

爆破材料文集

第二輯



國防工業出版社

出版者的話

继〔爆破材料〕第一輯后，我們又汇编了〔爆破材料〕第二輯。在本文集中共收集11篇有关文章，旨在向讀者介紹国外的，主要是苏联的一些新型工业炸药、起爆器材，以及它們的发展方向，另外尚收集了数篇有关爆破方面的文章。

本文集中所收集的文章，絕大多数系苏联有关学者和工程师們于1958年在全苏第三届钻孔爆破作业會議上所作的重要报告。

本文集可供有关研究人員及生产人員閱讀参考，对有关高等学校师生亦有所裨益。

編譯者：袁哲

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

787×1092 $1/32$ 45/16 印張 91 千字

1950 年 5 月第一版

1960 年 5 月北京第一次印刷

印数：0,001—4,100 册 定价：(11-8) 0.68 元

NO. 3245 統一书号 15034·454

263

252.23

469

:2

爆破材料文集

第二輯

袁哲編譯

國防工業出版社

1960

目 录

爆炸理論現狀及其任务	3
固体介质中爆炸作用理論的发展	14
土壤中爆炸冲击波的傳播	48
工业中核子爆炸的利用	62
苏联国内外扩大炸药品种的主要方向	76
露天爆破用最簡單炸药	91
現代电力起爆器材	98
工业电雷管无綫起爆的試驗研究	108
硝酸炸药的改进	118
导爆索的毫秒延发器(继爆管)	126
現代工业炸药	129

爆炸理論現狀及其任务

B. H. 罗吉欧诺夫工程师

(苏联科学院化学物理研究所)

工业中爆破作业的广泛应用、爆炸規模的不断扩大、試驗技术的迅速成长以及苏維埃科学的其它成就，这一切都要求对爆炸理論的基本原理重新給以批判地研究并指出其发展道路。

众所共知，爆炸，这是一种复杂現象。爆炸理論的任务，是找出这一复杂現象的主要方面，研究介质中爆炸时各主要过程的規律，并确定其相互联系。

現象的系統化，是每一种理論的基本方法。科学地系統化，这就是要找出現象中的主要方面及其基本規律。为了闡明这方面的困难并确定其具体任务，下面我們来探討一下現有爆炸理論的某些問題。

爆炸模型問題

爆炸的研究是与爆炸的应用开始于同一时期。观察介质的抛擲与破碎，把破碎带的尺寸和爆破漏斗直径同装药量及装药尺寸加以对比，結果便建立了爆炸理論的基础：相似原理。几何相似定律，至今仍为介质爆炸的許多計算公式的基本內容。

修正具有决定意义的爆炸参数，是爆炸相似原理的进一步发展。在研究空气冲击波中得出，最重要的、对爆炸性能具有决定性意义的是爆炸能。

根据相似理論法可作出完全不是陈腐的結論。現以空气中冲击波的傳播为例加以研究。这一現象的具有决定意义的参数是： E ——爆炸能（用試驗方法确定）， P_0 ——介质的初压力； ρ_0 ——介质的初密度， $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ——热容比（气体动力学方程的结果）； R ——自爆炸中心算起的距离。

現在假設根据介质(P_0 、 ρ_0 、 γ)及爆炸能为 E 的装药，得出冲击波前压力的变化与距离的关系，根据相似原理，此关系可写成下式：

$$\Delta P = f\left(\frac{\sqrt[3]{E}}{R}\right). \quad (1)$$

將有因次参数改換成无因次参数，則得：

$$\frac{\Delta P}{P_0} = f\left(\frac{\sqrt[3]{\frac{E}{P_0}}}{R}\right). \quad (2)$$

由这一关系式可作出如下結論：第1、 ΔP 与 γ 之間应存在一种不能用实验方法求出的关系；第2、压力同介质的初密度无关；第3、冲击波前压力与初压力有关；而且这一关系可用現有經驗公式求出。应当指出，晚些时候所作的直接試驗証明了爆炸理論的这一結論。

由此可見，研究現象的模拟性不仅可以得出有效的研究方法（这是因为小規模〔用小模型〕試驗十分經濟且簡便），而且还可找出現象的主要特点及其具有决定意义的参数。

关于固体介质中的爆炸这方面，相似理論的有些問題，至今尚未获得解决。如取两个炸药种类相同，但重量不等的装药放在无界限的同一介质內，則可肯定，爆炸时所有各种現象（压缩波的傳播、振幅的衰减，等等）均相似，即爆炸过

程的所有参数都是自装药中心算起的距离 R 及时间 t 的函数 $\left(\frac{R}{\sqrt[3]{E}}; \frac{t}{\sqrt[3]{E}}\right)$ 。然而，在現今相似理論的範圍內，單位爆炸能的变化，或是介质材料的变化仅能以經驗系数来考虑，因为于介质中爆炸时所产生的各种过程至今我們还不清楚。

現在討論一下拋擲問題。拋擲理論的公式如下：

$$Q = KW^3 f(n). \quad (3)$$

与上面所討論的情形相同，这里，炸药及介质参数的关系是通过經驗系数来表示。函数 $f(n)$ 所給出的是装药量同拋擲指数 n 的关系，換句話說就是爆破坑半徑同装药深度的关系。为扩大爆炸規模，則可发现这样一种現象：所得出的拋擲爆破坑，其尺寸要比按公式計算出的尺寸小些。过去曾經有人提出一种关于最小抗力綫很大时重力对爆破坑尺寸的影响的假說。对这一作用解釋得最清楚的是 Г. И. 波克洛夫斯基教授，但是，尚未得出大爆破的可靠計算公式。这是由于从前以几何相似原理为依据的各个拋擲装药計算公式是解釋不了介质中爆炸时产生的各种过程的。根据現有丰富的实际經驗可以利用經驗系数相当可靠地計算小規模以及中等規模的爆炸。但是很显然，积累大規模及超大規模爆炸的經驗，并根据这些經驗来修正經驗系数的作法，对于我們來說，是非常不經濟，而且需时較长的，所以这也不是一条可行的方法。

K. E. 古布金利用因次論对很大規模的拋擲爆破下的拋擲現象作了分析。如果假設具有决定意义的参数是： E ——爆炸能； ρ ——介质密度； W ——最小抵抗綫及 g ——重力加速度，則爆破坑直徑与爆炸能之間将存在下列关系：

$$E = \rho g W^4 f(n). \quad (4)$$

可以把这一关系看作是最小抗力綫很大时爆炸的极限关系。将公式3同公式4加以对比可看出，在根据1吨装药的爆炸結果确定当 $W = 100$ 米的抛擲装药量时，装药量可能有10~20倍的誤差。

上述公式之所以方便，是因在导出該公式时作了一些确切的主要假設。把爆炸能当作炸药的唯一特性来选择，这在几何相似的情况下是完全正确的，因为所有各几何尺寸成比例地变化不致引起耗用于抛擲上面的那部分爆炸能的变化，所以介质的性质及炸药的其它性质可以利用固定的經驗系数来考虑。当装药量不应与 W^3 而应与 W^4 成比例地增加时，几何关系产生变化，并且介质中爆炸能傳导系数也是可变的，即总爆炸能已不是一个具有决定意义的参数了。这点本身又能导致各系数的錯誤的利用。

探討与介质中爆炸模型法有关的各問題之后表明，利用相似理論的可能性是很大的，但同时也暴露出我們对于选择各个具有决定意义的参数是无能为力的。后面这种局面是对爆炸时各物理过程研究得不透澈的后果。

为了尽快解决大規模爆炸中相似的問題，于1957年进行了大批試驗，装药量由10公斤到1000吨，經過試驗获得了丰富的試驗資料；試驗着重于各种物理过程的研究。按各不同数据对比不同規模的各次爆炸，可找出抛擲現象的最主要方面，并可比較确切地定出爆炸理論的研究任务。

对在現有的在介质中爆炸时爆炸系統里 的某些假定

多年来在固体介质中爆炸作用方面所积累的經驗，对爆

炸理論的發展起了很大作用。幾何相似定律、炸藥能量特性的決定意義以及Г. И. 捷米鳩科的爆炸作用獨立定律和其它許多定律，都是根據豐富的實踐資料確定出來的。

這裡必須指出，必要物理數據的測量，主要是由於缺乏技術上的可能和適用的儀器而受到了阻礙。

但是，只需把一些固體介質中裝藥爆炸的最合理計算系統加以分析就足以確證，研究爆炸現象的物理實質，是非常必要的。

在計算系統中所採用的物理概念，乃是任何一種理論的基礎。現有系統中，任一計算系統都與一系列極重要的假設或假定相關聯，這些假設或假定是不能用試驗直接檢驗，也不能用任何可靠的理論分析加以論證的。

О. Е. 弗拉索夫教授最確切地提出了一項研究課題。其主要假設有：爆炸能瞬時傳遞給介質；介質是不可壓縮的，在爆炸能傳遞的瞬間可將該介質看作是理想液體。我們不打算全面評價這一計算系統，僅根據在砂土中試驗的資料來證明一下：從弗拉索夫計算系統的分析中可找出哪些極為重要的過程。

介質不可壓縮性這一假設與爆炸能瞬時傳遞的假設的意義是相同的。這就是說，在介質中無衝擊波或壓縮波。其實，介質只有在衝擊波傳來時才開始移動。因而，起初僅有較小一部分介質獲得爆炸能。衝擊波是可能那樣快速地傳開，又帶走那樣少的爆炸能，以至於少得可以忽略不計嗎？試驗證明：例如，在水中衝擊波事實上是以很快的速度傳開，但是在這種情況下却要帶走50%的爆炸能^①。在砂子

① P. 科烏爾[水下爆炸]，蘇聯外文出版社1950年版。——原注

中，壓縮波的运动是很慢的（要比在水中慢93%），并且即使距离很长时，它也与中心部分的整个运动直接相联的。图1及图2所示为空間内波前土壤徑向速度（ U ，米/秒）的徑向分配及介质各同心层随時間而移动的曲綫。

理想液体的假定，就是說在介质中不产生爆炸能的散逸。在砂子中試驗时經直接測量証明：动能仅占总能量的3%，而有80%的能力由于摩擦力的作用以热的形式损失在直径等于装药直径（ R_0 ）的10~14倍的区域内。在其它介质中，能量的损失究竟有多大，这点目前很难說，不过很显然，要把粘性及摩擦忽略不計是不可能的。

爆炸能瞬时傳遞这一假定是錯誤的：腔洞的膨胀过程历时很长，在此時間内冲击波可在砂子中傳播出 $100R_0$ 左右，而且在砂子中的傳播速度是較慢的。

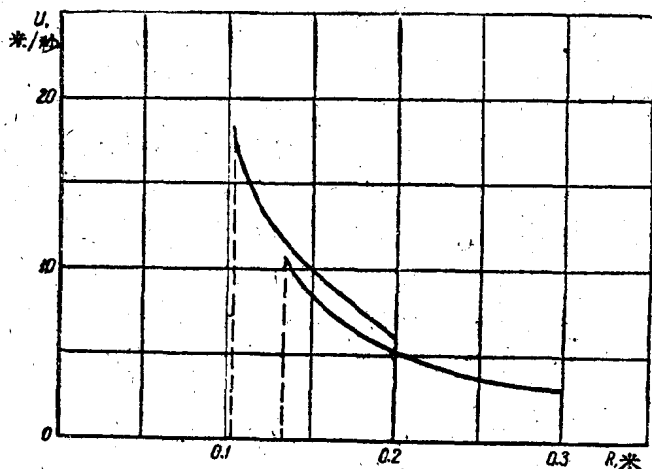


图1 砂子中装药爆炸时波前以外土壤速度按两种時間的徑向分配曲綫。

就是从一般见解来说，爆炸能的传递过程也是很重要的。下面以在砂子中深15厘米处23克炸药爆炸时自由面的移动速度为例加以说明（图3）。由图看出，自由面借爆炸气体的能的作用，其移动速度比在自装药中心算起的距离相同的条件下药壶装药爆破时的移动速度大4倍，这点是与弗拉索夫的抛掷计算系统完全不一致的。

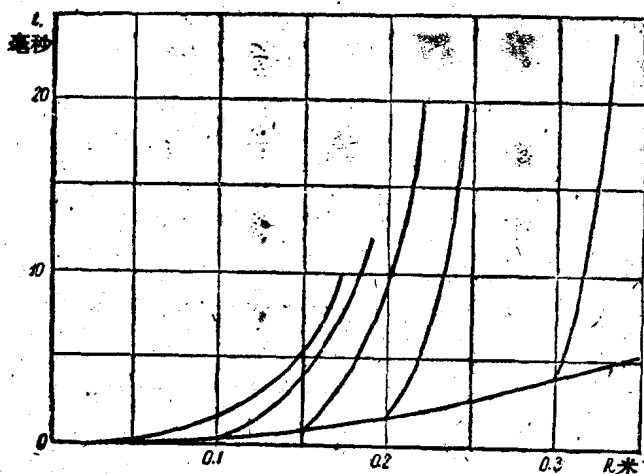


图2 介质各同心层随时间而移动的曲线。

在确定破碎带时，往往都作出关于爆炸能破坏集中的假定。不难看出，这一假定是与现有关于破裂的实际资料相矛盾的。对于象岩石这种材料，具有重要意义的是应力张量各分量的值，并且破碎带是不可能单单按爆炸能的集中来确定的。

Г. И. 波克洛夫斯基教授提出的完全是另外一种计算系统。然而，就是在他的系统里也有一系列的假定。其中最重要的，是关于爆炸脉冲传递给介质的假定和关于抛掷时土壤

微粒徑向运动的假定。脉冲傳遞系統与爆炸能瞬时傳遞的假定相类似。实际上，爆炸能和脉冲是在可以同抛擲的发展的时间相比的很长一段時間內傳遞給土壤的。傳遞出去的脉冲的值以及脉冲随距离而变化的定律是不能用試驗来檢驗的，并且这又引起一种自然而然的疑問，土壤速度随最小抗力綫的增长而变化的定律也是不能用試驗来証实的。这点可以很明显地从图 4 看得出来，图 4 为土壤微粒的运动速度依最小抵抗綫同装药量立方根之比而变化的曲綫。

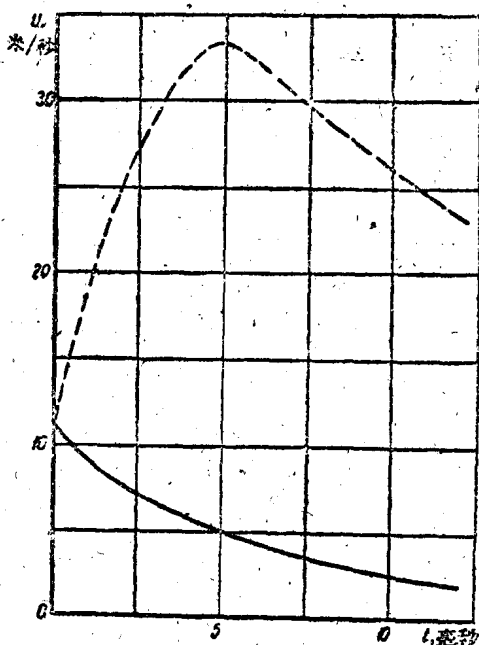


图 3 砂子中装药爆炸时自由面运动速度变化曲綫(虚綫)与药壶装药爆炸时介质微粒运动速度的变化曲綫(实綫)。

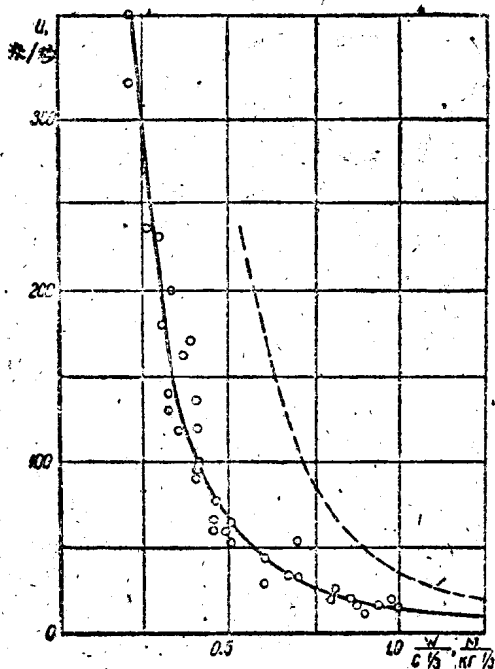


图4 爆炸时土壤微粒随最小抵抗线的增长而变化的曲线(实线为试验数据,虚线为按 Г. И. 波克洛夫斯基系统得出的理论数据)。

土壤的运动是极其复杂的。根据对土壤飞散的研究资料的初步分析得出：应看作为土壤自由飞散起点的，不是土壤在爆坑中的最初位置，而是稍后一个阶段（图5）。由此可见，说土壤作径向飞散的假定，是没有根据的。

近来，A. C. 科姆帕涅茨教授解决了易变形介质（砂土型）中药壶装药爆炸的问题。在科姆帕涅茨系统中，最全面地考虑到了土壤的性质和爆炸气体的性质。在计算系统中引

用了庫侖摩擦(кулоновское трение)。但是,所作出的关于土壤微粒极限排列和关于介质的绝对非彈性的假設,其結果同試驗数据出入很大。有一点很重要,就是科姆帕涅茨教授解决該問題当中,波前爆炸波的衰减与爆炸气体的性质有直接关系。

因此,下面稍詳細地探討一下爆炸气体的性质。爆炸气体是一种与理想气体差別很大的气体。曾有人試圖用万捷尔瓦尔斯方程式(Уравнение Ван-дер-Ваальса)来解釋爆炸气体的性质,但未得出良好的結果。近来,在理論上及实验上都証明出:在起爆压力作用下,爆炸气体符合于指数为3的絕热曲綫。压力較低时,絕热曲綫的指数减小,趋近于1.25(按約翰斯的計算)。А. Ф. 別良耶夫所作的炸药爆力試驗也得出了类似的結論。如果依据試驗資料可以較肯定地提出高压下及低压下的絕热曲綫的話,那么中等压力下的絕热曲綫是不能认为是相当固定的。固体介质中爆炸气体的膨胀程度要比在水中和空气中小得多。由此得出,就土壤中爆炸來說,中等压力下的絕热值是很重要的。归納上述可提出以下几个爆炸理論的重要課題:

1. 研究爆炸过程的相似理論和爆炸能的平衡,以找出最重要的过程和爆炸最主要的方面。

2. 研究爆炸的最重要的物理过程,包括:爆炸能傳遞給介质的过程;压缩波的傳播,固体介质中爆炸能的散逸过程及地震波的激起。

3. 研究固体介质的性质:介质的可压缩性、塑性状态及破碎过程。

将这三个課題的特点总起来可以說,在現阶段,固体介

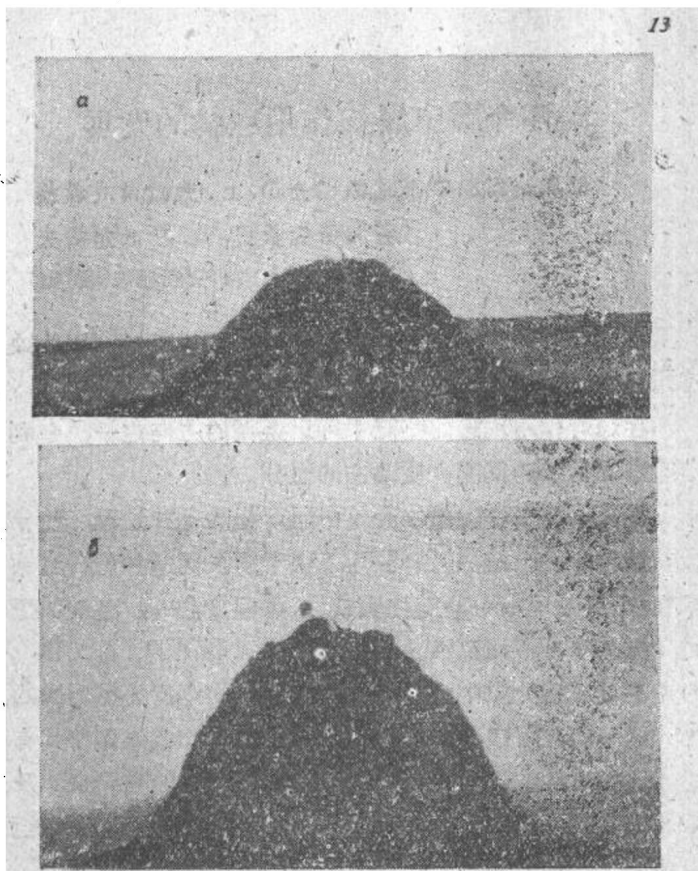


图5 粘土中1000公斤装药爆炸时自由面上介质微粒运动的情形:

a—装药起爆后 250 毫秒的情形; *б*—装药起爆后 375 毫秒的情形。

质中爆炸理论的主要問題应当是研究爆炸时产生的各种物理过程。仅根据这些研究结果便可建立有物理学根据的固体介质中的爆炸系统，并可选择出最合理的土壤模型。

固体介质中爆炸作用理論的发展

苏联建筑科学院通訊院士 O. E. 弗拉索夫教授

实习研究員 C. A. 斯米尔諾夫

(苏联科学院矿业研究所爆破實驗室)

創立岩石爆破理論，是一項急待解決的任務，⁴因為缺少這門理論，將阻礙爆破技術的進一步改進。

在爆炸作用理論的研究中可以遵循的方向之一，是利用描述爆炸後裝藥周圍介質動態的微分方程。

全面研究爆炸時固体介質中所產生的各種過程，將導致極其繁複的數學運算。因此，為了便於解決問題並能得到徹底解決，最好是引用一些簡化假設。這類假設之一，是裝藥爆炸時介質具有不可壓縮性。這一假設大大簡化了計算工作，因為在不可壓縮介質中縱向波是以無限大的速度傳播出去的。

另一簡化假設，是爆炸，確切說是爆炸氣體作用具有瞬間性。在這種情況下，介質顆粒在能量傳遞的瞬間來不及自原始位置產生移動，而僅僅是獲得一定的初速，也就是說可以把爆炸作用看成是爆炸氣體的動能瞬間傳遞給介質。

由於介質顆粒的位移等於零，所以在介質中不存在切應力，因此，介質中應力分布的性質與在不可壓縮的理想液體中相同。

在採用上述兩個假設的條件下，介質中爆炸作用的研究可分為兩個階段：第一階段——爆炸氣體的能量對介質的傳遞；及第二階段——介質在所獲得的能量作用下的動態。

在第一階段，根據所採用的假設，應把介質看作是不可

压缩的理想液体，其动态可以用理想液体的流体动力学古典方程来描述。

在流体动力学教程中证明：理想液体无涡流运动的速位 φ 能满足拉普拉斯方程[Уравнение Лапласа]：

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

因为颗粒的速度矢量 V 与 φ 有一定关系($V = -\text{grad}\varphi$)，所以速度矢量的各分量 u_1 、 v_1 及 w_1 可按式求出：

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ v_1 &= -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \\ w_1 &= -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

介质每一点上的速度矢量可确定出单位质量所包含的在爆炸作用下介质所获得的动能，也就是说，速度场可给出介质中爆炸能分布的状况。

根据关系式，介质每一点上速度矢量的确定，可归纳为求速位 φ ，也就是说，所研究的课题在数学角度上，可以归纳为解二阶偏微分方程。

利用分析法解拉普拉斯方程，即使在平面问题的条件下，也是很繁复的，但是如果采用电流流体力学相似法(ЭГДА)，这个困难便很容易克服，电流流体力学相似法适用于解决从属于拉普拉斯方程的任何课题。

电流流体力学相似法(此法广泛应用于科学研究工作中)提供出用直接测量模型上电位的方法代替用数学运算解拉普拉斯方程的方法来求速位的可能性。

电流流体力学法装置的组成部分有：装有模型的槽、记