

# 西南地区云水量与可降水量比值的分布特征和变化趋势

林丹,王维佳

(四川省人工影响天气办公室,四川 成都 610072)

**摘要:**采用1980~2009年云水量和可降水量的NCEP逐月再分析资料,通过统计分析,研究30a来西南地区(云南、贵州、重庆、四川)云水量与可降水量比值的时空分布特征和变化趋势。结果表明:(1)西南地区年、季节云水量与可降水比值均具有明显的地区性差异,由西北向东南递减,高值区位于川西高原;(2)云水量与可降水比值年内分布不均匀,从2月到8月逐渐减小,9月至1月逐渐增大,同时,季节差异较大,夏季最小,冬季最大;(3)30a来,整个西南地区年、夏季和秋季云水量与可降水量比值呈显著减少趋势。

**关键词:**西南地区;可降水量;云水量;演变特征

**文章编号:**1006-7639(2013)-03-0482-04 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0482

**中图分类号:**P426.61<sup>+</sup>4

**文献标识码:**A

## 引言

西南地区受不同的地型地貌和不同季风环流影响,降水区域性和季节性差异较大,再加之地型复杂,经济落后,地表水开发难度较大,水资源短缺日益严重。但西南地区处在孟加拉湾和南海水汽由南向北最大汇水通道区,因此,西南地区的空中水资源非常丰富,具有较大的开发潜力,适合进行人工增雨缓解水资源短缺问题。

人工增雨是采用人为方法,对上空云层施加影响,使降水量增加。一般情况,云中凝结的水分只有20%~80%转变成为降水,云中凝结的水分比实际降水量多得多,只是因为云中某些条件不具备,更多的水分才没有形成降水落到地面<sup>[1]</sup>。

以往对空中水资源的研究主要围绕大气可降水量的演变特征<sup>[2-3]</sup>。例如王维佳<sup>[4]</sup>利用60a NCEP可降水量数据,分析了四川地区大气可降水量的长期平均特征;胡文超等<sup>[5]</sup>利用40a NCEP比湿资料通过计算分析,对中国西部空中水汽的分布特征进行了研究;郭洁等<sup>[6]</sup>对川渝地区大气可降水量进行研究,得出川渝地区大气可降水量夏季最大,冬季最

少,高原是低湿区,盆地是高湿区。另外一个可以表征降水潜力的物理量为云水量,由于云水量资料获取难度较大,对它的研究非常少。张秉祥等<sup>[7]</sup>利用华北地区近12个探空站的观测资料,对华北地区空中水汽含量与降水量的时空演变特征进行了研究;张良等<sup>[8]</sup>利用气象观测站观测资料和NCEP/NCAR再分析资料,分析了祁连山地区的空中水资源状况;李兴宇等<sup>[9]</sup>利用ISCCP数据集,研究分析了中国地区空中云水资源的气候分布特征和变化趋势。但至今针对云水量在可降水量中所占比例的研究仍比较缺乏,因此,本文主要对西南地区云水量与可降水量的比值的分布和变化趋势进行了分析。

## 1 资料与方法

大气可降水量和云水量均是指导人工增雨作业的有效指标,在人工影响天气工作中具有重要意义<sup>[10]</sup>。大气可降水量( $P_w$ )是指地面以上大气柱中的水汽总含量<sup>[11]</sup>。云水量( $C_w$ )指云中含水量,以云的形式存在于云中的液态或固态水<sup>[12]</sup>。

本文采用NCEP(National Centers for Environ-

收稿日期:2013-03-26;改回日期:2013-06-08

基金项目:西南区域气象中心2011年区域重大科研业务项目“西南地区空中云水资源评估和开发利用研究”(西南区域气2011-02)资助

作者简介:林丹(1987-)女,四川成都市人,助理工程师,主要从事应用气象和大气物理方面研究以及人工影响天气业务工作。E-mail: ld8768@hotmail.com

mental Prediction) CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) 可降水量和云水量的逐月再分析资料,精度为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , 时间长度为 1980 ~ 2009 年, 单位  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。CFSR 数据是由 NOMADS (NOAA's National Operational Model Archive and Distribution System) 提供, 涵盖大气、海洋和陆地等大部分气象研究所需资料, 具备高覆盖率和分辨率, 同时具备时间序列长、资料完整等优点<sup>[13]</sup>。

文中西南地区包括四川、重庆、贵州和云南, 选取  $20^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ ,  $96^\circ \sim 111^\circ \text{E}$  范围内的区域, 共  $31 \times 31$  个格点。为更好地描述云水量和可降水量比值的变化分布和趋势, 定义变量  $\eta$  为云水量和可降水量的比值,  $\eta = C_w/P_w \times 100\%$ 。

在研究  $\eta$  值空间特征时, 利用 NCEP 云水量和可降水量的逐月格点资料, 通过统计计算, 得出 30 a 来西南地区年和季节 (春季 3 ~ 5 月, 夏季 6 ~ 8 月, 秋季 9 ~ 11 月, 冬季 12 ~ 2 月) 的云水量和可降水量, 采用  $\eta = C_w/P_w \times 100\%$  比值公式, 针对每个格点, 进行云水量和可降水量的比值计算, 给出其年和季节的空间分布特征; 在研究  $\eta$  值时间特征时, 将西南区域看做一个整体, 进行距平率等计算分析, 给出其年际变化特征和年内分布的特征。

## 2 云水量和可降水量比值的空间分布特征

图 1 为西南地区年云水量与可降水量比值的分布, 可以看出, 整个西南地区年云水量在大气可降水量中所占份额约 1%,  $\eta$  值大小在 0.4% ~ 14% 之间, 高值区主要集中在川西高原地区, 云水量在大气可降水量中所占的份额超过 1%, 其余地区所占份额均小于 1%, 特别是四川盆地东北部和重庆西部, 值为整个西南地区的最小值 0.4%。云南和贵州地区  $\eta$  值分布均匀, 整个区域均为 0.6%。

西南地区  $\eta$  值的经向分布特征明显, 同一纬度出现某些地方数值偏小, 而局部区域相对偏高的情况, 尤其在川西高原和四川盆地的交界处, 等值线东西向梯度显著, 间距密集, 表明交界处云水量在大气可降水量中所占份额的变化较大。

从图 2 中可以看出, 云水量和可降水量比值的季节分布基本与图 1 一致, 大值区位于川西高原地区, 由西北向东南递减。春季  $\eta$  值在 0.6% ~ 2.4% 之间, 川西高原地区云水量占可降水量的总额超过 2%, 尤其是川西高原的东北部, 所占比例为 2.4%,

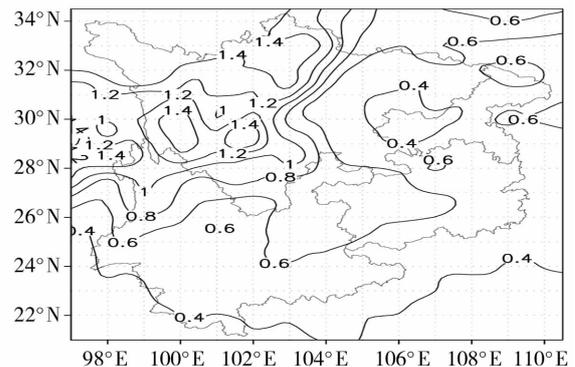


图 1 1980 ~ 2009 年西南地区年云水量与可降水量比值分布 (单位: %)

Fig. 1 Distribution of annual ratio of cloud water to precipitable water in southwest area from 1980 to 2009 (Unit: %)

云南、贵州和重庆地区只占 0.6%。夏季, 云水量占可降水量的比例是 4 个季节中最小的,  $\eta$  值在 0.2% ~ 1.2% 之间, 川西高原地区云水量占可降水量的总额约 1%, 云南、贵州和重庆地区只占 0.4%, 重庆的西部出现最小值 0.2%。秋季,  $\eta$  值在 0.4% ~ 1.4% 之间, 川西高原地区云水量占可降水量的总额超过 1%, 云南、贵州和重庆地区只占 0.6%,  $\eta$  值在四川盆地东北部和重庆西部存在一个最小值 0.4%。冬季, 西南地区  $\eta$  值在 0.8% ~ 2.0% 之间, 与春、夏、秋季相比, 冬季  $\eta$  值最大, 且最大值仍然出现在川西高原地区。

从分析结果可以得出, 云水量只是大气可降水量中很小的一部分, 这是因为云水量仅仅是指天空有云时, 云中的含水量, 而大气可降水量包括了从地面到大气上界大气柱中所含水汽总量全部凝结并降落到地面可以产生的降水量<sup>[4]</sup>。因此, 以往仅仅研究大气降水量的演变特征, 并不能准确反映出空中云水资源条件和人工增雨的潜力。

图 3 为西南地区 1980 ~ 2009 年西南地区云水量和可降水量比值的线性倾向分布图, 由于对值进行线性倾向分析所得出的线性倾向值较小, 本文统一对西南地区线性倾向值扩大了 1 000 倍。四川攀西地区、盆地南部和川西高原西北部, 以及重庆、云南、贵州地区的线性倾向值为负值, 30 a 来该区域值随时间在减小, 其中云南的东南部和川西高原西北部是减少相对最多的地区; 而剩余大部分四川地区的线性倾向值为正值, 30 a 来该区域值随时间增加, 云水量在可降水量中所占比例逐渐加大。

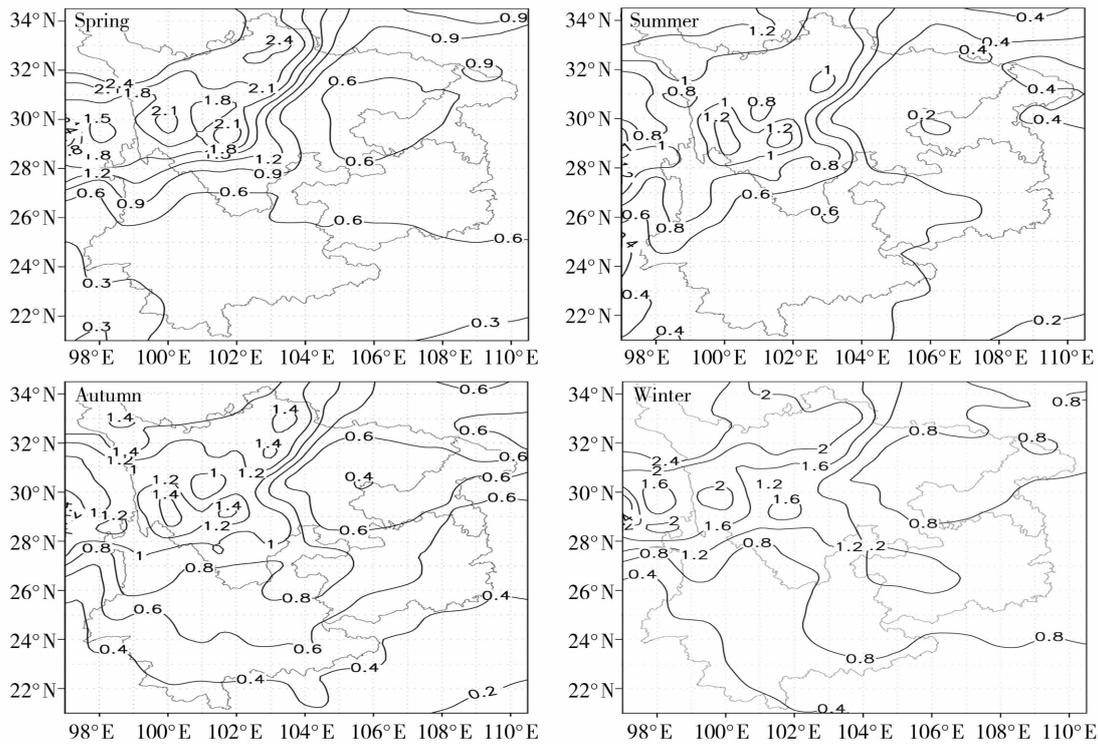


图2 1980~2009年季节云水量与可降水量比值分布(单位:%)

Fig. 2 Distribution of seasonal ratio of cloud water to precipitable water in southwest area from 1980 to 2009 (Unit:%)

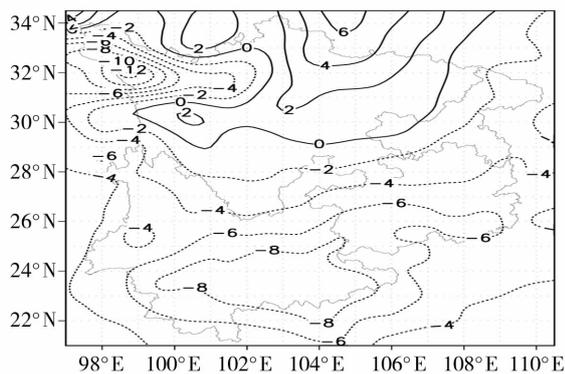


图3 1980~2009年西南地区云水量与可降水量比值的线性趋势分布

Fig. 3 Linear trend of annual ratio of cloud water to precipitable water in southwest area from 1980 to 2009

### 3 云水量和可降水量比值的时间演变特征

#### 3.1 年际变化特征

对  $\eta$  值进行距平率处理,距平率可以直接体现出变化的程度,距平率 =  $(\eta - \bar{\eta}) / \bar{\eta}$ 。

从 1980~2009 年整个西南地区云水量和可降

水量比值的距平率变化曲线(图 4)可以看出,年际变化非常明显,浮动较大,大体上分为 2 个阶段:1990 年代中期以前,距平率均为正值,表明这段时间,云水量所占可降水量的比值较大,高于 30 a 的平均值,最大值为 1989 年的 0.12%;1990 年代中期以后,距平率大部分为负值,表明这段时间云水量所占可降水量的比值较偏小,低于 30 a 的平均值,最大值为 2006 年和 2009 年的 -0.145%。1985、1989 和 1990 年,距平率处于高值区;1998、2005、2006 和 2009 年,距平率处于低值区。

对距平率作线性趋势分析,得到回归系数  $a = -0.006$ ,回归常数  $b = 0.09$ ,建立一元方程,  $y = -0.006t + 0.09$ ,可以看出 30 a 来西南地区云水量和可降水量的比值随时间减少,通过了  $F$  分布的 0.05 显著性水平检验,因此,减少趋势是非常显著的。王维佳<sup>[4]</sup>、马涛<sup>[14]</sup>、何军<sup>[15]</sup>等研究显示,西南各省可降水量随时间呈明显增长趋势,这可能是造成云水量和可降水量比值随时间减少的原因之一。从季节变化趋势来看,显著性的减少主要在夏季和秋季,均通过了  $F$  分布的 0.05 显著性水平检验,而春季和冬季的线性减少趋势并不明显。但是,冬季云水量和可降水量比值的年际变差(其最大值和最小值之

差)却是最大的,夏季的年际变差最小。

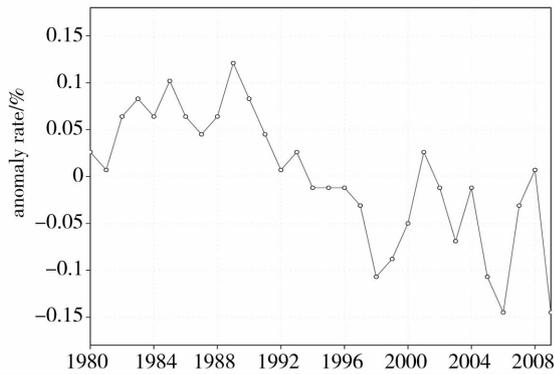


图4 1980~2009年西南地区云水量与可降水量比值的距平率

Fig.4 Anomaly rate of ratio of cloud water to precipitable water in southwest area from 1980 to 2009

### 3.2 年内分布特征

西南地区云水量和可降水量比值的年内分布(图5)呈近似的“U”型分布,2~8月 $\eta$ 值逐渐减小,9月至次年1月 $\eta$ 值逐渐增大。 $\eta$ 值的最小值为8月,其次是7月,均小于0.5%; $\eta$ 值的最大值出现在2月,接近1%,其次是1月、3月和12月,云水量在可降水量中所占比例均超过0.9%。

从季节分布来看, $\eta$ 值具有明显的季节差异。冬季云水量在可降水量中的所占份额最多,为0.82%,春季和秋季次之,春季略大于秋季,分别为0.72%和0.68%,夏季云水量和可降水量的比值最小,仅为0.49%。以往研究表明,夏季西南地区可降水量非常丰富,尽管云水量也较其他季节偏多,但云水量在可降水量中所占比值较小,对 $\eta$ 值的变化贡献率较小,这是造成夏季 $\eta$ 值最小的原因之一。

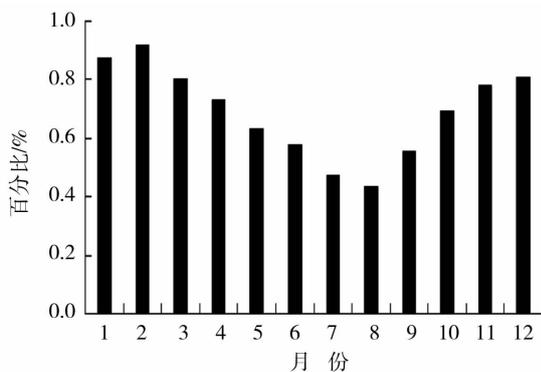


图5 西南地区云水量与可降水量比值年内分布

Fig.5 Distribution of monthly ratio of cloud water to precipitable water in southwest area from 1980 to 2009

## 4 结论

(1)西南地区年云水量与可降水量比值在0.4%~1.4%之间,经向分布特征明显,高值区位于川西高原。季节云水量与可降水量比值由西北向东南递减,夏季是比值最小的季节,冬季最大。

(2)30 a来,云水量与可降水量比值在四川攀西地区、盆地南部和川西高原西北部,以及重庆、云南、贵州地区随时间减小,在剩余大部分四川地区随时间增加。

(3)30 a来,整个西南地区年、夏季和秋季云水量与可降水量比值呈显著减少趋势。

(4)2~8月,云水量和可降水量比值逐渐减小,9月至次年1月,比值逐渐增大。

### 参考文献:

- [1] 杨茜,李轲,高阳华. 重庆地区空中水资源的时空分布特征[J]. 气象. 2010,8(36):100-105.
- [2] 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[J]. 暴雨灾害. 2009,28(1):79-83.
- [3] 戴莹,杨修群. 我国大陆上空可降水量的时空变化特征[J]. 气象科技. 2009,29(2):143-149.
- [4] 王维佳. 四川地区近60 a大气可降水量分析[J]. 干旱气象. 2009,27(4):346-349.
- [5] 胡文超,白虎志,董安祥. 中国西部空中水汽分布结构特征[J]. 南京气象学院学报,2005,28(6):808-814.
- [6] 郭洁,李国平. 川渝地区大气可降水量的气候特征以及地面水汽量的关系[J]. 自然资源学报,2009,24(2):344-350.
- [7] 张秉祥,韩军彩,陈静,等. 华北地区空中水汽含量与降水量的关系[J]. 干旱气象,2012,30(2):207-214.
- [8] 张良,王式功,尚可政,等. 祁连山区空中水资源研究[J]. 干旱气象,2007,25(1):14-20.
- [9] 李兴宇,郭学良,朱江. 中国地区空中云水资源气候分布特征及变化趋势[J]. 大气科学,2008,32(5):1094-1106.
- [10] 袁健,赵妹慧,张维全,等. 云中液态水含量在人工影响天气中的应用[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):508-602.
- [11] 杨红梅,葛润生,徐宝祥. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量[J]. 气象,1998,24(9):8-11.
- [12] 段英,吴志会. 利用地基遥感方法监测大气中汽态、液态水含量分布特征的分析[J]. 应用气象学报,1999,10(1):34-40.
- [13] Saha, Suranjana, Coauthors. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2010, 91:1015-1057.
- [14] 马涛,张万诚,付睿. 云南空中水资源的季节变化探究[J]. 成都信息工程学院学报,2011,26(5):486-493.
- [15] 何军,翟丹华,郝全成,等. 重庆地区大气可降水量的时空分布特征[J]. 热带气象学报,2012,28(1):96-103.

(下转至 504 页)

## The Evaporation Variation and Its Influence Factors in Xi'ning of Qinghai Province

LI Jingxin<sup>1</sup>, WANG Shigong<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, SHANG Kezheng<sup>1</sup>, XIANG Dong<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reducing of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;  
2. Climate Center of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

**Abstract:** The change trend of evaporation in Xi'ning and its influencing factors were analyzed by using the ground meteorological observation data from 1954 to 2005, and according to Penman formula the regression analysis was made to evaporation. The results show that the decadal, inter-annual, seasonal and monthly evaporation declined significantly in recent 52 years. From the 1960s to the 1990s, the annual evaporation decreased by 377.98 mm and about 27.2 mm per year on average, and in the 1980s the evaporation decreased most. The evaporation in spring and summer decreased obviously and accounted for about 42% of the total annual decrease amount, and in June evaporation declined fastest. The yearly change trend accorded with the Giddings function fitting curve distribution. The decadal variation of interannual distribution showed that there was a higher concentration degree in the 1960s and 1970s, and after the 1970s it tended to be even. There was a close linear relation between evaporation and sunshine hours, saturated water vapor pressure according to regression analysis based on Penman formula. The evaporation variation are mainly caused by temperature, sunshine hours and relative humidity change. The downward temperature in summer and reduction of sunshine hours in summer and autumn resulted in decrease of evaporation, and increase of the total cloud covers caused the reduction of sunshine hours.

**Key words:** evaporation; Giddings function; influence factors; Penman formula; regression analysis

~~~~~  
(上接第 485 页)

## Trend and Distribution Features of Ratio of Cloud Water to Precipitable Water in Southwest China

LIN Dan, WANG Weijia

(Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** Based on NCEP monthly cloud water and precipitable water data from 1980 to 2009, the spatial and temporal distribution characteristic and variation trend of ratio of cloud water to precipitable water in southwest China were analyzed in this paper. The results show that the annual and seasonal ratio of cloud water to precipitable water in southwest China had obvious regional difference, which decreased from northwest to southeast, and the high value was located in Western Sichuan Plateau. Ratio of cloud water to precipitable water decreased from February to August, and increased from September to January in a year, and the ratio was minimum in summer and maximum in winter. There was a clear downward trend for annual ratio of cloud water to precipitable water in 30 years, and the ratio also decreased in summer and autumn.

**Key words:** southwest China; precipitable water; cloud water; spatial and temporal characteristic