

Research and Application of Blowpipe Technology for 1000MW Secondary Reheat Unit

Fei Zeng

China Energy Construction Group Guangdong Thermal Power Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510735, China

Abstract

With the deepening implementation of China's "Dual Carbon" strategy, higher demands are being placed on the efficiency and environmental performance of thermal power units. As one of the world's most advanced coal-fired power generation technologies, 1000MW ultra-supercritical secondary reheat technology achieves significantly higher thermal efficiency than conventional primary reheat units. However, its additional secondary reheat system creates a more complex steam circuit, presenting unprecedented technical challenges for steam blowdown operations before unit startup. This paper analyzes the technical difficulties of secondary reheat unit blowdown based on our company's 1000MW secondary reheat unit project at a Jiangsu power plant. It systematically discusses the blowdown solution centered on "combining pressure reduction with stabilization through phased implementation," key parameter controls, temporary system design, and comprehensive process management measures. Engineering practice demonstrates that this technical system can safely, efficiently, and cleanly complete the purge of the entire complex steam system, laying a solid foundation for long-term safe and stable operation of the unit. The findings provide valuable reference for the construction and commissioning of similar units.

Keywords

1000MW unit; secondary reheat; steam blowpipe; pressure reduction blowpipe; target plate assessment

1000MW 二次再热机组吹管关键技术研究与应用

曾飞

中国能源建设集团广东火电工程有限公司, 中国·广东 广州 510735

摘要

随着我国“双碳”战略的深入推进,对火电机组的效率与环保性能提出了更高要求。1000MW超超临界二次再热技术作为当前全球最先进的燃煤发电技术之一,其热效率远超常规一次再热机组。然而,其新增的二次再热系统构成了更为复杂的蒸汽回路,给机组启动前的蒸汽吹管工作带来了前所未有的技术挑战。本文以我公司承接的江苏地区某电厂1000MW二次再热机组工程为背景,深入剖析了二次再热机组吹管的技术难点,系统论述了以“降压与稳压相结合、分阶段进行”为核心的吹管方案、关键参数控制、临时系统设计及全过程管理措施。工程实践表明,该技术体系能够安全、高效、洁净地完成整个复杂蒸汽系统的吹扫,为机组的长周期安全稳定运行奠定了坚实基础,对同类型机组的建设与调试具有重要的借鉴意义。

关键词

1000MW机组; 二次再热; 蒸汽吹管; 降压吹管; 靶板考核

1 引言

蒸汽吹管是新建火力发电机组在整套启动前最为关键的工序之一。其目的在于利用机组自身产生的蒸汽,吹扫过热器、再热器及其相连的蒸汽管道,彻底清除在制造、运输、安装过程中残留的氧化皮、焊渣、砂粒等杂物。若吹管不彻底,这些硬质杂物在机组运行后,将随高速蒸汽冲蚀汽轮机通流部分叶片、损坏主汽门与调门密封面,导致机组效率下降,甚至引发严重的振动和设备事故,后果不堪设想。

【作者简介】曾飞(1985-),男,中国广东广州人,本科,建造师,工程师,从事热动力研究。

对于常规一次再热机组,经过数十年的发展,其吹管技术已形成相对成熟的标准体系。但对于1000MW级二次再热机组,其蒸汽流程演变为“锅炉过热器→高压缸→一次再热器→中压缸→二次再热器→低压缸”的“一过两再”复杂系统。这一革命性设计在带来显著热效率提升的同时,也使得蒸汽管道系统倍增,吹扫路径更长、阻力特性更复杂,能量分配与控制难度呈几何级数增加。如何确保每一段管道,尤其是新增的二次再热系统,都能达到与主系统同等的清洁度,成为一个全新的、亟待攻克的技术高地。因此,对1000MW二次再热机组吹管关键技术进行系统性研究与工程实践,具有至关重要的现实意义与工程价值。

2 二次再热机组吹管技术难点分析

与常规机组相比，二次再热机组的吹管工作主要面临以下四大难点：

2.1 系统复杂性与吹管路径的确定

二次再热系统增加了高压排汽管道、一次再热冷段管道、一次再热热段管道、中排管道、二次再热冷段管道、二次再热热段管道，以及与之相连的众多安全阀、仪表管座等。吹管时需确保所有管路均得到有效吹扫，无死角。临时系统的设计必须精确模拟正式管道的走向和阻力，吹管流程的设计需逻辑清晰，确保主系统与旁路系统都能被覆盖^[1]。

2.2 汽水分离与湿蒸汽控制

在吹管初期，锅炉水循环尚未稳定，尤其是分离器处于湿态运行时，极易产生带水现象。饱和蒸汽或湿蒸汽进入过热器、再热器系统，不仅吹扫动量不足，更严重的是会导致管内积盐、甚至引发管壁热应力裂纹，对锅炉受热面造成永久性损伤。确保吹管期间蒸汽具有足够的过热度，是保证吹管质量与设备安全的核心。

2.3 锅炉燃烧与参数稳定性控制

吹管，特别是降压吹管，是一个周期性、剧烈波动的过程。每次吹管时，锅炉需要迅速升负荷以建立压力，吹扫时压力骤降，对锅炉的燃烧系统、水动力系统和温度控制是严峻考验。对于二次再热锅炉，需要同时协调控制过热蒸汽温度和两次再热蒸汽温度，防止任何一侧超温，其控制策略远比一次再热机组复杂。

2.4 吹管能耗、工期与环保压力

传统吹管方式能耗高、噪音大、工期长。对于1000MW级机组，一次成功的吹管通常需要上百次的脉冲，消耗大量的燃料和水资源，同时产生大量烟尘和噪音，环保压力巨大。如何优化吹管方案，在保证质量的前提下，减少吹扫次数、缩短工期、降低排放，是项目管理者必须面临的挑战。

3 吹管关键技术方案制定与实施

3.1 吹管方法的选择：降压与稳压相结合

目前主流的吹管方法有降压吹管和稳压吹管两种。

降压吹管：通过快速开启临时吹管阀门，利用锅炉蓄能瞬间释放，在管道内产生高速蒸汽流（动量远大于正常运行值）和剧烈的压力波动，利用“锤击效应”将附着牢固的杂质剥离吹走。该方法吹扫能力强，效果显著^[2]。

稳压吹管：在一定的压力和流量下，保持临时吹管阀持续开启，进行一段时间的连续吹扫。该方法对锅炉燃烧稳定性要求较低，但吹扫动量相对较小，对顽固杂质的清除能力较弱。

针对二次再热机组的特点，推荐采用“降压与稳压相结合，分阶段进行”的复合吹管方案：

第一阶段：主蒸汽系统与一次再热系统降压吹管。

此阶段主要吹扫过热器、主蒸汽管道、一次再热冷段和热段管道。采用典型的降压法，利用蓄能冲击，快速清除

大部分大颗粒杂质。

第二阶段：二次再热系统稳压吹管。

由于二次再热系统蒸汽来自中压缸排汽，压力较低，采用降压法难以建立足够的吹扫动量。因此，此阶段宜采用稳压吹管。通过精确控制锅炉燃烧和中压缸排汽参数，维持二次再热系统在较高流量下连续吹扫一段时间，确保其清洁度。

第三阶段：全系统稳压校验吹扫。

在各系统分别吹扫基本合格后，进行一次全系统的稳压吹扫。此阶段目的不在于清除大颗粒杂质，而是“打磨”和“校验”系统，确保在接近实际运行的工况下，管道内无细小颗粒残留，并为靶板考核创造稳定的蒸汽流动条件。

3.2 吹管临时系统的设计与安装

临时系统的科学设计是确保吹管成功的物质基础，其核心涵盖四个方面。

首先，临时门的选型至关重要，必须采用具备快速启闭能力的液压或电动闸阀，支持远方操作及中停、全开、全关功能，且全行程时间不超过60秒，同时满足耐高温高压和优良密封性能，以产生有效的“锤击效应”。

其次，消音器需依据蒸汽流量、压力及频率特性专业选型，并合理布置，确保吹管噪声控制在85dB以下，满足环保要求。

第三，临时管道设计应保证管径不小于正式管道，采用大半径弯头以降低阻力，并进行严格的应力计算与刚性加固，以承受吹管产生的巨大反作用力与振动；支吊架需为刚性支撑，确保系统稳固，同时兼顾管道的自由膨胀。所有临时管路需实施保温，并验收合格。

最后，靶板器应安装在吹管末端垂直管段，其下游直管段长度需大于4-5倍管径，以保证蒸汽流场稳定。靶板器本身须操作灵活、密封良好，靶板采用光洁无痕的纯铝或铜板。吹扫前，相关临时管道需喷砂处理，焊口采用氩弧焊打底。

此外，未参与吹扫的管路在恢复前应彻底清理，经联合验收并办理签证，确保内部洁净、无杂物，水平管口及时封堵，杜绝二次污染^[3]。

3.3 吹管参数的控制与优化

吹管质量的核心评判标准是吹管系数K，即吹管时蒸汽在管道内产生的动量与额定工况下蒸汽动量的比值。通常要求 $K > 1.0$ 。

计算公式为： $K = (G^2 * v) / (Go^2 * vo)$

其中，G、v为吹管时的流量和比容；Go、vo为额定工况下的流量和比容。

关键控制要点：

过热蒸汽温度：必须保证有足够的过热度（通常不低于50℃），且中间点温度（分离器出口温度）得到有效控制，严防蒸汽带水。

再热蒸汽温度：一、二次再热汽温应严格按照锅炉厂家要求控制，防止超温。由于再热器处于烟道高温区，需特别注意监视管壁温度。

升压速率与吹管频率：锅炉升压过程应平稳，避免急升急降。每次吹管的持续时间以靶板颜色变暗为宜，通常为15-20分钟。吹管间隔时间应充分，以保证锅炉蓄能并稳定参数。

汽轮机盘车与轴封系统：在整个吹管期间，汽轮机应投入连续盘车，并投入轴封系统，防止杂质进入汽轮机轴承和缸体。

4 吹管过程的组织与安全保障

4.1 组织架构与指挥体系

建立高效的吹管指挥部，由建设单位、调试单位、监理单位、施工单位和电厂共同组成。实行总指挥负责制，指令必须单一、明确、畅通。设立锅炉、汽机、电控等专业组，各司其职。

4.2 严格的质量验收标准：

4.2.1 临时系统安装验收：

管道对口应保证内壁平齐，局部错口值不超过壁厚的10%且不大于1mm。焊缝不得出现漏焊、气孔、裂纹、砂眼或焊穿等缺陷。焊接时应自然平滑，严禁强行对口；管道与设备连接须在设备定位后进行，且不得存在应力对口。铸件间焊接时应按设计要求加接短管。

靶板前管道安装前需进行除锈处理，喷砂后及时封堵防护，其焊口应采用氩弧焊打底。临冲阀前焊口须100%无损检测合格，临冲门后焊口应进行超声检测。各类阀门安装应确保进出口方向正确、密封良好、阀杆灵活，开度指示与实际一致。

支吊架采用井字形结构，管道下横担应与管道抵死，左右立柱与管道间隙10-15mm，上横担间隙8-10mm。在混凝土基础上用膨胀螺栓固定时，须达到规定深度。支吊架应位置正确、安装平整牢固，与管道接触良好，并避开焊口及开孔位置，一般距离不小于50mm。

临时管道固定支架应牢固，滑动支架需满足膨胀要求并验收合格。宜选用Y型汇集三通，夹角以30°-60°为宜。靶板器应靠近正式管道，其前后直管段长度宜分别为管径的4-5倍和2-3倍。靶板宽度取管内径8%且不小于25mm，厚度不小于5mm，表面抛光无斑痕，经监理验收合格。集粒器应水平安装，搭设操作平台并便于清理^[4]。

4.2.2 吹管验收标准

靶板考核是吹管验收的唯一客观标准。通常规定：在相同的吹管参数下，连续两次更换靶板进行吹扫。靶板上冲击斑痕的粒度不大于0.8mm，且肉眼可见斑痕不多于8点。靶板表面呈金属本色，无锈蚀点。只有当主系统、一次再热系统、二次再热系统的靶板同时合格时，吹管工作方可结束。

4.3 全面的安全应急预案

防火措施：对吹管排汽口前方的区域进行彻底清理，设置警戒区和消防器材，防止喷出的火星引发火灾。

设备防护：对吹管范围内的仪表管、取样管、疏水管等进行隔离，防止损坏。严格监视锅炉膨胀、管道位移及支吊架状态。

应急预案：制定锅炉灭火、给水中断、临时门卡涩等突发情况的应急处置预案，并进行演练。

5 应用实例与效益分析

以江苏某电厂1000MW二次再热机组为例，该项目采用了上述复合吹管技术方案。整个吹管过程历时12天，共计进行降压脉冲98次，稳压吹扫36小时。最终，主系统、一次再热系统及二次再热系统靶板同时考核合格，靶板光洁，斑痕远少于标准要求。

取得的显著效益：

质量效益：吹管后机组首次启动并网，汽轮机轴振、瓦温等参数优异，至今运行平稳，证明了吹管工作的彻底性，为机组长期可靠性奠定了基础。

工期与经济效益：相比同类型机组的传统吹管方案，优化后的方案缩短工期约5天，节约燃油约800吨，除盐水约15000吨，直接经济效益超过数百万元。

环保与社会效益：高效消音器的使用使厂界噪音达标，紧凑的工期和较少的吹扫次数也减少了粉尘和二氧化碳的排放，取得了良好的社会反响。

6 结语

通过对1000MW二次再热机组吹管关键技术的研究与实践，可以得出以下结论：

技术方案的针对性是成功的前提。采用“降压与稳压相结合、分阶段吹扫”的复合方案，能够有效应对二次再热系统复杂、吹扫动量难建立的挑战，是当前最可靠、高效的技术路线。

精细化的过程控制是质量的核心。从临时系统设计、吹管参数控制到靶板考核，每一个环节都必须做到精细化、标准化和数据化，确保吹管系数持续大于1.0，蒸汽品质满足要求。

严密的组织与安全保障是顺利实施的基石。建立权责清晰的指挥体系，制定周全的应急预案，是应对吹管这一高风险、高协调作业的必要条件。

随着技术的发展，未来或可探索基于大数据与人工智能的吹管参数自适应优化系统，实现对吹管过程的智能闭环控制，进一步提升吹管效率和质量，为我国高端大型火电机组的建设与运行贡献更大价值。

参考文献

- [1] 胡成铭,马力前.1000MW超超临界机组蒸汽吹管存在的问题与对策[J].科技风,2013(4):1.DOI:CNKI:SUN:KJFT.0.2013-04-002.
- [2] 胡志宏,郝卫东,孙伟,等.1000MW超超临界机组降压法蒸汽吹管[J].华东电力,2008,36(6):4.DOI:10.3969/j.issn.1001-9529.2008.06.022.
- [3] 王林,刘辉,李康,等.1000MW二次再热塔式炉三段吹管新工艺[J].陕西电力,2016,44(10):82-85,89.
- [4] 张力.1000MW塔式锅炉机组蒸汽吹管方法的应用研究[J].新型工业化,2022,12(9):21-24.