600 MW超临界直接空冷机组空冷岛冲洗系统改造研究

文/张仲琪
国能宁夏鸳鸯湖第一发电有限公司

以空冷岛冲洗系统运行过程中存在的问题作为切入点，结合实例介绍了空冷岛冲洗系统改造目标，从总体结构、运行原理、驱动模式、传感网络、信息传输及传动机构等角度，针对空冷岛冲洗系统改造方案进行了设计，同时明确了空冷岛冲洗系统的改造效果。

在火电厂的运营过程当中，超临界直接空冷机组以其在节水性能与环保方面的优势得到了广泛运用，但受到外部环境因素的影响，导致其运行工况面临着一定压力。本文以华北某供电公司两台600 MW直接空冷机组为例，对空冷岛冲洗系统的改造方案进行分析。机组内部空冷凝汽器总散热面积为169万m^2，采用高压水清洗系统对机组空冷岛进行维护，水泵额定压力为12 MPa，额定流量为9.6 t/h，单次冲洗时间为192 h。

空冷岛冲洗系统运行过程中存在的问题

1. 系统运行环境较为恶劣

案例机组位于我国华北地区，在直接空冷机组的日常运行过程中可能会面临大规模风沙的侵袭，导致周边运行环境较为恶劣，风沙可能会被吸入到空冷岛内部，引发翅片堵塞，给机组性能与运行安全造成一定影响。此外，华北地区季节性温差较大，高低温工况较为普遍，给空冷岛冲洗系统的运行造成了一定困难与挑战。

2. 容易出现漏洗现象

案例机组所配置的高压水清洗系统单次仅能清洗一个散热翅片，当翅片清洗完成后，需要人工将冲洗架位置进行调整和移动，在移动过程中可能会出现误差，引发漏洗现象，最终的清洗效果较差，无法满足直接空冷机组空冷岛散热翅片的清洗要求。

3. 清洗工序复杂，效率低下

案例机组中所配置的高压水清洗系统属于半自动清洗设备，在运行过程中对于人力的依赖性较强，单次清洗时间周期较长，清洗工序复杂，效率低下。

空冷岛冲洗系统改造目标

为了使空冷岛冲洗系统改造工作能够进一步适应当地环境要求以及直接空冷机组的运行工况，有效提升清洗系统运行性能，相关技术人员以及改造团队需要从实际出发，明确空冷岛冲洗系统的技术改造目标，使后续的改造方案规划与设计能够进一步契合空冷机组运行发展方向。

1. 满足不同环境下冲洗要求

空冷岛冲洗系统的改造方案应适应不同工况环境下系统的冲洗与运行要求。基于上文可知，案例机组主要位于我国华北地区，该地区季节性温差较大，机组户外运行环境较为恶劣，受到环境因素影响，还可能出现外构变形等问题，给清洗系统的运行造成了一定难度。因此在对600 MW直接空冷机组空冷岛冲洗系统设计方案进行优化与改造的过程中，技术团队应保障系统运行工况与华北地区环境

特征之间的适应性，使冲洗系统能够满足户外不同温度状态下的长期稳定使用要求，同时确保内部传动结构能够适应系统结构变形现象，提升冲洗系统的安全系数。除此之外，在对空冷岛冲洗系统设计方案进行改造与优化的同时，技术团队还应当考虑到冲洗系统正常运行任务的完成情况，使冲洗系统能够对风沙季节来临时吸入到空冷管束翅片当中出现堵塞的各类杂物以及砂砾进行全面清理，使整个直接空冷机组都能够实现稳定满载运行，确保发电任务能够在空冷机组的支持下圆满完成。

2. 保障空冷岛清洗工序的安全

在依托高压水冲洗系统针对600 MW直接空冷机组空冷岛进行清洗的同时，为了适应空冷机组的大小参数特征，按照机组散热翅片清理的相关要求，需要针对冲洗架进行适当移动和调整，使空冷岛纵向截面的清洗效果得到全面展示。但受到人为因素的影响，在移动冲洗架对截面清洗效果进行检查的过程中，可能面临一定的安全风险。另外，空冷机组长时间处于高温运行工况下，技术人员需要在恶劣的环境状态下对高压水冲洗系统进行控制和调整，使其适应空冷机组散热翅片的冲洗要求，这也可能给机组维护工作的开展带来相应的安全威胁。因此在针对空冷岛冲洗系统进行改造的过程中，应充分考虑到机组日常运行维护与保养过程中可能面临的各项安全问题，同时采取积极手段予以控制和解决，使直接空冷机组空冷岛中散热翅片的冲洗流程更加安全规范，避免外部安全问题给机组维护作业造成的负面影响。

3. 便于日常维护与检修

在空冷岛冲洗系统的运行过程中，可能会因机组结构变形因素的影响出现一定的故障，导致正常运行受到影响和限制，因此相关技术团队需要及时对冲洗系统故障进行定位和解决，有效控制冲洗系统故障的影响范围，避免造成更加严重的损失。因此在对空冷岛冲洗系统进行改造设计的同时，应当优先对其驱动与传动结构进行优化，降低传动结构在高强度运行过程中产生卡阻、变形和脱节等故障的可能性，使整个冲洗系统的结构更加便于技术人员开展日常维护与检修工作，使空冷岛散热翅片的表面清洗工作更加便捷，保障发电机组的运行稳定性。

4. 减少对人力的依赖

传统的超临界直接空冷机组内部翅片冲洗系统往往属于半自动系统，对于人力资源的依赖性较强，需要大量人力对系统冲洗位置进行调节和控制，导致冲洗作业的开展效率较为低下，作业安全无法得到有效保障，给电力工程的自动化发展带来了一定的阻碍。在对空冷岛冲洗系统进行改造设计的同时，相关技术团队应尽可能减少系统运行过程中对于人力的依赖，使冲洗系统的运行效率得到进一步优化，确保机组自动化水平，适应电力工程市场发展需求。

空冷岛冲洗系统改造方案设计

目标构建完成后，需要从实际出发，对空冷岛冲洗系统改造方案进行设计，相关设计团队以及技术人员应分别基于宏观层面与微观层面对冲洗系统的改造方案进行分析，使冲洗系统的预期改造目标得到充分落实。

1. 总体结构

为了使空冷岛冲洗系统改造项目能够充分契合超临界600 MW直接空冷机组的日常运行工况，满足冲洗系统安全、高效以及环境适应性等层面的目标要求，技术团队需要从总体结构层面入手，针对冲洗系统的优化设计方案进行分析，进而为直接空冷机组空冷岛的冲洗工作提供技术保障。在本文所述全自动清洗机器人系统中，其总体结构主要包括上驱动装置、梯子、喷淋架、下驱动装置以及自随动柔性拖链装置等部分，其中梯子是清洗系统内部上驱动装置和下驱动装置之间的连接渠道以及连接桥梁，为了减少传统冲洗系统在进行冲洗位置调换与调整过程中对于人力的依赖，采用电动机进行驱动控制，使喷淋架能够随着电动机驱动在系统导轨上自由运动，使全自动清洗系统的运行更加便捷，并能够覆盖全部空冷岛翅片。此外，为了确保清洗系统运行过程中的灵活度，解决传统半自动清洗系统运行过程中拖链行程可能产生的卡阻问题，选用了自随动柔性拖链装置对拖链的运动进行引导，保障了全自动清洗过程中拖链的运行稳定性。具体结构如图1所示。

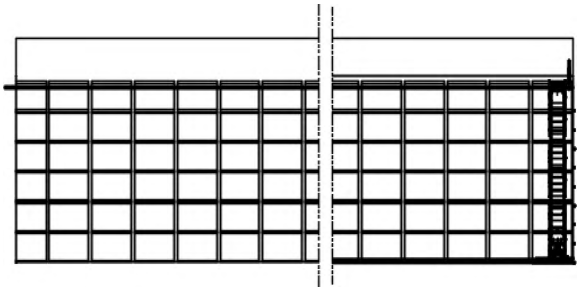

图1　600 MW直接空冷机组空冷岛清洗系统

2. 运行原理

传统的半自动冲洗系统的水平行程较长，空冷岛散热翅片日常运行温度较高，且翅片布局位置较为紧密，给清洗工作的开展造成了一定困难（如图2所示）。通过全自动清洗机器人系统的开发与运用，能够使半自动冲洗系统运行过程中产生的结构变形现象得到更加有效的控制，保障拖链运动的稳定有序，降低冲洗作业过程中的安全风险。

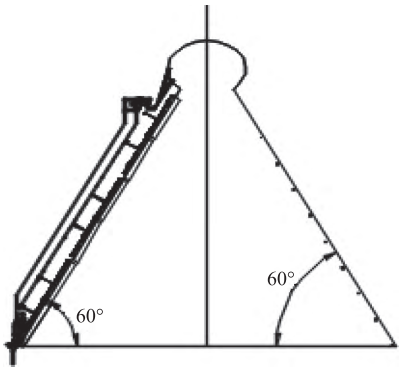

图2　600 MW直接空冷机组空冷岛

首先，采用电动机带动喷淋架在导轨上按照预设要求进行运动，使喷淋架能够覆盖全部空冷岛散热翅片，有效拓展了传统冲洗方式中对翅片的覆盖范围，提升了翅片冲洗效率与速度，使直接空冷机组内部散热翅片的冲洗工作能够快速完成。其次，采用高压喷嘴对空冷岛散热翅片进行喷淋，在设计方案中将高压喷嘴安装在冲洗系统内部喷淋架上，并能够随之一同运动，当电动机带动喷淋架运动时，架上高压喷嘴所覆盖的散热翅片范围也会随之发生变化，使高压水能够接触到散热翅片的各个部位，进而更加便利地完成上述冲洗任务。最后，采用柔性拖链装置进行供电与传动，使机器人冲洗系统能够获取到较为稳定的电能与水源，并进一步突出全自动冲洗系统在直接空冷机组运行过程中的应用价值，强化全自动冲洗系统的质量与效果。

3. 传感网络

基于自动化冲洗系统对空冷岛散热翅片进行冲洗的过程中，及时掌握系统工作温度、工作流量以及冲洗介质状态，对保障冲洗工作开展成效具有关键性作用。在传统的半自动清洗系统的运行过程中，由于缺乏针对性的探测与分析设备，导致技术人员以及管理团队能够获取到的信息较为有限，无法结合直接空冷机组运行的实际情况与要求对冲洗系统进行合理化控制，可能会对空冷岛散热翅片的冲洗效果产生一定的负面影响。因此为了更加直观地掌握冲洗系统在600 MW直接空冷机组空冷岛冲洗工作开展过程中的运行效果，提升空冷岛冲洗系统的性能，在本次优化设计项目中，分别采用温度传感器、水流传感器等设备仪器并组成传感网络，针对冲洗系统的运行状态以及运行工况进行了实时监控，使冲洗系统的运行状态得到更加直观的控制，有效避免了不良工况对于系统冲洗效果产生的影响。在案例项目中，将冲洗系统温度传感器的报警阈值控制在－20～80 ℃之间，将冲洗系统额定流量控制在160 L/min，将冲洗介质选定为除盐水，并采用传感器网络对冲洗系统的运行工况进行了全面监督，使系统在自动化状态下达到最佳冲洗效果。

4. 信息传输

在针对空冷岛进行冲洗工作的同时，需要及时将目标部位的清洁度及清洗系统的运行情况回传至监控系统，使技术团队及工作人员能够及时针对系统的运行状态进行控制，使冲洗系统的运行成效得到进一步保障。在本次改造优化项目中，选用CAN总线作为总控与传感系统之间的信息传输协议，使传感系统能够将空冷岛散热翅片的清洗效果、冲洗系统的运行状态等关键性指标进行及时回传，同时也能使总控系统及时按照回传信息做出相应调控，使冲洗过程能够进一步适应现场系统运行需求，确保冲洗工作的顺利开展。

5. 传动机构

在空冷岛冲洗系统的改造与优化工作开展过程中，需要对传统的拖链传动系统进行改进，一方面保障了自动冲洗系统的电能、水资源都能得到持续性供应，另一方面也能减少传统半自动冲洗系统运行过程中可能存在的拖链卡阻等情况，避免给冲

洗系统的运行造成阻碍和影响。为适应本文所述自动化冲洗系统的运行特点，在对冲洗系统进行改造的同时，还开发了自随动柔性拖链装置，对冲洗系统管路进行控制，使其能够按照喷淋要求进行动作（如图3所示）。在自随动柔性拖链装置中，主要包括高拖链槽、低拖链槽及滚动轮机构三个主要部分，其中，拖链槽是管线与拖链在运动过程中的主要限制，能够保障其运行稳定性，而滚动轮机构主要负责引导拖链动作，减少拖链运动过程中的摩擦力与卡阻力，保障冲洗系统运行的顺滑程度。

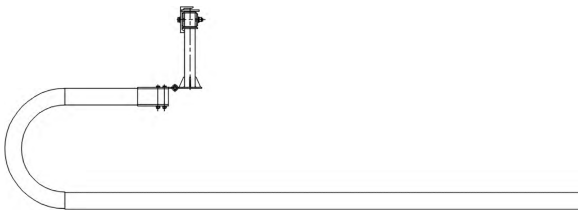

图3　自随动柔性拖链装置

在案例项目的改造与优化过程中，发现系统内部拖链行程较长，外部运行工况较为复杂，导致冲洗系统的运行面临着一定困难与挑战。因此采用自随动柔性支架对拖链进行了支撑（如图4所示），避免拖链在冲洗与运行过程中产生的弯曲，使其能够充分适应不同工况下系统的结构变形特点，提升系统运行成效。

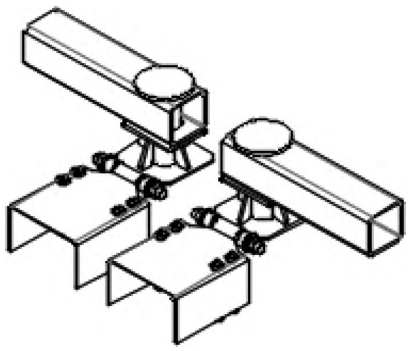

图4　自随动柔性拖链支架

空冷岛冲洗系统改造效果

在对600 MW直接空冷机组空冷岛冲洗系统进行改造后，系统分别在运行环境、经济效益及安全性方面得到了长足发展。

1. 清洗工作环境

通过对空冷岛冲洗系统进行改造，系统运行效率得到了显著提升，有效减少了清洗周期与清洗时长，同时减少了清洗现场对于技术人员的需求，使工作人员能够有效远离高温工作环境，改善了空冷岛冲洗工作条件。

2. 系统经济效益

针对空冷岛冲洗系统进行改造与优化，使600 MW直接空冷机组内部真空水平得到了充分改善，同比增加了2.22 kPa，按照600 MW直接空冷机组惯常煤耗情况进行计算，冲洗系统改造过后所节约的年均成本达到1 000万元以上，使系统运行过程中的经济效益得到了保障。

3. 机组运行安全

机组空冷岛冲洗系统改造过后，有效改善了直接空冷机组运行过程中的各项安全隐患及安全问题，使散热翅片表面得到了有效清洁，提升了机组的散热性能，使机组的运行安全得到了保障。

结束语

通过对600 MW直接空冷机组空冷岛冲洗系统进行优化与改造，使直接空冷机组运行过程中的性能达到预期要求，机组运行环境、系统经济效益及机组运行安全均得到了改善，具备良好的改造效果，适宜进行技术推广。EA

（收稿日期：2023-08-28）

参考文献

[1] 刘艳龙，刘诚诚，李强．关于电厂空冷岛自动冲洗改造的研究[J]．山东化工，2021，50(22)：154-156．

[2] 白继亮，王润全，韩平．浅谈直接空冷岛全自动清洗装置的优化与应用[J]．中国设备工程，2021(1)：86-87．

[3] 王润全，呼浩．直接空冷岛清洗装置的结构分析与优化[J]．中国高新科技，2021(4)：159-160．

[4] 王润全，吴锡鹏，呼浩，等．基于红外热成像立体测温技术的空冷岛高效节能全智能清洗系统的应用[J]．中国高新科技，2021(14)：47-48．

[5] 张洪阳，李君，时振堂．变频器适应性要素分析与测试系统设计研究[J]．电气应用，2022，41(8)：82-87．