



空间流体科学 与空间材料科学

FLUID SCIENCES AND
MATERIALS SCIENCE IN SPACE

[德] H. J. 瓦尔特 主编

中国科学技术出版社

加强国际交流
发展空间科学

周光召
一九九一年五月五日

主要译审者

葛培文 王景涛

(以下按姓氏笔划为序)

许政一 李国栋 胡文瑞 张修睦

钟兴儒 唐棣生 顾本源 徐硕昌

潘厚任 霍崇儒

编辑人员

杜雅如 吴兰生 潘明祥 吕 进

原 序

加强欧洲与国际上的合作，促进空间飞行系统在研究和技术发展上的和平利用，是欧洲空间局（ESA）各项活动的根本出发点。ESA 的项目之一是微重力研究，这是一门新的学科，在欧洲已初具规模，一批有献身精神的科学家参与了此项研究工作。“挑战者”号航天飞机的失事，中断了最近几年的飞行，丧失了不少宝贵的机会。但是，不久的将来就要投入使用的国际空间站、新型发射装置和再入式运载工具，从长远看来，可望为微重力研究提供足够的机会。在这种局面出现之前，暂将利用能按抛物线轨迹飞行的飞机、探空火箭以及被推迟了的那些依赖于航天飞机的飞行任务，如 Spacelab D-2、IML 任务和 EURECA 1 来进行微重力的实验工作，以填补这段时间间隙，其工作量并不小。

为了在理论和实验设备两方面为今后的工作打好基础，现在对微重力研究的现状进行深入的分析是十分必要的。本书给出了这种分析。书中涉及到被认为确实与之有关的所有课题，除阐明了有必要进行微重力研究的那些主要原因之外，还回顾了已经进行过的那些实验的结果，并对今后的工作提出了建议。将近50位欧洲科学家参与了本书的编纂工作，应该非常感谢他们的奉献与合作。

本书表明，实验物理学的这个分支显然很值得科学界广泛注意。它具有很大的潜在的科学与技术效益，商业性的尝试看来也是可行的。不过对后者需持现实主义的态度，审慎从事。对此，我们在这本专著的最后一章作为展望加以探讨。在高技术系统中，材料是至关重要的，它们是保证工业化国家竞争力的关键因素之一。欧洲在这方面必须做出自己的贡献，而且要遵循始终如一的政策。

ESA 在其成员国全力支持下，目前正在为其微重力研究制定一个长远规划——“*In Orbit 2000*”。它涉及到科学规划、计划纲要和硬件的开发。然而微重力研究的进展，还得依靠高水平的科学家和工程师的积极参与，依靠他们的不断的刻苦工作。以空间为基地的科学，是一项要求投入大量人力物力的事业，需要一整套综合的基础设施。当然微重力研究也不例外。因此极为重要的是，要在地面做好一切准备工作以使空间进行的各种实验顺利进行。

我认为在充分开发利用欧洲空间站及开展各项微重力研究方面，本书是一个里程碑。

欧洲空间局地球观测和微重力部主任

Ph. Goldsmith

1987年6月于巴黎

中 译 本 序

科学是无国界的。同其他学科一样，发展空间科学也要借鉴各国的经验。欧空局H. U. Walter 博士主编的《空间流体科学与空间材料科学》一书，从理论和实践两方面，对1987年前各国的空间流体科学和材料科学实验进行了细致的分析和认真的总结，并对未来的发展方向及欧洲应采取的政策提出了建议。认真阅读这本书，便能对空间流体科学和空间材料科学及其发展状况有个概貌的了解，对于开展空间科学研究乃至制定实验计划都是很有益的。

任何一门科学的发展都是艰难的，常常要几代人贡献出他们的毕生精力，对于空间科学这样一门耗资甚巨的学科更是如此。只有年轻人的不断加入，空间科学才能一步接一步地发展。同时，空间科学又是一门涉及面甚广的交叉学科，它离不开相关学科的发展。空间科学的发展，需要从事各相关学科研究的科学家协同努力，需要他们取长补短，相互学习。这本书，为年轻人和从事相关学科研究的专家更快地深入空间科学研究，提供了方便。

在空间科学发展上，我国与发达国家有相当大的差距。我们国家还很穷，不可能像发达国家那样花费很多的经费来发展空间科学研究。这就要求我们更合理地开展空间科学研究，紧紧抓住微重力对各种自然现象的影响及其提供的机会这一根本问题，科学地安排计划。要做到科学地进行研究就要学习，我希望有关研究人员要注重学习，特别年轻人要打好扎实的基础。

学习离不开书。大家知道，目前出版学术著作很难。因此，这本书的翻译审校人员不但要斟酌译文，还要为书的出版而奔走，做了大量的工作。他们的辛劳没有白费，在各方面的支持下中译本终于出版了。需要创造一个学术著作较易出版的局面，活跃学术气氛，繁荣科学事业。

历史上我们的祖先曾对世界科学发展作出过不可磨灭的贡献。40多年来我们也创造了不少值得自豪的成就。我国在自己的返回式卫星上进行了几轮空间科学实验，取得了一批出色的研究成果。我相信经过几代人的不懈努力，我们一定会在空间科学研究上创造新的成就，对人类做出应有的贡献。

林兰英

原书主编为中译本所写的序言

实验物理学的发展同技术进步密切相关。空间技术使科学研究人员在人类历史上首次摆脱地球重力场的影响，并在接近无重力的环境里研究物理现象。

重力在我们这个星球的生命演化中起了决定性作用，它影响、支配大量过程，尤其是流体中热和物质的输运。

因此，空间环境作为研究广泛的各类问题的新工具受到科学界的关注，在未来的工业研究与开发中，它还可能发展成为一种有效工具。

然而，当前所关切的是充分地利用难得的飞行机会，这就要求国际科学界和协调机构一起协调有关研究计划。所以中国科学院（有关科学工作者）将本书译成中文，使其便于中国读者阅读，是值得高度赞赏的。科学无国界，国际交流与合作上的共同努力极其重要。

H. U. Walter

于法国巴黎，1990. 11

说明和致谢

1986年挑战者号失事,使微重力科学研究受到一定挫折。这一方面延误了空间科学实验的进程,另一方面也为微重力科学研究的分析和回顾提供了时间。正是在这时,欧洲空间局组织50位科学家,在 H. U. Walter 博士主持下,撰写了《空间流体科学与空间材料科学》这一专著。该书由空间环境、流体科学(流体物理和物理化学)、材料科学(晶体生长,合金、复合材料与玻璃)和微重力限度分析与应用前景等四部分组成,计19章,详细论述了微重力科学研究发展的各个方面。书的每一章均包括引言、基础理论、地面研究状况、重要空间实验的分析和今后工作建议几部分,尽管由50位专家分头完成,仍然浑为一体。这本专著,无论在所取资料的丰富程度上,还是分析、论述的科学性和系统性上,都为这一领域的其他论著所不及。它不但可以作为入门学习的教材,而且是研究工作中难得的综合性文献,对于制定研究计划也有参考价值。

该书于1987年12月出版。1988年夏末秋初,中国科学院一些活跃在空间科学领域的研究人员便建议将此书译成中文。建议得到“863”航天领域专家委员会屠善澄教授的赞许和支持。此后,中国科学院数理化局和国家科委基础研究与高技术司詹文山、马俊如二位教授也表示支持。这样便开始了书的翻译工作。由于空间科学涉及众多的相关学科,由少数人来翻译欧洲不同学科50位专家合作完成的专著是很困难的。为此,译书也采取分章负责,合作完成的办法。每章都由该相关学科的研究人员来译校,然后由译审小组进行复核。参加本书译、校、编、审工作的计有中国科学院物理所、力学所、沈阳金属所、半导体所、空间中心、生物物理所和空间办公室等7个单位的30多位研究人员,尽管我们作了努力,译文中错误和不妥之处还是难免的,欢迎读者指正。

学术著作出版困难是众所周知的。译书是在各方面的支持下出版的。对本书翻译出版给予多方支持的专家和领导,除前提到者外,还有林兰英、谈镐生、舒昌廉、林泉、聂玉昕、吴本浔、田锡亭、郑立中、陈熙琛、陈佳圭、王文魁和刘培铭等。在此,我们代表全体译校编审人员对他们致以深切的谢意。

需要特别提出的是,原书的主编 H. U. Walter 博士,不但支持我们将此书译成中文,而且为中译本写了充满友情的序言。我们对 H. U. Walter 博士表示衷心的感谢。

葛培文 王景涛

目 录

第1章 地球轨道飞行系统的环境

H. Hamacher, B. Fitton, J. Kingdon	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 低重力模拟	(2)
1.2.1 失重模拟	(2)
1.2.2 轨道飞行	(2)
1.2.2.1 圆轨道上的航天器	(2)
1.2.2.2 航天器中的实际重力环境	(2)
1.2.2.3 例证研究: 轨道器/空间实验室系统的微重力环境	(11)
1.2.3 其它自由落体方法	(15)
1.2.3.1 探空火箭	(15)
1.2.3.2 试验飞机	(16)
1.2.3.3 落管和落塔	(16)
1.3 大气状态, 辐射和高能粒子	(17)
1.3.1 引言	(17)
1.3.2 辐射环境	(20)
1.3.3 大气环境	(23)
1.3.4 高能粒子环境	(30)
1.4 结论	(40)
1.5 参考文献	(40)

第一部分 流体科学

流体物理

第2章 流体静力学和毛细现象

I. Martinez, J. M. Haynes, D. Langbein	(49)
2.1 引言	(49)
2.2 基础物理	(50)
2.2.1 重力的影响	(50)
2.2.2 界面的宏观和微观观点	(50)
2.2.3 Gibbs 模型的热力学	(51)
2.2.4 毛细平衡	(52)
2.2.5 毛细稳定性	(55)
2.2.6 旋转稳定性	(57)
2.2.7 临界润湿	(59)

2.2.8 荷电界面	(60)
2.3 微重力实验的一些结果	(60)
2.3.1 静平衡及稳定性	(60)
2.3.2 旋转和振荡	(61)
2.3.3 临界润湿	(62)
2.3.4 荷电界面	(64)
2.4 今后的展望	(65)
2.4.1 当前的课题	(65)
2.4.2 将来的研究课题	(66)
2.4.3 总评	(68)
2.5 参考文献	(69)

第3章 流体动力学

J. C. Legros, A. Sanfeld, M. G. Velarde	(72)
3.1 引言	(72)
3.2 惯性力, 内力和外力	(73)
3.3 动量方程	(73)
3.3.1 理想流体	(73)
3.3.2 动量方程	(74)
3.3.3 Navier—Stokes 方程	(75)
3.3.4 不同流动项的物理意义	(75)
3.3.5 重力的影响	(75)
3.3.5.1 流体静力学压力分布	(75)
3.3.5.2 力学稳定性	(76)
3.3.5.3 流函数	(77)
3.3.5.4 表面形状	(77)
3.3.5.5 理想流体中的重力波	(77)
3.3.5.6 理想流体的特殊情形	(78)
3.3.5.7 重力对粘性流体的影响	(79)
3.4 相似定律	(81)
3.5 表面力和流体动力学不稳定性	(83)
3.5.1 传热	(83)
3.5.2 Laplace 定律	(83)
3.5.3 重力对液膜形状的影响	(84)
3.5.4 毛细波	(85)
3.5.5 毛细重力波	(86)
3.5.6 Rayleigh-Bénard 不稳定性	(87)
3.5.7 二组元 Rayleigh-Bénard 对流	(89)
3.5.8 定常胞 Marangoni-Bénard 对流 (热毛细流)	(90)
3.5.9 有界面变形的振荡 Marangoni-Bénard 对流	(91)
3.5.10 纯流体的 Rayleigh-Taylor 不稳定性	(92)
3.5.10.1 无粘性流体	(92)
3.5.10.2 不溶混的无粘性均匀流体	(92)

3.5.10.3	密度为指数变化的无粘性流体	(93)
3.5.10.4	被水平边界分开的两种均匀粘性流体	(93)
3.5.10.5	均匀旋转	(93)
3.5.11	Kelvin-Helmholtz 不稳定性	(94)
3.5.11.1	作相对运动的两种无粘性均匀流体	(94)
3.5.11.2	速度连续变化的过渡层	(95)
3.5.11.3	密度和速度连续分布的不可压缩流体	(95)
3.5.12	机械-扩散不稳定性	(96)
3.5.12.1	基本方程	(96)
3.5.12.2	平面界面的稳定性准则	(100)
3.5.12.3	球形界面的稳定性准则	(97)
3.5.13	机械-化学反应	(100)
3.5.13.1	等温表面反应	(100)
3.5.13.2	在等温层中的反应	(101)
3.6	在微重力条件下流体动力学实验的某些结果	(102)
3.7	结论	(105)
3.8	附录: 一些无量纲参数及其与空间流体动力学的关联	(106)
3.9	参考文献	(110)

物理化学

第4章 物理化学——综述和实验举例

J. Richter, H. Behret	(114)
4.1 引言	(114)
4.2 当前微重力研究计划	(115)
4.2.1 热力学和输运特性	(116)
4.2.2 相变和近临界点现象	(117)
4.2.3 润湿和吸附现象, 成核和老化	(117)
4.2.4 燃烧和化学反应	(118)
4.3 其它前景	(119)
4.3.1 驰豫现象	(119)
4.3.2 应用电化学和实验技术	(122)
4.4 结论和展望	(126)
4.5 参考文献	(127)

第5章 扩散引起的质量输运

Y. Malméjac, G. Froberg	(129)
5.1 引言	(129)
5.2 微重力	(130)
5.2.1 优点	(130)
5.2.1.1 非均匀扩散 (Heterodiffusion)	(130)
5.2.1.2 自扩散	(131)
5.2.1.3 热输运	(133)

5.2.1.4	电输运	(134)
5.2.2	问题	(135)
5.2.2.1	宏观对流和微观对流	(136)
5.2.2.2	Marangoni 对流	(136)
5.2.2.3	自由体积	(137)
5.2.2.4	分凝的影响	(137)
5.2.2.5	壁效应	(138)
5.2.2.6	时间-温度边界条件	(138)
5.2.2.7	几何边界条件	(139)
5.3	实验结果	(140)
5.3.1	实验技术	(140)
5.3.2	分析方法	(141)
5.3.3	主要结果	(141)
5.3.4	扩散数据	(149)
5.4	前景展望	(149)
5.5	参考文献	(150)

第6章 润湿和吸附现象

G. H. Findenegg, M. M. Telo da Gama	(154)
6.1 引言	(154)
6.2 界面重力效应	(154)
6.2.1 液-汽界面	(154)
6.2.2 润湿和接触角	(156)
6.2.3 润湿转变	(157)
6.2.4 临界吸附	(160)
6.3 理论基础	(161)
6.3.1 朗道理论	(161)
6.3.1.1 两共存相之间的界面	(162)
6.3.1.2 润湿和润湿转变	(162)
6.3.1.3 标度	(164)
6.3.1.4 临界端点行为	(164)
6.3.2 其它理论	(165)
6.3.2.1 具有长程相互作用系统的平均场理论	(165)
6.3.2.2 超平均场理论	(166)
6.4 实验情况	(168)
6.4.1 润湿层厚度	(169)
6.4.2 临界吸附	(170)
6.5 展望	(171)
6.6 参考文献	(173)

第7章 相变和近临界现象

D. Beysens, J. Straub, D. J. Turner	(177)
7.1 引言	(177)

7.2	基础知识	(178)
7.2.1	相变热力学	(178)
7.2.2	经典描述; 平均场理论	(180)
7.2.3	标度律	(181)
7.2.4	涨落和相关	(183)
7.2.5	重整化群法	(184)
7.2.6	输运性质	(185)
7.2.7	趋近平衡态的过程	(186)
7.2.8	相分离过程, 成核和拐点 (Spinodal) 分解	(187)
7.2.9	吸附和润湿	(188)
7.2.9.1	两相区内的润湿	(188)
7.2.9.2	单相区内的预润湿	(189)
7.2.9.3	临界点附近的临界吸附	(189)
7.2.10	氦的 λ -点	(189)
7.2.11	电解质溶液	(189)
7.3	为什么要用微重力条件	(190)
7.3.1	压缩率的影响	(190)
7.3.2	等容热膨胀系数的影响	(191)
7.3.3	相分离过程	(191)
7.3.4	润湿层	(192)
7.3.5	界面稳定性和界面波	(192)
7.4	实验研究状况	(193)
7.4.1	液-汽相变中的比热	(193)
7.4.2	相分离过程	(194)
7.4.2.1	近临界 SF_6 的相分离和相混合	(194)
7.4.2.2	微重力环境下近临界点的密度分布	(195)
7.4.2.3	异丁酸与水的临界混合物的相分离	(195)
7.4.2.4	环己烷-甲醇及其氘代衍生物的临界与近临界混合物的相分离	(195)
7.4.2.5	水聚合物的混合物在搅动后的相分离	(196)
7.4.3	盐水溶液	(198)
7.5	展望	(198)
7.5.1	热力学平衡性质	(198)
7.5.2	趋向平衡 (纯流体)	(199)
7.5.3	输运性质	(199)
7.5.4	相分离过程	(199)
7.5.5	界面现象	(199)
7.5.6	电解溶液	(199)
7.6	参考文献	(199)
第8章	化学体系呈现的图案	(204)
A. Bewersdorff, P. Borkmans, S. C. Müller		
8.1	现象的描述和定义	(204)

8.2 理论概念	(205)
8.2.1 化学不稳定性	(205)
8.2.2 反应-扩散系统	(206)
8.2.3 附加的流体流和重力	(210)
8.3 实验证据	(210)
8.3.1 化学波	(211)
8.3.2 沉淀图案	(214)
8.3.3 对流的影响	(215)
8.3.3.1 流体动力系的流动	(215)
8.3.3.2 界面不稳定性	(217)
8.4 应用	(218)
8.4.1 无生命的自然界	(219)
8.4.2 生物学	(221)
8.4.2.1 两极分化和器官形成	(221)
8.4.2.2 膜功能的控制	(221)
8.4.2.3 节律	(221)
8.4.2.4 运动	(222)
8.4.3 互关联	(223)
8.5 微重力实验的途径	(223)
8.6 参考文献	(224)

第9章 燃烧

J. J. Dordain, F. C. Lockwood	(230)
9.1 引言	(230)
9.2 基本考虑	(231)
9.2.1 燃烧过程	(231)
9.2.2 燃烧流动中的时间尺度	(231)
9.2.3 燃烧流场的特征	(232)
9.3 实验的局限性及其解决	(233)
9.3.1 对燃烧现象的认识现状	(233)
9.3.2 减小自然对流的方法	(234)
9.3.2.1 小型化	(234)
9.3.2.2 减小密度差	(234)
9.3.2.3 减小重力	(235)
9.4 微重力的应用	(235)
9.4.1 一般兴趣	(235)
9.4.2 微重力条件下的液滴燃烧	(236)
9.4.3 沿固体表面的火焰扩展	(237)
9.5 结论性说明	(238)
9.6 参考文献	(240)

第二部分 材料科学

晶体生长

第10章 晶体的熔体生长

D. T. J. Hule, G. Müller, R. Nitsche	(245)
10.1 引言	(245)
10.2 地面工艺及其与重力相关的局限性	(245)
10.2.1 常用的晶体生长技术	(245)
10.2.2 化学的和结构的不完整性	(248)
10.2.2.1 引言	(248)
10.2.2.2 重力引起的不完整性	(249)
10.2.2.3 非重力引入的缺陷	(252)
10.3 基本概念	(256)
10.3.1 引言	(256)
10.3.2 浮力驱动的对流	(256)
10.3.2.1 稳态浮力驱动的对流	(256)
10.3.2.2 向新的流动过渡	(257)
10.3.2.3 随时间而变化的对流	(258)
10.3.2.4 磁场效应	(258)
10.3.3 Marangoni 对流	(258)
10.3.3.1 引言	(258)
10.3.3.2 无坩埚区熔中的对流	(259)
10.3.3.3 在微重力下 Marangoni-浮力对流的不稳定性	(259)
10.3.4 晶体/熔体界面的扰动	(259)
10.3.4.1 溶质条纹的产生	(259)
10.3.4.2 晶体形态的不稳定性-对流的不稳定性	(260)
10.4 微重力的潜力	(260)
10.4.1 微重力的特性	(260)
10.4.1.1 浮力驱动对流的消失	(260)
10.4.1.2 流体静压力的消失	(261)
10.4.2 一个新的研究环境:感兴趣的领域	(261)
10.4.2.1 基础研究:验证理论模型	(261)
10.4.2.2 材料参量的准确测定	(262)
10.4.2.3 重力掩蔽效应的研究	(262)
10.4.2.4 与空间相关的生长技术的发展	(262)
10.4.2.5 研究样品的制备	(264)
10.5 空间实验结果	(264)
10.5.1 引言	(264)
10.5.2 降低结构缺陷数量	(265)
10.5.2.1 降低位错密度	(266)

10.5.2.2	减少孪晶和晶界的数目	(266)
10.5.2.3	单晶度的改善	(266)
10.5.3	宏观化学均匀性	(266)
10.5.4	微观化学均匀性	(267)
10.5.5	时间相关的 Marangoni 对流引起的溶质分凝	(268)
10.5.5.1	浮区硅中的条纹	(268)
10.5.5.2	通过表面敷层抑制条纹	(268)
10.5.5.3	锗的区熔生长	(269)
10.5.5.4	无器壁凝固的 InSb 中的条纹	(269)
10.5.6	无容器结晶试验	(270)
10.5.6.1	加籽晶的液滴凝固	(271)
10.5.6.2	浮区结晶	(271)
10.6	展望	(272)
10.6.1	引言	(272)
10.6.2	将来的科学活动	(272)
10.6.2.1	材料	(272)
10.6.2.2	基础研究课题	(272)
10.6.2.3	发展新的生长技术	(273)
10.6.2.4	用于地面研究和技术的样品生长	(273)
10.6.3	研究政策	(273)
10.6.4	设备	(273)
10.6.4.1	简述	(273)
10.6.4.2	晶体生长实验的自动化	(273)
10.7	参考文献	(274)

第11章 晶体的汽相生长

E. Kaldis, R. Cadoret, E. Schönherr	(279)
11.1 引言	(279)
11.2 汽相中的物理输运 (PVT) —— 理论基础	(281)
11.2.1 成核和生长动力学	(281)
11.2.1.1 过饱和	(281)
11.2.1.2 连续生长与薄膜沉积	(282)
11.2.1.3 横向生长	(284)
11.2.2 质量输运	(287)
11.2.2.1 圆柱形安瓿中的扩散输运——平流	(288)
11.2.2.2 圆柱形安瓿中的自由对流	(291)
11.2.2.3 表面动力学与输运的互作用	(294)
11.3 实验研究	(299)
11.3.1 质量输运	(299)
11.3.1.1 引言	(299)
11.3.1.2 在密闭安瓿中杂质的分压	(299)
11.3.2 地面的汽相生长研究: 典型物质 α -HgI ₂	(301)
11.3.2.1 生长速率	(301)

11.3.2.2	生长速率和晶形与取向的关系	(309)
11.3.3	在空间完成的汽相生长实验	(312)
11.4	微重力条件下未来可做的实验	(317)
11.5	结论和建议	(318)
11.6	参考文献	(319)
 第12章 溶液晶体生长		
A. Authier, K. W. Bena, M. C. Robert, F. Wallrafen		(321)
12.1	引言	(321)
12.2	基础知识——溶液生长中的对流现象	(322)
12.2.1	引言	(322)
12.2.1.1	固-液界面	(322)
12.2.1.2	流体动力学	(323)
12.2.1.3	输运现象	(324)
12.3	高温溶液生长	(328)
12.3.1	非金属溶液(助溶剂法)晶体生长	(328)
12.3.1.1	实验设备	(328)
12.3.1.2	品质鉴定	(330)
12.3.1.3	结论	(333)
12.3.2	金属溶液中的电子材料生长	(334)
12.3.2.1	基本概念	(334)
12.3.2.2	二元系 III-V 族半导体的空间 THM 法晶体生长	(335)
12.3.2.3	空间二元系和三元系 II-VI 族化合物晶体生长	(338)
12.3.2.4	结论	(338)
12.4	低温溶液生长	(338)
12.4.1	引言	(338)
12.4.2	低溶解度材料	(339)
12.4.2.1	基本问题	(339)
12.4.2.2	空间实验	(339)
12.4.2.3	讨论	(342)
12.4.3	高溶解度材料	(343)
12.4.3.1	基本问题	(343)
12.4.3.2	空间实验	(345)
12.4.3.3	讨论	(347)
12.4.4	结论	(348)
12.5	结论	(348)
12.5.1	过去的结果	(348)
12.5.2	空间实验范围的划定	(349)
12.5.3	晶体材料及生长方法的选择	(349)
12.5.4	前景	(350)
12.5.4.1	短期目标	(350)
12.5.4.2	中期和长期目标	(350)
12.6	参考文献	(351)

第13章 生物材料的晶体生长

J. Drenth, J. R. Helliwell, W. Littke	(358)
13.1 引言	(358)
13.2 为什么生物材料的结晶是重要的	(359)
13.2.1 为什么我们要了解生物结构	(359)
13.2.2 X射线衍射和结晶	(360)
13.2.3 迄今用结构分析获得的成果及可能的应用	(360)
13.2.4 小结	(361)
13.3 蛋白质晶体学应用的工具	(361)
13.3.1 同步辐射	(362)
13.3.2 探测器	(362)
13.3.3 中子源	(363)
13.3.4 计算机	(363)
13.3.5 小结	(364)
13.4 地面上的蛋白质结晶	(364)
13.4.1 原理	(364)
13.4.1.1 蛋白质溶解度的降低	(364)
13.4.1.2 排斥力和吸引力	(364)
13.4.1.3 蛋白质结晶实验中各种因素的小结	(364)
13.4.2 实际的考虑	(365)
13.5 微重力	(365)
13.5.1 欧洲在微重力条件下进行的蛋白质单晶生长实验	(365)
13.5.2 NASA 进行的微重力下单晶体生长实验	(371)
13.5.2.1 概述空间对蛋白质晶体生长的优越性	(371)
13.5.2.2 用于空间实验的蛋白质结晶技术	(371)
13.5.2.3 硬件设计的细节	(371)
13.5.2.4 结果	(372)
13.5.2.5 小结	(372)
13.6 晶体质量的评定	(373)
13.7 建议	(374)
13.8 参考文献	(375)

金属, 复合材料和玻璃

第14章 金属及合金

J. J. Favier, J. D. Hunt, P. R. Sahm	(378)
14.1 引言	(378)
14.2 过冷熔体与成核	(378)
14.2.1 概述	(379)
14.2.2 基本情况	(379)
14.2.3 与应用的联系	(382)
14.3 凝固理论	(384)