

苏联“增水”研究工作概况

增加降水是人工影响天气的重要任务之一。许多国家对增加降水或者更广义地说调节降水的有效方法的研究,已经有30年的历史。本文主要是叙述苏联特别是乌克兰水文气象研究所的增水研究工作概况,就苏联人工影响冬季云所取得的资料作一些介绍。值得注意的是,国外在这方面的工作开展比较广泛。有好多个国家(美国、墨西哥、日本等)多年来一直在进行增加降水试验,取得了肯定的效果,譬如美国的增加降水率为15—20%,而某些计划(墨西哥涅卡萨流域)的增水率达50%以上。这就证明增加降水方面的工作取得了很好的效果。

苏联从1948年起开始偶尔进行从云中引发降水的试验,于1959年乌克兰水文气象科学所在气象试验场开始开展调节降水方面的研究。该试验场有密集雨量站网、检验影响结果的雷达装备和保证飞机飞行用的导航设备。播云是通过伊尔-14飞机用干冰进行的。

在初期阶段,苏联把很大的注意力放在仔细研究人工影响和效果检验的方法上,Г·И·别雷列特(Перелет)和М·П·列奥诺夫(Леонов)曾经提出确定每次实验影响效果的方法。人工降水的区域是根据雨量站网(播撒不能给出自然降水云的情况)的资料,并通过对云层(对能产生自然降水雨层云、雨层云-高层云类型的云)进行播撒的平均风速和风向的专门计算划定的。人工降水区也是使用雷达观测来划定的。将人工降水区的云层和未受影响的周围云层比较作为评定播云效果方法的依据。这个方法考虑了斑块状连续性降水。

初期阶段,人工降水研究工作的另一个任务是确定云的类别和云的参数。播撒这种云就会得到附加降水。由于别雷列特和列奥诺夫对层积云、层云、高积云类型的云进行了一系列的试验,这样就可以找出确定适合于播云的判据。自然,必须在这样一些条件即被播撒的云具有水滴构成或混合相构成,垂直厚度不低于250米,温度不高于 -4°C 时才能形成人工降水。对不能产生自然降水的云来说,补充判据是云底不能高于1,000米。若云比较高,人工降水就会在云下干空气中蒸发掉。后来,И·П·波罗维纳(Половина)提出了层状云的补充判据。这样一些云是适于进行人工降水的,其含水量不少于 $30\text{克}/\text{米}^2$,它们在规定区域上空3小时以上保持不变。

在完成这些工作的过程中,认识到对不同类型的云进行播撒,影响方法与效果评定方法是不同的。因

此,对能产生自然降水的锋面云(N_s 、 $N_s\text{-}A_s$)和气团内云(Sc 、 St)要分别地进行人工影响。

1962年别雷列特在催化 Sc 、 St 类型的云方面取得了首次成果。根据这些资料,催化层状云,在小范围($100\text{—}200\text{公里}^2$)内可以增加降水5—10%。1966年在催化锋面云(N_s 、 $N_s\text{-}A_s$)方面初步取得了效果,并且试验表明,对上述类型的云进行人工影响,在500平方公里的区域内可以增加冬季降水13—18%。据列奥诺夫估计,冬半年各类云催化的一般效果为15%(当面积增加到500平方公里时,催化 Sc - St 云的效果减少到2—3%),这些结果是根据适合于播撒的云的出现频率为40—50%取得的。

对上述一些效果的分析,发现试验中增加的降水与半日累积降水之间的依赖关系(随着后者的增长,其相对增长下降,而其绝对增长直线增加)。有人提出过这样的看法:通过人工影响增加降水的原因,是由于云上层蒸发的减少,也可能是因为附加的水汽升华,而水汽升华是与冰面过饱和状态的存在有关系的。

1967年奥博宁斯克实验气象研究所(ИЭМ)对锋面云也进行过增水试验,根据野外试验的分析,И·В·利特维诺夫(Литвинов)得出了结论:对锋面云进行播撒,不是导致增水而是导致降水的再分配,也就是说,紧接在增雨区之后的是减雨区,雨量减少大致与增加的雨量相等。总的来看,效果等于零。

1970年在乌克兰水文气象研究所的气象试验场进行过68次影响锋面云的试验,其中56次是催化能产生自然降水的 N_s 、 $N_s\text{-}A_s$ 类型云;12次是催化 Sc 、 Ac 、 As 类型的云,这些云是没产生自然降水的。

从第一类云的试验来看,计算降水变化中发现54次降水增加,二次降水减少(0.04毫米和0.11毫米)这种减少是很不明显的,它可能是由于连续降水的自然变率所致。

根据56次试验资料计算,降水平均增加0.74毫米,最大增雨量为2.44毫米。影响的持续时间平均约为2小时,在这些实验中,人工降水平均强度为0.40毫米/小时,相对增雨量平均为100%。在不同的试验中相对增雨量的变化是很大的,但在多数的条件下变化的范围在40—200%内。

从第二类云的试验来看,对 Sc 、 Ac 、 As 类型云进行播撒以后有七次获得了人工降水,5次没有出现降水。这就证明在云下的干空气中降水被蒸发掉。

上述大量的试验,使我们有可能研究降水增加与某些气象要素的关系。在以前,我们研究过降水的绝

对和相对增加与半日降水量的关系。通过对上述关系的研究,发现小雨的相对增加达到200%,中雨为80—120%,大雨为50—70%。由此可见,随着自然降水强度的增大,人工增雨的相对值减少。相反,随着自然降水强度的增大,增雨的绝对值却增加。通过对所取得的关系的分析也表明,对不能产生自然降水的Sc、Ac云进行播撒可以得到人工降水,其强度约为0.1毫米/小时。从所取得的关系来看,对能产生强度大的自然降水的Ns-As云系进行催化,可以得到较大的附加降水量。然而,有的研究表明,从具有混合相或水滴构成的云层里很少能遇到适于影响的云。另外也可看出,适于播撒的云的比率与自然降水强度以及云系垂直厚度有关系,随着它们的增大,适于播撒的云的比率减小。因此,能产生中小强度降水的云系更适于进行人工影响。

关于降水再分配的可能性的研究,即在降水增加带后边可能出现降水减少带的问题,在增加降水的课题中具有重要意义。因此,对这个问题我们一直是很重视的。

1967—1970年在气象试验场进行过22次试验,由于降水变化区在具有密集雨量站网的试验场范围内,这样就可以对云在2至3小时(而在有些实验中时间更长些)的移动区域内的影响效果进行观察。研究结果表明,至少在相当于2至3小时移动的区域观测到增雨区。在所有各次试验中一次也没有观测到在增雨区之外有降水减少区。由于试验场的范围有限,不可能研究大范围内的降水变化,但在风速不大的个别条件下所进行的一些试验,在4—5小时移动的距离内发现降水增加。

根据通过对降水变化的仔细研究表明,降水的增加至少在云移动2小时范围内相对不变。

必须指出,在外国的一系列实验中,也没有出现降水再分配的效果,而在远离影响区(100英里以上)却看到了增加降水的效果。

根据1976年以前取得的资料,可以对系统地进行人工影响冬季降水的可能增加作出估计。在谈这些结果之前,我们首先要指出,所有的试验是在气象试验场即乌克兰南部一定地区进行的。人工降水降落的地域一般为1千平方公里,最大不超过2千平方公里。这个区域不太大是由于试验场面积有限,而且只用一架飞机进行播撒。

以前曾经发现,对具备适于播撒云层的一些云系进行播撒,降水的相对增加平均为100%。在估算系统影响可能取得的效果时,必须考虑到云系中只有42%能遇到这样云层,而且这些云层产生较小的降水,它们只提供冬季总降水量的35%。某些附加降水可以从没有降水的锋面云获得。1971年苏联一些学者曾指出,在500—1000平方公里的范围内上述附加降

水量可以达到冬季总降水量的3—5%,如在1—2千平方公里的范围内进行作业,其贡献就减少到1—2%。

从上述所有的资料来看,对全部锋面云系统地进行分析,可使冬季四个月的降水量增加33—35%。因为播撒锋面云取得的降水增加面积比播撒气团云取得的面积要大,所以催化Sc、St类型的云其贡献要小一些。在1—2千平方公里范围内进行作业播撒一年冷季的各种云,其效果可达冬季总降水量的35—40%。

除了主要任务即确定系统的播撒可能取得的降水增加以外,对这个问题还进行了其它一些研究。例如,通过研究发现,对有自然降水(Ns-As)的云进行催化时,所取得的附加降水量比被播撒云层以水滴形式存在的一次水分储量大约5—10倍。这一事实否定了认为只有水滴形式的水分是附加降水的水分来源的看法。Sc型锋面云的人工降水量与水分储量之比小于1,一般在0.1—0.4之间,也就是说,从这些云中得到的降水量不到以水滴形式存在的含水量的一半。这些资料表明,引入试剂后,Ns型锋面云中由于冰晶浓度增加,冰晶化释放潜热,水汽从云中向外输送减少等原因,加速了降水形成过程。在这种情况下,降落下来的最终降水量不取决于瞬时水分储量。锋面云好象是自然降水的造雨机,引入冰相胚胎时云就象一部不断工作的造雨机,因而保证自然和人工冰晶增长成为降水粒子而降落下来。

通过一些专门的研究表明,当播撒锋面云的过冷云层时,在大多数(约70%)的情况下可以导致过冷云层完全冰晶化。但是在30%的情况下使用剂量为750克/公里的干冰进行播撒,在播撒部位不能使水滴形式的水分消失,这一点表明,云系的水分储量迅速地复原。这些结果证明了B·E米涅尔文(Минервин)关于能给出自然降水的云系水分储量能急剧地恢复的估计和结论。

专门的研究表明:随着被播撒的锋面云移动速度的增加,附加降水量增加,播撒也可导致混合性锋面云层中的冰晶谱有明显变化。在播撒区温度高出0.2—0.6°C,有些情况下更高,从而加快降水的形成过程。这问题的理论研究,揭示出这个现象对大气运动的动力变化以及附加降水的形成的明显作用。同时也要指出锋面云播撒过程的模拟,可以取得与试验资料相当一致的结果。从实际和科学观点来看,重要的是关于不存在降水再分配。

在播撒区里冰晶的浓度增加1—2个量级,这显然是播撒时增加降水的主要因素。从自然云的研究可以发现冰晶浓度变化的周期性。最大浓度间的空间距离通常为30—50公里,在这段距离内浓度值的变化可从每立方厘米0.01个变化到0.1个,也就是说变化2个或2个以上量级。有趣的是:所观测到的周期性一般与雪晶浓度变化一致。播撒使雪晶的浓度增加。

1974年开始了第二阶段的研究,即进入以增加降水为目的的系统播撒阶段。1974年和1975年的1月,在气象试验场半径为10公里指定的区域曾两次系统地增加降水的试验。试验的目的在于检验关于增加降水可能达到的水平的科学结论和制定出为增加降水进行系统作业的技术要求。1974年1月在指定地区进行试验时增加的降水量为63%,1975年1月增加降水量为41%。这时不是所有的天气形势都被用来进行播撒。这么高的增加是由于1974年和1975年环流过程的强度比较弱,在这种情况下降水的相对增加是大的。如果把取得的效果算作是一月份降水的常年值,那么在充分利用天气形势时增雨的效果就可以达到38—40%,这和以前得出的科学结论是一致的。

由于每次播撒时降水增加区的宽度超过20公里。因风向的逐日变化,月降水量增加的区域比上面提到的圆形试验场的范围大得多。1974年1月为4500平方公里,而1975年1月为3600平方公里,上述范围的降水增加分别为26%和18%。

进行的一系列试验证明,在3000—5000平方公里的范围内采用提出的方法进行增雨原则上是可行的。

应当指出,所达到的降水增加,其中也伴有3—7厘米深的雪被的形成。对越冬作物的越冬可以产生

有利的影响。有利于土壤湿度增加,有利于越冬作物的生长。有人取得的初步资料证明,人工降水对冬小麦的越冬可以产生有利的影响。

下一阶段的工作应当是在指定的地区进行冬季增加降水实验,通过实验进一步检验提出的方法,然后将其推荐到实际工作中使用。

今后研究的任务有以下几点:

- 1.对按现在采用的标准来说尚不适于播撒云层的云系进行增加降水试验;
- 2.在其它季节里对锋面层状云进行增加降水试验;
- 3.研究被播撒云的演变;
- 4.研究大气中成冰核浓度与云中冰晶的相互关系;
- 5.研究对远离播撒区下风方地区降水状况的影响;
- 6.研究锋面云系在自然发展和人工影响下的水分平衡。

宋显荣译自《乌克兰水文气象研究所文集》1978年第163卷
周景林校