

旋流煤粉燃烧技术的发展

秦裕琨 李争起 吴少华

(哈尔滨工业大学)

摘要 文中回顾了国内外旋流煤粉燃烧技术的发展,根据二次风的供入方式、一次风粉混合物煤粉浓度的不同将此类技术分为三类:普通型、分级燃烧型、浓缩型,浓缩型又分为高浓度型及浓淡型,总结了各种类型燃烧器在火焰稳定性、燃烧效率、 NO_x 排放、结渣、高温腐蚀、调节性能等方面的特点,指出浓淡型旋流煤粉燃烧器是我国旋流煤粉燃烧技术的发展方向。

关键词 旋流燃烧器 分类 浓淡燃烧 分级燃烧

分类号 TK224.11

0 引言

随着我国电力事业及工业的发展,电力工业对煤粉燃烧提出越来越高的要求,概括起来为:高燃烧效率、稳燃、防结渣、防高温腐蚀及低污染,稳燃包括低负荷稳燃及煤种适应性^[1]。旋流燃烧器已在各种大小容量锅炉机组上得到应用,世界上目前已投运的大容量锅炉很多采用对冲布置的旋流燃烧器^[2]。我国早期锅炉设计中,燃烧设备主要采用旋流燃烧器,后来发展为直流燃烧器的切向燃烧方式,并成为煤粉炉所采用的主要燃烧方式。但旋流燃烧器在我国电站锅炉及其它燃烧煤粉的设备中仍占有一定的比例,并且也可能得到发展。回顾现有技术,分析成功的原因,对于我国电力事业的发展很有益处。

1 旋流煤粉燃烧技术的现状

旋流燃烧器的分类方法较多,根据二次风的供入方式及一次风粉混合物煤粉浓度的不同可分为三类:普通型、分级燃烧型、浓缩型。

1.1 普通型

普通型旋流燃烧器是指二次风通过燃烧器集中送入炉内,一次风粉混合物没有浓缩的旋流燃烧器,具备此特征的有:

1.1.1 双蜗壳旋流煤粉燃烧器^[2,3]

一、二次风分别经过一、二次风蜗壳后以旋流的形式进入炉内,二者旋向相同。中心风(也称轴二次风)有的以直流的形式进入炉内,有的经过蜗壳以旋流的形式进入炉内,后者又称为三蜗壳燃烧器。

1.1.2 单蜗壳-扩锥型燃烧器^[2,3]

俗称“蘑菇型”燃烧器。它和双蜗壳燃烧器的主要区别在于没有一次风蜗壳,而依靠“蘑菇型”扩锥使一次风扩散并产生回流区。

1.1.3 切向可动叶片燃烧器^[2,3]

二次风通过可动的切向叶片送入炉膛,一次风分不旋转和旋转两种。拔伯葛公司的燃烧器一次风不旋转,一次风口处设有多层盘式稳焰器。前苏联利用蜗壳使一次风旋转,有的一次风管内壁铸有凸起的螺旋线,其旋向与一次风的旋向相同。

1.1.4 轴向可动叶轮燃烧器^[2,4]

利用拉杆移动二次风通道中的叶轮,从而改变二次风中直流气流和旋转气流的比例,改变气流的总旋流强度。

1.1.5 轴向叶轮-蜗壳型燃烧器^[5,6]

二次风的旋流器为直叶片,可以调节直叶片的倾角。一次风经过蜗壳进入炉膛,燃烧器段一次风管内壁铸有螺旋线,与一次风的旋向相同,此结构与光管结构的一次风管相比,中心回流区变小。运行表明,低负荷率可达 60%。

1.1.6 旋流预燃室燃烧器^[3,7]

一次风有旋转和直流两种形式,二次风一般分

* “九五”国家重点科技攻关资助项目 收稿日期 1996-04-25 修改定稿 1997-04-20

本文联系人 秦裕琨 男 1933年生 教授 150001 哈尔滨

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

为两股,根部二次风经过不旋转的直叶片进入预燃室,另一部分二次风在预燃室出口附近通过直叶片或带有旋流倾角的叶片送入。研究表明,采用合适的旋流强度,形成局部的“三高区”是保证煤粉及时着火的条件。

1.1.7 管式旋流煤粉燃烧器^[8,9]

一次风通过蜗壳环形喷口或带钝体的喷口喷出,二次风分三级,每级有4只喷管,三级二次风分别切于不同直径的假想切圆上,在燃烧室内形成旋转气流,由扩口引入炉膛。一、二次风布置在燃烧室内,为小功率燃烧器。现已用于工业锅炉及小容量煤粉炉。

1.2 分级燃烧型

分级燃烧型旋流燃烧器是指二次风通过燃烧器分两级(层)或两级(层)以上送入炉内,一次风粉混合物没有浓缩的旋流燃烧器。

1.2.1 双通道外混式旋流燃烧器^[2,3,10]

一次风以直流的形式喷入炉膛,二次风分成两部分,大部分经过轴向固定叶片后由旋流二次风道进入炉内,另一小部分以直流的形式由直流二次风道以较高速度喷入炉膛。有较好的调节特性。为B^W公司第一代低NO_x燃烧器。

1.2.2 双调风燃烧器^[2,3,10-16]

一次风一般为直流,二次风分成两部分,内二次风道中设有轴向可动叶片,外二次风道中安装可调节的切向或轴向叶片,使内、外二次风旋转。一般,一次风量占15%~30%,内二次风占35%~45%,外二次风占5%~6%。该燃烧器可使NO_x排放大幅度降低,有效防止炉墙、水冷壁结渣或腐蚀。在我国的应用表明:两侧墙燃烧器区出现了严重的高温腐蚀问题。

1.2.3 SM型燃烧器^[3,12]

一次风不旋转,二次风通过轴向叶片形成旋转气流。一、二次风量占燃烧所需总空气量的80%~90%,其余空气从燃烧器喷口周边一定距离处对称布置的四个二级空气喷口以直流的形式送入炉膛。NO_x排放量低。

1.2.4 蜗壳-叶片式旋流燃烧器^[3]

一次风经过蜗壳进入炉膛,二次风分成两部分,分别经过内、外二次风道的轴向叶片以旋流的形式进入炉膛。

1.2.5 RSFC型燃烧器^[17,19]

一次风不旋转,二次风由三个均装有旋流器的分风道进入炉膛,其中一个或三个分风道中均可以

掺入再循环烟气。在燃烧器出口附近形成径向分层燃烧。煤粉燃尽率略有下降,NO_x排放低,可防止发生高温腐蚀。

1.3 浓缩型

浓缩型旋流燃烧器是指一次风粉混合物经过浓缩后提高煤粉浓度来改善煤粉的着火及稳燃的旋流煤粉燃烧器。又可分为二类:一次风粉混合物经过浓缩按煤粉浓度高低一般分成两股,即浓煤粉气流和淡煤粉气流。浓煤粉气流由燃烧器喷入炉内,淡煤粉气流在炉膛某一位置单独送入炉膛的旋流煤粉燃烧器为高浓度型旋流煤粉燃烧器;浓、淡煤粉气流由燃烧器一次风分风道喷入炉膛的旋流煤粉燃烧器称为浓淡型旋流煤粉燃烧器。

1.3.1 高浓度型

1.3.1.1 前苏联高浓度型旋流燃烧器

前苏联在一台30×10⁵ kW的IIIИ-210A型锅炉上对旋流燃烧器试验了煤粉浓缩燃烧。浓度高达40~50 kg/kg的(C/A)煤粉空气混合物从新设置的一根细管中,由压气泵通过压缩空气来输送,一次风管变成只输送空气的管道。煤粉在送到燃烧器出口之前,在燃烧器内选好合适的位置“注射”到一次风中去,形成煤粉浓度为0.9 kg/kg左右的一次风煤粉气流再进入炉膛燃烧。结果表明,煤粉气流着火提前,排烟中NO_x大为降低。

1.3.1.2 PAX燃烧器^[12,16,20]

当采用直吹式系统把携带煤粉的一次风送入燃烧器时,靠燃烧器入口的弯头利用惯性力把一次风分成两股:弯头内侧的一股含50%一次风和原来煤粉的10%,由在燃烧器周围另开的三次风口喷入炉膛,弯头外侧的另一股50%一次风含原来煤粉的90%,进入燃烧器与热风混合后作为一次风喷出。此时一次风不旋转,在一次风喷口处装有一多层盘式稳焰器,二次风通过轴向叶片形成旋转气流。由于提高了一次风温和煤粉浓度,燃烧稳定性得到了加强。

1.3.1.3 NSZ型燃烧器^[21]

这种波兰采用的燃烧器是将磨煤机来的煤粉空气混合物经过燃烧器入口的旋流分离器后,浓煤粉气流由一次风管进入炉膛,淡煤粉气流由三次风口喷入炉膛。二次风通过内二次风通道,外二次风通道均以旋流的形式进入炉膛。此燃烧器锅炉改造工作量大。

1.3.2 浓淡型

1.3.2.1 WR型旋流燃烧器

IHI公司开发了一种带有卧式分离器的WR型

旋流燃烧器^[12,22]。在燃烧器入口处采用一台卧式旋风分离器,在低负荷运行时调节隔离挡板,把一次风煤粉空气混合物引入卧式分离器,浓煤粉气流被送入燃烧器中央的低负荷喷口,淡煤粉气流由燃烧器的基本负荷喷口喷出。一部分二次风通过挡板引入低负荷喷口外侧,通过固定式切向叶片以旋流的形式在低负荷喷口的外侧喷出。其余的二次风则通过内外两层切向叶片分层形成旋转气流。当磨煤机的出力大于 40% 以后,一次风粉混合物既部分通过卧式分离器,又部分直接进入基本负荷导管,由基本负荷喷口喷出。试验表明,该燃烧器可在燃烧器的负荷为 10% 的最低出力下运行。

在以上燃烧器的基础上,日本 SEPCO CRIEPI 和 IHI 开发了另一种 WR 型旋流煤粉燃烧器^[23]。在燃烧器一次风管入口处采用一类似于蜗壳结构的偏心分离装置将一次风粉混合物分离,使浓缩装置与燃烧器结合为一体。淡煤粉气流通过一次风内通道在燃烧器最内层喷口喷入炉内,浓煤粉气流在淡煤粉气流的外侧喷口喷入炉膛。二次风则通过内、外二次风分风道,经过切向叶片以旋流的形式进入炉膛。在一台 250 MW 机组中试验表明,将原 24 只普通型旋流燃烧器中 4 只改为 WR 型以后,最低负荷由 75 MW 下降到 50 MW,飞灰可燃物含量下降,点火节油明显。

1.3.2.2 NSW 型燃烧器^[21]

波兰在 NSZ 型燃烧器的基础上开发了此燃烧器。将一轴向叶片式的分离器安装在燃烧器一次风道中,利用惯性分离作用将一次风粉混合物分为浓、淡煤粉气流,淡煤粉气流通过一次风内通道,而浓煤粉气流通过一次风外通道。两股气流在喷口处,通过导向装置将浓煤粉气流引向燃烧器的中心附近,淡煤粉气流引向浓煤粉气流的外侧喷入炉膛。二次风通过内二次风通道外,二次风通道以旋流的形式进入炉内。运行表明,NO_x 排放下降 50%~60%,燃烧效率与改造前相同,火焰稳定性提高。

1.3.2.3 径向浓淡旋流煤粉燃烧器^[24,25]

在燃烧器一次风通道中加入百叶窗式煤粉浓缩器,一次风粉混合物分成的浓煤粉气流靠近中心经过浓一次风通道喷入炉膛,淡煤粉气流从浓一次风通道外侧的淡一次风通道喷入炉膛(如图 1 所示)。同时,二次风也分成了两部分,一部分经过旋流二次风通道以旋流的形式进入炉膛,另一部分经过直流二次风通道以直流的形式进入炉膛。旋流器为轴向弯曲叶片。改变直流二次风挡板的开度,可以调节二

次风旋流强度。运行表明,相对于改造前采用的普通型和双通道外混式燃烧器,燃烧效率提高,低负荷能力提高,煤种适应性好,解决了改造前存在的高温腐蚀问题,NO_x 排放量大幅度下降,锅炉点火启动快,节油明显。

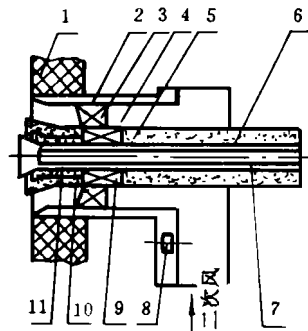


图 1 径向浓淡旋流燃烧器示意图

1. 炉墙 2 直流通二次风通道 3. 旋流器
4. 旋流二次风通道 5. 一次风通道 6. 中心管
7. 点火装置 8. 直流二次风挡板 9. 煤粉浓缩器
10. 淡一次风通道 11. 浓一次风通道

2 旋流煤粉燃烧技术的发展前景

早期认为,采用旋流燃烧技术,为保证煤粉及时着火和火焰稳定,应采用较大的旋流强度和较大的回流区,忽略了煤粉浓度这一因素。因此,普通型和分级型燃烧器采用各种措施致力于得到尽量大的旋流强度和回流区,但由于一次风粉混合物煤粉浓度低,尤其有的一次风旋转,在离心力作用下,煤粉多被甩到靠近温度较低的二次风处,靠近高温回流区处煤粉很少,没有形成火焰稳定的高温、高浓度区域,随着我国动力用煤煤质变差,燃烧器的稳燃能力尤其是低负荷稳燃能力变差。“三高区”理论的提出从燃烧机理上认识到了高浓度的作用,可以解释燃烧器旋流强度较大,回流区也较大但稳燃能力反而差的现象。

分级燃烧型可有效地抑制 NO_x 的形成,外二次风把燃烧中心的还原性气氛和炉墙隔开,防止了炉墙、水冷壁结渣或高温腐蚀,调节灵活,但煤粉的燃尽率有不同程度的下降。高浓度型能够保证火焰的稳定性,尤其是能保证低负荷稳燃能力的提高。由于淡煤粉气流携带走一部分风,煤粉的燃烧效率有所

下降。浓淡型旋流燃烧技术将高浓度燃烧技术与分级燃烧技术有机地结合在一起,同时,浓、淡煤粉气流分层喷入炉内进一步强化了分级燃烧。

国外开发的浓淡型旋流燃烧器依据本国国情各有其特点。径向浓淡旋流燃烧器是根据我国煤种多变、煤质偏差而开发的新技术,结构紧凑,阻力小,既可用于中储仓式制粉系统,又可用于直吹式制粉系统,原有燃烧器改造锅炉不需要改动。运行表明,在同时解决高效、稳燃、防止结渣及防止高温腐蚀、低 NO_x 排放等方面显示了强大的生命力。可以预料,浓淡型旋流燃烧技术将对我国电力工业的发展做出越来越大的贡献。

参 考 文 献

- 孙绍增. 水平浓缩煤粉燃烧过程的研究. 哈工大博士学位论文, 1995. 5
- 何佩鳌. 旋流式煤粉燃烧器(一). 电站系统工程, 1988, (1): 4~ 19
- 何佩鳌等. 煤粉燃烧器的设计及运行. 机械工业出版社, 1987. 12
- 张经武. 轴向叶片旋流燃烧器的特性、试验和运行. 东北电力技术, 1988, (4副): 52~ 61
- 徐通模等. 清河电厂 200MW 机组锅炉旋流燃烧器冷态模化试验报告. 西安交通大学, 1991. 3
- 阎维平等. 轴向叶片旋流煤粉燃烧器的试验研究. 中国电力, 1996, 27(8): 41~ 45
- 徐旭常等. 煤粉火稳稳定原理—“三高区”原理的实验验证和数值模拟分析. 锅炉技术, 1994, (1): 2~ 7
- 庞丽君等. 管式旋流煤粉燃烧器的试验研究. 动力工程, 1994, 14(6): 29~ 36
- 谢毓麟. 工业锅炉发展新趋势和新型煤粉工业锅炉开发. 中国动力工程学会锅炉燃烧技术学术会议论文集, 牡丹江, 1996, 57~ 64
- 鄂兆春. 低 NO_x 煤粉燃烧技术. 锅炉通讯, 1996, 19(1): 1~ 11
- 候建生. 燃烧贫煤的 EI-DRB 型旋流式煤粉燃烧器. 锅炉技术, 1992(6): 22~ 26
- 冯俊凯等. 锅炉原理与计算(第二版). 科学出版社, 1992. 7
- 阎维平等. Babcock 双调风旋流煤粉燃烧器二次风配风特性的模化试验研究. 动力工程, 1995, 15(4): 37~ 41
- Rackley J M, et al. Application of advanced technology to meet worldwide environmental regulation. Third International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, 1995, Centro Cultural De Belem Lisbon Portugal, 1. L, 7, 1~ 14
- Kimoto M, et al. Development of new type pulverized coal burner for low NO_x and unburned carbon combustion. Proceedings of the Third International Symposium on Coal Combustion Science and Technology, 1995, Beijing, 259~ 266
- Larue A D, et al. Low NO_x burner development in the U S A. Modern Power Systems, 1988, 8(1): 42~ 47
- Janos M. Bér. Low NO_x burners for boilers, furnaces and gas turbines; Drive Towards the lower Bounds of NO_x Emissions. Third International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, 3~ 6 July, 1995, Centro Cultural De Belem Lisbon Portugal, 1. L. 6, 1~ 9
- Kaufman K C, et al. Combustion modeling of coal-fired aerodynamically air-staged burners. ibid, 20. 1, 1~ 8
- Toğan M A, et al. Low NO_x emission for radially stratified natural gas-air turbulent diffusion flames. Twenty-fourth Symposium (International) on Combustion/The combustion Institute, 1992, 1392~ 1397
- 郭晓宁. W 型火焰锅炉对低挥发份煤的适应性及其燃烧系统设计分析. 热能动力工程, 1996, 11(3): 165~ 170
- Wroblewska V, et al. Low NO_x combustion of polish hard coals—achievements and problems. Third International conference on Combustion Technologies for a Clean Environments, 3~ 6 July 1995, Centro Cultural De Belem Lisbon Portugal, 29. 5, 29~ 36
- 牧野启二. 锅炉煤粉燃烧的新技术. 国际煤炭利用会议论文集, 1989, 北京, 60~ 66
- Shinrich ABE et al. Demonstration test results of newly development wide range pulverized coal burners at 250 MW power plant. Proceedings CSPPE-JSME-ASM E-International Conference on Power Engineering, May 22~ 26, 1995, Shanghai, China, 351~ 356
- 李争起等. 配风方式对旋流煤粉燃烧器 NO_x 的排放及煤粉燃尽的影响. 动力工程, 1997, 17(2): 27~ 31, 11
- 李争起等. 径向浓淡旋流煤粉燃烧器调节特性的研究. 中国电力, 1997, 30(1): 38~ 41

旋流煤粉燃烧技术的发展 = **Evolution of Swirling-Flow Pulverized-Coal Combustion Technologies** [刊, 中] / Qin Yukun, Li Zhengqi, Wu Shaohua (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 241~ 244

A review is conducted of the evolution of the swirling-flow pulverized-coal combustion technologies both at home and abroad. On the basis of the difference in the feeding mode of the secondary air and the pulverized-coal concentrations of primary air-coal mixture the above-cited technologies may be classified into three types, i. e. common type, staged combustion type and fuel-rich type. The latter can in its turn be divided into the high pulverized-coal concentration type and the fuel bias type. Summarized are the features of various types of burners in terms of flame stability, combustion efficiency, NO_x emissions, slagging, high-temperature corrosion and control characteristics, etc. It is pointed out that the fuel-bias swirl burners are to be preferred for further development in the area of swirling-flow pulverized-coal combustion technology. **Key words** swirl burner, classification, bias combustion, staged combustion.

“洁净煤技术”的烟气净化系统最新概况及工艺选择 = **The Latest Survey of the Gas Purification System of “Clean Coal Technology” and its Technological Selection** [刊, 中] / Hu Guoxin, Luo Zhongyan, et al (Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 245~ 249

Flue gases of coal-burning emit a huge amount of pollutants, such as powder/dust, SO₂ and NO_x, etc, causing serious consequences to environment ecology. In view of this it is essential to develop coal-fired boiler flue gas purification technology. The authors give a brief description of the present status and latest developments in the above-cited technology, analysing the merits and defects of various technological processes, some influencing factors and the results of thier applications. In addition, proposed are the method of system selection and key points to be taken into account during technological design, etc. **Key words** coal-fired boiler, gas purification, desulfurization and denitration, technological design

关于离心压缩机防喘振控制系统的研究及应用 = **The Study and Application of Anti-surge Control System for Parallel-connected Centrifugal Compressors** [刊, 中] / Zhang Zhijun, Xu Xiangdong (Tsinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(4). - 250~ 252

This paper mainly describes the algorithm of anti-surge control method used in an anti-surge control system for four parallel-connected centrifugal gas compressors. The use of this algorithm can lead to an effective prevention of surge phenomena. With respect to different parallel-connected centrifugal compressor units the surge margin and design parameters can be conveniently revised and it is only necessary to make some proper changes so that the algorithm can be applicable to a variety of cases, including a single compressor. A detailed description is given of the anti-surge control of the parallel-connected centrifugal compressor units, presenting the control system structural drawing, its configuration principles and functions. A total distributed control system has been adopted for the anti-surge control system, which consists of one upper computer and four lower computers. The latter can independently perform the real-time acquisition of on-site signals and implement the control algorithm, realizing the control of the four centrifugal compressors. The upper computer by way of a bitbus is connected with the lower computers, carrying out the management and coordination with respect to the lower computers. The upper computer has the following functions: real-time data display, operating condition point graphic display, real-time data storage, alarms display and storage, print-out of data sheets, etc. Also described in this paper is the result of practical use of the said control system in a gas compressor station. The control system has been successfully applied to the centrifugal compressor unit of Beijing Shijingshan coal gas storage and distribution plant, playing a significant role in ensuring the safe operation of the production process. It has also passed an expert appraisal organized by the State Ministry of Electro-me-