

三峡坝区截流期气候 背景及径流特征分析¹⁾

杨贤为 鞠笑生 王有民

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

根据宜昌最近四十多年逐日气象资料 and 一百多年流量资料,详细分析了大江截流期(10—12月)坝区的一般气候特征和可能影响施工的气温、降水、风、天气现象等演变规律。最后,着重探讨了坝址在截流期(11月)的流量和上游汇水区前期降水量的统计关系,并在此基础上建立了流量的长期预报模式。

关键词: 三峡 坝区 气候特征 流量

引 言

气势宏伟的长江三峡水库工程以其规模之巨、工期之长和难度之大为举世所罕见,而1997年的大江截流施工是整个三峡工程前期的关键性骨干工程,其进展顺利与否将直接影响到整个工程的进展。由于三峡坝区位于鄂西山地与江汉平原的过渡地带,地形复杂,气候多变,围堰施工的进度和质量在很大程度上将受到当时诸多气象条件的制约,因此,结合施工要求,及时、准确地揭示坝区在截流期(10—12月)的气候背景和径流特征,了解该地区的一般气候规律,探讨坝址流量与上游前期降水量的统计关系,无论对于制订长、中、短期气象预报,或为大江截流施工的计划安排、组织实施工和调度指挥提供科学依据,无疑都具有十分重要的意义。

1 资料

长江三峡水利枢纽坝址位于湖北省宜昌三斗坪镇,考虑到历史资料序列的长度,本研

究以宜昌站的实测资料代表坝址。为了分析该地区的气候特征和水文特征,我们收集了宜昌1961—1994年的逐日气温、风和天气现象资料,1951—1993年的逐日降水量资料以及1882—1995年的逐月平均流量和最大、最小流量资料。为了讨论截流期(11月)宜昌的流量与上游汇水区降水量的统计关系,我们还收集了成都等14站1961—1993年的逐月降水资料。另外,本研究所使用的若干气象要素的多年平均值,部分采自国家气象中心气候应用室整编的30年(1961—1990)地面气候资料。

2 坝区一般气候特征

宜昌地处长江上游、中游交界处,属亚热带湿润季风气候区,冬冷夏热,雨量充沛,农作物生长期较长^[1]。从宜昌累年各月和年的平均气温及降水量^[2](表略)可见,此地年平均气温16.8℃,最热月7月的气温为27.9℃,最冷月1月的气温为4.8℃,气温年

1) 马天健、夏洪星、李淑华承担部分统计工作和辅助工作。

祝昌汉、王树廷同志为本文思路、内容、结构提供了指导性意见,特此致谢。

较差为 23.1℃。平均年降水量达 1155.0mm，雨量主要集中在夏半年，其中尤以 7 月为最 (210.2mm)；冬半年相对降水较少，1 月份的降水量只有 18.8mm，仅为 7 月降水量的 1/10。

按候温 < 10℃ 为冬季，> 22℃ 为夏季，10℃—22℃ 为春秋季节的标准，据多年气温资料的计算表明，该地区冬季平均自 11 月 27 日开始，历时 105 天；春季自 3 月 12 日开始，历时 70 天；夏季自 5 月 21 日开始，历时 130 天；秋季自 9 月 28 日开始，历时 60 天。综上所述，可见本地区最为显著的气候特征可概括为：(1) 水热同季，夏季炎热多雨，冬季相对寒冷干燥；(2) 四季分明，冬、夏长，春、秋短。

以上是一般气候特征，下面将根据对截流工程可能造成影响的若干主要气象要素统计特征值分别予以讨论。

3 气温

气温是表征某地气候特征最重要的气候要素之一，在施工期间出现高温和低温，都会不同程度地影响工程的进程和质量。

3.1 极端最高、最低气温

从宜昌 1961—1990 年期间逐日最高、最低气温中挑选的各月极端最高、最低气温及出现日期(表略)，对照各月平均气温可发现：(1) 虽然月平均气温以 7 月为最高，年极端最高气温却出现在 8 月。(2) 月平均气温最低值和年极端最低气温均出现在 1 月。(3) 气象上通常将日最高气温 ≥ 35℃ 的天气称为高温天

气，宜昌 4—9 月有可能出现高温天气。在这种天气条件下野外作业，特别要注意防暑降温。(4) 日最低气温 ≤ 0℃ 的日数称为低温日数，宜昌 11—3 月有可能出现此类日数。

3.2 10—12 月最低气温 ≤ 0℃ 和 ≤ 4℃ 的最长连续日数

三峡地区低温出现在 10—12 月，此时段内低气温对施工的影响不容忽视。当气温在 4℃ 以下时，混凝土的水化作用将十分缓慢；当气温降至 0℃ 以下时，水化作用基本停滞^[3]，这两种情况最终都会减弱混凝土的强度。鉴于此，我们根据 1961—1994 年的逐日最低气温资料，分别统计了 10—12 月期间日最低气温 ≤ 4℃ 和 ≤ 0℃ 的最长连续日数的各项统计特征值(见表 1)。表 1 中保证率 ≥ 95% 的数值是根据文献[4]所介绍的方法推算的。由表 1 可见，不论 ≤ 4℃ 还是 ≤ 0℃ 的最长连续日数均出现在 12 月，如将截流工程安排在 11 月底以前实施，则可避免或减缓低温对工程的影响。

3.3 10—12 月期间的强降温过程

气温在短时期内急剧下降，即所谓强降温过程，对施工的影响尤其严重。本研究将 48 小时以内日平均气温下降 10℃ 以上且最低气温降至 4℃ 以下的过程称为强降温过程^[1]。按此指标我们普查了宜昌 1961—1994 年 10—12 月的全部日平均气温和最低气温记录，从中共挑出 4 次强降温过程，如表 2 所示。

表 1 宜昌 10—12 月日最低气温 ≤ 4℃ 和 0℃ 的最长连续日数出现日期和各项特征值

	出现月份	平均值	极值及其出现时段	保证率 ≥ 95% 的值
≤ 4℃	12	8.8 天	26 天	≤ 20 天
			(1975.12.6—31)	
≤ 0℃	12	2.5 天	10 天	≤ 8 天
			(1984.12.22—31)	

表 2 宜昌 10—12 月强降温过程特征

起止日期	1969.11.14—16	1970.12.13—15	1990.12.10—12	1993.11.16—18
日平均气温下降幅度/℃	11.0	10.1	11.6	11.9
过程最低气温/℃	3.5	3.1	1.0	0.9
年平均次数			0.12	
极值			1	
保证率 ≥ 95% 的值			1	

从此表可知,这34年里10月份无强降温过程出现,11月份出现了3次,12月出现了1次,平均每年仅0.12次,可见截流期间强降温过程的发生率相当低,在上述4次过程中,以降温幅度之大和最低气温之低而言,当属1993年11月的那一次。

4 降水

和气温一样,降水也是表征某地气候特征最重要的气候要素之一。降水,特别是强度较大和历时较久的降水,既能造成道路泥泞、车辆堵陷,又能导致被挖土方积水,混凝土遭受雨水冲刷,降水对工程进度和质量的影响

是显而易见的。

4.1 10—12月最长连续降水日数和最长连续无降水日数

气象上规定日降水量 $\geq 0.1\text{mm}$ 为降水日;反之,日降水量不足 0.1mm 称为无降水日。循此指标,我们在宜昌1951—1993逐日降水量资料的基础上整理、归纳成表3。显然,连续降水日数愈长对施工愈不利,连续无降水日数愈长则对施工愈有利。从表3中极大值和极小值的差异可看出,不论连续降水期或连续无降水期,年际变率相当大。

表3 宜昌最长连续降水日数和最长连续无降水日数的统计值

	平均值	极大值及其出现时段	极小值及其出现时段	保证率 $\geq 95\%$ 的值
最长连续降水日数	6.8天	16天 1985.10.9—24	3天 1970.10.24—26	≤ 14 天
最长连续无降水日数	16.4天	34天 1981.11.26—12.29	6天 1953.12.8—13	≥ 8 天

4.2 10—12月暴雨日数和大雨日数

日降水量 $\geq 50\text{mm}$ 的日数称暴雨日数;日降水量 $\geq 25\text{mm}$ 但 $< 50\text{mm}$ 的日数称大雨日数。施工期间发生暴雨或大雨会增加作业

难度,加剧施工人员的体力消耗,甚至冲毁部分建筑物。经统计,宜昌1951—1993年10—12月暴雨、大雨日数的各项特征值如表4所示。

表4 宜昌10—12月暴雨和大雨日数的特征值

	出现日数				平均值	极大值及出现年月	保证率 $\geq 95\%$ 的值
	10月	11月	12月	10—12月			
暴雨	5	0	0	5	0.12	2天 1983.10	≤ 1 天
大雨	26	9	0	35	0.81	3天 1983.10	≤ 3 天

从表4不难看出,除少数年份的10月份曾发生暴雨外,11、12月均无出现。大雨也大多集中在10月份,11月份较少发生,12月份未曾出现。

4.3 宜昌主汛期的起止日期

坝区1997年汛期何时结束和1998年汛期何时开始,是直接关系到截流计划能否按期实施的重要因素,而对此作出科学判断的先决条件之一是对历年汛期的起止日期进行统计分析。

这里规定某年当连续2旬以上的旬雨量

大于或等于多年平均每旬降水量的1.5倍时,将第一旬视为汛期开始^[5];当汛期开始后某旬雨量小于此值时,此旬前一句定为汛期结束。

图1给出了1961—1993年多年平均旬雨量,从中可清楚看出,该地区汛期自6月下旬开始,至9月上旬结束。除平均起止日期外,表5还列出了起止期的其它统计特征值。由表5可知,宜昌汛期最晚在9月下旬结束,故截流期(10—12月)可确保不受汛期影响;汛期最早从4月中旬开始,故围堰后期工程

至少有4个月不受汛期影响。

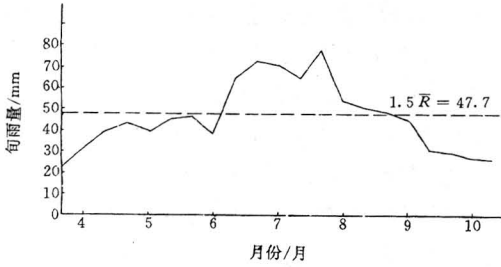


图1 宜昌1961—1993年累年逐旬平均雨量和主汛期($R > 1.5\bar{R}$)起止日期

表5 宜昌汛期起止日期统计值

平均日期	最早日期	最晚日期	保证率 $\geq 95\%$ 的日期
开始	6月下旬	4月中旬	7月下旬
结束	9月上旬	7月中旬	9月下旬以前

5 风

风也是重要的气候要素之一。施工期间出现大风天气不但有碍交通运输,还可能影响主体结构的焊接工艺。本区属季风区,冬夏盛行风向明显交替,但在地形影响下,也会出

表7 宜昌1961—1994年主要天气现象的统计值

	扬沙	雷暴	大风	雾	降雪	浮尘	结冰
10月日数	0	25	2	56	0	5	0
10月平均值	0	0.74	0.06	1.65	0	0.15	0
11月日数	2	7	0	83	5	26	6
11月平均值	0.06	0.21	0	2.44	0.15	0.76	0.18
12月日数	3	3	1	151	54	21	165
12月平均值	0.09	0.09	0.03	4.4	1.59	0.62	4.85
10—12月日数	5	35	3	290	59	52	171
10—12月平均值	0.15	1.03	0.09	8.53	1.74	1.53	5.03
极大值及出现年份	2 1971	4 1972	1 3年	16 1994	7 1971	16 1973	16 1975
保证率 $\geq 95\%$ 的日数	≤ 2	≤ 3	≤ 1	≤ 15	≤ 6	≤ 13	≤ 15

6.1 影响能见度的天气现象

表7中扬沙、浮尘和雾属此类天气现象。扬沙、浮尘可使能见度小于10km,雾则使能见度小于1km^[6]。该地区10月无扬沙出现,11、12月也极少出现。浮尘平均每年出现1—2次,多见于11、12月。该地区雾颇多见,10—12月呈逐月增多趋势,平均每年有8—9个雾日,个别年份多达16天。因此,对于大雾

现局地性的风场。表6列出宜昌10—12月各月平均风速、盛行风向和最大瞬时风速。从中可看出:(1)10—12月期间风速不大,各月均以静风(C)为最高频率,估计对截流施工不会构成重大影响;(2)除静风外10—12月的盛行风向均为东南风(SE);(3)历史上出现的最大风速以10月为最大,12月次之,11月最小。

表6 宜昌10—12月风速和风向(1961—1990年)

	10月	11月	12月
平均风速/ $m \cdot s^{-1}$	1.0	1.1	1.1
盛行风向	C SE	C SE	C SE
和出现频率/%	48 10	47 11	49 13
最大风速/ $m \cdot s^{-1}$	15.3	9.7	12.3
及其风向	SSE	NE	NNE

6 影响施工的天气现象

根据1961—1994年的逐日天气现象资料,对于大江截流期间(10—12月)宜昌地区可能影响施工的若干种天气现象进行了详细的统计,其结果列于表7。

天气可能给施工造成的影响,切不可掉以轻心。

6.2 与低温有关的天气现象

降雪和结冰与气温降低密切相关,这两种天气现象大多发生在12月,10月未曾出现,11月也较为罕见。如将截流施工安排在11月之前,则可大大避免冰雪天气对交通运输造成的困难。

6.3 雷暴和大风

雷鸣电闪,狂风大作,不但可摧毁建筑物,而且危及施工人员的人身安全。10—12月期间,雷暴日数按月递减,11、12月很少出现。大风日数出现的频数更少,估计不会对施工造成什么危害。

7 截流期坝区流量及其与长江上游前期降水的关系

根据长江三峡工程的初步设计,大江截流的设计流量为 $8000-14000\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,因此,截流工程能否顺利进行,很大程度上取决于施工期间的实际流量。

7.1 宜昌径流量的年变化特征和枯水期

宜昌位于长江三峡的出口,控制着长江上游百万 km^2 面积的来水。我们依据该站1882—1995年的逐月平均流量资料,计算出1—12月各月流量的多年平均值(见图2)。

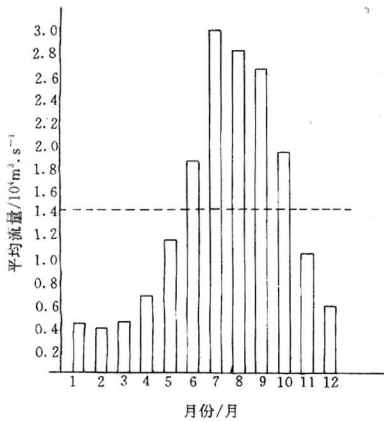


图2 宜昌各月平均流量
虚线表示年平均流量

由图可见,宜昌各月流量有类似降水量那样的年变化特征,6—10月的月平均流量在年平均流量以上,为丰水期,其中尤以7—9月最为突出,月流量均超过 $2.6 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,7月份甚至超过 $3.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。11月—5月的流量在年平均流量以下,为枯水期,其中又以2月流量最小,只有 $0.39 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,仅占7月平均流量的1/7至1/8。11月作为枯水期的起始月,平均流量为 $1 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,11月以后流

量急剧下降,因此从月平均流量来看,将11月定为截流期是可行的。

7.2 宜昌11月历年平均流量的特征

为了解宜昌11月流量的多年变化,我们将历年11月的流量从大到小排列,并规定该月平均流量 $\geq 1.4 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 为高流量年,介于 $1.0-1.4 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 之间为中流量年, $< 1.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 为低流量年,各特征值经统计后列于表8。从中可知高流量年的出现频率只有3%,即100年仅出现3年,据此可认为,宜昌11月的流量在 $1.4 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 以下的保证率高达96%以上,也就是说,在绝大多数年份11月的实际流量都不超过截流设计流量的上限。

7.3 宜昌11月历年最大流量的分布特征

从宜昌114年(1882—1995年)11月的最大流量资料来看,最大值出现在1908年,最大流量超过 $3 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,最小值出现在1936年,最大流量为 $0.82 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。现将历年出现的11月最大流量分成4个级别列于表8。

从表8可知,历年11月最大流量大多在 $1.0-2.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,小于 $2.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的保证率为89%,大于 $1.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的保证率为97%。

7.4 宜昌11月平均流量与长江上游前期降水的关系

宜昌上游主要水系包括金沙江、岷江、沱江、嘉陵江以及上游干流区^[7],在上述范围内我们挑选绵阳、成都、阆中、达县、奉节、万县、遂宁、绿葱坡、宜昌、内江、重庆、涪陵、叙永、金佛山等14站并利用这14站的平均雨量来表示长江上游水系的平均雨量。然后,采用文献[8]所介绍的相关系数计算方法,对1961—1993年宜昌11月的平均流量与上述14站前期平均雨量进行相关普查,计算结果(表略)表明,宜昌11月平均流量和上游水系8月、9月以及8—10月平均雨量的相关系数很低,均不能通过 $\alpha=0.10$ 的相关检验。相比之下,宜昌11月平均流量和上游水系10月平均雨量相关系数为0.4978,通过 $\alpha=0.01$ 的t检验。现以 R_{10} 表示绵阳等14站10月份

的平均雨量,以 Q_{11} 表示宜昌 11 月份的平均流量,则两者之间的统计关系可用下面的回归方程表示:

$$\hat{Q}_{11} = 7206 + 3.2287R_{10}$$

表 8 宜昌 11 月平均流量、最大流量多年(1882—1995)统计值

平均流量	出现年数	出现频率	最大流量	出现年数	出现频率
$<1.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	50	44	$<1.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4	3
$1.0 - 1.4 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	60	53	$1.0 - 2.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	99	87
$\geq 1.4 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4	3	$2.0 - 3.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	11	10
			$\geq 3.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1	1

根据上式计算的宜昌 11 月平均流量估计值 \hat{Q}_{11} 和实测值 Q_{11} 如图 3 所示。总的来看,60 年代实测值大于估计值;70 年代到 80 年代初两者走向比较吻合;80 年代到 90 年代初,实测值的变化幅度大于估计值。尽管如此,利用回归方程提前一个月估算宜昌 11 月的平均流量,仍具有一定的参考价值。

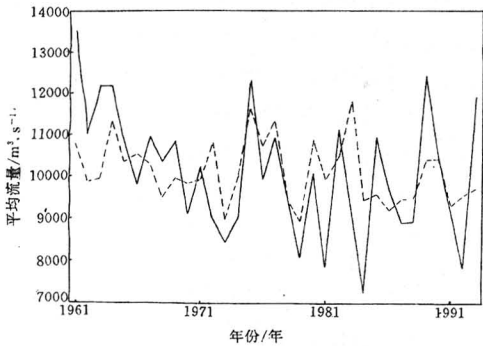


图 3 根据长江上游 10 月雨量计算的 11 月平均流量 \hat{Q}_{11} (虚线)和实测值 Q_{11} (实线)

参考文献

- 1 盛承禹等. 中国气候总论. 北京: 科学出版社, 1986: 432—440, 157—161.
- 2 国家气象中心气候应用室. 中国地面气候资料(1961—1990).
- 3 朱瑞兆. 应用气候手册. 北京: 气象出版社, 1991: 136—144.
- 4 谭冠日等. 应用气候. 上海: 科学技术出版社, 1985: 27—28.
- 5 詹道江等. 可能最大暴雨与洪水. 北京: 水利电力出版社, 1983: 90—95.
- 6 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979: 21—27.
- 7 王钦梁. 中长期水文气象预报文集第一集. 北京: 水利电力出版社, 1979: 263—269.
- 8 王树廷等. 气象资料的整理和统计方法. 北京: 气象出版社, 1984: 110—113, 15—18.

Climate Background and Flow-off Features during the Damming Period in Sanxia Area

Yang Xianwei Ju Xiaosheng Wang Youmin

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

Based on the daily meteorological data in the recent 40-year and the flow-off data for more than one hundred, the climate features during the damming period in Sanxia area and the variabilities of the weather element, such as temperature, precipitation, wind and weather phenomenon, which would affect the engineering procedures, are analysed in detail. The statistical relationship between the streamflow at dam site during the damming period and precipitation for previous period in the upper reservoir area, and then the long-term forecast model of streamflow are established.

Key Words: Sanxia Dam climate feature streamflow