

煤 气 發 生 爐 拖 拉 机

尤杜希金、阿尔塔瑪諾夫著

孙 星 譯



机械工業出版社

出版者的話

本書敘述拖拉机煤气發生爐裝置的气化基本理論，煤气濾清以及現代拖拉机發动机中煤气的燃燒过程。此外还介紹了煤气發生裝置的構造。

本書供拖拉机煤气發生裝置設計、制造和研究工作方面的工程技術人員參考。

苏联 Н. Г. Юдушкин, М. Д. Артамолов 著 ‘Газогенераторные тракторы’ (Машигиз 1955 年第一版)

* * *

NO. 1462

1958 年 9 月第一版 1959 年 5 月第一版第二次印刷

787×1092 1/25 字數 202 千字 印張 10⁴/25 6, 101—9, 150 冊

机械工業出版社(北京阜成門外百万庄)出版

北京五三六工厂印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价 (1) 1.60 元

目 次

原序	4
緒論	5
第一章 气化作用的原理和化学反应动力学	6
气化过程的基本概念(6)—— 气化过程的基本动力学和热力学(14)	
第二章 拖拉机煤气發生爐的燃料	40
燃料的成分(40)—— 燃料成分的計算(44)—— 固体燃料的热值(46)—— 干餾(49)—— 用于气化的燃料的特性(51)	
第三章 气化的理論	64
目前对气化过程的观念(64)—— 燃料層中的煤气形成过程(68)—— 气化过程的物質与热量平衡(84)—— 發生爐煤气成分的計算(97)—— 各种因素对气化过程的影响(114)	
第四章 煤气發生爐結構的选择	124
气化过程的选择(125)—— 煤气發生爐的設計計算(127)	
第五章 煤气發生爐的構造	140
逆流式气化过程的煤气發生爐(140)—— 逆流式气化过程煤气發生爐的構造与規格(156)—— 直流式气化过程的煤气發生爐(166)—— 用貧質燃料煤气的發动机的一些工作数据(174)	
第六章 煤气的濾清与冷却	177
对煤气濾清与冷却的基本要求(177)—— 煤气濾清的方法(178)—— 濾清系統設備的計算(181)—— 煤气的冷却(198)—— 煤气濾清和冷却裝置的構造(200)	
第七章 拖拉机發动机的改裝	210
發动机从液体燃料改用煤气后功率降低的原因(210)—— 發生爐煤气的燃燒(211)—— 在使用發生爐煤气时提高發动机功率的方法(213)—— 煤气發动机的結構(223)	
第八章 煤气發生爐拖拉机	239
对裝設在拖拉机上的煤气發生爐裝置的基本要求(239)—— 拖拉机上的煤气發生設備的主要裝置方式(239)—— 煤气發生爐拖拉机的結構(249)—— 煤气發生爐拖拉机的动力学(249)	

原 序

燃料气化过程、煤气瀘清和燃燒方面理論的發展，以及苏联在实际設計、生产和使用煤气發生爐設備的拖拉机中所积累的大量經驗，使我們在近年来有条件創造出生产率和使用寿命都接近于液体燃料的拖拉机的煤气發生爐拖拉机。

本書闡述了先进的苏联科学在燃料气化及煤气方面的最新理論；同时說明了关于決定煤气成分和選擇煤气發生爐設備主要尺寸方面的計算方法。此外，本書并敘述了一些被广泛应用的煤气拖拉机的結構。

‘煤气發生爐拖拉机的燃料’及‘液体燃料發动机改裝成煤气机’兩章为技术科学副博士阿尔塔瑪諾夫所著，其余各章为尤杜希金工程师所著。

对本書的批評及意見，請寄到莫斯科特萊契雅可夫斯基大街1号苏联国立机器制造書籍出版社。

緒 論

汽車和拖拉機總量的年年增加，要消耗大量的液體燃料。為了將集中於少數地區採掘和精煉的石油供應各個地區就需要長途運輸。因此使用當地所產的燃料是對國民經濟有着很重要的意義的。

將固體燃料轉化成為與進入內燃機中的空氣相混合的可燃並同時放出熱能的气体，熱能再轉化成機械能，這種轉化是可以在叫做煤氣發生爐的特殊設備中進行的。在煤氣發生爐中，可以使用各種固體燃料。

在農業中，將當地所產的不同種類的固體燃料用於煤氣發生爐拖拉機中是有巨大價值的，這些燃料如木柴、泥煤磚、半焦（石炭煉制的產物）、無煙煤等等。

在林業中，使用木柴所產生的气体來工作的汽車和拖拉機將更為廣泛。

在蘇聯，首先使用煤氣發生爐設備的是汽車。但是後來拖拉機和汽車都同時應用了各種結構的煤氣發生爐。

煤氣發生爐汽車最初的一些試驗性結構是在1923~1928年出現的。

那烏莫夫（В. С. Наумов）教授、卡爾波夫（В. П. Карпов）教授和發明家捷卡倫可夫（С. И. Декаленков）對此後汽車和拖拉機上所用的煤氣發生爐的設計貢獻很大。

近年來，煤氣發生爐汽車和拖拉機的生產已由汽車拖拉機工業部門擔負起來了。汽車拖拉機工業部門和拖拉機科學研究所（НАТИ）已創造了許多汽車和拖拉機用煤氣發生爐的結構。

ГАЗ-42 和 ЗИС-21 型煤氣發生爐汽車的運行是1934~1938

年間的事；在林業中，1935～1939年間进行了一系列的各种拖拉机用煤气發生爐設備的比較性試驗；在農業中，这些試驗是在1936～1938年間进行的。这些試驗促进了煤气發生爐汽車和拖拉机結構的完善，并为在汽車和拖拉机領域中广泛地使用固体燃料奠定了基础。

近年来，在列宁格勒基洛夫工厂中組織了KT-12型曳引拖拉机的生产。这种拖拉机所用的煤气發生爐和XT3-T2Г型拖拉机的煤气發生爐是屬於同一型式的，并有許多通用部件可以互換。

此后，KT-12型拖拉机即轉到明斯克拖拉机工厂繼續生产。

在1952年組織了以ДТ-54型柴油拖拉机为基础的ГБ-58型煤气發生爐拖拉机的生产。这种拖拉机的發动机功率已提高了，用煤气时發动机的起動也容易了，在点燃煤气發生爐时使用了鼓風机，在高溫中工作的零件是可以更換的，此外，并改善了煤气的濾清。气化室的工作寿命可以达到2000小时。

ГБ-58型拖拉机可以和ДТ-54型拖拉机担任同样的農業作業，而其生产率是和ДТ-54型拖拉机差不多的。

近来用于拖拉机煤气發生爐的燃料种类增多了。例如在ГБ-58型拖拉机中，除了木柴以外，还可以气化泥煤磚。以在燃料艙中去除多余水分的方法来气化潮湿的燃料是要解决的重要問題之一。在煤气濾清系統內，除了大大地改善了离心式除灰器的結構外，还采用了有很大接触面积的新型濾清器，并出现了用机械驅動的煤气清洗器。

第一章 气化作用的原理和化学反应动力学

气化过程的基本概念

固体燃料在高溫下变成發生爐煤气；这时燃料中的碳和空气及水蒸汽中的氧發生作用。这种过程叫做气化。

用于制造發生爐煤气的設備叫做煤气發生爐。气化的方式和煤气發生爐的構造根据燃料的性質和煤气的用途而不同。

燃料在气化过程中被加热并和氧化性及还原性的介質相互作用而發生不同的物理化学变化。从固体燃料制取煤气时，燃料有以下四个阶段的变化：

- a) 燃料中所含水分的蒸發；
- б) 由于燃料中有机物質的热分裂而發生的干餾；
- в) 剩余焦碳的炙热燃燒；
- г) 焦質剩余物的气化。

这四个阶段的变化对气化过程都有極重要的意义。

含有水分較多的木柴或泥煤气化时，它們在溫度 $105\sim 150^{\circ}$ 时水分蒸發。揮發性物質在加热到 $150\sim 600^{\circ}$ 时从燃料中分离出来。

燃料中有机物質在干餾时的热分解会产生焦油、醇类、酸类和其它产物。焦油的露点是 $20\sim 30^{\circ}$ ，因此它可能在到發动机去的管道中凝結，或者在煤气和空气在混合器中混合以后，由于进气管中煤气和空气的混合气的溫度已降低，而凝結于进气管中。

当已凝結的碳氢化合物落在它上面时，烟灰就沉淀，因而使煤气通道的截面减小，并且打乱了發动机气体分配機構的作用。燃料干餾时产生的稀酸（蟻酸、醋酸等）溶液会引起鋼制零件的腐蝕。

內燃机用的动力煤气不容許含有 0.5克/标准公尺^3 以上的焦油質。

为了要保証煤气發生爐和發动机的正常工作，必須在煤气發生爐內把干餾的产物分解成为在一般自由大气条件下^①不發生凝結的气体： CO 、 CO_2 、 H_2 及其它。这可以使揮發物通过燃料干餾

① 标准公尺³是指在 760 公厘水銀柱及 0°C 时的气体容积，因为煤气的溫度一般比較高，如不折合成标准状态下的容积，就不容易比較和計算。——譯者

② 即一大气压， 0°C 的溫度。——譯者

后剩余的炙热到 $800\sim 1000^{\circ}$ 的焦炭層而得到。

剩余的焦炭是用进入煤气發生爐的空气中的氧来使它变成炙热的。因为碳的氧化致使温度提高到 $1300\sim 1500^{\circ}$ ，在貧質燃料（無烟煤等）气化时，必須在空气进入煤气發生爐时同时引入水蒸汽来使温度降低。

在工作情况下含有大量水分的烟質燃料气化时，就不必另外引入水蒸汽和空气，因为水蒸汽和干餾产物一同进入氧化層（在逆流式气化过程中）时，就能使加热温度降低。

碳燃燒产物—— CO_2 、 CO 以及在氧化層中受到过热的水蒸汽的物理热量[●]，在还原層中使 CO_2 ——發生还原作用而成为 CO ，同时并發生水蒸汽的分解。

CO_2 的还原速度及 H_2O 的分解速度根据一系列的物理-化学因素而定，这些都將在以下几章中詳細敘述。

煤气發生爐煤气中所含有的气体、空气和水蒸汽以及碳的特性如表1所列。

表1 煤气、空气、水蒸汽和碳的特性

物質名称	分子式	分子重量	在 0°C ，760公厘水銀柱气压下的比重 (公斤/公尺 ³)
碳	C	12.011	0.5360
氧	O_2	32.000	1.4290
二氧化碳	CO_2	44.011	1.9770
一氧化碳	CO	28.011	1.2500
甲烷	CH_4	16.043	0.7170
乙烷	C_2H_6	30.070	1.3560
氢	H_2	2.016	0.0899
水蒸汽	H_2O	18.016	0.8040
氮	N_2	28.016	1.2500
空气	—	28.853	1.2930
硫化氢	H_2S	34.082	1.5390
二氧化硫	SO_2	64.066	2.9270

● 物理热量就是物質因温度升高而具有的热量。和化学热量有区别，化学热量是物質在發生化学变化时放出的热量。——譯者

前面已經講过，烟質燃料含有較多的揮發物。

含揮發物較少的燃料叫做貧質燃料。

根据以上所說制取供內燃机用的动力發生爐煤气所用燃料特性的不同，有兩種不同的主要气化过程：用于貧質燃料的直流式气化过程和用于烟質燃料的逆流式气化过程。

在直流式气化过程中，燃料和混合了水蒸汽的空气沿着不同的方向运动。这种气化过程如圖 1 所示。

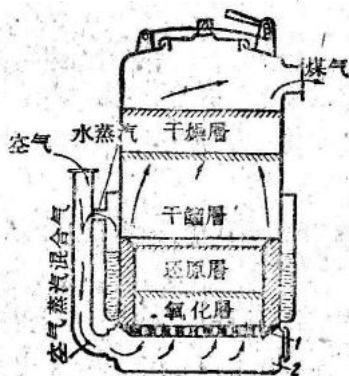


圖 1 直流式气化过程簡圖：

1—爐棚；2—爐灰箱。

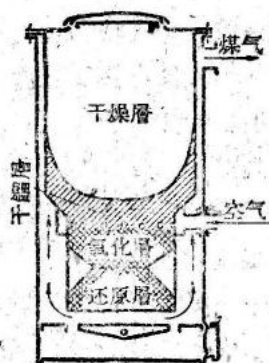


圖 2 逆流式气化过程簡圖。

在这种情况下，裝在煤气發生爐中的燃料就随着爐棚上焦炭殘余物的燒尽而下落，而蒸汽-空气混合气則从下面穿过爐棚通进来。在氧化層形成的煤气向上升，加热了上面的一層燃料，在还原層中和燃料中的碳發生作用，并在通过了全部或部分燃料層后从煤气發生爐中出去。对于含有揮發性物質不多的燃料，为了使揮發物在通过 $800\sim 900^{\circ}$ 的炙热焦炭層时發生分解，就从中間層將煤气引出。揮發物通过了这一層后，就从煤气引出管通出煤气發生爐。

采用直流式气化过程并从中間層引出煤气的煤气發生爐叫做焦油分解式發生爐。由于燃燒層的燃料下層所产生的热量，一般总比燃料干餾和加热到燃燒温度所需的热量為多，所以直流式过

程同时也叫做無限制燃燒式气化过程。

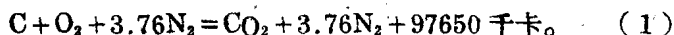
这种过程是用于燃燒兩三种含揮發物 2~12% 的貧質燃料的一种煤气發生爐。

逆流式气化过程的簡圖如圖 2 所示。这种过程广泛地应用于运输式煤气發生爐裝置中。在这种情况下，空气从燃料層中間进入，形成的煤气向下流并通过炙热的碳層。这时，在氧化層下面的燃料層中生成的焦油狀物質、酸、醇类和燃料其它的干餾产物就發生分解。

在运输式煤气發生爐裝置中，还有一种所謂水平式(橫式)气化过程也較流行。它和上述气化过程不同的是气化的产物橫向通过正在往下降落的燃料。干餾产物在离开煤气發生爐以前在气化層的后端部分与發生爐煤气相混合。

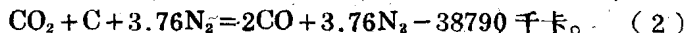
在运输式煤气發生爐裝置中，用空气或蒸汽-空气混合气制取發生爐煤气。

理論上研究制取空气煤气的气化过程时，認為反应是在純粹的碳和空气中的氧之間进行的。在氧化層中發生反应得到二氧化碳：

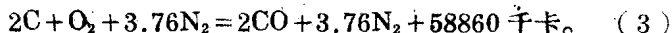


式中所示的热量是指一克分子量物質所产生的数值。系数 $3.76 = \frac{79}{21}$ 指含有一克分子量的氧的空气中所含氮的克分子量。

由于释放大量的热，燃燒生成物加热了气体随層所通过的煤層，在这些煤層中按照下列方程式發生 CO_2 的还原反应并吸收热量：



制取空气煤气的反应总結果可用下式来表示：



在理想的情况下生成的煤气应当含有 34.7% 的 CO 和 65.3% 的 N_2 。理想的空气煤气含热量是 1060 千卡/标准公尺³。

在制取空气煤气的时候大部分热量 (58860 千卡/克分子量) 在

吸热的化学反应中没有被用掉,因此煤气会被加热到很高的温度。

根据理论的热计算(不计算煤气发生炉外部的损失,并且在恒定压力下用分光器测定CO和N₂的热容量),从煤气发生炉中出来的煤气的温度约为1330°。

煤气发生炉的标准效率 η_s 是煤气中所含热量和制取这些煤气所消耗的燃料所含热量之比,就是:

$$\eta_s = \frac{v_g Q_g^e}{Q_H^m}; \quad (4)$$

式中 v_g ——每1公斤燃料所产生的煤气量(标准公尺³);

Q_g^e ——煤气的低热值(千卡/标准公尺³);

Q_H^m ——燃料的低热值(千卡/公斤)。

对于上面所研究的没有损失的理想气化过程,从燃料中制得的煤气量可以用下式决定:

$$v_g = \frac{22.4 \times 100}{12x} = \frac{1.867 \times 100}{x}; \quad (5)$$

式中 22.4——每1克分子量气体的容积(标准公尺³);

12——碳的分子量;

x ——煤气中含CO的百分比。

如上所述,理想的空气煤气中 $x = 34.7\%$,所以

$$v_g = \frac{1.867 \times 100}{34.7} = 5.38 \text{ 标准公尺}^3/\text{公斤}。$$

如果纯碳的热值采用 $Q_H^m = 8137$ 千卡/公斤,那末根据公式4算得的标准效率,

$$\eta_s = \frac{5.38 \times 1060}{8137} \approx 0.70。$$

因此在这样的过程中有30%的燃料热量未被利用;从煤气发生炉中出来的煤气的温度很高,但是热值很低。

在以上的计算中,因为认为是理想的过程,所以没有考虑到热损失。

在实际情况下,由于在还原层中的温度降低,并且由于燃料中有水分和灰分而使碳的浓度减小,因而CO₂还原成为CO的作

用是不完全的。在燃燒層中由于輻射和水蒸汽过热的热損失很大，就使得溫度降低。

在实际上，表明过程指标的数值如下： $Q_n^* \approx 1000$ 千卡/标准公尺³； $\eta_2 \approx 4.8 \sim 5$ 标准公尺³/公斤； $\eta_2 = 0.60$ 。

出来的煤气温度为 $900 \sim 1000^\circ$ 。

空气煤气的平衡成分如表 2 所列。

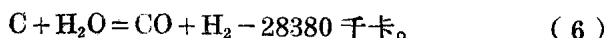
表 2 空气煤气的平衡成分（容积的百分比）

温 度 $^\circ\text{C}$	CO_2	CO	N_2	$\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \cdot 100$
650	10.8	16.9	72.3	61.0
800	1.6	31.9	66.5	95.2
900	0.4	34.1	65.5	98.8
1000	0.2	34.4	65.4	99.4

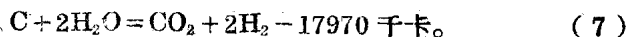
这就指出了制取空气煤气过程的经济性是不高的，大部分热量未被利用。

剩余的热量可以利用于將水蒸汽分解为可燃气体。

在水蒸汽和碳之間能产生这样的吸热反应



增加水蒸汽的含量会发生这样的反应：



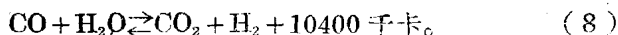
依次向煤气發生爐中送入空气和水蒸汽就得到了水煤气。这样产生的空气煤气单独从煤气發生爐中引出而不和水煤气混合起来。这种方法可以制得高热值的水煤气，在理想情况下含有 50% 的 CO 和 50% 的 H_2 。

水煤气的热量是 2810 千卡/标准公尺³，水煤气煤气發生爐的效率是 $60 \sim 65\%$ 。这种方法广泛应用于固定式的煤气發生爐中；在运输式煤气發生爐中不用它的原因是这种煤气發生爐的結構很复杂，并且必須把大量的空气煤气放到周圍的空气中去。

在运输式煤气發生爐中用供給空气和水蒸汽混合气的方法来

制取混合煤气。这时剩余的热量就按公式 (6) 和 (7) 用于分解水蒸汽。一系列的研究工作指出, 公式 (2)、(6) 和 (7) 所示的反应是同时在还原层中进行的。

最后生成的煤气的成分根据反应的平衡状态而定:



这个反应式的箭头指出反应是可逆的, 也就是说, 在某种条件下它是向右方进行, 而在另一种情况下则向左方进行。

物理化学研究反应的平衡和进行的条件, 下面将引述这方面的若干知识。

在理想的情况下, CO_2 还原以后, 所有的剩余热能是用于分解水蒸汽时, 如果用引入空气-水蒸汽气流的混合气化过程是可以提高煤气的热值的。

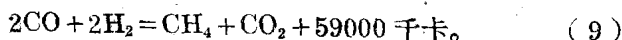
被分解的水蒸汽量, 可以用假设的热量和生成 CO 及 H_2 所需的热量的比值来确定。

$$\frac{58,860}{28,380} \approx 2.07 \text{ 克分子量。}$$

所得到的煤气 (可以叫做半水煤气) 的成分, 在理想的情况下将是这样的: $4.07\text{CO} + 2.07\text{H}_2 + 3.76\text{N}_2$ (克分子量) 或者 $41.1\%\text{CO}$, $20.9\%\text{H}_2$ 和 $38\%\text{N}_2$ 。这种煤气的热值是 1793 千卡/标准公尺^3 , 每 1 公斤的碳可以分解 0.76 公斤水蒸汽。在实际情况下, 只有一部分的水蒸汽被分解, 因此煤气的热值也不到 1793 千卡/标准公尺^3 , 因为在低于一定温度时, 碳和水蒸汽间的反应就停止了。

如上所述, 由于一部分热量散到周围介质中的结果, CO_2 的还原作用也是不完全的。由于这些原因, 每 1 公斤碳所能分解的水蒸汽量降低到 $0.4 \sim 0.6$ 公斤, 煤气的热值减少到 $1200 \sim 1400 \text{ 千卡/标准公尺}^3$, 而引出的煤气温度则升高到 $300 \sim 400^\circ$ 。

必须指出, 在气化过程中也会根据下式产生甲烷:



这个反应是在温度为 $700 \sim 800^\circ$ 时进行的。

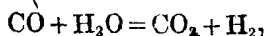
气化过程的基本动力学和热力学

为了要理解对于反应过程发生影响的一些因素，必须了解化学反应的基本概念和动力学的定律，同时也要了解热力学第一和第二定律的应用，因为反应的热效应就是根据这两条定律来决定的。活性反应理论的发展，对热交换和扩散的研究，使我们能够根据气体动力学的理论进一步了解决定反应速度的几个主要因素的影响。

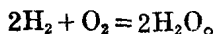
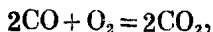
反应的形式

反应的形式分为两种：发生在同一个组合的气体状态下的物质之间的反应叫做均一反应。发生在不同的组合状态下的物质（其中一个为固体，一个是气体）之间的反应叫做多相反应。

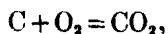
一氧化碳和水蒸汽之间的气相反应就是均一反应



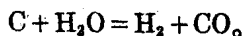
一氧化碳和氢的燃烧也是这一类反应：



多相反应如碳和氧的反应



以及碳和水蒸汽之间的反应



反应的级别

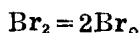
反应的级别决定于以克分子量计算的、参与反应的物质的量。如果在反应中只有一种分子的形式改变了，那就叫做单分子反应或第一级反应。第一级反应的化学计算系数^①为1。

第一级反应的普遍形式可以用下列简式来代表：

① 化学计算系数标志着参与反应的分子数。



物質分解成为比較簡單的分子的反应屬於第一級反应，例如



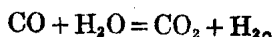
双分子或第二級反应是有两种不同的分子或者两种相同的分子之間的反应。第二級反应的簡式如下：



这种反应的产物由参与反应的分子結合或互相交換原子而成。第一种化合物叫做結合反应，第二种叫做交換反应。結合反应的例子如 CO_2 的形成：



交換反应的例子如

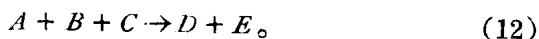


第二級反应的化学計算系数等于 2。第二級反应是比較广泛而且很值得研究的。

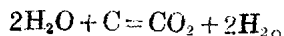
根据动力学理論，参与化学反应的两个分子的撞击是非常可能而且常常發生的。

三分子反应或第三級反应是在相同或不同的三个分子之間發生的。这种反应的化学計算系数等于 3。

第三級反应的簡式如下：



屬於第三級反应的如过量水蒸汽和碳的反应：



从动力学理論中知道第三級反应是很少的，因为实现这种反应必須由三个分子撞击；两个分子的撞击是不足以構成这种反应的。第三級反应常常通过在每个阶段中根据第二級反应形成物質的某些中間阶段中發生。

反 应 速 度

化学反应以不同的速度进行。在某些条件下，它們进行得很

慢，在另外一些条件下，它們發生得特別快，几乎接近爆炸。

反应速度用在單位時間內發生反应的物質質量来决定。

在反应进行中，發生反应的物質逐漸在减少，因此反应速度不是恒定的，因为此时由原来的物質和反应的产物所形成的混合物的濃度也在减小。

根据物質作用定律，化学反应的速度和反应物質中活性物質成正比。

在物理化学中，所謂活性物質是用存在于單位体积中的反应物質的分子濃度来計算。物質的濃度以每 1 公升中的克分子量来測定。

为了决定反应的速度，并不需要观察所有参与反应和新产生的物質的消失，而只要知道一种物質的变化就够了，因为反应是很严格地根据一定的化学計算关系进行的。

考虑到反应的速度是和它的級別有关的，研究就从第一級反应开始。

我們用 c 代表在給定的容积中物質的濃度，用 τ 代表反应进行所經過的时间。

微分形式的反应速度可以用濃度对時間的一次微分 $\frac{dc}{d\tau}$ 表示，并且是反应物質的濃度 dc 在時間 $d\tau$ 內的变化速度。

考虑除了濃度以外的在反应期間起作用的許多因素例如溫度、压力的影响的系数 k ，根据物質作用定律反应速度可以用下列微分方程来表示：

$$-\frac{dc}{d\tau} = kc. \quad (13)$$

負号是表示反应物質的濃度在時間 $d\tau$ 內的减少。

分离变数并进行积分，得到

$$-\ln c = k\tau + D. \quad (14)$$

式中积分常数 D 可以用初始条件来决定。在开始反应时 $\tau=0$ ， $c=c_0$ （物質初始濃度），因此

$$D = -\ln c_0.$$

將 D 的值代入公式 (14) 中, 得出

$$-\ln c = k\tau - \ln c_0$$

或

$$k\tau = \ln \frac{c_0}{c} \quad (15)$$

这个式子可以变成下面的形式:

$$c = c_0 e^{-k\tau} \quad (16)$$

公式 (16) 中的常数 k 叫做反应速度常数或反应比速。在第一級反应中 k 的單位是 $[\text{秒}^{-1}]$ 。

从公式 (15) 中可以知道, 如果在半对数的坐标上以時間为横坐标, 濃度的对数为縱坐标来圖解第一級反应的話, 得出的圖形是一条直綫。在圖上反应速度常数 k 是这条直綫和横坐标間夾角的正切(圖 3)。

反应速度常数不但可以用濃度来表示, 也可以用在一定的時間 τ 中进行反应的物質分子量来表示。我們用 V 来表示参与反应的物質与反应的产物混合物的容积。

假定在時間开始的时候 ($\tau = 0$) 有 a 个分子, 而在時間 τ 之后有 x 个分子的物質。

在時間間隔 τ 中濃度

$$c = \frac{a-x}{V} \quad (17)$$

將此式对 τ 微分, 得到反应速度

$$\frac{dc}{d\tau} = -\frac{1}{V} \frac{dx}{d\tau} \quad (18)$$

將式 17 和 18 代入式 13 中, 得出

$$\frac{dx}{d\tau} = k(a-x)$$

分离变数

$$\frac{dx}{a-x} = k d\tau$$

进行积分

$$-\ln(a-x) = k\tau + D,$$

根据初始条件 $\tau=0, x=0$ 来决定积分常数 D 。

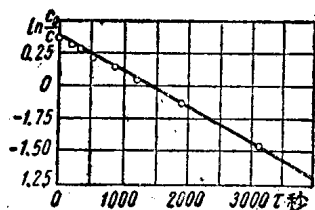


圖 3 第一級反应中濃度的对数和時間的关系。