

# 福建省夏旱期间空中水资源及 人工降雨条件

曾光平 方仕珍 林 芬

(福建省气象科学研究所,福州 350001)

## 提 要

该文通过对福建省夏旱期间不同天气类型的空中水资源分布特征分析,探讨夏旱期间各个旱区开展人工降雨的物理条件。

**关键词:**夏旱 空中水资源 最大可降水量 水汽通量散度 整层水汽辐合量

## 前 言

福建省位于我国东南沿海,界于23.33—28.19°N、115.50—120.43°E之间,东西宽约540km,南北长约550km,面积12.13万km<sup>2</sup>。处于温、热带的过渡地带,是典型的亚热带季风气候,温暖潮湿,水源丰富。但由于季风气候和复杂的地形影响,造成降水量在地理和季节上分布极不均匀,常造成严重的干旱、洪涝灾害。

本文根据10年历史资料,对福建省夏旱季节干旱时空分布及其空中水资源特征进行分析,寻找人工增雨的有利条件。

## 1 干旱及干旱分区

### 1.1 旱情

分析福建省干旱历史可以发现:①福建省有耕地面积约1800万亩,每年平均有200—600万亩耕地受干旱威胁。如1986年全省所有县市都遭受旱灾,粮食损失超过9亿斤。②春夏秋旱均有,其中以夏旱为主。③受干旱威胁最严重的为沿海地区,其中又以晋江、泉州更为严重。④干旱不仅对农业生产造成重大损失,同时也给工业生产、人民生活带来危害。如1986年大旱,全省53座大中型水库蓄水量仅为正常库蓄水量的36%,其中10座已到死

库容。从福鼎到惠安沿海数十万计的村庄群众饮水都发生困难,霞浦县25个村8000多人到5里外挑水饮用,每担水价高达1—1.5元。工业少发电6亿度左右。

### 1.2 干旱的分区

采用福建省气象夏旱指标(日降雨量<2mm连旱日数为16—25天、26—35天、36—45天,≥46天分别定义为小旱、旱、大旱、特旱)对1960—1980年全省各县出现夏旱进行统计。图1是全省夏旱期间干旱频数分布图及分区图。

从图1可以看出:按地形区域干旱分为两个长带。第一条长带:沿海;第二条长带:闽中大谷地。

综合考虑特、大、中、小旱,把我省干旱分成4个区:①以莆田、惠安为中心的福清以南沿海,称晋江片;②以霞浦和福鼎为中心的福清以北沿海,称福州片;③以南平、顺昌为中心南平地区及三明地区北部,称南平片;④以龙岩、连城、三明为中心的龙岩地区及三明地区南部,称连城片。

这4个区中以第一区的旱情最为严重,如惠安15年就发生了21次旱,平均每年出现夏旱1.4次,莆田平均每年出现近1.5次。惠安、

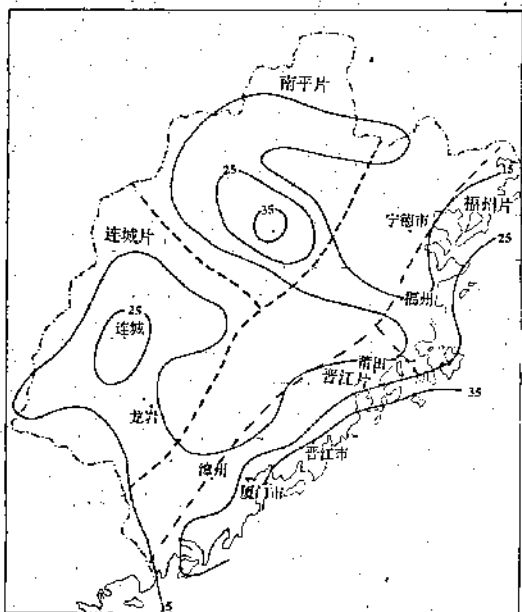


图1 福建省1960—1980年夏旱频数分布及分区图  
 断线为区界,下同

晋江、莆田、长乐、福清,特一大旱出现频数高达60%—40%(即10年中有6—4年出现特、大干旱)。给农业生产带来的损失也最大。

表1列出4个旱区代表站的4个夏旱年份(1974、1983、1986、1991年)夏季降雨量及其距平值。

从表1统计值可以看出,由于福建地理环境复杂,各年旱情分布差异极大。从干旱出现时空分布看,第一区、第二区最为严重,而从早期降雨量分布看第一区、第四区严重。

## 2 夏旱期间主要天气系统

福建省夏季致旱的大型环流系统,主要是副热带高压,在其控制下,气流下沉,久晴酷热,造成大范围干旱,根据副热带高压所处的不同位置分为以下三大类天气类型。

### 2.1 高压型(G型)

定义:副热带高压控制全省,588线北侧在南昌以北,西侧在赣州以西,南侧在汕头、

广西以南。

该型占全省干旱天数的66.3%。

### 2.2 副高北侧型(N型)

定义:我省处在副热带高压西北侧边缘,588线北界在我省中部。

该型占全省干旱天数的12.6%。

### 2.3 副高南侧型(S型)

定义:我省处在副热带高压南侧,588线通过我省中(南)部。

该型占全省干旱天数的8.1%。

此外还有弱环流型,南海高压型等,它们占全省干旱天数的13%。

## 3 空中水资源分布

水汽是降水的“原料”,查清干旱时期空中水资源分布是了解自然降水状况和人工增雨潜力的前提,为此,我们对不同的天气类型下全省旱区空中水资源进行分析。

计算区域:15—30°N,105—130°E 内63个探空站。网格间距为1°,计算个例80个。

计算物理量:1000hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa 水汽通量、水汽通量散度、含水量。

### 3.1 比湿及最大可降水量

根据探空资料计算各层比湿以及单位截面积空气柱的总水汽含量(即最大可降水量)

$$W = \int_0^{\infty} \rho g dz = \frac{1}{g} \int_0^{P_0} q dP \quad (1)$$

若 $q$ 以 $g \cdot kg^{-1}$ 计算, $P$ 以hPa计算,则水深以mm计算,最大可降水量为:

$$\bar{W} = 10^{-2} \int_0^{P_0} q dP \quad (2)$$

由于水汽集中在低层,因此一般积分限是从地面到400hPa。

表2、3、4是夏旱期间G型、N型、S型各层比湿及整层水汽总量(即最大可降水量)统计结果。

表1 夏旱年份各区代表站降雨量  $R/mm$  及其距平值  $\Delta R/\%$

旱区代表站	1974年		1983年		1986年		1991年	
	$R$	$\Delta R$	$R$	$\Delta R$	$R$	$\Delta R$	$R$	$\Delta R$
惠安	136.1	-55.23	174.1	-42.73	222.5	-26.81	125.9	-58.59
霞浦	239.1	-45.26	263.0	-39.79	186.2	-57.37	318.6	-27.06
南平	249.6	-41.90	270.3	-37.08	318.7	-25.81	195.8	-54.42
连城	242.4	-32.93	183.0	-49.36	123.2	-65.91	206.2	-42.94

表2 G型天气形势下,各层比湿  $q/g \cdot kg^{-1}$  及最大可降水量  $R_{max}/mm \cdot cm^{-2}$

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	
比 湿	1000	16.9	20.5	9.3	21.0	17.0	20.8	9.6	20.8	16.9	20.2	9.2	20.9	17.3	20.6	9.3	20.7
	850	12.6	17.5	6.1	17.9	12.0	16.4	4.9	15.6	12.0	15.0	6.1	16.0	12.2	15.0	6.1	15.2
	700	7.3	9.9	1.4	9.9	6.9	10.1	1.0	10.1	7.1	9.5	2.3	10.0	7.0	9.4	2.7	9.5
	500	2.7	4.6	1.0	5.1	2.6	4.1	2.0	4.4	2.8	4.5	2.4	5.1	2.7	4.4	1.5	4.7
$R_{max}$	51.3	66.0	25.4	66.0	49.2	63.2	22.9	65.3	50.7	63.8	25.7	65.0	50.4	63.7	28.4	64.7	

表3 N型天气形势下,各层比湿  $q/g \cdot kg^{-1}$  及最大可降水量  $R_{max}/mm \cdot cm^{-2}$

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	
比 湿	1000	18.1	20.1	15.2	20.4	18.7	20.2	16.4	20.2	18.7	19.8	16.4	19.8	19.0	20.1	17.2	20.1
	850	14.1	15.5	11.2	15.5	13.9	16.3	12.3	16.3	13.6	15.3	12.0	16.0	13.6	15.1	12.2	16.1
	700	8.6	10.8	6.1	11.2	8.2	10.0	6.0	10.0	8.2	9.9	6.7	10.2	8.0	9.2	5.5	9.3
	500	3.5	5.1	2.0	5.2	3.5	4.7	2.1	4.7	3.3	4.0	1.7	5.1	3.2	4.3	1.7	4.3
$R_{max}$	59.0	67.5	53.7	67.5	58.2	69.1	51.1	69.1	57.4	63.1	51.8	66.3	56.4	62.2	51.4	62.2	

表4 S型天气形势下,各层比湿  $q/g \cdot kg^{-1}$  及最大可降水量  $R_{max}/mm \cdot cm^{-2}$

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	区域 平均	区域 最大	区域 最小	单点 最大	
比 湿	1000	17.8	20.7	13.0	20.9	18.0	19.6	14.3	19.6	18.1	19.7	15.8	19.7	18.3	19.4	16.5	19.5
	850	12.9	14.5	10.5	15.1	12.8	14.5	10.9	14.5	13.2	14.7	11.7	15.1	13.1	14.7	11.5	14.8
	700	8.1	9.9	6.4	10.2	8.0	9.0	6.5	9.8	8.0	10.0	6.7	10.3	8.2	9.7	7.0	10.3
	500	3.5	5.0	2.0	5.3	3.2	4.9	2.0	5.1	3.7	5.6	2.1	6.0	3.6	5.5	2.1	5.8
$R_{max}$	55.5	64.5	46.8	66.6	54.8	65.8	47.7	65.8	57.3	67.6	50.6	67.7	57.0	67.2	50.7	68.8	

分析表2、3、4和图1可以看出:

3.1.1 早期各层比湿偏小,空气湿度低,中低层较干,单位截面积空气柱平均水汽总量 < 60mm·cm<sup>-2</sup>。且75%左右水汽分布在850hPa层以下。

3.1.2 副高北侧型(N),单位截面积空气柱水汽总量福建省西北部(南平片)比沿海南部(晋江片)大。平均值大2.4mm·cm<sup>-2</sup>,最大值大5.3mm·cm<sup>-2</sup>。中低层比湿也是南部沿海最小。

3.1.3 副高南侧型(S),单位截面积空气柱水汽总量我省南部(连城片、晋江片)比北部两个片大,平均值大2—4mm·cm<sup>-2</sup>,最大值大3mm·cm<sup>-2</sup>,而且中低层比湿也是南部比北部大。

3.1.4 副高控制下,全省4个旱区空气比湿及整层空气柱水汽总量很少,平均值< 52mm·cm<sup>-2</sup>,最小值为< 30mm·cm<sup>-2</sup>,空气非常干燥。

3.1.5 台风外围影响下,沿海地区可超过60mm·cm<sup>-2</sup>,空气湿度大。

### 3.2 水汽通量散度

根据水汽的收支和平衡来分析降水率(降水强度),可以得出降水率  $I$  近似地等于气柱中水汽的总辐合量即

$$I \approx - \frac{1}{g} \int_0^{P_0} \nabla \cdot \vec{v} q dP \quad (3)$$

为此计算分析不同天气类型下,各层水汽通量散度及整层水汽辐合量,表5—7为早期主要降水天气类型:G、N、S的计算结果。

表5 G型天气形势下,各层水汽通量散度/10<sup>-7</sup>g·cm<sup>-2</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>及整层水汽辐合量/mm·cm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	
	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	
水汽通量散度	1000	-0.9	2.8	-2.9	-3.9	-0.2	3.4	-2.9	-3.7	-1.0	1.3	-5.1	-7.3	-0.8	1.3	-2.2	-3.1
	850	-0.2	3.5	-2.6	-3.6	0.3	5.3	-1.3	-1.5	-0.1	3.2	-3.8	-4.9	0.2	1.4	-1.2	-3.9
	700	0.1	2.6	-1.3	-1.7	0.1	1.1	-0.8	-1.7	-0.1	1.2	-1.9	-2.0	0.03	1.0	-0.8	-1.8
	500	0.1	0.8	-0.6	-1.1	0.1	0.5	-0.8	-0.8	0.1	1.1	-0.9	-1.1	0.04	0.4	-0.4	-0.8
整层水汽辐合量	0.1	1.8	-2.1	-3.1	-0.2	2.4	-2.1	-3.8	-0.1	2.6	-1.9	-3.0	0.1	1.1	-1.3	-2.1	

表6 N型天气形势下,各层水汽通量散度/10<sup>-7</sup>g·cm<sup>-2</sup>·hPa<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>及整层水汽辐合量/mm·cm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	
	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	
水汽通量散度	1000	-0.81	1.5	-3.9	-4.3	10.2	4.1	-2.9	-4.5	-0.30	2.8	-4.9	-6.3	-0.28	1.4	-1.6	-2.6
	850	-0.28	1.6	-2.9	-3.9	-0.34	3.0	-2.8	-3.6	-0.46	2.0	-2.7	-3.0	-0.00	1.8	-1.5	-1.9
	700	0.07	1.1	-1.7	-5.6	-0.09	1.1	-1.6	-2.7	0.32	3.4	-1.5	-1.5	0.18	1.4	-0.9	-1.1
	500	-0.08	0.8	-1.0	-1.0	0.13	1.3	-0.6	-0.9	0.09	0.9	-1.6	-1.6	0.06	0.5	-0.4	0.4
整层水汽辐合量	0.70	4.3	-1.4	-3.2	-0.04	1.5	-1.8	-1.8	0.40	2.3	-1.8	-2.4	-0.13	1.1	-1.3	-2.5	

表7 S型天气形势下,各层水汽通量散度/ $10^{-7}g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$   
及整层水汽辐合量/ $mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$

层/hPa	南平片				福州片				连城片				晋江片				
	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	区域	区域	区域	单点	
	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	平均	最大	最小	最小	
水汽通量散度	1000	-1.31	1.2	-4.4	-5.4	-0.46	3.1	-2.9	-3.0	-1.24	1.9	-5.3	-6.8	-0.14	1.7	-3.0	-3.3
	850	-0.14	3.6	-2.3	-2.5	1.03	2.5	-1.6	-2.9	-0.98	3.3	-6.3	-6.3	0.40	1.7	-2.1	-3.5
	700	-0.76	0.5	-2.9	-3.4	-0.06	1.0	-2.0	-2.0	-0.61	2.0	-5.0	-5.0	0.14	1.9	-1.1	-2.0
	500	-0.07	0.9	-1.4	-1.4	-0.14	0.9	-1.0	-1.4	0.03	1.1	-2.9	-3.1	0.16	1.1	-0.6	-1.2
整层水汽辐合量	0.55	5.5	-1.3	-2.7	0.42	2.9	-2.4	-2.4	0.82	5.6	-1.6	-3.1	-0.29	2.0	-1.6	-7.5	

上表中水汽通量散度负值表示水汽辐合,正值表示辐散。分析表5—7可以看出:

3.2.1 夏旱期间水汽辐合量平均来源很少。其中又以G型最小( $\leq 0.1mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ ),副高北侧型平均值达 $0.7mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ (南平片),副高南侧型居中。

3.2.2 内陆地区平均水汽辐合量大于沿海。如副高北侧型南平片和连城片平均值分别为 $0.7$ 和 $0.4mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ ,沿海两个片均为辐散;副高南侧型,南平片和连城片分别为 $0.55$ 和 $0.82mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ ,沿海的福州片为 $0.42mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ ,晋江片整层平均为辐散。

3.2.3 区域平均水汽辐合量最大值也是高压型最小,区域最大值为 $2.6mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ (连城片),S型最大等于 $5.6mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ (连城片),N型居中等于 $4.3mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ (南平片)。

#### 4 个例分析

##### 4.1 副高北侧型(N)

图2是1979年7月19日20时整层水汽辐合量和整层水汽总量分布图。当天副高588线位于我省北部,整层水汽总量北部明显大于南部,差值达 $9mm \cdot cm^{-2}$ 。特别南平片最大为 $67.5mm \cdot cm^{-2}$ 。整层水汽辐合总量也是北部

大于南部(差值达 $5.5mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ )内陆大于沿海。南平片最大总辐合量 $> 4.0mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ ,南部两个片(连城片、晋江片)整层水汽是辐散的。可以看出南平片空中水资源较全省其它地方丰富,有利于开展人工增雨。

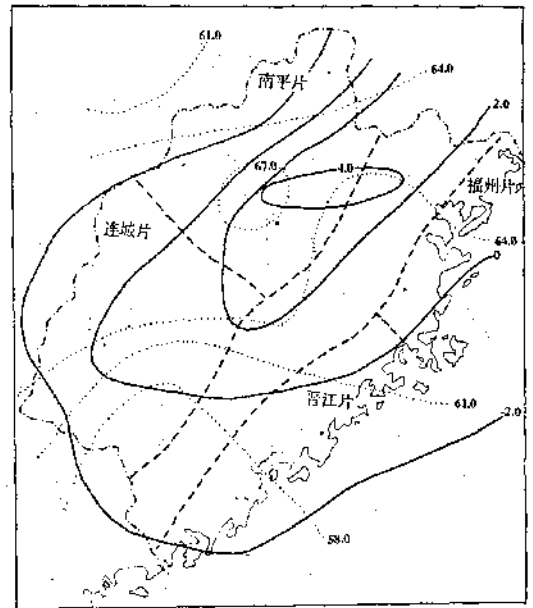


图2 1979.7.19.20时整层水汽辐合量/ $mm \cdot cm^{-2} \cdot h^{-1}$ 和水汽总量/ $mm \cdot cm^{-2}$ 等值线图  
实线为辐合量,虚线为水汽总量,下同

##### 4.2 副高南侧型(S)

图3是1983年7月25日20时整层水汽辐合量和整层水汽总量的分布图。当天副热带高

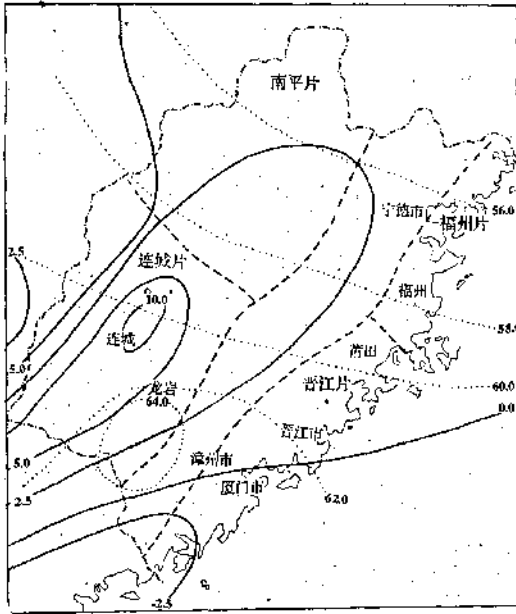


图3 1983.7.25.20时整层水汽辐合量/ $\text{mm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 和水汽总量/ $\text{mm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 等值线图

压588线位于福建省南部沿海,属副高南侧型。8304号台风位于 $21.0^{\circ}\text{N}$ 、 $121.3^{\circ}\text{E}$ ;中心气压为950hPa。7月25日,台风位于 $24.6^{\circ}\text{N}$ 、 $117.0^{\circ}\text{E}$ ,已登陆,中心气压升到990hPa。受台风外围影响,南部整层水汽总量达 $64.0\text{mm}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,明显大于北部,特别是南部的连城片。整层水汽辐合总量有一个近似西

南—东北的轴线分布(轴线位于连城—南平),中心值高达 $11.87\text{mm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,且沿海小于内地,这虽然由于8304号台风登陆水汽大量输出造成的,与之相应在中部产生大暴雨。很显然连城片空中水资源极为丰富,北部地区空中水资源也很丰富,出现大片积层混合云是人工降雨极好的时机。

### 5 小结

5.1 占我省夏旱天数66%的副高控制型,其整层水汽总量及整层水汽辐合总量偏小,不利于开展人工降雨,但在山区,由于局地加热常会引起热对流,有利人工降雨。

5.2 副高588线北侧位于我省中北部时,内陆的南平片、连城片,特别是南平片空中水资源比沿海较为丰富,有较明显水汽辐合,有利于人工降雨。

5.3 副高588线南侧位于我省中南部时我省南部的连城片和晋江片特别是连城片水汽总辐合量较大,平均达 $1.46\text{mm}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,有利于开展人工降雨。

5.4 台风是解除我省干旱一个极为重要的天气系统,在台风外围影响下,或台风登陆后低压影响下,我省空中水资源明显增大,是人工降雨极好机会。

参考文献(略)

## The Air Water Resources and the Conditions for Artificial Precipitation in the Summer Drought Periods in Fujian Province

Zeng Guangping Fang Shizhen Linfen

(Fujian Province Meteorological Institute, Fuzhou 350001)

### Abstract

The distributions of the water resource in the air under conditions of various synoptic patterns in the drier duration in Summer are analysed. An Approach to the physical conditions for artificial precipitation in each arid area is made.

**Key Words:** water resource in the air potential precipitation moisture flux divergence