

高等学校教学用书

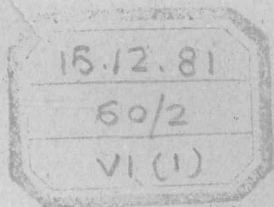
水泥工业窑

上册

Е. И. 郝道劳夫 著

建筑工程出版社

JR 1726



水 泥 工 业 窑

(上 册)

前重工业部建筑材料工业管理局編譯科 譯

本書系根据苏联国家建筑材料出版社一九五一年出版的
Б. И. 郝道劳夫所著〔水泥工业窑〕（Печи цементной
Промышленности）一書上册譯出。原書經苏联高等教育部
审定为建筑材料工学院〔矽酸盐工艺学〕系、〔水泥工艺学〕
系以及〔水泥生产热工技术〕专业的教学参考書。

本書由前重工业部建筑材料工业管理局編譯科赵維彭和
尹基祥同志翻譯，王进甲同志校訂。

水 泥 工 业 窑

（上 册）

前重工业部建筑材料工业管理局編譯科 譯

1955年第1版 1960年2月第4次印刷 3,978—4,988册

787×1092 1/25 • 300千字 • 印張157/25 • 挿頁11 • 定价(10)2.20元

建筑工程出版社印刷 印刷 新华書店发行 書号：1853

建筑工程出版社出版（北京市西郊百万庄）

（北京市書刊出版业營業許可証出字第052号）

目 錄 (上冊)

譯者序	5
原 序	6
第一章 水泥熟料的形成	
第一節 熟料的形成	8
第二節 熟料形成的熱效應	14
第三節 熟料形成過程的速度	19
第二章 立 窖	
第一節 沿革簡述	25
第二節 立窖的流體阻力	28
第三節 立窖中的傳熱	35
第四節 燃料在立窖中的燃燒	39
第五節 自動式立窖的構造	48
一、窖身	49
二、喂料裝置	52
三、卸料裝置	58
四、閘門	61
第六節 自動式立窖操作的經驗數據	63
第三章 迴轉窖	
第一節 沿革簡述	69
第二節 迴轉窖內的熟料形成	74
第三節 物料在迴轉窖內的運動	86
第四節 氣體在迴轉窖內的運動	91
第五節 迴轉窖內的傳熱	95
一、迴轉窖中空部分的傳熱	95
二、迴轉窖鏈條帶內的傳熱	118
三、迴轉窖內格子式熱交換板的傳熱	122
第六節 燃料在迴轉窖內的燃燒	124

一、燃料在迴轉窯內燃燒的一般情況	125
二、粉狀固體燃料在迴轉窯內的燃燒	133
三、液體燃料在迴轉窯內的燃燒	152
四、氣體燃料在迴轉窯內的燃燒	161
第七節 迴轉窯的結構	164
一、窯體	168
二、托輪滾圈裝置	173
三、窯的傳動裝置	177
四、窯頭	182
五、密閉裝置	182
六、熱交換裝置	187
七、襯料與隔熱層	194
八、喂料機	203
第八節 迴轉窯操作的經驗數據	208
第九節 迴轉窯廢氣餘熱利用裝置	229
一、餘熱鍋爐和料漿過濾機	229
二、料漿噴射裝置	258
三、蒸發機與預熱機	271
四、煅燒機	290
第十節 迴轉窯廢氣的收塵設備	311
一、收塵室	314
二、旋風式收塵器	315
三、電氣收塵器	318
第十一節 迴轉窯的冷卻機	319
一、單筒式冷卻機	319
二、多筒式冷卻機	323
三、爐篦式冷卻機	327
第四章 爐篦子機	345
窯的熱工效能	358
參考文獻	363
中俄文名詞對照表	364

譯 者 序

我國水泥工業雖然隨着人民政權的建立一日千里地發展着，但在水泥製造和水泥窖結構方面，國內却沒有一本很完整而且有理論基礎的書籍可供參考。爲了滿足我國水泥工業中技術人員學習蘇聯先進經驗的迫切需要，因此譯者將蘇聯 E. И. 郝道勞夫著的「水泥工業窖」(Печи цементной промышленности, ЦГОМстройиздат, 1950) 一書譯就，以便對我國水泥工業的發展有所裨益。

譯者藉本書與讀者見面的機會，有幾個問題需要向大家說明如下：

一、本書有關水泥熱工方面的理論比較高深，因此在翻譯過程中遇到很多困難問題。這些問題雖然在一些同志中間經過研究和討論，但限於能力和時間，所以仍然未能徹底理解，因此錯誤自屬難免，希望讀者在生產、設計、研究和教學的實踐中不斷指正，以便再版時加以修改；

二、原書所引用的公式，在翻譯過程中經我們的演算結果認爲有幾處恐係原文印刷上的錯誤，故譯者在有關方面的蘇聯專家的同意下已作了必要的註解，希望讀者特別加以注意，如有不對之處，請隨時函告爲盼；

三、關於術語譯名方面，熱工部分多以大連工學院所譯「化工原理」一書中的名詞爲依據，而水泥專業方面的名詞，是根據生產中的常用名詞而定。但是，也有一部分是出於譯者杜撰，不妥之處，望讀者指正；

四、全書譯就後，曾經王進甲、楊德驥、高世雄和陸純煊等四位同志校對過，提出很多修正性的意見，譯者藉此機會謹致謝意。

一九五四年十月一日於北京

趙 維 彭

原 序

十九世紀二十年代，伊格爾·切利也夫第一個發明水泥。隨後，A. P. 舒良千考、H. A. 別列留布斯基、H. H. 梁敏等人在水泥科學方面又作了很大的貢獻。雖然水泥的發明權及其工藝學的創立是屬於俄國的工程師和科學家們，但是，在革命前工業落後的俄國，水泥工業却是十分薄弱，並且也不能製造水泥工業的裝備。

偉大的十月社會主義革命之後，在斯大林五年計劃的年代裡，蘇聯建立了水泥工業機械設備的製造業，而且水泥工業的規模也比革命前擴大了好幾倍。水泥工業的成長，乃是水泥科學發展的先決條件。

如果說在資本主義國度內，工業技術問題是屬於某些私人公司的管轄範圍，那麼他們就必然會阻碍理論研究工作的發展，因為這項工作是超出了他們那狹小的興趣圈子。而在我們的國家裡，國家本身就有計劃地為建立水泥製造工業的科學理論創造了條件。從而說明一個事實：在水泥製造方面所獲得的科學成就，確實應當歸功於蘇聯的科學家們，如 C. H. 德魯日寧、A. A. 巴依考夫、B. H. 容克、П. П. 布得尼科夫、B. A. 金得、B. Ф. 茹拉乎達夫和 H. A. 濤勞包夫等人。

水泥製造過程中的熱工學，是水泥工業中最年輕的一門科學，它是根據蘇聯在水泥製造方面和熱工學的物理原理方面的研究工作而建立起來的。在發展熱工學的物理原理方面，M. B. 奇爾必切夫和 Г. Ф. 克諾爾曾作了很大的貢獻。在煅燒水泥熟料的熱工學方面取得了成果之後，不僅可以根據一般的經驗數據，而且還可以根據理論來設計和管理水泥煅燒窯。

全書共分上下兩冊。第一冊中所講的是水泥煅燒窯中主要的反應過程的分析：熟料的形成、物料和氣體的運動、燃料的燃燒以及傳熱等等。在本冊內又介紹了國產水泥窯的構造及其操作當中的詳細經驗數據。

第二冊中將討論熱工計算和熱工控制方法以及窯的自動化和操作原理方面等問題。

本書乃是水泥製造系熱工學專業大學生的教材，但亦適用於生產人員、設計人員和研究人員。

我們預計讀者對於普通熱工學方面的問題已很熟悉，因此在某些情況下，作者在引用計算資料的同時並沒有敘述其來源，而只是給讀者提出了某些方程式的一般概念。

書中總括了蘇聯水泥科學研究院熱工試驗室和國立水泥設計院十五年來研究工作的資料。有關煅燒水泥熟料的熱工研究工作，還是第一次，故難免沒有缺點，望讀者不吝指正，作者必懷感激的心情接受。

第一章 水泥熟料的形成

第一節 熟料的形成

製造水泥熟料用的原料，大部分都是些經過粉碎的石灰石或白堊，以及粘土或粘土質頁岩。有時也使用泥灰岩。泥灰岩乃是石灰石和粘土在不同比例下的天然混合物；有時它本身的成份就相當於水泥（如天然泥灰岩）。在某些情況下，也可以用粒狀高爐礦渣代替粘土。

石灰石和白堊，主要是由碳酸鈣（ CaCO_3 ）所組成。粘土和粘土質頁岩的主要組成部分是高嶺土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。粒狀高爐礦渣約含有 50% 的氧化鈣（ CaO ），而且是分佈在礦渣的玻璃質部分和晶狀化合物（矽酸鹽、鋁矽酸鹽等）之間。

有時，配合原料中還要加入少量的矽砂或矽藻土（用以提高 SiO_2 的含量）、鐵礬土礦（用以提高 Al_2O_3 的含量）、黃鐵礦渣、鐵礦或煉鐵爐爐頂灰（用以提高 Fe_2O_3 的含量）。倘若使用固體燃料進行煅燒，則熟料成份中也將含有該燃料的灰分。

水泥熟料的生產過程，就是一個將配合原料（生料）連續加熱，將燒成的熟料連續冷卻的過程；在這些過程中有下面一系列的物理化學變化發生：

（1）高嶺土脫水：在大氣壓力下，高嶺土在 450° 左右開始脫水，同時吸收熱量。在脫水當中，高嶺土的分子分裂成游離的無定形的氧化鋁及氧化矽；

（2）碳酸鎂分解：碳酸鎂是原料中的夾雜物，在 350° 左右開始分解。在 402° 時， CO_2 的壓力達到一個大氣壓。到 900° 時，分解方行結束。此反應為吸熱反應；

（3）碳酸鈣分解：約在 750°C 時開始。當 907°C 時， CO_2

的壓力達到一個大氣壓；在 950°C 時，此吸熱的分解反應結束；

(4) 偏高嶺土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 形成：它是在 950°C 左右由游離的無定形 Al_2O_3 和 SiO_2 化合而成。該反應為放熱反應；

(5) 熟料礦物形成：據 B. H. 容克、П. П. 布得尼考夫、B. A. 金得、B. Ф. 茹拉乎遼夫和 H. A. 濤勞包夫等人研究，認為在固體狀態下，約在 500° 左右，石灰與三氧化物間的反應開始顯著；當溫度達到 800°C 時，反應則加速進行。反應的初級生成物是 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 。由於在反應後還存在着多餘的石灰，所以 $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 很容易化合成 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，而 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 則變成 $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

由於矽酸鹽結晶格子的構造很堅固，因此石灰同矽酸的化合速度約在 1000° 時方見顯著。反應的結果，立刻形成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。在 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 的反應中，也要吸收一部分石灰而化合成 $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，同時在將剩餘的 $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 飽和成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 的反應中也要用掉一部分石灰。這些反應全在 $1200—1300^{\circ}$ 的溫度範圍內結束。

一般的生料，在溫度大約為 1300°C 時，就會出現液相，即一部分物料熔融。此時， $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 CaO 仍然為固體狀態，而其它的化合物都變成液相。石灰同 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 逐漸地溶解於液相中，並且互相化合，結果形成 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。液相的出現，有助於 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的形成，因為要達到同樣的反應速度，在液態下所要求的溫度較在固態下要求的溫度為低之故。

燒成的最高溫度，決定於原料的物理化學特性，成份一般的生料，該溫度通常接近於 1400° 。在最高溫度下，液相數量可達到 $20—30\%$ 。

由游離氧化物形成初級生成物的反應，是放熱反應；而由初級生成物再同石灰化合形成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的反應是吸熱反應。

當熟料冷卻到將近 1200°C 時，液相固化。由於在矽酸鹽系中常出現液相過冷的現象，故液相出現及消失的溫度常不相同。

由於上述反應結果而形成的水泥熟料為不均成份系，且主要是由

下列礦物成份所組成：阿利特、貝利特、才利特、黑色晶狀間隙物、成份不定的玻璃質、方鎂石 (MgO)、無水石膏 (CaSO_4) 及氧化鈣 (CaO)。

阿利特是 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 。其結晶格子內也含有某些其它的化合物，並成固溶體狀態存在。其中，已確知阿利特中可能含有 7% 以內的 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 。

貝利特是 β 型矽酸二鈣 ($\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)。它在 1420° 時會變成 α 型， 675° 時變成 γ 型。後一變化會引起體積的膨脹 (約 10%)，結果致使熟料粉散。高溫燒成並急速冷卻，能使熟料中的 β 型 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 保持為過冷狀態。 α 型 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 與亞鐵酸鈉和鋁酸鈉能組成固溶體。在這種情況下， α 型在 1180° 變成 β 型，同時生成能够穩定 α 型的氧化物。

才利特是 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (鐵鋁酸四鈣)。它同 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及 MgO 形成固溶體。而 H. A. 濤勞包夫、H. A. 石沙考夫和 A. A. 米勒可夫認為，它也能和 $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 形成固溶體。才利特中 MgO 的含量可達到 2%。

黑色晶狀間隙物似乎是由 $8\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ 所組成。因此可以認為它是一種由氧化鈉代替了部分 ($\frac{1}{3}$) 氧化鈣的鋁酸三鈣。

若熟料中含有氧化鉀，則必化合於化合物 $\text{K}_2\text{O} \cdot 23\text{CaO} \cdot 12\text{SiO}_2$ 中。貝利特中也含有鹼類，它們在 α 型 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 所組成的固溶體內，成分解物狀態存在。最後，還有一部分鹼類，在急速的冷卻下將變成為玻璃成份。

玻璃成份中並含有一部分氧化鎂。大部分的氧化鎂都成游離狀態的方鎂石出現，其中也有一部分是在才利特中。

當計算熟料中主要化合物的含量時，必須考慮到它們的形成順序，並且要假定熟料能够全部結晶，在冷卻終了時會達到化學平衡。

熟料中各化合物的含量，如下列公式所示：

$$C_4\text{AF} = 3.04\text{F}, \quad (1)$$

$$C_3\text{A} = 2.65\text{A} - 1.69\text{F}, \quad (2)$$

$$C_3\text{S} = 4.07\text{C} - 7.6\text{S} - 6.72\text{A} - 1.43\text{F}, \quad (3)$$

$$C_2S = 8.6S - 3.07C + 5.1A + 1.08F, \quad (4)$$

式中之 C_4AF 、 C_3A 、 C_3S 、 C_2S 、 C 、 S 、 A 和 F 代表熟料中 $4CaO$ 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 $3CaO \cdot Al_2O_3$ 、 $3CaO \cdot SiO_2$ 、 $2CaO \cdot SiO_2$ 、 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的百分含量。但其中的 C 是代表除掉了同 SO_3 ($0.7SO_3$) 結合的 CaO 以及游離的 CaO 之後所剩餘的 CaO 的百分含量； S 是代表扣除了不溶物中所含 SiO_2 後所餘 SiO_2 的百分含量。

實際上，由於冷卻過程很迅速，所以在製成的熟料中就不可能達到化學平衡，並且其中一部分化合物還會呈玻璃狀態存在。在計算熟料的成份時，是可以把這些情況估計進去的。根據在一定燒成溫度下所達到的，而又在冷卻過程中所固定下來的化學平衡，並且根據液相是單獨結晶或者是形成玻璃這些情況，可以對計算加以適當的修正。

第一種情況，當液相不依賴固相而單獨結晶時，對於 $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ 之比在 0.9—1.7 範圍內的熟料說來，利用公式 (1)—(4) 是完全準確的。假若該比值是在 1.7 到 6.1 的範圍內則要作如下的修正

$$\text{對 } C_3S \text{——} + (1.8A - 2.8F), \quad (5)$$

$$C_2S \text{——} + (2.1F - 1.4A), \quad (6)$$

$$C_3A \text{——} + (2.5F - 1.6A), \quad (7)$$

$$C_4AF \text{——} 0. \quad (8)$$

第二種情況，當液相變成玻璃時， $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ 之比在 0.9—6.1 範圍內的熟料，其修正值

$$C_3S \text{——} + (1.8A - 2.8F), \quad (5)$$

$$C_2S \text{——} + (1.9F - 2.1A), \quad (9)$$

鋁酸鈣和鐵鋁酸鈣並不成游離狀態單獨存在，而是變成玻璃質，其百分含量 (C_r)，與熟料中氧化鋁和氧化鐵的含量有關，並且也與熟料的溫度有關。

在液相出現的溫度下，在 $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} > 1.38$ 的熟料中：

$$C_r = 6.1F, \quad (10)$$

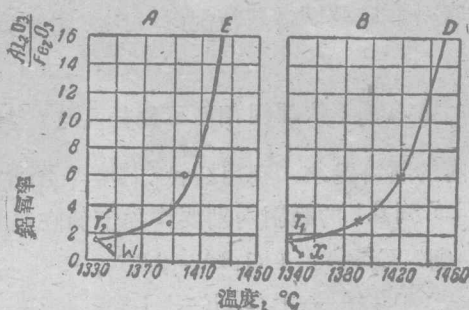
而在 $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} < 1.38$ 的熟料中:

$$C_r = 8.2A - 5.22F \quad (11)$$

在 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 可完全變成為熔融物的溫度下:

$$C_r = 3.03A + 1.75F \quad (12)$$

完全熔融的溫度，是根據比值 $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ 而定。大部分的熟料都符合於曲線 A，而石灰含量等於或超過 $C = 2.8S + 1.18A + 0.65F$ 的熟料，則符合於曲線 B（第 1 圖）。



第 1 圖 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 完全變成為熔融物的溫度與鋁氧率的關係

溫度在五相線上的分佈情況:

$$A線 \quad WT_2E \quad C_3S - C_2S \left\{ \begin{array}{l} C_3A \\ C_4AF \end{array} \right.$$

$$B線 \quad XT_1D \quad CaO - C_3S \left\{ \begin{array}{l} C_3A \\ C_4AF \end{array} \right.$$

當溫度為 1400° 時，根據第 1 圖曲線所確定出的溫度不高於 1400° 的熟料中:

$$C_r = 2.95A + 2.2F \quad (13)$$

當溫度高於 1400° 時，液相數量增加很慢。當溫度為 1450° 時，在根據第 1 圖曲線所確定出的溫度不高於 1450° 的熟料中:

811

$$C_T = 3.0A + 2.25F \quad (14)$$

鹼和 MgO 同樣要變成液相。因此增加的液相量，大致可以認為等於熟料中鹼和 MgO 的含量。計算水泥熟料中玻璃含量的各個公式，均應根據這些情況作適當的修正。

然而應當注意：直到現在為止還未明確，當熟料冷卻後確實有多少液相會結晶，有多少將變成玻璃質。此外，修正值中並未考慮到熟料中會有固體溶液形成。因此熟料中各化合物的含量，仍舊與計算值不完全符合。

根據水泥熟料中各主要化合物的含量和石灰飽和係數，可以比較正確地說明水泥熟料的成份。石灰飽和係數乃是氧化鐵和氧化鋁完全飽和後所剩餘的 CaO 同氧化矽全部飽和成 $3CaO \cdot SiO_2$ 時所需要的 CaO 的比值。當熟料的石灰飽和係數等於 1 時，則說明石灰達到了最高的含量。 $3CaO \cdot SiO_2$ 的形成乃是 $2CaO \cdot SiO_2$ 和 CaO 的作用結果，但隨着液相中這兩種反應物質濃度的減少，作用速度漸趨緩慢。因此，如果要使矽酸二鈣全部變成矽酸三鈣，必需要有較高的溫度和足夠的時間。這一點就說明了，飽和係數實際上最高也不能超過 0.95—0.97，並且說明石灰飽和係數高的生料，必然會使製成的熟料中多少帶些游離石灰。

對 $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} > 0.64$ 的普通水泥，飽和係數可以用下列公式表示：

$$KH = \frac{C - (1.65A + 0.35F)}{2.8S} \quad (15)$$

或者考慮到修正值時：

$$KH = \frac{C - (1.18A + 0.65F)}{2.8S} \quad (16)$$

在實際應用中，還有一些按照熟料中各主要氧化物的含量來評價熟料成份的方法。常用者有以下三種比率：

$$(1) \text{ 水硬率} \quad m = \frac{C}{S + A + F} \quad (17)$$

$$(2) \text{ 矽酸率} \quad n = \frac{S}{A+F} \quad (18)$$

$$(3) \text{ 鋁氧率} \quad p = \frac{A}{F} \quad (19)$$

第二節 熟料形成的熱效應

水泥熟料的形成，乃是一個複雜的物理化學反應過程。而熟料形成的熱效應，就是指用 0° 的乾燥原料，在沒有任何物料或熱量損失的條件下，製成一公斤溫度仍為 0° 的熟料所需要的熱量而言。

計算熟料形成熱效應的根據是：熱效應的數值，同原始物質變成最終物質當中所採用的方法無關；同時，熟料形成過程中所有各個部分的熱效應之總和等於零。

茲將計算熟料形成熱效應當中有關物質的單位熱容量和反應熱的具體數值列於 1 和 2 兩表中。

第 1 表

熟料形成過程中有關物質的平均單位熱容量
(千卡/公斤· $^\circ\text{C}$)

物 質 名 稱	溫 度, $^\circ\text{C}$				
	0—450	450—900	900—1400	0—900	0—1400
CaCO_3	0.248	0.286	—	0.266	—
SiO_2	0.240	—	0.283	0.263	0.270
CaO	—	—	0.226	0.213	0.218
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.280	—	—	—	—
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	0.238	0.277	0.291	0.253	0.270
熟料.....	—	—	0.305	0.236	0.261
CO_2	—	—	—	0.256	—
水蒸汽.....	0.47	—	—	—	—
原料粉 (粘土+石灰石)	0.253	0.283	0.247	—	—

第2表所示為在20°和在反應溫度下水泥熟料中各主要礦物形成的熱效應。反應溫度下的熱效應，是根據反應物質和反應生成物質在由20°到反應溫度的範圍內的熱容量的不同而求出的。例如： CaCO_3 分解時吸熱的熱效應，在20°時等於425千卡/公斤，當900°時為390千卡/公斤。

第2表

水泥熟料形成反應的熱效應

原 始 物 質	最 終 生 成 物 質	熱效應，卡/克		反應溫度 °C
		20° 下	反應溫度 下	
CaCO_3	$\text{CaO} + \text{CO}_2$	425	396 ± 3	907
MgCO_3	$\text{MgO} + \text{CO}_2$	215	195 ± 8	—
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	72 ± 10	72 ± 10	960
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$..	135—145	213—223	450
SiO_2 石英 + 3CaO	C_3S	126.2	107.3	1300
SiO_2 石英 + 2CaO	C_2S	171.0	144.0	1300
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO}$	C_3A	14.1	9.1	1300
$4\text{CaO} + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	26.0	—	1300
$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\gamma\text{-C}_2\text{S}$	6.0	8.8	675

根據第2表中的數據，並按照熟料最終的礦物組成，可求出熟料形成過程中放出的總熱量。礦物組成應按第一節中所提出的方法計算。修正公式校正熟料的礦物組成，對於放熱熱效應總值的影響並不顯著，可是會使計算非常複雜。

計算出來的放熱熱效應總值與試驗測定的數值彼此符合。普通原料（粘土和石灰石）在形成熟料時，其放熱熱效應為100—120千卡/公斤熟料；無鐵原料的放熱熱效應將降低到70—80千卡/公斤熟料。由礦渣和石灰石所製成的熟料，放熱熱效應只是50—70千卡/公斤熟料，這是由於礦渣中含有已製成的矽酸鹽的原故。上述數值，是指熟料形成溫度下而言。溫度升高則矽酸鈣與鋁酸三鈣的生成熱即將下降。所以，熟料形成溫度下的放熱熱效應，較20°時為低。

在一般工業方式的冷却速度下，因為熟料中大部分的液相將固化為玻璃體；但由於玻璃體具有很高的熱容量，所以熔融時所消耗的熱量只有一部分可以收回，其餘的熔融熱則保留在熟料中。因此，急速冷却的熟料比緩慢冷却的熟料具有較高的潛能（Запас энергии）。無鐵熟料形成液相的吸熱熱效應，大約為 60 千卡/公斤，而含鐵熟料大約為 50 千卡/公斤。

形成水泥熟料的整個過程，可看作為由下列步驟所合成。

熱量的消耗

1. 乾燥原料由 0° 加熱到 450° 時的熱量消耗：

$$[G^{\circ}] \cdot (450 - 0) \times 0.253 \text{ 千卡/公斤熟料} \quad (20)$$

式中： $[G^{\circ}]$ — 乾燥原料的理論消耗量，公斤/公斤熟料；

0.253 — 乾燥原料在 $0-450^{\circ}\text{C}$ 範圍內的平均熱容量，千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

$$\text{而：} \quad [G^{\circ}] = \frac{100(\text{nnn})^k - 0.01\alpha G^m A_n^p}{100 - (\text{nnn})^e} \quad (21)$$

式中： G^m — 工作燃料的消耗量，公斤/公斤熟料；

α — 落到熟料中的灰分，%；

A_n^p — 工作燃料中燃燒灰分的含量，%；

$(\text{nnn})^k$ — 熟料的燒失量，%；

$(\text{nnn})^e$ — 乾燥原料的燒失量，%；

2. 450°C 時，原料中高嶺土脫水的熱量消耗：

$$[G^{\circ}\text{H}_2\text{O}] \cdot 1600 \text{ 千卡/公斤熟料} \quad (22)$$

式中： $[G^{\circ}\text{H}_2\text{O}]$ — 原料中化合水的理論含量，公斤/公斤熟料；

1600 — 高嶺土脫水的熱效應，千卡/公斤化合水。

$$\text{而：} \quad [G^{\circ}\text{H}_2\text{O}] = \frac{[G^{\circ}][(\text{nnn})^e - \text{CO}_2]}{100} \quad (23)$$

式中： CO_2 — 乾燥原料中 CO_2 的含量，%。