

文章编号:1006-7639(2005)-02-0035-05

# 黑河流域降水的时空特征及预报方法

曹玲, 窦永祥

(甘肃省张掖市气象局, 甘肃 张掖 734000)

**摘要:**应用1960~2000年黑河流域13个站41 a的年降水资料,通过EOF和REOF方法分析了黑河流域年降水的空间分布特征,并进行气候分区;采用线性倾向估计研究黑河流域年降水的变化趋势。在以上分析的基础上,进行流域分区、分季节降水预报。经评分检验,达到了一定的准确率,预报效果稳定、可靠,具有一定的实用价值。

**关键词:**黑河流域;降水;时空特征;预报方法

中图分类号:P457.6

文献标识码:A

## 引言

黑河是我国第二大内陆河,也是西北干旱地区最具有代表性的流域。它自上游至下游居延海,分别流经青海省的祁连县,甘肃省的肃南、山丹、民乐、甘州、临泽、高台、金塔县(区)和内蒙古自治区的额济纳旗共9个县(区),在流域内农田和林草灌溉及水力发电、人们生活用水等方面发挥着至关重要的作用。每年其流域降水量的多少与其河流来水量的多少之间有着十分密切的关系<sup>[1]</sup>。因此,分析流域内降水特征及其演变趋势,做好流域内降水预报就显得极其重要。

有关祁连山黑河流域降水的变化特征,笔者曾做过研究和探讨<sup>[2-3]</sup>,主要研究了流域上中下游3个区域的降水分布和年际变化。这些研究得出了不少有益的结果,但在降水分区上缺乏客观性。本文采用统计学方法对祁连山黑河流域年降水的空间分布和变化特征进行分析,并进行气候分区。在此基础上进行降水预报,为各级政府进行黑河分水、防汛调度及合理利用水资源等决策提供针对性较强的科学依据。

## 1 资料与方法

本文所用资料包括降水和500 hPa高空图。降水

资料选取流域祁连、托勒、野牛沟、张掖、山丹、民乐、肃南、高台、临泽、酒泉、金塔、鼎新、额济纳旗共13个气象站,自1960~2000年的年降水量资料。环流资料采用1981~2000年本站自绘的08时500 hPa高空图。

使用经验正交函数(EOF)方法分析黑河流域年降水的空间分布型;使用旋转经验正交函数(REOF)方法分析降水的区域分布结构<sup>[4]</sup>。其优点是能够在有限区域内对不规则分布的站点进行分解,且能够客观地给出主要遥相关中心位置及相关场的分布,避免了人为的随意性。旋转后的典型空间分布结构清晰,不但可以较好地反映不同地域的变化,还可以反映不同地域的相关分布状况,真正把气候要素变化一致的地区划为一区。采用线性倾向估计分析流域各区年降水的变化趋势。

根据黑河流域特殊地理环境和气候特点,按照不同环流分型下的流域各区降水分布,将天气概念因子与数值预报产品相结合,研制出了适合黑河流域的降水预报方法。

## 2 流域年降水空间分布特征

### 2.1 空间分布

对1960~2000年黑河流域13个站的年降水量作EOF展开,计算结果表明,第一、第二特征向量的方

收稿日期:2004-07-30;改回日期:2005-01-30

基金项目:甘肃省科技攻关计划 西北干旱成因及其应用(CGS012-A45-118)项目,干旱气象科学研究基金(IAM200414)共同资助

作者简介:曹玲(1963-),女,甘肃临泽县人,工程师,从事天气预报和应用研究工作.E-mail:zycaoling88@163.com

差贡献分别达到51.6%和17.8%,累计方差贡献占总方差的69.4%(表1)。这表明前2个特征向量代表了黑河流域年降水的主要分布型式。

表1 黑河流域年降水量EOF分解的方差贡献

Tab.1 Variance contribution from EOF of annual precipitation in Heihe Field

序号	方差贡献(%)	累计方差贡献(%)
1	51.6	51.6
2	17.8	69.4
3	8.3	77.7
4	5.6	83.3
5	4.1	87.4
6	3.2	90.6
7	2.7	93.3
8	2.0	95.3
9	1.7	97.0
10	1.5	98.5
11	1.0	99.5
12	0.5	100.0

EOF分解的第一特征向量,全区均为正值,数值最大的是中游地区,中心值张掖站达0.89(图1a),这一特征向量表示黑河流域年降水量变化趋势的一致性,即同时均偏多或同时均偏少的分布型。第二特征向量的分布特点是北正南负型(图1b),即北部的沙漠边缘地区为正值,中心在金塔,中心值达0.62,南部的绿洲和祁连山区为负值,中心在野牛沟,为-0.75。零等值线呈准东西走向,位于39.0°~39.5°N之间。这一特征向量代表了北部极端干旱区与南部干旱区、半干旱区年降水趋势为相反的分布型,即北部降水偏多、南部降水偏少或北部降水偏少、南部降水偏多的分布型。

## 2.2 气候分区

为了分区分析祁连山黑河流域降水的特征,本文使用REOF对年降水量进行分解,计算结果表明,前3个荷载量场的相对方差贡献分别达到了39.7%、21.8%和18.9%,累计相对方差贡献占总方差的80.4%。REOF的第一特征向量南部山区为较大负值,其它地区的数值趋于零,因此可将南部的祁连、野牛沟、托勒分为一个区(简称I区),以中心值最大(-0.36)的祁连站为代表;第二特征向量中较大正值在流域中游地区,最大值0.49在张掖站,金塔以北、民乐以南均为负值区,故可将中游的肃南、民乐、山丹、张掖、临泽、高台、酒泉等7站分为一个区(简称II区),以张掖站为代表;第三特征向量北部沙漠边缘

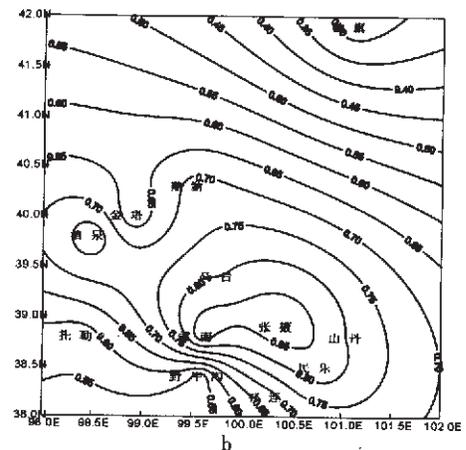
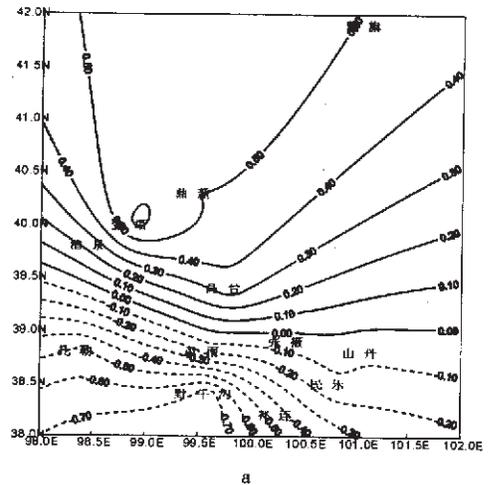


图1 黑河流域年降水EOF荷载向量场  
a.第一荷载量场, b.第二荷载量场

Fig.1 The first(a) and second(b) characteristic of EOF loading vector of annual precipitation in Heihe Field

地区为较大正值,中心值金塔为0.68,其余地区为较小正值,故将荷载值 $>0.55$ 的金塔、鼎新、额济纳旗分为一个区(简称III区),以金塔为代表。图2为黑河流域年降水旋转荷载量场分区结果。

根据黑河流域不同地域的气候特点,REOF划分的这3个区基本是合理的。I区降水相对最丰富,年降水在350~400 mm之间;II区降水量相对较少,年降水在80~300 mm之间;III区降水量最少,年降水在40~60 mm之间。这3个区与以地理分布划分的黑河流域的上、中、下游地区相吻合。

## 3 流域年降水时间变化特征

### 3.1 年降水时间变化趋势

利用线性倾向估计方法可得到黑河流域年降水时间变化趋势。图3a是I区代表站祁连年平均降水量线性变化趋势,其中线性倾向值 $b=1.0188$ ,相关系

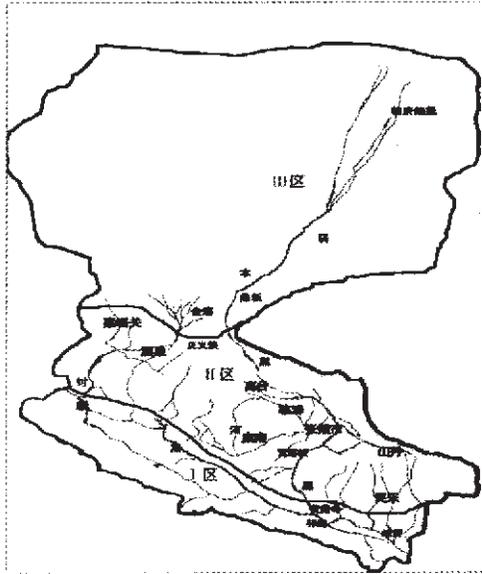


图2 黑河流域年降水旋转荷载量场分区

Fig.2 The areas divided by using the rotated loading vector of annual precipitation in Heihe field

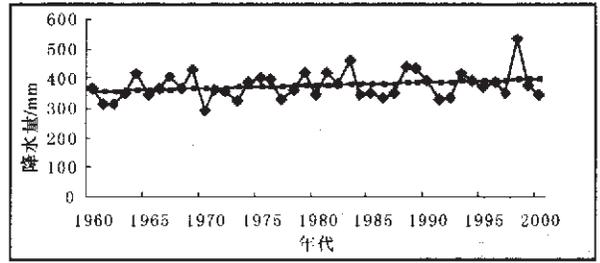
数 $r=0.2623$ ,从图中可以看出回归直线呈明显上升趋势,增加速度大约为 $1.0 \text{ mm/a}$ ;图3b是II区各站年平均降水量线性变化趋势,其中线性倾向值 $b=0.1514$ ,相关系数 $r=0.0546$ ,说明II区降水量随时间变化上升趋势不明显;图3c是III区各站年平均降水量线性变化趋势,其中线性倾向值 $b=0.3396$ ,相关系数 $r=0.1965$ ,说明III区降水量随时间变化也略呈上升趋势,增加速度大约为 $0.3 \text{ mm/a}$ 。比较图3中的3条回归直线可看出,3个区的年降水均呈上升趋势,其中I区的上升趋势最明显,其相关系数 $r$ 通过0.10的信度检验;II区和III区的相关系数 $r$ 未能通过0.10的信度检验,说明此2区的年平均降水量随时间增加趋势不明显。

### 3.2 年际变化

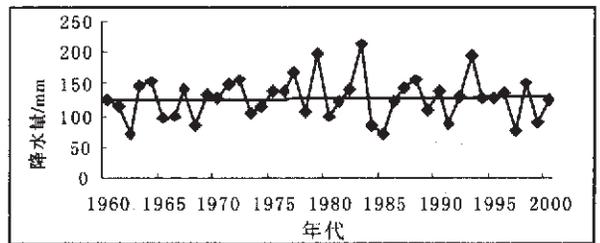
由于受中纬度西风环流影响<sup>[5]</sup>,黑河流域降水量年内分配极为不均,其特点是汛期降水量大而集中,春季雨水少而不稳,冬季降雪稀少。汛期的6~9月,是全年降水连续最大的4个月,其降水量占年降水量的73.3%以上;冬季3个月(12~2月)降水量占年降水量的3.5%,即使祁连山区也是极小的,如黑河干流最上游的札马什克站为1.1%,中游走廊平原莺落峡站为3.9%,下游北部荒漠正义峡站为3.0%。连续最枯5个月降水量(11~3月)占年降水量的10%以下。春季的4~5月,是农业用水高峰期,但降水量普遍偏少,4月平均占年降水量的5.1%,5月平均占年

降水量的10.6%左右。

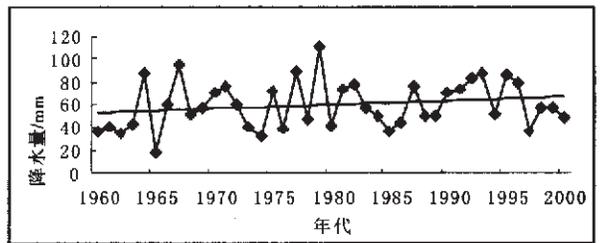
黑河流域降水量的年际变化比较明显。流域各



(a) I区



(b) II区



(c) III区

图3 黑河流域年降水线性变化趋势

Fig.3 Tendency of linear change of annual precipitation in Heihe field

站点年平均降水量 $174.0 \text{ mm}$ ,最大年降水量 $218.4 \text{ mm}$ (1993年),最小年降水 $116.7 \text{ mm}$ (1997年),年际极值比1.8倍,年降水量变差系数 $C_v$ 值(均方差/平均值) $0.18$ 。流域绿洲地带张掖站年平均降水量为 $130.5 \text{ mm}$ ,最大年降水量为 $211.6 \text{ mm}$ ,最小年降水量为 $54.5 \text{ mm}$ ,年际极值比为3.8倍。而且降水量越少的地区,其倍比系数越大。

## 4 黑河流域降水预报方法

黑河流域地域广阔,站点疏密极为不均,特别是下游地区沙漠戈壁广布,测站极其稀少;流域内降水南北差异大,且降水的年内分配极为不均,给流域降水预报带来一定难度。

在REOF划分的3个区中,祁连、张掖、金塔的

REOF的第一特征向量的荷载值为所在区域最大,故以此3站分别作为I区、II区和III区的代表站,这3个站实际上也分别代表了黑河流域上、中、下游的气候特征。本文从黑河流域降水环流形势入手,根据不同环流分型,以点代面,通过降水个例和预报因子的普查,将天气学概念因子与数值预报产品相结合,分别进行上游(代表站:祁连)、中游(代表站:张掖)和下游(代表站:金塔)各季降水预报。

#### 4.1 环流分型

通过对1981~2000年所有降水个例普查,将影响黑河流域降水过程的天气形势,按其500hPa环流特征分为西高东低型、平直气流型、中亚低槽型、东高西低型、两脊一槽型和北方横槽型等6大类。

#### 4.2 预报流程

由于不同季节流域各区产生降水的因子条件、同一因子不同区域的符合条件等都有所不同,我们根据各季节不同环流分型、不同流域地段各因子符合的条件,分别研制了10~2月、3~5月、6~9月各区日

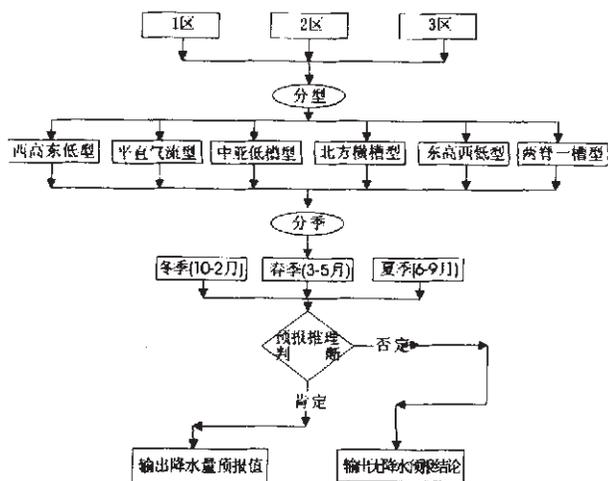


图4 黑河流域降水预报流程图

Fig.4 The precipitation predicting flow chart for Heihe field

降水预报方法。具体预报流程如图4。

#### 4.3 预报方法的应用和检验

黑河流域降水预报方法自2002~2004年应用的3 a来,很好地预报了流域各区降水情况,在实际业务工作中发挥了一定作用。其预报效果检验列于表2。

从表中可看到, I区和II区各季平均TS评分在70%以上, III区的TS也接近70%。因此本降水预报方法具有一定的预报能力,尤其对于降水极其稀少的III区(下游地区)也达到一定的准确率。

表2 2002~2004年各区降水预报TS评分检验

Tab.2 Each district precipitation prediction TS grades and examines from 2002 to 2004

流域各区	I区	II区	III区
空报次数			
10~2月	12	6	6
3~5月	10	6	6
6~9月	22	17	10
漏报次数			
10~2月	8	3	3
3~5月	7	4	2
6~9月	12	10	9
报对次数			
10~2月	49	25	17
3~5月	43	26	21
6~9月	104	56	50
TS平均(%)	72.6	72.7	69.3

## 5 小结

(1) 黑河流域降水存在2个主要空间分布型,即整个流域年降水量变化趋势的一致和北部极端干旱区与南部干旱区、半干旱区年降水趋势为相反2种分布型。

(2) 在时间分配上,流域各区冬季降水量最少,主要降水集中在夏季。另外各区年降水量随时间变化均呈增加趋势,其中I区最为明显。

(3) 选用适合各区不同季节降水的预报因子,进行分区、分季节降水预报,其预报方法是我们多年来预报经验的总结和提炼。经多年来运行预报检验,对黑河流域的主要降水过程均显示出其较强的预报能力。其预报过程通过计算机自动完成,方便而快捷。但存在预报精细化程度不高的弱点,这也是我们下一阶段要做的工作。

#### 参考文献:

- [1] 李栋梁,冯建英,陈雷,等. 黑河流量和祁连山气候的年代际变化[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 104-110.
- [2] 付有智,曹玲. 黑河流域气候特征及面雨量分析[J]. 甘肃气象, 2002, 20(1): 8-10.
- [3] 曹玲,张德玉,窦永祥,等. 气候变化对黑河流域生态环境的影响[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 45-49.
- [4] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 125-134.
- [5] 王可丽,程国栋,江灏,等. 祁连山-黑河流域水循环中的大气过程[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 91-97.

## The Case of Using Doppler Radar Data to Achieve the Impersonal and Fine Weather Forecast

FU Zhao<sup>1</sup>, LI Guo-chang<sup>2</sup>, YANG Jian-cai<sup>3</sup>

(1.Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China; 2. Gansu Provincial Weather Modification Office, Lanzhou 730020, China; 3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Using the synoptic chart and Doppler radar data to analyze the weather case on Sep. 18, 2003, when we served for the tenth anniversary celebration of the Lanzhou Regional Meteorological Center, the results show that the conventional weather data without continuity cannot be used to forecast the small mesoscale system like this case; but using Doppler radar data can forecast the influence of the synoptic system by analyzing the change of the radial wind field.

**Key words:** small mesoscale system; polar coordinate; radial divergence

---

(上接第 38 页)

## The Spatial and Temporal Characteristics and Forecasting Method of Precipitation in Heihe Field

CAO Ling, DOU Yong-xiang

(Zhangye Meteorological Bureau, Zhangye 734000, Gansu, China)

**Abstract:** In this paper, using annual precipitation data of 13 stations during 1960 to 2000, characteristics of spatial distribution of annual precipitation in Heihe field are analyzed and division of climate district is done with EOF and REOF methods. Tendency of annual precipitation in Heihe field is studied by using linear tendency estimation. On the base of above analysis, precipitation can be predicted in each divided area and in different season. Through marking examining, it has reached certain rate of accuracy. The result of prediction is stable, dependable and available.

**Key words:** Heihe Field; precipitation; spatial and temporal characteristics; forecast method