

电厂锅炉 湿法脱硫设备 检修技术

张磊 王德坚 刘红蕾 等 合编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电厂锅炉 湿法脱硫设备 检修技术

张磊 王德坚 刘红蕾 单志栩 合编
廉根宽 范平丽 王智奇 李西强



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍火力发电厂脱硫设备的检修工艺、检修内容、检修注意事项、检修质量标准、设备常见故障及处理方法。全书共分八章，具体内容包括石灰石—石膏湿法脱硫概述，电厂湿法脱硫设备检修管理，烟气脱硫系统设备检修，吸收塔系统检修，吸收剂制备、储存和输送系统检修，石膏脱水及废水处理系统设备检修，脱硫辅助设备检修，脱硫设备防腐等检修知识。

本书适用于从事火力发电厂大气污染控制管理、研究的工程技术人员阅读使用，可供高等院校师生参考，也可作为脱硫检修人员技能培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂锅炉湿法脱硫设备检修技术 / 张磊等编. —北京:
中国电力出版社, 2015.7
ISBN 978-7-5123-7303-7

I. ①电... II. ①张... III. ①电厂锅炉—湿法脱硫—
设备检修 IV. ①TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 040972 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 398 千字
印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

2014年4月24日,全国人大常委会通过了《中华人民共和国环境保护法》,并于2015年1月1日起执行,被称为“史上最严的环保法”。为了保护“共同的环境,共同的地球”,作为主要硫化物排放的火力发电厂,积极响应国家环境保护总局的要求,自1998年试点开展环境污染治理设施运营,各类脱硫技术如雨后春笋,目前电厂锅炉湿法脱硫技术是世界上开发最早、在世界上应用最多、最广泛的脱硫技术,经过数十年的实践和应用,其工作性能和可靠性大大提高,投资和运行费用大幅降低,是世界上最成熟最商业化的脱硫工艺,其中石灰石—石膏湿法脱硫技术在国内的应用最为普遍和成熟,已经广泛在300MW、600MW、1000MW等级大容量机组上成功运行。

本书以目前300MW、600MW、1000MW火电机组的石灰石—石膏湿法脱硫技术检修实践为基础,查阅大量的技术资料,按照标准检修程序编写,详细叙述了电厂锅炉湿法脱硫设备的主要结构、原理、技术性能、检修工序、检修工艺方法,以及电厂锅炉湿法脱硫设备常见故障与处理方法。

本书由国网技术学院的张磊、王德坚、刘红蕾、廉根宽、范平丽,北京能源集团有限责任公司单志栩,中节能六合天融环保科技有限公司的王智奇,山东电力建设第一工程公司李西强、孙巨伟,以及国网能源和丰煤电有限公司的张兵兵合作编写完成。全书由山东电力建设第一工程公司邵德让主审。

在本书编写的过程中,山东电力建设第一工程公司、邹县发电厂、日照发电厂等单位给予了大力支持,华电国际山东十里泉发电厂魏冀中提出了有益建议,谨在此一并表示衷心的感谢。在此,对所有关心、支持本书出版的专家和学者表示由衷的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏之处,恳请专家、读者批评指正。

编者

2015年3月

目 录

前言

第一章 石灰石—石膏湿法脱硫概述	1
第一节 脱硫的一般概念	2
第二节 超(超)临界机组脱硫	6
第二章 电厂湿法脱硫设备检修管理	34
第一节 检修管理基本要求	34
第二节 点检定修的管理	45
第三节 提高脱硫系统可靠性的技术整改方案	51
第三章 烟气脱硫系统设备检修	55
第一节 烟气挡板检修	55
第二节 增压风机检修	59
第三节 GGH 检修	82
第四节 烟气脱硫系统烟道的检修	92
第四章 吸收塔系统检修	95
第一节 吸收塔塔体检修	95
第二节 喷淋层系统设备检修	106
第三节 除雾器检修	114
第四节 吸收塔搅拌器检修	123
第五节 氧化空气管检修	128
第六节 浆液循环泵检修	129
第七节 吸收塔技术改造实例	141
第五章 吸收剂制备、储存和输送系统检修	149
第一节 湿式石灰石浆液制备系统检修	152
第二节 干式石灰石粉制浆系统检修	171
第三节 吸收剂制备、储存和输送系统检修及改造实例	175
第六章 石膏脱水及废水处理系统设备检修	179
第一节 石膏脱水系统设备检修	179
第二节 脱硫废水处理系统设备检修	193
第三节 箱、罐类设备维护检修	197
第四节 衬里设备及管道阀门检修	199
第五节 通用泵类、风机类维护检修	202

第六节	物料计、液位计检修	207
第七节	石膏脱水系统检修与改造实例	211
第七章	脱硫辅助设备检修	213
第一节	低泄漏风机、烟气系统密封风机检修	213
第二节	工艺水泵检修	222
第三节	氧化风机检修	228
第八章	脱硫设备防腐	235
第一节	防腐材料	235
第二节	防腐工艺	242

石灰石—石膏湿法脱硫概述

石灰石—石膏湿法脱硫是世界上开发最早、应用最广泛的脱硫技术，经过数十年的实践和应用，其工作性能和可靠性大大提高，投资和运行费用大幅降低。目前，该技术是世界上最成熟、最商业化的脱硫工艺，已经在 1000MW 大容量机组上成功运行。

一、石灰石—石膏湿法脱硫工艺的特点

- (1) 使用范围广，不受燃煤含硫量和机组容量的限制。
- (2) 脱硫效率高，一般可达到 95% 以上，脱硫后不但二氧化硫浓度低，而且含尘量也大大降低。
- (3) 处理烟气量大。
- (4) 技术成熟，运行可靠性好。国外火电厂石灰石—石膏湿法脱硫装置投运率一般可达 98% 以上，没有因脱硫设备而影响锅炉的正常运行。
- (5) 脱硫吸收剂（石灰石）储量丰富，价格低。
- (6) 脱硫副产品（石膏）可作为水泥缓凝剂或加工成建材产品，不仅可以延长灰场使用年限，减少脱硫副产物处理费用，还可以变废为宝，增加经济效益。
- (7) 适应国内外发展趋势，在国内已建成或正筹建的电厂中，石灰石—石膏湿法脱硫占到 90% 以上。
- (8) 石灰石—石膏湿法脱硫的主要缺点是关键技术、关键设备依赖进口，一次性投资大，运行费用高，占地面积大。近年来，湿法脱硫技术也有较大的改进，通过技术设备国产化和优化设计，占地面积有所减少，造价也大幅降低。

综上所述，石灰石—石膏湿法脱硫技术具有脱硫工艺成熟、吸收剂利用率高、石灰石资源丰富、对煤质适应性广、适应大机组的安全稳定运行等诸多优点。

石灰石—石膏湿法脱硫系统有吸收剂制备和供给系统、烟气系统、SO₂ 吸收系统、石膏及废水处理系统等。这些系统中都有需要防腐的区域或设备，其中尤以烟气系统和 SO₂ 吸收系统的防腐要求较高。

烟气从烟道引出后经增压风机增压，进入烟气换热器冷却后进入吸收塔。烟气在吸收塔中与喷淋的石灰石浆液反应，除掉烟气中的 SO₂，洁净烟气从吸收塔排出后经烟气换热器加热后排入烟道。

吸收塔是整个脱硫系统的主要设备。浆液由循环泵送至吸收塔顶部喷淋盘中，从喷淋盘的喷嘴中以极细小的雾滴形式喷下；含硫烟气由吸收塔中部进入，烟气在上升过程中与吸收剂逆流接触，并在塔内进行吸收反应，烟气中的 SO₂ 与石灰石浆液反生成物沉积在吸收塔底部，经脱硫的净烟气由吸收塔上部引出。脱硫剂在吸收塔内吸收 SO₂ 后生成的亚硫酸钙，经氧化处理

生成硫酸钙，从吸收塔内排出的硫酸钙经旋流分离（浓缩）、真空脱水后回收利用。

二、石灰石—石膏湿法脱硫装置的系统构成

1. 烟气系统

为脱硫运行提供烟气通道，进行烟气脱硫装置的投入和切除，降低吸收塔入口的烟气温度和提升净化烟气的排烟温度。烟气系统的主要设备包括烟道挡板、烟气换热器、增压风机等。对于湿法脱硫工艺的烟气系统来说，可以采用两种方式运行：一种是设置烟气换热器，另一种是不设置烟气换热器。

2. SO₂吸收系统

SO₂吸收系统是烟气脱硫系统的核心，主要设备包括吸收塔、除雾器、石灰石浆液循环泵、氧化风机等。在吸收塔内，烟气中的SO₂被吸收浆液洗涤并与浆液中的CaCO₃发生反应，在吸收塔底部的浆池内被氧化风机鼓入的空气强制氧化，最终生成石膏晶体，由石膏浆液泵送入石膏处理系统。在吸收塔的出口设置两级除雾器，将烟气中携带的液滴除去，使烟气中的液滴含量低于75mg/m³（标况）。

3. 石灰石浆液制备及供给系统

制备并为吸收塔提供满足要求的石灰石浆液。石灰石浆液制备系统的主要设备包括石灰石储仓、球磨机、石灰石浆液罐、浆液泵等。石灰石由球磨机磨成石灰石粉，经粉仓下面的叶轮给粉机送入搅拌器搅拌成石灰石浆液，再输入浆液分离器，分离后满足浓度要求的成品排入石灰石浆液罐，成品石灰石浆液再经过浆泵送入吸收塔。

4. 石膏脱水系统

将来自吸收塔的石膏浆液浓缩、脱水、生产副产品石膏，储存和外运。石膏脱水及储存系统的主要设备包括石膏浆液排出泵、石膏浆液箱、石膏浆液泵、水力旋流器、真空皮带脱水机、石膏储仓等。

5. 其他系统

包括工艺水及工业水系统、事故浆液系统、压缩空气及辅助蒸汽系统、供电系统、脱硫废水处理系统、自动控制系统等。

第一节 脱硫的一般概念

一、石灰石—石膏湿法脱硫技术的应用

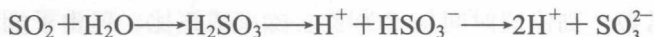
（一）工作原理

含硫燃料燃烧时，产生的几种混合物中，烟气含有二氧化硫的比率较高。由于二氧化硫会对自然界和环境产生不利影响，因此在将烟气排放到大气之前必须将二氧化硫从烟气中脱出至规定的剩余浓度。为此，可以将烟气与含有水，以及作为吸附剂的碳酸钙或氧化钙在内的洗涤液紧密地接触。二氧化硫溶解于水，并在有氧气的情况下与吸附剂发生反应，生成生石膏。

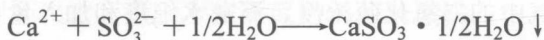
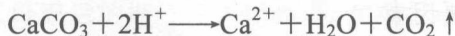
该工艺采用石灰石或石灰做脱硫吸收剂，石灰石破碎磨细成粉状与水混合，制成吸收浆液（当采用石灰作为吸收剂时，石灰粉经消化处理后加水搅拌制成吸收浆）。在吸收塔内，烟气中的SO₂与浆液中的CaCO₃及送入的氧化空气进行化学反应生成二水石膏，SO₂被脱除。吸收塔排出石膏浆液经脱水装置脱水后回收。脱硫后的烟气经除雾器去水、换热器加热升温后进入烟囱排向大气。

石灰石—石膏湿法脱硫工艺脱硫过程的主要化学反应为：

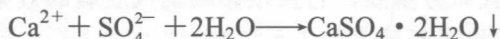
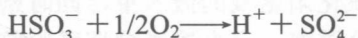
(1) 在脱硫吸收塔内, 烟气中的 SO_2 首先被浆液中的水吸收, 形成亚硫酸, 并部分电离, 反应式为



(2) 与吸收塔浆液中的 CaCO_3 细颗粒反应生成 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 细颗粒



(3) $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 被鼓入的空气中的氧气氧化, 最终生成石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



上述反应中第一步是较关键的一步, 即 SO_2 被浆液中的水吸收。根据 SO_2 的化学特性, SO_2 在水中能发生电离反应, 易于被水吸收, 只要有足够的水, 就能将烟气中绝大部分 SO_2 吸收下来。

但随着浆液中 HSO_3^- 和 SO_3^{2-} 数量的增加, 浆液的吸收能力不断下降, 直至完全消失。因此要保证系统良好的吸收效率, 不仅要有充分的浆液量和充分的气液接触面积, 还要保证浆液充分新鲜。上述反应中第二步和第三步其实是更深一步的反应过程, 目的就是不断地去掉浆液中的 HSO_3^- 和 SO_3^{2-} , 以保持浆液有充分的吸收能力, 推动第一步反应的持续进行。

(二) 烟气脱硫 (flue gas desulfurization, FGD) 的特点

- (1) 脱硫效率高, 一般大于 95%。
- (2) 钙硫比低, 一般不大于 1.05。
- (3) 系统简单, 设备利用率高。
- (4) 适用煤种广, 烟气流范围大。
- (5) 吸收剂来源广, 价格便宜。
- (6) 脱硫副产品为可利用资源, 不产生二次污染。

(三) 相关概念

1. 脱硫效率

脱硫效率指由脱硫装置脱除的 SO_2 量与未经脱硫前烟气中所含 SO_2 量的百分比, 由下式计算

$$\text{脱硫效率} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

式中 C_1 ——脱硫前烟气中 SO_2 的折算浓度 (过量空气系数燃煤取 1.4, 燃油、燃气取 1.2), mg/m^3 ;

C_2 ——脱硫后烟气中 SO_2 的折算浓度 (过量空气系数燃煤取 1.4, 燃油、燃气取 1.2), mg/m^3 。

2. 钙硫比 (Ca/S)

额定运行状态下所消耗的钙离子与硫酸根离子的摩尔数之比。

3. 液—气分布

气体与液体在吸收塔中的相互混合情况, 适当的分布对保证和提高 SO_2 去除率非常重要, 不良的液—气分布不仅会缩短有效停留时间, 而且会降低有效的传质面积。

4. 吸收塔中的停留时间

液体与烟气在吸收塔中的接触时间。一般，增加停留时间可提高 SO_2 的去除率。如果 SO_2 传质速率为一常数，则停留时间与 SO_2 的去除率成正比。但由于烟气和液体组成的变化，这种关系不是线形的。

5. 影响脱硫效果的主要因素

主要因素包括：烟气中的二氧化硫浓度、石灰水细度和加入量、石灰石与烟气的反应时间及混均程度。为了保证脱硫效率达到设计要求，在工艺中又采取了相应措施：提高 L/G 值；适当提高钙硫比值；增加氧化用空气的鼓入量，同时剧烈搅拌；控制较低的 pH 值。另外，烟气测点的安装位置十分重要，它直接影响烟气脱硫的效果。

(四) 石灰石—石膏湿法脱硫装置的工艺流程

一般石灰石湿法脱硫工艺流程主要包括制粉、浆液制备、预吸收、吸收塔、氧化、烟气换热、石膏脱水等子系统及其他辅助系统。不同的脱硫技术工艺，布置方式也有所区别。但是，不论哪一种石灰石—石膏湿法脱硫技术，其基本工艺流程都包括浆液制备、吸收塔、氧化和石膏脱水等子系统。几种典型的石灰石—石膏湿法脱硫工艺流程如图 1-1 所示。

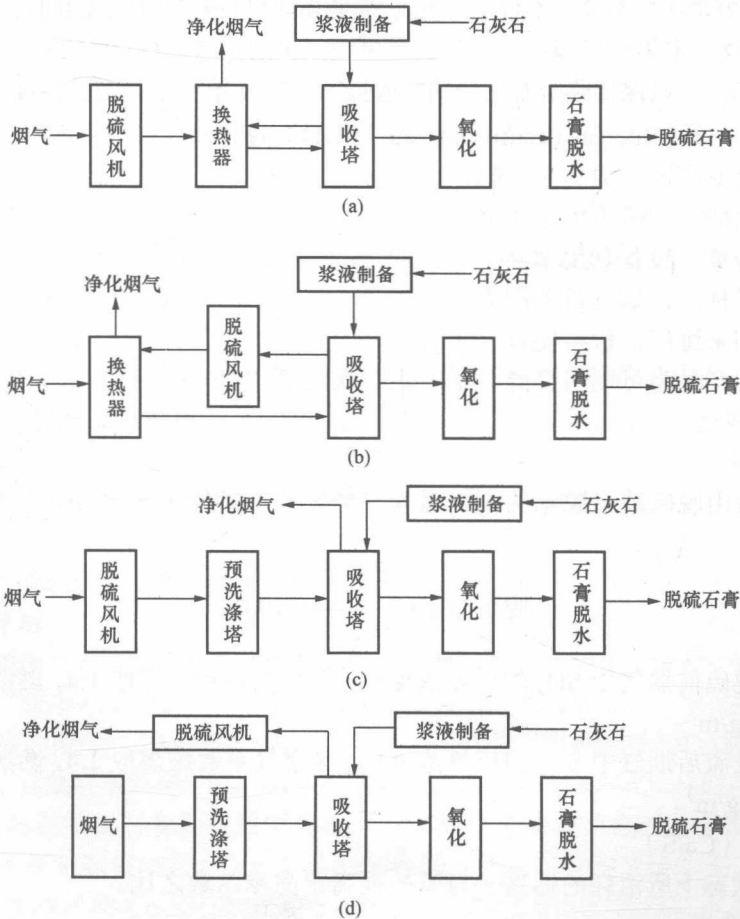


图 1-1 石灰石—石膏湿法脱硫工艺流程

- (a) FGD 装置正压运行系统；
- (b) FGD 装置负压运行系统；
- (c) 吸收塔的前面布置预洗涤塔的正压运行系统；
- (d) 脱硫风机布置在脱硫系统尾部的负压运行系统

图 1-1 (a) 中, 脱硫(增压)风机布置在系统的进口, FGD 装置正压运行, 系统中设置换热器。由除尘器来的烟气经脱硫风机增压后进入换热器, 与来自吸收塔的净烟气进行热交换, 一方面将含有较高 SO_2 浓度的高温烟气降温, 以利于石灰石浆液吸收 SO_2 ; 另一方面, 将来自吸收塔的净烟气加热, 以利于烟气抬升和污染物的运输扩散。净化后的烟气再经换热器排出脱硫装置。降温后的烟气进入吸收塔, 在吸收塔内石灰石浆液与烟气中 SO_2 发生一系列复杂的物理和化学反应, 生成亚硫酸钙和硫酸钙。由于亚硫酸钙不稳定, 氧化系统将其氧化成稳定的硫酸钙, 并结晶生成石膏。石膏浆液经石膏脱水系统制成石膏产品。

由于脱硫风机布置在换热器和吸收塔之前, 脱硫风机工作在热烟气中, 所以其粘污和腐蚀的倾向最小。但由于有效体积流量最大, 风机的功耗也最大。采用回转式换热器时, 原烟气会向净烟气侧泄漏。由于目前均采用密封风机对回转式换热器进行空气密封, 烟气的泄漏量可控制在 1% 以内 (1% 的泄漏量对脱硫效率的影响甚微)。这种方式的优点是无腐蚀, 脱硫风机可以采用常规风机, 设备成本低; 缺点是由于烟气温度较高, 烟气流量较大, 风机选型较大, 能耗偏高, 同时密封风机的配置导致初投资和运行费用增大。

目前, 在我国燃煤电站石灰石—石膏湿法脱硫装置中, 图 1-1 (a) 所示工艺流程应用最为广泛。

图 1-1 (b) 所示的工艺流程与图 1-1 (a) 的不同之处在于, 脱硫风机布置在吸收塔之后、换热器之前, 吸收塔负压运行。由于脱硫风机布置在吸收塔之后, 风机工作在水蒸气饱和的烟气中, 脱硫风机称为湿风机。该布置方式的优点是: 由于风机的运行温度 ($45\sim 55^\circ\text{C}$) 较低, 经过风机的烟气体积流量减小, 运行能耗低, 较之正压运行系统可节能 20%; 且换热器的漏风率低。缺点是由于脱硫风机属于湿风机, 容易受到 SO_3^{2-} 和 Cl^- 的腐蚀; 风机叶片容易粘污, 造成转动不平衡, 同时壳体内部和转轴也容易粘污; 由于烟气带水问题导致风机叶片容易磨损, 当烟气中存在颗粒物时, 加之 SO_3^{2-} 和 Cl^- 的腐蚀作用, 磨损更加严重; 吸收塔内为负压, 在一定条件下存在衬胶脱落的危险, 影响风机的安全运行。

针对以上缺陷, 采取的防范措施有: ①采用防腐风机, 但这样会大幅度提高风机造价; ②采用连续或间歇性地喷水清洗, 但由于脱硫风机布置在换热器的下游, 用水量难以控制。目前, 这种 FGD 工艺流程应用较少。

图 1-1 (c) 所示为另一种应用较为广泛的石灰石—石膏湿法脱硫工艺流程。该工艺流程的特点是不采用热交换器, 而是在吸收塔的前面布置预洗涤塔。该布置方式的优点是: ①降低吸收塔进口烟气温度, 以利于石灰石浆液吸收 SO_2 ; ②可以除去飞灰, 以确保石灰石的消溶速率和脱硫速率, 同时保证石膏的质量良好和稳定。烟气在预洗涤塔中冷却到 50°C 左右, 并被水蒸气饱和, 然后进入吸收塔脱除 SO_2 , 净烟气从烟囱排出。脱硫风机布置在系统的进口, 系统为正压运行。目前这种工艺流程在美国广泛应用。

图 1-1 (d) 所示的工艺流程与图 1-1 (c) 的不同之处在于, 脱硫风机布置在脱硫系统尾部, FGD 装置采用负压运行。与图 1-1 (b) 所示系统相同, 该工艺也需对脱硫风机采取防腐措施。

在石灰石—石膏湿法脱硫工艺流程中, 为了减少设备, 节约占地面积, 便于系统和设备的维护, 在不影响 FGD 装置性能及满足环保要求的前提下, 有的将两个或数个系统功能集于一身, 布置在一个装置中, 在某些情况下, 还可以舍弃某些系统流程, 简化系统工艺流程, 这样可以降低初投资和运行费用。例如, 目前大多数石灰石—石膏湿法脱硫系统将 SO_2 的吸收与石

膏氧化系统布置在吸收塔内,也有将烟囱与冷却塔合建为一的工艺流程。这种烟气排放技术近十几年来在德国被广泛采用,而美国电站的烟气脱硫系统大多不采用烟气换热器,有的则省略预洗涤塔。采用抛弃法工艺时,石膏浆液泵至灰场,可省去石膏脱水系统。

二、典型石灰石—石膏湿法脱硫装置

典型的石灰石—石膏湿法脱硫装置如图 1-2 所示,主要包括石灰石浆液制备系统、烟气系统、吸收塔系统、石膏脱水处理系统、公用系统和事故浆液排放系统。

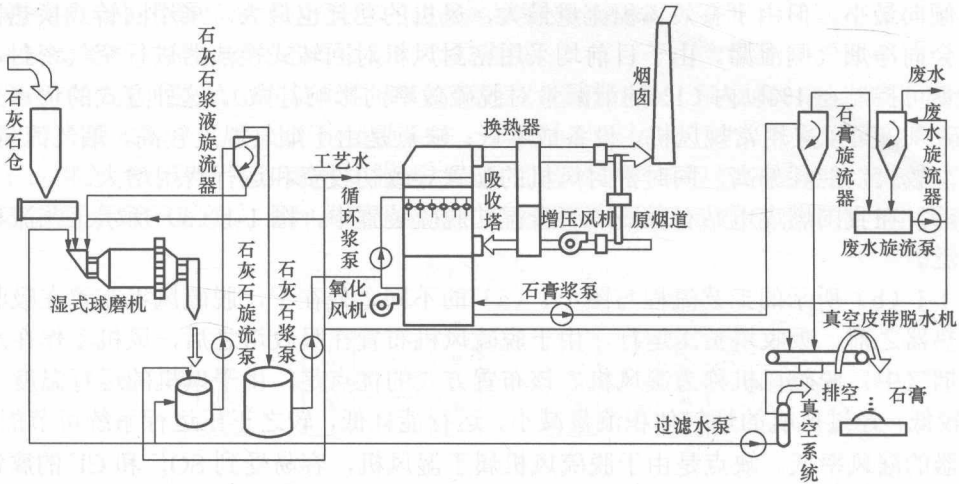


图 1-2 典型的石灰石—石膏湿法脱硫装置

第二节 超(超)临界机组脱硫

一、烟气系统

(一) 系统组成

烟气脱硫系统如图 1-3 所示。烟气从锅炉引风机后的总烟道上引出,通过增压风机升压接入气—气换热器 (gas gas heater, GGH) 降温,然后再进入吸收塔,在吸收塔内脱硫净化,经除雾器除去水雾后,再接入主体发电工程的烟道,经烟囱排入大气。在主体发电工程烟道上应设置旁路挡板门,当锅炉启动、进入烟气脱硫的烟气超温或小于烟气脱硫最低负荷或烟气脱硫装置故障停运时,烟气由旁路挡板经烟囱排放。

烟气脱硫装置能适应锅炉 40%BMCR 工况和 BMCR 工况之间的任何负荷时,满足该条件的要求包括:

不需要另外的和非常规的操作或准备,装置能以冷态、热态两种启动方式投入运行,特别是在锅炉运行时,烟气脱硫装置和所有辅助设备能投入运行而对锅炉负荷和锅炉运行方式无任何干扰。烟气脱硫装置能在入口烟尘浓度为 $83 \sim 150 \text{mg/m}^3$ (标况) 的条件下运行,并确保烟气脱硫装置的排放不超标。当烟气温度超过 170°C 时,烟气旁路系统启运。

每台锅炉系统中设置一台动叶可调轴流式增压风机,风机对应 100% 烟气量,其性能应适应锅炉负荷变化的要求。

设置烟气换热器，利用原烟气的热量加热净烟气。在设计条件下应保证烟囱入口的烟气温度不低于 80°C 。

在烟气脱硫装置的进、出口烟道上设置双轴双挡板的烟气挡板，用于锅炉运行期间脱硫装置的隔断和维护。系统设计应合理布置烟道和挡板门，设挡板密封系统，确保锅炉低负荷或增压风机故障时净烟气不倒灌。原烟道导流板采用碳钢，净烟道导流板采用碳钢衬鳞片，以保持与净烟道材质一致。

烟气脱硫系统为锅炉风烟系统的延伸部分，设有人孔和卸灰门，主要由烟气进口挡板门（原烟气挡板门）、出口挡板门（净烟气挡板门）、旁路挡板门、增压风机、吸收塔、GGH、烟道及相应的辅助系统组成。所有烟气挡板门应易于操作，在最大压差的作用下具有 100% 的严密性。烟道上装设用于运行监视和控制的压力表、温度计和 SO_2 分析仪等，如图 1-3 所示。

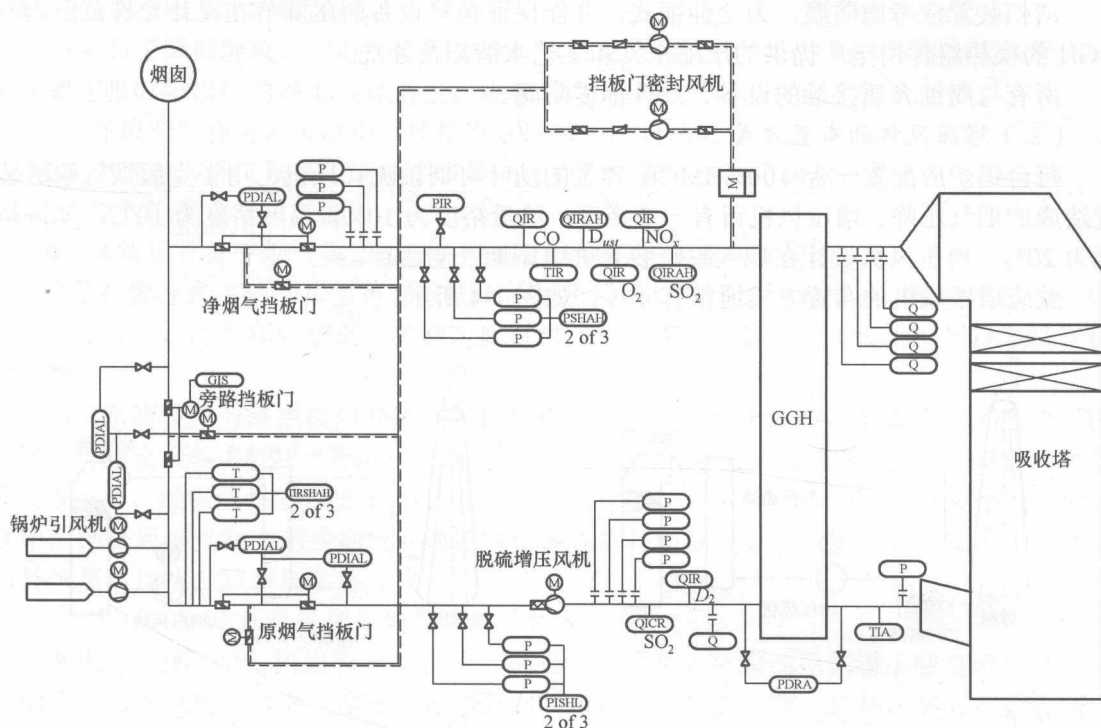


图 1-3 烟气脱硫系统图

PDIAL—阀门前后压差；P—压力；PTR—压力显示传输；QIR—质量信息传输；QIRAH—质量显示报警；TIR—温度信息传输；PSHAH—压力信号输出；GIS—气体绝缘开关设备；TIRSHAH—温度仪表连锁报警；PISHL—压力指示输出；QICR—质量指示输出；PDRA—气—气换热器压差；TIA—温度显示报警

（二）系统原理

从锅炉引风机后烟道引出的烟气，通过增压风机升压、GGH 降温后进入吸收塔，在吸收塔内与雾状石灰石浆液逆流接触，将烟气脱硫净化，经除雾器除去水雾后，又经 GGH 升温至 75°C 以上，再进入净烟道，经烟囱排放。

脱硫系统在引风机出口与烟囱之间的烟道上设置旁路挡板门，当烟气脱硫装置运行时，烟道旁路挡板门关闭，烟气脱硫装置进出口挡板门打开，烟气通过增压风机的吸力作用引入烟气

脱硫系统。在烟气脱硫装置故障和停运时，旁路挡板门打开，烟气脱硫装置进出口挡板门关闭，烟气由旁路挡板经烟道直接进入烟囱，排向大气，从而保证锅炉机组的安全稳定运行。

烟气脱硫装置的原烟气挡板、净烟气挡板及旁路挡板一般采用双百叶挡板，并设置密封空气系统。旁路挡板具有快开功能，快开时间要小于 10s，挡板的调整时间正常情况下为 75s，事故情况下为 3~10s。

当烟气脱硫进口原烟气温度大于或等于设计温度时，GGH 出口的净烟气温度应不低于 80℃。GGH 为中心传动回转式烟气再热器，主轴垂直布置，加热组件、密封件及弹簧等易于拆卸。GGH 的使用寿命不低于 30 年，且应配有低泄漏风机和密封风机，漏风率应始终保持小于 1%，减小未处理烟气对洁净烟气的污染。

GGH 受热面考虑磨损及腐蚀等因素，蓄热元件采用涂有搪瓷的钢板，搪瓷的单面厚度至少为 0.2mm，并且具有容易清洁的表面。换热元件的使用寿命不低于 50000h。

清扫装置应考虑防腐，为全伸缩式，并能保证换热设备的压降值在设计允许范围内；GGH 的换热组件用电厂提供的压缩空气和工艺水清扫及冲洗。

所有与腐蚀介质接触的设备、部件都需防腐。

(三) 增压风机的布置方式

每台锅炉应配置一台 100%BMCR 容量的动叶可调轴流式风机，用于克服烟气脱硫装置造成的烟气压降。增压风机留有一定裕度：风量裕度为 10%，温度裕度为 10℃，风压裕度为 20%。增压风机设计在烟气脱硫装置进口原烟气侧运行。

脱硫增压风机的布置方式通常有 4 种，如图 1-4 所示。

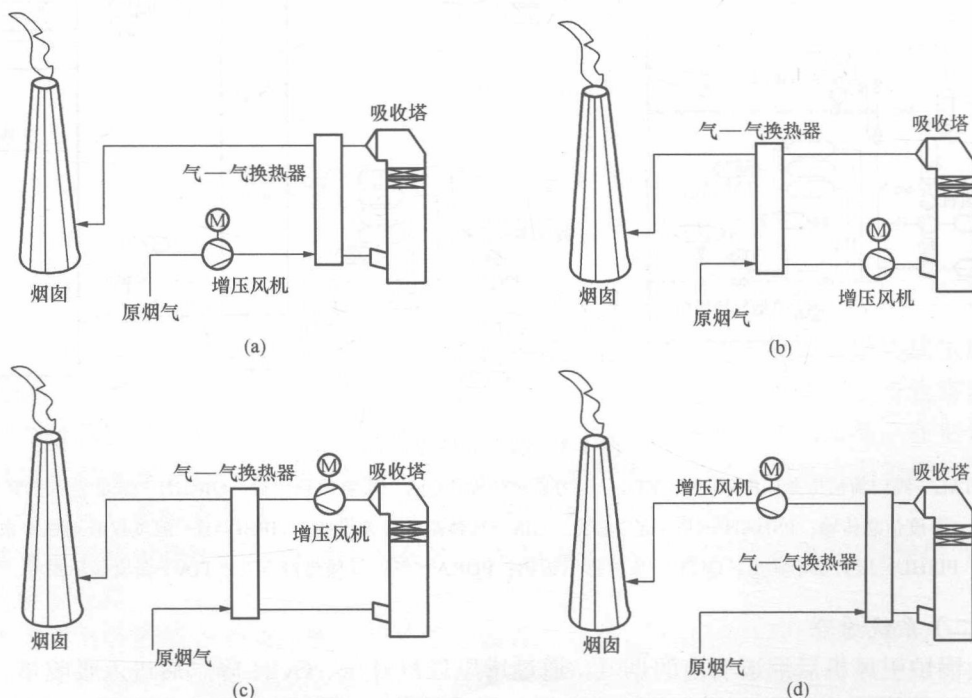


图 1-4 增压风机的 4 种布置方式

- (a) 增压风机布置在原烟道与气—气换热器之间；
- (b) 增压风机布置在气—气换热器与吸收塔之间；
- (c) 增压风机布置在吸收塔与气—气换热器之间
- (d) 增压风机布置在气—气换热器和烟囱之间

(1) 布置方式 (a) 应用较广, 其优点如下:

- 1) 该位置的烟气温度在露点之上, 不用考虑防腐问题, 对增压风机的材料要求低;
- 2) 吸收塔内为正压运行, 对提高除雾器的除雾效果有利;
- 3) 对检修工艺要求低;
- 4) 维护费用低;
- 5) 烟气泄漏容易监视。

其缺点如下:

- 1) 此位置的烟气温度较高, 风机的能耗高;
- 2) 由于压力大, 原烟气向净烟气的泄漏较大, 烟气脱硫的脱硫效率受一定影响。如果系统设置 GGH, 尽量使其泄漏量小。

(2) 布置方式 (b) 中, 该位置的烟气温度被降低, 烟气体积减小, 降低了风机的功率消耗, 但需考虑风机的腐蚀问题。

(3) 为了降低能耗, 同时考虑可靠性, 有时还采用 (c)、(d) 两种布置方式, 增压风机布置在吸收塔出口的净烟气烟道上, 吸收塔内为负压运行, 其特点如下:

- 1) 环境空气会进入吸收塔, 能提高亚硫酸钙的自然氧化率。
- 2) 空气进入烟气系统, 增加了吸收塔出口烟气量, 增加了风机能耗。
- 3) 空气泄漏率难以检测。
- 4) 风机运行处于烟气露点以下, 材料的选择必须考虑防腐问题。

除了布置方式 (a), 其他布置方式下的增压风机均需采取防腐措施。通常风机的壳体采用衬胶方式, 叶片和转子采用特殊防腐材料, 如高镍合金等, 这将大大增加设备投资和运行费用。

烟气系统设置旁路挡板门和出、入口挡板门, 烟气脱硫上游热端前置增压风机和回转式气—气热交换器。原烟气经增压风机增压后, 由 GGH 将原烟气降温至 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ 并送至吸收塔下部, 经吸收塔脱除 SO_2 后, 将净烟气送回 GGH 升温至高于 80°C 后经烟囱排放。其中, 部分原烟气和全部净烟气的通道内壁需要进行防腐设计。在烟气再热系统中, 还采用外来蒸汽加热与燃料加热等方式。

(四) 1000MW 机组脱硫岛烟气系统的特点

某电厂 1000MW 机组脱硫岛在每台机组回转式换热器前的原烟道上装有两台静叶可调轴流式增压风机, 原烟气增压后输送到回转换热器 (原烟气侧) 放热, 然后在吸收塔内除去 SO_x , 净化后的烟气通过回转换热器 (净烟气侧) 被加热, 最后通过烟囱排放。

烟道包括必要的烟气通道、挡板门、膨胀节、排放漏斗、法兰、导流板、垫片、螺栓材料以及其他附属设备。在 BMCR 工况下, 烟道内任意位置的烟气流速不大于 15m/s 。烟道留有适当的取样接口、试验接口和人孔, 烟道装有旁路系统。吸收塔系统运行时入口挡板和出口挡板打开, 旁路挡板关闭。烟气脱硫进出口设有电动百叶窗式挡板, 满足锅炉运行时关断烟气脱硫设备进行检修的要求。当吸收塔系统停运、事故或维修时, 入口挡板和出口挡板关闭, 旁路挡板全开, 烟气通过旁路烟道经烟囱排放。旁路挡板设气动执行机构, 具有快开功能, 保证全关状态到全开状态的开启时间小于 15s 。

增压风机布置在回转换热器上游, 运行在干工况下。增压风机为静叶可成调轴流式, 电动机为全封闭空冷式, 增压风机设有冷却空气系统。

烟气换热器为回转再生式 GGH。在 BMCR 工况下, 当烟气脱硫系统进口原烟气温度

大于或等于设计温度时，GGH 的出口净烟气温度的大于或等于 80°C ，从而不需要补充其他热源。为了清洁和保证 GGH 的烟气压降，系统配备了压缩空气吹扫系统和水冲洗系统。GGH 的吹灰器采用半伸缩式，GGH 的烟气压降值在设计允许范围内。冲洗系统包括压缩空气系统吹扫和水冲洗，其中压缩空气系统吹扫为在线方式，水冲洗系统包括高压水冲洗和低压水冲洗两个子系统，高压水冲洗为在线冲洗，低压水冲洗为离线冲洗。某电厂 1000MW 机组脱硫岛烟气系统如图 1-5 所示。

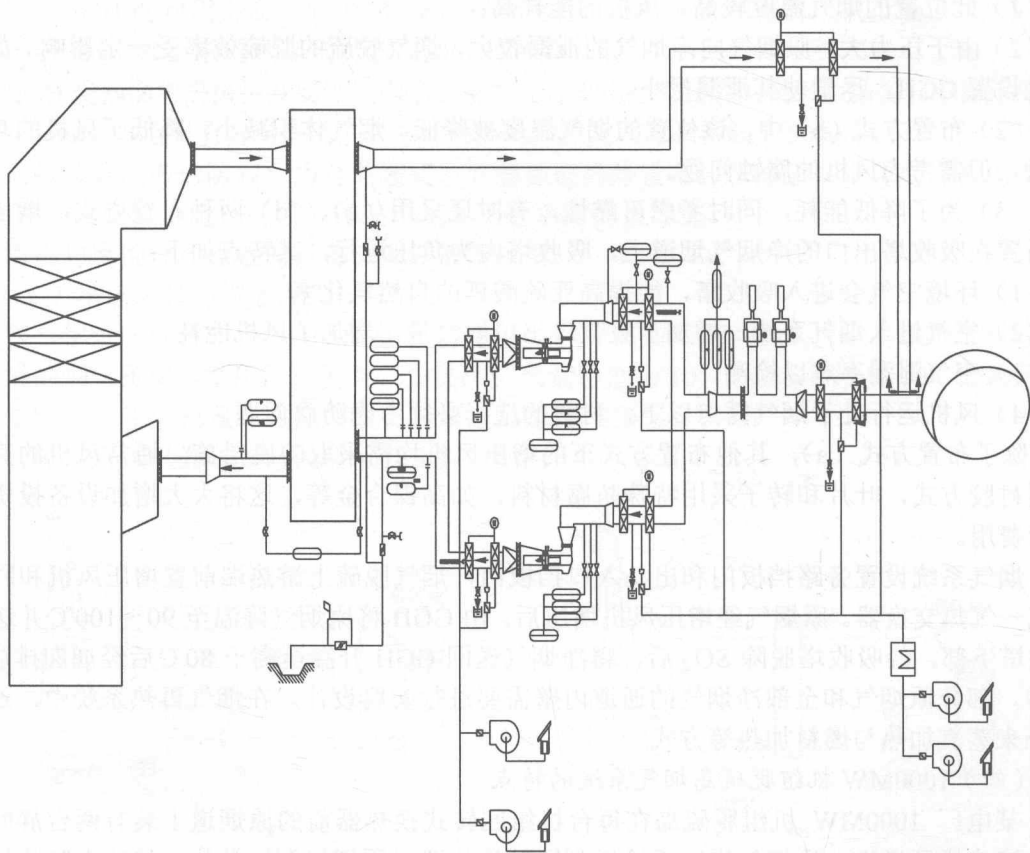


图 1-5 某电厂 1000MW 机组脱硫岛烟气系统

某电厂 1000MW 机组脱硫岛 GGH 本体系统流程图如图 1-6 所示。

二、石灰石浆液制备系统

(一) 石灰石破碎系统

1. 系统组成

一般设置两套石灰石破碎系统，系统由卸料斗、振动给料机、除铁器、立轴破碎机、斗式提升机、埋刮板输送机和石灰石料仓、布袋除尘器组成，见图 1-7。

2. 工艺流程

汽车将一定粒径（粒度小于 50mm ）的石灰石运进电厂，经电厂汽车衡计量后，卸入石灰石堆放场地。储料一般可供烟气脱硫使用 $3\sim 7$ 天。根据烟气脱硫运行需求量，

由斗车将石灰石运至破碎系统的地下受料斗，通过受料斗底部的振动给料机。经除铁器除铁后，将石料送入环锤式破碎机，经一级破碎后的石料（粒度小于 10mm）由螺旋给料机送入斗式提升机。斗式提升机将石料送到石灰石储仓，存料可供烟气脱硫使用 2~3 天。石灰石储仓下口设 2 台封闭式称重皮带给料机，将石料给入湿式球磨机入口。石料储仓上设布袋除尘器，防止石料卸下时粉尘飞扬，除尘器排气标准为粉尘含量小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ （标况下）。由称重给料机和皮带输送机送到湿式球磨机内磨制成浆液，石灰石浆液用泵输送到水力旋流器经分离后，大尺寸物料再循环，溢流物存储于石灰石浆液池中，然后经石灰石浆液泵送至吸收塔。一般两台锅炉的脱硫装置共用一套石灰石浆液制备系统。

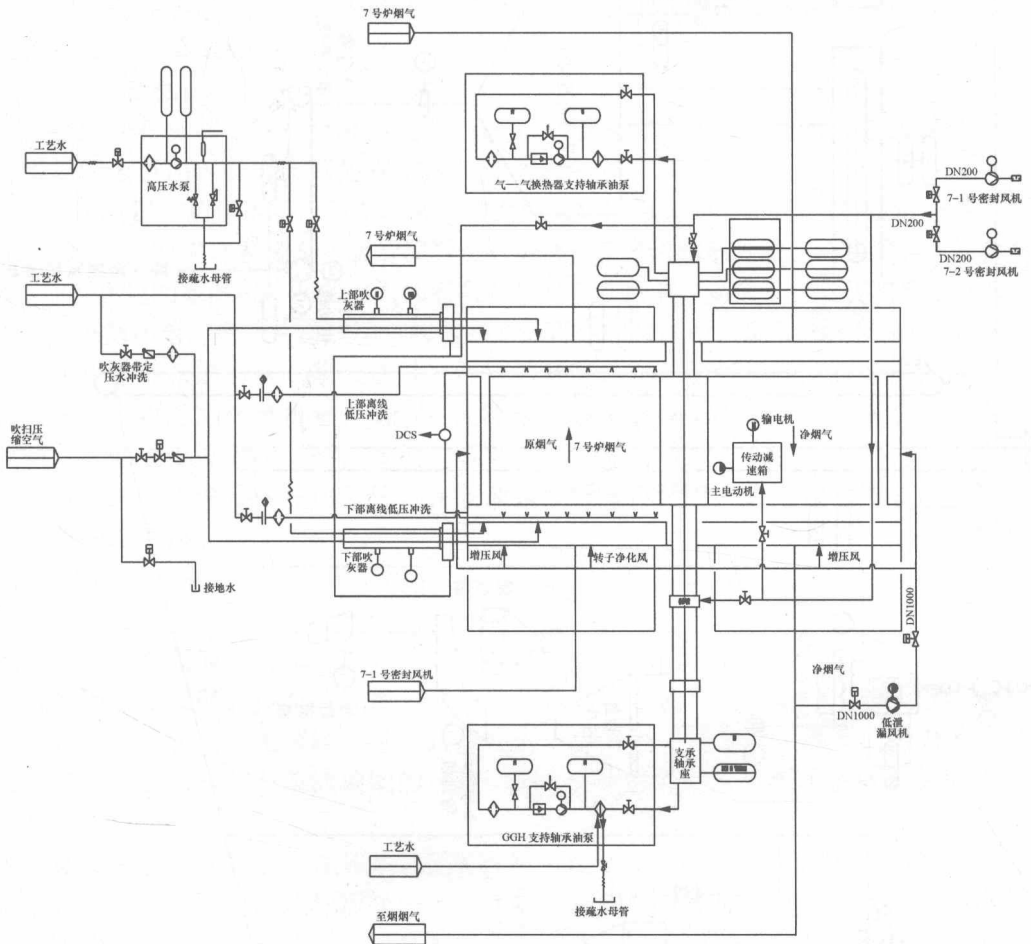


图 1-6 某电厂 1000MW 机组脱硫岛 GGH 本体系统流程图

卸料斗及石灰石储仓设有除尘通风系统，石灰石储仓的容量按两台锅炉在 100%BMCR 工况运行 3 天（每天按 24h 计）的吸收剂耗量设计，在适当位置设置金属分离器。球磨机入口的给料机具有称重功能。

系统通常设置一台锅炉燃用校核煤种 100%BMCR 工况的湿式石灰石球磨机及其相应的水力旋流分离器等。