

高原环境燃天然气燃烧器选型研究

李娟¹ 王龙² 米玛旺堆³ 方明洋¹

1. 中国特种设备检测研究院 北京 101300

2. 低碳热力发电技术与装备全国重点实验室, 国家市场监督管理总局重点实验室(特种设备安全与节能), 中国特种设备检测研究院 北京 101300

3. 西藏自治区特种设备检测所 西藏 拉萨 850000

摘要: 本文从高原环境对燃烧器配套风机风量、风压、电动机功率, 燃烧火焰尺寸等方面进行分析, 指出高原环境燃天然气燃烧器选型的要点, 进而对高原环境燃烧器选型关键问题进行考量并给出选型示例。

关键词: 高原环境; 燃烧器; 选型

0 引言

我国地形地貌环境复杂多变, 新疆维吾尔自治区、青海省、西藏自治区、甘肃省等西部地区很多城市海拔在2000米以上, 尤其是青海省、西藏自治区平均海拔在3000米以上^[1]。

气体密度随着海拔高度升高而降低, 天然气燃烧过程、燃烧特性与空气流速、天然气流速息息相关^[2]。燃烧火焰形态与平原地区区别很大, 同型号锅炉配套燃烧器在高原地区使用, 会出现燃烧器出力下降、火焰冲刷燃烧室等诸多安全隐患。

本文基于一台额定输出功率1.4MW燃天然气锅炉, 配套利雅路品牌燃烧器开展燃烧器选型研究。

1 高原环境对燃气燃烧器的主要影响

目前国内外就高原环境对天然气燃烧有深入的研究, 理论上, 随着海拔高度升高, 空气压力降低, 相同质量空气、天然气体积增大, 密度减小。

同一型号燃烧器在高原环境使用与在平原环境使用主要影响因素如下:

燃烧器风机风量: 相同输出功率下体积流量不变, 由于空气密度减小, 输出的空气质量减小, 实际输入燃烧器的氧气质量变小。

燃烧器风机风压: 相同输出功率下, 空气体积流量不变, 在不考虑高原对风机电机的影响因素下, 风机风压不变。

同一型号燃烧器燃烧头位置空气喷口、天然气喷口尺寸不变, 低气压影响混合气体密度, 使气体射流的射程改变, 进而影响燃烧速度、火焰形状和尺寸与炉膛结构的匹配^[3]。

2 燃天然气燃烧器选型

目前燃气燃烧器基本按照海拔高度0m即大气压力

1.01325×10⁵Pa条件设计, 现行的法规、标准没有考虑高原地区的特殊性, 大多数在高原地区运行的燃烧器仅根据海拔高度选取更高功率等级的燃烧器。

燃烧器选型在输出功率满足锅炉所需输入功率的条件下, 还需考虑燃烧器自身结构的阻力、锅炉烟气的阻力, 燃烧器风机风压要大于燃烧器自身结构的阻力及锅炉烟气的阻力; 燃烧器火焰不能冲刷锅炉辐射受热面。

3 高原环境风机风量计算

随着燃烧器使用地点升高, 大气压力降低。大气压力和空气温度变化, 综合导致空气密度的变化^[4]。

不同大气压力和空气温度条件下, 空气的密度可以由以下公式简单计算:

$$\rho = 1.293 \times \frac{273.15}{273.15 + t} \times \frac{B}{101.3} \quad (3-1)$$

式中:

ρ 实际状态气体密度, 单位 kg/m³;

t 实际状态气体温度, 单位℃;

B 实际状态大气压力, 单位KPa。

在相同空气温度的条件下, 公式3-1可简化为下式:

$$\rho = 1.293 \times \frac{B}{101.3} \quad (3-2)$$

由公式3-2可见, 在相同空气温度的条件下, 空气密度与大气压力成正比例关系。对于同质量空气, 空气流量与大气压力成反比例关系, 具体公式如下:

$$Q_v = Q_{v0} \cdot \frac{101.3}{B} \quad (3-3)$$

式中:

Q_v 实际状态气体流量, 单位m³/h;

Q_{v0} 标准状态气体流量, 单位m³/h。

根据公式3-3, 不同大气压力条件下风机风量变化如表3-1。

表3-1 不同大气压力条件下风机风量变化表

序号	海拔高度 (m)	大气压力 (Pa)	风量 (m ³ /h)
1	0	101325	1000
2	1000	89870	1127
3	2000	79490	1275
4	3000	70110	1445

根据表3-1,以海拔2000米为例,燃烧器风机的实际输出风量为1000 m³/h,同质量流量空气换算到0米海拔位置约为780 m³/h。

4 高原环境风机风压计算

根据表3-1,海拔2000米位置与海拔0米位置1000 m³/h相同质量流量的空气体积流量为1275m³/h,对于同一台燃烧器,空气、天然气喷口尺寸相同,喷口位置气体流速可由下式计算:

$$\omega = \frac{Q_v}{3600S} \quad (4-1)$$

式中:

ω 实际状态气体流速,单位m/s;

S 喷口截面积,单位m²。

根据公式4-1,以海拔2000米为例,同质量流量空气燃烧器空气喷口位置气体流速为海拔0米位置约1.28倍。

燃烧器空气流通部分、锅炉烟气侧阻力可以分为沿程摩擦阻力、局部阻力和横向冲刷管束阻力,阻力与空气流速的关系可由下式计算:

$$H_v = \xi \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (4-2)$$

式中:

H_v 实际状态空气、烟气阻力,单位Pa;

ξ 阻力系数;

ρ 空气密度,单位kg/m³。

由公式4-2,燃烧器空气流通位置阻力、锅炉烟气侧阻力与气体密度成正比例关系,与气体流速的平方成正比例关系。

综合公式3-2、4-1、4-2,海拔升高,燃烧器输出功率相同的条件下,燃烧器空气侧及锅炉烟气阻力增大。所需燃烧器风机风压增大,具体公式如下:

$$H_v = H_{v0} \cdot \frac{101.3}{B} \quad (4-3)$$

式中:

H_{v0} 标准状态烟气阻力,单位Pa。

5 高原环境风机电机功率计算

风机的电动机功率可由下式计算:

$$N = k \cdot \frac{Q_v H}{1000 \eta_s \eta_c} \quad (5-1)$$

式中:

N 电动机功率,单位kW;

k 电机富裕系数,取1.3;

H 燃烧器空气侧及锅炉烟气侧阻力,单位Pa;

η_s 风机内效率,取0.75;

η_c 传动效率,取0.98。

根据公式5-1,随着燃烧器使用地点海拔升高,若燃烧器输出功率不变,根据公式3-3及4-2,空气流量增大,燃烧器空气侧及锅炉烟气侧阻力增大,不考虑高原环境对电机本身的影响因素外,燃烧器配套风机的电动机功率增大。

6 燃烧器与锅炉适配性

相同型号燃烧器在高原地区使用,在不考虑高原环境对电机的影响条件下,风机输出空气体积流量、压力与平原地区相同,但空气质量流量减小,燃烧器输出功率减小。此时空气喷口位置空气流速与平原地区相同,火焰外形与尺寸与平台地区基本相同。

为保证燃烧器相同的输出功率,需加大燃烧器风机型号,输出空气体积流量和压力增大。空气体积流量增大,根据公式4-1,喷口位置空气流速增大,火焰长度方向尺寸增加。海拔每升高1000m,炉膛长度宜增加2%。

高原燃烧器的选型,考虑使用地海拔高度对燃烧器的影响同时,还要考虑燃烧器火焰长度方向尺寸的增加与锅炉炉膛的适配性,避免火焰对锅炉辐射受热面直接冲刷,对锅炉的安全运行留下隐患。

7 高原燃天然气燃烧器选型示例

以一台1.4MW燃天然气锅炉为例,锅炉输出功率1.4MW,锅炉热效率取TSG91-2021《锅炉节能环保技术规程》中限定值92%。其余设计参数见表6-1。

表6-1 锅炉设计参数表

序号	名称	单位	数据
1	燃烧器空气侧阻力	Pa	1200
2	锅炉烟气侧阻力	Pa	1200
3	燃料消耗量	m ³ /h	150
4	理论空气量	m ³ /m ³	9.413
5	过量空气系数	—	1.15

利雅路品牌燃烧器满足该锅炉额定负荷输入功率的型号性能参数见表6-2。

表6-2 燃烧器性能参数表

型号	单位	RS130	RS150	RS190
输出功率	MW	930-1512	900-1850	1279-2209
电机功率	KW	2.2	3.0	4.5

在不同海拔高度地区使用燃烧器,燃烧器风量、风

压及电机功率的理论计算数据见表6-3。

表6-3 不同海拔高度燃烧器选型参数计算表

名称	风量	风压	电机功率
单位	m ³ /h	Pa	kW
海拔0米	1623	2400	1.91
海拔1000米	1830	2705	2.43
海拔2000米	2069	3059	3.11
海拔3000米	2346	3468	4

平原地区，RS130型号燃烧器最大输出功率1512KW，当锅炉的效率为92%时，锅炉所需输入功率为1522KW，RS130型号燃烧器无法满足锅炉额定负荷。当锅炉效率高于92.59%时，满足1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时输入功率要求。RS130型号燃烧器电机功率2.2kW,满足所需电机功率1.91kW需求。可以选择该型号燃烧器。

海拔1000米，同质量流量的空气体积流量为1127 m³/h，在风压不变的情况下，实际风量仅为海拔0米位置的89%。燃烧器的实际出力为海拔0米位置的89%。RS130型燃烧器在海拔1000米位置其输出功率为828-1346KW，电机功率2.2kW无法满足所需电机功率2.43kW需求。无法满足1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时的输入功率基电动机功率的要求。RS150型燃烧器在海拔1000米位置其输出功率为801-1647KW，电动机功率3.0kW。可以满足1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时输入功率及电动机功率要求。

海拔2000米，同质量流量的空气体积流量为1275 m³/h，在风压不变的情况下，实际风量仅为海拔0米位置的78%。燃烧器的实际出力为海拔0米位置的78%。RS150型燃烧器在海拔2000米位置其输出功率为702-1443KW。无法满足1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时输入功率要求。RS190型燃烧器在海拔2000米位置其输出功率为997-1723KW，电动机功率4.5kW。可以满足一台1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时输入功率及电动机功率要求。

海拔3000米，同质量流量的空气体积流量为1445 m³/

h，在风压不变的情况下，实际风量仅为海拔0米位置的69%。燃烧器的实际出力为海拔0米位置的69%。RS190型燃烧器在海拔3000米位置其输出功率为882-1524KW，电动机功率4.5kW。可以满足一台1.4MW燃天然气锅炉额定负荷时输入功率及电动机功率的要求。

以上仅从高原环境对燃烧器风机风量、风压及电机功率的影响角度对不同型号的燃烧器进行选型，实际选型过程中还要考虑实际的燃烧器空气阻力、锅炉烟气阻力、锅炉炉膛适配性及高原对电机的影响条件。

依据JB/T7573-1994《高原环境条件下电工产品通用技术条件》，电机使用在海拔1000米以上至4000米时，温升限值的修正按GB755规定。海拔1000以上建议使用高原型电机。

8 结论

高原环境下，大气压力降低，空气密度减小，对燃天然气燃烧器空气流速、阻力有一定的影响，燃烧器选型时要根据使用地海拔高度对燃天然气燃烧器空气流量、空气侧阻力，锅炉烟气侧阻力进行修正，充分考虑炉膛与燃烧器火焰尺寸适配性。

以一台输出功率1.4MW燃天然气锅炉选型利雅路燃烧器为例，在平原地区可以选择RS130型燃烧器，在海拔1000米地区可以选择RS150型燃烧器，在海拔2000米、3000米地区只能选择RS190型燃烧器。

参考文献

- [1] 于吉明, 刘超, 王玉涛, 李娟. 海拔高度对燃气锅炉烟气中水分冷凝率的影响[J]. 节能技术 2023,6:523-525
- [2] 于吉明, 李江, 吴莹磊. 海拔高度对燃气锅炉氮氧化物排放影响分析[J]. 工程施工与管理, 2025, (10): 94-96.
- [3] 郭一楷, 焦伟红, 张璇, 刘得守, 张颖, 张欣, 马强. 高原地区低氮燃烧技术应用研究[J], 环境工程 2023, (41), 482-486