

沃尔什变换及其在 降水场展开和分析中的应用

王 建 新

提 要

本文将二维沃尔什变换应用于长江中下游地区6、7两个月的月降水场的展开和分析,给出了沃尔什变换的典型场及其对应系数的天气学意义,导出了度量展开质量的相对指标 R^2 及拟合均方差SD的公式,讨论了沃尔什变换的收敛性及与时间无关的性质,并与车贝雪夫多项式展开作了比较,然后根据几个主要的沃尔什变换系数分析降水场,最后选用16个系数对降水场进行拟合。

为了客观、定量地描述气象要素场,气象统计学中常采用典型场分解的方法,如:谐波分析法、自然正交函数法、车贝雪夫多项式法、混合多项式法等。这些方法的基本思想是把实际的气象要素场看成是由许多函数代表的典型场按不同的权重系数叠加的结果。若取主要项拟合,则能滤去小扰动,突出所研究的天气过程的特征。在气象信息日益丰富、传输速度日益迅速的今天,为了适应迅速处理大量气象信息的要求,本文根据典型场分解的思想,将沃尔什变换用于气象要素场的展开。结果表明沃尔什变换同样可用于客观、定量地表征气象要素场,且具有计算简便、迅速的优点。

沃尔什函数系(Walsh, J.L., 1923)是只取+1和-1的两值跳变的、完备的正交函数系,内容十分丰富^[1,2]。它用于分析和处理数字信号时,只涉及加、减运算,计算速度快,存储量小,应用简便。近二十年来,沃尔什函数及沃尔什变换在电讯等领域得到了广泛应用,而在气象上则鲜为人知。1984年,马益三将一维沃尔什变换应用于岷江五通桥站年最大暴雨洪水流量的长期预报,取得了较好的效果^[3]。但这只是单站的预报,而近代气象统计学的一个显著特点是以表征大尺度天气形势(或要素场)的参数为依据的,这对预报由点到面的过渡有重要意义。因此,本文将二维沃尔什变换应用于1959—1983年6、7月降水场的展开及分析。

一、二维有限沃尔什变换

1. 沃尔什序数的沃尔什函数

用记号 $S_w = \{Wal(i, t), i = 0, 1, 2, \dots, N-1\}$ ($N = 2^n, n = 1, 2, 3, \dots$) 表示属于这一类的沃尔什函数组。i 表示 S_w 的第 i 个元素。由沃尔什变换的采样定理^[1] 将前 8 个沃尔什函数(图 1 a)在 2^3 个等距格点上采样, 则得到图 1 b 所示的 (8×8) 的沃尔什序数的阿达马矩阵 $H_w(3)$, 一般地可得到 $(N \times N)$ 的矩阵 ($n = \log_2 N$)。

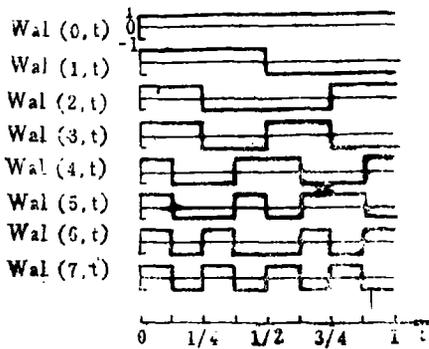


图 1 a 沃尔什序数的连续沃尔什函数

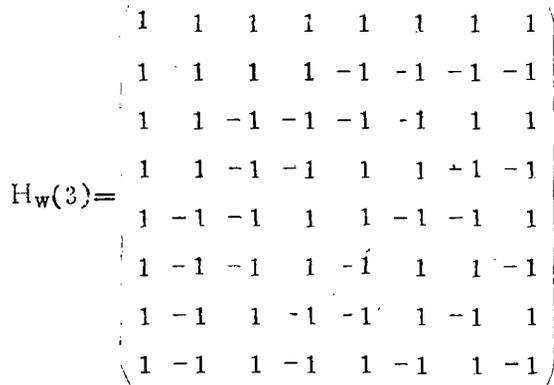


图 1 b 沃尔什序数的离散沃尔什函数

将整数 n 及 t 表示为二进制中的形式, 即 $(n)_{+2进制} = (n_{m-1}n_{m-2}\dots n_1n_0)_{+2进制}$, $(t)_{+2进制} = (t_{m-1}t_{m-2}\dots t_1t_0)_{+2进制}$, 则 $H_w(n)$ 的元素可表示成

$$Wal(n, t) = (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} r_i(n)t_i}$$

式中 $r_i(n)$ 为 n 的格雷码, $r_0(n) = n_{m-1}$, $r_1(n) = n_{m-1} + n_{m-2}$, \dots , $r_{m-1}(n) = n_1 + n_0$ 。

沃尔什函数具有许多性质, 本文主要涉及其正交性及对称性。即

$$(1) \text{正交性} \quad \sum_{i=0}^{N-1} Wal(i, t)Wal(j, t) \begin{cases} N & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$$

沃尔什函数是一组正交函数, 除以 \sqrt{N} 后即为归一化正交函数。

$$(2) \text{对称性} \quad Wal(i, t) = Wal(t, i)$$

沃尔什变换及其逆变换经过相同的数学运算。

2. 离散沃尔什变换

$N_1 \times N_2$ 个点上的二维数据 x_{ij} 的二维有限沃尔什变换可表示为

$$A_{ks} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} x_{ij} Wal(k, i) Wal(s, j)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots, N_1 - 1; s = 0, 1, 2, \dots, N_2 - 1)$$

其逆变换
$$x_{ij} = \sum_{k=0}^{N_1-1} \sum_{s=0}^{N_2-1} A_{ks} \text{Wal}(k, i) \text{Wal}(s, j) \quad (1)$$

$$(i=0, 1, 2, \dots, N_1-1; j=0, 1, 2, \dots, N_2-1)$$

或表示为矩阵形式

$$[A_{ks}]_{N_1 \times N_2} = \frac{1}{N_1 N_2} H_W(n_1) [x_{ij}]_{N_1 \times N_2} H_W(n_2)$$

$$[x_{ij}]_{N_1 \times N_2} = H_W(n_1) [A_{ks}]_{N_1 \times N_2} H_W(n_2)$$

式中 $n_1 = \log_2 N_1$, $n_2 = \log_2 N_2$.

3. 典型场及各系数的天气学意义

(1)式表示某一时刻的气象要素场可看成是由许多沃尔什函数构成的一系列典型场 $\text{Wal}(k, i) \text{Wal}(s, j)$ 按不同的权重系数 A_{ks} 线性叠加的结果。图 2 a~2 d 给出了东西向 8 个点、南北向 4 个点的前几个典型场的图形。 $\text{Wal}(0, i) \text{Wal}(0, j)$ 全场皆为 +1 (图略), 表示平均降水情况。以降水场为例:

$\text{Wal}(0, i) \text{Wal}(1, j)$ 西涝东旱

$\text{Wal}(0, i) \text{Wal}(2, j)$ 东西涝、中部旱

$\text{Wal}(1, i) \text{Wal}(0, j)$ 南旱北涝

$\text{Wal}(2, i) \text{Wal}(0, j)$ 南北涝、中部旱

$\text{Wal}(3, i) \text{Wal}(0, j)$ 由北往南呈涝、旱、涝、旱分布

$\text{Wal}(1, i) \text{Wal}(1, j)$ 西北部及东南部涝、东北部及西南部旱

系数 A_{ks} 为正时, 其意义与相应的典型场的意义一致, A_{ks} 为负时则相反。如 $A_{10} > 0$ 表示南旱北涝的权重, 而 $A_{10} < 0$ 表示南涝北旱的权重。

越往高阶, 典型场越复杂, 其相应系数的绝对值也越小, 对原气象要素场的贡献越小, 可以认为是叠加于基本场上的随机扰动而忽略。

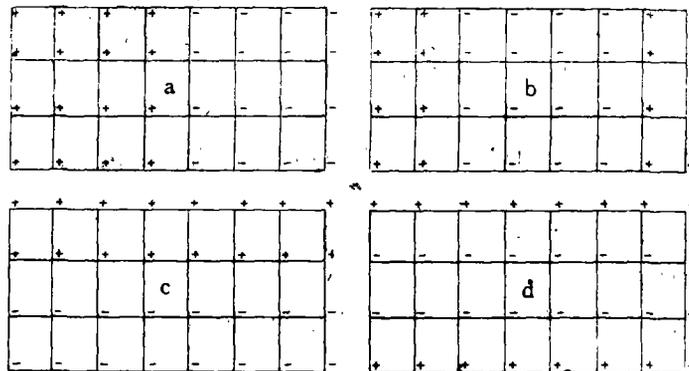


图2 沃尔什变换的典型场 图中“+”代表+1, “-”代表-1

a $\text{wal}(0, i) \text{wal}(1, j)$ b $\text{wal}(0, i) \text{wal}(2, j)$

c $\text{wal}(1, i) \text{wal}(0, j)$ d $\text{wal}(2, i) \text{wal}(0, j)$

4. 沃尔什变换的精确度

取前 $k_0 s_0$ 个系数拟合 $\hat{x}_{ij} = \sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks} \text{Wal}(k, i) \text{Wal}(s, j)$ ，利用沃尔什函数的

的性质可推得拟合误差平方和

$$\Delta = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2 = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} x_{ij}^2 - N_1 N_2 \sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks}^2 \quad (2)$$

显然，每增加一个系数 A_{ks} ， Δ 就减小 $N_1 N_2 A_{ks}^2$ 。

定义度量展开质量的相对指标 $R^2 = 1 - \Delta/Q$ ，式中 Q 为原要素场的总离差平方和，可推得

$$Q = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} (x_{ij} - \bar{x}^{ij})^2 = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} x_{ij}^2 - N_1 N_2 \bar{x}^{ij2}$$

其中 $\bar{x}^{ij} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} x_{ij} = A_{00}$ 为 x_{ij} 的全场平均值，则

$$R^2 = \frac{N_1 N_2}{Q} \left(\sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks}^2 - A_{00}^2 \right)$$

$$\text{拟合均方差 } SD = \sqrt{\frac{1}{N_1 N_2 - 1} \Delta} = \sqrt{\frac{1}{N_1 N_2 - 1} \left(\sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} x_{ij}^2 - N_1 N_2 \sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks}^2 \right)}$$

二、沃尔什变换与车贝雪夫多项式展开的比较

1. 用两种方法展开降水场

考虑到长江中下游地区 6、7 月降水大致呈东西向的带状分布，按图 3 沿与等雨量线大致平行的近似东西向取 8 个点，沿近似的南北向取 4 个点，图上共有 32 个点，这样选择格点可以提高收敛速度。

将 1959—1983 年 6、7 月这些格点组成的月降水场用沃尔什变换展开，求得变换系数

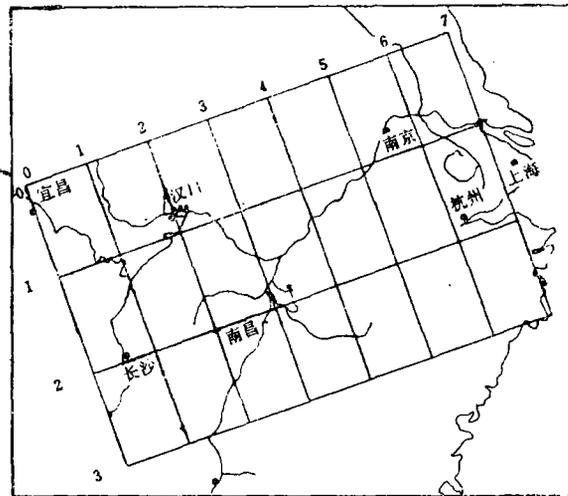


图 3 格点分布

$$[A_{ks}]_{4 \times 8} = \frac{1}{4 \times 8} H_w(2) [R_{ij}]_{4 \times 8} H_w(3)$$

式中 R_{ij} 为格点 (i, j) 的降水量, 而

$$H_w(2) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix}, \quad H_w(3) \text{ 如图 1 b.}$$

对同样的资料用车贝雪夫多项式展开^[4]

$$\hat{R}_{ij} = \sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks}^* \varphi_k(i) \varphi_s(j) \quad (i=1, 2, \dots, N_1; j=1, 2, \dots, N_2)$$

式中 \hat{R}_{ij} 为格点 (i, j) 的拟合降水量, $\varphi_k(i)$ 、 $\varphi_s(j)$ 分别为 k 、 s 阶车贝雪夫多项式, A_{ks}^* 为展开系数, k_0 、 s_0 为截取阶数。

根据最小二乘原则, 可求得系数

$$A_{ks}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} R_{ij} \varphi_k(i) \varphi_s(j)}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \varphi_k^2(i) \varphi_s^2(j)}$$

2. 典型场及各系数天气学意义的比较

沃尔什变换的典型场 $Wal(k, i)Wal(s, j)$ 与车贝雪夫多项式展开的典型场 $\varphi_k(i)\varphi_s(j)$ 类似。 $Wal(0, i)Wal(0, j)$ 与 $\varphi_0(i)\varphi_0(j)$ 一样, 全场皆为 +1, 其对应系数 $A_{00} = A_{00}^*$, 均表示全场平均降水量。当 $k+s$ 为偶数时, 两种展开的典型场形势相似, 其对应系数的符号一致, 意义相近; $k+s$ 为奇数时, 两种展开的典型场位相相反, 反相后形势相似, 其对应系数符号相反, 意义也相反。

本文中, 南北向取 4 个点, 则 $\varphi_2(i+1) = Wal(2, i)$ ($i=0, 1, 2, 3$), 所以 $A_{20} = A_{20}^*$ 。

以 1966 年 6 月为例, 沃尔什变换系数与车贝雪夫多项式展开系数如表 1 所示。可见, $A_{00} = A_{00}^*$, $A_{20} = A_{20}^*$, 其余许多低阶系数与前面的描述一致。

表 1 1966 年 6 月降水场的沃尔什变换系数与车贝雪夫多项式展开系数

	A_{00}	A_{10}	A_{20}	A_{30}	A_{01}	A_{11}	A_{21}	A_{31}	A_{02}	A_{12}	A_{22}
沃	185.3	-59.5	-15.8	-38.6	7.6	11.1	-9.6	-14.4	-6.4	22.9	-10.2
车	185.3	55.8	-15.8	17.7	-4.1	0.9	3.6	-12.5	-1.4	-6.0	-2.2

续表 1

	A ₃₂	A ₀₃	A ₁₃	A ₂₃	A ₃₃	A ₀₄	A ₁₄	A ₂₄	A ₃₄	A ₀₅	A ₁₅
沃	12.7	5.7	-2.3	4.1	-13.1	0.9	6.8	-3.0	-5.7	7.3	6.9
车	0.7	-0.7	-0.3	-1.3	-1.9	0.2	0.1	0.0	0.9	-0.1	0.4
	A ₂₅	A ₃₅	A ₀₆	A ₁₆	A ₂₆	A ₃₆	A ₀₇	A ₁₇	A ₂₇	A ₃₇	
沃	12.0	-17.9	-2.7	-15.8	-1.4	4.0	1.4	8.7	-7.8	9.5	
车	0.2	-0.2	-0.0	-0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.3	0.9	

3. 收敛性的比较

车贝雪夫多项式展开中，取前 k₀s₀ 个系数拟合的误差平方和

$$\Delta^* = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \left[\sum_{k=0}^{N_1-1} \sum_{s=0}^{N_2-1} A_{ks}^2 \varphi_k^2(i) \varphi_s^2(j) \right] - \sum_{k=0}^{k_0-1} \sum_{s=0}^{s_0-1} A_{ks}^2 \varphi_k^2(i) \varphi_s^2(j) \quad (3)$$

显然，每增加一个系数 A_{ks}^{*}，Δ* 就减小 $\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} A_{ks}^2 \varphi_k^2(i) \varphi_s^2(j)$ 。仅比较 (2)、(3) 式的 Δ 与 Δ*，两者的收敛性没有显著差别。

类似地可定义车贝雪夫多项式的展开质量指标 $R^2 = 1 - \Delta^* / Q^*$ ，式中总离差平方和

$$Q^* = \sum_{k=0}^{N_1-1} \sum_{s=0}^{N_2-1} A_{ks}^2 \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \varphi_k^2(i) \varphi_s^2(j) - N_1 N_2 A_{00}^2$$

表 2 给出了 6 月降水场两种展开的各阶 R² 的 25 年均值。可见，沃尔什变换的收敛速度只比车贝雪夫多项式展开的略慢。当 k = 3 时，两种展开的收敛速度基本相同。

表 2 沃尔什变换与车贝雪夫多项式展开的收敛性比较

R ² \ k \ s	s						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.34(0.43)	0.46(0.56)	0.49(0.59)	0.51(0.62)	0.53(0.65)	0.57(0.66)	0.58(0.70)
2	0.42(0.51)	0.56(0.66)	0.61(0.70)	0.64(0.74)	0.67(0.79)	0.72(0.82)	0.75(0.85)
3	0.58(0.58)	0.75(0.76)	0.82(0.80)	0.86(0.86)	0.91(0.92)	0.97(0.96)	1.00(1.00)

注：表中 k、s 分别为南北向及东西向的截取阶数，括号中为车贝雪夫多项式展开的 R²

4. 与时间无关性的比较

沃尔什变换与车贝雪夫多项式展开一样，是对原要素场的各时刻作独立展开，沃尔什函数与车贝雪夫多项式只与格点有关，与时间无关。因此，无论何时在点(i, j)上Wal(k, i)Wal(s, j)与 $\varphi_k(i)\varphi_s(j)$ 的值不变，其展开系数与时间无关，这便于资料的传输与存贮，对预报意义重大。这一特点是自然正交函数所不具备的。

三、用沃尔什变换系数分析降水场

表3为全部沃尔什变换系数绝对值的25年均值的大小排序。一般来说，低阶系数排序在前，高阶系数排序在后。这说明沃尔什变换确能将降水场的主要信息集中于前几个低阶系数上。

表3. 沃尔什变换系数|A_{ij}|的大小排序

系数 序号	月															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6月	A ₀₀	A ₁₀	A ₃₀	A ₀₂	A ₁₁	A ₁₂	A ₂₀	A ₀₁	A ₃₂	A ₃₁	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₀₆	A ₃₆	A ₀₃
7月	A ₀₀	A ₁₀	A ₂₀	A ₀₁	A ₂₂	A ₃₀	A ₀₂	A ₁₂	A ₁₁	A ₁₆	A ₃₂	A ₃₃	A ₁₃	A ₀₆	A ₂₁	A ₁₄
系数 序号	月															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
6月	A ₁₅	A ₁₃	A ₃₃	A ₁₆	A ₂₆	A ₃₅	A ₂₄	A ₁₄	A ₃₄	A ₁₇	A ₂₇	A ₀₅	A ₃₇	A ₂₅	A ₀₇	A ₀₄
7月	A ₃₁	A ₂₄	A ₃₆	A ₀₅	A ₃₅	A ₀₃	A ₁₅	A ₀₇	A ₂₆	A ₃₄	A ₃₇	A ₀₄	A ₁₇	A ₂₃	A ₂₅	A ₂₇

表3中，A₀₀排在第1位，排在2、3位的A₁₀(i=1, 2, 3)都是表示降水南北差异的。这表明长江中下游地区6、7月雨带主要呈近似的东西走向。

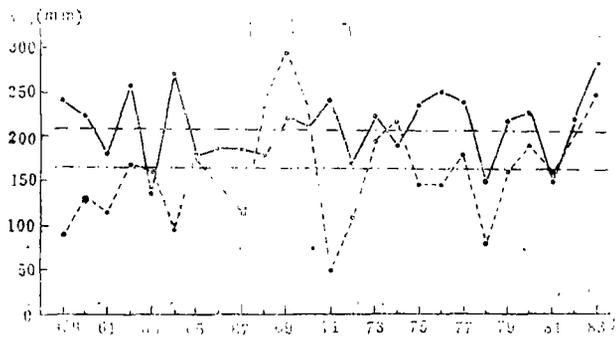


图4 A₀₀的历史演变曲线

实线为6月，虚线为7月，点划线为均值，下同

如图4、图5所示，6、7月A₀₀的25年均值分别为208.4毫米、160.4毫米；A₁₀的25年均值分别为-45.1毫米、24.2毫米。可以看出，长江中下游地区6月降水比7月多；6月雨带在该地区南部，降水南多北少；7月雨带北移到该地区北部，降水南少北多。表3中排在第4位的是表示降水分布东西差异的A₀₂、

A_{01} 、6月 A_{02} 的25年均值为-26.9毫米(图略),可见6月降水还具有东西少、中部多的特征;7月的 A_{01} 为-12.6毫米(图略),降水还具有东多西少的特征,但降水分布的东西差异远不如南北差异明显。

由图4可知,1962年6月、1969年7月分别为历年6、7月中涝情严重的月,全场平均降水量分别为254.9毫米、293.1毫米。这两个月的 A_{10} 分别为低谷值、高峰值(图5)。这表明同为涝月,1962年6月 $A_{10} = -106.7$ 毫米,其绝对值比其它系数大得多(除 A_{00} 外),降水南多北少特征十分明显。1969年7月, $A_{10} = 128.1$ 毫米, $A_{20} = -107.1$ 毫米,这两个系数的绝对值比其它系数(除 A_{00} 外)大得多,降水南部最少、北部其次、中部最多。图6a、6b为这两个月的降水场,可见分析结果与实况相符。类似地分析 A_{01} 等系数的变化情况,可得到降水东西分布等特征。

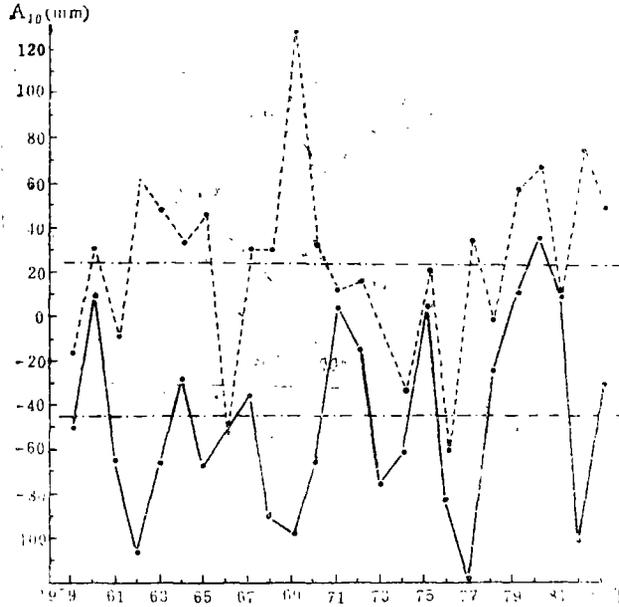


图5 A_{10} 的历史演变曲线

四、降水场的拟合

由表3知,下式中的9个沃尔什变换系数比较重要,若取这9个系数(占格点数的28%)由如下逆变换拟合降水场

$$[\hat{R}_{ij}]_{4 \times 8} = H_W(2) \begin{pmatrix} A_{00} & A_{01} & A_{02} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{10} & A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{20} & A_{21} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} H_W(3)$$

6、7月 R^2 的25年均值分别为0.555、0.463,拟合效果不够理想。下面以拟合效果较好的1962年6月为例来分析说明。图6a、7a为1962年6月的实况降水场及取9个系数的拟合场, $R^2 = 0.677$, $SD = 92.39$ 毫米。虽然主要降水区域的大概位置及强度拟合出来了,但误差较大,且相邻两站的拟合降水量相同。这是由于沃尔什函数只取+1和-1的缘故。这样的拟合精度还不足以充分描述实况降水场。

为了达到较高的拟合精度,克服相邻两站拟合降水量相同的缺陷,根据表3,增加

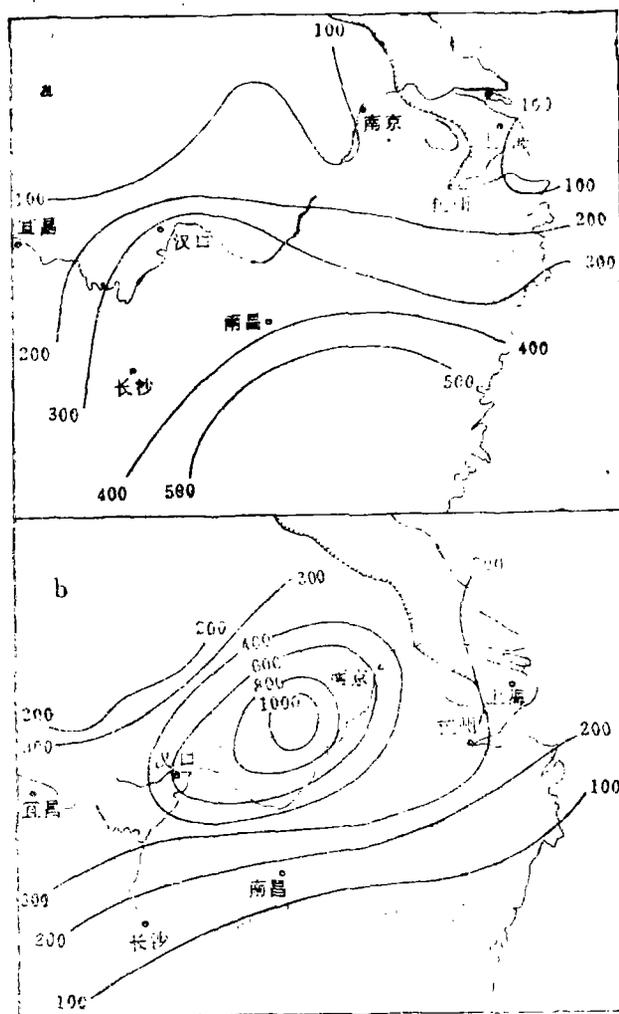


图6 观测降水场 (单位: 毫米) a 1962年6月 b 1973年7月

A_{30} 等系数, 取16个系数, 用如下逆变换拟合

$$[\hat{R}_{ij}]_{4 \times 8} = H_W(2) \begin{pmatrix} A_{00} & A_{01} & A_{02} & A_{03} & A_{04} & 0 & 0 & 0 \\ A_{10} & A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & 0 & 0 & 0 \\ A_{20} & A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & 0 & 0 & 0 \\ A_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} H_W(3) \quad (4)$$

历年各月的 R^2 见表4, 其中1962年6月的拟合精度最高, $R^2=0.91$ 。图6a、图7b为其实况及取16个系数的拟合场, 两张图十分相似。显然, 图7b的拟合精度比图7a高得多。因为图6a中降水南多北少特征十分明显, 没有小中心, 所以拟合精度很高。而1973年7月实况小中心较多, 降水分布零散(图略), 故拟合精度很低。

表4 历年各月取16个系数的拟合精度

月	R ²	年												
		1959	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
6 月		0.82	0.62	0.87	0.91	0.88	0.89	0.80	0.77	0.73	0.90	0.81	0.83	0.72
7 月		0.68	0.69	0.67	0.65	0.75	0.59	0.87	0.61	0.81	0.82	0.84	0.85	0.53
月	R ²	年												
		1972	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	平均
6 月		0.46	0.79	0.84	0.78	0.70	0.86	0.64	0.81	0.54	0.78	0.82	0.73	0.77
7 月		0.77	0.41	0.85	0.69	0.77	0.75	0.60	0.80	0.69	0.57	0.78	0.65	0.71

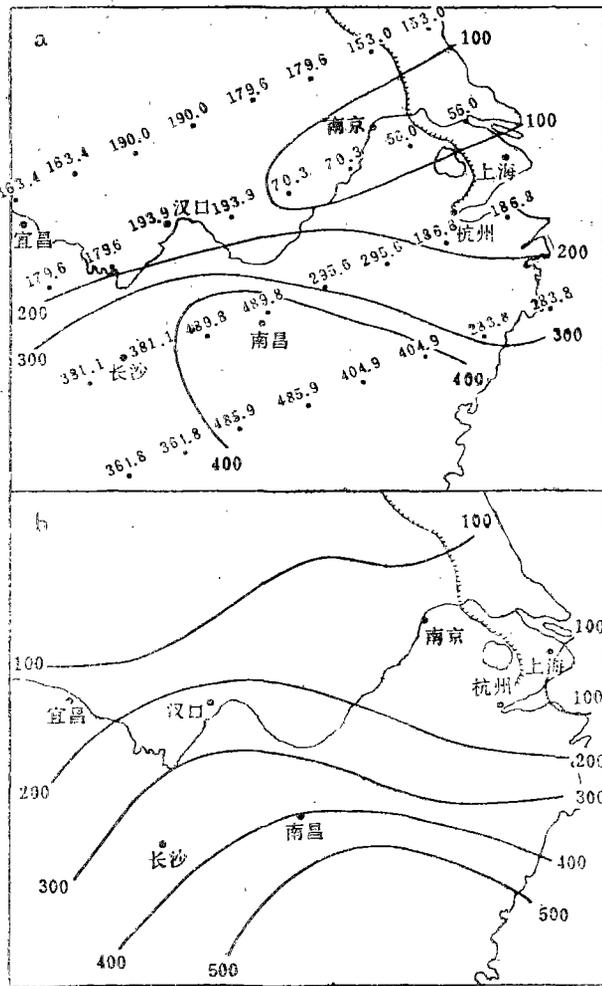


图7 1962年6月拟合降水场 (单位:毫米) a 取9个系数拟合 b 取16个系数拟合

由(4)得到的6、7月R²的25年均值分别为0.772、0.708。对本身离差很大的降水

场来说,能达到这样的拟合精度已经令人满意了。用车贝雪夫多项式展开同样的降水场,取12个系数拟合,6月 R^2 的25年均值如下:当 $k=0,1, s=0, 1, \dots, 5$ 时, $R^2=0.650$; $k=0, 1, 2, s=0, 1, 2, 3$ 时, $R^2=0.700$; $k=0, 1, 2, 3, s=0, 1, 2$ 时, $R^2=0.758$ 。可见以上述最后一种系数取法拟合精度最高,其7月 R^2 的25年均值为0.622。可见(4)式的拟合精度已超过了取12个车贝雪夫多项式展开系数的拟合精度。若根据表3的大小排序,并结合沃尔什变换的特点,对6、7月分别选取不同的系数拟合,精度将会更高。

五、讨 论

1. 本文将沃尔什变换应用于降水场的展开及分析,由于其计算简便,低阶典型场及对应系数的天气学意义十分清晰,变换系数与时间无关,收敛性也比车贝雪夫多项式展开略差。所以,这种方法是可取的。

2. 用沃尔什变换系数可以较好地反映降水的水平分布总体特征,克服了格点资料代表性差的缺陷。因此,可以将几个主要系数用于降水场的分析,也可将其作为预报量,先制作系数的预报,进而得到降水场的预报。

3. 沃尔什变换用于离差很大的降水场的展开及分析尚能取得较好的效果,那么,可以估计将其用于离差较小的高度场、温度场、降水等级资料等的展开及分析,效果将会更好。

本文承蒙王得民、施能两位副教授指导,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 关肇直、陶文德,沃尔什函数与沃尔什变换,国防工业出版社,1984。
- [2] 比彻姆,K.C.著,高迥译,沃尔什函数及其应用,科学出版社,1980。
- [3] 马益三,沃尔什函数在暴雨洪水长期预报中的初步应用,大气科学,2卷,3期,331—332,1984。
- [4] 居其璞等,气象应用概率统计学,427—444,气象出版社,1984。

WALSH TRANSFORM AND ITS APPLICATION TO THE EXPANSION AND ANALYSIS OF PRECIPITATION FIELDS

Wang Jianxin

ABSTRACT

In this paper, 2-dimensional Walsh transform is used in the expansion and analysis of precipitation fields over the middle and lower reaches of the Changjiang River. Synoptic implications of the typical fields and their corresponding coefficients are given and formulas for the relative target R^2 and the fitting root mean square error are derived for measuring the expansion quality. The convergence and independence on time of Walsh transform are discussed and compared with those of expansion of Chebyshev Polynomials. Then the precipitation fields are analysed in terms of several main Walsh coefficients. Finally, sixteen Walsh coefficients are selected to fit the precipitation fields.