

ICS 27.060

J 98

备案号：50040-2015

DL

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 831 — 2015

代替 DL/T 831 — 2002

## 大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则

Guide on selection of furnace characteristic parameters for  
large pulverized coal fired boilers

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局 发布



目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 设备选型程序及炉膛选型的煤质特性分析 ..... 8

5 燃烧方式的选择 ..... 10

6 切向燃烧炉膛选型 ..... 10

7 墙式燃烧炉膛选型 ..... 14

8 双拱燃烧炉膛选型 ..... 16

9 炉膛选型设计的其他共性条款 ..... 18

附录 A（资料性附录） 煤灰结渣特性的初级判别 ..... 20

附录 B（资料性附录） 高原地区炉膛特征参数修正方法 ..... 23

# 前 言

- 本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。
- 本标准代替 DL/T 831—2002《大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则》。与 DL/T 831—2002 相比，本标准主要做了下列修订：
- 修改了范围描述内容。
  - 删除了规范性引用文件中的“GB/T 1920 标准大气（30 公里以下部分）”“GB/T 2900.48 电工名词术语 固定式锅炉”“GB/T 7560 煤中矿物质的测定方法（neq ISO 602）”“GB/T 10184 电站锅炉性能试验规程”“GB 13223—1996 火电厂大气污染物排放标准”“DL/T 5000 火力发电厂设计技术规范”“DL/T 5145 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定”“DL/T 567.2 火力发电厂燃料试验方法 入炉煤和入炉煤粉样品的采取方法”“DL/T 567.3 火力发电厂燃料试验方法 飞灰和炉渣样品的采集”“DL/T 567.4 火力发电厂燃料试验方法 入炉煤、入炉煤粉、飞灰和炉渣样品的制备”“DL/T 567.5 火力发电厂燃料试验方法 煤粉细度的测定”“DL/T 567.6 火力发电厂燃料试验方法 飞灰和炉渣可燃物测定方法”。
  - 规范性引用文件中增加了“DL/T 1106 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法”，增加了“DL/T 1446 煤粉气流着火温度的测定方法”。
  - 将规范性引用文件中的“GB/T 476 煤的元素分析方法”更改为“DL/T 568 燃料元素的快速分析方法”。
  - 增加了设计煤质、校核煤质、煤质特性、煤粉气流着火温度、燃尽高度等名词术语（见 3.1、3.2、3.3、3.4、3.21）。
  - 删除了煤粉燃烧方式、煤粉燃烧锅炉、飞灰和炉渣、固态排渣炉和液态排渣炉、直吹式制粉系统、贮仓式制粉系统、锅炉额定出力、锅炉最大连续出力、锅炉最低稳燃负荷、灰渣含碳热损失、炉膛排出氮氧化物（NO<sub>x</sub>）浓度、煤粉细度、煤粉的着火特性、煤粉气流着火温度、较易着火煤、较难着火煤、中等着火煤、煤粉的燃尽特性、煤灰的结渣特性、炉膛结渣倾向（见 DL/T 831—2002 中 3.1、3.2、3.5、3.6、3.10、3.11、3.17、3.18、3.25、3.26、3.27、3.28、3.29、3.30、3.31、3.32、3.33、3.34、3.35、3.36）。
  - 将 DL/T 831—2002 中第 4 章标题“煤质特性”更改为“设备选型程序及炉膛选型的煤质特性分析”。
  - 删除了 DL/T 831—2002 中 4.1 的通则。
  - 增加了确定设计煤种，煤的采样、制备和试验数据处理，对特殊煤种需进行的检测（见 4.1、4.2、4.4.2）。
  - 删除了 DL/T 831—2002 中 5.1 通则及相应的 5.1.1、5.1.2 和 5.1.3 的内容。
  - 修改了 300、600MW 锅炉的切向、旋流燃烧方式和高水分褐煤锅炉的炉膛特征参数推荐值，同时增加 1000MW 机组锅炉的炉膛特征参数推荐值，并针对 Π 型和塔式不同的炉膛布置方式分别进行了推荐；修改双拱燃烧方式 300MW 锅炉的炉膛特征参数推荐值，同时增加 600MW 锅炉的炉膛特征参数推荐值（见表 3、表 4、表 8、表 10）。
  - 修改了配直吹式制粉系统的切向燃烧、墙式燃烧、双拱燃烧锅炉配风参数及一、二次风温的选取；修改 300MW 级配贮仓式制粉系统的切向燃烧锅炉配风参数（见表 6、表 7、表 9、表 12、表 13），其中切向燃烧和墙式燃烧配直吹式制粉系统的还增加了 1000MW 机组的参数，表 12 中还增加了双旋风带消旋器的燃烧器配风参数。

- 增加了强化着火措施对热负荷参数的影响（见 6.2.3）。
- 表 4 中增加了  $q_m$ （BMCR）上限值的推荐。
- 删除了 DL/T 831—2002 中 7.1 的通则及相应的 7.1.1 和 7.1.2 的内容。
- 增加了 8.4.10 布置分离燃尽风降低  $\text{NO}_x$  的相关信息。
- 删除了 DL/T 831—2002 9.2 中烟气能量不平衡的相关资料，删除 9.3 和 9.4 的内容，删除 9.7 中有关卫燃带的资料。
- 删除了 DL/T 831—2002 第 10 章中有关炉膛燃烧效果参数值选取的相关内容。
- 修改了炉膛、煤粉燃烧器、墙式燃烧、拱式燃烧、炉膛轮廓尺寸、炉膛特征参数、炉膛容积放热强度、炉膛断面放热强度、燃烧器区壁面放热强度、燃尽区容积放热强度、煤粉气流着火特性的判别、煤粉燃尽特性的判别、严重结渣性煤种燃烧方式选择的技术要求、关于非单一煤种燃烧方式的选取要求、高原地区炉膛特征参数修正方法中相关的描述性文字（见 3.5、3.6、3.8、3.9、3.10、3.16、3.17、3.18、3.19、3.20、4.6、4.8、5.2、5.3、附录 B）。
- 对示例中的热负荷参数选取进行了修改（见 6.3、7.2）。
- 删除了煤粉—空气混合物射流着火温度（IT）测试方法（DL/T 831—2002 中资料性附录 A）。
- 删除了煤粉燃烧结渣特性和燃尽率的测试评价方法（一维火焰试验炉法）（DL/T 831—2002 中资料性附录 B）。
- 删除了煤质分析数据的核查检验方法（DL/T 831—2002 中资料性附录 C）。
- 删除了煤粉气流着火温度（IT）和一维火焰试验炉平均燃尽率（ $B_p$ ）与挥发分（ $V_{daf}$ ）的实测关系；着火稳定性指数（ $R_w$ ）与 IT 的相关性（DL/T 831—2002 中资料性附录 D）。
- 删除了煤的结渣特性初级判据（DL/T 831—2002 中资料性附录 E）。
- 增加了资料性附录“煤灰结渣特性的初级判别”（见附录 A）。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站锅炉标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司。

本标准主要起草人：姚伟、刘家利、王桂芳、蒙毅、张喜来。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。





# 大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则

## 1 范围

本标准规定了大容量固态排渣煤粉锅炉根据设计煤质选择燃烧方式及选取炉膛特征参数的主要准则和有关限值，也对炉膛及燃烧器的设计提出了要求。

本标准适用于最大连续蒸发量为 1000t/h~3000t/h 等级的大容量锅炉。

## 2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅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/T 211 煤中全水分的测定方法
- GB/T 212 煤的工业分析方法
- GB/T 213 煤的发热量测定方法
- GB/T 214 煤中全硫的测定方法
- GB/T 219 煤灰熔融性的测定方法
- GB 474 煤样的制备方法
- GB 475 商品煤样人工采取方法
- GB/T 1574 煤灰成分分析方法
- GB/T 3715 煤质及煤分析有关术语
- GB/T 5751 中国煤炭分类
- GB/T 5762 发电煤粉锅炉用煤技术条件
- DL/T 568 燃料元素的快速分析方法
- DL/T 660 煤灰高温黏度特性试验方法
- DL/T 1106 煤粉燃烧结渣特性和燃尽率一维火焰炉测试方法
- DL/T 1446 煤粉气流着火温度的测定方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准

### 3.1

**设计煤质 design coal property**

新建、扩建火力发电厂在锅炉设计中规定燃用的煤质，即机组投运后主要燃用的煤质。在燃用设计煤质的条件下，锅炉制造厂商应当保证锅炉的最大连续蒸发量、蒸汽参数、热效率和锅炉炉膛出口烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放值。

### 3.2

**校核煤质 check coal property**

新建、扩建火力发电厂在锅炉设计中用于校核计算的煤质。在校核煤质的条件下，锅炉制造厂商仅保证锅炉的最大连续蒸发量和蒸汽参数。

### 3.3

**煤质特性 coal property characteristics**

煤的燃烧、结渣、沾污和磨损等物理化学性质的总称。通常包括煤的组成成分、发热量、可磨性与磨损性、煤灰成分、灰熔融与结渣沾污特性、煤的着火燃烧与燃尽特性等。

3.4

煤粉气流着火温度 **ignition temperature of pulverized coal-air flow**

在试验装置规范条件下实测的煤粉空气混合气流开始着火并达到稳定燃烧时的温度。

3.5

炉膛 **furnace**

燃料及空气发生连续燃烧反应直至燃尽的有限空间（密闭而只有燃料及空气入口、烟气出口及排渣口与外界相通）。现代电站锅炉炉膛形状多呈高大的立方体，由蒸发受热面管子（部分可能是过热器或再热器管子）组成的气密性炉壁构成。

3.6

煤粉燃烧器 **pulverized-coal burner**

将煤粉制备系统供来的煤粉/空气混合物（一次风）和燃烧所需的二次风分别以一定的配比、温度和速度通过特定的喷口射入炉膛，在悬浮状态下实现稳定着火燃烧的装置。

3.7

切向燃烧 **tangential firing**

采用直流燃烧器，并且燃烧器水平布置在炉膛四角或四周，煤粉气流在炉内形成旋转切圆的一种燃烧方式，如图 1 a) 所示。包括四角切圆、四角墙式切圆、八角双切圆、八角（六角）单切圆等。

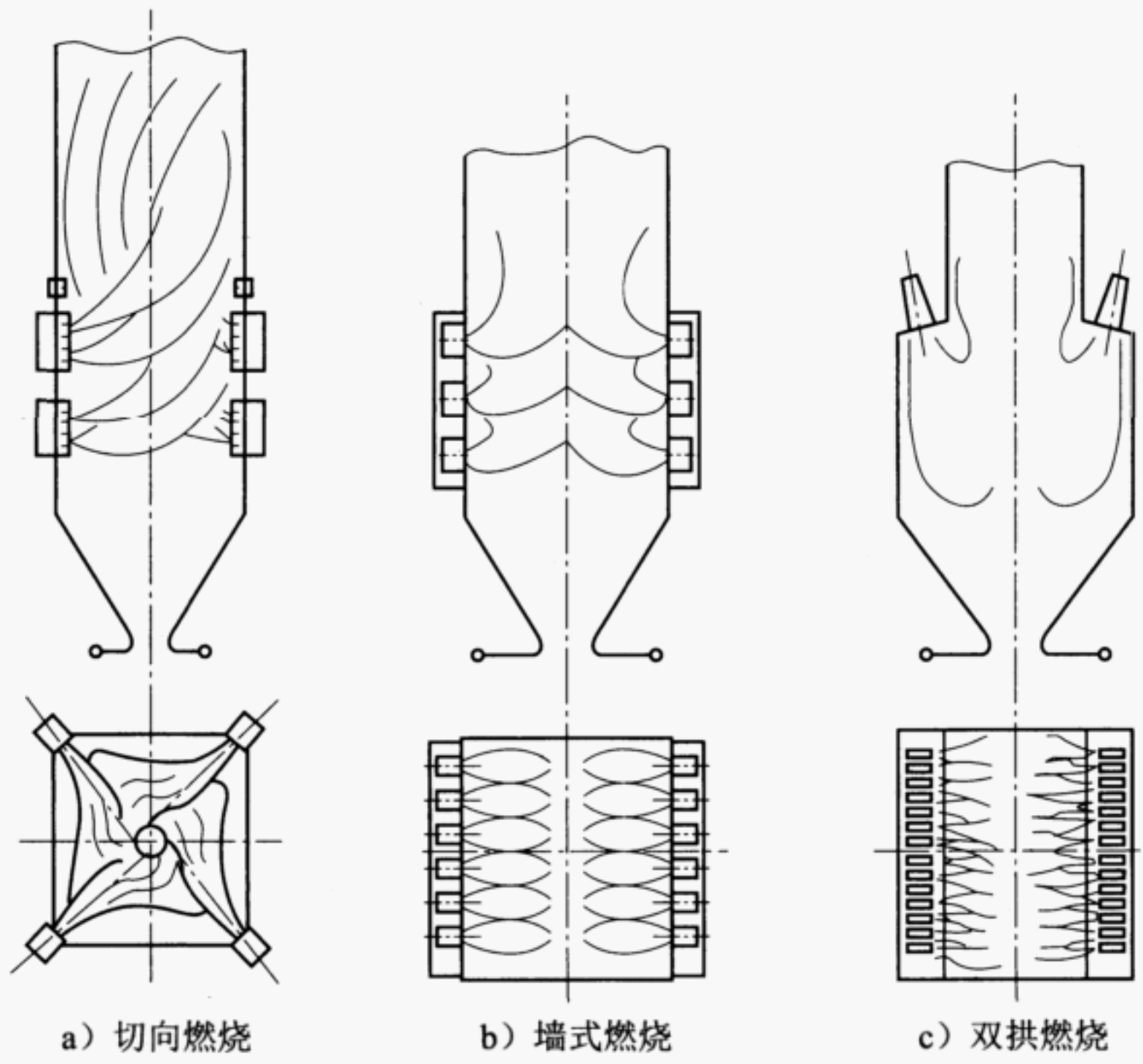


图 1 三种常用的煤粉燃烧方式示意图

3.8

墙式燃烧 **wall firing**

采用旋流燃烧器，并且燃烧器水平布置在炉膛前后墙壁上的燃烧方式，如图 1 b) 所示。

3.9

拱式燃烧 **arch firing**



燃烧器成排布置在炉膛前墙、后墙的炉拱上，在炉内形成 U 形或 W 形火焰的一种燃烧方式，又称双拱燃烧（double-arch firing）或 W 火焰燃烧（W-flame firing），如图 1 c）所示。

3.10

炉膛轮廓尺寸 furnace configuration dimensions

表征炉膛轮廓几何结构及燃烧器布置的特征尺寸，应按炉膛四周水冷壁中心线计量，如图 2 所示（分  $\Pi$  形布置的锅炉和塔式布置的锅炉）。图中所示主要轮廓尺寸说明如下：

- $H$ ——炉膛高度，对  $\Pi$  形炉为从炉底排渣喉口至炉膛顶棚管中心线的距离，对塔式炉为从炉底排渣喉口至炉膛出口水平烟窗的距离。
- $W$ ——炉膛宽度，左右侧墙水冷壁管中心线间距离。
- $D$ ——炉膛深度，前后墙水冷壁管中心线间距离。
- $H_L$ ——（双拱燃烧）下炉膛高度，从炉底排渣喉口至拱顶上折点垂直距离。
- $H_U$ ——（双拱燃烧）上炉膛高度，从拱顶上折点至炉膛顶棚管中心线垂直距离。
- $D_L$ ——（双拱燃烧）下炉膛深度。
- $D_U$ ——（双拱燃烧）上炉膛深度。
- $h_1$ ——燃尽区高度，对  $\Pi$  形炉为最上层燃烧器一次风煤粉喷口中心线至屏底的垂直距离，见图 2 a)；对于双拱燃烧炉膛可取为拱顶上折点至折焰角尖端的垂直距离，见图 2 b)；对于塔式炉则为最上层一次风喷口或乏气喷口至炉内水平管束最下层管中心线的垂直距离，见图 2 c)。
- $h_2$ ——燃烧器最上层煤粉喷口与最下层煤粉喷口中心线之间的垂直距离。
- $h_3$ ——燃烧器最下层煤粉喷口中心线与冷灰斗上折点的垂直距离，双拱燃烧炉膛为拱顶上折点至冷灰斗上折点的垂直距离。
- $h_4$ ——（ $\Pi$  形炉）折焰角尖端（如有直段，则为其上折点）至顶棚管中心线的垂直距离。
- $h_5$ ——冷灰斗高度，即排渣喉口至冷灰斗上折点的垂直距离。
- $d_1$ ——折焰角深度，即  $\Pi$  形炉折焰角尖端至后墙水冷壁中心线的水平距离。
- $d_2$ ——排渣喉口净深度。
- $b$ ——炉膛横断面上炉墙切角形成的小直角边尺寸，见图 2 b)。
- $\alpha$ ——折焰角下倾角。
- $\beta$ ——冷灰斗斜坡与水平面的夹角。

3.11

炉膛有效容积 effective furnace volume

$V$

按炉膛轮廓尺寸及下列 4 项原则计算出的炉膛容积。

(1) 对于  $\Pi$  形布置的锅炉，炉膛出口烟窗（断面）一般规定在炉膛后墙折焰角尖端垂直向上直至顶棚管形成的假想平面，如图 2 a) 及图 2 b) 所示。布置在上述假想平面以内（即炉膛侧）的屏式受热面的屏板净间距平均值应大于或等于 457mm；如小于 457mm，则该屏区应从炉膛有效容积中剔除。例如，布置在上述假想平面前的屏（一般称为后屏）平均净间距小于 457mm，则此时炉膛出口烟窗相应移到该屏区之前，如图 3 所示。

若在上述假想平面后的屏式受热面屏板净间距平均大于或等于 457mm，此时炉膛出口烟窗可以沿烟流方向后移到出现管子横向净间距平均小于 457mm 的断面，但最远不得超过炉膛后墙水冷壁管中心线向上延伸形成的断面，如图 4 所示。

(2) 对于塔式布置的锅炉，炉膛出口烟窗为沿烟气行程遇到的受热面水平方向管间净距离平均小于 457mm 的第一排管子中心线构成的水平假想平面，如图 2 c) 所示。

(3) 炉膛底部冷灰斗区有效容积只计上半高度，冷灰斗的下半高度区域被认为是对燃烧无用的呆滞区（但有助于降低炉渣温度），如图 2 所示。

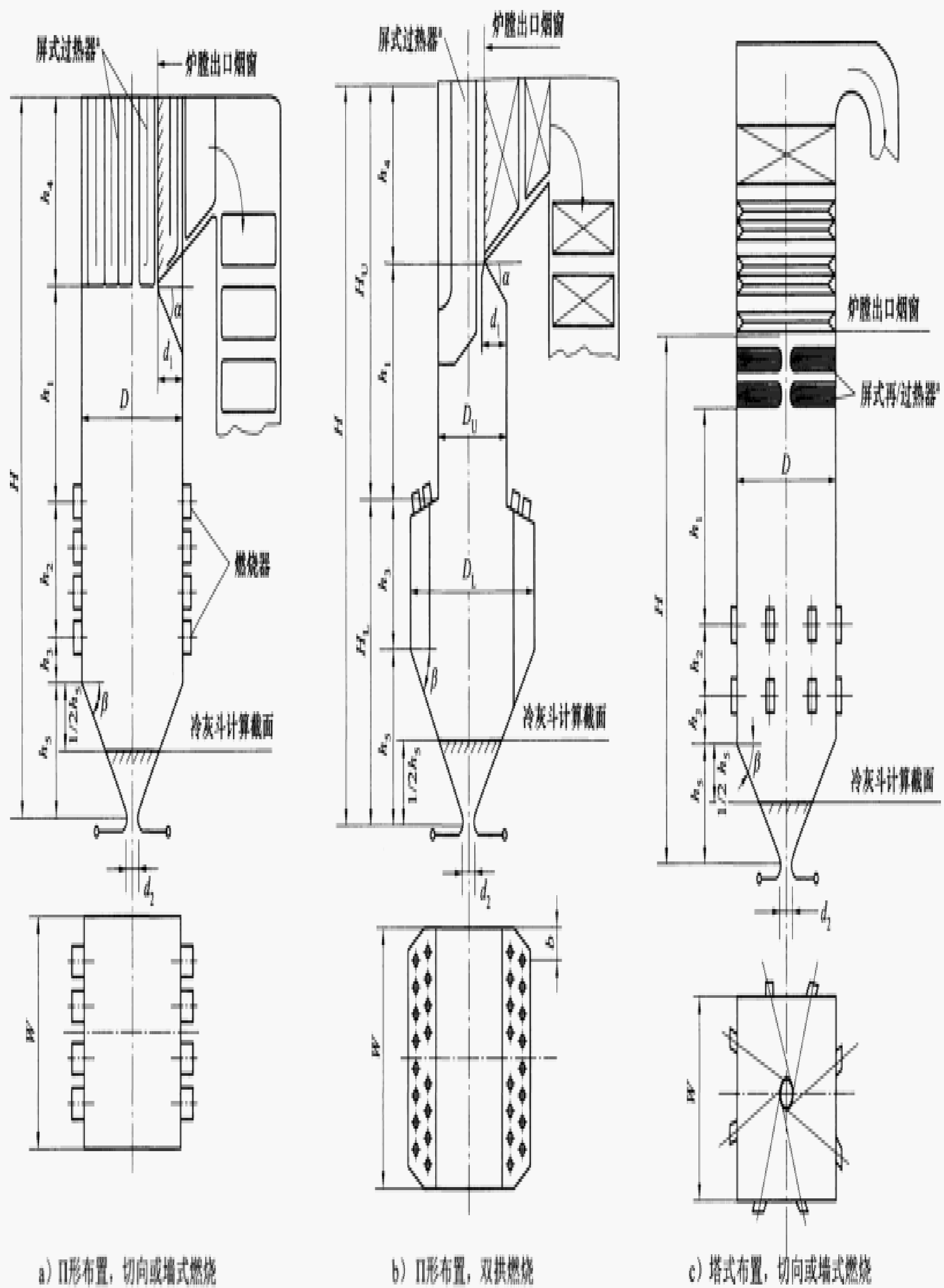


图2 锅炉炉膛轮廓尺寸示意图

<sup>a</sup> 炉膛范围内的屏式受热面, 各屏板间的水平净距离应大于457mm。

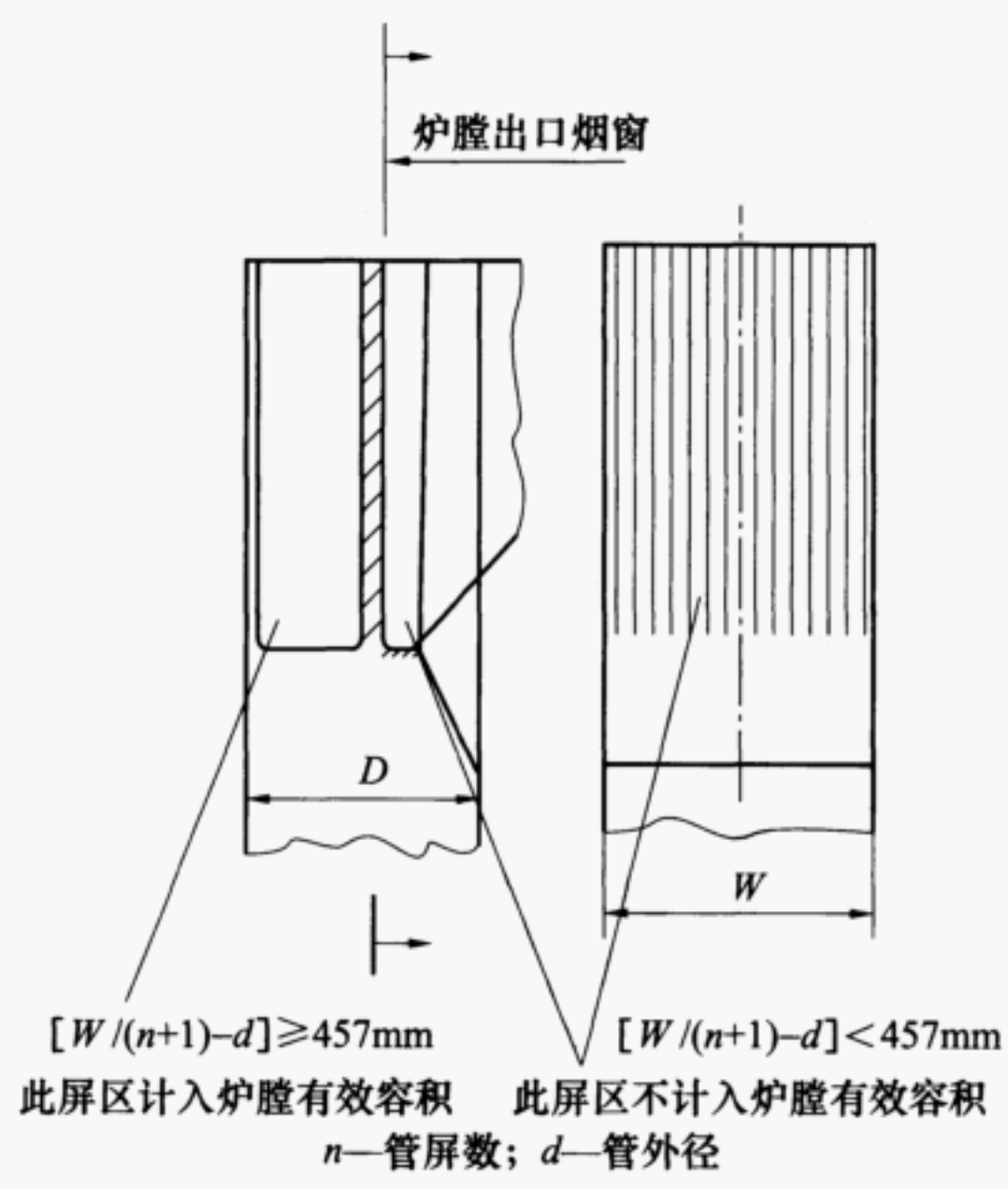


图 3 炉膛出口烟窗因后屏净间距离过小而前移示例

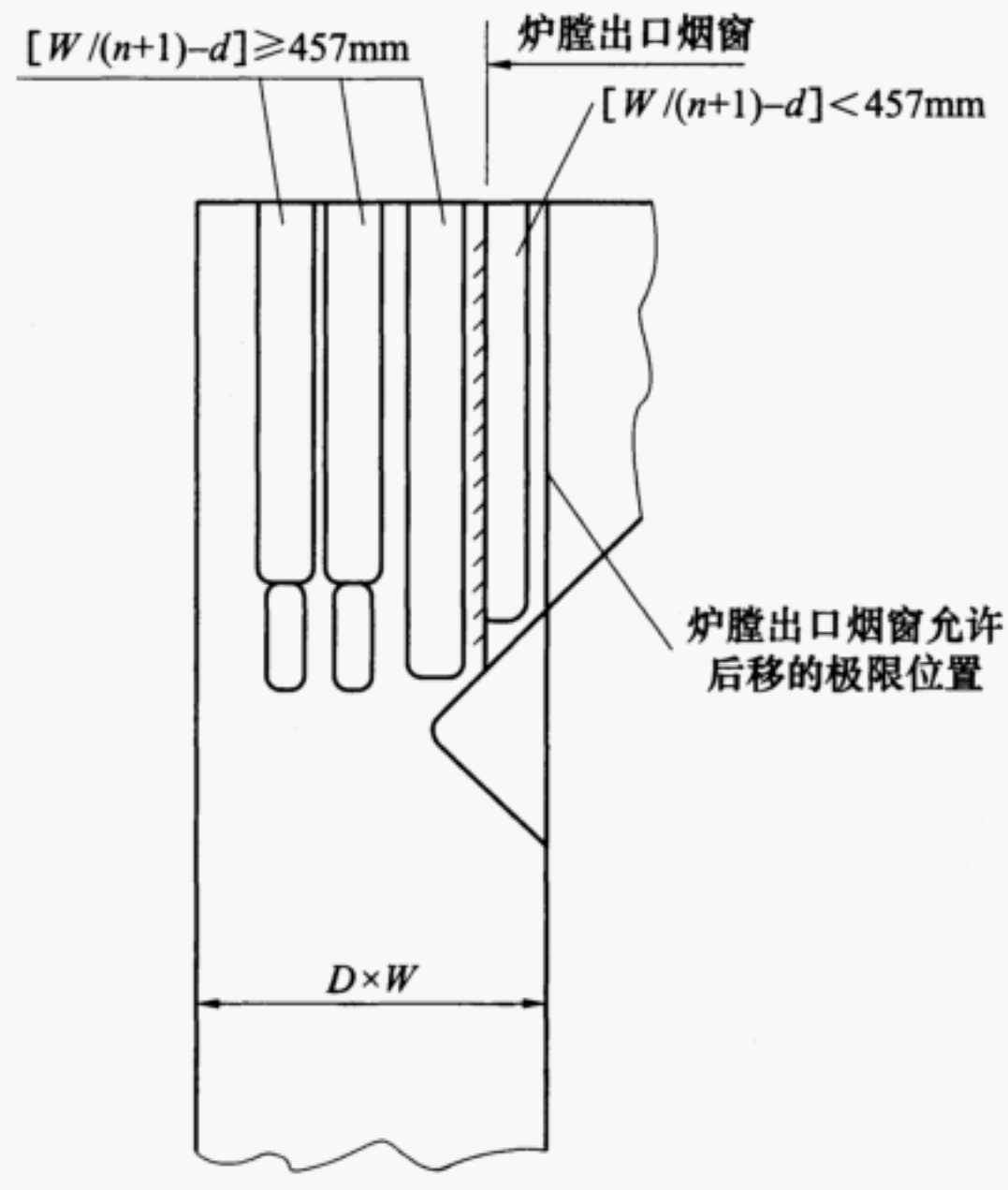


图 4 炉膛出口烟窗允许后移示例

(4) 炉膛的四角设计有较大的切角（切角三角形的小边长  $b \geq \sqrt{W \times D} / 10$ ）时，如图 2 b) 所示，其炉膛有效容积应按切角壁面包裹的实际体积计算。

3.12

炉膛断面面积 furnace cross-section area

$F_C$

特指炉膛空间在燃烧器区的横截面面积。

$$F_C = W \times D \tag{1}$$

式中：

$F_C$ ——炉膛断面面积， $m^2$ ；

$W$ 、 $D$ ——含义见 3.10， $m$ 。

对拱式燃烧炉膛， $D = D_L$ 。

炉膛四角设计有较大的切角（切角三角形的小边长  $b \geq \sqrt{W \times D} / 10$ ）时，式（1）应扣除切角面积。

3.13

燃烧器区炉壁面积 furnace wall area around the burner zone

$F_B$

燃烧器区（即假想的燃烧中心区）四周炉膛辐射吸热壁面面积。

$$F_B = 2(W + D) \times (h_2 + 3) \tag{2}$$

式中：

$F_B$ ——燃烧器区炉壁面积， $m^2$ ；

$W$ 、 $D$ 、 $h_2$ ——含义见 3.10， $m$ 。

式（2）中  $(h_2 + 3)$  表示燃烧器区高度较  $h_2$  增加 3m。燃烧器区炉膛四角设计有较大的切角（切角三角形的小边长  $b \geq \sqrt{W \times D} / 10$ ）时，式（2）中的“ $2(W + D)$ ”项应按实际炉膛横断面周长计。

燃烧器区水冷壁表面如局部敷有卫燃带，式（2）计算视同未敷。

双拱燃烧炉膛不计算  $F_B$ 。

3.14

炉膛燃尽区容积 **furnace burn-out zone volume**

$V_m$   
相应于燃尽高度  $h_1$  范围内的炉膛容积。

$$V_m = W \times D \times h_1 \text{ (切向及墙式燃烧)} \tag{3}$$

或

$$V_m = W \times D_U \times h_1 \text{ (双拱燃烧)} \tag{4}$$

式中：

$V_m$  —— 燃尽区炉膛计算容积， $m^3$ ；  
 $W$ 、 $D$ 、 $D_U$ 、 $h_1$  —— 含义见 3.10， $m$ 。  
炉膛折焰角占据的容积不扣除。

3.15

锅炉输入热功率 **boiler heat input**

锅炉设计计算燃煤量与设计燃煤收到基低位发热量的乘积，即：

$$P = B(1 - q_4/100) \times Q_{\text{net,v,ar}} \tag{5}$$

式中：

$P$  —— 锅炉输入热功率， $MW$ ；  
 $B$  —— 锅炉设计燃煤量， $kg/s$ ；  
 $q_4$  —— 固体未完全燃烧热损失， $\%$ ；  
 $Q_{\text{net,v,ar}}$  —— 设计燃煤收到基低位发热量， $MJ/kg$ 。

锅炉选型应按锅炉最大连续出力（BMCR）工况计算，特殊情况下按锅炉额定出力（BRL）工况计算时，应注明“ $P$ （BRL）”。

3.16

炉膛特征参数 **furnace characteristic parameters**

根据锅炉输入热功率及炉膛轮廓尺寸计算确定的一组特征参数，简称炉膛特征参数，见表 1。

表 1 煤粉燃烧炉膛特征参数

炉膛特征参数	切向燃烧；墙式燃烧	双拱燃烧
炉膛容积放热强度 $q_v$ （BMCR） kW/m <sup>3</sup>	√	√
下炉膛容积放热强度 $q_{v,L}$ （BMCR） <sup>a</sup> kW/m <sup>3</sup>		√
炉膛断面放热强度 $q_F$ （BMCR） MW/m <sup>2</sup>	√	√
燃烧器区壁面放热强度 $q_B$ （BMCR） MW/m <sup>2</sup>	√	
燃尽区容积放热强度 $q_m$ （BMCR） kW/m <sup>3</sup>	√	√
燃尽高度 $h_1$ <sup>b</sup> m	√	
<sup>a</sup> 或代之以炉膛容积放热强度 $q_v$ 与 $q_{v,L}$ 之比，即 $q_v/q_{v,L}$ 。 <sup>b</sup> 可与 $q_m$ 任选其一，两者关系式为： $h_1 = q_F/q_m$ 。		



表 1 内 5 项放热强度参数本标准取值皆用 BMCR 工况，特殊情况下也可用锅炉额定出力工况值代替，此时它们的表示符号应用（BRL）代替（BMCR）。

3.17

炉膛容积放热强度    **furnace volume heat release rate**

炉膛容积热负荷

$q_v$

锅炉输入热功率（ $P$ ）与炉膛有效容积（ $V$ ）的比值。

$$q_v=(P/V)\times 10^3 \tag{6}$$

式中：

$q_v$ ——炉膛容积放热强度，kW/m<sup>3</sup>。

对双拱燃烧炉膛，还采用下炉膛容积放热强度  $q_{v,L}$  作为辅助特征参数，其计算式为：

$$q_{v,L}=(P/V_L)\times 10^3 \tag{7}$$

式中：

$q_{v,L}$ ——下炉膛容积放热强度，kW/m<sup>3</sup>；

$V_L$ ——双拱燃烧锅炉下炉膛的有效容积，相应于图 2 b）中（ $H_L-0.5h_5$ ）高度范围内的炉膛容积，m<sup>3</sup>。

3.18

炉膛断面放热强度    **furnace cross-section heat release rate; furnace plan heat release rate**

炉膛断面热负荷

$q_F$

锅炉输入热功率与炉膛燃烧器区横断面积的比值。

$$q_F=P/F_C \tag{8}$$

式中：

$q_F$ ——炉膛断面放热强度，MW/m<sup>2</sup>。

3.19

燃烧器区壁面放热强度    **burner zone wall heat release rate**

燃烧器区壁面热负荷

$q_B$

锅炉输入热功率（ $P$ ）与燃烧器区炉壁面积（ $F_B$ ）的比值。

$$q_B=(P/F_B) \tag{9}$$

式中：

$q_B$ ——燃烧器区壁面放热强度，MW/m<sup>2</sup>。

双拱燃烧炉膛不计算  $q_B$ 。

3.20

燃尽区容积放热强度    **furnace burn-out zone volume heat release rate**

燃尽区容积热负荷

$q_m$

锅炉输入热功率（ $P$ ）与燃尽区炉膛容积（ $V_m$ ）的比值。

$$q_m=(P/V_m)\times 10^3 \tag{10}$$

式中：

$q_m$ ——燃尽区容积放热强度，kW/m<sup>3</sup>。



$q_m$  的物理意义是它基本反映了最上层喷口喷出的煤粉在炉内的最短可能停留时间  $\tau$ 。 $q_m$  越小，停留时间越长，该层煤粉射流的燃尽越可得到保证，也有利于降低屏区入口局部烟温，避免沾污结渣倾向。

3.21

燃尽高度 furnace burn-out height

$h_1$

具体不同炉型的  $h_1$  定义参见 3.10，它表征上层喷口的煤粉在炉内的最短可能停留时间，而燃尽区放热强度  $q_m$  是考虑了炉膛断面因素的影响，可以较准确地反映出最上层喷口的煤粉在炉内最短可能停留时间的另外一种方式。两者的换算关系是：

$$h_1 = q_F/q_m \text{ 或 } q_m = q_F/h_1 \tag{11}$$

确定  $h_1$ （或燃尽区放热强度  $q_m$ 、煤粉在炉内的停留时间  $\tau$ ）是为了保证煤粉的燃尽，并使炉膛出口烟温降低到适宜的程度，防止炉膛出口处结渣。

4 设备选型程序及炉膛选型的煤质特性分析

4.1 确定设计煤种

4.1.1 设计煤种应是煤源稳定，能和校核煤种大量长期保证供应的主要煤种。在某些情况下可能要经常燃用的煤可作为校核煤种（必要时可选定两个甚至三个校核煤种）。设计煤种和校核煤种不应有较大的跨度，如无烟煤与烟煤、褐煤，贫煤与褐煤。设计煤种和校核煤种主要常规分析化验项目的范围宜包含在表 2 的范围内。

4.1.2 设计煤种和校核煤种可为单一煤种，也可为混合煤。

4.1.3 燃用混合煤时，应先根据煤源供给状况，确定不同煤的混合比例，取该配比的混合煤作为设计煤种。

4.1.4 对已确定的设计煤种和校核煤种进行煤质特性分析和综合评价，主要内容为着火及燃烧稳定性、燃尽特性、结渣特性、煤灰沾污特性、煤灰磨损特性等（评价方法见附录 A）。

4.1.5 根据已确定的设计煤种和校核煤种，对燃用相近煤质已运行的同类锅炉机组进行调研，以供锅炉燃烧设备选型时参考。

4.1.6 根据已确定的设计煤种和校核煤种，对以下各方面（由业主或委托有资质的单位）进行技术经济比较，并作出选择：

- a) 燃烧方式及相应的燃烧设备，如炉膛、磨煤机等；
- b) 锅炉运行的经济性和可靠性；
- c) 负荷调节的范围；
- d) 灰渣和烟气的排放性状；
- e) 受热面高、低温腐蚀评估；
- f) 环境保护。

4.2 煤的采样、制备和试验数据处理

对设计煤种和校核煤种的采样、分析以及试验数据处理工作，应按 GB 474、GB 475 以及表 2 中的相关标准进行。

4.3 煤质分析数据的检验

4.3.1 应对煤质分析数据作必要的检查及相关验证，以确认其合理性和可靠性。

4.3.2 根据分析数据，可以按 GB/T 7562 检查设计及校核煤质是否符合“发电煤粉锅炉用煤技术条

件”范围。如出现设计或校核煤质某项指标超越范围（主要是干燥无灰基挥发分  $V_{daf}<6.5\%$ 或灰分  $A_d>40\%$ 或软化温度  $ST<1150^{\circ}\text{C}$ ），应认真对待，宜探讨更换煤种或采用混合煤的可能性。

4.4 煤质化验分析

4.4.1 对于常规煤种，在进行炉膛参数选型工作时，应对设计煤种及校核煤种（如有）进行煤质化验分析，化验项目见表 2。

表 2 设计煤种、校核煤种常规化验分析项目

序号	项 目		使用标准	用 途
1	工业分析	全水分 $M_{ar}$ 及 $M_t$ 空气干燥基水分 $M_{ad}$ 灰分 $A_{ad}$ 及 $A_{ar}$ 干燥无灰基挥发分 $V_{daf}$	GB/T 211 GB/T 212	a) 燃煤着火特性初步评价 ( $V_{daf}$ 、 $A_{ad}$ ) b) 燃尽特性初步评价 c) 设计煤粉细度确定 ( $V_{daf}$ ) d) 锅炉热力计算 ( $M_{ar}$ 、 $A_{ar}$ )
2	收到基低位发热量 $Q_{net,v,ar}$		GB/T 213	锅炉热力计算
3	元素分析	$C_{ar}$ 、 $H_{ar}$ 、 $N_{ar}$ 、全硫 $S_{t,ar}$	DL/T 568 GB/T 214	a) 锅炉热力计算 b) 高、低温腐蚀倾向预测 ( $S_{t,ar}$ )
4	灰熔融性温度 (弱还原性及 氧化性气氛)	变形温度 DT 软化温度 ST 半球温度 HT 流动温度 FT	GB/T 219	结渣特性初步评价
5	灰成分 分析	$SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $TiO_2$ 、 $SO_3$ 、 $MnO_2$	GB/T 1574	a) 结渣特性辅助参数 b) 受热面沾污特性预测
6	煤灰黏度-温度特性		DL/T 660	结渣特性初步评价

4.4.2 对新煤矿或不常使用的煤种，或比较特殊的煤种，除应进行常规化验分析外，宜根据需要进行特种试验分析，特别是煤的着火、燃尽、结渣与沾污特性的测试评价。

4.5 混合煤

4.5.1 混合煤的常规试验

如果设计煤种或校核煤种是几个矿区产品的混合煤种，则应分别取样进行表 2 所列项目的化验分析，然后将煤样按规定的混合比制取混合样进行上述项目的测试；也可以按规定的诸煤种收到基混合比加权计算工业分析、发热量、元素分析各项成分及参数核对其测试准确性。灰成分的计算应同时考虑煤量混合比及它们的灰分含量 ( $A_{ar}$ )。灰熔融性温度和灰黏度-温度特性参数不应按混合比加权计算，只允许用混合煤样直接测定。

4.5.2 以下 4.6~4.8 所述诸项有关煤的着火、结渣、燃尽特性的测定试验亦应使用混合煤样进行。

关于入炉混合煤种的限制规定见 5.3。

4.6 煤粉气流着火特性的判别

干燥无灰基挥发分含量 ( $V_{daf}$ ) 和煤粉气流着火温度 (IT) 是选择锅炉燃烧方式的主要依据，它们对炉膛轮廓特征参数的确定也有影响。可依  $V_{daf}$  测定结果对煤种的着火特性作如下判别：

- a)  $V_{daf}>25\%$  ( $IT<700^{\circ}\text{C}$ ) 的煤皆可认为是较易着火煤；
- b)  $V_{daf}=15\%\sim20\%$  ( $IT=700^{\circ}\text{C}\sim800^{\circ}\text{C}$ ) 的煤皆可认为是中等着火煤；
- c)  $V_{daf}<10\%$  ( $IT>800^{\circ}\text{C}$ ) 的煤皆可认为是较难着火煤；



- d)  $V_{daf}=20\%\sim 25\%$ 的煤可能是较易着火煤，也可能是中等着火煤；
  - e)  $V_{daf}=10\%\sim 15\%$ 的煤可能是中等着火煤，也可能是较难着火煤。
- 对后两档煤应进行煤粉气流着火温度（IT）测定。
- 煤粉气流着火温度（IT）的测定方法按照 DL/T 1446 进行。

4.7 煤灰结渣特性的判别

设计煤种和校核煤种的结渣特性，应首先根据表 2 中的灰熔融性温度和灰黏度-温度特性参数测定结果，参照附录 A 所列的判据，对其作出初级评价。如果评价结果出现低结渣和中结渣的概率较大，则勿需再作深究。如果评价结果出现高结渣和严重结渣的概率较大时，为使评价工作更为准确，应进行一维火焰试验炉（参见 DL/T 1106）的渣型判别试验。

4.8 煤粉燃尽特性的判别

一维火焰试验炉（参见 DL/T 1106）的试验结果可以获得煤粉燃烧燃尽特性相对指标，可作为选择炉膛轮廓设计特征参数时的参考，也可作为选择灰渣含碳量以至未燃碳热损失数据的参考。

5 燃烧方式的选择

5.1 燃烧方式选择的基本原则

- 5.1.1 对于煤粉气流着火温度  $IT<700^{\circ}\text{C}$ （通常  $V_{daf}>25\%$ ）的煤种，宜采用切向燃烧方式或墙式燃烧方式。
- 5.1.2 对于煤粉气流着火温度  $IT>800^{\circ}\text{C}$ （通常  $V_{daf}<10\%$ ）的煤种，可采用双拱燃烧方式。
- 5.1.3 对于煤粉气流着火温度  $IT=700^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ （通常  $V_{daf}=15\%\sim 20\%$ ）的煤种，宜优先采用切向燃烧方式或墙式燃烧方式，燃烧器区水冷壁面可适当敷设卫燃带。

5.2 严重结渣性煤种燃烧方式选择的技术要求

- 5.2.1 严重结渣性的煤种仍可采用墙式或切向燃烧方式，但需注意炉膛轮廓选型，应取用有利于减轻结渣倾向的特征参数值，并辅以有效的吹灰设施。
- 5.2.2 对于具有严重结渣性的较难着火和中等着火煤种，选用固态排渣锅炉时，应注意卫燃带敷设区域及面积，以避免导致严重结渣。

5.3 关于非单一煤种燃烧方式的选取要求

- 5.3.1 机组选择设计煤种时，不应在同一台锅炉上混合燃用较易着火煤与较难着火煤，也不应分别将其作为设计煤种和校核煤种。
- 5.3.2 在设计煤质之外，还另外给出校核煤质数据时，如果两者分别属于较易着火煤和中等着火煤，则宜选用墙式或切向燃烧系统；如果两者分别属于较难着火煤和中等着火煤，则宜选用双拱燃烧系统。
- 5.3.3 混烧诸煤种的  $V_{daf}$  相差较大时，如采取预混掺烧方式，为获得较好的燃尽效果，煤粉细度宜按  $V_{daf}$  低的煤种选取；如采取分磨掺烧措施，则煤粉细度可以分别按不同煤种的  $V_{daf}$  选用。

6 切向燃烧炉膛选型

6.1 炉膛特征参数的选取

- 6.1.1 对于切向燃烧方式的炉膛，选型准则宜用以下 4 项主要特征参数：  
——炉膛容积放热强度  $q_v$ （BMCR）， $\text{kW}/\text{m}^3$ ；

- 燃烧器区壁面放热强度  $q_B$  (BMCR), MW/m<sup>2</sup>;
- 炉膛断面放热强度  $q_F$  (BMCR), MW/m<sup>2</sup>;
- 燃尽区容积放热强度  $q_m$  (BMCR), kW/m<sup>3</sup>。

第 4 项特征参数也可代之以  $h_1$  (下限值)。

6.1.2 新建、扩建机组采购时, 对上条所列准则参数一般可根据其性质只规定其上限值或下限值, 或可用值的范围。例如,  $q_v$ 、 $q_B$  和  $q_m$  三项放热强度可分别规定不宜超越的上限值,  $h_1$  可规定不宜超过的下限值,  $q_F$  则规定其可用值范围。 $q_B$  也可以只给出一个参考值或取消, 而留给供货商更多的选择余地。

6.2 特征参数限值的推荐范围

6.2.1 采用切向燃烧方式的 300、600MW 和 1000MW 容量级机组锅炉, 燃用烟煤 (含贫、瘦煤) 时, 其炉膛特征参数 (上限值或下限值或可用值) 的推荐范围见表 3。

表 3 切向燃烧方式炉膛特征参数限值推荐范围

设计煤质	IT<700℃ ( $V_{daf}>25\%$ )					
锅炉布置方式	Π 型			塔式		
机组额定电功率 MW	300	600	1000	300	600	1000
$q_v$ (BMCR) 上限值 kW/m <sup>3</sup>	90~105	80~95	65~85	—	75~90	60~75
$q_F$ (BMCR) 可用值 MW/m <sup>2</sup>	4.2~4.8	4.0~5.0	4.0~5.0	—	4.3~5.2	4.3~5.2
$q_B$ (BMCR) 上限值 <sup>b</sup> MW/m <sup>2</sup>	1.2~1.8	1.2~1.8	1.2~1.8	—	1.0~1.5	1.0~1.5
$q_m$ (BMCR) 上限值 <sup>a</sup> kW/m <sup>3</sup>	200~260			200~240		
$h_1$ 下限值 <sup>a</sup> m	18~20	20~24	22~27	—	22~26	26~30
设计煤质	IT>700℃ ( $V_{daf}\leq 25\%$ )					
炉膛布置方式	Π 型			塔式		
机组额定电功率 MW	300	600	1000	300	600	1000
$q_v$ (BMCR) 上限值 kW/m <sup>3</sup>	85~100	75~90	65~80	—	80~95	70~80
$q_F$ (BMCR) 可用值 MW/m <sup>2</sup>	4.2~5.0	4.4~5.2	4.5~5.0	—	4.4~5.2	4.8~5.2
$q_B$ (BMCR) 上限值 <sup>b</sup> MW/m <sup>2</sup>	1.4~2.0	1.4~2.0	1.4~2.0	—	1.2~1.8	1.3~1.8
$q_m$ (BMCR) 上限值 <sup>a</sup> kW/m <sup>3</sup>	200~260			200~240		
$h_1$ 下限值 <sup>a</sup> m	18~22	20~26	24~28	—	23~27	27~31
<sup>a</sup> $q_m$ 和 $h_1$ 两种特征参数可以任选其一。						
<sup>b</sup> 对于高硫煤, 应当降低燃烧器区壁面热负荷。						

6.2.2 燃用高水分褐煤（ $M_t > 30\%$ ）采用多角切向燃烧方式的 300MW 和 600MW 容量级机组锅炉，其炉膛特征参数推荐范围见表 4。

表 4 燃用高水分褐煤的切向燃烧炉膛特征参数限值推荐范围

机组额定功率等级 MW	300	600
$q_v$ （BMCR）上限值 kW/m <sup>3</sup>	70~80	60~65 塔式锅炉 57~60
$q_F$ （BMCR）可用值 MW/m <sup>2</sup>	3.5~4.0	3.8~4.0
$q_B$ （BMCR）上限值 MW/m <sup>2</sup>	1.0~1.3	
$q_m$ （BMCR）上限值 <sup>a</sup> kW/m <sup>3</sup>	170 左右	170 左右 塔式锅炉 110~135
$h_1$ 下限值 <sup>a</sup> m	20~24	22~26 塔式锅炉 28~34
<sup>a</sup> $q_m$ 和 $h_1$ 两种特征参数可以任选其一。		

6.2.3 当采取一些有效的强化着火措施，而采用切向燃烧方式燃用无烟煤时，为保证稳定的着火和良好的燃尽特性，应取用较高的  $q_F$  和  $q_B$  值，而  $q_v$  应取用低值， $h_1$  应取用更大些的值，即采用瘦高型炉膛。

6.3 特征参数适宜值的遴选

为新建、扩建机组确定炉膛选型规范而从表 3、表 4 所列的炉膛特征参数限值推荐范围内遴选适宜值时，应按机组容量和设计及校核煤种燃烧性能依表 5 给出的影响趋势酌定。

对于严重结渣性煤， $q_v$ 、 $q_F$ 、 $q_B$  和  $q_m$  都宜从表 3 及表 4 中选其相应的较小值或最小值，而  $h_1$  则宜选其较大值或最大值。对于着火性差而低结渣性煤， $q_F$  宜取较大值。

在一般条件下，更要留意  $q_v$  的选值不宜过高或过低；过高会影响燃尽，导致炉膛出口烟温过高以致受热面局部结渣，而过低则会使蒸发与过热受热面分配失衡，危及锅炉运行性能。

示例：某 300MW 切向燃烧锅炉，设计煤  $V_{daf}=35\%$ ，属于较易着火、易燃尽、严重结渣煤类，故按表 3 和表 5 权衡确定炉膛技术要求： $q_v \leq 95\text{kW/m}^3$ 、 $q_F \leq 4.5\text{MW/m}^2$ 、 $q_m \leq 230\text{kW/m}^3$ ，另外提出  $q_B \leq 1.4\text{MW/m}^2$  供参考。如果设计煤属于低结渣性煤种，则炉膛特征参数可要求： $q_v \leq 105\text{kW/m}^3$ 、 $q_F = 4.6\text{MW/m}^2 \sim 4.8\text{MW/m}^2$ 、 $q_m \leq 260\text{kW/m}^3$ 、 $q_B \leq 1.8\text{MW/m}^2$  供参考。

表 5 机组容量和煤质特性对特征参数限值的影响趋势

机组容量和煤质特性	特 征 参 数				
	$q_v$	$q_F$	$q_B$	$q_m$	$h_1$
机组容量 ↑	↓	↑	—	—	↑
煤的结渣性 ↑	↓	↓	↓	↓	↑
煤的着火性 ↓	↓	↑	↑	—	—
煤的燃尽性 ↓	↓	—	—	↓	↑



6.4 切向燃烧炉膛结构相关要求

- 6.4.1 切向燃烧炉膛水平断面的宽/深比 ( $W/D$ ) 应尽量趋近 1, 而不宜超过 1.15。
- 6.4.2 固态排渣切向燃烧炉膛最下排煤粉喷口中心线与冷灰斗上折点的铅直距离  $h_3$  的取值, 对水平固定式喷口, 300MW 机组宜取  $h_3 \geq 4\text{m}$ ; 600MW 机组宜取  $h_3 \geq 5\text{m}$ ; 1000MW 机组宜取  $h_3 \geq 5.5\text{m}$ ; 对于摆动式喷口宜再增加 0.5m~1m。  $h_3$  取值也与设计煤种的结渣特性有关, 严重结渣性煤应适当增加该段高度 (应与冷灰斗斜坡下倾角  $\beta$  联同考虑, 此时  $\beta$  宜大于或等于  $55^\circ$ )。
- 6.4.3 切向燃烧方式的设计应采取措施避免炉内火炬冲刷水冷壁而产生结渣或高温腐蚀; 对  $\Pi$  形布置的锅炉, 还应采取措施减轻上部炉膛烟气的残余旋转强度, 降低炉膛出口烟窗烟流能量分布的不均匀性, 避免引起过/再热器局部超温问题。

6.5 切向燃烧炉膛的配风参数

6.5.1 配直吹式制粉系统的切向燃烧锅炉采用的一次风喷口数量及一、二次风率, 风速, 炉膛出口过量空气系数等设计参数宜按表 6 选取。

表 6 配直吹式制粉系统的切向燃烧器设计参数 (BRL 工况)

项 目	取 值 范 围		
机组额定电功率 MW	300	600	1000
一次风喷口数量 只	16~24 (18~24)	20~24 (32~48)	48
一次风喷口层数 层	4~6 <sup>b</sup> (3~4) <sup>c</sup>	5~6 <sup>b</sup> (4~6) <sup>c</sup>	单切圆 12 双切圆 6
一次风率 %	14~25 (25~38)	14~25 (25~38)	18~25
一次风出口速度 m/s	22~30 (18~25)	22~32 (18~25)	22~32
二次风率 <sup>a</sup> %	75~84 (62~75)	75~82 (62~75)	75~82
二次风出口速度 m/s	40~55 (40~55)	40~55 (46~56)	40~56
燃尽风风率 %	20~40	25~40	20~40
燃尽风出口速度 m/s	40~55 (40~55)	40~55 (46~56)	40~56
炉膛出口过量空气系数	1.15~1.25		1.15~1.25
注：括号内数值适用于褐煤。 <sup>a</sup> 二次风率中包括燃尽风（OFA+SOFA）；配风率总和为 100%，未计入炉膛漏风率（一般小于 5%）。 <sup>b</sup> 中速磨煤机系统。 <sup>c</sup> 风扇磨煤机系统。			

- 6.5.2 燃用中等着火或较难着火煤配贮仓式制粉系统 (热风送粉) 的 300MW 容量级切向燃烧锅炉, 一般使用的燃烧器配风参数见表 7。
- 6.5.3 以上诸条所述配风参数皆以 BRL 工况为准。需换算到 BMCR 工况时, 一、二次风率, 乏气风率及炉膛出口过量空气系数一般不变, 而出口速度则按 BMCR 与 BRL 工况风量比例相应增加。

表 7 300MW 级配贮仓式制粉系统的切向燃烧锅炉配风参数（BRL 工况）

一次风喷口数量 只	16~24
一次风喷口数量 层	4~6
一次风率 %	12~25 <sup>b</sup>
一次风出口速度 m/s	20~28
二次风率 <sup>a</sup> %	60~80
二次风出口速度 m/s	40~50
制粉乏气风率 %	0/（15~25） <sup>c</sup>
乏气出口速度 m/s	50~60
炉膛出口过量空气系数	1.20~1.25
<p><sup>a</sup> 二次风率中包括燃尽风（OFA）；配风率总和为 100%，未计入炉膛漏风率（一般小于 5%）。 <sup>b</sup> 高灰分烟煤（<math>A_d=30\%\sim40\%</math>）采用乏气送粉时可能达上限值。 <sup>c</sup> 烟煤采用乏气送粉时为 0；低挥发分煤采用热风送粉时为 15%~22%；高灰分煤采用热风送粉时可能达上限值。具体数值与磨煤机选型及出力裕量有关。</p>	

7 墙式燃烧炉膛选型

7.1 特征参数限值的推荐范围

7.1.1 采用墙式对冲燃烧方式的 300、600、1000MW 容量级机组锅炉，其炉膛特征参数（可用值或上限值或下限值）的推荐范围见表 8。

表 8 墙式对冲燃烧方式炉膛特征参数限值推荐范围

设计煤质	IT<700℃（一般 $V_{daf}>25\%$ ）			IT>700℃（一般 $V_{daf}<20\%$ ）		
机组额定电功率 MW	300	600	1000	300	600	1000
$q_v$ （BMCR）上限值 kW/m <sup>3</sup>	90~105 <sup>a</sup>	80~95 <sup>a</sup>	65~85	95~110	85~100	75~90
$q_F$ （BMCR）可用值 MW/m <sup>2</sup>	4.2~4.8 <sup>b</sup>	4.0~4.8 <sup>b</sup>	4.0~5.0	4.5~5.0	4.6~5.0	4.6~5.2
$q_B$ （BMCR）上限值 <sup>c</sup> MW/m <sup>2</sup>	1.2~1.7	1.3~1.8	1.2~2.0	1.3~2.0	1.4~2.0	1.5~2.0
$q_m$ （BMCR）上限值 <sup>d</sup> kW/m <sup>3</sup>	200~260			220~280		
$h_1$ 下限值 <sup>d</sup> m	18~20 <sup>e</sup>	18~22 <sup>e</sup>	22~24	18~22	19~23	22~24
<p><sup>a</sup> 褐煤锅炉宜选用 73~85（300MW）和 60~70（600MW）。 <sup>b</sup> 褐煤锅炉宜选用 3.6~3.8（300MW）和 3.8~4.1（600MW）。 <sup>c</sup> 对于高硫煤，应当降低燃烧器区壁面热负荷。 <sup>d</sup> <math>q_m</math> 和 <math>h_1</math> 两个特征参数可以任选其一。 <sup>e</sup> 褐煤锅炉宜选用 19~23（300MW）和 21~25（600MW）。</p>						

7.2 特征参数适宜值的遴选

为新建、扩建机组确定炉膛选型规范而从表 8 所列的炉膛特征参数限值推荐范围内遴选适宜值时，应按机组容量和设计及校核煤种燃烧性能，依 7.3 所述原则和表 5 给出的影响趋势酌定。

示例：某 300MW 前后墙对冲燃烧锅炉，设计煤种的  $V_{daf}=35\%$ ，属于较易着火、易燃尽、高结渣类，故按表 5 和表 8 权衡确定炉膛技术要求： $q_v\leq 95\text{kW/m}^3$ 、 $q_F\leq 4.3\text{MW/m}^2$ 、 $q_m\leq 230\text{kW/m}^3$ ，另外提出  $q_B\leq 1.3\text{MW/m}^2$  供参考。

7.3 墙式对冲燃烧炉膛结构技术要求

7.3.1 对于 300、600、1000MW 容量级机组锅炉，墙式对冲燃烧炉膛最下层燃烧器中心线与冷灰斗上折点的垂直距离  $h_3$ ，可适当较切向燃烧方式的推荐值略微偏低，燃烧器单只功率较大或设计煤种结渣特性严重时宜取高值。

7.3.2 最外侧燃烧器中心线与侧墙的距离一般为 2.5m~4.0m，随燃烧器功率增大而增加。

7.3.3 墙式对冲燃烧方式的设计应采取措施使沿炉膛宽度布置的每层单个燃烧器间煤粉和风量分配都保持均匀，并有监测和调控手段。制粉乏气喷口的结构和布置位置要合理，以减少对燃烧的不利影响。

7.4 墙式对冲燃烧炉膛的配风参数

墙式对冲燃烧锅炉一般采用的燃烧器数量及配风参数（BRL 工况）宜按表 9 选取。

表 9 墙式对冲燃烧锅炉燃烧器配风参数（BRL 工况）

制粉系统型式	直吹式			贮仓式 (热风送粉) <sup>a</sup>
机组额定电功率 MW	300	600	1000	300
燃烧器数量 只	20~24 (20~24)	20~36 (24~36)	48	16~32
燃烧器数量 层	5~6 (5~6)			2~4
一次风率 %	16~25 (25~35)			12~20
一次风出口速度 m/s	16~25 (17~25)			14~18
二次风率 <sup>b</sup> %	75~84 (65~75)			58~73
二次风出口速度 m/s	内环风速 13~30 (13~26) /外环风速 26~40 (26~40)			
制粉乏气风率 %	—	—	—	15~22 <sup>c</sup>
乏气出口速度 m/s	—	—	—	20~35
炉膛出口过量空气系数	1.15~1.2			

注：括号内数值适用于褐煤。  
<sup>a</sup> 一般用于燃煤  $V_{daf}<20\%$ ， $IT>700^{\circ}\text{C}$ 。  
<sup>b</sup> 二次风率中包括燃尽风（OFA）；配风率总和应为 100%，未计入炉膛漏风率（一般小于 5%）。  
<sup>c</sup> 与磨煤机选型及出力裕量有关。



8 双拱燃烧炉膛选型

8.1 炉膛特征参数项的选用

8.1.1 对于双拱燃烧方式（又称 W 火焰燃烧方式）的炉膛，选型准则一般可取用以下 4 项主要轮廓特征参数：

- 全炉膛容积放热强度  $q_v$  (BMCR), kW/m<sup>3</sup>;
- 下炉膛容积放热强度  $q_{v,L}$  (BMCR), kW/m<sup>3</sup>;
- 下炉膛断面放热强度  $q_{F,L}$  (BMCR), MW/m<sup>2</sup>;
- 燃尽区容积放热强度  $q_m$  (BMCR), kW/m<sup>3</sup>。

所有以上放热强度指标皆以 BMCR 工况为计算基础，如因特殊要求改以 BRL 工况为计算基础时，应当标注清楚。

除上述准则外，不排除或有对炉膛轮廓尺寸的其他辅助性规定。

8.1.2 新建、扩建机组采购时，对 8.1.1 所列特征参数可分别规定不宜超越的上限值（ $q_v$ 、 $q_{v,L}$  及  $q_m$ ）和可用值范围（ $q_{F,L}$ ）。

8.2 特征参数限值的推荐范围

双拱燃烧锅炉目前具有运行业绩的最大机组容量只到 600MW 等级（含 660MW），燃煤最低  $V_{daf}$  只到 10%~8%，优化得出的炉膛特征参数（上限值或可用值）推荐范围见表 10。更大容量等级及更低挥发分煤类的适宜参数范围尚有待于经验积累。

表 10 双拱燃烧炉膛特征参数限值推荐范围

设计煤质	300MW	600MW
$q_v$ (BMCR) 上限值 kW/m <sup>3</sup>	90~105	80~95
$q_{v,L}$ (BMCR) 上限值 kW/m <sup>3</sup>	190~230	220~250
$q_{F,L}$ (BMCR) 可用值 MW/m <sup>2</sup>	2.2~3.0	2.5~3.0
$q_m$ (BMCR) 上限值 kW/m <sup>3</sup>	240~320	
$h_1$ 下限值 m	15~20	20~23
注 1：表中的数值适用于 $V_{daf} \leq 10\%$ 的煤质。 注 2： $q_m$ 和 $h_1$ 两种特征参数可以任选其一。		

8.3 特征参数适宜值的遴选

新建、扩建机组在采购时，应根据机组容量，设计煤及校核煤的着火、结渣及燃尽特性参照表 11 给出的影响趋势，从表 10 中分别选出适宜的  $q_v$  及  $q_m$  上限值和  $q_{F,L}$  及  $q_{v,L}$  可用值范围，以作为该机组炉膛选型的技术要求。

表 11 中， $q_{F,L}$  参数水平随煤着火特性变差（ $V_{daf}$  降低、IT 升高）而有下降的趋势，主要是因为  $q_v$  降低，炉膛容积增大，而下炉膛高度不宜过分增加的缘故。这与切向燃烧及墙式对冲燃烧方式有所不同。

表 11 机组容量和煤质特性对特征参数限值的影响趋势

机组容量和煤质特性	特 征 参 数			
	$q_v$	$q_{v,L}$	$q_{F,L}$	$q_m$
机组容量↑	↓	—	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>
煤的结渣性↑	↓	<sup>1)</sup>	↓	↓
煤的着火性↓	↓	—	↓	—
煤的燃尽性↓	↓	—	—	↓
<sup>1)</sup> 影响趋势尚不确定。				

8.4 双拱燃烧炉膛结构技术要求

8.4.1 双拱燃烧炉膛为保证前后拱 U 形火炬的均衡发展，下炉膛的结构布置应严格遵守前后两半空间完全对称的原则；它们包括从拱顶到排渣喉口的炉膛形状尺寸、拱顶燃烧器及二次风口的尺寸和布置、前后墙三次风口及卫燃带的尺寸和布置。

8.4.2 上/下炉膛深度比  $D_U/D_L$  宜大于 0.5，以便前后拱 U 形火炬射流尽量避免相互干扰。

8.4.3 下炉膛前后拱顶水冷壁倾斜度，对于自然循环锅炉不宜小于 15°；控制循环锅炉无限制。

8.4.4 为维持较难着火煤类的稳定着火燃烧，双拱燃烧炉膛需要在下炉膛邻近燃烧器喷口区水冷壁表面敷设一定数量的卫燃带。对于 300MW 容量级锅炉，其敷设面积宜占下炉膛有效辐射受热面的 30%~55%。

8.4.5 双拱燃烧方式的燃烧中心应保持在下炉膛中央部位。为使下喷射流能达到该部位，布置在前后拱上的燃烧器宜采用直流式或弱旋流式燃烧器。一、二次风喷口射流中心线宜偏向炉膛中心方向或垂直下射，而不应偏向邻近的前后墙。

8.4.6 布置在前后拱两端靠近侧墙的燃烧器一次风/煤粉喷口中心线与侧墙应保持适当距离，以避免火焰冲刷侧墙水冷壁或敷有的卫燃带。该距离对于缝隙式直流燃烧器可取 1.5m 左右；对于旋流式燃烧器可取 2m~3m，依其单只燃烧器功率及旋流强度而定。

8.4.7 布置在下炉膛前后墙上的三次风（亦有称前后墙二次风或分级风者）喷口应当设计成不致被高温灰渣堵塞的结构形式。应尽量发挥三次风的作用，以降低灰渣含碳热损失和  $NO_x$  生成浓度水平。

8.4.8 双拱燃烧配套直吹式制粉系统时，一次风如采用煤粉浓淡分离装置，其分离出来的乏气（稀相含粉一次风）排入炉膛的部位和出口流速，应考虑不使其易于造成射流短路向上，过早排出下炉膛，导致不完全燃烧。

8.4.9 下炉膛两侧墙应布置足够多的看火孔，并应前后对称布置，以便于观测对比前后拱 U 形火炬燃烧及温度分布是否正常和对称。

8.4.10 为降低双拱燃烧炉膛的  $NO_x$  生成浓度，应在适当位置设置分离燃尽风（SOFA），与此同时，应设法降低可能由此引起的飞灰可燃物增加的热损失。

8.5 双拱燃烧炉膛的配风参数

8.5.1 现已运行的 300、600MW 容量级双拱燃烧锅炉采用的一、二、三次风（从炉拱下射的热风称二次风，从前后墙射入炉膛的热风称三次风）及乏气（采用贮仓式制粉系统时为制粉乏气，采用直吹式制粉系统并带煤粉浓缩器时为稀相一次风）喷口设计参数（BRL 工况）大致见表 12。

8.5.2 双拱燃烧方式炉膛出口过量空气系数设计值通常宜取 1.25~1.30（BRL 及 BMCR 工况）。投运后的最佳值应由燃烧调整试验决定。



表 12 300、600MW 容量级双拱锅炉炉膛配风参数（BRL 工况）

制粉系统种类		贮仓式（热风送粉）			直吹式 （一次风管带煤粉浓淡分离装置）		
燃烧器结构		直流狭缝式	双旋风 带消旋器	弱旋流 双调风	直流狭缝式	双旋风筒 带消旋器	弱旋流 双调风
主煤粉喷口只数		36	20~36	16~20	32~48	20~32	16~18
风率 <sup>d</sup> %	一次风	10~15	15~23	8~14	7~10 <sup>c</sup>		16~25
	二次风	70~75	20~30	50~65	63~83	20~35	50~60
	三次风	10~15	40~60	16~24	10~15	50~65	12~20
	乏气	4 左右 <sup>a</sup>	15~23	14~18 <sup>b</sup>	—	7~10 <sup>c</sup>	8~12.5
温度 ℃	一次风粉 混合物	190~260	110~180	190~260	90~150		130~200
	二、三次风	340~400					
风速 m/s	一次风	7.5~10	13~25	18~24	9~13	10~20	18~24
	二次风	40 左右	10~34	内 18~26 外 35~42	33 左右	30~40	内 18~26 外 35~41
	三次风	40 左右	8~16	37~43	—	8~16	37~43
	乏气	—	25~35	24~28	19 左右	10~25	20~28
炉膛出口 过量空气系数		1.25~1.30			1.15~1.30		
<sup>a</sup> 制粉系统干燥介质以高温炉烟为主，此数值仅为所含的空气量。 <sup>b</sup> 取决于磨煤机类型选择及出力裕量。 <sup>c</sup> 总一次风率 14%~20%，设浓淡分离旋风子出口浓淡两相风量均等。 <sup>d</sup> 配风率总和为 100%，未计入炉膛漏风率（一般小于 5%）。							

9 炉膛选型设计的其他共性条款

- 9.1 在 BMCR 工况下炉膛出口烟窗的设计计算烟温  $\theta_f'$  宜按煤灰变形温度确定，即  $\theta_f' \leq (DT-100)^\circ\text{C}$ ；但若煤灰软化温度与变形温度之差  $(ST-DT) \leq 50^\circ\text{C}$ ，则应取  $\theta_f' \leq (ST-150)^\circ\text{C}$ 。
- 9.2 对于含硫量  $S_{t,d}$  大于 1.5% 的煤种，为避免或减轻水冷壁管外壁高温腐蚀的危害，除上述措施外，宜适当降低燃烧器区壁面热负荷  $q_B$ ，亦可考虑在炉膛燃烧器区采用防腐措施。
- 采用低氮燃烧方式，当燃烧器区的过量空气系数控制在 0.80~0.90、燃煤硫分  $S_{t,d}$  高于 0.8% 时，需对燃烧器区域进行防腐喷涂，以防止高温腐蚀。
- 9.3 对于严重结渣性的煤种及敷有卫燃带的炉膛，喉口净深度  $d_2$  可适当放宽。冷灰斗斜坡与水平面的夹角可取  $50^\circ \sim 55^\circ$ ，设计或校核煤种如属于高或严重结渣性煤种，或炉膛敷有卫燃带时，应取用  $55^\circ$ 。
- 9.4 对中等着火煤种，应尽量不敷设卫燃带，对较难着火煤，切向及墙式燃烧炉膛的燃烧器周围水冷壁表面可适当敷设卫燃带（或在水冷壁的适当部位吊挂异型耐火片），以提高燃烧稳定性和燃尽度，但遇高结渣或严重结渣性煤种，应慎重采用。
- 9.5 当燃用严重结渣性煤种时，燃烧器及其上下高温区宜根据墙式吹灰器的有效吹灰半径布置足够数量的吹灰器。冷灰斗上拐角处及折焰角部位易黏附焦渣，宜安装吹灰装置。上炉膛屏式受热面亦应有吹灰装置，或设计预留安装孔。
- 9.6 安装在海拔较高地区（海拔超过 500m）的新建、扩建机组，为维持锅炉的稳定燃烧和燃尽度，应

对本标准第 6～第 8 章推荐的在标准大气压条件下的炉膛放热强度特征参数值进行必要的修正，并考虑强化燃尽的措施。高原地区炉膛特征参数修正计算方法参见附录 B。

9.7 一次风粉混合物的设计温度  $t_{PA}$  和二次风设计温度  $t_{SA}$  对低挥发分煤及高灰、高水分煤的着火稳燃影响较大，应设法提高；前者一般取决于磨煤机的出口允许温度  $t_{m,2}$ （直吹式制粉系统及贮仓式制粉系统配乏气送粉时）和空气预热器出口一次风温（贮仓式制粉系统配热风送粉时）。它们的取值按煤类区分，见表 13。

9.8 燃用低挥发分煤时，BRL 工况下空气预热器出口一次风温不应低于 330℃。

表 13 煤粉燃烧锅炉一、二次风温度的设计取值范围

煤类	无烟煤	贫煤 <sup>a</sup>	烟煤 <sup>b</sup>	褐煤
$V_{daf}$ %	<10	10~20	>20	>37
磨煤机及制粉系统	球型磨煤机，贮仓式 或直吹式	球型磨煤机、中速 磨煤机，贮仓式或 直吹式	中速磨煤机、球型 磨煤机，直吹式	中速磨煤机、风扇 磨煤机，直吹式
磨煤机出口温度 $t_{m,2}$ ℃	≥130 <sup>c</sup>	130~100 <sup>d</sup>	90~65 <sup>e</sup>	65（中速磨煤机） <sup>e</sup> 100~180 （风扇磨煤机） <sup>f</sup>
一次风粉混合物温度 $t_{PA}$ ℃	直吹式或贮仓式，乏气送粉		直吹式	
	≥130 <sup>c</sup>	130~100 <sup>d</sup>	同 $t_{m,2}$	
	贮仓式或半直吹式，热风送粉			
	260~220 <sup>g</sup>	230~190 <sup>g</sup>		
二次风温度 $t_{SA}$ ℃	400~380 <sup>h</sup>	380~340	360~300 <sup>i</sup>	380~280
<p><sup>a</sup> 含瘦煤及贫瘦煤，诸煤类定义见 GB/T 3715 及 GB 5751。</p> <p><sup>b</sup> 此处的“烟煤”所指为除去左栏的“贫煤”之外的诸烟煤类。</p> <p><sup>c</sup> 无限制，取决于磨煤机机械部分和制粉系统其他元件可靠运行的条件，以及干燥剂初温。</p> <p><sup>d</sup> 对于直吹式系统，上限温度为 150℃。</p> <p><sup>e</sup> 对于易爆炸煤种，磨煤机出口温度取下限值。钢球磨煤机用烟气空气混合干燥剂时，<math>t_{m,2}</math>=120℃。</p> <p><sup>f</sup> 风扇磨煤机用烟气空气混合干燥剂时，<math>t_{m,2}</math>=180℃。</p> <p><sup>g</sup> 一次风初始温度不应低于 330℃。</p> <p><sup>h</sup> 如燃烧器具有强化燃烧措施且锅炉在稳燃与燃尽效果方面有成功的实践业绩，允许降低至 360℃。</p> <p><sup>i</sup> 对于极易着火的烟煤，可以降低到 280℃。</p>				

9.9 炉膛四周炉墙应设有一定数量的、可有效观察各燃烧器的着火状况及受热面各部位清洁程度的看火孔。对燃用严重结渣性煤的锅炉，宜增加看火孔的数量，应保证查看到折焰角上部前水平烟道内和冷灰斗斜坡上的灰渣堆积状况。

附 录 A  
(资料性附录)  
煤灰结渣特性的初级判别

A.1 ST 判据

ST 判据即为灰软化温度 ST (℃)。西安热工研究院提出的判别界限见表 A.1。

表 A.1 ST 判别界限参照

ST ℃	结渣特性
>1470	低
1470~1380	中
1380~1290	高
<1290	严重

A.2 严重结渣三角区判据

西安热工研究院提出判据，按灰变形温度 DT 及其软化温度 ST 之差 (ST-DT)，凡 (ST-DT) < (618-0.47 DT) 者，即可判定属严重结渣煤。

A.3 碱酸比 B/A 指标判据

$$\frac{B}{A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$$

(A.1)

灰成分综合指数碱酸比对煤结渣特性的判别可参照如下界限，见表 A.2。

表 A.2 灰成分综合指数碱酸比对煤结渣特性的判别界限参照

碱酸比 B/A	结渣特性
<0.5	低
0.5~1.0	中
>1.0~1.75	高~严重

A.4 R<sub>t</sub>判据

R<sub>t</sub>判据用灰熔点炉测定值 (GB/T 219)，其计算式为：

$$R_t = (\text{ST} + 4\text{DT}) / 5$$

(A.2)

式中：

- R<sub>t</sub> ——判据，℃；
- ST ——弱还原气氛中的变形温度，℃；
- DT ——弱还原气氛中的软化温度，℃。

西安热工研究院提出的 R<sub>t</sub>判据的判别界限见表 A.3。

表 A.3  $R_t$  判别界限参照

$R_t$ ℃	结渣特性
>1450	低
1450~1350	中
1350~1250	高
<1250	严重

A.5  $T_{200}$  判据

按 DL/T 660 在还原性气氛条件下测定灰黏度 200Pa·s 相应的温度  $T_{200}$  (℃)。西安热工研究院提出  $T_{200}$  判据的判别界限，见表 A.4。

表 A.4  $T_{200}$  判据的判别界限

$T_{200}$ ℃	结渣特性
>1600	低
1600~1500	中
1500~1400	高
<1400	严重

A.6  $T_{1000}$  判据

按 DL/T 660 在还原性气氛条件下测定灰黏度 1000Pa·s 相应的温度  $T_{1000}$  (℃)。西安热工研究院提出  $T_{1000}$  判据的判别界限，见表 A.5。

表 A.5  $T_{1000}$  判据的判别界限

$T_{1000}$ ℃	结渣特性
>1530	低
1530~1420	中
1420~1300	高
<1300	严重

A.7 综合结渣判别指数  $R_z$  判据

普华煤燃烧技术开发中心在国内近 250 个煤种的灰渣特性资料统计的基础上，对我国动力用煤结渣特性指数进行了研究，给出的综合结渣判别指数  $R_z$  见式 (A.3)：

$$R_z = 1.24 \frac{B}{A} + 0.28 \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} - 0.0023\text{ST} - 0.019G + 5.4$$

(A.3)



其中：

$$G = \frac{100\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

灰成分综合指数  $R_z$  对煤结渣特性的判别可参照表 A.6。

表 A.6 灰成分综合指数  $R_z$  对煤结渣特性的判别参照

$R_z$	结渣特性
<1.5	轻微
1.5~1.75	中偏轻
1.75~2.25	中等
2.25~2.5	中偏重
>2.5	严重



附录 B  
(资料性附录)  
高原地区炉膛特征参数修正方法

B.1 通则

高原地区(海拔超过 500m)大气压力和密度有明显降低。如果炉膛轮廓尺寸仍维持本标准第 6 章~第 8 章选定的适用于平原地区的数值,则显然炉内煤粉停留时间会相应缩短,导致燃尽度下降,且气压和密度的降低也多少会导致燃烧反应速率和传热的减缓。实验和工业实践证明,对于褐煤和高挥发烟煤,海拔增加的影响相对还较迟钝,而对于低挥发分煤种,就敏感得多。本标准建议凡厂址海拔在 500m 以下(称平原地区,相应大气压高于 95.4kPa)者,锅炉炉膛选型按第 6 章~第 8 章推荐选取,而海拔超过 500m 即应开始考虑气压下降的影响。考虑的原则主要是要求炉内燃烧产物维持和平原地区相等的停留时间,按此原则来放大炉膛容积。具体做法是对按第 6 章~第 8 章选用的诸特征参数进行气压修正:作为平原地区基准的(参比)大气压取整数值为 98kPa,相应海拔为 275m。

建议设计煤质凡属较难着火煤及中等着火煤,IT≥700℃者,皆宜按上述原则从海拔超过 500m 起进行修正;而较易着火煤(IT<700℃)放宽至海拔超过 700m 左右开始进行修正,其参比大气压可取 96kPa(相应海拔 450m)。

B.2 炉膛容积放热强度的修正

设按本标准第 6 章~第 8 章条件选定的炉膛容积放热强度上限值为  $q_V$ ,则高原地区的  $q_{V(g)}$ 应至少按燃烧产物等停留时间的原则修正为:

$$q_{V(g)}=q_V \times (p/p_0) \tag{B.1}$$

式中:

$q_{V(g)}$ ——海拔超过 500m(较难着火煤及中等着火煤)或者海拔超过 700m(较易着火煤)的高原地区炉膛容积放热强度上限值, kW/m<sup>3</sup>;

$p$ ——当地常年平均大气压, kPa,如缺乏当地统计数据,则可按式(B.5)计算;

$p_0$ ——参比大气压,选用 98kPa(较难着火煤及中等着火煤)或者 96kPa(较易着火煤)。

式(B.1)意味着高原地区锅炉炉膛有效容积至少应较平原地区的锅炉放大( $p_0/p$ )倍。双拱燃烧方式的下炉膛容积放热强度  $q_{V,L}$ 亦应按式(B.1)进行修正。

B.3 炉膛断面放热强度的修正

因为炉膛容积尺寸的放大宜遵循几何相似的原则,故炉膛断面放热强度的修正应按式(B.2)进行:

$$q_{F(g)}=q_F \times (p/p_0)^{2/3} \tag{B.2}$$

式中:

$q_{F(g)}$ ——海拔超过 500m(较难着火煤及中等着火煤)~700m(较易着火煤)的高原地区炉膛断面放热强度可用值, MW/m<sup>2</sup>;

$q_F$ ——按本标准第 6 章~第 8 章条件选定的平原地区锅炉的炉膛断面放热强度可用值, MW/m<sup>2</sup>。

对于切向燃烧及墙式燃烧锅炉,如( $p/p_0$ )>0.96,为简化设计,式(B.2)中的幂指数(2/3)可以允许代之以零,即  $q_F$ 不作修正。

B.4 燃烧器区壁面放热强度的修正

设按本标准第 6 章~第 8 章条件选定的燃烧器区壁面放热强度上限值为  $q_B$ ,则高原地区的  $q_{B(g)}$ 仍宜

沿用原选定值。

B.5 炉膛燃尽区容积放热强度的修正

炉膛燃尽区放热强度上限值宜采取与 B.1 炉膛容积放热强度相同的处理方法，即：

$$q_{m(g)}=q_m\times(p/p_0) \tag{B.3}$$

式中：

$q_{m(g)}$ ——海拔超过 500m（较难着火煤及中等着火煤）或者海拔超过 700m（较易着火煤）的高原地区炉膛中区容积放热强度上限值，kW/m<sup>3</sup>；

$q_m$ ——按本标准第 6 章～第 8 章条件选定的平原地区锅炉的炉膛燃尽区容积放热强度上限值，kW/m<sup>3</sup>。

B.6 炉膛燃尽区高度的修正

对于切向燃烧及墙式燃烧锅炉，如采用炉膛燃尽区高度  $h_1$  做炉膛选型轮廓特征参数之一（见本标准第 6 章～第 8 章），则高原地区的锅炉  $h_1$  取值应按式（B.4）修正：

$$h_{1(g)}=h_1\times(p/p_0)^{-1/3}, \text{ 即 } h_{1(g)}=h_1\times(p_0/p)^{1/3} \tag{B.4}$$

式中：

$h_{1(g)}$ ——海拔超过 500m（较难着火煤及中等着火煤）或者海拔超过 700m（较易着火煤）的高原地区炉膛燃尽区高度，m；

$h_1$ ——按本标准第 6 章～第 8 章条件选定的平原地区锅炉的炉膛燃尽区高度，m。

B.7 燃烧器喷口尺寸的修正

大气压力降低，燃烧器一、二次风出口参数（风率、风温、风速及旋流强度比）一般不宜改变（除非由于一次风粉管道的修正计算影响到一次风率有所变化）。为此，原则上其一、二次风喷口面积宜按  $(p_0/p)$  比率放大，相应的燃烧器喷口尺寸以至燃烧器结构尺寸宜按  $(p_0/p)^{1/2}$ ，即  $(p/p_0)^{-1/2}$  比率放大。一些另外独立布置的空气喷口（二、三次风及乏气喷口）亦然。

B.8 炉膛设计注意事项

B.8.1 在高原地区，为克服低气压对燃烧反应的不利影响，对于低挥发分煤（中等及较难着火煤）可以采用提高一次风粉浓度，提高一、二次风温，降低煤粉细度（降低  $R_{90}$  设计值），甚至敷设部分卫燃带等措施以强化燃烧。

B.8.2 高原地区燃烧低挥发分煤种的锅炉，选型设计取用的灰渣含碳热损失允许略有增加；锅炉最低稳燃负荷率也允许有所增加。

B.8.3 高原地区锅炉设计，应当按照当地大气压力进行受热面的传热计算，以正确选用对流受热面的数量，并须注意限制烟道空间的平均烟速（等同于平原地区的取值），以避免受热面管束超量磨损。

B.9 当地常年平均大气压的估算

缺乏厂址当地大气压力的常年平均统计数值时，采用下列简化公式可满足本标准涉及的工程应用精确度：

$$p=101.3\times\left(1-0.022\ 55\times\frac{Z}{1000}\right)^{5.256} \tag{B.5}$$

式中：

$p$ ——当地平均大气压，kPa；

$Z$ ——当地海拔，m。



中 华 人 民 共 和 国  
电 力 行 业 标 准  
大容量煤粉燃烧锅炉炉膛选型导则

DL/T 831 — 2015  
代替 DL/T 831 — 2002

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京九天众诚印刷有限公司印刷

\*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷  
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.75 印张 51 千字  
印数 0001—1500 册

\*

统一书号 155123 · 3238 定价 15.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

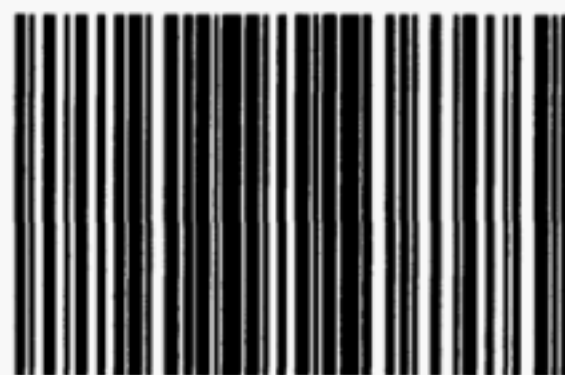
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.3238