

激波和人。

〔加拿大〕I. I. 格拉斯 著

科学普及出版社



激 波 和 人

[加拿大]I.I. 格拉斯著

董 务 民 梁 锡 智 张 保 栋 译
郑 哲 敏 校

科 学 普 及 出 版 社

内 容 提 要

这是加拿大著名学者格拉斯教授写的一本既是学术著作又是科普作品的小册子。本书生动地介绍：激波是什么，它在哪些地方发生，它怎样影响我们的生活，它在宇宙的形成和生命的起源中起着怎样的作用等有关知识。

书中汇集了作者三十多年精心收集的一百多幅精美图片，简要介绍了雷电、地震、陨星、星系爆发、太阳风等自然因素形成的激波；化学爆炸、核爆炸、超声速飞行、宇宙飞船再入大气等人为因素形成的激波以及研究激波的实验设备。

适合有关专业人员及具有中学以上文化水平的科学爱好者阅读。

激 波 和 人

〔加拿大〕D. I. 格拉斯 著

董 务 民 梁 锡 智 张 保 栋 译

郑 哲 敏 校

责任编辑：陈金凤

封面设计：洪 涛

*

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市通县向阳印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 $1/32$ 印张：6 $\frac{1}{4}$ 字数：131千字

1984年8月第1版 1984年8月第1次印刷

印数：1—11,220册 定价：0.72元

统一书号：13051·1302 本社书号：0466

中 文 版 序

我的《激波和人》一书由加拿大版译成中文出版，是我1980年5月访问中国的一个意外收获。在四个星期的访问中，我有机会在中国的几个研究所和大学参观和讲学，这些单位刚从1966—1976这十年震撼中国的“文化革命”地震破坏中恢复过来。反对知识的风暴过去了，天朗气清了，本书的翻译也有可能实现了。然而，不单单只有这个原因。我荣幸地得到中国科学院外事局局长郝汀博士的邀请，作为中国科学院的客人在中国逗留了一个月。这给了我一个愉快的机会，得以会见中国科学院力学研究所副所长郑哲敏博士并一起工作，实际上是他促成了本书中文版的问世。我感谢他们，感谢其他许多同事，感谢他们在我访华期间给予我的友谊、热忱和帮助。我希望，这一版本的问世，将多少能报答他们一些，并将对医治科学、艺术和人道方面所受的“文化革命”创伤略有帮助。本书也想作为人类各方面重大努力之间的桥梁。本书对于外行人、学生和专家都一样，使我们都能互相了解对方的工作和研究。中文版由于增添了很重要的一节“激波和生命”，内容也就更为丰富。科学普及出版社为本书的出版作了大量的工作，我在此向他们表示衷心感谢。

I. I. 格拉斯

加拿大，多伦多

1980年12月1日



序

伟大的发现，开创性的理论，在科学家和技术专家们的努力下，正以人类历史上前所未有的速度相继问世。它们汇成了资料情报的洪水，泛滥横溢，丝毫没有消退的迹象。另一方面，各种出版物还在爆炸般地增长。因此，为了说明和评价知识的现状，为了阐述它对人和社会的影响，无论对专业人员还是对非专业人员来说，都比以往任何时候更加需要深入浅出地介绍和评述各类知识。

本书就打算提供这样一种综述性的评述。希望通过它的问世，能够帮助人们深入了解宇宙中、地球上和人造的爆炸及激波现象。地球上自然力量产生的激波，虽然不可避免地引起人们的敬畏、惊奇、恐怖，甚至造成人间惨剧。可是，它们毕竟不会危及人类的生存。而亿吨级梯恩梯当量核武器的发明，却使我们这个星球上一切生命都面临一场空前的潜在危险：突如其来的核爆炸和接踵而至的核辐射及激波。即使交战双方的小规模核互击，也会造成人类的重大灾难。

另一方面，本书也包括了许多和平利用爆炸和激波的例子，概述了为创造人类福利而和平利用核炸药的令人振奋的前景。这类建设性的利用，无疑将在提供亟需的能源方面开辟新的途径，补充供应日趋枯竭的燃料库，促进经济高度发达的工业化进程。此外，对宇宙中的爆炸和激波的了解，有希望有朝一日能够锻造出一把钥匙，用以打开了解宇宙、太阳系和地球如何形成，甚至生命如何起源的大门。

本书讨论了化学能、核能、电能、辐射能或机械能在有限空间内极其突然释放（爆炸）所产生的激波。但书中并不讨论文化冲击或社会冲击——这个术语在当今是十分时髦的。社会冲击和物理冲击有某些共同之处。它们都意味着一种速度极高的变化，都会导致剧烈的冲突，以完成从旧的平衡向新的平衡的急剧转变。这种转变所需的时间，技术上称为弛豫时间，依赖于所产生的许多扰动。这种过程是不可逆的，它必然要降低可以用来做有用功的能量的品质。

从目录可以看出，书中所涉及的范围相当广泛，所以不可能，甚至也不宜在我们这类综述性述评中深入地逐项讨论它们。相反，我们主要寄希望于利用许多生动的照片和插图来补充简要的正文。这些图片，是过去25年来精心搜集的。由于考虑到本书的成本，那些引人入胜的彩色照片没有用彩色印出。彩色照片无疑会加强本书的效果。

对物理学、数学以及爆炸和激波的应用等方面的专家来说，已经有了一些优秀的教科书和科学论文可资利用。为了方便专业研究工作者、大学生和非专业读者，有些著作已经开列在参考文献中。我的选题受过去20年来我在多伦多大学航空航天研究所以及在世界上其他一些地方，在气体动力学和激波现象领域中所作的教学、讲演和研究的影响。在这期间，我认识到，本行以外的专家们和大学生们同样地需要这样的综述著作，这种著作阐明地球上和宇宙中激波现象在各个方面的某种综合景象，并说明它们与我们文明的联系。我希望，我多少已经成功地完成了这一任务。如果真是这样，那我的劳动就算得到报偿了。

欧文·伊斯雷尔·格拉斯

1974年3月17日 多伦多

中文版前言

I. I. 格拉斯是加拿大多伦多大学航空航天研究所 (UTIAS) 的教授, 是气体动力学和激波研究方面国际公认的专家, 是研究激波相互作用、爆炸和聚爆的几种独特装置的发明人。由于他的众多贡献, 1981年多伦多大学授予他“终身教授”的荣誉称号。

《激波和人》是 I. I. 格拉斯教授的一本科学著作, 最初发表于1974年, 现已被翻译为多种文本出版。这本著作内容丰富, 取材新颖。它以深入浅出和引人入胜的方式带领读者领略从雷电、常规爆炸和核爆炸到宇宙中的激波和爆炸这个广泛领域中的种种奇怪现象, 科学道理, 技术应用和它们的涵义。它不仅向一般读者提供了丰富的知识, 就是对于本行业的专家也是一本饶有兴趣的书。本书的另一特点是图文并茂, 图片的质量很高, 选用也十分得体。可以说收集这些图片本身就反映了 I. I. 格拉斯教授对科学、教育和科普工作所作出的辛勤劳动和巨大的献身精神。

I. I. 格拉斯教授对中国人民十分友好。1980年春他应中国科学院邀请访问我国, 在与他的专业相同的研究机构和高等学校里做了学术报告。格拉斯教授热情接待我国到加拿大访问的学者。在他的实验室中经常有我国的访问学者和他一起工作并得到他热情的帮助。

在1980年访华期间, I. I. 格拉斯教授欣然同意把这本著作译为中文出版。回国后他又寄来了许多补充材料。在中文版即将出版之际, 我们谨在此向他表示衷心感谢。

郑哲敏

1983年4月9日

目 录

中文版序

序

中文版前言

1. 引言	1
激波是什么?	1
激波发生在哪些地方?	1
激波怎样影响我们的生活?	1
2. 地球上自然力产生的激波	9
雷电	13
地震	16
火山喷发	20
陨星撞击	24
3. 地球上的人造激波	34
牛鞭	34
火药	36
核武器	45
声爆	56
再入大气现象	67
4. 宇宙空间中的激波	72
太阳风	72
太阳耀斑	75
爆发星和星系	79
宇宙大爆炸	83
5. 化学炸药与核炸药的和平利用	87

化学炸药的各种工业应用	87
核炸药富有想象的潜在的和平利用	89
6. 平面、柱面及球面爆炸和内爆激波	102
运动活塞和破裂膜片产生的激波	102
实验室控制下的爆炸和内爆	104
水下爆炸	116
激波碰撞	117
气体激波中的分子状态	121
正激波的性质	127
梯恩梯爆炸和核爆炸的一些特性	131
7. 其他激波类型	135
斜激波和锥形激波	135
激波的相互作用	141
固体中的激波和成坑现象	148
爆燃波和爆轰波	151
聚焦激光辐射产生的激波	155
8. 在实验室中研究激波现象的一些设备	157
超高速激波管	157
激波球	157
爆炸驱动的内爆激波管	160
超声速风洞	160
高超声速激波风洞	163
低密度风洞	164
等离子体风洞	164
超高速自由飞靶道	167
声爆模拟器	169
9. 激波和人的状况	172

激波和生命	172
激波和生存	175
参考文献	178
补充参考文献	187

1. 引言

激波是什么？

激波发生在哪些地方？

激波怎样影响我们的生活？

从婴儿时期开始，有多少次我们从睡梦中被雷鸣声惊醒？那耀眼的闪电，那接踵而来、由远及近的隆隆雷声，那一阵阵的倾盆大雨，又怎样经常地使我们处于恐惧之中？据极其粗略的统计，仅仅这类雷电激波，每年在全世界就酿成千百人死亡，价值数亿美元的财产遭到毁灭。当然，要与地震、火山喷发以及地球上其他激波的例子相比，上述那些损失简直是小巫见大巫。重要的是要看到，在上述那些由自然界力量产生的激波中，生命财产的损失，实际上并不是直接来自激波的。在雷雨中，闪电能引起大火。在大地震时，地壳晃动和错位导致山崩地裂，房倒屋塌。在火山喷发期间，最大的破坏来自熔岩形成的岩浆流，以及象炸弹那样飞出的熔岩弹，它们烧毁、埋葬远离火山喷发地点的居民区。

和上面不一样，化学爆炸和核爆炸形成的激波则产生摧毁性的压力、狂风、烈火和致命的核辐射，使广阔地区的生命和财产顷刻化为乌有。当然，陨星的袭击也非常象人造的爆炸，但目前还没有因陨星袭击而引起大量灾难性事件的记录。仅仅有人考虑过加拿大魁北克省的昂加瓦陨石坑（直径约3.2公里，深约0.48公里）的形成，如果这一袭击落在世界任何一个大城市中，它造成的灾难性后果不亚于几百万吨级

热核弹的爆炸。

简略介绍了地球上自然力造成的一些激波现象之后，就可以较好地阐述我们所说的激波了。用文字来描述的话，可以说，激波是一个轮廓分明的极薄的波面（值得指出，在海平面上，空气激波的厚度约为0.025微米，而红外线的波长约为1微米，即 10^{-6} 米）。当能量在介质（气体、液体或固体）中突然释放或沉积，从而引起爆炸时，就会产生激波。球面爆炸的过程如下：当把化学能或核能瞬时（毫秒级到微秒级）加入空气中、水中或地下时，所产生的高温高压膨胀气球便把激波驱入周围介质之中，它象潮水波那样，在介质中奔驰，突然提高介质的压力、密度及温度，并同时引起一个紧跟在激波后迅速运动的流动速度。随着球面激波所波及的介质体积越来越大，它最后衰减成微弱的扰动或声波（由轰鸣声变为细语声）。爆源附近，激波非常强时，或激波后压力、温度、密度及速度非常大时，这种衰减非常迅速，而当激波变成声波时，衰减变到微乎其微。激波衰减成声波所需要的距离，在气体中最大，液体中次之，固体中最小。例如，一块直径已知的球形炸药，它产生的激波在空气中的衰减距离为炸药原直径的数百倍，在水中约为原直径的二倍，而在固体中还不到原直径的几分之一。爆炸形成的热球膨胀着，脉动着，直至达到能与周围介质压力相一致的平衡尺寸，此后，热球便扩散到周围空气中去，在水中则破碎成许多气泡，在地下则留在爆炸所形成的空穴中。

虽然前面描述了激波的物理性质，但要看到它却是很困难的。也许，最好的一个直观例子是图1所示的水波。这里我们可以看到冲浪运动员正在逃避铺天盖地而来的一堵水墙，这堵水墙好比是气体中跨越强激波的巨大压差，这就是说，

冲浪运动员站立处的压力低于水波后相应于冲浪板高程上的压力。水波每高10米，在这个点上就要增加1个大气压。从

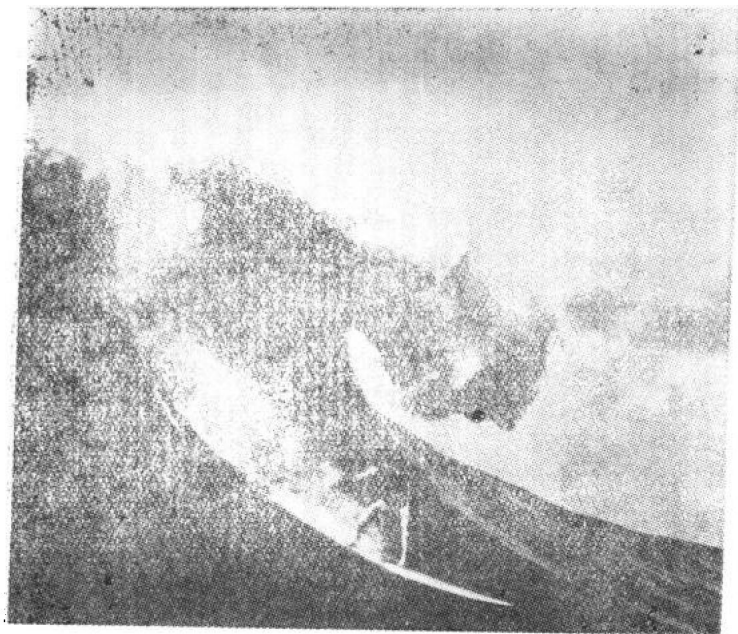


图 1 用巨大水波(开花巨浪)比拟激波

除非利用专门的光学方法,即使在透明介质中,也无法显示出在气体、液体或固体中高速运动的激波,所以激波是很难测定的。图中高大水墙即将吞噬冲浪运动员的情景,形象地模拟了穿过激波时压力的突然跃变。(来源: D. H. 詹姆斯, 冲浪运动照片)

这个意义上讲,水波和激波这两种现象是类似的。水或固体内部的激波类似于气体中的激波。虽然就气体来说,对于使运动激波后面的压力、温度、密度和流速增加的分子碰撞过程已经有了很好的了解,但是就液体和固体来说则不是这样。一个突出的差别是:由于水有巨大的惯性,水波在顶部会破裂散开,激波则不会这样。日本画家大陆司有一幅以富

士山为背景的“斩波劈浪”的名画，此画生动地捕捉了十分相似的一个开花巨浪。图2复制了这幅名画。

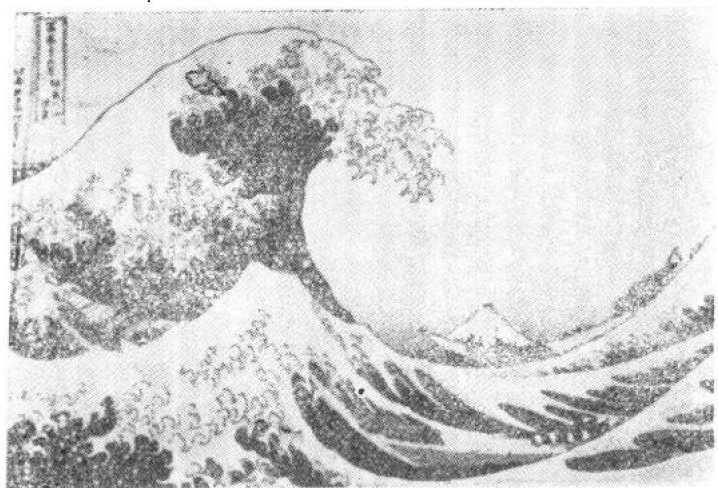


图2 开花巨浪

与图1的开花巨浪很相象的一幅名画，系日本大画家大陆司以精湛技艺画出的《神奈川海滨斩波劈浪图》，著名的《富士山三十六景》之一，画于1823—1830年间

以雷电为例，能量以放电方式在一条很长的锯齿状通道中迅速沉积。因为光速比空气中声速快100万倍，所以我们早在听到雷声之前很久就看到了远处的闪闪电光。在地震时，由于剪切作用，地壳被撕裂，聚积起来的应变能突然地释放，引起了好几种波在地球内部和地上传播。在火山喷发的情况下，能量的急剧沉积发生于地球内部的高温高压气体和液体突然把一大块山顶抛向天空的时候。例如，据估计，1883年克拉克脱火山喷发时，须臾之间，好几立方公里的物质飞向空中，爆炸引起严重污染，在长达数月的时期里，产生了夕阳西下那样五彩缤纷的绚丽景色以及其他高空大气现象。

陨星击中地面时 其巨大的动能（由陨星的质量和速度所决定）猝然间沉积于地面，并马上在地球和空气中产生了激波。类似地，当超声速运输机在大气中产生声爆时，其能量来自燃料在发动机内的燃烧。因为地壳中或水中的声速都大于飞机飞行速度（水中声速为1500米/秒，土中声速约为900米/秒），所以，作为早期扰动或前驱波，声爆可以在水中或地上先于冲击点而被感觉到。

当一个强超压激波通过未受扰动的介质（气体、液体或固体）时，受扰动部分的压力、温度和密度要增高数倍。因此，当动物、人或建筑物受到这种激波袭击时，由于压力骤然剧变，生命或建筑物均会惨遭毁灭。除此之外，气流速度产生的气动力（风）也可以严重伤害人畜，剧烈破坏各种建筑物。即使是弱激波，尽管它的超压只有大气压的千分之一（约100帕），也常常引起人们严重不安和情绪烦躁。离地面相当远处的闪电，或者“协和号”一类的现代超声速飞机以二倍声速（每小时2100公里或马赫数 $M=2$ ）在15公里高空飞行，就能在地面上产生这一类的超压。飞机头部和尾部产生的锥形激波在地面上的交线形如马蹄。在飞机的整个航程中，这一马蹄形图案扫过陆地或海洋上宽达80—160公里的地区。由此得到的N波（之所以这样称呼，是因为它产生的压力信号与距离或时间的关系曲线象一个大写字母N）产生一种恼人的轰鸣声。这类现象实在是够烦人的，以致在居民区上空是否一概禁止超声速飞行的问题始终还在争论之中，除非新设计的飞机所产生的超压减小到可以接受的程度（小于50帕），这种争论不会休止。飞机产生的声爆不象雷电的霹雳声那样稍纵即逝，而是能保持一段时间，所以处在飞机航线下的每个人都会依次遭受一个或两个声爆的袭击（这要看N

波波长稍小于或稍大于30米而定。如果N波波长太短，人耳对N波的两个峰值就来不及反应)。

随着皮鞭、火药、大炮、炸弹、裂变和聚变核武器的发明，人类学会了把越来越大的能量（目前达亿吨级梯恩梯当量）在越来越短的时间（ 10^{-7} 秒或十分之一微秒）内沉积起来，因此，产生的激波强度几乎无法想象。核武库已经膨胀到目前地球上每个男人、妇女和孩子可能摊上几百吨梯恩梯当量的程度。这种空前的超级屠杀能力甚至可以使一场小型核战争成为世界性的大灾难。

长期以来，我们一想到炸药等爆炸物质，就联想到它们在战争中所造成的巨大的破坏、惨绝人寰的悲剧、无穷无尽的苦难等等恐怖景象，这掩盖了它们在和平利用方面也有巨大贡献的事实。在修筑道路，开凿隧道，掘井采矿，建造大厦，金属成形及复合，以及空间计划中作为切割、充压、操纵和使各种机构精确定时运行等装置，假如没有化学炸药，要取得我们工业化社会所达到的成就是令人怀疑的。今后，利用核能来修建港口、水坝、运河，以及从地下回采残留的天然气、石油和地热以供给多用途的火力发电厂等等宏伟的工程，仅仅是可以预见到的应用核爆炸从事许多工程建设的一部分例子。受控裂变反应堆（它没有激波，除非发生意外爆炸）已经在全世界许多地方提供数量可观的电力。受控聚变反应堆一旦在2000年成为现实时，将在可预见的未来满足整个世界对能源的需求。

还值得指出，瞬时聚焦的激光束可以把小量的辐射能（几焦到几千焦，即相当于零点几克到几克的梯恩梯炸药）在极短时间（ 10^{-12} — 10^{-9} 秒，即1微微秒到1毫微秒）内沉积起来。为了形象地说明该时间之短暂，可想一想光在1秒内走

30万公里，在1微微秒内只走0.3毫米。因为功率是以多少焦或多少瓦秒的能量除以能量释放所需要的时间，所以其值可达天文数字，即 10^{17} 瓦/厘米²。因此，能够在实验室产生被仔细控制并高度集中的极强激波和等离子体（一种由电子、离子和中性原子混合组成的导电能力很强的气体）。所以激光可成为受控聚变反应堆的良好“火花塞”。

上面这些例子表明，全世界绝大多数人无时无刻不和地球上各种各样的激波遭遇。这些激波影响他们的正常生活，甚至威胁他们的生命安全。类似的现象也发生在天文尺度的空间里，如果我们能够观察到这些激波现象，就会有助于研究星体和星系的发生和死亡，有助于探索宇宙的演化。目前，有些宇宙学家相信，这种演化都起源于无比巨大的点源爆炸（“大爆炸理论”），或者，更直截了当地说，地球上一切生命都起源于一种超新星的爆炸，这种爆炸提供了可能产生生命的物质。

所有这些情况都使得激波现象的研究十分有意义和十分重要。在许多情况下，我们对这个问题知道得越多，拯救的生命也越多：例如，监测破坏力巨大的飓风（已经通过卫星实现了）和火山喷发及地震的预警系统（尚待解决），设计抗地震的建筑物；监测地下核爆炸；预防矿井事故；生产保证航天器安全再入或能使高超声速航天飞机安全再入的防热罩。幸运的是，有许许多多实验室设备，如气动力、电力和化学驱动的激波管，超高速弹道靶，地上和地下化学炸药爆炸试验，超声速风洞等等，都可以用来经济地、十分细致地研究激波现象，并且可以和分析计算结果比较。值得指出，来自太阳的太阳风（即电子和核子流，核子是失去了所有电子的原子）是宇宙空间的自然风，它以高超声速（马赫数约