

附件 5

《石灰石/石灰 - 石膏湿法烟气  
脱硫工程通用技术规范(征求意见稿)》

编制说明

编制组

2017 年 6 月

项目名称：石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程通用技术规范

项目统一编号：2013-GF-011

承担单位：中国环境保护产业协会、中国华电科工集团有限公司、北京国电龙源环保工程有限公司、大唐环境产业集团股份有限公司、中电投远达环保工程有限公司、国电环境保护研究院、北京市劳动保护科学研究所

主要起草人：沈煜晖、刘媛、吕连涛、彭溶、彭光军、邵玫、杨卫科、赵培超、杨爱勇、岳涛

标准所技术管理负责人：姚芝茂

技术处项目经办人：李磊

## 目 次

1 任务来源.....	3
2 标准编制的必要性.....	3
3 主要工作过程.....	5
4 国内外相关标准研究.....	7
5 同类工程现状调研.....	9
6 主要技术内容及说明.....	25
7 标准实施的环境效益及技术经济分析.....	33
8 标准实施建议.....	33

## 1 任务来源

2013 年,环境保护部《关于开展 2013 年度国家环境技术管理项目计划工作的通知》(环办函〔2013〕51 号)下达《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》(HJ/T 179-2005)的修订任务,项目统一编号 2013-GF-011。由中国环境保护产业协会承担《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》(HJ/T 179-2005)的修订任务,参编单位有中国华电科工集团有限公司、北京国电龙源环保工程有限公司、大唐环境产业集团股份有限公司、中电投远达环保工程有限公司、国电环境保护研究院、北京市劳动保护科学研究所。

## 2 标准编制的必要性

### 2.1 国家对 SO<sub>2</sub> 控制的要求

2011 年 8 月,国务院发布的《“十二五”节能减排综合性工作方案》(国发〔2011〕26 号)中明确提出了“十二五”二氧化硫减排 8%的约束性指标。同时,国务院发布的《加强环境保护重点工作的意见》(国发〔2011〕35 号)中明确提出对烟气排放实行 SO<sub>2</sub> 排放总量控制,继续加强烟气脱硫设施建设。

当前我国政府对大气污染防治工作非常重视,2013 年 9 月国务院发布了《大气污染防治行动计划》(国发〔2013〕37 号),作为大气污染防治的纲领性文件,第一条就提出加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设。所有燃煤电厂、钢铁企业的烧结机和球团生产设备、石油炼制企业的催化裂化装置、有色金属冶炼企业都要安装脱硫设施,20t/h 及以上的燃煤锅炉要实施脱硫。在该文件的引领下,地方政府也出台了地方性大气污染防治行动计划,以改善区域环境质量。为进一步加强环境质量管理,环境保护部针对重点行业相继修订了大气污染物排放标准,进一步加严了烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值,例如:《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)将烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 50mg/m<sup>3</sup>;《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662-2012)将烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 180 mg/m<sup>3</sup>;《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)将水泥窑尾烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 100mg/m<sup>3</sup>;《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)将工艺加热炉烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 50mg/m<sup>3</sup>;《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271-2014)将燃煤锅炉烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 200mg/m<sup>3</sup>。此外,2015 年底,环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局联合发布《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发〔2015〕164 号),提出全面实施燃煤电厂超低排放要求,将 SO<sub>2</sub> 的排放限值再次降低至 35mg/m<sup>3</sup>。

综上，重点行业大气污染物 SO<sub>2</sub> 排放标准的不断提高，对污染治理技术水平提出了更高的要求，因此，修订《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》以适用于重点行业控制 SO<sub>2</sub> 排放是必要的。

## 2.2 脱硫技术进步的要求

目前，我国烟气污染物环保治理技术出现重大突破，石灰石/石灰-石膏湿法烟气脱硫技术起源并成熟于火电厂，烟气成分、污染物负荷、烟气量负荷的适应范围宽，并已成功推广应用在冶金等行业，且为以超低排放为核心的燃煤电厂提供了技术支持。《石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程通用技术规范》在《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》的基础上进行修订、替代并推广至所有适用石灰石/石灰-石膏湿法烟气脱硫的工艺，不再局限于火电厂。重点行业烟气污染防治技术需求主要体现在以下几个方面：

(1) 随着火电行业超低排放技术的实施，由石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术衍生出湍流强化吸收、复合塔、双循环等新技术可提高脱硫效率，实现 SO<sub>2</sub> 的超低排放，但现有规范对新技术均未涉及。

(2) 原规范仅规定了火电行业石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程的设计、施工、验收、运行和维护的技术要求，修订后的规范扩展了石灰石/石灰—石膏湿法脱硫技术的适用范围。此外，石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术能否适应重点行业各类烟气的特性，能否稳定达标排放，均应对规范中的相关条文进行补充。

(3) 重点行业现行标准中颗粒物的排放限值进一步加严，脱硫工程通常作为烟气治理系统的最后一个环节，由于技术本身的特点，易出现“石膏雨”现象，造成在脱硫工程进口颗粒物达标，出口颗粒物排放超标的情况；如何避免和处理“石膏雨”现象，规范中应补充相关内容。

## 2.3 环境管理的要求

随着大气环境改善的呼声日益高涨，我国的环境管理已转移到以环境质量改善为核心的管理模式上，现行的《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》(HJ/T 179-2005) 是 2005 年 6 月 24 日发布，实施至今已近 11 年。在这 11 年中相关的环保政策和脱硫工艺本身的技术内容都发生了很大的变化，原规范内容已经不再适应当前的环境管理要求。具体表现如下：

(1) 火电烟气超低排放技术需求。现行《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰

一石膏法》（HJ/T 179-2005）是基于《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2003）制定的，GB 13223-2003 中 SO<sub>2</sub> 的排放限值为 400mg/m<sup>3</sup>，而目前执行的 GB 13223-2011 中 SO<sub>2</sub> 的排放限值已降为 100mg/m<sup>3</sup>，下降幅度达到 75%；燃煤电厂超低排放更是要求 SO<sub>2</sub> 的排放限值降低至 35mg/m<sup>3</sup>；HJ/T 179-2005 中对脱硫效率、脱硫性能等的规定已经不能满足新排放标准及超低排放的要求。

（2）石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术由于其脱硫效率高、运行稳定等特点，已在重点行业烟气 SO<sub>2</sub> 控制中得到了尝试性应用，照搬或者参照《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》（HJ/T 179-2005）进行工程建设，这给非电力行业应用石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术达到安全、稳定运行带来了许多不确定因素。

基于以上情况，有必要以满足重点行业大气污染物排放标准为基础，对《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》（HJ/T 179-2005）进行修订，从而为重点行业烟气 SO<sub>2</sub> 治理采用石灰石/石灰—石膏湿法进行烟气脱硫治理工程设计、施工及安装、调试、验收和运行管理等提供技术依据，促进排放企业可持续发展和烟气污染治理行业技术进步。

### 3 主要工作过程

#### （1）编制组成立

2013 年 4 月，中国环境保护产业协会与北京国电龙源环保工程有限公司、中国华电科工集团有限公司签订《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》编制合同，成立了编制组，讨论并明确了规范编制的工作目标和具体任务分工。

#### （2）开题报告论证

按照任务分工，规范编制组初步调研了火电行业发展情况、石灰石/石灰—石膏湿法脱硫项目的背景资料和设计、建设、运行情况，国内外各行业烟气脱硫规范制订情况，以及相关行业大气污染物排放标准的要求等，在此基础上编撰了《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》开题报告。

2014 年 1 月，环保部科技标准司在北京主持召开了《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰-石膏法》开题论证会。与会专家充分听取了规范编制组关于标准修订的必要性、适用范围、重点修订内容的汇报，经质询与讨论，形成如下意见：1) 进一步明确规范的边界条件和适用范围。2) 修订的重点应为烟气系统和吸收系统的技术要求。3) 加强专题调研，吸纳各主要脱硫企业的脱硫工程经验，并强化对资料性附录的编制。

#### （3）征求意见稿的形成

2014年3月，编制组召开内部研讨会，梳理、分析开题论证会的专家意见，并提出解决的措施，制定详细的调研目标和内容，分解调研任务并分配编制任务。随后，协会向环保部科技司申请支持石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术改造情况调研工作，充分调研国内大中型企业烟气石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工程的实际脱硫效率、技术水平、设备运行状况、系统性能、经济性、可用性等方面情况。5-6月，根据科技司调研函的内容，协会向国内5大电力集团、北京能源投资（集团）、浙江省能源集团、广东粤电集团、陕西环保运营公司及龙净、浙江蓝天、同方环境等6家脱硫企业下发了调研函，收到30家企业的调研材料。在结合工程实践及分析调研数据的基础上，编制组于2015年初完成了《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》（初稿）及编制说明。

在整理调研材料和形成初稿的过程中，编制组发现国内的相关企业为达到新排放标准，采取的脱硫技术措施各有不同，为了能在新规范中全面、实际地体现石灰石/石灰—石膏湿法的多项技术措施，丰富规范在工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、运行与维护等方面内容，编制组向环保部科技司提出增加大唐环境产业集团股份有限公司、中电投远达环保工程有限公司、国电环境保护研究院、北京市劳动保护科学研究所4家编制单位的申请。经科技司批准，新的编制组于2015年4月成立，调整后的编制组覆盖五大电力集团下属的所有脱硫工程公司、火电厂大气污染物排放标准（GB 13223-2011）及火电行业污染防治技术政策的编制单位，为编制任务的顺利完成奠定坚实的基础。

随后，新编制组于2015年4月下旬召开第二次内部研讨会，全面梳理规范初稿的内容，并重新分配下一步编制任务，制定编制目标。经过两个月的调整和修改，编制组于2015年6月再次召开内部研讨会，审查初步形成的征求意见稿。会上，编制组一致认为规范“污染物与污染负荷、工艺设计、主要工艺设备和材料”章节内容需重点修改和调整，“主要辅助工程、运行与维护”章节需删减并突出重点内容。7-12月，各编制单位经过对规范的反复修改，最终于2016年6月形成征求意见稿上报科技司。

#### （4）调整为工艺类规范后再次形成征求意见稿

2016年8月30日和9月8日环境保护部科技标准司召开了两次火电行业技术文件编制工作会议，根据会议要求，科技标准司要求将《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》修订为适用于各行业的《石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程通用技术规范》，即将原来污染源类规范调整为各行业均适用的工艺类规范。按照部里的统一要求，编制组通过进一步的扩展调研和召开专家讨论会，在《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》的基础上，进行了多次补充、完善和调整，于2017年6月形成本征求意见稿和编

制说明。

#### 4 国内外相关标准研究

##### 4.1 污染物排放控制标准

针对大气污染物的排放控制，国外许多国家在不同行业有专门的控制标准要求。以火电厂、工业锅炉等行业为例，美国、欧盟、日本等发达国家或地区均颁布了烟尘和 SO<sub>2</sub> 排放标准，见表 4-1、4-2 所示。

表 4-1 主要国家和地区新建大型燃煤电厂污染物排放限值

单位：mg/m<sup>3</sup>

国家和地区	烟尘	SO <sub>2</sub>	国家和地区	烟尘	SO <sub>2</sub>
美国	10	113	加拿大	130	740
日本	50~100	200	新西兰	125	350
欧盟	10~20	150~400	泰国	40	-
澳大利亚	100	200	土耳其	150	1000
朝鲜	50	770	中国香港	50	200
菲律宾	160~220	760	印尼	125	750
中国台北	29	1430	瑞士	-	400

表 4-2 主要国家和地区工业锅炉污染物排放限值

单位：mg/m<sup>3</sup>

国家和地区	烟尘	SO <sub>2</sub>
美国	25	170
日本	100	-
欧盟	110	1750
法国	50~150	850~2000
芬兰	55	1100
德国	20~50	350

我国为防治大气污染，保护环境，促进大气污染治理技术进步，相继在燃煤电厂、工业

锅炉、钢铁烧结、球团、水泥等行业颁布了大气污染物排放控制标准。

《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）规定现有火电厂燃煤机组自 2014 年 7 月 1 日起烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 30mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>，新建锅炉 2012 年 1 月 1 日起排放限值为 30mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>；天然气燃气轮机机组烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值 5mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>。GB 13223-2011 还规定重点地区执行特别限值，燃煤锅炉烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 20 mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>，以气体为燃料的燃气轮机烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 5mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>。

2015 年 12 月，环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局联合发布《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》，全面实施燃煤电厂超低排放要求，将烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的排放限值再次降低至 10mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>；对石灰石/石灰—石膏湿法脱硫技术性能、系统稳定性能提出了更高要求。

2014 年 7 月 1 日起实施的《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）规定了工业锅炉的排放标准。标准中规定 10t/h 以上的在用蒸汽锅炉及 7MW 以上的在用热水锅炉 2015 年 10 月 1 日起执行烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为燃煤锅炉 80mg/m<sup>3</sup>、400mg/m<sup>3</sup>、400mg/m<sup>3</sup>，燃油锅炉 60mg/m<sup>3</sup>、400mg/m<sup>3</sup>、300mg/m<sup>3</sup>，燃气锅炉 30mg/m<sup>3</sup>、400mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>；新建锅炉执行烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为燃煤锅炉 50mg/m<sup>3</sup>、300mg/m<sup>3</sup>、300mg/m<sup>3</sup>，燃油锅炉 30mg/m<sup>3</sup>、250mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>，燃气锅炉 20mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>。重点地区的烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 特别排放限值为燃煤锅炉 30mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>，燃油锅炉 30mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>，燃气锅炉 20mg/m<sup>3</sup>、150mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>。

2012 年 10 月 1 日起实施的《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》（GB 28662-2012）规定 2015 年 1 月 1 日起现有企业烧结机球团焙烧设备执行烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 50mg/m<sup>3</sup>、300mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>，重点地区的烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 特别排放限值为 40mg/m<sup>3</sup>、300mg/m<sup>3</sup>、180mg/m<sup>3</sup>。

2014 年 3 月 1 日起实施的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013）规定现有企业 2015 年 7 月 1 日起，新建企业 2014 年 3 月 1 日起水泥窑及窑尾余热利用系统执行烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 30mg/m<sup>3</sup>、400mg/m<sup>3</sup>、200mg/m<sup>3</sup>，重点地区的烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 特别排放限值为 20mg/m<sup>3</sup>、320mg/m<sup>3</sup>、100mg/m<sup>3</sup>。

同时各个地方也先后制定了严于国家标准的地方标准，比如《上海市燃煤电厂大气污染物排放标准》就规定 2018 年 1 月 1 日起所有燃煤发电锅炉及 65t/h 以上燃煤非发电锅炉执行烟尘、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 的排放限值为 10mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>，也就是要求均要达到三部

委发布的超低排放的指标要求。

## 4.2 环境工程设计、建设规程和规范

为了应对日益严格的排放标准的要求，同时规范石灰石—石膏湿法脱硫工程的设计、调试、施工及运营，国内先后发布了多个标准、规程、规范等文件。

2005年，原国家环保总局发布《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法》（HJ/T 179-2005），对于适用范围、脱除性能、脱除工艺系统等方面进行相应规定，对石灰石/石灰-石膏湿法烟气脱硫工程的设计、施工、验收、运行和维护等方面起到较好的指导作用。

为了规范火电厂烟气治理工程的运行管理，防治环境污染，提高和改善环境空气治理，《火电厂烟气治理设施运行管理技术规范》（HJ 2040-2014）应运而生。该标准对200MW及以上机组配套的火电厂烟气治理设施运行、检修和维护管理方面提出相关要求，不断提高脱硫工程的运行管理水平。

此外，《燃煤烟气脱硫设备 第1部分：燃煤烟气湿法脱硫设备》（GB/T 19229.2-2008）对于石灰石/石灰—石膏湿法脱硫的术语、技术性能进行了约定，促进了脱硫技术的发展。

国家能源局先后发布了一系列与石灰石—石膏湿法脱硫有关的电力行业标准，对本工艺从设计、施工、调试、检修、质量评定、验收等方面进行了规范，主要包括《火力发电厂石灰石石膏湿法烟气脱硫设计技术规程》（DL/T 5196-2016）、《火力发电厂施工图设计文件内容深度规定 第7部分：烟气脱硫》（DL/T 5461.7-2013）、《火力发电厂烟气脱硫吸收塔施工及验收规程》（DL/T 5418-2009）、《火电厂脱硫工程施工验收及质量验收评定规程》（DL/T 5417-2009）、《火电厂脱硫工程调整试运及质量验收评定规程》（DL/T 5403-2007）、《火电厂烟气脱硫装置验收技术规范》（DL/T 1150-2012）、《火电厂石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫系统运行导则》（DL/T 1149-2010）、《火电厂石灰石/石灰-石膏湿法烟气脱硫装置检修导则》（DL/T 341-2010）、《火电厂烟气脱硫可靠性评定导则》（DL/T 1158-2012）、《火电厂烟气脱硫经济性评定导则》（DL/T 1159-2012）、《火力发电厂烟气脱硫装置技术监督导则》（DL/T 1477-2015）、《湿法烟气脱硫工艺性能检测技术规范》（DL/T 986-2016）、《石灰石—石膏湿法烟气脱硫装置性能验收试验规范》（DL/T 998-2016）等。

## 5 同类工程现状调研

### 5.1 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术原理及特征

石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术以含石灰石粉/石灰粉的浆液为吸收剂，吸收烟气中  $\text{SO}_2$ 、HF 和 HCl 等酸性气体。吸收塔型包括喷淋空塔、液柱塔、鼓泡塔、填料塔、托盘塔等，其中喷淋空塔由于其运行可靠、操作简单，应用最为广泛。在吸收塔内，烟气中  $\text{SO}_2$  与石灰石/石灰反应形成亚硫酸钙，再鼓入空气强制氧化，最后生成副产物石膏，从而达到脱除  $\text{SO}_2$  的目的，脱硫净烟气经除雾器除雾后排放。

石灰石/石灰—石膏湿法脱硫技术成熟度高，堵塞、腐蚀等负面影响因素可控，运维成本低，脱硫塔内调节手段较多，可根据入口烟气条件和排放要求，通过改变物理传质系数或化学吸收效率等多种手段调节脱硫效率，保持长期稳定运行并实现达标排放。石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术的主要特点有：

- (1) 脱硫效率高；
- (2) 技术成熟，运行可靠性好，装置投运率可达 98%以上；
- (3) 对煤种变化的适应性强；
- (4) 占地面积大，一次性建设投资相对较大；
- (5) 吸收剂资源丰富，价格便宜；
- (6) 在脱硫的同时，还可去除烟气中的 HCl、HF、颗粒物和重金属。

## 5.2 石灰石/石灰—石膏湿法脱硫技术的应用与发展

在实施脱硫的早期，各种脱硫技术都得到了广泛应用，主要有：石灰石—石膏湿法，喷雾干燥法，烟气喷氨吸收法，炉内喷钙+尾部烟气增湿法，烟气循环流化床—悬浮吸收法，NID 脱硫法，海水脱硫法，活性炭吸收法和电子束脱硫法。后来随着环保要求的日益严格，一些脱硫效率不高、稳定性较低的技术逐渐被淘汰。作为  $\text{SO}_2$  排放主要贡献者的火电行业，对其 2014 年已投运的烟气脱硫设施的分类和统计，石灰石/石灰—石膏湿法脱硫约占 92.4%，烟气循环流化床脱硫法约占 2.9%，海水烟气脱硫法约占 2%，氨法烟气脱硫约占 1.3%，其他方法占 1.2%；形成了以石灰石/石灰—石膏湿法为主，半干法/干法、海水法、氨法烟气脱硫为辅的技术路线。

我国于 90 年代初从国外引进技术和成套装置用于烟气脱硫，经历了引进消化再创新的过程和大量工程实践，已经基本掌握了烟气脱硫的全套工艺流程和设备制造技术。我们国家合作和引进的脱硫技术主要包括：

- (1) 美国 B&W（巴威）FGD 技术；
- (2) 美国 Marsulex（玛苏来）FGD 技术；

- (3) 法国 ALSTON 公司 FGD 技术;
- (4) 德国 LLB (鲁奇能源环保) 公司 FGD 技术;
- (5) 德国 FBE 公司 FGD 技术;
- (6) 日本三菱液柱塔 FGD 技术;
- (7) 奥地利能源及环境股份公司 FGD 技术。

经过十多年的高速发展,为适应我国更加严格的排放标准,国内主流脱硫公司在吸收引进技术的基础上,逐步开发和完善了技术经济更加合理的高效脱硫技术。包括适用于所有煤种高效脱硫的双循环脱硫工艺,具有成功使用业绩的公司包括北京国电龙源环保工程有限公司、中国华电科工集团有限公司、中电投远达环保工程有限公司等。适用于较高二氧化硫含量的高效脱硫加强型喷淋脱硫工艺,包括双托盘工艺和湍流器脱硫工艺。近年来,烟气脱硫发展趋势正逐步朝着装置投资小、烟气净化效率高、综合成本低、副产物可循环利用、无二次污染方向发展。

### 5.3 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术在实际应用中存在的问题

石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术虽然适应范围广,脱硫效率高,但在实际应用中也存在一些问题。根据现场调研的结果,我国已投运的石灰石/石灰-石膏湿法脱硫设施在运行过程中存在着以下主要问题:

- (1) 烟气中二氧化硫含量远大于脱硫设计烟气二氧化硫含量,导致脱硫设施出力不足;
- (2) 排放标准的提高导致脱硫设施需要增容改造;
- (3) 部分脱硫设施由于设备质量等原因导致可靠性降低、投运率较差;
- (4) 脱硫系统存在着结垢和堵塞等问题;
- (5) 脱硫废水的处理问题;
- (6) 脱硫石膏的综合利用问题;
- (7) 脱硫系统的能耗和水耗问题。

2015年,环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局联合发布《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》,全面实施燃煤电厂超低排放要求,将烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>的排放限值再次降低至10mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>。《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662-2012)将烟气中SO<sub>2</sub>的排放限值降至180mg/m<sup>3</sup>;《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)将水泥窑尾烟气中SO<sub>2</sub>的排放限值降至100mg/m<sup>3</sup>;《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)将工艺加热炉烟气中SO<sub>2</sub>的排放限值降至

50mg/m<sup>3</sup>；《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）将燃煤锅炉烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放限值降至 200mg/m<sup>3</sup>。这就要求现有的石灰石/石灰—石膏湿法脱硫技术不断进行改进，以提高脱硫效率。第二代湿法 FGD 技术重点在于新一代洗涤器的研发。新一代的洗涤器应该具有非常高的性能（脱硫效率远超 95%），有更高的可靠性和相对较低的投资和运行费用。主要研究方向集中在开发新型吸收塔以强化吸收剂的溶解和烟气洗涤能力，优化废水处理系统、研究与开发关键设备以及防腐材料等方面。

#### 5.4 典型工程案例

以火电、钢铁烧结、焦炉、工业锅炉等行业为代表，选择 5 个典型工程案例，简要介绍脱硫工程的主要设计参数、系统组成和投资运行情况。

##### 5.4.1 国电泰州电厂二期 2×1000MW 机组烟气脱硫工程

（1）脱硫工程主要设计参数及投资情况见表 5-1。

表 5-1 脱硫工程主要设计参数及投资情况

序号	项 目	单 位	数 值	备 注
1	机组容量	MW	2×1000	
2	烟气量（标态，湿基，实际氧）	m <sup>3</sup> /h	3078360	
3	烟气温度（设计工况）	℃	97	有低温省煤器
4	设计烟气 SO <sub>2</sub> 浓度（标态，干基，6%O <sub>2</sub> ）	mg/m <sup>3</sup>	3517	
5	出口烟气SO <sub>2</sub> 浓度（标态，干基，6%O <sub>2</sub> ）	mg/m <sup>3</sup>	50	设计值
6	设计脱硫率	%	98.6	
7	采用的脱硫工艺		单塔双循环	
8	SO <sub>2</sub> 脱除量	kg/h	9814	
9	脱硫吸收剂种类		石灰石	
10	脱硫副产品		石膏	
11	有无废水排放		有	
12	系统厂用电率（以配套脱硫工程后的厂用电增加量为基准）	%	0.96	不含锅炉引风机增加电量
13	装置建设投资费用	万元	21864	

序号	项 目	单 位	数 值	备 注
14	脱硫工程增加的静态发电单位成本	元/MW·h	8.594	

### (2) 脱硫系统设计及组成

每台炉设 1 套 SO<sub>2</sub> 吸收系统，设计处理 100% 烟气量。每台炉设置 1 座吸收塔和 1 座 AFT 塔。吸收塔中部位置设置导流锥和收集碗分隔一、二级浆液。

吸收塔Φ21.5m（塔径）×59.36m（塔高），一级循环设 2 层喷淋层，对应设 2 台浆液循环泵，每台循环泵流量 10000m<sup>3</sup>/h，扬程分别为 20.3m 和 22.1m。正常运行液位 5.0m，浆池容积 1815m<sup>3</sup>，正常浆液循环停留时间约 5.45min。

AFT 塔Φ14m×25m，二级循环设 4 层喷淋层，对应设 4 台浆液循环泵，每台循环泵流量 10000m<sup>3</sup>/h，扬程分别为 21.3m/23.1/24.9/26.7m。正常运行液位 23.5m，浆池容积 3617m<sup>3</sup>，正常浆液循环停留时间约 5.43min。

AFT 塔浆液通过 AFT 塔旋流站送至一级循环浆液中控制二级循环浆液密度。一级循环浆液通过石膏排出泵去石膏旋流站。同时，二级循环设置自流管道至一级循环。

一、二级循环浆液由氧化风机强制送风，采用侧进式搅拌器方式。

### (3) 脱硫系统调试及运行

双循环技术与单循环技术相比工艺原理完全相同，单塔双循环脱硫增效技术利用脱硫、氧化不同属性，采用塔内和塔外浆池、双 pH 值，通过塔中部导流锥和收集碗分隔出双循环结构，对高浓度二氧化硫烟气采用双吸收技术高效脱除二氧化硫，实现更高的脱硫效率。一级循环与二级循环运行不同性质浆液，更加精细的控制反应过程，避免参数间的相互制约，快速适应硫分和负荷的变化。一级循环低 pH 值运行，可以实现吸收剂的几乎完全溶解和高品质石膏的生成；二级循环高 pH 值运行，可以在较低的液气比和电耗下保证高脱硫效率。

单塔双循环技术与单塔单循技术除雾器配置、控制方式要求一致。

### (4) 运行费用分析

本项目单台机组水耗量为 164t/h，电耗 8500kW·h，吸收剂耗量为 19.6t/h。年运行小时数按 5000h 计算，年运行费用约为 3416 万元，脱除每吨 SO<sub>2</sub> 的运行费用为 696 元。

## 5.4.2 华电章丘发电有限公司二期 2×300MW 机组烟气脱硫工程

(1) 脱硫工程主要设计参数及投资情况见表 5-2。

表 5-2 脱硫工程主要设计参数及投资情况

序号	项 目	单 位	数 值	备 注
1	机组容量	MW	2×300	

序号	项 目	单 位	数 值	备 注
2	烟气量（标态，湿基，实际氧）	m <sup>3</sup> /h	1169912	1 台机组
3	烟气温度（设计工况）	℃	140	
4	设计烟气 SO <sub>2</sub> 浓度（标态，干基，6%O <sub>2</sub> ）	mg/m <sup>3</sup>	6500	
5	出口烟气SO <sub>2</sub> 浓度（标态，干基，6%O <sub>2</sub> ）	mg/m <sup>3</sup>	小于50	设计值
6	设计脱硫率	%	99.23	
7	采用的脱硫工艺		双塔双循环	
8	运行脱硫效率	%	不小于 99.23	
9	出口烟气SO <sub>2</sub> 浓度	mg/m <sup>3</sup>	小于50	运行值
10	SO <sub>2</sub> 脱除量	kg/h	15100	2台机组
11	脱硫吸收剂种类		石灰石	
12	脱硫副产品		石膏	
13	有无废水排放		有	
14	系统厂用电率（以配套脱硫工程后的厂用电增加量为基准）	%	1.49	
15	装置建设投资费用	万元	9829	
16	脱硫工程增加的静态发电单位成本	元/MW·h	16.38	

## （2）脱硫系统设计及组成

每台炉设 1 套 SO<sub>2</sub> 吸收系统，串联吸收塔布置。原塔 A 完全保留，新塔 B 布置在 A 塔后，利用现有 GGH 位置。

B 塔Φ11.7m×33.84m，设计处理 100%烟气量，设 3 层喷淋层，对应设 3 台浆液循环泵，每台循环泵流量 7000m<sup>3</sup>/h，扬程分别为 18m/20m/22m。

新增级吸收塔 B 正常运行液位 13.07m，浆池容积 1405m<sup>3</sup>，正常浆液循环停留时间约 4.02min。B 塔石膏排至 A 塔，由 A 塔石膏排出泵去石膏旋流站。同时，在 A 塔与 B 塔间设自流管道。

A 塔氧化空气布风方式仍采用管网式，将现有 FRP 管更换为 1.4529 合金。原 2 台氧化风机保留，新增 1 台出力相同设备，2 用 1 备。出口母管设分支供 B 塔所需氧化空气。采用

工艺水对氧化空气降温。

### (3) 脱硫系统调试及运行

双循环技术与单循环技术相比工艺原理完全相同，双塔双循环脱硫增效技术利用脱硫、氧化不同属性，采用双塔、双 pH 值、双循环结构，对高浓度二氧化硫烟气采用双吸收塔技术高效脱除二氧化硫，实现更高的脱硫效率。同时，可以大量利用原脱硫设备，减少资源浪费；先建设后停机再转接烟风道，大幅缩短改造时间；一级塔与二级塔运行不同性质浆液，更加精细的控制反应过程，避免参数间的相互制约，快速适应硫分和负荷的变化；一级塔低 pH 值运行，可以实现吸收剂的几乎完全溶解和高品质石膏的生成；二级塔高 pH 值运行，可以在较低的液气比和电耗下保证高脱硫效率。

双循环技术多了一套除雾器，增加了一套除雾器压差监控和冲洗的程序。其他控制方式与单循环几乎完全相同。

需要指出的是，如果采用双循环技术，由于每个吸收塔除雾器都需要定时进行冲洗，因此当 FGD 入口烟气温度低于 100 摄氏度后，要特别注意水的平衡问题。如果业主今后考虑原烟气加装低温换热器，建议换热后的原烟气温度应大于 120℃。

因此，如果采用双塔方案，新加磨机系统设计必须要求重复利用石膏脱水系统的滤液，否则会出现系统水平衡问题。

### (4) 运行成本分析

本项目单台机组水耗量为 80t/h，电耗 5740kW·h，吸收剂耗量为 12.3t/h。年运行小时数按 5000h 计算，年运行费用约为 1410 万元，脱除每吨 SO<sub>2</sub> 的运行费用为 373 元。

## 5.4.3 河北普阳钢铁有限公司二铁厂 265m<sup>2</sup> 烧结机机头烟气脱硫工程

(1) 脱硫工程主要设计参数情况见表 5-3。

表 5-3 脱硫工程主要设计参数

序号	项 目	单 位	数 值	备 注
1	脱硫系统	套	1	
2	脱硫塔结构尺寸	m	Φ12.5×42	
	塔顶烟囱尺寸	m	Φ6.5×38	
3	脱硫塔处理烟气量	m <sup>3</sup> /h	2×900000	
4	SO <sub>2</sub> 初始排放浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	≤2000	按最大浓度 3000mg/Nm <sup>3</sup> 设计
5	治理后 SO <sub>2</sub> 排放浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	<100	保证值
6	脱硫效率	%	≥97	设计值
7	年运行时间	h/年	8000	
8	钙硫比		1.02~1.03	
9	液气比	L/Nm <sup>3</sup>	8	

10	消减 SO <sub>2</sub> 量	t/h	2.83	
		t/年	22615.84	
11	石灰粉消耗量	t/h	3.40	纯度按 75%计
		t/年	27176.71	
12	石膏产量	t/h	9.59	
		t/年	76746.20	
13	耗水量	t/h	28.58	
		t/年	228609.31	
14	系统耗电量	kW·h/h	1758.4	以总装机容量的 80%计算
		kW·h/a	14067200	
15	脱硫系统阻力降	Pa	≤1200	
16	系统漏风系数	%	<2	

(2) 脱硫系统设计及组成情况见表 5-4。

表 5-4 脱硫系统设计及组成

序号	名称	规格	结构	单位	数量	功率 (kW)	总功率 (kW)	备注
一	<b>脱硫制供浆系统</b>							
	石灰料斗	3.4m×3.4m		个	1			
	石灰粉连续输送泵	输送量 20t/h, N=3kW		台	1	3	3	
	石灰粉仓	Φ <sub>内</sub> =5.0m, V=150m <sup>3</sup>	碳钢	个	1			
	仓顶除尘器	N=0.55kW		个	1		0.55	
	螺旋给料机	N=3kW		台	2	3	6	
	制浆罐(带搅拌机)	Φ <sub>内</sub> =4.0m, H=4m, N=7.5kW	防腐耐磨	座	1	7.5	7.5	
	供浆泵	Q=60m <sup>3</sup> /h, H=20m, N=7.5kW		台	2	7.5	15	1用1备
二	<b>吸收系统</b>							
	吸收塔	Φ <sub>内</sub> =12.5m, H=32m 标高 20m 以下壁厚 12mm 20m 以上 10mm	塔体 304L	座	1			
	塔顶烟囱(含锥段)	Φ <sub>内</sub> =6.5m, H=37m 锥段壁厚 10mm, 直段壁厚 8mm。	塔体 304L	座	1			
	脱硫循环泵 1	Q=2600m <sup>3</sup> /h, H=24m	防腐耐磨	台	1	280	280	
	脱硫循环泵 2	Q=2600m <sup>3</sup> /h, H=24m		台	1	280	280	
	脱硫循环泵 3	Q=2600m <sup>3</sup> /h, H=28m		台	1	315	315	
	脱硫循环泵 4	Q=2600m <sup>3</sup> /h, H=28m		台	1	315	315	

序号	名称	规格	结构	单位	数量	功率 (kW)	总功率 (kW)	备注
	塔外循环罐	$\Phi_{内}=10.0m, H=10m$	碳钢防腐	台	1			
	侧搅拌器	N=22kW	耐磨防腐	台	3	22	66	
三	<b>烟风道系统</b>							
	塔进口烟道	碳钢, 其中靠近塔 5.0m 以内烟道为 304L 不锈钢		套	1			
四	<b>副产物处理系统</b>							
	罗茨鼓风机	Q=43.8m <sup>3</sup> /min, H=78.4kPa, N=90kW		台	3	90	270	2用1备
	石膏泵	Q=100m <sup>3</sup> /h, H=40m, N=30kW	防腐耐磨	台	2	30	60	1用1备
	水力旋流器	FXDS, 处理量 100m <sup>3</sup> /h		台	1			
	真空过滤机	DU11.0m <sup>2</sup> /1300		台	1	5.5	5.5	间歇使用
	水环式真空水泵	2BE1 303, N=75kW		台	1	75	75	间歇使用
	滤液分离缸	PP		座	1			间歇使用
	滤布再生泵	Q=18m <sup>3</sup> /h, H=48m, N=4kW		台	1	4	4	间歇使用
	滤布再生水箱	1.5M×1.2M	碳钢	座	1			间歇使用
五	<b>地坑系统 (事故系统)</b>							
	地坑行车抓斗系统	门式电动抓斗, Gn=5t, N=7.5kW+1.5kW+0.8kW		台	1			间歇使用
	清液泵	Q=58m <sup>3</sup> /h, H=17m, N=7.5kW		台	2	7.5	15	
六	<b>工艺水系统</b>							
	工艺水泵	Q=120m <sup>3</sup> /h, H=65m, N=37kW		台	2	37	74	1用1备
	工艺水箱	$\Phi_{内}=4.5m, H=4.0m$	碳钢	座	1			
	机封水泵	Q=9.5m <sup>3</sup> /h, H=34.5m, N=2.2kW		台	2	2.2	4.4	1用1备
	机封水箱	$\Phi_{内}=1.5m, H=1.2m$	碳钢	座	1			

### (3) 脱硫系统调试及运行

脱硫系统建成后, 对其进行了调试, 合格后对脱硫系统出口烟尘、SO<sub>2</sub>浓度进行了检测, 结果显示经脱硫后, 烟尘、SO<sub>2</sub>浓度分别下降为43mg/Nm<sup>3</sup>、48mg/Nm<sup>3</sup>, 达到并优于环保要

求。

系统正常运行至今，在线监测结果显示，该脱硫系统可连续、稳定地满足烟尘排放浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{SO}_2$ 排放浓度 $\leq 100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 的要求，且无结垢、堵塞问题，各项经济、技术指标均达到设计要求。

#### (4) 运行成本分析

本项目为环保类项目，经济效益主要体现在减少企业缴纳排污费方面。同时，本项目的副产物石膏品质高、含水率低，具备很高的商业价值，可作为水泥缓凝剂和其他石膏制品的原料，脱硫石膏价格低，大大降低了水泥厂和建材企业的生产成本。这在实现资源综合利用的同时，产生一定的经济效益。

#### 5.4.4 唐山建龙简舟钢铁有限公司 2 座 63 孔 4.3 米捣固焦炉烟气联合脱硫脱硝除尘工程

(1) 脱硫工程主要设计参数情况见表 5-5。

表 5-5 脱硫工程主要设计参数

序号	项 目	单 位	参 数	备 注
1	脱硫脱硝系统	套	1	
2	烟气量	$\text{Nm}^3/\text{h}$	158000/塔	含燃烧炉产生的烟气量
3	$\text{SO}_2$ 进口浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 500$	
4	$\text{SO}_2$ 排放浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 25$	
5	脱硫效率	%	$\geq 96$	
6	$\text{NO}_x$ 初始浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 1000$	
7	$\text{NO}_x$ 排放浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 150$	
8	脱硝效率	%	$\geq 85$	
9	颗粒物初始浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 40$	
10	颗粒物排放浓度	$\text{mg}/\text{Nm}^3$	$\leq 15$	
11	除尘效率	%	$\geq 50$	
12	催化剂	$\text{m}^3$	78.5	
13	钙硫比		1.03~1.05	
14	脱硫液气比	$\text{L}/\text{Nm}^3$	8	
15	$\text{SO}_2$ 脱除量	$\text{kg}/\text{h}$	42	两炉合计
16	$\text{NO}_x$ 脱除量	$\text{kg}/\text{h}$	55.9	两炉合计
17	石膏产量	$\text{kg}/\text{h}$	124	两炉合计

序号	项 目	单 位	参 数	备 注
18	新增装机	kW	763.3	82kW 备用, 30.9kW 间歇使用
19	系统阻力降	Pa	≤3400	
20	系统漏风系数	%	<2	

(2) 脱硫系统设计及组成情况见表 5-6。

表 5-6 脱硫系统设计及组成

序号	名称	规格	材质	单位	数量
一	<b>烟气系统</b>				
1	热备风机	Q=50000m <sup>3</sup> /h, P=1200Pa, N=30kW 配电机 Y225M-6/380V	组件	台	2
2	热备换热器	950m <sup>2</sup>	组件	台	1
二	<b>补烧系统</b>				
1	燃烧器		组件	台	1
2	助燃风机	Q=17172m <sup>3</sup> /h~21465m <sup>3</sup> /h, P=5000Pa~6000Pa, N=15kW	组件	台	2
3	点火器			台	1
4	火焰检测器			台	1
三	<b>SCR 反应器</b>				
1	SCR 反应器	6*7, 蜂窝催化剂	组件	套	1
2	喷氨格栅	管网式	Q345B	套	1
3	整流格栅	方形钢板平列式	Q345B	套	1
4	超声波吹灰器	膜片式, 75Hz,吹灰功率 5kW	组件	个	8
5	卸氨泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=15m, N=4kW	塑料	台	1
6	氨水储罐	60m <sup>3</sup> , Φ4.5×4	304	座	1
7	氨投加泵	Q=0.4m <sup>3</sup> /h, H=80m, N=0.75kW	304	台	2
8	氨储罐淋洗装置		组件	套	1
9	氨水蒸发器	Φ700mm×3000mm	304	套	1
10	喷枪	双流体雾化喷嘴, 300L/h	组件	套	1
11	压缩空气储罐	2m <sup>3</sup> , 0.8MPa	组件	套	1

12	稀释风机	Q=5000Nm <sup>3</sup> /h, P=5500Pa; N=37kW; 耐温 350℃	组件	台	2
<b>四</b>	<b>余热锅炉系统</b>				
1	除氧水箱		组件	个	1
2	除氧器		组件	个	1
3	余热锅炉	16t/h 0.8MPa 172℃	组件	台	1
4	除氧水泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=70m, N=7.5kW	组件	台	2
5	锅炉给水泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=166m, N=15kW	组件	台	2
6	引风机	Q=380000 (200℃), P=6000Pa, 电机电压 6000V	组件	台	1
<b>五</b>	<b>脱硫系统</b>				
1	石灰粉仓	Φ=3.5m, H=6m, 50m <sup>3</sup>	碳钢	个	1
2	计量给料机	1.6t/h, N=3kW	组件	台	2
3	制浆罐	Φ=2.5m, H=2m, 8m <sup>3</sup>	组件	台	1
4	制浆罐搅拌	N=5.5kw	组件	台	1
5	捞渣机	N=3kW	组件	台	1
6	供浆泵	Q=15m <sup>3</sup> /h, H=20m, N=5.5kW	组件	台	2
7	脱硫塔	Φ=5.5m, H=23m	碳钢防腐	个	1
7.1	塔本体	Φ=5.5m, H=23m	碳钢	t	105
7.2	喷淋层	Φ=5.5m	玻璃钢	套	3
7.3	喷嘴	2"粘接	SiC	个	84
7.4	脱硫部件		316L	个	28
7.5	除雾器	Φ=5.5m	PP	套	1
7.6	除雾器冲洗	Φ=5.5m	PP	套	1
8	脱硫循环泵	Q=500m <sup>3</sup> /h, H=17/20/22m, N=55/55/75kW	A49	台	3
9	侧搅拌器	搅拌容积φ5.5×5.5	2507	台	3
10	氧化风机	Q=6.55m <sup>3</sup> /min, P=58.8KPa, N=11kW	组件	台	2
11	石膏泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=35m, N=11kw	组件	台	2
12	旋流器	20m <sup>3</sup> /h	组件	台	1
13	过滤机	过滤面积 1.9m <sup>2</sup> , N=1.5kW	组件	台	1
14	真空泵	N=18.5kW	组件	台	1

15	滤布冲洗水箱	Φ1.0m, H=1.2m	组件	台	1
16	滤布冲洗水泵	Q=9.5m <sup>3</sup> /h, H=34.5m, N=2.2kW	组件	台	1
17	滤液泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=18m, N=3.0kW	组件	台	2
18	地坑池搅拌器	N=7.5kW	组件	台	1
19	地坑泵	Q=20m <sup>3</sup> /h, H=18m, N=3.0kW	A49	台	2
20	工艺水泵	Q=60m <sup>3</sup> /h, H=54m, N=22kW	碳钢	台	2
21	工艺水箱	Φ3m, H=3.0m	碳钢	个	1
22	机封水泵	Q=9.5m <sup>3</sup> /h, H=34.5m, N=2.2kW	HT200	台	2

### (3) 脱硫系统调试及运行

唐山建龙筒舟钢铁有限公司焦化厂完成联合脱硫脱硝除尘项目的建设并调试、验收合格后,由其焦化厂负责整套联合脱硫脱硝系统设备的运营管理,为此专门成立了系统运行项目组,主要由技术人员、运营人员等组成专业团队负责,以保证整套系统的安全、高效、长期、稳定运行。系统运行至今,在线监测结果显示,该联合脱硫脱硝系统可连续、稳定地满足烟尘排放浓度 $\leq 15\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{SO}_2$ 排放浓度 $\leq 25\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $\text{NO}_x$ 排放浓度 $\leq 150\text{mg}/\text{Nm}^3$ 的要求,设备故障率低,各项技术、经济指标均达到设计指标。

### (4) 运行成本分析见表 5-7。

表 5-7 运行成本分析

项目	耗量	单位	单价	费用 (元/h)	备注
CaO 耗量	51.5	kg/h	0.6 元/kg	30.9	纯度 75%
液氨耗量	50	kg/h	2 元/kg	100	纯度 99.9%
焦炉煤气	1650	m <sup>3</sup> /h	0.5 元/m <sup>3</sup>	825	
催化剂折旧			18000 元/m <sup>3</sup>	70.65	按 24000h 更换一次催化剂计算
水耗	7.5	t/h	3 元/t	22.5	
电耗	557.4	kW·h	0.55 元/(kW·h)	306.57	
人工	12	人	120 元/(人·d)	60	
新增蒸汽(效益)	-12	t/h	80 元/t	-960	
合计				455.62	
年运行费用合计				364.5 万元	按年运行 8000 小时

5.4.5 乌鲁木齐华源热力股份有限公司（二厂）2 台 130t/h 锅炉烟气限期治理项目

(1) 脱硫工程主要设计参数情况见表 5-8。

表 5-8 脱硫工程主要设计参数

序号	项目名称	指标	备注
1	烟气量	320000m <sup>3</sup> /h	烟温≤180℃
2	入口烟尘浓度	≤50mg/Nm <sup>3</sup>	
3	锅炉产出 SO <sub>2</sub> 浓度	≤1200mg/Nm <sup>3</sup>	
4	系统总脱硫效率	96%	
5	烟尘排放浓度	≤30mg/Nm <sup>3</sup>	
6	SO <sub>2</sub> 排放浓度	≤50mg/Nm <sup>3</sup>	
7	布袋除尘器	1000Pa/台~1200Pa/台	
8	脱硫除尘塔总阻力	1000Pa/台~1200Pa/台	
9	钙硫比	1.02~1.05	
10	液气比	5.5	
11	漏风率	<2%	
12	SO <sub>2</sub> 脱除量	246.7kg/ (h·炉)	满负荷运行时

14	石膏产量	1.5t/ (h·炉)	
15	石灰耗量	277.9kg/ (h·炉)	满负荷运行时
16	水耗	7.4t/ (h·炉)	
17	电耗	152.6kW/ (h·炉)	不含引风机, 且实际耗电以理论耗电的 80%计

(2) 脱硫系统设计及组成见表 5-9。

表 5-9 脱硫系统设计及组成

序号	名称	规格型号	单位	数量	备注
一	<b>制浆系统</b>				
1	料仓		个	1	
2	仓顶布袋除尘器	UF28A	套	1	
3	计量给料机 (变频调速)	4.0kW	台	2	一台备用
4	制浆罐	$\Phi_{内}=3.5m, H=3.0m$	套	1	
5	罐顶除尘器		套	1	
6	制浆罐搅拌机	FTLD1000-4	套	1	
7	制浆泵	$Q=20m^3/h, H=18.0m$	台	2	一台备用
二	<b>吸收及氧化系统</b>				
1	脱硫塔(含塔内所有部件及塔体防腐、保温)	XP II 130	座	2	
2	脱硫循环泵	$Q=600m^3/h, H=19m$	台	2	
		$Q=260m^3/h, H=23m$	台	2	
3	侧搅拌机	CJ920-9.2	台	4	
4	氧化风机	CKSR150	台	3	一台备用
三	<b>副产物处理系统</b>				
1	排浆泵	$Q=20m^3/h, H=22m$	台	2	
2	浓缩池	NSC5040	个	1	
3	石膏泵	$Q=20m^3/h, H=22m$	台	2	一台备用
4	带式真空过滤机	DU4 m <sup>2</sup> /800	台	1	
5	水环式真空泵	2BE1 203	台	1	
6	滤液分离缸	单缸自动放水	台	1	

7	滤布再生泵	25LG-5	台	1	
8	滤布再生水箱	SX1312	台	1	
9	滤液箱	$\Phi_{内}=3.0m, H=3.0m$	个	1	
10	滤液泵	$Q=20m^3/h, H=18m$	台	2	一台备用
四	<b>地坑及排空系统</b>				
1	地坑池搅拌器		台	1	
2	地坑泵	$Q=20m^3/h, H=20m$	台	2	一台备用
3	地坑池(砼结构)		个	1	
五	<b>工艺水系统</b>				
1	工艺水泵	$Q=40m^3/h, H=40m$	台	2	一台备用
2	工艺水箱	$\Phi_{内}=4.0m, H=4.0m$	台	1	

### (3) 脱硫系统调试及运行

除尘脱硫系统建成后，对其进行了调试，合格后对除尘脱硫系统出口烟尘、SO<sub>2</sub>浓度进行了检测，结果显示经除尘脱硫后，烟尘、SO<sub>2</sub>浓度分别下降为16.4mg/Nm<sup>3</sup>、7mg/Nm<sup>3</sup>，达到并优于环保要求。系统正常运行，在线监测结果显示，该除尘脱硫系统可连续、稳定地满足烟尘排放浓度≤30mg/Nm<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub>排放浓度≤50mg/Nm<sup>3</sup>的要求，且无结垢、堵塞问题，各项经济、技术指标均达到设计指标。

### (4) 运行成本分析见表 5-10

表 5-10 运行成本分析

项 目	耗 量		单 价	费 用	
	小 时	年		小 时	年
水	7.4×2=14.8t/h	5.328 万 t/a	2.6 元/t	38.48 元/h	13.8 万元/a
电	124.0×2=248kW · h/h	89.28 万 kW · h/a	0.5 元 /(kW · h)	44.64 元/h	16.1 万元/a
石灰粉	277.9×2= 555.8kg/h	2000.88t/a	300 元/t	166.74 元/h	60.0 万元/a
其他固定费用					6 万元/a
合 计					95.9 万元/a

注：1. 2 台 130t/h 锅炉按年运行 3600h 计；  
2. 实际用电量按理论用电量的 80%计。

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 标准的适用范围

作为工艺类通用技术规范，本规范适用于火电厂、水泥、工业锅炉、钢铁烧结等行业采用石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程。本标准对石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程的设计、施工、验收、运行和维护等提出了技术要求。

### 6.2 规范性引用文件的说明

本标准引用部分国家和行业标准、规程、规范，以及建设项目竣工验收（管理）规范性文件，作为本标准的延伸技术规定，引用文件的管理规定和技术要求视为本标准的一部分。

石灰石/石灰—石膏烟气脱硫工程中关于工艺设备及原材料、配件等方面的规定主要引用现行国家及行业标准，此外，脱硫工程涉及的辅助工程和工程建设、施工、安装、调试、验收等引用电力、环保、石化等行业的相关标准、规程、规范。

### 6.3 术语和定义

本标准经修订后，对 13 个名词术语进行解释。其中，保留了 HJ/T 179-2005 中对吸收剂、吸收塔、副产物、脱硫废水、脱硫效率、增压风机等术语的定义，还增加了脱硫工艺、脱硫工程、钙硫比、液气比、浆液循环停留时间、氧化风机、总颗粒物 7 个术语的定义。

### 6.4 污染物与污染负荷

该章节参考 HJ 179-2005 中“脱硫工程工艺参数的确定”部分内容，对脱硫工程入口烟气流、入口烟气中 SO<sub>2</sub> 含量等设计参数估算进行规定。此外，为满足排放标准的要求，本规范还对脱硫工程入口烟气 SO<sub>2</sub> 浓度、总颗粒物浓度（按 6%O<sub>2</sub> 标态、干基折算）进行限制，同时描述了石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工艺主要应用领域及对污染源进行全面和深入调查的要求。

### 6.5 总体要求

#### 6.5.1 一般规定

该章节是根据石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工程的通用要求做了一般性规定，对于其他

标准及规范中已经明确的要求，本规范也同样遵守。

本节规定了脱硫工程出口  $\text{SO}_2$  浓度应满足国家或地方排放标准要求，且应满足环境保护行政主管部门的要求，包括环境影响评价批复文件、主要污染物总量控制及排污许可要求等。

本节还对脱硫工艺产生的废水、副产物、噪声、振动提出控制要求。脱硫工程所需的水、电、气、汽等辅助介质，吸收剂和副产品的计量装置应尽量由主体工程提供。此外，脱硫工程应按 HJ/T 76 和环保部门的规定装设烟气排放自动连续监测系统（CEMS）。

### 6.5.2 工程构成

说明了石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程包含烟气脱硫工艺系统、公用系统、辅助工程等三部分，并详细说明各系统的组成。

### 6.5.3 总图布置

本节对脱硫工程各系统、管线的布置作出通用性要求，包括吸收塔、浆液循环泵、事故浆池或事故浆液箱、吸收剂料仓、石膏仓等布置的位置、脱硫场地的防洪及平整度要求、脱硫区域内道路设计、脱硫工程管线及管道的布置。

本章节规定了烟气脱硫工程总体设计的常规要求，其目的是使烟气脱硫工程平面布局合理，交通、运输、检修、维护方便。脱硫工程属于整个工厂的一部分，工厂在总平布置时已对脱硫工程进行初步规范，本标准修订后对原标准中对“脱硫场地的平整度、建筑物室内外地坪高差”等内容进行了精简。

## 6.6 工艺设计

### 6.6.1 一般规定

本节主要针对脱硫工艺的选择、工艺参数的确定、原材料、副产物、脱硫系统的辅助介质等内容做出一般性规定。

脱硫工艺路线选择应优先考虑脱硫工程长期运行的可靠性和稳定性，应将脱硫系统作为独立系统与主体工程要求相同。此外，还对脱硫工程设计效率、年操作时间提出要求，并规定了操作、测试、巡检、维护用的平台和扶梯的设置要求。

### 6.6.2 工艺路线

本节为新修订的内容，对在不同条件下，使用不同的脱硫剂和选择不同的脱硫塔型进行了说明，对吸收塔型进行了简要说明。

随着石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫技术的发展，目前运行的工程案例中以单循环和双循环两种工艺路线为主。选择石灰石作为吸收剂，当脱硫入口  $\text{SO}_2$  较低时，浆液 pH 值可以

稳定运行在5.2左右，易于脱除二氧化硫；当脱硫入口SO<sub>2</sub>较高时，浆液pH值稳定运行在5.0左右，相对较低，不利于二氧化硫脱除但有利于氧化反应的进行，通过采用双循环工艺，二次循环的浆液pH控制在6左右，有利于二氧化硫脱除，同时也提高了石膏的品质。

本节还规定了不同SO<sub>2</sub>含量适合采用的工艺路线。

### 6.6.3 烟气系统

本节主要对烟温、增压风机、挡板门、烟道补偿器以及烟道防腐要求进行了规定。

根据脱硫工程运行经验，烟气温度高于72℃时，烟囱排烟口就不会产生“白雾”，且烟气扩散条件改善，有利于避免低气压情况下饱和烟气排放造成的烟囱周围呈酸性的“石膏雨”现象，宜提高排烟温度，改善烟气扩散条件。从检修和运行的角度，脱硫工程烟气系统挡板要求100%密封，因此应强制考虑密封风系统。从检修隔离的角度，规定了脱硫塔出口需设置烟气挡板门。补偿器采用非金属材料是因该设备承受pH值较低的烟气，从投资成本上考虑的，不排斥采用成本较高的合金材料。

### 6.6.4 吸收剂制备系统

本节主要对吸收剂（石灰石、生石灰和电石渣）的品质、吸收剂料仓的容量、吸收剂制备系统的容量及数量、石灰石/石灰浆液箱的容量、加药管线等内容进行规定。

修订后的标准在HJ/T 179-2005的基础上进行补充和完善。主要增加了以下内容：石灰石中CaCO<sub>3</sub>、生石灰和电石渣的纯度要求，吸收剂卸料系统的出力要求，不同运输方式和不同来料方式料仓和粉仓的容量要求，湿磨浆液制备系统和干磨制粉系统的出力和配置要求，吸收剂浆液箱的容量和配置要求。此外，有的工程供浆系统采用变频泵进行供浆而取消环路管道。这种配置存在低负荷情况下变频泵无法正常调节而发生泵频繁启停以及管道频繁冲洗的问题，因此增加规定无论是否采用变频供浆泵，吸收塔供浆系统宜采用环路管道系统。

### 6.6.5 吸收系统

本节主要针对吸收塔的选型、主要设计参数、排浆浓度、石膏品质等内容进行规定，同时对氧化空气系统、浆液排出系统、浆液循环泵、除雾器等主要工艺系统、设备提出技术要求。

在喷淋吸收塔的设计参数中，综合考虑除雾器的流速、除雾效果以及吸收塔烟气阻力等因素，规定空塔流速不大于3.8m/s，确保吸收系统稳定、经济运行。同时，为满足亚硫酸钙氧化、石膏结晶所需时间，提高石膏品质，规定浆液停留时间不小于4.2min。

在HJ/T 179-2005的基础上，本节新增6.5.1、6.5.2、6.5.3、6.5.10条。其中6.5.1条规定了吸收塔选择的原则，6.5.2条明确了可采用的吸收塔型式，6.5.3条规定了喷淋吸收塔的基本设

计要求，6.5.10条对吸收塔浆液排出系统的设计容量做出限制。此外，针对不同类型的吸收塔，规定了浆液循环量的设计原则，以及循环浆液泵和喷淋层的设置要求，同时对吸收塔除雾器的除雾性能提出更高的要求。

#### 6.6.6副产物处理系统

本节重点规定了副产物应采取的处理方式、石膏浆液旋流站的配置方式、二级脱水设备配置要求、石膏堆放方式及石膏筒仓或石膏库的设计要求等内容。

原标准中仅对石膏脱水系统和石膏仓库进行规定，本标准中增加了副产物处理系统设计依据、石膏旋流站的配置原则、石膏二级脱水系统配置原则等内容，同时还对石膏仓和石膏库的容量给出计算依据，对石膏库有效容积的计算基准进行了规定，并明确了根据库容选择单点落料或多点落料的原则。

#### 6.6.7浆液排放和回收系统

本节主要对浆液排放和回收系统的箱罐、集水坑和沟道进行了相关规定。

脱硫工程应设置检修浆液箱，其数量和容量应根据脱硫塔容量、数量及锅炉特性等综合因素确定。

#### 6.6.8脱硫废水处理系统

本节在原标准的基础上对相关内容进行简化，仅对脱硫废水处理设计原则和处理方式、系统组成进行相关规定，具体的技术要求可参考废水处理的相关标准和规范。

#### 6.6.9公用系统

本节为新增内容，主要对脱硫公用系统中工艺水、压缩空气、蒸汽设计参数、使用要求进行相关规定。

#### 6.6.10二次污染控制措施

本节为新增内容，针对脱硫工艺过程中石灰石/石灰卸料点、石灰石块仓及石灰石粉仓产生的扬尘、石膏脱水车间产生的水汽、脱硫废水产生的污泥、脱硫后烟气排放产生的“石膏雨”、设备产生的噪声等二次污染提出相应的控制措施。

从现有的工程实践来看，饱和烟气在烟囱内上升过程中冷却产生了部分冷凝水，冷凝水在烟囱排出口由于扩散不足的原因在烟囱周围下落形成“烟囱雨”。如果脱硫后烟气除雾效果不好，在烟气冷凝液中含有一定的石膏浆液，此时的烟囱雨也叫“石膏雨”。在没有设置脱硫烟气升温换热器（加热器）的脱硫工程，不可避免会产生“烟囱雨”现象，只是程度的轻重而已。要彻底避免产生“烟囱雨”，宜对脱硫烟气升温排放。

#### 6.6.11突发事件应急措施

本节为新增内容，规定了事故时系统浆液的处理方式、烟气事故喷淋系统的设计条件和设计方式、运行参数超过设计条件时的机组运行方式等内容，补充规定了废水处理卸酸、碱区需设置自动淋浴装置等应急措施。

## 6.7主要工艺设备和材料

### 6.7.1 主要工艺设备

本章节规定了石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工艺主要工艺设备的选型及通用设计要求，与原技术规范相比，主要对以下内容进行了修订：

原规程第 7.1.1，修正为脱硫增压风机的设计选型要求。

原规程第 7.1.4，修改后的条文提高了氧化风机选型时计算容量的要求，更加清楚地规定了罗茨式和离心式氧化风机选型的要求。

原规程第 7.1.5，修改后的条文补充了事故浆液箱采用侧进式搅拌器的要求。

新增 7.1.7 条文，规定了烟气换热器可采用气气换热器和热媒水烟气换热器。

原规程第 7.1.7 修改为 7.1.8，规定了回气气换热器（GGH）的设计选型要求，并强制要求当 FGD 进口原烟气温度的大于或等于设计温度时，GGH 的净烟气出口温度应不小于 80℃，低于设计负荷时，GGH 的净烟气出口温度应不小于 72℃。

新增 7.1.9 条文，规定了热媒水烟气换热器（WGGH）的设计选型要求。

新增 7.1.10 条文，规定了湿式球磨机的选型要求，入口物料粒径宜不超过 20mm。

新增 7.1.11 条文，规定了干磨机的选型要求，规定了干磨机进口物料的水份要求。

新增 7.1.12 条文，规定了吸收塔内除雾器的选型要求。

新增 7.1.13 条文，规定了吸收塔浆液循环泵的选型要求，根据循环泵的技术要求宜选用离心式。

### 6.7.2 材料

本节主要对脱硫系统内材料的选择原则做了简要规定，同时对管道及阀门材质的选择进行了说明。

当脱硫系统设备选择金属材料时，对材料属性、使用要求进行详细规定。针对某些特殊部位，复合材料无法满足要求，需采用合金材料，对合金材料的成份及适用介质做了规定。

在工艺系统中需要进行防腐蚀和防磨损处理的部位，可选用玻璃鳞片树脂、无溶剂树脂陶瓷、玻璃钢、塑料、橡胶、陶瓷类非金属材料，对主要非金属材料成分及使用部位进行了规定。鉴于玻璃鳞片类防腐材料均含有大量易燃溶剂苯乙烯，苯乙烯的闪点为 31℃，在受

限空间内作业时，如浓度超过爆炸下限 1.1%时，静电、电火花、高温均可引起爆燃。新型无溶剂树脂陶瓷防腐材料，具有优异的耐酸腐蚀性能，产品中不含有可燃溶剂，闪电大于 100℃，阻燃等级达到美国 UL94 标准规定的 HB 等级，具有离火自熄功能，可消除防腐施工中爆燃危险源，提高施工安全性。

本章在 HJ 179-2005 中“第 7 章材料”的基础上进行补充完善，补充了对管道材料、阀门阀板材质的选择要求，增加了对丁基橡胶的性能要求。

## 6.8 检测与过程控制

本章节对石灰石/石灰—石膏法脱硫工艺的检测内容、检测手段进行了规定；对脱硫系统的过程控制内容进行了规定。

检测与过程控制是确保烟气脱硫工程稳定运行、达标排放的重要手段，根据石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工艺的特点，脱硫工程应根据主体工程整体控制方案，与主体工程控制系统或辅控系统统筹考虑。

根据《环境工程技术规范制订技术导则》的规定，本章为新增条款，包含原标准中第 6 章中的热工自动化部分内容，但因热工自动化部分相关的规范更多、更全面，此次修订在原有标准的基础上进行了精简。

为了解决脱硫系统存在的问题，实现达标排放的目的，本节还规定了过程检测的相关参数。为烟气脱硫工程实现闭环控制和性能考核提供数据的 CEMS 应符合国家及行业相关规范。此外，为及时掌握脱硫工程的运行状况，脱硫工程需配备专用的化学分析室，化学分析室设备应具有分析所有测试项目的能力，并对日常分析检测项目及检测周期做出详细要求。

## 6.9 主要辅助工程

### 6.9.1 电气系统

本章节对电气系统的设计要求作了一般规定。包括供电系统、照明和检修系统、电缆敷设、防雷和接地、控制保护及自动装置、直流系统、交流保安电源和交流不停电电源（UPS）、二次线等。本节系 HJ/T 179-2005 “6.1 电气系统”修订部分，对条款顺序和内容做了调整。

### 6.9.2 建筑及结构

本节根据国家现行有关规范并结合石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫工程的特点，对建筑及结构的设计要求进行规定。凡本规范未涉及的部分，应符合国家现行的有关标准的规定。条文修订说明如下：

9.2.1.2、9.2.1.4、9.2.2.2 条系新增条文，对脱硫建筑物热工与节能设计、防腐蚀设计、石膏库和石灰石储料棚上部结构和基础设计等内容进行补充规定。

9.2.1.3 系原规程 6.3.1.3 修改条文，考虑到石膏储存间（石膏库）石膏的堆积高度一般都在 5 米以上，地面每平方米均布荷载大于 5 吨，因此需要采用重载地面。

### 6.9.3 给排水与消防系统

本章节主要对给排水与消防系统的设计要求作了一般规定。本规定是根据国家现行有关规范并结合石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工程的特点和实施经验制定。凡本规范未涉及的部分，应符合国家现行的有关标准的规定。

脱硫工程区域的给排水与消防系统应根据新建脱硫系统和改建、扩建脱硫系统不同的特点进行设计，新建脱硫工程区域主厂系统统一规划，改建、扩建脱硫工程区域存在增加建筑物和加高吸收塔等内容，需要对原有给排水与消防系统的水量和水压进行核算。

为方便脱硫工程区域运行值班人员，脱硫工程区域设置应考虑设置卫生间，卫生间的具体设置可根据使用人员的数量进行调整。

脱硫工程区域的生产生活排水系统一般包括地面冲洗水、生活污水、电缆沟道排水和未预见排水量，其中收集生活污水的排水系统与收集地面冲洗水、检修冲洗的排水系统分开设置，脱硫工程区域地面冲洗水多含浆液等杂质，收集后排入工艺地沟。

近年来，脱硫工程控制室随着发展已经有了很大的变化，大屏幕监视系统取代了传统的盘柜，可燃物大为减少，且有值班人员，没有必要配置固定气体灭火系统。脱硫工程区域的高低电压配电间、电子设备间、电缆夹层等相对于主厂房的规模较小、设备较少，产生火灾的几率相对较低，没有必要配置固定气体灭火系统，可采取灵活多样的灭火措施，如悬挂式超细干粉灭火装置等。因此烟气量为 200 万  $\text{Nm}^3/\text{h}$  及以下脱硫工程区域一般情况下可不设置固定式气体灭火系统，但应符合 GB 50016 及相关规范的规定。烟气量为 200 万  $\text{Nm}^3/\text{h}$  以上脱硫工程区域可根据实际情况参考 GB 50229 执行。

### 6.9.4 采暖通风与空气调节

本章节主要对采暖通风与空气调节系统的设计要求做了一般规定。采暖通风与空气调节系统的设计应符合 GB 50019 和 GB 50243 的规定。凡本规范未涉及的部分，应符合国家现行的有关标准的规定。条文修订说明如下：

9.4.2 系保留原规范 6.4.2.1 条，6.4.2.2 条，6.4.2.3 条，并对原规范表 6-3 部分内容根据现脱硫系统进行调整。

9.4.3 系保留原规范 6.4.2.5 条，6.4.2.6 条，并新增配电间和工艺房间通风装置的设计要

求。

9.4.4 系保留原规范 6.4.2.4 条,规定了脱硫岛内控制室和电子设备间空气调节设置要求。

#### 6.9.5 道路与绿化

本章节对脱硫工程区域内的道路设计和绿化做了一般规定。脱硫岛内道路设计应为道路建成后的经常性维修、养护和绿化工作创造有利条件。脱硫岛区域的绿化设计, 应按照 GB 50187、GB 50660 执行。

#### 6.10 劳动安全与职业卫生

该章节是工程通用技术规范中规定的必要内容,其目的就是要求在设计、建设和运行过程中要高度重视劳动安全与职业卫生,并有章可依、有法可循。在设计过程中,要遵守国家和相关行业的标准、规范、导则等文件的要求。在建设和运行过程中,保障脱硫系统的安全与工作场所的职业卫生。如在脱硫剂石灰石制备成粉的过程中,会产生粉尘污染,为保护工人的劳动安全,应设置粉尘治理装置,宜采用全负压密闭系统减少粉尘的排放,并采取适当通风措施;在运行过程中,风机、水泵、磨机、真空皮带脱水机等大型设备的噪声和振动源强较大,应采取有效的减振、隔声、消声等治理措施,以减轻对作业人员的伤害及对区域环境的影响。

与 HJ 179-2005 相比,本标准中增加用电、固定式钢梯、防护栏杆及平台、安全标志方面的要求;职业卫生的要求主要参考原标准。

#### 6.11 工程施工与验收

本章节规范了工程施工与验收的基本原则。施工单位应遵守国家相关施工规范,还应遵守国家有关部门颁布的劳动安全及卫生、消防等强制性标准,对脱硫工程内装置及设备进行施工,确保工程质量。脱硫工程验收应按相应专业现行验收规范和本规范的有关规定进行组织。本节主要参考 HJ 179-2005 的内容,此次修订在原有标准的基础上进行了精简。

#### 6.12 运行与维护

本标准在运行管理技术力量配置、运行人员技术培训、运行工作要求等方面进行明确规定。要求运行部门或单位制定运行、操作和维护规程,建立脱硫工程、主要设备运行状况的台账制度和巡检制定,建立运行记录制度,为确保脱硫工程稳定可靠运行,规定脱硫系统维护检修纳入到工厂统一管理,并制定严格的检修维护管理制度。

本章节内容是在国家及行业相关规范要求的基础上,对运行人员和日常运行管理、维护

保养的相关规定进行了补充完善，并细化了对主要设备检修工艺及质量的要求（附录 F）。此外，当脱硫系统出现紧急事故，简要提出事故应急处理应采取的措施。

## 7 标准实施的环境效益及技术经济分析

### 7.1 环境效益分析

本标准的发布能够指导不同行业的烟气 SO<sub>2</sub> 污染防治，有利于保证企业 SO<sub>2</sub> 排放达到相关标准的要求，有利于改善环境效益，保持社会和谐发展。一方面，本标准对于不同行业烟气脱硫工程规模的确定、处理工艺的选择、主要设计参数的选取和关键设备的选型等均作出了指导性的规定，因此，标准的实施在合理确定工程投资规模、最大程度发挥投资效益和控制运行成本等方面起到非常重要的作用；另一方面，本标准为不同行业烟气脱硫工程的达标排放提供了坚实的技术支撑，可有效地减轻环境污染。2014 年，二氧化硫排放总量为 1974.4 万吨，比 2010 年下降 9.6%，其中工业源排放量超过 88%。为实现 SO<sub>2</sub> 减排的目标，1.3 亿 kW 现役煤电机组脱硫设施实施增容改造，1.4 亿 kW 现役煤电机组拆除脱硫设施烟气旁路；3.6 万 m<sup>2</sup> 钢铁烧结机新增烟气脱硫设施；石油炼制行业 26 套、4005 万吨催化裂化装置新建脱硫设施；至 2015 年，二氧化硫排放总量为 1859.1 万吨，比 2014 年下降 10.9%，比 2010 年下降 18.6%。由此可见，“十二五”期间以石灰石/石灰—石膏湿法为主流工艺的脱硫技术在实现二氧化硫减排目标方面作出了极大的贡献，实现了二氧化硫排放总量的大幅下降。

### 7.2 技术经济分析

石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工程的单位投资与设备配置、烟气量、烟气 SO<sub>2</sub> 浓度、脱硫效率、排放要求以及工程类型等密切相关。以火电行业为例，对于 300MW 机组，脱硫工程的单位投资为 200 元/kW~250 元/kW；对于 600MW 机组，脱硫工程的单位投资为 150 元/kW~180 元/kW；对于 1000MW 机组，脱硫工程的单位投资为 100 元/kW~125 元/kW。

运行费用主要包括吸收剂消耗、能源动力（水、电、气）消耗、人工费用、折旧费、维修费用等。以火电行业为例，影响装置运行成本的主要因素为烟气中 SO<sub>2</sub> 浓度和脱硫效率。

## 8 标准实施建议

本标准通过问卷调查和实地调研，总结近十年来脱硫工程设计、施工和运行管理方面的经验，吸纳新工艺和技术，在广泛调研的基础上修订完成本标准。本标准涉及烟气脱硫工程设计、施工、运行等各方面，涉及面广、技术性强，需要在执行过程中不断修改和完善。