

894989

张国顺 文以民 刘定吉 译

爆炸危险性及其评估

群众出版社

上



3

5(3)7

7/5343

T. 1

爆炸危险性及其评估

(上册)

W.E. 贝克 P.S. 威斯汀
[美国] P.A. 考克斯 J.J. 库尔兹 R.A. 斯特劳 著

张国顺 文以民 刘定吉 译

何诚志 松全才 郑志良 校

群 众 出 版 社

一九八八年·北京

5(3)7

7/5343

T. 2

爆炸危险性及其评估

(下册)

W.E. 贝克 P.S. 威斯汀 R.A. 斯特劳 著
〔美国〕P.A. 考克斯 J.J. 库尔兹

张国顺 文以民 刘定吉 译

何诚志 松全才 郑志良 校

群 众 出 版 社

一九八八年·北京

〔美国〕工程基础研究丛书

第1卷 Coelho/工程绝缘材料物理学

第2卷 Szucs/相似模拟

第3卷 Scharf, Lisieski/振幅分布摄谱仪

第4卷 Mohilla, Ferencz/化学过程动力学

第5卷 Baker et al./爆炸危险性及其评估

爆炸危险性及其评估(上、下册)

〔美〕W·E·贝克等著 张国顺等译

群众出版社出版 新华书店北京发行所发行

北京新华印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 27印张645千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

定价: 8.90元

ISBN7-5014-0022-9/D·1

印数: 0001—6400册



工程基础研究丛书第5卷

爆炸危险性及其评估(上)

〔美国〕

原著: W·E·贝克(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
能源系统研究部)

P·A·考克斯(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
机械工程研究部)

P·S·威斯汀(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
能源系统研究部)

J·J·库尔兹(美国田纳西州奥克里奇联合碳化物公司)

R·A·斯特劳(美国伊利诺斯州俄巴纳伊利诺斯大学
工学院航空与航天工程系)

翻译: 张国顺、文以民、刘定吉

校对: 何诚志、松全才、郑志良

原出版者: 美国ELSEVIER科学出版公司(1983年)

内 容 简 介

本书相当广泛地介绍了近年来国外在燃烧与爆炸方面的科学研究成果，包括燃烧爆炸动力学和冲击波荷载等问题，列举了典型的燃烧爆炸事故案例，阐述了发生燃烧爆炸事故时产生的冲击波、热辐射、破片和抛掷物等的破坏作用；讨论了爆炸危险性的估算方法和抗爆建筑结构的设计计算方法。书后的附录中含有较多图表和数据，以及一个内容广泛的参考文献。因此，本书适合于从事防火防爆安全技术和抗爆设计的工程技术人员阅读，也可供管理干部及有关院校的师生参考。

致 读 者

亲爱的读者：

我热忱地向你们推荐此书。

随着祖国经济建设的蓬勃发展，工业生产的安全问题越来越引人关注。特别是一些具有燃烧爆炸危险的化工生产，例如燃料加工、制造火炸药等等，防火、防爆安全技术更具有其特殊的重要意义。

现代历史上曾经有过许多惨痛的教训。1921年9月21日，德国奥保(Oppau)曾经发生过二千多吨硝酸铵与硫酸铵混合盐的大爆炸事故，使四百三十人死亡，一千五百多人受伤，二千一百多栋建筑物遭到严重破坏。1947年4月16日，在美国得克萨斯城(Texas City)的加尔沃斯頓海湾，发生了运载硝酸铵的货船大爆炸事故，最后又引起岸边油库及化工厂的燃烧爆炸，火灾蔓延到城内，烈火烧了三天三夜，使五百一十六人死亡，三千多人受伤，一万五千多人无家可归，经济损失巨大，使这座化学城濒临毁灭。

当前，燃烧爆炸的危险仍在威胁着工业生产、交通运输和人民生活。就在1984年的11月19日，墨西哥城近郊工业区发生煤气大爆炸事故，十几个储气罐相继爆炸，熊熊大火高达数百米，使五、六百人丧生，三千多人受伤，三十五万人流离失所。由此可见，这类爆炸事故会给社会安全带来多么严重的危害！已经引起各界人士的高度关切。

为此，研究燃烧爆炸现象和事故发生规律，研究防火防爆安全技术，估算其危险程度和预防事故的发生等，越来越受到国内外的普遍重视。国际上近年来在这方面的研究十分活跃，每年发

表的研究论文多达千篇以上。

本书作为ELSEVIER科学出版公司的“工程基础 研究 丛书”之一，把近年来爆炸安全技术领域内的大量研究成果比较系统地进行了总结和概括，提供了许多实例及其分析计算方法，成为有关工程技术人员的一本很好的参考书。

本书共九章和八个附录。中译本上册包括前五章。第一章阐述燃烧与爆炸的基本现象及理论，包括基本知识，燃烧爆炸动力学，燃烧事故的类型及举例等；第二章讲自由场爆炸，空气冲击波的基本性质，包括定义、爆源特性、比例定律、冲击波参数计算及有关例题等；第三章介绍爆炸冲击波荷载，包括外爆炸产生的入射、反射和绕射荷载，以及内爆炸产生的冲击荷载和泄压问题等；第四章介绍简化的能量解析法和压力-冲量图，并用这些方法和图解来确定承受动荷载的建筑构件中产生的应力、应变和挠度；第五章介绍结构的数值解法，分析了弹性和塑性形变的特征，给出了梁、板、框架等建筑构件在动荷载作用下的数值解，从而为用电子计算机处理这类问题提供了方便。

下册包括后四章和八个附录。第六章介绍爆炸事故产生的破片或抛掷物的能量、飞行轨迹及抛散范围等；第七章介绍燃烧爆炸事故的热辐射效应；第八章介绍在爆炸事故中建筑物、车、船和人员受到冲击波作用而遭受破坏或损伤的判据；第九章讨论了对爆炸危险性的评估方法和抗爆结构的设计原理。书后的附录是对正文的必要补充，其中包括了大量图表和数据资料，对预测和设计很有用处。此外，还列出了两部分参考文献，一是有简要注释的主要文献目录，一是本文所引用的全部参考文献目录，共七百一十六条，以便读者查找原文。

本书也有一些不足之处。例如，有的内容过于简略；计算公式多数没有推导，因而不能给读者以完整、严谨的概念；全书尚没有能成为很好的整体，还遗留有讲稿的痕迹；各章之间缺少联

系，有时重复；体例、单位也不尽一致。但总的来看，它是一本十分有用的安全技术参考书，可供防火、防爆安全技术专业人员和防爆建筑设计人员学习参考，也可供有关管理干部和院校师生参阅。

本书的翻译者是：张国顺(兵器工业部安全技术处副处长，工程师)、文以民(兵器工业部科技情报研究所工程师)、刘定吉(冶金工业部长沙矿山研究院第六研究室主任，工程师)；审阅校对者是：松全才(北京工业学院化学工程系副教授)、何诚志(兵器工业部第五设计研究院科技委主任，高级工程师)、郑志良(兵器工业部第五设计研究院安全规范研究室主任，高级工程师)。他们都是专家、学者，在爆炸安全技术及建筑设计等方面具有丰富的理论知识和实践经验。我相信，本书经过他们的辛勤劳动，一定能够成为一本宝贵的参考书，在读者同志们的工作实践中发挥重要作用。

译者一再要我代他们敬告读者，由于水平所限和时间仓促，译文中的缺点错误在所难免，敬请同志们提出宝贵批评意见，

丁懋(北京工业学院副院长，教授)

1985年2月21日

原 前 言

本书的前身系一些作者为“爆炸危险性评估”短期教学准备的一套内部教材的手稿。写于1978年6月，后于1980年4月又作了内容广泛的修改。由于本教材受到美国以及国外许多读者的热烈欢迎，促使作者着手把它们改编成一本内容比较紧凑、结构比较条理参考书。西南研究院利用其内部研究基金资助了改编工作，并把它交付出版。

有关爆炸危险性的知识和控制或减轻这种危险的办法，随着世界许多国家对它进行的有意义的研究与评价，正在迅速地发展。虽然“暂停”在某一时间上并描述这个知识领域的现有水平是很困难的，但作者们在本书内还是力图这样做的。

书中的材料很有希望为工程师、科学家及工厂安全工作者们所采用，可供他们在评估爆炸危险、研究爆炸事故、进行抗爆设计中使用。我们已尽力使本书的内容能够相当全面，但还要着重于实际应用，所以书中列举了许多例题。例题说明了各种预测曲线图和方程式的用法。其中有许多例题是由短训班学员在课堂上练习过的。

本书由九章、八个附录和一个范围很宽的文献目录构成。开头两章讨论发生事故爆炸时的能量释放过程，以及在周围大气中形成的压力扩展和冲击波。第三章讨论了“自由场”波在传播途中与建筑结构或其它物体相互作用后的变换方式。第四、五两章包括了对爆炸荷载及非侵入撞击的结构响应。前者讨论简化分析法，后者讨论数值解法。第六章比较全面地讨论了爆炸时产生的破片与抛掷物，及其飞行和撞击效应。大规模化学爆炸会产生很大的火球，第七章就是阐述来自这种火球的热辐射。关于爆炸会

不会引起破坏或伤亡，现已建立了各种建筑结构、车辆遭受破坏的判据和人员遭受伤亡的判据。第八章就是介绍这些判据。关于爆炸事故的调查和评定，以及抗爆炸冲击结构的设计，现已发展出一些通用方法。第九章就是对这些方法的评介。

有关爆炸作用、爆炸危害和减轻这种危害的文献很多，本书后面列出的范围很宽的参考文献目录就反映了这一点。本文献目录有个特征，就是对所例文献加了个简短的注释。作者认为，用这样的文献目录作为对本书的补充将会对读者非常有用。

本书内容涉及的各个方面，技术上都是很复杂的。在技术讨论需要稍加详细的地方，我们都力图概述原文献的结论，然后在附录中给予较详细的补充说明。

我们期待着本书对于各界读者，特别是对于研究爆炸危险性感兴趣的读者，将会提供很有用的帮助。

原 序

对于大多数人来说,“爆炸”一词总是使人想象到一幅破坏的景象。由此人们会想起炸弹、弹头的爆炸,房屋被积聚的燃料气体摧毁,化学工厂的严重事故,或者其它暴力的和破坏性的事件等等。然而,多数情况下,尤其是最普通的爆炸,不仅不具有任何破坏性,而且是被设计或控制成能为人们做有用功。最常见的例子是内燃机,它在每分钟内产生数以百万次计的爆炸,在世界范围内为我们提供运输动力,产生电力,开动许许多多动力机械,还有许多其它用途。在采石、土方工程和受控漏斗爆破中,爆炸的广泛应用也是人所共知的。某些非凡的控制爆破方法已用在金属爆炸成型、爆炸焊接和旧建筑物的爆破拆除等方面。爆炸装置还能准确地在确定的时刻分离火箭助推器,切割电缆和螺栓。本来我们还可以把这些方面的应用再写许多页,但是不如只简要地说明,绝大多数爆炸都是可控的和可被利用的。

不过,我们的注意力还是放在那些事故爆炸的事件上,它能够而且曾经引起过意外的破坏和人员的伤亡。本书的论题就是事故爆炸。

已经发生而且还会继续发生的事故爆炸,有下列情况:

- 火炸药的制造、运输和贮存;
- 化工厂和石油化工厂的操作;
- 高压容器的破损;
- 锅炉爆炸;
- 铸造中熔融金属接触水;

*关于爆炸的详细描述,请看第二章

- 室内燃料气体逸漏；
- 高蒸气压燃料或冷凝燃料的制造、运输和贮存；
- 清理贮罐容器中的液体燃料；
- 可燃粉尘的制造、贮存和处理。

近年来，由于经济的发展，已经引起工业交通诸多方面的变化，如制造规模和贮存设备的增大，以超级油轮为例的大容量运输容器的采用等，促使人们更加关心事故爆炸，致力于对危险性评估和减轻事故爆炸影响的研究也增多了。这种对事故爆炸关切的的增长，已经加速了评估方法的发展，促进了有关事故爆炸过程大量新资料的积累。目前，在这个迅速成熟的领域里，人们已经能够具有相当信心地来估算某些事故爆炸的特性和影响。它们包括：

- 导致事故爆炸的燃烧过程，或者直接成为事故爆炸源的燃烧过程；

- 自由场爆炸和有限容积内抑制爆炸的破坏特性；
- 爆炸冲击波对附近结构施加的瞬时荷载；
- 爆炸产生的破片或弹片的轨迹和动能；
- 由爆炸冲击波和破片撞击引起的结构破坏；
- 由爆炸冲击波和破片撞击引起的伤害或死亡率。

此外，现已研究出许多合理的设计程序，提高了建筑物和其它结构对内外爆炸荷载的抵抗能力。在搬运或贮存特殊危险的化学物质时，人们可以采用局部或全封闭抑爆方式来对付爆炸事故。

本书概括了这个领域内各种问题的全貌。例如在评估这类事故爆炸的危险性，在设计适当必要的抑爆设施，以及发展那些在正常生产和运输过程中减小事故损失的新技术等方面所遇到的问题。

工程基础研究丛书第5卷

爆炸危险性及其评估(下)

〔美国〕

原著: W·E·贝克(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
能源系统研究部)

P·A·考克斯(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
机械工程研究部)

P·S·威斯汀(美国得克萨斯州圣安东尼奥西南研究院
能源系统研究部)

J·J·库尔兹(美国田纳西州奥克里奇联合碳化物公司)

R·A·斯特劳(美国伊利诺伊州俄巴纳伊利诺伊大学
工学院航空与航天工程系)

翻译: 张国顺、文以民、刘定吉

校对: 何诚志、松全才、郑志良

原出版者: 美国ELSEVIER科学出版公司(1983年)

目 录

第一章 燃烧现象和爆炸现象	(1)
§ 1-1 引言	(1)
§ 1-2 基本原理	(2)
1-2-1 燃烧热化学.....	(2)
1-2-2 失控放热反应.....	(4)
1-2-3 预混合气体体系中的波.....	(12)
1-2-4 两相体系和原来未混合体系.....	(36)
1-2-5 凝聚相体系.....	(39)
§ 1-3 燃烧爆炸动力学	(42)
1-3-1 燃烧爆炸的特性.....	(42)
1-3-2 火焰空气动力学.....	(43)
1-3-3 封闭体爆炸动力学.....	(58)
§ 1-4 燃烧和爆炸的安全性	(62)
1-4-1 引言.....	(62)
1-4-2 可燃蒸气和可燃气体.....	(64)
1-4-3 燃爆性云雾.....	(74)
1-4-4 可燃粉尘.....	(74)
1-4-5 炸药和推进剂.....	(80)
§ 1-5 危险物质的资料及危险性评估	(82)
1-5-1 有关资料.....	(82)
1-5-2 法规和程序.....	(84)
§ 1-6 第一章符号表	(88)
第二章 自由场爆炸和它们的特性	(91)
§ 2-1 爆炸的一般定义	(91)

§ 2-2	“理想”爆炸	(93)
2-2-1	爆源特性	(93)
2-2-2	冲击波特性	(94)
2-2-3	点爆源冲击波	(98)
2-2-4	比例定律	(100)
2-2-5	侧向冲击波的比例性质	(102)
2-2-6	波的能量分布特性	(106)
§ 2-3	大气影响和地面影响	(109)
2-3-1	概述	(109)
2-3-2	大气影响	(110)
2-3-3	地面影响	(110)
§ 2-4	非理想爆炸的一般特性	(111)
2-4-1	引言	(111)
2-4-2	球面波、能量密度和焦聚时间	(112)
2-4-3	非球形爆炸冲击波	(118)
2-4-4	爆源能量及其估计	(124)
§ 2-5	冲击波计算与经验数据的一致性	(127)
2-5-1	爆炸球	(127)
2-5-2	泄爆室	(135)
2-5-3	无约束可燃蒸气云爆炸	(139)
2-5-4	物理爆炸	(154)
2-5-5	液体骤然蒸发造成压力容器破裂	(156)
§ 2-6	事故爆炸	(159)
2-6-1	事故爆炸类型	(159)
2-6-2	凝聚相系统的爆轰	(160)
2-6-3	封闭体(非受压的)中的燃烧爆炸, 气体的或液体的	(163)
2-6-4	气体压力容器爆炸	(170)

2-6-5	BLEVE/S爆炸(沸腾液体急剧气化爆炸)	(174)
2-6-6	无约束蒸气云爆炸	(176)
2-6-7	物理蒸气爆炸	(179)
§ 2-7	第二章例题	(180)
2-7-1	爆炸气体的爆压和冲量	(180)
2-7-2	TNT的爆炸参数	(182)
2-7-3	蒸气云的爆炸参数	(187)
2-7-4	电弧开关引起的爆炸	(188)
§ 2-8	第二章符号表	(190)
第三章	爆炸冲击波荷载	(194)
§ 3-1	引言	(194)
§ 3-2	外爆炸荷载	(195)
3-2-1	正向入射产生的反射波	(195)
3-2-2	倾斜入射产生的反射波	(197)
3-2-3	绕射冲击波的荷载	(201)
§ 3-3	内爆炸荷载	(209)
3-3-1	冲击波荷载	(209)
3-3-2	泄出压力与准静态压力	(213)
§ 3-4	失控的化学反应器	(232)
§ 3-5	第三章例题	(235)
3-5-1	泄压参数	(235)
3-5-2	敞开泄压口时, 气体爆炸的最大压力	(236)
3-5-3	盖住泄压口时, 气体爆炸的最大压力	(237)
§ 3-6	第三章符号表	(237)
第四章	结构响应: 简化分析技术	(240)
§ 4-1	放大系数	(240)
4-1-1	正弦荷载	(240)