

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.03.004

雒翠, 刘勇, 朱晓庆, 等. 深圳市近 57 年来降水时空演变特征分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(3): 24-31. (LUO Cui, LIU Yong, ZHU Xiaqing, et al. Tempo-spatial changes of precipitation of Shenzhen in last 57 years[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(3): 24-31. (in Chinese))

深圳市近 57 年来降水时空演变特征分析

雒 翠¹, 刘 勇², 朱晓庆³, 付汉秀²

(1. 深圳市广汇源水利勘测设计有限公司, 广东 深圳 518020; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 深圳市水务局, 广东 深圳 518036)

摘要: 分析区域降水的时空演变特征, 对了解区域水文水资源未来情势变化、制定科学的水资源利用和防汛抗旱决策具有重要意义。基于 1960—2016 年共 57 年深圳市水文测站降水量系列资料, 采用经验正交函数分解分析了深圳市年降水量的空间分布特征, 并借助 Mann-Kendall, Spearman 非参数检验、累积距平和小波分析等多种方法, 从趋势变化、突变特征和周期波动等方面研究年降水量时程演变特征, 初步分析了变化成因。研究结果表明: 57 年来深圳市年降水量空间上具有较明显的两种分布型态, 时程上不存在显著的趋势变化, 但在局部时段上呈现出以 1991 年或 2004 年前后为突变点、先降后升的阶段变化; 深圳市年降水量普遍存在 17~20 年、5~7 年的显著准周期, 未来深圳区域年降水量在 2016 年之后将会维持一段时间的偏丰状态。

关 键 词: 深圳市; 年降水量; 时程演变特征; 空间分布; 影响因素

中图分类号: TV125 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2018)03-0024-08

大气降水是表征陆地气候干湿程度的重要变量, 也是地表和地下水资源量时空变异性的主要控制因子^[1-2], 降水在时间和空间上的分布不均匀性, 导致了区域季节性干旱或水资源短缺问题^[3], 以及洪涝灾害的频繁发生, 并在很大程度上给区域水资源安全保障带来严重威胁。因此, 分析了解区域降水的时空演变特征, 检测和诊断其可能的变化规律, 对预估区域水文水资源未来情势变化、制定科学的水资源利用和防汛抗旱决策具有重要意义。

深圳地处珠江三角洲东岸, 与香港一水之隔, 属于典型亚热带海洋性气候区。受季风环流和台风的共同影响, 深圳雨量充沛但时空分布极不均匀, 历史上旱涝灾害频发, 严重威胁和制约着当地经济社会的快速发展。近年来, 在全球气候变化的大背景下, 加上城市化的快速发展, 深圳气候特征发生了明显改变, 主要体现为极端气候事件增多、热岛效应明显及汛期强降水显著增多^[4], 年降水天数明显下降^[5], 全年降水量气候平均值增加等^[6]。而随着“深圳速度”的突飞猛进, 近 10 余年深圳市下垫面变化更为剧烈, 在高强度的城市化背景下, 深圳区域降水的空间分布和时间演变特征是否发生剧烈变化亟待深入研究。为此, 本文基于 1960—2016 年共 57 年来的深圳市代表性水文测站降水资料, 依据 EOF 分解, Mann-Kendall, Spearman 非参数检验、累积距平和小波分析等多种分析方法, 从空间分布、年内分配、年际趋势、突变和周期特征等多角度分析深圳市年降水量时空变化规律及分布特征, 以期更深入地认识深圳降水变化的事实及今后的可能变化特征, 为深圳市水资源调度和防汛抗旱应对提供参考依据。

收稿日期: 2018-01-20

基金项目: 国家重点研发计划课题资助项目(2016YFC0400910, 2016YFC0401502); 国家自然科学基金资助项目(51609140, 51509157); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y516012, Y516034)

作者简介: 雒 翠(1978—), 女, 山东即墨人, 高级工程师, 主要从事水利规划与水工结构研究。

E-mail: july_lc@tom.com 通信作者: 刘 勇(E-mail: yongliu@nhri.cn)

1 研究区及研究方法

1.1 研究区概况

深圳位于广东南部,珠江三角洲东岸,与香港一水之隔,东临大亚湾和大鹏湾,西濒珠江口和伶仃洋,南隔深圳河与香港相邻,北部与东莞、惠州接壤。地理跨度北纬 $22^{\circ}27' \sim 22^{\circ}52'$,东经 $113^{\circ}46' \sim 114^{\circ}37'$,呈东西长、南北窄的狭长形。陆域总面积 $1\,997.27\text{ km}^2$,海域面积 $1\,145\text{ km}^2$,海岸线 283 km 。深圳地处北回归线以南,属亚热带海洋性气候,雨量充沛,多年平均年降雨量 $1\,848\text{ mm}$ 。雨量空间分布不均,东南多,西北少,自东向西递减,降雨时空分布不均,干旱和洪涝常交替出现。

1.2 数据系列

收集整理了深圳市石岩、罗田、铁岗、赤湾、西丽、深圳、高峰、清林径、三洲田和南澳圩等 10 个代表性水文站点 1960 年以来的逐日降水数据,雨量站空间分布见图 1。相关数据经过质量控制和“三性”审查,对其部分测站中缺测的数据利用临近站进行插补延长,利用泰森多边形法计算深圳市逐日面降水量,并统计了各测站及深圳市的年降水量系列。



图 1 深圳市代表性水文站点分布

Fig. 1 Distribution of representative hydrological stations at Shenzhen

1.3 研究方法

利用经验正交函数 (EOF) 分解法进行深圳市年降水量的空间变化分析,分别利用 Mann-Kendall, Spearman 非参数检验,累积距平和小波分析等方法,进行深圳市年降水量的年际趋势、突变和周期特征分析。所选方法简单实用,且具有较高的有效性。

2 深圳市年降水空间分布特征

通过对深圳市 10 个降水代表站 57 年来的年降水量系列进行 EOF 分解,前 2 个分解模态的累计方差贡献率达到 87.3% ,基本上可以反映出原始序列的基本型态特征。前 2 个型态的空间分布如图 2 所示,反映出深圳市年降水量具有的两类主要的空间分布类型。型态对应的时间系数(图 3)代表某种降水空间分布类型的时间变化特征,绝对值越大,表明这一时段内这种降水分布类型越典型。

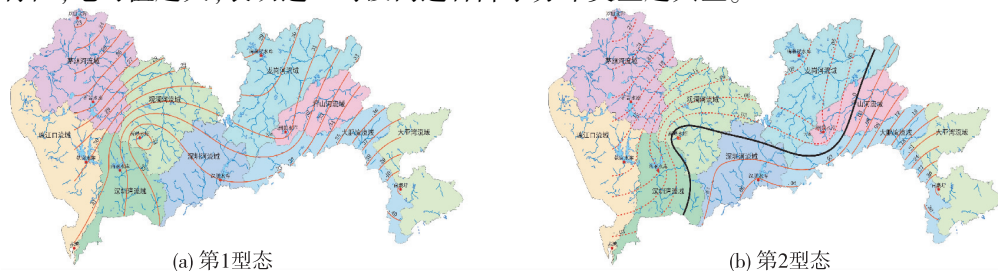


图 2 深圳市年降水量空间分布类型

Fig. 2 Spatial distribution types of annual precipitation at Shenzhen

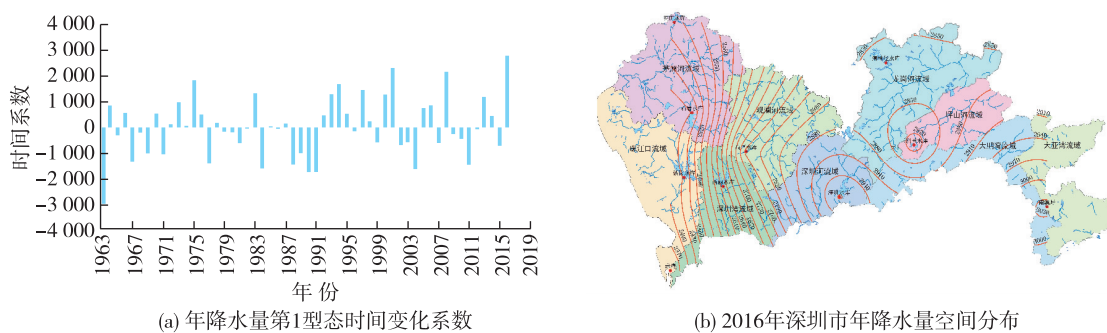


图3 深圳年降水量空间分布第1型态的时间变化系数和典型年份空间分布

Fig. 3 Time coefficients and typical spatial distribution of the first precipitation mode

由图2和图3可知:(1)57年来,深圳市年降水量空间上可以划分为两种主要分布型态,第1型态占主导地位,表现为全市年降水量变化趋势基本一致的特征,总体呈现由东南向西北方向递减的趋势,降水中心分别位于大鹏新区南澳圩和龙华区高峰水库附近;第2型态表现为深圳市年降水量大致以塘朗山—清林径水库一线为分界呈东南和西北相反的分布型,即东南部年降水量多、西北部年降水量少的分布型式,或者西北部年降水量多、东南部年降水量少的分布型式,反映了深圳市年降水量的空间局地差异。(2)从深圳市年降水量第1型态时间系数变化来看,进入20世纪90年代以来,第1型态降水量出现次数明显增多,从系数绝对值的变化可以看出2016年降水空间分布是非常典型的第1型态降水,并且在区域内形成了深圳水库和三洲田水库两个降水中心。

3 深圳市降水时程演变规律

3.1 年内分布规律

根据计算得出的1960—2016年深圳市逐日面降水量系列,统计了深圳市多年平均降水量年内逐月分布情况(见图4)。从图4可见,深圳市多年平均年降水量为1 848.3 mm,其年内分配很不均匀,大部分集中在汛期4—9月份,其中主汛期多年平均6—8月份降水量占全年降水量的一半以上,其他月份降水量比例相对较小。深圳汛期以7月为界,可分为两个阶段,4—6月是前汛期,多年平均降水量为746.5 mm,约占全年降水量的41%。前汛期主要受锋面低槽、热带云团、东风波等影响,多局地性的短时雷雨大风和暴雨等强对流天气。7—9月是后汛期。多年平均后汛期降水量为824.3 mm,约占全年降水量的44%。后汛期主要受热带气旋(台风)的影响,平均每年约有4个热带气旋(台风)影响深圳市。后汛期降水地区差异很大,容易出现局地性短时雷雨大风天气和洪涝灾害。

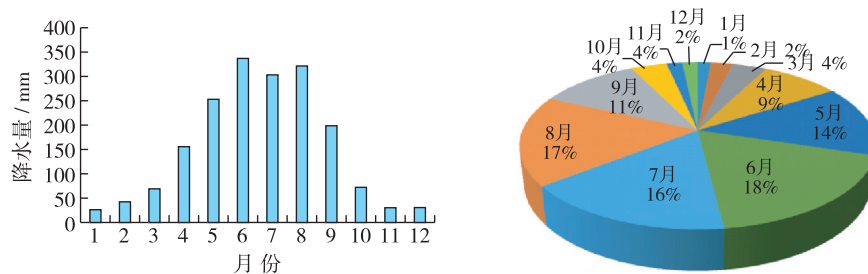


图4 深圳市多年平均降水量年内分布

Fig. 4 Annual average precipitation distribution at Shenzhen

3.2 年际变化规律

3.2.1 趋势性规律 采用线性分析方法进行了深圳市及各测站年降水量的趋势变化分析,图 5 给出了深圳市及部分测站的年降水量变化趋势。并利用 Spearman 和 Kendall 方法对降水量变化趋势的显著性进行了检验(见表 1)。

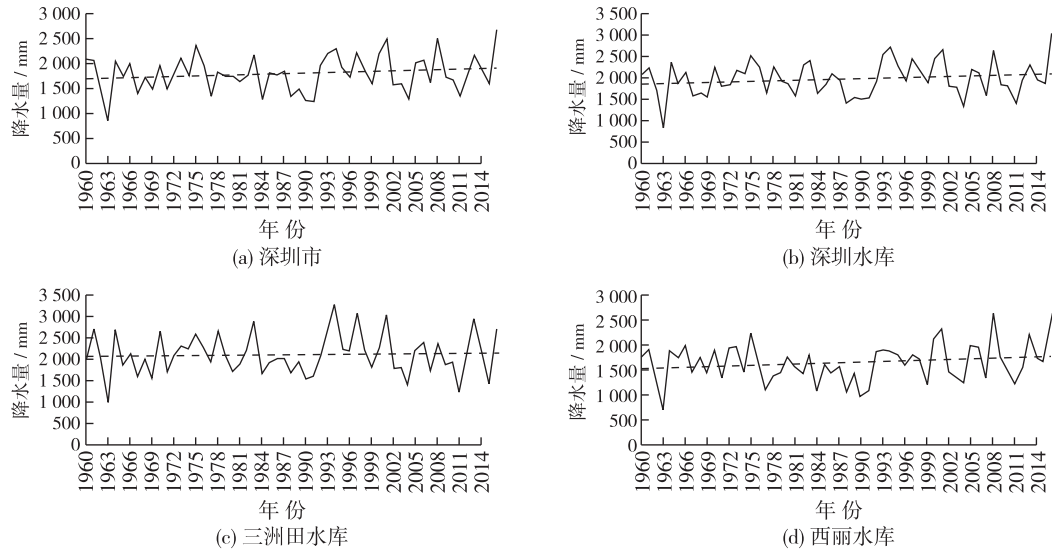


图 5 深圳及部分测站年降水量趋势变化
Fig. 5 Variation tendency of annual precipitation at Shenzhen

表 1 深圳市年降水量趋势显著性检验结果(显著性水平=95%)

Tab. 1 Results of significance test of annual precipitation trend at Shenzhen (degree of confidence is 95%)					
测站	变化趋势	Kendall 统计量	临界值 1	Spearman 统计量	临界值 2
深圳市	上升	0. 72	1. 96	0. 76	2. 23
石岩水库	上升	0. 18	1. 96	0. 19	2. 23
罗田水库	上升	0. 83	1. 96	0. 73	2. 23
铁岗水库	上升	1. 39	1. 96	1. 43	2. 23
赤湾	上升	1. 14	1. 96	1. 23	2. 23
西丽水库	上升	0. 65	1. 96	0. 67	2. 23
深圳水库	上升	0. 74	1. 96	0. 75	2. 23
三洲田水库	上升	0. 13	1. 96	0. 18	2. 23
清林径水库	上升	0. 97	1. 96	1. 06	2. 23
高峰水库	上升	1. 34	1. 96	1. 13	2. 23
南澳圩	上升	1. 39	1. 96	1. 37	2. 23

从深圳市及各测站年降水量的趋势变化过程来看,自 20 世纪 60 年代开始,深圳全市及各测站年降水量均呈现出上升的变化趋势,经 Spearman 和 Mann-Kendall 两种非参数统计方法的检验,发现各指标统计值均未超过 95%置信度相应的临界值,表明 57 年以来,整个深圳市年降水量均未发生显著的变化趋势,这一结果与林凯荣等^[7]研究结论一致,同邻近的广州^[8]、惠州^[9]等年降水同样存在上升趋势、但并不显著的特点。

3.2.2 变异性规律 利用累积距平法进行了深圳市及各测站年降水量的变异性分析,图 6 给出了深圳市及部分测站的年降水量累积距平变化曲线。

从深圳市及各测站年降水量的累积距平变化曲线来看,深圳全市及各测站年降水量基本呈现先降后升的变化趋势,主要突变点集中在 1991 年和 2004 年前后。其中,深圳市、石岩水库、铁岗水库、赤湾、西丽水

库、深圳水库、三洲田水库、高峰水库和南澳圩具有相似的突变点 1991 年,1991 年之前,年降水量基本呈现下降趋势,1991 年之后,年降水量有一定上升趋势。而罗田水库和清林径水库在 2004 年前后年降水量有较为明显的突变,同样呈现出先下降后上升的变化趋势,这两个突变点可能与深圳城市化进程具有一定的相关性。

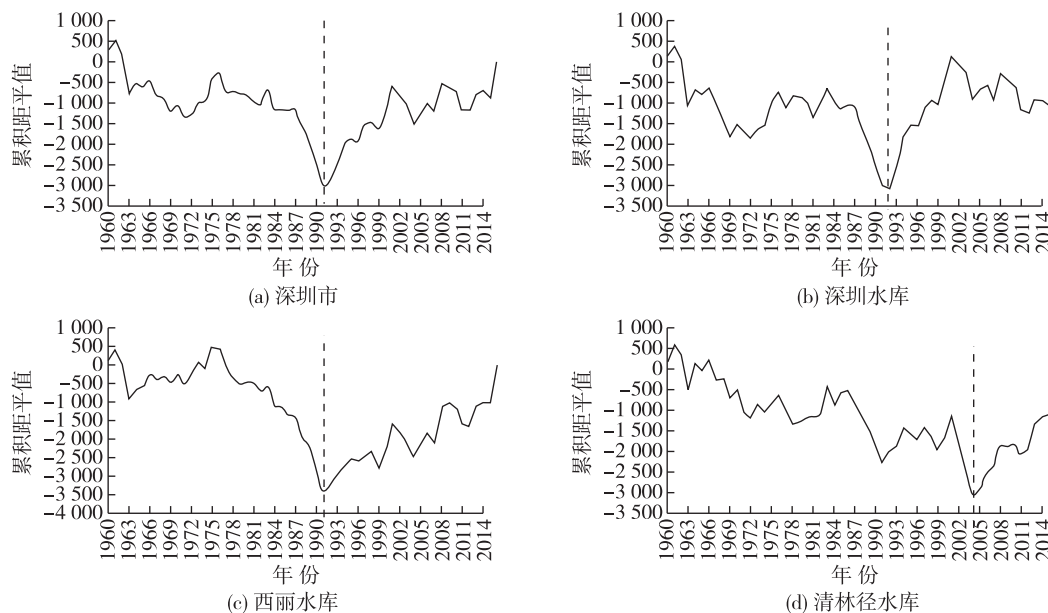


图 6 深圳及部分测站年降水量累积距平曲线

Fig. 6 Cumulative anomaly curves of annual precipitation at Shenzhen and some stations

3.2.3 周期性规律 由于影响水文要素长期变化因素的复杂性,水文时间序列往往表现出多时间尺度变化的特性。小波分析能够在时域和频域同时保持良好的局部化特征,具有突变点诊断能力和多分辨特性等优点。因此本文采用 Morlet 连续小波对深圳市全市及各测站年降水量的周期演变规律和丰枯变异特征进行初步分析。图 7 是 1960—2016 年深圳市及部分测站的年降水量小波系数等值线和小波方差,其中,小波系数等值线图中实线、虚线和粗实线分别对应大于、小于和等于零的小波系数等值线。

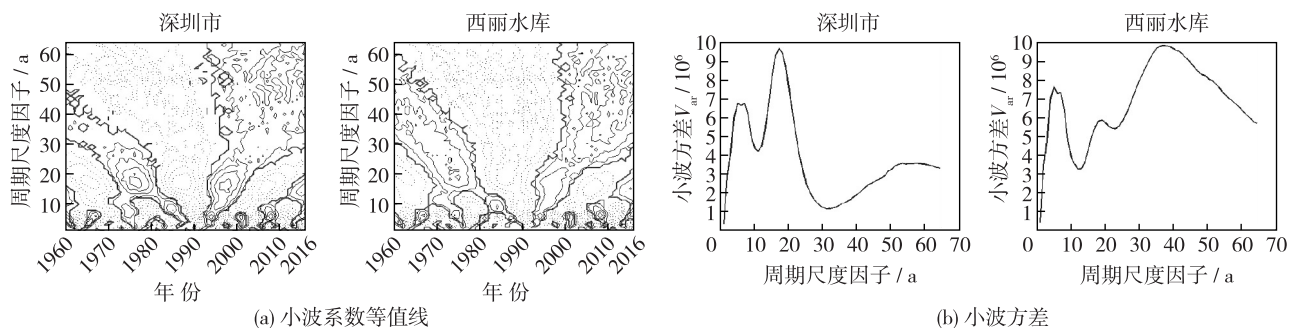


图 7 深圳及部分测站年降水量小波系数等值线和小波方差

Fig. 7 Contour of wavelet coefficients and variance of annual precipitation at Shenzhen

由图 7 可知,深圳市年降水量序列具有以下丰枯变化和周期演变特征:

(1) 深圳市年降水量具有明显的多时间尺度演变特性,表现为不同时间尺度的周期振荡和多个变异点。结合小波等值线图和小波方差图,可以确定深圳市年降水量的显著准周期为 19 年和 7 年。

(2) 在 $a=19$ a 的时间尺度上,深圳市年降水量周期变化的振幅最大。在这一级时间尺度上,1960—

2016年的深圳市年降水量经历了5个基本演变阶段,对应的丰枯变异点是1972年、1983年、1992年、2001年和2012年。第1阶段(1960—1972年),平均年降水量为1 634 mm,总体偏枯;第2阶段(1973—1983年),平均年降水量为1 861 mm,总体偏丰;第3阶段(1984—1992年),平均年降水量为1 554 mm,总体偏枯;第4阶段(1993—2001年),平均年降水量为2 059 mm,总体偏丰;第5阶段(2002—2012年),平均年降水量为1 747 mm,总体偏枯。而深圳市年降水量在2013年又开始了新一轮的由枯变丰的阶段,特别是2016年出现了2 683 mm的丰水年份。

(3)对深圳市降水测站而言,年降水量同样具有显著的多时间尺度演变特征,与深圳市年降水量周期特征类似,深圳市各测站年降水量基本存在17~20年,5~7年的显著准周期,其中罗田水库和西丽水库38年和48年左右的准周期,由于时间序列长度不够,目前不能验证。从各测站年降水量第1主周期的时间尺度上来看,深圳区域年降水量在2016年之后基本会维持一段时间的丰水期。

4 影响深圳降水变化的主要因素分析

深圳所处的地理位置决定了其降水主要受季风环流和台风的共同影响,同时随着深圳城市化进程的不断推进,城市化对降水的影响也不断加剧。从1960—2016年东亚季风指数(图8)和影响深圳台风个数(图9)的趋势变化来看,东亚季风强度呈现出一定的下降趋势,而影响深圳台风的个数呈现出微弱的上升趋势,但经Spearman和Mann-Kendall两种非参数统计方法的检验,发现东亚季风强度(Kendall统计值1.04和Spearman统计值1.05)和影响深圳台风的个数(Kendall统计值1.25和Spearman统计值1.27)均未超过95%置信度相应的临界值,表明57年以来,东亚季风强度和影响深圳台风的个数均未发生显著的变化趋势,这也是1960—2016年来深圳市年降水量保持相对稳定的主要原因。

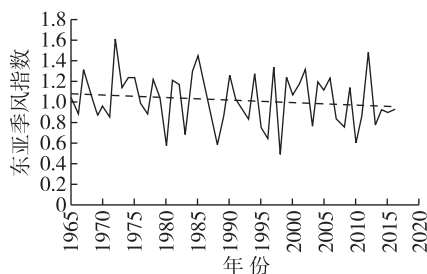


图8 东亚季风指数趋势变化
Fig. 8 Variation tendency of east Asian monsoon index

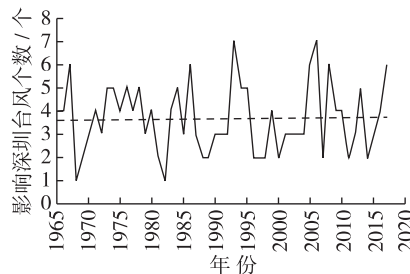


图9 影响深圳台风个数趋势变化
Fig. 9 Variation tendency of number of typhoon in Shenzhen

而从1980—2016年深圳市城市化率变化(图10)来看,整个深圳市的城市化进程有两次明显的提速期,一次是1992年,深圳扩大特区范围,原宝安县分成宝安、龙岗两区;另一次是2003年,深圳实现了人口意义上的全面城市化,这两个时间节点与深圳市全市及各测站年降水量1991年和2004年前后两个主要的突变点时间基本吻合,说明了在深圳市年降水的阶段性变化中,城市化影响也越来越大。随着未来深圳人口和产业的不断聚集,加上城市下垫面的急剧演替,城市化对深圳降水的影响程度也将会不断加深。

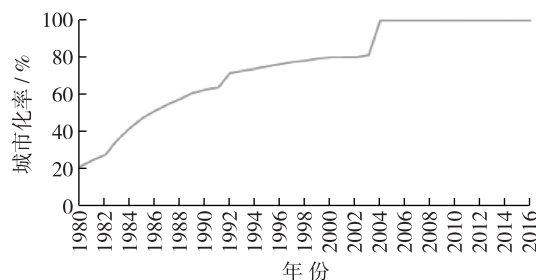


图10 深圳市城市化率变化
Fig. 10 Change of urbanization rate in Shenzhen

5 结 语

依据深圳市 10 个代表性水文站点 1960—2016 年共 57 年的降水系列,全面分析了深圳市年降水量的空间分布、年内分配及年际趋势变化、丰枯变异和周期演变规律,初步分析了降水影响因素,得出以下主要结论:

(1) 57 年来,深圳市年降水量空间上可以划分为两种主要分布类型,第 1 类型表现为全市年降水量变化趋势基本一致的特征,总体呈现由东南向西北方向递减的趋势,降水中心分别位于大鹏新区南澳圩和龙华区高峰水库附近;第 2 类型表现为深圳市年降水量大致以塘朗山—清林径水库一线为分界呈东南和西北相反的分布型态,反映了深圳市年降水量的空间局地差异。其中,进入 20 世纪 90 年代以来,第 1 类型降水特征出现次数明显增多。

(2) 深圳市降水量年内分配很不均匀,集中在汛期 4—9 月份,其中前汛期(4—6 月)降水量约占全年 41%,主要受锋面低槽、热带云团、东风波等影响;后汛期(7—9 月)降水量约占全年 44%,主要受热带气旋(台风)的影响。

(3) 1960—2016 年深圳市年降水量趋势变化总体上不显著,但是在局部时间,呈现出一定的阶段性变化,深圳市及各测站年降水量主要以 1991 年和 2004 年前后为突变点,呈现先降后升的变化趋势。

(4) 深圳市及各测站年降水量呈明显的多时间尺度丰枯变化特征,深圳市年降水量存在 19 年和 7 年的显著准周期,而各测站年降水量基本存在 17~20 年,5~7 年的显著准周期。从深圳市及各测站年降水量第 1 主周期的时间尺度上来看,深圳区域年降水量在 2016 年之后将会维持一段时间的丰水期,这为深圳市未来的水资源调度和防汛抗旱应对提供了一定的参考。

(5) 57 年来,东亚季风强度和影响深圳台风的个数均未发生显著变化,是深圳年降水量保持相对稳定的主要原因,而近年来深圳降水的突变主要由城市化导致的,未来这种影响将会不断加剧。

参 考 文 献:

- [1] 夏军,刘春蓁,任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 1-12. (XIA Jun, LIU Chunzhen, REN Guoyu. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(1): 1-12. (in Chinese))
- [2] 任国玉,战云健,任玉玉,等. 中国大陆降水时空变异规律——大陆气候学特征[J]. 水科学进展, 2015, 26(3): 299-310. (REN Guoyu, ZHAN Yunjian, REN Yuyu, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: I: Climatology[J]. Advances in Water Science, 2015, 26(3): 299-310. (in Chinese))
- [3] 张建云,王国庆,杨扬,等. 气候变化对中国水安全的影响研究[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 290-295. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing, YANG Yang, et al. The possible impacts of climate change on water security in China[J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(5): 290-295. (in Chinese))
- [4] 张丽,申双和,孙向明,等. 深圳市强降水的气候变化趋势及突变特征[J]. 广东气象, 2010, 32(3): 17-19. (ZHANG Li, SHEN Shuanghe, SUN Xiangming, et al. Climate change trend and catastrophe features of strong precipitation in Shenzhen City [J]. Guangdong Meteorology, 2010, 32(3): 17-19. (in Chinese))
- [5] 张恩洁,赵昕奕,张晶晶. 近 50 年深圳气候变化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(4): 535-541. (ZHANG Enjie, ZHAO Xinyi, ZHANG Jingjing. Climate change in Shenzhen during 1953—2004 [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 43(4): 535-541. (in Chinese))
- [6] 王博,郭明,张丽. 近 60 年深圳气候平均值变化特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2012, 35(2): 67-71. (WANG Bo, WU Ming, ZHANG Li. Variation characteristics of climatic mean values over the past 60 years in Shenzhen [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2012, 35(2): 67-71. (in Chinese))
- [7] 林凯荣,何艳虎,雷旭,等. 深圳市 1960-2009 年降雨时空变化分析[J]. 中国农村水利水电, 2013(3): 18-23. (LIN Kairong, HE Yanhu, LEI Xu, et al. An analysis of the temporal and spatial variation of the precipitation between 1960 and 2009 in Shenzhen City [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(3): 18-23. (in Chinese))

- [8] 唐亦汉, 陈晓宏. 近 50 年珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响[J]. 地理科学, 2015, 35(4): 476-482. (TANG Yihan, CHEN Xiaohong. Multi-scale spatio-temporal characteristics and influence of precipitation variation in Zhujiang River Basin during the last 50 Years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(4): 476-482. (in Chinese))
- [9] 姚寒梅, 卓文珊, 周月英, 等. 变化环境下惠州市降雨趋势特征及原因探析[J]. 人民珠江, 2017, 38(3): 1-7. (YAO Hanmei, ZHUO Wenshan, ZHOU Yueying, et al. Characteristics of precipitation tendency in Huizhou under environmental variations and cause analysis[J]. Pearl River, 2017, 38(3): 1-7. (in Chinese))

Tempo-spatial changes of precipitation of Shenzhen in last 57 years

LUO Cui¹, LIU Yong², ZHU Xiaoqing³, FU Hanxiu²

(1. Shenzhen GuangHuiYuan Water Conservancy Exploration Survey & Design Co., Ltd., Shenzhen 518020, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Water Resources Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518036, China)

Abstract: It is of great significance to understand the change rules of the precipitation for predicting the regional water resources situation changes in the future and formulating the decisions of water resources utilization and flood control. Based on the precipitation observation data obtained from 1960 to 2016 in Shenzhen, the comprehensive analysis of the tempo-spatial variation characteristics of the precipitation over the area, such as the spatial variation, the long-term trends, the break point and the periodic oscillations, etc, is carried out by using the empirical orthogonal function decomposition (EOF), the cumulative anomaly curves, the Mann-Kendall and the Spearman nonparametric testing and the Morlet continuous wavelet analysis. The research results show that the annual precipitation in Shenzhen has two distinct spatial distribution patterns in the past 57 years, and there is no significant change trend in the time history of the precipitation, but in the local period, the precipitation shows a sudden change in 1991 or 2004, and showing a gradual change after falling first and then rising. The analysis results also show that the annual precipitation in Shenzhen generally has a significant quasi period of 17-20 years and 5-7 years. In the future, the annual precipitation in Shenzhen will remain at a high level for some time after 2016.

Key words: Shenzhen; annual precipitation; time history variation characteristics; spatial distribution; influence factor