

代娟,黄建华,王华荣,等.襄樊市空中云水资源分布及人工增雨潜力研究.暴雨灾害,2009,28(1):79-83

# 襄樊市空中云水资源分布及人工增雨潜力研究

代娟,黄建华,王华荣,汤阳

(湖北省襄樊市气象局,襄樊 421021)

**摘要:**利用襄樊市各县(市)1978—2007 年地面水汽压和降水资料,计算分析了该市空中云水资源的时空分布状况,并对其人工增雨潜力进行了评价分析。结果表明:襄樊市年大气可降水量随年代递增呈微弱增多趋势,20 世纪 90 年代、21 世纪头 7 年分别比 20 世纪 70 年代末到 80 年代增加 19 cm、22 cm;空中水汽含量月季变化明显,7 月最大,8 月次之,1 月最少;空中水汽含量四季分配不均,夏季远大于冬季,秋季略高于春季;各地自然降水产出率,2 月、11 月较大,夏季和冬季的 12 月份较小,7 月份最小;增雨潜力四季变化存在较大差异,其中夏季最大,大多在 78%以上,秋季 9、10 月次之,大部在 75%以上,冬季 2 月、11 月最小,大部在 72%以下;地理分布上,增雨潜力是南部大于北部。

**关键词:**云水资源;自然降水产出率;增雨潜力

中图分类号:P468.0\*24 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)01-0079-05

## 1 引言

襄樊市位于湖北省西北部,地形复杂,气候多变,降水分布不均,干旱发生频繁,轻旱年年有,中旱十年七遇,大旱两年一遇,特大旱为十年一遇,是湖北省有名的“旱包子”。频繁发生的严重干旱制约了襄樊市工农业生产,也影响到当地人民群众的正常生活。如 1988 年 5 月下旬至 8 月上旬,襄樊市近 80 天无透墒雨,出现特大干旱,全市 1/3 大中型水库无水可放,80%的塘堰干涸,70%的河流断流,约 1/4 的村户 49.09 万人和 35 万头牲畜饮水困难;全市当年计划种植的 22.67 万公顷水稻,其中 1.33 万公顷无水插秧;7.65 万公顷棉花打蔫,几乎无伏前桃;4.00 万公顷包谷遇“卡脖子旱”,其中 1.00 万公顷抽白穗,颗粒无收。针对襄樊市水资源短缺的问题,合理开发空中云水资源,抓住有利时机实施人工增雨作业无疑是有效解决这一问题的重要途径之一。

空中水资源因其循环周期短,年可用量大,开发耗资低<sup>[1]</sup>,早在 20 世纪 50 年代就引起了人们的重视<sup>[2]</sup>。此后,为了有效开发利用空中水资源,国内对空中云水资源和人工增雨潜力已有诸多试验研究。周德平等<sup>[3]</sup>利用气象台站网常规探空、云和降水的观测资料,计算、分析了辽宁云水资源的分布状况及开发潜力,结果显示,辽宁全省云水资源总量年均均为  $4.83 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,具有较多的作业机会和较大的人工增雨潜力。刘玉梅<sup>[4]</sup>通过普查 1971—2000 年大庆市气候资料,对该市 4—6 月主要降水天气系统计算了其降雨效率及

增雨潜力,发现大庆地区人工增雨潜力为 40%~60%。王静等<sup>[5]</sup>经过对祁连山云水资源开发利用后山前走廊各流域水资源状况及社会经济状况进行合理预测后发现,祁连山区通过人工增雨,降水增加 10%时,河西地区综合效益将提高 5.3%;降水增加 20%时,其综合效益提高 12.5%。邵洋等<sup>[6]</sup>利用 ARPS 中尺度数值模式对河南省 2005 年 3 月 20—21 日层状云系降水过程中的云水资源特征进行了模拟分析,认为充沛的水汽输送为云系的形成和发展提供了有利条件,河南省域的水汽流入主要是水平流入;向华等<sup>[7]</sup>利用湖北省 77 站地面大气水汽压资料,计算了湖北省整层大气可降水量,分析了湖北省整层大气年、季平均可降水量的时空分布特征以及湖北省整层大气可降水量与地面降水的关系。

然而,针对鄂西北地区空中云水资源分布及人工增雨潜力的相关研究仍有待深入。本文利用襄樊市所辖各观测站 1978—2007 年近 30 年月平均降水量、降水日数资料以及各站逐日水汽压资料,分析了该市空中云水资源的时空分布特征,并对襄樊地区的增雨潜力进行了评估,以期今后有效开发利用当地的空中水资源提供参考依据。

## 2 资料与方法

本研究所使用的资料主要包括:襄樊市及所辖各观测站(南漳、保康、谷城、老河口、枣阳、宜城)1978—2007 年逐日水汽压资料以及各站月均降水量、月均降水日数资料。考虑到襄樊市地处鄂西北,地形复杂,这

收稿日期:2008-08-12;定稿日期:2008-11-09

作者简介:代娟,女,1968 年生,高级工程师,主要从事天气预报、气候分析工作。E-mail:xfxyqxj@yahoo.com.cn

里以襄樊市站代表平原地区, 保康站代表山区, 枣阳站代表岗地。季节按气象部门的习惯划分, 即春季为 3—5 月, 夏季为 6—8 月, 秋季为 9—11 月, 冬季为 12—2 月。

(1) 整层大气可降水量的计算方法。在计算襄樊市云水资源的分布时, 采用的计算方法是杨景梅等<sup>[8]</sup>建立的地面水汽压与大气可降水量之间的普遍经验公式:

$$W = a_1 + a_2 e \quad (1)$$

式(1)中,  $W$  为逐日整层大气可降水量(cm), 对其累加, 可计算得到其月、季、年值;  $e$  为地面气象站观测到的日平均水汽压(hPa);  $a_1, a_2$  为经验系数, 其中  $a_1, a_2$  的计算公式如下:

$$a_1 = 0.04 \exp(0.6H) - d_1 \quad (2)$$

$$a_2 = 0.20 - d_2 \quad (3)$$

$d_1, d_2$  的计算公式如下:

$$d_1 = 0.05 / [(\varphi - 25.0)^2 + 0.25] \quad (4)$$

$$d_2 = 0.066 / [(\varphi - 33)^2 + 4.41] \quad (5)$$

式(2)—(5)中,  $H$  为海拔高度(km),  $\varphi$  为地理纬度。

上述大气可降水量公式适合我国青藏高原以外、纬度小于  $33^\circ\text{N}$  的广大地区。襄樊市及其所辖各站纬度为  $31.73^\circ\text{—}32.27^\circ\text{N}$ , 显然上述各式可以用来计算襄樊市各地大气可降水量。

(2) 月可能降水量的计算方法。月可能降水量是建立在日可能降水量基础上的物理量。其表达式为<sup>[9]</sup>:

$$R_p = W \times N \quad (6)$$

式(6)中,  $R_p$  为月可能降水量(mm);  $W$  为多年平均各月日可能降水量(mm), 日可能降水量是指不考虑水汽环流、输送的前提下, 单位面积区域内空中水汽全部凝结并形成的理论降水量;  $N$  为当地多年实际月平均降雨日数。

(3) 自然降水产出率的计算方法。自然降水产出率( $M$ ), 是指统计时段内实际降水量( $R$ )与可能降水量( $R_p$ )的百分比, 其表达式为:

$$M = (R/R_p) \times 100\% \quad (7)$$

(4) 增雨潜力的计算方法。一般来说, 在可能降水量一定的情况下, 自然降水产出率( $M$ )越低, 其增雨潜力( $L$ )越大。增雨潜力的计算表达式为:

$$L = 100 - M \quad (8)$$

### 3 襄樊市云水资源分布特征

#### 3.1 时间分布特征

##### 3.1.1 年际变化

计算 1978—2007 年近 30 年襄樊市不同地形类型(平原、山区、岗地)的逐年大气可降水量, 其结果见图 1。

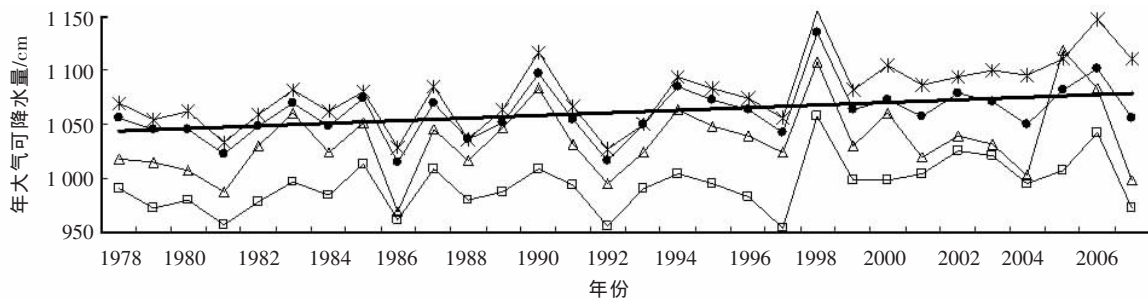


图 1 1978—2007 年襄樊市不同地形的大气年可降水量的逐年变化(单位: cm)

—\*— 襄樊市区 —□— 保康 —△— 枣阳 —·— 各站平均 —— 平均趋势线

分析图 1 可知, 总体上看, 襄樊市年大气可降水量的年际变化特征明显, 其中 1986、1992、1997 处于谷值区, 1990、1998、2006 年处于峰值区; 且随年代递增, 大气可降水量呈微弱的增大趋势, 按不同年代分别统计, 便可看出其递增趋势, 即 20 世纪 70 年代末到 80 年代全市年平均大气可降水量为 1 049 cm, 90 年代为 1 068 cm, 21 世纪以来为 1 071 cm。

另外, 襄樊全市大气可降水量的 30 年平均值为 1 061 cm, 极大值 1 135 cm, 出现在 1998 年, 极小值 1 016 cm, 出现在 1986 年; 平原地区, 年大气可降水量年际变化与全市平均值变化趋势基本一致, 但其平均值(1 079 cm)则高于全市平均值, 极大值 1 154

cm, 出现在 1998 年, 极小值为 1 028 cm, 出现在 1992 年; 岗地, 年大气可降水量年际变化与其全市平均值变化趋势基本一致, 其平均值(1 036 cm)低于全市平均值, 极大值为 1 118 cm, 出现在 2005 年, 1998 年出现次大值(1 108 cm), 极小值 970 cm, 出现在 1986 年; 山区, 年大气可降水量年际变化与其全市平均值变化趋势基本一致, 但其平均值(994 cm)远低于全市平均值, 极大值 1 057 cm, 出现在 1998 年, 极小值 954 cm, 出现在 1997 年。

##### 3.1.2 月际及季节变化

计算 1978—2007 年近 30 年襄樊市不同地形类型的各月平均大气可降水量, 其结果见图 2。

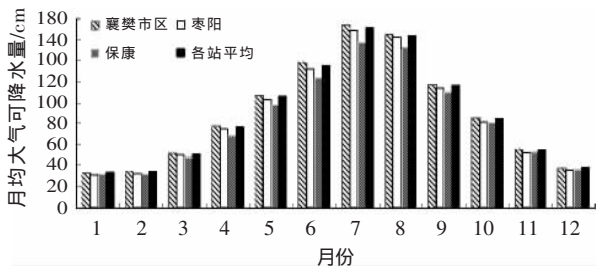


图 2 1978—2007 年襄樊市不同地形的月均大气可降水量的逐月变化(单位: cm)

由图 2 可知,襄樊市各月平均大气可降水量呈近似的正态分布,全市大气可降水量月平均值为 89 cm,最大值为 171 cm,出现在 7 月份,8 月份次之,为 163 cm,最小值为 33 cm,出现在 1 月份;平原、岗地、山区不同地形的月大气可降水量分布与全市平均月变化趋势基本一致,最大值均出现在 7 月份,分别为 174、169、158 cm,最小值出现在 1 月份,其量值分别为 34、32、32 cm。

同时,襄樊市大气可降水量的季节变化十分明显。统计结果表明,就全市平均而言,大气可降水量夏

季最大,为 469 cm,秋季次之,为 256 cm,春季再次之,为 234 cm,冬季最小,为 106 cm;平原地区,大气可降水量夏季最大,为 478 cm,冬季最小,为 107 cm;岗地,大气可降水量夏季最大,为 464cm,冬季最小,为 101 cm;山区,大气可降水量夏季最大,为 434 cm,冬季最小,为 102 cm。

襄樊市大气可降水量季节分布之所以表现出上述特征,究其原因,可能与襄樊季风活动密切相关。冬季襄樊盛行偏北风,寒冷、干燥,夏季盛行偏南风,温暖、潮湿;襄樊的春、秋季为季风过渡时期,春季暖湿气流开始加强,但冷空气活动仍很频繁,冬季风大多时候强于夏季风;秋季冷空气开始活动,但还较弱,西南暖湿气流仍很强盛,夏季风大多时候强于冬季风。这在很大程度上决定了襄樊市夏季可降水量最大、冬季最小、春秋季节介于其中。

### 3.2 区域分布特征

图 3 给出了襄樊市各站 1978—2007 年 30 年平均各季大气可降水量的区域分布。

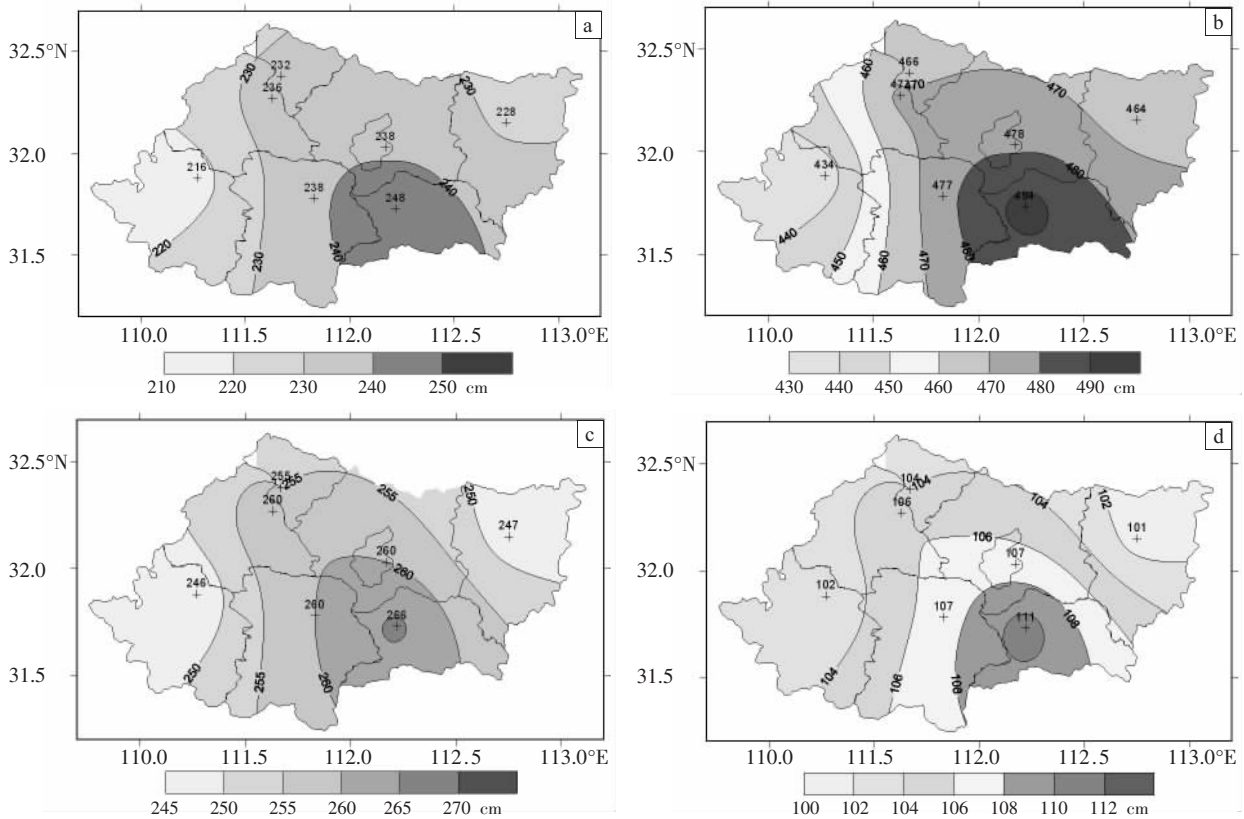


图 3 襄樊市各站 1978—2007 年 30 年春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季平均大气可降水量区域分布(单位: cm)

从图 3 中可见,襄樊市各季大气可降水量,均是地处该市西南山区的保康最少,位于东北部的枣阳次少,位于东南部的宜城各季均最多,其它各站基本接近;各季各地大气可降水量差异,夏季最大,最多的宜城与最少的保康相差 60 cm,其次是秋季、春季,各地

相差 20-30 cm,冬季相差最小,其差值为 10 cm 左右。

襄樊地区常年多为中纬度西风带控制。对比分析 1978—2007 年襄樊市各地大气可降水量和实际降水量的分布发现,地理纬度、地形高度和大气环流使其大气可降水量分布呈现的特征是,平原地区大于岗

地,岗地大于山区;实际降水量分布则与其基本相反,即山区大于平原,平原大于岗地,大气可降水量最小的保康(山区),其实际降水量最多,大气可降水最大的宜城(平原),其实际降水量小于地处山区的保康。究其原因,该市大气可降水量和实际降水量的分布不一致,不在于大气所含水汽多少,而在于当地是否存在促成降水有利的动力条件、水汽辐合条件和其他条件;环流系统和地形作用是影响山区降水的关键因素,尤其是夏季,这种影响更加明显。

### 4 增雨潜力时空特征分析

#### 4.1 月可能降水量

图 4 给出了 1978—2007 年近 30 年襄樊市不同地形类型平均各月可能降水量。

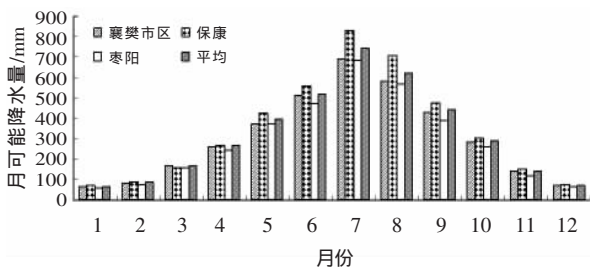


图 4 1978—2007 年襄樊市不同地形类型的月均可能降水量逐月变化(单位: mm)

从图 4 可见,月可能降水量具有明显的时空变化特征:(1)从其月变化看,7月最多,在 685~833 mm 之间,1月最少,在 60~72 mm 之间;(2)从其季节变化看,夏季平均 1 879 mm,远多于冬季的 222 mm,秋季平均 877 mm,略多于春季的 832 mm;(3)从其地理分布看,南部多于北部,地处西南山区的保康最多,月均可能降水量 342 mm,其后从多到少依次是南漳、宜城、谷城、老河口、襄樊市区,其量值分别为 335 mm、323 mm、317 mm、313 mm、304 mm,枣阳最少,仅 289 mm。上述分布与各县(市)实际降水量的分布特征大体一致。

#### 4.2 自然降水产出率

图 5 给出的是襄樊市不同地形类型 1978—2007 年 30 年各月平均降水产出率。

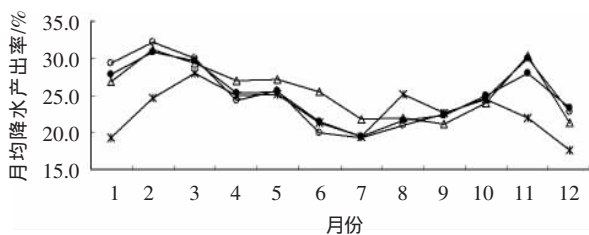


图 5 1978—2007 年襄樊市不同地形类型的各月平均降水产出率(单位: %)

—○— 襄樊市区 —\*— 保康 —△— 枣阳 —·— 全市平均

从图 5 中看到,襄樊各县(市)自然降水产出率在 16%~38%之间,其月变化呈“两峰两谷”型,两个峰值大多出现在 2 月和 11 月,降水产出率分别为 30.8%和 28.0%,两个谷值分别出现夏季的 6—8 月和冬季 12 月,其降水产出率分别为 19.5%~21.6%和 23.3%,其中 7 月份最低,为 19.5%;地处西南山区的保康的自然降水产出率月变化与其它县(市)略有差异,虽也呈现“两峰两谷”型,但两个峰值分别出现在 3 月和 8 月,其量值分别为 27.9%和 25.2%,谷值出现在 7 月和 12 月,其量值分别为 19.5%和 17.6%;从其区域分布看,襄樊北部的自然降水产出率的季节变化大于南部,即降水产出率大的月份,北部大于南部,降水产出率小的月份,北部小于南部,其中谷城和老河口表现最为明显。

#### 4.3 增雨潜力

图 6 给出的是襄樊市不同地形类型 1978—2007 年 30 年平均增雨潜力的月际变化。

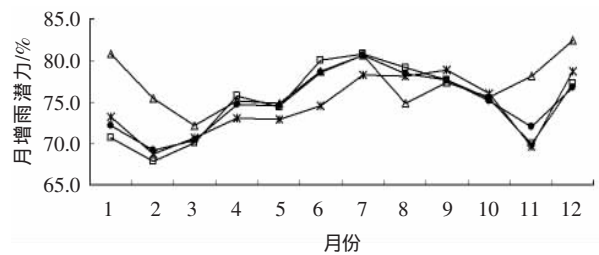


图 6 襄樊市不同地形类型 1978—2007 年 30 年平均增雨潜力的月际变化(单位: %)

—□— 襄樊市区 —△— 保康 —\*— 枣阳 —·— 全市平均

从图 6 中可见,不同地形类型夏季 6、7、8 月份增雨潜力都较大,大多在 78%以上;秋季的 9、10 月份次之,增雨潜力大多在 75%以上;冬季 12 月份再次之,在 72%以上;2 月和 11 月的增雨潜力最小,在 62%~72%之间。其地理分布,南部的增雨潜力大于北部的,保康的增雨潜力最大,年平均值为 77.1%,谷城的增雨潜力最小,年平均值为 71.8%。

### 5 结论与讨论

(1)从总体上看,襄樊市年大气可降水量随着年代递增而呈微弱的增多趋势。20 世纪 70 年代末到 80 年代全市年平均大气可降水量为 1 049 cm,90 年代为 1 068 cm,21 世纪头 7 年为 1 071 cm;该市平原地区、岗地、山区的年大气可降水量的年际变化均与其全市平均值的年际变化趋势基本一致,其中平原地区略高于全市平均值,岗地略低于全市平均值,山区远低于全市平均值。

(2)襄樊市空中水汽含量月变化呈正态分布,7 月最大,8 月次之,1 月最少。襄樊市空中水汽含量夏季远多于冬季,秋季略高于春季;西南山区的保康最少,

东南部的宜城最多,且各地水汽含量以夏季差异最大,秋、春季次之,冬季相差最小。

(3)襄樊市大气可降水量与实际降水量基本呈相反分布,大气可降水量最小的保康,其实际降水量最多;大气可降水最大的宜城,其实际降水量则小于西部山区各站。这表明降水差异的根本原因不在于水汽多少,而在于是否具有促成降水的动力条件、水汽辐合条件和其他条件。

(4)襄樊市各地的增雨潜力,夏季6、7、8月份较大,秋季9、10月份次之,2月和11月份最小;从地理分布上看,南部的增雨潜力大于北部,保康最大,谷城最小。

本文所讨论的增雨潜力只是一个理想值,因为大气可能降水量是一个理论降水量。事实上,大气中的水汽不可能全部凝结并形成降水,因此通过计算得到的增雨潜力值比实际增雨潜力值要大的多,但分析结果对开发襄樊市空中云水资源无疑具有重要的参考意义。

#### 参考文献:

- [1] 王昂生,黄美元.旱灾、天空水资源开发及人工降水研究[J].地球科学进展,1990(3):58-62.
- [2] 吴兑.关于人工增雨的一些国内外概况[J].广东气象,2005(1):25-29.
- [3] 周德平,宫福久,张淑杰.辽宁云水资源分布特征及开发潜力分析[J].自然资源学报,2005,20(5):644-649.
- [4] 刘玉梅.大庆市云水资源开发潜力估算[J].气象与环境学报,2006,22(2):59-61.
- [5] 王静,尉元明,郭锐,等.祁连山空中云水资源开发利用效益预测与评估[J].自然资源学报,2007,22(3):643-649.
- [6] 邵洋,郑国光.河南省春季层状云系降水的空中水资源特征分析[J].气象,2007,23(7):22-32.
- [7] 向华,周月华,王海军.湖北省空中水资源分析[J].暴雨灾害,2007,26(2):134-138.
- [8] 杨景梅,邱金桓.用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究[J].大气科学,2002,26(1):9-22.
- [9] 张存,周毓荃.人工影响天气优化技术研究[M].北京:气象出版社,2000:33-35.

## The Study on Cloud-water Resource Distribution and Artificial Precipitation Potential Over Xiangfan City

DAI Juan, HUANG Jian-hua, WANG Hua-rong, TANG Yang  
(Xiangfan Meteorological bureau of Hubei Province, Xiangfan 421021)

**Abstract:** This paper presents the distribution of the cloud water resource over Xiangfan city and the artificial precipitation potential is evaluated by the ground water vapor pressure and rainfall data at all counties' sites in Xiangfan area from 1978 to 2007. The results show that the maximum annual atmospheric precipitable water in Xiangfan increases slightly with year. The increase value is 19cm in 1990s than 1970s, and 22cm in the first 7 years of the 21 century than 1980s. There is a sharp monthly change in atmospheric water vapor with the highest value in July, the second rank in August, and the least in January. The atmospheric water vapor is much higher in summer than in winter and slightly higher in autumn than in spring. The annual average natural precipitation rate is higher in February and November and lower in December and July. The precipitation potentiality is 78% and more in summer, mostly above 75% in September and October, and mostly below 72% in February and November. Geographically, the precipitation potentiality is higher in the southern part of Xiangfan City than the northern one.

**Key words:** Cloud-water resource; Natural precipitation rate; Precipitation potentiality