



国防科技著作精品译丛



Scattering, Absorption,
and Emission of Light by Small Particles

微粒的光散射、 吸收和发射

【美】 Michael I. Mishchenko Larry D. Travis Andrew A. Lacis 著
王江安 吴荣华 马治国 宗思光 曹静 译

NASA Goddard Institute for Space Studies, New York



国防工业出版社
National Defense Industry Press

013059903

0436.2
01



装备科技译著出版基金

微粒的光散射、吸收和发射

Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles

[美] Michael I. Mishchenko Larry D. Travis 著
Andrew A. Lacis
王江安 吴荣华 马治国 宗思光 曹 静 译

NASA Goddard Institute for Space Studies, New York



国防工业出版社
National Defense Industry Press



北航

C1666153

0436.2
01

著作权合同登记 图字: 军 -2011 -028 号

图书在版编目 (CIP) 数据

微粒的光散射、吸收和发射 / (美) 米先科 (Mishchenko, M. I.), (美) 特拉维斯 (Travis, L. D.), (美) 拉齐斯 (Lacis, A. A.) 著; 王江安等译. — 北京: 国防工业出版社, 2013.6
书名原文: Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles
ISBN 978-7-118-07850-3

I. ①微… II. ①米… ②特… ③拉… ④王… III. ①光散射②光吸收 IV. ①0436.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第060331号

Translation from English language edition:

Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles by Michael I. Mishchenko, Larry D. Travis, Andrew A. Lacis

ISBN 978-0-521-78252-4

Copyright © 2002 NASA

All Rights Reserved.

版权所有, 侵权必究。

微粒的光散射、吸收和发射

[美] Michael I. Mishchenko Larry D. Travis Andrew A. Lacis 著
王江安 吴荣华 马治国 宗思光 曹 静 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限公司印刷

开 本 700 × 1000 1/16

插 页 16

印 张 27 1/2

字 数 438 千字

版 印 次 2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2000 册

定 价 138.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

译者序

微粒的光散射、吸收和发射特性,在光学、电磁学、光电工程、生物医学光学、大气辐射和遥感、气候研究、雷达气象学、行星物理、海洋学以及天体物理学等众多研究领域得到广泛的应用。由于工作上的需要,接触到 Michael I. Mishchenko、Larry D. Travis 和 Andrew A. Lacis 合著的《Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles》一书。这是一部讨论微粒的光散射和吸收特性问题的专著,在同类专著中很具有代表性,可以说是集大成者。该书内容广泛,从理论、技术到应用,无一不全,实在是从事相关研究工作的良好参考书。作者长期从事微粒的光散射、吸收和发射特性的理论研究和实际测量工作,具有丰富的理论和实践经验。鉴于国内还没有这方面的专著,认识到它的重要参考价值,于是我们决心翻译出来,方便各位同行参考。如果我们的译文能够起到抛砖引玉的作用,那将不胜荣幸。

本书非常系统、全面地对微粒的光散射、吸收和发射特性进行了介绍,包括所应用到的基础理论、计算方法、测量基础等,还对工程技术中遇到的实际问题进行了举例分析。全书共有三个部分:第一部分介绍电磁散射、吸收和发射的基本理论,由吴荣华负责翻译;第二部分介绍微粒散射和吸收特性的计算和测量,由马治国负责翻译;第三部分介绍微粒和散射吸收特性的有关应用,由宗思光、曹静负责翻译。全书由王江安审阅、校订。王江安老师的研究生参与了部分翻译工作,在此一并表示感谢。本书的专业术语涉及光学、物理学、电磁学等多个学科领域,有的名词还没有统一的

译法, 中文译名是在多方商讨后才确定下来的。由于水平和时间有限, 对原文的理解和翻译会存在不足, 这方面内容涉及面又很广, 译文难免会有错误或不当之处, 敬请各位读者批评指正。

译 者

2013 年 2 月

前言

微粒对光和其它电磁辐射的散射、吸收和发射现象是普遍存在的,也是许多科学技术学科的核心所在。太阳光通过地球大气,被大气分子以及悬浮粒子所散射,这才有了蓝天、白云以及各种光学现象,例如彩虹、日冕、宝光以及光晕等。通过散射和吸收,太阳辐射以及下伏面、云层、气溶胶粒子发出的辐射影响地球辐射平衡。

本书试图对微粒电磁散射、吸收和发射方面的最新理论和方法进行全面阐述。本书主要包括以下几个方面:

- 介绍了任意形状、任意取向的粒子对光或其它电磁辐射的散射、吸收和发射理论;
- 讨论了辐射传输理论与麦克斯韦方程的单次散射解之间的关系;
- 对计算任意形状微粒的散射、吸收和发射特性的精确理论方法和计算机代码进行讲解;
- 讲述了微粒的散射和吸收特性是如何依赖于粒子尺寸、折射率、形状和取向的;
- 阐述已知的高效、高精度理论和试验方法以及高速科学工作站如何在物理学中广泛运用。

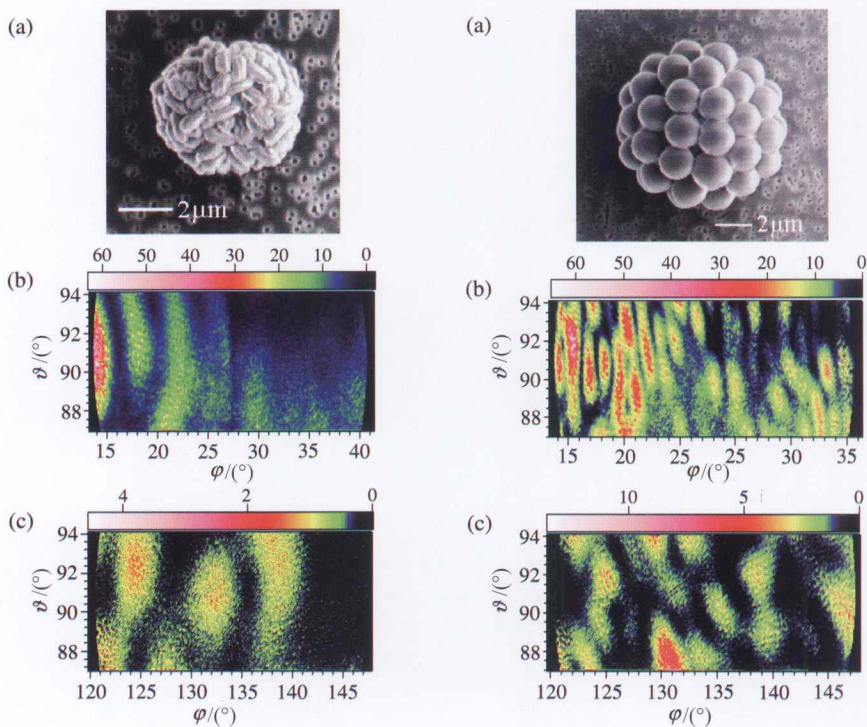
本书主要面向科技工作者、工程师以及研究生,覆盖广大的技术领域,如光学、电磁学、光电工程、生物医学光学、大气辐射和遥感、气候研究、雷达气象学、行星物理、海洋学以及天体物理学。要求读者具备经典电磁学、光学以及矢量微积分方面的基础知识。尽管本书在形式上不是一本正规的教材,但仍然可以作为相关研究生课程的补充。

有关于电磁散射的文献在关系的定义和使用上都缺乏连贯性和一致性,其中比较普遍的分歧就是右旋坐标系与左旋坐标系的应用,时谐因子 $\exp(-i\omega t)$ 与 $\exp(i\omega t)$,以及旋转角的定义方式。由于广泛采用了量子理论转动矩的数学方法,以及力图使本书前后具有一致性,因此本书始终采用右旋(球)坐标系,并且始终将从旋转轴的正向(或者光线的传播方向)看过去顺时针旋转的旋转角为正。本书采用了与大部分文献相同的时谐因子 $\exp(-i\omega t)$,且相对折射率的虚部为非负值。

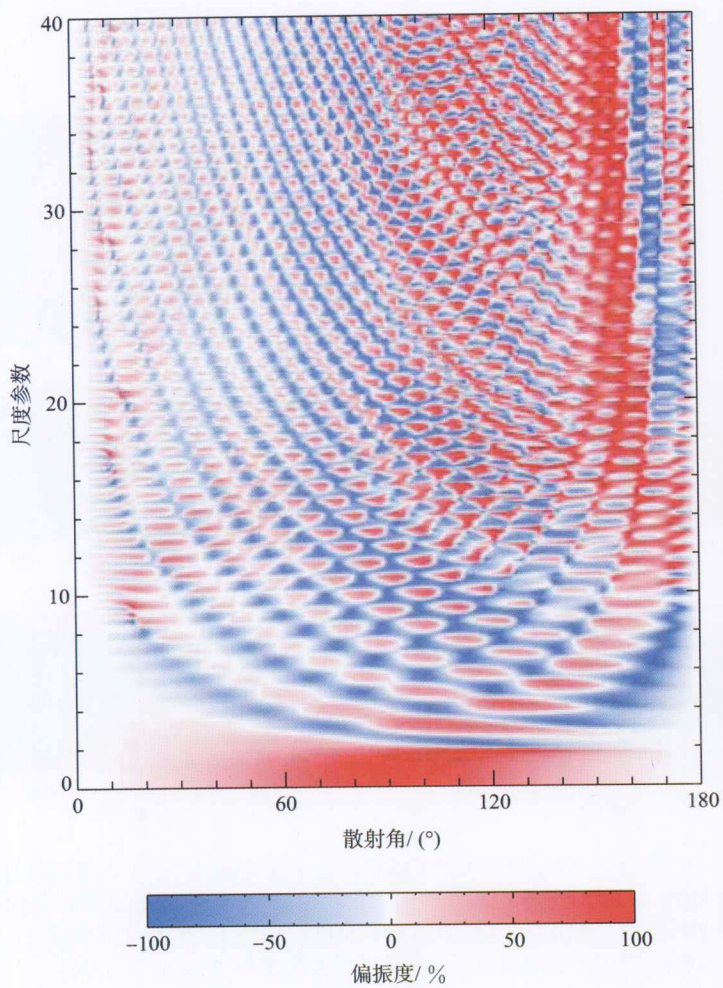
由于电磁散射问题包含很多学科,因此要想采用一种清晰和准确的符号系统是十分困难的。在很多情况下,在一个学科中对于一个量的惯常符号表述方法与另外一个学科中的一个不同量的符号表述方法是一样的。尽管我们努力使每个变量具有独特的与传统符号表述一致的符号,本书中仍然有同一个符号代表多个变量的情况。尽管如此,我们希望所有变量的含义能够从上下文中明了,我们将矢量用粗体,矩阵用斜体加粗表示,单位矢量用补注号表示,而张量和并矢用并矢标志 $\leftrightarrow$ 表示。斜体通常来表示标量。 -1 的平方根、自然对数的底和微分符号分别用字母 i 、 e 和 d 表示。为了帮助读者查询,在本书末尾的符号表列出了各符号的含义和单位,以及在本书中首次出现的位置。

我们并非试图编写一份相关出版物的全面名单,并经常引用一本书或一篇文章,在这些书或文章中可以找到进一步的参考文献。在这方面,应该特别提出两本书,由 Kerker (1969) 所著的专题文章提供了一个清单,该清单列举了近千份出版于 1970 年前的关于光散射的文件,而最近一本由 Mishchenko 等 (2000a) 编著的书列出了近 1400 个出版物,这些出版物涉及到被非球体粒子和异质粒子散射的电磁波的各个方面。

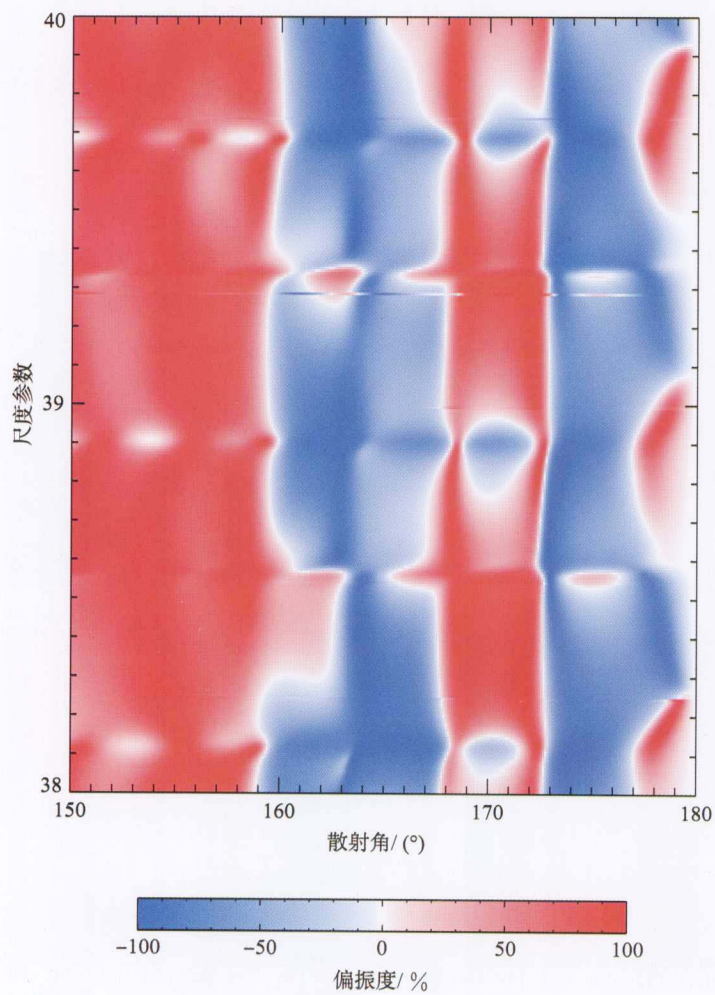
我们将参考文献录入到许多相关计算机程序中,使其在网上公开可用,这些程序是由各种研究小组及个人,包括我们自己在内开发的。这些程序很容易访问,无论是对于那些主要对应用感兴趣的个人,还是对于那些寻求基准结果来测试他们自己代码资源的人们,都是有益的。虽然这些程序大多数已经过广泛测试,只要它们是按照指令使用,在大多数情况下就应该生成可靠的结果,但是部分也可能存在疏漏和特殊情况。而且,值域以外的输入参数适用于计算准确的结果。基于这些原因,本书作者以及出版商表示,对于因程序使用所造成的损坏将不负任何责任。此外,尽管出版商和作者尽最大努力来确保本书所提到的外部网站的 URL 在即将出版时是正确的和有效的,但出版商和作者对网站不负有责任,且不能保证网站是可用的,也不能保证内容现在或将来持续恰当。



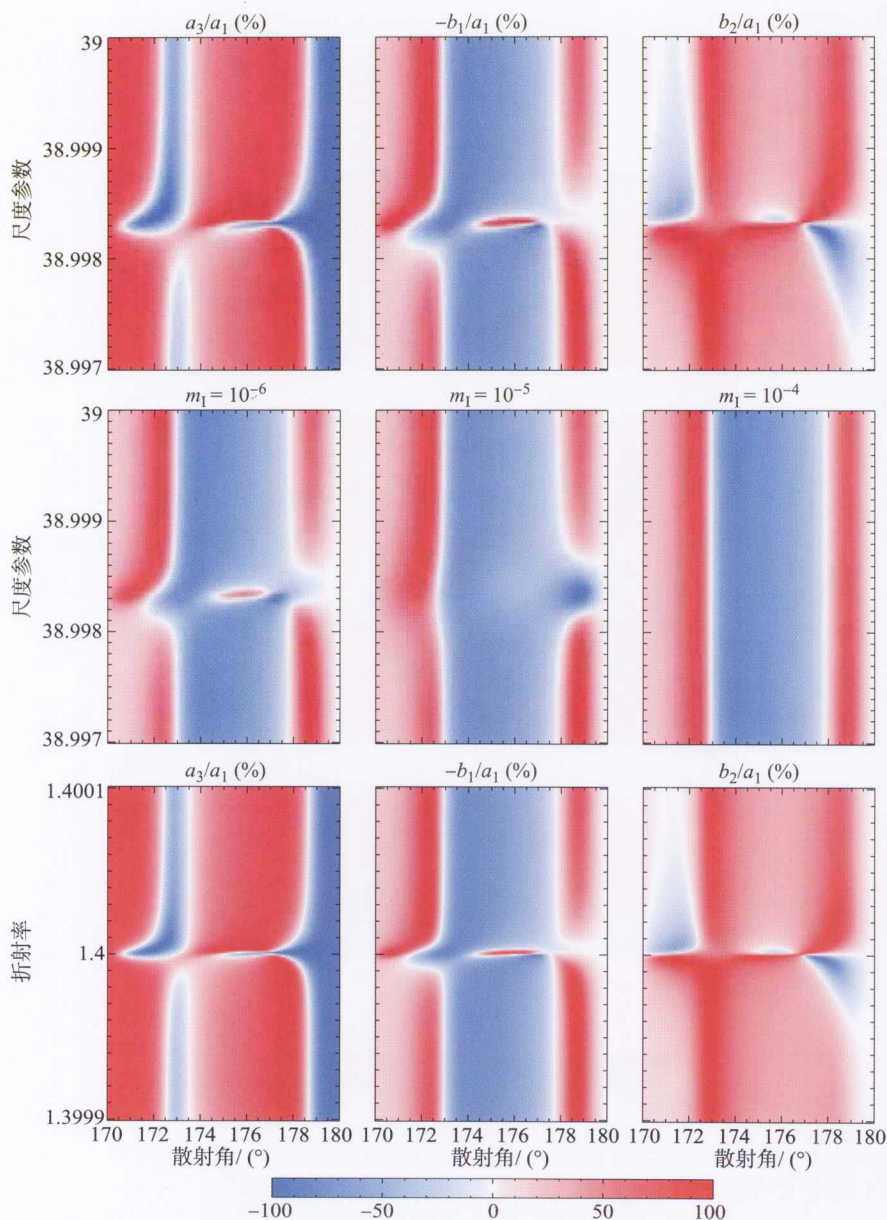
彩图 8.1 左图: (a) 一簇枯草杆菌孢子的扫描电子显微镜图片; (b) 近前向散射强度的空间角分布图; (c) 近后向散射强度的空间角分布图。粒子采用激光照明, 其出射方向沿实验室坐标系的 x 轴正向 各图中的水平轴和垂直轴分别表示散射方向的方位角和天顶角。右图: 同左图, 但散射粒子为聚苯乙烯胶乳微粒 (Holler 等, 1998)



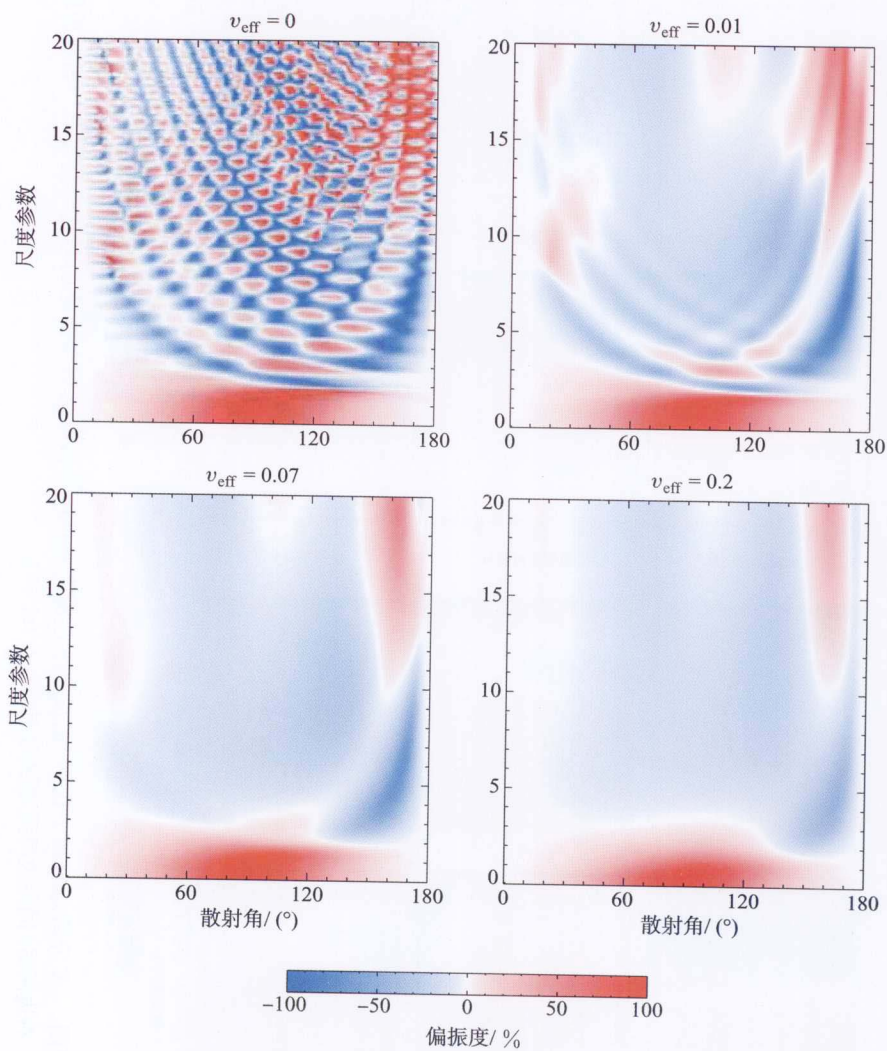
彩图 9.1 相对折射率 $m = 1.4$ 的单分散球形颗粒线性偏振度 $P_Q = -b_1/a_1$ 的低分辨率彩色图像



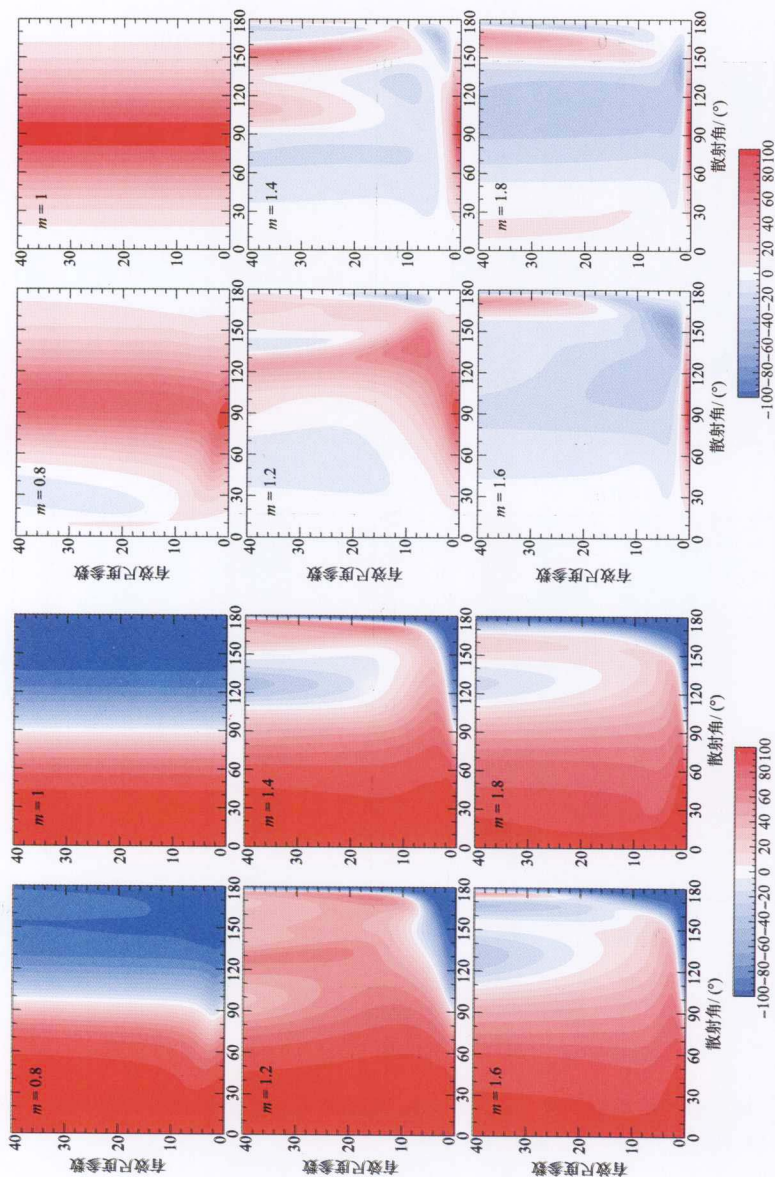
彩图 9.2 同彩图 9.1, 但分辨率更高



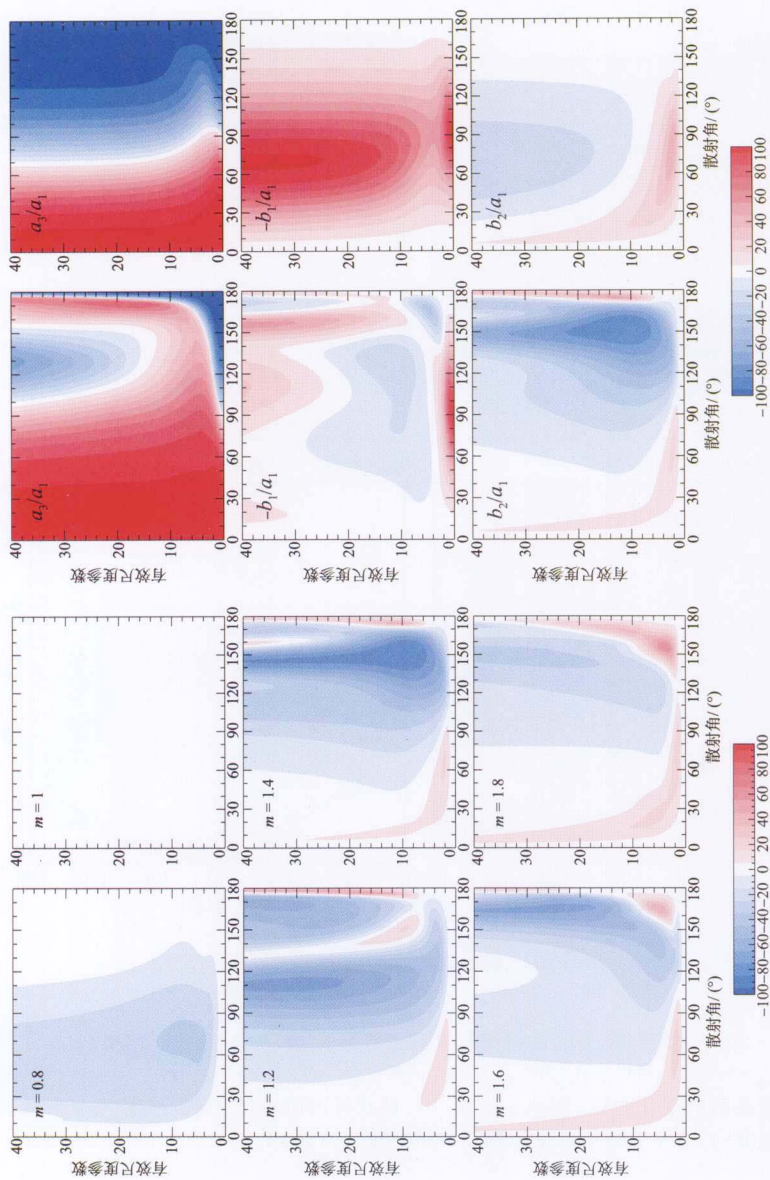
彩图 9.3 上面三图: 斯托克斯散射矩阵元素比率 a_3/a_1 、 $-b_1/a_1$ 和 b_2/a_1 在超窄共振区 $x \approx 38.9983$ 的高分辨率图像, $m = 1.4$; 中间三图: 同上, 但对于 $m_1 = 10^{-6}$ 、 10^{-5} 、 10^{-4} 时的比率 $-b_1/a_1$; 下面三图: 比率 a_3/a_1 、 $-b_1/a_1$ 和 b_2/a_1 随 θ 和 m_R 的变化, $x = 38.9983$, $m_1 = 0$



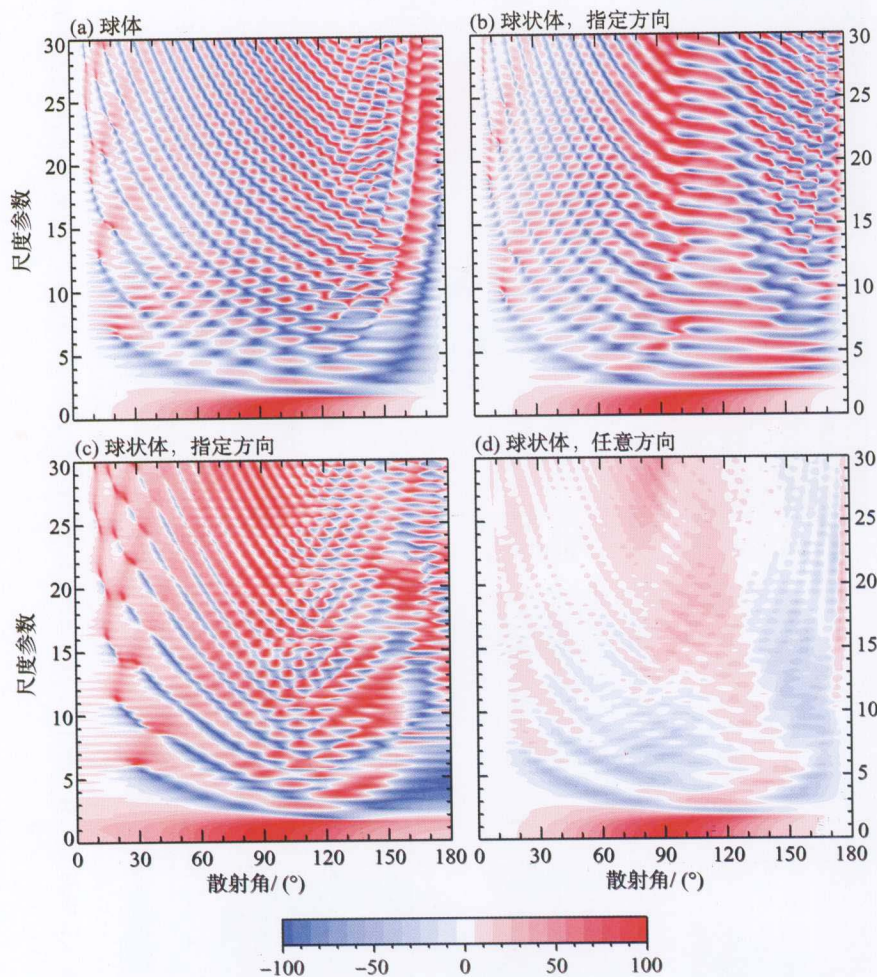
彩图 9.4 球形粒子线性偏振度 $P_Q = -b_1/a_1$ 随有效粒径和散射角的变化图像, $m = 1.44$, $v_{\text{eff}} = 0$ (对单分散粒子)、0.01、0.07、0.2



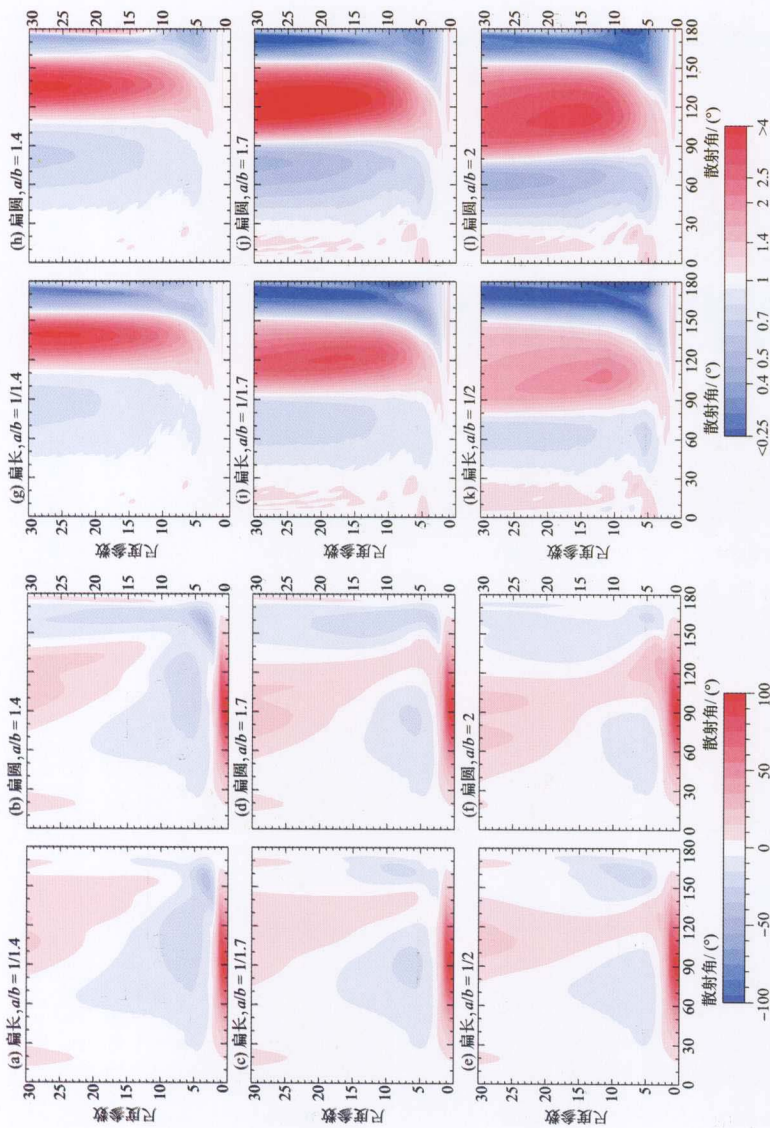
彩图 9.5 左边两图: 多分散球形粒子比率 a_3/a_1 (%) 随有效尺度参数和散射角变化的彩色等值线图, 相对折射率 $m = 0.8, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8$; 右边两图: 同左边两图, 但对于比率 $-b_1/a_1$ (%)



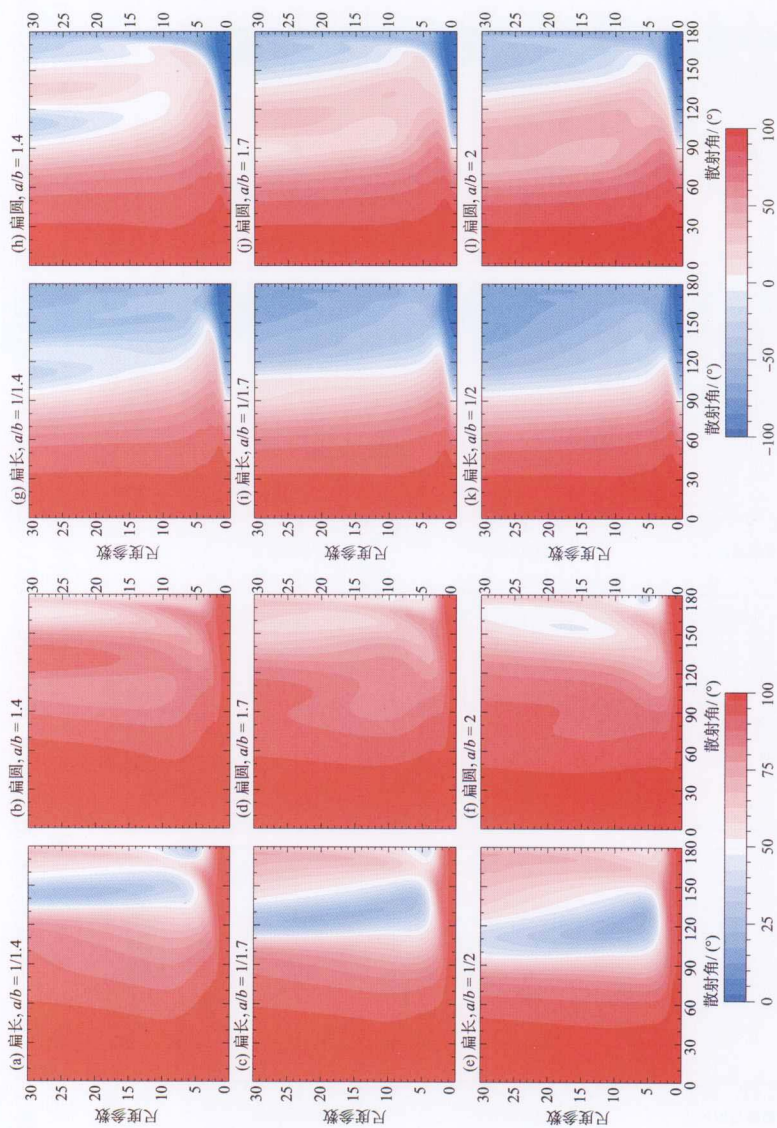
彩图 9.6 左边两图: 同彩图 9.5, 但对于比率 b_2/a_1 (%); 右边两图: 多分散球形粒子的比率 a_3/a_1 、 $-b_1/a_1$ 和 b_2/a_1 (%) 随有效尺度参数和散射角的变化, $m = 1.4 + i0.01$ 、 $1.4 + i0.3$



彩图 10.1 单分散球形粒子和表面当量扁球形粒子在指定方向和任意方向上的比率 $-Z_{21}(\vartheta^{\text{sca}}, \varphi^{\text{sca}} = 0; \vartheta^{\text{inc}} = 0, \varphi^{\text{inc}} = 0)/Z_{11}(\vartheta^{\text{sca}}, \varphi^{\text{sca}} = 0; \vartheta^{\text{inc}} = 0, \varphi^{\text{inc}} = 0)(\%)$ 随 ϑ^{sca} 和尺度参数的变化曲线。图 (b) 和 (c) 中, 球状体的旋转轴分别沿实验室坐标系的 z 轴和 x 轴方向, $m = 1.53 + i0.008$, 球状体的轴率 $a/b = 1.7$



彩图 10.2 左边两图: 多分散任意取向球状体的 $-b_1/a_1$ (%) 随散射角和有效尺度参数的变化曲线, 球状体轴率不同, $m = 1.53 + i0.008$, 表面当量球体半径的分布由公式 (5.246) 给出, 其中 $\alpha = -3$, $v_{\text{eff}} = 0.1$; 右边两图: 同左边两图, 但对于任意取向多分散球状体以及表面当量球体的相函数 a_1



彩图 10.3 同彩图 10.2 中左边两图, 但左边彩图对于 a_2/a_1 , 右边彩图对于 a_3/a_1