# 第一章　云南旱涝规律和特征

云南位于青藏高原东南侧，南面近邻孟加拉湾和南海两个热带海洋。由于其处于西南夏季风影响的门户区，又位于青藏高原东南侧，夏季同时受到印度季风和东亚季风及中高纬度天气系统的交叉影响。这种典型的季风气候决定了云南独特的天气气候，冬无严寒，夏无酷暑，四季如春。无显著的春夏秋冬之分，只有干季(11～4月)和雨季(5～10月)之分。全年雨量的85%～95%都集中在5～10月，这就决定了云南极易发生大面积干旱。根据《云南天气灾害史料》上提出的干旱标准,云南从公元1300年到1988年平均每3年1旱,每8年1大旱。更为值得注意的问题是，干旱灾害日趋严重。20世纪80年代以来，干旱和洪涝受灾损失已不容忽视，平均每年它所导致的受灾面积占总播种面积的25.6%。旱涝灾害给云南省的经济发展带来了不可估量的损失，因此，对旱涝规律及其成因的研究十分重要。

## §1.1　旱涝标准的定义及气候背景

### 1.1.1　各类旱涝标准

长久以来，不同的部门对旱涝的含义有不同的解释，旱涝等级的评定标准多种多样，气象部门也没有统一规定。目前，气象部门的旱涝等级一般划分为5级或7级。根据1981年中国气象科学研究院在《中国近五百年旱涝分布图集》中提出的划分等级标准将旱涝划分为5级(简称标准差法)：

| | |
|---|---|
| 1级(涝) | $R_i - R > 1.17\sigma$ |
| 2级(偏涝) | $0.33\sigma < R_i - R \leqslant 1.17\sigma$ |
| 3级(正常) | $-0.33\sigma < R_i - R \leqslant 0.33\sigma$ |
| 4级(偏旱) | $-1.17\sigma < R_i - R \leqslant -0.33\sigma$ |
| 5级(旱) | $R_i - R \leqslant -1.17\sigma$ |

(1.1)

其中 $R_i$ 为降水量(月、季、年)，$R$ 为 $R_i$ 的气候平均值，$\sigma$ 为 $R_i$ 样本的标准差。

旱涝7级则是采用基于累积频率的 $Z$ 指数方法划分的。假设某时段降水量是服从正态分布的，通过正态化处理可转化为以 $Z$ 为变量的标准化正态分布，计算公式为

$$Z_i = \frac{6}{C_s}\left(\frac{C_s}{2}\phi_i + 1\right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \tag{1.2}$$

式中 $C_s$ 为偏态系数，$\phi_i$ 为标准变量

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3}, \quad \phi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \tag{1.3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^3}, \quad \bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}X_i \tag{1.4}$$

$Z$ 值与旱涝等级及相应的累积频率为（简称 $Z$ 指数7级一法）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

| | | |
|---|---|---|
| 1级(涝) | $Z<1.654$ | $P>95\%$ |
| 2级(中涝) | $1.037<Z\leqslant 1.645$ | $85\%<P\leqslant 95\%$ |
| 3级(轻涝) | $0.842<Z\leqslant 1.037$ | $70\%<P\leqslant 85\%$ |
| 4级(接近正常) | $-0.842\leqslant Z\leqslant 0.842$ | $30\%\leqslant P\leqslant 70\%$ |
| 5级(轻旱) | $-1.037\leqslant Z<-0.842$ | $15\%\leqslant P<30\%$ |
| 6级(中旱) | $-1.645\leqslant Z<-1.037$ | $5\%\leqslant P<15\%$ |
| 7级(重旱) | $Z<-1.645$ | $P<5\%$ |

(1.5)

目前国家气候中心发布的《中国旱涝气候公报》就是用此方法划分旱涝等级的。

云南省气象局以降水量距平百分率为指标，定出长期农事关键期预报标准（简称距平百分率法）

| | |
|---|---|
| 1级(特多) | $>60\%$ |
| 2级(偏多) | $20\%\sim 60\%$ |
| 3级(正常) | $-20\%\sim 20\%$ |
| 4级(偏少) | $-60\%\sim -20\%$ |
| 5级(特少) | $<-60\%$ |

(1.6)

还有一些学者用其他指标标准评定旱涝等级。但降水量的偏少或偏多是造成干旱和洪涝的直接原因,这一点是勿庸置疑的。这里,我们就不考虑地理、社会及人为等因素,仅以降水量多少为对象，根据云南省降水量分布及变化特点，来讨论云南省降水量旱涝等级的评定标准。

### 1.1.2 $Z$ 指数计算方法

根据(1.2)~(1.4)计算,我们发现(1.5)给出的 $Z$ 指数法临界值有疑问，所以重新进行了理论计算。累积频率是变量小于某上限值的次数与总次数之比，在总体中又称之为分布函数(理论分布函数),它是上限的函数。如果用 $X$ 表示上限,用 $\zeta$ 表示变量,则分布函数 $F(x)$ 定义为

$$F(x)=P(\zeta<x)=\int_{-\infty}^{x}(f(t)dt) \tag{1.7}$$

降水量经过变换可转化为以 $Z$ 为变量的标准化正态分布，即对 $Z$ 变量有

$$F(x)=P(Z<x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x}e^{-\frac{t^2}{2}}dt \tag{1.8}$$

根据积分可加性性质,(1.8)右端可分解为

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x_0}e^{-\frac{t^2}{2}}dt+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{x_0}^{x}e^{-\frac{t^2}{2}}dt \tag{1.9}$$

利用正态分布函数数值表,(1.9)第一部分可直接查得，第二部分采用取极限逼近插值近似求得。将 $[x_0,x]$ 作 $n$ 等分,则有

$$\int_{x_0}^{x}e^{-\frac{t^2}{2}}dt=\lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n}e^{-\frac{x_i^2}{2}}dt\times\Delta x \tag{1.10}$$

这里，$x_1=x_0$、$x_2=x_0+\Delta x$、$x_3=x_0+2\Delta x$、…、$x_n=x_0+(n-1)\Delta x$，$\Delta x=(x-x_0)/n$。取 $n=1000$,得到

当 $P(Z<x)=85\%$，$x=1.03654$

当 $P(Z<x)=70\%$，$x=0.52435$

当 $P(Z<x)=95\%$，$x=1.64479$

当 $P(Z<x)=90\%$，$x=1.28163$ (1.11)

当 $x$ 取 1.30 时，对应的 $P(Z<x)=0.903184$，与数值表中的值 0.903200 相差很小。

根据正态分布函数的性质，$F(-x)=1-F(x)$，则

$F(-0.52435)=P(Z<-0.52435)=1-F(0.52435)=1-70\%=30\%$

即

当 $P(Z<x)=15\%$，$x=-1.03654$

当 $P(Z<x)=30\%$，$x=-0.52435$

当 $P(Z<x)=5\%$，$x=-1.64479$

当 $P(Z<x)=10\%$，$x=-1.28163$ (1.12)

四舍五入保留 3 位小数，得到新的 7 级 $Z$ 临界值为 $-1.645$、$-1.037$、$-0.524$、$0.524$、$1.037$、$1.645$ 可见与 (1.5)的 7 级划分法的区别仅在于 4 级的范围缩小了（简称 $Z$ 指数 7 级二法）。

另外，在云南多年来都用 5 级划分，为比较方便使用和比较，把 $Z$ 指数也做了 5 级划分（简称 $Z$ 指数 5 级法），其旱涝等级及相应的累积频率为

| | | |
|---|---|---|
| 1 级(涝) | $Z>1.282$ | $P>90\%$ |
| 2 级(偏涝) | $0.524<Z\leqslant 1.282$ | $70\%<P\leqslant 90\%$ |
| 3 级(正常) | $-0.524\leqslant Z\leqslant 0.524$ | $30\%\leqslant P\leqslant 70\%$ |
| 4 级(偏旱) | $-1.282\leqslant Z<-0.524$ | $10\%\leqslant P\leqslant 30\%$ |
| 5 级(旱) | $Z<-1.282$ | $P\leqslant 10\%$ |

(1.13)

### 1.1.3 旱涝标准及气候背景

我们选取在云南具有代表性的 17 个站点(昆明、昭通、东川、沾益、玉溪、蒙自、文山、楚雄、思茅、景洪、临沧、潞西、保山、泸水、大理、丽江、中甸)。这些站建站早，资料样本容量大，可靠性好。本节选用这些站 1961～1990 年月降水量资料，分别计算 17 个代表站月、季、雨季、年雨量的有关统计特征值及前面介绍的标准差法、$Z$ 指数 7 级一法的相应临界距平百分率和 1951～1996 年历年月、季、雨季、年雨量的距平百分率及利用不同评定标准的评定等级。

#### 1.1.3.1 降水量的时空分布

云南省南濒海洋，北倚青藏高原，冬夏半年控制云南省的气团性质完全不同，形成了冬干夏雨，干湿季分明的季风气候。图 1.1 为昆明各月雨量分布图，图 1.2 为 17 站夏季雨量分布图。由图中可以看出，降水主要集中在 5～10 月，干季与雨季月雨量的量级差别较大，夏季雨量的空间分布也不均匀。

#### 1.1.3.2 偏态系数

计算了昆明等 17 站月、季、雨季、年降水量的偏态系数(表略)。计算结果表明，除潞西、大理、丽江、中甸的年雨量偏态系数接近 0 即正态分布外，其它均为偏态分布；5～10 月雨量偏态系数仅思茅、保山、丽江接近 0；景洪夏季雨量接近正态分布；月雨量中仅有个别站的 7 月或 8 月雨量接近正态分布。

#### 1.1.3.3 变差系数

变差系数是消除了量纲和变量本身量级的影响，能客观表征变量变化剧烈程度的特征量。变差系数越小，变量的年际变化越少，变化幅度也越小。计算了昆明等 17 站月、季、雨季、年降水量的变差系数(表略)。计算结果表明，夏季、雨季和年雨量的变差系数最小，大多小于 0.2，

也就是说夏季、雨季和年的雨量年际变化最少，变化幅度最小。其余依次为 6～9 月，0.5 以下 ;4、5、10 月约在 0.5～0.9 之间 ;1～3 月，11～12 月都在 0.9 以上，大多大于 1。

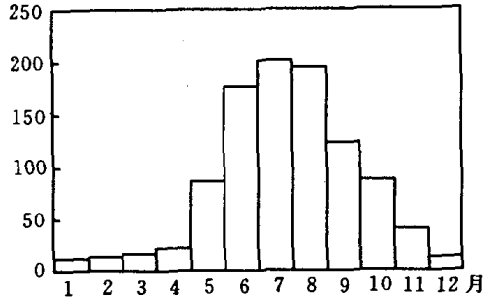



图 1.1　昆明各月雨量分布（mm）

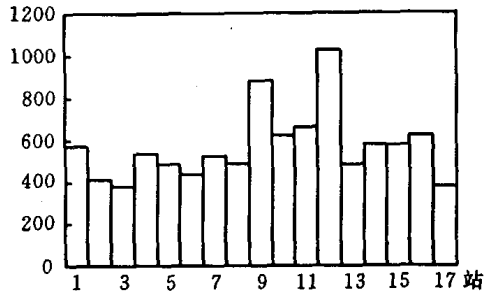



图 1.2　17 站夏季雨量分布(mm)

### 1.1.3.4　临界距平百分率

临界距平百分率即为各种方法的各等级临界值所对应的距平百分率，通过临界距平百分率可将各种方法的标准统一到一个标尺上，便于对比分析。在对昆明、蒙自、大理 1 月、7 月、春季、雨季、年降水量不同评定标准对应的临界距平百分率计算中发现(表略)，不同方法、不同时段和不同的站同一等级各距平百分率临界值各不相等。

### 1.1.3.5　各种旱涝标准的比较

表 1.1 给出了不同评定标准对应的正常等级范围。从中可以看出，标准差法考虑了不同站、不同月和时段的降水量的量级和变化特点（$\sigma$），但给出的正常值样本较少，$Z$ 指数法同时考虑了不同站、不同月和时段的降水量的量级、变化($\sigma$)和偏态分布($C_s$)特征。$Z$ 指数法与距平百分率法范围接近，前者因为考虑了偏态分布特征，正负值绝对值不等。云南省降水量时空分布不均匀，各地、各月及不同时段的雨量多为偏态分布，变化程度各异。体现在临界距平百分率的不同。

表 1.1　昆明、大理、蒙自、1 月、7 月不同评定标准对应的正常等级范围 (距平百分率法)

| | $Z$ 指数 7 级一法 | | $Z$ 指数 5 级法 | | 标准差法 | | 距平百分率法 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 月 | 7 月 | 1 月 | 7 月 | 1 月 | 7 月 | 1 月 | 7 月 |
| 昆明 | －76～70 | －31～29 | －58～38 | －20～17 | －29～29 | －12～12 | －20～20 | －20～20 |
| 大理 | －86～71 | －30～36 | －68～29 | －20～16 | －35～35 | －12～12 | －20～20 | －20～20 |
| 蒙自 | －88～76 | －34～32 | －65～37 | －23～18 | －35～35 | －13～13 | －20～20 | －20～20 |

对于偏旱等级，7 月的情况如表 1.2。距平百分率法的上限与 $Z$ 指数 5 级法上限接近，下限过低 标准差法的下限与 $Z$ 指数 5 级法接近，上限偏高。

表 1.2　昆明、大理、蒙自 7 月偏旱等级范围（距平百分率法）

| | $Z$ 指数 5 级法 | 标准差法 | 距平百分率法 |
|---|---|---|---|
| 昆明 | －20～－44 | －12～－42 | －20～－60 |
| 大理 | －20～－42 | －12～－41 | －20～－60 |
| 蒙自 | －23～－48 | －13～－47 | －20～－60 |

用各种方法标准对各站 1951 ～1996 年历年各月、季、雨季、年降水量进行旱涝等级评定，

结果，各等级出现的频数与以上分析吻合。标准差法评定的正常年数最少，从概率上看不尽合理。

我们还用经过插补得到的 1901～1996 年资料作了昆明等 5个站的 $Z$ 指数累积频率分布曲线(图略),从曲线上插值得到的临界值与理论值相近,存在的差别主要是受到样本容量的影响。

综上所述，根据降水量偏少或偏多划分旱涝等级，不同站、不同月及不同的时段，由于量级、变化程度及分布特征的不同，同一等级偏少或偏多的量也是不等的。因此，如果要用统一的标准来评定旱涝等级，用距平百分率作为指标并不合适。标准差法基于正态假设，而且通过上述比较不难发现其正常范围偏小,偏旱(涝)的下限(上限)较合适。$Z$ 指数法理论依据充足，反映了不同站、不同月及不同时段降水量的变化、分布特征,从以上分析可看出,等级范围也更合理。为与以前的工作衔接以及业务应用方便，我们认为用 $Z$ 指数 5 级法的标准作为统一的云南省降水量旱涝等级的评定标准较合适。据此评定的结果，各等级出现的气候概率分别为 正常年份占 40%,偏旱、偏涝各占 20%,旱、涝各占 10%。

这里有一点值得注意，旱涝等级并非旱涝灾害程度的度量，而是表征降水量与常年相比偏多或偏少的程度，也可以说是可能发生旱涝灾害的一种趋势的度量。

## §1.2 近百年旱涝气候变化的阶段性和突变性

云南地处低纬高原，同时受到印度季风、南海季风和青藏高原气候效应的影响，其降水时空分布变化很大。各地年平均降水量 560～2300mm,雨季(5～10月)降水量约占全年的 85%以上,而干季(11～4月)仅占 15%左右。因此，云南大面积的冬春、初夏干旱和汛期的局部洪涝非常明显。

有关云南旱涝的研究，过去曾分析了近百年云南旱涝的年际变化，给出了云南 18个代表站 1901～1994年的旱涝等级。由于云南具有大面积干旱和局部洪涝的气候特征，人们更关心旱涝的区域分布和季节变化。因此，本节将同时对云南旱涝的年季变化、区域分布和季节变化作进一步的研究。

### 1.2.1 资料处理及旱涝等级

云南最早有降水观测资料的是腾冲站（1916 年）和昆明站（1921 年），其它测站大多从1950年以后才有观测记录。进行气候变化的分析研究，必须要有较长的连续资料序列，为了得到完整、连续的降水资料序列,直接引用屠其璞(1986)所采用的 EOF 分析、场插补的方法，求出腾冲、昆明二站自 1901 年以来所缺的各月气温资料序列。然后根据上述二站资料及降水的相关性,求出其它 16个代表站在建站前所缺的资料。这样，我们就有了全省 127站 1951～1997 年观测和 18个代表站 1901～1950 年插补降水资料。

在分析旱涝变化时，由于降水变量是离散的，用单站降水变化代表较大区域降水变化随机性较大。我们考虑用平均降水量(1901～1950 年 18站平均，1951～1997年 127站平均)序列代表全省降水量变化，为此计算了平均序列与全省各站的年、月降水量之间的相关系数。计算结果表明,其相关系数均在 0.70 以上，平均序列能代表全省降水量变化趋势。

关于云南旱涝等级标准,我们在 §1.1 中比较了距平百分率、标准差和 $Z$ 指数等方法,认为云南旱涝等级标准以 $Z$ 指数划分为宜,具体 5级划参照公式(1.13)。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

### 1.2.2 近百年云南年、季旱涝变化

#### 1.2.2.1 旱涝等级序列

云南旱涝气候灾害主要有冬春和初夏大面积干旱、汛期洪涝、秋季连阴雨,为此图 1.3 分别给出了 1901～1997 年云南年、冬春(11～4 月)、初夏(5～6 月)、主汛期(6～9月) 和秋季(9～10月)的平均旱涝等级序列。

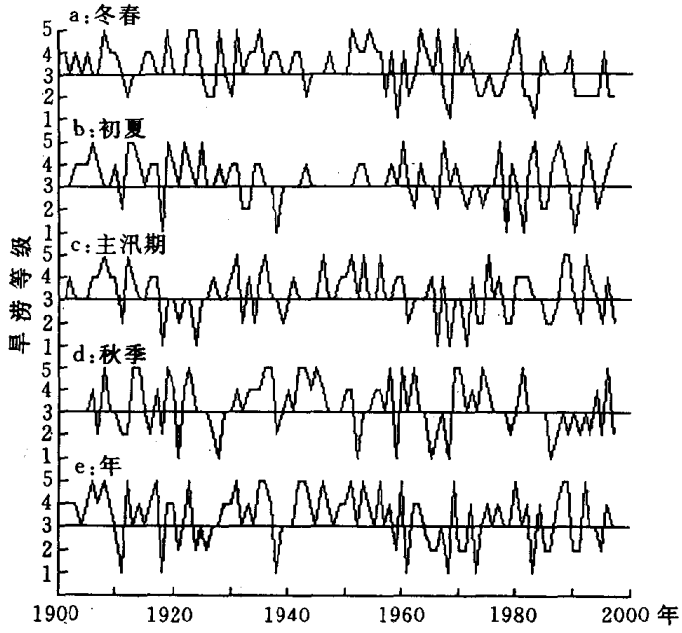



图 1.3 云南旱涝等级序列

从图 1.3e 可见,云南年、季旱多于涝,最干旱气候出现在 20世纪 40～50 年代,除 1959 年为偏涝外,其余 19年均为正常至特旱,其中有 7 年特旱。

冬春季云南最容易出现大面积持续干旱，由于该季节的降水量仅占全年的不到 20%,冬春旱涝 1～2 级仅仅只能代表降水量偏多，基本上不存在洪涝问题，因此旱涝 3 级以上可视为冬春干旱,这样云南 97 年中有 75 年出现冬春干旱(图 1.3a),其中 13 年为特旱。

初夏是云南大春作物的栽种期，也是干季向雨季的转换期，可以说是云南一年中最关键的气候季节。从近百年的初夏旱涝等级序列（图 1.3b)看,仍是旱年多于涝年,70 年代中期以后,特旱特涝年的频率上升。

主汛期旱涝等级序列(图 1.3c)仍是旱年多于涝年。由于偏旱年气温偏高，有利于大春作物的生长，因此云南主汛期洪涝是主要灾害，其旱涝变化与年际（图 1.3e）相似。在近百年中有 20个涝年,其中 5年特涝。

秋季旱涝等级序列(图 1.3d)旱涝年与主汛期相当，但特涝特旱年明显增多。

#### 1.2.2.2 旱涝气候变化趋势

为了描述大尺度的旱涝气候特征，用全省 127 站 1951～1997 年和 18 个代表站 1901～1950年的逐年旱涝等级资料计算了干旱指数和湿润指数。这里干旱指数 $I_d = D/N$ 湿润指数 $I_w = W/N$;$N$ 为总站数;$D$ 为旱涝 4 和 5 级的站数;$W$ 为 1 和 2 级的站数。因此，它们表示的是干旱和湿润区的空间范围。

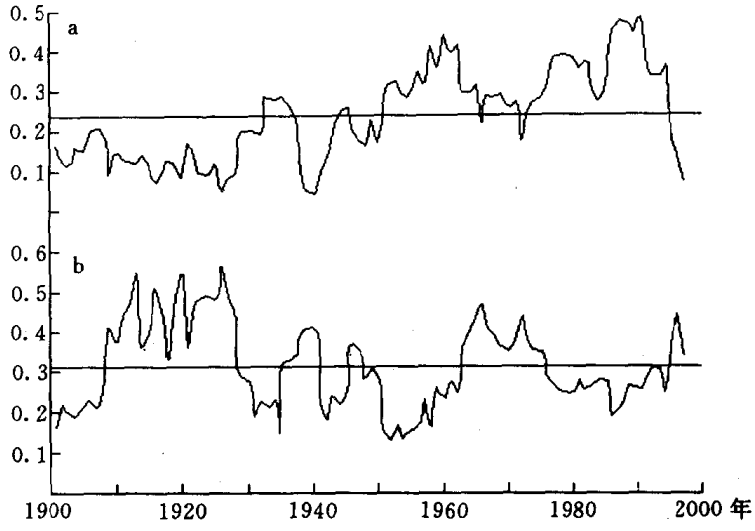



图 1.4 旱涝等级的 5 年滑动平均干旱指数和湿润指数变化曲线
(a:干旱指数 b：湿润指数)

图 1.4 给出了 1901 年以来云南 5年滑动平均 $I_d$ 和 $I_w$ 的变化曲线,从中可以看到,干旱指数(图 1.4a)有明显上升趋势,湿润指数(图 1.4b)则略有下降趋势。过去的 97 年内,干旱指数平均从 0.15 上升到 0.30，呈现出显著的干旱化趋势，这与我国干旱化气候变化基本一致。应当指出的是，在近百年这样一个时间尺度变化上，干旱指数变化呈振荡式上升，湿润指数变化大约有 30 年左右的准周期振荡。另外，云南在经历了 50 年代以来干旱化趋势变化后，有向湿润化气候变化的趋势。

#### 1.2.2.3 旱涝气候突变特征

为了分析研究云南旱涝气候突变特征，我们直接采用 Marr 小波变换方法，多层次和多分辨地反映云南降水的变化。图 1.5 分别给出了云南冬春、主汛期和全年近百年降水变化的 Marr 小波变换结果。

在较大时间尺度上，云南冬春降水变化突变特征比较清晰（图 1.5a)，16 年以上时间尺度的旱涝交替的突变点出现于 60 年代末期。在此之前的近 70 年里，云南冬春干旱非常明显。70 年代以后降水相对偏多，冬春干旱有所减弱。相对于较小时间尺度上，云南冬春旱涝变化则表现出较多的交替和突变点， 8 年时间尺度的旱涝交替突变点分别为 1908、1914、1923、1927、1957、1960、1969、1976、1980 和 1985 年。上述不同时间尺度云南冬春旱涝变化最显著的特征是,20 年代末期至 50 年代中期为特旱时期,而 60 年代末期至 70 年代中期则冬春干旱不明显。

主汛期的降水变化和突变特征（图 1.5b）在较大时间尺度上非常明显。32 年时间尺度上，1919～1934 年和 1960～1982 年为偏涝期，其余年代均为偏旱期。在较小时间尺度上旱涝的变化规律不十分明显。

全年的降水变化和突变特征（图 1.5c)与主汛期的大致相似,但由于冬春季(图 1.5a)和初夏（图略)20～30 年代在较大时间尺度上处于偏旱期，导致年降水量减少。因此,32 年时间尺度上只有 1960～1982 年偏涝期较明显，而主汛期中的 2 个偏涝期体现在年际变化的 20 年左右的时间尺度上。另外,在 32 年时间尺度上 30～50 年代云南干旱最重。

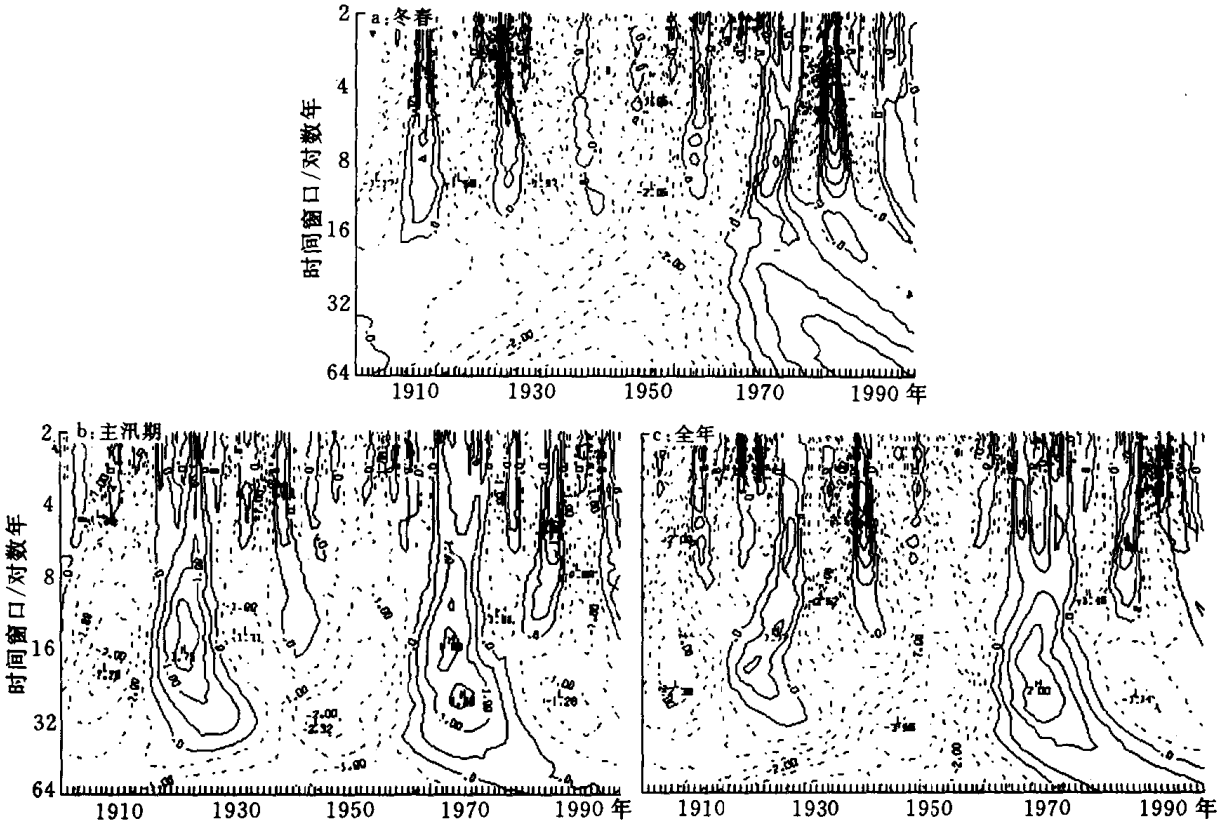



图 1.5 云南近百年降水变化的 Marr 小波变换

### 1.2.3 云南旱涝空间分布特征

1.2.2 主要研究了云南年、季旱涝变化的时间分布，总结了云南旱涝的气候变化规律，为全面了解云南旱涝特征，我们利用 EOF 分析方法对 1951～1997 年云南 32 个国家基本站冬春、初夏、主汛期、秋季和年的降水资料进行分型，重点分析冬春和初夏的干旱、主汛期和秋季的洪涝以及年的旱涝空间分布特征。

图 1.6a 为冬春降水第一特征向量的空间分布，该向量占总方差的 31.2%，反映了云南冬春季节大范围干旱特征。在分布图中，除滇南和滇西边缘地区干旱特征不明显外，其它大部分地区干旱特征明显。干旱程度总体趋势是自南向北、自西向东逐渐加重，最干旱的区域是曲靖、东川、昆明、楚雄等地市以及金沙江流域。

初夏干旱的空间特征也反映出大范围的特点，图 1.6b 给出了为初夏降水第一特征向量的空间分布，该向量占总方差的 23.5%，滇中及以东地区和滇西北在初夏干旱年最易发生严重干旱。由于云南的初夏是干季向雨季（雨季开始期平均为 5 月下旬）的转换期，初夏干旱典型空间场中的滇中及以东地区和滇西北的严重干旱特征，说明初夏干旱年东亚季风和印度季风建立期推迟。

图 1.6c 给出了云南主汛期降水的第二特征向量的空间分布（第一特征向量反映干旱特征），该向量占总方差的 16.7%，突出反映了云南主汛期洪涝特征，滇中和滇南的洪涝相对比较频繁。

图 1.6d 为云南秋季降水的第二特征向量（第一特征向量反映干旱特征），该向量占总方差

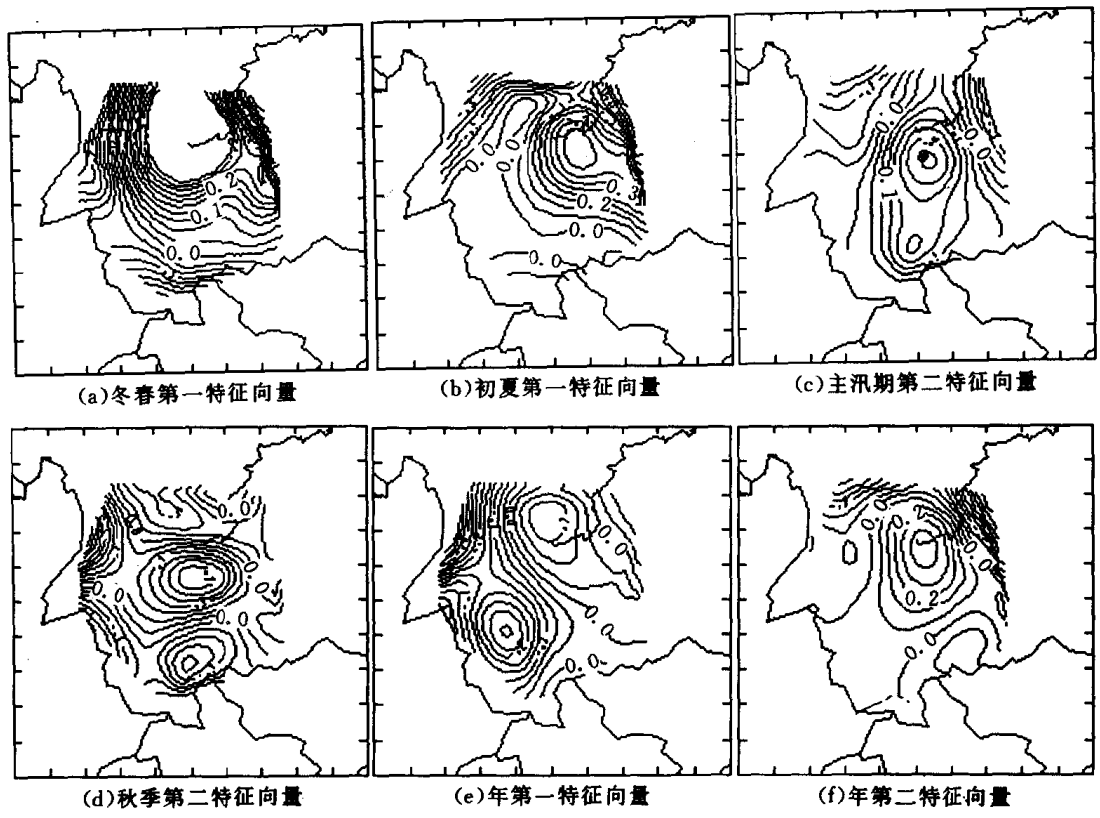



图 1.6　EOF降水特征向量的空间分布

的18.5%。洪涝的空间分布主要在北纬 25 度一带，这一带地区是云南的主产粮区，包括曲靖、昆明、玉溪、楚雄、大理、保山等地市。

对于年的旱涝空间特征,图 1.6e给出了云南年降水的第一特征向量，该向量占总方差的21.2%，表示干旱年典型场。降水减少的最大变率出现在西部，也就是说干旱年主要是西部地区降水量锐减所至。第二特征向量（图 1.6f）则反映了云南洪涝年的特征，该向量占总方差的13.1% 。其降水量变率分布与图 1.6c 大致相似，说明云南主汛期降水量集中。

由于云南地域辽阔,立体气候明显,为更深入认识云南旱涝空间分布特征,我们将云南划为五个区域,即 1 区滇东北(包括昭通、东川、曲靖)、2 区滇东南(包括文山、红河)、3 区滇中(包括昆明、玉溪、楚雄)、4 区滇西北(包括迪庆、怒江、丽江、大理)、5 区滇西南(包括保山、德宏、临沧、思茅、西双版纳），先计算各区域内气象站平均降水量距平百分率，然后计算各区域距平百分率相互之间的相关系数，重点分析初夏和主汛期旱涝空间分布。

表 1.3　云南各区域降水量 距平百分率相关系数

| | 初　夏 | | | | | 主　汛　期 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 |
| 1 区 | 1.00 | 0.49 | 0.85 | 0.72 | 0.53 | 1.00 | 0.17 | 0.49 | 0.21 | 0.19 |
| 2 区 | | 1.00 | 0.51 | 0.38 | 0.83 | | 1.00 | 0.18 | 0.16 | 0.22 |
| 3 区 | | | 1.00 | 0.70 | 0.55 | | | 1.00 | 0.25 | 0.19 |
| 4 区 | | | | 1.00 | 0.45 | | | | 1.00 | 0.53 |
| 5 区 | | | | | 1.00 | | | | | 1.00 |

表 1.3 给出了云南五个区域初夏和主汛期降水量距平百分率相关系数。初夏各区域相关性均很高，表明旱涝趋势大体一致、初夏干旱的空间特征具有大范围的特点。尽管初夏各区域相关性都很高,但 1、3、4 区和 2、5 区各自之间的相关性更显著，相关系数高达 0.7 以上,最高达 0.85，呈现出南北分布特征。由于云南的初夏是干季向雨季（雨季开始期平均为 5月下旬）的转换期，初夏大面积干旱特征说明初夏干旱年东亚季风和印度季风建立期推迟，南北分布则表明雨季大多数年自南向北先后开始。

主汛期各区域降水量距平百分率相关系数比初夏要小得多，这表明云南各区域主汛期旱涝趋势有差异，与初夏大面积干旱特征相比，主汛期洪涝更具局地性。1和 3区、4、5区之间的相关性相对比较显著，因此云南主汛期旱涝趋势变化空间分布可划为滇东北和滇中、滇东南、滇西(包括滇西北和区滇西南)三个区域。

### 1.2.4 小结

云南近百年各季节旱涝指数 4、5级多于 1、2 级,表明云南干旱是主要气候灾害,特别是冬春和初夏的干旱。在 97年中冬春干旱 75 年,平均每 10年有 8 年出现干旱。

在分析了干旱和湿润指数曲线变化后认为，近百年来云南呈现出显著的干旱化趋势，但 90 年代中期以后，干旱化趋势减弱并有向湿润化气候变化的趋势。

应用 Marr小波变换方法多层次和多分辨地反映云南降水的变化，分析后发现，在 32年时间尺度上，云南旱涝变化最显著。其中 30～50 年代云南气候最干旱,60～80 年代中期则降水量偏多。

EOF 旱涝空间分布研究表明，年、季降水第一特征向量均反映干旱特征，再次证实了云南主要气候灾害是干旱。云南冬春和初夏干旱是大面积的，几乎覆盖全省范围。主汛期和秋季的洪涝主要分布于滇中及北纬 25度一带。

各区域降水量距平百分率相关系数分析表明，初夏旱涝趋势大体一致，干旱的空间特征具有大范围的特点，雨季大多数年自南向北先后开始。主汛期洪涝局地性强，旱涝趋势变化空间分布可划为滇东北和滇中、滇东南、滇西三个区域。

## §1.3 雨季开始期的时空分布

云南属季风气候，同时受到东亚季风和南亚季风的影响，干湿季分明。每年 5～10 月为雨季,年降水量的 86％出现在此期间，11～4 月为干季，降水量仅占 14％。因此，云南的雨季开始期与东亚季风和南亚季风暴发的时间有关。本节将利用 1961～1999 年云南近 40 年的降水资料,根据解明恩(1998 年）提出的云南雨季开始期标准，给出云南雨季开始期的时空分布。

### 1.3.1 雨季开始期空间分布

图 1.7给出了云南 16 个代表站 1961～1999 年近 40 年平均雨季开始期。从图中可以看出,滇南的景洪雨季开始期最早,平均 5 月 14 日雨季开始；滇西北的中甸最晚，平均 6 月 9 日雨季开始，两者相差近一个月。说明两地气候差异较大，夏季风暴发对两地气候的影响也不同。这种气候差异一方面是由于纬度的不同引起的，但更重要的是由于海拔高度的不同造成的,因为两地海拔高度相差 2700m。

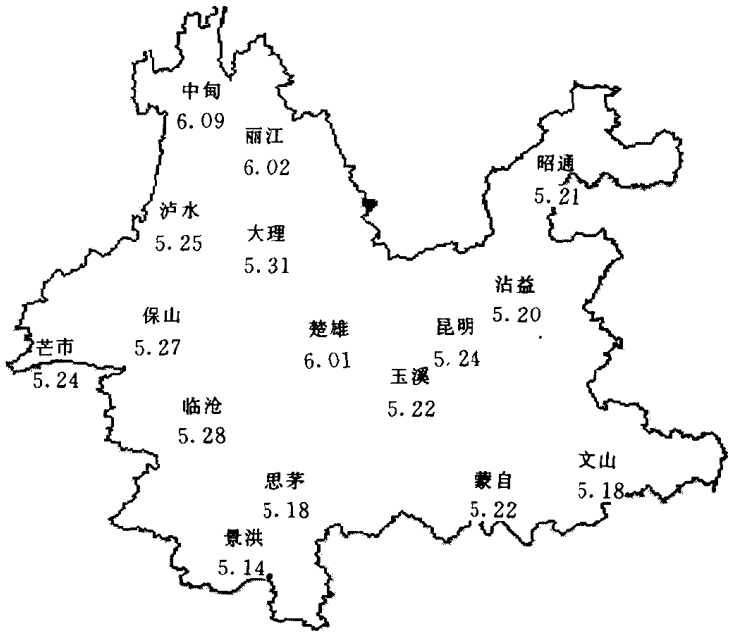



图 1.7　云南雨季平均开始期空间分布（站名下的数字表示月份和日期）

从平均状况来看，云南雨季开始期一般自 5 月中旬至 6 月上旬，先东南部后西北部。景洪、思茅、文山、沾益等地 5 月中旬雨季开始，昭通、昆明、玉溪、蒙自、大理、临沧、保山、芒市、泸水等地 5 月下旬雨季开始，楚雄、丽江、中甸等地 6 月上旬雨季开始。

### 1.3.2　雨季开始期年际变化

图 1.7 只给出了云南雨季开始期空间平均分布，但各地区雨季开始期的年际变化很大，同一地区雨季开始期最早年与最晚年可相差 50～80 天左右。据 1961～1999 年近 40 年的资料统计，昆明站(图 1.8)，雨季开始期最早出现在 1964 年 4 月 30 日，最晚出现在 1977 年 6 月 22 日，相差 53 天；中甸站(图 1.9)，雨季开始期最早出现在 1991 年 5 月 1 日，最晚出现在 1983 年 7 月 9 日，相差 69 天；景洪站(图 1.10)，雨季开始期最早出现在 1991 年 4 月 21 日，最晚出现在 1997 年 6 月 30 日，相差 70 天。

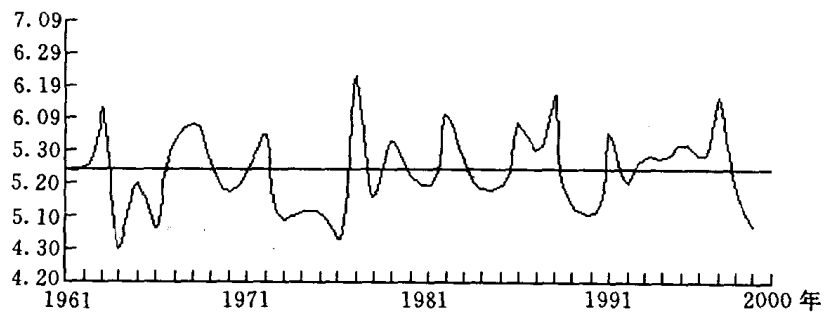



图 1.8　昆明站雨季开始期年际变化(横坐标 年，纵坐标 月日，横直线 平均值)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

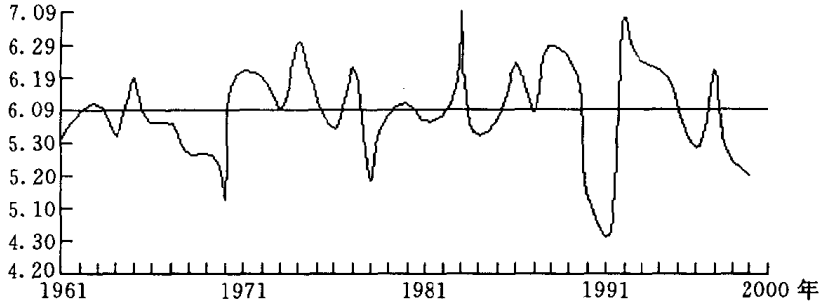



图 1.9　中甸站雨季开始期年际变化(横坐标:年,纵坐标:月日,横直线:平均值)

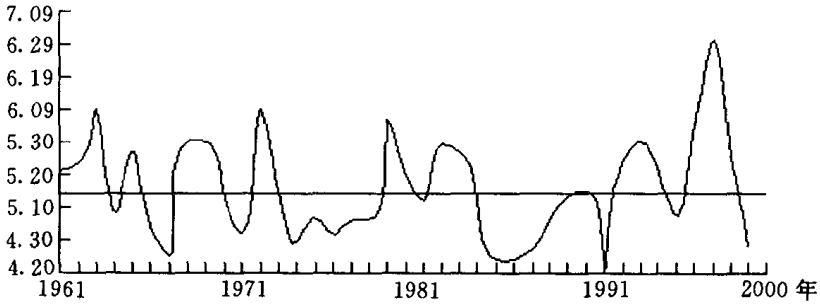



图 1.10　景洪站雨季开始期年际变化(横坐标:年,纵坐标:月日,横直线:平均值)

## §1.4　初夏旱涝的年际变化

许多观测事实表明：云南的旱涝灾害主要发生在夏季，与初夏降水多寡密切相关，它主要取决于印度季风和东亚季风的强弱、暴发的早晚。而亚洲季风不仅受越赤道气流作用，还受到西太平洋副热带高压和中纬度西风带扰动系统的影响。因此，季风的变化比较复杂，不仅年际变化大，而且季节内变化也很大，这就使得处于亚洲季风盛行区的云南的季风降水有很大的年际变化。为了对云南的初夏降水的年际变化有清楚的认识，应用云南省 1951～1960 年 25 个测站和 1961～1995 年 125 个测站 5～6 月降水量来讨论云南初夏旱涝分布的变化。

### 1.4.1　云南初夏降水的年际变化

图 1.11 为云南全省 125 个测站 1961～1995 年 5～6 月降水距平百分率演变状况。由图可见,云南初夏 5～6 月降水距平百分率有明显的年际变化，其中最大正距平百分率高达 50% 以上,而最大负距平百分率亦可到达 30% 以上。此外,超过 ±距平 20% 的年份在 35 年中就有 13 年,其中 1966、1978、1981、1984、1985、1990 年为明显的多雨年，1967、1969、1977、1983、1987、1992、1993年为明显的少雨年。

从以上的分析结果可以发现,云南省初夏旱涝发生频率极高,也较为严重,因此研究云南初夏 5～6 月旱涝的规律及其成因有着重要的现实意义。

### 1.4.2　初夏旱涝的区域分布特征

为了更详细地说明云南初夏降水特征,根据 1.4.1 节的分析,将 1966、1978、1981、1984、

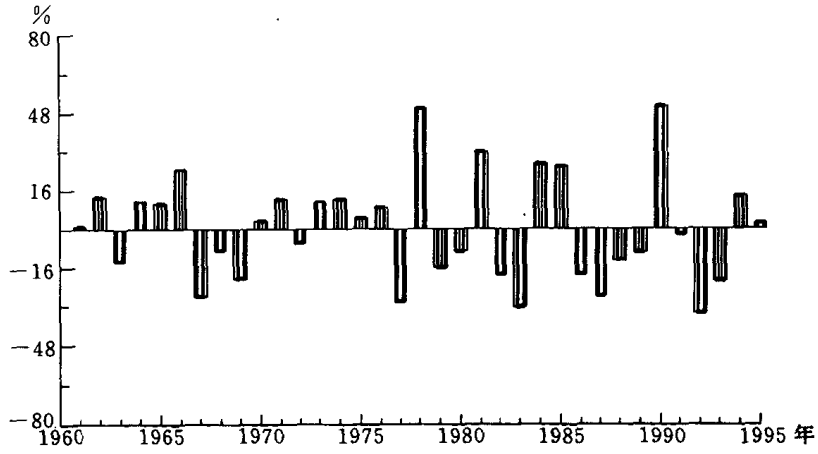



图 1.11　云南初夏 5～6 月降水距平百分率

1985、1990 年定为初夏涝年，1967、1969、1977、1983、1987、1992、1993 年定为初夏旱年，并将各旱、涝年分别合成平均，计算 125 个测站的旱涝距平分布情况。

如图 1.12a 所示，云南全省 5～6 月降水距平值均为负，滇中及滇北地区的降水距平值明显低于其它地区。而从图 1.12b 可见，云南全省均为正距平，滇中及滇北地区的降水距平值远远大于其它地区，这两个地区的降水距平值均超过了 45%，可见滇中及滇北地区的旱涝变化非常明显。

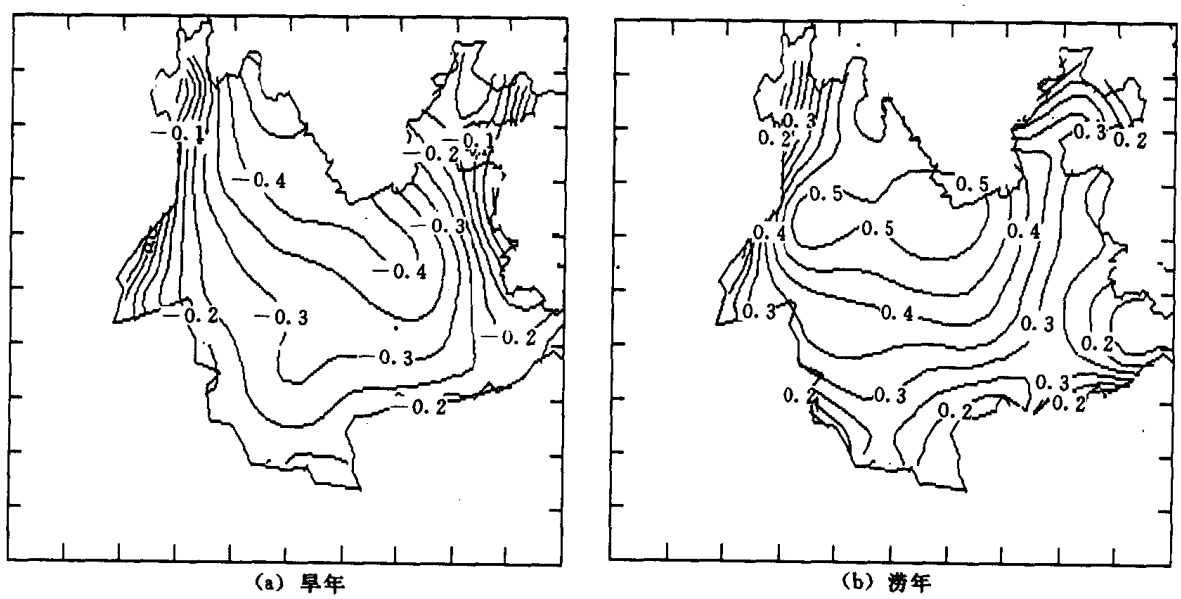


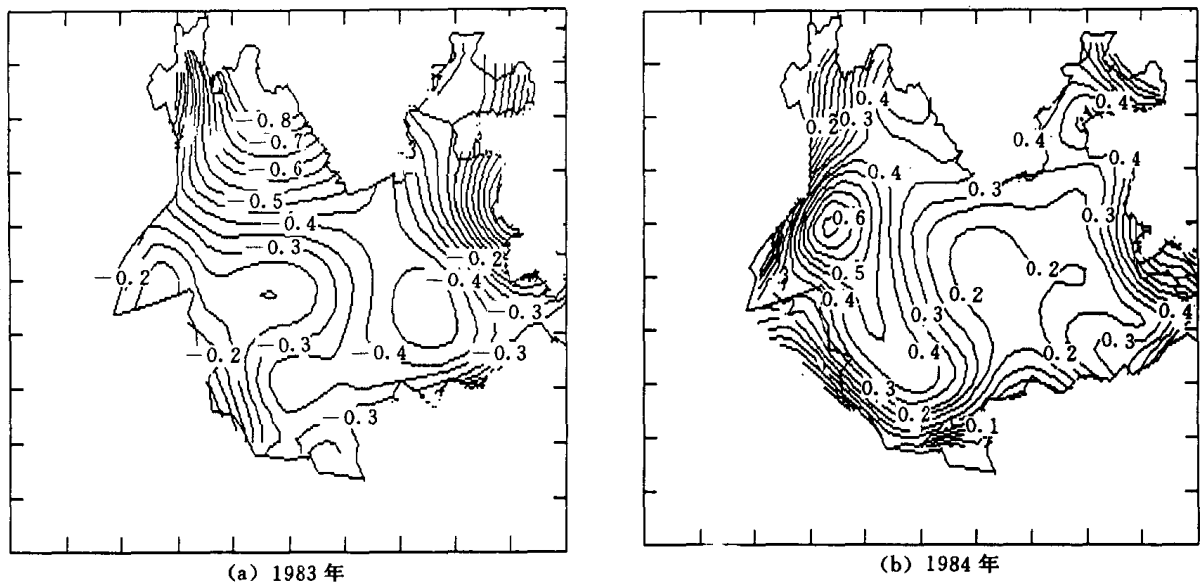

图 1.12　旱、涝年 5～6 月降水距平百分率分布

1982～1983 年全球发生了一次极其严重的 El－Nino 事件，紧接着的 1984～1985 年赤道东太平洋海水急剧下降，出现了反 El－Nino 事件，给全球的许多国家和地区的天气气候造成了剧烈的影响，云南的初夏降水也出现了异常状况。下面分析这两个特殊年份云南初夏旱涝分布情况。

由图 1.13a 可见，1983 年云南全省大部分地区的降水均为负距平，滇中及滇北地区的负

距平明显比其它地区的要大。图 1.13b 显示，1984 年云南全省降水均为正距平，且在滇西和滇东分别有两个距平高值区。这表明，在反 El－Nino 年，印度季风和东亚季风强盛，受它们影响最严重的滇西和滇东地区的降水偏多特征比其它区域明显。

对比 1.13a 和 b 可见，1983 年的 El－Nino 事件和 1984 年的反 El－Nino 事件对云南初夏降水有不同的影响，El－Nino 年云南降水偏少，反 El－Nino 年降水偏多。ENSO 事件的不同位相对云南各地区降水的影响也各有不同。




(a) 1983 年　　(b) 1984 年

图 1.13　特殊年 5～6 月降水距平百分率分布

从前面的观测事实可以看到，云南 5～6 月降水具有较大的年际变率，尤其是中部和滇西北地区，受干旱的影响较其它区域更严重，这与云南雨季的开始是由东南和西南向中部推进有关。

## §1.5　云南降水量分区及旱涝变化

云南省地形地貌多样，降水量的年际变化及旱涝分布形式比较复杂，存在一定的地区性差异。为了全面分析其局地变化特征，首先对降水量场进行客观分区是必要的。郑景云（1993 年）、李栋梁（1997 年）等研究发现，方差极大准则下的正交旋转因子分析方法有这样的特点，即能够对多个因子进行综合与提炼，从而找出具有某些代表意义的公共因子，这些因子能反映出各个不同变量之间的共有信息，同时，由于这些因子对各个变量的因子荷载不同，故又能体现出各主分量本身的特点，因此，可以利用所得到的荷载场对实际要素的空间分布进行区划，每一个点都有确定的属区，较为客观。所以，我们利用这一方法对云南降水场进行分区，具体计算参照施能（1995 年）提出的方法。在此基础上，进一步分析云南近 40 年来的旱涝变化特征。

### 1.5.1　降水量客观分区

利用 1961 年 1 月～1990 年 12 月云南省 125 个站 360 个月标准化降水量资料进行主成分

(EOF)分析和旋转主成分(REOF)分析,前 10 个主分量累积方差贡献可达 73.65%,因此对前 10 个 PC及对应的载荷量进行旋转，表 1 给出前 10 个旋转前后的主分量（PC、RPC)对降水场总方差的贡献率。

表1.4　前 10 个 PC和 RPC 对总方差的贡献率

| 主分量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 累积贡献率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PC 贡献率 | 43.54 | 10.03 | 5.41 | 3.48 | 3.31 | 2.14 | 1.88 | 1.41 | 1.28 | 1.17 | 73.65 |
| RPC 贡献率 | 14.80 | 11.86 | 11.18 | 10.66 | 7.57 | 6.52 | 5.52 | 2.38 | 1.76 | 1.40 | 73.65 |

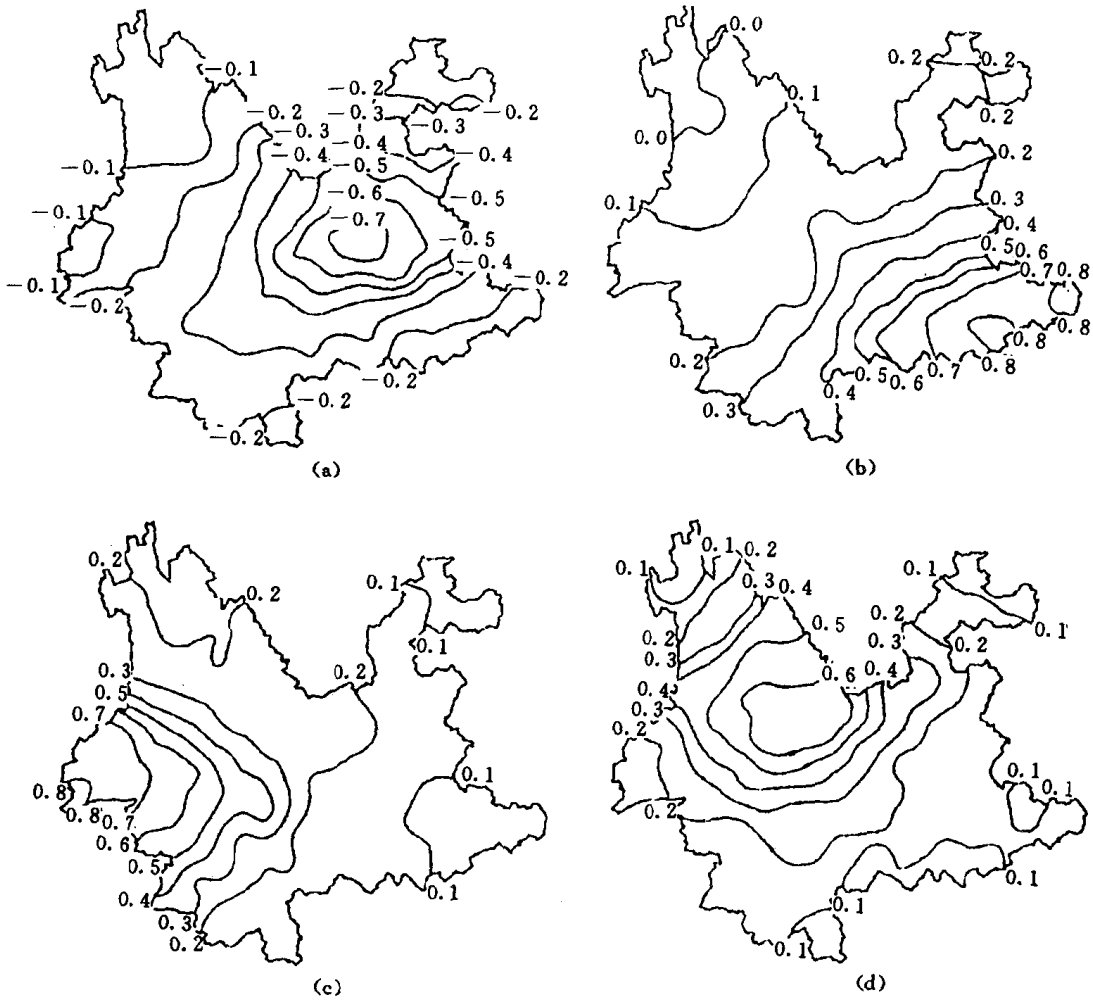



图 1.14　前 4个主因子旋转后的荷载场空间分布图

从旋转后的因子荷载矩阵可以明显看出，每个公共因子轴上只有少部分站点有较高的因子荷载，这些站点即属同一区。图 1.14 为前 4 个主因子旋转后的荷载场空间分布图。由图 1.14可见，第一旋转因子有一负的高荷载区位于以昆明、玉溪为中心的滇中及以东地区，荷载绝对值最大可达 0.75。第二旋转因子的高荷载区分布于以文山为高中心的滇东南地区，中心荷载达 0.82。第三旋转因子荷载分布以德宏为高中心向东扩展，中心荷载 0.82。第四旋转因子以大理、大姚为高中心,往四周渐减,中心荷载 0.75。第五、第六、第七旋转因子荷载场(图略）分别在思茅、版纳，怒江、迪庆，昭通地区存在高荷载区，中心荷载分别达到 0.71、0.86、

$-0.82$。根据上述旋转后前 7 个因子荷载场的分布特征，同时考虑到 RPC前 7 个的累积贡献率已达 68%，而且贡献率从第八个锐减，因此将云南省降水量场划分为七个区。个别站点最大因子荷载在第八、第九或第十个旋转场，按前七个场中最大者归入，从荷载量看悬殊不大，而且从表 1.4 可知，调整的站点极少，不会对结果有多大影响。分区结果见图 1.15。

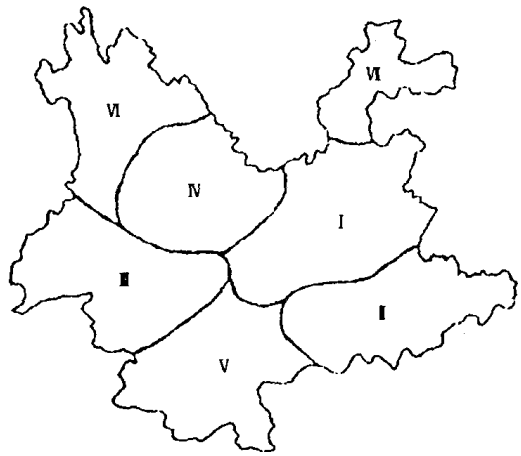



图 1.15　云南省降水量分区图

图 1.15 中，Ⅰ区为包括昆明、曲靖、东川、玉溪及楚雄东部、红河北端等地区 33 个站的滇中东区；Ⅱ区为包括南盘江以南的文山、红河及元江等地区 20 个站的滇东南区；Ⅲ区为包括临沧、保山、德宏等地区 19 个站的滇西南区；Ⅳ区为包括金沙江以东的丽江地区东部、大理州中东部及楚雄中西部地区 19 个站的滇西区；Ⅴ区为包括西双版纳、思茅除景东以外的 12 个站的滇南区；Ⅵ区为包括怒江州、迪庆州及丽江、宁蒗县等 12 个站的滇西北区；Ⅶ区为昭通地区，有 10 个站，称为滇东北区。

地理环境对一地气候的形成有重大影响。从分区图中可以看出，这样的分区符合云南的自然地理特点。云南境内多山，河谷纵横，地势西北高东南低，自北向南呈阶梯状逐级下降，山脉的走向和不同的高度往往成为气候的分界线。云南的地形非常明显地分成两大部分，沿元江河谷向西北转北至丽江金沙江中段一线，以东为云南高原，以西为横断山纵谷。高原区仍然自西北向东南逐级下降，Ⅳ区、Ⅰ区、Ⅱ区就分别位于海拔 2000m 以上至 1800～1500m 左右的阶梯上，这三个区集中分布着全省大多数的坝子，是云南省重要的粮食基地。Ⅶ区为高原上的高山区，该区植被覆盖差，多发洪灾和泥石流灾害。Ⅵ区为著名的三江(怒江、澜沧江、金沙江)地区，山高谷深，是青藏高原的南延部分，该区是云南省海拔最高的高山区，内嵌丽江、大小中甸等高盆地，具有丰富的草场资源。Ⅲ区、Ⅴ区为横断山区南段，多为中山宽谷和盆地。Ⅴ区纬度低，海拔低，位于哀牢山西南部，由于哀牢山的阻挡，南下的冷空气难以入侵，又是西南暖湿气流的迎风坡前，所以热量、水湿条件好，适宜于发展热带、南亚热带经济林木、水果、纤维作物、芳香植物和双季或三季水稻。

### 1.5.2 近 40 年来全省旱涝变化分析

图 1.16 为全省 125 个站平均年降水量距平百分率变化及 5 年滑动平均曲线图。由图中可以看出，全省降水量在近 37 年来经历了多一少一多一少的阶段性变化。60 年代至 70 年代中期为较长的湿润期，之后至 80 年代早期为偏少期，80 年代中期有一短的湿润期，80 年代末至 90 年代初为一强度较强的干期，之后有增多趋势。

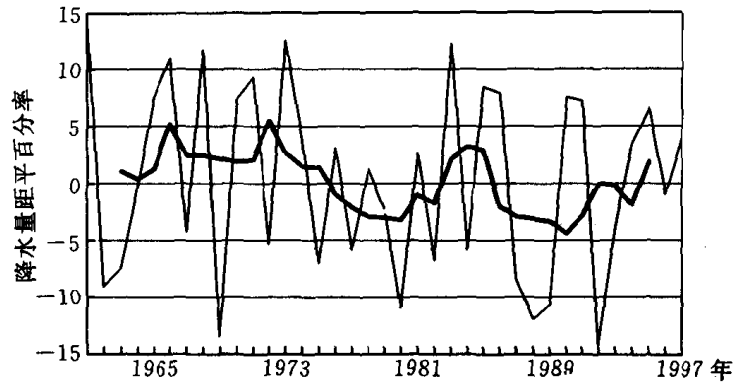



图 1.16 全省 125 个站平均年降水量距平百分率变化及 5 年滑动平均曲线

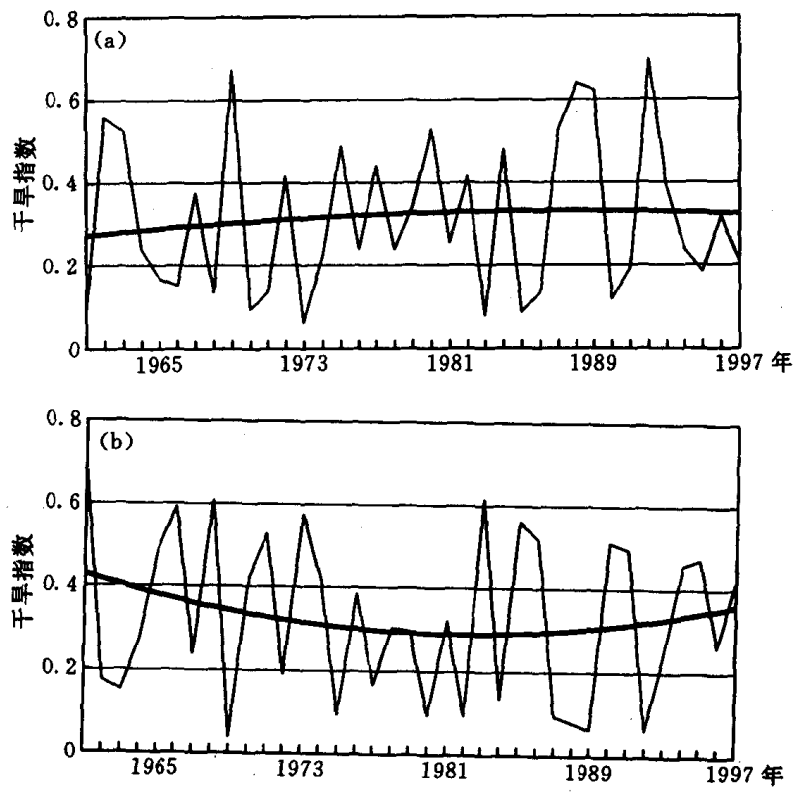



图 1.17 全省平均年降水量干旱指数（a)、湿润指数(b)及其二次多项式拟合曲线

需要全本请访问 www.ertongbook.com