人工影响天气的历史脉络及法规公约、检验评估等问题

许小峰

人工影响天气既是科学问题，也是一个系统工程，涉及面较广，特别是当利益、环境、责任等问题出现时，需要通过制定各方都能接受的法规、政策、标准等方式来解决，甚至需要通过签署国际公约来约束，这是在发展人影科学与业务的同时需要谨慎考虑的。

DOI：10.3969/j.issn.2095-1973.2021.05.001

1 历史脉络与探索实践

独特的地球自然环境孕育了包括人类在内的生态万物，斗转星移，世变沧桑，延续至今，是一个自然演变过程。但智慧的人类并不安于此，除不断探索、适应自然条件变化的规律外，主动出击、改变环境的意愿萌发于心，付诸于行，伴随着人类社会演进而留下了与天斗法的漫长历史痕迹。

若按现代科学范式评估，美国政府正式聘用的第一位气象学家詹姆斯·埃斯皮（James Espy，1785—1860年）可算是最早从现代科学理论视角提出人工降水方法的人之一，但与目前通常采用的方法有较大差异。埃斯皮将大气层视为一个巨大的热力发动机，根据他的风暴理论，所有大气扰动，包括雷暴、飓风等，都是由这个热机驱动的。大气被太阳加热后，产生上升运动，冷却后水汽凝结，释放出潜热，同时产生雨（雪）、冰雹等。这一热机理论在气象学理论中是被认可的，但埃斯皮试图通过制造热机产生降雨的构想则有些远离实际，他试图通过燃烧森林驱动大气产生上升运动，促成水汽凝结和降水。由于缺乏必要的政治支持和赞助经费，所策划的大规模测试方案最终未能付诸实施[1]。

另一位试图利用现代科学方法造雨的美国人是查尔斯·哈特菲尔德（Charles M. Hatfield，1875—1958年），采用的是化学方法。1902年，查尔斯制造了一种由23种化学物质组成的混合物质，放入一个大型镀锌蒸发罐中，声称这种混合物可以吸引雨水。1904年，在洛杉矶的一个牧场首次开展了试验，农场主承诺如能产生雨水将支付查尔斯50美元，查尔斯成功了，最终获得了100美元的酬金。对此，气象局并不认可，认为所发生的降雨仅是已来临的一场风暴引发的。此后又开展了多次试验，有成功也有失败，但查尔斯的名气越来越大，1915年，圣地亚哥市议会以四票对一票通过了1万美元的费用，让查尔斯以增雨的方式为莫雷纳大坝水库（Morena Dam Reservoir）提升库容量。查尔斯同意了，在莫雷纳湖旁边建造了增雨塔，1916年新年前后已准备就绪。始料未及，从1月5日开始，突发大雨，且逐日加大，引发了洪灾，大坝破裂，多人伤亡。此时，市议会不但拒绝支付承诺的经费，还要求查尔斯承担赔偿责任。双方开始了持久的官司，直到1938年，最终法院裁定事件属于天灾，免除了查尔斯的责任。查尔斯声称先后获得过500次成功，但他并没有将化学物质合成方法留给后人，其科学性也受到质疑，有评论说查尔斯的所谓成功主要归功于他对气象科技的把握，通过选择下雨概率很高的时期作业，提高了成功率[2]。

同样，在我国的历史文献中，也可以发现关于人工影响天气的类似记载，如我国北魏地理学家郦道元所著的《水经注·江水》中就有这样的描述：“天旱，燃木崖上，推其灰烬，下秽渊中，寻即降雨。”写的是三峡某地区的祈雨活动，在高崖上通过燃烧木材使得空气形成上升气流，气温降低，水汽易达到饱和状态，同时燃烧可以增加凝结核，也有利于增加降水。其原理与美国埃斯皮提出的有相通之处，年代则更早一些。17世纪末，中国清代刘献廷撰写的《广阳杂记》记载：“夏五、六月间，常有暴风起，黄云自山来，必有冰雹，土人见黄云起，则鸣金鼓，以枪炮向

收稿日期：2021年8月22日；修回日期：2021年10月17日
第一作者：许小峰（1957—），Emaill: xuxf@cma.gov.cn
资助项目：国家自然科学基金（42142009）；中国气象局气象干部培训学院科研项目（重2021-015）

之施放，即散去。”这是对中国古代用土炮防雹的描述，与现代防雹方法也有类似之处。在清代的《瑣事闲录》中也可看到关于驱雹消雨的描述[3]，类似的记载还有不少。

关于人工影响天气早期的探索与实践活动在许多国家的文献中都可以发现，从获得普遍认同的角度看，人工影响天气进入到现代科学试验的时间始于1946年（图1）。当时，在欧文·朗谬尔（Irving Langmuir）的指导下，美国通用电气研究实验室（General Electric Research Laboratory）启动了一项关于防止飞机积冰的研究项目。实验室的员工文森特·约瑟夫·谢弗（Vincent Joseph Schaefer）在一次试验中将干冰（固态二氧化碳CO_2）放入一个内含0 ℃以下云滴（过冷水）的冰柜后，导致了大量冰晶（ice crystals）形成。随后又试验了几种物质，发现只有在加入干冰后，才出现形成冰晶的效果，且冰柜内部的温度不能低于−23 ℃。谢弗这一发现后不久，他的同事伯纳德·冯内古特（Bernard Vonnegut）开始系统地寻找与干冰晶体结构相似的元素，以便有更多可供选择的人造冰核物质。最终寻找到了三种可能的潜在物质，分别为碘化铅（lead iodide）、锑（antimony）和碘化银（silver iodide）。然而，将这些物质的粉末简单地播撒到冰室后并没有取得显著效果，冯内古特决定将这些物质汽化，其中碘化银颗粒汽化后产生的烟雾取得了成功，在冰柜中生成了许多冰晶，类似于干冰的效果[4]。

图1 文森特·谢弗重现1946年的偶然发现，欧文·朗缪尔（左）和伯纳德·冯内古特（右）在观看

实际上，从试验探索与理论构建角度，20世纪30年代，瑞典气象学家托尔·贝吉龙（Tor Bergeron）、德国气象学家沃尔特·芬迪森（Walter Findeisen）和德国地球物理学家和气象学家阿弗莱德·韦格纳（Alfred Wegener）先后通过试验就提出了云中降水形成的机制[5]，被称为Wegener-Bergeron-Findeisen（韦格纳－贝吉龙－芬迪森）效应，描述了在超冷云中冰晶伴随水汽扩散成核，可以增长为雪粒的机制。基于韦格纳－贝吉龙－芬迪森效应，冯内古特假设，如果在过冷云中加入碘化银或干冰，会促使冰晶成核，在过饱和水汽中增长，最终导致在这些云层中触发降水。

1946年11月13日，谢弗启动了真实试验，在超冷云层中测试他的结果，从一架飞过纽约斯克内克塔迪附近的过冷层云的飞机上释放了大约1.4 kg的干冰。类似于他在冷箱中的试验，云滴转化为冰晶，并增长形成雪幡降落。这一历史性的试验结果，使人工造雨（雪）的设想和研究开始向实际应用转向，进入到全新阶段。

1947年开始，朗谬尔与谢弗作为技术顾问参与了美国军方支持的卷云（Cirrus）计划，通过在云中播撒催化剂的方式影响降雨。他们对不同类型的云进行了大量的播撒试验，包括积云、卷云、超冷层云，甚至飓风云系。卷云项目的结果并没有得到广泛认可，如在1949年12月—1951年7月为期7天的周期播种试验，通过分析确实显示了显著的7天周期过程，朗谬尔因此得出结论，是由于播撒触发的降雨结果。但有科学家提出异议，认为通过分析1899—1951年期间的降雨量和其他气象参数，也能发现7天的周期性，因此，所发生的降雨周期应是正常的自然变化结果。1947年10月10日，朗缪尔和他的同事还通过播散约102 kg的干冰试图改变飓风的运行轨迹，结果飓风的移动路径确实从向东北方移动转为偏西方向，影响到乔治亚州的沿岸。尽管没有充分证据表明这一改变就是播撒的结果，但通用电气公司（General Electric Corporation）成为了数百起损害索赔诉讼指向的目标。

此后世界许多国家先后开展了多项人工增雨试验，并逐步启动了实际作业，其基本原理和方法大都以1946年的成功试验为基础和参照。

2 利益冲突与法律公约

从开展人工影响天气的初衷而言，应是人类在应对天气气候变化过程中主动作为，趋利避害，造福人类自身。但在实际操作过程中，又难免会产生不同群体的利益冲突，需要通过法律或公约来约束。利益冲突会来自两个方面，一是在人工影响天气作业设计和运作过程中，会引发对不同区域产生影响的利益冲突，如在天气系统运动的上游作业，需考虑对下游或其他区域造成的影响；二是若国家之间处于敌对或战争状态，可能通过人工影响天气的方式对对方环境进

行干扰，引发有利于己方的效果。

对于第一种情况，前面提到的美国人查尔斯因开展人工造雨引发洪水灾难可算是一个典型案例，虽然法院最终判决为自然灾害，了结了此案，但仍可作为一种警示，干预自然可能产生负面影响和利益冲突。在中国也有一个被广泛报道的案例，即2004年发生在河南的“五地市争抢一片云”事件[6]。2004年7月9日，有云系生成后从南阳上空向东北方向移动，久旱无雨的平顶山、驻马店、漯河、许昌、周口五地市竞相实施人工增雨作业，从结果看，降雨量最多的是平顶山和许昌，平均降雨超过100 mm，周口市最少，仅为27 mm。引发了周口市相关人员的抱怨，认为有的地方不讲规矩，暴雨成灾后仍在狂轰滥炸。还有一个案例也发生在河南，2007 年5月30日，郑州正值麦收季节，一场持续两天的大雨降临，造成孙贵生等几个农户所种的70余亩小麦浇淋后伏倒在地。孙贵生事后得知是气象部门开展了人工增雨作业，便提出申诉，表示不要求气象部门赔偿，但希望下次人工增雨时应事先在报刊或电视上预告，这次若事先知情，可以在降雨前抓紧麦收[7]。尽管从专业视角对这类争议尚有不同看法，也存在争议，但仍反映出人工影响天气作业可能造成的潜在利益矛盾，且若发生在不同区域或国家之间，协调、沟通解决的难度会更大。2009年初，我国北方因干旱开展了大规模人工增雨作业，就曾引起日本科学家的担忧，认为这样大规模播撒作业会对环境产生负面影响。随着人影技术的发展和作业量的增加，法律、制度、政策、机制层面的问题会随之增多，会涉及到环境、效果、利益、安全等诸多方面，需要引起关注并加快研究解决方案和处理途径[8]。

2002年，中华人民共和国通过了《人工影响天气管理条例》①，其中第14条规定“需要跨省、自治区、直辖市实施人工影响天气作业的，由有关省、自治区、直辖市人民政府协商确定；协商不成的，由国务院气象主管机构商有关省、自治区、直辖市人民政府确定。”其中暗含了不同省份因人影作业产生利益冲突时的处理原则，是一个有预见性的措施，但从执行层面看，还不够细致和具体。

关于第二种情况，目前有明确记载的事件是中越战争期间美军启动的“大力水手行动”计划，在当时是一个高度机密的行动方案，于1967年3月—1972年7月在东南亚实施，目的是在越南战争中，通过人工影响天气方式延长季风季节降雨周期，重点是针对胡志明小道一带北越军队控制的补给线。该计划的具体目标是在精心选择的地区充分增加降雨量，达到软化路面、引山体塌方、增加河水流量、维持土壤饱和状态的效果，以阻止敌方对道路的便利使用。这项行动持续了五年，在每年的雨季（3—11月）实施，动用了五架飞机，其中三架WC-130A（图2），两架RF-4C，所用的材料是碘化银和碘化铅。这项行动每年的费用约为360万美元。

图2 WC–130A——“大力水手行动”计划期间使用的飞机

1974年，军方就“大力水手行动”计划在美国参议院听证会上做了说明，认为虽然这一行动在所设定的区域对道路状况产生的影响有限，且无法核实，但仍肯定其作用，对封锁对方行动做出了贡献，且费用相对较低[9]。

在“大力水手行动”计划实施之后，利用人工影响天气技术采取敌对行动问题被提上了国际议程。1972年，美国停止了在东南亚地区实施的人工影响天气行动。1973年，美国参议院通过了一项决议，呼吁达成一项禁止将人工影响天气用于军事目的的国际协议。1974年7月美国政府开始与前苏联进行双边会谈，一年后两国达成了协议。该协议于1976年12月10日被联合国大会接受，即联合国《关于禁止为军事或任何敌对目的使用改变环境技术公约》（Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques），并于1978年10月5日经多国签署后生效。该公约明确提出：“各缔约国保证不在任何军事或其他敌对行动中使用具有广泛、持久或严重影响的环境改变技术，作为破坏、损害或伤害任何其他缔约国的手段。”根据公约，环境改造技术是指任何通过刻意操纵改变地球（包括生物圈、岩石圈、水圈和大气层或外层空间）自然过程的技术，包括动力过程、组成成分或地球的结构[10]。我国于2005年6月8日正式加入了该条约，这也会涉及到相关法律文件条款的修订。

① 中华人民共和国国务院公报, 2002. 人工影响天气管理条例, (7): 5-6.

这一公约能在“冷战”时期获得通过和签署，实属不易，反映出人们对和平利用自然资源和发展相关技术的意愿，原则上为解决上文提到的第二类问题提供了基本依据，使人工影响天气技术的探索和应用可以在这一框架下通过对自然过程合理干预的方式造福于人类。

3 科学方法与效果评估

美国通用电气实验室的朗缪尔、谢弗和冯内古特等人首次成功开展的试验不仅对人工影响天气发展产生了巨大影响，推进了在气象外场试验、云物理过程、风暴动力学等领域的科技进展。从实际飞机播撒试验中，确实可以发现云系出现显著变化的效果，通过拍照所看到的场景令人印象深刻①（图3）。世界各国相继开展了许多持续多年的大型试验计划，希望能在人工影响天气领域有所突破，也确实取得了许多宝贵的成果和经验，但与预期相比，并没有达到理想的确定性效果。人工影响天气的科研、试验、业务发展至今一直是在不断实践、检验、争议中探索前行。

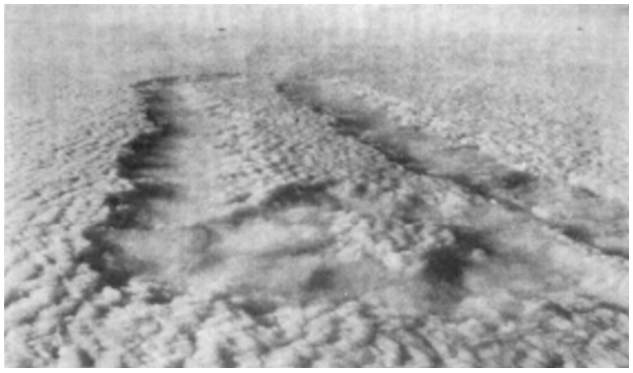

图3 播种结束后24分钟，在过冷云层中播撒干冰后飞机轨道附近云系变化照片

截止到2016年，全球已有50多个国家在实施开展人工影响天气业务计划，包括驱雾、增雨（雪）、消雹等[11]。但与此相伴随，对实际效果的质疑声也从未中断，并不是对其科学原理不认同，而是怀疑这种作业的增雨实效。试验可以在局部云区开展并产生效果，但能否产生可以改变自然状态的显著性降水量，则还缺少足够的证据。大自然的降雨过程是通过大量的水汽存在和产生上升运动的大气动力机制，加上生成雨滴的微物理过程，这一复杂的动力热力作用最终促成了有效降雨，而不仅是解决云中已有的水汽降落问题，其时空尺度与所需要的能量都远非人类局部干预所能相比。伴随人工影响天气的试验和业务的发展，在实际检验评估和得到权威确认问题上一直难以取得一致性意见。

1951年，在美国国会就人工影响天气引发的争议举行的听证会上，卡耐基科学研究所的Vannevar Bush博士作证说：“我已经确信在某些条件下造雨是可能的，我们正站在一个极其重要的问题的门槛上，因为人类已经首次开始可以影响他所赖以生存的天气。”20世纪70年代末，美国商务部的人工影响天气咨询委员会报告也表示，一种可以增强雨雪并减弱不利天气影响的实用技术在科学上是可能的，已进入到我们的视线之内。从这些表态中可以看到对前景的乐观情绪。

但与之相反，美国国家研究委员会2004年给出的报告中指出：“目前人工影响天气作业仍缺乏令人信服的科学证据。这并不是对人工影响天气的科学概念表示怀疑，而是说明我们对大气中的变化过程仍然没有充分的认识和理解，因此也就拿不出可预报、可探测和可证实的结论来。”[12]世界气象组织（WMO）对人工影响天气问题发表过多次评述或声明，总体而言较为谨慎。如1986年3月在日内瓦召开的世界气象组织执委会第三十七次会议通过的声明指出[13]：“科学界认为过去大多数人工影响天气试验是非结论性的，目前对人工影响天气试验的详细评价包括云降水物的测量及其统计分析也是很勉强的。除了人工消散过冷雾外，其他任何人工影响天气都处子试验研究阶段，根据需要来进行人工增雨或有效地抑制冰雹仍是遥远的目标。” 2001年6月，世界气象组织执委会通过的关于人工影响天气现状的声明中指出：“实验室试验确实可以改变运动微结构，这一点在数值模式中得到了模拟，并且通过在雾、层状云和积云等自然系统中的物理观测得到了验证。但是直接证明人工方式能显著地影响降水、冰雹、闪电和风的物理证据是十分有限的。”②从这些声明表态中可以看出与气象学界一些科学家持有的乐观看法有相当差距。

在实际开展的大量试验项目过程中，也可以看到这种争议的存在。如从1961—1983年，美国国家飓风实验研究所（NHRL）开展了持续二十多年的“狂飙计划（STORMFURY）”，试图通过播撒碘化银导致热带风暴中的过冷水冻结，破坏其内部结构，在大西洋进行了数次对飓风的播撒试验。1961年9月16日，NHRP在飓风埃斯特（Esther）中进行播撒试验，八个圆柱体的碘化银被投进了埃丝特的眼壁，记录下的风

① Satellite Retrieved Microphysical Properties of AgI Seeding Tracks in Supercooled Layer Clouds (Annual. Wea. Mod.). Satellite Retrieved Microphysical Properties of AgI Seeding Tracks in Supercooled Layer Clouds.

② WMO, 2001. 关于人工影响天气现状的声明.

速确实减弱了10%，第二天又进行了多次飞行播撒，但没有将碘化银投入飓风眼壁，记录上也没有发现风速降低。这两天的对比试验被认为是成功的，并导致了STORMFURY项目于1962年正式确立（图4），由美国商务部和海军联合实施。按照计划，开展了多年试验，取得了不少次与试验预期相一致的效果。1969年8月18日和20日，13 架飞机对飓风黛比进行了播撒，取得了风速分别下降了31%和18%的效果，变化与预期一致，令人鼓舞。该项目还曾设想过到西太平洋开展试验，由于未得到中国的认同而放弃。尽管有不少成功的案例，但随着对大量飓风的系统分析，观察到这种眼壁变化在非播撒的飓风中也很常见，难以确定其发生变化的原因，这导致了对STORMFURY计划最初假设的怀疑。此外，通过其他观测也发现热带风暴中几乎没有过冷水的存在，也与播撒效果的假定不符。尽管通过该项目的执行，积累了大量实际观测资料，有效地推动了飓风研究工作，但由于推动其立项的假设无法证实，STORMFURY计划于1983年被终止[14]。

图4 1966年STORMFURY项目机组人员合影

类似于STORMFURY计划，开始获得成功，取得效果，后又被质疑的情况并非个案，美国科学基金会支持的著名科罗拉多州地形云增雨试验（CLIMAX-I和CLIMAX-II）开展于1960—1970年，持续了十年，被认为是少数在统计意义上通过了显著性检验，并具有物理可解释性的试验[15]，其增雨（雪）的效果可以达到15%或更高。但随着更多的资料公开及开展进一步分析后，质疑声或否定的意见也随之而来[16-17]，这也说明了人工影响天气和评估检验技术本身存在的复杂性和不确定性。1982年科尔（Kerr）在*Science*杂志发表了一篇综述性文章，简要评述了20世纪70 年代末—80年代初开展的一些重要人工增雨项目所发表的研究成果，指出了其中一些问题和应吸取的教训，产生了较大影响[18]。或许与这些质疑声有关，美国在人工影响天气领域提供的经费支持在20世纪70年代达到1900万美元的较高水平后，到80年代后出现了明显萎缩（图5）。

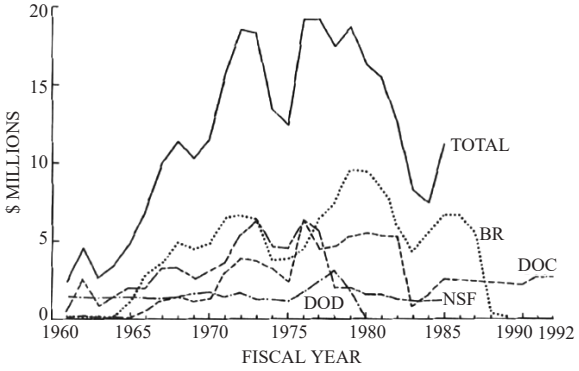

图5 美国政府对人工影响天气资助上世纪末变化

直到2003年美国国家研究委员会（National Research Council）提交给了一份报告，认为“技术的进步在评估云播撒方面具有潜在价值，指出处理大气复杂过程的计算能力已有了显著进步，观测技术也有了明显提升，但这些变化没能以持续的方式应用于人工影响天气。若想在这一领域取得进展，取决于对云、降水和更大尺度大气过程基本认识的提高。如能持续利用技术上已取得的进步，探索存在的悬而未决的问题，有可能取得进展。”这份报告促成美国国家科学基金会恢复了对云播撒评估试验的资助，如2005、2006年冬季—2013、2014 年冬季实施了怀俄明人工影响天气飞行计划（WWMPP）①，在具有较大增雨潜力的怀俄明州中南部的马德雷山脉和梅迪辛博山脉开展了试验，取得了平均增加降水5%～15%的评估结果。

美国对人工影响天气的研究在20世纪末至21世纪初出现了近二十年的低谷，但包括澳大利亚、印度、以色列、南非、泰国和中国等国的研究试验仍在持续，并取得了增雨效果10%～30%的评估结果[19-20]。如以色列于1961—1967 年和1969—1975 年进行的两期飞机人工增雨随机试验取得平均增雨效果约10%～15%[21]，在国际上很具影响；我国于1975—1986年在福建省古田水库开展了为期十二年的地面人工增雨随机作业和效果检验，取得了平均增雨20%左右的效果[22]。这些成果，一方面通过了按一定科学规范设定的方法检验，另一方面考虑到检验方法的多样

① http://wwdc.state.wy.us/weathermod/WYWeatherModPilotProgramExecSummary.html

性，作业区域和具体操作方式的差异性，及大气运动的复杂性，仍会有人根据自己的方法和理解提出不同看法和质疑，在目前气象科技进展的条件下，预计这种争议将会持续相当长的时间。

4 几点归纳

在科学试验中取得成果与在实际作业中能产生效益有很大差别，不能因在试验原理上取得成功而急于大范围推广。对于目前仍在不断提出的新方法，要特别注意这一点。如2011年《自然－通讯》发表文章，介绍了瑞士科学家开发的激光辅助冷凝方法控制降雨的技术[23]，引起较广泛关注，也有人开始进行业务作业试验，并提出工程化。类似的新技术、新方法还不少，会不断出现，在鼓励创新的同时，一定要遵循客观规律，在科学探索的进程中循序渐进，不能轻言跨越。

人工影响天气既是科学问题，也是一个系统工程，涉及面较广，特别是当利益、环境、责任等问题出现时，需要通过制定各方都能接受的法规、政策、标准等方式来解决，甚至需要通过签署国际公约来约束，这是在发展人影科学与业务的同时需要谨慎考虑的。

效果评估检验是一个非常重要的环节，也具有高度的不确定性和复杂性。目前被科技界普遍认可和采纳的三种方式，即统计检验、物理检验和数值模拟检验，各有其优点和难度，需要综合设计和应用，也需要相应的技术提升。统计检验方法需要的投入大，周期长，物理检验需要与先进的探测技术相结合，数值检验也需要探测技术与模式能力相结合的支持。随着人工影响天气科研与业务的持续发展，这是一个必须同时考虑和解决的问题。

在人工影响天气领域耕耘的科学家们仍面临严峻挑战，有许多问题尚未得到解决，还有漫长的路要走。这不仅是要解决控制、影响天气的问题，而是对大自然变化的复杂过程进行科学探索，尽管在短期内还无法完全实现改变天气的意愿，但通过各种试验、分析、对比，对深入了解大气运动变化规律显然是有益的，值得长期支持和投入。

中国目前已成为在人工影响天气领域发展规模最大的国家，从机构组织设立、业务覆盖范围、政策规划制定、法规标准建设、资金项目投入等方面都是其他任何国家难以相比的。但与此同时，投入与风险、成本与效益、业务运行与科技支撑等也成为无法回避的问题，需要在发展建设的同时统筹协调，综合平衡，持续着力解决难点问题，提升科技支撑水平。

参考文献：

[1] Claudio C, Cristoph R. Climate Engineering-Kann und soll man die Erderwärmung technisch eindämmen? Büro für Technikfolgen-Abschätzung. Berlin: Edition Sigma, 2014. https://searchworks.stanford.edu/view/10735468.

[2] Spence, Clark C. The Rainmakers. Lincoln: University of Nebraska Press, 1980.

[3] 张江华. 清代我国的“人工驱雹”与“人工降雨”. 气象, 1992, 18(12): 36-37.

[4] Cotton W R, Pielke Sr R A, 2007. Human Impacts on Weather and Climate. Cambridge: Cambridge University Press.

[5] Storelvmo T, Tan I. The Wegener–Bergeron–Findeisen process—Its discovery and vital importance for weather and climate. Meteorologische Zeitschrift, 2015, 24: 455-461.

[6] Langmuir I. A seven-day periodicity in weather in United States during April 1950. Bulletin of the American Meteorological Society, 1950, 31(10): 386-387.

[7] 徐生钰. 大气水资源的产权问题研究. 人民黄河, 2006, (3): 52-54.

[8] 杨桦, 肖宝玭. 论人工影响天气的法律救济及法院的作用——以法院参与社会管理创新为视角. 江汉大学学报(社会科学版), 2012, (3): 48-53.

[9] United State Senate. Subcommittee on Oceans and International Environment of the Committee on Foreign Relations. Washington: US Senate Hearing on Weather Modification, 1974.

[10] UNOG, United Nations Office at Geneva. Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques (ENMOD). United Nations Office at Geneva, 2012.

[11] Lisa M P, Munoz. Seeding Change in Weather Modification Globally. WMO Bulletin, 2017, 66(1).

[12] Collins R. Critical Issues in Weather Modification Research. National Academies Press, 2003. https://doi.org/10.17226/10829.

[13] 董惠萍, 刘德才. 人工影响天气现状评述——世界气象组织执委会第三十七次会议(1986.3日内瓦)通过的声明. 新疆气象, 1987, (1): 20, 43-46.

[14] Willoughby H E, Jorgensen D P, Black R A, et al. Project Storm fury: a scientific chronicle, 1962–1983. Bulletin of the American Meteorological Society, 1985, 66(5): 505-514.

[15] 李大山. 人工影响天气现状与展望. 北京: 气象出版社, 2002.

[16] Rangno A L. How good are our conceptual models of orographic cloud seeding? American Meteorological Society, 1986: 115-126.

[17] Rangno A L, Hobbs P V. Comments on “Reanalysis of ‘Generalized Criteria for Seeding Winter Orographic Clouds’ ”. Journal of Applied Meteorology, 1981, 20(2): 216-217.

[18] Kerr R A. Cloud seeding: one success in 35 years. Science, 1982, 217: 519-521.

[19] Al Hosari T, Al Mandous A, Wehbe Y, et al. The UAE Cloud Seeding Program: a statistical and physical evaluation. Atmosphere, 2021, 12: 1013.

[20] Gabriel K R, Neumann J. A note of explanation on the 1961–67 israeli rainfall stimulation experiment. Journal of Applied Meteorology, 2010, 17(4): 552-554.

[21] Gagin A, Neumann J. The second Israeli randomized cloud seeding experiment: evaluation of the results. Journal of Applied Meteorology, 1981, 20: 1303-1311.

[22] 曾光平, 方仕珍, 肖锋. 1975—1986年古田水库人工降雨效果总分析. 大气科学, 1991(4): 97-108.

[23] Henin S, Petit Y, Rohwetter P, et al. Field measurements suggest the mechanism of laser-assisted water condensation. Nature Communications, 2011, 2(2): 456.

（作者单位：中国气象局）