

# 近57年来和丰县气温和降水量的趋势性及突变特征

傅丽昕

(水利部新疆水利水电勘测设计研究院, 乌鲁木齐, 830000)

**摘要:** 对和丰县1954年-2010年近57年的年均气温以及降水量的资料, 在进行距平分析和M-K非参数统计检验的基础上, 运用M-K突变检测法和Pettitt突变检测法分别计算和分析了年均气温和降水量的突变特征。结果显示: 1988年-2010年, 有20年的气温距平值大于0, 说明气温自1988年起呈现显著增加趋势, M-K趋势性检验结果也证明了这一点; 突变检测未发现气温突变年份。年降水量总体呈现上升的趋势, 最小值出现在1977年, 最大值出现在2007年, 总体变化趋势不显著, 丰枯降水年交错分布; 突变检测确定2007年为降水量突变年份。

**关键词:** Mann Kendall; Pettitt; 趋势性; 显著性检验; 突变点

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0038-04

## Tendency and Mutation Analysis of Annual Temperature and Precipitation of Hefeng County in Recent 57 Years

FU Lixin

(Xinjiang Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy and Hydropower, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** Based on the Mann Kendall nonparametric test and cumulative departure curve analysis on the annual temperature and precipitation of Hefeng County from 1954 to 2010, the mutation characteristics of annual temperature and precipitation were detected using the Mann Kendall and Pettitt mutation tests. The results showed that the cumulative departure of temperature of 20 years is positive from 1988 to 2010, which indicated that the temperature has a significantly increasing trend from 1988 and it is verified by the Mann Kendall nonparametric test. The mutation time of temperature was not detected. Annual precipitation had a gradually increasing trend with the lowest precipitation occurring in 1977 and the highest in 2007, but the trend was not significant and the occurrence of dry and wet years had an interlaced distribution. The mutation time of precipitation was detected as 2007.

**Key words:** Mann Kendall; Pettitt; tendency; mutation test; mutation point

气候变化作为一个全球性问题, 受到国际社会的普遍关注。为此, 政府间气候变化专门委员会(IPCC)已经发布了4次科学评估报告, 内容涉及气候变化趋势、对经济社会的影响以及人们适应与减缓气候变化的对策等<sup>[1]</sup>。很多资料表明, 极端气候变化对水土流失、沙尘暴、农业生态等影响很大<sup>[2]</sup>。气候变化叠加人类活动对水文循环系统产生影响时, 部分水文气象要素在时间和空间上会发生某些变异, 使得这些要素的一些统计特征规律发生变化, 这个发生变化的时刻称为突变或突变点<sup>[3]</sup>。

近年来, 不同领域的专家和学者正在不断揭示各种时空尺度上水文循环要素突变的事实、性质、规律及其形成的机制, 不断完善突变理论在水文和气候科学中的应用。从近百

年时间尺度来看, Yamamoto<sup>[4,5]</sup>指出了20世纪50年代日本的气候跳跃及其与北半球海平面气压场的关系; 葛全胜等<sup>[6]</sup>指出在冷暖变化幅度上, 东部季风区的变化幅度小于西北区和青藏区。气候系统是一个非线性的动力系统, 它既有周期性, 也表现突变性。王海军等<sup>[7]</sup>分析中国北方近57年气温特征指出: 华北有22年的周期, 东北有21年、6年和11年的主周期, 西北西区周期为12年, 东区为15年、8年和5.5年的周期。李珍等<sup>[8]</sup>对新疆的北疆、天山山区和南疆气温、日较差和降水年序列进行了突变分析, 并采用两种不同的方法对突变点进行检验。

新疆位于欧亚大陆腹地, 距海遥远, 戈壁、沙漠广布, 各种天气系统活动频繁, 山脉与盆地相间排列。天山山脉横亘

中间,将新疆分成气候差异非常显著的南疆和北疆。近些年新疆气候在全球变暖和水分循环加快的大背景下,也受到了一定程度的影响,有研究指出<sup>[9-10]</sup>新疆近 40 年气候变暖、变湿,尤其 20 世纪 90 年代以来阿克苏、北疆区域降水量增多明显,与我国北方其它地区变为暖干不同。新疆地处干旱气候区,河川和下垫面渗透力较差,生态环境极其脆弱,大雨、暴雨、大雪和暴雪往往会造成洪水、泥石流、山体滑坡和暴风雪等灾害,对生态环境、经济发展和人民生活造成巨大影响。

降水量作为反映气候特征最重要的指标之一,其变化的时空分布受气候、纬度等因子的影响,具有明显的年际和年内变化特点,对经济发展、农业生产及生态建设影响突出<sup>[11]</sup>。为进一步了解新疆不同地区的降水量变化特征,本文以位于北疆塔城地区和丰县的气温和降水量时间序列的趋势特征和突变特征进行探讨,为该区域气候变化研究进一步提供基础。

## 1 研究区及数据资料

和丰县位于准噶尔盆地西北部,新疆维吾尔自治区塔城地区东北部,地理坐标为东经  $84^{\circ}37' - 87^{\circ}20'$ ,北纬  $45^{\circ}20' - 47^{\circ}12'$ 。县境东西长 210 km,南北宽 207 km,总面积为  $3.06 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,占新疆维吾尔自治区总面积的 1.9%。其大气降水主要来自西方的冷湿气流。大气降水有垂直地带性变化规律,从山区向平原逐渐递减,其中北部山地气候区年平均降水量为 145.6 mm,南部平原气候区为 90.0 mm。

本文选用和丰县气象站 1954 年-2010 年 57 年的年均气温和年降水量数据。为保证数据质量,在计算前,对数据的完整性、一致性进行了检验,并且进行了极值筛选工作,以确保数据的真实性、准确性、可靠性。

## 2 研究方法

### 2.1 趋势分析和显著性检验

#### 2.1.1 累积距平

累积距平是一种由曲线直观判断气候变化趋势的方法。对于气候要素序列,其某一时刻  $t$  的累积距平表示为:

$$D = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

计算出  $n$  个时刻的累积距平值后,即可绘制出累积距平曲线进行趋势分析。

#### 2.1.2 Mann-Kendall 非参数检验

Mann-Kendall (以下简称 M-K) 非参数统计<sup>[12-13]</sup>是由世界气象组织推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法,已经广泛用于检验流量、气温和降雨序列等水文气象资料的趋势分析。其优势是不需要样本遵从一定的分部,也不受少数异常值的干扰,计算比较简便。

对于具有  $n$  个样本的时间序列  $x$ , 构造变量  $S$ :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (3)$$

式中:  $X_i$  和  $X_j$  分别为第  $i$  年和第  $j$  年的数值,  $i > j$ ,  $n$  为系列的记录长度(个数);  $\text{sgn}(X_i - X_j)$  为表征函数。

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & x_i - x_j > 0 \\ 0 & x_i - x_j = 0 \\ -1 & x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$Z_C = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $Z$  为正态分布的统计量;  $\text{var}(S)$  为  $S$  的方差。

考虑到分析的时间序列可能出现上升也可能出现下降的趋势,因此, M-K 趋势检验中采用双边检验。在给定的  $\alpha = 0.05$  显著性水平上,如果  $|Z| > Z_{\alpha/2}$  则认为该时间序列存在显著的变化趋势,反之,则认为该时间序列不存在显著的变化趋势;  $Z$  大于 0 则表示时间序列呈上升趋势,小于 0 则表示时间序列呈下降趋势。显著性水平为 0.05 时,  $Z_{0.05} = 0.18$ 。此次研究分析选取显著性水平为 0.05 时,对和丰县近 57 年来气温和降水的变化趋势进行显著性检验。

### 2.2 突变分析

对一些物理机制目前还不甚明确的突变现象,若使用的检测方法不当,可能会得出错误结论,因此在确定某气候系统或过程发生突变现象时,通常使用多种方法进行比较<sup>[14]</sup>。本文采用 M-K 和 Pettitt 两种方法进行突变分析,互相验证。

#### 2.2.1 M-K 突变检验

该方法的优点在于不仅计算简便,而且可以明确突变开始的时间,指出突变区域,是一种常用的突变检测方法。在时间序列随机独立的假定条件下,计算统计量:

$$U_{FK} = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中:  $E(S_k)$  和  $\text{var}(S_k)$  分别为  $S_k$  的均值与方差。

按时间序列  $x$  的逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$  重复上述过程,获得统计变量  $UB_k$  ( $k = n, n-1, \dots, 1$ ), 同时使:  $UB_k = -UF_k$ 。将  $UB_k$  与  $UF_k$  绘制成曲线,如果 2 条曲线出现交点,且该点处的  $U$  值满足  $< 1.96$ , 则认为该点为序列的突变点,检验置信水平  $\alpha = 0.05$ 。

#### 2.2.2 Pettitt 突变检验

采用 Pettitt 方法检测研究区域气温和降水量长时间序列中的突变现象不仅能够判断出突变点的位置及数量,还可判断这些变点是否在统计意义上显著<sup>[15]</sup>。

定义统计量  $U_{t,N}$ :

$$U_{t,N} = U_{r,1} + \sum_j^N \text{sgn}(X_t - X_j), \quad (t = 2, 3, \dots, N) \quad (7)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta > 0 \\ 0, & \theta = 0 \\ -1, & \theta < 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $X_i, X_j$  为欲进行假设检验的随机变量;  $N$  代表数据系列的长度;  $U_{t,N}$  为新序列,由根据第一个样本序列超过第二个样本序列次数的统计组成新的序列。Pettitt 法原假设  $H_0$  为序列不存在突变点。若  $t$  时刻满足:  $k(t) = \max |U_{t,N}|$  ( $1 \leq t \leq N$ ), 则  $t$  点处为突变点。同时计算统计量:

$P = 2 \exp\{-6(K_N)^2 / (N^3 + N^2)\}$ , 如果  $P \leq 0.05$ , 则认为检验出的突变点在统计意义上是显著的。

### 3 分析结果

#### 3.1 气温和降水序列的趋势性分析

根据图 1 中年均气温变化曲线及距平曲线分析可知, 1997 年的距平值最大, 超过 57 年平均气温的 2.06 °C, 其年均气温为 5.71 °C; 1954 年的距平值最小, 低于 57 年平均气温的 2.16 °C, 其年均气温为 1.49 °C; 共有 30 年的气温距平值为正, 约占统计时间序列的 52.6%, 尤为突出的是: 从 1988 年- 2010 年的 22 年中, 除 1993 年和 1996 年以外, 其余 20 年气温的距平值均大于 0, 可见, 自 1988 年, 气温呈现逐年上升的趋势, 这一现象和李珍<sup>[8]</sup>分析的新疆北疆气温变化趋势是相一致的。年均气温的变化趋势检验结果见表 1, 分析可知, 和丰县自 1954 年- 2010 年, 57 年的年均气温均通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验, 表明其年均气温呈现增加趋势, 且增加趋势表现显著。

表 1 年均气温和年降水量趋势检验结果

Table 1 Trend test results of annual temperature and precipitation

项目	$Z_c$	趋势性	$Z_{0.05}$	显著性
年均气温	11.66	增加	0.18	显著
年降水量	0.04	增加	0.18	不显著

注: “+”表示通过显著性检验, “-”表示未通过显著性检验

由图 1 中年降水量变化曲线及距平曲线可知, 57 年来, 和丰县年降水量略有增加的趋势, 但总体变化趋势不显著。偏枯和偏丰年份分别占统计时间序列的 49.1% 和 50.9%, 各为 28 a 和 29 a, 说明近 57 年来, 丰枯降水年交错分布, 这和黄海云<sup>[6]</sup>、陈洪涛<sup>[7]</sup>分析的结果基本是一致的。年降水量最小值出现在 1977 年, 为 69.5 mm, 低于平均降水量约 76.09 mm; 年降水量最大值出现在 2007 年, 为 285.6 mm, 超出平均降水量约 140.01 mm。降水量在 57 年中有三次增长幅度较大的阶段, 分别是: 1957 年- 1958 年, 降水量从 93.9 mm 经过短短一年的时间增加到 278 mm, 年增加幅度为 184.4 mm/a; 1991 年- 1993 年, 降水量从 91.5 mm 增加至 257 mm, 年增加幅度为 82.8 mm/a; 2006 年- 2007 年, 降水量从 80.1 mm 增加至 285.6 mm, 年增加幅度为 205.2 mm/a; 这三个阶段降水量距平值出现较大幅度增长, 说明这几个增长幅度较大的年份可作为丰水年的代表年份。由表 1 分析可知年降水量的变化趋势, 和丰县自 1954 年- 2010 年,  $Z_c = 0.04$ , 大于 0, 但未通过  $\alpha=0.05$  显著性检验, 说明近 57 年来, 和丰县年降水量呈增加趋势, 但增加趋势表现不具有显著性。

#### 3.2 气温和降水序列的突变分析

在图 2 气温突变分析的 M-K 曲线中,  $UF$  曲线除了在 1958 年- 1961 年出现小于 0 的情况之外, 其余时刻  $UF$  曲线均大于 0, 说明年均气温自 1961 年之后呈现平稳上升趋势, 自 1978 年上升趋势显著;  $UF$  和  $UB$  曲线在 20 世纪 80 年代- 20 世纪 90 年代之间出现交叉 3 个交叉点, 分别为 1981 年、1983 年和 1984 年, 但这几个交叉点均在临界值= 1.96 的临界线之外, 因而并不能以此判断这三个交叉点对应的年份就是突变开始的时间。根据 Pettitt 方法(图 2) 计算分析可知,  $k(t) = \max |U_{i,N}| = 5.7$ , 对应年份为 1997 年, 但是  $P = 0.536 > 0.5$ , 因此该点在统计

学意义中并不显著。

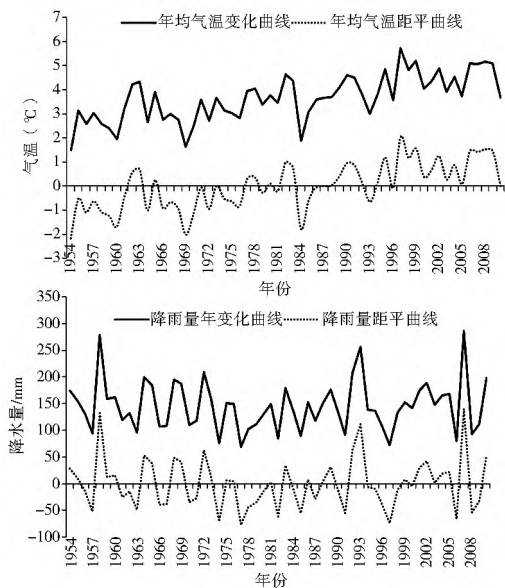


图 1 和丰县年均气温和年降水量变化曲线及距平曲线

Fig. 1 Variation curves and cumulative departure curves of annual temperature and precipitation in Hefeng County

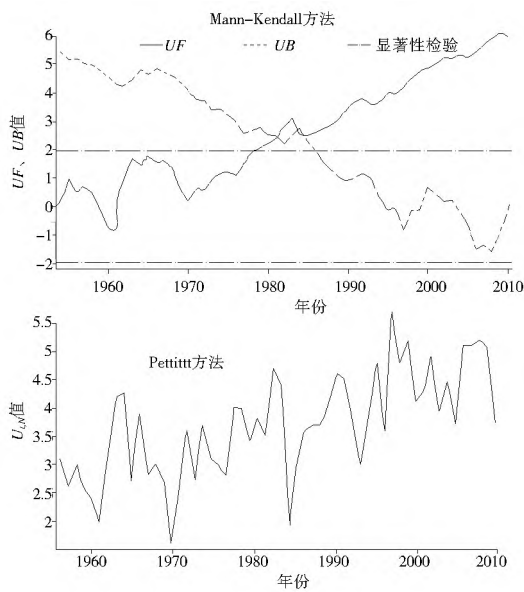


图 2 和丰县年均气温序列的突变分析曲线

Fig. 2 Mutation analysis curves of annual temperature time series in Hefeng County

根据图 3 降水量突变分析的 M-K 曲线中,  $UF$  曲线除了在 2000 年和 2003 年出现小于 0 的情况之外, 其余时刻  $UF$  曲线均大于 0, 说明年降水量在近 57 年的统计时间序列中呈现平稳上升趋势;  $UF$  和  $UB$  曲线在 2000 年- 2010 年之间出现 3 个交叉点, 分别为 2006 年、2007 年和 2009 年, 且这几个交叉点均在临界值=  $\pm 1.96$  的临界线之内, 因而可以判断这三个交叉点对应的年份就是突变开始的时间。再根据 Pettitt 方法(图 2) 计算分析可知,  $k(t) = \max |U_{i,N}| = 286$ , 对应年份为 2007 年, 这正好和 2007 年 7 月和丰县城区特大暴雨洪水的实际情况相吻合, 另外计算得出  $P = 0.049 < 0.5$ , 因此该点在统计学意义中显著。

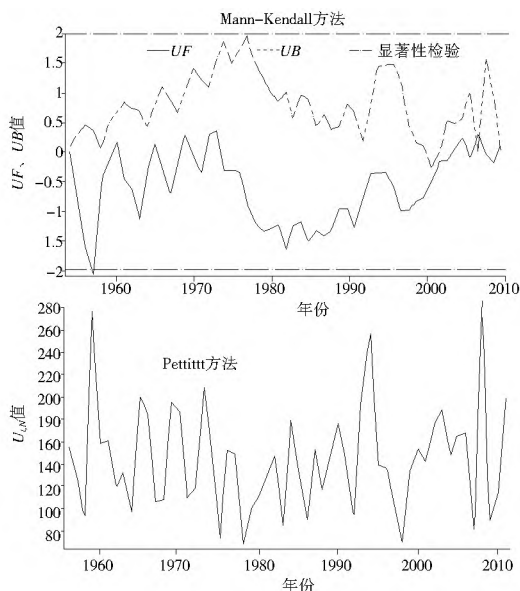


图 3 年降水量序列的突变分析曲线

Fig. 3 Mutation analysis curves of annual precipitation time series in Hefeng County

## 4 结论

(1) 对和丰县 1954 年—2010 年近 57 年年均气温和年降水量两个气象因素的时间序列进行趋势性和突变性检验,结果表明:和丰县近 57 年来的年均气温呈现增加趋势,且增加趋势表现显著。年降水量略有增加的趋势,但总体变化趋势不显著;丰枯降水年交错分布。

(2) 气温突变分析的 M-K 检测结果表明年均气温自 1961 年之后呈现平稳上升趋势,自 1978 年上升趋势显著,但无突变年份出现;Pettitt 方法检测则发现有气温突变年份,对应年份为 1997 年,但是该点在统计学意义中并不显著。

(3) 降水量突变分析的 M-K 分析检测结果表明,降水量在近 57 年的统计时间序列中呈现平稳上升趋势,且有 2006 年、2007 年和 2009 年 3 个突变点;Pettitt 方法检测的突变年份为 2007 年,该点在统计学意义中显著,未来降水量呈现增加趋势。

目前,突变统计分析的方法还不成熟,本文采用 M-K 方法和 Pettitt 方法进行突变检测,可以相对增加突变分析的可靠性。但这两种方法均属于非参数检验方法,且 Pettitt 方法的检测结果还会在遇到多个突变点时产生影响。因而,在以后进行相应的研究工作中,还需多增加检验方法并剔除不平稳样本序列后才能进一步得到更为可靠的分析结论。

### 参考文献(References):

- [1] IPCC. Summary for policymakers[M]. IPCC. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University, 2007.
- [2] 崔建新,周尚哲.对气候突变的初步认识[J].河北师范大学学报:自然科学版,2001,25(2):264-266.(CUI Jianxin, ZHOU Shangzhe. The Primary Understanding of the Climate Abruptness[J]. Journal of Hebei Normal University(Natural Science Edition, 2001, 25(2): 264-266) (in Chinese))
- [3] 李占玲,徐宗学.近 50 年来黑河流域气温和降水量突变特征分

析[J].资源科学,2011,33(10):1877-1882.(LI Zhanling, XU Zongxue. Detection of Change Points in Temperature and Precipitation Time Series in the Heihe River Basin over the Past 50 Years [J]. Resource Science, 2011, 33(10): 1877-1822. (in Chinese))

- [4] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. Climatic jump, a hypothesis in climate diagnosis [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1985(63): 1157-1160.
- [5] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climatic jump [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1986, 64(2): 273-281.
- [6] 葛全胜,王顺兵,郑景云.过去 5000 年中国气温序列变化重建[J].自然科学进展,2006,16(6):689-696.(GE Quansheng, WANG Shunbing, ZHENG Jingyun. Temperatures over the Past 5,000 years of Chinese Sequence Reconstruction Change [J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(6): 689-696. (in Chinese))
- [7] 王海军,张勃,赵传燕,等.中国北方近 57 年气温时空变化特征[J].地理科学进展,2009,28(4):643-650.(WANG Haijun, ZHANG Bo, ZHAO Chuangyan, et al. The Spatiotemporal Characteristics of Temperature Change in Recent 57 Years in Northern China [J]. Progress in Geography, 2009, 28(4): 643-650) (in Chinese))
- [8] 李珍,姜逢清.1961-2004 年新疆气候突变分析[J].冰川冻土,2007,29(3):351-359.(LI Zhen, JIANG Fengqing. A Study of Abrupt Climate Change in Xinjiang Region During 1961-2004 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(3): 351-359.) (in Chinese))
- [9] 张家宝,史玉光.新疆气候变化及短期气候预测[M].北京:气象出版社,2002.(ZHANG Jiabao, SHI Yuguang. The Study on Climate Change and Short-term Climate Forecast in Xinjiang [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: (in Chinese))
- [10] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J].干旱区地理,2002,25(3):194-200.(HU Rujie, JIANG Fengqing, WANG Yajun, et al. A Study on Signals and Effects of Climatic Pattern Change From Warm-Dry to Warm-Wet in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2002, 25(3): 194-200. (in Chinese))
- [11] 张皓,冯利平.近 50 年华北地区降水量时空变化特征研究[J].自然资源学报,2010,25(2):271-279.(ZHANG Hao, FENG Liping. Characteristics of Spatiotemporal Variation of Precipitation in North China in Recent 50 Years [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2): 270-279. (in Chinese))
- [12] 白晶,延军平,苏坤慧.1958-2007 年秦岭南北气候变化的差异性分析[J].陕西师范大学学报,2010,38(6):98-105.(BAI Jing, YAN Junping, SU Kunhui. Differential Analysis of Abrupt Climate Change between Southern and Northern Qiling Mountains in the past 50 years [J]. 2010, 38(6): 98-105. (in Chinese))
- [13] 陈亚宁,徐长春,杨余辉,等.新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J].地理学报,2009,64(11):1331-1341.(CHEN Yanning, XU Changchun, YANG Yuhui, et al. Hydrology and Water Resources Variation and Its Responses to Regional Climate Change in Xinjiang [J]. Acta Geographica Sinica. 2009, 64(11): 1331-1341. (in Chinese))

(下转第 110 页)

(2) 通过技术经济比较, 遥观南枢纽泵站采用了溧阳新村枢纽泵站所用的水力模型, 可获得较高的装置效率; 选择了 4 台叶轮直径 2 52 m、转速 100 r/min 的竖井贯流泵方案, 工程投资较为节省。

(3) 调速运行方案的机电设备投资较大, 降低运行费用的优势并不明显, 所以遥观南枢纽泵站最终采用定速方案。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (LIU Chao. Pumps and Pumping Stations[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 姚林碧, 张仁田, 朱红耕, 等. 大型泵站选型合理性评价体系研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(3): 150-154. (YAO Lin bi, ZHANG Ren tian, ZHU Hong-geng, et al. Study on the Reasonability Evaluation System of Pump Type Selection for Large scale Low Head Pumping Stations [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(3): 150-154. (in Chinese))
- [3] 张仁田. 南水北调工程中大型泵站泵型选择的若干问题[J]. 水力发电学报, 2003, 22(6): 119-127. (ZHANG Ren tian. Key Issues In The Selection Of Pumps And Their Systems for the Project of Water Transferring from South To North in China [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2003, 22(6): 119-127. (in Chinese))
- [4] 段正忠, 李援农. 灌溉泵站设计参数的确定及水泵选型[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(5): 78-80. (DU AN Zheng-zhong, LI Yuan-nong. Determination of Design Parameters and Pump Selection for Irrigation Pumping Station [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(5): 78-80. (in Chinese))
- [5] 徐磊. 大型特低扬程泵装置水力性能优化与综合比较研究[D]. 扬州大学, 2012. (XU Lei. Study on Hydraulic Performance Optimization and Comprehensive Comparison for Large Especial Low Head Pump System [D]. Yangzhou University, 2012. (in Chinese))
- [6] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (GU O Ya-jun. Comprehensive Evaluation Theory, Method and Application [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [7] 朱红耕, 张仁田, 冯旭松, 等. 不同型式贯流泵装置结构特点与水力特性分析[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(5): 58-60, 85. (ZHU Hong-geng, ZHANG Ren tian, FENG Xu-song, et al. Structural Features and Hydraulic Performances Analysis of Various Tubular Pumping Systems [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(5): 58-60, 85. (in Chinese))
- [8] 徐辉. 贯流式泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (XU Hui. Tubular Pumping Stations[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [9] 成立, 刘超. 低扬程泵装置流动特性及水力性能研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(4): 85-88. (CHENG Li, LIU Chao. Advances in research on flow characteristics and hydraulic performances of low lift head pumping station [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(4): 85-88. (in Chinese))
- [10] 张前进, 周伟, 冯杰, 等. 南水北调东线工程刘老涧二站低扬程水泵机组选型设计[J]. 水泵技术, 2013(1): 34-39. (ZHANG Qian-jing, ZHOU Wei, FENG Jie, et al. Low Head Pump Set Selection Design for No. 2 Liulaojian Pumping Station in South to North Water Diversion Project [J]. Pump Technology, 2013(1): 34-39. (in Chinese))
- [11] 朱红耕, 张仁田, 罗建勤, 等. 工况调节与传动方式对贯流泵结构和装置性能的影响[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 277-281. (ZHU Hong-geng, ZHANG Ren tian, LUO Jian-qin, et al. Influence of Regulation Method and Transmission Mode on Tubular Pump Structure and System Performance [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(6): 277-281. (in Chinese))

(上接第 41 页)

- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. (Wei Fengying. Diagnose and Forecast Technology of Modern Climate Statistics. Beijing: China Meteorological Press, 1999. (in Chinese))
- [15] Pettitt A. N. A Nonparametric Approach to the Changpoint-problem[J]. Appl. Statist. 1979, 23(2): 126-135.
- [16] 黄海云, 张山清, 沙曼曼, 等. 1961-2008 年塔城地区气候变化特征[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(3): 242-248. (HUANG Haiyun, ZHANG Shanqing, SHA Manman, et al. Climatic Change Characteristics in Tacheng Region from 1961 to 2008 [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2012, 35(3): 242-248. (in Chinese))
- [17] 陈洪涛, 汤英. 新疆塔城地区近 55 年降水变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 65-69. (CHEN Hongtao, TANG Ying. Analysis on Precipitation change Characteristics During Recent 55 Years in Tacheng prefecture of Xinjiang. [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering 2010, 21(4): 65-69. (in Chinese))