

《燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试导则》
(征求意见稿) 编制说明

《燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试导则》编制组

二〇二四年一月

目 录

一、项目背景	3
二、项目立项目的与意义	4
三、工作过程	5
四、国内外标准法规现状	7
五、废水零排放旁路烟道蒸发技术发展现状	9
六、文件内容结构	15
七、主要条文说明	16

一、项目背景

2015 年 4 月国务院印发了《水污染防治行动计划》，该行动计划中对加强废水治理、提高废水的回收利用率提出了更为严格的要求，以有效地节约水资源、减少废水排放对水环境的污染。随着国家层面对废水减排及废水零排放要求的不断提高，给火力发电企业带来了越来越大的压力。环保部在 2017 年 1 月发布了《火电厂污染防治可行性技术指南》，该标准明确规定了火电厂对于水污染的防治应遵循分类处理、一水多用的原则，并且鼓励火电厂实现废水零排放。随着废水零排放要求的提出，各火电厂近几年来纷纷开展了废水零排放技术改造。

目前，脱硫废水零排放技术主要有蒸发结晶和烟道蒸发技术两大类。蒸发结晶技术的原理是利用蒸发器进行浓缩结晶，该技术虽然工艺成熟度高，但过高的投资运行成本限制了其在燃煤火电厂中的推广应用。烟道蒸发技术分为主烟道蒸发和旁路烟道蒸发。主烟道蒸发技术的原理是利用双流体喷嘴将脱硫废水喷入空气预热器与电除尘之间的烟道中进行蒸发。该技术具有前期投资少、设备简单等优势，但也存在喷嘴磨损结垢、烟道积灰等问题，影响了主系统运行的稳定性，限制了该技术的应用。在旁路烟道蒸发技术中，目前应用较多的是旋转雾化工艺。该工艺基本原理是抽取约 3%~5% 的空气预热器前高温烟气，脱硫废水通过旋转雾化器喷入设置的干燥塔中，雾化器将脱硫废水雾化成小液滴，高温烟气将雾化后的废水蒸发，析出的盐分颗粒与粉煤灰相互掺杂，较粗颗粒落入灰斗之中，较细颗粒随烟气进入后续除尘设备进行脱除。旋转雾化干燥塔独立于主系统之外，不影响主系统的运行且易于维护。从目前的应用情况来看，旁路烟道蒸发工艺已成为燃煤电厂废水零排放改造的主流工艺，近几年来已得到了大量的工程应用。

随着旁路烟道蒸发工艺技术的大规模快速推广应用，由于缺乏相应的标准要求约束，各电厂在工程项目投运后实际运行效果参差不齐，尤其是缺乏对该工艺技术调试工作的重视，导致了部分项目改造后运行效果不是十分理想。随着环保要求的不断提高，未来将有更多的采用旁路烟道蒸发工艺技术的工程项目投入建设和运行，但是截至目前，尚无关于旁路烟道蒸发系统的调试技术规范。

为规范废水零排放旁路烟道蒸发装置的调试过程，提升系统投运后的运行稳定性，广东省环境科学学会（以下简称省学会）在组织专家立项论证与立项公示无异议后，2021 年 11 月 3 日同意由南方电网电力科技股份有限公司（以下简称

“南网科技公司”)牵头编制《燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试导则》(以下简称《调试导则》)。

二、项目立项目的与意义

燃煤电厂是工业耗水大户,随着水资源的日益匮乏和国家环境保护要求的提高,水的成本在电厂运行成本中所占比例越来越大,因此在有限条件下,尽量做到水资源效益的最大化是燃煤电厂的必然选择。电厂废水零排放改造的实施,在一定程度上节约了能源和水源。废水经处理后实现回收,既减少了废水排放,又实现了水资源的循环利用。

1. 旁路烟道蒸发工艺已成为目前燃煤电厂实现废水零排放的主流工艺

环保要求的日趋严格对火电厂绿色发展提出了更高的要求,“十三五”期间淘汰关停 2000 万千瓦落后煤电机组的目标任务在 2018 年度提前完成,实现清洁、高效、安全、可持续发展是电厂生存必由之路。近年来,我国煤电机组实现超低排放的比例已达到 80%以上,煤电清洁化水平逐步提升,电厂废水治理及零排放改造将是未来煤电清洁发展的另一个焦点。废水零排放在煤电企业中越来越多地被提及,各大发电集团及主力电厂也陆续完成相关改造,逐步实现了废水零排放。

实现废水零排放的关键是实现脱硫废水等末端废水的蒸发固化处理,近年来旁路烟道蒸发技术在运行稳定性、安全性方面来讲更为可靠,且系统简单,投资较低。同时,采用旁路烟道蒸发方式,对主系统无影响,蒸发干燥的固体物质混入粉煤灰进行综合利用,有效解决了结晶盐类物质难以处置的问题。因此,该工艺已成为目前废水零排放处理的主流工艺,已投运和正常改造的机组超过 100 台次。

2. 针对旁路烟道蒸发装置的调试及试运行技术要求缺乏,系统运行问题频发

旁路烟道蒸发技术是近年来新兴的工艺技术,由于缺少对该工艺技术系统调试及试运方面的重视,导致部分项目在投运后问题较多,主要表现在:①对核心设备旋转雾化器未进行系统全面调试,导致设备故障频发;②缺少对系统烟气温

塔底、输灰管路等大面积堵灰，系统不得不停运后进行全面清理；③缺少对系统控制逻辑的优化调试，导致系统运行控制温度不合理，导致系统能耗偏高，影响电厂整体运行的经济性。

3. 团体标准的发布能弥补现行标准的缺位，完善调试标准体系

严格控制工程调试过程的质量，对于整个工程建设的质量至关重要，因此，亟需制定关于燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置相应的调试技术规范。对启动调试、质量验收和评定等过程标准化，给出明确的技术要求，使得该系统调试过程有章可循，从而确保工程调试的质量，为后续系统运行提供有力的保障。

我国近年来对废水零排放旁路烟道蒸发技术进行了大量和广泛的研究，随着相关研究的逐渐深入，旁路烟道蒸发技术也不断优化升级，工程应用大规模增加。在对当前技术现状和发展进行深入分析并充分吸收现有研究成果的基础上，编制团体标准可对现有标准体系进行有效补充完善。团体标准的编制，将有利于该技术的良性发展，进一步提高系统运行的安全可靠性能。

三、工作过程

1. 标准开题及前期准备

2021 年 1 月 22 日，广东省环境科学学会发布《关于征集 2021 年度第一批广东省环境科学学会标准项目的通知》（粤环学〔2021〕1 号）征集团体标准制修订项目。2021 年 5 月，南方电网电力科技股份有限公司（以下简称“南网科技公司”）完成了《燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试导则》（以下简称《调试导则》）团体标准立项申报工作。

2021 年 10 月 25 日，广东省环境科学学会组织专家对《调试导则》进行立项论证，专家一致同意《调试导则》立项。

2021 年 11 月 3 日，广东省环境科学学会按有关规定和要求，完成标准立项公示，公示无异议，发布《广东省环境科学学会关于〈燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试导则〉团体标准项目立项的通知》（粤环学函〔2021〕28 号），同意调试导则编制项目立项。

同月南网科技公司牵头组建标准编制队伍。

2. 标准调研

2021 年 12 月至 2022 年 5 月，在广东省环境科学学会的支持下，编制组通过实地考察、电话视频会议交流等多种方式对国内已投运的废水零排放旁路烟道蒸发装置进行了全面调研，现场实体考察调研对象包括广东省能源集团下属各电厂，华电扬州电厂，上海石洞口电厂等。

广东省能源集团所属电厂共计有 11 家燃煤电厂开展了末端废水零排放技术改造，其中 10 家电厂采用旋转雾化蒸发工艺，1 家电厂采用双流体喷雾干燥工艺，各电厂基本情况详见下表。

序号	单位	机组情况	末端废水零排放技术路线
1	平海发电公司	2×1000MW	高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 2×10 t/h
2	靖海发电公司	2×600MW + 2×1000MW	高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 4×8 t/h
3	粤江发电公司	2×330MW + 2×600MW	高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 4 t/h + 8 t/h
4	红海湾发电公司	2×600MW + 2×660MW	高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 4×10 t/h
5	臻能热电公司	200MW + 330MW + 600MW	机械压缩蒸发浓缩（MVR）工艺 16 t/h+ 高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 3t/h
6	中粤能源公司	2×600MW	烟气余热闪蒸 7.5t/h + 高温烟道旁路旋转 雾化烟气蒸发技术 4t/h
7	云河发电公司	2×300MW	烟气余热闪蒸 8t/h+高温烟道旁路旋转雾化 烟气蒸发技术 2t/h
8	大埔发电公司	2×600MW	高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 2×10t/h
9	湛江电力公司	4×330MW	电渗析浓缩减量 20t/h+主烟道蒸发 3t/h/ 高温烟道旁路旋转雾化烟气蒸发技术 3t/h
10	珠海电厂	2×700MW	烟气余热闪蒸工艺+高温旁路烟气双流体 喷雾干燥法 10t/h
11	金湾电厂	2×600MW	膜浓缩 21 t/h+高温烟道旁路旋转雾化烟气 蒸发技术 6 t/h

3. 标准文本编制

2021 年 5 月至 9 月，编制组完成了对调试导则初稿的编制。编制组对广东省内多家燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置等基本情况进行了全面调研，对收集的系统运行重要参数、存在问题等进行了整理与分析。

同时编制组开展了大量的文献调研工作。在法规标准方面，编制组对国家及行业关于燃煤电厂调试相关标准进行了全面收集分析，确保本调试导则内容与调试标准体系保持统一；在旁路烟道蒸发工艺方面，编制组对该工艺技术的废水蒸发机理、影响参数、控制策略等开展了文献调研，并进行了相关试验研究，为调试导则的编制提供了技术支撑。

在多次实地考察、多渠道的数据整理与文献调研后，编制组对调试导则初稿进行了补充修改完善，于 2022 年 7 月草拟形成调试导则的草案稿及其编制说明。

2023 年 7 月广东省环境科学学会组织召开标准专家咨询会，对标准进行了审查咨询，编制组根据专家意见对调试导则进行了进一步修改完成，形成了征求意见稿及其编制说明。

四、国内外标准法规现状

1. 我国相关政策

国务院于 2015 年 4 月发布了《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号）。以下简称：《水十条》。制定《水十条》，是党中央、国务院实施全面建成小康社会、全面深化改革、全面依法治国重要战略，推进环境治理体系和治理能力现代化的重要内容，体现民意、顺应民心，必将对我国的环境保护、生态文明建设和美丽中国建设，乃至整个经济社会发展方式的转变产生重要而深远的影响，意义重大。

在工业节水方面，《水十条》明确要求：着力保护水资源，控制用水总量，实施最严格水资源管理，严控地下水超采，提高用水效率，抓好工业节水。开展节水诊断、水平衡测试、用水效率评估，严格用水定额管理。到 2020 年，电力、钢铁、纺织、造纸、石油石化、化工、食品发酵等高耗水行业达到先进定额标准。在污染排放控制方面，针对工业、城镇生活、农业农村和船舶港口等污染来源，《水十条》明确指出全面控制污染排放，并提出了相应的减排措施。在严格执法

方面,《水十条》重拳打击违法行为,要求加大执法力度,完善国家督查、省级巡查、地市检查的环境监督执法机制。对环保违法行为“零容忍”。对偷排偷放、非法排放有毒有害污染物、非法处置危险废物、不正常使用防治污染设施、伪造或篡改环境监测数据等恶意违法行为,依法严厉处罚;对违法排污及拒不改正的企业按日计罚,依法对相关人员予以行政拘留;对涉嫌犯罪的,一律迅速移送司法机关。对超标超总量排污的违法企业采取限制生产、停产整治和停业关闭等措施。

水利部、国家发展改革委于 2016 年 10 月印发《“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动方案》(水资源司[2016]379 号)。方案明确指出,坚持节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力,切实落实最严格水资源管理制度,控制水资源消耗总量。在工业节水方面,方案要求进一步完善国家鼓励和淘汰的用水技术、工艺、产品和设备目录,重点开展火电、钢铁、石化、化工、印染、造纸、食品等高耗水工业行业节水技术改造,大力推广工业水循环利用,推进节水型企业、节水型工业园区建设。到 2020 年,高耗水行业达到先进定额标准。

2017 年 5 月,环境保护部发布《火电厂污染防治可行技术指南》(HJ2301-2017),该行业标准对火电厂废水近零排放技术提出了相应要求,明确指出,实现废水近零排放的关键是实现脱硫废水零排放。但目前国内暂无关于废水零排放相关的强制性政策要求。

各大发电集团近几年也开展了废水零排放改造试点应用,并发布了相应的废水零排放治理规划。广东省粤电集团于 2017 年 8 月发布《粤电集团火电厂“十三五”废水治理规划》,规划指出,火电厂废水治理工作应“因地制宜、一厂一策,节水优先、分类治理,统筹规划、分步实施”。首先,从全局出发,对电厂取水、用水、废水回用、废水排放等各个环节进行统筹规划,实现水资源的高效、合理利用;按照统筹规划、分步实施的原则,完成现役机组合规取水、达标排放问题整改与系统升级改造,逐步实现高效节水,带动水污染防治工作的全面展开;按照因地制宜、一厂一策的原则,根据火电厂所在区域水环境管理不同,分开治理,废水治理以节水和减排为初步目标,零排放为最终目标。

2. 国内外相关标准

现有标准中,针对火力发电机组调试的标准主要包括有:DL/T 5294-2013《火

力发电建设工程机组调试技术规范》、DL/T 5437-2009《火力发电建设工程启动试运及验收规程》、DL/T 5210.6-2019《电力建设施工质量验收规程 第6部分：调整试验》等，主要对火力发电机组的调试、启动试运、质量验收和评定给出了相应的规定。

针对火电厂化学环保相关设施的调试标准主要包括有：DL/T 1076-2017《火力发电厂化学调试导则》、DL/T 1695-2017《火力发电厂烟气脱硝调试导则》、DL/T 1696-2017《石灰石-石膏湿法烟气脱硫调试导则》。随着废水零排放政策要求的提高及旁路烟道蒸发装置的大量应用，未来旁路烟道蒸发装置将成为火电厂重要的环保设备之一，但针对燃煤电厂废水旁路烟道蒸发系统的调试技术标准，目前国内外尚无相关的技术标准，相关标准的制定尚处于空白状态。

五、废水零排放旁路烟道蒸发技术发展现状

要达到废水零排放，需考虑的问题包括：投资，运行成本，工艺成熟度和可靠性，操作难易和复杂程度等。根据当前废水零排放技术发展和前期调研情况来看，真正实现脱硫废水零排放，基本的工艺技术路线为：“深度预处理+浓缩减量+蒸发固化”，不同电厂根据自身的实际情况选择不同工艺段，进行优化组合。蒸发固化是实现废水零排放的最终环节，选择成熟可靠的蒸发固化技术工艺是能否真正实现废水零排放的关键所在。

1. 主烟道蒸发工艺

该工艺基本工作原理为：脱硫废水浓水经压缩空气雾化后，喷入空气预热器和电除尘器间的烟道，利用热烟气使废水完全蒸发，废水中的污染物转化为固体盐类，随烟气中的飞灰一起被电除尘器收集下来。工艺流程图见图 5-1。

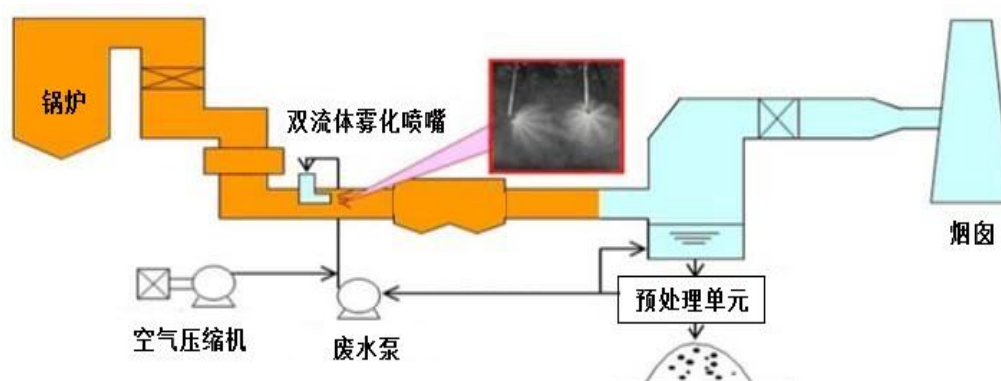


图 5-1 主烟道蒸发工艺流程图

此技术具有无废水排放、不会造成二次污染、建设运行费用低、占用空间少、不需额外能量输入以及不产生多余固体等优点。但不可否认的是，该技术应用时也存在一些问题，包括：当废水中大颗粒堵塞喷嘴，喷嘴雾化效果将下降；烟道内喷嘴等设备需要检修时不能单独隔离；受机组负荷影响大，处理水量不足；空预器后烟温偏低，而且加装低温电除尘以后导致可利用烟道长度缩短，蒸发不彻底，导致积灰和腐蚀等。

脱硫废水的主烟道雾化蒸发处理工艺在国内已有数家应用案例，在运行过程中也发现了一些问题，比如烟道腐蚀、积灰、结垢、输水系统压力不稳等。采用该工艺电厂有内蒙古上都电厂、焦作万方电厂等。

莫电厂该工艺连续运行一段时间后，喷头基本全部结垢堵塞，烟道出现大面积结垢、腐蚀，垢样呈现水泥硬块形式，很难清理，如图 5-2。



图 5-2 脱硫废水主烟道蒸发案例喷头及烟道壁结垢照片

2. 旁路烟道蒸发工艺

考虑到脱硫废水的主烟道雾化蒸发处理工艺存在一些运行问题，国内已有大量电厂采用了旁路烟道雾化蒸发工艺。基本原理为：总量的 3%—5% 烟气从现有空气预热器前的主烟道引出一部分，进入喷雾干燥塔，与经过高速雾化器雾化的脱硫废水（已经过预处理）充分接触，处理后的烟气排入除尘器前的主烟道中，干燥塔下部的灰渣及析出的盐类通过仓泵输送至电厂粗灰库或回至除尘器回收，从而实现脱硫废水的零排放。

该工艺的具体工艺说明如下：

- (1) 在空预器旁路单设干燥塔，与主机完全隔离，独立成为系统；
- (2) 系统取锅炉脱硝后空预器前的热烟气作为热源；脱硫废水处理量视主机负荷和运行情况进行调整；
- (3) 干燥塔出口烟气接至除尘器入口前主烟道的正中间，可避免影响除尘器的原有流场和除尘效果；
- (4) 干燥塔内干燥形成的结晶盐和灰随出口烟气进入主除尘器入口烟道，同主烟气混合均匀并进入除尘器，可让结晶盐均匀分布在灰中。

该工艺的工艺流程图如图 5-3 所示。

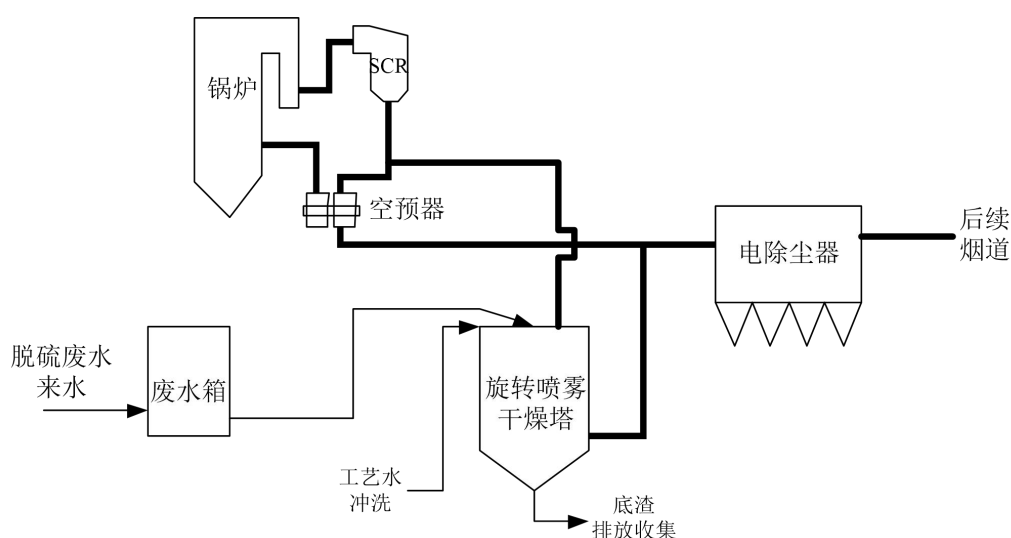


图 5-3 旁路烟道蒸发工艺流程图

该工艺的关键技术在于旋转喷雾干燥塔，将脱硫废水经过旋转雾化器离心力作用，将液料雾化成平均粒径 $10\sim 60\mu\text{m}$ 的细雾滴喷入干燥塔内，利用空预器前的锅炉热烟气作为热源，在喷雾干燥塔内将废水蒸发，水分进入烟气中，废水中的盐类干燥后被收集下来，达到脱硫废水零排放的目的。通过控制气体分布、雾滴流速、雾滴粒径等，使雾化后的雾滴到达干燥塔壁之前，雾滴已被干燥，废水中的盐类最终形成粉末状的产物。大部分干燥产物随烟气进入除尘器处理，少部分落入干燥塔底端后被收集转运。

该工艺的核心设备是旋转雾化器（如图 5-4 所示），旋转雾化器除具有高可靠性、易维护、耐磨、雾化均匀等优点外，其喷浆量的调节范围广，对烟气温度、烟气成分、烟气量等的变化适应性强，能快速响应机组工况的变化。

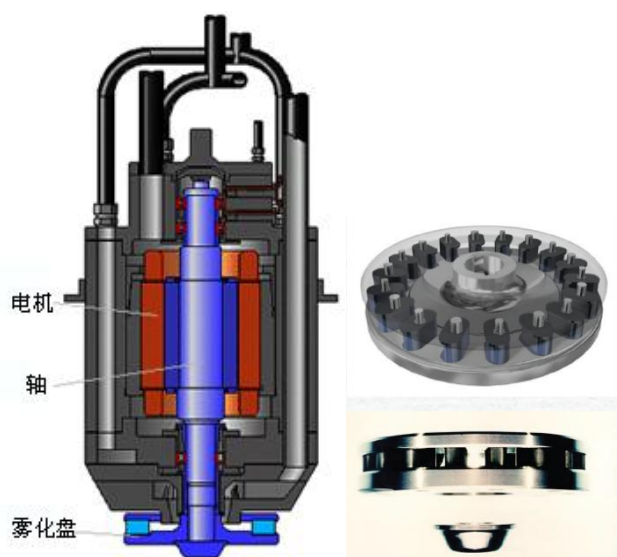


图 5-4 旋转雾化器示意图

该工艺装置主要系统配置如下：

- 1) 废水输送系统：将预处理后的脱硫废水直接输送至干燥塔，主要设备为喷雾水箱及废水输送泵；
- 2) 烟气系统：需新增空预器前至干燥塔，干燥塔至电除尘器前部烟道，烟气系统中各烟道挡板门的调试是系统正常运行的关键；
- 3) 雾化干燥系统：雾化干燥系统是该工艺的核心，主要设备包括有：①干燥塔，用来实现烟气与雾滴充分混合，在塔内完成废水的完全蒸发；②烟气分布装置，塔内通过烟气分布装置保证烟气和雾滴充分接触，同时避免雾滴形成粘壁现象；③旋转雾化器，整个工艺的核心部件，通过旋转实现液滴的雾化，需配套冲洗系统，采用工艺水作为冲洗水。
- 4) 输灰系统：在干燥塔底设置输灰系统，可根据实际情况选择确定输灰去向；
- 5) 电气及热控系统：根据工艺要求配置电气系统、热控系统。

3. 烟气余热蒸发工艺

该工艺是从电除尘后的烟道内抽出一部分的烟气经过风机升压后进入浓缩塔，脱硫废水在塔内循环，水分蒸发为水蒸汽后，被烟气带走至脱硫塔；盐分及重金属、悬浮物则均在塔底的浆液箱中浓缩富集；浓缩的浓浆液加入消石灰调质后再送至污泥压滤机，经压缩脱水，压缩的污泥作为固体废弃物排出，压出的滤液可以根据电厂情况选择不同的处理方式：

将浓液喷入专用干燥器，经过干燥后的粉末，随同热烟气一起送入电除尘器前烟道，氯离子、重金属被电除尘捕捉；也可将浓液喷至干渣系统，利用底渣余热及渣井的辐射热进行蒸发，结晶盐随灰渣排出。烟气余热浓缩蒸发工艺流程图如图 5-5 所示。

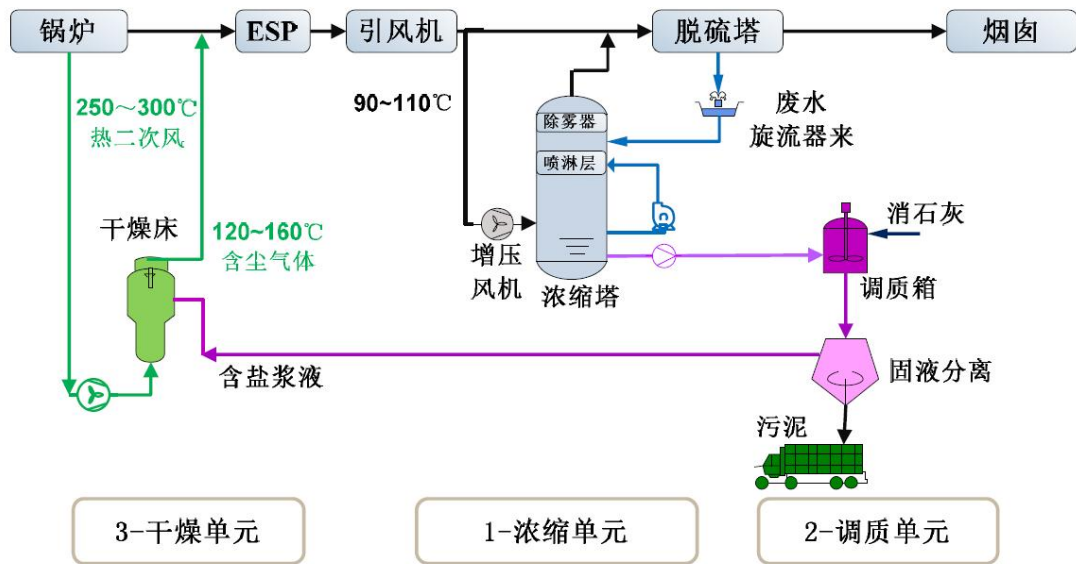


图 5-5 烟气余热蒸发工艺流程图

烟气余热浓缩蒸发技术的优点为：利用烟气余热与脱硫废水直接接触，利用了难以利用的废热，无其它热源消耗。

但是该工艺也存在诸多缺点：1）需要布置在脱硫塔附近，浓缩塔外形尺寸较大，布置需综合考虑；2）系统复杂，除浓缩塔外，还需配置增压风机、循环泵、除雾器等相关设备，系统设备较多，工艺复杂，运行维护工作量大；3）由于浓缩塔内不添加任何药剂，脱硫废水的酸度通过长时间浓缩后最终会达到 pH 值 0.3 左右而且氯离子、氟离子和硫酸根离子均很高。因此防腐是该工艺要解决的重要问题，设备的材料选择要比常规脱硫塔更高；4）废水不断浓缩后系统内废水含固量很高，系统设备及管道存在堵塞等问题；5）系统最终产物为含盐量高且成分复杂的污泥，是否为危险废物尚无明确界定，在环保要求日益严格的大背景下，该固废的最终处置较为困难，处置成本非常高，这也制约了该工艺的应用。目前该技术尚无工程案例，仅在成都金堂电厂 2×600MW 机组（中试项目）、国电鄂州电厂 2×1000MW 有相关试验应用。

4. 脱硫废水蒸发固化工艺技术对比

主烟道蒸发、旁路烟道蒸发、低温余热蒸发浓缩等工艺均是近几年发展起来的脱硫废水零排放处理工艺，采用高温或低温烟气作为热源对脱硫废水进行固化处理。

主烟道喷雾采用的烟气为除尘器前烟气，烟温在 130 度左右，旁路烟气蒸发技术采用烟气为 SCR 后烟气，烟温在 330 度以上。较高温度的烟气可在短时间内将废水固化，并且固化产生的盐完全干化，不易挂壁结垢，产生的固体盐都随烟气进入除尘系统；而较低温度对于废水固化速率较慢，当废液中致垢离子含量较高时容易使液滴表面形成固体壳，但内部并未干化，容易碰壁后形成晶体附着，从而大面积结垢，因此要控制喷入烟道内废液量与烟气量相匹配。同时由于烟道喷雾干燥受烟道布置影响较大，除尘器前烟道距离短，没有足够的固化时间，对烟道内烟气流场控制不佳时，会大大提高烟道结垢风险。烟气余热蒸发技术利用电除尘与脱硫塔之间的低品位热源直接蒸发从脱硫废水旋流器出来的脱硫废水，无需对脱硫废水预处理，不过需要抽取大量烟气，会产生一种盐、粉煤灰与石膏的混合物固废。

对目前蒸发固化工艺段已有实际应用的各技术对比分析详见表 5-1。

表 5-1 蒸发固化工艺段主要技术对比

项目	旁路烟气蒸发	主烟道蒸发	烟气余热浓缩
适用范围	可蒸发浓度较高的溶液，对于粘度较大的物料也能适用，适宜情况下可适用于预沉淀后的脱硫废水原水	可蒸发浓度较高的溶液，对于粘度较大的物料也能适用，但不适合易结垢物料	可蒸发浓度较高的溶液，对进水水质要求较低，预处理仅需部分软化
运行可靠性	较高	较低	较低
一次性投资	低	很低	高
运行费用	很低	很低	低
占地面积	较小	很小	大
控制方式	自动化程度较高	自动化程度较高	自动化程度高，运行管理简单

项目	旁路烟气蒸发	主烟道蒸发	烟气余热浓缩
维护强度	低	较高	高
技术成熟度	较高	较低	较低
应用案例	山西临汾热电厂； 浙能长兴电厂等	上都电厂； 土右电厂；	国电金堂电厂； 湖北鄂州电厂
固体产生	无	无	产生石膏、结晶盐、粉煤灰的混合物
环保风险性	低	低	高

综上所述，综合考虑系统运行稳定性、安全性、经济性等因素，采用旁路烟道蒸发工艺具有较大优势，系统简单，投资运行费用较低，单独设置干燥塔，对主烟道系统基本无影响；可进行底渣和飞灰分置，不影响灰的综合利用，消除结晶盐处置问题。旁路烟道蒸发工艺已成为目前脱硫废水零排放最终蒸发固化处理的主流工艺，本标准对该工艺的调试程序、内容、技术要点等提出了相应的要求，其他工艺可参照执行。

六、文件内容结构

- 1 范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语和定义
- 4 总则
- 5 调试工作程序
- 6 分部试运
- 7 系统整套启动试运
- 8 系统停运
- 9 系统异常处理
- 10 技术档案管理

七、主要条文说明

1 范围

本文件规定了燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置分部试运和整套启动试运的内容、程序、要点等技术条件和一般原则。

本文件适用于燃煤电厂脱硫废水或末端高盐废水采用旁路烟道旋转雾化蒸发装置的启动、调试，其他工艺类型的烟道蒸发装置启动、调试可参照执行。

2 规范性引用文件

本部分为燃煤电厂废水零排放旁路烟道蒸发装置调试需要遵循的相关标准和文件。这些标准和文件的有关条文将成为本标准的组成部分。

3 术语和定义

本部分为执行本文件制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义。

表 7-1 术语和定义来源

术语	定义来源
3.1 旁路烟道蒸发	自定义
3.2 分部试运	改自 DL/T 1696-2017 3.1 部分
3.3 整套启动试运	改自 DL/T 1696-2017 3.2 部分
3.4 长期停运	改自 DL/T 1696-2017 3.4 部分
3.5 短期停运	改自 DL/T 1696-2017 3.5 部分
3.6 短时停运	改自 DL/T 1696-2017 3.6 部分
3.7 紧急停运	改自 DL/T 1696-2017 3.7 部分

4 总则

本章提出了旁路烟道蒸发装置调试的总体要求。

4.1 本条明确了旁路烟道蒸发装置调试的主要阶段，包括分部调试和整套启动试运两部分。

4.2 本条明确了调试工作的组织机构。

4.3 本条明确了调试单位及调试人员的要求。

4.4 本条明确了调试用仪器仪表的要求。

4.5 本条明确了分系统调试、整套启动及满负荷试运措施的编制及审批要求。

5 调试工作程序

本章提出了调试工作程序，总体按照 DL/T 5437 相关要求执行，对调试大纲、调试措施（方案）、调试措施技术交底记录、分系统条件检查表，连锁保护确认表、质量检验及评定的编制给出了明确要求。

6 分部试运

6.1 本条参照 DL/T 5294 提出了分部试运通则，是分部试运过程的总体要求，包括试运条件、试运内容及分工、分部试运技术管理要求、单机试运要求、分系统调试要求。

6.1.1 本条明确了试运条件，包括组织机构、人员配置、安全、仪器仪表等相关条件要求。

6.1.2 本条明确了试运内容及分工，对单体调试、分系统试运的内容及分工进行了明确划分。

6.1.3 本条明确了分部试运技术管理要求。

6.1.4 本条明确了单机试运要求。

6.1.5 本条明确了分系统调试要求，明确分系统试运合格后应完成分系统试运记录，按 DL/T 5210.6 附录 A 编制分系统调试分项工程质量验收表并完成验收签证。

6.2 本条明确了分系统试运调试项目及要点，参照 DL/T 5294 锅炉专业、化学专业、电气专业、热控专业相关内容进行编制。根据旁路烟道蒸发装置组成，将分系统划分为废水输送系统、烟气系统、雾化干燥系统、输灰系统、热控系统、电气系统。

6.2.1 本条提出了废水输送系统的调试要点。

6.2.2 本条提出了烟气系统的调试要点。

6.2.3 本条提出了雾化干燥系统的调试要点。

6.2.4 本条提出了输灰系统的调试要点。

6.2.5 本条提出了热控系统的调试要点。

6.2.6 本条提出了电气系统的调试要点。

7 系统整套启动试运

7.1 本条参照 DL/T 5294 提出了整套启动调试通则，是整套启动过程的总体

要求，包括整套启动试运的任务和要求、现场具备的条件、设备系统条件、组织机构和技术文件。

7.1.1 本条明确了整套启动试运的任务和要求，整套启动试运分为系统整套启动、热态调试及满负荷试运行三个阶段。

7.1.2 本条明确了整套启动现场需具备的条件。

7.1.3 本条明确了设备系统条件。

7.1.4 本条明确了组织机构和技术文件要求。

7.2 本条提出了系统整套启动的具体要求，包括启动顺序、整套启动要点。

7.2.1 本条根据系统技术特点，提出了系统启动顺序。

7.2.2 本条提出了整套启动要点，包括烟气系统、雾化干燥系统、废水水量与烟气量匹配控制、热工仪表校验等关键技术要点。

7.3 本条提出了系统热态调试的具体要求。

7.3.1 明确了对系统进水水质检测要求，应检测的指标包括水温、pH、电导率、TDS、Cl⁻、Ca⁺等，进水水质应满足设计要求。

7.3.2 明确调整旋转雾化器运行方式，确定旋转雾化器最低运行频率，保证雾化效果满足设计要求。

7.3.3 明确了热态调试阶段需进行机组负荷、烟气量与处理废水量的运行匹配调整试验。

7.3.4 基于 7.3.3 的调试结果，进行烟气量自动控制调试，入口烟气量可根据干燥塔出口烟气温度变化实现自动调整。

7.3.5 基于 7.3.3 的调试结果，进行废水量自动控制调试，废水处理量可根据干燥塔出口烟气温度变化实现自动调整。

7.3.6 调整运行方式，满足设计机组负荷范围内的全过程调整要求，保证系统随机组负荷变化时调整的及时性与稳定性。

7.3.7 调整运行方式，对塔底灰进行取样分析，明确要求保证灰分含水率小于 2%。

7.3.8 明确要求对输灰系统进行热态调试，实现自动输灰，输灰频次满足系统稳定运行要求。

7.4 本条提出了系统满负荷试运的具体要求，包括满负荷试运条件、考核验收标准、试运质量检验评定要求及其他要求。

7.4.1 本条明确了满负荷试运所需具备的条件。

7.4.2 本条参照 DL/T 5437 规定了考核验收标准，关于考核试运时间，明确要求系统连续运行不得中断，5t/h 及以上的废水零排放旁路烟道蒸发装置参照 300MW 及以上机组的要求执行，连续运行时间不小于 168h，5t/h 以下的废水零排放旁路烟道蒸发装置参照 300MW 以下机组的要求执行，按不小于 72h 进行考核。关于试运期间主要考核要求，原则上试运期间废水处理量应不小于设计处理量的 90%；如因各种原因使机组负荷受限，应由有关部门确定最大的允许负荷，但负荷条件应满足系统连续运行要求。

7.4.3 本条明确了废水零排放旁路烟道蒸发装置完成满负荷试运的验收评定要求，按照附录 G 执行。

7.4.4 本条明确了系统满负荷试运的其他要求。

8 系统停运

8.1 本条提出了长期停运的技术要求，包括 8.1.1 停运顺序和 8.1.2 停运要点。

8.2 本条提出了短期停运的技术要求，包括 8.2.1 停运顺序和 8.2.2 停运要点。

8.3 本条提出了短时停运的技术要求，包括 8.3.1 停运顺序和 8.3.2 停运要点。

8.4 本条提出了紧急停运的技术要求，包括 8.4.1 紧急停运内容和 8.4.2 停运要点。

9 系统异常处理

9.1 本条明确了系统异常处理的一般原则。

9.2 本条规定了废水输送系统异常处理的具体要求。

9.3 本条规定了烟气系统异常处理的具体要求。

9.4 本条规定了雾化干燥系统异常处理的具体要求。

9.5 本条规定了输灰系统异常处理的具体要求。

10 技术档案管理

10.1 本条规定了调试过程应具备的技术（记录）文件。

10.2 本条规定了技术档案的提交要求，要求满负荷试运结束 45 天后正式移交调试技术资料。

附录

附录 A 为资料性附录，规定了废水零排放旁路烟道蒸发装置调试大纲编制

内容及编审程序。

附录 B 为资料性附录，规定了废水零排放旁路烟道蒸发装置调试方案编制内容及编审程序。

附录 C 为资料性附录，规定了废水零排放旁路烟道蒸发装置调试措施交底记录表。

附录 D 为资料性附录，规定了条件检查确认表。

附录 E 为资料性附录，规定了现场调试记录表。

附录 F 为资料性附录，规定了逻辑连锁保护确认表。

附录 G 为资料性附录，规定了调试质量检验评定表。