

人工防雹消雹业务技术问题的讨论

安林^{1,2}, 张强¹, 康凤琴¹, 王遂缠³,
李宝梓⁴, 芝永华², 石用伟², 苟浩锋²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020 2. 兰州市人工影响天气办公室, 甘肃 兰州 730020;
3. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020 4. 甘肃省人工影响天气办公室, 甘肃 兰州 730020)

摘要 通过对目前人工消雹业务技术现状的分析, 以地(市)级观测台站或单部雷达观测台站为基础, 讨论了人影业务技术体系、业务支持系统、作业指挥系统各自的范畴和关系以及人工消雹作业指挥系统相对普适性的可能性及其实现方式与实现程度, 定量限定了业务操作过程中“宁空勿漏”的概念, 在此基础上建立了人工消雹作业指挥系统设计中的几个关键技术。

关键词 消雹; 技术问题; 讨论

中图分类号 P482

文献标识码 A

引言

近几年随着建立和发展研究型业务的思路, 气象部门相继开展了一系列防雹消雹业务技术研究和监测系统建设, 并形成了许多先进的防雹消雹业务技术方法, 为防雹消雹业务中的实际应用提供了可供选择的有效措施。怎样针对不同情况, 科学选择合适材料, 形成科学的防雹消雹业务流程, 并在此基础上研制科学合理的防雹消雹业务流程, 防雹消雹业务作业指挥系统是很有意义的。

1 消雹业务技术体系、效果及作业指挥相对普适性的几点讨论

(1) 全国人工影响天气发展规划(2004~2010年)提出了人工影响天气业务系统建设的关键目标是建立现代化的人影业务技术体系, 其主要内容有4项。一是建立人影科学指挥系统; 二是加强作业催化及监测系统建设; 三是推进重点地区人影工程建设; 四是国家级人影技术支持系统建设^[1]。目前, 我国绝大多数省以下的外场作业属于业务性减灾作业范畴, 在气象业务体制、体系下运作。作业的

主要内容是增雨(雪)和防雹消雹, 其中空基增雨(雪)业务由省级气象、人影部门直接指挥和作业, 地基增雨(雪)业务和防雹消雹业务则多以地(市)级指挥, 地(市)、县级外场作业队和县(区)辖作业点共同作业。从防雹消雹具体的业务指挥作业特点和性质看, 比较适合以地(市)级为单位进行实时作业指挥, 或也较适合以某雷达探测范围为单位的实时业务作业指挥, 是消雹作业指挥工作和现阶段通讯条件直接决定的事实。地(市)级冰雹的预警、预报系统是同级业务支持系统的主要内容之一, 这项工作则更适合建立在短期短时预报所用资料和方法的基础上, 如用雷达拼图资料等。笔者认为: 冰雹短期预报子系统、短时预警子系统及实时作业指挥子系统三者构成较广意义上的人工防雹消雹决策指挥系统, 或者说它们共同构成狭义的人工防雹消雹业务支持系统。同时也认为: 狭义的地(市)级防雹消雹业务技术体系建设, 应该包括同级防雹消雹业务支持系统、人工防雹消雹决策指挥系统和催化作业实施系统。

(2) 地(市)级防雹消雹实时作业指挥系统与同级增雨(雪)作业指挥系统具有较大的不同, 我们认为应该各自建立相互独立运行的指挥系统。因为前者是在对对流云实时判别的基础上进行作业指挥

的,后者则是在降水预报的基础上实施作业指挥的;但两者的业务支持系统和催化作业实施系统相同处很多。这也是在建立地(市)级人工影响天气业务体系时应注意的。目前地县人工影响天气业务体系,普遍是省级同类体系减少项目、降低层次,按各地特点来承担的。但防雷消雹实时作业指挥系统,则建立在地(市)级人工影响天气业务体系的构架下,所以应注意其与省级相应业务体系的兼容性。这对所建立的防雷消雹实时作业指挥系统的相对普适性具有十分重要的意义。

(3) 20 世纪 90 年代以后,西北地区降雹日数和次数的减少,面积的退缩以及强度的降低,恰好与西北区全面恢复人工防雷工作,在时间上巧合^[1],但究竟是气候自然变化的原因还是人工防雷所致仍需要研讨。首先,20 世纪 90 年代以后,西北地区降雹和雹灾减少的特点是:无论该地是否有常年防雷作业,降雹和雹灾均减少;其次是 90 年代以后,西北地区降雹和雹灾的减少是呈连续的、稳定的、渐进的变化状态,这与 90 年代以后西北区全面恢复人工防雷工作后,基本呈台阶式发展的状况不相符合;另外,据不完全统计,目前防雷作业理论覆盖面积一般为 1% ~ 18%,且由于实际作业中受作业时段、时机、装备及炮弹等影响,多数地区在多数时候不可能进行理论意义上的充分作业,实践中作业的效果大多体现在减弱冰雹天气强度的方面(对此将另文专论)。因此,我们初步认为:上述降雹次数减少的现象应该主要是一种气候自然变化结果,而雹灾减少的现象应该既有人工防雷的原因也有自然气候变化的因素。

(4) 冰雹云的识别方法很多,有宏观识别法(即目测法)、气象要素变化识别法、闪电识别法、雷声识别法、卫星云图识别法、雷达识别法。而这些方法(除雷达识别冰雹云外)只能作为识别冰雹云的辅助手段,不能反映冰雹云的准确位置、强度、移动路径及其发展、成熟、消亡过程,难以提供人工防雷消雹作业的具体信息或参数。如防雷消雹作业时机、部位的选择以及作业量多少的确定。利用闪电定位系统地闪频数可以识别冰雹云,但利用地闪发生的位置不能确定冰雹云的位置。从雷达回波形态演变特征识别冰雹云——形态识别法,或雷达回波参数的演变中识别冰雹云——参数判别法,确定可能降雹的部位和降雹强度^[1]。特别是参数判别法

为设计客观定量防雷消雹作业指挥提供了主要依据。而系统的客观量化是它具有相对普适性的基础。所以我们认为现阶段在冰雹云的定量客观识别应以参数判别法为主,其他识别法为辅。

(5) 防雷消雹作业指挥普适性的业务技术,关键在于识别或判别因子的统一性上,从表 1、表 2 和表 3 中可见,西北各地识别雹云或对流性云的判据,地方差异性很大,基于这种判据的防雷消雹作业指挥系统,很难推广实用。如表 2 判据中,有雷达参量因子,也有雷达形态因子,还有天气和气候因子;表 1 判据中只有雷达参量因子;表 3 判据中也只有雷达参量因子,但与表 1 判据雷达参量因子的多寡不同。我们认为,各地采用雷达参量因子组合来判别雹云或对流性云,不仅有利于各地判据的相对统一,即防雷消雹作业指挥系统普适化,也有利于其客观量化。各地雹云或对流性云的地域差异既可用雷达参量因子数的多寡,也可用其雷达参量因子的不同强度来描述。

(6) 用雷达参量因子组合来判别雹云或对流性云的具体组合方式,思路应该采用目前在数值预报中广泛采用的集成判别法;关于判别因子样本性质的讨论,我们初步认为,应该在气象学中引进测度论或公理化的概率论^[3]的应用,才能有更深和更广的讨论前景,但这已超出本文的内容,待下文再论。

表 1 陕西旬邑雹云雷达识别指标^[2]
Tab. 1 The radar's identifying indices of hail clouds in Xunyi county of Shaanxi province

云 型	45 dBz 回波顶高/km	45 dBz 回波顶温/℃
强雹云	8.0	≤ -20
弱雹云	7.0 ~ 8.0	< -14 ~ -20
雷雨云	< 7.0	> -14

表 2 新疆塔城—额敏盆地识别雹云指标^[2]
Tab. 2 The radar's identifying indices of hail clouds in Xinjiang Tacheng - Emin basin

雹 云	一般雹云	强单体雹云
雹云宽度/km	3 ~ 10(中心)	10 ~ 20(中心)
0 dB 高度/km	0 ~ 7	0 ~ 9
中心顶高/km	≥ 5	≥ 7
回波强度/dBz	30 ~ 40	45 ~ 50
中心强度/dBz	45	≥ 55
PPI 面积/km ²	200 ~ 500	≥ 400
RHI 结构	柱状、中心密度	常出现在第 1 条
雹云路径	以第 1 条为主	常出现在第 2 条
伴随天气系统	小尺度、局地对流	冷锋或锋面过境

表3 兰州地区713天气雷达雹云回波参数^[2]
Tab.3 713 weather radar echo parameters of hail clouds in Lanzhou city

回波参数 强中心高度	回波顶高/km			回波厚度/km			回波强度/dBz					
	月份	6	7	8	6	7	8	6	7	8		
最大值	15.0	13.5	18.0	15.0	12.5	16.0	50.0	60.0	60.0	11.0	9.5	8.5
最小值	7.5	7.0	7.0	7.0	4.0	4.0	40.0	40.0	40.0	0.7	2.2	2.0
平均值	12.2	9.9	9.6	11.8	9.4	9.0	41.4	50.7	44.2	6.3	4.7	5.7

2 设计防雹消雹作业指挥系统时应注意的几个问题

(1) 目前西北地区人工防雹消雹的预报、识别、作业到效果检验的各个环节,基本上还是依赖于经验与统计分析结果。具体的、定量的、实时的判断和决策还远远不够^[4]。即使开发的防雹消雹指挥系统软件,也不好在实际业务中应用,其主要原因有2条,一是过去防雹消雹指挥系统软件多忽视了适应人的防雹消雹作业指挥工作传统习惯;二是缺乏直观性和普适性。所以,新版指挥软件不仅要实现雹云识别、作业用弹量、可作业炮点查找及其作业方位和射击仰角计算等功能。还要实现雷达资料的调用显示、地图叠加和作业点叠加功能,从而在应用习惯上让软件适应人而不是人适应软件。从雷达图和地图及作业点的叠加综合图中(图略),可很方便直观地看到哪些作业点大体应该作业,如时间允许或工作需要,也可精确计算。

(2) 关于作业时机的问題从业务性防雹消雹的角度说,就是计算“穴道”何时抵达作业圈的几何学问题。其算法主要有3种:三角函数法;大地测量法和坐标变换法。这里只介绍坐标变换法。分别以雷达站和*n*个作业点为原点建立旧、新坐标系 $\{x_0, y_0, z_0\}$ 和 $\{x_i, y_i, z_i\}$ ($i=1, 2, \dots, n$);旧、新坐标系的方向矢量都相同;令正北向为*x*轴的正向,正东向为*y*轴的正向,向上为*z*轴的正向;令 (a_i, b_i, c_i) 为第*i*个作业点在旧坐标系中的坐标;令 u_j, v_j, w_j ($j=1, \dots, m$;其中*m*为雹暴单体的个数)分别为旧坐标系中第*j*个雹暴单体在3个坐标中的速度分量,则

$$u_j = (x_{ji1} - x_{ji0}) / (t_{j1} - t_{j0})$$

$$v_j = (y_{ji1} - y_{ji0}) / (t_{j1} - t_{j0})$$

$$w_j = (z_{ji1} - z_{ji0}) / (t_{j1} - t_{j0})$$

($j=1, \dots, m$;其中*m*为雹暴单体的个数)

式中 t_{j1}, t_{j0} 分别为第*j*个雹暴单体雷达观测的2个相邻时刻

$$\text{令 } \Delta t_j = t_{j1} - t_{j0}$$

经推导各点作业参数如下(公式推导过程略):

$$R_{ij} = \sqrt{(x_{ij} + u_j \Delta t_j - a_i)^2 + (y_{ij} + v_j \Delta t_j - b_i)^2 + (z_{ij} + w_j \Delta t_j - c_i)^2}$$

$$H_{ij} = (z_{ij} + w_j \Delta t_j - c_i)$$

$$\theta_{ij} = \arcsin H_{ij} / R_{ij}$$

$$\alpha_{ij} = \arctg(y_{ij} + v_j \Delta t_j - b_i) / (x_{ij} + u_j \Delta t_j - a_i)$$

$$(x_{ij} > 0, y_{ij} < 0)$$

$$\alpha_{ij} = 180^\circ - \arctg(y_{ij} + v_j \Delta t_j - b_i) / (x_{ij} + u_j \Delta t_j - a_i)$$

$$(x_{ij} < 0, y_{ij} < 0)$$

$$\alpha_{ij} = 270^\circ - \arctg(y_{ij} + v_j \Delta t_j - b_i) / (x_{ij} + u_j \Delta t_j - a_i)$$

$$(x_{ij} < 0, y_{ij} > 0)$$

$$\alpha_{ij} = 360^\circ - \arctg(y_{ij} + v_j \Delta t_j - b_i) / (x_{ij} + u_j \Delta t_j - a_i)$$

$$(x_{ij} > 0, y_{ij} > 0)$$

式中 $i=1, 2, \dots, n, j=1, \dots, m, n$ 为作业点个数,*m*为雹暴单体的个数; $R_{ij}, H_{ij}, \theta_{ij}, \alpha_{ij}$ 分别为第*i*个炮点对第*j*个雹暴单体的斜距、高度、仰角和方位角。

3 小结

(1) 狭义地说,人工防雹消雹作业指挥系统与人工增雨(雪)作业指挥系统应该是相互独立的系统,目前主要由它们共同组成人影科学作业指挥系统。而冰雹短期预报子系统、短时预警子系统及实时作业指挥子系统三者构成较广意义上的人工防雹消雹决策指挥系统,或者说它们共同构成狭义的人工防雹消雹业务支持系统。

(2) 业务应用的实时人工防雹消雹作业指挥系统应以地(市)级或单部雷达探测范围为单位。

(3) 设计相对普适性实时人工防雹消雹作业指挥系统软件时,在应用习惯上应是软件适应人为主而不应是人适应软件。

(4) 在客观定量的普适性实时人工防雹消雹作

业指挥系统中,识别雹云或对流性云时应以雷达参
量法为主。

参考文献:

[1] 付双喜,安林,康凤琴,等. VIL 在识别冰雹云中的应用及估测误差分析[J]. 高原气象 2004 23(6) 810 - 814.

[2] 安林,康凤琴,陈艳华. 业务性防雹作业实时决策指挥系统的设计[J]. 灾害学 2004 ,19(3) :19 - 24.

[3] 程士宏. 测度论与概率论基础[M]. 北京 :北京大学出版社, 2004. 167.

[4] 黄美元,徐华英,周玲. 中国人工防雹四十年[J]. 气候与环境研究 2000 5(3) 318 - 327.

Discussion on the Technique of the Hail Suppression

AN Lin^{1 2}, ZHANG Qiang¹, KANG Feng - qing¹, WANG Sui - chan³, LI Bao - zi⁴,

ZHI Yong - hua², SHI Yong - wei², GOU Hao - feng²

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;

2. Weather Modification Office of Lanzhou City, Lanzhou 730020, China;

3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China;

4. Weather Modification Office of Gansu Province, Lanzhou 730020, China)

Abstract Based on the hail suppression operation status at present, the tasks of the technique system, the peripheral technique system, the operational conducting system of the hail suppression and the relations among them are discussed in this paper, and also the relative possibility of the general adaption of the operational conducting system and its realizing way and degree for a single radar station or a city. A concept of "rather empty leak not" is given.

Key words hail suppression; technique; discussion