

锅炉机组热力计算

标准方法

水利电力出版社

72.52
155

苏联电站部
荣获劳动红旗勳章的
捷尔仁斯基全苏热工研究所

苏联重型机械制造部
波尔宗諾夫中央鍋炉
汽轮机研究所

鍋爐机組热力計算

标准方法

·附計算綫图·

苏联技术科学博士 A.M. 古尔維奇 H.B. 庫茲涅佐夫主編

馬 毓 义譯

3105/0/07

水利电力出版社

內 容 提 要

本书是全苏热工研究所及中央鍋炉汽輪机研究所会同編纂的，并經苏联重型机械制造部、电站建設部的技术委员会批准作为部属企业的必要文献。

本书正文中詳細闡述了計算方法；此外，还編有計算标准和綫算图，可以使有經驗的計算师毋須参考正文即能进行計算。

本书附录中編有水和水蒸汽的焓及比容表、減溫器計算、管壁金属計算温度的求法、設計燃燒设备及受热面的簡要規定，以及鍋炉机組热力計算示范等。

本书供鍋炉机組設計人員、电站的工程师以及高等工业学校的學生等使用。

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1957

鍋炉机組热力計算

标准方法

根据苏联国立动力出版社1957年莫斯科版翻譯

馬 毓 义 譯

*

2734 R 459

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 1/32 开本 * 16 1/8 印張 * 336 千字 * 定价(第10类)2.20元

1960年3月北京第1版

1960年3月北京第1次印刷(0001—5,980册)

序

鍋炉机組热力計算方法是全苏热工研究所及中央鍋炉汽輪机研究所会同編纂的，并經苏联重型机械制造部、电站部及电站建設部的技术委员会批准；在設計部属企业使用的蒸汽鍋炉时必须采用本书，以代替中央鍋炉汽輪机研究所出版的“鍋炉机組热力計算标准”（国立机械出版社，1945年版）和全苏热工研究所編制的同类标准（国立动力出版社，1952年版）。

苏联重型机械制造部和苏联电站部的专门委员会曾經反复研究过全苏热工研究所和中央鍋炉汽輪机研究所的建議，故在制訂計算的最后建議时考虑了专门委员会的意見；1954至1955年的“热能动力学”杂志上曾扼要地发表过热力計算法草案，各机关及各企业曾就該草案提出过意見，因而在制定最后建議时也考虑了这方面的意見。

本书搜罗的資料由三部分組成：即正文、計算标准及綫算图，本书正文詳細叙述热力計算法。在計算标准中，又将計算法簡略地重述一次，但未加解釋；同时編入必要的参考資料，以便在充分熟悉計算法之后就能够进行計算，用不到参考正文。

計算法之后編入六种附录，即

- I、常用符号；
- II、水及水蒸汽的焓和比容表；
- III、减温器計算；
- IV、管壁金属計算温度的求法；
- V、設計燃燒设备及受热面的簡要規定；
- VI、鍋炉机組热力計算示范。

鍋炉机組热力計算法大半是依据苏联的、主要是全苏热工研究所和中央鍋炉汽輪机研究所的研究工作編制的，它总结了各研究机关在研究蒸汽鍋炉工作过程和改善計算方法等方面的主要科学研究工作的成果。

本书第二章“燃料”所依据的資料，是多年来研究苏联燃料的质量特性的研究成果，这类研究工作主要是在A.И. 柯烈林的领导下由全苏热工研究所完成的。

本书第三章“鍋炉机組热力計算中所应用的物理特性”及附录 II “水及水蒸汽的焓及比容表”，是依据在 Д.И. 齐姆罗特和 Н.Б. 瓦尔加伏契克领导下在全苏热工研究所內长期进行的关于气体、水及水蒸汽的物理特性的研究工作的成果来編制的。

本书第四章“空气及燃燒生成物的容积和焓”以及第五章“鍋炉机組热平衡”所采用的資料，仍然是苏联重型机械制造部和苏联电站部的热力計算的旧标准（前者由中央鍋炉汽輪机研究所編制，后者由全苏热工研究所編制）。

本书第六章“炉內換热計算”的資料，是根据中央鍋炉汽輪机研究所在 A.M. 古尔維奇领导下、И.И. 堪 兌斯参加下研究的燃燒室內換热計算法編出的。由于要編制标准方法，曾应用全苏热工研究所、中央鍋炉汽輪机研究所及以克雷洛夫命名的中央标准研究

所关于炉内换热的一些新試驗数据、将有关計算公式和系数进一步加以确定，也考虑了H.B.庫西明、M.M.魯賓、Я.П.斯托罗茹克及B.Д.切連契叶夫等在这方面所作出的一些研究工作的成果。

同时，也采用了全苏热工研究所(B.Н.齐莫菲叶夫)在确定角系数和炉子辐射黑度方面进行过的理論性研究工作的成果。

本书第七章全面总结了苏联在研究对流受热面内所发生的物理过程的研究成果。气流作横向流动的管束中和鳍片式省煤器及空气預热器中的对流换热計算法，系依据H.B.庫茲涅佐夫领导下、И.Б.瓦拉維茨基、Э.С.卡拉西娜、B.A.洛克辛、A.З.雪尔巴柯夫等参加进行在全苏热工研究所完成的一些研究工作。鳍片管束内换热計算的一般方法，則系根据全苏热工研究所Э.С.卡拉西娜所完成的研究工作。在推导計算公式时，也采用了中央鍋炉汽輪机研究所B.M.安图菲叶夫及Г.С.別列茨基所进行过的、关于光滑管束、鳍片管束及翼片管束中的换热过程方面的研究成果。

介質在管内流动和纵向流过管束时，以及在縫隙形孔道和再生式空气預热器填充物孔道中流动时的换热計算，是依据中央鍋炉汽輪机研究所在Л.И.伊里英领导下所完成的研究工作的成果。在热力計算标准方法的这一部分中，也采用了Л.М.約菲(莫斯科包曼工学院)的关于再生式空气預热器的换热过程方面的一些数据。

燃燒生成物的輻射計算，是根据重新綜合性地处理了关于三原子气体的輻射方面的試驗数据和在試驗室內研究灰粒的輻射性質的数据的結果来編訂的。这些研究工作則是在A.M.古尔維奇领导下由A.П.勃洛赫、B.B.米托尔及A.И.諾索維茨基等在中央鍋炉汽輪机研究所进行的。

管束污染系数的計算法，系依据H.B.庫茲涅佐夫及A.З.雪尔巴柯夫在全苏热工研究所完成的一些試驗研究工作，也采用了M.Д.帕拉先柯在处理蒸汽鍋炉工业試驗的数据时早已得到的一些結果。污染系数試驗值的修正系数，則是Э.С.卡拉西娜(全苏热工研究所)、С.И.摩强、及O.Г.列夫辛(中央鍋炉汽輪机研究所)等在研究标准計算时确定下来的。

温压的計算法系由中央鍋炉汽輪机研究所С.И.摩强編訂。

在确定过剩空气系数、燃燒損失以及炉子和对流受热面的换热計算的公式中的各个系数时，采用了中央鍋炉汽輪机研究所和全苏热工研究所以及列宁格勒大林金属工厂鍋炉設計处(E.M.卡查尔諾夫斯基)和其他机关进行过的鍋炉机組工业試驗的結果，其中主要是前两者得出的結果(A.П.巴拉諾夫、И.К.巴尔施欽、M.И.別尔曼、С.Г.別斯金、Г.А.布尔格維奇、A.M.古尔維奇、A.И.德沃列茨基、B.Н.捷施金、И.Е.杜波夫斯基、H.И.日尔諾夫、П.И.堪兌斯、M.Л.基賽尔戈夫、A.Н.列別杰夫、A.И.莫罗茲、Е.В.涅恰也夫、M.M.魯賓、П.Г.沙尔柯夫、С.В.塔契雪夫、Г.А.蕭林、M.M.希尔德克列特等等)。

除了上述工作以外，在編纂标准計算法时还采用了苏联重型机械制造工业部和苏联电站部的旧标准中的資料。

参加了标准計算法各章的資料准备工作的有下面許多位同志：K.A.阿列克謝也夫(第七章5)、И.К.巴尔施欽(第五章、第四章第4-2节附录V)、A.Г.勃洛赫(第六章及第七章3)、И.Б.瓦拉維茨基(第四章第4-1节、第五章及附录I)、H.B.瓦尔加伏契克(第

三章)、A.M.古尔維奇(第五章、第六章、第七章3及附录V)、A.И.德沃列茨基(第二、三两章中关于重油的数据)、A.A.查哈罗夫(附录IV)、Л.Н.伊里英(第七章2)、Э.С.卡拉西娜(第六章、第七章2、4、5和第八章)、П.Н.堪兌斯(第五章、第六章及附录V)、A.И.柯烈林(第二章)、H.B.庫茲涅佐夫(第七章2、4及5段和附录V)、A.Н.列別杰夫(第五章及附录V)、С.И.摩强(第四章第4-2节、第七章5段及第3节、第八章和附录II及IV)、С.И.涅維尔逊(第五章、第七章5段及附录V)、M.Д.帕拉先柯(第二章、第七章5)、O.Г.列夫辛(第四章第4-2节、第七章5及附录III、IV、VI)、M.M.魯宾(第五章)、A.B.斯介尔里娜(第六章)、С.А.塔盖尔(計算标准5-03及5-04)、С.В.塔契雪夫(第五章及附录V)、Г.А.蕭林(第五章及附录V)、A.З.雪尔巴柯夫(第七章5)、B.A.雪尔巴柯夫(附录V)。

И.К.巴尔施欽、П.Н.堪兌斯及 M.Д.帕拉先柯还积极参加了标准計算法的一些重要的原則性問題的討論和協調工作。

整个編写工作是在A.M.古尔維奇和H.B.庫茲涅佐夫的领导下进行的。

本书的大部分(第一、三、四、五、七及第八章和附录III、IV、及VI)为Э.С.卡拉西娜及С.И.摩强編写;此外,A.И.柯烈林及T.A.吉凱叶夫写第二章;A.M.古尔維奇、A.Г.勃洛赫及С.И.摩强写第三章;И.К.巴尔施欽、Э.С.卡拉西娜、M.И.基賽尔哥夫、С.И.摩强及Г.А.蕭林写附录V。

除了本书的作者以外,还有O.Г.列夫辛及 E.Я.契托夫参与計算标准和綫算图的編訂工作。

目 录

第一章 总論	7
第二章 燃料	8
第 2-1 节 固体及液体燃料	8
第 2-2 节 气体燃料	12
第 2-3 节 混合燃料	14
第 2-4 节 燃料的计算特性	14
第三章 鍋炉机組热力計算中所应用的物理特性	16
第四章 空气及燃燒生成物的容积和焓	25
第 4-1 节 容积和焓的計算	25
第 4-2 节 鍋炉机組中的过剩空气系数及漏风系数	31
第五章 鍋炉机組的热平衡	33
第六章 炉內換热計算	37
第七章 对流受热面的計算	44
第 7-1 节 基本方程式	44
第 7-2 节 傳热系数	45
1. 基本原理	45
2. 对流放热系数	47
3. 燃燒生成物的輻射放热系数	54
4. 鳍片式及翼片式受热面的傳热系数	57
5. 受热面的污染系数及利用系数	61
第 7-3 节 溫压	62
第八章 关于鍋炉机組計算方法的若干建議	68
第 8-1 节 有关計算手續和計算順序的一些規定	68
第 8-2 节 炉子計算	73
第 8-3 节 鍋炉管束及凝渣管的計算	74
第 8-4 节 过热器計算	76
第 8-5 节 单流鍋炉过渡区域的計算	80
第 8-6 节 省煤器計算	80
第 8-7 节 空气預热器計算	81
附录 I 常用符号	84
附录 II 水和水蒸汽的焓及比容表	90
一、飽和曲綫上的干飽和蒸汽和水	91
二、水	94
三、过热蒸汽	99
四、超临界压力下的容积和焓	117
附录 III 減溫器計算	125
一、表面式減溫器	125

二、噴水式減溫器	128
附录IV 管壁金屬計算溫度的求法	128
附录V 設計燃燒設備及受熱面的簡要規定	138
一、燃燒設備	138
1. 總論	138
2. 室燒爐	138
3. 層燒爐	143
二、受熱面	145
1. 總論	145
2. 水冷壁及鍋爐受熱面	147
3. 過熱器	148
4. 省煤器	149
5. 空氣預熱器	149
附录VI 鍋爐機組熱力計算示范	150

計 算 標 准

計算标准2-01 固体及液体燃料的計算特性	178
計算标准2-02 气体燃料的計算特性	186
計算标准3-01 固体和液体燃料、灰分及可燃气体的平均比热	188
計算标准3-02 重油的物理特性	189
計算标准4-01 燃燒生成物的容积和焓的計算	190
計算标准4-02 $\alpha=1$ 时固体及液体燃料理論上所需空气的容积及燃燒生成物的容积	191
計算标准4-03 $\alpha=1$ 时气体燃料理論上所需空气的容积及燃燒生成物的容积	193
計算标准4-04 1 标准立方米空气和气体及 1 公斤灰的焓	194
計算标准4-05 $\alpha=1$ 时、1 公斤固体及液体燃料理論上所需空气的焓及燃燒生成物的焓	195
計算标准4-06 鍋爐機組各段烟道的漏风系数	209
計算标准4-07 空气預熱器空气出口处空气量的計算	210
計算标准5-01 鍋爐機組熱平衡	211
計算标准5-02 固态除渣室燒爐的計算特性	213
計算标准5-03 机械式層燒爐及半机械式層燒爐的計算特性	214
計算标准5-04 靜止爐排人工投煤層燒爐的計算特性	216
計算标准5-05 液态除渣爐的計算特性	216
計算标准6-01 爐內換熱計算	217
計算标准6-02 爐子黑度的求法	218
計算标准6-03 爐子容积及水冷管曝光长度的求法	221
計算标准7-01 对流受熱面計算的基本方程式	221
計算标准7-02 傳熱系数的求法	222
計算标准7-03 烟氣作复杂流动的受熱面的計算	223
計算标准7-04 对流放熱系数的求法	225
計算标准7-05 輻射放熱系数的求法	226
計算标准7-06 污染壁溫的求法	226
計算标准7-07 溫压的求法	227

總 算 圖

I. 炉内傳热計算	229
II. 介质橫向流过順列光滑管束时的对流放热系数	230
III. 介质橫向流过錯列光滑管束时的对流放热系数	231
IV. 空气及烟气作縱向流动时的放热系数	232
V. 过热蒸汽作縱向流动时的放热系数	234
VI. 非沸水作縱向流动时的放热系数	235
VII. $Re < 10000$ 时板式空气預热器的放热系数	236
VIII. $Re \leq 5200$ 时再生式空气預热器的放热系数	237
IX. 三原子气体的輻射减弱系数	238
X. 充滿灰粒的空間中的輻射减弱系数	239
XI. 輻射放热系数	240
XII. 污染系数及利用系数	242
XIII. 連續混合流状况下的溫压	244
XIV. 平行混合流状况下的溫压	245
XV. 交流状况下的溫压	246
XVI. 全苏热工研究所及中央鍋炉設計局型生鉄鳍片式省煤器的傳热系数	247
XVII. 生鉄鳍片式及齿形鳍片式空气預热器烟气側的相当放热系数	248
XVIII. 生鉄鳍片式及齿形鳍片式空气預热器空气側的相当放热系数	249
XIX. 庫辛斯克厂造生鉄鳍片板式空气預热器的相当放热系数	250
XX. 錯列翼片式管束的放热系数	251
XI. 鳍片的有效系数	252
XII. 橫向鳍片順列管束的放热系数	253
XIII. 橫向鳍片錯列管束的放热系数	254
XIV. 蒸汽在水平管束中凝結时的放热系数	255
XV. 沿垂直管流动着的蒸汽凝結时的放热系数	256
XVI. 沸水作縱向流动时的放热系数	256

第一章 总 論

1-01. “鍋炉机組热力計算(标准方法)”包括計算法指南、参考資料、进行固定式鍋炉机組的檢驗热力計算和結構(設計)热力計算所需的公式及綫算图。

檢驗热力計算和結構热力計算的方法基本上是相同的。其区别仅在于計算的目的和所求的数值不同。

1-02. 檢驗热力計算是根据鍋炉机組所采用的結構及尺寸、对鍋炉机組当时的負荷及指定的燃料种类去决定各个受热面之間边界处的水温、汽温、风温及烟温、鍋炉效率、燃料消耗量、空气及烟气的流量和速度。

进行檢驗热力計算是为了估計鍋炉机組的經濟性及安全性、找寻改善結構所需的措施、选择附属設備和得出一些原始数据，以便进行水循环計算、金属溫度計算等等。

1-03. 作結構(設計)热力計算时，是在指定的給水溫度及燃料特性的情况下去决定銘牌蒸发量、所采用的經濟指标及指定的蒸汽参数(汽压及汽温)所必需的炉子尺寸和鍋炉机組各个部件的受热面的尺寸。

鍋炉机組在长期运行中除了保持指定的蒸汽参数以外，其所应当保証的最大蒸发量，叫做銘牌蒸发量。

为了选择附属設備，热力計算的任务也包括燃料消耗量、空气及烟气流量等的必要計算。

作热力計算时应当考虑怎样去保証鍋炉机組工作的安全性(防止受热面結渣或积灰、防止管子被灰强烈磨蝕、防止金属过热及腐蝕等等)。必要时还应根据热力計算附带地进行循环計算、金属溫度計算、灰渣磨蝕速度計算等。

1-04. 鍋炉机組檢驗热力計算的計算課題应包括下述几項資料和原始数据：

(1) 鍋炉机組的图纸和足以确定所有必須的結構特性的、有关燃燒設備、受热面及烟道的結構和尺寸的数据；

(2) 按第二章列举的要求的燃料特性；

(3) 鍋炉机組的蒸发量、主汽門处过热蒸汽的压力和溫度（以及根据汽輪机和其他使用蒸汽的設備的工作条件制定的汽压汽温容許偏差範圍）、給水溫度、鍋炉汽鼓內的压力；

(4) 装有再热器时应包括再热器进出口处再热蒸汽的流量和参数；

(5) 飽和蒸汽消耗量(如果从鍋炉汽鼓抽取飽和蒸汽的話)；

(6) 連續排污量；

(7) 煤粉制备系統的計算数据：煤粉空气混合物的总量、一次空气量、为了使燃料干燥所抽取的烟气量、煤粉制备系統的漏风量。

1-05. 結構(設計)热力計算的課題应包括下述几个原始数据：

(1) 燃燒設備的型式及所拟定的、鍋炉机組的組合情况；

(2)項至(7)項与檢驗热力計算的課題相同。

在計算課題中, 排烟温度和热空气温度是指定的, 或者是按附录 V 的建議及設計时的具体情况选用。

炉子出口处及各段烟道內的烟气温度; 烟气、水及蒸汽的流速, 以及汽-水回路中各區間点处的水及蒸汽的焓可参照設計时的具体情况按附录 V 的建議去選擇。

第二章 燃 料

第 2-1 节 固体及液体燃料

1. 燃 燒 热

2-01. 固体及液体燃料的燃燒热(发热量)应采用測热計測得的数据。不宜利用借緬杰耶夫公式之类的經驗公式按燃料成分所算出的燃燒热之值去进行热力計算。

2-02. 高燃燒热 Q_g 应根据氧彈測热計中燃燒热之值 Q_0 去确定, 考虑到燃燒时会产生酸类, 故須加以修正, 即:

$$Q_g = Q_0 - 22.5S_0 - 0.0015Q_0 \text{ 大卡/公斤}, \quad (2-01)$$

式中 $22.5S_0$ ——氧彈中燒掉的硫 S_0 [%] 的生成物从 SO_2 氧化为 SO_3 的氧化热及 SO_3 溶于水的溶解热;

$0.0015Q_0$ ——氧彈中硝酸的生成热。

2-03. 低燃燒热 Q_n 的求法是从高燃燒热 Q_g 中减去汽化热, 汽化热常假設其等于 600 大卡/公斤水, 則:

$$Q_n = Q_g - 6(W + 9H) \text{ 大卡/公斤}. \quad (2-02)$$

2-04. 在氧彈測热計中燃燒含有碳酸盐的頁岩和其他燃料时, 碳酸盐实际上多半会全部分解。因此, 在采用氧彈測热計时, 計算燃燒热必須考虑碳酸盐分解的吸热效应 $[-9.7(CO_2)_n]$ 大卡/公斤。

2. 各种燃料质。燃料特性从一种燃料质換算成另一种燃料质的換算法

2-05. 燃料特性可以对下述几种燃料质而言:

工作质(用上标 p 表示), 即燃料处于即将使用的那种状态(送入鍋炉房、煤粉車間等的燃料);

分析质(上标为 a), 即处于實驗室状态即将分別进行分析測定的、磨碎了的及干燥过的燃料;

干质(上标为 c), 即不含水分($W=0$) 的燃料;

燃质(上标为 v), 即构成燃料有机质的那些元素与硫铁矿中的硫之和。

除了含有大量的碳酸盐的燃料以外, 对于所有的燃料都可以把 $(100 - W - A)$ 当作是燃质, 这里的 100 是燃料的工作质或分析质, 用百分数表示。

对于碳酸盐含量較多(5 % 以上)的燃料, 常将下式当作是燃质

$$[100 - W - A_{ucn_p} - (CO_2)_n];$$

式中 $(CO_2)_n$ ——碳酸盐二氧化碳的含量, %;

A_{ucnp} ——含灰量，未考虑碳酸盐分解时所构成的硫酸盐，并对硫铁矿的硫的燃烧进行修正，%：

$$A_{ucnp}^p = A^p - [2.5(S_a - S_{cm})^c + 0.375S_k^c] \left(1 - \frac{W^p}{100}\right)\%, \quad (2-03)$$

式中 S_a ——实验室内所测得的灰分中的含硫量(占燃料质的百分数)；

S_{cm} ——燃料中硫酸盐的硫的含量；

S_k ——燃料中硫铁矿的硫的含量。

如果没有关于硫酸盐含量的试验数据，可设爱沙尼亚页岩及格多夫页岩的 $[2.5(S_a - S_{cm})^c + 0.375S_k^c]$ 值等于2.0%，格什米尔页岩的等于3.8%，沙维尔也夫页岩的等于3.1%，奥辛斯克页岩的等于2.4%。

其所以要进行上述计算，是因为燃烧碳酸盐含量较多的燃料时，碳酸盐(主要是 CaCO_3 ，也有 MgCO_3 及 FeCO_3) 将分解为金属氧化物及 CO_2 。析出的二氧化碳随同燃料有机质的燃烧生成物一齐排掉，金属氧化物则残留在灰渣中，又由于金属氧化物与氧化硫局部化合，于是就构成了硫酸盐。

从每一种燃料质的测定过程中，可以得出如下的明确的关系式：

$$C^p + H^p + N^p + O^p + S_k^p + S_{op}^p + A^p + W^p = 100\%;$$

$$C^a + H^a + N^a + O^a + S_k^a + S_{op}^a + A^a + W^a = 100\%;$$

$$C^c + H^c + N^c + O^c + S_k^c + S_{op}^c + A^c = 100\%;$$

$$C^z + H^z + N^z + O^z + S_k^z + S_{op}^z = 100\%.$$

燃料成分、挥发物及燃烧热(氧弹中测得的、也就是高燃烧热)的换算，可用表 2-1 中所列出的换算因数进行。

表 2-1 燃料成分、挥发物及燃烧热(氧弹中测得的，也就是高燃烧热)
从一种燃料质换算成另一种燃料质的换算因数

已知燃料质	所 求 燃 料 质			
	工 作 质	分 析 质	干 质	燃 质
工 作 质	1	$\frac{100 - W^a}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$
分 析 质	$\frac{100 - W^p}{100 - W^a}$	1	$\frac{100}{100 - W^a}$	$\frac{100}{100 - W^a - A^a}$
干 质	$\frac{100 - W^p}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
燃 质	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - W^a - A^a}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

2-06. 水分为 W_1^p 的工作质的原素成分及燃烧热(氧弹中测得的、也就是高燃烧热)换算成水分为 W_2^p 的工作质的方法，是乘上换算因数 $\frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p}$ ；灰分为 A_1^p 的工作质换算成灰分为 A_2^p (W^p = 常数时)的工作质的方法，则是乘上换算因数 $\frac{100 - A_2^p}{100 - A_1^p}$ 。

頁岩的已知成分 (C、H、N、O、S_κ、S_o) 及燃燒熱 (氧彈中測得的, 也就是高燃燒熱) 可用下述換算因數從工作質換算成燃質:

$$\frac{100}{100 - W^p - A_{ucnp}^p - (CO_2)_{\kappa}^p}$$

從灰分為 A_1^p 、碳酸鹽二氧化碳的含量為 $(CO_2)_{\kappa_1}^p$ 的工作質的已知成分及燃燒熱 (氧彈中測得的, 也就是高燃燒熱) 換算成灰分為 A_2^p 、碳酸鹽二氧化碳為 $(CO_2)_{\kappa_2}^p$ 的工作質成分及燃燒熱, 可用下述換算因數進行:

$$\frac{100 - A_{ucnp_2}^p - (CO_2)_{\kappa_2}^p}{100 - A_{ucnp_1}^p - (CO_2)_{\kappa_1}^p}$$

2-07. 燃料的低燃燒熱 Q_u 可按以下諸式進行計算:

$$Q_u^p = Q_s^p - 6(W^p + 9H^p) \text{ 大卡/公斤}; \quad (2-04)$$

$$Q_u^s = Q_s^s - 54H^s \text{ 大卡/公斤}; \quad (2-05)$$

$$Q_u^z = Q_s^z - 54H^z \text{ 大卡/公斤}; \quad (2-06)$$

$$Q_u^p = Q_u^s \frac{100 - W^p - A^p}{100} - 6W^p \text{ 大卡/公斤}. \quad (2-07)$$

水分為 W_1^p 的燃料工作質低燃燒熱換算成水分為 W_2^p 的工作質低燃燒熱可按下式進行:

$$Q_{u_2}^p = (Q_{u_1}^p + 6W_1^p) \frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p} - 6W_2^p \text{ 大卡/公斤}. \quad (2-08)$$

工作質灰分有變動時, 則按2-06去換算 Q_u 。

3. 煤 的 分 類

2-08. 通常將礦物煤分成三大類: 即褐煤、石煤及无烟煤。它們之間並沒有明顯的界綫; 這種分類法的本身也是假想性的, 因為各類煤之間還有過渡性的煤。

2-09. 揮發物多的 ($V_s > 40\%$)、燃燒熱比石煤來得低 (Q_s^p 多半低於 7,000 大卡/公斤而且不超過 7,300~7,400 大卡/公斤) 的不粘結煤, 屬於褐煤 (B 號煤)。其特點是收濕水分和總水分往往都很高 (多半是如此)、含碳量降低和含氧量增加。褐煤在空氣中容易喪失其機械強度, 同時統統變成碎屑, 而且有顯著的自燃趨勢。

根據業經公認的分類法, 按褐煤中工作質總水分含量 W^p 的不同, 又可以將褐煤分成三種:

B₁—水分含量超過 40%;

B₂—水分含量為 30~40%;

B₃—水分含量在 30% 以下。

2-10. 揮發物 $V^s = 9 \sim 50\%$ 和更多的那種煤, 屬於石煤。石煤的燃料質有不同程度的粘結性, 只有揮發物超過 42~45% (長焰煤) 和少於 15% (貧煤) 的那部分石煤, 才不粘結。

石煤可以分成許多牌號, 其區別是揮發物量和粘結度不同 (粘結度可用非揮發性剩餘物的強度及外貌去表示)。直到現在都還採用的頓巴斯石煤的牌號, 列在表 2-2 中。

其他產煤區的石煤的分類, 基本上仍然適用頓巴斯石煤的牌號。除此以外, 也採用下述牌號: CC—略粘結煤、IIIM—濕選法的中間生成物、IIIC—干選法的中間生成物。

表 2-2

頓巴斯石煤的牌号

牌 号 名 称	符 号	揮发物析出量 占燃質的百分数	非揮发性剩余物的特性
长焰煤	А	大于42	粉状或結块
气煤	Г	35~44	粘結、熔化、有时会扩张(松散)
蒸汽用肥煤	ПЖ	26~35	粘結、熔化、濃結或适度濃結
炼焦煤	К	18~26	粘結、熔化、濃結或适度濃結
蒸汽用粘結煤	ПС	12~18	粘結、熔化、濃結或适度濃結
貧煤	Т	小于17	粉状或結块

說明：揮发物 $V^2 = 42 \sim 44\%$ 的煤，只有当其燃質燃燒热 Q_d 不小于 7900 大卡/公斤时才可以属于 Г 号煤。

对于苏联的石煤，現时已确定了一个分类系統，根据該系統按揮发物量及粘結度将石煤分成牌号，但这里的粘結度却是用塑性层的厚度“y”表示。

y 值用毫米表示，它的下限常写在石煤牌号的符号的旁边，作为下标。例如 Γ_{10} 代表塑性层最小厚度为 10 毫米的气煤。

2-11. 揮发物 $V^2 = 2 \sim 9\%$ 、燃燒热 $Q_d < 8350$ 大卡/公斤的煤，属于无烟煤 (A 号煤)。

2-12. 石煤与无烟煤之間的过渡性煤，是半无烟煤 (IIA 号煤， $V^2 = 5 \sim 10\%$)，其与无烟煤的区别，是燃燒热較大 ($Q_d > 8350$ 大卡/公斤)。

2-13. 由于新牌号还没有足够可靠的平均質量特性，故本标准中所論及的燃料計算特性仅适用于旧牌号。只有重新确定的一种牌号“半无烟煤”的特性是例外。

2-14. 在上面列举的矿物煤分类方案的范围之外，还有在地质結構上經過氧化的石煤和褐煤。由庫茲涅茨克矿区的矿井中开采出的煤，是前者的例子，莫斯科矿区的油页岩煤则是后者的例子。实际上，所有現时正在开采的中亚細亚矿区，特别是安格倫、基粹尔-基亚、苏留克塔、舒拉勃等矿区的煤，也是氧化过的(象褐煤那样分牌号)。

氧化过的石煤的特点是全部或局部丧失其粘結性(当揮发物 $V^2 = 17 \sim 40\%$ 时，但在

表 2-3

石煤及褐煤按煤块大小分类

类 别	名 称	常 用 符 号	煤 块 大 小 (毫米)
大	块	K	50—100
栗	块	O	25—50
碎	煤	M	13—25
煤	粒	C	6—13
煤	末	III	小于 6
原	煤	P	没 有 限 制

說明：牌号名称可和类别名称及其常用符号写在一起，例如大块褐煤可写成 BK，栗块气煤写成 IO，略粘結煤末写成 CCM 等等。

当供应 A、Г、ПС、T 及 CC 等号煤去进行粉状燃燒时，以及当石煤和篩分过的褐煤的水分很高时，可将煤块小于 13 毫米以下的那类煤划出来，用符号 CIII 表示(即有粉末的煤粒)，以代替 C 及 III 两类煤。

当褐煤的水分很高时，常将煤块尺寸小于 25 毫米的那类煤划出来，用符号 BMCIII 表示(即有煤粒和煤末的碎褐煤)，以代替 M 及 CIII 两类煤。

当 EO 类褐煤的揮发物很少时，常将煤块大小为 13—50 毫米的那类煤划出来，用符号 BOM 表示(有碎屑的栗块褐煤)。

用露天开采法采出的原煤，其煤块大小不得超过 300 毫米。

表 2-4

頓巴斯无烟煤按煤块大小分类

类 别 名 称	常 用 符 号	煤 块 大 小 (毫米)
板状无烟煤	AII	大于100
块状无烟煤	AK	50-100
栗状无烟煤	AO	25-50
碎无烟煤	AM	13-25
无烟煤粒	AC	6-13
无烟煤末	AIII	小于 6
原无烟煤(无岩石的)	APIII	小于100

說明：对于个别矿井可以規定开采出煤块尺寸大于75毫米的AII号煤和煤块尺寸为25~75毫米的AK号煤。

将干无烟煤分类时，可划出一种附加的牌号“无烟煤粒”A3，其煤块尺寸为3~6毫米；在这种情况下，AIII号煤的煤块尺寸規定为3毫米以下。在个别情况下，当矿坑湿度很高时，允許开采出ACIII号无烟煤，其煤块尺寸小于13毫米。

这种情况下未經氧化的石煤却完全具有粘結性)。所有氧化过的煤，燃燒热 Q_g 均降低(有时会降低1000~2000大卡/公斤)，含氢量也降低(氧化得很厉害时)。除了少数例外，氧化过的煤的机械强度都很差，而且有显著的氧化和自燃趋势。

2-15. 表2-3及2-4列出了业已定案的、按煤块大小将石煤标褐煤以及无烟煤进行分类的标准。

第2-2节 气 体 燃 料

2-16. 气体燃料是可燃气体和不可燃气体的混合物，它含有某种数量的杂质，如水蒸汽、树脂和尘埃。

2-17. 气体燃料的成分用容积百分数表示，所有的計算都是对1标准立方米干气体而言(在760毫米水銀柱及0°C时)。杂质(水蒸汽、树脂、尘埃)的含量則用克/标准米³干气体表示。

2-18. 气体燃料的燃燒热可按混合公式計算：

$$Q_g = 0.01[Q_{H_2S}H_2S + Q_{CO}CO + Q_{H_2}H_2 + \Sigma(Q_{C_mH_n}C_mH_n)] \text{大卡/标准米}^3 \quad (2-09)$$

式中 Q_{H_2S} 、 Q_{CO} 等代表各組成气体的燃燒热，其值列在表2-5中，单位为大卡/标准米³。

气体燃料中含有少量的(3%以下)成分不明的非饱和碳氢化合物时，常設其为乙烯(C_2H_4)。对于焦炉煤气來說，可設成分不明的非饱和碳氢化合物的 Q_g 等于17000大卡/标准米³。

2-19. 各种气体燃料有下述几个特点：

高炉煤气在送至用戶之前要在洗滌器或粉碎机中受到冷却和預行除尘。送至用戶的高炉煤气，已被水分所饱和，含尘量为0.1~1.0克/标准米³(用洗滌器来淨化时)及0.01~0.3克/标准米³(在粉碎机中淨化时)。未經淨化的高炉煤气含有7~12克/标准米³的灰尘；灰尘中的含碳量为3~5%。熔炼硅生鉄时所得到的高炉煤气含有很大的灰尘，采用干法淨化煤气时(一般的煤气都采用干法)，煤气的含尘量比較高。但煤气中实际上却

表 2-5

气体燃料所含各种气体的特性

气 体 名 称	符 号	比 重, γ_g (公斤/标准米 ³)	低 燃 烧 热, Q_H (大卡/标准米 ³)
氢	H ₂	0.090	579
单质状态的氮	N ₂	1.251	—
空气中的氮(掺杂有氩)	N ₂	1.257	—
氧	O ₂	1.428	—
一氧化碳	CO	1.250	3018
二氧化碳	CO ₂	1.964	—
二氧化硫	SO ₂	2.858	—
硫化氢	H ₂ S	1.520	5585
甲烷	CH ₄	0.716	8555
乙烷	C ₂ H ₆	1.342	15226
丙烷	C ₃ H ₈	1.967	21795
丁烷	C ₄ H ₁₀	2.593	28338
戊烷	C ₅ H ₁₂	3.218	34890
乙烯	C ₂ H ₄	1.251	14107
丙烯	C ₃ H ₆	1.877	20541
丁烯	C ₄ H ₈	2.503	27111
苯	C ₆ H ₆	3.485	33528

说明: 计算 γ_g 及 Q_H 时, 均设1克分子气体的容积等于22.41公升(象理想气体一样)。

不含树脂。

用大块燃料生产出的发生炉煤气在冷却及净化以后即送至用户, 这是在25~40°C的温度状况下被水蒸汽饱和过的煤气, 只含有很少量的灰尘, 但用木材和上等泥煤生产出的发生炉煤气却含有醋酸的蒸汽, 含尘量为7~17克/标准米³。煤气中树脂含量为0~10克/标准米³。细粒燃料在浮悬燃料层中气化时, 所以产生的发生炉煤气可以在150~250°C的温度状况下送至用户。这种煤气中的含尘量为10~15克/标准米³, 树脂含量为1~1.5克/标准米³, 含醋酸很微(燃用罐采泥煤时), 水蒸汽含量为250~300克/标准米³(当燃料的水分32~37%时)。用洗涤器来进行净化时, 煤气含灰尘0.5~1.0克/标准米³, 含树脂很微, 含水蒸汽30~60克/标准米³。

用空气吹冷煤气发生炉所得到的煤气, 是水煤气生产过程中的废气, 这种煤气离开煤气发生炉时的温度为500~600°C, 含有16~32克/标准米³的灰尘和13~40克/标准米³的水蒸汽。灰尘的低燃烧热为4200~6000大卡/公斤。

焦炉煤气向来都是在清除了树脂、苯、萘和氨(“回炉气”)之后才送至用户。这种煤气含有微量的树脂和灰尘, 其含尘量为4克/标准米³。焦炉煤气的含湿量相当于其在25~35°C时的饱和状态。未经净化的焦炉煤气含苯27~32克/标准米³和微量的树脂、萘和氨。

表 2-6

饱和煤气的含湿量

温 度 (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1标准立方米干煤气的含湿量 d (克/标准米 ³)	5.0	10.1	19.4	35.9	64.6	114	202	370	739	1950

送至用户的天然煤气不含灰尘。其含湿量则随进入煤气管道之前所采用的脱水法而不同，但在煤气产地含湿量却变动得很厉害。如果将天然煤气送至很远的距离，就必须除掉煤气中的水分，其含湿量应相当于10°C时的饱和状态。

第2-3节 混合燃料

2-20. 当燃用两种固体或液体燃料的混合物时，要指定它们的重量比例 (g' 代表混合物中某一种燃料的重量比例)，则1公斤混合燃料的燃烧热可按下式计算：

$$Q_u^p = Q_u^{p'} g' + Q_u^{p''} (1 - g') \text{ 大卡/公斤.} \quad (2-10)$$

2-21. 假使并不是指定混合燃料的重量比例而是指定每一种燃料占发热量若干成的话 (g' 代表其中一种燃料所占的份额)，则可用下式换算成重量比例：

$$g' = \frac{q' Q_u^{p''}}{q' Q_u^{p''} + (1 - q') Q_u^{p'}}. \quad (2-11)$$

2-22. 当燃用固体或液体燃料与气体燃料的混合物时，为了方便起见，通常并不是对1公斤需要燃烧的混合燃料进行计算，而是对1公斤固体或液体燃料进行计算，但须考虑1公斤固体或液体燃料所占的煤气量(标准立方米)。

在这种情况下，若1公斤固体或液体燃料占 x 标准立方米的煤气，则混合燃料的假想燃烧热可按下式计算：

$$Q_u^p = Q_u^{p'} + x Q_u^{p''} \text{ 大卡/公斤.} \quad (2-12)$$

式中 $Q_u^{p'}$ 及 $Q_u^{p''}$ 分别代表固体(或液体)燃料及气体燃料的燃烧热，大卡/公斤及大卡/标准米³。

如果指定混合燃料中每一种燃料占发热量若干成的话〔总发热量中固体或液体燃料占 q' ，气体燃料占 $(1 - q')$ 〕，则1公斤固体或液体燃料所占气体燃料量的标准立方米数为：

$$x = \frac{1 - q'}{q'} \times \frac{Q_u^{p'}}{Q_u^{p''}} \text{ 标准米}^3/\text{公斤.} \quad (2-13)$$

第2-4节 燃料的计算特性

2-23. 为了选择燃料的计算特性，设计课题中应包括如下的规定：

对于无烟煤、石煤、褐煤及頁岩，须指明产地名称、牌号及煤块尺寸的类别；

对于选煤尾品须说明产地、所拣选的煤的牌号及选煤法(干选还是湿选)；

对于泥煤须说明开采法(掘采还是鏟采)；

对于木材须说明木块尺寸；对于木材廢品须说明得到这种廢品的生产过程的性质；

对于重油须说明牌号及含硫量；

对于人造气体燃料须说明煤气种类、原始燃料、生产煤气的方法及煤气净化法；

对于天然气体燃料须说明产区及产地性质(是出油井抑纯粹是出气井)。

由于气体燃料中的杂质含量以及煤气送至用户时的温度和压力变动很大，故对于具体情况应特地确定杂质含量、温度及压力等。

2-24. 在计算标准2-01及2-02中列出了苏联动力工业所使用的许多种主要形式和牌号的燃料的计算特性。但不能把列出的数值当作是一些常数，也不能看成是一些一成不