

ICS 号
中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/SDPEA 0002-2018

火力发电厂湿法脱硫废水零排放

Zero discharge of wastewater from wet desulfurization for thermal power plants

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

山东省电力企业协会 发 布

目 次

目次.....I

前言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 基本要求.....2

5 技术要求.....3

6 测试方法.....4

编制说明.....5

前 言

本标准是根据《山东省电力企业协会关于<火力发电厂废水资源化再利用>等团体标准的立项公告》（鲁电协行业[2018]46号）的计划安排，依据国家、行业相关标准和《山东省电力行业团体标准管理办法》，为指导和规范山东省电力行业火电企业开展脱硫废水零排放工作而制定的。本标准在编写格式、内容、用词用语等方面符合 GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求。

本标准由山东省电力企业协会提出。

本标准由山东省电力企业协会标准委员会归口。本标准由聊城信源集团有限公司解释。

本标准主要起草单位：聊城信源集团有限公司、华电电力科学研究院有限公司、山东奥特高科环保科技有限公司。

本标准主要起草人：晋银佳、江建平、刘传东、周捷、唐国瑞、段浩然、王随峰、朱跃

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见和建议反馈至山东省电力企业协会标准委员会办公室（山东省济南市历下区经十路 9777 号鲁商国奥城 4 号楼 3 层，250101）。

火力发电厂湿法脱硫废水零排放

1 范围

本标准规定了火力发电厂石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺中脱硫废水零排放处理技术的内容、方法和程序。

本标准适用于火力发电厂石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺中脱硫废水基于烟气蒸发处理的零排放处理技术。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

GB/T 4957 非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法

GB/T 5750 生活饮用水标准检验法

GB/T 6719 袋式除尘器技术要求

GB/T 11901 水质 悬浮物的测定 重量法

GB 13200 水质 浊度的测定

GB/T 13931 电除尘器 性能测试方法

DL/T 606.5 火力发电厂能量平衡导则 第5部分：水平衡试验

DL/T 997 火电厂石灰石-石膏湿法脱硫废水水质控制指标

DL/T 1337 火力发电厂水务管理导则

DL/T 5068 发电厂化学设计规范

DL/T 5483 火力发电厂再生水深度处理设计规范

JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

脱硫废水 flue gas desulfurization wastewater (FGD wastewater)

燃煤电厂采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺中排放的浆液经过固液分离处理后产生的废水。

3.2

烟气雾化蒸发 flue gas atomization evaporation

废水通过物理方式被雾化成细微液滴后，在烟气的加热作用下实现蒸发，蒸发后的水蒸气随着烟气进入除尘器入口前烟道内，主要分为锅炉主烟道雾化蒸发和旁路烟道雾化蒸发两种工艺。

3.3

主烟道雾化蒸发 main flue atomization evaporation

利用除尘器入口前主烟道内烟气的热量将雾化后的废水液滴蒸发的处理工艺。

3.4

T/SDPEA 002-2018

旁路烟道雾化蒸发 bypass flue atomization evaporation

将空预器入口前主烟道内烟气引入新建的旁路烟道内，废水在旁路烟道内雾化蒸发，然后引入除尘器入口前烟道内的处理工艺。

3.5

脱硫废水预处理 FGD wastewater pretreatment

通过一系列处理措施实现去除废水中的固体悬浮物、调节 pH 值和软化废水等目的。

3.6

深度过滤 depth filtration

通过高精度过滤装置实现脱硫废水中固体悬浮物的高效脱除，处理出水固体悬浮物含量小于 20 mg/L，固体悬浮物粒径小于 10 μm。

4 基本要求

4.1. 烟气条件

4.1.1 烟气温度

对于主烟道雾化蒸发工艺，废水雾化后喷入烟道处烟气温度须不低于 120℃，并且保证废水蒸发后所在位置的烟气温度不低于 115℃；

对于旁路烟道雾化蒸发工艺，废水雾化后喷入烟道处烟气温度一般为 330~350℃，并且保证废水雾化蒸发后进入除尘器前的主烟道烟气温度不低于 120℃。

4.1.2 烟气量

对于主烟道雾化蒸发工艺，通常情况下，每蒸发一吨废水需要的烟气量不小于 300000 m³，即蒸发废水水量为 1 m³/h 需要烟气量 ≥ 300000 m³/h；

对于旁路烟道雾化蒸发工艺，根据所引接烟气温度的不同，需要的烟气量不同，一般情况下，每蒸发一吨废水需要的烟气量约为 10000~11000 m³，即蒸发废水水量为 1 m³/h 需要烟气量 ≥ 10000~11000 m³/h。

4.1.3 粉煤灰磨损特性

粉煤灰磨损特性与其颗粒物大小、形状、硬度、结焦性和化学成分等因素有关，但主要取决于灰中 SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ 等成分含量，通常用粉煤灰磨损指数 *Hm* 来表征，按式（1）计算：

$$Hm = \frac{A (SiO_2 + 0.8Fe_2O_3 + 1.35Al_2O_3)}{100} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A ——粉煤灰收到基中灰分含量，单位为百分数（%粉煤灰的磨损特性判别见表 1。

表 1 粉煤灰磨损特性

磨损指数	磨损倾向
$Hm < 10\%$	轻微
$Hm = 10 \sim 20\%$	中等
$Hm > 20\%$	严重

4.2. 烟道条件

对于主烟道雾化蒸发工艺，安装废水雾化蒸发装置处的烟道要求为水平直烟道，烟道长度>10 m。当烟道内支撑结构较少时，需进行烟道内支撑改造，避免系统运行中出现烟道内支撑严重结垢。

对于旁路烟道雾化蒸发工艺，旁路烟道的设计须考虑引接烟气量大小及废水雾化方式，旁路烟道内烟气流速控制在 15 m/s 左右，蒸发段长度宜不小于 6 m。

4.3. 雾化喷嘴

雾化喷嘴的材质应参照粉煤灰磨损特性进行选型，根据表 1，粉煤灰磨损倾向轻微时，雾化喷嘴宜选用 1.4529 合金钢及以上等级的材质；粉煤灰磨损倾向中等时，雾化喷嘴宜选用 2205 合金钢及以上等级的材质；粉煤灰磨损倾向严重时，雾化喷嘴宜选用哈氏合金及以上等级的材质。

根据废水雾化原理不同，雾化喷嘴主要有双流体雾化和旋转雾化两种。对于双流体雾化喷嘴，单个喷嘴的雾化水量不宜超过 0.5 m³/h；对于旋转雾化喷嘴，单个喷嘴的雾化水量不宜超过 5 m³/h。

5 技术要求

5.1. 预处理要求

脱硫废水在进行雾化蒸发前需进行预处理，去除固体悬浮物，保证雾化系统的稳定运行。

在废水不需要进行浓缩减量处理时，预处理后的废水中固体悬浮物含量<10 mg/L，pH 值为 7~9；在废水需要进行浓缩减量处理时，废水的预处理包括软化处理和除浊处理，预处理后的废水硬度（以 CaCO₃ 计）不超过 1 mmol/L，浊度不超过 2NTU。

5.2. 雾化要求

废水的雾化效果直接影响废水的蒸发，其要求见表 2。

表 2 废水雾化特性

烟气温度	废水雾化颗粒平均粒径
120~130℃	<40 μm
130~140℃	<50 μm
>140℃	<60 μm

5.3. 烟道吹灰要求

在废水雾化喷嘴下游 2 m、4 m、6 m 位置处设置积灰测试装置，每 8 小时测试一次，要求测试装置表面积灰厚度<1 mm。

5.4. 粉煤灰成分要求

粉煤灰中水溶性氯离子含量≤0.5%。

5.5. 除尘系统影响要求

5.1.1 对于静电除尘系统，废水烟气流化蒸发处理系统的运行对运行电压、电流参数以及除尘效率没有明显影响。

5.1.2 对于布袋除尘系统，废水烟气雾化蒸发处理系统的运行对运行压差以及除尘效率没有明显影响。

5.1.3 对于电袋除尘系统，废水烟气雾化蒸发处理系统的运行对运行电压、电流参数、压差以及除尘效率没有明显影响。

6 测试方法

6.1 预处理系统除油效果

预处理系统出水的固体悬浮物含量确定，测试方法参照 GB/T 11901；

预处理系统出水的浊度确定，测试方法参照 GB 13200；

预处理系统出水的硬度确定，测试方法参照 GB/T 5750。

6.2 雾化效果

采用激光粒度仪检测废水雾化的平均粒径。

6.3 烟道吹灰效果

在废水雾化喷嘴下游 2 m、4 m、6 m 位置处设置积灰测试装置，每 8 小时测试一次，测试方法参照GB/T 4956 或GB/T 4957。

6.4 粉煤灰中氯元素

粉煤灰中氯元素测试方法参照 JGJ/T 322。

6.5 除尘系统除尘效率

除尘系统的除尘效率测试方法参照 GB/T 6719 或 GB/T 13931。

火力发电厂湿法脱硫废水零排放

编 制 说 明

目 次

1	工作简况.....	7
2	标准制定的必要性.....	8
3	国内外相关标准研究.....	8
4	主要条款说明.....	8
5	标准实施的建议.....	11

1 工作简况

1.1 任务来源

据统计，国内超过 90%的燃煤电厂烟气脱硫采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，工艺系统运行过程中为了保证脱硫吸收塔的浆液品质需要定期排放部分脱硫浆液，由此产生脱硫废水。脱硫废水由于具有固体悬浮物含量高、含盐量高等特点，处理难度较高，在部分地区要求脱硫废水实现“零排放”处理，使得电力企业面临较大的环保压力。目前，脱硫废水“零排放”处理技术较多，其中烟气雾化蒸发处理技术具有系统简单、投资运行成本低、无结晶盐产生等优点得到较多的关注和应用。

由于脱硫废水烟气雾化蒸发零排放处理技术对烟气条件、烟道条件要求较高，并且系统设计合理性直接决定了工艺系统的运行稳定性和安全性。因此，急需制定一个脱硫废水烟气雾化蒸发零排放处理技术标准规范，从而更好地规范和指导脱硫废水烟气雾化蒸发处理技术的发展和运用，为脱硫废水的“零排放”处理提供技术保障。

山东省电力企业协会于2018 年6 月份批准该项目立项（鲁电协行业[2018]46 号）并将《火力发电厂湿法脱硫废水零排放》团体标准制定列入 2018 年计划。

1.2 工作过程

2017 年8 月开始，标准编制相关人员开始进行相关资料收集与背景调研，对脱硫废水烟气雾化蒸发处理技术的发展及应用情况进行了现场调研，并对技术的优化运行进行了调查和研究，确定了脱硫废水烟气雾化蒸发处理技术规范初步技术要求。

2018 年1 月，聊城信源集团有限公司、华电电力科学研究院有限公司、山东奥特高科环保科技有限公司成立本团体标准工作组，开展标准的相关制定工作。

2018 年2 月-4 月，针对脱硫废水烟气雾化蒸发处理技术的应用情况进行深入调研，并对标准的制定进行讨论，确定了标准的框架内容。

2018 年5 月-6 月，完成《团体标准立项申请书》和标准大纲的编写，并报山东省电力企业协会备案。山东省电力企业协会组织对申报标准进行立项讨论并正式立项。

2018 年 7 月，完成本团体标准征求意见稿及编制说明的编写，进行广泛的意见征求。

1.3 主要起草单位及起草人

表 1 主要起草单位及起草人

起草单位	起草人	主要工作
华电电力科学研究院有限公司	晋银佳	技术规范、标准编制
聊城信源集团有限公司	刘传东	参与技术规范、标准编制
华电电力科学研究院有限公司	江建平	参与技术规范、标准编制
华电电力科学研究院有限公司	唐国瑞	参与技术规范、标准编制
华电电力科学研究院有限公司	段浩然	参与技术规范、标准编制
山东奥特高科环保科技有限公司	周捷	参与技术规范、标准编制
山东奥特高科环保科技有限公司	王随峰	参与技术规范、标准编制
华电电力科学研究院有限公司	朱跃	技术规范、标准编制总指导

2 标准制定的必要性

2.1 标准编制原则

本标准是根据《山东省电力企业协会关于<火力发电厂废水资源化再利用>等团体标准的立项公告》（鲁电协行业[2018]46号）的计划安排，依据国家、行业相关标准和《山东省电力行业团体标准管理办法》，为指导和规范山东省电力行业火电企业开展脱硫废水零排放工作而制定的。本标准在编写格式、内容、用词用语等方面符合 GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求。

本标准适用于火力发电厂石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺中脱硫废水基于烟气雾化蒸发处理的零排放技术的可行性论证、系统设计、系统性能考核，贴近实际运行工况，能够更好地反映系统运行状况，具有较强的实用性和可操作性。

2.2 主要技术内容

本标准规定了脱硫废水烟气雾化蒸发处理零排放技术的术语、定义、技术要求以及试验方法。本标准适用于脱硫废水烟气雾化蒸发处理零排放技术的可行性论证、系统设计、系统性能考核。

3 国内外相关标准研究

目前，国内外尚无针对脱硫废水烟气雾化蒸发零排放处理技术的规范性标准。

本标准在深入调研多个脱硫废水烟气雾化蒸发处理技术示范工程运行经验的基础上，对系统设计、运行的多个方面进行了规范，并说明了系统检测方法，使标准具有较强的可操作性。

4 主要条款说明

本标准属于团体标准，与现行法律、法规、规章和政策以及有关基础和 Related 标准不矛盾。本标准未产生重大分歧意见。

4.1 基本要求

4.1.1 烟气条件

4.1.1.1 烟气温度

烟气温度一方面与废水的雾化粒径共同决定了废水液滴的蒸发时间，另一方面也与烟气量共同决定了废水蒸发容量。烟气温度越高，给定条件下的废水液滴蒸发时间越短，所需的烟道蒸发段长度越小，越有利于废水烟气雾化蒸发系统的稳定运行。

对于主烟道雾化蒸发工艺，考虑到除尘器入口前直段烟道的实际长度通常在 10~15 m，为了确保雾化后的废水液滴能够及时蒸发，要求废水雾化后喷入烟道处烟气温度不低于 120℃，并且保证废水蒸发后所处烟气温度不低于 115℃。

对于旁路烟道雾化蒸发工艺，外引烟气通常取自空预器入口前主烟道，烟气温度较高（330℃以上）废水液滴（50 μm 左右）能够在 0.5s 左右蒸发，因此所需蒸发段的烟道较短，为了保证废水能够完全蒸发和系统稳定运行，废水雾化蒸发后进入除尘器前的主烟道烟气温度不低于 120℃。

4.1.1.2 烟气量

烟气量和烟气温度共同决定了烟气雾化蒸发废水的容量。在实际工程应用中,通常烟气温度变化幅度较小,因此烟气雾化蒸发废水的容量较多地取决于烟气量。不同机组型号、不同燃煤条件、不同机组运行负荷下烟气量不同。

对于主烟道雾化蒸发工艺,通常情况下,蒸发水量在除尘器入口前各烟道内平均分配,因此废水蒸发使用的是全烟气量。以120℃的烟气温度为例进行计算,通常每蒸发一吨废水需要的烟气量约为300000 m³,即蒸发废水水量为1 m³/h需要烟气量300000 m³/h,由此可以根据烟气量和烟气温度计算烟道雾化蒸发处理系统的蒸发容量。

对于旁路烟道雾化蒸发工艺,根据所引接烟气温度的不同,需要的烟气量不同。以空预器入口前烟气温度330℃左右为例,每蒸发一吨废水需要的烟气量约为10000 m³,即蒸发废水水量为1 m³/h需要烟气量≥10000 m³/h。如果从空预器入口前引接烟气,为了保证空预器的正常运行,引接烟气量不超过总烟气量的5%。因此,对于旁路烟道雾化蒸发工艺,引接烟气量存在上限,蒸发水量可以根据能够引接的烟气量进行计算。

综上所述,烟气蒸发系统的处理水量取决于可以利用的作为热源的烟气量。脱硫废水量低于系统蒸发容量时,可以将脱硫废水进行预处理后直接进行蒸发处理;脱硫废水量高于系统蒸发容量时,需要将脱硫废水进行预处理后进行浓缩减量处理,满足系统蒸发容量要求,浓缩减量处理后产生浓盐水进行烟气蒸发处理。

4.1.1.3 粉煤灰磨损特性

烟气中粉煤灰的磨损特性直接关系到雾化喷嘴的运行稳定性,因此,需要确定粉煤灰的磨损特性,并根据粉煤灰的磨损特性确定雾化喷嘴的材质。粉煤灰的磨损指数越高,磨损倾向越严重,对喷嘴的材质要求越高,喷嘴的造价也越高。在实际工程应用时,应综合考虑粉煤灰的磨损特性,合理确定喷嘴材质。

4.1.2 烟道条件

为了保证废水在烟道内雾化蒸发过程的安全运行,废水雾化蒸发装置下游的烟道需要满足一定的要求。此外,烟道内的流场情况对废水雾化蒸发系统运行影响较大,改造实施前需要对废水蒸发段内的流场进行摸底,必要时进行流场优化,尽量使烟道内烟气流场均匀。

对于主烟道雾化蒸发工艺,安装废水雾化蒸发装置处的烟道要求为水平直烟道,烟道长度>10 m。当烟道内支撑结构较少时,需进行烟道内支撑改造,避免系统运行中出现烟道内支撑严重结垢。

对于旁路烟道雾化蒸发工艺,旁路烟道的设计须考虑引接烟气量大小及废水雾化方式,旁路烟道内烟气流速控制在15 m/s左右,蒸发段长度宜不小于6 m。

4.1.3 雾化喷嘴

烟气中粉煤灰的磨损特性直接关系到雾化喷嘴的运行稳定性,因此,需要根据粉煤灰的磨损特性选择不同的雾化喷嘴。

雾化喷嘴的材质应参照粉煤灰磨损特性进行选型,粉煤灰磨损倾向轻微时,雾化喷嘴宜选用1.4529合金钢及以上等级的材质;粉煤灰磨损倾向中等时,雾化喷嘴宜选用2205合金钢及以上等级的材质;粉煤灰磨损倾向严重时,雾化喷嘴宜选用哈氏合金及以上等级的材质。

根据废水雾化原理不同,雾化喷嘴主要有双流体雾化和旋转雾化两种。对于双流体雾化喷嘴,单个喷嘴的雾化水量不宜超过0.5 m³/h;对于旋转雾化喷嘴,单个喷嘴的雾化水量不宜超过5 m³/h。对于主烟道雾化蒸发处理工艺,通常采用双流体雾化喷嘴;对于旁路烟道雾化蒸发处理工艺,可以采用双流体雾化喷嘴或旋转雾化喷嘴。采用旋转雾化喷嘴时,旁路烟道的直径需要根据雾化水量和雾化喷嘴的型号进行计算设计,确保雾化后的废水液滴不沾湿烟道壁。

4.2 技术要求

4.2.1 预处理要求

脱硫废水在进行雾化蒸发前需要进行预处理，去除固体悬浮物、调节 pH，必要时需要进行浓缩减量处理，保证雾化系统的稳定运行。

在不需要进行浓缩减量处理的情况下，脱硫废水预处理后的废水中固体悬浮物含量 $<10\text{ mg/L}$ ，pH 值为 7~9 即可。调节 pH 主要是为了减少废水蒸发过程中 HCl 气体产生，一方面避免产生设备腐蚀，另一方面也避免氯离子再次进入脱硫吸收塔。

在需要进行浓缩减量处理的情况下，脱硫废水的预处理包括软化处理和除浊处理，预处理出水硬度（以 CaCO_3 计）不超过 1 mmol/L ，浊度不超过 2 NTU 。浓缩减量处理后，进入烟气蒸发处理系统前，水的 pH 调整至 7~9。

4.2.2 雾化要求

废水的雾化效果直接关系到废水的蒸发速度。在烟气温度固定的情况下，废水雾化效果越好，越利于废水的蒸发。为了保证废水液滴蒸发的及时性和系统运行稳定性，烟气温度较低时，废水的雾化粒径须适当减小。

对于主烟道雾化蒸发处理工艺，在烟气温度在 $120^\circ\text{C}\sim 130^\circ\text{C}$ 时，废水雾化平均粒径宜 $<40\text{ }\mu\text{m}$ ；在烟气温度在 $130^\circ\text{C}\sim 140^\circ\text{C}$ 时，废水雾化平均粒径宜 $<50\text{ }\mu\text{m}$ ；在烟气温度 $>140^\circ\text{C}$ 时，废水雾化平均粒径 $<60\text{ }\mu\text{m}$ 。

对于旁路烟道雾化蒸发处理工艺，在引接烟气为空预器入口前烟气时，废水雾化平均粒径 $<60\text{ }\mu\text{m}$ 。

4.2.3 烟道吹灰要求

废水烟道雾化蒸发系统运行过程中，烟道底部和烟道避、内支撑等部位会产生积灰，需要用吹灰器定时吹灰，保证烟道系统不产生严重积灰，因此吹灰效果关系到系统运行的稳定性。在实际工程运行时，吹灰装置的选型宜结合现场情况，选用大功率吹灰装置。吹灰装置的运行根据烟气中粉煤灰的含量、蒸发水量等进行优化调整。

在废水雾化喷嘴下游 2 m、4 m、6 m 位置处设置积灰测试装置，每 8 小时测试一次，要求测试装置表面积灰厚度 $<1\text{ mm}$ 。

4.2.4 粉煤灰成分要求

脱硫废水在烟道内蒸发后，所含的氯离子结晶出来并随烟气进入除尘器而被去除进入灰中。为了保证粉煤灰的综合利用不受影响，需要保证脱硫废水蒸发后，粉煤灰中氯元素含量满足综合利用要求。

《混凝土质量控制标准》(GB 50164-2011)的规定，水溶性氯离子含量 $\leq 0.1\%$ ，用于制混凝土的粉煤灰的最大掺加比例为 20%，因此粉煤灰中水溶性氯离子含量 $\leq 0.5\%$ 。

4.2.5 除尘系统影响要求

脱硫废水烟气流化蒸发处理系统的运行必须对除尘系统的除尘效率没有明显的影响。对于静电除尘系统，脱硫废水烟气流化蒸发处理系统的运行对静电除尘系统运行的电压、电流参数没有明显影响；对于布袋除尘系统，脱硫废水烟气流化蒸发处理系统的运行对布袋除尘系统运行的压差没有明显影响；对于电袋除尘系统，脱硫废水烟气流化蒸发处理系统的运行对运行电压、电流参数、压差以及除尘效率没有明显影响。

此外，脱硫废水烟气流化蒸发处理系统的运行不对除尘系统的极板或布袋产生结垢。

5 标准实施的建议

本标准 of 山东省电力行业团体标准，供协会会员和社会自愿使用。
本标准为首次发布。

附件：

《_____》征求意见
汇总处理表

序 号	条款	修改内容	修改为	意见 提出单位	处理 结果
1					
2					
...					

注：如本表空间不够，可另附页。

