

苏联 列·維·杜布諾夫著

藥炸安全用礦

煤炭工業出版社

藥炸全安用礦

苏联 列·維·杜布諾夫著

李迪勳譯 程义法 李相魁校訂

煤炭工業出版社

內 容 提 要

本書敘述有瓦斯或礦塵爆炸危險的礦井所使用的安全炸藥的理論問題；研究爆破工程中瓦斯和礦塵發火的條件以及各種安全炸藥（包括井內大氣中含有沼氣、高級碳氫化合物、汽油氣、煤塵、硫塵、硫化物、氫氣等類礦井適用的安全炸藥）的特性；同時，還對各種現代安全炸藥作了詳述。

本書可供採礦工業和化學工業的工程技術人員閱讀。

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л. В. ДУБНОВ

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社1957年列寧格勒第一版翻譯

書號309

礦 用 安 全 炸 藥

李迪勳譯 程義法 李相龍校



煤炭工業出版社出版（地址：北京東長安街煤炭工業部）

北京市書刊出版業營業許可證出字第084號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：桂萬宏 校對：陳家驊

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 5-1/2印張 * 122千字

一九五六年四月北京第一版第一次印刷（1—7, 100冊）

定價（8）1.00元

目 錄

序 言	2
第一章 礦井大氣、井下爆炸和井下火災	3
第二章 沼氣和空氣混合物的自燃(爆燃)、燃燒和 爆炸	11
第三章 煤礦中進行爆破工作時礦井瓦斯的 發火條件	50
第四章 安全炸藥的原理	71
第五章 裝藥爆炸條件對爆破工作安全性的影響	101
第六章 安全炸藥對瓦斯(沼氣)安全性的試驗方法	107
第七章 煤塵危險礦井適用的安全炸藥	120
第八章 硫塵危險礦井適用的安全炸藥	125
第九章 高級碳氫化合物和汽油氣礦適用的 安全炸藥	130
第十章 含氫的瓦斯混合物的爆炸危險性	139
第十一章 安全炸藥評述	146
參考文獻	164

序 言

在党第十九次代表大会關於第五个五年計劃的指示中，規定煤產量大約增長43%。煤產量的增長，應該以綜合機械化的最新式採礦機械和採礦器械的应用、採礦方法的改善、採掘工作的加强以及勞動生產率的提高為基礎而產生的。

利用炸藥的能量、並對爆破下來的岩石和煤進行機械化的裝卸和運輸，是提高勞動生產率的方法之一。因此，保證煤炭工業有高效率的炸藥和更有價值地利用它的必要性就產生了。

同時，煤礦的特點——礦井大氣的爆炸危險——大大地使鑽眼爆破工作的進行方法趨於複雜，例如，它要求選用具有特殊性能的特种類型炸藥，即所謂安全炸藥。採礦工業的其他部門，也需要相似類型的炸藥。

雖然採礦工業和化學工業方面的工作人員對安全炸藥的興趣很大，但在我們的技術文獻中是闡述得不夠的。

党和政府永遠重視安全技術問題，因此，對廣大的工程技術人員介紹有關井下安全爆破工作的理論與實踐的基本問題，實在是必需的。

本書敘述了安全炸藥的特性，並且分析了爆炸性瓦斯和礦塵因炸藥爆炸影響而發火的條件和規律，以及對安全炸藥在成分和性質上的要求。

對煤炭工業和其他採礦工業部門的工程技術人員在各種採礦工程中選用最安全而有效的安全炸藥方面，以及對化學工業工作人員在製造安全炸藥和研究更新型而更完善的安全炸藥方面，著者希望本書能成為一本有益的參考書。

第一章 礦井大氣、井下爆炸和井下火災

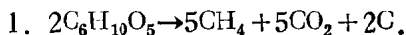
第1節 礦井大氣

很多井下巷道的大氣，都含有可燃性瓦斯和礦塵。最常見的可燃性瓦斯有：沼氣和其它碳氫化合物、氫氣、硫化氫、一氧化碳、二氧化硫。可燃性礦塵是由於一些被開採的礦石——煤、硫、黃鐵礦、地臘等形成的。照例，礦塵-瓦斯的特性與巷道的性質相符合。但是，有時也有例外，在煤礦或金屬礦的大氣中會發現某一種瓦斯，它不能說明被開採的礦石的特性。這種瓦斯的出現通常與圍岩的地質特性有關。

(1) 煤 礦

煤礦井下大氣的特徵，是含有沼氣和懸浮狀態的煤塵。

煤層中沼氣的來源，是與木質纖維及其它植物遺體生成煤的過程有關。在特殊微生物和桿狀碳菌的作用下，沼氣就在纖維的泥炭化過程中分析出來。在 A.A. 斯闊成斯基院士和工學博士 B.B. 闊馬洛夫合著的著作中[1]，沼氣生成的可能反應如下：



植物遺體每生成煤一立方公尺，就產生沼氣 100—200 立方公尺。

形成中的沼氣，一部分散失了，另一部分則聚集在煤的空隙處或侵入岩石中。煤層沉積越深，沼氣擴散到大氣的數量就越小，相應地，沼氣存留在岩層中就可能越多。

在煤礦天然瓦斯或通常所謂礦井瓦斯的組成中，除沼氣

外，還含有少量的其它瓦斯：碳氫化合物（乙烷、乙烯等）、氮、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、硫化氫、氫。

乙烷、乙烯和其它碳氫化合物的含量，通常不超過1—4%，氮——10%，二氧化碳——5%。其餘的瓦斯含量是極少的，或者完全沒有。

上述瓦斯中的任何一種瓦斯，在煤礦礦井瓦斯中，只有個別情況下才會超過上述含量。這通常與圍岩的特性有關。

例如，根據 И.Г. 斯塔羅杜布奢夫[2]分析莫洛托夫煤礦管理局斯大林礦務局第二號礦井的礦井瓦斯的資料，其中沼氣的含量為53.83%，乙烷為6.09%，丙烷為27.27%，丁烷為6.83%，戊烷為1.33%。

隨著礦井瓦斯中高級碳氫化合物和氫氣含量的增加，瓦斯與空氣混合物的爆炸性也就隨著增加。

岩石中的瓦斯可分為自由狀態的和約束狀態的兩種。自由瓦斯聚集在岩石的空隙、裂縫和孔隙中。約束瓦斯是一種被岩石吸著的瓦斯。

煤的吸收表面很大，每克達200平方公尺。因此，煤層中的大部分瓦斯（約 $\frac{3}{4}$ ）都處於約束狀態。根據 A.A. 斯闊成斯基和 B.B. 闊馬洛夫的資料，每噸煤（乾燥原煤末）可吸著沼氣達100立方公尺。

瓦斯不僅從煤層或圍岩中、而且從所採下的煤中排出來，到井下大氣中去。

瓦斯的排出有三種類型：

- （一）普通排出——從肉眼看不見的孔隙和裂縫中排出；
- （二）普通噴出——從肉眼看得見的裂縫中噴出；
- （三）突然噴出——通常在很短時間內，大量瓦斯和岩石一起突然噴射出來。

煤層中的瓦斯壓力，取決於煤層的沉積深度，一般在4—

40大气压力之間。

煤可根据其瓦斯含量來分類。煤的瓦斯量是指每噸煤中或每立方公尺煤中的瓦斯含量(立方公尺)而言。

無煙煤和焦煤的瓦斯含量最大。含有大量揮發物的煤，其瓦斯含量最少。照例，緩傾斜煤層較急傾斜煤層的瓦斯含量多些。

根据單位時間內瓦斯排出到大气中的多少，因此，煤礦可按瓦斯湧出量來分類。瓦斯湧出量可用絕對值或相對值來表示。在後一種情況下，是指每晝夜採煤一噸所排出的瓦斯量而言。

煤礦可按瓦斯湧出量分为四級：

第一級瓦斯礦——相對瓦斯湧出量小於5立方公尺/噸；

第二級瓦斯礦——自5至10立方公尺/噸；

第三級瓦斯礦——自10至15立方公尺/噸；

超級瓦斯礦——相對瓦斯湧出量大於15立方公尺/噸；有煤和瓦斯突出和瓦斯噴出的煤礦也包括在內。

礦井大气中具有可燃性煤塵，這是煤礦的第二個特點。

在使用機器與器械工作和進行爆破時，以及在搬運和裝載碎煤的過程中，煤塵的形成特別厲害。關於採礦工作過程中空氣內煤塵的濃度，表1給予我們一個概念。表1的資料是從В.И.克拉威茨[3]的論文中摘錄下來的。

懸浮的煤塵慢慢地沉積在巷道的兩幫和底板上，有時聚集得很多。煤塵的這種聚集是很危險的。如果煤塵因受空氣衝擊波的力量而飛揚於空氣中，便形成有爆炸危險的塵雲。

空氣中懸浮煤塵的爆炸危險性，取決於煤塵微粒的大小、煤的物理化學性質、煤塵的水分和灰分。關於這點，在下面將有專章詳述。在這裏，僅指出實踐中煤塵的爆炸危險性是根據煤裏所含揮發物的指標來確定的。揮發物是煤樣在斷絕氧氣並

表 1

礦務局、礦井、煤層	空氣中煤塵濃度的測定, 克/立方公尺		
	截煤機截煤時, 距截盤 0.5公尺處	煤車裝煤時	風鎬採煤時
布丁諾礦務局、紅星礦井、里文斯基煤層	3.5—29.4	2.6—7.6	—
庫依貝舍夫礦務局、第五、第六號礦井、 里文斯基煤層	1.8—13.7	0.3—5.2	—
蘇維埃斯克礦務局、第13號礦井、白烈 斯托夫卡煤層	1.8—23.5	0.9—6.4	—
馬客耶夫礦務局、索非亞礦井、索非耶夫 斯基煤層	2.3—24.7	1.2—7.0	—
紅色近衛軍礦務局、察基諾礦井、馬客耶 夫斯基煤層	4.5—28.4	3.2—12.4	—
歌爾洛夫斯克礦務局、第19和第20號礦井、 古撒煤層	—	5.6—13.8	0.5—4.7
歌爾洛夫斯克礦務局、第18—20號礦井、波 特帕托克煤層	—	10.5—27.3	7.3—11.7
歌爾洛夫斯克礦務局、柯奢加爾卡礦井、 馬辱爾卡煤層	—	9.4—30.2	8.8—15.4
奧爾特曼尼基特則礦務局、紅色普羅芬特 爾奈礦井、德烈佐夫卡煤層	—	7.9—29.6	8.4—13.5

加熱到 850° 時所起氣化作用的產物。揮發物就用它與純煤(灰分和水份除外)的重量的百分比來表示。揮發物的成分中, 通常含有沼氣、一氧化碳、氫氣和其它瓦斯。

根據保安規程[4], 如果煤中揮發物的含量超過10%, 該煤礦屬於煤塵危險礦井。

(2) 鉀 礦

鉀礦巷道的大氣中含有可燃性瓦斯——氫氣和沼氣。這兩種瓦斯是從鉀礦排出來的天然瓦斯中的組成部分。

索里卡姆鉀礦的礦井瓦斯的成分載於表 2 中。

表 2

礦 層 名 稱	瓦 斯 含 量, %			
	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂
卡爾納里托威礦層	20—45	15	—	55—80
西里維尼托威礦層	2.5	0.8	0.2—12	95—96.4

關於索里卡姆鉀礦床的瓦斯含量和工作面的可燃性瓦斯含量的資料載於表 3 中。

表 3

礦 層 名 稱	瓦 斯 含 量, 公升/立方公尺	爆破後工作面可燃 性瓦斯的含量, %
紅色西里維尼特層	2.2—5.8	0.2—0.6
西里維尼特 AB 層	3.5—9.8	0.8—1.0
雜色西里維尼特層	8.5—10.0	1.0
卡尔納里特第五層	15—150	1.7—15
卡尔納里特第六層	≤250	12—26

天然瓦斯中氫氣與沼氣間的比例，是在 3:1 到 8:1 的範圍內。

關於鉀礦中可燃性瓦斯的來源有下列各種假設：

在鹽層形成時，由於曬乾積水地的植物遺體和動物遺體的分解過程（泥炭化過程），沼氣便產生了。

氫氣的生成是與水的分解過程有關的，而水的分解過程是在放射性鹽類與鹼性鹽類礦物同時結晶時，因其射綫的作用而產生的。

(3) 硫礦和黃鐵礦

硫礦和黃鐵礦中的大氣特徵，首先是含有可燃性硫塵和黃鐵礦塵；這種礦塵與空氣混合便產生一種爆炸性混合物。

此外，大氣中還含有下列各種不同數量的瓦斯：硫化氫，沼氣，乙烷，亞硫酸酐，砷化氫，一氧化碳，硒、磷和砷的有機化合物以及其它瓦斯和蒸汽等。

(4) 石油礦和地臘礦

石油礦和地臘礦中的大氣特點是：除沼氣外，還含有高級

碳氢化合物以及石油的輕分餾物的蒸气(汽油等)。

根据 M.Φ. 米尔辛克[5]的資料, 苏联有些油田的天然瓦斯的成分如表4所示。

表 4

油 田	天 然 瓦 斯 的 成 分, %				
	沼 气	乙 烷	丙烷、丁烷 及其高級同 系物	碳酸瓦斯	空 气
苏拉漢內油田	78.20—90.72	2.30—2.47	1.01—1.10	4.3—17.8	0.9—1.5
巴拉漢內·沙布尼 齐·拉馬內油田	83.7	0.60	0.2	11.5	4.0
卡拉油田	93.3—94.3	2.1—2.3	0.7—0.8	0.3—1.6	—
克拉斯諾卡姆斯克 油田	31.63—34.16	4.29—14.34	14.42	0.1—0.21	—

可燃性瓦斯和蒸气既会从岩石中洩出, 也会从流到巷道中的石油輕分餾物中蒸發出來。石油的排出也常常具有噴射的性質。

第 2 節 井下的瓦斯爆炸和礦塵爆炸

煤礦和金屬礦的大气中具有可燃性瓦斯和礦塵時, 就產生井下爆炸和井下火災的危險性。

众所週知, 所有可燃性瓦斯和 礦塵達到一定的濃度(有爆炸危險的)後, 就会与空气混合形成一种爆炸混合物。

爆炸的發生, 可能是由於火光、电火花以及其它熱源的作用。爆炸的可能性和其特徵是取決於可燃物的物理化学性質、可燃物的濃度、爆炸混合物裏雜質的有無和性質、火源的特性和能量。

井下的瓦斯爆炸和礦塵爆炸, 可能引起大規模的破坏。煤塵爆炸可能延及很長距离的巷道。所以, 它是特別危險的, 破

坏性很大的。

爆炸時產生的衝擊波，在它的行程中會不斷地揚起沉積在巷道兩幫及底板上的可燃性礦塵，把爆炸傳播到更大的空間去。因此，瓦斯爆炸很易引起礦塵爆炸。

關於礦井爆炸的破壞作用，從下面所引証的例子可得到一個概念。

1906年法國庫里耶爾煤礦由於煤塵爆炸（約延及100公里長的巷道）使礦工死亡1099人。災難發生後，費了兩年多的時間該礦井才恢復了。

1934年英國古羅斯弗爾特煤礦發生了煤塵-瓦斯爆炸。礦工死亡263人。由於爆炸而發生的井下火災和冒頂，不得不把該礦井予以封閉。

由於日本侵略者完全忽視技術保安規程，1942年中國東北本溪煤礦曾發生一次大規模事故，中國礦工死亡了1549人。

由於井下爆炸而引起的大規模事故，還可能舉出很多例子。

目前，還沒有精確的資料來說明井下的瓦斯爆炸和礦塵爆炸的真正性質。根據個別爆炸參數的測量結果，我們可以作出如下的假設：發生這種所謂的爆炸性燃燒，其擴展速度通常為每秒數百公尺，其壓力達幾大氣壓。

特別對沼氣和煤塵來說，猛烈爆炸的可能性是很小的^①。

沼氣和空氣混合物在直徑為1.93公尺鋼製巷道中的爆炸速度，曾經用照像方法把它測量出來。瓦斯的爆炸是由炸藥的爆炸所激發的。

瓦斯爆炸的火焰，最初的傳播速度為500—700公尺/秒，隨即逐漸減慢。在鋼製巷道的末端，火焰的傳播速度為60—

① 即爆炸燃燒的可能性很大。——譯者

130 公尺/秒。

關於氫氣和空氣、汽油和空氣的混合物爆炸波波前的最大壓力的間接資料，根據直徑 1.6 公尺鋼製巷道中爆炸時所測量的起爆壓力，確定為 15—25 大氣壓。

大多數的井下礦塵爆炸和瓦斯爆炸是由爆破作業引起的。根據統計資料，英國煤礦中從 1911 年到 1941 年因爆破作業而發生的爆炸有 146 次，美國從 1932 年到 1941 年有 30 次，德國魯爾礦區從 1929 年到 1942 年有 20 次。

硫礦和鉀礦中也發生很多次的爆炸事故。根據統計資料，從 1900 年到 1921 年，德國鉀礦中因進行爆破工作曾發生 17 次大規模的瓦斯爆炸。

如果不遵守爆破保安規程，爆破時有煤塵的或瓦斯的礦井是極端危險的。必須注意，在炸藥的爆炸過程中，會產生高溫和高压，也就是會產生瓦斯或礦塵易於發火的條件。

我們的任務在於，保證爆破作業完全安全；消滅瓦斯或礦塵發火的可能性。

在蘇聯，對公民健康的關懷，是最重要的國家事業。因此，採礦事業中的技術保安問題是具有頭等重要意義的。

對於爆破工程，技術保安規程規定有一系列的實際方策。

如果井下大氣中可燃性瓦斯的濃度超過一定標準，就禁止進行爆破工作。例如，在煤礦中進行爆破工作時，沼氣的濃度必須低於 1 %。

排除井下大氣中的可燃性瓦斯，要保證用強力的通風。

技術保安規程規定炮眼必須填塞內部炮泥。內部炮泥的多少，取決於炮眼的深度，其長度必須不少於 30 公分。深度小於 40 公分的炮眼，禁止採用。

在硫礦中，尤其是在硫塵礦中，爆破前要在爆破區域附近撒惰性岩粉，並在巷道的兩幫和底板處進行洒水。

在有煤塵危險的礦井中，爆破地點附近 20 公尺的巷道應撒岩粉。

為了防止礦塵爆炸或火勢的蔓延，應設立岩粉棚和水幕^①。

最後，最重要的預防方法是採用特殊安全炸藥，本書將論述其性質。

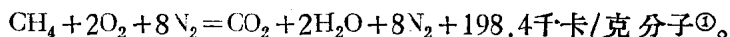
第二章 沼氣和空氣混合物的

自然（爆燃）、燃燒和爆炸

第 1 節 爆炸反應

為了明瞭煤礦中進行爆破工作時礦井瓦斯爆炸的機械作用及其可能原因，首先必須研究沼氣與空氣的爆炸反應的特點。

沼氣和空氣混合物的爆炸或爆燃，基本上是沼氣被空氣中的氧所氧化的放熱反應。在一般形式上，這種反應可用下列方程式來表示：



根據 H.H. 謝明諾夫[7]院士的研究，沼氣的氧化反應是一種鏈鎖反應。反應的真正過程並不符合於上述方程式，它只表示反應的最後產物。

實際上，這種反應經過一系列中間產物。B. H. 康德拉季耶夫等[8]曾用攝譜法和探熱法在各種碳氫化合物的火焰中能發現濃度很大的原子氧、氫氧根(OH)和碳氫根(CH₃)等。這些物質在火焰中的濃度為反應的最後產物在火焰溫度下熱分解的平衡濃度(例如 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH}$)的幾千倍以至幾百萬倍。從這

① 在巷道工作面不遠處，安設噴水龍頭，造成水花幕，即可預防爆炸的傳播。——譯者

① 這是在恒壓和水為汽態的條件下所計算出來的反應熱。

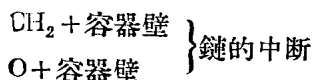
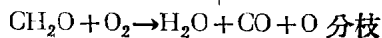
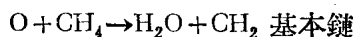
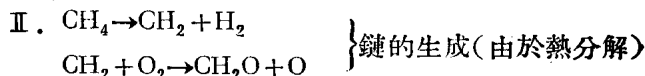
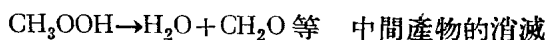
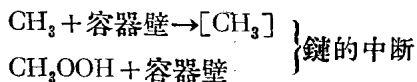
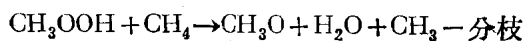
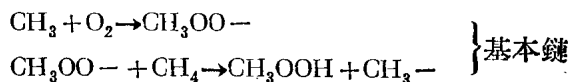
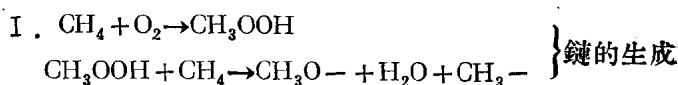
些觀察中可以得出結論：上述的原子和根出現在反應瓦斯中，並非由於最後產物的熱分解，而是它們乃反應的中間產物。

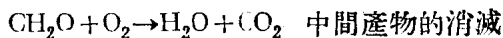
此外，計算表明，按照鏈鎖反應的理論，反應速度是取決於瓦斯中這些物質的濃度的。因此，這些物質普通稱為鏈鎖反應的“活性中心”，因為它們是鏈的發展的先決條件。

化學分析還能發現沼氣氧化的其它中間產物，其中有一氧化碳(CO)和甲醛(CH₂O)。很有意思的是，把這些化合物加到沼氣與空氣的混合物中去，就會加速沼氣的氧化反應。這就証明沼氣和上述物質在氧化的鏈鎖反應中的活化作用。

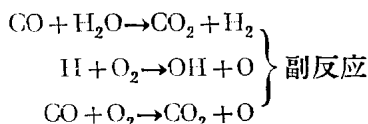
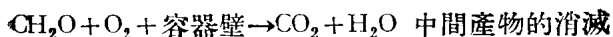
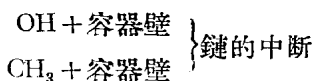
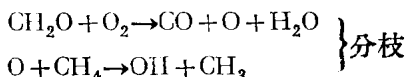
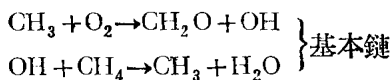
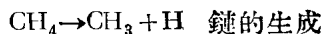
沼氣氧化的中間產物的實際實驗材料，使很多學者能提出更完全的反應式。因為在估計瓦斯的自然條件和研究預防爆燃的方法方面，中間產物和中間反應的性質具有巨大意義。我們將引述其中最有可能性的反應式於下。

根據 H.H. 謝明諾夫[9]的著作：

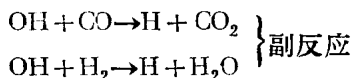
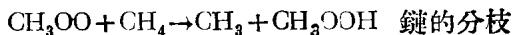
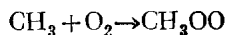
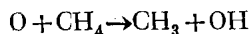
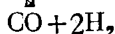
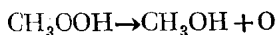
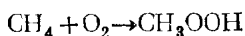




H.H. 謝明諾夫的第二个反应式，由於考慮到實驗中發現的自由氫氧根，其類型有些改變：



根据 E. 奧基柏尔[10]的著作：



目前，还不能直接証明，那种反应式符合於反应过程的真正性質。在实际条件下，在某种程度上，上述反应式所闡明的各种中間反应完全可能同時發生。同時，可以假定：氫氧根或甲醛所参与的反应是决定整个反应过程的主要反应。这个假定

的証明，是这些化合物的破坏，或相反地，人工輸入这些化合物，会顯著地影响到反应速度和反应進程。

H.H. 謝明諾夫在分析鏈鎖反应的動力学後，得出下列規律性：

$$\text{反应速度 } W = A e^{\varphi t} \text{ ①}, \quad (1)$$

式中 A ——与原始活化中心數有關的常數；

t ——時間；

φ ——决定鏈的分枝条件的係數。

$$A = \frac{n_0}{\delta - \beta}, \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{\delta - \beta}{\Delta \tau}, \quad (3)$$

式中 n_0 ——反应原始(活化)中心數(根据阿累尼烏斯動力学定律)，

$$n_0 = N e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (4)$$

式中 N ——亞佛加德羅常數；

E ——活化能；

δ ——鏈分枝的或然率；

β ——鏈中斷的或然率；

$\Delta \tau$ ——鏈的一个环所經歷的時間。

因为鏈的分枝或鏈的中斷决定於活性中心的碰撞条件与相应的反应能量，係數 φ 本身又决定於温度和压力：

$$\varphi = k_p n e^{-\frac{u}{RT}}, \quad (5)$$

式中 冪指數 n 說明反应的級數，而 u 却是若干能量的數值，在物理意义上它接近於活化能。

① 該式应改为： $W = A e^{\varphi t}$ 。——校者