

130098

F.P.布登、A.D.依奥夫 著

固体和液体炸药的 起爆与传爆



国防工业出版社

05

1/401

中国现代史

中国现代史 中国现代史

中国现代史

中国现代史



中国现代史

5205

130098

721/401

固体和液体炸药的 起爆与传爆

F.P.布登 A.D.依奥夫 著

苏联科学硕士 A.M.高李宾杰尔译自英文

任玉立 马庆云 译自俄译本

陈赞文 罗秉和 校



国防工业出版社

本書系根据莫斯科外文書籍出版社出版的俄譯本譯出，并根据英国劍橋大学 1952 所出版的原著進行了校對。

書中敘述了对固体和液体炸藥的起爆与傳爆历程方面的問題及对起爆与傳爆的过程所做的实验，并列舉了各种炸藥的实验結果，这些实验的方法与結果无疑地对科学研究有一定的价值。

此外，俄譯者將包括以下內容的一篇論文——1. 低速度爆轟的傳播，2. 叠氮化物的发火、燃燒与爆炸，3. 黑藥的发火与燃燒，作为附录补充在書末，也丰富了本書的內容。

俄譯本序言系 Н. А. 哈列姆教授所写，对本書內容作了适当的評價。本書可作为高等学校和有关专业的科学研究工作者的参考書。

ВОЗБУЖДЕНИЕ
И РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА В
ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ
ВЕЩЕСТВАХ

Перевод с английского

А. И. Гольбиндера

Издательство
иностранной Литературы
Москва 1955

本書系根据莫斯科外文書籍出版社一九五五年俄文版轉譯。
原著以英文出版。原作是 F. P. BOWDEN, A. D. YOFFE
原著名稱是 INITIATION AND GROWTH OF EXPLOSION IN LIQUIDS AND SOLIDS, 英国劍橋大学
1951 年出版

固体和液体炸藥的
起爆与傳爆

[英] F. P. 布登 A. D. 依奧夫 著
苏联科学碩士 А. И. 高李賓杰尔 譯自英文
任玉立 馬庆云 譯自俄譯本
陈贊文 罗秉和 校

*

国防工业出版社 出版

北京市書刊出版业營業許可証出字第 071 号
北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 耗 1/32·36/16 印張·87,000 字

一九五七年九月第一版

一九五七年九月北京第一次印刷

印数：1—1,060 册 定价：(10)0.60 元

俄譯本序言

研究炸藥的機械感度有着很大的實際意義。所以必須擬訂，能够可靠地判斷在各種條件下發生爆炸可能性的實驗方法，並在此基礎上尋找符合感度要求的炸藥。

最近 50 年在感度方面進行了很多研究工作，其中許多工作是在物理、化學和技術方面的卓越的學者參加下完成的。這些研究結果顯著地擴大了我們對炸藥感度的概念，然而，這些概念還不能夠作為充分的論據，來順利地解決所提出的實際問題，所以就特別迫切地要求更進一步研究起爆的歷程。

由貝爾特羅（1833 年）所提出的認為在機械作用下的起爆是由于機械能轉變為熱能，而使炸藥加熱至高溫所引起的假說，在蘇聯學者〔貝里亦夫、哈利通等〕的工作中得到了發展。

近來，在英國著名的物理學家布登的領導下廣泛地研究了起爆和傳爆的歷程。這些研究結果在布登和依奧夫所著“固體與液體炸藥的起爆與傳爆”一書中做了敘述，並且發現這些研究結果與貝爾特羅的假說很相符。

布登和依奧夫在發展貝爾特羅假說時着重指出，當沖擊或者摩擦時，並不是全部遭受機械作用的物質都發熱，而只是其中很少的個別部分〔灼熱核 (очаги разогрева)〕發熱。同時本書著者還假定，由於摩擦所引起最大的局部灼熱是受炸藥本身（即摩擦物體或者摻合物的微粒）的熔點所限制。根據這樣假定的結果，固體表面的摩擦在灼熱時具有主要的意義，而不考慮粘性可塑的流動性。既然用實驗方法看出只有當摻合物顆粒的熔點達到 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 時感度才增加，所以著者認為：當受摩擦變形的炸藥的局部溫度增高到 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 時，就能保證起爆。然而必須指出，上述假設是否正確以及對炸藥在所有機械作用下發生爆炸的溫度

(400~500°C)，并未得到証实。

已經知道，在一定的机械作用条件下，会有石蜡时可以使感度增加，而含有鋁粉、滑石粉和其他熔点高于 400~500°C 的物質时則会使感度减小。在炸药和鋼表面間放置一层鉛，就可以使感度增加。在一定的条件下，冲击感度随落錘机上落錘落高的增加而减小。从試驗中亦可知下述一些有趣的情况：当炸药 A 在某一种机械作用条件下其感度要比炸药 B 为大，而在另外的一种机械作用条件下，則比炸药 B 的感度小。在炸药机械感度方面还可以指出一些其他驟然看来好象是难以置信的事实。本書著者所提出的发生灼热核的历程，不能够解釋这些現象。温度的升高与一系列的因素（应力、变形速度梯度、炸药的熔点、变形時間等）有复杂的关系，这些因素在布登和他的同事的研究中并没有充分地考虑到。

当沒有高熔点搀合物时，在熔点低于 400~500°C 液体和固体的炸药中发生灼热核的緣故，本書著者認為是由于炸药中所包含的气体受到絕热压縮而引起的，因为当固体炸药有多孔时，气体是很难避免的，而在液体炸药里它們則以气泡的形式存在。布登認為，当內部沒有气体存在时，只有在特殊的机械作用情况下，才有可能由于粘性流动而引起爆炸。当落錘机冲击时，气体有可能受到絕热压縮，此时猛炸药具有較高的感度，而当摩擦时則沒有气体絕热压縮的可能，此时炸药就鈍感，根据布登的意見这就是証实气体作用观点的正确的理由之一。

本書中列举了一些有意义的試驗，来証明在許多情况下，当包含在炸药內部的气体受到絕热压縮时是可以发生爆炸的。但是，这只能根据比布登及其同事研究所得到的更可靠的实验数据，才可認為在一般条件下受落錘机冲击时，或在工作条件下受机械作用时，气体起着一定的作用。其中著者所指出的在摩擦时猛炸药比較鈍感的原因，可以認為是由于摩擦时的应力及其他流动的条件比冲击时小很多的緣故。如果摩擦时能够产生足够大的应力，則甚至梯恩梯亦能和在冲击时所发生的情况一样，产生爆炸。

必須指出，著者明显的承認，大多数炸藥的起爆是由热历程而引起的，同时却没有完全否認“摩擦化学”的假說，虽然他們的一些試驗結果証实該假說是毫无根据的。

从詳尽无遺地闡明每一个問題看来，布登和依奧夫的著作不是一本专論。本書中引載了一些在几个不同的但彼此有關的問題上的研究結果，这是根据一些共同的思想在同一实验室內完成的。在本書中其他著者的著作特別是苏联的，报导得不够全面，而关于許多重要研究根本沒有提到。

对这本书还可以提出一些其他的批評性意見，但是所有这些并不能抹煞在这本书中的正确研究結果的价值。

本俄譯本的出版可以使許多苏联专家了解許多有意义的試驗方法和結果，以及随起爆与傳爆所发生的許多現象的解釋。

H. A. 哈列渦

目 录

俄 譯 本 序 言	Ⅲ
第一章 結 論	1
1. 簡述	1
2. 爆炸核心	4
3. 爆炸的热理論	5
4. 分解核的大小	8
5. 分子的直接机械破坏	9
第二章 摩擦起爆	10
1. 相互摩擦的金属表面上的溫度	11
2. 相互摩擦非金属固体的表面溫度	11
3. 液体的摩擦起爆	14
4. 固体炸药的起爆惰性攪合物的影响	16
第三章 用冲击使液体炸药起爆	23
1. 气泡对液体炸药冲击感度的影响	23
2. 当气泡受到絕热压缩时的起爆	26
3. 液体炸药内部无气体时的起爆	41
第四章 用冲击使固体炸药起爆	44
1. 炸药内部的气体受到絕热压缩时的起爆	45
2. 冲击时爆炸的延滞期	49
3. 固体惰性攪合物的影响	50
4. 灼热核的大小	51
5. 用冲击使起爆药起爆	53
6. 黑药发火时的灼热核	53
第五章 由傳爆到爆轟	54
1. 設备	54
2. 液体炸药的傳爆	55
3. 在固体猛炸药中的傳爆	69
4. 在起爆药中的傳爆	71

5. 开始燃烧区域的性质.....	74
6. 低速度的爆轟.....	75
7. 一些火药的燃烧.....	78
8. 气态的爆炸产物.....	82
9. 高速度的爆轟.....	84
附 录	85
1. 低速度爆轟的传播.....	85
2. 叠氮化物的发火、燃烧与爆炸.....	87
3. 黑药的发火与燃烧.....	93
文 献	98

第一章 緒 論

1. 簡 述

測定炸藥對振動、沖擊、摩擦的敏感度，過去已有了許多經驗的方法。這些實用的試驗方法廣泛地被採用着，並且對決定炸藥的應用範圍，以及決定保證炸藥安全處理的預防措施方面，它們均具有一定的意義。然而應該指出，這些實驗不是經常能得到肯定的答復。炸藥的本性在某種程度上能在通常認為安全的條件下發生爆炸。此外，由實驗結果所得到的有關發生爆炸歷程的知識是很少的。這本書的主題就是對發生爆炸歷程問題的試驗研究。

沖擊或者摩擦的機械能是怎樣激起導致爆炸的化學過程呢？過去曾假定，認為按照反應的來源來講，此反應是“摩擦化學”的反應。換句話說，就是假定當相鄰分子層同時迅速滑動，並受到高壓時，就引起分子直接破壞，或者引起足以發生迅速化學反應的分子變形。假設相應的鍵能達到30~50千卡，就很難想象怎樣才能發生足夠大的局部應力。但是，這裡所敘述的實驗證明，發生爆炸的摩擦化學歷程不是具有普遍性的。很明顯，對大部分的炸藥來講都是熱起爆歷程。機械能轉變為熱並在一些小區域上集中起來就形成點狀的灼熱核。這些灼熱核很小，其直徑約為 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 公分，但是比分子大得多。熱起爆就是在點狀的灼熱核中發生。

灼熱核可以通過下列三個主要方法來形成：

- 1) 絕熱壓縮在炸藥內所含的微小氣泡。
- 2) 由摩擦而生成灼熱核，此時灼熱核發生在：a) 在放置炸藥的二層表面上，b) 在加入的摻合物顆粒上，B) 當炸藥結晶之間摩擦時，在炸藥本身的顆粒上。
- 3) 從沖擊物體表面間的縫隙中迅速被擠出的炸藥在粘滯發熱時。

無論是理論，或是實驗的研究都證明，上述方法中的第三点只是在特殊的情况下才能实现，前面的二点是最重要的。

在簡短地敘述了发生分解核心的历程和爆炸热理論〔見第5～9頁〕之后，我們將首先研究液体和固体炸藥的摩擦起爆（第二章）。用各种測量摩擦固体表面温度的物理方法証明，即使在相当輕微的滑动条件下，局部表面的灼热也可能是很显著的。在接触点所发生的局部灼热的时间极短，而其灼热温度的大小，当然受摩擦固体熔点的限制。試驗指出，液体炸藥（例如硝化甘油）的发火是由于在摩擦物体上形成局部的灼热核。在实验条件下，硝化甘油发生爆炸所需要的灼热核的温度約为 480°C 左右。

大家熟知，某些固体顆粒的搀合物会使許多炸藥对冲击和摩擦变得較敏感。既然搀合物顆粒的灼热是被其熔点所限定，这就可以在炸藥中創造已知的最大温度的点状灼热核。对各种不同的液体和固体炸藥曾經加入已知熔点的固体顆粒，并且研究了它們对炸藥摩擦感度的影响。已經确定，起决定性作用的就是搀合物的熔点。任何熔点高于 430°C 的顆粒都能增加固体（例如泰安或者黑索近）或液体（例如硝化甘油）猛炸藥的摩擦感度。而熔点低于 400°C 的顆粒則沒有这些影响。起爆藥（例如用叠氮化鉛、三硝基間苯二酚鉛和雷汞）也得到了类似的结果，但是搀合物的极限熔点对各种炸藥均不一样，并且略高于上述温度。搀合物微粒的硬度、导热性和大小的影响，以及在起爆藥及猛炸藥結晶間的各种摩擦作用将在16～22頁中討論。

进一步是研究冲击起爆的历程。这项研究在第三章中从液体炸藥开始，因为液体炸藥是均匀的，所以能避免許多可变因素的影响，例如結晶的大小、形状及其密度，所有这些都与固体炸藥的感度有关。可以表明，液体的、胶化的或者可塑的炸藥具有高的冲击感度，是与炸藥中所含的或者是在冲击时所带入的气泡有关。炸藥内部的气体或者气泡在絕热压缩时发热，于是使炸藥发火。在适当的条件下，这些极細微的气泡使炸藥具有极高的感

度，即使是在极微弱的冲击下也可以引起爆炸。如果应用特殊的方法完全除去这些气泡，那么炸药就变得比较钝感，并且需要较大的冲击能才能起爆。在这种情况下，起爆则是由于迅速流动的炸药的粘滞发热。

第四章是叙述用冲击使固体炸药起爆的试验。发生爆炸的最重要原因也象液体炸药一样，是炸药内部的极细微气体受绝热压缩而致，这些气体一般是存在于炸药结晶之间或者是冲击时所带入了的。形成灼热核的另一根源是由于存在极细小的固体惰性夹杂物的颗粒。在该情况下，夹杂物的熔点仍具有首要的作用。对于起爆药，则在它本身结晶之间互相摩擦时，也可发生点状灼热核。同时还个别地测量了从冲击瞬间到出现开始爆炸象征的时间。

在第五章里简短地叙述了一些高速照象方法的发展情况，以及应用这些方法研究从起爆点开始的爆炸传播过程和全部装药爆轰的变化过程。研究结果证明，爆炸是从局部灼热核开始的。极有趣的一点就是爆炸常常根本不传播下去。虽然没有表露出爆炸象征，但是极灵敏的照相法和其他方法发现了，在此情况下曾发生微弱的爆炸，这种微弱的爆炸传播一段明显的距离后就熄灭下来了。从移动的胶片上的照相证明，爆炸发生后在万分之几秒的时间内，或者在过程开始传播的数公厘的长度内，爆炸扩展过程是非常复杂的。对大多数的液体和固体炸药来讲，炸药是以比较缓慢而且平静的燃烧开始的，当燃烧速度增长到每秒几百米之后，它就很快地变为具有等速(2000米/秒左右)的爆轰。已经提出，第一阶段的燃烧速度是代表着从起爆点起的气体产物的质量运动。第二阶段的等速爆轰与大装药中低速爆轰可以看成是一样的。已经确认，在固体和粘性液体炸药中的局部灼热核不仅仅是对起爆方面，而且对爆炸的传播及其发展方面也起着很重要的作用。在冲击波前端受到剧烈压缩的极细微的气泡是产生灼热核的最普通的根源。

显然，由于一连串爆炸的物理阶段所发生的化学反应是各种

各样的。从分析結果証明，爆炸开始阶段所形成的产物的成分比較接近于热分解产物（与高速度完全爆轟所产生的产物相比較）。

起爆証明是在气相中开始的，也就是說在气泡內的灼热气体中开始的。由于这个緣故，所以也敘述了炸藥蒸气热分解方面的实验（例如硝化甘油和甲基硝酸酯）。实验結果証明，甚至当蒸气濃度非常低时，反应也可以发生。发生在正常燃燒之前的兰光与碳化合物燃燒时所呈現的冷光相似。实验証实了在气相中反应傳播的历程是鏈鎖——热历程。

所有这些观察的現象都具有某些实用意义，因为它们可以帮助我們解釋时常发生且破坏性极大的意外爆炸情况。根据这些观察現象，也說明需要重新研究各种实际的試驗方法，并在可能的範圍內應該断定起爆的原因。例如，假若起爆是由于安放炸藥的表面上灼热核的話，那么用一些容易熔化的合金做成这些表面时，即能减少爆炸的可能性。如果爆炸是由于顆粒之間的摩擦，那么要减少发生爆炸的可能性，則應該使顆粒复以潤滑的物質。如果发生爆炸的原因是由于內部气体的存在，就不能找到可以减少危險的有效方法。毫无疑問，即使只有一个气泡也是爆炸的內在原因，特別是在液体炸藥里。要完全除淨气泡是有一定困难的，并且在某些条件下存在少量的极細微的气泡时要比存在非常多的气泡时能够更快的引起爆炸，因为在大量的气泡中发生压缩作用比較緩慢。然而應該指出，只有在順利的条件下才有可能从极細小的爆炸核心发展到可觀的程度。

2. 爆 炸 核 心

从最初很小的分解核心过渡到爆炸可以通过各种方法来实现。所有炸藥分解时紧跟着要放出大量的热能。如果放热速度高过由对流和热傳導所損失至四周介質的散热速度的話，那么反应就加速进行，以至发火和爆炸，在这种情况下爆炸称为热爆炸：它的扩展取决于物体的热性質。范特荷甫首先对热爆炸作了最简单

的理論探討。后来佛朗克卡門涅斯基[33]和拉易斯[68]修訂了这个理論；罗伯遜[71]曾經將該理論应用在凝縮相中的爆炸方面。下面將簡短的論述謝苗諾夫[77]熱理論和罗伯遜研究工作的概要（参考 5～8 頁）。

如果分解产物之一具有催化作用，則发生另一种促进反应至爆炸的历程。催化剂或是活化的中間产物能与未分解的分子起反应生成分解产物，并使自己再生。如果这个过程进行时的活化能比沒有催化剂分解时的活化能还小，那么反应速度可很快的增高。例如，罗伯遜[72,73]发现，液体梯恩梯加热到 300°C 时，若有部分的分解产物存在，則容易使其发火。在这种情况下，发生爆炸的条件，是取决于在熔化的梯恩梯中催化剂达到临界濃度所需要的时间。

这些中間产物的催化作用是发生在基鏈鎖反应的历程中（Радикально-цепный механизм реакции），这历程用来解釋許多炸藥的分解过程。此处所提的活化中間物显然是由于最初吸热分解的反应而产生的自由基。它們能与未分解的分子起反应，生成更进一步的分解产物。如果由于一个自由基反应的結果，产生两个或者若干个基，則发生所謂分支鏈鎖，反应就很快地加速，以至爆炸。相类似的爆炸可在等温条件下发生。在許多爆炸反应中，它由于基鏈鎖的分支历程而加速分解，若反应热高，就不可能維持等温的条件，而产生自动加热。这样的爆炸称为鏈鎖——热爆炸。当将液体炸藥（例如硝化甘油）加热到高温时所发生的爆炸可能属于这一类。

3. 爆炸的熱理論

在叙述主要的試驗研究之前，在这节中先簡單論述一下爆炸熱理論的一般概念。

在絕對温度 T 时所进行的 n 級化学分解反应速度，可用下列方程式表示

$$\frac{dx}{dt} = k(a-x)^n \quad (1)$$

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (2)$$

式中 a ——反应物的最初浓度, $(a-x)$ ——瞬间 t 时的浓度, A ——常数, E ——活化能。例如, 硝化甘油的热分解是一级反应; 此情况可用下式表示

$$\frac{dx}{dt} = A(a-x)e^{-E/RT} \quad (3)$$

如果 Q 是反应热, 那么最初放出热量的速度 q_1 可写为

$$q_1 = AaQe^{-E/RT} \quad (4)$$

q_1 随温度的增高而迅速的增长。图 1 中曲线 1, 2 和 3 表示在各种 a 值时, q_1 和 T 的关系。最初浓度越大, 曲线的位置就越高。

一部分的热量消耗于反应物的加热, 一部分热量则由于对周围的对流和热传导而损失。被这些现象所决定的损失热量速度 q_2 大约与炸药和介质的温度差 $(T-T_0)$ 成正比

$$q_2 = K'(T-T_0) + \sum C_v(T-T_0) = \quad (5)$$

$$= K(T-T_0) \quad (6)$$

图 1 中直线表明 q_2 与 T 的关系。这条直线或与放热曲线在二

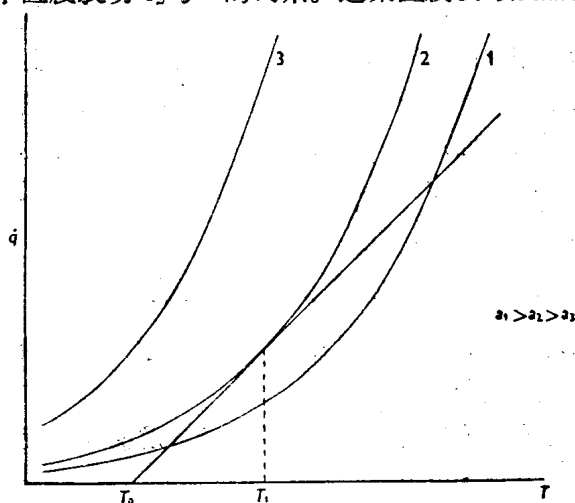


图 1

点上相交，或者完全不相交。后者的反应情况，由于损失的热量总比进入的热要小，所以使已经开始了的反应自动加速。如果直线与曲线相交，则产生一个可以保持稳定状态的温度区域，该状态一直保持到一定界限，即反应加速时为止。曲线 2 表示临界条件。此处放出热量和损失热量的曲线具有一个共同点，在此点内：

$$\dot{q}_1 = \dot{q}_2 \text{ 和 } \ddot{q}_1 = \ddot{q}_2 \quad (7)$$

$$A\alpha Q e^{-E/RT} = K(T_1 - T_0) \quad (8)$$

和

$$\frac{A\alpha Q E}{RT_1^2} e^{-E/RT_1} = K \quad (9)$$

謝苗諾夫发现根据方程式 9 計算的硝化甘油 K 值相当于它的导热率，并根据这一点做出結論；即当加热这些物質时所发生的爆炸是热爆炸。

从方程式 8 和 9 得到：

$$T_1 - T_0 = \frac{RT_1^2}{E} \sim \frac{RT_0^2}{E} \quad (10)$$

方程式 10 可計算发生爆炸所需的自动加热温度。对硝化甘油来講此温度約为 10°C 。

罗伯遜 [71] 将佛郎克-卡門涅斯基所发展的气体理論，推广到固体炸藥方面去。对寬約为 $2d$ 的无限厚 (1) 的藥片在高于容器温度 T_0 的温度 T° 下的一般热流公式如下：

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = K \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + Q' A e^{-E/R(T_0+T)} \quad (11)$$

自动灼热 由于热傳导所損失的热 化学反应的放热速率

式中 c ——热容量， ρ ——密度， Q' ——单位容积的反应热。

仅就热流沿 x 軸而論，在稳定状态 $\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) = 0$ 时，方程式 11 可以写成下列形式

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q' A e^{-E/R(T_0+T)} = 0 \quad (12)$$

炸藥和四周介質的最大溫度差 T_m 用下式計算：

$$de^{(E/2RT_0^2)T_m} \sqrt{\frac{Q'}{K} A e^{-E/RT_0} \frac{E}{2RT_0^2}} = 1.2 \quad (13)$$

式中 $2d$ ——炸藥片寬度^①。 P 為無因次參數的臨界值，達到此值時即發生爆炸。

$$P = d^2 \frac{Q'}{K} A e^{-E/RT_0} \frac{E}{RT_0^2} = 0.88 \quad (14)$$

如果 $P > 0.88$ 則發生爆炸。羅伯遜求得泰安和黑索近的 P 值在 5~10 之間。這種偏差是因為熱損失不僅由於熱傳導，而且也由於對流，在理論中並未考慮到對流。

在第四章中對在炸藥里從極微小的灼熱核擴展為爆炸的情況進行了簡單的描述。這樣的灼熱核可以在衝擊和摩擦時發生。在這些條件下由極細微的灼熱核擴展到爆炸過程的時間非常短，而且熱損失主要是由於熱傳導的緣故，因此可以應用佛郎克-卡門捏斯基的理論。

4. 分解核的大小

蓋捏爾[34]和姆魯爾[57]曾提出了某些關於發生爆炸所需的最小分解核大小的見解。關於在炸藥中發生的自動灼熱和關於由局部灼熱核繼續擴展的概念是這個見解的理論基礎。當在真空中將氮化鉛加熱到 290°C 時，約拖延 20 秒就開始發火。蓋捏爾認為：爆炸是在兩個相鄰分子同時（ 10^{-3} 秒的時間內）分解的情況下發生。他的計算是以下列見解做為基礎。

氮化鉛熱分解活化能 $E = 38$ 仟卡，反應熱 $Q = 106$ 仟卡/克分子。一個分子分解時放出的能等於 $Q + E$ ，或 144 仟卡。這些能量足夠使三至四個相鄰的 PbN_6 （即六至八個 N_3 離子）活化分解（ $\frac{Q+E}{E} \simeq 4$ ），但是直接靠近每個 PbN_6 分子的分子數要較上述的三至四個多，因此，一個分子放出的能量（144 仟卡）不夠發

① 此處系按原文譯出——譯者注。