

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB 65/T 4243—2019

燃气锅炉烟气再循环降氮技术规范

Flue gas recirculation specification for gas boiler NO_x reduction

2019 - 09 - 12 发布

2019 - 10 - 01 实施

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 发布

前 言

本标准根据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》进行编写。

本标准由新疆维吾尔自治区市场监督管理局提出。

本标准由新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅、新疆维吾尔自治区生态环境厅共同归口并对其实施进行监督检查。

本标准起草单位：新疆维吾尔自治区标准化研究院、乌鲁木齐华源热力股份有限公司、奥林燃烧器（无锡）有限公司、天津宝成机械制造有限公司、新疆维吾尔自治区建筑设计研究院、新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院、新疆维吾尔自治区计量测试研究院、新疆城镇供热协会、新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院、新疆市政协会。

本标准主要起草人：宁继荣、薛梁、李晓东、彭军、唐亦兵、张建良、胡小明、金东海、李统中、吴建中、文红梅、朱海涛、王亮、康飞、郑赢、韩伟、马平、宋军、王永兵、陈伟、马研、陆学峰、邓文叶、热娜·艾尔肯、曾长平、霍川、吴磊、哈丽旦·艾比布拉、张洪洲、汪利洪。

本标准实施应用中的疑问，请咨询新疆维吾尔自治区标准化研究院、乌鲁木齐华源热力股份有限公司。

对本标准的修改意见建议，请反馈至新疆维吾尔自治区市场监督管理局（新疆乌鲁木齐市天山区新华南路167号）、新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅（乌鲁木齐市天山区中山路462号）、新疆维吾尔自治区生态环境厅（乌鲁木齐市天山区南湖西路215号）、新疆维吾尔自治区标准化研究院（乌鲁木齐市河北东路188号）。

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2817197；传真：0991-2311250；邮编：830004

新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅 联系电话：0991-2824272；传真：0991-2825243；邮编：830000

新疆维吾尔自治区生态环境厅 联系电话：0991-4165389；传真：0991-4165394；邮编：830000

乌鲁木齐华源热力股份有限公司 联系电话：0991-6641337；传真：0991-6640337；邮编：830000

新疆维吾尔自治区标准化研究院 联系电话：0991-2817441；传真：0991-2817472；邮编：830011

燃气锅炉烟气再循环降氮技术规范

1 范围

本标准规定了燃气锅炉烟气再循环降氮技术的术语和定义、烟气再循环降氮原理、烟气再循环降氮工艺流程及要求、锅炉降氮改造通用要求、降氮改造后锅炉性能要求。

本标准适用于新疆维吾尔自治区新安装或在使用改造的额定功率大于0.7MW的燃气锅炉。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 13223 火电厂大气污染物排放标准

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB 50041 锅炉房设计规范

SJ/T 10674 涂料涂覆通用技术条件

TSG G0001 锅炉安全技术监察规程

TSG G0002 锅炉节能技术监督管理规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

烟气再循环 flue gas recirculation

将部分烟气通过外部循环或内部循环的方式，送入炉内参与燃气燃烧的技术。

3.2

烟气外循环 (FGR) external circulation of flue gas

通过风机和外部烟道，将部分锅炉尾部烟气与助燃空气混合送入燃烧器参与燃气燃烧的烟气循环流程。

3.3

烟气再循环率 flue gas recirculation rate

$$r = (\text{再循环烟气量} / \text{烟气总量}) \times 100\%$$

注：无再循环时烟气量基于273 K，101.325 kpa压力下的标态，单位为m³/h。

3.4

过量空气系数 excess air coefficient

燃烧实际供给空气量与理论空气量的比值。

3.5

助燃空气 combustion supporting air

与天然气发生燃烧反应的空气。

3.6

混合空气 mixed air

使用FGR系统中烟气与空气混合后与天然气发生燃烧反应的空气。

3.7

降氮率 nitrogen reduction rate

降氮率=[(锅炉改造前氮氧化物排放值-锅炉改造后氮氧化物排放值)/锅炉改造前氮氧化物排放值]
×100%

4 烟气再循环降氮原理

4.1 烟气再循环的本质是通过将燃烧产出的烟气重新引入燃烧区域，实现对燃烧温度氧化物浓度的控制，降低峰值火焰的温度，从而实现降低氮氧化物的排放效果。其减排机理可以用热力型NO_x的生成机理来解释。在高温条件下，由空气中的氮经氧化而生成的NO_x，称为热力型NO_x（Thermal NO_x）。其生成过程可用下面一组连锁反应来描述。



4.2 热力型NO_x形成的主要控制因素是温度，温度对NO_x生成速率的影响呈指数关系。影响热力型NO_x生成的另一个主要因素是烟气中的氧浓度，其生成速率与氧浓度的0.5次方成正比。式（1）的活化能较高，故由式（1）表示的反应控制NO_x的生成量。热力型NO_x的生成速率可由式（4）表示：

$$d[\text{NO}]/dt = 6 \times 10^{16} [\text{O}_2]^{0.5} [\text{N}_2] T^{-0.5} e^{-69090/T} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$d[\text{NO}]/dt$ ——热力型NO_x的生成速率，mol/(cm³·s)；

[NO]、[O₂]、[N₂]——分别为NO、O₂、N₂等组分的摩尔浓度，mol/cm³；

T——反应温度，K；

t——反应时间，s。

4.3 烟气主要以两种途径降低热力型氮氧化物的生成，首先烟气的温度比火焰温度要低，而且烟气不助燃，可被用作稀释剂吸收火焰中的热量使火焰温度降低，另一方面，烟气能降低反应区内的平均氧浓度，避免大量游离的N原子与O原子产生化学反应生成NO。

5 烟气再循环降氮工艺流程及要求

5.1 风机一体式燃烧器

5.1.1 工艺流程见图 1。

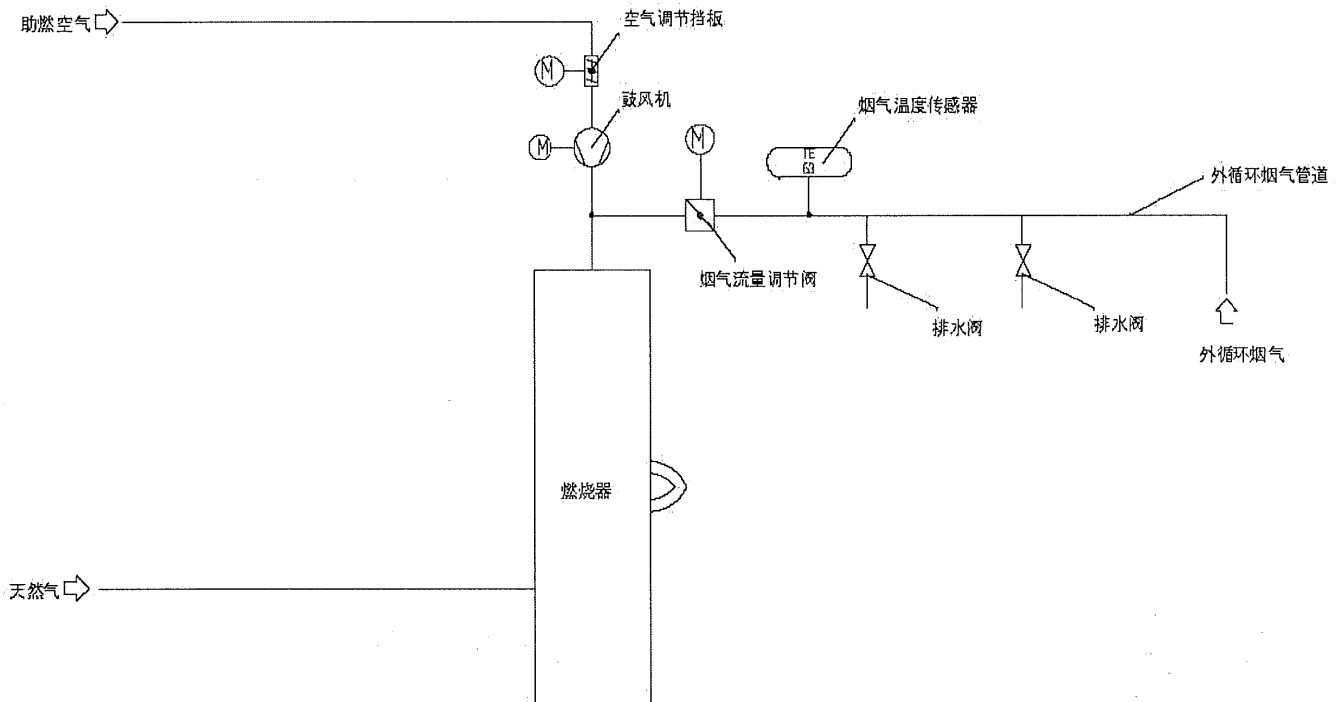


图1 风机一体式燃烧器降氮工艺流程图

5.1.2 工艺要求如下：

- 燃烧器壳体安装 FGR 流量调节阀；
- FGR 烟气管道接入到 FGR 流量调节阀；
- 在 FGR 管道低位安装冷凝水排水阀。

5.2 风机分体式燃烧器

5.2.1 采用助燃空气节流阀(无 FGR 风机)

5.2.1.1 工艺流程见图 2。

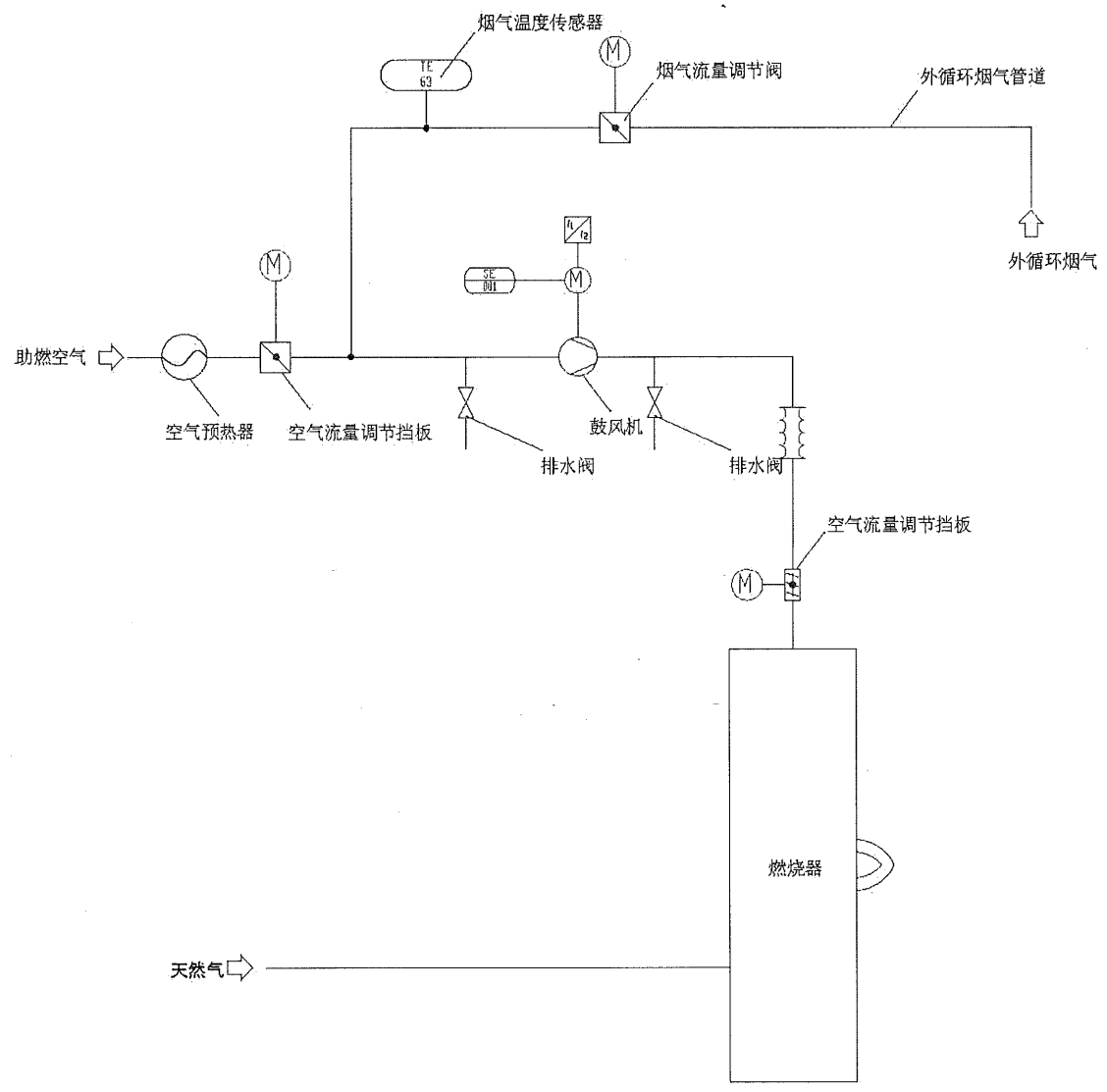


图2 采用助燃空气节流阀(无 FGR 风机)降氮工艺流程图

5.2.1.2 工艺要求如下：

- a) FGR 烟气管道接入到助燃风机进风道；
- b) 助燃风机入口风道安装助燃空气流量调节阀（烟风混合点烟气侧压力高于空气侧压力时，无需助燃空气流量调节阀）；
- c) 助燃风机将 FGR 烟气与空气充分均匀混合后送至燃烧器参与燃烧反应，混合空气流量通过燃烧器本体的风门挡板调节或通过鼓风机变频器进行调剂；
- d) 在 FGR 管道及风道的低位安装冷凝水排水阀。

5.2.2 采用 FGR 风机（烟风在助燃风机前混合）

5.2.2.1 工艺流程见图 3。

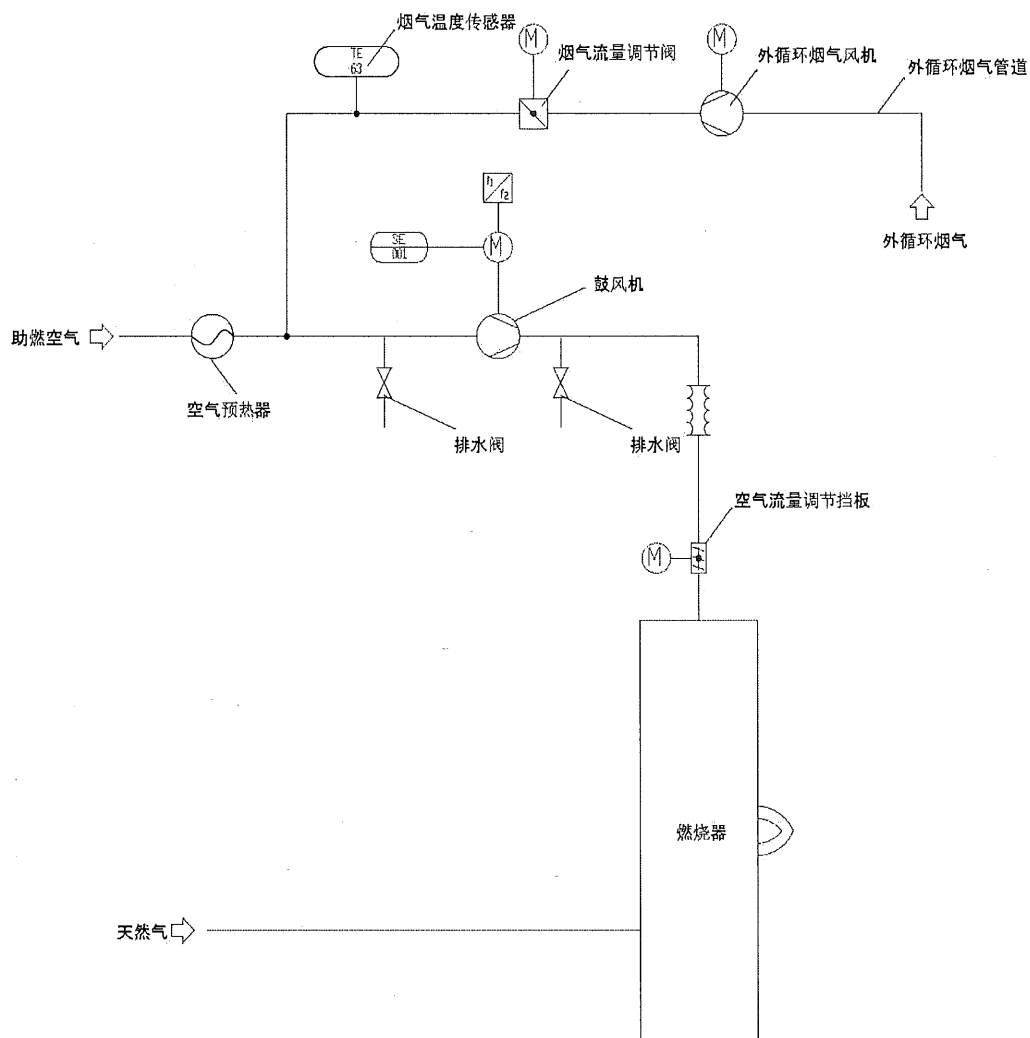


图3 采用 FGR 风机的燃烧器（烟风在助燃风机前混合）降氮工艺流程图

5.2.2.2 工艺要求如下：

- 无需助燃空气流量调节阀；
- FGR 烟气管道接入到 FGR 风机入口；
- FGR 风机出口安装烟气流量调节阀，调节阀出口接入到助燃风机入口风道；
- 助燃风机将 FGR 烟气与空气充分均匀混合后送至燃烧器参与燃烧反应，混合空气流量通过燃烧器本体的风门挡板调节或通过鼓风机变频器进行调剂；
- 在 FGR 烟道及风道的低位安装冷凝水排水阀。

5.2.3 采用 FGR 风机（烟风在助燃风机后混合）

5.2.3.1 工艺流程见图 4。

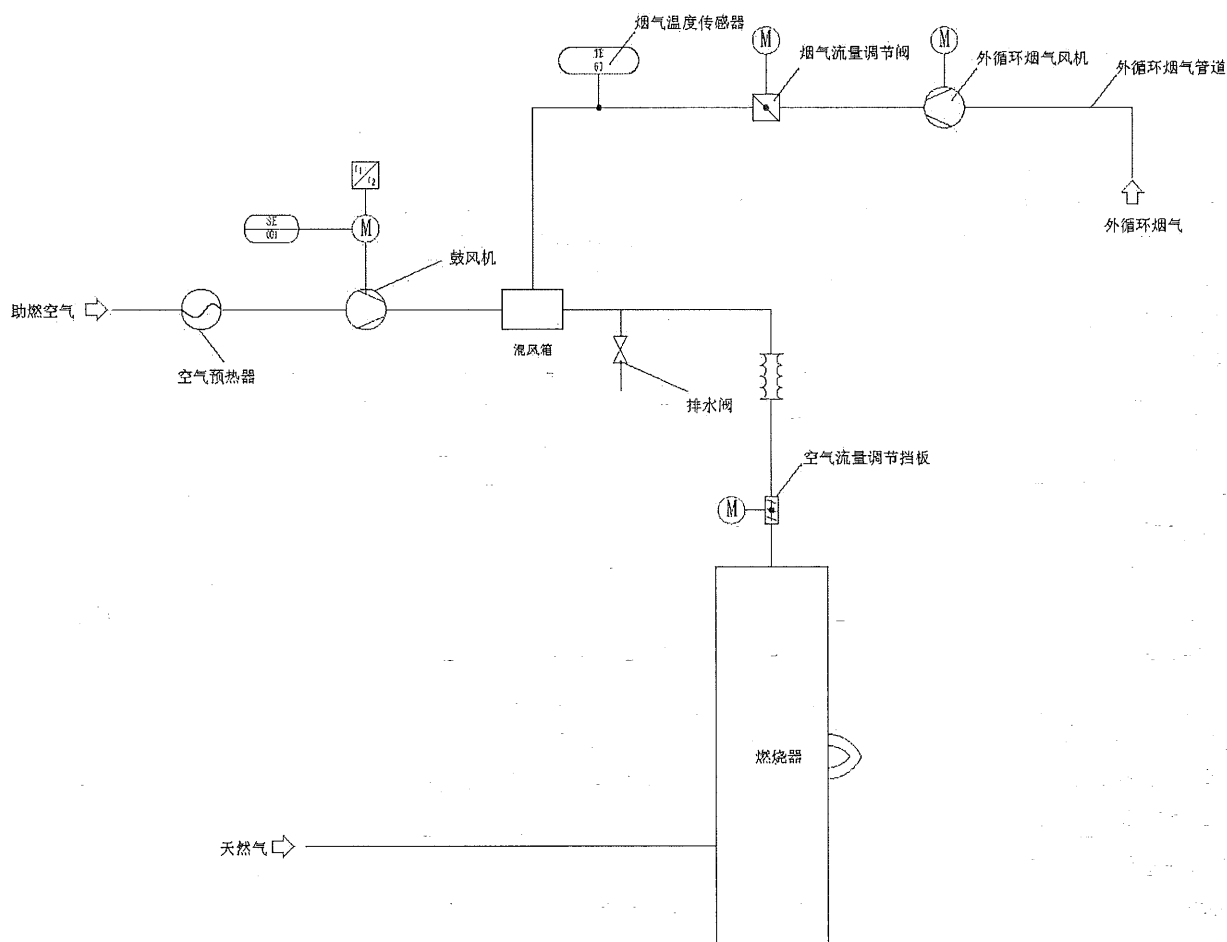


图4 采用 FGR 风机（烟风在助燃风机后混合）降氮工艺流程图

5.2.3.2 工艺要求如下：

- 无需助燃空气流量调节阀；
- FGR 烟气管道接入到 FGR 风机入口，FGR 风机为变频风机；
- FGR 风机出口安装烟气流量调节阀，烟气流量调节阀出口接入到鼓风机的出口风道或烟风混合器（如需要）；
- 烟风混合器安装于鼓风机的出口；
- 烟风混合器和燃烧器风箱留有足够长度；
- FGR 烟气与助燃空气直接在鼓风机出口的风道内混合或在混合器内混合后再送至燃烧器参与燃烧反应，混合空气流量通过燃烧器本体的风门挡板调节或通过鼓风机变频器进行调剂；
- 在 FGR 烟道及风道的低位安装冷凝水排水阀。

6 锅炉降氮改造通用要求

6.1 锅炉

对于新建和改造锅炉，应保证锅炉热力参数达到设计规定值，环保排放指标达到国家或地方相关标准，同时，锅炉增加FGR低氮燃烧技术不应影响锅炉安全、稳定运行。

6.1.1 炉膛

6.1.1.1 炉膛结构尺寸应考虑 FGR 低氮燃烧的需要，宜采用大燃烧室结构，在任何工况下燃烧器火焰不应该冲刷炉膛，并和锅炉炉膛有良好的匹配度。

6.1.1.2 配套多燃烧器时应考虑火焰在炉膛内均布，避免火焰相互干扰。

6.1.1.3 炉膛应更多考虑结构稳定性，减少 FGR 低氮燃烧对炉体振动影响。

6.1.2 受热面布置

6.1.2.1 低氮型燃气锅炉应根据对流换热热量增大的特点合理布置受热面，适当增加锅炉尾部节能器和冷凝器的换热面积。

6.1.2.2 为避免炉体内产生冷凝水对受热面的腐蚀，应控制低负荷点炉体出口烟温。

6.1.2.3 锅炉各受热面都应考虑低温或低负荷运行时冷凝水的排放。

6.2 燃烧器

6.2.1 燃烧器在增加 FGR 系统后需考虑锅炉原始设计系统烟风阻力的增加，助燃风机的风量和压头应能满足锅炉运行热负荷的输入功率要求。

6.2.2 燃烧器在投入 FGR 运行的任何工况下都应保证火焰燃烧的稳定性。

6.3 FGR 系统

FGR系统的设计需满足现行锅炉房的设计规范。

6.4 空气预热器

6.4.1 采用 FGR 的锅炉系统，应增加空气预热器将助燃空气温度加热再和外循环烟气混合使混合风温度高于烟气的露点温度。

6.4.2 不同再循环烟气温度、再循环率、风温度条件下混合风冷凝临界点温度表详见附录 A。

6.5 再循环烟气抽取点

外循环烟气管道的设计应尽量减少管道压降，减少管道长度和弯头数量。外循环烟气吸入口应连接在锅炉烟道出口，吸入口应尽可能靠近锅炉端，呈45°切角，布置形式见图5，工作要求如下：

- a) 外循环烟气管道的流速不应超过 20 m/s；
- b) 外循环烟道材料应采用耐酸、抗氧化金属材料，或者在循环烟道内壁采取涂覆耐酸、防锈材料等措施，涂覆要求按 SJ/T 10674 的规定执行；
- c) 外循环烟道水平段应设置一定倾斜角，倾斜角约为 10°，循环烟道及风道最低处设置排水阀。
- d) 外循环烟道与燃烧机的烟气流量调节蝶阀或连接处应采用柔性连接；
- e) 外循环烟道应采取保温措施避免管道内烟温低于露点析出冷凝水；
- f) 外循环管道应安装温度传感器，温度传感器的安装位置与烟气调节蝶阀至少大于 200 mm；
- g) 温度传感器作为 FGR 投运条件，避免 FGR 系统冷启动时管道内的烟温变化而析出冷凝水，选用条件如下：
 - 1) 循环风机及烟道阀门等过流部件，应选用耐高温、粉尘及潮湿的器件；
 - 2) 外循环烟气管道需要有足够的支撑装置，以适应管道因运行期间温度变化造成的管体膨胀或收缩；

- 3) 两台或多台燃烧器共用风道情况下,应保证每台燃烧器风箱入口的助燃混合空气的氧含量不能有太大偏差。

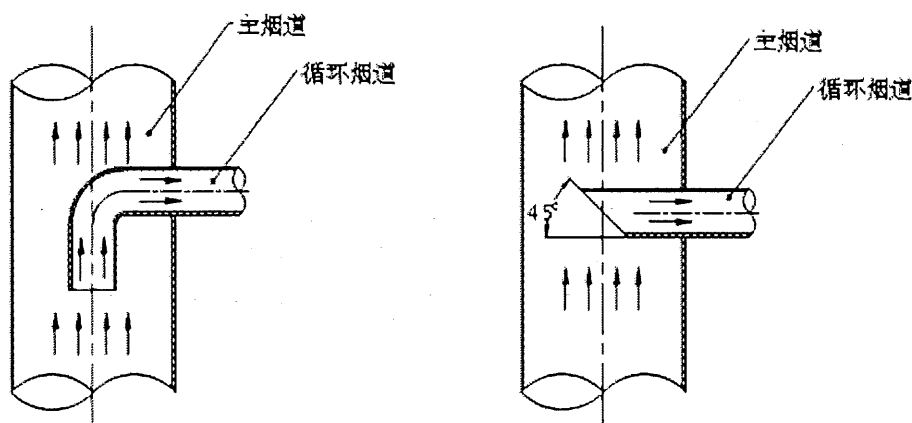


图5 外循环烟道吸入口示意图

6.6 配套风机

应满足以下条件:

- 烟气再循环系统增加了炉内流动的烟气量,烟气阻力也随着增加,应适当增加风机送风量和风压。对于大型锅炉,适宜为烟气再循环系统单独配备再循环风机;
- 使用单台风机系统,炉外再循环烟气与冷风在风机进口端混合,为保证不在风机和风道内产生冷凝水,应抽取适合的高温烟气,在抽吸烟道和冷风道设置流量调节挡板门;
- 使用双台风机系统,炉外再循环烟气与冷风在鼓风机出口端混合,独立的烟气再循环风机应满足烟气循环比例需求,烟气流量调节应使用挡板门与变频配合调节方式;
- 风机选型应考虑新风量、炉外再循环烟气量比例、烟风阻力、温度及海拔高度的影响,预留更多风机富余量;
- 接触到烟气的风机,应考虑冷凝水腐蚀、冷凝水排放及电机防水雾问题。

6.7 控制系统

应满足以下条件:

- 增加 FGR 系统更换原鼓风机或增加 FGR 烟气外循环风机需确认原锅炉房电容量余量;
- FGR 系统所有电器部件动力电缆与控制电缆应单独配管铺设,避免信号干扰;
- 锅炉/燃烧器控制柜 HMI 及 DCS 系统设备及程序升级增加 FGR 部件如风门控制挡板、FGR 外循环风机、烟气温度传感器等显示界面,增加 FGR 负荷曲线;
- 锅炉/燃烧器控制柜控制器应有 FGR 部件相应扩展通道, FGR 部件控制信号需与锅炉/燃烧器控制柜控制器相匹配。

7 降氮改造后锅炉性能要求

7.1 安全性

改造后锅炉安全应符合TSG G0001的要求。

7.2 热效率

当锅炉的使用条件符合本标准的规定时，锅炉设计热效率指标应符合TSG G0002及GB 13223的相关要求。采用FGR系统的改造锅炉，改造后锅炉实测热效率的下降不应超过1%。

7.3 过量空气系数

炉外烟气再循环燃烧降氮技术的锅炉排烟处过量空气系数应控制在1.1~1.2范围，满足排烟氧含量2%~3.5%。

7.4 降氮率

在测试条件下、正常工况稳定运行时，锅炉降氮率不低于50%。

注：NO_x排放浓度折算方法参见附录B。

7.5 噪声

锅炉运行噪音应符合GB 50041的要求，锅炉运行厂界噪音应符合GB 12348的要求。

7.6 其他性能

7.6.1 对于新安装锅炉，应保证锅炉热力参数达到技术协议规定值，环保排放指标达到相关国家或地方标准，同时，锅炉增加FGR系统不应影响锅炉安全、稳定运行。

7.6.2 对于在用锅炉，采用FGR技术改造后的其它性能要求：

- a) 改造后的锅炉各项指标应符合TSG G0001的相关要求；
- b) 改造应不降低原有锅炉燃料适应性；
- c) 改造涉及到受压部件强度、热力、水动力范畴时，应由具有相应资质的锅炉制造企业进行相关计算和结构改造，FGR系统应与锅炉结构改造相配合；
- d) 改造应保持锅炉运行稳定性，减小对炉体振动影响；
- e) 改造应考虑风道冷凝水排放、风机结霜、防冻措施，可增加热风系统；
- f) 对于多燃烧器配置烟气外循环系统，应保证供风与外循环烟气混合均匀性。

附 录 A
(资料性附录)
混合风冷凝临界点温度表

A.1 抽取烟气混入冷风所需抽取烟温

抽取烟气混入冷风所需抽取烟温见表A.1。

表A.1 抽取烟气混入冷风所需抽取烟温

烟气再循环率 %	抽取烟气温度 ℃	冬季冷风温度 ℃	混合风冷凝临界点温度 ℃
10%	160.8	-10	18.82
15%	142.6		23.29
20%	131.1		26.32
25%	123.2		28.58
10%	173.8	-15	18.16
15%	152.5		22.77
20%	139.4		25.92
25%	130.4		28.24
10%	186.4	-20	17.69
15%	162.2		22.44
20%	147.4		25.64
25%	137.3		27.99
注：以上数据表只对应热值8000 kcal/m ³ ~8500 kcal/m ³ 天然气成分。			

A.2 抽取冷凝点以下烟气混入热风所需热风温度

抽取冷凝点以下烟气混入热风所需热风温度见表A.2。由表A.2可知，随着排烟温度降低至烟气冷凝点以下后具有如下特点：

- a) 抽取再循环烟气温度越低，与风混合后所需不析出冷凝水的临界点温度越低；
- b) 烟气再循环率越高，该临界点温度越高；
- c) 冷风温度越低，该临界点温度越低。

表A.2 抽取冷凝点以下烟气混入热风所需热风温度

	抽取烟气温度 °C					抽取烟气温度 °C				
	50	45	40	35	30	50	45	40	35	30
烟气再循环率 %	10%									
冷风温度 °C	-10					-20				
被加热风温度 °C	11.9	9.42	7.63	5.4	2.6	9.18	7.54	5.5	2.95	-0.35
混合风冷凝临界点温	16.03	14.03	11.76	9.13	6	14.72	12.56	10.06	7.13	3.55

度 °C										
烟气再循环率 %	15%									
冷风温度 °C	-10					-20				
被加热风温度 °C	13.86	12.4	10.57	8.23	5.15	12.4	10.83	8.82	6.2	2.7
混合风冷凝临界点温度 °C	20.3	18.13	15.68	12.82	9.36	19.32	17.04	14.41	11.29	7.46
烟气再循环率 %	20%									
冷风温度 °C	-10					-20				
被加热风温度 °C	15.8	14.43	12.62	10.22	6.98	14.48	13	11.05	8.42	4.8
混合风冷凝临界点温度 °C	23.22	20.98	18.41	15.4	11.73	22.42	20.07	17.37	14.15	10.16
烟气再循环率 %	25%									
冷风温度 °C	-10					-20				
被加热风温度 °C	17.23	15.93	14.16	11.73	8.39	15.98	14.6	12.7	10.07	6.38
混合风冷凝临界点温度 °C	25.41	23.1	20.46	17.33	13.53	24.72	22.32	19.55	16.25	12.16
注：以上数据表只对应热值8000 kcal/m ³ ~8500 kcal/m ³ 天然气成分。										

附 录 B
(资料性附录)
NO_x排放浓度折算方法

B.1 锅炉烟气NO_x基准含氧量排放浓度折算

实测的锅炉氮氧化物排放浓度应执行 GB/T 16157 的规定，按公式折算为基准含氧量排放浓度。燃气锅炉的基准含氧量按表B.1的规定执行，计算公式如下：

$$NO_x = NO'_x \times \frac{21 - \varphi(O_2)}{21 - \varphi'(O_2)}$$

式中：

NO_x ——大气污染物基准氧含量排放浓度，mg/m³；

NO'_x ——实测的大气污染物排放浓度，mg/m³；

$\varphi'(O_2)$ ——实测的氧含量；

$\varphi(O_2)$ ——基准氧含量

表B.1 基准含氧量

锅炉类型	基准氧含量 (O ₂) /%
燃气锅炉	3.5

参 考 文 献

- [1] GB/T 36699-2018 锅炉用液体和气体燃料燃烧器技术条件
 - [2] GB/T 19839-2005 工业燃油燃气燃烧器通用技术条件
 - [3] GB 50273-2009 锅炉安装工程施工及验收规范
 - [4] GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
 - [5] GB/T 10180-2017 工业锅炉热工性能试验规程
 - [6] NB/T 47034-2013 工业锅炉技术条件
 - [7] GB/T 16508.8-2013 锅壳锅炉 第8部分 运行
 - [8] GB 3096-2008 声环境质量标准
 - [9] GB 13271 锅炉大气污染物排放标准
-