

广西 11—12 月人工增雨天气研究

韦增岸, 张正国, 程鹏, 黄晓辉, 王冀, 李林红 (广西壮族自治区人工影响天气办公室, 广西南宁 530022)

摘要 利用 2009—2015 年广西 11—12 月地面、高空气象观测资料及飞机人工增雨作业宏观记录进行统计分析, 对增雨作业天气系统进行分型, 并分析相应作业云系, 建立增雨作业天气概念模型, 利用模型分析一次增雨作业个例。结果表明, 广西 11—12 月增雨作业天气系统主要有 5 类, 包括冷空气型、高空槽型、华南静止锋型、低层南风急流型、台风型; 其中冷空气型是最典型的降水天气形势。作业云系以层状云为主, 有少量层积混合云, 主要包括层积云、层云、积云、高层云, 基本为暖云结构。层状云中下部可开展飞机作业或利用地面烟炉进行暖云催化作业, 层积混合云中积状云部分可开展地面火箭作业。

关键词 人工增雨; 天气系统; 云系; 广西

中图分类号 S423+.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)24-0182-06

Study on Artificial Precipitation Enhancement Weather in Guangxi from November to December

WEI Zeng-an, ZHANG Zheng-guo, CHENG Peng et al (Guangxi Zhuang Autonomous Region Weather Modification Office, Nanning, Guangxi 530022)

Abstract Using the surface meteorological observation data, sounding data and the operation information of aircraft artificial precipitation enhancement in November and December from 2009 to 2015 in Guangxi, we classified these precipitation weather systems, took an analysis of relative cloud systems, and developed conceptual synoptic models of precipitation enhancement operation based on which an aircraft artificial enhancement process was studied. The results indicated that these precipitation weather systems could be summarized into five types of cold air, upper trough, stationary front of southern China, southerly stream, typhoon. Among these patterns, the cold air pattern was the most typical precipitation weather situation. The relative cloud systems (including Sc, St, Cu, As) gave priority to the stratiform warm cloud, while including less stratocumulus mix cloud. The middle and lower part of stratiform cloud was suitable for aircraft and surface furnace artificial precipitation enhancement. The cumulative cloud be used to carry out ground rocket operations.

Key words Artificial precipitation enhancement; Weather system; Cloud system; Guangxi

广西属中、南亚热带季风气候区, 地处两广丘陵西部, 山地多、平原少, 岩溶广布, 降水时空分布不均。新中国成立以来, 广西几乎年年有干旱, 全区多年平均受旱面积 58 万 km^2 ^[1], 干旱缺水严重制约着广西经济的发展, 尤其是工农业生产的发展。因此, 开展人工增雨作业, 充分利用空中云水资源、增加自然降水, 对缓解干旱、促进经济发展有着直接的现实意义^[2-4]。国内外一些学者对人工增雨作业天气开展研究^[5-10], 得到了当地人增雨作业天气概念模型。孙鸿娉等^[5]研究山西省人工增雨天气条件, 建立了 4 种有利于山西省人工增雨作业的天气概念模型, 并分别给出了未来 12~24 h 影响山西省的警戒区及最佳人工增雨作业区。王璉等^[11]对甘肃省秋季飞机人工增雨天气系统进行分型, 建立了甘肃省秋季天气系统自动化“判别模型”, 得出甘肃省飞机人工增雨作业的主要天气类型为西南气流型和平直多波动型。胡志晋^[12]对层状云的人工增雨机制、条件和方法进行探讨, 提出了适合层状云人工增雨的云层条件、监测识别方法。王吉宏等^[13]分析了积层混合云的人工增雨作业条件, 并总结出对积层混合云实施人工增雨作业的条件、部位、时机和方法等新一代天气雷达判别指标。这些研究结果对人工增雨作业有重要意义。

广西每年都开展人工增雨作业, 尤其在秋冬季干旱频发时期。广西秋冬季降水云系以适合飞机人工增雨作业的层状云系为主。因此, 为了避免盲目性, 提高作业效果, 笔者通

过对广西秋冬季 11—12 月自然降水天气系统类型的研究, 结合飞机人工增雨作业的情况, 归纳总结出不同类型的作业天气形势特征及云系特征, 建立增雨作业天气概念模型, 为实施飞机人工增雨作业提供科学依据。

1 资料与方法

利用广西 94 个地面观测站日降水资料来作为增雨作业天气条件判别依据: ①日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的站点达到 30 个; ②日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的站点达到 20 个, 其中日降水量 $\geq 1.0 \text{ mm}$ 的大于 1 个站; ③日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的站点达到 15 个, 其中日降水量 $\geq 10.0 \text{ mm}$ 的大于 1 个站。以上 3 个条件符合其中之一即认为该天气过程具备一定的人工增雨作业天气条件。

根据以上人工增雨作业条件判别依据, 对广西 2009—2015 年 11—12 月具备人工增雨条件的天气过程进行普查, 对同一天气系统影响过程中日降水量达到条件的视为一次具备人工增雨作业条件的天气过程。按照如上的规定, 利用 2009—2015 年广西 11—12 月地面、高空气象观测资料以及期间广西飞机人工增雨作业记录进行统计分析, 共确定出具备增雨条件的天气过程 40 个作为研究对象; 分别对这些个例过程进行分析并确定其影响天气类型。云类、云底、云顶和大气 0 °C 层高度资料来自地面观测、飞机作业宏观记录、探空资料反演^[14]。

2 天气系统分型及云系分析

普查 40 个过程个例的天气系统, 发现广西 11—12 月适合开展人工增雨作业的天气类型有 5 大类, 详见表 1。冷空气型和高空槽型的过程个例分别有 23、10 个, 可见, 冷空气型与高空槽型的天气形势是广西 11—12 月飞机增雨作业的

作者简介 韦增岸(1986—), 女, 壮族, 广西横县人, 助理工程师, 从事人工影响天气研究。

收稿日期 2017-05-22

主要天气形势。冷空气型的天气形势中以冷空气为主导系统或伴随有其他系统,如切变线、南支槽等。在高空槽型、华南静止锋型、低层南风急流型的天气形势中也出现了冷空气,但冷空气在这些类型的天气形势中不是主导系统。切变线、南支槽也出现在多种天气形势中。在 40 个过程个例中,冷空气累计出现了 33 次,其次是切变线、南支槽,分别出现了 21、18 次。可见,冷空气是影响广西 11—12 月增雨作业天气的主要系统。

表 1 天气系统分型

Table 1 Classification of weather system

影响系统 Influence system	过程个例 Process example // 个	占比 Proportion %
冷空气型 Cold air	23	57.5
高空槽型 Upper trough	10	25.0
华南静止锋型 Stationary front of southern China	3	7.5
低层南风急流型 Southerly stream	3	7.5
台风 Typhoon	1	2.5

在 40 个作业天气过程中,根据当天开展飞机作业的地面观测资料及飞机宏观记录统计,作业云系主要有层积云、层云、积云、高层云,其出现次数分别为 67、32、13、17 次,云型组合出现次数如表 2。可见,层积云 + 层云是主要的作业云系,这一组合型云系出现了 29 次,占比 36.25%;其次是层积云、层积云 + 积云,分别出现了 21、13 次。

表 2 作业云系出现架次

Table 2 Appearing times of operation cloud system

作业云系 Operation cloud	次数 Times	占比 Proportion // %
层积云 Stratocumulus cloud	21	26.25
层积云 + 层云 Stratocumulus cloud and stratus cloud	29	36.25
层积云 + 积云 Stratocumulus cloud and cumulus cloud;	13	16.25
层积云 + 高层云 Stratocumulus cloud and altostratus cloud	4	5.00
高层云 Altostratus cloud	9	11.25
层云 + 高层云 Stratus cloud and altostratus cloud	4	5.00

分析广西 11—12 月探空资料发现,广西大气 0 °C 层高度各地变化较大,其中桂北在 3 600 ~ 4 500 m,桂南在 3 900 ~ 4 900 m。

2.1 冷空气型 入侵广西的冷空气根据路径不同,可以划分为西路、中路、东路 3 条路径。西路冷空气是指冷空气主力从 105°E 以西地区南下,通常移动快、强度较强、全区各地降温明显,冷空气越过高原下沉进入广西,不利于降水产生,人工影响天气作业条件较差。中路冷空气是指冷空气主力从 110°E 附近南下,桂东、桂中降温大于桂西。东路冷空气是指冷空气主力从 115°E 附近南下,以后东移出海,再以“东灌”形式沿两湖盆地和湘桂铁路沿线走廊影响广西,对桂东北和桂东影响较明显,对桂西和桂南影响较小^[1,3],东路冷空

气对降水比较有利。

冷空气型天气主要产生层状云,包括层积云、层云、高层云独立存在或其中的任意 2 种或 3 种云并存。层状云常均匀布满天空,产生稳定连续性降水,云中温度层结常是稳定的,在云顶部常存在逆温层,有时云内层结温度接近湿绝热梯度,但最大值不超过 0.8 °C/100 m^[4]。从卫星云图上看,层状云系范围较大,常有 10³ km 的尺度^[15-17],云系的形态与形成层状云系的天气系统有关。冷空气型的天气系统又可分为 2 种类型。

2.1.1 冷空气 + 切变线型。这一类型有 18 个个例,这一类型多数是从东路下来的冷空气,一般在贝湖有大槽引导冷空气从新疆经华北、长江南下影响广西,850 hPa 切变线在长江中下游一带,或在桂北与贵州、湖南交界一带徘徊影响广西,或已经进入广西南压至沿海。850 hPa 切变线一般在 23° ~ 27°N,对广西有影响,700 hPa 切变线在 27° ~ 35°N。切变线的北侧若为偏东风,条件较好,若为西北风,条件较差;切变线南侧吹 SSW - S - SE 风最为有利,吹 W - WSW 风较差^[1,3]。若 850、700 hPa 有相应的切变线,500 hPa 有相应的高空槽配合,地面有锋面相对应,这时空气抬升,辐合作用较强烈,水汽饱和层深厚,对降水产生就非常有利。

由于低层冷暖空气交汇,暖空气沿锋面抬升在广西形成的大范围层积云或层云,为稳定的层状云降水,这也是广西 11—12 月最典型的降水天气形势。由此产生的层积云或层云为纯暖云结构,宏观特征为云底高度较低(500 ~ 1 000 m),云顶在 2 000 ~ 3 000 m,多数集中在 2 700 m 左右,云体厚度在 1 700 ~ 2 500 m,云底高度与锋面的相对位置有关,云顶高度则与逆温层高度密切相关。在无其他系统和云系配合的情况下,此类层积云或层云云体厚度与降水密切相关,云厚 > 2 100 m 才能产生降水。降水的特点为降水量和降水强度小,仅为小雨,空间分布较为均匀。

2.1.2 冷空气 + 其他系统。这一类型有 5 个个例,这一类型是冷空气配合其他系统,如南支槽、高原槽、偏南气流,一般冷空气入桂前,广西低层为偏南气流,500 hPa 在高原东部或云南一带有小波动东移影响广西。此类型仍以冷空气为主导系统,由此产生的云系多为层积云或伴有高层云,云底高度在 600 ~ 1 500 m,云顶在 2 500 ~ 4 000 m,多数集中在 3 500 m 左右,云体厚度在 2 000 ~ 3 000 m,为暖云结构,降水的特点为降水量和降水强度小,大多为小雨,局部会有中雨,空间分布相对均匀。

2.2 高空槽型 影响广西的高空槽主要由南支槽和高原槽,这一类型有 10 个个例。

2.2.1 南支槽型。南支槽型有 6 个个例。南支槽是产生在低纬度南支西风急流中的短波天气系统,主要活动于 20° ~ 30°N,70° ~ 120°E 的西来槽和这一区域新生的低槽。11—12 月南支槽通常会伴随着冷空气、切变线共同影响广西,经统计,11—12 月南支槽影响广西的起始位置大约在昆明东部,而南支槽槽线一旦过了贵阳,对广西的影响便开始减弱趋于消退。南支槽逐步东移影响广西,槽前形成大范围高层云,

或层积混合云。此类云系云底高度变化较小(3 000 ~ 3 600 m),云顶高度变化则较大(4 500 ~ 6 500 m),有纯暖云结构和冷暖混合云结构,云体厚度平均在 2 500 m。该类天气系统和云系多与低层切变线和锋面系统形成高低层配置产生降水,降水特点为降水强度小,降水量略大,多为小到中雨,偶有大到暴雨,降水量主要受南支槽的强度、移速以及与低层切变线和锋面配合等因素的影响,偶有局地对流性降水产生。

2.2.2 高原槽型。高原槽型有 4 个个例。高原槽是指位于青藏高原的西风槽,在 500 hPa 位于 $27^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$, $95^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E}$ 区域内的高原槽对广西的影响比较明显。11—12 月高原槽一般是配合其他系统进而影响广西,其主要特征为^[18]: 500 hPa 在青藏高原中东部有明显的高原槽,蒙古至华北地区有明显的华北槽,冷空气从华北槽后南下侵入广西;孟加拉湾为低槽区,其槽前有西南暖湿气流向广西区域输送。冷暖气流在广西交汇,带来降水天气,高原槽位置偏北,云系多产生在桂北、桂东一带,降水部位也在这一带。此类云多为高层云或伴有层积云,有纯暖云结构和冷暖混合云结构,云底高度在 1 200 ~ 1 800 m,云顶在 3 500 ~ 6 000 m,云体厚度在 2 000 ~ 3 000 m,降水的特点为降水量和降水强度小,大多为小雨到中雨,局部大雨,空间分布相对均匀。

2.3 华南静止锋型 华南静止锋型有 3 个个例。华南静止锋主要活动在南岭山脉或南海地区,锋面坡度很小,一般为 $1/200 \sim 1/300$ 。11—12 月影响广西的华南静止锋为冷空气进入华南而逐渐静止所形成,常与空中切变线相配合出现,雨区分布在地面锋线与 700 hPa 切变线之间,锋上云系较宽广,达 400 ~ 500 km,覆盖整个广西。锋上为层状云系,主要为层云、层积云,云系为暖云结构,云底高度较低(300 ~ 800 m),云顶在 2 000 ~ 3 000 m,云体厚度在 1 700 ~ 2 500 m,产生稳定性降水,降水不强,以毛毛雨为主,空间分布很均匀。

2.4 低层南风急流型 低层南风急流型有 3 个个例。地面高压从江浙一带入海,广西处于高压后部受偏南气流控制,偏南气流带来海上暖湿水汽,在桂北、桂东辐合产生降水天气,又叫“回流天气”。若高层有南支槽配合,地面有倒槽发展,偏南气流加大发展成急流,则“回流天气”明显,雨区扩大。偏南气流主要产生层云和层积云,云底高度在 600 ~ 1 200 m,云顶在 2 200 ~ 3 200 m,云体厚度在 1 800 ~ 2 600 m,多产生小雨的天气,局部会有中雨,空间分布比较零散。

2.5 台风型 台风过境前,其外围云系会带来丰富的水汽,云系以积云为主,加上广西当地局地大气热力水汽条件和不稳定能量触发产生以积云为主的层积混合云,此类云系云底高度在 1 000 m 左右,云顶高度在 4 000 ~ 6 000 m,发展成熟的积云顶在 7 000 m 以上,为纯暖云结构和冷暖混合云结构。该类天气系统和云系降水强度和降水量变化大,小雨至暴雨量级,空间分布极不均匀。台风过境时常伴随着大风和暴雨或特大暴雨等强对流天气,持续时间长短不一。

3 人工增雨作业天气概念模型和作业技术

3.1 冷空气型 在冷空气为主导系统的天气中,由于产生云系主要为层状云,降水比较稳定,适合开展增雨作业,作业位置宜在地面冷空气前锋后部,主要在锋后至 700 hPa 切变线之间,根据以往经验,在锋后与 850 hPa 切变线之间位置最佳(图 1)。由于层状云中的上升气流速度小,所以云形成发展过程很慢,含水量也较低,含水量的极大值一般在云的中下部,这也是增雨作业优先考虑的部位^[12,19-21]。根据统计,冷空气型形成的暖云结构的大范围层积云或层云云底高度在 500 ~ 1 000 m,可选择飞机或地面烟炉,在距离云底 100 m 至云层中下部播撒吸湿性暖云催化剂形成大滴,扩宽云滴谱,促进暖云中碰并过程的发生发展,从而提高降水效率,增加降水。

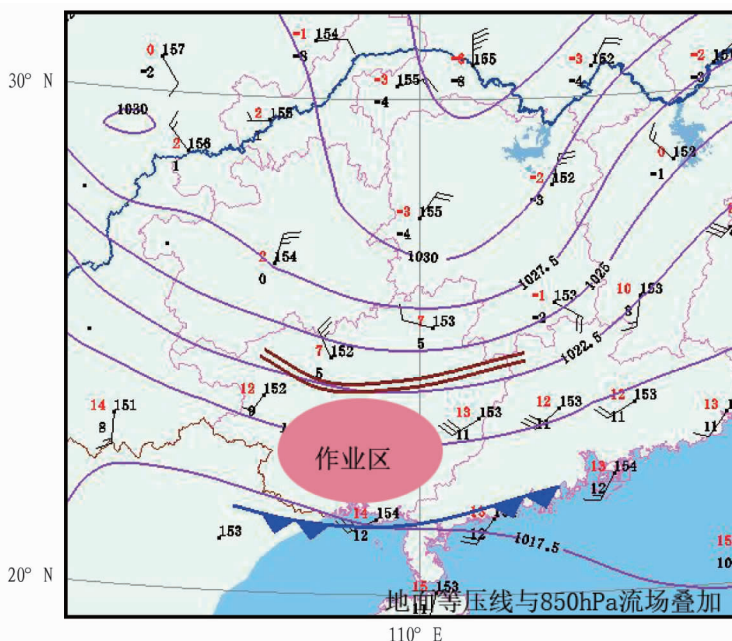


图 1 切变线 + 冷空气系统人工增雨作业区

Fig. 1 The precipitation enhancement operations area of shear line and cold air system

3.2 高空槽型

3.2.1 南支槽型。在南支槽为主导系统的天气过程中,有利于增雨作业的位置在槽前西南气流上升部位(图2),槽前形成大范围高层云或层积混合云。在此类云系云底高度变化较小,云顶高度变化则较大,有纯暖云结构和冷暖混合云结构,云体厚度平均在 2 500 m,根据情况选择飞机和火箭针对冷暖云分别采取冷云和暖云催化作业。考虑到南支槽前西南上升气流可能会带来局地强对流天气,从安全角度出发,飞机增雨作业主要是针对较稳定的层状云或层积云部位进行播撒催化,在雷达降水回波 PPI 上表现为大范围、长时间维持的均匀片状回波,边缘模糊不清,强度一般小于 35 dBz^[12,19-21];同样,对层状暖云或冷暖混合云暖区采取在

云层中下部播撒吸湿性暖云催化剂进行暖云催化;针对 0 °C 层以上冷云部分,在云体内 -4 ~ -15 °C 高度层过冷云水区播撒碘化银催化剂进行冷云催化。对于层积混合云中不稳定的积状云,可采取地面火箭作业进行冷云播撒催化,根据雷达探测选择云层的中上部播撒催化剂,将形成最佳效果^[13,22]。

广西目前主要使用的是 WR-98 系列火箭作业系统,其发射角度为 45°~85°,方向角为 0~360°,火箭弹道曲线如图 3 所示^[23]。根据高空资料统计结果显示,11—12 月广西 0 °C 层在 3 600~4 900 m,而积云顶高在 6 500 m 以上,为使火箭播撒催化剂阶段处于云中过冷云水区内(4 000~7 000 m),火箭发射仰角应在 55°~75°,具体仰角和方位角结合雷达 PPI 和 RHI 产品进行测算。

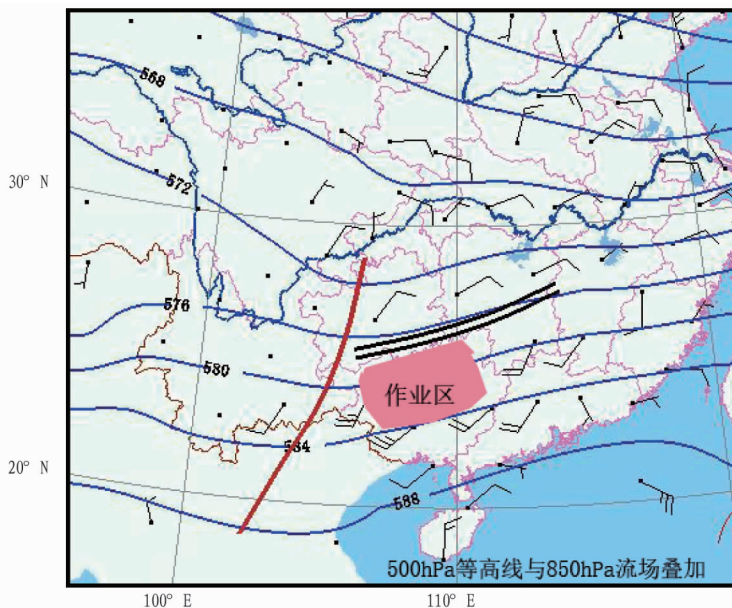


图2 南支槽+切变线系统人工增雨作业区

Fig. 2 The precipitation enhancement operations area of southern branch trough and shear line

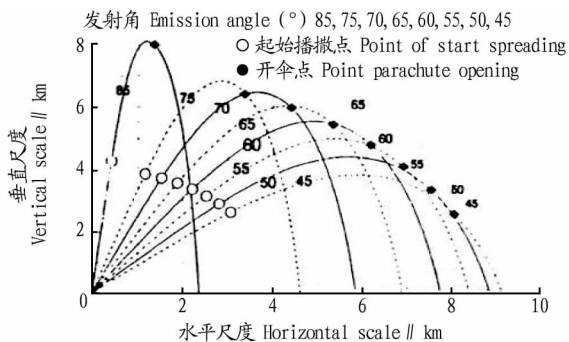


图3 火箭弹道曲线

Fig. 3 Rocket trajectory curve

3.2.2 高原槽型。高原槽位置相对广西较偏北,降水部位多在桂北、桂东一带,增雨作业适宜在这一带开展(图4)。高原槽天气系统多产生高层云或层积云,有纯暖云结构和冷暖混合云结构,一般 4 000 m 以下采用暖云催化,4 000 m 以上可根据实际情况采用冷云(或暖云)催化,作业方式与南支槽型相同。

3.3 华南静止锋型 华南静止锋云系较宽广,雨区覆盖整

个广西,广西全区都有开展作业的条件。云系基本处于 0 °C 层以下,主要在云系中下部开展飞机作业或利用地面烟炉作业进行暖云催化作业。

3.4 低层南风急流型 广西地面位于高压后部,低层南风加强,形成“天南地北”的形势,形成降水的强度范围主要受地面高压强弱、位置和南风急流强弱等因素决定,以及是否有其他系统配合。该类型形成的云系为暖云结构的层云或层积云,同样在云系中下部开展飞机作业或利用地面烟炉进行暖云催化作业。

3.5 台风 台风过境前,由于广西当地局地大气热力水汽条件和不稳定能量触发产生以积云为主的层积混合云,这类云系通常回波较强,不适合开展飞机作业,地面作业可选择合适的时机开展,一般选择在云系中上部进行催化,与高空槽型相同。台风过境常伴随着大风和暴雨或特大暴雨等强对流天气,从安全角度出发,不建议开展增雨作业。

4 个例应用

2015 年 12 月 22 日,受南支槽、切变线、冷空气的共同影响,广西出现有利于人工增雨作业的天气过程,广西区人工

影响天气办公室于22日09:54—14:55开展一架次飞机增雨作业,飞行航线为南宁—崇左—天等—柳州—南宁(图5)。

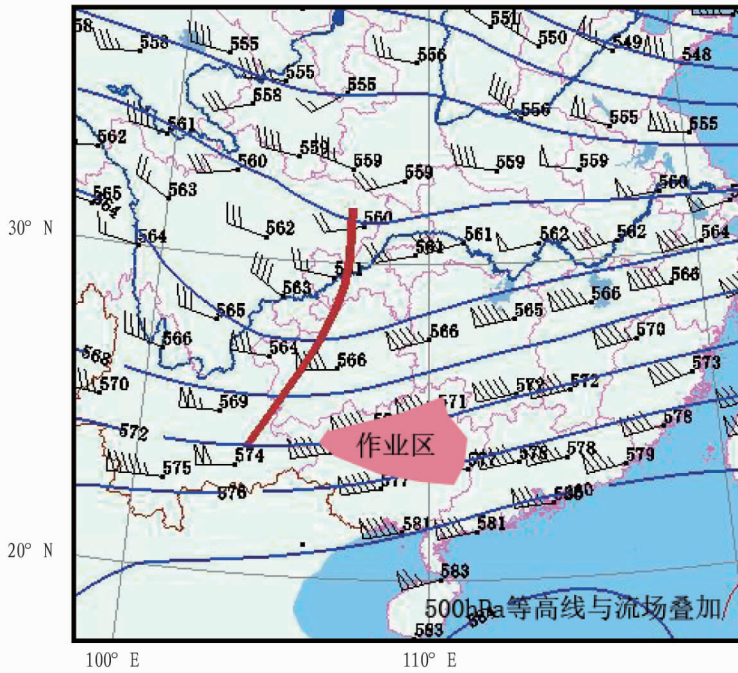


图4 高原槽系统人工增雨作业区

Fig.4 The precipitation enhancement operations area of plateau trough system

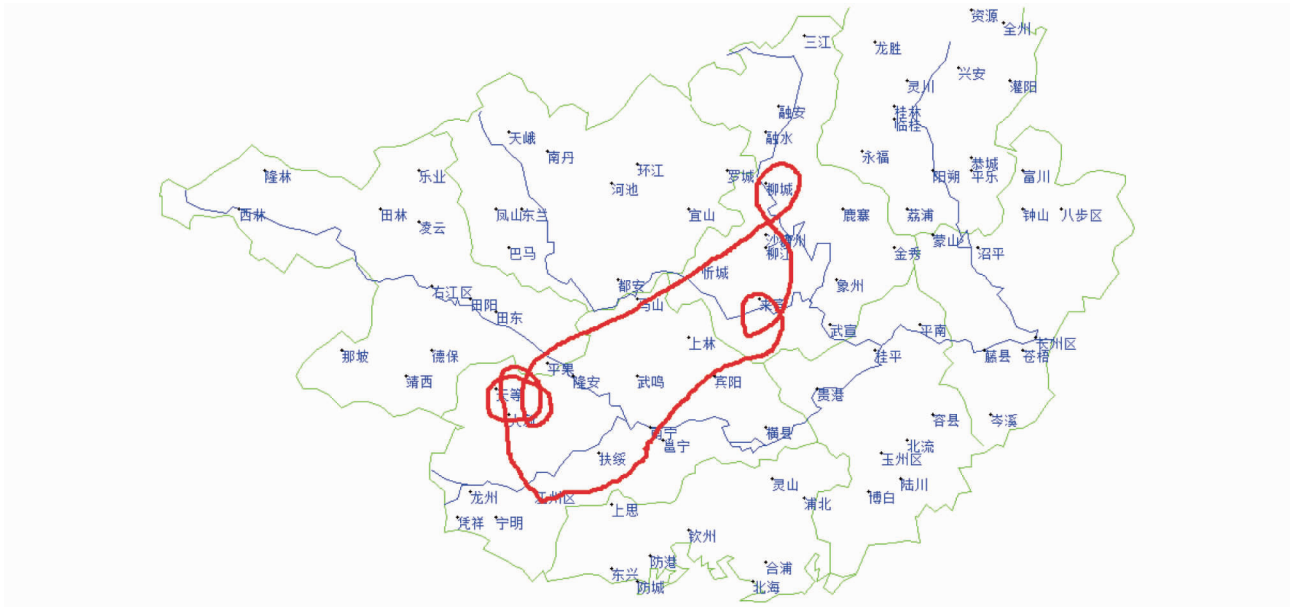


图5 2015年12月22日飞行轨迹

Fig.5 Weather modification flight route on December 22, 2015

12月22日08:00天气形势图(图6)显示,西伯利亚有一浅槽,高原有小波动,孟加拉湾南支槽发展深厚,700~300 hPa均有明显的槽线,副高控制中南半岛—南海—西太平洋一带,广西处于副高边缘,南支槽与副高携带的西南气流在广西交汇;850 hPa切变线在贵州中部,切变线南侧为SSW-S-SE风,对降水极为有利,桂东、桂南偏南气流达12 m/s;地面冷空气不断渗透,大片云系自桂西南向桂东北移动。

由图7可知,22日08:00广西上空云图色调比较白亮,

较为均匀,属于较深厚的层状云系,云带呈东北—西南向。08:00南宁站探空资料(图8)显示,0℃层在4200 m左右,云系属于暖云结构,相对湿度达80%的湿层厚度近4.5 km,具备相当的增雨潜力。结合08:00—10:00南宁站雷达基本反射率,回波零散,大多在15~30 dBz,层状云的回波比较稳定,可以穿云飞行。

飞机于22日09:54开飞,10:29起飞,10:32在南宁吴圩上空600 m入云,低层为碎雨云和层云,升至1200 m高度开始作业,观测到层云和层积云,气温15℃,相对湿度100%;

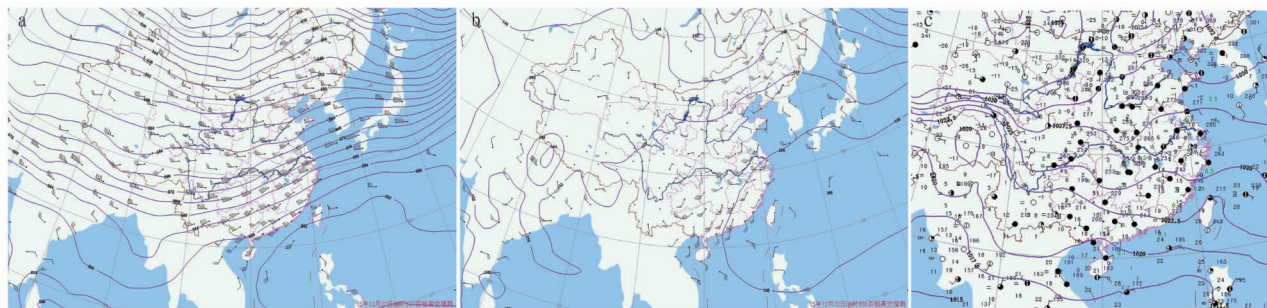


图 6 2015 年 12 月 22 日 08:00 500 hPa(a)、850 hPa(b)和地面(c)环流形势

Fig. 6 Circulation situation of 500 hPa(a) ,850 hPa(b) and ground(c) at 08:00 on December 22, 2015

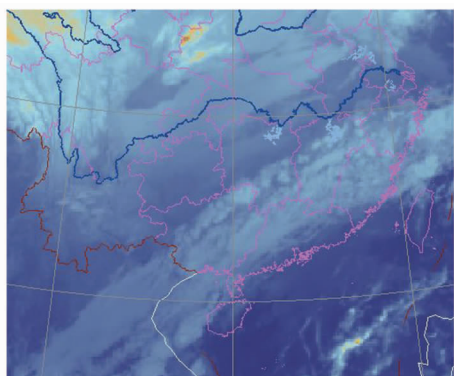


图 7 2015 年 12 月 22 日 08:00 FY2G 红外图像

Fig. 7 Infrared image of FY2G at 08:00 on December 22, 2015

11:00 到崇左,作业高度 3 200 m,观测到层积云,气温 8.9℃,相对湿度达 94%;11:30 到天等,发现大范围层状暖云,继续催化播撒并做绕圈飞行;13:08 到柳州,发现层积混合云,燃烧 5 根暖云烟条;14:26 到达南宁停止作业,14:55 降落,整个飞行过程共燃烧了 20 根暖云烟条,作业区内普降小到中雨。

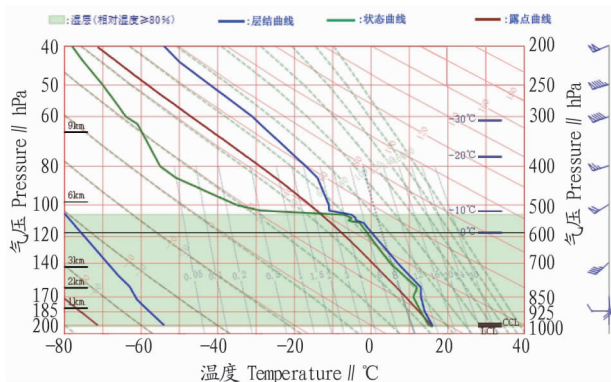


图 8 2015 年 12 月 22 日 08:00 南宁站探空资料

Fig. 8 Sounding data of Nanning on December 22, 2015

5 结论与讨论

(1) 广西 11—12 月开展人工增雨作业的天气系统可分为冷空气型、高空槽型、华南静止锋型、低层南风急流型、台风型,冷空气是影响广西 11—12 月人工增雨作业天气的主要系统。

(2) 广西 11—12 月开展人工增雨作业的云系以层状云为主,主要有层积云、层云、积云、高层云,基本为暖云结构,偶有以积云为主的层积混合云。

(3) 冷空气型天气系统主要产生稳定性层状暖云,是广

西 11—12 月最典型的降水天气形势,多产生小雨,作业位置宜选在地面冷锋后部与 850 hPa 切变线之间,可在云层中下部开展飞机作业或使用地面烟炉进行暖云催化作业。

(4) 高空槽型天气系统产生大范围高层云或层积混合云,云顶高度变化较大,有纯暖云结构和冷暖混合云结构,多产生小到中雨,槽前西南上升气流区适合开展作业,可根据情况选择飞机和火箭针对冷暖云分别采取冷云和暖云催化作业。

(5) 2015 年 12 月 22 日一次飞机人工增雨作业飞行 5 h,飞行过程中观测到层云、层积云、层积混合云,云系为暖云结构,0℃层在 4 200 m 左右,作业高度 1 200~3 300 m,共燃烧 20 根暖云烟条,作业区内普降小到中雨。

参考文献

- [1] 《广西天气预报技术和方法》编写组. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京:气象出版社,2012.
- [2] 黄美元. 我国人工降水亟待解决的问题和发展思路[J]. 气候与环境研究,2011,16(5):543-550.
- [3] 朱乾根. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [4] 郭学良. 大气物理与人工影响天气[M]. 北京:气象出版社,2011.
- [5] 孙鸿娉,李培仁,王功娃,等. 山西省人工增雨天气条件研究[J]. 气候与环境研究,2012,17(6):903-910.
- [6] 徐冬英,王璐,王志平,等. 长沙地区秋季降雨天气类型与飞机增雨技术研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(18):219-222,239.
- [7] HERZEGH P H, HOBBS P V. The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. II: Warm-frontal cloud[J]. J Atmos Sci, 1980, 37(3):597-611.
- [8] 董晓明,刁军,刘凤芝,等. 沈阳地区人工增雨天气系统及作业时机[J]. 安徽农业科学,2010,38(18):9612-9613,9622.
- [9] 蓝渝,郑永光,毛冬艳,等. 华北区域冰雹天气分型及云系特征[J]. 应用气象学报,2014,25(5):538-549.
- [10] 唐林,魏鸣,王治平. 湖南人工增雨云型的分析判别与多普勒天气雷达指挥系统的研制应用[J]. 气象科学,2007,27(1):95-100.
- [11] 王璘,李宗荣,王劲松,等. 甘肃省秋季飞机人工增雨天气系统分型[J]. 气象,2007,33(1):94-98.
- [12] 胡志晋. 层状云人工增雨机制、条件和方法的探讨[J]. 应用气象学报,2001,12(S1):10-13.
- [13] 王吉宏,张维权,班显秀,等. 积层混合云人工增雨作业条件分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(10):4560-4561.
- [14] 田广元,田鹏波,陈刚,等. 利用温度露点差判别沈阳地区云体的统计分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(33):16459-16461.
- [15] 蔡淼,周毓莹,朱彬. 一次对流云团合并的卫星等综合观测分析[J]. 大气科学学报,2011,34(2):170-179.
- [16] 刘星光,李鹏,单良. FY-2C 卫星反演云参数产品在一次飞机增雨作业中的应用[J]. 黑龙江气象,2008,25(3):23-24.
- [17] 刘升,陈邦怀,姜成华. 卫星云图在淮北人工增雨作业中的应用[J]. 安徽农业科学,2011,39(34):21311-21313.
- [18] 曾鹏,钟利华,李勇. 广西电网流域大雨环流特征与天气分型[J]. 气象研究与应用,2016,37(S1):31-33.

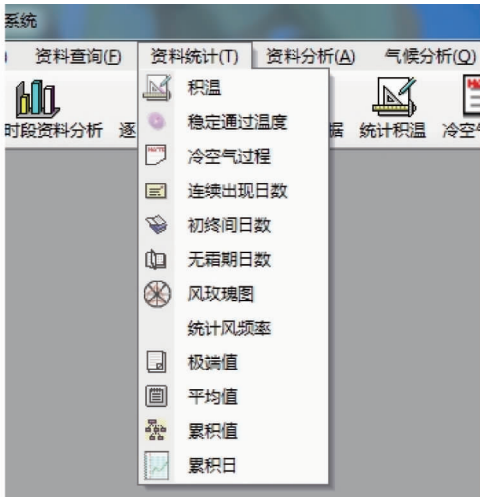


图4 资料统计功能菜单

Fig.4 Function menu of data statistics

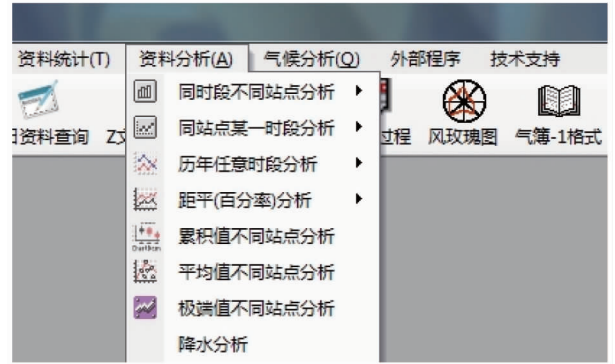


图5 资料分析功能菜单

Fig.5 Function menu of data analysis

4.4 气候分析 利用该地区已有的气象指标,系统通过

程序智能计算,可以进行气象台站某一时间段的气候分析,包括气候概况、春季回温、倒春寒、强冷空气、暴雨、高温干旱、低温冷害、秋低温等气候分析,生成以文字形式表述的分析结果(图6)。

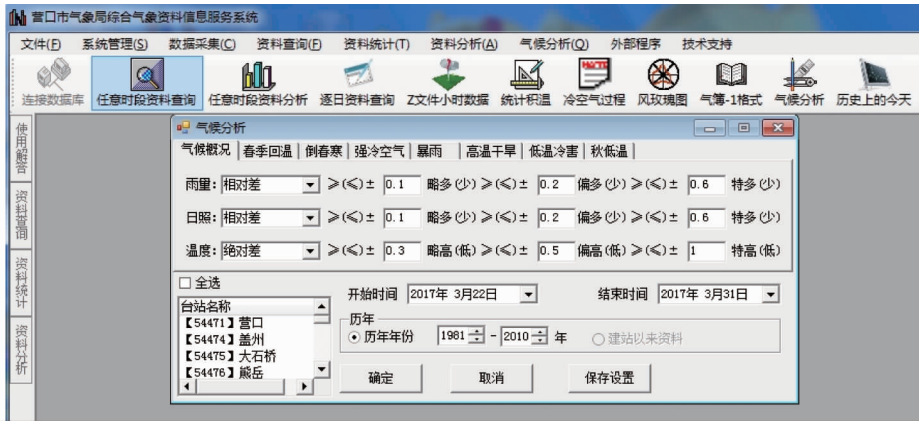


图6 气候分析功能菜单

Fig.6 Function menu of climate analysis

5 显示和输出

营口市气象局综合气象资料信息服务系统对于各项查询、统计、分析等功能均能够以气象资料通用标准格式和气象服务人员惯用格式进行输出,例如可以输出各类图形、多种表格、文字等,并采用不同的颜色对不同项目侧重点进行突出显示,系统也可输出到文件和打印机。

6 小结

营口市气象局综合气象资料信息服务系统的立项开发使用为气象服务人员提供一个综合业务平台,气象服务人员从以前依靠纸质办法跨越到电子网络办公,让气象服务人员能快速方便地使用监测数据在第一时间制作出气象服务产品。目前,该系统已经部署到气象台、业务科等相关部门和单位,2017年年初部署到该地区3个县气象局,实现了集约

化发展。系统的使用使营口市的气象信息服务上了一个新台阶,更好地发挥了气象信息服务效益。

参考文献

- [1] 王石立,庄立伟,刘庚山,等. 网络化农业气象信息服务技术研究[J]. 中国农业气象,2004,25(1):1-4.
- [2] 贺俊杰,冀刚,郭立志,等. 内蒙古地区级生态与农业气象监测评估服务系统的设计与实现[J]. 中国农业气象,2009,30(2):235-238.
- [3] 宫丽杰. SQL Server 2000 web 应用开发指南[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [4] 高静,薛峰. 基于 Web 日志的企业应用系统审计[J]. 信息安全与技术,2015,6(6):68-70.
- [5] 王建凯,赵志强,刘钧,等. 地面气象观测自动化技术手册[M]. 北京:气象出版社,2014.
- [6] 黄思源,刘钧. 新型自动气象站观测业务技术[M]. 北京:气象出版社,2014.
- [7] 王荣堂,张祖新,陈柏寒. 农业气象信息系统的开发与利用[J]. 中国农业气象,1998,19(1):43-45.

(上接第187页)

- [19] 刘健,李茂仑,蒋彤,等. 吉林省春季降水性层状云基本结构及降水潜力的初步研究[J]. 气象科学,2005,25(6):610-616.
- [20] 洪延超,李宏宇. 一次锋面层状云云系结构、降水机制及人工增雨条件研究[J]. 高原气象,2011,30(5):1308-1323.
- [21] 石爱丽,郑国光,孙晶,等. 河南省一次秋季层状云降水增雨潜力的观

- 测和数值模拟分析[J]. 气象,2013,39(1):67-73.
- [22] 翟晋,黄勇,胡雯,等. 一次积层混合云降水过程增雨条件分析[J]. 气象,2010,36(11):59-67.
- [23] 广州区域气象中心人工影响天气协作组. 广州区域气象中心人工影响天气岗位培训教材[M]. 广州:[出版者不详],2008.