

固体燃料气化计算

(德)威·顧 茨著

Q511

石油工业出版社

固体燃料气化計算

(德) 威·顧 茨著

彭祖銘 龔宝兴譯

石油工業出版社

Wilhelm Gumz

Vergasung fester Brennstoffe

Stoffbilanz und Gleichgewicht

根据西德斯本格尔出版社(Springer-Verlag)

1952年柏林版翻译

统一书号: 15037·588

固体燃料气化计算

彭祖铭 龔宝兴译

石油工业出版社出版(地址: 北京六部坑石油工业部内)

北京市书刊出版业营业登记证出字第063号

石油工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

850×1168毫米开本 * 印张3 80千字 印1—3,000册

1959年1月北京第1版第1次印刷

定价(10)0.51元

序 言

气化工艺是应用物理化学的一个分支和实际工作者利用热力学的一个很理想的例子。回顧一下就可以知道，由物料平衡、热量平衡和平衡条件所必然得出的关系，很早就为人們所熟知，只是未加利用而已，这正如科学的經驗蓄积往往是很久才找到它在实际中的应用一样。

研究气化的基本任务是在于能用最簡便的工具和最經濟的时间以获得最丰富的認識，以及——由于有目的的研究——实际上可以应用的結果。例如 K·諾曼經一系列試驗所获得的結果，可以用極少的时间和工具以計算求得之。对于压力、温度、預热、水汽添加、氧气使用、气体回流以及其他因素的影响，用計算求得的較試驗更为准确与明了。随着作为煤利用与加工的一个重要环节的气化工艺的复兴，煤气發生爐的理論和計算亦获得了新的發展。在平衡的問題上，存在着分歧的意見，一种意見否認發生爐中达到气体平衡，因而無法进行气化过程可能的預先計算，另一种意見則相反，本書取用后一观点，并用实际例子加以闡明。

本書具有双重的目的，它將提供讀者一个簡便的气化計算方法，对其中許多的可能性——也有完全新的方法——加以詳細的論述，并举例來說明。通过計算的掌握——衡量真实學問的最好的尺度——就可对气化过程的本質有一透徹的理解，从而对气化工艺的进一步發展作出貢獻。因而本書不仅对气化專家有用，且基本上适用于所有探求結合科学理論与实际应用的人。显然，所論及的范围对于热力技术人員、煤气專家、冶金工作者以及特别是高爐工作者、鑄造專家、化学工程师和許多其他实际与理論工作者，在碰到类似的問題时，可用同样的方法——在物料和热量平

衡上有某些改变——来解决。在本书中第一次考虑了煤气中的硫化物以及不应忽视的看法——若要获得可靠的结果的话。所述的大部份方法虽是较旧的，然在广泛的实际应用中得到过验证，并包括了它们的最近进展。简化计算在解决像具有 11 或更多组份的气体混合物平衡那样复杂的问题时，有着重大的意义。

工学博士罗道夫·特劳惠教授以及由他所创立和领导的柏林-沙罗姆堡工业大学的工艺燃料应用研究所，在过去的年代里以适当的研究大大地促进了此种计算方法的形成与完善。特劳惠教授的讲席和研究所往日的助教和讲师工学博士 S. 脱劳斯坦的名字涉及到许多方法，如同在本书中一样，一再地出现在文献上。由于他的工作以及通过和他密切的交换意见，脱劳斯坦博士对本小册子的诞生和它的内容均提供了非常重要意见，所以作者有必要感谢工学博士特劳惠教授和工学博士脱劳斯坦。

维尔汉姆·库茨

目 录

第一章 緒論	1
第二章 气化过程計算的基础	3
§ 1 物料平衡	4
§ 2 質量作用定律与平衡	6
§ 3 热平衡	12
第三章 气化动力学概述	14
§ 1 平衡的完全度	17
§ 2 燃料的反应性	23
§ 3 同向气化	23
第四章 方程組及其解法	27
§ 1 簡例	27
§ 2 牛頓-脫劳斯坦法	29
§ 3 含三个原未知数的牛頓法	35
§ 4 勃林克莱法	41
§ 5 多未知数綫性方程的簡化数值解法	42
§ 6 特林盖尔法	45
§ 7 含硫量的考虑	49
§ 8 推广至多未知数的特林盖尔-脫劳斯坦法	50
§ 9 其他方法	54
§ 10 $H_2=0$ 时代的近似法	55
§ 11 氮化物的考虑	57
第五章 硫在煤气發生爐中的动态	60
第六章 例題	67
§ 1 簡單情形	67
§ 2 牛頓-脫劳斯坦法	67

§ 3 特林盖尔法	73
§ 4 含三个原未知数的牛顿法	74
§ 5 含三个原未知数的特林盖尔-脱劳斯坦法	85
§ 6 牛顿法·特例 ($H_2=0$)	89
附录 I (公式)	92
附录 I (表)	98

第一章 緒 論

近年来，由于新的应用领域的开辟，气化工艺获得了重大的进展。它首先推广到两个领域：

1. 广泛应用焦爐的貧气加热，以使焦爐煤气用作远距离供应。
2. 制造水煤气、合成用气体和氫气，用来作为氨、甲烷、动力燃料和石臘的合成以及加氢的原料。

此外，不久將用貧气来驱动燃气輪机，它和固体燃料(如煤粉)的直接应用相比，具有净化煤气的优点；其次一个可能平行發展的是用發生爐煤气加热鍋爐，它使生产率提高，并借燃烧过程中煤矿物組份轉換的良好控制，进一步避免了能限制生产率的鍋爐的积垢現象。在車用煤气發生爐中生产动力煤气在现阶段具有一定的意义。

应用气化作为燃料加工过程的这种發展，突出地显示了气化的方法与設備有許多技术上的缺陷和不經濟，如生产率太低和投資过大，或由于人工操作的必要性和自动化的不充分等大大地增加了操作費，或由于磨損、腐蝕和不宜的結構招致要付出很大的維護費和修理費，以及經常而長期的停工，而使备用量必然地增大。此等缺点大大地促使了設計和建筑工程师、制造厂和使用者去探求新方法和新型結構的煤气發生爐。用廉价的燃料来替代高級而昂貴的气化燃料，如小焦塊、小塊無煙煤和不粘結或弱粘結優質煤的願望亦有很大的意义。

煤气价格主要取决于燃料的价格。从經濟上的要求很易总结出以下的理想情况：煤气發生爐应当以質量上無特殊要求的廉价燃料，在尽可能簡單、稳定且有最高的效率和尽可能高的生产能力的設備中气化。此項要求的实现显然是艰巨的，且在許多場合

下必須用折衷的办法。有这样的使用情况，譬如小型煤气發生爐适合于煤气發生爐的特种燃料，虽然价格很高，却帶來了总的经济的效果，这是因为它首先有可能穩定地操作，且由于不多的操作時間和小的生产能力，促使燃料价格的影响成为次要。

在發展过程中，煤气發生爐構造和操作方面主要碰到以下四个問題：

1. 煤气的性質及其与燃料，气化剂的組成和温度，操作条件如压力、負荷、热損失以及所用气化方法的关系。
2. 燃料層的性質，特別是粘結的影响以及对于燃料移动、流动阻力、孔隙度、燃料層均匀性和粉末形成的作用。
3. 燃料矿物組成的种类和性狀、結渣性能以及对致密度、塊度、燒尽程度和在固体或液体状态排渣的控制。
4. 含有灰塵、焦油、焦油霧、硫化物和其他可能存在的不希望有的，或有害于应用的組份的煤气淨化。

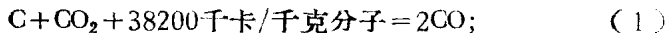
第一类問題將在下面討論。在很大程度上它可用計算来解决；因而一切有关的問題可以不用耗費財力和時間的試驗来解决。这对于新方法或特殊操作情况、操作規程的評價，連續操作的管理以及試驗的估价均有很大的帮助。技术上和经济上的可能性及理想操作条件的确定——不考虑在 2 至 4 所提起的粘結、結渣和淨化問題——可以用計算来作詳尽的事先确定。必須強調指出，在許多关系上計算可以比試驗更清楚地来回答，这是因为在試驗中要較長时期地保持其他操作条件恒定，想仅变其中某一变数在实际上往往是不可能的，因而常使試驗結果的解釋成为不可靠，或者至少是困难的。例如，鼓風飽和度的保持不变和精确定定是很困难的，而煤气分析和鼓風水份的运算可以获得很准确的數值，并有助于了解損失的根源。另一个例子是反应帶的对外热損失直接測量將是困难的，而把煤气發生爐当作化学量热計，則熱損失即为进入和輸出热量之差。

其余各点,特别是粘結性和灰份性質对气化物理过程的影响,虽然基本上是試驗者的任务,然而計算还是能起一定的輔助作用。

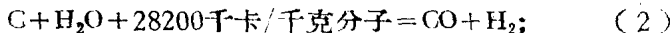
第二章 气化过程計算的基础

用含氧或水汽的气化剂將固体燃料轉化成可燃的气体称之为气化。反应一般發生在二个帶,在氧化或燃燒帶中气化剂中的氧与燃料中的碳在高温下結合成二氧化碳,接着二氧化碳和水汽与剩余的碳起吸热反应而生成一氧化碳和氫,这些是發生爐煤气的主要組份。此外在气化或还原帶中还可以由氫与碳、一氧化碳或二氧化碳生成甲烷。在一些气化过程中,燃燒(用空气)与气化(用水汽)是成週期交替的,而不是燃燒帶与气化帶彼此相隣的。所以在間歇操作(鼓風与吹气)的水煤气法中,所需的反应热是蓄积在燃料層中的。在連續水煤气法中反应热是由額外循环煤气、外部加热或电能供給的。

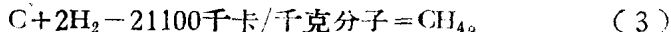
气化过程用三个反应方程就能表达完全,即波多阿或發生爐煤气反应:



非均相水煤气反应:



甲烷生成反应:

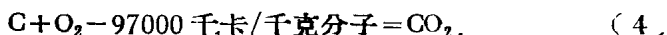


方程(1)說明一千克分子^①(=12.01 公斤)碳与一千克分子(22.4 立方米^②)二氧化碳在等温下吸收 38200 千卡/千克分子热

① 在工業計算中習慣用千克分子計算。以下假定千克分子体積为常数,实际千克分子体積的微小偏差忽視不計。

② 本書中“立方米”均系指标准状态而言。——譯者

而生成二千克分子(2×22.4 立方米)一氧化碳。必須由外界供熱以保持反應系統溫度不變的反應稱為吸熱反應。此項熱量在煤氣發生爐中是由氧化帶出來的氣體以顯熱帶入的，它是由放熱的燃燒反應產生的。



方程(3)的甲烷生成是一弱放熱反應。

氣化過程的計算，如果僅求最終結果而不考慮過程的動力學，則可根據下列化學轉化的簡單事實：1)參加元素的物料平衡，2)所進行反應的化學平衡。

§ 1 物料平衡

以燃料與氣化劑(空氣、水汽、水汽-空氣混合物)形式進入系統的碳、氫、氧、氮和硫的量必然等於以轉化形式存在於生成煤氣或殘留物中的量。在所有以下的計算中僅考慮實際氣化的燃料，而不考慮殘留物中存在的碳(必要時還包括其他元素)，可以想像此即燃料分析中余留下來的。

今討論組份為 CO 、 CO_2 、 H_2 、 H_2O 、 CH_4 、 H_2S 和 N_2 的煤氣，以 B 表示產生每立方米煤氣的燃料量(以公斤計)，以 M 表示產生每立方米煤氣的氣化劑(以立方米計)，這樣只要固體與氣體組份用同一個單位，就可以用簡單的方式寫出每個元素的物料平衡。為此選擇千克分子，並將反應方程式兩邊除以千克分子體積，以便得到用 1 立方米生成氣體作為基準^①。以 C_B 、 C_M 和 C_G 表示在燃料、氣化劑與煤氣中的含碳量；氫、氧、硫和氮的含量同樣可分別用 H_B 、 H_M 、 H_G 、 O_B 、 O_M 、 O_G 、 S_B 、 S_M 、 S_G 、 N_B 、 N_M 和 N_G 表示之，因而碳平衡為：

$$BC_B + MC_M = C_G = v_{CO} + v_{CO_2} + v_{CH_4}; \quad (5)$$

① 有時直接以重量千克分子表示(參見第 45—47 頁)，因而無須換算成 1 立方米生成氣體。

氢平衡:

$$BH_B + MH_M = H_G = v_{H_2} + v_{H_2O} + 2v_{CH_4} + v_{H_2S}; \quad (6)$$

氧平衡:

$$BO_B + MO_M = O_G = 0.5v_{CO} + v_{CO_2} + 0.5v_{H_2O}; \quad (7)$$

硫平衡:

$$BS_B + MS_M = S_G = v_{H_2S}; \quad (8)$$

氮平衡:

$$BN_B + MN_M = N_G = v_{N_2}; \quad (9)$$

其中:

$$C_B = \frac{22.416}{12.01} \times c = 1.8664c; \quad (10)$$

$$H_B = \frac{22.416}{2.016} \times h + \left[\frac{22.416}{18.016} + w \right]^{\text{①}} = 11.12h + [1.244w]^{\text{①}}; \quad (11)$$

$$O_B = \frac{22.416}{32.000} \times o \times \left[\frac{22.416}{36.032} \times w \right]^{\text{①}} = 0.7005o + [0.6221w]^{\text{①}}; \quad (12)$$

$$S_B = \frac{22.416}{32.06} \times s = 0.69919s; \quad (13)$$

$$N_B = \frac{22.416}{28.016} \times n = 0.8001n. \quad (14)$$

c 、 h 、 o 、 s 和 n 分别表示进入气化带的燃料①中碳、氢、氧、硫和氮含量的重量百分数。

在气化剂中有:

$$C_M = C + C_2 + mv'_{CmHn}; \quad (15)$$

(通常 $C_M = 0$, 在可燃气体的回流或加入, 以及二氧化碳或废气加入的气化时例外。)

① 括号内的数值在同向气化时计及。

② 不包括在反向气化时预热带中逸出的挥发物, 它可另行考虑, 但不参与气化过程。

$$H_M = v'_{H_2} + v'_{H_2O} + v'_{H_2S} + \frac{n}{2} v'_{CmHn}; \quad (16)$$

$$O_M = v'_{O_2} + 0.5v'_{H_2O} + 0.5v'_{CO} + v'_{CO_2} + v'_{SO_2}; \quad (17)$$

$$S_M = v'_{SO_2} [+ v'_{H_2S} + v'_{COS} + 2v'_{CS_2} + 2v'_{S_2}]; \quad (18)$$

(通常 $S_M = 0$, 但亦有这样的情况: 在發生爐中导入含 SO_2 的廢气或純 SO_2 时——見第66頁——方括号中的其余組成通常不存在。)

$$N_M = v'_{N_2}. \quad (19)$$

v' 表示气化剂組成的体积百分比, 通常在發生爐操作中有許多此处提到的組份并不存在。 M 一般是 v'_{O_2} , v'_{N_2} 和 v'_{H_2O} 的混合物。故

$$O_M = v'_{O_2} + 0.5v'_{H_2O}; \quad H_M = v'_{H_2O}; \quad N_M = v'_{N_2}. \quad (20-22)$$

如果取 1 立方米气化剂作为計算基準, 則在平衡方程式的兩边以 M 除之, 且以 F 表示 B/M , 于是有

$$FC_B + C_M = \frac{1}{M}(v_{CO} + v_{CO_2} + v_{CH_4}) = V_{CO} + V_{CO_2} + V_{CH_4}. \quad (23)$$

如果所有的煤气組成都已知, 那末此处的 $v = V/\Sigma V$ 可以無需知道 M 而求得。此第二种形式的物料平衡指出, 每立方米气化剂的 F 公斤燃料产生 V 立方米的煤气(不是体积百分比)。

§ 2 質量作用定律与平衡

a 千克分子的物質 A 与 b 千克分子的物質 B 反应生成 c 千克分子物質 C 和 d 千克分子物質 D ,

$$aA + bB = cC + dD \quad (24)$$

自左向右的反应速度正比于存在物質的千克分子数, 故

$$v_1 = kA^a B^b. \quad (25)$$

自右向左的反应速度則为:

$$v_2 = k_2 C^c D^d. \quad (26)$$

k_1 与 k_2 为常数 (< 1)。若 $v_1 = v_2$, 則自左向右与自右向左的反应达到“平衡”, 可以求得在平衡状态下物質 A , B , C 和 D 的濃度。

今

$$k_1 A^a B^b = k_2 C^c D^d, \quad (27)$$

或

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C^c D^d}{A^a B^b}. \quad (28)$$

方程(28)的右方称为質量作用商, K 为平衡常数。如果参加物質不以千克分子濃度, 而以分压或体积百分比 $v = \frac{p}{P}$ (P 为反应系統之总压)表示, 則

$$K_p = \frac{p_c^c p_d^d}{p_a^a p_b^b} = \frac{v_c^c v_d^d}{v_a^a v_b^b} \quad (29)$$

均相水煤气反应

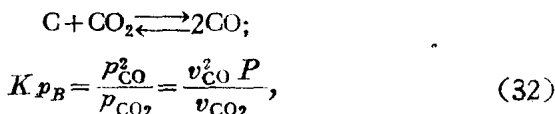


的平衡常数^①为

$$K_w = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}} = \frac{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2\text{O}}}{v_{\text{CO}_2} v_{\text{H}_2}}. \quad (31)$$

在此情况下可以消去总压 P , 即表示平衡常数与压力無关。此一結論仅对理想气体是絕對正确的, 这里我們假定所有气体都是理想的。

如果有固相存在(例如碳), 則可不考虑其濃度, 因为在一定温度下其蒸汽压为常数, 因而可以归併在平衡常数中而不影响平衡^②。对于發生爐煤气反应



● 每一反应方程式可以由兩端来考察, 一般以右方的为分子, 左方的为分母。以 K' 表示逆向反应的平衡常数, 則 $K' = \frac{1}{K}$ 。

② 参見 Ulich, Hermann, Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie. Dresden u. Leipzig 1938, Th. Steinkopff—Holleck, Ludwig Physikalische Chemie und ihre rechnerische Anwendung—Thermodynamik: Berlin, Springer 1950.

① 原書恐有誤, 应为 $K_p = \frac{p_c^c p_d^d}{p_a^a p_b^b} = \frac{v_c^c v_d^d}{v_a^a v_b^b} p^{c+d-a-b}$ 。——譯者

或自右向左为:

$$K'_{pR} = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}}^2} = \frac{v_{\text{CO}_2}}{v_{\text{CO}}^2} \frac{1}{P}. \quad (33)$$

对于非均相水煤气反应



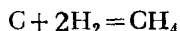
$$K_{pW} = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2} P}{v_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (34)$$

$$K'_{pW} = \frac{v_{\text{H}_2\text{O}}}{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2} P}. \quad (35)$$

因 P 出现在分子或分母中, 故此两反应与压力有关。方程(35)以体积百分比表示的质量作用商为

$$\frac{v_{\text{H}_2\text{O}}}{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2}} = P K'_{pW}. \quad (36)$$

勃劳-勒夏忒列的“最小力原理”指出: 处于平衡的化学系统受外力作用时, 向相反的方向进行。由此可知, 应用高压会使 $v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2}$ 减小和使 $v_{\text{H}_2\text{O}}$ 增大。平衡向分子数少的一方移动。甲烷生成

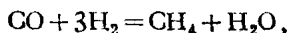


2 千克分子 1 千克分子

的平衡常数为:

$$K_{pM} = \frac{p_{\text{CH}_4}}{p_{\text{H}_2}^2} = \frac{v_{\text{CH}_4}}{v_{\text{H}_2}^2 P}. \quad (37)$$

在压力作用下向形成甲烷的方向移动, 而使氢浓度降低。均相甲烷生成



1 千克分子 + 3 千克分子 = 1 千克分子 + 1 千克分子

$$K_p = \frac{p_{\text{CH}_4} p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}^3} = \frac{v_{\text{CH}_4} v_{\text{H}_2\text{O}}}{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2}^3 P^2}. \quad (38)$$

在压力下反应自左(4 千克分子)向右(2 千克分子)剧烈地进行。

由平衡常数的組合可得新的平衡常数，因而已知一定数量的平衡常数就可决定其他平衡常数。因而，这些反应并非彼此無關。由

$$K_{pW} K'_{pB} = \frac{p_{CO} p_{H_2}}{p_{H_2O}} \times \frac{p_{CO_2}}{p_{CO}^2} = \frac{p_{H_2} p_{CO_2}}{p_{H_2O} p_{CO}} = K_{pW} \quad (39)$$

可得均相水煤气反应的平衡常数。在这三个反应中仅需已知任兩常数就可决定第三个常数。

按方程(38) K_p 系由 $K_{pM} \cdot K'_{pW}$ 所組成。此外

$$K_{pM} K'_{pB} = \frac{p_{CH_4} p_{CO_2}}{p_{H_2}^2 p_{CO}^2} \quad (40)$$

为反应 $2H_2 + 2CO = CH_4 + CO_2$ 的平衡常数，又

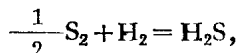
$$K_{pM} K'_{pW} K_{pW} = \frac{p_{CH_4}}{p_{H_2}^2} \times \frac{p_{H_2O}}{p_{CO} p_{H_2}} \times \frac{p_{CO} p_{H_2O}}{p_{CO_2} p_{H_2}} = \frac{p_{CH_4} p_{H_2O}^2}{p_{CO_2} p_{H_2}^2} \quad (41)$$

为反应 $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ 的平衡常数。

如硫那样易揮發的物質可以視為气体，即固态硫轉变为双原子的气态硫

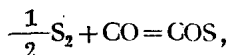
$$2S_{(s)} = S_{2(g)} \quad (42)$$

今写出下列反应的平衡：



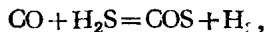
$$K_{pH_2S} = \frac{p_{H_2S}}{p_{S_2}^{\frac{1}{2}} p_{H_2}} = \frac{v_{H_2S}}{v_{S_2}^{\frac{1}{2}} v_{H_2} P^{\frac{1}{2}}}, \quad (43)$$

和



$$K_{pCOS} = \frac{p_{COS}}{p_{S_2}^{\frac{1}{2}} p_{CO}} = \frac{v_{COS}}{v_{S_2}^{\frac{1}{2}} v_{CO} P^{\frac{1}{2}}}. \quad (44)$$

結合上兩反应得到均相的，与压力無關的反应：



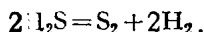
$$K_{\text{COS}}^* = K p_{\text{CO}} / K p_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2}}{v_{\text{CO}} v_{\text{H}_2\text{S}}} \quad (45)$$

又 $\text{S}_2 + \text{C} = \text{CS}_2$; $K_{\text{CS}_2} = \frac{p_{\text{CS}_2}}{p_{\text{S}_2}} = \frac{v_{\text{CS}_2}}{v_{\text{S}_2}}$ (46)

自关系式

$$K_{p_{\text{S}_2}}^* = 1/K_{p_{\text{H}_2\text{S}}}^* = \frac{p_{\text{S}_2} p_{\text{H}_2}^2}{p_{\text{H}_2\text{S}}} = \frac{v_{\text{S}_2} v_{\text{H}_2}^2 P}{v_{\text{H}_2\text{S}}^2} \quad (47)$$

得出双原子硫蒸汽借 H_2S 分解的生成定律:



最后还需提到弗庫生^①所研究的 CO 与 SO_2 间的反应:

$$2\text{CO} + \text{SO}_2 = 2\text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{S}_2,$$

$$K_{p_{\text{CO}_2}} = \frac{p_{\text{CO}_2}^2 p_{\text{S}_2}^{\frac{1}{2}}}{p_{\text{CO}}^2 p_{\text{SO}_2}} \quad (48)$$

再結合 $K'_{p_{\text{B}}}$ 与 $K_{p_{\text{H}_2\text{S}}}$ 可以得到一簡單而与压力無关的 H_2 、 SO_2 、 H_2S 和 CO_2 间的关系:

$$K_{\text{SO}_2} = K'_{p_{\text{H}_2\text{S}}} K'_{p_{\text{B}}} K'_{p_{\text{Ferg}}} = \frac{p_{\text{S}_2}^{\frac{1}{2}} p_{\text{H}_2} p_{\text{CO}_2} p_{\text{CO}}^2 p_{\text{SO}_2}}{p_{\text{H}_2\text{S}} p_{\text{CO}}^2 p_{\text{CO}_2} p_{\text{S}_2}^{\frac{1}{2}}} =$$

$$= \frac{p_{\text{H}_2} p_{\text{SO}_2}}{p_{\text{H}_2\text{S}} p_{\text{CO}_2}}, \quad (49)$$

它相当于反应 $\text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2 = \text{H}_2 + \text{SO}_2 + \text{C}$.

平衡常数可以自热力学数据推出, 因而其数值与准确性主要决定于焓, 熵与自由能的数值。由于此处所碰到大部份气体的此項数值, 由光谱数据可以准确知道, 所以主要气化反应的平衡常数可以認為是很可靠的。

① Ferguson, J. B.: The equilibrium between carbon monoxide, carbon dioxide, sulfur dioxide, and free sulfur. J. Am. Chem. Soc. Bd. 40(1918), Nr. 11, S. 1626 bis 1644.