

米,即是说从吉迈到唐乃亥这个围绕积石山的大河曲水量增加 162 亿立方米,约占黄河总流量的 29%,可见这一带本来就是黄河的主要水源地。从气候看这一带也正好是雨量较多的地区。如每年在多雨的 6~9 月在这一带进行人工降水,以增加 10% 的流量计算,即可增加 16 亿立方米的水。现在从龙羊峡到三门峡有 6 个大水电站,将来有 16 个。这增加的 16 亿立方米水可发电 16 次,仅此一项经济效益就十分可观,何况这些水还能为工农业发挥巨大作用。

3. 浙江新安江水库。这里冬春季常缺水,发电不足,正好水库上游黄山一带云雨多,很适合人工降水。当然这一带夏季并不缺水,甚至还怕水,但在冬春秋三季进行人工降水是大有益的。这地区云雾条件好,地形有利,人工降水可能获得好效果。而且原有的气象基础好,交通也方便,是作试验的好地方。实际上这里已经进行过一些试验,今后最好能长期正规的进行。

4. 新疆天山。在新疆,水是十分宝贵的,有水就有粮棉,有水就有瓜果,有水就有石油(在克拉玛依开采 1 吨油须灌 3 吨左右水),而新疆盆地雨雪量很少,主要靠天山等山上流下的雪水灌溉。在天山等山上选择合适的地区进行人工降水是可行的。

总之现在已可以把人工降水视为增加水源的一种办法,特别在山地云雾多的地区很可推行。我国山多,应该根据需求和可能尽量把山区云的资源变成水的资源,让更多的水为发展我国经济作出贡

献。人工降水所需费用并不高,一般可取得高于投资数十倍的效益。但要注意采取正确的科学的方法。

当然人工降水也还存在一些科学问题需要解决,特别对云的条件要有所认识。一个地区可先在小范围内试验后逐步推广。科研单位应对人工降水的科学问题加强研究以进一步改进方法、提高效果。

最后我引用两位权威人士的话来结束这篇短文。

已故的苏联最高苏维埃主席团成员、苏联科学院院士、苏联水文气象局局长费多罗夫 1981 年说:“人工影响局部天气已不再是相信不相信的问题。已经形成的事实是,我们已能为我们的利益去影响天气,特别是防雹和人工降水。我认为这是在将来要发展的应用气象学的一部分”。

曾任美国人工影响天气协会两届主席的克莱门特·J·托德(Clement J·Todd)1985 年写道:“1966 年美国国家科学院对 14 个人工降水计划作了评估,认为除一个没有明显效果外,其余 13 个降水量均增加,增加的幅度为 7~57%。对于科学家来说,这结论又难以确定,因为可以有上百个理由解释这种增加。但是,对实用者来说,十分有理由从降水的明显增加认为有效果。我们不能等待把所有问题都弄清楚了再来行动,那就什么也干不成”。

本文作者易仕明(Yi Shiming)系国家气象局研究员。

天空水资源的开发和利用

The Development and Utilization of Air Water Resources

黄美元

随着世界人口和生产的发展,人类对淡水资源的消耗不断增加,加上环境污染造成对水资源的破坏,使得淡水资源日益紧缺。为此很多国家政府和科学家在寻找解决途径。

一、要重视天空水资源的开发和利用

谈到水资源,常有人只想到地球表面水,有时也把地下水包括进去,但不把天空水列为水资源的一个重要组成部分。其实,天空水、地表水、地下

水,还包括生物圈中的水才构成整个地球水循环的完整系统。因此,研究水资源而忽视天空水,在科学上是不严谨的,而且会在寻求解决水资源紧缺的途径时导致思路狭窄。

天空水资源是流动的,在空间分布上很不均匀,而且变化多端,这对研究和利用带来很多困难。天空水资源有多少?还没有看到全球、全国性的估计。这里只就北京地区提出一些粗略的估计。根据有关材料,目前北京地区水利设施可控制、开采和利用的地表水资源一般每年为 40~42 亿吨,北

京年降水量平均为 626 毫米, 即 105 亿吨。每年流经北京上空的水总量约有 6 900 亿吨, 其中水汽约 6 100 亿吨, 云中液态水约为 800 亿吨, 可见天空水资源是非常可观的。我们利用的水只是天空水资源中很小一部分, 如果能够多利用其中一小部分, 多增加一部分降水, 对缓解地表水资源紧缺将有重大意义。

天空水资源的研究、开发和利用是多方面的, 目前看来至少有以下三个方面。1.掌握大气运动规律, 预测天空水的分布和演变。其中很重要的内容就是降水预测, 长期、中期和短期的降水预报, 例如旱涝预报, 暴雨和冰雹等强降水预报, 以及日常的降雨预报等。2.掌握云和降水规律, 进行人工影响局部天气的活动, 长期在局部地区增加或者减少自然降水, 如人工降雨、人工降雪、人工防雹、人工消云等。3.深入研究大气环流规律, 探索较大范围改变天空水的分布, 即人工影响气候活动。上述三方面以及每一方面中不同项目在科学上的难度、层次及目前所达到的水平是很不相同的。但一般说来, 预报方面已开始应用, 特别是短、中期的降水预报已实用, 长期预报是边试验边应用。人工影响局部天气方面也处于边试验边应用阶段。而人工影响气候, 则难度很大, 目前只是理论上的探讨。下面着重谈谈人工降水。

二、积极开展人工降水, 缓解用水紧缺

人工影响局部天气 (包括人工降水) 在世界上已有 40 多年历史, 先后有 100 多个国家开展了人工降水等活动, 在发展过程中虽然规模大小有起伏, 但从未中断过。美国和苏联从开展以来每年都在进行, 而且多年来以实用为目的的业务性作业与研究性的科学试验并存, 而业务性作业的比例很大。在美国, 业务性的人工影响天气活动占 85~90%, 苏联占 75%左右。近几年来逐渐有二者相结合的趋势, 很多项目难以按上述性质来区分。据不完全的估计, 目前世界上已进行的人工影响局部天气项目至少有 2 000 个以上。由于绝大部分是业务性 (包括商业性) 的作业, 加上一些早期的试验项目, 很多项目缺乏足够的科学数据来分析。根据一些世界上较著名的人工降水项目较严格的统计分析 (见表) 认为, 在合适的条件下人工催化可以增加降水 10~20%, 经济效益比为 1:30~60。但是大气科学家对此并不满足, 还希望从物理上证实它并说清道理。这个要求是合理的, 但又是十分严格的。

在以色列一个进行了 15 年的人工降水项目已经通过了这种严格的检验。

表 部分人工降水效果统计

地区	年代	云状	效果(%)
澳大利亚	1955~1959	层状云	+79
	1960~1961	层状云	-69
	1960~1961	浓积云	+178
	1964~1970	地形云	+20
以色列	1961~1975	浓积云	+15
	1961~1975	积浓云	-5
美国蒙大拿州	1969~1972	地形云	+50
美国加州	1969~1973	地形云	+25
	1969~1973	浓积云	+60
美国科罗拉多州	1960~1970	地形云	+9~+52
苏联乌克兰	1960~1972	层状云	+100
中国福建古田	1975~1986	混合云	+24

综上所述, 人工降水是世界性水资源紧缺的一种客观需要, 大量的持续不断的实用性和研究性人工降水活动的存在, 以及初步的科学检验表明, 人工降水是缓解用水紧缺的一条途径。当然, 从科学上来说, 人工降水还不很成熟。人工降水的原理是科学的, 但是在催化对象和催化方法的选择上有一定的盲目性, 在效果检验上还缺少迅速有效的方法。

分析人工降水发展的历史, 有两点值得我们注意。第一是世界各国人工影响局部天气活动的规模和深度随各国自然灾害程度以及国家财政支持程度而变化。人工影响局部天气 (包括人工降水) 的规模大致上与各国遭受的自然灾害程度成正比, 但是人工影响天气科学水平的提高往往取决于国家专项经费的支持程度。第二, 人工降水活动 (其他人工影响天气活动也如此) 要取得预期的比较好的结果, 一般都要具备以下三个条件。首先要有较优秀的科学家的直接参与; 其次要有一个科学的设计, 即开展人工降水的科学方案; 再次是要具有一定的现代化技术装备。另外, 70 年代中期以来, 云物理学在两个方面取得了重大进展。一是出现了一批现代化的云和降水探测装备, 例如机载云动力学和微物理测量系统、多普勒雷达、微波和激光等遥感设备及示踪物追踪系统等, 能够快速、立体地了解云中结构及其演变。二是云和降水的数值模拟有了很大发展, 已经开始用于人工降水的设计、作业对象和催化方法的选择, 以及效果检验。这些进展已为今天的人工降水提供了新的科学基础, 非常有利于

克服目前人工降水中效果检验和作业条件选择上的困难。

我国人工降水开始于 1958 年。30 年来虽然几经波折,但就全国范围来说,从未间断过,每年至少有 5 个省在进行业务性的人工降水活动,受到当地政府和人民的欢迎,是有功绩的。但也存在着这样的情况,多数人工降水作业缺乏足够的科技力量,往往没有周密的科学设计,技术装备也较陈旧,所以水平低,效果上说服力不强。另外,大约最近 10 年来,国家没有专项经费支持,几乎都是地方投资的地方性人工降水。地方上有经费,并开始买装备,但科技力量较弱,而一些专业研究所和高等院校有较强的科技力量,但缺乏经费支持。由于体制等种种因素,这两股力量没有很好结合起来,严重影响我国人工影响局部天气的科学水平的提高,人工降水的效果和进展与这方面的投资和规模

不太相适应。

水资源紧缺是一种世界现象,我国(特别是华北地区)也是如此。随着人口和工农业的发展,用水的紧张局面会愈来愈严重。因此,应该多途径地开源,开展人工降水就是一条积极的途径。它既有一定的现实意义,更有巨大的潜在价值。一方面应继续支持各地结合需要已经开展的人工降水,加强其科学性,提高水平,提高效益。另一方面国家要统筹规划,在华北及其他地表水紧缺地区,组织有针对性的、科技力量较强的人工降水计划,在开发和利用天空水资源方面起到典型示范,加速进展,以缓解我国重点地区用水十分紧张的局面。

本文作者黄美元(Huang Meiyuan)系中国科学院大气物理研究所研究员,研究室主任。

应着手开发北京的空中水资源

Proposals for the Development of Beijing's Air Water Resources

朱文治

随着首都经济建设和城市的发展,北京地区供水紧张的状况日趋严重。

北京处于半干旱地区,年平均降雨量 626 毫米,可供使用的天然水资源年仅 40~42 亿吨,枯水年只有 33~35 亿吨,按目前年用水量,缺水 10 亿吨左右。如果用水结构无大调整,到 2000 年,城乡需水总量将达 55~60 亿吨,即使动员全社会大力节水,年缺水量仍达 15 亿吨以上。这是个极为严重而又紧迫的问题。

然而,北京地区的地表水资源已基本开发殆尽,地下水资源也已日趋枯竭,引外流进京工程巨大,耗资惊人,短期内又难以实现。面对地面水源不足,资源紧缺的严重现实,开发空中水资源,进行人工增雨,势在必行。

一、空中水资源是重要的水资源

北京地区按年平均雨量计算,每年从天空获得的总雨量达 105 亿吨,其中有 42 亿吨形成地表水和地下水,恰为本地区自然可用水资源的数量。流入官厅、密云水库的桑干河、羊河及白河、潮河,是北京地区可供开发使用的地表水资源。这些水从根本上仍是源自上游地区的降水。所以,北京以及两

库上游地区的空中水资源是北京地区重要的水资源。

仅仅注重地表水和地下水的开采,而忽视空中水的开发是不行的。由于地下水的超量开采,北京地区地下水位已急剧下降,甚至造成局部地区地面的下沉。北京虽有地表水的开发设施,但却没有更多的地表水可供开发,所以解决北京缺水的根本措施在于开发空中水资源,进行人工增雨,补充地下水,增加地表水。

二、空中水资源是可以开发的

降水过程的产生,不仅要有一定的天气条件,还须满足云中微物理条件。这些条件,在自然情况下,有时不具备,有时不完全具备。前者根本不会产生降水,后者则不能降下更多的雨。这时,如果在云中人为地引入催化剂,就能触发成加剧云中的至雨过程,导致降水的产生或雨量的增加。事实上,自然云的降水效率很低,云中大部分水份没有变成降水。人工增雨潜力很大。

人工催化增雨的原理,目前已为国内外科学家所确认。普遍认为,在有利的天气条件下,在适当的云体部位进行有科学指导的催化作业,是能够达