

奥克托金

国防工业出版社

奥 克 托 金

〔苏〕E. IO. 奥尔洛娃等 著

欧荣文 译

欧育湘 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分三章。第一章介绍高温爆破工程的特点及耐热炸药的概况；第二章叙述奥克托金的性质（包括物理性质、化学性质、热安定性和爆炸性质）及其应用；第三章论述奥克托金的合成原理、制造工艺及分析方法。

本书可供从事奥克托金科研、生产和使用的工人、工程技术人员及有关院校师生参考。对钻井爆破工作者也有一定参考价值。

Октоген-Термостойкое Взрывчатое

Вещество

Е. Ю. Орлова 等 著

Москва. «Недра». 1975

*

奥 克 托 金

欧荣文 译

欧育湘 校

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4¹/₄ 87千字

1978年12月第一版 1978年12月第一次印刷 印数：0,001—6,000册

统一书号：15034·1704 定价：0.45元

译 者 的 话

奥克托金是一种有发展前途的耐热炸药，它具有比黑索金更高的热安定性和更好的爆炸性能，可以在温度 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 下使用。近年来，奥克托金在军民两方面（特别是在需要承受高温的装药中）得到了广泛的应用，并已发表了很多有关奥克托金性能、制造及应用方面的文献资料。本书系由苏联 Е. Ю. Орлова 等所著 “Октоген-Термостойкое Взрывчатое Вещество” 一书的 1975 年俄文版译出，该书系根据国外发表的有关资料（其中有些资料是近年发表的）编写而成，书中比较详细地介绍了奥克托金的性能，讨论了制造奥克托金工艺过程的理论基础，并反映了国外奥克托金的生产和使用情况，它具有一定的参考价值。

译文基本上全部按原文译出，章节和段落划分，亦按原文处理。对已发现的原文中的错误，译校者作了更正；对原文中一些不够明确的地方及一些物质的简称、商品名称和代号，也作了必要的注释和说明。由于译者水平所限，译文中的缺点和错误，在所难免，希望读者批评指正。

本书译得后，请欧育湘同志校对。在译校过程中，曾得到马永利、瞿美林同志帮助审校和有关院、所一些同志的热情协助，在此一并致以谢意。

序 言

俄国在十九世纪开采石油和天然气时，即已使用炸药钻井，以提高矿层石油的产量。

在二十世纪，爆破作业首先在石油，随后在天然气行业中开始较多地采用。例如，1930年，在某油田首次采用爆炸来扑灭火灾；于1931年，开始用炸药进行套管柱穿孔；从1938年起，开始将爆破作业用于发现低渗透油层；从1954年起，开始采用空心钻机钻井。

目前，炸药和爆破器材已成功地用于勘探和开采石油及天然气的钻井工程上。采用炸药钻井，对于消除各种事故，对于探明和提高矿层产量（以通过钻井壁穿孔或爆裂矿层等方法进行）均特别有效。用炸药钻探和开采石油及天然气所能够完成的一系列作业，用其他方法（例如单一的机械方法）是不能完成的（特别是当矿层很深时）。诸如，岩石的侧面取样和钻井中液体及气体的取样；通过套管柱穿孔以探明和提高矿层产量；爆裂岩石；消除由于卡住管柱和留在钻井工作面上的金属而引起的有关事故；加速坚固层地段的钻井速度等^[1~5]。

穿孔爆破工程可显著缩短上述作业的时间，大大降低费用和减少劳动量^[2]。在石油开采工业中采用穿孔爆破工程，可使油井开采量提高50~70%，这是由于油层重复断裂而使钻井区渗透性提高所致。在深钻井的穿孔爆破工程中采用

的炸药，应具有高的比功率，且在装药直径不大时也能爆轰。这是因为深钻井的横向尺寸很小，而破坏钻井中的障碍物又很困难的缘故。

由于地壳内的温度梯度高，要在很深的地壳内完成穿孔爆破工程，只有在高温下安定的炸药才能适用。奥克托金（环四亚甲基四硝胺）具有这种性能，它是一种能量大而且热安定性好的炸药，在 $210\sim 220^{\circ}\text{C}$ 的高温下，它能长时间不改变自己的性能。奥克托金还有一个特点，就是当温度变化时能改变其晶型，这保证它在高温下能可靠地被引爆，因为奥克托金在高温时可转变为高感度的晶型。

本书叙述了炸药热安定性的基本原理，汇集了有关奥克托金（一种最有发展前途的耐热炸药）性能、制造方法和应用等方面的文献资料，同时研究了制造奥克托金工艺过程的理论基础，并反映了国外奥克托金的生产情况。

本书系根据苏联及国外刊物上发表的有关资料编辑而成的，书末还列有尽可能详细的关于奥克托金参考文献的索引。

目 录

第一章 穿孔爆破工程	1
第一节 高温爆破工程的特点	1
第二节 耐热猛炸药概述	11
第二章 奥克托金的性质	16
第三节 奥克托金的物理性质及结构	17
第四节 奥克托金的化学性质	42
第五节 奥克托金的热安定性及爆炸性质	48
第六节 奥克托金的应用及其质量要求	70
第三章 奥克托金的制造	81
第七节 合成原理	81
第八节 制造奥克托金的方法	96
第九节 奥克托金的安定处理及精制	108
第十节 奥克托金的分析	114
参考文献	119

第一章 穿孔爆破工程

第一节 高温爆破工程的特点

石油和天然气开采的不断增长，是与发现和开采很深的矿层有关的。目前，苏联石油和天然气钻井的平均深度为2000米。在该深度下，温度达 100°C ，流体静压达300公斤/厘米²；而当深度为3000~4500米时，温度达 200°C ，压力达1000公斤/厘米²。

现在，石油和天然气的钻井深度已可达6000~7000米，根据钻井的地温系数，那里的温度可能达到 300°C ，流体静压可能达到1500公斤/厘米²。目前计划钻井深度为15000~20000米，该处温度可能达 400°C ，压力可能达3000公斤/厘米²。

钻井工作面周围环境的特点，使得炸药的使用极为复杂化，特别是当考虑到装药应该在钻井工作面停留足够长时间的话。只有通晓爆破时炸药周围空间所发生的过程，并考虑到钻井环境对爆破工程的影响，才有可能熟练地完成爆破工程。

在石油和天然气钻井中进行爆破工程的条件，与地面爆破条件大不相同^[1~4, 6]。在钻井中限制炸药和爆破器材应用的主要因素是：钻井中存在井液；爆破装置、炸药及爆破器材在送入钻井过程中和直接处于爆破区时，均受有很高的流体静压及高温。可以估计，在高温和高压下，外部介质的性

质及炸药的物理性能和爆破性能都可能会极大地改变。这时，炸药及爆破器材的装药常置于金属外壳内，以防止外部介质的作用，在许多情况下也防止外压的作用。装药外壳可以是完全密封的（如薄壁塑性外壳或厚壁外壳，后者可减轻外压对炸药的作用）或不密封的（如爆破外壳，无外壳的穿孔机装药）。随外壳结构的不同，装药可处于不同的条件下，这就强烈地影响炸药的性能。

在穿孔爆破装置中使用炸药时，主要采用下述方案。在井下爆破中，利用通常系置于薄金属外壳内的不密封装药的爆破作用。利用定向爆破作用时，装药系置于能抗高温、高压的外壳中，或者密封于聚能漏斗内。穿孔爆破装置内的装药，通常系借助于密封爆破筒的殉爆作用来起爆的。在这种情况下，与爆破筒接触的、直接经受冲洗液作用的装药可为被动装药。因为耐热炸药的能量和起爆感度均不够高，而且在钻井条件下更加降低，而随着外压和温度的升高，传递爆轰壁的厚度却增大了，这就使得利用殉爆作用来起爆产生了困难。

为了估计外部条件对耐热炸药主要性能参数的影响，必须知道装药密度与温度及压力的关系。温度升高引起炸药热膨胀。根据对化学结构类似的物质所进行的理论推算，炸药的体膨胀系数在 $1.0 \times 10^{-3} \sim 3.5 \times 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$ 范围内。例如，在大气压下，温度为 $20 \sim 60 \text{°C}$ 时，黑索金的体膨胀系数为 $(1.0 \pm 0.04) 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$ ，它熔化时的体积相对变化值为 8%。

炸药的安全性和效能首先取决于炸药的热安定性和化学安定性，亦即取决于炸药在长时期保存时几乎不改变其物理性能特别是化学性能的能力。

炸药在贮存过程中，内部不断地进行着化学反应，但其速度很慢，所以炸药在长时期内也不会发生剧烈的变化。但是，炸药在分解时所生成的一些化合物，会对炸药的分解起催化作用，即加速炸药进一步分解。同时还有一些杂质，例如从周围介质进入炸药中的酸和碱，也对炸药的分解发生作用。在不利的情况下，活性中间产物的积聚可以引起炸药的自燃和爆炸。炸药的化学安定性和热安定性不够高，已成为在钻井中使用炸药时遇到的严重问题。加热时，炸药内所进行的化学反应速度增加（温度升高 10°C ，反应速度增加 $1\sim 3$ 倍）。炸药反应所放出的热量系用于加热炸药和周围的介质。因为热损失较大，所以当温度不高时，反应所放出的热量不足以急剧地加热炸药。但当周围介质温度继续升高时，炸药的分解速度和放热速度均增加，待达到某一温度时，由于反应所产生的热开始大于热损失，于是炸药乃自动加热，其结果就可能引起炸药自燃，而在一定条件下或可引起炸药热爆炸。在炸药加热过程中，可能生成比原始物质具有较高机械感度和热感度的物质。

低温时生成活性化学产物的能力可使炸药的发火点降低。这些活性化学产物在炸药内积聚时使反应加速，因而降低了炸药的发火点。

炸药的热安定性也取决于装药量和装药形状。因为反应放出的热量与装药量成正比，而散热量则与装药的表面积成正比，故装药的比表面积（单位质量炸药的表面积）愈大，热爆炸的可能性就愈小^[7]。例如，球形装药的体积为： $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ （ R 为球的半径），而其质量为： $G = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$ （ ρ 为装药密度）。当装药体积和相应的装药量增加7倍时，其

比表面积才减少一倍，因此，这时发生热爆炸的可能性就较大。很明显，比表面积也取决于装药的形状。由此可见，对于同一种炸药，随装药量和装药形状的不同，热爆炸将在不同温度下发生。

为了对在高温下使用的炸药的安全有足够的把握，必须与使用情况相应的条件下进行实验，例如装满药的井下爆破器，应该在稍高于钻井温度下能经受 4~6 小时。

最简单的能对不同炸药进行比较的热安定性试验，系将少量炸药置于排除了空气的容器内，而观察炸药被加热时，压力计内压力的升高；或者是将炸药置于坚固容器内，而观察在一定温度下，炸药被长时间加热时的性能。通常用少量炸药进行的第一次试验，只能得到在等温条件下，炸药性能改变的一般概念，有时则能了解到炸药热安定性的半定量的特征⁽⁸⁾。

第二次试验用较大量炸药进行的加热试验，则能得出炸药热安定性的定量估计，它的精确度随被试验药量的增加而增高。通常在试验时，只限于确定爆炸或拒爆，很少测定加热时炸药量的损失及剩余炸药的熔点和爆炸性能。但是，有决定意义的应该是，在相同于钻井条件下的炸药制品试验，因为这时可以考虑在实际条件下影响炸药分解的全部因素。炸药的爆发点是用少量炸药快速加热测定的，所以这只能在一定程度上说明炸药的热感度，而不能说明炸药的耐热性。在实际中检验炸药的耐热性时，系将炸药置于在钻井中实际使用时所经受的最高允许温度下，而要求在 6 小时内其爆炸性能没有明显的改变。这称为耐热性界限试验。

在钻井中进行爆破工程时，例如用井下爆破器断开被夹

住的钻探工具或断裂管子时，采用装有导爆索和炸药块或将炸药浇铸于壳体内部的爆破器^[8]。对高温高压钻井，在爆破器中使用耐热导爆索和适当的爆破筒，也采用装有耐热炸药的小型爆破器。

ΦT-60井下爆破器（见图1）可用于高温钻井工程，它由外壳1，头帽部2，耐热装药3及耐热传爆药柱4所组成。用B-473信管或ΠБГУ-5型爆破筒进行爆破。用部件6将井下爆破器悬挂于高温钻井中。

井下爆破器有自发产生热爆炸的危险，这一危险的程度首先取决于炸药的性能、装药量、井液性能及温度。

可以认为，对于圆柱形装药（井下爆破器主要采用此型装药），当装药长度大于二倍直径时，炸药制品的耐热性不取决于炸药量，而取决于直径。装药直径越大，其使用的极限温度就愈低。当然，这时还需要考虑井下爆破器的材料和结构对由钻井壁向装药的热传导的影响。

在一定的导热条件下，每一种装药有一个被称为临界温度（ $T_{кр}$ ）的特定温度，超过此温度时，装药总是自燃；而低于此温度时，装药则缓慢分解而不自燃。临界温度有一个相应的感应期（ $\tau_{кр}$ ）——处于高温区内的装药达到自燃的时间。

热爆炸理论可以确定自燃的临界温度

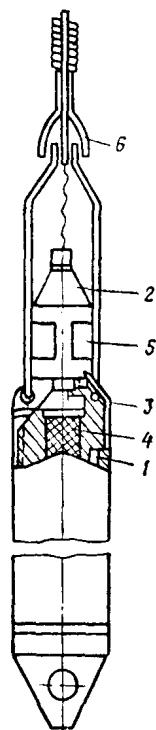


图1 ΦT-60密封井下爆破器

(此临界温度划分爆炸反应期和非爆炸反应期)与装药大小之间的定量关系(这与炸药分解的动力学特征和放热条件有关)^[7]。例如,奥克托金在压力为 $1\sim 800$ 公斤/厘米²下,装药密度为 1.63 克/厘米³时的热爆炸临界参数与装药直径的关系如下^[6]:

d (毫米)	3.8	6	7	8	9.2	15
T_{kp} (°C)	223	215	209	207	205	193
τ_{kp} (分)	150	300	510	560	700	3000

直径为 $40\sim 70$ 毫米的奥克托金装药,感应期也在数百分钟内,而自燃临界温度则随直径增大而继续下降。

推荐耐热炸药的使用温度应低于临界温度。在此温度下,装药在无限长时间内也可能自燃。装药实际使用时,自燃前的时间应该比井下爆破器在钻井中下降所需的时间要长得多,这是因为考虑到发生意外情况时,井下爆破器在钻井中的下降可能延迟。用于井下爆破器的炸药,自燃前的时间应大于6小时。苏联采用6小时做为保险期。

利用列线图(见图2),可以确定装有黑索金的井下爆破器在高温钻井中的安全使用条件。其方法是先选定爆破器在某温度下的高温区内的停留时间,即可由图2定出爆破器的装药直径。此爆破器可在所选定的时间

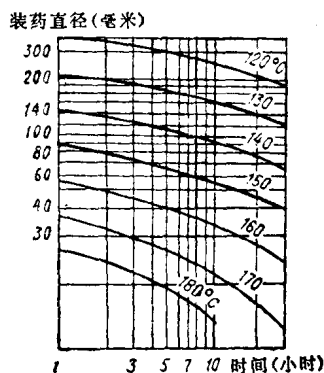


图2 ГФГ-2 装药的自燃感应期与装药直径的关系^[8]

隔内，在钻井中于该温度下使用，而不致发生黑索金装药自燃的危险。对在高温下使用的其他炸药，也可得出与图2类似的曲线。在高温、高压下，热爆炸的发生和发展具有某些特点。例如，从奥克托金的实验数据（见图3）可以看出，临界温度 T_{kp} 随压力增大而降低，并在某一较低压力（20~30 公斤/厘米²）时达到饱和。

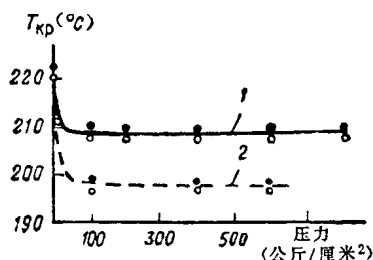


图3 爆炸状态(黑圈)与非爆炸状态(白圈)下，
奥克托金的临界温度与压力的关系⁽⁶⁾

曲线1—直径3.8毫米的装药；

曲线2—直径6.0毫米的装药。

表 1

$T_{kp}(^{\circ}\text{C})$	$\tau_{kp}(\text{分})$ 与压力(公斤/厘米 ²)的关系			
	20	200	600	800
226	20	16	16	18
223	—	23	20	24
220	—	—	27	—
218	—	38	45	40
216	—	40	—	—
212	—	45	56	59
208	111	80	78	85

● 此处原文误为 τ_{kp} 。——译者注

表 1 是直径为 3.8 毫米的奥克托金装药, 在超临界分解状态及临界分解状态下的感应期 τ_{kp} 与压力的关系。

压力增高至一定值后, T_{kp} 值不再因压力继续增加而降低。由图 3 及表 1 可知, 在高压下, T_{kp} 及 τ_{kp} 值都几乎是不变的。临界温度最大下降值 $\Delta T = T_{kp} - T_{kp}^s$ (T_{kp}^s 是饱和区内的

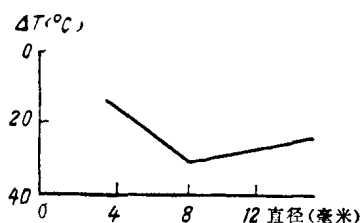


图 4 奥克托金的装药直径与临界温度最大下降值的关系⁽⁶⁾

临界温度) 与装药直径有关, 且其关系较复杂 (见图 4)。

上述规律可以用下述假定来说明⁽⁹⁾: T_{kp} 和 τ_{kp} 值随压力升高而减低, 这主要是由于分解的气态产物的影响所致。压力升高时, 从反应区排气很困难, 其影响乃愈来愈大。

在较上述更高的压力范围内 (由约 500 公斤/厘米²至 8000 公斤/厘米²), T_{kp} 随压力升高反而略有增高 (见图 5), 而此

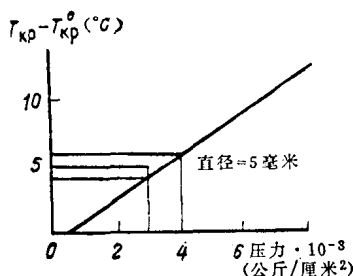


图 5 奥克托金自燃临界温度的变化值 ($T_{kp} - T_{kp}^0$) (T_{kp}^0 是低压时的临界温度) 与压力的关系⁽⁶⁾

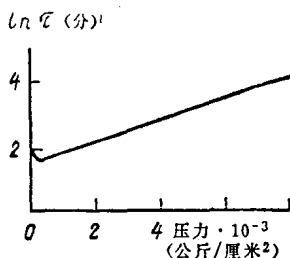


图 6 温度 230°C 时奥克托金感应期与压力的关系⁽⁶⁾

时的 τ_{kp} 值则基本上不变。超临界状况 (温度为 230°C) 的感应期与压力的关系见图 6。临界感应期为 $130 \sim 160$ 分钟。

上述规律可根据下述方程式由反应速度常数 K 与压力的关系阐明:

$$\frac{d \ln K}{dP} = - \frac{\Delta V_a}{RT}$$

上式中的 ΔV_a 是活化体积 (厘米³/克分子)。对于在溶液中进行反应, $\Delta V_a/RT$ 值通常为 10^{-3} (公斤(力)/厘米²)⁻¹, 且只有当压力大于 10^3 公斤(力)/厘米² 时, 压力的改变才能对反应速度有明显的影响^[10]。对于在固相中进行的反应, $\Delta V_a/RT$ 值更小。当 ΔV_a 为常数时, 在所研究的温度和压力范围内, 应有:

$$K \sim \exp\left(-\frac{E + P\Delta V_a}{RT}\right)$$

如假定这一方程式是正确的, 并将其用于在热爆炸温度下的炸药的热分解, 则对于固定直径的装药, 在临界条件下应具有如下的关系:

$$\frac{E + P\Delta V_a}{RT_{kp}} = \frac{E}{RT^{(0)}},$$

$$\tau_{kp} = B \exp\left(\frac{E + P\Delta V_a}{RT_{kp}}\right)$$

根据这一方程式, 奥克托金在 $T_{kp} = 472^{\circ}\text{K}$ 和 $E = 38000$ 卡/克分子时, $\Delta V_a = 4 \pm 1$ 厘米³/克分子。

在与压力有关的过程中, ΔV_a 值的意义与变温时进行的过程的活化能的意义相似。因此, 可把 ΔV_a 值看做是活化体积有效值, 此值与炸药某些参数 (如导热系数等) 随附加压力的升高而改变有关。可见, ΔV_a 是特殊的动力学常数,

其值和符号决定压力对热爆炸参数影响的性质和程度^[8]。

在恒定加热速度 w (此加热速度相当于送往钻井的穿孔爆破装置的升温速度为 $1\sim 2$ 度/分) 下进行的热爆炸研究表明, 在加热速度接近临界值 w_{kp} 时, T_{kp} 随加热速度的增加而上升得很快。但是, 当 $w/w_{kp} \gg 1$ 时 (炸药实际使用范围), 存在一个“饱和”区, 在“饱和”区内, T_{kp} 随 w/w_{kp} 的增加而上升得很缓慢^[8]。“饱和”区内的自燃温度 T_{kp} 超过静态临界温度 T_{kp}^s 几十度 (约 50°C)。由奥克托金的例子可以明显看出 (图 7), 在线性加热条件下, 当压力由大气压变至较高压力时, 温度 T_{kp} 的变化大体上和静态条件下自燃临界温度的变化相似, 即下述

两式:

$$\Delta T^+ = T_{kp}^+ - T_{kp}^s$$

及 $\Delta T = T_{kp} - T_{kp}^s$

所得结果相近^[11]。

综上所述, 可以断定, 由于在具有高流体静压和高温的深钻井中穿孔爆破工程的特殊条件, 对用于这方面的炸药提出了较高的要求, 这些要求是: 物理安定性, 化学安定性, 高压高温时能保持其爆炸性能, 在腐蚀性介质中保持惰性和在有限装药尺寸下具有足够大的能量。奥克托金基本上能满足上述要求。

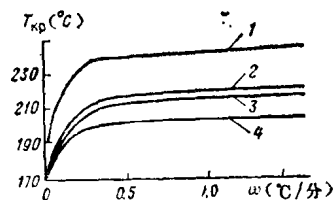


图 7 奥克托金自燃温度
与加热速度的关系

曲线 1 - $d = 15$ 毫米, $P = 1$ 公斤(力)/厘米², $w_{kp} = 1.6 \times 10^{-2}$ 度/分; 曲线 2 - $d = 15$ 毫米, $P = 200$ 公斤(力)/厘米², $w_{kp} = 0.5 \times 10^{-2}$ 度/分; 曲线 3 - $d = 9$ 毫米, $P = 200$ 公斤(力)/厘米², $w_{kp} = 2.5 \times 10^{-2}$ 度/分; 曲线 4 - $d = 9$ 毫米, $P = 200$ 公斤(力)/厘米², $w_{kp} = 2.5 \times 10^{-2}$ 度/分(曲线 4 实验的周围介质为粘土砂浆)。