天气导变研究方向刍议

王鹏飞

提 要

本文对天气导变技术发展的历史作了分期性回顾,指出当前外场云结构探测、实验室试验、数值天气导变模式的拟订、统计效果检验的设计等研究所存在的困难和解决的方法,并提出个人的建议。

我国天气导变工作,早在1951年就已开始,那是以台湾电力公司为主*,用飞机撒播干冰和碘化银的人工造雨试验。在大陆上,天气导变飞机作业始自1958年8月上旬**,当时的目的虽在减轻吉林旱象,补充小丰满水库缺水。但结果使天气导变试验在全国范围展开,云雾物理研究也因而有迅速发展。因此,吉林天气导变试验,是影响最为广大、意义最为深远的我国云雾物理研究的外场作业。

一、天气导变技术发展的历史回顾

自有人类以来,天气就不断影响着人类的社会活动,人类不仅想预知天气变化,还想以人力影响天气。回顾天气导变技术的发展,有过三次历史性的重大进展***。

1、以“火”为导变剂时期

早期,人类曾热衷于以“火”作为导变剂来影响天气。但当时并未意识到“火”就是导变剂,而仅仅认为火是沟通人、神间的桥梁。甲骨文****中曾记载:

“癸巳贞,其奈于山,雨?”

“奈云,不雨?”

“乙卯卜,今日炆,从雨。”

“奈”是篝火为祭,“炆”是篝火焚巫为祭。可见当时采用的是“篝火求雨”,有的在山上篝火求雨,有的向云作篝火求雨,有的还篝火焚人畜求雨。

1989年5月30日收到,1990年1月15日收到修改稿

*刘昭民,中华气象学史大事年表,320页,及栗庆飞,1951—1978年台湾省人工影响天气活动

**吉林省气象局,吉林省人工造雨试验初步总结,1958

***王鹏飞,天气导变学发展的讨论,南京气象学院《气象教育与科技》,1980,3

****董作宾,小屯·殷虚文字甲编,3642页,1948;贝冢茂树,京都大学人文科学研究所藏甲骨文字,3081,1959;和罗振玉·殷虚书契续编,4181,1933

2、以“震爆”为导变剂时期

这可追溯到中世纪的声音求雨(火药的发明使这个进展更受人重视),约开始于距今300年前,在刘献庭(1648—1695)的《广阳杂记》中,就载有甘肃土炮消雹的情况。当时人们在天旱时热衷于“炮击致雨”。迄今在国内外,尚有利用爆炸致雨消雹的设想,以进行天气导变实践。

3、以“播云剂”为导变剂时期

这一时期始于20世纪中叶。1946年由夏弗(Schaefer, V. J.)和冯乃高(Vonnegot, B.)分别发现了干冰和碘化银可作为播云致雨的导变剂而鼓动了天气导变的第三次新热潮,至今也尚未脱离这个时期。我国1951年及1958年的天气导变也是这个热潮的产物。新的播云微粒尚在不断寻索之中,食盐、干冰、碘化银等仍是迄今采用最广、效果较好的播云剂。

通过上古的以“火”为导变剂、中古的以“震爆”为导变剂和近代的以“播云剂”为导变剂这三次天气导变的热潮,人们认识到热力作用、机械振动作用和相变作用等在天气导变作业中的重要意义。第一次进展充满了原始的迷信成分,认为“火”是沟通人、天的途径。第二次进展,迷信与科学认识参半,并逐渐从迷信走向科学。例如最初曾相信教堂钟声的作用,也曾相信山区人声振喧能使鬼怪惊恐而降雹。第三次进展正是科学的飞速发展时期,探测及播撒工具、计算工具、分析方法、理论准备等条件,都比前两次进展得充分,并开展了天气导变各方面的试验研究工作,如实验室(包括云室)试验、数值模拟、效果统计检验、外场作业等。这些试验首先促成了云雾物理学这门新兴学科的建立和深化,同时也使天气导变技术建立在科学性远比上古、中古两个时期为强的物理基础上。

综观上古、中古及近代天气导变的历史,可见注意力均集中在导变剂方面。这是必要的,也取得了不少成就,但还远远不够。因为天气导变作业包括了许多环节,例如播撒方法、播撒部位、播撒时机、剂量等等。这些环节又都与瞬息多变的播撒对象(云)的演变分不开,它的演变个性和阶段不同,播撒方法、部位、时机也应相应有所变化。天气导变的效果与这许多环节中的任一个都有关系,导变剂仅是这些环节中的一个。仅把注意力集中于这一环节,显然就不够全面,而且导变剂也有多种多样。近代导变重视的导变剂仅是其中的播云剂(如食盐、碘化银、干冰等),重在相变效应。至于机械振动效应、化学热力效应、气流及水汽供应或截断效应、电场及电力的强度变化效应等,都有导变作用,它们的个别作用和综合作用都应予以研究。在近代,对它们的研究不能说毫未触及,但往往浅尝即止。有些过程仅做了一些肤浅工作就猝然否定,显得不够郑重。

除了对天气导变作业各环节考虑不全面外,对已考虑的环节(如导变剂),在导变的思路上也显得不够开放。近代天气导变,虽有实验室试验、数值模拟、效果统计、外场作业等的配合,开辟了一些新的方法领域,提出了一些新的理论,深化了一些新的认识,并取得了很大成绩。但总觉似乎缺乏了一个联系到现实云雾特性的关键接合部。由于忽视了这个接合部,使得实验室试验、数值模拟、效果统计、外场作业在实现促进天气导变的功能方面,出现了困难,阻碍了实验室试验、数值模拟、效果统计、外场作业

的进展,成为天气导变这门学科难以发展的根本原因。

为了克服这些困难,有必要对所存在的问题,作一些深入的讨论。

二、当前天气导变研究中存在的问题

1、外场云结构探测模式化及失真的问题

通过对云结构的探测,已获得了许多云结构模式,对理解云中过程提供了直接信息,有助于云物理学的发展。但由于云中结构和过程十分多样,所获得的云模式只是千变万化云结构和过程中的抽样样品。这种“抽样”需要结集当时的最新仪器设备才能进行,又由于设备的先进性及各种设备的配套性条件的局限,使抽样工作不能经常进行。因此,少量的直接探测所得的云结构模式就被珍视而凝固化。新的模式不能否定旧模式,但新模式的出现,往往使一段时间内人们热衷于“新”而冷漠了“旧”,似乎一切云中结构都以新模式为标准所组成,并可延续到再一次更新探测所得的云模式而后止。如1976年Foote和Knight的雹云模式^[1],在1984到1988年希腊国家防雹计划中仍在用^[2]。另外,同一个云的结构是时间的函数。由于探测工具的局限,一次探测所得的云的各部分信息,不能严格遵守“同时性”原则。例如利用飞机或探空仪进行探测时就有这种情况。若把由此而得的结构信息硬凑在一起,所形成的图象,就会有“丰胸、老腹、童子腿”的怪现象,常有很大的失真。根据这种拼凑形象所得出的内部运动机制,显然也很难符合实际。要打破结构模式凝固化及失真的现象,就非得改进现场探测仪器设备不可。

2、实验室结果难以用到天气导变作业中的问题

世界气象组织多年来号召,要科学地进行天气导变的基础研究。所以许多实验室及云室的研究取得很多成果,研究出某些播云剂在各种不同条件下可以起到的各种效果。不过当前还存在两个问题:一个是迄今尚无探测云中已撒的播云剂的部位及在云中扩散轨迹的先进设备;另一是云的结构模式凝固化的思想。根据雷达、卫星及飞机探测等工具的探测发现,云中结构是很复杂的,即使是同一云属的云,其结构也决不能用已归纳出的一些模式完全概括。就是在同一块云中,在同高度上的各处,物理条件和气流情况也很不相同,而且在其各发展阶段,结构也有很大变化。按照目前播云办法,就根本不能肯定云内播云剂扩散源的所在和扩散物所经区域的扩散浓度以及环境的物理和化学条件,也不可能判断播云剂在云中是否处于实验室所要求的环境。因此实验室研究成果就无法应用到天气导变上去。另外,播云剂在云中争相消耗水汽等理论,是建筑在“云中水汽受封闭”的假定下作出的。如苏联Sulakvelidze等人(1965)的人工消雹思路^[3]和1984—1988年希腊国家防雹计划的制定^[2]都是采用这一思想。事实上云始终是一个开放性系统,水汽不断在云内交换,所以“争蚀理论”有其一定的缺陷性。由于上述的一些问题,目前对于播云剂在云中所产生的作用,只能凭一些片面的检验(如降水中已含催化剂)及想当然的模式或理论作原理性推估(如一般云中该季节零度层高度已被带药高炮炮弹打得到),这当然是不能令人满意的。如不改变这种局面,即使实验室工作做得更细致,每年或每次天气导变作业,仍无法作出令人信服的合理总结,而只能从周围

及下风方降水情况等, 笼统作一些例行公事式的分析。对于播撒源在云中的位置、播撒时机、播撒剂量等, 由于缺乏根据, 难以提出改进意见, 也就无法改进天气导变作业技术。另一方面, 由于实验课题不来自实际天气导变, 就难以在天气导变作业中应用, 因而影响了实验室试验的发展。

3、数值天气导变模式在某些方面与实际天气导变作业的脱节问题

近年来数值天气导变模式在国内外有很快发展, 这对节约外场作业的财力、人力、设备及时间, 理解导变机制等方面都有重要作用。但也存在不少问题, 首先是表达所模拟出的云的方程, 限于探测及计算处理条件, 并不能与当时实际云相应, 其中就有许多简化假定或理想化成分。其次是数值模拟播云与实际播云有很大不同。数值模拟播云不是真用播云剂, 而是把播云剂的温度效应、相变效应等输入到一定时步中去。它虽能指导实际播云, 但云中实际温度效应和相变效应的产生不仅与云发展的阶段及播撒的部位有关, 也与所用播云剂的实际成分、性能、播量及播撒方法等有关。天气导变作业中实际播撒受许多当时随机因子、云内结构演变、播撒技术、工具、时机、财力、人力调配等多方面的制约, 它们是不可能数值模拟天气导变中考虑进去的。因此, 实际天气导变的结果往往与数值模拟天气导变有较大的出入, 而要求实际播撒完全按数值模拟方法进行又不可能, 且数值模拟中参数化的方法, 更是为运算方便而采取的措施, 很难使实际某一次播云中符合参数化规律。可见数值模拟天气导变在某些方面与实际天气导变存在“脱节”, 任何顺利的数值模拟天气导变, 并不能解决实际天气导变中所存在的技术困难。不解决这些“脱节”问题, 改进实际天气导变的效果就难以实现。也就因为这些“脱节”问题的存在, 而影响了数值模拟天气导变研究的发展。

4、某些统计效果检验无助于天气导变技术发展的问題

近20年来, 在世界各地天气导变工作中, 广泛地提倡“随机性对比作业的统计效果检验”。为了验证作业的效果, 严格的统计检验是必要的, 但“随机性对比作业的统计效果检验”存在一个根本性的弱点, 即它要求长时期(10多年)用同一方法进行天气导变作业, 如作业方法有改变, 统计的资料序列就会中断。细析这种统计检验的要求, 可以看出, 它是阻碍天气导变科学进展的“紧箍圈”。如果执行这种办法, 天气导变作业方法就势必保持10多年不变。万一做了10多年作业, 统计效果不佳, 就意味着失去10多年改进作业的时机。如果统计的效果很好, 那也仅仅证明可以按10多年前的老方法进行。在科技飞速发展的年代, 谁能安于“十年磨一剑”的牛步化速度呢? “面壁十年”是解决不了问题的, 必须“破壁”进行改革。

即使按“资料统计应保持条件不变”的规定, 也应包括两方面, 一是“所采用的天气导变方法”不变, 一是“所处理的天气导变对象(云)的性质”不变。所以只强调“方法”的10多年不变是不够的, 还应强调导变对象也10多年不变, 否则仍将中断资料序列。“方法不变”可以控制, 而“对象不变”却不是绝对能够支配的, 谁也不能担保在10多年中所处理的云是完全相同的, 这也是目前推广的随机性对比作业的统计效果检验方法失效的根本症结, 因而10多年一贯制的“导变方法”很难坚持不变。即使象以色列那样被国际天气导变同行认为在坚持方法不变的随机对比作业的统计效果检验做得很好,

也仍难保证在这长期处理中,云对象都符合统计要求。

更有甚者,上述统计检验方法在推行的多年中,并不致力于直接推动天气导变技术的进展,其目的仅在使天气导变的实践为统计检验服务。它是在既定天气导变作业方法的基础上进行,只为满足统计检验的要求而进行作业设计。而作为天气导变工作者所关心的,却是如何改变作业方法以使导变更有实效。因此,不能把统计方法的改进,视为天气导变技术的改进。

另外,统计检验的效果,只表示统计资料覆盖时期内天气导变作业的总观性效果,并不表示每一次作业的效果。而人们希望能有肯定或否定每一次天气导变作业的效果,这又是上述的统计检验方法所难以胜任的。为此,应该找到一种允许随时改进天气导变技术并能及时对每一次作业效果作较好判定的新统计方法,才能使天气导变的统计检验得到新生。

三、进行“云特性场分析”是推进

天气导变各方面研究的必要条件

天气是一个系统,从“系统论”的角度看,科学上最早利用系统论观点进行分析的,是天气图分析^{*}。它最先探讨“气象要素场”的时空分布。首先从了解“场”的观点来安排观测网,并用“场”的观点来分析天气。由于采用了“场”的观点,就使疏散的个别点的观测资料成为有时空组织的“场”的抽样点。“场”是渗透于系统各部分的整体特性,它把“孤立的离散”粘合为“连续的整体”。由于研究并分析了“场”,从天气图中就发现了“天气系统”和“气压系统”。不同时空中的孤立现象显示了有机的相关性,于是个别成为整体中的个别,整体具有了组成其结构的个别所不存在的整体特性。整体的“生长、发展、衰亡”成为比个别的“生长、发展、衰亡”的更高一级的生命史现象,但却与个别的“生长、发展、衰亡”的现象发生了息息相关。分析各气象叠合场的结构,大大丰富了天气图分析的内涵,推进了天气学的进展。

在天气导变技术发展,能不能把天气图分析“场”的观点也移植过来呢?笔者认为是可以的,也是必要的。只有移植,才能使天气导变脱离盲目实践,并能使为天气导变服务的实验室试验、数值模拟、效果统计检验、外场探测和作业获得发展。

天气导变所研究的作业对象是云体及其环境。它们是一个整体系统,其中各气象环境参量,也都组成各自的“场”,各“场”互相影响。如常山之蛇,击头则尾动,击尾则头动,击腰则头尾皆动。

就天气导变技术所需要研究的“场”来看,有回波强度场、温度场、湿度场、滴谱场、含水量场、气流场、电场等,这些都是“环境场”。为了研究天气导变的效果和机制,我们还要研究播云导变剂的“播撒扩散场”。研究天气导变,必须把播云剂放到客观云雾环境中去考虑,这就是说“扩散场”与“环境场”必须相互叠合地进行研究。这种叠合无异于开辟一个空中现场实验研究“新世界”。把这个由“新世界”中研究所得的问

^{*}19世纪上半叶已有天气学的制作,但当时是不自觉地应用了“系统论”及“场”的观点——作者注

题进行室内实验研究,可使室内实验研究的课题有的放矢,并将室内实验结果应用到上述“空中实验世界”中,可以印证实验室成果,解决了实验室所得结果难以用到天气导变上去的困难。这样就必然为室内实验的发展,开辟了取之不尽,用之不竭的源泉。

利用“场”的观念进行“环境场”及“扩散场”的演变观测,就可与数值模拟的时步情况进行逐步对照,更深入的印证或修正天气导变的数值模拟。这能在一定程度上解决数值导变模式与实际天气导变的脱节困难,从而也有利于发展天气导变的数值模拟方法。

所分析的天气导变的“环境场”和“扩散场”都是同一时刻的瞬间场。这些瞬间场的演变是各“瞬间场”相互影响的结果。由于有“扩散场”参与其间,因此就有可能研究播撒剂在“环境场”中的变化及“环境场”受播撒剂的影响情况。这种丰富的“环境与播撒剂”的相互作用的细致演变过程,将使我们前所未有的条件去分析导变效果,不仅能分析每一个播撒个例的效果,还可以分析在一个个例中任一阶段的导变过程,而且它不要求10年以上的导变方法守恒,不要求每次导变对象云都是同一种模式的云,导变手段、导变剂性质、播云剂量等的改变,并不影响效果检验。由于任何导变方法的改进都能较灵敏地反映在“环境场”的变化中,它不需要对比区或随机作业。因此它比之现行的统计效果检验法要优越得多。可见推行“场”的变化的效果检验法,能为天气导变检验方法找到新的发展途径,是值得提倡的。

将云内外“环境场”进行研究,即使不包括“播撒扩散场”,也将是目前云雾物理学的方法论中的一项革命。因为它可提供云的各种“气象参量场”的组合形式,可获得取之不尽用之不竭的绝无相同的云场结构(如云的不同回波结构、温度结构、风结构、滴粒谱结构、相结构、含水量结构、电结构、长短波辐射特性结构等之间的千变万化的组合态)的无数个例。由这些个例,还可研究云的组合态的演变史例,再进一步利用动力及热力等各种理论来分析这些个例的演变理论规律。所得的云模式必然远比目前所认可的几种有限云模式(包括云的物理模式及数值模式)要丰富精采得多。

如果结合“扩散场”和“环境场”进行分析研究,将从播云剂的特性、剂量及播撒部位,根据“环境场”判定播云剂的“播撒点”。再根据“播撒点”与同时的“环境场”,预报播云物在扩散过程中对云将起到什么样的导变作用,并随时从其后的“环境场”演变中求得这种导变的印证。还可以从导变实效中,分析播云方法、剂量、部位及播云剂性质中存在的问题。从而在改进播云剂及播云技术方面可有的放矢地提出有把握的改进措施,这必然能科学地、大大地促进天气导变技术的进步和发展。

四、实现“云特性场分析”的关键与建议

要实现“云特性场分析”,关键在于发展云参量的遥感技术。因为我们强调分析的是“场”,而“场”只有运用遥感技术才能获得。我们希望叠加并分析的“场”必须是同一剖面、同时、同视野的“场”,这也只有遥感技术才有可能。我们要求获得瞬时场及场演变动态,这又仅能借遥感电子设备才能完成。显示的图象化、数字化、实时性,也需依赖遥感设备。

虽然现在已有一些先进遥感设备,可以测量云中各种参量场,如常规气象雷达可提供回波强度场;多普勒雷达可提供云的气流场;卫星辐射计的有关通道可提供云顶温度场、辐射场、水汽场;廓线仪也可提供温度廓线等。但各要素场在时间上的实时、同时、近乎瞬时性,以及在空间上的同一剖面、同一视野范围的探测性能,尚未很好实现。因此,所得各场,无法叠合以供分析。又如在“环境场”的遥感方面,尚有不少场(如电场、滴谱场等),缺乏合用的遥感工具,而对“扩散场”的遥感,办法尤少。这些问题都是我们实现天气导变场分析所应当解决的。尽管这些问题的解决,难度甚大,但从世界目前遥感技术发展形势来看,也并不是不可能解决的。首先,建议主管天气导变工作的部门,加强云的配套遥感设备的研制,组织遥感工程单位、专家,研究解决这些难点的设计原理,制订研制这些配套设备的计划和方案,并采取各种努力予以落实。同时,还应尽量利用已有的遥感“环境场”的各种设备,加强并充分发掘、重叠现有同时探测到的各气象环境场的方法,深入“分析方法”的研究,以使云雾物理及天气导变学摆脱当前国际及国内的进展迟缓状态,进入有充分客观资料为依据的正确科学道路。并使天气导变的实验室研究、数值模拟、统计检验及外场实践,均出现前所未有的跃进。使天气导变学及其实践,驰骋于充满无限发展远景的新天地中。

参 考 文 献

- [1] Browning, K.A. and Foote, G.B., Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression, Q.J.R.M.S., July, 1976.
- [2] Karacostas, T.S., The Greek national hail suppression program, design and conduct of the experiment, WMO/TD, No. 269, Papers submitted to the fifth WMO scientific conference on weather modification and applied cloud physics, Beijing, China, 8-12, May, 1979.
- [3] Hess, W.N., 著, 生昂生等译, 人工影响天气与气候, 316-343, 科学出版社, 1985.

A SKETCHY SUGGESTION CONCERNING THE RESEARCH ORIENTATION OF WEATHER GUIDOLOGY

Wang Pengfei

ABSTRACT

This paper reviews the historical stages of the technological progress in weather guidology, pointing out the difficulties existing in field detection of cloud structures, laboratory experiments, construction of numerical weather guidological models and design of tests for statistical effects. Which are currently all under way for the purpose of improving the weather guidological effects. Approaches to tackling the difficulties are also proposed in this paper.