

二、天空水资源

天空水虽只有 280 000 亿吨（仅占全球总水量的 0.002%），但它们在天气变化中起着重要作用，云雨雹雪，彩虹临空，电闪雷鸣，都和天空水有关。天空水中，有 95% 是无处不存的水汽，云和降水云层只占 5%。

天空水虽然总量少，但其循环快，循环周期仅 8.7 天，而地下及地表水循环周期为 400 年，海洋则高达 4000 年。也就是说，一年里天空水可以循环 42 次，一年中天空水量就是 11 760 000 亿吨，远远超过地表水的总量，为它的 8.4 倍。如果按地表水或地下水使用后循环周期 400 年计算，天空水可用总量就可达 47×10^8 亿吨，为全球淡水总量的 112 倍，这是很可观的。

正因为全球天空水有循环周期短的特性，所以具有可与地表水及地下水相比的总量，这就是我们决不应忽视天空水的依据。

三、开发和利用天空水资源

人们忽视天空水资源的一个重要原因是其开发和利用的困难性。我们目前对中国上空的水资源了解甚少，人工降水虽取得一定成功，但调动空中水资源的重大课题尚有待研究。人们常埋怨的“只打雷，不下雨”的现象，说明开发、利用及控制天空水资源尚有许多工作要作。但在这方面投资的经费又远低于其他开发、利用水资源的办法。

开发和利用天空水资源的第一步，是调查研究本国、本地区的天空水资源，把天空水资源作为国家经济建设和人民生活的必需，应当放在一定的位置上。天空水资源的研究，应包括天空水汽、云和雨雪的时空分布，气候特征及变率，天空水资源的可用率等等。

四十余年来，世界各地广泛展开的人工降雨、人工降雪、人工防雹及人工消雾等，都为增加地面水量做出过贡献。开发和利用天空水资源的第二步是研究如何在那些用水紧缺地区开展人工降水。根据国内外几十年的经验，只要抓好时机和条件，在这些地区增加 5~30% 的降水是可能的。实际上，世界不少地方及我国一些水库地区，石油开采区及农业区已经开展了人工降水，进一步的任务是，提高其效率。

从长远看，管理天空水资源，调动和拦阻天空水的前景是诱人的。就全国而言，南涝北旱是一普遍现象。象南水北调地表水一样，南云北调也可能帮助人们更好地管理天空水。另外，即使那些少雨干旱地区，也常见大片大片云层，只是它们过而不雨，如果拦阻并迫使这些云层下雨，将有助于减缓对水需求之矛盾。当然，这些工作的难度更大，必须加强科学研究，寻找有效的方法。

综上所述，开发和利用天空水资源势在必行。我们应当为之呼吁，以引起决策部门和领导的重视。

本文作者王昂生 (Wang Angsheng) 系中国科学院大气物理研究所云雨物理研究室主任、教授。

向天空要水，向山云要水

Wresting Water from the Air and the Clouds.

易仕明

淡水资源短缺是一个世界性的问题，更是我国的一个重要问题。我国西部和北方长年缺水，南方也常有旱情，有些沿海城市象天津、大连等地也缺水。有的地方是经常缺，有的地方有时缺。水一缺就什么都紧张起来了。

谈到资源，不外开源节流，那么水的源在那里呢？除地表水、地下水外就是天空水。但是由天空水下的雨雪有时多，有时少，有些年多，有些年少。似乎只能听天由命了。难道人类就不能向天空多要一点水吗？在沙漠等干旱地区，人类似乎还无

能为力。但是在有些地区，有些时候，人们已可以用人工降水的办法使天空多下一些雨雪。所谓人工降水就是用人工方法使天空不下雨雪的云下雨雪，或者使已经下雨雪的云多下一些雨雪。

自然大气中总是有水汽的，但大都成不了云雨，即使在有山阻挡的情况下，空气中的水汽也只有百分之几到十几能成为雨雪降到地面，80~90% 的水汽均成不了云雨。在平原成雨的更少。如果我们能使空中水汽多下降 1~2%，就能增加降水量 10~

20%。实现这一目标现在已完全可能。

美国 1946 年试验人工降水成功，到现在已 40 余年。在此期间各国进行的人工影响天气（包括人工降水、人工防雹、消雾等）试验研究不下千项，现在全世界每年都有百个以上较正规的试验或作业在进行，其中以人工降水为最多。在人工降水试验中有不少是利用山区云多的优势以增加雨雪量为河流及水库增水。40 多年来的试验结果普遍认为，在合适的云层条件下，用正确的催化方法，人工增加降水量完全可能，一般平均增加降水量在 10~30% 左右，而地形云的增加量有时可超过 1 倍。以色列的试验结果为全世界所公认，它的第二期（1969~1975 年）试验结果确认，主要目标区可增加降水量 18~27%。我国从 1958 年开始也进行了相当多的试验。福建古田水库 1975~1986 年 12 年的试验结果平均增加降水量 23.8%，仅以发电一项计算的投资效益比就达 1:50。还有吉林、湖南、新疆等地都进行了长期的试验，其结果与其他国家的试验结果大致相同。

所以现在已可以说，人工降水完全可能，关键是云的条件。研究者得出的共同结论是：云层要有足够的厚度，云顶温度要在 0℃ 以下，但没有冰晶或冰晶数量少，同时还要有不断的上升气流供应水汽才能使人工造成的降水持续不断。下列几种情况符合这些条件。

1. 地形云人工降水。人工降水需要云和使云不断生成的上升气流。山区云最多，我们称地形云。庐山云雾、黄山云雾都是我们熟悉的。地形云是空气受动力或热力作用在山上上升形成。从早期开始，地形云就是人工降水的好对象。美国总统人工控制天气顾问委员会在 1957 年最后报告中的结论是：对美国西部山区地形云及半地形云人工增加降水是可能的，平均增加降水量 10~15% 左右。在最近的 1987~1988 年，仅美国加利福尼亚州就有 11 个人工降水活动，其中多数是利用地形云的，有 6 个主要目的是为水库发电增水，有 3 个是为水源保护区增水。犹他州从 1956 年即开始进行地形云人工降水，主要目标区增加降水量 13~20%。科罗拉多州的 Climax 从 1960 年开始施行地形云人工降水计划，1965~1975 年平均增加降水量 17%。SCPP 是美国进行时间很长的地形云人工降水计划之一，从 1948 年开始，以后不断发展，1973 年正式命名为 SCPP 计划，进行更深入的试验。此外美国还有一部名为“山脉天水”的科技电影，是解说地形云人工降水的。台湾从 1951 年即开始在能高山一带进行地

形云人工降水以增加水力发电及灌溉用水，到 1978 年，统计平均增加降水量 28%。

2. 对流云人工降水。我们常见的象馒头一样的淡积云，云块很大却不降雨的浓积云以及高耸像山的积雨云，气象学上都叫对流云。对流云中的浓积云是人工降水的好对象，增水效果好，多数可增加降水量 90% 左右。因为对流云有较强的上升气流和充足的水汽，当其不能成为积雨云时，人工催化可促其发展并降雨。各国以对流云为对象的人工降水试验也很多，美国的 FACE、HIPLIX、SWCP 等计划及以色列的试验都以对流云为主要对象。苏联的人工降水试验一半是以对流云为对象的。

夏季在山区及江河湖海大水体的沿岸对流云很多，特别在山区多，实际上是地形对流云，是地形云的一种。此外在山区还常出现在层状云中存在对流云的情况，这种云水份多，上升气流强，积云面积大，是非常好的人工降水对象。当这种云的云顶温度在 0℃ 以下且冰晶少或没有冰晶时，催化能产生大量降水。湖南夏季以对流云为主的人工降水已进行了多年，受到当地政府及广大群众的欢迎。

3. 有利天气形势人工降水。在平原地区缺乏地形等有利条件，就必须利用有利的天气形势，在锋面前及低压区进行人工降水很有利，因为这些地区既有云又有上升气流。

以上三种情况在山区往往同时存在，所以山区常是人工降水最有利的地方。前面提到的古田水库就在山区，在有利的天气形势下地形云及对流云均很多，所以能取得好结果。山区本身雨多，一般并不缺水，但我们应该利用山区的有利条件为水库及中下游河流多造一些水，既可以发电又可为工农业提供水源。下面提出几个地区作为对象来讨论。

1. 长白山增水。丰满水库是东北一个大水电站，冬春季缺水，夏季也常不足，但从前夏季雨多时还有些怕水，要防汛。现在在丰满水库上游又建了两个大水电站，水库的总库容很大，不怕大雨，只要求有更多的水发出更多的电。长白山区云雨丰富，人工降水条件很好，如能增加降水量 10~20%，所增加的发电量将是十分可观的。

2. 在青海积石山利用地形云人工降水为黄河增水。黄河水量不足为全国所关心，故有几个南水北调方案。我认为在青海积石山一带搞地形云人工降水大有可为，可望显著增加黄河水量。黄河平均年流量 560 亿立方米，而青海龙羊峡以上的唐乃亥平均年流量即达 202 亿立方米，约为黄河总流量的 36%。而其上游的吉迈平均年流量仅为 40 亿立方

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