



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\) 在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

吴永杰,戴永阳,姚晔.燃煤电厂湿烟囱烟羽下洗治理研究及应用[J].能源环境保护,2019,33(5):39-43.

WU Yongjie, DAI Yongyang, YAO Ye. Research and application of the treatment of wet stack plume downwash in coal-fired power plant [J]. Energy Environmental Protection, 2019, 33(5): 39-43.

燃煤电厂湿烟囱烟羽下洗治理研究及应用

吴永杰¹, 戴永阳¹, 姚晔²

(1. 上海迪夫格环境科技有限公司, 上海 201199;

2. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要:为有效解决燃煤电厂烟囱烟羽下洗和顶口结冰问题,采用CFD流体仿真技术获得了烟羽下洗发生的条件和形式,模拟了排烟筒加高、挡风板设置、烟囱外筒壁面处理3种方案的治理效果。根据模拟结果优化了烟囱顶口结构,开发了DFG-SPD防烟羽下洗装置。应用效果表明:烟羽下洗现象得以消除,烟囱顶口结冰问题得到彻底解决。

关键词:湿烟囱;烟羽下洗;烟囱顶口结冰;计算流体力学(CFD)模拟

中图分类号:X169;X511

文献标志码:A

文章编号:1006-8759(2019)05-0039-05

Research and application of the treatment of wet stack plume downwash in coal-fired power plant

WU Yongjie¹, DAI Yongyang¹, YAO Ye²

(1. Shanghai Defog Environmental Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 201199, China;

2. School of mechanical engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to prevent stack plume downwash and stack top icing, computational fluid dynamics (CFD) technology was applied to obtain the occurrence conditions and simulate the treatment effect of increasing exhaust pipe, setting up windshields and wall treatment of chimney outer tube. The chimney top structure was optimized and a DFG-SPD anti-stack plume downwash device was developed. The application results showed that stack plume downwash and stack top icing was fundamentally prevented.

Key words: Wet Stack; Stack plume downwash; Stack top icing; Computational fluid dynamics (CFD) simulation

0 引言

我国300 MW以上燃煤机组超过90%采用石灰石-石膏湿法脱硫技术,早期普遍同时安装烟气换热器(GGH)。由于GGH存在烟气泄露影响SO₂达标排放、堵塞、腐蚀以及阻力大等问题,近年来湿法脱硫装置大多不再安装GGH。随着燃煤电厂超低排放改造的推进,已建的GGH大部分也被拆除。随之而来产生的问题是脱硫后的饱和湿烟气温度低、湿度大,在烟囱排出过程中容易冷凝形成液滴,除了产生“烟囱雨/石膏雨”现象

外^[1,2],还会导致“烟羽下洗”现象发生^[3]。

“烟羽下洗”本质上是一种空气动力学现象,当大气中存在侧风时,气流横向流过单个烟囱,在烟囱下风向区域出现局部涡流区并产生负压,使烟囱出口的烟羽偏转甚至下灌。

烟羽下洗现象存在以下危害^[4,5]:烟羽下洗发生时,酸性冷凝液会腐蚀下风向的外筒壁;冬季环境温度较低,尤其是在北方,烟羽下洗发生时,酸性冷凝液会在下风向外筒外壁结冰,当风向转变或环境温度回升,冰块融化坠落,将对烟囱周围人员和设备安全构成严重威胁;烟囱顶口结冰导致

收稿日期:2019-07-11

基金项目:上海市科技型中小企业技术创新基金项目:火电厂烟囱雨高效治理技术及系统(1405H177700)

第一作者简介:吴永杰(1990-),男,安徽亳州人,硕士研究生,工程师,主要研究方向为大气污染控制技术。E-mail:stresser@163.com

烟囱侧面重量失衡,引起烟囱正常摇摆幅度失衡,影响烟囱的寿命。

本研究以国电电力大连开发区热电厂#1、#2机组烟囱为对象,通过CFD仿真模拟,确定烟羽下洗的轨迹,创新烟囱顶口结构,研发了防烟羽下洗装置,从根本上防止烟羽下洗现象发生。

1 项目简介

国电电力大连开发区热电厂现2×350 MW机组合用一座高210 m、出口内径7.5 m的套筒式烟囱。钢筋混凝土外筒,7.5×210 m内筒,30 m以下采用钢筋混凝土筒体结构,30 m以上采用耐酸砖耐酸胶泥砌筑的砖筒。

脱硫系统原烟气温度一般在90℃~120℃,在吸收塔进行反应后,出口烟气温度大约在50℃左右,低于酸露点,含水量约为75 mg/m³。

电厂地处北方,冬季气温较冷,经常发生烟羽下洗及烟囱顶口结冰现象,亟需进行治理。

2 原因分析

烟羽下洗形成的主要因素包括^[6]:

(1)烟囱结构:内筒出口直径、外筒出口直径、内筒高出外筒长度、烟囱筒首结构、内筒数量;

(2)大气环境及烟气参数:烟囱顶部风向、风速、空气密度、常年主导风向、烟气出口速度以及烟气密度、烟气温度、大气环境温度、烟羽浮力。

通过对大开电厂#1、#2机组烟囱结构、当地气候条件等进行综合分析,烟羽下洗产生主要有以下几个原因:

(1)采用无GGH湿法脱硫技术,形成湿烟囱排放。

(2)地处北方,尤其是在冬季,严寒多风。多风,则增加烟羽下洗的发生频率;气温较低,净烟气从烟囱排入大气后,烟气自身携带的水滴以及与冷空气混合生成的冷凝液会有部分冻结在烟囱筒首,导致烟囱顶口结冰。

(3)内筒与外筒顶口齐平。对于套筒型烟囱,内筒与外筒顶口齐平,烟气更容易与外筒壁面接触,烟羽下洗现象更容易发生。

3 烟囱顶口结冰常见区域

烟囱顶口结冰是烟囱壁面温度、饱和湿烟气温度、风速以及水蒸气的冷凝位置综合作用的结果。烟囱结冰常见区域如下:

(1)烟囱筒首(套筒型烟囱):烟囱筒首是首

先暴露在烟羽中的区域。筒首直接与烟囱、内衬、烟囱延伸段相连。当筒首结冰时,冰块一般位于逆风区边缘和下风向中间区域,与风向呈45°夹角。这些冰块量较多,较易坠落至地面。

(2)外筒:外筒壁结冰区域一般位于烟羽下风向区域,也容易与饱和湿烟气和空气接触。

(3)围栏:筒壁周围的金属围栏,遇到饱和湿烟气和空气后极容易在表面产生冰块,是最容易结冰的地方。

(4)烟囱顶口附近平台:烟囱顶口附近的金属平台在烟羽下洗发生时,也会暴露在饱和湿烟气和空气中。相对于金属围栏,是次容易发生结冰的地方。

4 技术方案

目前常规的烟囱防结冰装置一般为电加热装置,专利CN201010580644^[7]提出了一种烟囱口防结冰电热装置,利用电能加热烟囱周围区域,防止结冰。这种装置需要外接电缆通至烟囱,这虽然能够在一定程度上解决结冰问题,但是存在能耗高、施工维护费用高、检修难度高、运行成本高、寿命短等问题;专利CN201610153810^[8]提出了一种节能型烟囱防结冰装置,利用电厂的热水和热水管道在外筒壁上安装供热管网的方法来解决烟囱结冰问题,这种方法需在烟囱排布热水管道以均匀散发热量,该法相对于电热装置节约了能源,但燃煤电厂烟囱高度一般在180~240 m,这需要大功率的高压水泵,能耗不容小觑,也必然存在施工维护困难和资源耗费的问题。

从根本上说,上述专利技术中的电热装置或供热管道只是将装置产生的热能转化成了烟气的内能,耗费大量的能源避免了烟气的冷凝和结冰,然而并不能解决烟羽下洗的问题。由于上述电热装置或供热管道都安装在烟囱,烟羽下洗导致烟囱外壁结构材料包括安装的电热装置或供热管道在内也会受到烟气中酸性液滴的腐蚀,随着时间的推移,也将影响烟囱和电热装置或供热管道的性能和寿命。

与常规路线不同,本研究技术方案如下:

(1)CFD仿真模拟:建立湿烟囱三维模型,进行精确的流体动力学和热力学模拟,预测烟羽下洗发生的可能性、轨迹及影响区域。

(2)防烟羽下洗装置设计及优化:根据模拟结果进行防烟羽下洗装置的设计,创新烟囱结构,并通过CFD仿真模拟优化装置的结构、尺寸和安装

位置,避免烟羽下洗现象再次发生。

根据烟囱类型的不同,装置采用不同的材料制作:当烟囱为单筒混凝土烟囱、砖套筒或玻璃钢烟囱时,装置采用玻璃钢或聚丙烯塑料制作;当烟囱为钢内筒或钛钢复合板内筒时,装置采用与内筒材质一致的金属材料制作。

(3)施工安装:在原烟囱顶部的表面找平,根据装置材质的不同选择不同的固定方式,玻璃钢或聚丙烯塑料板装置通过膨胀螺栓固定到烟囱的顶部表面上,各模块之间采用镍基合金螺栓或聚丙烯螺栓连接;金属装置通过焊接或膨胀螺栓固定到烟囱的底部表面上,各模块之间通过焊接或螺栓连接。施工完成后进行安装面的防腐处理。

4.1 三维模型设计

按照 1:1 比例建立大开烟囱三维模型,如图 1 所示。烟囱高 210 m,出口直径 7.5 m。同时建

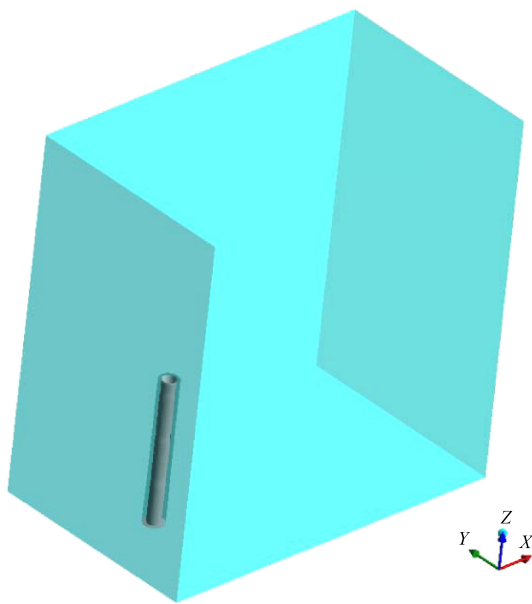


图 1 烟囱三维模型

立周围空气模型,长×宽×高尺寸 750 m × 150 m × 500 m。

4.2 CFD 仿真模拟

通过流体动力学(CFD 气流组织仿真模拟)对烟羽下洗进行预测,是有效控制烟羽下洗现象的关键技术。

在进行 CFD 气流组织仿真模拟时,选择在最恶劣的环境状况下进行模拟分析,综合考虑烟气速度、风速、环境温度、烟囱出口结构,得出烟羽的具体形状及特性,为后续工艺设计和装置研发提供理论依据。由于大开电厂烟囱两侧进口,选择多个工况进行计算,以便得到一个最优的分析结果。根据业主提供资料,大开冬季最低运行负荷

为两台机组 45 % 负荷,因此我们将进行两台机组 100 % 负荷和 45 % 负荷下的模拟,即最优和最恶劣的工况,以确定烟羽下洗的发生情况。

模拟时需要用到以下参数:烟囱结构参数;烟囱顶口的风向、速度和空气密度;风的年发生频率与风速的函数关系;排烟筒出口风速和烟气密度;烟羽浮力;环境温度。

模拟时的相关边界条件如下表所示:

表 1 边界条件

序号	参数	单位	数据
1	当地大气压	hPa	1 006.5
2	大气环境温度	℃	-21.1
3	烟囱顶口风速	m/s	8.7
4	烟囱高度	m	210
5	烟囱出口直径	m	7.5
6	烟气工况流量	m ³ /h	3624074
7	烟气温度	℃	50
8	烟气密度	kg/m ³	1.025
9	烟气粘度	kg/m · s	2.01e-05
10	烟气比热	kJ/kg · ℃	1.05
11	烟气导热系数	W/m · ℃	0.028

模拟结果如图 2、图 3 所示,结果表明在两台机组 45 % 负荷下,烟囱明显发生烟羽下洗现象,烟羽与外筒壁面发生大范围的接触,极易发生烟囱顶口结冰现象。

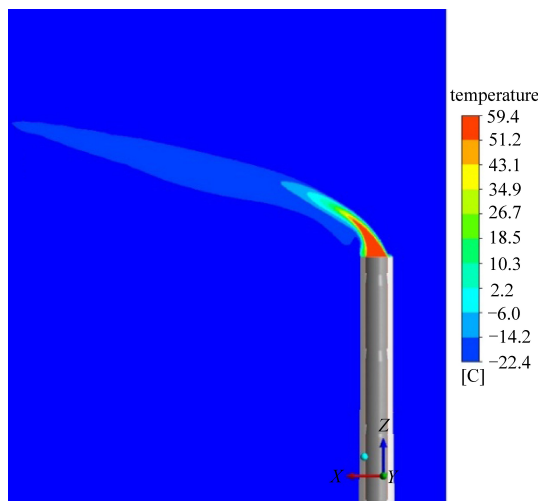


图 2 两台机组 100 % 负荷烟羽下洗模拟

4.3 防烟羽下洗装置设计

通过 CFD 仿真模拟获得了烟羽下洗发生的条件以及具体的形式,在此基础上进行工艺设计。在设计时,首要的设计参数为烟囱烟气出口流速与风速之比,它决定了气流间的相互作用,是烟气和风力密度及速度的综合作用,用 MR 表示:

$$MR = \frac{(\rho v^2)_{\text{烟气}}}{(\rho v^2)_{\text{风}}}$$

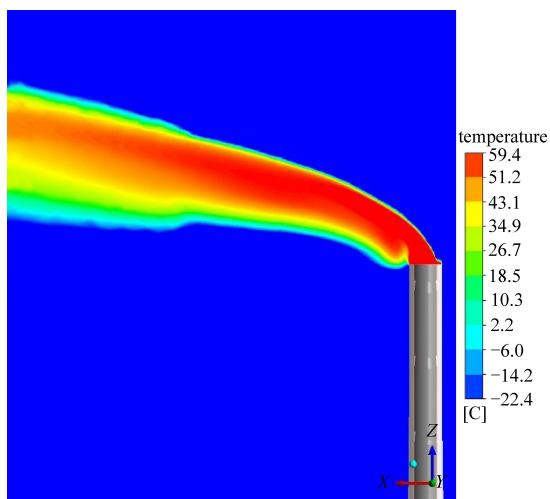


图3 两台机组 45% 负荷烟羽下洗模拟

如果比值过小,则容易产生烟羽下洗现象。其次需要考虑的设计参数为烟囱顶口处外筒直径与内筒内径的比率。比率越大,更容易发生烟羽下洗现象。

在上述基础上对烟囱顶口结构进行创新设计,研发防烟羽下洗装置,并通过 CFD 模拟验证其可行性,即在原有烟囱基础上新建三维模型进行模拟,观察烟羽的消除效果,保证治理后有效消除烟羽下洗现象。

(1) 方案一:加高排烟筒

加高排烟筒可有效提升烟羽上升高度,避免烟羽与外筒壁面接触,排烟筒增高的高度需根据每个实际项目的 CFD 仿真模拟结果而定。加高排烟筒后的典型 CFD 仿真模拟如图 4 所示。

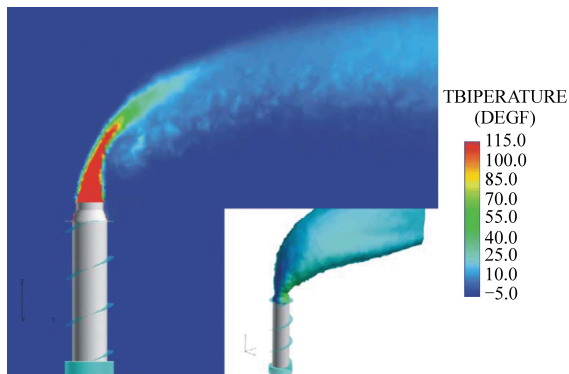


图4 设计方案一烟羽下洗 CFD 模拟

(2) 方案二:设置挡风板

通过设置挡风板改变烟囱顶口局部风速,改变烟羽下洗的轨迹,有效避免烟羽与外筒壁面的接触及冷凝液(冰块)的产生。挡风板的材质选用玻璃钢、合金等耐腐蚀材料。设置挡风板后的典型 CFD 仿真模拟如图 5 所示。

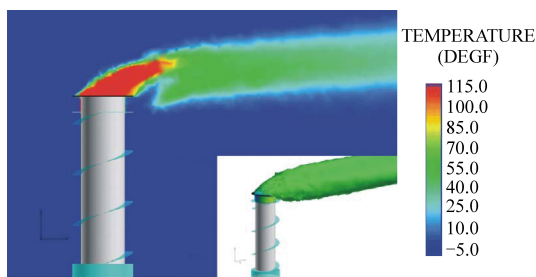


图5 设计方案二烟羽下洗 CFD 模拟

(3) 方案三:烟囱外筒壁面处理

通过在外筒壁面喷涂特种防结冰涂层,增大壁面的光滑度,减少冰块的附着力,当烟囱顶口开始有小冰块生成时,即可顺着壁面落下,而不会有冰块生产,一定程度上可以缓解顶口结冰现象。

5 实施及效果

本项目烟囱为砖套筒烟囱,防烟羽下洗装置包括加高的排烟筒以及在加高排烟筒外壁设置的挡风板,装置均采用玻璃钢耐腐蚀材料制作,采用模块化设计,各模块之间预制法兰面,通过 1.4529 镍基合金螺栓互相连接,并固定于原烟囱顶部。由于本项目烟囱高 210 m,烟囱顶口风速较大,加高排烟筒的结构按抗 12 级台风进行设计和安装。

本项目实施前,大开电厂烟囱冬季经常发生烟羽下洗和结冰现象,在烟囱周围需要铺设防护顶板,避免砸伤过往人员和设备。本项目于 2016 年 12 月竣工投入使用,经过两个冬季的运行观察,有效消除了烟羽下洗现象,厂区烟囱附近再无冰块坠落现象发生,彻底解决了烟囱顶口结冰问题。

6 结论

本研究采用先进的 CFD 流体仿真技术,研发设计了防烟羽下洗装置,有效解决了大开电厂烟囱烟羽下洗和顶口结冰现象。本技术装置采用模块化设计和安装,安全稳定可靠,且投资低、基本无维护费用,与普通电加热的方法相比具有明显的技术优势。

本研究及应用为北方燃煤电厂烟羽下洗及烟囱顶口结冰问题治理提供了一个良好的解决方案,其推广和应用具有重要的环境和社会效益。

参考文献

[1] 欧阳丽华,庄焯,刘科伟,等.燃煤电厂湿烟囱降雨成因分析

- [J].环境科学,2015,36(6):1975-1982.
- [2] 周洪光.如何正确认识火电厂湿烟气排放及白雾现象[J].环境工程,2015(33):433-437.
- [3] 姚增权.湿烟气的抬升与凝结[J].国际电力,2003,7(1):42-46.
- [4] 王立伟,王兰河.防结冰装置在湿法脱硫烟囱上的应用[J].电力安全技术,2012,14(7):60-61.
- [5] 王建春,马果骏.湿法烟气脱硫对环境的影响及对策[J].中国环保产业,2017(3):27-32.
- [6] C.Dene.Revised Wet Stack Design Guide[R].USA:Electric Power Research Institute,2012:2-35-2-41.
- [7] 陈晓,黄佩东,齐宝军,等.烟囱口防结冰电热装置:CN201010580644[P].2014-07-16.
- [8] 张沈时,张海峰,张克西,等.节能型烟囱防结冰装置:CN201610153810[P].2018-09-04.

(上接第11页)

- making of a new Turkey[J].Energy Research & Social Science,2018,41:S2214629618304080.
- [6] 夏泽义,张炜.中国能源消费与人口、经济增长关系的实证研究[J].人口与经济,2009,5:7-11.
- [7] 史丹,张金隆.产业结构变动对能源消费的影响[J].经济理论与经济管理,2003,8:30-32.
- [8] 辜胜阻,王晓杰.新能源产业的特征和发展思路[J].经济管理,2006(11):29-32.
- [9] 郑有飞,白雪,许遐祯.风力发电对江苏省的环境影响及对策初探[J].能源环境保护,2008,22(3):40-43.
- [10] 罗来军,朱善利,邹宗宪.我国新能源战略的重大技术挑战及化解对策[J].数量经济技术经济研究,2015,2:113-128.
- [11] 马宁,佟鑫.用科学理念指导新能源建设的环境保护[J].科学管理研究,2016(4):68-71.
- [12] 付融冰,张慧明.中国能源的现状[J].能源环境保护,2005,19(1):8-12.
- [13] 罗佐县.江浙沪地区能源消费问题研究[J].资源与产业,2007,9(2):94-97.
- [14] 谢长风.江浙沪能源消费与经济增长关系的研究[D].南京航空航天大学,2014.
- [15] 朱天星,宋永辉,宋力.东北三省能源消费、要素投入与经济增长关系研究——基于长面板和面板因果检验模型[J].经济经纬,2015(4):13-18.
- [16] 沈悦.东北三省与俄罗斯开展能源合作问题研究[J].对外经贸,2010(5):20-23.

(上接第16页)

- [11] 鲁许鳌.生物质和煤共气化共燃的实验和机理研究[D].华北电力大学(北京),2010.
- [12] Ning C, Yang R T. Ab initio molecular orbital calculation on graphite: Selection of molecular system and model chemistry[J].Carbon,1998,36(7-8):1061-1070.
- [13] 邢其毅,徐瑞秋,周政.基础有机化学[M].北京:高等教育出版社,2005:889
- [14] OLSON E S, LAUMB J D, BENSON S A, et al. An improved model for flue gas-mercury interactions on activated carbons [C]//Proceedings of the Combined Power Plant Air Pollutant Control Mega Symposium,2003:19-22.
- [15] Montoya A, Truong T N, Sarofim A F. Application of Density Functional Theory to the Study of the Reaction of NO with Char-Bound Nitrogen during Combustion[J].Journal of Physical Chemistry A,2000,104(36):8409-8417.
- [16] FRISCH M J, TRUCKS G W, SCHLEGEL H B, et al. Gaussian 16: Revision A.03[CP].Wallingford CT: Gaussian Inc.,2016
- [17] Hobson J P. Physical adsorption[J].C R C Critical Reviews in Solid State Sciences,1973,4(1-4):221-245.
- [18] Tian L, Feiwu C. Multiwfn: a multifunctional wavefunction analyzer[J].Journal of Computational Chemistry,2012,33(5):580-592.
- [19] Mayer I. Bond order and valence: Relations to Mulliken's population analysis [J]. International Journal of Quantum Chemistry,2010,26(1):151-154.
- [20] 陆遥,刁永发,陈晨,等.溴化石油焦氧化烟气中Hg⁰的机理[J].化工学报,2018,69(10):4394-4401.
- [21] Runnim C, Promarak V, Hannongbua S, et al. Complete reaction mechanisms of mercury oxidation on halogenated activated carbon[J].Journal of Hazardous Materials,2016,310:253-260.