

附件三：

《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》
(征求意见稿)

编制说明

《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》编制组

2010 年

目 次

1	任务来源.....	1
2	标准制定必要性.....	1
3	主要工作过程.....	4
4	国内外相关标准研究.....	4
5	同类工程现状调研.....	6
6	主要技术内容及说明.....	10
7	标准实施的环境效益及经济技术分析.....	31
8	标准实施建议.....	40
9	征求意见处理情况说明.....	
10	技术审查工作情况说明.....	

1 任务来源

原国家环境保护总局办公厅《关于开展 2008 年度国家环境保护标准制修订项目工作的通知》（环办函【2008】44 号）下达计划《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》，项目序号 359，统一编号 1433。

本标准主要起草单位：中国环境保护产业协会、江苏新世纪江南环保有限公司、国电环境保护研究院、云南亚太环境工程设计研究有限公司。

2 标准制定必要性

2.1 标准制定的法律依据

2.1.1 国家环境保护法律、法规

《中华人民共和国环境保护法》、《大气污染防治法》等国家环境保护的法律、法规。

2.1.2 国家环境保护部文件

原国家环境保护总局环发〔2002〕26号文《燃煤二氧化硫排放污染防治技术政策》、环发〔2006〕41文《关于发布〈国家环境保护标准制修订工作管理办法〉的公告》等。

2.1.3 主要依据的国家及行业标准

GB/T1.1-2000《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》

GB3095-1996《环境空气质量标准》

GB13223-2003《火电厂大气污染物排放标准》

2.2 编制原则、方法和依据

2.2.1 编制原则

制定本标准的原则是依据我国法律、法规及标准体系要求，根据我国火电厂烟气 SO₂ 排放治理的具体情况和发展趋势，参照国外技术状况及相关标准，建立一套既符合我国国情又能与国际接轨的氨法烟气脱硫工程的技术标准，规范我国氨法烟气脱硫工程技术的设计、施工、验收、运行和维护等过程的行为准则，促进我国燃煤烟气脱硫工程技术进步和可持续发展。

本标准编制工作除了严格执行《国家环境保护标准制修订管理办法》外，还遵循如下原则：

1) 加速火电厂烟气脱硫工程技术的更新换代，贯彻产业环保政策，促进科技进步，加速推进污染物控制技术及资源节约型产品的开发。

2) 根据污染物排放的技术经济分析情况, 合理确定火电厂氨法烟气脱硫系统的脱硫效率、氨(回收)利用率等性能指标, 着重考虑控制火电厂SO₂排放总量, 把控制大气污染作为防治重点。

3) 从中国的国情出发, 既要考虑脱硫系统的经济实用性又要有一定的先进性, 参考国内外排放标准, 严格按经济规律办事, 从而使制定内容与国内目前技术及管理状况相适应, 使本技术标准规范切实可行。

2.2.2 编制方法

本标准的制定过程中, 根据我国火电行业的SO₂排放现状和发展趋势, 充分考虑SO₂减排的重要性和影响, 并借鉴国外SO₂控制的有益经验, 制定出符合我国国情的氨法火电厂烟气脱硫工程技术规范。

根据规范内容要求, 在进行多方位调查、研究、咨询、论证等工作, 充分掌握基础资料及现场使用情况后, 编写本规范。

调查研究范围包括火电厂SO₂排放情况, 国内火电厂现有氨法烟气脱硫系统设计、制造、施工和运营现状。

收集资料包括国内火电厂氨法烟气脱硫系统的运行、脱硫效率及脱硫系统出口污染物排放状况, 火电厂SO₂排放情况, 国内外相关的法律、标准、规范。

资料的收集采取现场调研与资料信函调研相结合的方式。

2.2.3 编制技术依据

2.2.3.1 国内火电厂氨法烟气脱硫技术状况

目前国内火电厂湿式氨法烟气脱硫技术主要分两大类: 空塔型技术及多层复合型脱硫塔技术。其中空塔氨法烟气脱硫技术主要是源于TS/PS简易氨法技术和类似石灰石—石膏法技术的两种塔型。

源于TS/PS的技术大多以文氏管结合空塔为主, 配套回收系统, 但因气液接触不充分, 运行回收率效果不佳。

类似石灰石—石膏法空塔的氨法烟气脱硫技术基本延用了石灰石—石膏法的内部结构及流程, 有些作了并流、逆流等调整, 但未能针对氨法的特点进行实质性的改变, 运行效果不理想。

多层复合型脱硫塔技术是目前国内应用最多的也是相对成熟的氨法烟气脱硫技术, 国内已经建成有十多套多段复合型吸收塔系统。其主要特征在于塔内设置了不同功能的分段吸收层, 技术的核心是解决了氨逃逸及氧化问题。

2.2.3.2 多段复合型吸收塔技术运行效果

多段复合型吸收塔已应用到天津碱厂电厂（天津永利电力有限公司）、云南解化集团热电厂、重庆中梁山煤电集团发电厂、中石化扬子石化有限公司电厂、山东众泰电力有限公司、广西田东电厂等电厂燃煤锅炉烟气脱硫工程中，这些系统的运行表明：多段复合型吸收塔技术在低、中、高硫煤的锅炉烟气治理上的脱硫效率都在 97%以上，副产物的氧化率在 98.5%以上，氨的逃逸浓度小于 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，副产硫酸铵产品品质达 GB535-1995 合格品以上。

可见，多段复合型吸收塔的氨回收法烟气脱硫技术成熟，是符合氨法烟气脱硫特点的技术，能满足环保与经济运行的要求，代表了国内氨法烟气脱硫的先进技术，也是当前氨法烟气脱硫的主导技术。

因此，本标准中的相关规定以多段复合型吸收塔技术及其应用工程的具体情况为重点参照，体现本标准的先进性与实用性。

2.3 标准制定的目的

环境工程技术规范是我国环境保护管理体系的重要组成部分之一，本工程技术规范主要落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《火电厂大气污染物排放标准》对火电厂 SO_2 排放的规定，规范氨法烟气脱硫工程建设，控制 SO_2 的排放，从而改善环境质量、保障人民的健康、促进生态和谐。

氨法烟气脱硫工程是一个系统工程，主要包括设计（工艺参数的选择、设备的选型、辅助设施的配置等）、施工、验收、运行和维护等内容。本标准编制目的在于规范氨法烟气脱硫工程建设过程，保障氨法烟气脱硫工程的健康有序地发展，促进落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《火电厂大气污染物排放标准》及其它行业大气污染物排放标准。

本工程技术规范为氨法烟气脱硫工程的设计、施工、验收、运行和维护等建立一个统一的技术指导规范，有利于促进氨法烟气脱硫工程的推广与应用，有利于环境的可持续发展。

2.4 标准制定的意义

氨法烟气脱硫的脱硫剂具有挥发性，且部分氨基脱硫剂如液氨、气氨属于危险品，所以氨法烟气脱硫需要解决一些特殊的问题，如吸收剂的安全问题、氨逃逸的控制和副产物质量等，这些问题是影响脱硫系统的安全、稳定、经济和环保性能的关键因素。也是关系氨法烟气脱硫系统能否正常运行的核心问题。

随着火电厂对烟气脱硫技术多元化的需求，以及氨法烟气脱硫技术的不断发展进步，该技术在火电厂也得到日益广泛地应用。然而，目前氨法烟气脱硫技术的工程能力、技术水平参差不齐，系统的可靠性、经济性和安全性差距较大，因此，迫切需要一部有指导意义、有针对性的工程技术规范将有关要求做具体的规定，构建技术指标、学习范例和工程建造的规范体系，对氨法烟气脱硫工程进行指导及规范，供相关设计、施工、验收运行和维护等以备工程生产管理使用。

目前国家还没有氨法烟气脱硫方面的专门技术类规范、标准，本标准的制定将对规范氨法烟气脱硫技术与运行、促进国家的烟气脱硫行业的正常发展有着重要的意义。

3 主要工作过程

2008年初，原国家环境保护总局下达《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》的编制任务，中国环境保护产业协会组织相关单位及人员成立标准编制小组，确定参编单位及人员名单。

2008年12月，完成标准的开题报告和标准编制大纲。

2009年1月，原国家环境保护总局科技标准司在北京主持召开了本标准的开题论证会议。在开题论证会上明确了标准的编制方向和原则，通过了编制大纲。

2009年7月，完成《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》及编制说明的初稿，经多次讨论并征求意见，于2010年4月形成《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》（征求意见稿）。

4 国内外相关标准研究

4.1 技术规范类标准

4.1.1 《火力发电厂烟气脱硫设计规程（DL/T5196）》该规程规定了烟气脱硫系统设计的具体要求，统一和规范火力发电厂烟气脱硫系统的设计和建设标准。

该规程主要确定了脱硫系统设计中的一些共性规定，如设计工况确定、平面结构布置、主要设备（氧化风机、增压风机、泵等）配置、烟气排放方式、电气热控等方面的具体要求。本氨法标准均按上述规定执行。

此外，针对不同燃煤机组的具体情况，DL/T5196规定了各自优先采用的脱硫工艺及其对应的脱硫效率等参数（见表4.1）。

表 4.1 燃煤机组烟气脱硫优选工艺

机组种类	机组情况	脱硫效率	优选工艺	系统可利用率
新机组	S \geq 2%	\geq 90%	湿法	\geq 95%
	P \geq 200MW			
	S $<$ 2%且 P $<$ 200MW	\geq 75%	干法、半干法	
老机组	R $>$ 10a	参照新机组规定执行		
	R \leq 10a	\geq 75%	干法、半干法	
海滨电厂	S $<$ 1%	\geq 90%	海水法	

注： P—机组装机容量； S—燃煤的含硫量； R—机组剩余使用年限

表中提及的湿法脱硫技术主要是指石灰石-石膏法，此设计规程对氨法烟气脱硫有如下规定：

“氨水洗涤法脱硫工艺应在液氨的来源以及副产物硫酸铵的销售途径充分落实的前提下，经过全面技术经济认为合理时，并经国家有关部门技术鉴定后，可以采用氨水洗涤法脱硫工艺。脱硫率宜保证在90%以上。”

当前，氨法烟气脱硫技术发展迅速，取得了较多的工业应用，得到了各方面的认可，其技术水平、环境效益和经济效益等也通过了相关部门的鉴定，是一种成熟、先进的脱硫工艺。氨法烟气脱硫的吸收剂具有很高的反应活性，对煤种的适应能力强。因此本标准在参照上表相关规定的基礎上，规定了氨法烟气脱硫工艺的脱硫效率一般不小于95%，对于选择中低硫煤为燃料的机组，脱硫后SO₂浓度都将低于200mg/Nm³，对于以高硫煤为燃料的机组，其脱硫效率可适当提高，以满足《火电厂大气污染物排放标准》中规定的限值要求。系统的可利用率则遵照上表规定执行。

该设计规程中关于氨法烟气脱硫的内容还有：“氨罐区应布置在通风条件良好、厂区边缘安全地带，防火设计应满足GB50160的要求；氨水洗涤法脱硫，应根据市场条件和厂内场地条件设置适当的硫酸铵包装及存放场地。”

因此本标准的平面布置、安全、消防等内容参照了上述规定。

4.1.2 《火电厂烟气脱硫工程技术规范 石灰石/石灰—石膏法（HJ/T179）》

该规范适用于火电厂烟气脱硫工程（石灰石—石膏法）的规划、设计、评审、采购、施工及安装、调试、验收和运行管理。

本标准《火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法》和HJ/T179同属于国家环境工程技术规范体系中重点污染源治理工程技术规范的火电厂烟气脱硫工程技术规范类标准，因此可参照其相关规定执行，尤其是施工、环境保护验收、运行与维护以及劳动安全与职业卫生等方面的共性要求。

本标准的工艺设计、设备和材料选型等除了遵照DL/T5196习惯规定外，也部分参照了

HJ/T179的有关规定，如吸收塔、氧化风机、循环泵的设置及管道材质选择等。

4.2 排放标准

国内外主要的关于大气污染物排放的标准规范见表 4.2。

表 4.2 国内外大气污染物排放相关条例

国家和地区	条例名称	发布时间
日本	《煤烟排放控制法》	1962 年发布后三次修订
德国	《大型火电厂条例 (LCP)》	1983 年
	《联邦防污染法》	1983 年
美国	《洁净空气法修正案 (CAAA1990)》	1970 年发布后两次修订
欧盟	《电厂设备采购指南》(EN45510-4-10-1999)	1999 年
	《大型燃烧装置大气污染物排放限制指令》(2001/80/EC)	2001 年
中国	《火电厂大气污染物排放标准 (GB13223-2003)》	2003 年
	《大气污染物综合排放标准 (GB16297-1996)》	1996 年

本标准是火电厂烟气治理工程技术规范，排放要求应执行《火电厂大气污染物排放标准 (GB13223)》。

5 同类工程现状调研

5.1 广西水电集团田东电厂2×135MW发电机组烟气脱硫工程

1) 工程概况

广西水电集团田东电厂现有两台 135MW 发电机组，燃用百色地区混煤，烟气中 SO₂ 含量设计值达 7684mg/Nm³。该工程采用的是塔内结晶工艺的氨法烟气脱硫技术，脱硫剂为液氨，产品为硫酸铵。设一个吸收塔，处理 1[#]、2[#]发电机组锅炉的全部烟气，总烟气量 110 万 Nm³/h。脱硫效率按不小于 95% 设计。系统由烟气系统、吸收循环系统、氧化空气系统、液氨供给系统、工业工艺水系统、副产物处理系统等组成。

该脱硫系统是目前国内已建氨法烟气脱硫领域最大的工程业绩之一。

该电厂从 2008 年 6 月 6 日开始脱硫系统的建设，2009 年 8 月 14 日一次性通过 168 小时试运行考核，主要经济指标达到国际先进水平。

2) 设计参数

- a、总烟气量：2×550957Nm³/h (标态，湿基，实际氧)；
- b、SO₂ 含量：7684mg/Nm³ (标态，干基，6% O₂)；
- c、烟气中的尘含量：130mg/Nm³ (标态，湿基，6% O₂)；
- d、原烟气平均温度：141℃。

3) 工艺流程

锅炉来烟气进入吸收塔与硫酸铵浆液逆流接触降温，再进入吸收段与吸收液接触，SO₂被充分吸收后，经水洗、除雾器脱除夹带的液滴，净烟气经脱硫塔顶湿烟囱排放。

吸收液吸收 SO₂ 后回流到氧化段，与氧化空气接触，使吸收液中的亚硫酸铵和亚硫酸氢铵得到充分氧化。

含硫酸铵晶体的浆液送至硫铵工序经旋流器分级、离心机固液分离，形成湿硫铵，母液回脱硫系统；湿硫铵经干燥机干燥，得到水分<1%的硫铵，进入包装机包装即可得到商品硫铵。其工艺流程图见图 5.1。

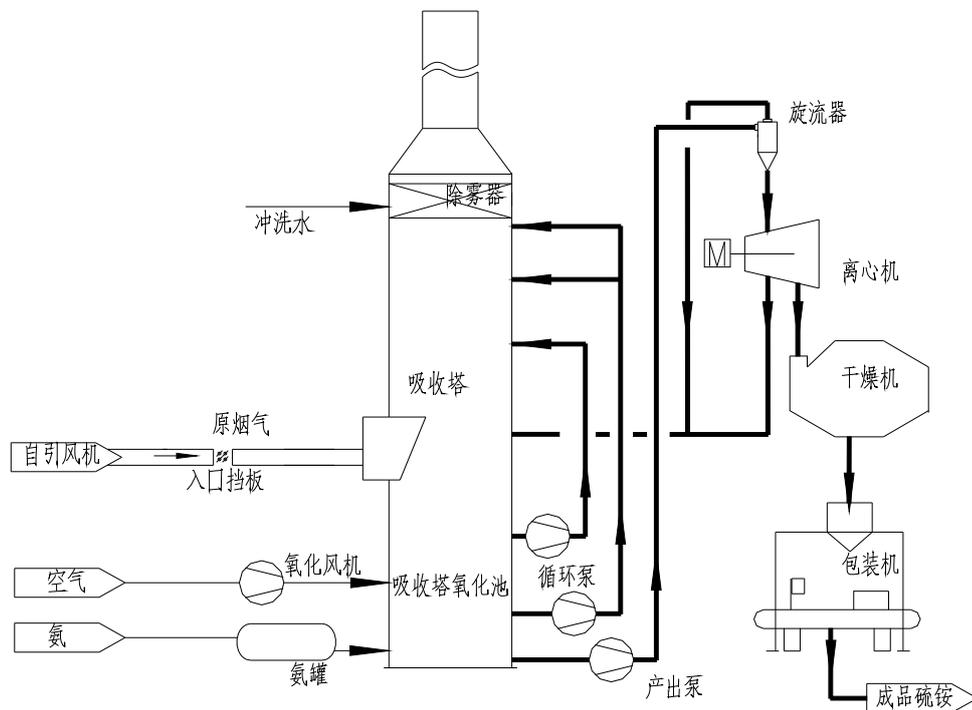


图 5.1 氨法烟气脱硫工艺流程图

4) 运行指标

田东电厂脱硫系统于 2009 年 8 月 7 日-8 月 14 日整套系统进行 168h 满负荷试运行。各项指标优良，脱硫效率达 96%以上。

本次试运行过程中，主要技术经济参数如表 5.1：

表 5.1 田东电厂脱硫系统试运行考核主要技术经济指标

序号	项目	单位	平均值	设计值
1	脱硫效率	%	96.2	95

序号	项目	单位	平均值	设计值
2	脱氮效率	%	30	
3	脱硫系统压力降	kPa	0.77	≤1.0
4	塔出口 NH ₃ 含量	mg/ Nm ³	0.07	≤10
5	氨利用率	%	98	97
6	NH ₃ /S		2.04	≤2.08
7	耗电量	kWh	1548.2	≤1682

由上表可见，各项性能参数完全达到设计要求。脱硫效率超过设计值，氨逃逸浓度低于设计值，氨的利用率达到 98%，表明了该氨法烟气脱硫技术在大型火电厂特别是高硫煤燃煤烟气治理中的技术优势。氨法烟气脱硫的同时还取得了 30% 的脱硝率，这也为我国氮氧化物的治理提供了新的思路。此外，系统的能耗也较低，其电耗仅占发电量的 0.57%，体现了氨法烟气脱硫技术高效节能的特点。

5) 副产品硫酸铵质量

副产品硫酸铵的检测结果见表 5.2，数据表明副产硫酸铵质量完全达到了 GB535 合格品标准，绝大部分已达到 GB535 一级品标准。完全可作为优质农用肥使用，甚至可以作工业级硫酸铵使用。

表 5.2 田东电厂脱硫系统试运行考核副产硫酸铵质量

序号	分析项目	指标	实测值		
			最高值	最低值	平均值
1	N, %	≥20.5	21.18	20.93	21.0
2	H ₂ O, %	≤1.0	0.24	0.08	0.19
3	游离酸, %	≤0.2	0.17	0.08	0.13

5.2 FCL 氨法烟气脱硫技术的应用工程实例

上海弗卡斯环保工程有限公司在江苏太仓保利协鑫热电有限公司现有 3 台抽凝式发电机组（总装机容量为 45MW）上采用简易改进型 FCL 氨法烟气脱硫技术进行脱硫技改，机组配备有 2 台 75t/h、1 台 90t/h 煤粉炉、1 台 150t/h 煤粉炉。1 号、2 号炉进 1 号脱硫系统，4 号炉进 2 号脱硫系统，3 号炉烟气分别或同时进入 1 号或 2 号脱硫系统。

FCL 技术起源于简易氨法，一般为双塔结构。图 5.2 为其流程示意图。

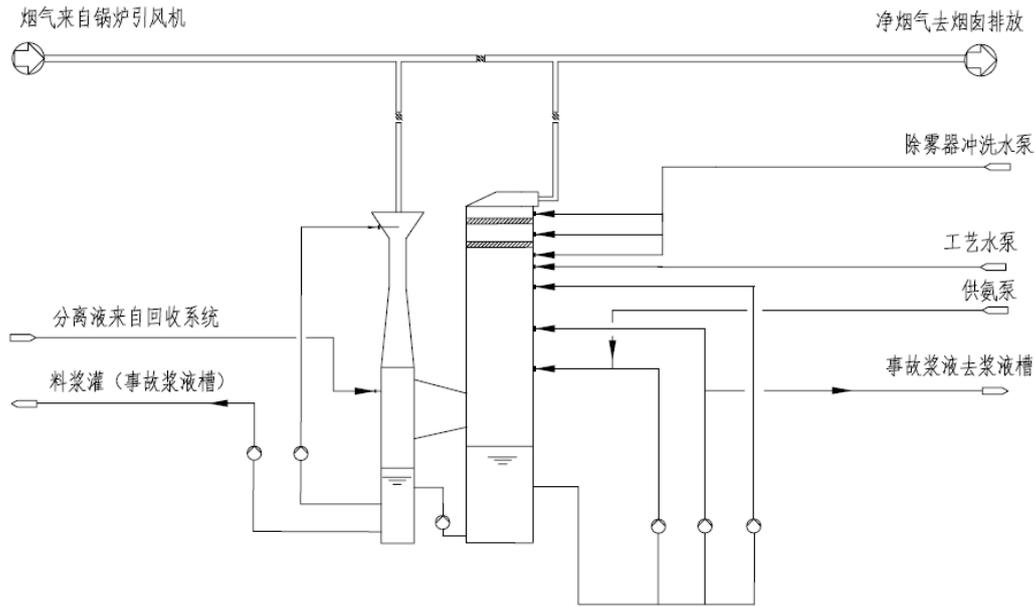


图 5.2 太仓保利协鑫热电有限公司脱硫系统流程示意图

表 5.3 为太仓保利协鑫热电有限公司脱硫系统 168 考核运行时的参数指标。

表 5.3 太仓保利协鑫热电有限公司脱硫系统 168 运行技术性能数据

项目	单位	设计值	1号系统运行值	2号系统运行值
锅炉最大负荷	t/h	—	93	155
锅炉最小负荷	t/h	—	61	86
锅炉平均负荷	t/h	—	75.58	126.2
用煤量	t	—	1903.5	3007.7
燃煤硫分	%	—	0.64	0.64
烟气量	m ³ /h	351200	175600	175600
入口 SO ₂ 含量	mg/m ³	—	1313.6	1312
出口 SO ₂ 含量	mg/m ³	—	58.4	60.3
脱硫效率	%	≥95	95.6	95.5
入口烟尘含量	mg/m ³	—	161.5	116.9
出口烟尘含量	mg/m ³	—	63.3	46.5
除尘效率	%	50	62.8	61.1
液气比	L/m ³	3.76	3.76	3.76
入口 NO _x 含量	mg/m ³	—	441	478
出口 NO _x 含量	mg/m ³	—	322	346
脱氮效率	%	—	28.0	27.6
净烟气游离氨	mg/m ³	≤15	71.5	13.8
硫酸铵回收率	%	≥95	90.03	
硫酸铵氮分	%	≥20	20.6	
硫酸铵水分	%	≤4.5	1.08	
硫酸铵游离酸	%	≤2.0	0.01	
脱除 1kgSO ₂ 氨水耗量	kg	0.56	0.41	0.52
工艺水耗量	t/h	12-15	3.40	6.20
蒸汽耗量	t/h	1.2-1.5	1.02	

由上表可看出，FCL 工艺的脱硫效率可满足设计要求，硫酸铵回收率即氨的（回收）利用率较低、氨逃逸浓度偏高。

6 主要技术内容及说明

6.1 前言与适用范围

本章内容主要说明编制本规范的目的、规范适用范围、火电厂氨法烟气脱硫工程建设的基本原则以及执行规范与国家实行的有关法律、法令、法规、标准、规范的关系。

根据国务院《关于酸雨两控区和二氧化硫污染控制区有关问题的批复》，原国家环境保护总局、国家经贸委和科技部联合发布的《燃煤二氧化硫排放污染防治技术政策》的要求，加强了全国SO₂的减排力度。故技术规范要求新建脱硫系统必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产，以保证SO₂排放符合环境保护的有关规定。

烟气脱硫是一项环保工程，环境保护是我国的一项基本国策。脱硫工程要求采用先进、可靠的技术设备，不但体现出我国社会经济发展的水平，更是对大气环境的基本保证。烟气脱硫工程的建设、运行、维护、管理是一项复杂的系统工程，其正常、经济、安全的运行，是保证机组正常运行和实现环保、良性发展的必要条件。烟气脱硫工程项目的建设，必须符合我国当前的技术经济政策。

综合国家政策及国内氨法烟气脱硫技术发展现状，确定本标准的适用规模是100MW及以上机组的火电厂氨法烟气脱硫工程。

100MW以下锅炉的电厂、工业炉窑或工业烟气的氨法烟气脱硫工程虽然要求相对可降低，但氨法烟气脱硫的共性问题仍须关注，建议此类氨法烟气脱硫参照执行。工业炉窑或工业烟气应对其烟气的特点进行分析，确定可能对烟气脱硫产生影响的各种因素，并采取相应的措施。

6.2 规范性引用文件

本规范是一个工程技术规范，是以性能良好的脱硫技术及设备为基础的，通过工程实现对火电厂的SO₂进行治理，火电厂大气污染物排放标准是制定本规范的法律依据，此外还包括脱硫系统/设备加工制造、性能检测、排放限值、污染控制、工程设计标准、设备安装标准，以及与工程建设有关的劳动安全、卫生标准，与项目验收有关的检测和验收标准。

本标准对于湿式氨法烟气脱硫工程中的各类设备及管道、配件等的制造（作）、加工、运输、安装、测试、维修等方面的规定，均引用现行的国家标准。

本标准对氨法烟气脱硫吸收剂和脱硫副产物硫酸铵的品质方面的规定，均引用现行国家标准或行业标准，宜参照农用合格品的规定执行。

烟气脱硫工程项目的建设必须符合我国当前的技术经济政策。因此，技术规范规定除执

行本技术规范外，还必须执行我国行业和国家的相关标准。

6.3 术语

本章对本标准的主要术语进行了描述。编制的原则是：其它法律、法规和技术规范上定义的术语如果适用本标准的不再重新定义，对于有关标准和规范上没有标准定义或不适用于本标准的则本标准根据需要给予了命名和规范。

参考了HJ/T179中的相关术语，并根据氨法烟气脱硫的技术特点进行了取舍。增加或重新定义了脱硫系统、氨法烟气脱硫、吸收剂、副产物、系统可用率、脱硫效率、氨（回收）利用率、增压风机、氧化风机、氨逃逸浓度、氧化率、吸收塔内饱和结晶和吸收塔外蒸发结晶等术语。

1、脱硫系统 desulfurization system

标准中规定采用物理或化学方法脱除烟气中二氧化硫（SO₂）的系统为脱硫系统，本标准中指氨法烟气脱硫系统。脱硫系统包括工艺系统、公用系统、辅助系统等。

2、氨法烟气脱硫 flue gas ammonia desulfurization

氨法烟气脱硫工艺与其它脱硫工艺最根本的区别在于氨脱硫剂是挥发性物质，且氨脱硫剂价格较高。不论是从经济性还是从环保要求来说，氨皆不能大量排放或流失到环境中去，氨法烟气脱硫技术的核心就是控制氨逃逸及气溶胶、确保氨脱硫剂及脱硫副产物皆充分回收利用。所以，氨法不能简单地借用其它脱硫的工艺，必须有针对性地解决氨的反应、副产物的氧化、副产物的生产等问题。

本标准定义的氨法烟气脱硫是指以氨基物质作吸收剂，脱除烟气中的SO₂并回收副产物（硫酸铵）的湿式烟气脱硫工艺。简称氨法。

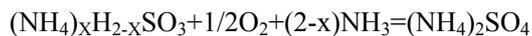
3、副产物 by-product

氨法烟气脱硫以 SO₂ 和 NH₃ 的反应为基础，其第一步反应：

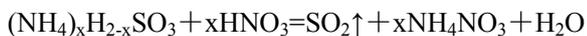


脱硫的中间产物为亚硫酸（氢）铵，此中间产物可用于纸浆生产等。

如将亚硫（氢）铵氧化，则可生产农用硫酸铵，氧化反应如下：



若将亚硫酸（氢）铵进行酸解等处理，可生产 SO₂、磷酸铵、硝酸铵等产品，用硝酸酸解反应如下：



可见，氨法烟气脱硫副产物中可以有较多选择，宜根据市场及工艺条件确定。

3、氨（回收）利用率 ammonia（recovery） utilization rate

氨（回收）利用率用于表征氨投入脱硫系统后实际回收利用效果，是氨法烟气脱硫系统关键性能指标之一，它是技术先进性、经济性、环保性的直接体现。

本标准给出了氨（回收）利用率的定义并以常用的副产硫酸铵举例给出了计算思路，其它产品按定义参考标准给出的计算方法进行计算。

4、氨逃逸浓度 ammonia slip

氨逃逸浓度是指由于氨的挥发性引起，受氨投入过量等工艺和操作等因素影响，净烟气中存在未参与吸收反应的氨，用脱硫后烟气中携带游离氨的量表示。氨逃逸浓度是氨法烟气脱硫的重要指标，氨逃逸浓度大不仅氨(回收)利用率下降且造成二次污染。

6、氧化率 oxidation rate

用氧化率来表示氨法烟气脱硫后亚硫酸（氢）铵被氧化的程度。

7、吸收塔内饱和结晶 saturation crystal in absorber

塔内饱和结晶是氨法副产物结晶的一种主要工艺方案，在吸收塔内，利用进口烟气的热量使吸收液在塔内喷淋过程中水分蒸发，溶液达饱和浓度并析出结晶，循环浆液送副产物系统进行固液分离后，固体制成成品，母液回吸收系统循环使用。

此工艺是直接使用原烟气热量不用外加蒸发能源，是较节能的一种方案，投资及运行费用也较少，缺点是产品的粒径偏小。

8、塔外蒸发结晶 evaporative crystal out of absorber

塔外蒸发结晶是氨法副产物结晶的另一种主要工艺方案，是利用蒸汽等热源将吸收系统产生的吸收液在蒸发系统进行蒸发结晶，结晶后的浆液送分离系统固液分离，固体制成硫酸铵成品，母液回蒸发循环系统。

此工艺较塔内结晶增加了蒸发结晶系统，且需消耗蒸汽等资源。其投资较塔内结晶工艺增加约 10%，运行一般增加 15% 以上的成本。其优势在于粒径可达 0.2mm 以上，产品外观好，另外塔内的结构较简单，有利于吸收循环系统稳定运行。

6.4 污染物与污染负荷

火电厂排放烟气控制的污染物中所含成分很多，主要有 N₂、水蒸汽、CO₂、SO₂、SO₃、NO_x、CO、颗粒物、重金属和微量元素，如 As、Hg、Ni、Mn 等。根据现行的 GB13223-2003 规定，火电厂排放烟气控制的污染物为 SO₂、NO_x 和烟尘 3 种污染物。

对氨法烟气脱硫系统有关系的污染物是 SO₂ 及烟尘。标准中对 SO₂ 的计算及脱硫系统的设计条件作了规定。

氨法烟气脱硫系统虽然有一定的除尘效率，进口烟尘浓度 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 左右时，一般脱硫系统除尘效率约 30—50%，但其除尘效率与进口的烟尘含量及烟尘的粒径分布、液气比、喷淋方式等因素有较大关系，除尘效率难以稳定。所以，不应将脱硫系统当作控制烟尘指标的设备。况且，烟尘进入氨法烟气脱硫系统后增大了设备的磨损并影响产品的品质和设备的正常运行。所以，为保障氨法烟气脱硫系统的可靠性，更为了使烟气排放烟尘达到排放标准，本标准要求进入脱硫系统的烟尘含量宜已达到 GB13233 要求，最大不应超过 GB13233 排放限值的 130%。

脱硫效率、 SO_2 排放是脱硫系统的基本要求，既要满足国家的相关规定又要满足地方对脱硫的要求。需根据国家相关规定进行环境影响评价后确定对装置的排放要求，宜对进出口的烟气条件进行界定，包括效率指标及含量指标。

6.5 总体设计

6.5.1 一般规定

本节规定了氨法烟气脱硫系统的一般性准则和原则。

6.5.1.1 标准 5.1.1、5.1.2 规定了氨法烟气脱硫系统选择吸收剂、副产物品种及工艺路线的条件。

氨法烟气脱硫的吸收剂可以使用氨（液氨、气氨）、氨水、碳铵及尿素等氨基物质，副产物可以是硫酸铵、亚硫酸（氢）铵、 SO_2 、磷酸铵、硝酸铵等。

氨法烟气脱硫工艺路线由各工序的不同选择而组合成许多变化。烟气动力分有：设置脱硫增压风机、引风机改造。净烟气加热分有：气气换热或蒸汽等再热、烟气不再热回原烟囱排放或塔顶烟囱排放、烟气不再热通过机组冷却塔排放等。塔型有单塔和多塔之分。副产物结晶有塔内结晶与塔外结晶之分。塔外结晶又分为一效与多效（一般为二效或三效）。还有吸收剂、副产物的不同等等。

应根据当地市场、电厂安全、周边环境等情况经过经济技术的比较后进行选择。

主要氨法流程示意如图 6.1—6.4。

表 6.1 是主要工序工艺路线的适用范围。

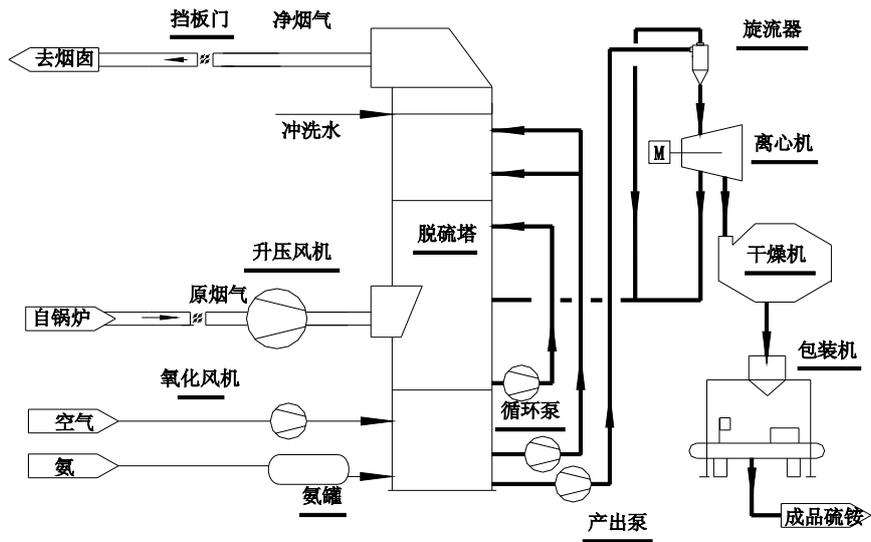


图6.1 回烟囱排放一塔内饱和结晶流程

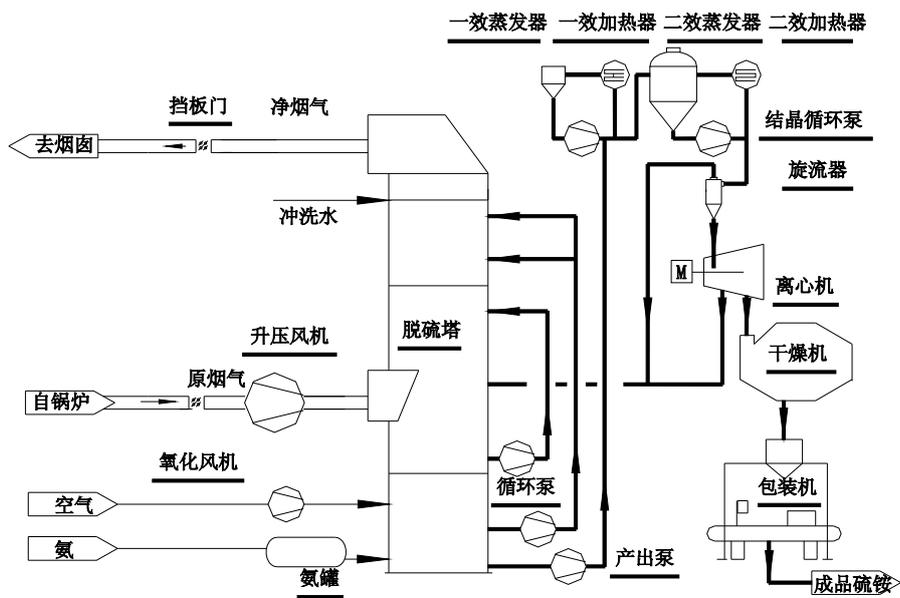


图6.2 回烟囱排放一塔外结晶流程

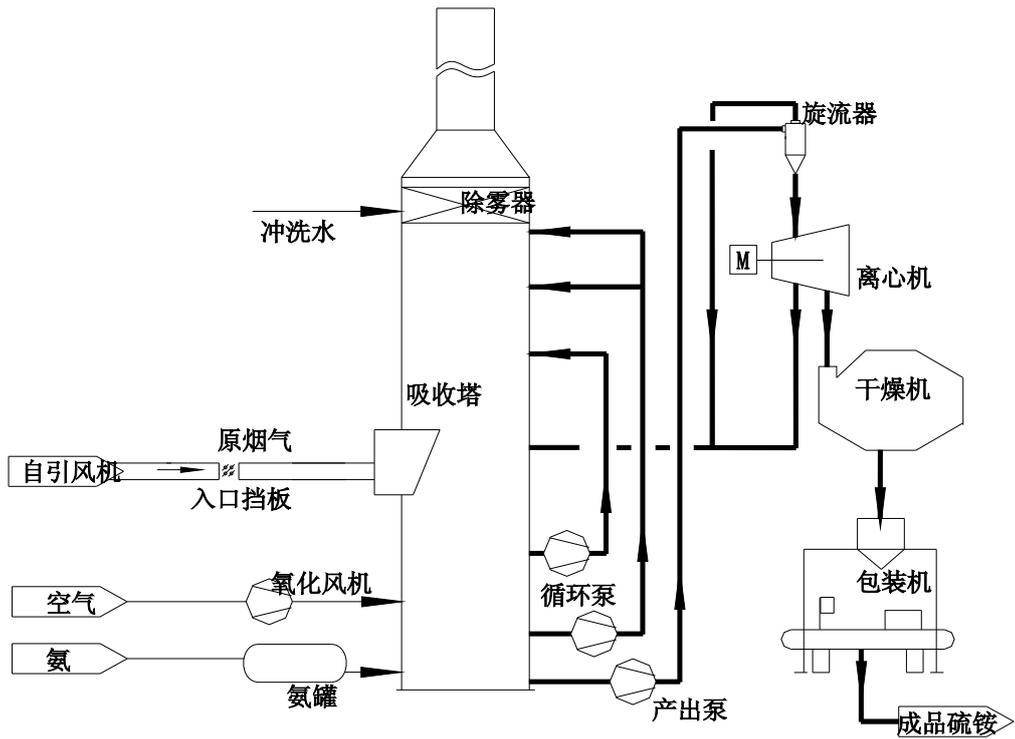


图6.3 塔顶排放—塔内结晶流程

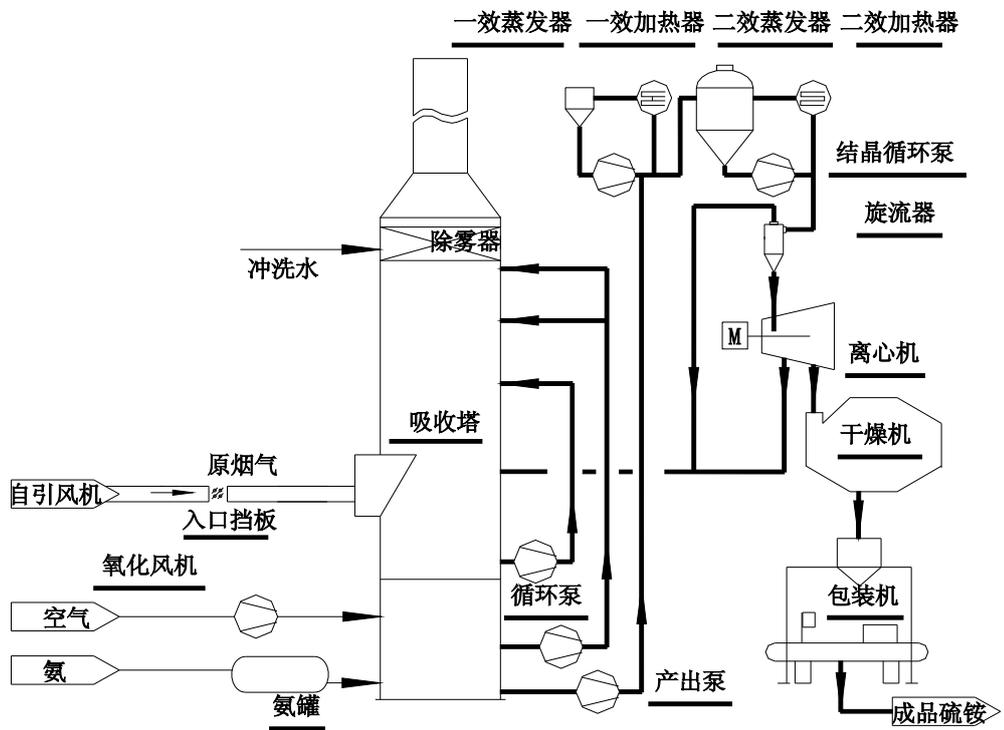


图6.4 塔顶排放—塔外结晶流程

表6.1 主要工序工艺路线适用范围

序号	工序名称	工艺路线	适用范围
1	结晶	塔内饱和结晶	对结晶粒径无要求，产量大
		塔外蒸发结晶	要求结晶粒径大，产量小，有蒸汽源
2	塔型	单塔	烟气杂质少，无须烟气预洗等
		双塔	需要进行烟气预洗涤，氧化压力高
3	烟气动力源	设置增压风机	增压大，场地宽裕
		引风机增容	增压小，场地受限
4	蒸发结晶	单效	场地受限制，蒸汽富裕
		多效	蒸汽消耗受限制

6.5.1.2 本标准 5.1.4 是要求对氨法脱硫过程中可能存在的有害物质，如硫铵包装过程中的粉尘、氨储运及使用过程中的排放等要求设置有效的控制措施。

6.5.1.3 本标准 5.1.5 对氨法脱硫系统中核心设备吸收塔的寿命作了要求，一般要求不低于 30 年。但考虑现行机组有些机组本身使用寿命不足 30 年且需进行烟气脱硫时可根据实际机组寿命确定吸收塔的使用寿命，以不低于发电机组寿命为准。

6.5.1.4 本标准 5.1.6 规定的脱硫系统可用率，脱硫系统的可用率不应根据机组运行、检修实际要求及排放总量等要求进行核算确定。

6.5.1.5 本标准的 5.1.7 对氨法烟气脱硫的两个重要指标进行了规定。

氨逃逸浓度、氨回收利用率是氨法烟气脱硫系统的重要指标，氨逃逸浓度是表征未参与脱硫反应的氨的量，氨（回收）利用率是表征氨逃逸及铵盐气溶胶等氨流失程度的一个指标。氨流失不仅影响系统的经济性，还造成二次污染。综合了国内外氨法烟气脱硫技术的现状及环保要求，本标准确定氨逃逸浓度应低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、氨（回收）利用率为不少于 97%。

6.5.1.6 标准 5.1.8 规定了烟囱设计的原则。选用湿烟囱型式时，因净烟气湿含量较高，排过程中会有冷凝水产生，须对其慎重选择防腐方案及排放方案。

6.5.2 工程项目构成

6.5.2.1 本标准的 5.2.1.1 对氨法烟气脱硫设计对象和设计范围进行了界定。

设计对象应根据工程实际界定；设计范围则应根据氨法烟气脱硫的具体工艺流程并结合工艺系统、公用系统和辅助系统的具体设计要求界定。

6.5.2.2 标准 5.2.2 规定了脱硫工程应根据工程的承建方式等实际情况来确定工程项目的范围。

6.5.3 总平面布置

6.5.3.1 一般规定

标准要求总平面布置应按 GB50016、GB50160 和 DL/T5196 执行。5.3.1.2 规定了氨法烟气

脱硫系统布置要满足生产、环境、安全、卫生的要求，这是针对氨法烟气脱硫剂的特性提出的，特别是用到气氨、液氨时要严格按相关消防、安全及职业卫生的要求执行。

脱硫系统的布置应注意氨法脱硫的特点，氨法脱硫过程既有物理变化又有化学反应，具有化工生产的一些特点，宜参考化工系统设计的规范，如体现“工厂布置一体化、生产装置露天化、建（构）筑物轻型化、公用工程社会化、引进技术国产化”的“五化”设计原则等。

为防止液氨泄露后向周边扩散带来的不良影响，标准 5.3.1.5 规定吸收剂为液氨时，液氨贮存区地坪宜低于周围道路标高。

6.5.3.2 交通运输

标准强调用液氨时道路运输设计方面的要求。

6.6 工艺设计

6.6.1 一般规定

6.6.1.1 本节主要规定脱硫系统设置的一般规定，规定了系统的设计裕量。

6.6.1.2 为增强脱硫系统的稳定性和安全性，标准 6.1.2 提出系统应设置事故池（槽）、围堰、地坑等事故排空系统。

6.6.1.3 氨法烟气脱硫系统应能适应锅炉负荷的变化，标准 6.1.3 对此提出具体要求。

6.6.2 工艺路线

6.6.2.1 氨法烟气脱硫工艺路线

6.6.2.1.1 本节主要规定了系统的流程及组成。

氨法烟气脱硫工艺能实现 SO_2 的高效脱除，并可将其充分回收转化为高价值的农用化肥，因此该工艺可分为吸收和副产物处理两部分，具体则由烟气系统、吸收循环系统、氧化空气系统、副产物处理系统、吸收剂储存供给系统、自控及在线监测系统等组成。

其一般流程是：锅炉引风机来的原烟气直接进吸收塔（或通过脱硫系统增压风机增压后进吸收塔），加氨后的吸收液循环吸收烟气中的 SO_2 ，生成亚硫酸（氢）铵，脱硫后的烟气成为净烟气按符合要求的方式排放。

吸收生成的亚硫酸（氢）铵在吸收塔的氧化池（或单独的氧化设备）中用氧化风机来的空气氧化成硫酸铵。

生成的硫酸铵可利用原烟气的热量在吸收塔内进行蒸发形成结晶，或将硫酸铵溶液送专门的蒸发结晶系统用蒸汽的热量进行蒸发形成结晶。

含结晶的浆液经固液分离、干燥、包装得成品硫酸铵。

6.6.2.1.2 吸收工艺路线（副产硫酸铵）

氨法烟气脱硫工艺的脱硫剂氨具有一定的挥发性，且部分氨基脱硫剂如液氨、气氨、氨水等具有一定危险性，因此使用时应按国家相应规范及本标准的要求采取专门防护措施。

吸收系统的工艺路线包括 SO_2 的吸收、亚硫酸铵的氧化等过程。其中吸收过程需在较低温度下进行才能保证吸收反应的活性，因此烟气进入吸收塔需降温至 70°C 以下再用加氨后的吸收液循环吸收烟气中的 SO_2 。如采用多段复合型吸收塔技术，吸收 SO_2 生成的亚硫酸铵在吸收塔的氧化池被压缩空气强制氧化成硫酸铵溶液；如采用其它工艺，可在单独设置的氧化设备内实现亚硫酸铵的氧化。

氧化后的硫酸铵溶液可采取塔内结晶或塔外结晶的工艺进行硫酸铵结晶，形成含有硫酸铵晶体的浆液后，再经进一步处理生成合格产品。

对于塔内结晶工艺而言，如烟气温度较低（ $<100^\circ\text{C}$ ），则其蒸发能力较差，不能形成符合要求的硫酸铵晶体料浆；同时烟气中含尘量对塔内结晶的影响较大，如烟尘含量过高，会阻碍晶体的形成，相关设备的磨蚀也较严重。因此本标准提出：

烟气温度大于 100°C ，烟气 SO_2 大于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ （标态），进吸收塔烟气含尘量小于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ （标态）时，可采取塔内结晶工艺；烟气温度小于 100°C ，烟气 SO_2 小于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ （标态），进吸收塔烟气含尘量大于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ （标态）或对硫酸铵结晶粒径有特殊要求时，可采取塔外蒸发结晶工艺。

6.6.2.1.3 副产物处理工艺路线（副产硫酸铵）

副产物处理工艺路线可分为塔内结晶和塔外结晶，两者最主要区别就在于不同的热源。塔内结晶是利用原烟气热量在脱硫塔内实现溶液的浓缩提浓，塔外结晶是利用高温蒸汽为热源结合单独设置的蒸发设备使结晶析出。析出结晶后的硫酸铵料浆经固液分离得到湿物料中间产品，母液回吸收系统进行再结晶，湿物料产品进干燥系统干燥成含水符合要求的干物料，干物料经包装得最终产品。

氨法烟气脱硫具有较大的灵活性，可根据需求，将吸收中间产物进行酸解生成 SO_2 气体及相应的铵盐，进行处理后得相应的产品。

6.6.3 烟气系统

本节主要参考 HJ/T179、DL/T5196 对烟气系统的要求，结合近年来脱硫技术及设备的发展情况，提出了氨法烟气脱硫系统中烟气系统应遵循的规范。

本节的烟气系统主要包括增压风机、再热器、烟道、挡板门等。

6.6.4 吸收系统

6.6.4.1 一般规定

6.6.4.1.1 标准6.4.1.1要求吸收系统应能满足技术性能要求，并首选占地少、流程短、运行经济可靠的工艺及设备。

吸收系统流程根据不同的工艺而不同。根据塔型分类有：单塔型、预洗塔与主吸收塔分列的双塔型、氧化塔与吸收塔分列的双塔型等等。根据吸收段分段分类有一段多喷淋层和多段多喷淋层之分。多段复合型单塔工艺从占地、投资、流程、运行等方面皆较优越，应作为首选。

6.6.4.1.2 标准6.4.1.6对烟尘等杂质对氨法烟气脱硫系统的影响处置进行了要求。

原烟气中的尘进入脱硫系统后将被吸收液洗涤除去一部分。为生产合格的副产物，对进口烟尘应有一定的要求。如果超过此要求需采取分离措施，但这样会形成脱硫尘泥的二次污染，脱硫尘泥含有一定的副产物，既造成氨损失且处置也困难，需妥善解决。所以，应提倡提高锅炉除尘设备的效果来保证氨法烟气脱硫系统正常运行。

吸收液中尘的粒径一般在 $1\mu\text{m}$ 以下，吸收液除尘的设备应针对性进行长周期试验后使用。

6.6.4.2 吸收塔

6.6.4.2.1 吸收塔的液气比根据所采用的工艺方案不同有较大的差别，本标准的氨法指湿式脱硫工艺的氨法，所以吸收液的洗涤要有一定的量和停留时间。同时，确定液气比可以与目前市场上有所应用的基本不回收副产物的简易氨法进行区别。本标准6.4.2.1根据目前氨法的技术状况，确定液气比为 $1\text{L}/\text{m}^3$ ，喷淋层应不少于2层。

6.6.4.2.2 氨法吸收塔的压力降一般在 $600\text{ Pa}\sim 1100\text{ Pa}$ ，标准6.4.2.2将此参数定为 1000 Pa 。

6.6.4.2.3 标准6.4.2.3将除雾器出口的雾滴量根据目前除雾器的性能及湿法脱硫的一般要求定为不小于 $75\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.6.4.2.4 标准6.4.2.4规定了吸收塔的设计须关注的两个重点：脱硫效率及氨逃逸浓度。脱硫效率是脱硫系统的根本目的，氨逃逸浓度是氨法的关键性指标。

6.6.4.3 吸收循环泵

吸收循环泵是脱硫系统的核心设备之一。本节根据氨法烟气脱硫工艺的具体特点对吸收循环泵的配置、可靠性作了要求。

6.6.4.4 氧化风机

6.6.4.4.1 目前氨法烟气脱硫系统中氧化风机使用的压力一般范围在 $0.05\text{MPa}\sim 0.3\text{MPa}$ 之间。据此，标准6.4.4.1规定氧化风机的型式主要是罗茨风机、活塞或螺杆式压缩机。

6.6.4.4.2 氧化率的高低直接影响到副产物的品质和氨（回收）利用率，因此标准 6.4.4.2 目的在于要求氧化风机的设置应保证氧化充分。

6.6.4.5 管道

本节规定了管道设计要求。管道设计重点是材质、管径、布置、阀门的选型。

6.6.5 副产物处理系统

6.6.5.1 一般规定

本节是对副产物品种、工艺路线、布置及设备配置作了原则性规范。

氨法烟气脱硫的副产物可以是亚硫酸（氢）铵、硫酸铵、SO₂、磷酸铵、硝酸铵等。具体选定副产物及其品质应根据市场要求确定。一般通过强制氧化将脱硫反应的中间产物亚硫酸（氢）铵氧化为硫酸铵后生产市场容量较大的硫酸铵化肥。

若副产硫酸铵化肥，一般直接生产成符合国家标准或行业标准的固体成品。也可与用户合作将湿物料甚至溶液送用户生产线生产复合肥等最终产品，此类副产物质量标准可直接与用户商定。

副产物生产是固液分离及粉料干燥、运输、包装的过程，这些过程影响因素较多，须定期维护。副产物系统及设备生产能力应注意相互衔接及一定的操作弹性。

6.6.5.2 脱硫是环保项目，副产物的品质受烟气、脱硫剂、脱硫工艺的影响大，氨法烟气脱硫副产物应采取灵活的标准，应因地制宜，确保副产物正常销售。这是标准6.5.1.1规定的选择副产物品种及质量等级、确定工艺路线的原则。

6.6.5.3 标准6.5.1.3对副产硫酸铵标准进行了规定，提倡采用更高的标准。副产固体硫酸铵应达到DL/T808要求、提倡执行GB535农用合格品以上标准。

6.6.5.4 副产物结晶

本节对副产物结晶方案的选择作了规定。

副产物结晶的工艺主要有塔内结晶和塔外结晶。

塔内结晶目前成熟的技术是吸收液在喷淋过程中与热烟气接触进行热量的传递，吸收液的水分蒸发，硫酸铵达过饱和后形成结晶，其结晶粒径在0.1mm左右。塔外结晶需消耗额外的能源，一般使用蒸汽将吸收液蒸发后结晶，其结晶粒径可达0.2mm。

塔外结晶按二次蒸发利用情况分为：1）单效蒸发（溶液在蒸发器内蒸发时，所产生的二次蒸汽不再利用）；2）多效蒸发（前一效蒸发器所产生的二次蒸汽作为下一效蒸发器的热源。在多效蒸发中，效数等于二次蒸汽利用次数加1）。

是否采用多效蒸发是和效间损失以及总温差有关系的。1）传热温度差的限制：除传热

温度差的限制外，加热蒸气压力和冷凝器的真空度也都有一定的限制。随效数增加，各效传热温度差损失之和增大。如果效数过多，则蒸发操作无法完成。2) 设备费用的限制：对一定的蒸发任务，所需传热面积的增加，即设备费的增加比效数增加得要快，生蒸气经济性提高的幅度随效数增加而减小。如果在设备的折旧年限内，再增加一效后节约的蒸气费用不足以抵消其设备投资时，则不能再增加效数。

所以本标准推荐在蒸发结晶流程中使用多效蒸发流程。

6.6.5.5 固液分离

本节对固液分离作了要求，包括流程、设备配置的选用原则。

为了减少干燥能耗，固液分离后进入干燥系统的物料要求水分越低越好。结合目前分离设备的能力，本标准将硫酸铵进干燥系统的水分上限定为5%。

6.6.5.6 干燥

本节规范了干燥机选择、热源选择及对干燥尾气的要求。

常用的干燥机有滚筒干燥机、振动床干燥机、气流干燥机、闪蒸干燥机等，需根据物料特性综合能耗、安装条件等进行选择。

干燥热源可以是锅炉预热器出来的热风或蒸汽，而不推荐使用原烟气作干燥热源。原烟气中含SO₂及SO₃，烟气露点高，在换热过程中会有酸性液体冷凝，堵塞并腐蚀设备或使干燥困难。

6.6.5.7 包装

本节对包装机选型及包装扬尘作了规定。

包装成品的标准应执行国家对产品包装的规范，特殊情况可与用户商定包装标准。

包装的扬尘不仅造成氨流失且造成环境污染，本标准要求配置相应的收尘系统控制扬尘。

6.6.6 吸收剂储存供给系统

6.6.6.1 标准6.6.1规定了氨法烟气脱硫吸收剂的种类，明确了吸收剂质量要求应参照的规范标准。

6.6.6.2 氨法可以使用工业副产氨或氨水进行脱硫，以废治废。但一些灰渣、有机物、金属等杂质的带入不仅可能影响脱硫、结晶、氧化等过程，还可能影响副产物的品质。所以标准

6.6.1.3要求使用这类副产氨和废氨时应分析其成分，并采取相应措施。

6.6.6.3 吸收剂的储存

本节对液氨贮存系统作了规定。液氨是危险品，液氨的贮存设备是压力容器，所以液氨

罐区的设备及管道皆应纳入特种设备管理，按国家相应规定执行。

6.6.7 二次污染物控制措施

6.6.7.1 氨法烟气脱硫技术副产物皆应加工成合格产品销售，不应向脱硫系统外排放有害物质，正常生产时无废水排放，事故状态应有事故收集系统收集事故液，等事故处理完毕回系统使用。为管理维护方便，标准 6.7.1 规定脱硫系统的生活污水宜与电厂原生活污水排放系统相统一。

6.6.7.2 标准 6.7.2 是为了减少对环境的危害、保护人民的身心健康，规定氨法烟气脱硫工程的设计、建设应采取有效的隔声、消声、绿化等降低噪声的措施。在运行中不仅要保证厂界噪声和振动不超标，还要保证现场工作人员的职业健康。

6.6.7.3 标准 6.7.3 要求按相关标准控制氨厂区及厂界环境中氨、SO₂、烟尘等浓度。厂区及厂界环境中氨、SO₂、尘等浓度的要求也是贯彻国家环境、卫生要求而确定的指标。氨的贮运、使用，脱硫过程氧化等工序能力及控制，干燥包装工序的尘的控制是这几个有害成分的重要污染源，应从设计、操作、管理等方面减少或杜绝有害物质的排放。

6.7 主要工艺设备和材料

6.7.1 一般规定

6.7.1.1 标准 7.1.1 和 7.1.3 规定了材料选择的基本原则，首先工艺设备配置应留有一定的裕量，还需满足氨法烟气脱硫特定工艺的具体要求，在此基础上还需考虑制造维修的便捷性。另外，选材还需结合设备使用寿命、检修周期、停产损失、设备检修与保护费用等因素综合考虑。

6.7.1.2 氨法烟气脱硫工艺的吸收液具有一定的腐蚀性，在含有结晶时还具有磨损性，此外由于氯离子的存在还会导致氯离子腐蚀。标准 7.1.4 据此规定吸收液接触部位的材质应充分考虑介质的腐蚀磨损特性。

6.7.1.3 HJ/T179 中对合金材料，有机材料，泥、砂浆和混凝土等无机材料都有了具体规定，本标准可参照执行。

6.7.2 材料选择

本节主要参考HJ/T179的要求，并结合氨法烟气脱硫的具体工艺特点，提出了氨法烟气脱硫工程中材料选择主要遵循的原则。

6.7.2.1 标准7.2.1要求吸收塔的材质参考烟气脱硫行业的使用情况进行选择，但要充分考虑氨法过程中不同介质条件下的使用寿命。

因玻璃钢制作过程中人为因素较大，质量不稳定，所以吸收塔主体材料选用全玻璃钢需

慎重，特别是大型吸收塔，更要重视其质量与安全。

6.7.2.2 考虑到不同组分的吸收液具有不同程度的磨蚀性和腐蚀性，标准7.2.2提出了吸收液泵材质的选择应充分考虑不同介质的耐腐、耐磨情况。

6.7.2.3 标准 7.2.3 提出浆液管道材质的选择应充分考虑管内介质的腐蚀性与磨损性。

6.7.2.4 因塔外结晶操作温度较高，所以其设备的选材要针对性地选择，以能满足介质组分、温度、压力下的长期使用。标准7.2.5据此提出了相应要求。

6.7.3 设备选择

本节主要提出了脱硫系统设备选择和配置的主要原则，并对核心设备的要求做了进一步要求。

7.7.3.1 系统的长期稳定运行是脱硫系统的必须要求，标准7.3.1提出了以此为基础的设备选择和配置。

7.7.3.2 吸收塔与锅炉的配套形式主要有一炉一塔、一炉多塔和多炉一塔等。标准7.3.2要求具体方案需根据锅炉的容量、台数、吸收塔的容量、操作弹性、可靠性和现场布置条件等确定。

7.7.3.3 为确保系统的稳定运行，标准7.3.3提出了常用的液体输送设备宜设置备用，并对浆液泵的配置也提出了要求。

6.8 检测与过程控制

6.8.1 一般规定

6.8.1.1 本节规定了检测与过程控制一般原则。检测与过程控制设计应按DL/T 5196执行。

6.8.1.2 氨法烟气脱硫系统工作介质有所不同，标准8.1.2要求在选择现场仪表时宜有针对性。

6.8.1.3 为电厂管理维护方便，标准8.1.3要求脱硫控制系统宜与锅炉控制系统相统一。

6.8.2 控制系统功能

本节对氨法脱硫系统的控制系统进行了规定，包括数据采集系统、模拟量控制系统、顺序控制、联锁保护等。

控制系统应结合各工序特点提高自控水平，提高系统的可靠性。

6.8.3 烟气连续监测系统

6.8.3.1 根据HJ/T75的相关要求，并结合及时评估系统运行状况以及系统的联锁保护要求，标准8.3.1提出烟气连续监测系统一般监测项目宜包括SO₂、水、氧量、烟尘浓度、氮氧化物（NO_x）、温度、压力和烟气流量。

6.8.3.2 为具体控制氨的利用（回收）率和氨逃浓度，标准8.3.2要求净烟气宜配备氨检测仪

或其它检测手段。

6.8.4 氨罐区检测

因氨罐区是防爆区、氨罐是压力容器，本标准将氨罐区的热工控制要求单列在本节进行强调。主要内容是氨罐本体的参数检测、氨罐区氨泄漏检测、防爆等级要求等。

6.8.5 工业电视

为方便氨法烟气脱硫系统对各关键岗位进行监控，提高自动化水平，系统宜设置工业电视系统。

6.8.6 分析测试

6.8.6.1 本节明确了系统需配备的分析、测试的项目和手段以及应参照的具体规范标准。

6.8.6.2 标准8.6.3给出了环境氨及烟气中氨检测的方法。环境中氨的检测可以按GB14679或THJ533执行。但是烟气中检测氨时因有各种铵盐的影响，不能直接使用GB14679或GB/THJ533，而应该改用硝酸吸收，再测定样品中 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 的量从而计算出烟气中氨浓度。

6.9 辅助系统

6.9.1 电气系统

6.9.1.1 为与电厂总体设计一致，标准9.1.1.1要求供电设备及系统的设置应符合DL/T5153及DL/T5196。

6.9.1.2 标准9.1.1.2、9.1.1.3对液氨环境作了特别的要求，主要是液氨罐的防雷要求及防爆等级。

6.9.2 建筑与结构

6.9.2.1 建筑

6.9.2.1.1 一般规定

标准9.2.1.1对脱硫系统建筑设计的主要适用标准作了规定，同时对氨法建筑的特点有针对性地提出要求。

6.9.2.1.2 室内外装修及防腐

标准9.2.1.3除一般性的要求外对有腐蚀性介质接触的设备基础、地面和楼面、沟渠防腐进行了规定，可根据腐蚀介质腐蚀性、接触时间及日常工况选用耐酸石板或砖（灰缝为树脂胶泥）、树脂稀胶泥或砂浆、沥青砂浆、聚合物水泥砂浆等，少量或偶尔接触的也可用水玻璃混凝土、耐酸石板或砖（灰缝为水玻璃胶泥或砂浆、沥青胶泥、聚合物水泥砂浆等）。

6.9.2.2 结构

6.9.2.2.1 土建结构设计关系系统安全，所有设备须符合国家规范及行业标准的要求。

6.9.2.2.2 标准9.2.2.2、9.2.2.3对系统内相关荷载取值、地震设计进行了规定。

6.9.3 暖通与给排水

6.9.3.1 采暖

本节对系统的采暖作了规范。

特别注意的是副产物处理系统的生产建筑物内存在酸性粉尘，所以标准 9.3.2.5 规定选用散热器时应耐腐蚀，且要不易积尘，便于清扫。

6.9.3.2 通风

本节主要规定了副产物处理系统厂房内的通风要求。

6.9.3.2.1 《安全生产法》中规定：事故通风是保证安全生产和保障人民生命安全的一项必须的措施，对于放散有害物质的建筑物，设计时应设置事故通风系统。由于氨法烟气脱硫副产物处理系统的生产厂房是有可能逸出氨、SO₂ 等有害物质的场所，应设计事故通风设施。副产物处理系统厂房内存在酸性粉尘等有害物质，要求设置事故通风能力，标准 9.3.3.2 将事故通风定为不小于 12 次/h。

6.9.3.2.2 考虑到相应物质的腐蚀性、磨损性，标准 9.3.3.3 要求通风系统的设备、管道及附件均应防腐，风管材料宜选用耐腐蚀的复合材料。

6.9.3.3 空气调节

本节对空气调节进行了要求。

本标准规定当室内外空气温差较小时，宜采用直接蒸发式冷风机组降低室内温度。

6.9.3.4 给排水

本节是氨法烟气脱硫系统中给排水系统的设计要求。

氨法烟气脱硫系统须不外排生产性废水，本标准的9.3.5.3规定系统内需设置生产废水的汇集回收系统。

6.9.4 消防

本节主要对脱硫系统的消防专业要求进行规定，特别是存在一定危险的氨储罐区作了较详细的要求。

标准9.4.1、9.4.2是氨法烟气脱硫系统消防设计一般须遵守的准则。标准9.4.4-9.4.7是氨罐区的设计要求。

6.9.4.1 氨法烟气脱硫的吸收剂中液氨、氨气按 GB50016 规定其火灾爆炸危险性属于乙类，烟气脱硫系统生产过程中涉及的主要单元的火灾危险性类别如下：

氨罐区	乙类
硫酸铵车间及仓库	戊类
风机房	戊类

对烟气脱硫系统生产过程中涉及的主要单元的火灾危险性需分别考虑。

6.9.4.2 按GB50016中规定：工艺系统的消防用水量应根据其规模、火灾危险类别及消防设施的设置情况等综合考虑确定，火灾延续供水时间不应小于3h；辅助生产设施的消防用水量可按50L/s计算，火灾延续供水时间不宜小于2h；建筑物的消防用水量应根据相关国家标准规范的要求进行计算。

标准9.4.4根据上述规定，并参考相关规范要求，再结合吸收剂的危险类别和相关设置的布置，规定了氨罐区的消防给水量和冷却用水量。

6.9.4.3 标准 9.4.3、9.4.4 根据 GB50160 规定了消防用水的接入方式，消防给水管道的直径，室外消火栓的间距及其保护半径等。

6.9.4.4 按GB50160中规定：可燃液体的储罐区、可燃气体储罐区、装卸区及化学危险品仓库区应设环形消防车道，当受地形条件限制时，也可设有回车场的尽头式消防车道。消防车道的路面宽度不应小于6m，路面内缘转弯半径不宜小于12m，路面上净空高度不应低于5m。

标准9.4.6根据上述规范的要求，规定了氨罐区应需设置消防车道、消防道路等提出了具体的规范要求。

6.9.4.5 标准 GB50219 适用于生产、储存系统的水喷雾灭火系统的设计。可用于扑灭液体火灾、固体火灾和电气火灾。因此本标准规定在储存液氨的罐区应按 GB50219 设置水喷雾灭火系统。

6.10 劳动安全与职业卫生

6.10.1 一般规定

为了保证人的身体健康和设备的安全，本节对劳动安全和职业卫生的设计、建设中应遵循的规范作了要求，涉及到建设、安全、防火、防爆、防尘、防噪声与振动、防电磁辐射、防暑与防寒等等，同时规定了脱硫系统运行管理中应建立相关的制度、防护要求等。

6.10.1.1 标准 10.1.3、10.1.4 规定了脱硫系统的安全管理及防火防爆设计应遵循的规范标准。

6.10.1.2 标准GBZ1对工作环境等相关的卫生限制进行了规定，并提出了一些防治措施。标准10.1.5要求按此规定执行。

6.10.1.3 随着目前国内外对安全防范意识的增强。《安全生产法》和《安全评价法》要求必须对可能存在安全事故的制定安全事故应急预案，同时建立并执行经常性和定期性的安全检

查制度，及时发现问题、解决问题，杜绝安全事故的发生。标准10.1.6据此规定了安全检查方面的要求。

6.10.1.4 《安全生产法》规定生产经营单位必须向从业人员如实告知作业场所和工作岗位存在的危险源、防范措施以及事故应急措施，同时必须为从业人员提供符合国家标准或者行业标准的劳动防护用品，并监督、教育从业人员按照使用规则佩戴、使用。标准10.1.7按此要求对氨法烟气脱硫系统配备个人安全与卫生防护设施进行规定。

6.10.2 氨的安全卫生措施

6.10.2.1 标准 10.2.1 对氨罐的监管和定期检查提出了要求。同时根据贯彻落实“预防为主”的方针，将事故消灭在萌芽状态，对事故隐患和缺陷的危险源要及时整改。氨罐是压力容器，且氨是危险化学品，所以氨罐是脱硫系统的危险源，须按危险源的相关管理要求建立制作、安装检修、维修、检测等档案。

6.10.2.2 为保证人身及设备的安全，减少对环境的影响，标准 10.2.2 要求脱硫系统应具有氨泄漏的紧急处置措施，包括在脱硫系统区应设置报警设施、喷淋系统及方向标和洗眼器等。

当氨泄漏时，氨检测报警仪报警，同时喷淋系统应自动启动。

方向标的设置有利于人员向上风向撤离。

6.10.2.3 近年来金属软管在液氨装卸中的安全事故发生了许多起，金属软管使用的隐患较多，且根据 GB50160 规定，甲_B、乙、丙_A类液体的装卸车应采用液下装卸车鹤管。本标准即规定了卸氨设备须采用鹤管，杜绝使用金属软管。

6.10.2.4 标准 10.2.4 规定了氨罐和氨管道防火措施：

1、氨法烟气脱硫的吸收剂液氨、氨气等属于危险物料。按 GB50016 规定其火灾爆炸危险性属于乙类，所以应根据其具体特点设置可靠的防火防爆措施和火灾报警系统，合理选择和配备消防设施。

2、氨是具有一定的爆炸危险性，且按 GB50160 规定甲、乙_A类设备和管道应有惰性气体置换设施。据此，本标准规定贮罐和管线在安装投用前、检修前、检修后的投用前，应使用氮、蒸汽等介质置换或保护，经检测合格后方可使用或检修。

3、氨罐区是防爆区，标准 10.2.4 要求此区域内的电缆阻燃、防静电、接地也应符合相应要求。

4、为确保安全，本标准要求系统调试、投运前就应建立相关安全、卫生管理制度，并应在系统调度开始就要切实落实安全、卫生管理措施。

6.10.2.5 按《安全生产法》等的要求，在生产经营场所和有关设施、设备上应设置明显的安全警示标志、紧急疏散、急救通道等。同时，根据氨罐区的防火防爆的要求，标准10.2.5规定了氨罐区需设置黄色区域警戒线、警示标识和中文警示说明等。

警示说明应载明产生职业中毒危害的种类、后果、预防以及应急救治措施等内容。发生事故和急性中毒的抢救、疏散方式和应急措施详见表6.2。具体应急方案见附件一。

表6.2 中毒急救、泄漏紧急处理措施

物料名称	中毒急救措施	泄漏紧急处理措施
氨	<p>皮肤接触：脱去污染的衣着，用清水彻底清洗 15 分钟。若有灼伤，送医院处理。</p> <p>眼睛接触：立即翻开上下眼睑，用流动清水或生理盐水冲洗至少 15 分钟。即送就医。</p> <p>吸入：迅速脱离现场至新鲜空气处。保暖并休息。保持呼吸道畅通。呼吸困难时输氧。呼吸停止时，立即进行人工呼吸。即送就医。</p>	<p>在系统区设置方向标，如有人员中毒迅速撤离泄漏污染区，人员至上风处，并隔离直至气体散尽，切断火源。</p> <p>应急人员带自给式呼吸器，穿一身消防防护服。切断气源，喷雾状水稀释溶解，强力通风。</p> <p>漏气管道不能再用，且要经技术处理以清除剩下的气体。</p>

6.11 施工与验收

本节主要根据工程建设法规、《建设项目(工程)竣工验收办法》、《建设项目环境保护条例》和相关的验收监测规定，对工程施工与验收的基本要求和程序进行了规定。主要是针对氨法烟气脱硫工程的特点提出了施工与验收方面的具体规定。

6.11.1 施工

6.11.1.1 根据我国建设部相关文件，施工单位根据工程业绩和工程技术人员的技术等级申办资质，有资质的单位在资质允许范围内施工，建设项目也必须有符合资质要求的施工单位施工。标准11.1.1、11.1.2对工程相关单位的资质及管理要求作了规定。

6.11.1.2 《特种设备安全监察条例》规定：压力容器安装、改造、维修的施工单位应当在施工前将拟进行的压力容器安装、改造、维修情况书面告知直辖市或者设区的市的特种设备安全监督管理部门。

据此，标准 11.1.3 规定贮气罐、液氨罐、液氨管道等压力容器及其配套项目施工前应向特种设备主管部门办理相关手续，施工过程中接受其监督。

6.11.1.3 《建筑法》规定了施工许可的相关要求：已经办理该建筑工程用地批准手续；在城市规划区的建筑工程，已经取得规划许可证；需要拆迁的，其拆迁进度符合施工要求；已经确定建筑施工企业；有满足施工需要的施工图纸及技术资料；有保证工程质量和安全的具体措施；建设资金已经落实；法律、行政法规规定的其他条件。

在此基础上，结合工程的具体特点，标准 11.1.5 规定了脱硫工程的施工条件：设计施工图纸、有关技术文件及必要的安装使用说明书已齐全；施工图纸经过会审；经过技术交底和必要的技术培训等技术准备工作；施工现场具备施工条件。

6.11.1.4 根据相关建筑施工条例，工程施工必须依据设计单位或设备制造厂家的设计图纸施工，不准任意更改。如果有更改，必须有设计更改图纸或设计更改说明。

6.11.1.5 标准11.1.7规定了工程施工所用设备、材料、器材等产品的要求。为了保证施工质量，施工使用的任何物品、材料都必须是合格产品。并有相关的性能报告。

6.11.1.6 《特种设备安全监察条例》规定，压力容器的生产（含设计、制造、安装、监理、检验）单位应当经国务院特种设备安全监督管理部门许可，方可从事压力容器的设计活动。

据此，标准 11.1.9 规定液氨罐、液氨管道及其配套件设计、制造、安装、监理、检验单位应具有相应的资质。

6.11.2 竣工验收

6.11.2.1 根据《特种设备安全监察条例》相关规定，本标准 11.2.2 要求贮气罐、液氨罐、液氨管道等压力容器及其配套应经特种设备主管部门验收。

6.11.2.2 标准 11.2.3 按《建设项目（工程）竣工验收办法》规定：竣工验收的依据应包括设计文件和设计变更文件、工程合同、设备供货合同和合同附件、设备技术文件、专项工程施工与验收规范、国家现行有关标准的规定及其它相关文件。

6.11.3 调试考核

6.11.3.1 本标准适用于火电厂氨法烟气脱硫工程，标准 11.3.1 条要求脱硫系统的调试验收宜按 DL/T5403 执行，并规定调试工作分为分部试运（包括设备和分系统试运）、整套启动试运行（包括整套启动调试优化和满负荷试运行）两阶段。

6.11.3.2 标准 11.3.2、11.3.3 规定了系统的分阶段调试工作、调整试运质量的检验及评定顺序、质量检查的具体过程，并强调了质量检查与评定的条件。

6.11.3.3 在脱硫系统调整试运的目的就是发现问题和隐患并及时解决和消除。标准 11.3.4 规定调试人员应对各检验项目的质量进行全数检查，建设单位和试运验收组可视情况作全数检查或随机抽查。

6.11.3.4 标准 11.3.5 根据 DL/T5403 规定，在整体启动试运行及满负荷调试优化后，进行满负荷试运行考核，技术指标达到设计要求后，建设单位向有审批权的环境保护行政主管部门提出生产试运行申请。经批准后，方可进行生产试运行。

6.11.4 竣工环境保护验收

6.11.4.1 《建设项目竣工环境保护验收管理办法》规定了脱硫系统工程竣工环境保护验收按的相关事项。本标准 11.4.1 要求脱硫系统参照其规定执行。

6.11.4.2 标准 11.4.2、11.4.3 规定了脱硫系统整体性能验收的时限，同时应参照 DL/T 986 的相关规定进行系统整体性能验收。

6.11.4.3 标准 11.4.4 根据 DL/T5403、DL/T 986 的规定，技术性能试验应至少包括：脱硫效率；脱硫系统压力降；吸收剂、水、电、汽的消耗量；脱硫副产物产量及质量；进出口烟气成分（SO₂、氧量、烟尘、氮氧化物、温度、压力和烟气流量）；合同约定的其它试验项目。根据氨法烟气脱硫的特点，增加了氨逃逸浓度、氨（回收）利用率的性能试验。

6.11.4.4 《建设项目竣工环境保护验收管理办法》中关于环保验收的条件主要有以下几方面规定：

- 1、建设前期环境保护审查、审批手续完备，技术资料与环境保护档案资料齐全；
- 2、环境保护设施及其他措施等已按批准的环境影响报告书（表）或者环境影响登记表和设计文件的要求建成或者落实，环境保护设施经负荷试车检测合格，其防治污染能力适应主体工程的需要；
- 3、环境保护设施安装质量符合国家和有关部门颁发的专业工程验收规范、规程和检验评定标准；
- 4、具备环境保护设施正常运转的条件，包括：经培训合格的操作人员、健全的岗位操作规程及相应的规章制度，原料、动力供应落实，符合交付使用的其他要求；
- 5、污染物排放符合环境影响报告书（表）或者环境影响登记表和设计文件中提出的标准及核定的污染物排放总量控制指标的要求。

在此基础上，结合 DL/T5403、DL/T 986 的相关要求，标准 11.4.5 规定了脱硫系统工程竣工环境保护验收的主要技术依据有：项目环境影响报告书审批文件；环境监测报告；批准的设计文件和设计变更文件；满负荷生产试运行报告；试运行期间烟气连续监测报告；完整的启动试运行、生产运行记录等。

6.12 运行与维护

6.12.1 一般规定

6.12.1.1 为使得脱硫系统能稳定运行，需控制系统运行在满足设计工况的条件下进行。根据《安全生产法》的相关要求，结合工艺的具体要求，标准12.1.2要求需定期对各类设备、电气、自控仪表及建（构）筑物进行检查维护。

6.12.1.2 标准12.1.3规定了脱硫系统的运行维护的管理制度，相关制度包括运行、操作和维

护规程；建立整个脱硫系统及主要设备运行状况的台帐制度等。

6.12.2 人员与运行管理

6.12.2.1 标准 12.2.1、12.2.2 是对企业在管理和运行维护，建章、立制和加强运行人员的技术技能等提出要求。主要提出了脱硫系统部门的设置、运行人员的配置、技能培训等。同时根据氨罐区的防火防爆等管理要求，规定了液氨罐区操作人员的上岗条件。

6.12.2.2 为实现脱硫系统的安全生产，标准12.2.2要求脱硫系统运行操作人员需系统掌握脱硫相关设施的具体操作和应急情况的处理措施，同时还需要进行专业培训。HJ/T179中规定运行操作人员上岗前应进行专业培训及其具体内容，本标准参照执行。

6.12.2.3 标准12.2.4根据生产管理、技术进步、环保监督等要求，工厂应建立脱硫系统运行状况、设施维护和生产活动等的记录制度。HJ/T179对具体记录内容作了相关规定，本标准参照执行，并结合氨法特点，强调了吸收剂进厂质量分析和用氨量的具体记录等。

6.12.2.4 为了安全生产，标准12.2.5规定了交接班制度和巡视制度的建立，并强调液氨或氨水的装卸应加强监控。

6.12.3 维护保养

6.12.3.1 维护保养是保证脱硫系统长期稳定运行的基本要求，本节规定系统检修和维护保养宜按DL/T748.10进行，并强调维护保养应纳入全厂的维护保养计划中。

6.12.3.2 标准12.3.2、12.3.3规定了脱硫系统维护保养记录的相关要求。

6.12.3.3 根据《特种设备安全监察条例》的相关规定，标准12.3.4提出了液氨罐及其配套件检查要求。

7 标准实施的环境效益及经济技术分析

7.1 国内外技术发展应用情况

7.1.1 国内外技术发展现状

7.1.1.1 国外氨法烟气脱硫技术概况

早在 20 世纪 70 年代初，日本、意大利等国便开始了氨法烟气脱硫工艺的研发。国外研究氨法烟气脱硫技术的企业主要有：美国—GE、Marsulex、Pircon、Babcock & Wilcox；德国—Lentjes Bischoff、Krupp Koppers；日本—NKK、IHI、千代田、住友、三菱、荏原等等。

不同工艺的氨法烟气脱硫自 20 世纪 70 年代开始应用，日本 NKK 公司在 20 世纪 70 年代中期建成了 200MW 和 300MW 两套机组。美国 GE 公司于 1990 年开始建成了多个大

型示范系统，规模从 50MW 至 300MW，如 1996 年建成的大平原合成燃料厂锅炉燃用合成燃料厂生产过程中含有高硫的燃气或者渣油等，三台锅炉共用一套氨法烟气脱硫系统，三台锅炉的总热功率及其燃烧后的总烟气量，相当于 30 万千瓦级燃煤电站锅炉的容量及烟气量。德国 Krupp Koppers 公司于 1989 年在德国建成 65MW 示范系统。加拿大辛德鲁克电厂于 2006 年，在燃用 4% 含硫量的石油焦的 500MW 机组上，建设了一套氨法烟气脱硫系统。

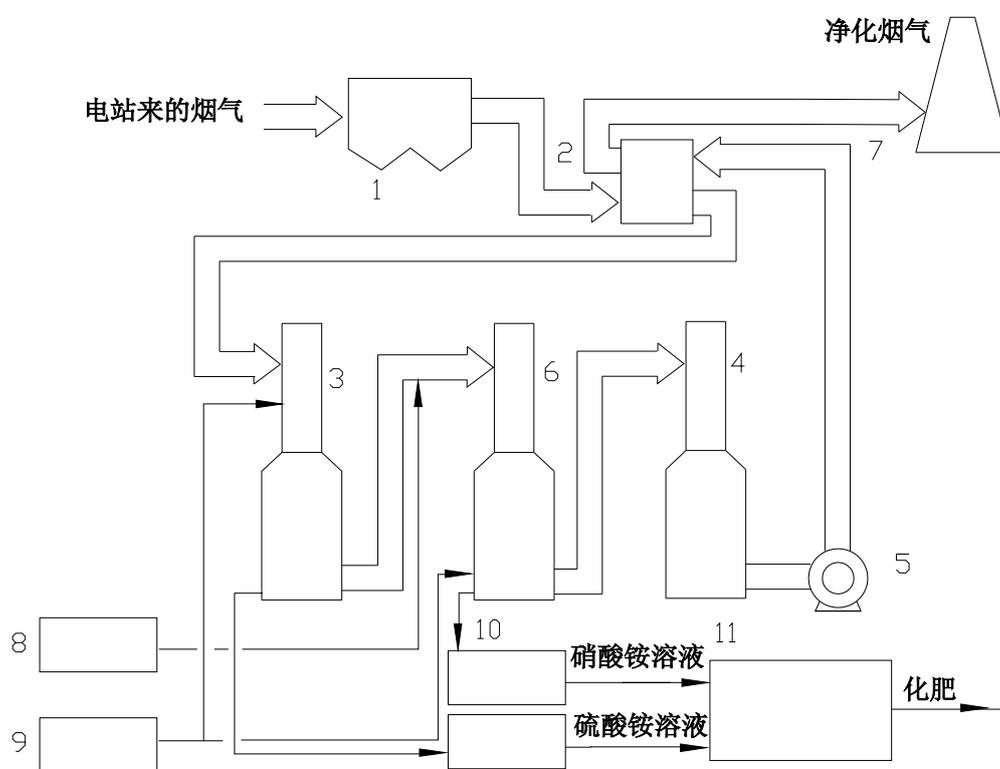
目前国外应用较多的湿式氨法烟气脱硫工艺主要有以下几种：

1) Walther 氨法工艺

湿法氨水脱硫工艺较早时是由德国 krupp koppers 公司开发于 20 世纪 70 年代的氨法 Walther 工艺。

其大致流程：除尘后的烟气先经过热交换器，从上方进入洗涤塔，与氨气（25%）并流而下，氨水落入池中，用泵抽入吸收塔内循环喷淋烟气。烟气则经除雾器后进入一座高效洗涤塔，将残存的盐溶液洗涤出来，最后经热交换器加热后的清洁烟气排入烟囱。

工艺流程见图 7.1。



1—电除尘器 2—热交换器 3—SO₂ 洗涤器 4—快速洗涤器 5—引风机 6—NO₂ 洗涤器

7—烟囱 8—臭氧发生器 9—氨水供应系统 10—氧气罐 11—生产化肥系统

图 7.1 Walther 氨法烟气脱硫工艺流程

2) AMASOX 氨法工艺

传统的氨法工艺遇到的主要问题之一是净化后的烟气中氨逃逸问题没有得到解决。能捷斯-比晓夫公司买断了 Walther 工艺，并对之改造和完善形成了 AMASOX 法。主要改进是将传统的多塔改为结构紧凑的单塔，并在塔内安置湿式电除雾器解决氨逃逸问题。

流程见图 7.2。

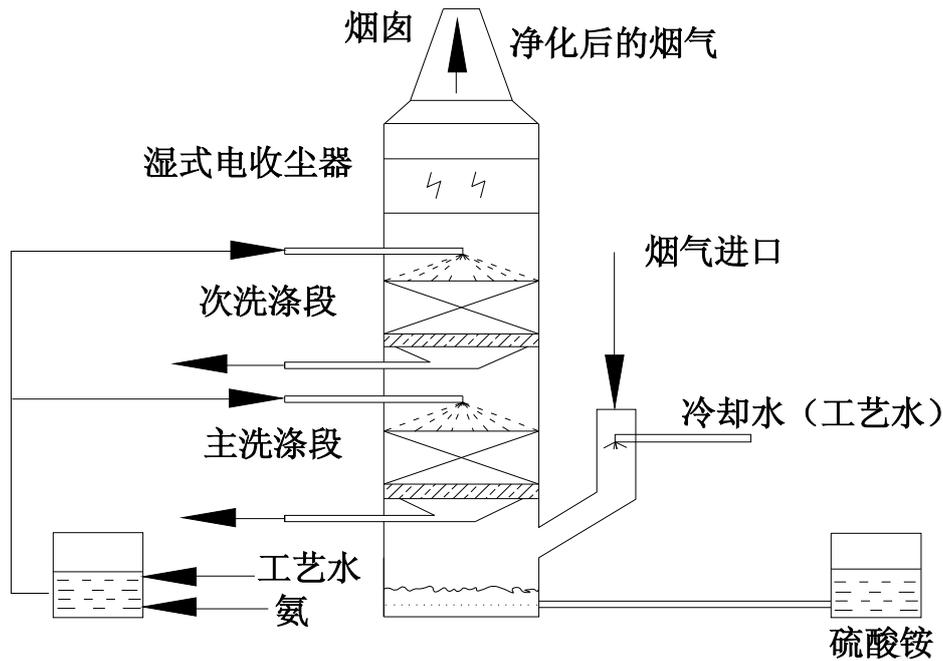


图 7.2 AMASOX 氨法烟气脱硫工艺流程

3) GE 氨法工艺

20 世纪 90 年代，美国的 GE 公司开始开发氨法工艺，并在威斯康辛州的 Kenosha 电厂建设一个 500MW 的工业性示范系统。

其工艺流程如图 7.3：首先，热烟气(1)进入预洗涤塔(2)，与饱和硫酸铵溶液接触，烟气在此过程中被冷却，同时，由于饱和硫酸铵溶液中水的蒸发而析出硫酸铵晶体。已被冷却的烟气通过除雾器进入 SO_2 吸收塔(3)。在吸收塔中，氨与水混合成氨液。烟气中的 SO_2 在此被吸收(4)，与氨反应生成硫酸铵。最后，脱硫后烟气经烟囱排入大气(5)。硫酸铵溶液被送入预洗涤塔循环利用(6)。预洗涤塔中的硫酸铵料浆进入脱水系统(7)。先经旋流器脱水，然后经离心机得到硫酸铵滤饼。从旋流器和离心机回收的清液返回预洗涤器，循环利用(8)。硫酸铵滤饼被送至造粒系统(9)，得到高利用价值的颗粒硫酸铵肥料，在被火车或者卡车运走前，存放在圆顶储仓(10)内。

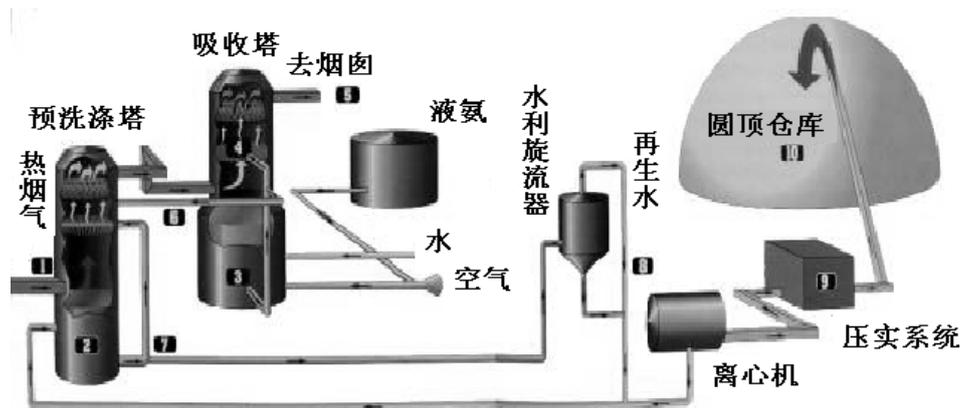
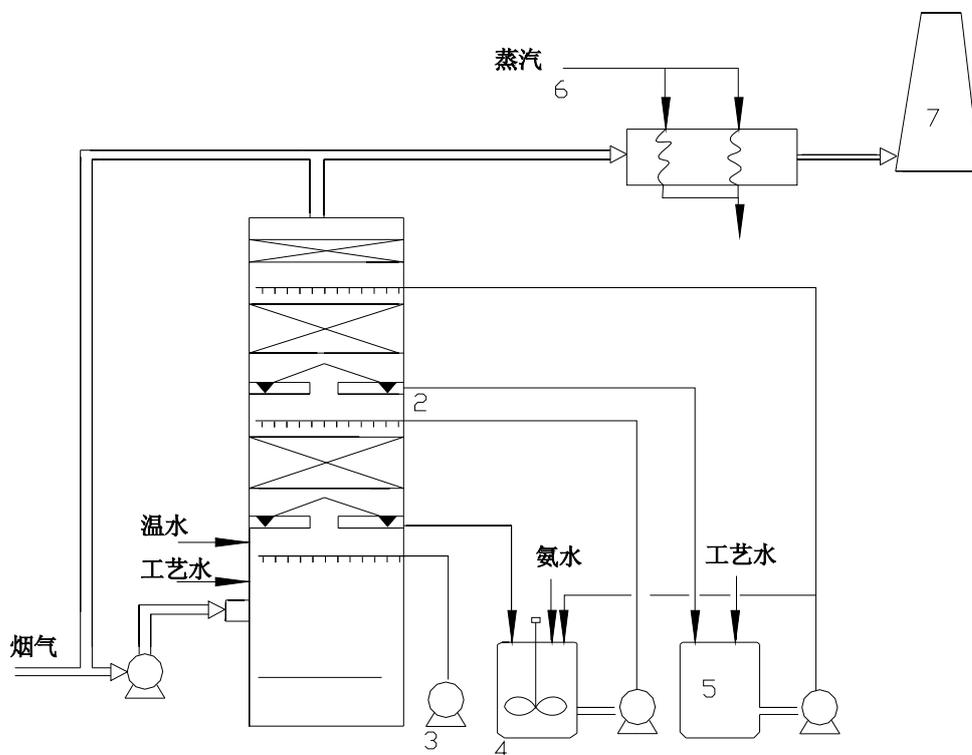


图 7.3 GE 氨法工艺

4) NKK 氨法

NKK 氨法由日本钢管公司开发。其流程见图 7.4。

该吸收塔具有一定的特点，分三段。从下往上，下段是预洗涤除尘和冷激降温，在这一段，没有吸收剂的加入。中段是第一吸收段，吸收剂从此段加入。上段作为第二吸收段，但是不加吸收剂，只加工艺水。吸收处理后的烟气经加热器升温后排向烟囱。亚硫酸铵氧化在单独的氧化反应器中进行。需要的氧由压缩空气补充，氧化剩余气体排向吸收塔。



1—风机 2—吸收塔 3—泵 4—一级吸收循环槽 5—二级吸收循环槽 6—加热器 7—烟囱

图 7.4 NKK 氨法烟气脱硫工艺

7.1.1.2 国内氨法烟气脱硫技术概况

在我国，氨法烟气脱硫技术首先用于硫酸行业，主要用于制酸尾气的吸收治理。在燃煤电厂烟气脱硫领域，氨法的发展则十分缓慢。随着合成氨工业的不断发展以及厂家对氨法烟气脱硫工艺自身的不断改进和完善，进入 20 世纪 80 年代中后期，氨法烟气脱硫工艺也取得了较大的发展，形成了较多种类的湿式氨法烟气脱硫工艺，其技术主要有源于 TS/PS 法的改进型简易氨法烟气脱硫技术、类似石灰石—石膏法的氨法烟气脱硫技术、引进国外的氨法烟气脱硫技术、多段复合型吸收塔氨法烟气脱硫技术。

7.1.1.2.1 源于 TS/PS 法的改进型简易氨法烟气脱硫技术

1) TS/PS 技术

所谓 TS/PS 技术是将一定浓度的吸收剂进入反应器雾化后与高温烟气充分混合、接触， SO_2 与氨发生瞬时化学反应进行脱硫的技术。

此技术中的脱硫反应在较高温度下进行，主要是气相反应，反应产物大部分为气溶胶，产品的回收率在 15% 以下，且回收产物是浓度不高于 5% 的含亚硫酸氢铵和硫酸铵的溶液，回收成本很高，所以皆未配置回收系统。

因此，此技术只是简易氨法，不是回收法。该技术的脱硫效率在 70~95%。

2) 源于 TS/PS 法的改进型简易氨法烟气脱硫技术

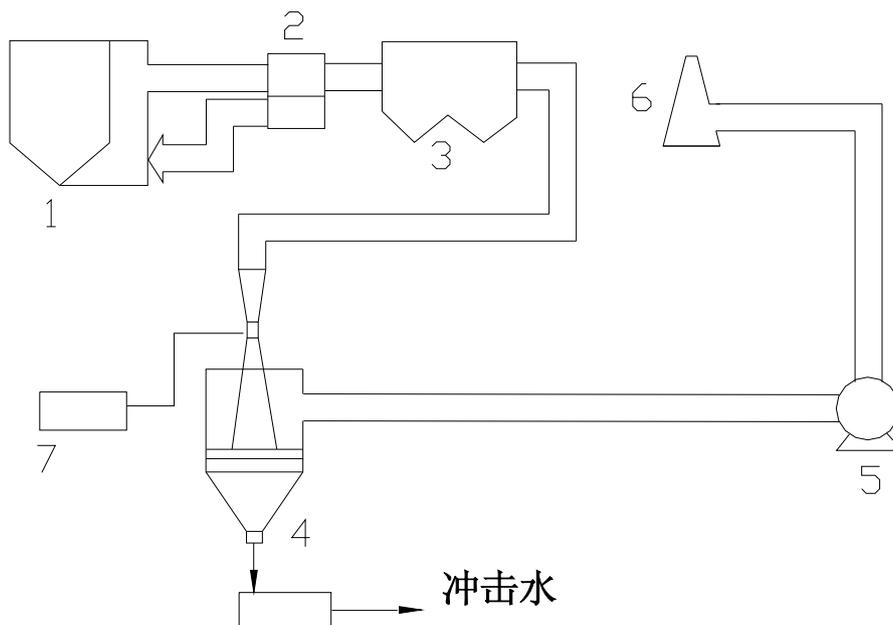
目前国内空塔技术主要是从 TS/PS 法发展而来，如江苏太仓、河南焦作的氨法系统。简易氨法（TS/PS）脱硫工艺流程见图 7.5，其主要特征：

A、系统吸收分两段。

第一段为喉管或高气速的一级空塔，利用烟气与雾状喷入的吸收液激烈混合，此段为原 TS/PS 主反应段。第二段一般是喷淋洗涤，是针对改进原 TS/PS 技术中的旋流板类除雾器不能收集产品的缺陷而设计的。

B、这些系统中一般不设氧化设施或只设简易的氧化系统。

主要靠烟气中的氧对吸收液中的亚硫酸铵及亚硫酸氢铵的自然氧化作用，自然氧化率仅在 30% 以下，设置简易氧化系统的氧化率也仅能达 70% 左右。



1-锅炉 2-空气预热器 3-干式电除尘器 4-脱硫塔 5-引风机 6-烟囱 7-氨供应设备

图 7.5 简易氨法(TS/PS)脱硫工艺流程

3) 源于 TS/PS 法的改进型简易氨法烟气脱硫技术的运行效果

此类技术的运行效果不理想。相对较好的江苏太仓系统脱硫效率达 90%以上，而净烟气中 NH_3 浓度达 $71.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。据厂家介绍副产品的收率为 87%，应该是按氨的逃逸浓度核算的，实际上未计氨逃逸的损失，因此真实的收率会大大低于 87%。

可见，国内的改进型简易氨法烟气脱硫技术氨回收率低，运行成本很高，又会造成二次污染。故目前此类技术在氨回收方面还须做大量的工作。

7.1.1.2.2 类似石灰石—石膏法的氨法烟气脱硫技术

此技术基本延用了石灰石—石膏法烟气脱硫技术的塔型及流程，塔内上下直通，循环液浓度上下一致。

此技术吸收、氧化的停留时间与石灰石—石膏法相当，其实质性机理与上述的源于 TS/PS 的改进型简易氨法烟气脱硫技术相同，所以目前系统运行效果与源于 TS/PS 的改进型简易氨法烟气脱硫技术的效果差不多。

此技术在河南、山东等地有使用。

7.1.1.2.3 引进的国外氨法烟气脱硫技术

随着氨法烟气脱硫在国内日益受到重视，近年来国内有关企业，如武汉凯迪等环保公司陆续引进了玛苏莱（原GE的技术）等国外知名公司的脱硫工艺。然而，目前国外引进的

技术在国内皆未有投运业绩，且国外技术商转让的深度不足，迫使国内技术引进商不得不二次开发，其系统的效果有待观察。

7.1.1.2.4 多段复合型吸收塔氨法烟气脱硫技术

国内已经建成有十多套多段复合型吸收塔系统，目前江苏新世纪江南环保有限公司等拥有此技术。

多段复合型吸收塔的主要特征在于塔内设置了分段吸收层，核心是解决了氨逃逸及氧化问题。典型流程有四种。图 7.6 是蒸发结晶流程、图 7.7 是塔内结晶流程。

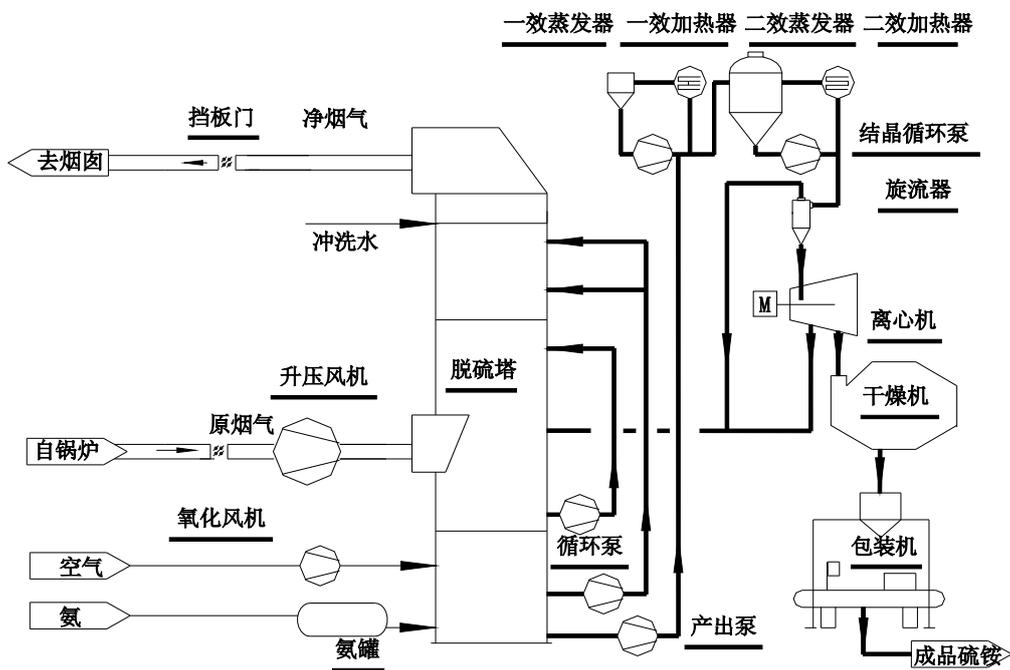


图 7.6 多段复合型吸收塔蒸发结晶流程图

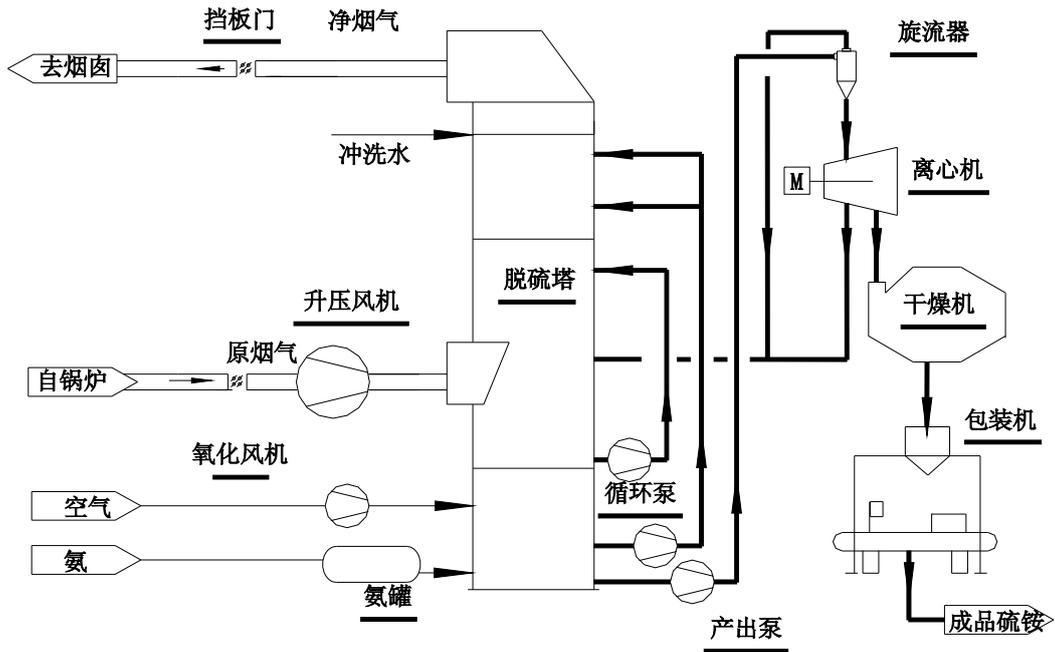


图 7.7 多段复合型吸收塔塔内结晶流程图

多段复合型吸收塔氨法烟气脱硫技术在国内众多火力发电厂和化工企业的自备电厂都取得了广泛的应用，如：天津碱厂电厂（天津永利电力有限公司）、云南解化集团热电厂、重庆中梁山煤电集团发电厂、中石化扬子石化有限公司电厂、山东众泰电力有限公司、广西田东电厂等电厂。这些烟气脱硫系统的运行表明：多段复合型吸收塔脱硫技术对煤种具有很好的适应性，在低、中、高硫煤的锅炉烟气治理上的脱硫效率都在 97%以上，副产物的氧化率在 99%以上，氨的逃逸浓度为 $0\sim 10\text{ mg/Nm}^3$ ，硫酸铵产品品质达 GB535-1995 合格品甚至一级品。

可见，多段复合型吸收塔氨法烟气脱硫技术相对成熟，能满足环保与经济运行的要求，是当前氨法烟气脱硫的主导技术。

7.1.2 新技术发展情况及趋势

由于氨法烟气脱硫的脱硫剂价格较高，氨回收利用率是决定氨法脱硫系统运行经济的重要因素。因其脱硫剂为挥发性物质，脱硫过程存在氨逃逸、亚铵盐氧化等难题，这些问题不仅涉及到系统是否产生二次污染，又直接关系到氨回收利用率的高低。所以，氨法烟气脱硫的关键技术就在于控制氨逃逸浓度、控制铵盐气溶胶、亚铵盐氧化、工业化应用等。

之前国内外氨法烟气脱硫技术在解决氨回收率问题上仍没有经济有效的成熟办法。多段复合型吸收塔技术则从控制反应条件入手避免氨的逃逸，从根本上解决了湿式氨回收法

的氨回收率的核心问题。同时由于其能在同一个脱硫吸收塔内实现烟气的洗涤净化和脱硫副产物的氧化结晶，有效提高了系统运行的可靠性。

氨法烟气脱硫技术发展趋势主要集中在以下几个方面：

1) 吸收系统向多段复合吸收型技术发展

多段复合型吸收塔氨法烟气脱硫技术是目前国内外先进的氨法烟气脱硫工艺，其它氨法烟气脱硫工艺皆有向多段复合吸收型技术发展的趋势，高脱硫率、高回收率是氨法烟气脱硫技术发展中必须坚持的原则。

2) 副产物系统技术的开发

副产物系统主要是有针对性地开发更加节能、更加环保、更加可靠的流程及设备。包括蒸汽喷射泵的应用、多效蒸发流程及设备的开发、更适应蒸发系统工况的材料开发、新型固液分离及干燥设备的开发等。

3) 脱硫脱硝一体化技术开发

随着中国对氮氧化物排放控制的严格要求，脱硝将是烟气治理的又一重点。而氨及其脱硫中间产物皆有一定的脱硝能力，可以实现脱硫的同时脱硝，所以结合氨法烟气脱硫工艺探索脱硫脱硝一体化治理技术也成为氨法未来一大发展趋势。

排放要求应执行《火电厂大气污染物排放标准（GB13223-2003）》。

7.1.3 主导技术的应用情况和水平

近年来，多层复合型脱硫塔氨法烟气脱硫技术在天津、云南、山东、河南、江苏、湖北、贵州、重庆、四川、广西、内蒙等省、自治区、直辖市拥有较多的应用，采用该技术的已建、在建烟气脱硫系统达 18 个以上。已建系统处理烟气量近 850 万 Nm^3/h ，年产硫铵量超过 30 万吨，在建系统的处理烟气量也超过 700 万 Nm^3/h 。系统最大单塔容量超过 300MW，业绩总数和装机总容量在国内氨法烟气脱硫技术的应用中遥遥领先，尤其在火电厂已建氨法烟气脱硫系统中，60%左右的都是采用的该技术。该技术工艺先进，应用工程运行稳定，各系统脱硫效率 $\geq 95\%$ ，氨的利用率 $\geq 98\%$ ，达到国际先进水平。

7.2 经济指标汇总

根据以上分析，本标准按先进性及可行性原则，确定了以多层复合型吸收塔为主导技术路线。多层复合型脱硫塔技术在国内众多火力发电企业和化工企业的自备电厂取得了较多的应用，现列出部分单位应用该技术后经济效益情况，见表7.1:

表 7.1 氨法烟气脱硫经济效益分析

序号	项目建设单位	蒸汽 (t/h)	机组容量 /MW	烟气量(Nm ³ /h)	项目投资 (万元)	运行费用(万元/年)	脱硫收益 (万元/年)
1	中石化扬子石化热电厂	3×220+260+410	2×200	1 [#] 塔: 750000 2 [#] 塔: 750000	8100	2640	410
2	山东众泰发电有限公司	—	2×150	1 [#] 塔: 481715 2 [#] 塔: 481715	5600	4950	1360
3	云南解化集团公司	75+3×130 (三期)		729000	2915	760	1370
4	山东华鲁恒升德州热电厂	4×240+3×75	320	1 [#] 塔: 380000 2 [#] 塔: 310000 3 [#] 塔: 930000	2750	1830	2250
5	广西田东电厂	2×420	2×135	1100000	5530	5967	3061

注: 脱硫效益=硫酸铵销售收入+节约 SO₂ 排污费-运行费用

可见, 多层复合型脱硫塔技术的整体投资、运行费用较低。此外硫酸铵的销售收入以及少交的排污费用在抵消运行费用的同时, 还能有一定的收益, 充分体现了循环经济的理念。

8 标准实施建议

8.1 本标准实施可达到的污染治理效果或可达到的排放限值

本标准属于环境工程类技术规范, 主要是落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《火电厂大气污染物排放标准》对火电厂 SO₂ 排放的规定, 规范氨法烟气脱硫工程建设, 控制 SO₂ 的排放, 改善环境质量, 保障人民的健康, 促进生态和谐。

本标准中规定氨法烟气脱硫系统应控制脱硫效率不小于 95%, 对于选择中低硫煤为燃料的机组, 脱硫后 SO₂ 浓度都将低于 200mg/Nm³, 满足《火电厂大气污染物排放标准》中规定的限值要求。而氨法烟气脱硫的吸收剂具有很高的反应活性, 煤种的适应能力强, 对于以高硫煤为燃料的机组, 其脱硫效率可适当提高至满足排放标准的要求。

本标准中同时还规定了氨的利用率不小于 97%、氨逃逸浓度不大于 10mg/Nm³, 这样就保证了氨的高效利用, 避免了二次污染的产生。

此外, 氨法烟气脱硫工艺与现有的脱硫工艺能相比还具有脱硫的同时部分脱硝的特点, 因此本标准实施后, 也将对 NO_x 的减排控制带来益处。

总之, 本标准实施后火电厂的 SO₂ 排放量完全能满足相关标准的限值要求, NO_x 的排

放量也将适当减少，同时整个过程中还不增加废气、废水和废渣的排放，对环境改善起到显著作用。

8.2 标准实施的管理措施和技术措施

8.2.1 标准实施的管理和技术措施

1) 加强对氨法烟气脱硫工程的监督管理

氨法烟气脱硫技术脱硫效率容易达到，其关键问题在于脱硫产物的回收利用。如果回收效率低，不仅运行成本很高，电力企业难以承受而降低系统的运行率，而且大量的脱硫产物排放到环境中又会形成二次污染。这是环保监督部门应关注的。

本工程技术规范已对氨法烟气脱硫工程的性能作了规定，不能满足规范的技术路线应慎重选择，环保部门应禁止此类技术的推广应用。

2) 脱硫工程技术应加强技术进步，不断完善和提高工程性能及系统的可靠性

氨法烟气脱硫工程在国内火电厂的应用也只有近10年的历史，对其机理及特性的了解、配套设备的选型、针对性的材质的开发研究还需进一步深入，以不断对氨法烟气脱硫工程技术进行改进，从而提高系统的经济性、可靠性，更好地适应火电厂的安全、经济、环保的要求。

3) 提倡并加强新技术的开发

鼓励对氨法烟气脱硫过程中脱除氮氧化物及其它有害物质的技术性研究，探索更加有效的协同控制技术，充分发挥氨吸收剂的功效。

4) 电力企业应主动执行此规范

电力企业是执行此规范的关键主体，在方案的选择、招标、建设、运行等过程中皆应主动执行此规范，保证工程质量及运行质量，确保环境治理目标的实现。

另外，氨法烟气脱硫系统原料及副产物皆是化工产品，其生产过程及装备具有化工生产的一些特点，基本属于化工的范畴。这也要求电力企业抓住这一特点，掌握系统特性，更有利于落实本规范实现环境治理目标。

8.2.2 行业达到相关技术要求的可能和对环境改善所作的贡献

全国电力技术市场协会在《我国电力工业现状和“十二五”电源结构调整趋势分析》中指出：根据2008年我国电力装机容量的实际情况，并考虑到经济增长等因素对电力需求量的具体影响，“十一五”后两年及“十二五”期间电力装机容量的预测可按照最近的经济形势进行估量，如果按每年新投产机组8000万千瓦，扣除每年关停小火电机组1300万千瓦，每年净增装机容量为6700万千瓦，其中火电机组每年新投产的容量约为5500万千瓦左右。

国家电网公司研究预测指出：我国“十一五”期间发电装机容量年增10.5%， “十二五”期间年增率将降至6.7%， “十三五”期间年增率将降至4.17%。

根据上述分析，可预测到“十二五”末新建、改建、扩建火力发电机组的装机容量将达到47000万千瓦左右。以此为基础，对SO₂的减排及氨法应用前景预测如表8.1。

表8.1 到“十二五”末SO₂减排情况预测

序号	机组类型	机组总容量 (MW)	SO ₂ 减排总量(万吨/年)	氨法烟气脱硫			
				机组容量 (MW)	氨法脱除 SO ₂ 总量 (万吨/年)	回收硫资源 (万吨/年)	减少 CO ₂ 排放量 (万吨/年)
1	2009-2015 年 新建、改建、扩建火力发电机组	47000	1580	9400	316	158	218
2	2005-2008 年 已建火力发电机组	30400	1022	6088	205	103	141
3	≤100MW 的在役火力发电机组	12530	437	—	—	—	—

说明:

- [1] 截止到2008年底统计,我国火电装机总容量为60132万千瓦,其中小于10万千瓦的机组总容量为12530万千瓦,将陆续关停;
- [2] 本技术规范全面推广后,预测2009年-2015年新建、改建、扩建火力发电机组总容量的20%将采取氨法烟气脱硫;
- [3] 2005年-2008年新建火电装机总容量为30440万千瓦,“十二五”期间预计约20%装机容量需要进行氨法烟气脱硫改造;
- [4] 减少CO₂排放量是氨法烟气脱硫部分取代石灰石-石膏法后带来的环境效益。

据发改委相关统计，截至2008年底，我国火电厂烟气脱硫装机容量超过3.79亿千瓦，其中有90%左右采用石灰石—石膏法，以此推算需消耗优质石灰石资源1792万吨/年，产生二氧化碳788万吨/年，产生脱硫石膏3082万吨/年，产生废水2456万吨/年。

本技术规范实施后，将促进氨法烟气脱硫工艺的推广应用，按20%市场占有率计算，将实现以下环境治理目标：

1) 至“十二五”末，新建、改建和扩建机组若有20%采用湿式氨法烟气脱硫，则每年可减排SO₂316万吨。至2015年本技术规范全面实施后，每年可减排SO₂约521万吨。

2) 每年减少优质石灰石资源消耗814万吨，减少CO₂排放359万吨，减少脱硫石膏1400万吨，减少废水排放1115万吨，节电460000kWh。

3) 向土壤提供有效硫元素261万吨/年。

可见，本规范的制定对我国的烟气脱硫事业的发展、环境的改善、资源的节约、化肥品种优化等方面将起到重要的影响，意义深远。