

# 白龙湖库区资源性人工增雨典型个例分析

张沛纯<sup>1</sup>, 刘建西<sup>2</sup>, 甘建辉<sup>1</sup>, 张世林<sup>2</sup>, 李志华<sup>1</sup>

(1. 广元市气象局, 广元 628017; 2. 四川省人工影响天气办公室, 成都 610072)

**摘要:**四川省人工影响天气办公室与广元市气象局在宝珠寺水力发电厂的主要蓄水区—白龙湖水库建立了资源性人工增雨蓄水作业基地,从2006年开始,每年5~10月在该地区实施增雨作业。本文选取2007年9月29日较为典型的作业个例,从天气系统、作业条件及作业时机的把握等进行了详细分析,并结合多年实践,对白龙湖库区开展人工增雨作业的基本天气形势、作业条件和作业时机作了较深入的总结,为在该地区长期开展资源性人工增雨蓄水作业积累了较好经验。

**关键词:**资源性;人工增雨;个例;天气分析

**中图分类号:**P481

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2184.2012.03.016

## 引言

广元地区位于四川盆地北部,干旱是主要气象灾害之一,严重制约了经济发展。宝珠寺水力发电厂蓄水区—白龙湖水库位于广元城区西北部白龙江干流上,水库于2000年竣工正式蓄水发电。在全球气候变暖大背景下,水库上游地区气温上升,蒸发量增加,年降雨日数减少,降水量呈减少趋势。建库后与建库前相比,70%的年份欠蓄,库区年降雨量平均值减少73.8mm,其中7月降雨量减少56.8mm,冬、春季降水量虽略有增加,但对水库蓄水贡献微弱。降雨量的减少,严重影响电站正常运行。

自2006年起,该电厂与四川省人工影响天气办公室合作,在库区流域开展资源性人工增雨蓄水作业。2007年9月29日00:00~06:00,省人工影响天气办公室组织在白龙湖库区成功进行了人工增雨蓄水作业,作业影响区域内降雨量均在100mm以上,较作业对比区降雨量增大了30%以上,增加蓄水量约1亿立方米,使水库蓄水在汛末前就达到满蓄。本文分析该次增雨过程的天气形势,结合多年实践经验,提炼出白龙湖库区进行人工增雨的基本天气形势和作业时机的把握,为今后该区域人工增雨作业提供参考。

**资料来源:**雨量资料来源于作业影响区和作业对比区内雨量哨点和已建成的区域自动站,雷达资料来源于绵阳市气象台,天气图资料来源于广元市气象台。

## 1 增雨实例

### 1.1 降雨实况

2007年9月28~29日,广元地区出现一次明显的降雨天气过程,我们在库区开展了人工增雨作业,效果极

好。过程结束后,库区的降雨总量明显比周围地区的要大,白龙湖库区普降暴雨,最大降雨站点出现在库区的金洞乡,总降雨量为155.4mm。如图1。

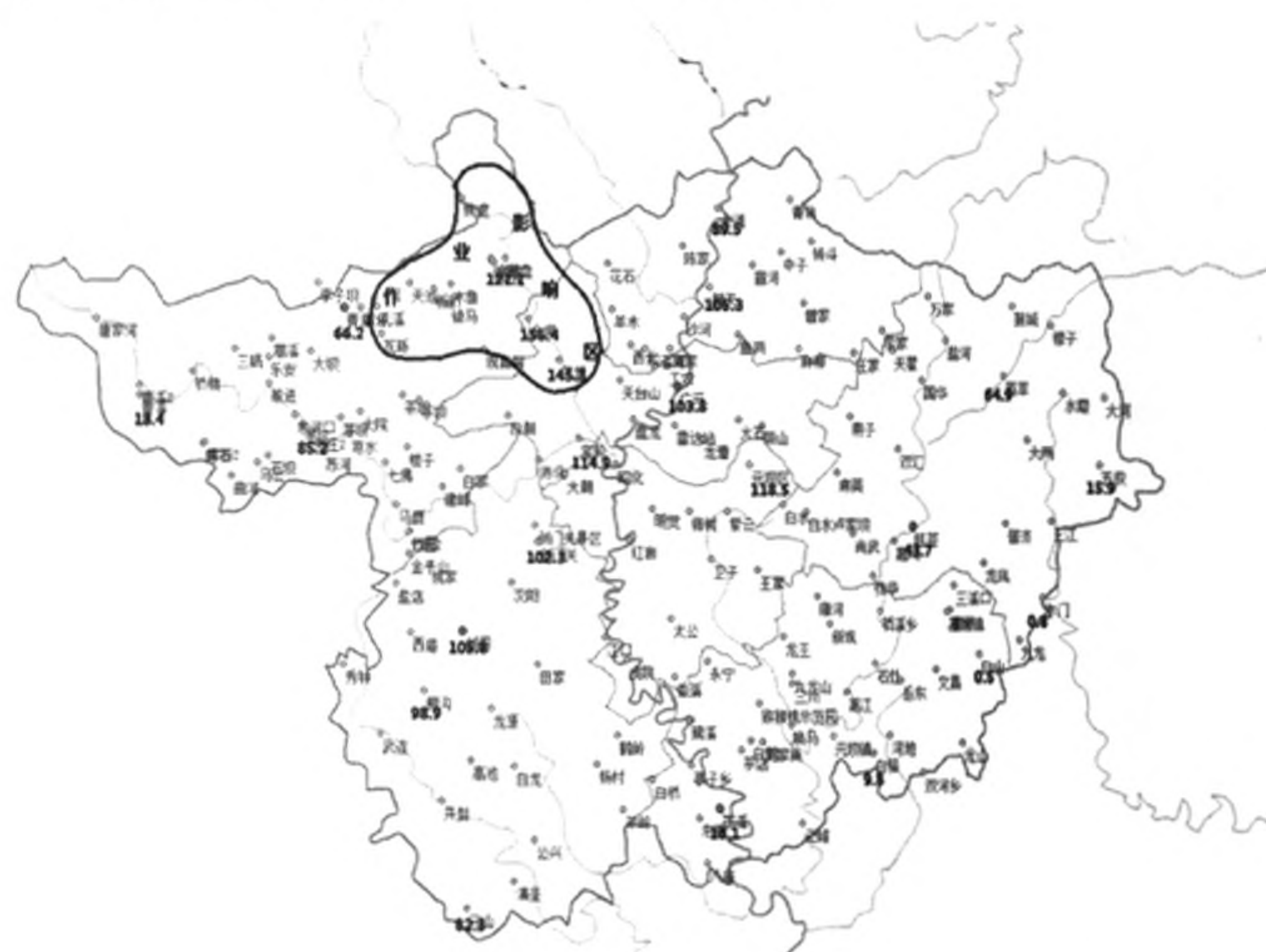


图1 2007年9月28~29日库区及周边乡镇降雨量分布

### 1.2 作业情况

我们在库区选取了4个作业点开展作业,分别是三堆大坝、金洞、沙洲、板桥(如图1所示)。作业设备为BL-1车载火箭。29日凌晨,根据雷达回波判断,00:30首先在三堆大坝作业点作业,紧随其后,00:42金洞、板桥等2个作业点同时作业,03时左右,三堆、金洞再次作业,06时前,三堆、金洞、沙洲3个作业点再次作业。

### 1.3 作业效果

作业有效覆盖区域内降雨量均突破100mm,达到大暴雨标准,过程最大降雨中心出现在作业区的金洞乡,作业区面雨量比非作业区增大30%以上(图1)。作业效果

显著,创造了较高的经济价值和社会效应,得到了电厂方的高度评价。

## 2 天气形势

### 2.1 500hPa 形势

9月28日08时(图2左),副热带高压加强西伸,588线西脊点位于宜宾附近(28°N,104°E),库区受副高西北侧的西南气流控制,上风方湿度较大,成都  $T - T_d = 3.0$ ,四川南部到云贵地区  $T - T_d$  普遍小于2,为强降水酝酿阶段。28日20时(图2右)副高北部位置稳定少动,30~32°N区域588线仍位于108°E附近,其南端脊线继续西伸,陕甘南部到四川为一致的西南气流,输入到库区的

暖湿气流进一步加强,湿度进一步增大,西昌  $T - T_d = 1.5$ ;华南地区东南风加大,能使水汽得到补充,高空引导气流得到满足;成都12小时变温为正3℃,库区周边为一片增温区,高原为一暖中心,玉树为正1℃,12小时变温为正2℃,能量明显增高,提供了强降水的动力支持;青藏高原上不断有波动东传,巴塘附近有一短波槽,为不稳定能量提供了触发机制。在副高的阻塞下使降雨时间延长,有利于库区集雨区强降雨的持续,为人工增雨创造了有利条件。29日08时,副高进一步西伸,588线西伸至川西高原,库区处于588线控制范围以内,湿度明显减小,西昌  $T - T_d = 5$ ,降雨过程结束。

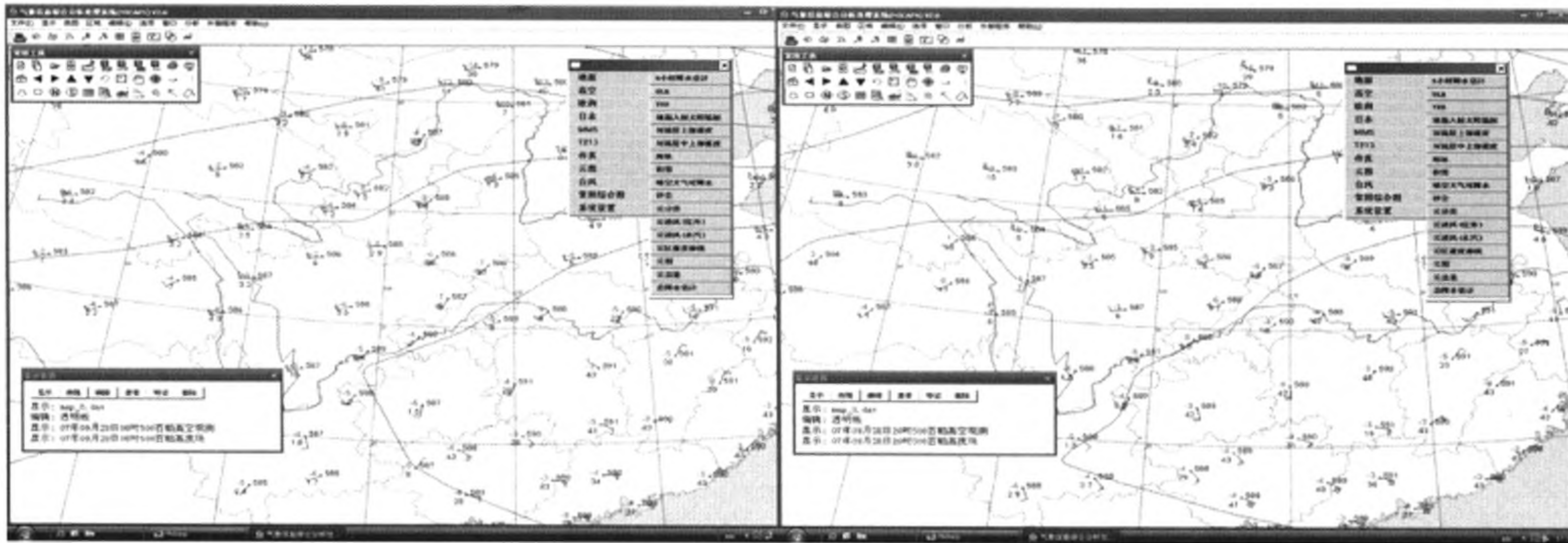


图2 2007年9月28日500hPa(左:08时右:20时)

### 2.2 700hPa 形势

28日08时(图3左),低空急流轴线位于贵州到重庆一线,重庆和达州的风速均超过12m/s,广元市位于急流轴左侧200km外,陕甘地区经四川到云贵湿度较大, $T - T_d$  普遍小于3。到28日20时(图3右),甘肃中部为一温度槽,其东部有一气旋式辐合中心,急流轴线西进,

汉中和武都基本上为正南风,风速超过17m/s,贵州到重庆为10m/s以上偏南风;四川到陕甘地区  $T - T_d < 2$ ,与库区相邻的武都12小时变温为正4℃,表明低空急流在西进过程中进一步增强,湿度进一步增加,能量进一步提高,而且库区基本上位于急流轴线上,水汽和能量条件均充足,并有水汽补充,影响系统较明显。

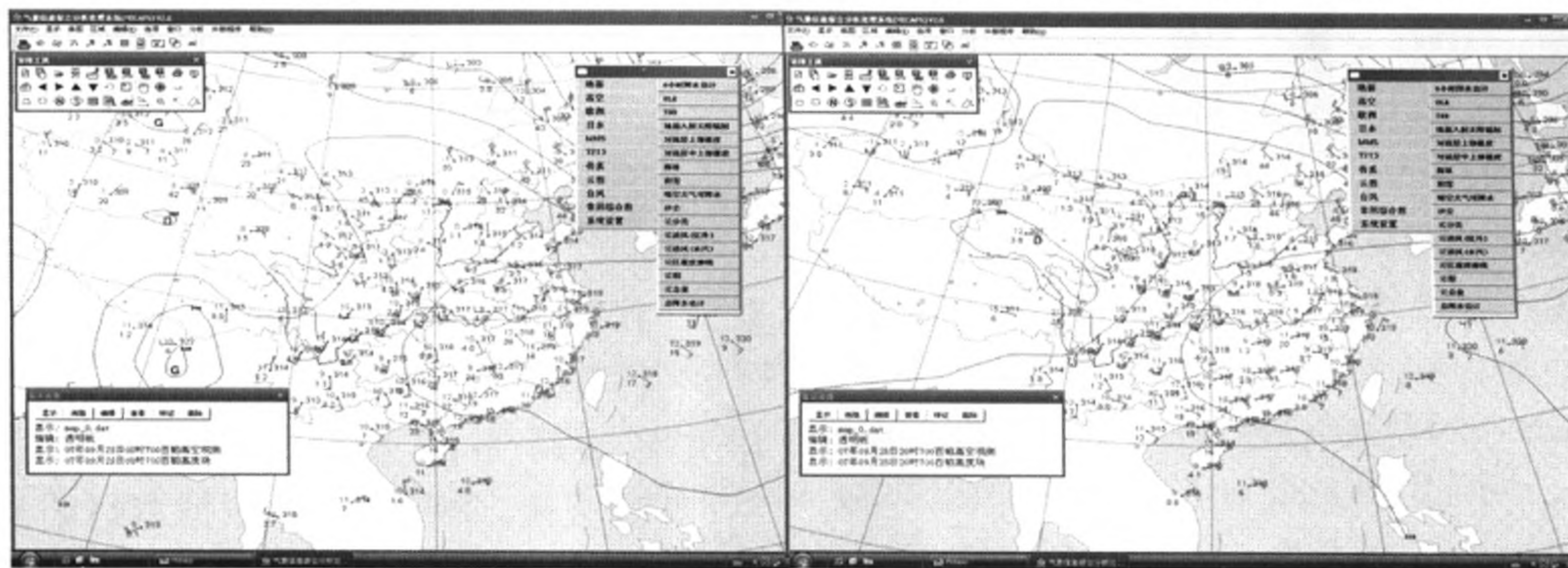


图3 2007年9月28日700hPa(左:08时右:20时)

### 2.3 850hPa 形势

28日08时(图4左),重庆和达州为12m/s以上的正南风,汉中和安康为东风,汉中风速小于5m/s,安康风速为12m/s,表明气流在安康至汉中地区有较强的风速辐合。在川东北地区,以巴中为中心有较强的风向辐合,库区位于辐合区西侧,湿度较大,四川大部到陕甘地区南部  $T - T_d < 2$ ,贵阳为8m/s偏南风, $T - T_d = 0.6$ ,表明将有充分水汽向库区输送。28日20时(图4右),重庆和

达州风向由S转为SSE,重庆风速为14m/s,达州风速为10m/s,武都为静风,汉中和安康风向变化不大,仍维持东风,但汉中风速加强到8m/s,表明辐合区在向西移动,库区已位于水汽辐合中心,既有风速辐合,又有风向辐合,湿度增加,周边为  $T - T_d < 2$  的高湿区,陕甘南部有冷舌下掉,达州和重庆温度为22℃,12小时变温在正2℃以上,达州与武都温度差为11℃,锋区明显,有利于阵性降雨产生。

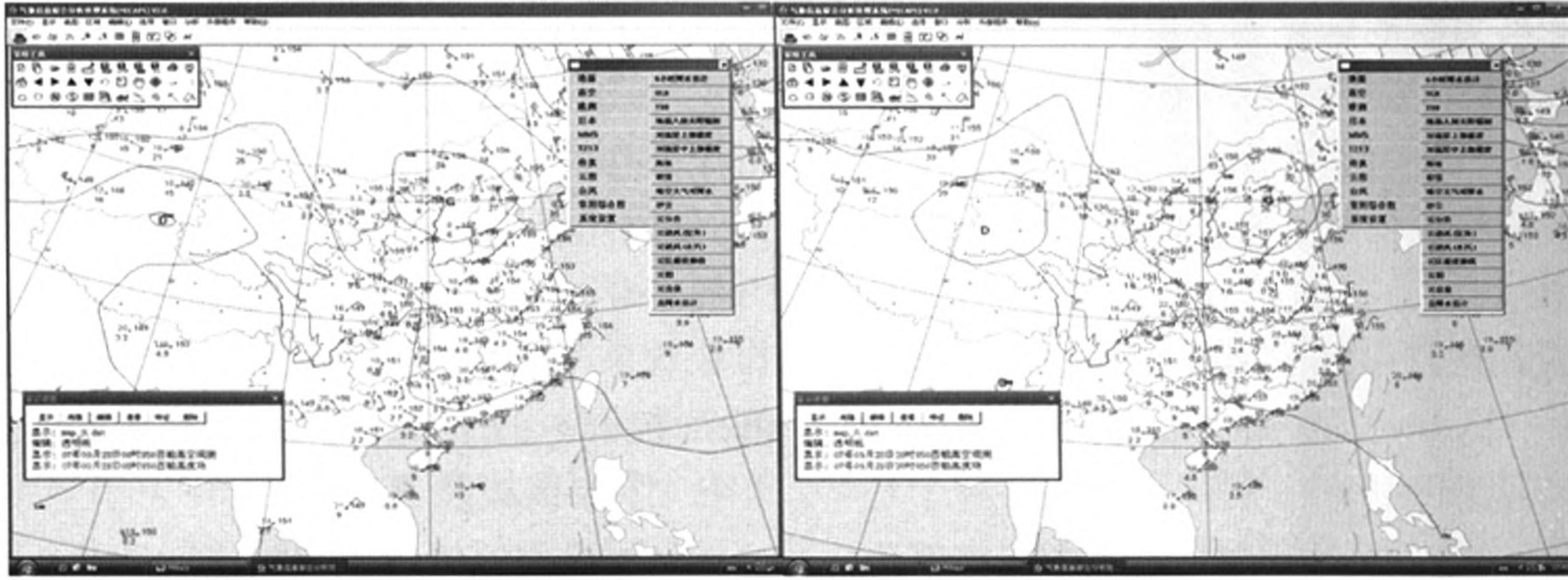


图4 2007年9月28日850hPa(左:08时右:20时)

### 2.4 海平面气压

28日08时(图5左),我国高纬度地区受冷高压控制,高压中心位于蒙古地区,气温为0℃左右,西南地区为低压控制,低压中心位于云南丽江,川陕甘三省结合部气压等值线比较密集,有冷空气向四川入侵。到28日20

时(图5右),冷高压中心向东南移动到北京,高压前端已经到达福建浙江一带,广元市仍然位于等值线较密集的区域,表明地面冷锋推进较慢,仍有锋面降雨产生。地面冷空气的缓慢南下,迫使暖湿气流抬升,有利于降雨的产生和维持,也为人工增雨提供了基本条件。



图5 2007年9月28日海平面图(左:08时右:20时)

### 2.5 数值预报

27日20时T213预报,28日08时(图6左)850hPa层宜宾到重庆一带有低空急流形成,重庆附近南风达12m/s,库区附近南风风速很小,较强风速辐合中心位于库区以南地区,其降雨量预报28日23时~29日08时库

区降雨量为25~45mm;29日02时(图6右)低空急流将加强,重庆附近南风超过16m/s,库区以南地区南风增大到14m/s,库区北部南风为2m/s,库区存在14m/s的风速辐合,在甘肃南部靠近库区一侧有明显的风向辐合区,降雨过程的形式明显,人工增雨作业条件具备。

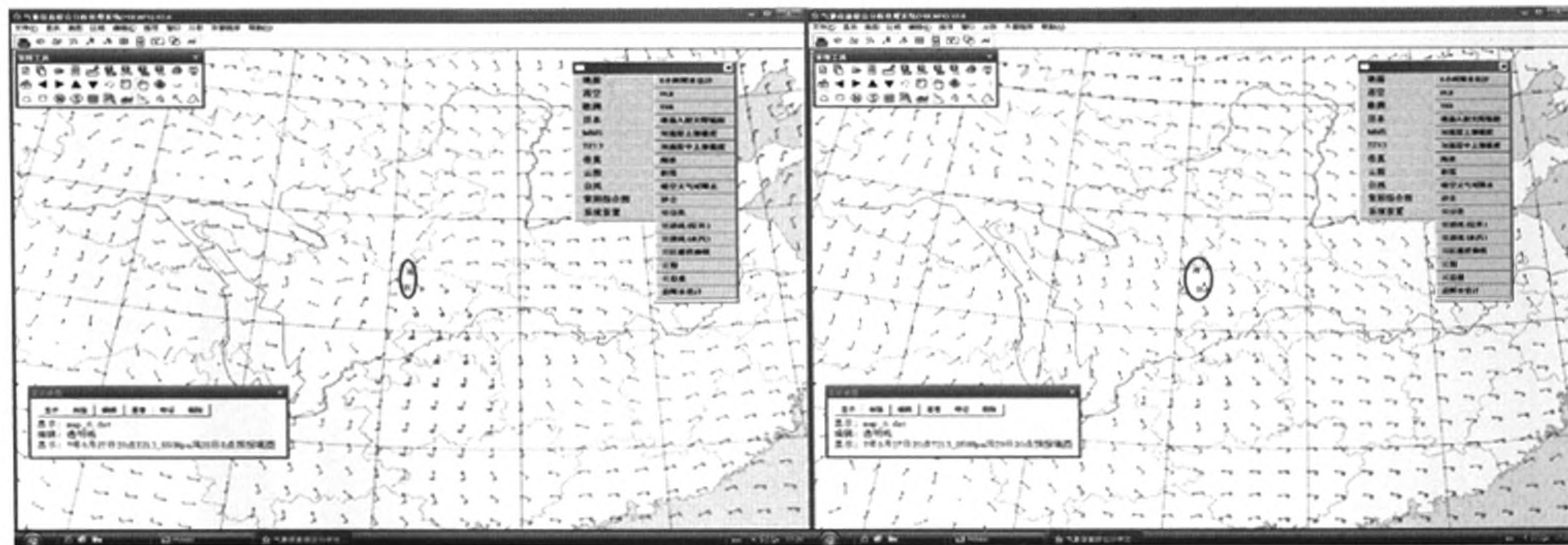


图6 T213 850hPa 风场预报(左:28日08时右:29日02时)

## 3 增雨条件

### 3.1 库区基本情况

(1) 白龙湖库区基本为南北走向的河谷地形,与

850hPa 偏南暖湿气流北输路径基本一致,水汽容易输送到库区上空的云雨区,对库区降水的产生和维持有利。

(2) 水库为一大型水体,在夏季,白天升温比周围陆地慢,相对成为冷源,晚上降温也比周围陆地慢,相对成

为热源,对以夜间降雨为主的广元地区来说,暖湿气流流经该区域时不易形成强的水汽辐合;冷空气影响又多为顺河谷直下,故自然条件下对流发展形成的降水不易产生强降雨,为人工增雨作业创造了机会。

### 3.2 库区蓄水情况

据沙洲雨量哨资料统计:2005 年和 2006 年 4~9 月,库区降雨总量为 925.4~953.1mm,2007 年 4 月 1 日~9 月 27 日降雨总量为 860mm,比前两年少 65.4~93.1mm,即少一个暴雨量级的降水,库区实际蓄水较前两年明显偏少,对电站正常发电和经济效益有所影响,有开发利用空中云水资源的必要,厂方多次要求开展增雨作业,以增加蓄水资源。

2005~2007 年 4~9 月沙洲雨量对比

年	4	5	6	7	8	9	合计
2005	52.8	64.1	110.9	437.5	146.2	113.9	925.4
2006	30.6	67.1	62.4	379.0	241.3	172.7	953.1
2007	40.5	3.3	80.9	229.3	359.0	147.0	860.0

注:2007 年 9 月只统计到 27 日

### 3.3 作业点布设

引导降水云系移动主要看 700~500hPa 高空风向。根据本区域历次增雨过程总结分析,库区每次出现强降雨时该层主要以西南偏南气流为主,这就形成了库区每次强降雨时降水回波均是由西南移向东北的事实。分析图 2~图 5,这次过程也不例外,700~500hPa 为较一致的西南气流,引导降水云系自西南向东北移动。白龙湖库区大坝高程为 595m,距 500hPa 层高约 5200m,正是 BL 型火箭最佳作业高度。选择在库区西侧布设作业点,使库区处于暖湿气流下风方,一是作业点可实行全方位作业,作业催化后的降水云团向库区和库区东侧集雨区内

移动,降水主要落入库区集雨区内,使作业效果达到最佳;二是能最大程度减少作业对库区以外区域的影响,降低无效作业几率,减小库区外因强降水带来灾害的风险。同时,广元经沙洲到青川的公路主要位于库区西侧,交通方便,利于火箭车移动,采取有选择的流动作业,也可使作业效果达到最佳。本次布设的三堆、金洞、沙洲、板桥四个作业点均在库区西侧。

### 3.4 作业实施顺序

低层暖湿气流急流轴线随副热带高压进退而东西移动,在副热带高压西进时往往低层暖湿气流达到最强盛,这就形成低层暖湿气流急流轴线在库区有一个自东南向西北移动的过程,三堆处于库区最南,是低层暖湿气流急流轴线最先到达的位置,三堆作业点最先作业,而后依次向西北推进,布设在三堆西北的其它作业点先后作业,与本次过程副热带高压西进的活动路径保持一致。

## 4 人工增雨准备和实施

28 日 23 时 03 分,在库区西南面的江油市出现对流回波,且该云团向东北移动,此时库区尚无回波;29 日 0 时 13 分(图 7 上左),对流回波云团移近库区边沿,人工增雨进入临战准备;29 日 0 时 29 分(图 7 上右),库区上空被较强的回波覆盖,最大回波强度达到 55dbz,绵阳市附近不断有强对流回波单体生成并不断北上,为人工增雨作业创造了较好的条件。在增雨作业的影响下,库区强降雨回波一直维持到 29 日 06 时,部署在库区的 4 个作业点分别实施了 2~3 次人工增雨作业,06 时以后(图 7 下左),降水回波向偏东移动,增雨作业结束,10 时后库区降水回波消失(图 7 下右),库区降水结束。

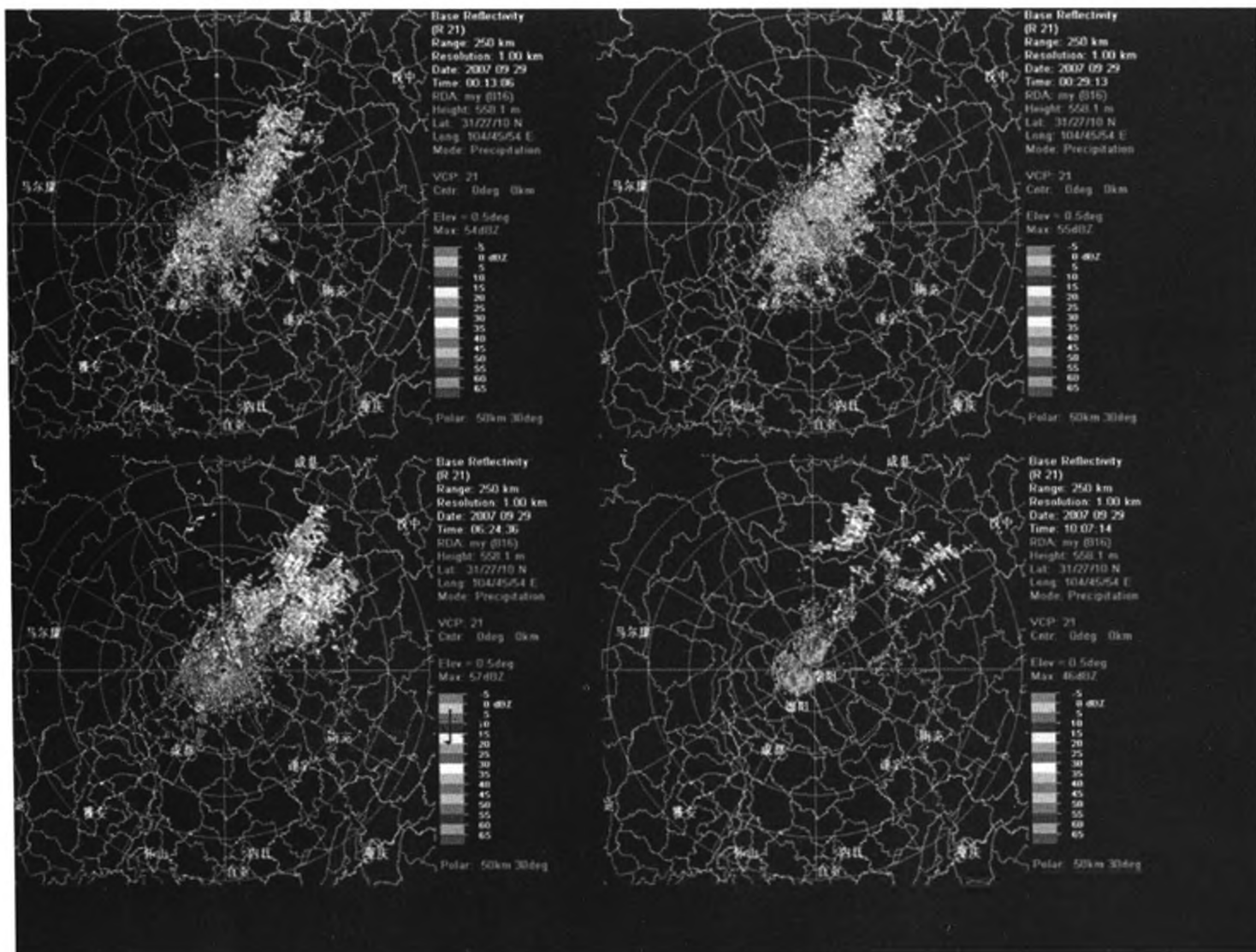


图 7 绵阳雷达基本反射率

## 5 总结

### 5.1 库区有利于人工增雨的天气形势

根据对库区降水天气形势多年预报总结的经验,白龙湖库区出现有利人工增雨的主要天气系统和要素指标如下:

一般发生在副热带高压西进并形成阻塞情况下,30~32°N 区域 588 线位于 108~115°E,以 108~110°E 为最佳;

有较深厚湿层,中低空相对湿度一般在 90% 以上;

低空南支气流强盛,重庆附近 850hPa 偏南气流在 12m/s 以上。当重庆 850hPa 风向在 175°左右,风速大于等于 15m/s 时,库区实施人工增雨的作业条件极为理想;

中低空有强烈水汽辐合,包括风向或风速的辐合;

有较高的不稳定能量为强降水提供动力支持;

有触发不稳定能量爆发的天气系统,如低涡、低槽、高原波动、地面冷空气等。

### 5.2 库区人工增雨时机的把握

当今数值预报技术发展很快,T639、日本、欧洲、美国等数值预报模式都有较强的预报能力,一般预报时效可达 10 天,美国模式达到半个月,5~7 天的预报有一定参考和利用价值,我们可以在降雨天气发生前 5~7 天给予关注、分析会商,也就是说库区每一次人工增雨作业可

以有 5~7 天的准备时间。

库区可出现较理想的作业条件,其雷达探测到的降水回波移动的演变情况为:绝大部分是自西南偏南方向移来,由绵阳经江油中西部、青川中东部移来的一般影响库区中北部,由江油东部、三台、梓潼、剑阁西北部移来的一般影响库区中南部,由剑阁东部北上的对流回波很少能影响到库区。

降水云团从西南向东北的移速约 20~40km/h,从江油北部和剑阁西北部移至库区的时间在两个半小时左右,根据绵阳、广元两部雷达回波风廓线、径向速度,判断出降水回波移动的方向,推算出影响库区的大概时间和云雨的落区,为作业点布置、临战准备提供了保障。

根据雷达观测的回波强度、风暴追踪路径和液态水含量等可以判断出人工增雨的作业条件,确定实施人工增雨的作业时机,避免无效作业。

#### 参考文献:

- [1] 刘建西,张世林,张佩纯,等. 宝珠寺水库人工增雨蓄水作业及效益分析[J]. 高原山地气象研究,2010,30(增刊):227-231
- [2] 蒋斌,孙旭东,岑启林,等. 贵州省兴义市 05-12 人工增雨实验效果分析[J]. 贵州气象,2010(1)
- [3] 李红斌,何玉科,姚展予,等. 多普勒雷达速度场特征在人工增雨作业中的判据指标应用[J]. 气象,2008(6)
- [4] 李秀琳,贾金海,张永红,等. 渭南市人工增雨作业技术指标与判据[J]. 陕西气象,2007(2)

## Analysis on a Typical Case of the Resource Artificial Precipitation in Bailonghu Reservoir

ZHANG Peichun<sup>1</sup>, LIU Jianxi<sup>2</sup>, GAN Jianhui<sup>1</sup>, ZHANG Shilin<sup>2</sup>, LI Zhihua<sup>1</sup>

(1 Guangyuan Meteorological Bureau, Guangyuan, 628017;

2. Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu, 610072)

**Abstract:** The resource artificial precipitation impoundment operation base is set up by artificial weather modification office of Sichuan province and meteorological bureau of Guangyuan city in Bailonghu reservoir which is the main water storage area of baozhushi hydroelectric power plant. Since 2006, the resource artificial precipitation impoundment operation has been implemented in this area from May to October each year. Based on the typical operation case on 29th September 2007, by analyzing of weather system, operation condition and time in detail and combining with practice, it summarized the weather situation, operation condition and time of artificial precipitation operation in bailonghu reservoir deeply. This study could accumulate good experience for carrying out long-term artificial precipitation impoundment operation.

**Key words:** resource, artificial precipitation, case, weather analysis