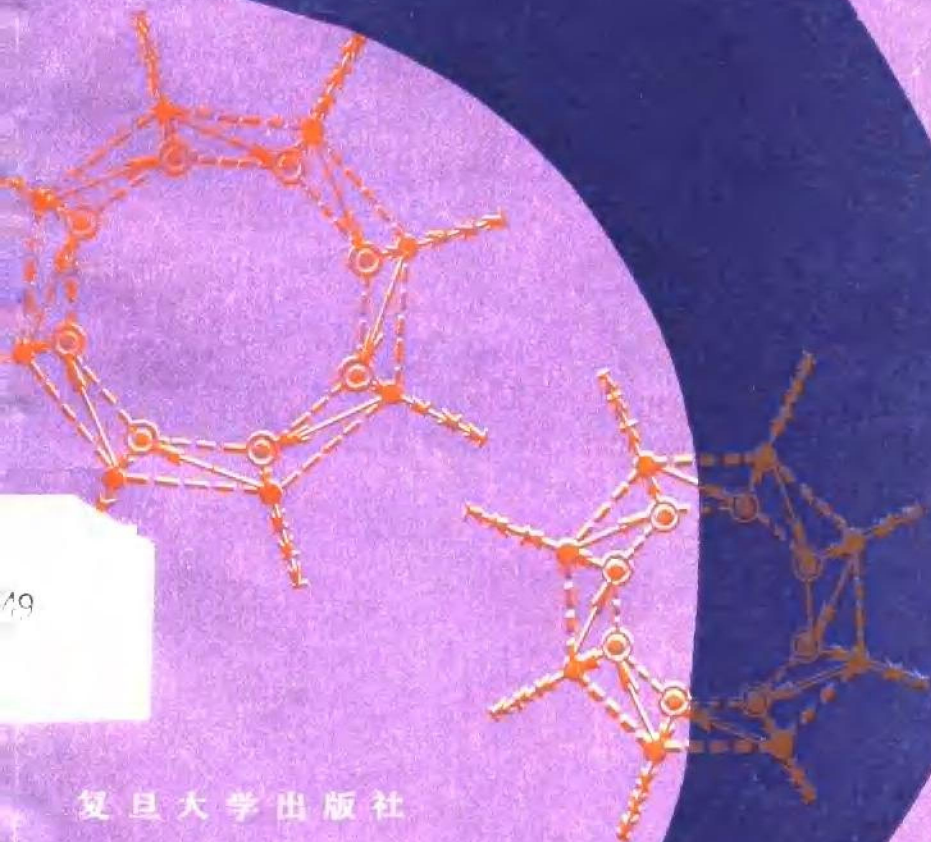


现代物理学与生物学概论

〔苏〕M·V·伏尔更斯坦著

龚少明 译



49
复旦大学出版社

Physics and Biology

M.V. Volkenstein

Academic Press, New York London 1982.

英文版系原作者根据俄文版原著改写

Физика и Биология

М. В. Волькенштейн

Наука, Москва, 1980.

现代物理学与生物学概论

[苏] M.V. 伏尔更斯坦 著

龚 少 明 译

复旦大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印刷

字数 135千字 开本 787×1092 1/32 印张 6

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数:1—10,500

书号: 13253·023

定价: 1.30元

译者的话

当前正面临着新技术革命浪潮的冲击，现代生物学中的遗传工程就是其中的重要组成部分。随着现代自然科学的发展，物理学、化学以及控制论、信息论等新技术已经完全汇集到现代生物学中来了。《现代物理学与生物学概论》一书，是苏联科学出版社组织专家教授编写的介绍科技发展新动态的丛书中的一本。本书作者 M.V. 伏尔更斯坦就职于苏联科学院分子生物物理学研究所，他是苏联科学院通讯院士。本书 1980 年用俄文出版发行。1982 年作者用英语改写后由美国科学出版社出版，同时在美国、加拿大、巴西、英国、法国、日本和澳大利亚等国发行。在俄文版的写作过程中，苏联科学出版社的责任编辑、数学物理学博士 D.S. 捷尔诺夫斯基曾与作者反复磋商，要求作者深入浅出地介绍现代生物学同物理学、生物学、化学、医学、信息论等学科的关系，激发各门学科的工作者探索生命科学的热情，使这本科普书成为广义上的自然科学家的“摇篮”。

本书是现代自然科学的一本小百科全书，不但阐明物理学、化学、生物学等现代自然科学的“分久必合”的发展趋势；而且指出辨别新学科中真伪的方法。这是近年来在生物物理学的科普书刊中比较好的一本书。可供从事物理学、化学、生物学、医学及科学史等专业的大学生及有关同志了解现代自然科学发展趋势的参考；也可供从事人体特异功能、信息论和控制论等研究的同志以及科技管理干部和中学教师

参考。

高沛之老师审阅了全部译稿并作了很多订正，使译稿得益不浅，译者表示衷心的感谢。限于译者水平，译文中难免有欠妥甚至错误之处，请读者及专家们批评指正。

译者 1984 年 5 月

前 言

这本小册子是为那样一些读者打算的：他们希望懂得现代自然科学中同生物物理学有关的某些重大的问题。随着生物学、物理学和化学等各门学科的迅速进展，现在人们已经能够从实验物理学和理论物理学的规律和方法入手，着手建立生物学的物理学（即研究生命现象的学科）。事实证明，这门学科的根基是可靠的；生物物理学已经帮助我们理解了一系列的生物学现象，另一方面它又使我们无论在理论上和实践上都取得了十分重要的发现。也就是说，生物物理学不但推动了理论生物学的进展，而且加强了同医学、药理学、生态学及农业科学间的密切关系。

本书的主要宗旨之一是：说明物理学对于了解生命现象具有不可估量的潜力。然而，没有生物学和化学的帮助，这种潜力是难以发挥的。我们所处的时代，是各门学科综合的时代，我们不当只是一个物理学家、生物学家或者化学家，还应当成为广义上的自然科学家。各门学科都是互相联系的，为了探索生命，需要懂得动物学、植物学、细胞学以及生理学等等。

真正的生物物理学还是一门相当年轻的学科。由于生物学知识还不够充足，我们还会经常遇到物理学上无法解决的问题。因此，出现了一些伪装成同生物物理学有联系的猜测和伪科学的思想也是不足为怪的。本书的最后一章要讨论到其中的某些思想。生物物理学尽管年幼，但是并不无知，它还

• 14 •

是能够辨别真理和假货的。

尽管本书的写作风格是通俗性的，但是读者不免经常遇到数学公式；不过凡是学过物理学和数学基础课程的化学家和生物学家，都不难理解本书的内容。

当然，为了更加深入地了解生物物理学，读者还需要阅读其他的参考书。本书后面列举了一些参考书，这当中既有比较浅近一些的，也有相当深刻的。

作者恳切地希望得到大家的批评指正。

M. V. 伏尔更斯坦

目 录

前言

第一章	现代生物物理学.....	1
第二章	物理学和化学.....	13
第三章	电子波的一些性质.....	21
第四章	分子的强的和弱的相互作用.....	28
第五章	大分子物理学.....	37
第六章	分子生物物理学和分子生物学.....	45
第七章	蛋白质的生物合成和遗传密码.....	63
第八章	细胞生物物理学和生物能力学.....	75
第九章	生物学中的热力学和信息论.....	92
第十章	生物学过程的物理化学数学模型.....	107
第十一章	生物演变的问题.....	121
第十二章	生物进化和信息论.....	131
第十三章	关于生物物理学中的伪科学.....	144
	参考文献.....	165
	索引.....	169
	主要人名译名对照.....	179

第一章 现代生物物理学

二十世纪初，自然科学进入突飞猛进的时代。作为科学基础的空间和时间、物质和场的观念都发生了深刻的变化。物理学的变革，尤其是相对论和量子力学的诞生，决定了二十世纪科学发展的进程。物理学的变革又改变了化学的基础：门捷列夫周期律的量子力学解释，化学键和化学反应的现代理论描述。物理学和化学之间的联系，从早先主要停留在化学热力学、溶液理论和化学反应动力学等唯象水平上，上升到统一的地步。科学的宇宙观也发生了重大的变化。在各门学科专门知识不断增长的同时，各门学科又都强烈朝着综合的方向前进。

二十世纪后半叶，物理学、化学和生物学都统一到分子生物学这门学科之中，这门学科揭示了生命基本现象的物理和化学的本质。与此同时，控制论、信息论等崭新的科学领域蓬勃兴起。纯科学与应用科学的关系发生了变化。理论与它的实际应用之间的距离逐渐缩短。人类进入了一个科技变革的时代，这场变革影响着自然科学、社会科学、技术、农业和药理学等所有的领域。

目前的状况在人类历史上是空前的，在这种情况下探讨物理学与生物学之间的关系问题，显然是极其重要的。物理学原理和定律主要是在研究无生命特征的物体和现象中发现的，是否足够以解释生命现象呢？

对这一问题可能有各种的回答。第一种回答是肯定的，

认为物理学原理和定律已足够解释生命现象了。第二种回答没有这样明确，认为当前已有的物理学原理是不够的，但是随着生命现象中的物理学，即生物物理学的进一步发展，还会发现全新的物理学原理和定律，当然，这些新原理同以往的旧原理是不矛盾的。这种新的物理学将构成对生命现象进行科学解释的基础。第三种回答是否定的，他们认为物理学现在不能，将来也永不可能解释生物学现象，因为生物学现象只服从生物学的规律，而生物学规律又不能在物理化学的基础上加以解释。这种回答来自生机论的教条，生机论是上一世纪生物学中很流行的理论，现在仍然有一定的市场。

最后，尼尔斯·玻尔的思想对于这个问题的回答有它特殊的地位^[1]。

玻尔系统地阐述过互补原理，他认为根据互补原理去考察物质世界必定遇到互补的特征和概念。例如，在量子力学中，亦即在微观世界的物理学中，微粒子的坐标和速度是互补的，也就是说，这两个量如果分别给以测量，那么测量的精度是不受限制的，如果同时给以测量，精度就受到限制。精确地测量电子的位置就会使电子的速度无法确定；反之，精确地测量电子的速度便无法确定它的位置。坐标的不确定程度 Δx 和速度的不确定程度 Δv 之间的关系由海森伯测不准原理^[2]决定：

$$\Delta x \Delta v \geq \frac{h}{4\pi m}, \quad (1)$$

这里 m 是电子的质量， $h = 6.62 \times 10^{-27}$ 尔格·秒系普朗克常数。当 Δx 趋近无穷大时， Δv 趋近于零；反之亦然。

玻尔认为生物学规律可以作为支配无生命物体的规律的互补性来考虑。换句话说，同时研究细胞或生物体的原子-

分子结构及其作为生物整体的行为是不可能的。玻尔认为生命就是生物学的主要公设，这个公设不能再作进一步的分析了，这就象作用量子的存在是原子物理学无法分析的根据一样^[1]。因此，以生物学为一方，以物理学和化学为另一方，双方虽不互相冲突但也互不相容。

后来玻尔改变了他的观点。他认为并不是物理学这门学科同生物学互补，他开始谈到了在生物学中实际采用的物理化学方法，是同与生物体整体直接相联系的概念互补的。生物体本身并不是由生命概念的公设特征，而是由生物体的极端复杂性所决定的。玻尔在去世之前不久，已认为生物学和物理学只有实际手段上的（因此是可以克服的）互补性^[3]。

（也可参阅玻尔给作者的发表在文献^[4]上的信）。

让我们再回到出发点。为了严密地分析问题，有必要明确一下物理学究竟是什么。

物理学是研究各种具体物质（即物质和场）的结构和性质的科学，又是研究物质在空间和时间上的存在形式的科学。尽管这个定义十分笼统，但是物理学的整个发展都符合这一定义。现代物理学的核心问题是：在宇宙学中，从总体上研究宇宙的去、现在和将来；在基本粒子物理学中，研究微观世界。这两门学科是交织在一起的。

化学和生物学是另外两门基础自然科学。化学是研究化学反应过程中原子和分子的电子壳层变化的科学。生物学是研究生命现象的科学。把自然科学分成为这三门学科不是绝对的，就这个意义来说，物理学、化学和生物学的定义是互不相容的。每一种定义都不能排除另外两种定义。当然，我们所定义的三大学科都是客观存在的，是得到了深入发展的。

根据物理学的普遍定义，人们也许可以设想其他一切自

然科学，特别是化学和生物学，都可以还原为物理学。因为一切自然科学都研究物质。这样一来，我们是否回到如亚里士多德所表述的前科学时期去理解物理学了呢？物理学和自然科学的概念是否完全一致呢？

回答当然是否定的，化学和生物学都由各自的研究方法及借助方法所发现的规律来表征的。就这个意义来说，“还原”这个词是没有意义的。上面所提到的看法，仅仅表明物理学构成了自然科学一切领域的理论基础。而这种理论基础的建立是各门学科深入发展的结果，是对各学科所考察的现象进行解释的基本规律的研究结果。化学中，这种理论基础业已建立。作为研究更复杂现象的生物学，这种基础尚未建立，但是从给定的物理学定义出发，我们必然会得出物理学是将来的理论生物学基础的结论。

但是这种说法是很不充分的，因为这种说法只是建立在普遍的推理之上。为了考虑物理学同生物学的关系，有必要探讨以下问题：现代物理学能给生物学提供些什么？物理学如何回答生命现象的本质问题？生物物理学该如何发展？生物物理学遇到了哪些主要困难和限制？正如我们要进一步阐明的，有理由认为，现代物理学对于理解生物学现象已充分足够。换一种说法，即现代物理学对于生物学的应用是没有限制的。因此，认为生物学还要求创造新的物理学是没有道理的。

科学中确实曾经有过要求创造新的物理学的时期。相对论的创立，是因为经典电动力学无法解释考证动体在电磁场中所出现的矛盾。爱因斯坦在有名的1905年的论文中，首先建立了狭义相对论，这篇文章就是以“论动体的电动力学”^{*}为标

• 见《爱因斯坦文集》（二），许良英等编译，商务印书馆 1979 年出版——译者。

题的。量子力学的情况也很类似，当时，人们在考察固体辐射时，发现经典物理学已经陷入泥潭，量子力学的创立使人们摆脱了这种困境。在这两个例子中，新理论并不排除旧理论，而是把旧理论当作一种特例包括了进来。

为了解决物理学同生物学的关系问题，我们必须考察细胞和生物体在从基本粒子到星系、乃至整个宇宙的大量层次中，究竟处在什么地位的问题。关键在于阐明生命的主要现象、生命现象同非生命性质的现象的本质差别和类似性。今天人们不仅可能提出这些问题，而且还能很好地（尽管还不能完全）给予回答，这都应当归功于生物学的发展。

细胞和生物体都是由大量原子和分子所组成的宏观系统。即使最小的细胞（细菌莱氏支原体）的体积也是原子体积的 10^9 倍以上。由此可见，细胞和生物体的生物物理学不可能直接同微观世界的物理学发生联系。量子力学同生物学的关系，只是阐明执行生物功能的原子和分子的结构及其特性而已。

生命系统具有两个主要的特性。第一，它们是不断地同外界交换物质和能量的开放系统。第二，它们有自己的演变历史：每个细胞、每种生物体都随时间发展变化，它目前的状态是本身个体发育和普遍进化演变的结果。

这里给生命下一个定义是必要的。恩格斯根据十九世纪化学和生物学所取得的成就，给生命下了第一个科学的定义：

“生命是蛋白体的存在方式，这个存在方式的基本因素在于和它周围的外部自然界的不断的新陈代谢。”^[5] 这个定义中强调了两个概念。第一，蛋白质在生命现象中起决定性的

① 见恩格斯：《自然辩证法》单印本，第277页，人民出版社出版。——译者

作用。这一概念已为科学的全面深入的发展所证实。正如现在我们所知道的，尽管除蛋白质之外的其他物质（尤其是支配细胞中蛋白质合成的核酸）对生命来说也是重要的，但是蛋白质主宰着生命体中所发生的全部过程。恩格斯给生命所下的这一定义中，包含着另一个概念就是新陈代谢，亦即物质的交换，这就使生命体系成为开放系统。

根据生物学、生物化学及生物物理学的现代知识，我们给生命体系提出一个推广的定义：

生物体是一个开放的、具有自身调节功能 and 自我复制能力的远离平衡的系统，它以不可逆的方式发展，生物体的出现是个体发育和进化演变的结果；它是由多种多样大小不一的分子所组成的非均质系统。生物体中最重要的物质是生物聚合物、蛋白质和核酸大分子。

生物体的非均质性是必须强调的。世上并无“活分子”这种东西。不管蛋白质分子或核酸分子有多么复杂，其单个分子不可能是活的，就这个意义说来，蛋白质或核酸分子同糖分子或 CO_2 分子一样。很显然，产生和维持符合生命的给定定义的系统，总是同很多物理学问题相联系的。如果要物理学解释生命现象的话，它必须：

(1) 发掘非平衡开放系统特性的主要规律，也就是找出生命的热力学基础；

(2) 从理论上解释进化和个体发育的现象；

(3) 解释自身调节和自我复制的现象；

(4) 从原子、分子的水平上揭露生物过程的本质，也就是找到活跃在细胞内的蛋白质、核酸及其他物质的结构和生物功能的联系；此外，还要研究生命体在更高的超分子水平上、在细胞的水平上及在构成细胞的细胞器的水平上的物理

现象；

(5)设计出研究生物功能物质及由这类物质构成的超分子结构的物理方法和物理化学方法，并对利用这种方法所得到的结果提供理论解释；

(6)对神经脉冲的发生和传播、肌肉收缩、感觉器官对外部信号的接收及光合作用等高度复杂的生理现象，提供物理的解释。

以上六个方面都已取得了实质性的成功。当然，由于生命体的高度复杂性，以及生物学、生物化学和生物物理学等知识的不足，科学离真正理解生命现象还很远。物理学问题的严格阐明，也就是建立在普遍的物理定律和原子-分子描述的基础上的阐述，目前还只能系统地说明生物学中很有限的几个问题。很多本质性的生物学问题依然离物理学和化学很远。对于高级神经活动的实质性性质、高等脊椎动物的记忆和思考或昆虫复杂的本能行为等，我们简直一无所知。

上面列出的各种问题都是生物物理学的课题。现在生物物理学已从生物学中的从属地位，转变为真正的生命现象物理学。但是，并不是所有的生物学家都赞成这个说法；他们中有很多人认为，生物物理学的目的就是把物理学方法应用到生物学中去。这种看法显然是错误的；生物学从一开始就采用了复杂的物理仪器——显微镜。医用体温表是一种更加简单但确实也是一种物理仪器。虽然生物物理学曾经有过一个风趣的定义：医生正在使用一种复杂到他自己都难以理解的仪器，这个医生的工作就是生物物理学；但是如果说使用显微镜、温度计，甚至心电图描述器等物理仪器就是生物物理学，那是毫无意义的。

当然，方法究竟来自哪一种科学的分枝实际并不重要。

生物物理学从一开始就研究关于生命现象的物理学理论。当然这个问题也可以采用其他方法（例如生物学或化学方法）来解决，只要这些方法适用于科学的程序便可。

物理学同生物学的关系源远流长。笛卡尔^①曾经把人体当作一种机器，试图用力学来解释血液循环的机制。在博雷利^②的“论动物的运动”（1680—1681）的两卷著作中，也提出了类似的看法。当时力学的概念还很不完善。当时看来他们是进步的，因为他们都想尽量科学地解释生命现象。十八世纪，人们发现了电现象，并对此进行了研究，因此有人采用“动物电”的概念来解释生命的主要调节功能。伽伐尼^③发现用电刺激肌肉会引起肌肉收缩，并由此得出动物电和机器电完全一致的重要结论。这种种发现，使人们懂得了生命体和非生命体中物理过程是一致的。罗蒙诺索夫写道：“生理学家必须根据物理学说明生命体运动的原因”。

拉瓦锡^④曾于1780年建立了燃烧和呼吸的一致性。韦勒^⑤于1828年用无机物质合成了生命机体的物质——尿素。这样生命的化学便开始与普通化学息息相关。

① Descartes, René Du Perron. (1596.3.31—1650.2.11)。法国自然哲学家，对数学、光学、力学、生理学以及研究自然科学的方法论等都有独特的创见——译者

② Borelli, Giovanni Alfonso, (1608.1—1679.12.31)。意大利生物学家，对物理学、火山学和天文学等也都有研究，他研究了毛细现象，明确毛细管内的液面高度与管的直径成反比。他是物理学家伽利略的好朋友，两位学者曾共同讨论，互相鼓舞。——译者

③ Galvani, Luigi, (1737.9.9—1798.12.4)。意大利生理学家，对天文学和物理学等也很有研究——译者

④ Lavoisier, Antoine-Laurent, (1743.8.26—1794.5.8)。法国生理学家，对化学、几何学、经济学及社会学都有很深的造诣。——译者

⑤ Wöhler, Friedrich, (1800.1.31—1882.9.23)。德国化学家。——译者

十九世纪，达尔文提出的进化论，孟德尔发现的遗传学的基本规律，奠定了科学生物学的基础。人们对生物学现象的研究，有力地冲击着物理学。能量守恒定律是由研究生理学和医学的迈耶^①和亥姆霍兹^②首先发现的。1841年，迈耶就注意到这样的事实：生活在热带地区人的静脉血颜色和动脉血颜色一样红润，他推断，当环境温度上升时，个体维持恒定体温只需较小的能量；由此他提出了能量守恒的普遍定律，还估算了热功当量的值，依照生机论的观点，生命现象是由科学认识无法进入的某种所谓的“活力”所决定的。亥姆霍兹认为生机论把永动机的属性归咎于生物体。他根据不可能存在这种永动机的观念，建立了一个物理学的问题，而且于1847年通过建立能量守恒定律解决了这个问题。十九世纪末期，用直接的定量实验，证明用热力学第一定律来表示的能量守恒定律，完全适用于生物体。现在我们可以理直气壮地说，如果说物理学把显微镜施舍给生物学，那么生物学却用能量守恒定律报答了物理学。

统计力学的创始人玻耳兹曼 (Boltzmann) 称十九世纪为达尔文的世纪，他研究了物理系统演化的力学依据问题。这种演化可用热力学第二定律来描述。根据第二定律，孤立物理系统总是朝着用最大无序性(最大熵)来表征的平衡态演化。

十九世纪后半叶和二十世纪初，人们对生理过程进行了一系列的物理学研究。其中尤其是亥姆霍兹，他在物理学的

① Mayer, Julius Robert (1814.11.25—1878.3.20)。德国物理学家和生理学家。他曾经测出热功当量为1千卡=365千克·米。离现在的数值1千卡=427千克·米不远。——译者

② Helmholtz, Hermann Von, (1821.8.31—1894.9.8)。德国生理学家和物理学家。对生理声学、生理光学、电动力学及流体力学都作出过重大贡献。——译者

基础上研究了视觉、听觉和肌肉收缩等。他又是头一个测量神经脉冲传播速度的人。1902年，伯恩斯坦 (Bernstein) 发现了生物电位，并且提出了神经兴奋的离子属性。科尔特索夫 (Koltsov) 是对遗传进行分子物理学解释(1928年)^[6]的创始人之一，他首次提出了基因的分子模型。鲍尔^① (Bauer) 是建议用热力学来解释生命的第一个人，他指出，生命就是开放的非平衡系统中发生的一连串过程^[7]。此后，伯塔兰弗 (Bertalanffy)、昂色格 (Onsager)、普里戈京 (Prigogine) 等人又发展了生物现象热力学。1930年，沃尔特拉 (Volterra) 对动物群体间相互作用的所谓“捕食者-被捕食者”模型作了数学上的分析^[8]。他的工作，是对生物过程进行现代物理化学数学模型分析的基础。在本书的后面几章中，我们要谈到生物热力学和数学模型。

1935年，德尔布吕克 (Delbrück)、蒂莫维也夫-里索夫斯基 (Tymofeev-Resovski) 及齐默 (Zimmer) 发现了突变的物理本质。1945年，量子力学创始人之一的薛定谔，发表了他的优秀杰作：《生命是什么？活细胞的物理学观》^[9]^②。这本书在推动分子生物学和生物物理学进展的过程中，起了很大的作用。同玻尔不同，薛定谔认为，对生命现象进行普遍的物理解释是可能的。他把生命现象归结为少数几个基本的物理问题，并且明确地解答了其中的一些问题。另外几个问题又由后来的分子生物学作出了回答。

① Bauer, Edmond, (1880.10.26—1963.10.18). 法国物理学家、物理化学家。他不但是实验物理学家皮兰 (Jean perrin) 的得力助手，曾在物理学家朗之万手下工作过多年，他对气体的光辐射研究得很深刻。他又是化学家能斯脱的忠实助手。——译者

② 有中译本，《生命是什么——活细胞的物理学观》，上海人民出版社，1973年12月出版。——译者