

ICS 75-010

E 01

备案号: 27523—2010

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6767—2009

石油企业余热资源量测试与计算规范

**Measuring and calculating criterion for quantity of waste heat
resources in petroleum enterprise**

2009-12-01 发布

2010-05-01 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 余热资源分类 1

5 测试仪器 1

6 测试准备 2

7 测试要求 2

8 测试项目及测试方法 2

8.1 测试项目 2

8.2 测试方法 3

9 余热资源量的计算 3

9.1 余热载体下限温度的确定 3

9.2 余热资源量的实测计算 4

9.3 余热资源量计算的结果形式 5

附录 A（规范性附录） 烟气量的计算方法 6

附录 B（规范性附录） 固体未完全燃烧热损失的计算方法 9

附录 C（资料性附录） 物体比热容的取值方法 11

附录 D（资料性附录） 常用可燃气体的低位发热量 12

前 言

本标准的附录 A、附录 B 为规范性附录，附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准由石油工业节能节水专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气集团公司石油工程节能技术研究开发中心、中国石油天然气股份有限公司油田节能监测中心、中国石油天然气集团公司油田节能监测中心、中国石油化工集团公司油田企业能源检测中心、大庆石油学院。

本标准主要起草人：吴照云、成庆林、周鑫、梁士军、王东、张强、徐秀芬。

石油企业余热资源量测试与计算规范

1 范围

本标准规定了石油企业余热资源的分类、测试与计算的要求和方法。

本标准适用于有余热资源的石油企业，其他企业可以参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1028—2000 工业余热术语、分类、等级及余热资源量计算方法

GB/T 10180—2003 工业锅炉热工性能试验规程

3 术语和定义

GB/T 1028—2000 中 2.1.4 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

余热 waste heat

生产过程由各种热能转换设备、用能设备和化学反应设备中产生而未被直接利用可释放热的能量。

3.2

余热量 quantity of waste heat

以环境参数为基准而具有的余热数量。

3.3

余热资源（量） quantity of waste heat resources

经技术经济分析确定的可利用的余热量。

4 余热资源分类

根据载热体的形式将余热资源分为七类：

- a) 烟气余热：生产系统中耗用燃料的工业炉、发动机等的烟气余热。
- b) 炉渣余热：生产系统中锅炉、加热炉产生的炉渣废料的余热。
- c) 产品余热：生产过程中产生的中间及最后产品的余热。
- d) 冷却介质余热：生产系统中各种工业炉、动力、电气、机械等装置排出的冷却介质的余热。
- e) 可燃废气余热：生产过程中产生的可燃废气的余热。
- f) 凝结水余热：企业用汽过程中产生的凝结水的余热。
- g) 油田采出水余热：油井采出液分离出的污水的余热。

5 测试仪器

5.1 各种测试仪器应经过具有相应资质的计量部门检定合格，并在检定的有效期内。

5.2 测试仪器量程的选取应与现场工况相匹配。

5.3 测试仪器的准确度等级应满足测试目的要求。

6 测试准备

6.1 确定测试对象，收集选定对象的基础资料。应根据本章的有关规定，结合具体情况制定测试方案，并在测试前将测试方案提交被测单位。测试方案的内容应包括：

- a) 测试任务和要求。
- b) 测试项目。
- c) 测点布置与测试仪器。
- d) 人员组织与分工。
- e) 测试进度安排等。

6.2 检查测试仪器是否正常，按测试方案中测点布置的要求配置和安装测试仪器。

6.3 全面检查被测系统运行是否正常，如有不正常现象应排除。

6.4 参加测试的人员应经过培训，持证上岗。

7 测试要求

7.1 正式测试应在被测对象工况稳定后开始进行。工况稳定系指被测对象的主要运行参数波动在测试期间平均值的 $\pm 10\%$ 以内。室外测试应避免在雨雪天气条件下进行，应尽可能排除和减少外界因素对测试的影响。

7.2 测试的时间选择和测算数值的取值应具有代表性。对一个测试单元的各个参数的测试应在同一时间段内进行，测取数据的时间间隔应采取等时间间隔的办法，一般为 5min ~ 15min，每个测点的测量次数应不少于 3 次。

7.3 测试时，温度基准为测试地点的环境温度，压力基准为环境压力。

7.4 测试过程中测试人员不宜变动。

8 测试项目及测试方法

8.1 测试项目

8.1.1 烟气余热资源的测试参数：

- a) 燃料消耗量。
- b) 燃料分析。
- c) 排烟温度。
- d) 排烟处烟气成分分析。
- e) 炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰和冷灰的重量。
- f) 炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰、冷灰和飞灰可燃物含量。

8.1.2 炉渣余热资源的测试参数：

- a) 炉渣量。
- b) 炉渣排出温度。

8.1.3 产品余热资源的测试参数：

- a) 产品产量。
- b) 产品温度。

8.1.4 冷却介质余热资源的测试参数：

- a) 冷却介质流量。

b) 冷却介质的出口温度。

8.1.5 可燃废气余热资源的测试参数：

- a) 可燃废气量。
- b) 可燃废气的组成成分。

8.1.6 凝结水余热资源的测试参数：

- a) 凝结水流量。
- b) 凝结水温度。
- c) 凝结水压力。

8.1.7 油田采出水余热资源的测试参数：

- a) 采出水流量。
- b) 采出水温度。

8.2 测试方法

8.2.1 燃料的取样和计量方法应按 GB/T 10180—2003 中 9.1 和 9.2 进行。

8.2.2 温度测试方法如下：

- a) 对于油、水、空气、蒸汽、烟气介质温度的测量，可使用热电偶温度计、热电阻温度计或水银温度计。若使用玻璃棒温度计测试温度，则温度计在测温孔内停留时间不应少于 5min，且在测试前应在测温孔内加入导热油。
- b) 液体的测温点应布置在管道截面上介质温度比较均匀的位置。
- c) 排烟温度应进行多点测量，一般可布置 2 个～3 个测点，测温点应布置在管道或烟道截面上介质温度比较均匀的位置，取其算术平均值作为锅炉、加热炉的排烟温度。排烟温度的测点应布置在锅炉、加热炉最后一级尾部受热面后 1m 以内的烟道上。
- d) 对于不宜采用接触式温度计测量的介质，可采用非接触式温度计（如光学高温计、全辐射温度计、比色温度计）。

8.2.3 烟气成分分析可用烟气分析仪测定。

8.2.4 流体介质的流量宜在输送介质的管路上采用流量计测定。若采用标准罐分罐测试排量，标准罐宜配有电子自动计时装置，测出排完每罐液体的容积所用的时间。

8.2.5 灰平衡测量方法应符合 GB/T 10180—2003 中 9.9、9.10 和 9.11 的规定。

8.2.6 蒸汽湿度的测定方法应按 GB/T 10180—2003 中附录 C 的规定进行。

9 余热资源量的计算

9.1 余热载体下限温度的确定

9.1.1 余热载体下限温度为计算余热资源量时所取的余热载体的最低温度值。确定余热载体下限温度的原则为：技术可行、经济合理。

9.1.2 一般情况下余热载体下限温度可按表 1 选用。

表 1 余热载体下限温度

余热资源类型	余热载体下限温度，℃
固态产品、中间产品、炉渣可燃性固态废料等	500
液态产品、中间产品、冷却水、可燃性废液等	80
冷凝水	环境温度
烟气、可燃性废气	180

表 1 (续)

余热资源类型	余热载体下限温度, °C
放散蒸汽	100
油田采出水余热	40

9.2 余热资源量的实测计算

9.2.1 烟气余热资源量计算

烟气的余热资源量按式 (1) 计算:

$$Q_y = B \cdot V_{py} \cdot [c_{py} \cdot (t_y + 273.15) - c_{py0} \cdot (t_{y0} + 273.15)] \cdot \left(\frac{100 - q_4}{100} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Q_y ——烟气余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);

B ——实际燃料消耗量, 单位为千克每小时或立方米每小时 (kg/h 或 m³/h)¹⁾;

V_{py} ——单位燃料燃烧产生的烟气体积, 计算见附录 A, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m³/kg 或 m³/m³);

c_{py} ——烟气在 t_y 下的平均比热容, 按照烟气成分计算, 单位为千焦每立方米开 [kJ/(m³·K)];

t_y ——排出烟气的平均温度, 单位为摄氏度 (°C);

c_{py0} ——烟气在 t_{y0} 下的平均比热容, 按照烟气成分计算, 单位为千焦每立方米开 [kJ/(m³·K)];

t_{y0} ——烟气余热资源量的下限温度, 单位为摄氏度 (°C);

q_4 ——燃料的固体未完全燃烧热损失, 计算见附录 B, 以百分数表示。

9.2.2 炉渣余热资源量计算

炉渣的余热资源量按式 (2) 计算:

$$Q_z = G_z \cdot [c_{pz} \cdot (t_z + 273.15) - c_{pz0} \cdot (t_{z0} + 273.15)] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Q_z ——炉渣余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);

G_z ——炉渣量, 单位为千克每小时 (kg/h);

c_{pz} ——炉渣在 t_z 下的平均比热容, 取值参见附录 C, 单位为千焦每千克开 [kJ/(kg·K)];

t_z ——炉渣的平均温度, 单位为摄氏度 (°C);

c_{pz0} ——炉渣在 t_{z0} 下的平均比热容, 取值参见附录 C, 单位为千焦每千克开 [kJ/(kg·K)];

t_{z0} ——炉渣余热资源量的下限温度, 单位为摄氏度 (°C)。

9.2.3 产品、冷却介质余热资源量计算

产品、冷却介质的余热资源量按式 (3) 计算:

$$Q_c = G_c \cdot [q_c + c_{pc} \cdot (t_c + 273.15) - c_{pc0} \cdot (t_{c0} + 273.15)] \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

Q_c ——产品、冷却介质余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);

G_c ——产品、冷却介质质量, 单位为千克每小时 (kg/h);

q_c ——液态产品、冷却介质的熔化潜热, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);

1) 本标准中气体 (燃气、烟气) 单位符号 “m³” 的意义为: 标准状态下测得的体积且其体积单位为立方米, 简称 “标准立方米”。

- c_{pc} ——产品、冷却介质在 t_c 下的平均比热容, 单位为千焦每千克开 [kJ/(kg·K)];
 t_c ——产品、冷却介质的平均温度, 单位为摄氏度 (°C);
 c_{pc0} ——产品、冷却介质在 t_{c0} 下的平均比热容, 单位为千焦每千克开 [kJ/(kg·K)];
 t_{c0} ——产品、冷却介质余热资源量的下限温度, 单位为摄氏度 (°C)。

9.2.4 可燃废气余热资源量计算

可燃废气的余热资源量按式 (4) 计算:

$$Q_{fq} = \sum_{i=1}^k [r_i \cdot (Q_{net,v,ar}^d)_i] \cdot V_{fq} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- Q_{fq} ——可燃废气的余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);
 r_i ——可燃废气中的第 i 种组成成分, 全部组成成分的总和等于 1, 即 $r_1 + r_2 + \dots + r_i + \dots + r_k = 1$;
 $(Q_{net,v,ar}^d)_i$ ——可燃废气中第 i 种组成成分的低位发热量常用的可燃气体低位发热量参见附录 D, 单位为千焦每立方米 (kJ/m³);
 V_{fq} ——可燃废气量, 单位为立方米每小时 (m³/h)。

9.2.5 凝结水余热资源量计算

凝结水的余热资源量按式 (5) 计算:

$$Q_n = G_n \cdot (h_n - h_{n0}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- Q_n ——凝结水余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);
 G_n ——凝结水量, 单位为千克每小时 (kg/h);
 h_n ——凝结水实测参数下的焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);
 h_{n0} ——凝结水余热资源量的下限温度下的焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg)。

9.2.6 油田采出水余热资源量计算

油田采出水的余热资源量按式 (6) 计算:

$$Q_s = G_s \cdot (h_s - h_{s0}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- Q_s ——油田采出水余热资源量, 单位为千焦每小时 (kJ/h);
 G_s ——油田采出水水量, 单位为千克每小时 (kg/h);
 h_s ——油田采出水实测参数下的焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg);
 h_{s0} ——油田采出水余热资源量的下限温度下的焓, 单位为千焦每千克 (kJ/kg)。

9.3 余热资源量计算的结果形式

9.3.1 按第 8 章测试, 按 9.2 计算, 计算结果为测试工况下的余热资源量。

9.3.2 选择全年四个季节中有代表性的时段, 按第 8 章测试, 按 9.2 计算, 取计算结果季节时间的加权平均值为年度平均实测余热资源量。

9.3.3 通过生产系统配置的计量器具, 按统计方法, 用统计数据的算术平均值按 9.2 计算, 计算结果为统计计算的余热资源量。统计期可根据需要确定, 得到的为相应统计期内的平均余热资源量。

9.3.4 余热资源量的计算单位可根据需要换算为年余热资源量、季余热资源量等表示形式。

附 录 A
(规范性附录)
烟气量的计算方法

A.1 烟气量 V_{py} 按式 (A.1) 计算:

$$V_{py} = V_{gy} + V_{H_2O} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

V_{gy} ——烟气中的干烟气体积, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3);

V_{H_2O} ——烟气中的水蒸气体积, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3)。

A.2 烟气中的干烟气 V_{gy} 按式 (A.2) 计算:

$$V_{gy} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_{py} - 1)V^0 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

V_{RO_2} —— RO_2 容积, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3);

$V_{N_2}^0$ ——理论氮气体积, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3);

α_{py} ——排烟处过量空气系数;

V^0 ——理论空气量, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3)。

A.3 烟气中的水蒸气 V_{H_2O} 按式 (A.3) 计算:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161(\alpha_{py} - 1)V^0 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$V_{H_2O}^0$ ——理论水蒸气体积, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3)。

A.4 RO_2 体积 V_{RO_2} 计算如下:

a) 煤、油为燃料时, 按式 (A.4) 计算:

$$V_{RO_2} = 1.866 \frac{C_{ar} + 0.375S_{ar}}{100} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

C_{ar} ——燃料的收到基碳, 以百分数表示;

S_{ar} ——燃料的收到基硫, 以百分数表示。

b) 气为燃料时, 按式 (A.5) 计算:

$$V_{RO_2} = 0.01(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n) \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

CO_2 ——燃料的收到基二氧化碳, 以百分数表示;

CO ——燃料的收到基一氧化碳, 以百分数表示;

H_2S ——燃料的收到基硫化氢, 以百分数表示;

$\sum C_mH_n$ ——燃料的收到基不饱和烃, 以百分数表示。

A.5 理论氮气体积 $V_{N_2}^0$ 计算如下:

a) 煤、油为燃料时, 按式 (A.6) 计算:

$$V_{N_2}^0 = 0.79V^0 + \frac{0.8N_{ar}}{100} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

N_{ar} ——燃料的收到基氮,以百分数表示。

b) 气为燃料时,按式(A.7)计算:

$$V_{N_2}^0 = 0.79V^0 + \frac{N_2}{100} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

N_2 ——燃料的收到基氮气,以百分数表示。

A.6 排烟处过量空气系数 α_{py} 计算如下:

a) 煤、油为燃料时,按式(A.8)计算:

$$\alpha_{py} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O'_2 - (0.5CO' + 0.5H'_2 + 2C'_m H'_n)}{100 - (RO'_2 + O'_2 + CO' + H'_2 + C'_m H'_n)}} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

O'_2 ——排烟处 O_2 ,以百分数表示;

CO' ——排烟处 CO ,以百分数表示;

H'_2 ——排烟处 H_2 ,以百分数表示;

$C'_m H'_n$ ——排烟处 $C_m H_n$,以百分数表示;

RO'_2 ——排烟处 RO_2 ,以百分数表示。

b) 气为燃料时,按式(A.9)计算:

$$\alpha_{py} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O'_2 - (0.5CO' + 0.5H'_2 + 2CH'_4)}{N'_2 - \frac{N_2(RO'_2 + CO' + CH'_4)}{CO_2 + CO + \sum m C_m H_n + H_2 S}}} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中:

CH'_4 ——排烟处 CH_4 ,以百分数表示;

N'_2 ——排烟处 N_2 ,以百分数表示。

A.7 理论空气量 V^0 计算如下:

a) 煤、油为燃料时,按式(A.10)计算:

$$V^0 = 0.0889(C_{ar} + 0.375S_{ar}) + 0.265H_{ar} - 0.0333O_{ar} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

H_{ar} ——燃料的收到基氢,以百分数表示;

O_{ar} ——燃料的收到基氧,以百分数表示。

b) 气为燃料时,按式(A.11)计算:

$$V^0 = 0.0476[0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + 2CH_4 + \sum (m + \frac{n}{4})C_m H_n - O_2] \quad \dots\dots (A.11)$$

式中:

H_2 ——燃料的收到基氢气,以百分数表示;

CH_4 ——燃料的收到基甲烷,以百分数表示;

O_2 ——燃料的收到基氧气,以百分数表示。

A.8 理论水蒸气体积 $V_{H_2O}^0$ 计算如下:

a) 煤、油为燃料时,按式(A.12)计算:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0.111H_{\text{ar}} + 0.0124M_{\text{ar}} + 0.0161V^0 + 1.24D_{\text{wh}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.12})$$

式中:

M_{ar} ——燃料的收到基水分, 以百分数表示;

D_{wh} ——雾化用蒸汽耗汽率, 单位为千克每千克 (kg/kg)。 D_{wh} 通过测试或按 D_{zy}/B 计算得到。 D_{zy} 为蒸汽量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

b) 气为燃料时, 按式 (A.13) 计算:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0.01(H_2 + H_2S + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0.124M_d) + 0.0161V^0 \quad \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

式中:

M_d ——燃气所带的水量, 单位为克每立方米 (g/m^3)。

附录 B

(规范性附录)

固体未完全燃烧热损失的计算方法

B.1 固体未完全燃烧热损失 q_4 按式 (B.1) 计算:

$$q_4 = (a_{lz} \frac{C_{lz}}{100 - C_{lz}} + a_{lm} \frac{C_{lm}}{100 - C_{lm}} + a_{yh} \frac{C_{yh}}{100 - C_{yh}} + a_{yl} \frac{C_{yl}}{100 - C_{yl}} + a_{lh} \frac{C_{lh}}{100 - C_{lh}} + a_{fh} \frac{C_{fh}}{100 - C_{fh}}) \times \frac{328.664 A_{ar}}{Q_r} \quad \text{..... (B.1)}$$

式中:

q_{4z} ——炉渣含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4z} ——炉渣可燃物含量, 以百分数表示;

a_{4m} ——漏煤含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4m} ——漏煤炉渣可燃物含量, 以百分数表示;

a_{4h} ——烟道灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4h} ——烟道灰可燃物含量, 以百分数表示;

a_{4l} ——溢流灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4l} ——溢流灰可燃物含量, 以百分数表示;

a_{4n} ——冷灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4n} ——冷灰可燃物含量, 以百分数表示;

a_{4f} ——飞灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数, 以百分数表示;

C_{4f} ——飞灰可燃物含量, 以百分数表示;

A_{ar} ——燃料收到基灰分, 以百分数表示;

Q_r ——供给热量, 单位为立方米每千克或立方米每立方米 (m^3/kg 或 m^3/m^3)。

B.2 炉渣含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{4z} 按式 (B.2) 计算:

$$a_{4z} = \frac{G_{4z}(100 - C_{4z})}{B \cdot A_{ar}} \times 100 \quad \text{..... (B.2)}$$

$$G_{4z} = G_{4z}^s (1 - \frac{M_{4z}}{100})$$

式中:

G_{4z} ——炉渣量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

M_{4z} ——炉渣淋水后含水量, 以百分数表示;

G_{4z}^s ——湿炉渣量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

B.3 漏煤含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{4m} 按式 (B.3) 计算:

$$a_{4m} = \frac{G_{4m}(100 - C_{4m})}{B \cdot A_{ar}} \times 100 \quad \text{..... (B.3)}$$

式中:

G_{4m} ——漏煤量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

B.4 烟道灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{yh} 按式 (B.4) 计算:

$$a_{yh} = \frac{G_{yh}(100 - C_{yh})}{B \cdot A_{ar}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

G_{yh} ——烟道灰量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

B.5 溢流灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{yl} 按式 (B.5) 计算:

$$a_{yl} = \frac{G_{yl}(100 - C_{yl})}{B \cdot A_{ar}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

G_{yl} ——溢流灰量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

B.6 冷灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{lh} 按式 (B.6) 计算:

$$a_{lh} = \frac{G_{lh}(100 - C_{lh})}{B \cdot A_{ar}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

G_{lh} ——冷灰量, 单位为千克每小时 (kg/h)。

B.7 飞灰含灰量占入炉煤总灰量的质量分数 a_{fh} 按式 (B.7) 计算:

$$a_{fh} = 100 - (a_{lz} + a_{lm} + a_{yh} + a_{yl} + a_{lh}) \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

B.8 供给热量 Q_r 按式 (B.8) 计算:

$$Q_r = Q_{net,v,ar} + Q_{wl} + Q_{rx} + Q_{zy} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

$Q_{net,v,ar}$ ——燃料收到基低位发热量, 单位为千焦每千克或千焦每立方米 (kJ/kg 或 kJ/m³);

Q_{wl} ——用外来热量加热燃料或空气时, 相应于每千克或标准状态下每立方米燃料所供给的热量, 单位为千焦每千克或千焦每立方米 (kJ/kg 或 kJ/m³);

Q_{rx} ——燃料的物理热, 单位为千焦每千克或千焦每立方米 (kJ/kg 或 kJ/m³);

Q_{zy} ——自用蒸汽带入炉内相应于每千克或标准状态下每立方米燃料所供给的热量, 单位为千焦每千克或千焦每立方米 (kJ/kg 或 kJ/m³)。

附 录 C
(资料性附录)
物体比热容的取值方法

- C.1** 物体的比热容值可采用从各类手册或标准上查出的值。
- C.2** 如果在各类手册或标准上查不到物体的比热容,可由其纯物质的比热容及其质量分数按式 (C.1) 计算:

$$c_p = \frac{G_1 \cdot c_{p1} + G_2 \cdot c_{p2} + \cdots + G_n \cdot c_{pn}}{100} \quad \cdots \cdots \cdots (C.1)$$

式中:

- c_p ——物体的比热容,单位为千焦每千克开 [kJ/ (kg·K)];
- $c_{p1}, c_{p2}, \cdots, c_{pn}$ ——各纯物质的比热容,查手册,单位为千焦每千克开 [kJ/ (kg·K)];
- G_1, G_2, \cdots, G_n ——各纯物质的质量分数,以百分数表示。

- C.3** 凡手册上查不到的物体的比热容,也不适用以上公式计算的物体的比热容,可进行实测。
- C.4** 表 C.1 列出了灰渣从 0℃ ~ t ℃ 的平均比热容。

表 C.1 煤灰的平均比热容 (0℃ ~ t ℃)

摄氏温度 t ℃	热力学温度 T K	平均比热容 c kJ/ (kg·K)	摄氏温度 t ℃	热力学温度 T K	平均比热容 c kJ/ (kg·K)
100	373.15	0.808	600	873.15	0.934
200	473.15	0.846	700	973.15	0.946
300	573.15	0.879	800	1073.15	0.959
400	673.15	0.900	900	1173.15	0.971
500	773.15	0.917	1000	1273.15	0.984

附 录 D
(资料性附录)
常用可燃气体的低位发热量

表 D.1 给出了常用可燃气体的低位发热量。

表 D.1 常用可燃气体的低位发热量

名 称	分子式	低位发热量 kJ/m ³
甲烷	CH ₄	35773.6
乙烷	C ₂ H ₆	63669.04
乙烯	C ₂ H ₄	58989.83
乙炔	C ₂ H ₂	55983.26
丙烷	C ₃ H ₈	91121.25
丙烯	C ₃ H ₆	85894.25
丁烷	C ₄ H ₁₀	118498.18
异丁烷	C ₄ H ₁₀	117921.12
丁烯	C ₄ H ₈	113367.35
戊烷	C ₅ H ₁₂	145896.02
硫化氢	H ₂ S	23354.24
氢	H ₂	10784.35
一氧化碳	CO	12644.14