

热工計算簡捷法

M. B. 拉維奇

科学出版社

М. Б. РАВИЧ
УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Издательство Академии наук СССР

Москва, 1958

內 容 簡 介

本书論述作者所研究的热工計算簡捷法的理論基础,并以大量的实例証实利用該方法能够快速而且簡便可靠地进行計算和检查,并能达到所要求的准确度。因此,用之于热工試驗以及整理試驗資料是簡捷可靠的。对提高热力设备的效率具有重大的意义。

本书可供热工方面的科学研究工作者、工程师和試驗人員等参考。

热 工 計 算 簡 捷 法

М. Б. 拉維奇 著

陈 国 瑞 譯

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 137 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1951 年 12 月第 一 版

书号: 2454 字数: 293,000

1961 年 12 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/18

(京) 0031—6,630

印张: 14 2/3

定价: 1.75 元

譯 者 序

目前,絕大多數的燃料都是在各種熱力設備(如:鍋爐、工業爐、內燃機、煤氣發生爐等)中消耗掉的。而在我國許多工業企業中,熱力設備的燃料利用效率目前尚不夠高。因此,從各方面想辦法,來提高熱力設備的熱效率是擺在我國熱工工作者面前的一項極為迫切的重要任務。

總的來說,在設計熱力設備過程中,正確地進行熱力計算;在運轉時,經常了解并“對症下藥”地降低各種熱損失是提高熱效率的根本途徑。通常,嚴格的热工計算是依賴于燃料的元素分析。而元素分析作起來又很複雜,許多企業目前尚不能獨立進行。因此,不依賴元素分析,能足夠準確而又簡捷地進行熱工計算就具有特別重大的意義。本書作者所提出的熱工計算簡捷法正是這樣的方法。運用此方法進行熱力計算時,只需知道一些對同一類型燃料來說變動甚小的系數就可以了。書中所提出的那些系數,對我國的燃料來說是有參考價值的。因此,本書所提出的熱工計算方法,對我國廣大的熱工工作者來說是很有用的。

原書為了說明其方法的準確性,作者曾在每一種具體的應用中,列舉了許多例題。為了節省篇幅,譯者認為可以刪去一些,其計算結果可從表中查得。

在翻譯過程中,雖然經過多次修改,但錯誤和不妥之處仍恐難免,歡迎讀者批評、指正。最後,對王寶棣同志所給予的大力協助表示感謝。

陳國璠 1961 年于桂林

第 二 版 序

M. Б. 拉維奇教授这本书的第一版現在已售完了。果然不出所料,它在专家們当中引起了很大的兴趣。

作者所提出的有成效的計算法已获得了进一步的发展,这就引起了补充一些重要章节的愿望。这些章节,已証实在技术应用上是毫无疑义的。

其中特别应当指出的是:采用簡捷法里的特性系数,可以成功地用于快速的和简单的检查,检查繁复的算术方法算出的燃烧物质平衡的可靠性,这种检查例題在第七章里可以看到。

將簡捷法用于气化过程的可能性是一个重要的补充章节;而說明按簡捷法,可以足够可靠地計算理論燃烧温度是很有趣的一章,它可以縮減通常所采用的計算法的步骤。

所有这些簡捷計算法的叙述,就成为 M. Б. 拉維奇教授很有前途的工作,因为簡捷法能在实践中大大地簡化現代热工計算的方法。

教授、技术科学博士

Г. Ф. 克 諾 列

第 一 版 序

热力设备的计算技术可能向两个基本的方向发展:

1) 向计算的准确性方向发展——它将现时还未考虑到的新因素引用到计算中来,使复杂方法的计算结果更准确;

2) 向计算的简捷性方向发展——其目的是使实用的计算技术简化。

假如简捷法不是远远脱离于所讨论的物理过程的实质,不是过分不准确的话,那末应当认为简捷法是完全合理的。

M. B. 拉维奇教授所从事的正是第二个方向的工作。他的成就就是找出有燃料燃烧的热力过程的简捷算法。这个方法正确地依靠了燃烧这个复杂现象的物理本质,并且达到了足够的准确度。它需要实验测定的量最少,因此它将广泛地应用于工程实践之中。并且,这里所说的测定量以及燃烧的热平衡,都不依赖燃料的成份及其发热量。

简捷法的所有计算,总是利用由燃烧生成物的一般特性得出的某些常数,这些常数是具有通用性的。但是,直到目前为止,在工程计算中还很少用到它们。例如:单位燃烧生成物容积所含的热量就是较通用的常数。作者所提出的简捷算法就是根据燃料在空气中燃烧的产物所具有的这种类似的常数。这种方法是完全合理的和有根据的。应当明确的只是那一类燃料常数数值的应用范围。因为在这些常数当中,最先碰到的就是“理论的最高燃烧温度”,亦即 Д. И. 门捷列夫所称的燃料的“产热量”。

M. B. 拉维奇的简捷算法虽然简单,但并不是过分经验性的,它具有足够的准确度。由书中所举的例题对照一下,就可以看出这一点。

上述的这些理由,足可以深信提出的算法是简捷和可靠的,在工程实践中将得到广泛的应用。

Г. Ф. 克 諾 列

1954 年 12 月 15 日

目 录

譯者序	vii
第二版序	viii
第一版序	ix
緒論	1
第一章 簡捷計算法的基础	11
1. 燃料的产热量	11
(1) 产热度的概念	11
(2) 碳的产热量	14
(3) 氢的产热量	15
(4) 碳氢化合物(烃)的产热量	16
(5) 硫的含量对燃料燃质产热度的影响	35
(6) 氮的含量对燃料燃质产热度的影响	36
(7) 氧的含量对燃料燃质产热度的影响	37
(8) 废物对燃料产热度的影响	43
(9) 气体燃料的产热量	47
(10) 液体燃料的产热量	48
(11) 固体燃料的产热量	49
2. 燃料工质在所需的理論空气量中完全燃烧时, 1 标准米 ³ 干燃烧生成物所占的热量—— p	51
3. 干燃烧生成物与湿燃烧生成物容积之比—— B	54
4. 实际干燃烧生成物容积与理論干燃烧生成物容积之比—— h	56
5. 按燃烧生成物成分确定 CO_2 含量	59
5. 燃烧生成物比热随温度之变化—— C'	67
第二章 燃烧温度的簡捷計算法	73
1. 燃料产热度的簡捷計算法	73
2. 量热計燃烧温度的簡捷計算法	80
(1) 按漸近法計算	81
(2) 按簡捷法計算	83
3. 当渗入燃烧生成物的空气量增加时, 为了保持規定的量热計燃烧温度所必需的空气預热温度的計算	86
4. 理論燃烧温度的簡捷計算法	88

05979

• iii •

05686

第三章 气体燃料燃烧时, 排烟热损失的計算	93
1. 計算方法	93
2. 計算結果	97
(1) $h > 1$ 时, 莫斯科城市煤气排烟热损失的計算	97
(2) $h < 1$ 时, 莫斯科城市煤气排烟热损失的計算	99
(3) 格尔別蒸汽鍋炉燃烧天然煤气时, 排烟热损失的計算	100
(4) 拉姆金鍋炉燃烧天然煤气时, 排烟热损失的計算	101
(5) 工艺性炉子燃烧莫斯科城市煤气时, 排烟热损失的計算	102
(6) 煤气机燃烧高炉煤气时, 排烟热损失的計算	103
第四章 液体燃料燃烧时, 排烟热损失的計算	105
1. 計算方法	105
2. 計算結果	106
(1) 固定式蒸汽鍋炉燃烧重油时, 排烟热损失的計算	107
(2) 船用鍋炉燃烧重油时, 排烟热损失的計算	108
(3) 蒸汽鍋炉燃烧石油燃料时, 排烟热损失的計算	108
(4) 鏈式炉燃烧重油时, 排烟热损失的計算	110
(5) 石油蒸馏器燃烧重油时, 排烟热损失的計算	113
(6) 內燃机排烟热损失的計算	114
(7) 二冲程无压气机式內燃机燃烧柴油时, 排烟热损失的計算	115
(8) 蒸汽鍋炉燃烧重油和石油井煤气时, 排烟热损失的計算	117
第五章 固体燃料燃烧时, 排烟热损失的計算	119
1. 計算方法	119
2. 計算結果	122
(1) 固定式鍋炉燃烧半干燥的无烟煤碎末时, 排烟热损失的計算	122
(2) 固定式鍋炉燃烧无烟煤碎末时, 排烟热损失的計算	122
(3) 蒸汽鍋炉燃烧无烟煤末时, 排烟热损失的計算	123
(4) 固定式鍋炉燃烧鲍戈斯洛夫斯克褐煤时, 排烟热损失的計算	124
(5) 固定式蒸汽鍋炉燃烧莫斯科近郊煤时, 排烟热损失的計算	125
(6) 列宁格勒电站, 試驗蒸汽鍋炉时, 排烟热损失的計算	128
(7) 蒸汽鍋炉燃烧烟煤和高炉煤气时, 排烟热损失的計算	128
第六章 化学不完全燃烧热损失的計算	130
1. 計算方法	130
2. 計算結果	134
A. 气体燃料	134
(1) 在煤气机燃烧发生炉煤气时, 化学不完全燃烧热损失的計算	134
(2) 燃烧莫斯科煤气时, 化学不完全燃烧热损失的計算	135
(3) 蒸汽鍋炉燃烧天然煤气时, 化学不完全燃烧热损失的計算	137
(4) 水管鍋炉燃烧天然煤气时, 化学不完全燃烧热损失的計算	137

B. 液体燃料	137
(1) 蒸汽锅炉燃烧重油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	137
(2) 固定式锅炉燃烧重油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	138
(3) 船用锅炉燃烧重油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	139
(4) 蒸汽锅炉燃烧重油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	140
(5) 鏈带式炉子燃烧重油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	140
(6) 燃烧煤油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	141
(7) 內燃机燃烧汽油时, 化学不完全燃烧热损失的計算	141
B. 固体燃料	142
(1) 蒸汽锅炉燃烧烟煤时, 化学不完全燃烧热损失的計算	142
(2) 燃烧烟煤时, 化学不完全燃烧热损失的計算	142
(3) 蒸汽锅炉燃烧选洗基泽洛夫煤中間产物时, 化学不完全燃烧热损失的計算	143
(4) 船用锅炉烧木柴时, 化学不完全燃烧热损失的計算	143
(5) 燃烧生成物中一氧化碳含量的計算	144
第七章 鍋炉热平衡的拟定	147
1. 鍋炉热平衡的拟定方法	147
2. 燃烧莫斯科城市煤气的鍋炉的热平衡	148
3. 燃烧天然煤气的固定式蒸汽鍋炉的热平衡	149
4. 燃烧莫斯科城市煤气的固定式鍋炉的热平衡	152
5. 燃烧重油的固定式鍋炉的热平衡	153
6. 采暖炉的热平衡	155
第八章 燃烧生成物容积計算正确性的檢驗	156
第九章 煤气发生炉的热平衡及气化效率的确定	164
燃料气化效率的計算	164
1. 气化效率	164
2. 煤气发生炉效率	165
3. 煤气发生站的效率	165
4. 煤气发生炉的热平衡	166
5. 热平衡各項目的計算方法	167
6. 水煤气发生炉热平衡的拟定	171
(1) 碳平衡及空气煤气容积的計算	171
(2) 氮平衡及吹入发生炉的空气的确定	172
(3) 按氢平衡計算由发生炉排出的水蒸汽容积	172
(4) 按氧平衡驗算以上的元素平衡	172
(5) 煤气发生炉热平衡的拟定	173
7. 气化效率的簡捷計算法	175
(1) 計算方法	175
(2) 計算結果	175
8. 煤气发生炉热平衡的驗算	178

9. 混合煤气的发生炉热平衡的拟定	181
(1) 按分析法计算	182
(?) 按简捷法计算	182
10. 气化效率的计算结果	184
11. 煤气发生炉设备废热利用效率的计算	185
(1) 空气煤气物理热和热能的利用	186
(2) 水煤气物理热的利用	187
(3) 混合发生炉煤气物理热的利用	188
12. 考虑到煤气发生炉设备效率的煤气热处理炉总效率的确定	189
第十章 炉子热量回收效率的计算	191
1. 计算方法	191
2. 计算结果	192
第十一章 氧和氧-氮混合物, 过量系数的计算法	202
第十二章 燃料的成分及热工特性	211
結論	248
基本符号	249
参考文献	252

緒 論

在苏联,随着工业、交通运输业以及农业机械化的高速发展,所消費的燃料正在不断地增长。煤的开采量从1913年的2910万吨,增长到1956年的42900万吨,而1957年已达到46200万吨。根据初步估計,今后15年左右煤的开采量将約为每年65000—75000万吨。

石油的开采量从1913年的920万吨,增加到1956年的8380万吨,而1957年已达到9800万吨,大約再过15年石油的开采量将达到每年35000—45000万吨。1913年还没有天然煤气的开采,而1956年开采量已达120亿米³,1957年已达200亿米³。15年后国家計劃开采和生产煤气2700—3200亿米³/年。

在苏联,由于大規模的燃料消費,使得降低热损失和提高燃料利用率成为国民經济中特別重要的課題。在这方面,苏联的热能站已取得了卓越的成就,主要是使用当地燃料的发电厂鍋炉效率已达到90%。

但是,工业与民用炉子的燃料利用指标还是很低的。工业与民用事业的鍋炉設備,效率很少超过70—80%。在这个情况下,热损失为20—30%,亦即比发电厂鍋炉的热损失多1—2倍,这多半是排烟热损失增加所致。

某些工业部門,在提高工业炉燃料的利用經濟性方面已获得了卓越的成就。例如:高炉的热效率已达到80%。但很多型式的工业炉(加热炉、热处理炉、鍛铁炉等)的热效率向来是很低的。即使燃用最貴重的液体和气体燃料,也不超过20—30%,其主要的热损失是排烟损失。

利用炉子排出烟气的热量来預热空气和生产蒸汽,可以使得很多机械制造厂和其他企业的炉子的燃料利用的經濟性有显著的提高,并且可以消除化学不完全燃烧等热损失。

降低热损失和提高燃料利用經濟性,是一件关系到国計民生的事情,其意义并不次于一些新的煤产地和石油产地的开工。

企业拟定提高燃料利用率的制度时,自然首先应当測定热损失。显然,就需要进行热工試驗和試驗資料的整理。

企业拟定和实行降低热损失的措施是:降低排烟温度,利用其热量預热空气或水;減低过量空气以便減少排烟容积;保証燃料的完全燃烧等。这就要求在不同的工

况下,进行多次的热工試驗,以确定和計算在新的工况下燃料的經濟性。因此,热力設備在不同工况下的热工試驗,是爭取节省燃料的重要环节。

按一般所采用的方法来进行和整理热工試驗,往往需要很大的劳动,很多的时间和資料。因此,只有大企业才能独立进行鍋炉和工业炉的热工試驗。許多中、小型热能消費者例如:为数甚多的机械制造厂、紡織厂、輕工业、食品工业和民用事业就不得不依靠專門的机构来作热工試驗了。事实上随着工业的发展,这些企业的燃料消費,也就迅速的增长。

在工程上进行热工試驗的方法有两种:(1)測定热效率,(2)作热平衡——正平衡和反平衡。

作正平衡时需要算出收入的热量、設備利用的热量和热損失。收入热量与有效利用的热量及損失热量的差就是热平衡的偏差程度。

作正平衡时需要进行相当多的測量。例如:按此法进行蒸汽鍋炉試驗时需要进行下列的測量和計算。

收 入 的 热 量

1. 燃料燃烧的焓 Q_1

它等于燃料燃烧量 B 与其平均发热量 Q 的乘积:

$$Q_1 = B \cdot Q, \text{大卡。} \quad (1)$$

为了計算这些量,必須:

- 1) 測定燃料燃烧量 B 。液体和固体燃料用秤量,气体燃料用測量孔板或流量計量。
- 2) 正确地选择燃料的平均試样,以便进行其可燃成分的特性及发热量的試驗。
- 3) 測定燃料平均試样的发热量 Q 。

2. 空气的物理热 Q_{II}

Q_{II} 按下式計算:

$$Q_{II} = V \cdot t \cdot C, \quad (2)$$

式中: V ——空气容积,标准米³;

t ——空气的平均温度,°C;

C ——空气从 0° 到 t° 的平均比热,大卡/标准米³°C。

为了計算 Q_{II} ,必須測量或計算空气的容积,以及測定它的温度。

燃烧 1 公斤固体或液体燃料所需的理論空气量,可由燃烧过程方程式和燃料工质的成分,按下式計算:

$$L^0 = \frac{1}{100} \cdot \left[\frac{32}{12} C^p + \frac{32}{32} S^p + \frac{32}{4} H^p - O^p \right] \cdot \frac{100}{23} =$$

$$= \frac{1}{23} [2.67C^p + S^p + 8H^p - O^p], \text{公斤}, \quad (3)$$

式中: C^p , S^p , H^p 和 O^p ——燃料工质含有的碳、可燃硫、氢和氧的重量百分数。其前面的系数是燃烧 1 公斤各该元素必需的氧量。23 是空气中氧的重量百分数。

在工程计算里, 1 标准米³的空气重量取为 1.293 公斤。因此, 1 公斤燃料燃烧所需的理论空气容积 $V^0 = L^0/1.293$ 标准米³/公斤

或:

$$V^0 = \frac{1}{29.74} (2.67C^p + S^p + 8H^p - O^p) \text{标准米}^3/\text{公斤}. \quad (4)$$

近似为:

$$V^0 = \frac{1}{30} (2.67C^p + S^p + 8H^p - O^p) \text{标准米}^3/\text{公斤}.$$

根据锅炉机组热力计算标准, 所需理论空气容积(用标准米³表示)按下式计算:

$$V^0 = 0.089C^p + 0.0333S^p + 0.265H^p - 0.0333O^p \text{标准米}^3/\text{公斤},$$

式中: 0.089; 0.0333 和 0.265——燃烧 1 公斤碳、可燃硫和氢所需的空气量。或者, 将碳与可燃硫加起来, 因其空气消耗量之比为 $\frac{12}{32} = \frac{1}{2.67} = 0.375$, 于是得出:

$$V^0 = 0.089K^p + 0.265H^p - 0.033O^p, \text{标准米}^3/\text{公斤}, \quad (4a)$$

式中: K^p ——燃质特性系数;

$$K^p = C^p + 0.375S^p. \quad (5)$$

气体燃料燃烧时, 1 标准米³煤气所需的空气量为:

$$V^0 = \frac{4.76}{100} (0.5H_2 + 0.5CO + 2CH_4 + 3C_2H_4 + 3.5C_2H_6 +$$

$$+ 4.5C_3H_6 + 5C_3H_8 + 6.5C_4H_{10} + 1.5H_2S - O_2) \text{标准米}^3, \quad (6)$$

式中: H_2 , CO , CH_4 等——气体燃料所含的可燃质的容积百分数, 其前面的系数, 分别为完全燃烧 1 标准米³各该可燃质所需的空气量。包含 1 标准米³氧气的空气容积为 4.76 标准米³。

为了简化计算和试验方便起见, 有时不计算空气的热损失, 而把空气的容积与比热当为烟气的容积与比热。计算排烟热损失时, 用排烟温度 $t_{y,r}$ 与空气温度 t_a 的差代入公式里去。

支出的热量

1. 有效利用的热

生产出来的蒸汽或热水的焓, 按下式计算:

$$Q_1 = D(i' - i), \text{大卡},$$

化为燃料完全燃烧热量 Q_1 (即 BQ) 的百分数时得:

$$q_1 = \frac{D(i' - i)100}{BQ}, \quad (7)$$

式中: D ——蒸汽或热水的生产量, 公斤;

i' ——1 公斤蒸汽或热水的焓, 大卡;

i ——1 公斤给水的焓, 大卡.

2. 排烟的热损失

排烟的热损失 Q_2 可按下式计算:

$$Q_2 = (V_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{N_2} \cdot C_{N_2} + V_{O_2} \cdot C_{O_2} + \\ + V_{SO_2} \cdot C_{SO_2} + V_{CO} \cdot C_{CO} + V_{H_2} \cdot C_{H_2} + V_{CH_4} \cdot C_{CH_4}) t_{y,r}, \text{大卡}, \quad (8)$$

式中: V_{CO_2} , V_{H_2O} , V_{N_2} 等等——相应为二氧化碳、水蒸汽、氮等等在排烟中的含量, 标准米³.

C_{CO_2} , C_{H_2O} , C_{N_2} 等等——相应为二氧化碳、水蒸汽、氮等等在温度区间 $0-t_{y,r}$ 间的平均比热, 大卡/标准米³ °C.

$t_{y,r}$ ——排烟温度, °C

烟气分析出 CO_2 和 SO_2 之后, 加起来写成 RO_2 , 可以认为 RO_2 的比热等于 CO_2 的比热.

排烟热损失相当于燃料完全燃烧热量的百分数, 可按下式计算:

$$q_2 = \frac{Q_2 100}{BQ}. \quad (9)$$

如以前所说的那样: 令空气的容积等于排烟的容积, 并且不考虑燃烧生成物从 0° 到 $t_{y,r}$ 、空气从 0° 到 t_b 之间容积比热的差别. 那么, 可以算出排烟的热损失, 即排烟的物理热与空气的物理热之差. 这样的算式整理如下:

$$Q_2 = (V_{RO_2} \cdot C_{RO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{N_2} \cdot C_{N_2} + V_{O_2} \cdot C_{O_2} + \\ + V_{CO} \cdot C_{CO} + V_{H_2} \cdot C_{H_2} + V_{CH_4} \cdot C_{CH_4})(t_{y,r} - t_b), \text{大卡}. \quad (10)$$

燃烧固体与液体燃料时, 燃烧生成物中产生的二氧化碳, 由碳平衡得:

$$V_{CO_2} = \frac{1}{100} \cdot \frac{44}{12} \cdot C^p \cdot \frac{22.41}{44} = 0.0187 C^p, \text{标准米}^3/\text{公斤}, \quad (11)$$

式中: 12 和 44——相应为碳的原子量和二氧化碳的分子量; 22.41 标准米³为 1 公斤-莫尔气体在标准状态下所占有的容积.

干的三原子气体的容积, 即 $CO_2 + SO_2 = RO_2$ 由下式计算:

$$V_{\text{RO}_2} = 0.0187K^P, \text{标准米}^3/\text{公斤}, \quad (11a)$$

式中: K^P ——煤质特性系数。

因此,为了计算 RO_2 的容积标准米³,必须用元素分析测定燃料中的碳和可燃硫的含量。但是,元素分析通常是不进行的,特别是中、小型设备的热工试验。而燃料中碳和可燃硫的含量,只得根据燃料元素成分的平均特性表的数据。例如:根据锅炉机组热力计算标准的数据,和工业分析的数据测定燃料工质中废物的含量,即灰分 A^P 和水分 W^P ,它们的差就是燃质:

$$C^P + H^P + S^P + O^P + N^P = 100\% - (A^P + W^P).$$

按后者测定,可能与真实含碳量的平均值相差 6—8%。

在元素(碳和可燃硫)平衡的基础上,亦即燃料中含 $(C^P + S^P)$ 的百分数与干燃烧生成物中 RO_2' 平衡的基础上,可以算出燃烧 1 公斤燃料时干燃烧生成物 $V_{\text{e.r}}$ 的容积:

$$V_{\text{e.r}} = \frac{22.41K^P}{12 \cdot \text{RO}_2'} = 1.87 \frac{K^P}{\text{RO}_2'}, \text{标准米}^3/\text{公斤}. \quad (12)$$

当燃烧生成物中含有一氧化碳和甲烷时,公式(12)应变为下式:

$$V_{\text{e.r}} = 1.87 \frac{K^P}{\text{RO}_2' + \text{CO}' + \text{CH}_4'}, \text{标准米}^3/\text{公斤}, \quad (13)$$

式中: CO' 和 CH_4' ——干燃烧生成物中一氧化碳和甲烷含量的容积百分数。

干燃烧生成物容积确定之后,在燃烧生成物分析的基础上,可算出排烟里其他成分的容积:

$$V_{\text{N}_2} = 0.01 \cdot V_{\text{e.r}} \cdot \text{N}_2', \text{标准米}^3/\text{公斤}; \quad (14)$$

$$V_{\text{CO}} = 0.01 \cdot V_{\text{e.r}} \cdot \text{CO}', \text{标准米}^3/\text{公斤}; \quad (15)$$

$$V_{\text{O}_2} = 0.01 \cdot V_{\text{e.r}} \cdot \text{O}_2', \text{标准米}^3/\text{公斤}. \quad (16)$$

因此,在测定燃料含碳量时的误差,不仅影响到二氧化碳容积的准确度,而且还影响到其他排烟成分,尤其是氮气容积的准确度。

在干空气中燃烧 1 公斤固体和液体燃料时,烟气中水蒸汽 $V_{\text{H}_2\text{O}}$ 的容积可按下式计算:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{100} (9\text{H}^P + W^P) \cdot \frac{22.41}{18} = \frac{9\text{H}^P + W^P}{80.4}, \text{标准米}^3/\text{公斤}. \quad (17)$$

因此,为了计算燃烧生成物中水蒸汽的容积,必须取得燃料含氢量与含水量的数据。

燃料在含有 1% (重量) 水分的空气中燃烧时,水蒸汽的容积为:

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{9\text{H}^P + W^P}{80.4} + 0.01 \cdot \alpha \cdot V^0 \cdot 1.293 \frac{22.41}{18} = \\ &= \frac{9\text{H}^P + W^P}{80.4} + 0.016\alpha V^0, \text{标准米}^3/\text{公斤}. \end{aligned} \quad (18)$$

式中: α ——空气过量系数。

燃烧气体燃料时,干燃烧生成物的容积 $V_{c,r}$ 同样可按碳平衡算出(可燃气体含碳量与燃烧生成物含碳量的平衡):

$$V_{c,r} = \frac{CO + CO_2 + CH_4 + 2C_2H_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10}}{CO'_2 + CO' + CH'_4},$$

标准米³/公斤, (19)

式中: CO, CO₂, CH₄ 等等——可燃气体中一氧化碳、二氧化碳、甲烷等等的含量,而 CO'₂, CO', CH'₄——干燃烧生成物中二氧化碳、一氧化碳和甲烷的容积百分数。

因此,计算气体燃料的燃烧生成物容积,需要知道的不仅是燃烧生成物的成分,可燃气体的成分也要知道。

当所燃用的气体成分不恒定时,就必须进行燃气分析。应当指出,国民经济中有重要意义的几种煤气(例如:与石油一起取得的石油井煤气、石油加工时获得的石油厂煤气、可燃煤气等)的分析是很复杂很麻烦的。因为在气体中含有各种不同的碳氢化合物。

燃烧生成物中的水蒸汽容积,可由燃气的成分算出:

$$V_{H_2O} = \frac{1}{100} (H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_6 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 2C_2H_4 + 3C_3H_6)$$

标准米³/标准米³(气体). (20)

3. 化学不完全燃烧的热损失

化学不完全燃烧的热损失按下式计算:

$$Q_3 = V_{c,r} \cdot Q_{np,rop}, \text{大卡}, (21)$$

式中: $V_{c,r}$ ——按公式(12), (13)或(19)算出的干燃烧生成物容积, 标准米³;

$Q_{np,rop}$ ——干燃烧生成物的发热量, 大卡/标准米³。可以由排烟中可燃质的成分算出:

$$Q_{np,rop} = 30.2CO' + 25.8H'_2 + 85.5CH'_4,$$

式中: CO', H'₂ 和 CH'₄——干燃烧生成物中所含的一氧化碳、氢和甲烷的容积百分数。它们前面的系数 30.2、25.8 和 85.5——燃烧 1% 各该气体时所放出的热量。

化学不完全燃烧的热损失,相当于燃料完全燃烧热量的百分数为:

$$q_3 = \frac{Q_3 \cdot 100}{BQ}, \%. (22)$$

4. 机械不完全燃烧的热损失

固体燃料机械不完全燃烧的热损失,由下列三项而定:(1)排烟带走的燃料(2)漏到炉篦下的燃料(3)含在炉渣与炉灰中没有燃尽的燃料。

机械不完全燃烧的热损失,可由下式计算:

$$Q_4 = \frac{\left(a_{yn} \frac{\Gamma_{yn}}{100 - \Gamma_{yn}} + a_{np} \frac{\Gamma_{np}}{100 - \Gamma_{np}} + a_{m\pi} \frac{\Gamma_{m\pi}}{100 - \Gamma_{m\pi}} \right)}{100} \times 78 A^p B, \quad (23)$$

式中: a_{yn} , a_{np} 和 $a_{m\pi}$ ——在飞灰、漏煤和灰渣中燃料灰分的百分数, %;

Γ_{yn} , Γ_{np} 和 $\Gamma_{m\pi}$ ——在飞灰、漏煤和灰渣中可燃物的百分数, %;

A^p ——工作燃料的灰分, %;

78——在飞灰、漏煤和灰渣中,百分之一可燃物的平均发热量, 大卡。

机械不完全燃烧热损失,折成燃料完全燃烧热量的百分数为:

$$q_4 = \frac{Q_4 100}{B Q}, \% \quad (23a)$$

a_{yn} , a_{np} , $a_{m\pi}$ 和 Γ_{yn} , Γ_{np} , $\Gamma_{m\pi}$ 的数值,可根据全苏热工研究所整理的锅炉机组热力计算标准查出。各种燃料机械不完全燃烧热损失的数列入第五章 (119 页表 54)。

散失到外界去的热 q_5 ,可按它与锅炉蒸发量的函数关系决定。

由于燃料燃烧量测定的困难,所以试验资料的整理很少按正平衡进行。通常,热工试验都是按反平衡进行的。

反平衡先测定:排烟热损失 q_2 ,化学不完全燃烧热损失 q_3 ,机械不完全燃烧热损失 q_4 和散热损失 q_5 。锅炉利用的热 q_1 ,即锅炉热效率,可按热平衡剩下的数值算出:

$$q_1 = 100\% - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5), \%$$

按反平衡计算高效率的设备,不仅是简便的,而且是比较准确的。正平衡由于测定燃料燃烧量和蒸汽生产量的误差,故准确性较差。但是,按间接方法计算热效率和组成热平衡,还是牵涉到一系列的困难的:燃料必须选样并进行其成分与发热量的测定。

前面已经指出:热损失最大的通常是排烟损失。在个别情况下,不完全燃烧热损失也很大。因此制定一种热工简便计算法是有实际意义的。这种方法不仅能使试验的进行及试验资料的整理得到简化,而且也能在排烟热损失的计算方面达到足够准确。一般说来对企业的工程技术人员来说,按这种方法进行热工试验时所花费的时间和经费最小。

热工试验和热损失的计算,只有在企业中被一贯地用来监督生产时,才能起着燃料的节省和改善利用的重大作用。

在热工计算方法方面,伟大的苏联学者门捷列夫作过很大的贡献。他指出过:糾

朗格、布切等人的不完善的公式;并制定了計算一切固体和液体燃料发热量的簡捷而准确的方法。同时,他还确定了燃料的发热量与其燃烧所需的理論空气量及氧量的关系。按照門捷列夫的公式(參看 13 頁),假如知道理論耗氧量可以决定发热量,或者知道发热量也可以算出燃料燃烧所需的理論空气量及氧量^[1]。

苏联的学者和工程师們,按照門捷列夫所指出的道路,經過艰苦的劳动,以求簡化热工計算。

Д. П. 柯諾瓦洛夫院士,也确定过燃烧各种燃料时发热量与理論耗氧量的关系。

Г. Ф. 克諾列教授,繼承了 Д. П. 柯諾瓦洛夫的工作,整理出計算燃料发热量的綜合公式(考虑了氧化时水分的分出),改进了气体分析的方法,并拟定了天然气体燃烧时按碳数所作的物質平衡的計算法^[2]。

Д. 車尔諾巴耶夫教授,提出过空气和燃烧生成物容积与发热量和过量空气系数的关系的計算公式^[3]。

С. Я. 科尔尼茨基教授,提出过根据固体和液体燃料燃质发热量及其成分,計算理論所需空气量和燃烧生成物容积的公式^[4]。同时,他还提出过燃烧固体和液体燃料的鍋炉,排烟热损失的簡捷計算法:

$$q_2 = (K' + K''\alpha) \frac{t_{y,r} - t_a}{100} \%, \quad (24)$$

并确定了各种燃料在鍋炉排烟温度下 K' 和 K'' 的数值^[5]。

А. М. 古尔維奇教授,提出过已知发热量就可以算出各种燃料的理論上所需的空气量和燃烧生成物容积以及焓的公式^[6]。

技术科学博士 С. Г. 特罗依勃建立了相当簡捷的,燃料燃烧的热工图算法。在这里,发热量是已知的或者是待求的^[7]。

但是,在一系列的情况下燃料的发热量与成分往往是变动的。例如:由天然煤气、炼焦煤气、高压蒸汽氧鼓风的发生炉煤气混合而成的莫斯科城市煤气的发热量,常在 6000—8000 大卡/标准米³范围内变动。

煤气成分和发热量的变动,亦可以在石油厂煤气(在热裂与热解过程获得的)、可燃煤气(由相应的丙烷与其他碳氢化合物变来的)、炼焦与半焦化煤气(在固体燃料炼焦过程中获得的)和别的在工业与民用事业广泛使用的煤气中发现。在这些情况下热工計算由于必須測定可燃煤气的成分与发热量而变得复杂了。

無論使用相同的或不同的燃料,其成分与发热量都是会变动的。

燃料燃烧后,排烟的温度在很大的区間内变动——鍋炉与干燥器为 100°—200°C,工业炉为 1000°C 或更高。因而,工业炉排烟热损失的計算,就应考虑到排烟