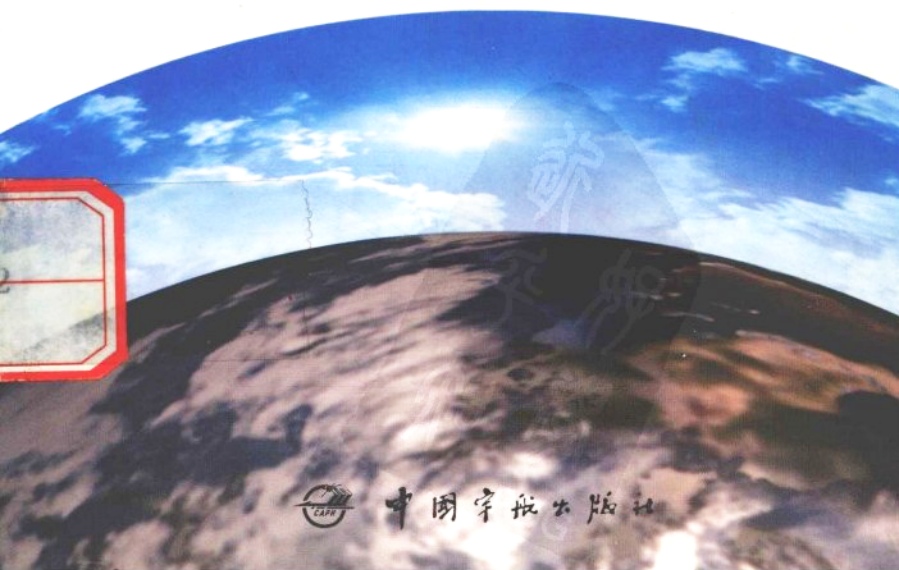


人工影响天气 作业方法及设备

陈光学 王 铮 编著



中国气象出版社

人工影响天气 作业方法及设备

陈光学 王 铮 编著

中国宇航出版社

图书在版编目(CIP)数据

人工影响天气作业方法及设备 / 陈光学, 王铮编著. —北京: 中国宇航出版社, 2002. 7

ISBN 7-80144-454-X

I. 人… II. ①陈… ②王… III. 人工影响天气
IV. P48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 050131 号

出版 中国宇航出版社

社址 北京市和平里滨河路 1 号 邮编 100013

经销 新华书店

发行部 (010)68372924 (010)68373451(传真)

读者 北京市阜成路 8 号 邮编 100830

服务部 (010)68371105 (010)68522384(传真)

承印 北京科技印刷厂

版次 2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092 开本 1 / 32

印张 5.25 字数 127 千字

印数 1 ~ 2000 册

书号 ISBN 7 - 80144 - 454 - x

定价 15.00 元

本书如有印装质量问题可与发行部调换

前 言

人工影响天气是千百年来人类的夙愿,也是近几十年来迅速发展的一门学科和应用技术。现代人工影响天气活动是在 20 世纪 30 年代或 40 年代中后期发展起来的。我国的现代人工影响天气活动是在解放后才开始的,而大量的人工影响天气活动的开展,则在改革开放以后。随着工农业的迅猛发展,对水的需求与日俱增;而干旱、雹灾却严重地威胁着我国的工农业生产,尤其是农业生产。在缺水和多冰雹的地区,人工增雨、防雹已经成为增加降水、缓解旱情和抑制冰雹、减轻雹灾的重要措施,并且已取得了一定效益。

为了普及人工影响天气方面的知识,我们编写了这本小册子,目的是简要介绍有关人工影响天气的方法和使用的工具。由于影响人类生活和生产的天气现象很多,有一些天气现象,现在人类还无力或难以施加影响,比如台风、龙卷、雷暴。所以,本书主要介绍增雨和防雹作业的方法和设备,其重点是应用火箭进行增雨和防雹作业。

全书共分 10 章:前 3 章,简介有关天气现象基础知识,人工影响天气的发展史,各种人工影响天气的方法及其作业工具;第 4~9 章,分别介绍火箭的动力、催化剂播撒装置(含地面和空中播撒装置)、火箭残骸处理、火箭发射装置、火箭的飞行和火箭的结构;最后一章,专门介绍 WR 系列增雨防雹火箭的结构、使用和维护。

在本书编写过程中得到增雨防雹火箭公司设计组同志们的大力支持;走访了有关人工影响天气方面的专家,得到他们

许多帮助。在此,一并表示谢意。编者还要感谢宇航出版社的宋兆武先生,他为本书的出版付出了艰辛的劳动。但是,由于编者水平有限,谬误和疏漏之处仍在所难免,敬请读者和专家批评教正。

编者

2002年3月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 人工影响天气问题	3
1.3 人工影响天气发展史	3
第二章 有关天气现象的基本知识	12
2.1 天气现象的尺度和大气的能量	12
2.2 云的形成	13
2.3 云与降水的关系	18
2.4 冰雹形成机制	24
2.5 其他天气现象	28
第三章 人工影响天气作业	33
3.1 概述	33
3.2 地面作业系统	34
3.3 高炮增雨防雹作业	35
3.4 飞机人工增雨作业	36
3.5 增雨防雹火箭	38
3.6 其他作业的火箭	44
3.7 完善人工影响天气作业体系	47
3.8 人工影响天气效果评估	48
第四章 火箭的动力装置——固体火箭发动机	51
4.1 概述	51

4.2	发动机总体	52
4.3	药柱	55
4.4	燃烧室壳体	64
4.5	喷管	70
4.6	点火器	71
4.7	试验	73
第五章	催化剂的播撒	77
5.1	概论	77
5.2	催化剂的种类	78
5.3	播撒系统	80
第六章	火箭残骸的处理	86
6.1	概述	86
6.2	降落伞回收系统	86
6.3	置于火箭头部的回收系统	90
6.4	置于火箭尾段的回收系统	92
6.5	控制装置	92
6.6	火工装置	94
6.7	打开机构	94
第七章	发射装置	96
7.1	概述	96
7.2	发射架	96
7.3	发射控制器	104
第八章	增雨防雹火箭的飞行	106
8.1	空气及其阻力	106
8.2	火箭飞行时的气动力	108
8.3	火箭的弹道	117

第九章 火箭的箭体结构	121
9.1 概述	121
9.2 头锥	121
9.3 伞舱和播撒舱	122
9.4 动力舱	123
9.5 尾翼	123
9.6 火箭各舱段的连接	123
9.7 密封问题	125
9.8 强度计算	126
9.9 强度计算的判别	131
第十章 WR 系列增雨防雹火箭作业系统的使用 和维护	133
10.1 概述	133
10.2 WR 型增雨防雹火箭	134
10.3 发射控制器	136
10.4 发射架	139
10.5 发射架与发射控制器的连接和调试	145
10.6 作业	146
10.7 注意事项、维护保养和装运	157

第一章 绪 论

1.1 引言

天气(weather)是指太阳与地球之间相互作用而发生在地球大气层内的瞬时或短时的各种自然现象。晴、阴、云、风、雨、雪、雹、雾、雷电、台风、飓风,等等,都是天气的一种表现形式,即所谓的气象(meteorological phenomena)。气候(climate)是指以气象均值、极值和大气类型为基础来描述某地区在某段时间内所经历的天气状况。因此,如果说天气决定你应该穿哪件衣服,那么气候则决定你应该买什么样的衣服,海南岛的居民绝对没有必要购置毛皮大衣,而冰岛的居民也无须购置丝绸短衫。

气象学家观测今天的大气状况,用以预测明天的天气;而气候学家却侧重于研究以往大气的运动规律,以便弄清今天正在发生什么天气现象,以及未来可能会出现天气现象。气象学(meteorology)考虑的是“近忧”,气候学(climatology)顾及的是“远虑”。天气预报是为了了解“近忧”,人工影响天气(weather modification)是为了解决“近忧”。但气候的变化并非一朝一夕的事,千年沧桑巨变是大自然使然,也与人类改造自然(建设家园和破坏生态环境)有关。

人工影响天气是建立在云物理学(cloud physics)基础上的一门实用性技术。由于自然界中风、雨、雪、雾、冰雹、雷电

等自然现象,系大气中尺度大至全球范围的环流(circulation),小到云中微滴和冰晶表面水分子传递的各种过程相互作用的结果。因此云物理学很难精确地应用于大范围的大气中。人工影响天气的范围,实际上也只能限于几十千米或更小的范围内。

在气象学界,通常将几千千米级的天气现象叫做大尺度天气现象,几百千米级的叫做中尺度,几十千米级或更小的为小尺度。根据现在的科技水平,人工影响天气只能在小尺度范围内进行一些力所能及的人工催化作业,如降水、防雹、消雾等。

人工影响大尺度的天气,不仅从能量上难以做到,而且还会受到社会舆论和政治因素的诸多制约。即便如台风这样的天气灾害,由于其自然的变化太大,影响区域又很广,现在对它还难以实施有效的人工影响。我国冬、春两季,在一些地方常会出现大雾,给交通,尤其是航空带来不便,消雾急待解决,但是由于雾的种类不一,消雾方法也各异,其费用开支、操作技术都存在一定困难。我国是一个水资源紧缺的国家,尤其是北方地区,随着人口的增加和经济建设的发展,对水的需求日益增加,除充分利用地面水资源和大力节水外,开发大气水资源也是我们所要考虑的课题。同时,我国北方地区又多冰雹灾害,一年一季的粮棉收成季节,常招致冰雹的毁灭性破坏。因此,增加降水量,消除或减弱冰雹灾害是当前人工影响天气的主要工作。

本书只讨论人工降水和防雹方法及其设备,重点是火箭作业系统。

1.2 人工影响天气问题

天气和气候与人类的生存和生活息息相关,风调雨顺,五谷丰登,是人们盼望的年景。但是,严重的干旱造成赤地千里,颗粒无收;暴雨引起的洪水,吞噬着无数的生命和财产;突如其来的冰雹,无情地摧毁了大片丰收在望的庄稼;肆虐的暴风雪严重地威胁着人畜的生存,千百年来,人们盼望着能够“呼风唤雨”,它表达了人们对美好生活的向往和驾驭自然的欲望。人类为了生存,为了创建美好的生活,需要发展生产,需要良好的自然条件。因此就产生了人工影响天气的设想,以达到天随人愿,至少能够克服和减轻由于恶劣天气造成的自然灾害。为了达到这一目的,人类必须了解自己生活的环境,认识自然,从而有可能去征服和改造自然。

人工影响天气是建立在云物理学基础上的一门应用技术。人工影响天气的方法很多,诸如向大气施放烟雾,以改变太阳的照射;用人工加热的方法,以消雾或驱霜;鼓风以改变空气的运动;以及向云中播撒干冰或某种化学物质以引起降水,消除或减弱冰雹,等等。在云中播撒化学物质是对云的“催化”,以改变云的形成过程,从而达到改变天气的目的。这种方法是建立在大气内在不稳定的基础之上的,所以获得了广泛的成功。时至今日,人工影响天气的作业,无论是降水、防雹、消雾,或者减少雷暴和风灾,主要工作都集中在对云的催化方面。当然,所有这些工作都必须建立在气象学的基础上。

1.3 人工影响天气发展史

古代人民为了祈求风调雨顺,常常举行各种宗教仪式和

迷信活动,乞求神灵保佑;大旱之年,他们往往祷告“上帝”或“龙王”赐雨。这种求雨方式在中国,乃至世界各地延续了数千年,时至今日,仍有一些信迷信的人,乐此不疲。

1.3.1 人工影响天气的早期活动

1839年,埃斯邳(J. P. Espy)首次依据科学原理提出人工降雨的建议:在潮湿的大气中,用生火的办法产生上升气流,促使积云发展,导致降雨。但一直过了115年,才有人在法国和非洲进行这种试验。

1870年,开尔文(L. Kelvin)提出自由水滴只有在很高的过饱和条件下才能与水汽达到平衡。5年后,法国的柯里尔(P. J. Coulier)证实:空气中的悬浮颗粒在微量过饱和或没有达到过饱和的情况下,可以充当在其周围发生凝结的核。后来,苏格兰物理学家爱根(J. Aitken)用爱根核计数器计量低层大气中的核颗粒数,发现半径为 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 的颗粒最多(现在,通常把这些颗粒叫做爱根核),它们可以作为云和雾的凝结核。爱根首次将凝结核分为两类:一类是对于水汽具有亲和力的叫做吸湿性核,它在水汽未达到饱和前就能在其上开始凝结;另一类叫做非吸湿性核,它必需在达到一定的饱和度后才能作为凝结中心。

瑞典人考勒(H. Köhler)发展了吸湿性核凝结理论。德国法兰克福的陶纽斯(Taunus)观象台和英国伦敦的丘(Kew)观象台等进行了一系列核的数目和大小的测定,根据陶纽斯观象台测得的数据,以及其他地方测得的数据,绘制成数密度和尺度的关系曲线,成为世界各地凝结核的参考标准。基于对吸湿性核凝结过程的认识,斯克矛斯(A. Schmauss)等人在他们写的《胶质大气》一书中,叙述了有关云滴增长的看法,并且

涉及云中“胶质稳定”和“胶质不稳定”的概念。因为大气并非纯粹的气体,地球表面和地壳内部由于自然过程而不断地向大气输送固态和液态粒状物质(我们把液态微粒叫做液滴,后面提到的云滴、水滴、雨滴都是液滴);宇宙空间也会不断有微粒进入大气;人类生产和生活产生的大量废气和废弃物尘埃也不断进入大气。这些微粒和液滴同时受重力、空气浮力和阻力的作用,其中微米级和次微米级的小尺度微粒和液滴,可在大气中长期漂浮,形成以空气为介质的、在其中分布着大量微粒和液滴的胶性系统,即大气溶胶(aerosols),漂浮在大气中的大量微粒和液滴叫做大气溶胶粒子。

20 世纪 30 年代,前苏联科学家奥博兰斯基(V. N. Obolenskiy)及其同事们就把人工影响天气和人工降雨问题作为重大课题提了出来。1932 年以前,前苏联水文气象总局便指定人工降雨研究所(后更名实验气象研究所)进行这方面的研究。1937 ~ 1939 年,前苏联科学家发表了第一批在野外条件下人工影响云的报告。由于二战的爆发,使他们的工作受到严重影响。

与此同时,伯吉龙(Tor Bergeron)提出了液相和冰相混合云发生降水的著名理论,后经费印迭森(W. Findeisen)的补充,形成伯吉龙-费印迭森理论。该理论认为:由于水滴的蒸发和水汽在冰晶上直接凝华(sublimation),凝华与凝结(condensation)不同,水汽不转化为液体,从而使得水分从大量的水滴上输送到少数的冰晶上。此即所谓的伯吉龙-费印迭森三相过程。由三相过程形成的冰晶,当其增长至能够迅速降落的程度,它们就可以通过与云滴的碰撞和并合(collision and coalescence,碰并)得到增长,通常把这种增长叫做结凇(rime,

云滴被固态凝成物碰并的过程叫做结凇),而这种结凇增长可能比凝华增长要快。

1.3.2 美国的试验和人工影响天气活动

基于科学原理的人工影响天气的历史迄今已有 70 多年。由于前苏联科学家在 30 年代所进行的人工影响天气工作不为西方学者所了解,因此他们将历史退后了 10 余年,以 1946 年作为人工影响天气活动的开始。这一年,美国人朗缪尔(I. Langmuir)博士及其助手谢弗(V. J. Schaefer)博士开始了人工影响天气的试验,谢弗在 113L 的家用冰箱中进行了一次试验,他发现向冰箱吹气形成的大量过冷却水滴会变成很小的冰晶,这些冰晶迅速长大,然后掉到冰箱底部。为了降低冰箱的温度,他采取向冰箱里投放干冰的方法。

冰箱中的过冷水滴之所以能形成冰晶,是因为冰箱中干冰附近的空气冷却到 -40°C 以下。谢弗证实:温度在 -40°C 时,过冷却水滴会自行冻结,根本不需要核(此即所谓的冰晶同质核化,系指单一相态的分子中某些分子组成以聚合形式出现的初相胚胎,没有其他物质参与作用)。一旦冻结以后,其水汽压就会大大低于周围空气的水汽压,此时周围空气中的水汽对于水刚刚达到饱和,而对于冰则已过饱和。因此,水汽直接在冰晶上沉降(凝华),使其不断长大。冰箱里的水汽减少了又会使空气的水汽压降低,以致低于过冷却水滴上的水汽压,水滴就会蒸发,从而提供更多的水汽在冰晶上凝华。

1946 年 11 月 13 日,谢弗乘坐飞机,在一块 -20°C 的层云(云高 4300m)上方沿着大约 5km 长的航线播撒了 1.4kg 的干冰粒,使得云很快变成了雪,并从云下降落了大约 600m 才蒸发掉。因此,沿播撒航线出现一个云洞。

在马撒诸塞州理工学院(MTI)实验室工作的温乃古特(B. Vonnegut)博士发现,碘化银(AgI)是最好的成核剂。在有碘化银粒子存在的条件下,冰的核化阈温度约为 -4°C (视过饱和程度而定)。从此,碘化银成为人工影响天气的最佳催化剂,从而也促进了美国商业播云活动的发展。自20世纪50年代初期以来,美国的私营播云公司相当活跃,它们在美国的人工影响天气作业方面做出了积极贡献。

美国通用电气公司在美国陆军通信兵和海军科研部参与下,实施了一个名为“卷云计划”(Project Cirrus)的人工影响天气的活动。该计划以及后来其他一些试验所产生的明显效果是:通过飞机播撒干冰或碘化银,会在过冷层云中形成一个云消通道。如果云层不太厚,人工核化形成的雪将云中的可见颗粒全都清除出云外。

1960~1985年,美国成立了人工影响天气委员会,1985年更名为气候和天气变化委员会,负责播云增雨方面的指导工作。

1.3.3 前苏联和俄罗斯的人工影响天气活动

前苏联从20世纪30年代就已开始人工影响天气的研究活动,由于二战爆发而受阻。二战以后发展了云和冰雹的形成理论;研究出测定云和降水的方法和仪器;创造了一种凝结的随机理论。该理论考虑了系统中的水汽由于湍流(气流的不规则流动)、液滴分布不均,以及一系列其他因素造成的起伏,使前苏联的一些研究人员有可能对核的活性进行激发或抑制研究。

前苏联科学家认为,人工影响云的最现实、也有实用价值的方法是激发过冷云滴结晶。他们用作冰晶核的物质有干

冰、液体丙烷、碘化银和碘化铅等。他们还认为结晶反应用于防雹最有意义。如果当冰晶在有较大过冷水滴存在的云区初始形成时,就会有大的冰雹发展,因为开始形成的冰晶与那些较大水滴碰撞时,水滴就在其上冻结,导致冰雹迅速增长,最后降落地面。防止的办法是使云区中的过冷大水滴冻结,大范围的冻结可以制止冰雹迅速增长,这样形成的就是软雹或小雹,它们降落时就成为雨滴。前苏联在人工防雹方面取得明显成绩,他们采取的主要手段是防雹火箭。

前苏联后期总共采用 3 种人工影响冰雹的方法:前两种方法是格鲁吉亚科学院地球物理研究所、中央高空观象台和高山地球物理研究所提出的,都以使用装有冰晶化催化剂的防雹火箭和炮弹为主,两种方法之间没有什么差别,均以人工改变云中过冷却区冰雹胚胎碰撞、冻结生长条件为基础。使用结果表明,使雹灾减少 70% ~ 80%;后一种方法是高加索水文气象研究所采用的,用炮弹把吸湿性物质和冰晶化催化剂输送到云中,改变冰雹粒子在云的暖区凝结增长和在云的过冷却区碰撞、冻结增长的条件。

1.3.4 其他国家的人工影响天气活动

澳大利亚是一个干旱缺水的国家,雨水稀少,人工降雨对他们很有吸引力。因此谢弗的试验给了他们极大的希望。1947 年他们在新南威尔士进行了人工降雨,获得成功。他们开展了播云作业,进行了云物理学研究。依据澳大利亚的条件,通常以采用飞机释放碘化银烟雾为宜,这是他们多年采用的一种基本研究方法。在个别地方,他们也采用地面释放碘化银烟雾或其他方法。对于干燥的澳大利亚,他们所面临的是探索增加更多降雨的人工影响途径的持久战斗。

以色列从 1948 年开始播云活动,1951 年提出,并于次年开始实施随机试验,这种小规模随机试验一直延续到 20 世纪 50 年代末。以色列的播云活动由非官方的“降雨委员会”计划和管理。

1961 ~ 1967 年,以色列进行了较大规模的随机播云试验,采用“串渡”型统计设计,其后又进行了第二次(1969 ~ 1970 年)试验。两次试验获得大量资料,并且得到肯定的答案。以色列人根据自身的地理位置和气候条件,研究其播云试验与云物理学的关系,搞清以色列的冬季积云物理特征和物理过程。以色列人对有关云的物理性质的研究获得了许多有意义的成果,增加了他们对积云中降水形成过程的了解。

1.3.5 中国的人工影响天气活动

古代中国农民已经知道用熏烟的方法保护庄稼免受霜冻。但中国的现代人工影响天气活动是从 1958 年开始的,当年吉林省曾使用飞机播撒干冰实施人工降水。历经几起几落的发展过程,现在人工影响天气的活动已在全国各地展开。根据 1995 年的统计资料,全国开展人工影响天气活动的县级以上单位有 980 个,参加人员达 2 万余人,拥有雷达一百余台,火箭发射架超过 500 具,高炮 6000 多门,租用飞机数十架次。

中国的人工影响天气,自改革开放以来取得显著进展。各地结合人工降水和防雹作业,普遍开展了云、降水、降雹的综合探测,总体科技水平明显提高。

探测和监测天气的设施和手段显著改善:应用卫星云图、雷达、探空仪、微波辐射计和闪电定位仪等诸多方法为人工影