



中华人民共和国国家标准

GB/TXXXXX—XXXX

水冷预混低氮燃烧器通用技术要求

General technical requirements for water cooled premixed low NOx burner

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 分类和型号	6
4.1 分类	6
4.2 型号编制方法	6
5 要求	8
5.1 符合性声明	8
5.2 外观和组成	8
5.3 空气动力性能	9
5.4 运行控制	9
5.5 安全保护	9
5.6 启动条件验证	12
5.7 燃料流量稳定性	12
5.8 空气流量稳定性	12
5.9 预混室与预混度	12
5.10 燃烧性能	12
5.11 自振动	13
5.12 运行可靠性	13
5.13 电气外壳防护等级	13
5.14 环境适应性	13
6 试验方法	14
6.1 试验条件	14
6.2 外观和组成	14
6.3 空气动力性能	14
6.4 运行控制	14
6.5 安全保护	14
6.6 启动条件验证	17
6.7 燃料流量稳定性	17
6.8 空气流量稳定性	17
6.9 预混室与预混度	18
6.10 燃烧性能	18
6.11 自振动	19
6.12 运行可靠性	20
6.13 电气外壳防护等级	20
6.14 环境适应性	20
7 检验规则	21
7.1 检验分类	21
7.2 出厂检验	21

7.3 型式检验	21
8 技术文件与标识	22
9 包装、运输和贮存	22
附录A 水冷预混低氮燃烧器基本配置简图	23

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国燃烧节能净化标准化技术委员会（SAC/TC441）提出并归口。

本文件起草单位：浙江大学等。

本文件主要起草人：程乐鸣等。

水冷预混低氮燃烧器通用技术要求

1 范围

本文件规定了水冷预混低氮燃烧器的术语和定义、分类与型号、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于输出功率小于140MW的水冷预混低氮燃烧器（以下简称燃烧器）的设计、制造和验收。本文件不适用于自然通风的非电力驱动和控制的燃烧器。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 151-2014 热交换器
 GB/T 1236-2017 工业通风机 用标准化风道性能试验
 GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
 GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
 GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
 GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
 GB/T 10233-2016 低压成套开关设备和电控设备基本试验方法
 GB/T 21434 相变锅炉
 GB/T 36699-2018 锅炉用液体和气体燃料燃烧器技术条件
 GB/T 37650 燃烧方式 术语和定义
 GB/T 38919 多孔介质燃烧器通用技术要求
 HJ/T 398 固定污染源排放 烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法
 JB 4732-95 钢制压力容器—分析设计标准
 TSG 11-2020 锅炉安全技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

GB/T 37650和GB/T 38919界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水冷预混燃烧器 water cooled premixed burner

助燃气和燃气预混后通过以水为介质间壁式换热管束而后燃烧转化热能的一种设备。

3.2

水冷预混低氮燃烧器 water cooled premixed low NO_x burner

燃烧后烟气中按含氧量3.5%折算出的氮氧化物(NO_x)含量不大于50mg/m³的水冷预混燃烧器。

3.3

预混室 premix chamber 【GB/T 38919-2020, 定义 3.4】

燃气与助燃气在燃烧前预先混合的空间。

3.4

预混度 premixed degree

燃气与助燃气的混合程度。以相同温度、压力条件下预混室内不同位置的燃气浓度最大值与最小值之差与预混室平均燃气浓度的比值表示。

注：改写GB/T 38919-2020, 定义3.5。

3.5

水冷燃烧头 water cooled burner

具有间壁式水冷却系统的燃烧装置。

3.6

预混风机 premix fan

设置于燃气和助燃气混合段入口前的风机。

3.7

等压室 isobaric chamber

气体压力实现均衡的空间。

3.8

均流装置 uniform gas distributor

均匀分配燃气或助燃气或混合气体的一种装置。

3.9

水冷燃烧头出口特征直径 characteristic diameter of the water cooled burner outlet

水冷燃烧头预混气流出出口截面喷嘴最小尺寸或狭缝的宽度。

3.10

管内水冷 water cooled in tube

冷却水在水冷燃烧头冷却管内流动的冷却方式。

3.11

管外壳侧水冷 water cooled at shell side

冷却水在水冷燃烧头管外壳侧流动的冷却方式。

3.12

水冷燃烧头特征长度 characteristic length of water cooled burner

水冷燃烧头中冷却水冷却预混气流的行程长度。

3.13

水冷炉膛 watercooled furnace

周围布置水冷热交换面的炉膛。

3.14

绝热炉膛 insulating furnace

四周敷设耐火层，较少吸收燃烧气体热量的炉膛。

3.15

主火焰 main flame

在主水冷燃烧头上燃烧的火焰。

3.16

点火火焰 ignition flame

为点燃主火焰而首先点燃的火焰。

4 分类和型号

4.1 分类

根据水冷冷却方式，水冷预混低氮燃烧器分为2类，一类是管内水冷预混低氮燃烧器，冷却介质在水冷燃烧头冷却管内流动；一类是壳侧水冷预混低氮燃烧器，冷却介质在水冷燃烧头冷却管外流动。

4.2 型号编制方法

4.2.1 燃烧器的型号编制方法见图 1。

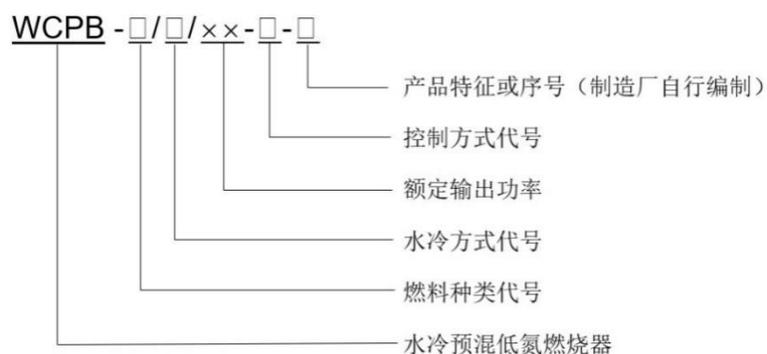


图1 水冷预混低氮燃烧器

4.2.2 燃料种类代号见表 1。

表1 燃料种类代号

序号	燃料种类	燃料代号
1	天然气	T
2	液化石油气	Y
3	焦炉煤气	J
4	混合城市煤气	H
5	低热值气 ^a	D
6	沼气	Z

a: 低热值气热值一般小于6.28MJ/m³，包括高炉煤气、转炉煤气、发生炉煤气和生物质热解/气化气等

4.2.3 水冷方式代号见表 2。

表2 水冷方式代号

序号	水冷方式	代号
1	水冷燃烧头管内水冷	GN
2	水冷燃烧头管外壳侧水冷	GW

4.2.4 额定功率宜按表 3 选取。额定功率也可用燃料流量的型式表示，关系如式(1)所示：

$$P_0 = 2.78 \times 10^{-4} Qq \quad (1)$$

式中：

P_0 — 额定功率，单位为兆瓦(MW)；

Q — 燃气流量，单位为立方米每小时(m³/h)；

q — 燃气低位发热量，单位为兆焦每立方米(MJ/m³)。

表3 额定功率推荐表

序号	额定功率(MW)	序号	额定功率(MW)
1	0.03	13	7.00
2	0.05	14	10.50
3	0.10	15	14.00
4	0.2	16	21.00
5	0.35	17	29.00
6	0.70	18	35.00
7	1.05	19	46.00
8	1.40	20	58.00
9	2.10	21	70.00
10	2.80	22	91.00
11	4.20	23	116.0
12	5.60	24	140.0

4.2.5 控制方式代号见表4。

表4 控制方式代号

序号	控制方式	代号
1	自动控制	ZD
2	手动控制	SD
3	机械连续调节	JL
4	电子连续调节	DL

4.2.6 产品特征或序号由制造厂自行编制。

示例：燃料为天然气，采用自动控制，额定功率为0.35MW的水冷燃烧头管内水冷预混低氮燃烧器的型号为：WCPB-T/GN/0.35-Z-（制造厂自行编制的产品特征或序号）。

5 要求

5.1 符合性声明

燃烧器的设计、制造应符合TSG 11-2020有关气体燃烧器的安全基本要求。

5.2 外观和组成

5.2.1 外观

燃烧器外观应符合以下要求：

- a) 燃烧器壳体表面应涂覆与工作条件相适应的防护装饰涂层，涂层完整、均匀、光洁，不应有划伤、起泡或脱落。
- b) 水冷燃烧头间隙畅通无异物。

5.2.2 组成

燃烧器由水冷燃烧头、供风系统、燃气系统、预混系统、点火系统、安全保护系统和负荷调节系统组成（参见附录A）：

- a) 水冷燃烧头由水冷管束/管屏和壳体组成，水冷方式包括管内水冷或管外壳侧水冷；
 - b) 供风系统由风机/风源、风道、空气阀组、空气过滤装置与空气流量调节装置组成；
 - c) 燃气系统由燃气手动快速切断阀、燃气过滤装置、燃气压力监测装置、燃气压力调节阀、自动安全切断阀和燃气流量调节阀组成；
 - d) 预混系统由预混室和等压室组成，需要时可设置混合均流装置；
 - e) 点火系统由点火变压器、点火电极、点火火焰监测装置和主火焰监测装置组成；
 - f) 安全保护系统由燃气自动检漏装置、燃气高低压检测与保护装置、空气压力监测装置、空气、燃气联动调节装置、点火燃气阀安全切断装置、火焰监测装置、吹扫系统组成，需要时可设置防回火装置；
 - g) 负荷调节系统由控制器、空气燃气调节执行器、空气、燃气联动调节装置组成；
- 主要部件满足GB/T 36699-2018中“8.3”的要求。

5.3 空气动力性能

当燃烧器出口压力达到配套炉膛压力的1.1倍时，燃烧器出口空气量应能满足燃烧器负荷调节范围内最大流量燃料正常燃烧要求。

5.4 运行控制

燃烧器在自动或手动操作下应能正常运行。

点火顺序应为：上电→启动条件验证→风门开到吹扫位置→水冷系统开启^b→风机启动→前吹扫→风机到点火转速，风门、点火燃气调节阀到点火位置→开空气、燃气主阀V1→高压打火→点火火焰点火→关闭点火变压器→点火火焰监测→点火火焰监测有火^c→开启燃气主阀V2→主火焰监测→关闭点火火焰→主火焰监测有火→正常燃烧（自动或手动调节燃烧负荷）^d→后吹扫→停机。

燃烧器重新启动按GB/T 36699-2018中“7.1.8”的规定执行。

点火程序结束后可进行负荷调节运行。运行过程中火焰故障应连锁保护并停机。

- b: 若水冷系统水压不足→后吹扫→停机，检查水冷系统正常后重启。
- c: 若点火火焰监测无火→后吹扫→重启。重启二次失败后报警。
- d: 若主火焰监测信号丢失、风压低于设定压力、水冷系统断水→关闭燃气阀组。

5.5 安全保护

5.5.1 燃气、空气清洁性

应设置燃气和空气过滤装置，过滤装置孔隙应不大于水冷燃烧头最小间隙。燃气、空气、混合气通过的管道、混合装置、水冷燃烧头等接触面应采取可靠的防腐措施，保证流道畅通持续性。

5.5.2 燃气管路密封性

从燃气阀组入口到预混室入口的燃气管路，在燃气压力达到1.5倍设计压力且不低于4kPa后，15min内管路内的压降应符合如下要求：

- a) 额定功率不大于2MW的燃烧器不大于50Pa；
- b) 额定功率大于2MW的燃烧器不大于25Pa。

5.5.3 燃烧器密封性

从燃烧器预混室入口到燃烧器出口的各燃气和预混燃气通过部件，在燃气压力达到1.5倍设计压力且不低于4kPa后，15min内管路内的压降应符合如下要求：

- a) 额定功率不大于2MW的燃烧器不大于50Pa；
- b) 额定功率大于2MW的燃烧器不大于25Pa。

5.5.4 主燃气控制阀系统

主燃气控制阀系统应符合以下要求：

- a) 配置两只串联的自动安全切断阀或者组合阀；
 - b) 自动安全切断阀的配置应满足 GB/T 36699-2018 第 5.2.3 中 $2 \times A^e + VP^f$ （两个 A 级阀门加阀门检漏装置）的要求；
 - c) 额定输出热功率大于 1.2MW 的燃烧器，主燃气控制阀应设置阀门检漏装置；
 - d) 上游至少设置一只压力控制装置；
 - e) 点火火焰点燃并需经点火火焰监测装置验证后，主燃气控制阀才能开启，点燃主火焰。
- e: A 级阀门，见 ISO 23551-1 的相关要求。
f: 阀门检漏装置。

5.5.5 点火燃气控制阀系统

点火燃气控制阀系统应符合以下要求：

- a) 点火燃气从两只主燃气控制阀之间引出，进入燃烧器之前设置点火安全控制阀；在点火火焰点燃并经火焰监测装置验证之前，下游主燃气自动安全切断阀不应通电；
- b) 点火燃气自动安全切断阀的配置应满足 GB/T 36699-2018 第 5.2.3 中 $2 \times A$ （两个 A 级阀门）的要求；
- c) 当点火功率大于 1.2MW 时应设置阀门检漏装置；
- d) 除阀门检漏外在点火装置通电前点火安全控制阀不应通电。

5.5.6 火焰监测装置

火焰监测装置应符合 GB/T 36699-2018 第 5.2.4 和第 8.3.8 的要求。

5.5.7 预混风机

预混风机应符合以下要求：

- a) 燃烧器额定功率大于 2MW 时，预混室应设于风机出口；
- b) 当预混室设于风机入口时，针对风机应采取防爆和防漏措施。

5.5.8 熄火保护

设置可靠熄火保护装置，检测到火焰熄灭、水冷系统断水、风压低于设定压力时应及时切断燃气供给，火焰熄灭安全时间小于 1 秒。

5.5.9 水冷系统与水冷燃烧头

水冷系统和水冷燃烧头应符合以下要求：

- a) 如水冷系统与水冷燃烧头工作压力为常压，当压力 1.4 倍时能安全运行；
- b) 如水冷系统与水冷燃烧头属于常压锅炉的一部分应采用强制循环；
- c) 如水冷系统与水冷燃烧头属于锅炉的一部分且压力不小于 0.1MPa 时应满足 TSG11-2020 要求；
- d) 如水冷系统与水冷燃烧头工作压力小于 0.1MPa 且属于相变锅炉一部分时应满足 GB/T21434 要求；
- e) 水冷系统与水冷燃烧头应满足 GB/T 151-2014 第 6 章、第 7 章要求。

5.5.10 介电强度和绝缘电阻

介电强度和绝缘电阻应符合以下要求：

- a) 控制箱不同极性的导电部件之间和所有导电部件与壳体之间的绝缘应能承受表 5 所列介电强度电压，不应有大于 10mA 击穿电流，1 min 内无击穿或闪络现象；
- b) 控制箱在承受介电强度电压前的绝缘电阻应不小于 10M Ω ，在承受介电强度电压后的绝缘电阻应不小于 1M Ω 。

表5 介电强度电压

额定电压, V	介电强度电压, V
≤ 60	500
> 60	2000

5.5.11 吹扫

燃烧器在自动或者手动操作条件下，在点火前应能进行定时前吹扫，熄火后进行定时后吹扫。前、后吹扫时间不小于20s且能保证送风量为炉膛及烟道容积的4倍以上。吹扫时风门处于调节位置最大位。

5.5.12 点火

点火启动应符合以下要求：

- a) 设立独立点火燃烧器（引导火）。在进入点火程序前，应确保空气、燃气调节装置的开度均处于其调节范围的最低点，水冷系统工作正常，否则不应进入点火程序；
- b) 主火焰启动功率应不大于2MW；当点火功率大于2MW时应采用多面或分块燃烧等方法逐步点燃主火焰，每次点燃的独立点火火焰功率应小于2MW。
- c) 点火安全时间和熄火安全时间的设定值应不大于表6所列限值。

表6 点火安全时间限值

主燃烧器额定功率, MW	点火火焰建立安全时间, s	主火火焰建立安全时间, s	火焰熄灭安全时间, s
$P_0 \leq 0.07$	≤ 5	≤ 5	≤ 1
$0.07 < P_0 \leq 0.12$	≤ 5	≤ 3	≤ 1
$P_0 > 0.12$	≤ 3	≤ 3	≤ 1

5.5.13 安全联锁和报警

5.5.13.1 燃烧器在工作状态下，应至少具备以下安全联锁和报警功能：

- a) 发生点火失败或在正常燃烧后发生火焰故障，应进入联锁保护状态并报警；
- b) 工作中意外断电后未完成关闭程序，重新上电时应进入联锁保护状态并报警；
- c) 火焰监测装置发生故障时应报警；
- d) 燃气控制阀被检测为泄漏时应报警；
- e) 燃气压力或者空气压力不满足启动条件、高于或低于保护信号时应停机并报警；
- f) 燃气流量、空气流量出现故障信号时应停机并报警；
- g) 水冷系统中冷却介质中断、压力、温度超限，应进入联锁保护状态并报警；
- h) 燃烧器主燃气控制阀应设置为常闭式，控制阀与点火器及火焰检测联锁。

5.5.13.2 燃烧器进入锁定状态后，未经人工复位，不应重新启动。

5.5.14 防回火

防回火应符合以下要求：

- a) 预混室后设置防回火装置。在燃烧器最低功率条件下，通过防回火装置各喷嘴的最小气流速度大于燃气混合气火焰传播速度的2倍；
- b) 水冷燃烧头出口特征直径不大于1.2mm，水冷特征长度不小于18mm；
- c) 水冷燃烧头中水冷管间距尺寸变化小于0.1mm；
- d) 水冷燃烧头的压降（ ΔP_{st} ）不小于水冷燃烧头出口到整个燃烧装置出口的压降（ ΔP_1 ）+50Pa，即 $\Delta P_{st} > \Delta P_1 + 50Pa$ ；
- e) 燃烧器火焰在调节范围内没有飘忽的火焰产生。

5.6 启动条件验证

燃烧器上电后应进行程序控制装置自检测，燃气阀组控制继电器安全检测，燃气高、低气压信号检测，燃气阀组检漏，燃气调节阀、风门归零，火焰监测系统安全检测，风压开关信号安全检测，自动巡检已验证：

- a) 启动开关处于开启时，应报警并锁定；
- b) 冷却水系统水压不足时，应报警并锁定；
- c) 火焰监测异常时，应报警；
- d) 启动条件验证程序中，应包括对燃气控制阀的自动检漏程序；
- e) 启动条件验证程序中，应包括对冷却水系统的自动检查程序。

5.7 燃料流量稳定性

给定的负荷调节范围内，任一工况下参与燃烧的燃料流量符合要求，流量的波动范围在±5%之内。

5.8 空气流量稳定性

燃烧器应安装空气监测装置，空气监测装置应通过压力监测、流量监测和其他能反映供风状态的测量方法监测空气流量。给定的负荷调节范围内，任一工况下参与燃烧的空气流量符合要求，流量的波动范围在±5%之内。

额定功率大于 2MW 的燃烧器应采用监测空气与燃气流量的方式闭环控制空燃比。

5.9 预混室与预混度

预混室和预混度应符合以下要求：

- a) 单个预混室容积应不大于 0.3m³/MW，且最大不大于 1.5m³；
- b) 预混室应确保燃气与空气混合均匀，严格保证气密性；
- c) 预混室出口截面压力分布均匀，最大压力与最小压力差小于 100Pa；
- d) 预混室出口燃烧火焰长度均匀，没有明显的黄色或红色火焰，
- e) 进入水冷燃烧头前预混气的预混度应不大于 10%；
- f) 如预混室外安装有保护壳，则在保护壳外设置燃气泄漏报警装置。

5.10 燃烧性能

5.10.1 燃烧稳定性

燃烧器在其负荷调节范围内燃料正常燃烧时，烟气中CO₂含量（体积分数）变化应不超过±1.5%。

5.10.2 燃烧充分性

正常工况下稳定运行时，烟气中 O_2 含量（体积分数）应不大于3.5%，烟气中按含氧量3.5%折算出的CO含量应不大于 $95\text{mg}/\text{m}^3$ ，烟气黑度不大于林格曼1级。

5.10.3 氮氧化物（NO_x）生成量

正常工况稳定运行时，燃气为天然气和液化石油气，对水冷炉膛，烟气中按含氧量3.5%折算出的氮氧化物（NO_x）含量不应高于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ；对绝热炉膛，烟气中按含氧量3.5%折算出的氮氧化物（NO_x）含量不应高于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

对于非天然气和液化石油气之外的其他气体燃料，NO_x的原始排放浓度不做限值规定。

5.10.4 负荷调节

在负荷调节范围内变换燃烧负荷时，火焰变换应稳定，无回火、脱火、熄火、冒黑烟发生。

5.10.5 结焦和积炭

负荷调节范围内连续运行时，燃烧器火焰出口的结焦和积炭不应影响正常燃烧。

5.10.6 燃烧噪声

额定功率不大于0.4MW的燃烧器，其运行噪声应不大于80dB(A)；额定功率大于0.4MW的燃烧器，其运行噪声应不大于85dB(A)。

5.10.7 燃烧器部件表面温度

燃烧器部件表面温度应符合以下要求：

a) 燃烧器配套的调节装置、控制装置与安全装置的温度，不超过制造单位给出的数值，并且工作可靠；

b) 燃烧器上被操纵的按钮和拉杆的表面温度，对于金属材料应不大于 35°C ，对于陶瓷或类似材料应不大于 45°C ，对于塑料或类似材料应不大于 60°C 。

5.11 自振动

燃烧器在最大燃烧负荷下运行时，其振动速度应不大于 $6.3\text{mm}/\text{s}$ 。

5.12 运行可靠性

燃烧器按“启动运行—停止燃烧”连续进行不少于10个周期（每个周期不少于5min）的运行和不少于48小时的连续燃烧运行后，各系统应无异常现象。

5.13 电气外壳防护等级

控制箱、电机等装置外壳防护等级应不低于GB/T 4208中规定的IP22要求，接线盒、开关等装置的外壳防护等级应不低于GB/T 4208中规定的IP44要求。

5.14 环境适应性

5.14.1 概述

在5.14.2~5.14.6规定的条件下，燃烧器应能正常工作。

5.14.2 低温

按GB/T 2423.1的规定，低温试验严酷等级对电控设备为 -5°C 、16h，对其他设备为 -20°C 、16h。

5.14.3 高温

按GB/T 2423.2的规定，高温试验严酷等级为45℃、16h。

5.14.4 湿度

按GB/T 2423.3的规定，试验严酷等级为2d，温度为(30±2)℃，相对湿度为(85±3)%RH。

5.14.5 海拔高度

当海拔高度不超过2000m时，燃烧器应能正常工作；超过2000m时，在其负荷调节范围内每升高1000m燃烧器最大输出功率递减应不超过12%。

5.14.6 电源

电源电压变化在额定值的-10%~+6%之内，电源频率变化在额定值的±5%之内。

6 试验方法

6.1 试验条件

除另有规定外，试验在下列条件下进行：

- a) 气候条件：环境温度5℃~40℃，试验过程中温度波动小于5℃；相对湿度20%~80%，试验过程中波动小于5%；大气压力86kPa~106kPa，试验过程中波动小于0.1kPa；
- b) 电源电压变化不超过额定值的-10%~+6%，电源频率变化不超过额定值的±5%；
- c) 检验场所通风良好。

6.2 外观和组成

目测检查，参照5.2要求与GB/T 36699-2018表I.1“气体燃烧器”栏目。

6.3 空气动力性能

试验装置选择GB/T 1236-2017中18.2给出的B型。试验操作按GB/T 1236-2017中第20章的要求进行，静压、流量和温度的测量分别按GB/T 1236-2017中第7章、第13章和第8章的要求进行。测试时，燃烧器风道中的调节风门均应处于全开状态。型式检验时，改变试验装置风道上的流量控制装置开度，在全关、全开范围内至少测试出大体均布的10个点的静压和流量，并作出空气动力性能曲线。出厂试验时，可在要求静压的工作点上测该点的流量。

试验条件下测得的静压和流量应换算为0℃、 1.013×10^5 Pa状态下的数值，作为实测值。

6.4 运行控制

一般在冷态条件下进行该项目的模拟试验。使燃烧器处于自动控制状态下，向控制系统输入相应的模拟信号，通过观察控制箱面板上相关程序指示灯的亮、熄以检查燃烧器是否按设定程序进入正常燃烧状态。进入正常燃烧状态后，输入负荷调节模拟信号，观察空气和燃料调节装置是否随调节信号的变化进行相应的调节。输入停止燃烧模拟信号，通过观察控制箱面板上相关程序指示灯的亮、熄以检查燃烧器是否按设定程序停机。

使燃烧器处于手动控制状态下，操作开关电器和负荷调节器，观察燃烧器是否按操作要求进入相应的运行状态。

6.5 安全保护

6.5.1 燃气、空气清洁性

目测，确认燃气和空气过滤装置安装到位，测量确认过滤装置孔隙不大于水冷燃烧头最小间隙，有防腐措施，气流流道畅通，气流清洁。

6.5.2 燃气管路密封性

采用压缩空气作为试验介质，除只留一个进气口外，将燃气管路上所有的开口密封，开启管路中所有的开关阀，注入压缩空气，升压至设计压力的1.5倍设计压力（不超过阀组额定压力）且不低于4kPa后，关闭进气阀，维持压力15min，检查管路内的压降情况。

如果对全段管路试验有困难时，可以分段进行试验。

6.5.3 燃烧器密封性

采用压缩空气作为试验介质，除只留一个进气口外，将从燃烧器预混室入口到燃烧器出口的燃气通过部件的所有的开口密封，开启管路中所有的开关阀，注入压缩空气，升压至设计压力的1.5倍设计压力（不超过阀组额定压力）且不低于4kPa后，关闭进气阀，维持压力15min，检查管路内的压降情况。

对所有部件同时试验有困难时，可以分段进行试验。

6.5.4 主燃气控制阀系统

主燃气控制阀系统试验按以下步骤进行：

- a) 目测检查两只串联的自动安全切断阀或者组合阀；
- b) 目测检查自动安全阀配置；检测记录燃气控制阀关断后控制阀关闭时间，在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各关闭时间的实测值；
- c) 对照燃烧器额定输出热功率，目测检查；
- d) 目测检查上游压力控制装置；
- e) 目测检查是否独立点火燃烧器，操作确认点火火焰点燃并经火焰监测装置验证后，主燃气控制阀才能开启，点燃主火焰。

6.5.5 点火燃气控制阀系统

点火燃气控制阀系统试验按以下步骤进行：

- a) 目测检查两只串联的自动安全切断阀或者组合阀；
- b) 记录燃气控制阀关断后控制阀关闭时间，在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各关闭时间的实测值；
- c) 对照燃烧器额定输出热功率，目测检查；
- d) 目测检查上游压力控制装置；
- e) 目测检查是否独立点火燃烧器，操作确认点火火焰点燃并经火焰监测装置验证后，主燃气控制阀才能开启，点燃主火焰。

6.5.6 火焰监测装置

火焰监测装置检查试验按以下步骤进行：

- a) 目测确认火焰监测装置的传感器不受无关信号干扰；
- b) 目测燃烧器的点火火焰监测系统和主火焰监测系统；测试主火焰监测装置不能监测到点火火焰；
- c) 记录燃烧器启动过程中火焰监测装置的自检建立时间，在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各建立时间的实测值；

d) 记录火焰监测装置的火焰故障响应时间，在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各关闭时间的实测值。

6.5.7 预混风机

预混风机检查按以下步骤进行：

- a) 目测燃烧器额定功率大于2MW时，预混室应设于风机出口；
- b) 核查当预混室设于风机入口时，针对风机应采取了防爆措施。

6.5.8 熄火保护

采用火焰模拟输入信号方法测量火焰熄灭安全时间。每一时间在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各时间的实测值。

6.5.9 水冷系统与水冷燃烧头

水冷系统与水冷燃烧头试验按以下步骤进行：

- a) 常压系统按照GB/T151-2014的8.13耐压试验和泄漏试验的规定；
- b) 属于TSG11-2020范围的按照4.5.6水压试验的规定；
- c) 属于相变锅炉一部分的按照GB/T21434的7.2相变锅炉本体及换热器壳程的气密性试验规定；
- d) 属于其他能量传递一部分的时按照相关的标准规定。

6.5.10 介电强度和绝缘电阻

按GB/T10233-2016中4.5与4.6的规定对控制箱进行介电强度和绝缘电阻试验。试验中，同时检测泄漏电流。试验按以下步骤进行（介电强度和绝缘电阻可以只测一种）：

a) 试验前，应采取切实的安全防护措施，断开控制箱内变频器与主电路的连接；断开程序控制器、火检模块、中间继电器线圈、接触器线圈、指示灯、报警器、开关电源、触摸屏等消耗电流的器件与控制电源的连接；

b) 绝缘电阻测试，箱子额定绝缘电压在500V以下先用500V兆欧表测量主动路不同极的导电部位之间和所有导电部件与控制箱体、主开关断开时同极的进线与出线之间的绝缘电阻；测试前应在电路无电状态下进行，测试时间1min，测量得到的绝缘电阻数值要求至少为标称电压 $1k\Omega/V$ ，原则上认为试验通过，但建议不应低于 $2M\Omega$ ；有风机电机配有变频器的，需拆掉变频器与电机联接线，单独测量电机和动力线；

c) 介电强度试验（也称耐压试验），试验电压应施加在主电路带电部件与地、主电路各相（极）、主电路与同它不直接连接的辅助电路之间；测试电压值见表5，当箱子额定绝缘电压在380V~660V之间时，试验电压为交流1890V(有效值)，波形近似正弦波、频率为45~65Hz的试验电压，开始试验电压不应超过全试验电压值的50%，然后将试验电压平稳增加到全试验电压值，并维持5%比例增加（时间不少于10要s），全值试压维持1min；试验时主触头应处于闭合状态或由2.5平方电线短接。

试验过程中应无击穿放电现象，若有异常现象应立即切断试验电源，并将带电部份对地放电，检查并修复之后再次测试直到通过；试验结束后，亦应将带电部份对地放电。

d) 介电强度试验结束后，应立即按6.5.10 b) 要求测试绝缘电阻。

6.5.11 吹扫

在进行6.4运行控制状态下的试验时，当燃烧器进入前吹扫程序时，观察风门处于其调节范围的最大位，目测风机工作状态，记录风机前吹扫时间间隔；当停止燃烧时，测出从火焰熄灭到风机断电之间的时间间隔，此为后吹扫时间的测量值。

每一吹扫时间在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各吹扫时间的实测值。

6.5.12 点火

启动燃烧器，观察是否进入点火程序，记录点火时间。采用火焰模拟输入信号方法测量点火火焰建立安全时间，主火火焰建立安全时间，火焰熄灭安全时间。每一时间在相同条件下测试三次，分别取其算术平均值作为各时间的实测值。

6.5.13 安全联锁和报警

安全联锁和报警试验按以下步骤进行：

a) 在自动控制状态，启动燃烧器，运行至相应程序时，按燃烧器类别分别输入5.5.13.1中所列故障状态的模拟信号，观察燃烧器是否进入锁定状态并发出声、光报警信号。在一种故障状态下发生锁定和报警后，应进行复位、消声和撤除该故障状态模拟信号，再重新启动燃烧器，进行另一个故障状态的试验。结果应符合5.5.13.1的要求。

b) 燃烧器进入锁定状态后，不经复位即启动燃烧器，观察燃烧器能否启动。结果应符合5.5.13.2的要求。

6.5.14 防回火

防回火试验按以下步骤进行：

a) 在燃烧器最低功率条件下，测量通过水冷燃烧头流通间隙的气流速度，取其最小值；

b) 采用标尺测量水冷燃烧头出口特征直径、水冷燃烧头水冷特征长度和水冷头中水冷器管间距尺寸变化；

c) 在燃烧器调节范围内采用压差法测量水冷燃烧头两侧的压降 (ΔP_{st}) 与水冷燃烧头出口到整个燃烧装置出口的压降 (ΔP_1)；

d) 观察燃烧器在调节范围内火焰燃烧情况；

e) 主火焰启动成功后逐渐减少负荷直至熄灭，重复5次未发生回火现象；

f) 主火焰启动成功后逐渐减少空气流量直至熄灭，重复5次未发生回火现象。

6.6 启动条件验证

试验可在冷态条件下进行，断电条件下开启燃烧器开关，接通电源，观察燃烧器是否发生锁定和报警。在燃烧器通电后，输入火焰监测异常、漏气模拟信号，观察燃烧器是否发生锁定和报警。

6.7 燃料流量稳定性

燃料流量稳定性试验按以下步骤进行：

a) 试验一般可在冷态下进行，试验过程中，燃料温度变化应不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，某一工况下燃料压力的波动应不超过 $\pm 10\%$ 。

b) 对燃气流量进行试验时，可将燃气水冷燃烧头装入风机空气动力性能试验装置中，用压缩空气代替燃气，按6.3的方法进行测试。测试结果应换算为 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 状态下每小时的流量数值。

c) 有条件时，也可在燃烧器水冷燃烧头燃料供给管路的适当位置安装流量计进行测量。

d) 对连续调节的燃烧器，至少应测试1/3和2/3两种额定流量工况下的流量；对位式调节的燃烧器，应测试各段火位的流量。相同条件下，每一工况的流量至少测试3次，计算出每两次测量值的差值，取其最大差值作为燃料流量变化量的实测值。

对燃气流量按6.7 b)或c)的规定测试，结果应符合5.7的要求。

6.8 空气流量稳定性

空气流量稳定性试验按以下步骤进行：

- a) 试验一般可在冷态下进行，试验过程中，空气温度变化应不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 对空气流量的试验按6.3的方法进行测试。测试结果应换算为 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 状态下每小时的流量数值。
- c) 有条件时，可在空气供给管路的适当位置安装流量计进行测量。
- d) 对连续调节的燃烧器，至少应测试1/3和2/3两种额定流量工况下的流量；对位式调节的燃烧器，应测试各段火位的流量。相同条件下，每一工况的流量至少测试3次，计算出每两次测量值的差值，取其最大差值作为燃料流量变化量的实测值。

对空气流量按6.8 b)或c)的规定测试，结果应符合5.8的要求。

6.9 预混室与预混度

6.9.1 预混室

预混室测试按以下步骤进行：

- a) 通过几何测量方式确定单个预混室容积；
- b) 根据6.5.3试验预混室气密性；对于安装有保护壳的预混室，测试保护壳外设置的燃气泄漏报警装置；
- c) 在预混室出口采用压力探头测量包括中心和边壁附近不同位置的压力，取最大值和最小值；
- d) 观察预混室出口火焰。

6.9.2 预混度

在预混室同一横截面不同位置，用燃气成分分析仪测试预混气中的燃气成分含量，取不少于三次测量值的算术平均值。预混度按公式(2)计算。

$$\varepsilon = (c_{i, \max} - c_{i, \min}) / c_{\text{avg}} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- ε ——预混度，%；
- $c_{i, \max}$ ——预混室燃气浓度最大测量值，单位为毫克每立方米 (mg/m^3)；
- $c_{i, \min}$ ——预混室燃气浓度最小测量值，单位为毫克每立方米 (mg/m^3)；
- c_{avg} ——预混室各测点燃气浓度测量平均值，单位为毫克每立方米 (mg/m^3)。

6.10 燃烧性能

6.10.1 概述

试验可在试验炉上或用户的燃烧炉上进行。燃气应为燃烧器适用燃气品种中低位热值最小者。试验应在所有工况参数达到要求的条件下进行。

6.10.2 燃烧稳定性

使燃烧器在其负荷调节范围内燃料最小流量下燃烧运行，调节助燃空气至火焰正常，在烟气温度变化不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时，每隔(5~10)min用烟气分析仪测试一次烟气中的 CO_2 含量，共进行不少于3次测试，计算出每两次测试值的差值，取其最大值作为 CO_2 含量变化值的实测值。结果应符合5.10.1的要求。

烟气取样和分析按GB/T 36699-2018中I.18的规定进行。

烟气黑度按HJ/T 398的规定进行。

6.10.3 燃烧充分性

调节助燃空气至燃烧器火焰正常,在其负荷达到额定负荷的80%~100%且烟气温度变化不超过±5℃时,每隔(5~10) min用烟气分析仪测试一次烟气成分,共进行三次的测试,分别取其算术平均值,作为各测试项目的实测值。结果应符合5.10.2的要求。

烟气取样和分析按GB/T36699-2018中I.18的规定进行。CO排放浓度按公式(3)折算为基准氧含量浓度3.5%时的排放浓度。

$$c_{CO} = c'_{CO} \times 1.25 \times \frac{21-O_2}{21-O_2'} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

c_{CO} ——基准氧含量浓度下的CO排放浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3);

c'_{CO} ——实测的CO排放浓度,单位为毫克每立方米(mL/m^3 , ppm);

1.25 ——CO密度,单位为千克每立方米(kg/m^3) ($0^\circ C$, $1.013 \times 10^5 Pa$);

O_2 ——基准氧含量, %;

O_2' ——实测的氧含量, %。

6.10.4 氮氧化物(NO_x)生成量

在进行6.10.3试验时,用烟气分析仪测试烟气中的 NO_x 和氧含量,取不少于三次测量值的算术平均值作为实测值。

烟气取样和分析按GB/T36699-2018中I.18的规定进行。 NO_x 排放浓度按公式(4)折算为基准氧含量浓度为3.5%时的排放浓度。

$$c_{NO_x} = c'_{NO_x} \times 2.05 \times \frac{21-O_2}{21-O_2'} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

c_{NO_x} ——基准氧含量浓度下的 NO_x 排放浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3),以 NO_2 计;

c'_{NO_x} ——实测的 NO_x 排放浓度,单位为毫升每立方米(mL/m^3 , ppm);

2.05 —— NO_2 密度,单位为千克每立方米(kg/m^3) ($0^\circ C$, $1.013 \times 10^5 Pa$);

O_2 ——基准氧含量, %;

O_2' ——实测的氧含量, %。

6.10.5 负荷调节

按照“小火→大火→小火”的调节顺序,使燃烧器进行不少于两个周期(每个周期时间不少于15 min)的连续燃烧运行,观察火焰状态,并按6.7的规定测试负荷调节范围内燃料最大和最小流量,测试次数不少于3次,分别取其算术平均值作为各流量的实测值,由实测值计算出负荷调节比。结果应符合5.10.4要求。

6.10.6 结焦和积炭

在手动控制下使燃烧器点火燃烧后,调节各工况参数,使负荷调节范围内各工况下的火焰达到正常状态后,按照“小火→大火→小火”的顺序调节燃烧负荷,每隔(10~15)min完成一次循环,进行不少于10次的连续循环运行后,停止燃烧,检查各部位结焦和积炭情况。结果应符合5.10.5的要求

6.10.7 燃烧噪声

按GB/T36699-2018中I.19中的试验要求进行。

6.10.8 燃烧器部件表面温度

燃烧器在燃料最大流量状态下连续工作4h，用测温仪测量燃烧器壳体易接触部位温度。

6.11 自振动

试验在燃烧器最大燃烧负荷下进行，用振动速度测试仪测试其振动速度。对于带风机的燃烧器，测试风机电动机定子两端轴承部位垂直、水平和轴向3个方向机壳上的振动速度；对于不带风机的燃烧器，测试壳体上助燃空气入口、出口处的振动速度。取各测量值中的最大值作为振动速度实测值。结果应符合5.11的要求。

6.12 运行可靠性

在手动控制下按照“启动→点火→小火→大火→小火→停止”的操作顺序，连续进行不少于10个周期的运行，每个周期不少于5min，运行中检查各系统有无异常现象发生。若无异常现象，则进行不少于48h的连续燃烧运行，其间小火、中火、大火状态交替变换，在大火状态下累计运行时间不少于4h，试验过程中监视运行状态是否正常，试验结束后检查各系统。结果应符合5.12的要求。

6.13 电气外壳防护等级

按GB/T 4208中的试验要求进行。

6.14 环境适应性

6.14.1 低温

按GB/T 2423.1的规定进行。试验中和试验结束时，测试样机各进行不少于15min的通电运行，燃烧器应能按5.4的规定正常工作，按6.4规定的方法进行试验。

6.14.2 高温

按GB/T 2423.2的规定进行。试验中和试验结束时，测试样机各进行不少于15min的通电运行，燃烧器应能按5.4的规定正常工作，按6.4规定的方法进行试验。

6.14.3 湿度

按GB/T 2423.3的规定进行。试验中和试验结束时，测试样机各进行不少于15min的通电运行，燃烧器应能按5.4的规定正常工作，按6.4规定的方法进行试验。

6.14.4 海拔高度

试验可以在符合要求的模拟环境中进行。在0m、2000m和4000m的对应模拟环境下，试验中和试验结束时，测试样机各进行不少于15min的通电运行，燃烧器应能按5.4的规定正常工作，按6.4规定的方法进行试验。

6.14.5 电源

调节三相调压器和变频机组，使燃烧器的电源参数按表7规定变化，每种状态运行15min，按6.4规定的方法进行试验。

表7 交流电源参数变化组合

组别号	电压变化 (% U_n)	频率变化 (% f_n)
1	+6	+5

2	+6	-5
3	-10	-5
U _n 、f _n 分别为燃烧器电源的额定电压和额定频率。		

7 检验规则

7.1 检验分类

分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 出厂检验项目按表 8 进行。

7.2.2 每台产品出厂前均应进行出厂检验。

7.2.3 在规定的检验项目中,若有任何一项不符合要求,允许在采取措施后对不符合项重新进行检验。若重新进行检验时该项目仍不符合要求,则该台产品不合格。

表8 出厂检验项目

序号	检验项目	要求章条号	检验方法章条号
1	外观和组成	5.2	6.2
2	运行控制	5.4	6.4
3	安全连锁和报警	5.5.13	6.5.13
4	燃气管道密封性	5.5.2	6.5.2
5	燃烧器密封性	5.5.3	6.5.3
6	水冷系统与水冷燃烧头	5.5.9	6.5.9
7	介电强度和绝缘电阻	5.5.10	6.5.10
8	防回火	5.5.14 b)c)d)e)	6.5.14 b)c)d)e)
9	技术文件与标识	8	8
10	包装	9	9

7.3 型式检验

7.3.1 凡有下列情况之一者,应进行型式检验:

- a) 新产品试制定型鉴定;
- b) 转厂生产的首制产品;
- c) 产品结构、材料或工艺有较大改变,且可能影响产品性能。

7.3.2 型式检验项目按表 9 进行。

7.3.3 型式检验的样机为 1 台。

7.3.4 在规定的检验项目中若有任何一项不符合要求,则在采取措施后对不符合项重新进行检验。若重新检验时该项目仍不符合要求,则加倍取样检验。若加倍取样检验该项目仍不符合要求,则判型式检验不合格。

表9 型式检验项目

序号	检验项目	要求章条号	检验方法章条号
1	外观和组成	5.2	6.2
2	空气动力性能	5.3	6.3
3	运行控制	5.4	6.4
4	安全保护	5.5	6.5
5	启动条件验证	5.6	6.6
6	燃料流量稳定性	5.7	6.7
7	空气流量稳定性	5.8	6.8
8	预混室与预混度	5.9	6.9
9	燃烧性能	5.10	6.10
10	自振动	5.11	6.11
11	运行可靠性	5.12	6.12
12	电器外壳防护等级	5.13	6.13
13	环境适应性	5.14	6.14
14	技术文件与标识	8	8
15	包装、运输和贮存	9	9

8 技术文件与标识

按GB/T 36699-2018中11的规定执行。

9 包装、运输和贮存

按GB/T 36699-2018中12的规定执行。

附录 A
(资料性)
水冷预混低氮燃烧器基本配置简图

A.1 管内水冷预混低氮燃烧器基本配置见图 A.1。

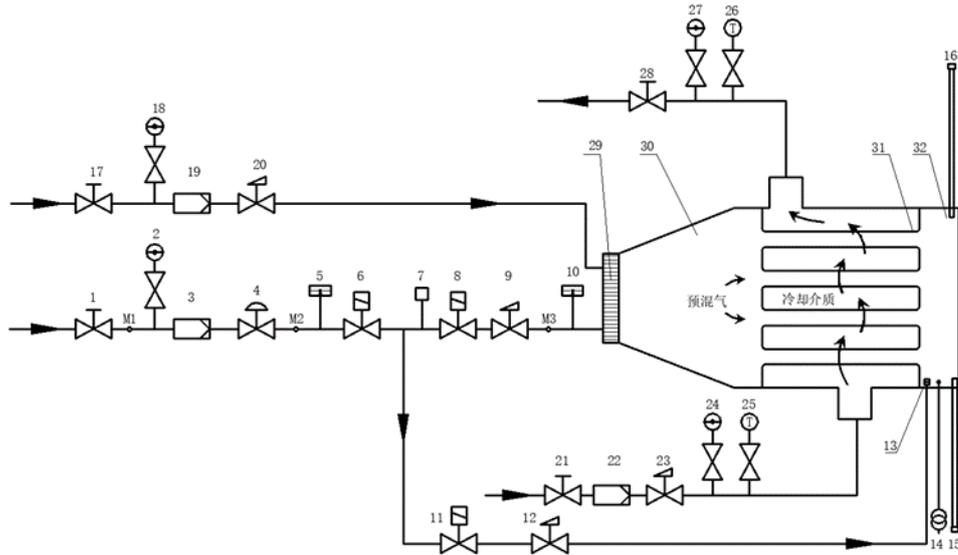


图 A.1 管内水冷预混低氮燃烧器基本配置简图

标引序号说明:

- | | | |
|----------------------|----------------|----------------|
| 1-燃气手动快速切断阀 | 2-燃气压力监测装置 | 3-燃气过滤装置 |
| 4-燃气压力调节装置 | 5-燃气低压保护装置 | 6-第一安全切断阀 |
| 7-自动检漏装置 | 8-第二安全切断阀 | 9-燃气流量调节装置 |
| 10-燃气高压保护装置(未安装序号4时) | 11-点火安全切断阀 | 12-点火燃气流量调节装置 |
| 13-点火燃烧器喷嘴 | 14-点火装置 | 15-点火火焰监测装置 |
| 16-主火焰监测装置 | 17-空气阀组 | 18-空气压力监测装置 |
| 19-空气过滤装置 | 20-空气流量调节阀 | 21-冷却水进口开关阀 |
| 22-冷却水过滤装置 | 23-冷却水调节阀 | 24-冷却水进口压力监测装置 |
| 25-冷却水进口温度监测装置 | 26-冷却水出口温度监测装置 | 27-冷却水出口压力监测装置 |
| 28-冷却水出口开关阀 | 29-均流装置 | 30-预混室/等压室 |
| 31-水冷燃烧头 | 32-燃烧室 | |
| M1-第一测压点 | M2-第二测压点 | M3-第三测压点 |

A.2 壳侧水冷预混低氮燃烧器基本配置见图 A.2。

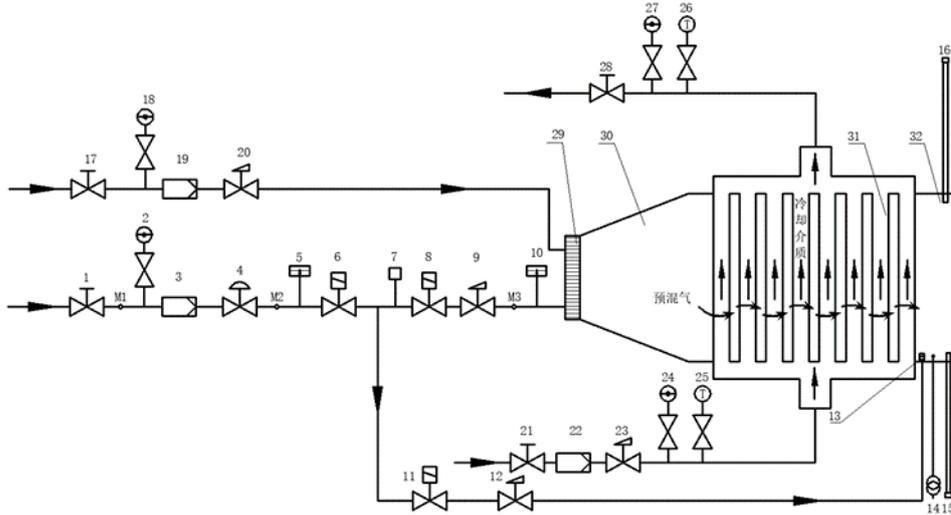


图 A.2 壳侧水冷预混低氮燃烧器基本配置简图

标引序号说明：

- | | | |
|----------------------|----------------|----------------|
| 1-燃气手动快速切断阀 | 2-燃气压力监测装置 | 3-燃气过滤装置 |
| 4-燃气压力调节装置 | 5-燃气低压保护装置 | 6-第一安全切断阀 |
| 7-自动检漏装置 | 8-第二安全切断阀 | 9-燃气流量调节装置 |
| 10-燃气高压保护装置(未安装序号4时) | 11-点火安全切断阀 | 12-点火燃气流量调节装置 |
| 13-点火燃烧器喷嘴 | 14-点火装置 | 15-点火火焰监测装置 |
| 16-主火焰监测装置 | 17-空气阀组 | 18-空气压力监测装置 |
| 19-空气过滤装置 | 20-空气流量调节阀 | 21-冷却水进口开关阀 |
| 22-冷却水过滤装置 | 23-冷却水调节阀 | 24-冷却水进口压力监测装置 |
| 25-冷却水进口温度监测装置 | 26-冷却水出口温度监测装置 | 27-冷却水出口压力监测装置 |
| 28-冷却水出口开关阀 | 29-均流装置 | 30-预混室/等压室 |
| 31-水冷燃烧头 | 32-燃烧室 | |
| M1-第一测压点 | M2-第二测压点 | M3-第三测压点 |