

密云水库流域性暴雨的短期预报方法研究

张德山¹ 邵明轩² 穆启占¹ 张宝荣³ 刘明华³ 刘 明³

(1. 北京市专业气象台, 北京 100089; 2. 国家气象中心; 3. 北京市密云县气象局)

提 要: 为了探索密云水库流域性暴雨的预报, 着眼于影响暴雨的天气系统, 从数值预报的解释应用入手, 试验制作了密云水库流域性暴雨预报方法。通过整理1970—1993年24年间水库流域内20个水文站雨量资料, 分析45个暴雨天气样本与历史天气形势和数值预报产品的关系, 筛选出预报指标和预报因子, 使用数值预报产品的解释应用方法, 根据天气环流形势的分型, 分别组建了6、7、8月每个月份的未来24小时暴雨天气预报方程。预报检验表明该预报方法是可信的, 同时也表明客观划分环流型、筛选预报因子、恰当确定暴雨标准等是预报方法的关键。

关键词: 密云水库流域性 数值预报产品释用 暴雨预报

A Short-range Forecast Method of Heavy Rainfall in Miyun Reservoir Basin

Zhang Deshan Shao Mingxuan Mu Qizhan Zhang Baorong Liu Minghua Liu Ming

(1. Beijing Special Meteorological Observatory, 100089;
2. National Meteorological Center; 3. Miyun Meteorological Station, Beijing)

Abstract: A method of forecasting the heavy rainfall in the Miyun Reservoir Basin is developed, according to the synoptic situation during the heavy rainfall, by means of the interpretation and application of NWF outputs, and the local observations. By analyzing the rainfall data of 20 hydrological stations in the Miyun Reservoir Basin from 1970 to 1993, the relationship between 45 heavy rainfall events and synoptic situations, NWF outputs, the forecast indexes and synoptic patterns are put forward, and 24-hour heavy rain forecast equations of June, July, August in the Miyun Reservoir Basin are developed. The operational forecasts

show that the forecast method is feasible and successful.

Key Words: heavy rainfall NWF output synoptic patterns

引言

密云水库为提供首都水资源发挥着重要作用。为保障密云水库分洪、蓄水提出科学依据,做好密云水库降雨天气预报是基础,而其中暴雨预报又最为重要。随着科学技术的进步,数值预报将取代经验预报,这是气象事业发展的必然趋势。但由于数值预报还处于完善过程中,因此数值预报产品的解释应用,已经越来越为广大大气工作者所重视^[1-3]。而对数值预报产品的解释应用研究也表明其效果要好于模式直接输出预报^[4]。数值预报产品的解释应用已成为各级预报台站制作各类天气预报必不可少的参考工具,而且这种趋势随着进入计算机网络时代而不断加强。密云水库流域性暴雨预报方法在实践应用中,预报服务值班员感到在预测暴雨天气时增加了可信度,特别是 2005 年 2 次暴雨天气预报效果比较理想,反映了流域性暴雨天气的预报方法研究在业务应用中是有意义的。

1 密云水库流域性暴雨概况

1.1 密云水库流域

如图 1 所示,白河、潮河、清水河分别自密云县西北、东北、东部三个方位汇合于密云水库。这三支水系流经赤城、丰宁、延庆、怀柔、滦平、密云、兴隆 7 个县境,流域面积约 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。南北相距约 1 个纬度 ($40.5 \sim 41.5^\circ \text{N}$),东西横跨近 2 个经度 ($115.5 \sim 117.5^\circ \text{E}$)。

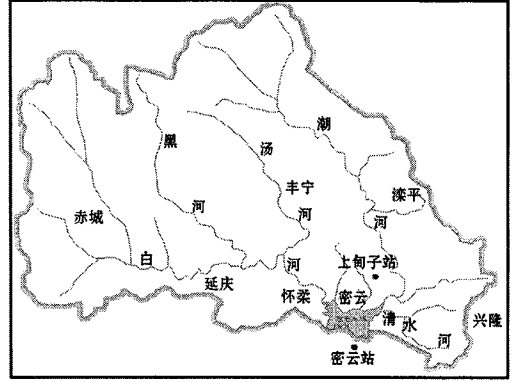


图 1 密云水库流域图

1.2 暴雨日标准

通过整理密云水库流域内 1970—1993 年 24 年 20 个水文站雨量资料,分析确定出符合以下任意一个条件者定为一个流域性暴雨日。

(1) 流域内 2/5 及以上水文站的 24 小时降水量 $\geq 50.0 \text{ mm}$, 或者 3 个及以上水文站 24 小时降水量 $\geq 100.0 \text{ mm}$ 。

(2) 流域内 2/5 及以上水文站的 24 小时降水量 $\geq 38.0 \text{ mm}$, 其中有 1/4 及以上水文站的 24 小时降水量 $\geq 50.0 \text{ mm}$ 。

1.3 汛期流域性暴雨日数

根据暴雨标准的划分条件,分月统计出了密云水库流域 1970—1993 年 24 年汛期 (6—8 月) 各月流域性暴雨日数 (见表 1)。表 1 中的暴雨与大~暴雨,分别满足上述流

表 1 汛期 (6—8 月) 暴雨日数统计表

月份	6	7	8	合计
暴雨 (日)	3	10	8	21
大~暴雨 (日)	7	11	6	24
流域性暴雨日总数	10	21	14	45

域性暴雨日的第 (1) 和第 (2) 个条件。

2 环流分型与预报因子选择

2.1 环流指数计算及环流分型

密云水库流域性的暴雨属华北夏季暴雨范畴，由于中、低纬天气系统（西风带系统与热带、副热带系统）在密云水库流域直接或间接的相互作用而形成暴雨天气过程^[5]。因此，从天气学的角度出发，在密云水库流域上游计算环流指数，运用环流指数客观地划分影响密云水库流域性暴雨的环流型，其环流指数计算区域见图 2。环流指数计算公式如下：

纬向环流指数：

$$I_p = (h_{\text{延安}} + h_{\text{济南}}) - (h_{\text{二连浩特}} + h_{\text{锡林浩特}})$$

经向环流指数：

$$I_\lambda = (h_{\text{济南}} + h_{\text{锡林浩特}}) - (h_{\text{二连浩特}} + h_{\text{延安}})$$

这里， $h_{\text{延安}}$ 和 $h_{\text{二连浩特}}$ 分别指 500hPa 延安和二连浩特位势高度（单位：dgpm），其余同。

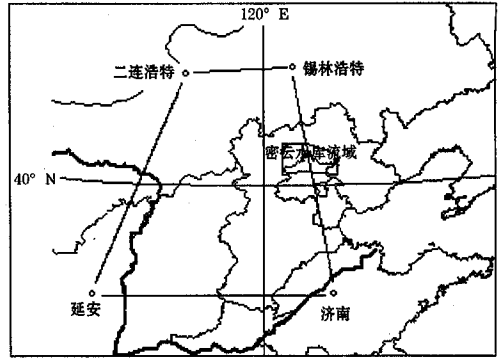


图 2 计算环流指数用图

通过分析预报区域上游的纬向与经向环流指数及 6—8 月水库流域逐月逐日流域性暴雨日天气样本的关系，划分出影响各月流域性暴雨日的 6 种环流天气型：①经向环流型，②强西南气流型，③弱西南气流型，④西路冷空气型，⑤北路冷空气型，⑥台风或低涡低槽型。其汛期流域性暴雨日数与环流天气型的统计关系见表 2。

由于每个月气候的差异，在 6、7、8 的 3 个月份中，同样一种天气型的环流指数强度的标准在数值上有所不同。

表 2 汛期流域性暴雨日数与环流型统计表

环流分型	6 月		7 月		8 月		合计	
	大到暴雨	暴雨	大到暴雨	暴雨	大到暴雨	暴雨	次数	频率/%
经向环流型	5	1	1	2	0	0	9	20
强西南气流型	1	0	2	2	2	4	11	24
弱西南气流型	0	0	4	0	2	4	10	22
西路冷空气型	0	0	0	2	2	0	4	9
北路冷空气型	1	0	2	1	0	0	4	9
台风或低涡型	0	2	2	3	0	0	7	16
合计	7	3	11	10	6	8	45	100

2.2 预报因子选择

在预报因子的选择上，使用从日本数值预报产品中选出的因子，结合实际观测资料，建立预报方程。在研究中，使用了日本数值预报产品连续 5 年（1989—1993 年）

的历史图资料。在探讨密云水库流域产生暴雨天气与数值预报产品影响因子的关系时，考虑到建立预报方程在业务应用中的稳定性，在表示槽区位置时，选择槽区相邻网格点组合因子；在分析降水预报、700hPa 垂直速度、温度露点差物理量预报因子时，选

择了预报区域位置中的预报量的最大与最小极值因子；预报因子的挑选是在数值预报产品图中以正方形网格的方式读取的。为了直观分析出众多数值预报产品因子，应用网格点与数值预报产品传真图嵌套软件，可以直接在工作平台上从数值预报产品传真图中读数，网格点分布情况见图 3。

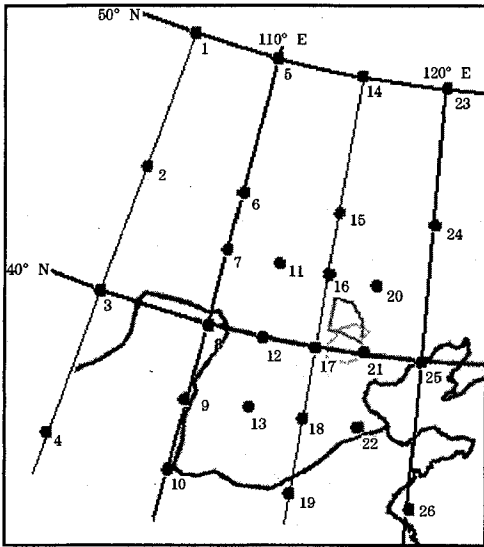


图 3 密云水库流域及数值预报产品物理量网格点分布图

3 密云水库流域性暴雨短期预报方法和检验

3.1 预报方法简介

鉴于影响汛期密云水库流域每个月暴雨天气的气候背景各异，本文采取分月进行判别暴雨天气环流型和预报因子的标准；在此，应用模式输出统计预报^[6]原理，研究密云水库流域性暴雨短期预报方法，并列出了暴雨短期预报的方程式 (1)。这里主要以对 7 月暴雨的预报为例，6 月和 8 月的预报类似。

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^n C_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

式 (1) 中左端的 Y_{ij} 为流域性暴雨的预报值；右端的 X_{ijk} 为暴雨预报因子； C_{ij} 为暴雨预报方程的系数。(1) 式中 i 表示月份， $i=6$ 或 7 或 8； j 表示天气环流型， $j=1$ 或 2 或 3 ……； k 为因子序数， $k=1$ 或 2 或 3 ……或 n (n 表示各天气型预报因子的总个数)。

3.2 密云水库流域性暴雨短期预报过滤指标

经分析 7 月份 24 年 (1970—1993) 暴雨天气样本与水库流域中 2 气象站 (指标站) 气象要素的关系，挑选出暴雨预报单站过滤指标，过滤掉了 135 个水库流域不可能出现暴雨的样本 (占总样本数的 19%)。其过滤指标如下：

① 密云 08 时地面水汽压： $E_{08} \leq 21.5 \text{hPa}$ ；

② 上甸子 08 时地面露点温度： $T_{d08} \leq 17.5^\circ\text{C}$ 。

只要同时符合①和②的条件，未来 24 小时内不可能有密云水库流域性暴雨天气过程。

3.3 环流形势分型及预报方程举例

下面以 7 月份为例说明，6 月与 8 月类似。

7 月份密云水库流域性暴雨天气环流形势分成 5 种环流天气型建立预报方程：①经向型与强西南气流型 (将该两型合并的原因见下)，②弱西南气流型，③西路冷空气型，④北路冷空气型，⑤台风或低涡低槽型。下面以经向型与强西南气流型为例，介绍上述两型的分型指标。

① 分型指标：

根据 08 时 500hPa 实况分别计算出 I_p 。

和 I_λ , 即前面介绍的纬向、经向环流指数计算公式。

A: $12 \geq I_\lambda \geq 5 \text{ dgpm}$;

B: $14 \geq I_\varphi \geq 8 \text{ dgpm}$ 。

当同时满足 A 和 B 条件时定为经向型。

C: $5 \geq I_\lambda \geq 1 \text{ dgpm}$;

D: $2 \geq I_\varphi \geq 17 \text{ dgpm}$ 。

当同时满足 C 和 D 条件时定为强西南气流型。

② 预报方程

在建立预报方程时, 因为经向型仅有 3 个暴雨样本 (1989—1993 年期间), 所以将其与强西南气流型合并在一起建立预报方程:

$$Y_{71} = 0.148X_{711} + 0.136X_{712} + 0.148X_{713} + 0.148X_{714} + 0.159X_{715} + 0.125X_{716} + 0.136X_{717} \quad (2)$$

当 $Y_{71} \geq 0.7$ 时即预报当天 20 时至第二天 20 时密云水库有流域性暴雨。

在方程 (2) 中, Y 与 X 的第 1 个右下标 “7” 表示 7 月份; 第 2 个右下标 “1” 表示环流形势分型的第 1 种 (亦即经向型与强西南气流型); 第 3 个右下标 “1、2、……、7” 分别表示预报因子序号。其中各预报因子的物理意义及其数值 0、1 划分如下:

X_{711} : 在 08 时 500hPa 日本数值预报传真图上, 若 ζ_{20} 、 ζ_{21} 、 ζ_{22} 都大于 0, 且 $X_{711} = (\zeta_{20} + \zeta_{21} + \zeta_{22})/3 \geq 50 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 则 X_{711} 为 1, 否则为 0。其中涡度 ζ 的下标表示网格点序号。

X_{712} : 在 08 时 700hPa 日本数值预报传真图上, 温度露点差的 24 或 36 小时预报值, 若在密云水库流域范围内有 $\leq 3^\circ\text{C}$ 的阴影区, 则取值为 1, 否则为 0。

X_{713} : 在 08 时 700hPa 日本数值预报传真图垂直速度 ω 的 24 或 36 小时预报场中, 在密云水库流域范围内取最小值 ω_{\min} , 若 $\omega_{\min} \leq -15 \text{ hPa} \cdot \text{h}^{-1}$ 为 1, 否则为 0。

X_{714} : 在 08 时日本数值预报传真图的 24 或 36 小时降水预报场中, 在密云水库流域范围内取最大值 R_{\max} , 若 $R_{\max} \geq 12 \text{ mm}$ 为 1, 否则为 0。

X_{715} : 在 08 时日本数值预报地面气压 p , 24 小时预报场中, 计算其东西气压差, $\Delta p_s = ((p_7 + p_8 + p_{11}) - (p_{20} + p_{21} + p_{22}))$; 若 $\Delta p_s \geq 10 \text{ hPa}$, X_{715} 取为 1, 否则为 0。其中 p 右下角数字表示图中格点序号。

X_{716} : 计算密云县气象站 14 时地面水汽压 E_{14} (单位: hPa) 与气温 T_{14} (单位: $^\circ\text{C}$) 的数字之差 $(E_{14} - T_{14})$, 若 $(E_{14} - T_{14}) \geq 0$ 时, X_{716} 取值为 1, 否则为 0。

X_{717} : 为密云县气象站 14 时总温度 $T_t = 1555 \times (E_{14}/p_{14}) + T_{14}$, 式中 p_{14} 为 14 时本站气压;

若 $T_t \geq 70.5^\circ\text{C}$, 则 X_{717} 为 1, 否则为 0。

7 月份各天气环流型的暴雨预报方程式均类似上述的经向型与强西南气流型。

3.4 预报检验

① 用历史样本回报

根据每型各自的方程利用 1989—1993 年 5 年历史传真图资料作回报, 对 53 个历史样本均预报成功。

② 用历史资料试报

应用 1994 年 7 月逐日样本试报, 两次流域性暴雨均预报正确, 且无空报和漏报。

③ 1995—1998 年准业务运行情况

1995—1998 年 6 至 8 月逐日准业务业务应用情况: 在上述准业务运行期间, 没有漏报。

④ 1999—2004 年因故暂停止业务运行。

⑤ 2005 年应用情况

2005 年在上述预报方法的基础上, 作了一些改进, 改进后的 6 至 8 月份逐日实际

应用情况：预报3次流域性暴雨天气，2次正确，1次空报（出现了流域性大雨天气），没有漏报。

总之，预报检验情况表明，预报方法对密云水库流域性的暴雨天气具有一定预报能力，虽然有一些空报，但没有漏报，且空报时均出现了中雨以上的天气，这表明该预报方法是可信的，预报因子的选择和组合是成功的。分析空报的原因可能与预报方程的临界值的确定有关，今后可作进一步的调整。

4 小结

为了给密云水库分洪、蓄水提出科学依据，提供较好的暴雨天气预报服务，整理了1970—1993年24年水库流域20个水文站的雨量资料，分析了45个流域性暴雨天气样本与历史天气形势和数值预报产品的关系，筛选出预报指标和预报因子，使用数值预报产品的解释应用方法，根据天气环流形势的分型，分别组建了6、7、8月每个月份每种环流型未来24小时密云水库流域性暴雨天气预报方程。在实际运行中，多次正确地预报出了水库流域性暴雨，虽然有一些空报，但没有漏报，且空报时均出现了中雨以

上的天气，这表明该预报方法可信，预报因子的选择和组合是成功的。

在所用的数值预报产品解释应用方法中，首先根据较长的历史资料筛选出可能出现暴雨的预报指标，再根据当时的天气环流形势作进一步的消空，然后根据不同的天气环流形势建立各自的预报方程，以及在预报方程中除了数值预报产品外，还用了一些实际观测资料，这些方法在作其他的天气预报时也具有使用价值。

参考文献

- [1] 周雨华, 毛亮, 何正阳, 等. 数值预报产品在2002年汛期暴雨预报中的应用 [J]. 气象, 2003, 29 (11): 41-44.
- [2] 金建德, 钟有萍. T106数值预报产品在中期大一暴雨预报中的应用 [J]. 四川气象, 2000, 20 (3): 16-19.
- [3] 林运源, 杨吉祥. 数值预报产品在粤北后汛期暴雨预报中的应用 [J]. 广东气象, 1994, (3): 10-12.
- [4] 刘还珠, 赵声蓉, 陆志善, 等. 国家气象中心气象要素的客观预报—MOS系统 [J]. 应用气象学报, 2004, 15 (2): 181-191.
- [5] 华北暴雨编写组. 华北暴雨的气候特征 [M]. 北京: 气象出版社: 1-23.
- [6] 丁士晟, 朱盛明, 郭可义, 等. 地方模式输出统计预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1989.