提升汽轮机的性能。在实际应用中，应综合考虑各种因素，制定针对性的措施，以确保汽轮机的真空度始终保持在最佳状态。同时，随着技术的不断发展，应积极探索和应用新技术和新方法，进一步提高直接空冷汽轮机的运行效率和可靠性。

参考文献

- [1]宋剑.汽轮机运行中的节能技术研究[J].应用能源技术,2022(04):29-31.
- [2]王松.电厂汽轮机的节能降耗措施分析[J].电子技术,2022,51(03):184-185.
- [3]谢宗海.汽轮机真空度下降的原因分析及防范措施[J].大氮肥,2020,43(06):411-413+417.