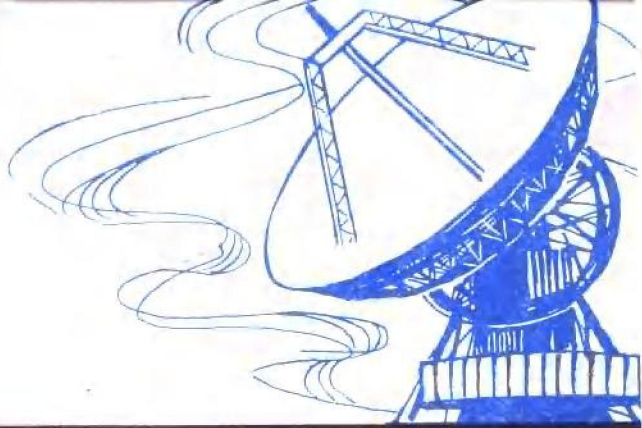




人工影响天气的现状与前景

G. BREUER



气象出版社

人工影响天气的现状与前景

[奥] G·布罗伊尔 著

于系民 袁国恩 译

胡志晋 校

气象出版社

内 容 提 要

本书从人工影响天气的历史和现状出发,较全面地阐述了人工影响天气的若干理论和实践问题,展望了它的未来。全书分为“人工影响天气的前景和问题”(引论)、“科学技术背景”、“方法和应用”三个部分,取材广泛新颖,评述简明客观,内容深入浅出,文字生动有趣。它是气象工作人员,尤其是致力于人工影响天气的技术人员,综合了解这一领域概貌的适宜读物。对于有关专业科技人员及干部,则是一本难得的资料。

Georg Brener

Weather modification :
prospects and problems

Cambridge University Press

1980

人工影响天气的现状与前景

[奥] G·布罗伊尔 著

于系民 袁国恩 译

胡志晋 校

责任编辑 陶国庆

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

密云县华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 印张: 3,875 字数: 79千字

1987年4月第一版 1987年4月第一次印刷

印数: 1—1600

统一书号: 13194·0398 定价: 0.94元

译 者 的 话

“呼风唤雨”是人们久已向往的目标，但在技术不发达的古代，只能是幻想。现代人工影响天气活动，可以说是朝这一目标迈进的有力步骤，它的进展当会造福于人类，对此似无争议，大家都置信无疑。但这一活动是否有充分科学依据？效果如何检验？收益损失比是多少？目前是否应投入业务？对此，“悲观”与“乐观”两派各持己见，争论还会进行下去。为总结几十年的实践与理论进展，著者在收集了大量资料的基础上，站在客观立场上写成这本小册子。作者在书中较客观地剖析了人工影响天气的历史与现状，展望了它的前景，给我们描绘出直到八十年代初此领域的概貌图。它不仅是从事此业务者的必要读物，也是社会各界、青少年掌握有关知识的参考书。

原书另有一部分讲述人工影响天气对战争、生态环境的作用，由于参考价值不大，中译本已删除，现定名为“人工影响天气的现状与前景”。本书由胡志晋校订，陈忠家、盛承禹曾给译者以指导，谨此一并致谢！由于译者水平所限，错误在所难免，望读者随时指正。

于象民 袁国恩

1986年5月于沈阳

目 录

译者的话

人工影响天气的前景和问题 1

第一部分 科学技术背景 8

气象学能够成为一门精确科学吗? 8

出自错误理论的神益 15

费力很小——效果显著 18

费力很小——毫无效果 21

物理推断和统计证明 24

云是什么? 29

第二部分 方法和应用 35

一位诺贝尔奖金获得者的嗜好 35

一次没有引起注意的预报 41

用硬拚方法和其他方法消雾 45

碘化银是怎样进入云中的? 52

催化降雨——问题的正确提法 53

来自帽状云的水 57

关于造雨机的探索 64

降雨来自“暖”云还是来自蓝天? 72

人工造雨之目的 73

播云——作为一种武器 77

冰雹的防御——实践超过理论 81

瑞士人对苏联防雷火箭的检验 89

金属丝防御闪电 93

热带风暴的人工影响——试验对象不足	97
人工方法能够影响大尺度天气形势吗?	103
冰期及其成因	106
气候的人工影响——变化还是稳定?	111

人工影响天气的前景和问题

本世纪六十年代后期，美国科罗拉多州圣路易斯峡谷（San Luis Valley）的一批大麦种植者，为履行与一家酿酒厂签订的合同，生产最适宜当地生育条件的优质摩拉维亚大麦，决定谋求商业天气顾问公司在控制天气方面的支持。他们对人工影响天气提出三条要求：生长季前期，增加雨量；仲夏季节，抑制冰雹；近成熟期，减少雨量。

此后不久，出现一批大叫大嚷的反对派，竭力声称：催云已使该地总雨量减少，对莴苣、马铃薯生长不利。于是，向州长及其他官员发出呼吁。

管理“人工影响天气计划”的州立法终于诞生，于1972年夏季生效。上述反对派的头目被任命为审批人工影响天气申请书的州咨询委员会的委员。为了依据新法审批人工影响天气作业，委员会召集了公众意见听取会。持反对意见的农场主蜂拥而至。在咨询委员会建议下，颁发了许可证。几星期后，天气顾问公司的一栋野外活动房被炸。直到那年十一月中旬，与爆炸有关的肇事者仍逍遥法外。11月7日，民意测验假投票结果以4比1的票数反对在峡谷搞人工影响天气作业。

在本书的德文原版《风调雨顺》（Wetter nach Wunsch?）中，我不得不就这一点简要解释道：开头这几段话，既不是取材于科学幻想小说，也不是取材于未来学家的电影脚本，而是取材于一位美国社会学家关于“人工影响天气公众反应”的调研报告；因为在中欧，迄今为止，人们尚

不了解这类活动的实际情况，所以我把它写在这里。在美国。圣路易斯峡谷事件只不过是例子而已。这场激烈争论主要是酒厂给种植者施加压力的结果。酒厂致种植者的信中写道，“除非我们确信，大麦生长期天气管理计划可靠，否则，摩拉维亚大麦接受分配量须削减20%。”如不搞人工影响天气，后几年将再行削减，因为公司不愿把自己置于“任凭老天爷摆布的地位，按经验，老天爷赐与优质作物的机会，二十年才有一次。”

在美国，商业性人工影响天气始于四十年代末期。许多公司自称，能在一定限度内，按主顾要求改变天气。这些公司营业总额现在约为每年100—200万美元。公司的主顾中有美国各地的农场主，拉丁美洲、非洲和亚洲的种植园主以及许多公用公司。南加利福尼亚爱迪生公司（Southern California Edison Company）自从1950年以来，为增加圣华金（San Joaquin）峡谷水电站集水区的降水，一直在实施播云计划。1949—1950年，纽约在市区供水告急时，也求助于造雨公司。

美国联邦政府预算基金中分配给人工影响天气领域的研究开发经费，从1963财政年度的270万美元增至1973财政年度（最多的年度）的2,000万美元左右。1977年，因为科研基金总额减少，投入人工影响天气的资金随之减至1,400万美元左右。另外，国防部在这一领域可能搞些秘密活动，不公开的投资大概是很可观的。1973年，人工影响天气的商业性活动和其他业务活动所覆盖的面积，约为美国总面积的4%，相当于英国面积的1.5倍左右。这方面的活动共有67项计划，其中55项由商业公司执行，6项由城市行政区执

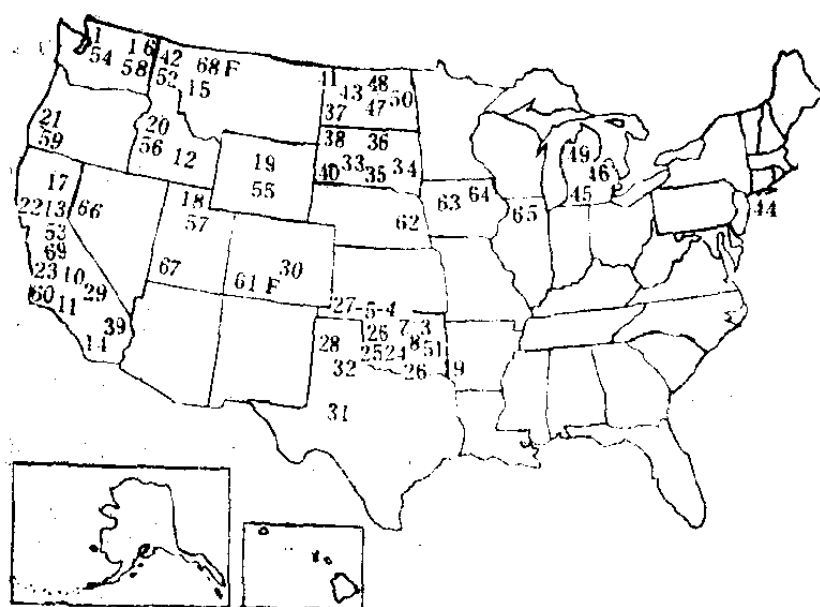


图1 1972年11月1日至1973年12月31日美国联邦政府和其他部门发起的人工影响天气活动。图中的数字表示“计划”所在位置（按照报告的规程），“F”表示联邦政府发起的活动〔根据查拉克（M.T.Charak）和吉利安（M.T.Di-Guilian）的《人工影响天气活动的报告》，1974〕

行，2项由大学执行，4项由其他部门执行。计划的主顾中有机场管理部门、航空公司、西雅图港（消雾）、公用公司、水域管理部门（增加降水）、农场主协会和个体农民（防雷、增雨）、县区以及其他公共团体（主要是有助于发展农业的项目）。南达科他州劳伦斯县冬季运动公司（Lawrence County Winter Sports Inc.）的定单要求增加1973年2、3两月的积雪量。

在苏联，防雷作业已成为一些农业区的常规业务，作业总面积约为500万公顷，比威尔士（Wales）面积的两倍还

大。俄国有几个机场开展了消雾作业，并有一些增加降水的试验计划。澳大利亚和以色列有人工降雨试验的长期记录。以色列的作业计划已于最近开始。在法国，经长期开拓性试验之后，巴黎附近的奥利机场和戴高乐机场的人工消雾已成为一项业务工作。

人工影响天气工作者在战后不久的首批活动，所依据的理论基础相当薄弱。迄今为止，公认靠得住的人工影响天气活动只有一种，即在有限区域（如机场）消雾。至于能否增加降水，能否抑制闪电、冰雹和风暴，可抑制到何种程度，在职业气象界，尚未取得一致意见。关于各种人工影响天气方法的效果，也有分歧意见。商业公司人工影响天气从业人员有时冷嘲热讽地说：在实践中，方法总是行得通的，但搞这一行的学者朋友们，只因拿不出很好的解释播云效果的理论而持保守态度。另一方面，尽管有人工影响天气活动，前述的圣路易斯峡谷1971年仍遭重雹灾之害，致使大麦种植者创办的冰雹保险公司破了产。次年，人工影响天气工作者重新组织起一家公司，他们的努力未能阻止严重的干旱，即使这场干旱实际上不是由他们引起的。

纵使有这样那样的问题，但没有正当理由能直截了当地说明人工影响天气是愚蠢之举而应置之不理。过去十年间，美国及其他国家，科学研究大大加强，成果逐渐增多。理论正在缓慢地追赶着比它先进得多的实践。前些时候，商业天气从业人员过于乐观，一些专业气象人员则持极端怀疑态度（人工影响天气是否完全可能？），两者之间展开的无益且令人厌恶的争论，正在为既定条件下成败原因的切实研究所代替。今天，在许多场合下，科学家们已能相当确切地回答

这类问题。

本书目的在于把“人工影响天气之现状与前景”这幅均衡图象展示在读者面前。它指出迄今为止的既得成果，也述及今后尚须解决的难题。在此领域工作多年的科学家们支持这样的预见：今后一、二十年内，人工降雨（若有可能，还包括人工防雹）的进展，将如同现在的消雾那样。怀疑论者则认为：这种预见是主观的，夸张的。本书将一视同仁地阐述两者的观点。本书不仅引录乐观主义者的话（认为人工影响天气是好事，是有用的事），而且引录代表怀疑论者、保守论者呼声的参考资料。

有件事，一开始即需强调：尽管困难重重，有保守，有怀疑，但人工影响天气看来还是能向前发展的。气象学家因与这一“非科学”课题结合而受其同事排斥的时代，正在迅速消逝。专门致力于人工影响天气问题的高水平的专家，正在涌现。这一领域的研究经费很可能增加，这也是军事部门施加压力的结果，因为一开始军方对此就很感兴趣，并在越南战争期间用过人工影响天气技术。

研究工作的加强会产生成果。成果的出现，或许比乐观主义者所预料的慢些，但我们必须预见到，不管理论研究如何，人工影响天气技术工作总会继续下去。在这里，预测性的技术评估是很重要的。但直至目前，这方面所做的工作甚少。可用于此目的的少得可怜的资源，常因找不到能胜任工作的科学工作者，而未被利用。因此，确实存在这种危险：在今后一、二十年内，我们有可能找到若干确认的技术方法，但看不出其消极后果，一旦辨认出来，已嫌太迟，以致无法抛弃它们。

消极、失望的后果，是必然会出现的。对它们的评估不应只留给气象学家，因为人工影响天气和气候对健康、生态以及经济等都有深远影响。所以，最理想的情形是其他学科的代表——医生、生物学家、生态学家、环境学家、经济学家、发展计划工作者、通讯专家、社会学家、律师与国际法专家、系统分析家以及其他学科的专家，也参加这些问题的研究，从中鉴别出气象学家或许不易觉察的若干明显的问题。现在是试图预见和避免破坏性发展的时候了。否则，待后果开始显露，再予纠正，即使还有点可能性，也是非常困难的。

同样重要的是，一旦看出问题，就应马上告诉广大群众。天气变化对每个人都有影响，因此可以预料到“群众都想就此发表意见”。当然，有大批非专业群众参加时，可能只根据辩护者的喧噪和讲演技艺作出评判，而不是根据其论据的份量作出评判，这种危险是存在的。但是，另一方面，如果把讨论局限于专家和专家治国论的小圈子里，凭经验作出评判，则只会纵容各团体的疏通活动，不能保证充分考虑群众的愿望和利益。

要表达群众的愿望和利益是不容易的。迄今为止，人们所取得的经验清楚表明：不同的人，不同的人民团体（不限于圣路易斯峡谷的个人和团体）对天气的要求往往很不一致。不同观点很可能成为下个世纪竞选中的争议问题，这是可想而知的。争议现已偶尔进入法庭。人工影响天气的规模越大，涉及到的人就越多，利益上的分歧就显得越尖锐。有必要尽快制定可用以解决这些争端的、大家公认的国内章程和国际章程，章程必须考虑各有关方面的利益，否则人工影响天气

就会成为一种危险，即使在和平利用方面，也是如此，会使破坏性超过有用性，成为人与人之间、国与国之间持久性摩擦的原因。

更为严重的是，这些新技术用于军事目的而产生的危险。关于目前大国所拥有的天气、环境武器的情况，尚无详细情报。一些科学家已经指出，在不久的将来，军事上有可能用人工影响天气改变飓风路径、触发破坏性干旱，改变高层大气，从而引起严重后果。有人打算把这些危险写进《天气与环境战争条约》。这项条约是经若干年谈判后于1977年春在日内瓦限制武器会谈中签订的。

适当地评估和应用大规模人工影响天气方法，在今后几十年内，大概是可能的，但需要世界范围的计划与合作。因此，在国际条约中应加上一条禁令——不准把人工影响天气用于军事。根据条约，该领域的一切和平活动都应在国际机构监督下进行。可以相信，世界气象组织（WMO）能担负起这一责任。如果这样有国际基础的措施未能采用，人们必然担心：和平利用人工影响天气将追随狭隘民族路线，而不顾小国和弱国的利益，这将成为相互冲突、相互谴责的目标。

第一部分

科学技术背景

气象学能够成为一门精确科学吗？

近年来，成功的空间研究确使人们能准确地计算，详细地预报人造卫星、月球火箭以及星际空间探测器的运动。对于这些设备，必须要作的轨道订正，是微不足道的。误差的原因是发射时的技术误差以及不可能完全考虑到的作用于空间设备的星际力的微小变化。但是轨道计算所依赖的基本原理是完善的。

同样可靠的理论在人工影响天气方面是不存在的。一项有计划的人工影响天气试验，其确切结果会是什么样子？谁也作不出准确答案。所观测到的发展变化，大都无法证明在自然过程中是不可能产生的。于是，“制造天气”之艺术诞生于理论的朦胧之中。对其未来发展的评价是与创建充分的有科学依据的前景密切关联的，也与整个气象学发展前景密切关联着。

我们从日常经验得知，比起天体运动理论，气象学理论是很不完善的。天文工作者能以令人惊异的精确度提前几十年，甚至几百年，计算出行星位置，预告日蚀、月蚀。而气象工作者连二十四小时预报都未必作准，更不用说两天或两天以上的预报了。然而，天气难道不服从物理定律吗？如果能足够准确地定出初始状态，难道不能准确地预报天气演变吗？“总有一天，大气科学的精度，可同几世纪前的天体力学

相比！”——这是许多气象学家的心愿。

如果我们只依靠由其引出的预报准确率来判断某一科学分支是否成熟，就必然推断道：气象学仍在等候着它的开普勒*（Johannes Kepler）的诞生，即使古代巴比伦（Babylon）教士的星球位置预报，也比现代气象学家的天气预报准。另一方面，如果我们认为对科学的初步要求在于解释所观察到的现象，那末，相对说来，气象学就先进得多了。开普勒将观测资料经验地总结成数学公式，以此来相当正确地预报行星运动，但他不能解释行星为什么这样运动。当代的气象学家了解支配天气的那些复杂得多也广泛得多的物理过程，但他们还不能预报其长期演变。这表明天气是很多比行星运动错综复杂的各种过程的最终产物。

一些天文学家和空间探测专家想要预报太阳系内部的运动，他们考虑的问题可能局限于太阳与少数行星及其卫星（质量和轨道特性都是已知的）之间的引力作用。气象学家面临着大量的始终变化着的气团，它们相互作用，混合，一个消失于另一个之中，在永无休止的序列中再生，并重新形成对立。气象学家，不仅必须象天文学家那样考虑大气运动和能量、质量以及角动量的守恒，而且还要考虑气体的流体动力学和热力学、辐射效应以及大气、海洋与冰盖之间的大量反馈与滞后的相互作用。一位理论气象学专家这样说，“凡是熟悉这些物理定律的人都知道，它们涉及许多过程，其准确的描述，或者尚未被掌握，或者过于复杂，难于实用。”

地球很近似于一个旋转着的球体。它的自转对大气与海洋环流起着行星控制作用。然而，对天气、气候有很大影响

* 开普勒（1571——1603），德国天文学家兼物理学家。——译注

的冷暖洋流的自由流动受到大陆的限制。陆地表面，通过地面摩擦，显著地限制着大气运动的自由，其程度取决于陆地表面特性。地球上各地区的不同地理影响，使气象学很难提出普遍适用的经验规则。北极是海洋上的冰盖，周围是大陆；南极是冰川覆盖的大陆高原，周围是海洋。北半球中高纬度的大部分地区是大陆，而南半球的相应纬度却是海洋。横跨欧亚大陆的高山主脉呈东—西走向，构成冷暖区域间的气候屏障。在美洲，高山主脉系南—北走向，不妨碍极地和热带气团的南北推进。因此，同欧洲相比，美洲的天气变化往往比较激烈，来得比较突然。美国人说：你要是不喜欢我们这里的天气，那就只要等上五分钟就行了！

地球上的一切能量，包括驱使大气运动的那些能量，实际上都来自太阳。太阳高度角越大，其辐射就越强。由于地球每天的自转，从早晨到下午的前段时间，有周期性的变暖，随后由于向空间的热辐射损失而变冷，直到第二天日出为止。地球旋转轴对轨道平面的倾斜度，引起太阳最大高度和昼长的季变化。这些变化反映为热带的旱季、雨季；中纬度的春、夏、秋、冬和近两极地区的半年“永昼”和半年“永夜”。阳光和能量的日、季供给量的纬向差异，造成水、空气的温度差异，导致海洋和大气中的水平及垂直运动。蒸发量也有明显的经向梯度。大气直接吸收太阳光线而获得的能量非常小。从海洋蒸发的水汽通过凝结（形成云雾），向大气提供很多热量。大气中另一部分可观的热量，来自吸收地球暖表面的再辐射。地表面热容量和反射特性（反射率）随植被、地面状态而明显变化。海洋、森林和有植物覆被的土地，吸收很多的太阳能，贮存并释放大量的热。沙漠、雪

和冰将大部分太阳辐射反射到空间，而贮存、输送的热量极少。

所有这些气候因子，都以一定的年韵律而变化，它们说明了天气的季节变化。但因天气也受年际变化的支配，故必定另有一些不完全受地球轨道年韵律控制的影响因子。其中有影响较高层大气电、磁过程的十一年太阳黑子周期和太阳活动的变化。它们的影响似乎扩展到低层大气，从而影响天气，但现在还提不出讲得通的物理解释〔关于天气与太阳活动之间的关联，将由太阳-地球物理专门委员会（Special Committee for Solar-Terrestrial Physics）在今后几年作国际性研究〕。另一重要因子可能是火山灰和气体向大气的输入，它改变了大气辐射平衡。大气中也有与日、月引起的海洋潮汐相似的潮汐。据推测：天体位置对地球上的天气有影响，虽然这种想法往往引起一些大气科学家的争论，因为这一论点尚无充分证据。

最后，技术科学之现状已导致人类对天气的无意识影响。必须认为，人工影响气候尽管是局部的，范围比较小，但在过去几千年间已经发生了，这是地球上土地利用和植被人为变化的一种结果。另外可能还有很多尚未被科学地确认的其他非周期性因子。

为制作一次可靠的预报，无需了解物理过程实质上的复杂情况及其原因，如不包括引力概念的开普勒定律的成功应用所证明的那样。根据观测事实和经验推论的现成数学公式常常能够很好地用于此目的。如果我们已知昨天天气、今天天气的区域分布，如果有了凭经验得知的气团和锋面的特征与运动的知识，就能有科学依据地作出预报，而无需详细回答诸