

人工影响天气研究中的 关键问题

CRITICAL ISSUES IN
WEATHER MODIFICATION RESEARCH

(美国) 国家科学院国家研究理事会
美国人工影响天气研究和作业现状与未来发展专业委员会

郑国光 陈 跃 王鹏飞 等译

气象出版社

This is a translation of Critical Issues in Weather Modification Research, Committee on the Status and Future Directions in U.S. Weather Modification Research Operations, National Research Council © 2003 National Academy of Sciences. First published in English by The National Academies Press. All rights reserved. This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.

人工影响天气研究中的关键问题

Critical Issues in Weather Modification Research

美国国家科学院国家研究理事会
美国人工影响天气研究和作业现状与未来发展专业委员会

郑国光 陈 跃 王鹏飞 等译

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

人工影响天气研究中的关键问题/(美国)国家科学院国家研究理事会人工影响天气研究和作业现状与未来发展专业委员会编;郑国光,陈跃,王鹏飞译. —北京:气象出版社,2005.10

书名原文:Critical Issues in Weather Modification Research

ISBN 7-5029-4056-1

I. 人… II. ①美…②美…③郑…④陈…⑤王… III. 人工影响天气 IV. P48

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第123102号

北京市版权局著作权合同登记:图字 01-2005-3595 号

人工影响天气研究中的关键问题

Critical Issues in Weather Modification Research

出版者:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街46号

邮编:100081

网址: <http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcs@263.net

电话:总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

责任编辑:李太宇 张锐锐

终审:周诗健

封面设计:张建永

印刷者:北京市北中印刷厂

发行者:气象出版社

开本:787×1019 1/16

印张:8.0

字数:205千字

版次:2005年10月第一版

印次:2005年10月第一次印刷

印数:1~2000册

书号:ISBN 7-5029-4056-1/P·1464

定价:30.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序

由美国国家科学院国家研究理事会人工影响天气研究和作业现状与未来发展专业委员会编著的《人工影响天气研究中的关键问题》一书中文版由气象出版社出版,这是一件很有意义的事。

《人工影响天气研究中的关键问题》一书概述了近年来气象工作者对人工影响天气研究的最新成果,汇集了美国人工影响天气领域的著名科学家最新研究的成果,从理论和实践的结合上,从技术操作的规范上,从实施效果的评估上,都做了详尽的阐述和深入的探索。它对我国当前进行的人工影响天气科学研究和业务作业很有借鉴作用。

我国是一个天气气候灾害频繁发生、水资源又相当贫乏的国家。大力开展人工影响天气的科学研究,就成为防灾减灾、保护人民生命财产安全、合理利用气候资源、改善生产环境的重要举措。我国开展的人工影响天气主要包括开发利用空中云水资源、防雷、消雾、消云、消雨等工程,其中最核心的是开发利用空中云水资源,也就是人工增雨。目前,我国已形成了相当规模的人工影响天气的组织管理体系和服务体系以及一支可观的专业队伍,作业规模已居世界首位,效果也较显著。但作业的能力与经济社会发展的需求还很不适应,观测作业、效果检验技术装备、科学研究的整体水平与国际先进水平仍存在差距。“他山之石,可以攻玉”,我们翻译出版《人工影响天气研究中的关键问题》一书,其目的就是借鉴国外的先进经验,有所创新、有所发展、有所前进,促使我国人工影响天气工作百尺竿头更进一步,早日跨入世界先进水平。

参加本书翻译的有年逾耄耋的资深教授王鹏飞(附录二)、有丰富实践经验的人工影响天气专家郑国光(前言)、肖辉(第一章)、刘奇俊(第二章)、楼小凤(第三章)、郭学良(第四章)、濮江平(第五章)、房文(实施概况)、姚展予(附录一)、陈跃(附录二及全书的其余部分),石爱丽也参与了部分工作;远在加拿大的周克明先生亲自翻译了部分疑难语句;胡志晋先生就效果检验和模式方面的问题给予了详细的解释;马培民、陈少峰先生在本书审改的过程中一直给予大

力的支持。全书由郑国光、王鹏飞、陈跃负责总校。正是由于大家的辛勤笔耕,才使本书得以面世,谨致谢意。

国家科技攻关项目“人工增雨技术研究及示范”资助了本书的翻译和出版。

郑国光^①
二〇〇五年十月

① 郑国光,中国气象局副局长,研究员

前 言

越来越多的证据表明,人类活动能够影响局地的乃至全球尺度的天气,这使得人工影响天气在大气科学领域占有新的重要地位。因此,有必要,也更迫切地需要认识与有意识的和无意识的大气变化相关的基本过程。本报告的核心问题是如何更好地将目前的技术、实践和理论结合起来,以达到越来越广泛的人工影响天气目标。为在已有的知识与实际的需要之间寻求恰当的平衡是一种挑战,它应当指导关心人工影响天气事业的科学家和行政官员的未来行动。

在证明人工影响天气试验的可重复性、提供值得相信的、成功的人工影响天气作业的科学证据、以及克服人工影响天气所面临的严重社会和法律问题等方面的困难导致了 20 世纪 70 年代后期对人工影响天气成绩的早期预测更谨慎。由于理解人工影响天气的基本物理过程和化学过程的需求显得尤为突出,连续几届的(美国)国家科学委员会每次都建议要重视人工影响天气的研究工作。但是,还是没有努力将重要的公共和私人资源用于相关的基础性研究,使得支持人工影响天气作业的机构与科学界分道扬镳,对人工影响天气也产生一系列相互矛盾的态度。

尽管在处理复杂的大气过程中计算机能力方面取得了明显发展,观测技术也取得了显著进步,但这些与人工影响天气应用相关的综合能力却不高。正如本委员会所指出的,人工影响天气发展的潜在进步依赖于对云、降水和较大尺度大气过程关键问题的基本认识的提高。本委员会认为:如果持续应用上述进展以解决一些基本的悬而未决的问题,则这种发展已经触手可及。尽管本委员会承认这样一个前景,即人类在一定程度上控制天气的能力取得显著进展,同时我们也要提请注意:假如不齐心协力持续探究大气中的一些基本过程,就不可能取得这样的发展。此外,这样的一些成果既可能导致一套可行的人工改造天气的方法,同样也表明:有意识地改造天气系统既不可能、也并不可取。

在利用目前智能和技术工具解决人工影响天气中关键不确定问题过程中获得的突出显著成果,产生了远好于最初目标的结果并应用到完全没有预料的领域。例如,形成有用的降水预报能力,特别是对流性风暴降水预报能力,可能就是人工影响天气研究产生的很有价值的副产品。本委员会也敏锐地意识到这样的事实:尤其针对灾害天气的影响,在对其作业之前,研究人员可能就被要求具有一种可靠的和可证实的能力来预测该系统未加影响时将会如何演变。作为一个混沌系统,大气自然地也只有有限的时间才具有可预测性,空间尺度越

小则时间尺度越短。因此,这种预测就必须采用概率方法表述,这样就不能满足那些需要可靠的预报用户群体的要求。

本报告是(美国)国家科学院所作的一系列人工影响天气评估报告(1964、1966和1973)的最新版本,目的在于指导人工影响天气研究和政策研究。上次评价报告已经过去近30年,尽管其间其他团体,如美国气象学会和世界气象组织最近也做了评估,但还是需要对美国人工影响天气研究和作业给予一个评价。

2000年11月,(美国)国家科学院大气科学与气候委员会(BASC)组织了一个项目开发工作组评估是否有必要对人工影响天气科学基础问题作一个新的回顾。一年后,召集了一个研究委员会,在八个月内开了四次委员会会议。本委员会收集了联邦和州机构中的个人意见、做过或正在进行相关研究的科学家的意见和人工影响天气作业专家的意见。本委员会主席明确表示不考虑与人工影响天气相关的复杂社会因素和法律问题,这部分问题在人工影响天气活动中非常重要,委员会已经注意到了,但目前又不能详尽阐述该领域最关键的问题。同样,与委员会主席观点一致,虽然考虑了有意识和无意识的人工影响天气对局地的和区域性的潜在影响,本委员会没有叙述对全球尺度无意识的气候和天气影响(如全球变暖问题)进行评论。

本报告主要针对那些有意资助确定大气研究支持方向的行政机关和基金组织。然而,本委员会也认识到,人工影响天气具有广泛的读者,本书的“前言”和“实施概况”就是针对这些读者,而技术细节则最大程度地涵盖在本报告全文中。

美国人工影响天气研究和作业现状与未来发展专业委员会主席

Michael Garstang

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS 500 Fifth Street, NW Washington, DC 20001

NOTICE: The project that is the subject of this report was approved by the Governing Board of the National Research Council, whose members are drawn from the councils of the National Academy of Sciences, the National Academy of Engineering, and the Institute of Medicine. The members of the committee responsible for the report were chosen for their special competences and with regard for appropriate balance.

Support for this project was provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration under Contract No. 50-DGNA-1-90024-T0006. Any opinions, findings, and conclusions, or recommendations expressed in this publication are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the organizations or agencies that provided support for the project.

International Standard Book Number 0-309-09053-9 (Book)

International Standard Book Number 0-309-518520-0 (PDF)

Library of Congress Control Number 2003115099

Additional copies of this report are available from the National Academies Press, 500 Fifth Street, N. W. , Lockbox 285, Washington, D. C. 20055; (800) 624-6242 or (202) 334-3313 (in the Washington metropolitan area); Internet, <http://www.nap.edu>.

Cover: Photograph taken by Dr. William L. Woodley at 7:39 pm CDT on August 11, 2001, from a Texas seeder aircraft flying at 20,000 ft. The cloud shown reaching cumulonimbus stature had been seeded near its top 10 minutes earlier with ejectable silver iodide pyrotechnics.

Copyright 2003 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

Printed in the United States of America

国家研究院(The National Academies)

科学、工程、医学方面的国家顾问

国家科学院(National Academy of Sciences)是一个私营、非盈利团体,由从事科学和工程研究、献身于科学和技术并将其用于社会公众的著名科学家组成。根据 1863 年国会宪章,授权国家科学院向联邦政府提供科学和技术建议。国家科学院现任院长为 Bruce M. Alberts 博士。

根据国家科学院章程于 1964 年成立了**国家工程学院(National Academy of Engineering)**。作为杰出工程师的一个共存组织,国家工程学院独立自主进行管理并吸收会员,并与国家科学院共同承担向联邦政府提供建议的责任。国家工程学院也组织国家需要的项目,促进教育和研究以及评定重大工程成就。国家工程院现任院长为 Wm. A. Wulf 博士。

国家科学院于 1970 年成立了**医学院(Institute of Medicine)**,确保在公共健康政策检查方面获得其相应杰出专家的服务。在国会宪章授予国家科学院的责任之下,向联邦政府提供建议,并自主地确认医疗、研究和教育方面的关键问题。医学院现任院长为 Harver V. Fineberg 博士。

国家科学院于 1916 年成立了**国家研究理事会(National Research Council)**,根据研究院的促进知识提高的目标,向广阔的科学和技术领域提供帮助,并向联邦政府提供建议。根据研究院制定的总政策,国家研究理事会在服务于政府、公众以及科学和工程方面是国家科学院和国家工程学院的主要执行机构。该理事会由这两个学院及医学院共同管理。国家研究理事会现任主席和副主席分别为 Bruce M. Alberts 博士和 Wm. A. Wulf 博士。

www.national-academies.org

美国人工影响天气研究和作业现状与 未来发展专业委员会

- MICHAEL GARSTANG (主席), 弗吉尼亚大学, 夏洛茨维尔(Charlottesville)
ROSCOE R. BRAHAM, JR., 北卡罗来纳州立大学, 罗利(Raleigh)
ROELOF T. BRUINTJES, 国家大气研究中心, 博尔德(Boulder), 科罗拉多州
STEVEN F. CLIFFORD, 科罗拉多大学, 博尔德(Boulder)
ROSS N. HOFFMAN, 大气环境研究公司, 列克星敦(Lexington),
马萨诸塞州
DOUGLAS K. LILLY, 俄克拉何马大学, 诺曼(Norman)
ROLAND LIST^①, 多伦多大学, 安大略省, 加拿大
ROBERT J. SERAFIN, 国家大气研究中心, 博尔德(Boulder), 科罗拉多州
PAUL D. TRY, 科学技术公司, 银泉市(Silver Spring), 马里兰州
JOHANNES VERLINDE, 宾夕法尼亚州立大学, 大学公园

国家科学理事会职员

- LAURIE GELLER, 研究部主任 (到 2003 年 7 月 31 日止)
VAUGHAN C. TUREKIAN, 研究部主任 (到 2002 年 8 月 31 日止)
ELIZABETH A. GALINIS, 项目助理
JULIE DEMUTH, 研究助理

① 2002 年辞职

大气科学与气候分部

- ERIC J. BARRON (主席), 宾夕法尼亚州立大学, 大学公园
RAYMOND J. BAN, 天气频道公司, 亚特兰大市, 佐治亚州
ROBERT C. BEARDSLEY, Woods Hole 海洋研究所, 马萨诸塞州
ROSINA M. BIERBAUM, 密歇根州大学, 安娜堡(Ann Arbor)
HOWARD B. BLUESTEIN^①, 俄克拉何马大学, 诺曼(Norman)
RAFAEL L. BRAS, 麻省理工学院, 剑桥市
STEVEN F. CLIFFORD^①, 科罗拉多大学/环境科学合作研究院(CIRES),
博尔德(Boulder)
CASSANDRA G. FESEN, 达特茅斯学院, 汉诺威(Hanover), 新罕布什尔州
GEORGE L. FREDERICK^①, 维萨拉(Vaisala)公司, 博尔德(Boulder), 科罗拉多
JUDITH L. LEAN^①, 海军研究实验室, 华盛顿, 哥伦比亚特区
MARGARET A. LEMONE, 国家大气研究中心, 博尔德(Boulder), 科罗拉多州
MARIO J. MOLINA, 麻省理工学院, 剑桥市
MICHAEL J. PRATHER^①, 加州大学, 欧文城(Irvine)
WILLIAM J. RANDEL, 国家大气研究中心, 博尔德(Boulder), 科罗拉多州
RICHARD D. ROSEN, 大气环境研究公司, 莱克星顿(Lexington),
马萨诸塞州
THOMAS F. TASCIONE^①, Sterling 软件公司, 贝尔维尤(Bellevue),
内布拉斯加州
JOHN C. WYNGAARD, 宾夕法尼亚州立大学, 大学公园

当然成员^②

- EUGENE M. RASMUSSEN, 马里兰大学, 大学公园
ERIC F. WOOD, 普林斯顿大学, 新泽西州

国家科学理事会职员

- CHRIS ELFRING, 主任

① 任期至 2003 年 2 月 28 日止。

② “*ex officio*”原意为因本人身份而当然担任某种职务,如美国副总统必然担任参议院议长,因此译为“当然成员”——译者注。

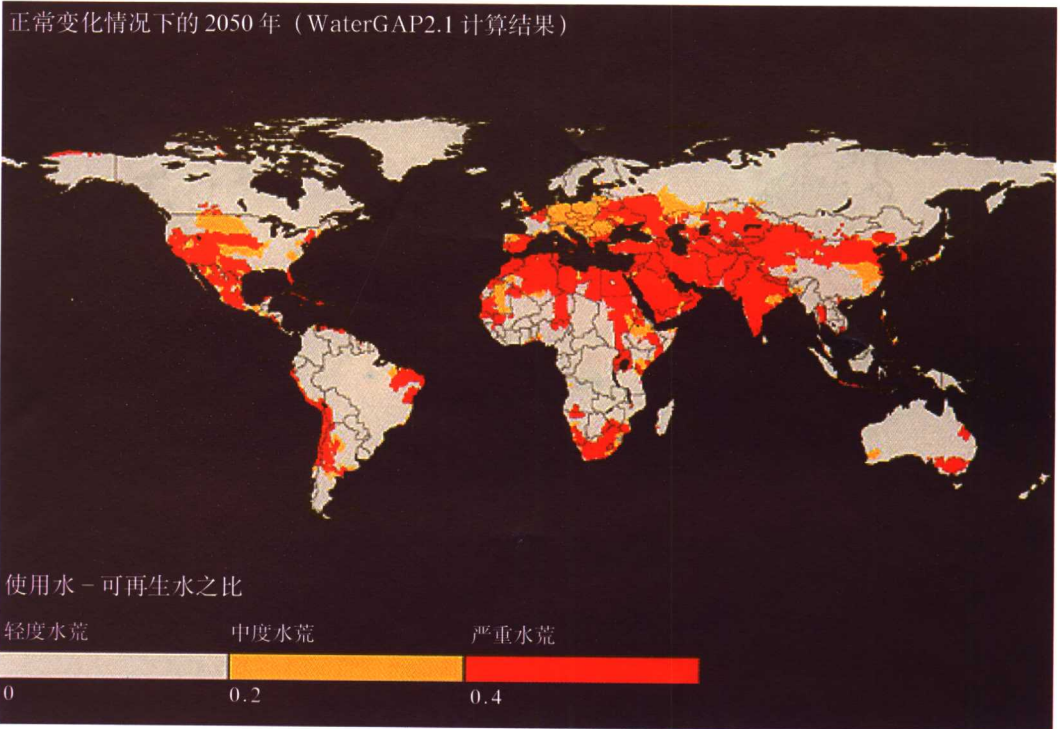
ELBERT W. (JOE) FRIDAY, JR. ,	高级学者
LAURIE GELLER,	高级项目官员
AMANDA STAUDT,	项目官员
SHELDON DROBOT,	项目官员
JULIE DEMUTH,	研究员助理
ELIZABETH A. GALINIS,	项目助理
ROB GREENWAY,	项目助理
DIANE GUSTAFSON,	行政助理
ROBIN MORRIS,	财务助理

致 谢

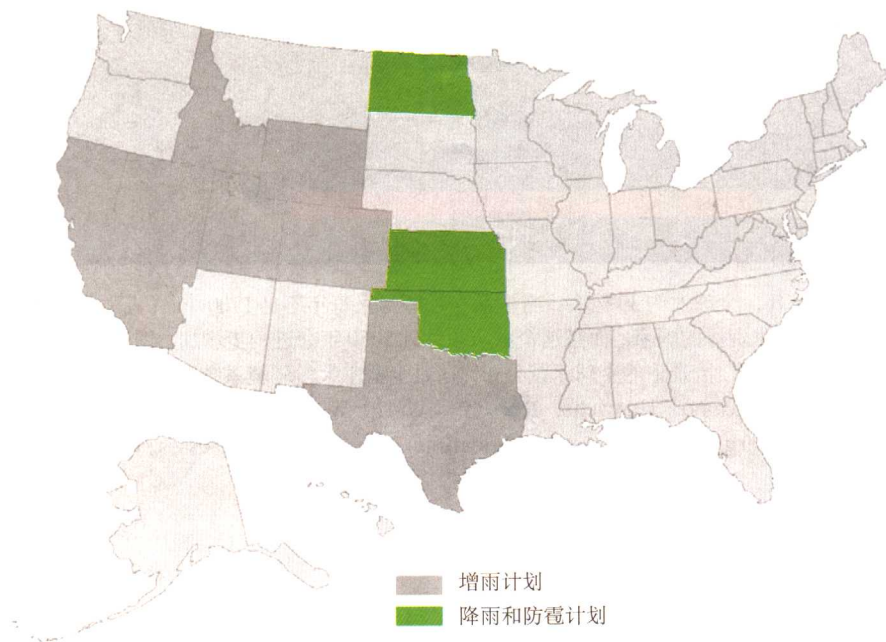
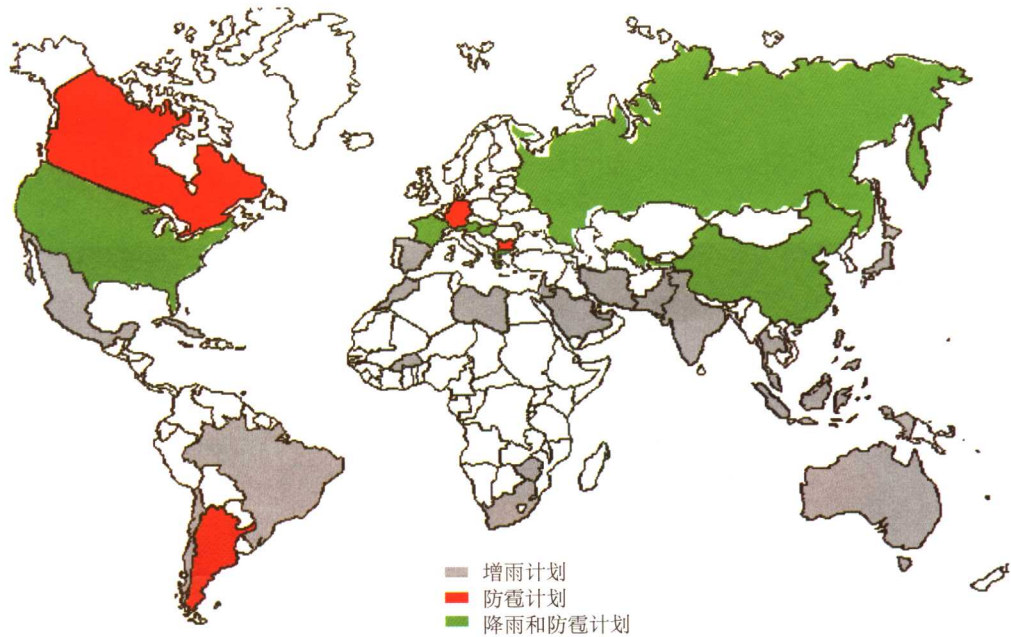
本报告初稿是根据美国国家研究理事会评审委员会批准的程序,由选定的具有不同观点和技术特长的专家审查。这种独立审查的目的在于获得坦率和关键性意见,使正式出版的报告尽可能正确、客观负责的符合科学研究的标准。审查意见和手稿是保密的,以保证审查的公正。我们感谢下列专家对本报告的审查:

Richard Anthes,	大学大气科学研究联盟
Rafael Bras,	麻省理工学院
Stanley A. Changnon,	伊利诺斯州水立勘测局
William Cotton,	科罗拉多州立大学
John Hallett,	沙漠研究所
Daniel Rosenfeld,	希伯来大学
Joanne Simpson,	国家航空航天局 Goddard 太空飞行中心
Gabor Vali,	怀俄明大学
Francis Zwiers,	维多利亚大学

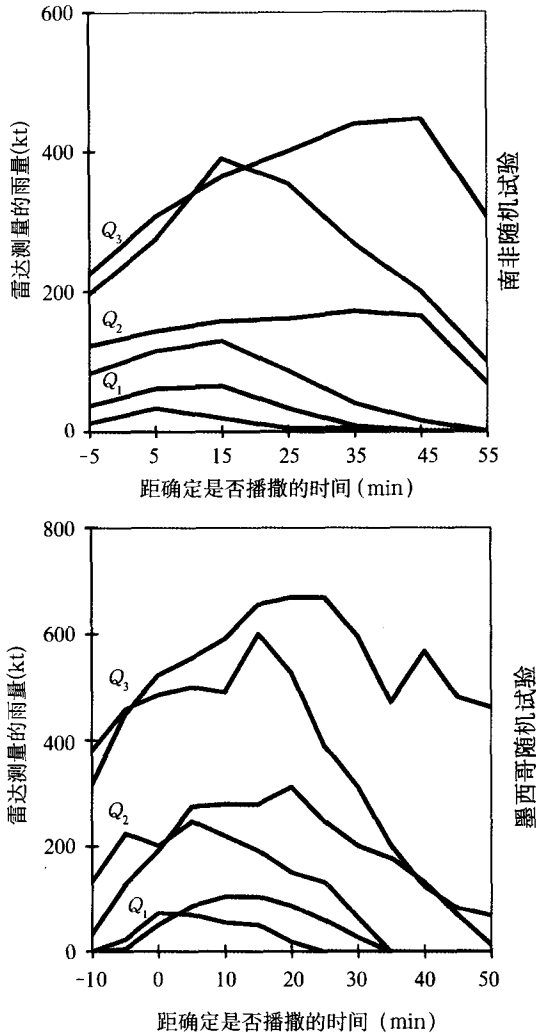
虽然上述专家提出了建设性意见和提议,但并没有要求他们赞同本报告的结论和建议,也没有让他们在本书出版之前看到最后版本。国家研究理事会指派宾夕法尼亚州立大学的 T. A. Dutton 先生监督本报告的审查,并根据学院的既定程序,确保本报告的独立审查,同时认真考虑所有审查意见。本委员会和学院对本报告的最终内容负全责。



彩图 1 预计到 2025 年, 全球大约 30 亿人口将生活在那些每人每年不足 1700 m^3 (人类遭受“水荒”的水量) 可再生水资源的国家, 而且这个数字预计到 2050 年会进一步增加。图中显示了 2050 年在“照常排放物构想”情景下的全球水荒分布, 这是卡塞尔大学环境系统研究中心 WaterGAP 模式的计算结果。(Alcamo, Henrichs, Roesch: “World Water in 2025”, Kassel, 1999) (<http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/liow/stresses/water.asp>)

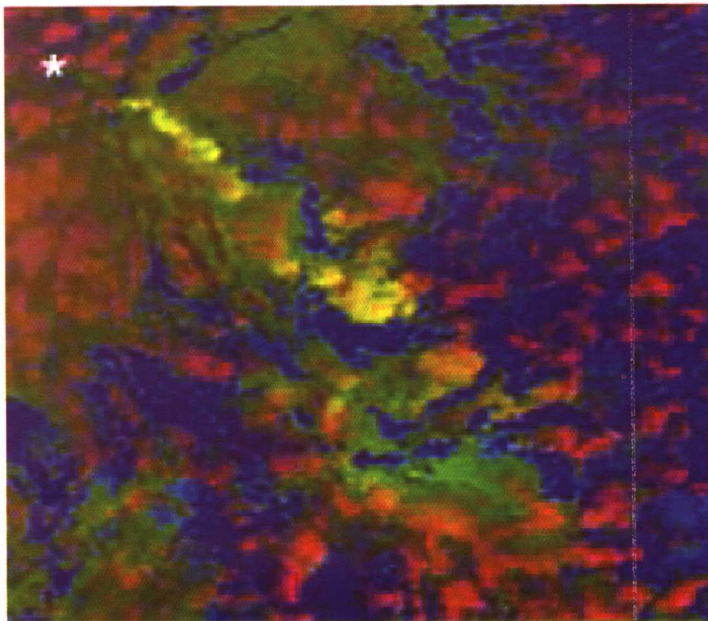
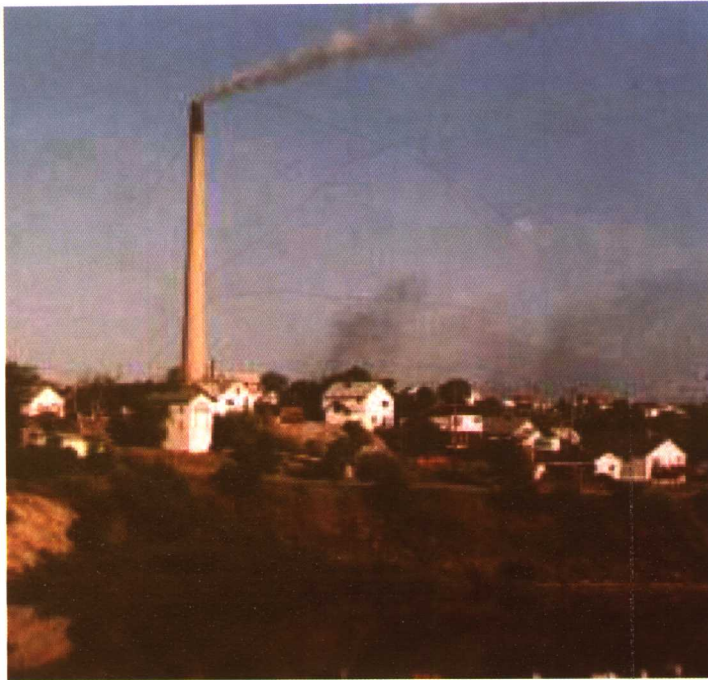


彩图2 上图: 进行人工影响天气计划的国家 (根据 R.Bruintjes 整理的 WMO(1999)资料);
 下图: 美国正在进行人工影响天气计划的一些州 (R.Bruintjes 整理的 NOAA 资料)



彩图3 南非和墨西哥吸湿性焰条播撒试验结果。图中显示了随机播撒的风暴(蓝线)和未播撒的风暴(红线)第一个四分点(25%, Q_1)、第二个四分点(50%, Q_2)和第三个四分点(75%, Q_3)的雷达测量的雨量(kt)与确定是否播撒的时间关系。时间间隔为10 min, 确定是否播撒的时刻为0, 时间范围为-10(前10 min)到+50(后50 min)(国家大气研究中心(美国)R.Bruintjes整理的资料)^①

①彩图3表示雷达测量的雨量(降水通量1 min的积分值)四分值随做出是否进行播撒的那个时刻相对时间的变化关系。第一个四分点是指风暴总数的25%其雨量值小于这个雨量值;第二个四分点是指50%的风暴雨量值小于这个值;第三个四分点表示75%的风暴小于这个值。以墨西哥随机试验中已播撒的风暴(蓝线)第三个四分点 Q_3 (75%)为例,其随时间的变化为:做决定前5 min,有75%的风暴雨量小于230 kt,播撒5 min后,有75%的风暴雨量小于300 kt,在播撒后45 min达到最大,有75%的风暴雨量小于420 kt。另一方面,在给定的时刻,例如做出决定的25 min后,对播撒的风暴(蓝线),有25%(Q_1)的风暴雨量小于30 kt,50%(Q_2)小于150 kt,75%(Q_3)小于380 kt。——译者著



彩图4 位于加拿大马尼托巴的矿业联合体烟囱造成的污染轨迹，污染起源于白色星号处。卫星遥感图像表明了云中由于云滴变小造成的黄色污染带（照片由Woodley天气咨询公司的W.L.Woodley提供，卫星图像摘自Rosenfeld,2000）