

寒溪河流域降雨特征时空变化分析研究

刘惠敏, 刘昭辰, 靳高阳, 尹开霞, 钟逸轩*

中水珠江规划勘测设计有限公司规划院, 广东 广州

收稿日期: 2024年3月18日; 录用日期: 2024年4月16日; 发布日期: 2024年4月28日

摘要

利用Mann-Kendall、Pettitt及Morlet小波分析等多种检验方法, 对寒溪河流域雨及流域内6个雨量站年降雨序列变化特征进行分析。结果表明: 流域内常平站和同沙站年降雨序列呈显著上升趋势, 松木山站年降雨序列略呈下降趋势, 流域雨、石龙站、上村站、黄牛埔站呈不显著上升趋势。流域雨及流域内6个雨量站年降雨序列突变点均不显著, 石龙站、上村站、松木山站和常平站对应突变点集中在2004年。石龙站年降雨第一主周期为33年, 其他5个站点年降雨第一主周期均为6年。流域降雨空间分布规律为由南向北递减, 由西向东递减, 流域内中下游年降雨增加趋势明显, 在未来防洪排涝规划中应予以考虑, 进一步提升寒溪河流域洪涝灾害防御能力。

关键词

年降雨, Mann-Kendall法, Pettitt法, 小波分析法, 寒溪河流域

Analytical Study on the Temporal and Spatial Variation of Rainfall Characteristics in the Hanxi River Basin

Huimin Liu, Zhaochen Liu, Gaoyang Jin, Kaixia Yin, Yixuan Zhong*

China Water Resources Pearl River Planning, Surveying and Designing Co. Ltd., Guangzhou Guangdong

Received: Mar. 18th, 2024; accepted: Apr. 16th, 2024; published: Apr. 28th, 2024

Abstract

The Mann-Kendall, Pettitt, Morlet wavelet and other relevant analysis and test methods were used to study the spatial and temporal variation rules of rainfall characteristics at six gauged stations in the Dongguan Hanxi River basin. The results show that the annual rainfall series of Changping and Tongsha stations show a significant upward trend, the annual rainfall series of Songmushan station shows a slight downward trend, and the rainfall of the basin in Shilong, Shangcun, and Huangnupu stations shows a non-significant

作者简介: 刘惠敏(1991-), 女, 汉族, 河南鹿邑人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源分析和技术研究方面工作, Email: 442934523@qq.com
*通讯作者 Email: yxzhong@whu.edu.cn

文章引用: 刘惠敏, 刘昭辰, 靳高阳, 尹开霞, 钟逸轩. 寒溪河流域降雨特征时空变化分析研究[J]. 水资源研究, 2024, 13(2): 211-218. DOI: 10.12677/jwrr.2024.132024

upward trend. The rainfall in the basin and the mutation points of the annual rainfall series at the six stations are not significant, and the corresponding mutation points at Shilong, Shangcun, Songmushan and Changping stations are concentrated in 2004. The first major cycle of annual rainfall at Shilong station is 33 years, while the first major cycle of annual rainfall in the basin and other five stations is 6 years. The spatial distribution pattern of rainfall in the basin is decreasing from south to north and from west to east. The increasing trend of annual rainfall in the middle and lower reaches is obvious and should be taken into account in future flood defense and drainage planning to further enhance the disaster flood defense capability of the Hanxi River basin.

Keywords

Annual Rainfall, Mann-Kendall Method, Pettitt Method, Wavelet Analysis Method, Hanxi River Basin

Copyright © 2024 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球变暖的背景下,受气候变化和人类活动对自然剧烈改造的影响,流域降雨序列的趋势和周期也出现与以往不同的明显变化,降雨时空变化更加复杂,城镇化对降雨的影响越来越大。中国位于气候敏感区[1],降雨有重要的研究价值,深入研究变化环境下的降雨特征,对水资源高效利用和全面了解气候变异条件下的水文响应机理等具有重要意义[2]。目前,针对降雨序列变化特征的研究方法较为成熟,主要有趋势检测法、突变检测法、小波分析法和聚类分析法等,在不同流域或区域取得了广泛应用。陈立华等[3]采用滑动平均、线性回归、M-K及R/S等方法综合分析钦州市降雨径流的趋势性及突变特征,分析表明钦州市降雨总体呈弱增加趋势;陈鹏等[4]采用Hurst系数法进行趋势诊断和跳跃诊断,分析宁波市北仑区降雨序列的变异情况;张平等[5]利用淮河蚌埠以上流域内112个雨量站的逐日降雨资料,采用M-K趋势分析和小波分析法研究该流域近50年的降雨时空分布特征,认为整个蚌埠以上降雨有递增趋势;张利茹等[6]选取黄河流域和淮河流域的典型支流,利用有序聚类分析法和M-K检验法典型支流水文序列进行变异分析。王兆礼等[7]利用珠江流域80个观测站40年的逐月降雨资料对珠江流域的变化趋势及突变分量进行分析,结果表明珠江流域年降雨序列呈微弱增加趋势,存在明显的11年主周期振荡,但不存在突变现象。国外学者在降雨趋势、突变分析的基础上,研究水汽变化及地形对降雨的影响[8][9]。然而,现有研究尚未考虑东莞市作为研究对象,以珠江流域为尺度的研究对于东莞市具有一定指导意义但空间尺度过大,无法全面体现东莞市降雨变化特征。考虑到近年来粤港澳大湾区暴雨灾害愈发频繁[10],有必要针对东莞市主要流域片开展降雨特征变化分析研究,更好地为东莞市全面实施粤港澳大湾区水安全保障规划、高质量编制东莞市防洪排涝规划等提供成果支撑。

因此,本文以寒溪河流域为研究区域,采用水文年鉴中的降雨序列数据,首先采用泰森多边形法,计算寒溪河流域面降雨,其次采用5a滑动平均、M-K趋势检测分析寒溪河流域降雨变化趋势,最后采用Pettitt突变检测求出降雨系列的突变年份,最后采用Morlet小波分析法进行周期特征分析,其成果可为寒溪河流域水资源利用和防洪排涝规划提供一定的参考。

2. 资料与方法

2.1. 研究范围和资料

寒溪河流域地处东莞市西南部,东与石马河流域相邻,南接深圳,西邻狮子洋和珠江口,北邻东江干流及

东江南支流，为东江左岸一级支流，流域面积 847 km²，主要支流有松木山水、梅塘水、黄沙河、寮步水和东坑内河等水系。流域属亚热带季风气候区，多年平均雨量为 1767.8 mm，暴雨多集中在每年的 4~9 月份。

本次选取了寒溪河流域 6 个站点的逐日降雨资料，包括石龙(樊屋)站、上村站、黄牛埔站、松木山站、常平站和同沙站，各站点分布见图 1。各站点均为东莞市水文年鉴整编资料，水文资料整编、审查、复审和汇编符合相关技术规范规定，可以应用于寒溪河流域的降雨特征分析研究。各站点资料年限及所处位置如表 1 所示。

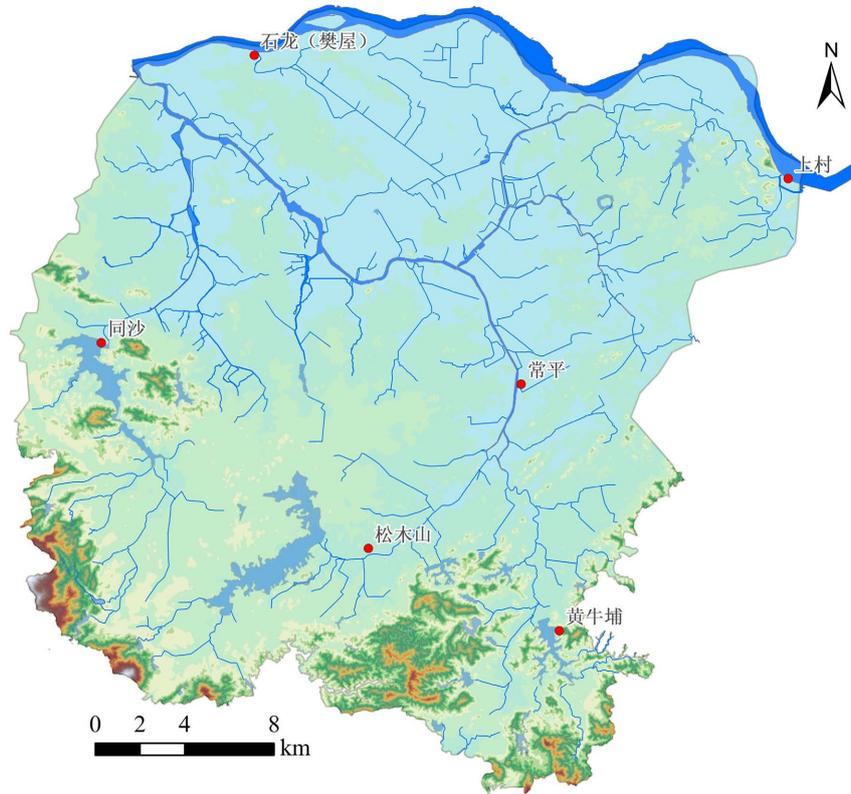


图 1. 寒溪河流域河流水系及站点分布图

表 1. 各站点资料年限及位置

站名	所在河流	站别	资料系列	采用资料系列	观测场地点
石龙(樊屋)	东江	潮水位	1952~2020	1975~2020	石龙镇樊屋村
上村	东江	雨量	1956~2020	1975~2020	桥头镇建塘村
黄牛埔	梅塘水	水位	1972~2020	1975~2020	黄江镇黄牛埔水库
松木山	松木山水	水位	1975~2020	1975~2020	大朗镇松木山水库
常平	寒溪河	水位	1965~2020	1975~2020	常平镇新桥排站
同沙	黄沙河	水位	1963~2020	1975~2020	东莞市东城区同沙水库

2.2. 研究方法

采用 Mann-Kendall 趋势检测法[11]对寒溪河流域和 6 个雨量站降雨变化趋势进行分析，采用 Pettitt 突变点检测法[12]检测降雨时间序列突变发生的时间，利用 Morlet 小波分析法[13]分析降雨序列的周期性。因选取方法均为常用方法，原理不再赘述。

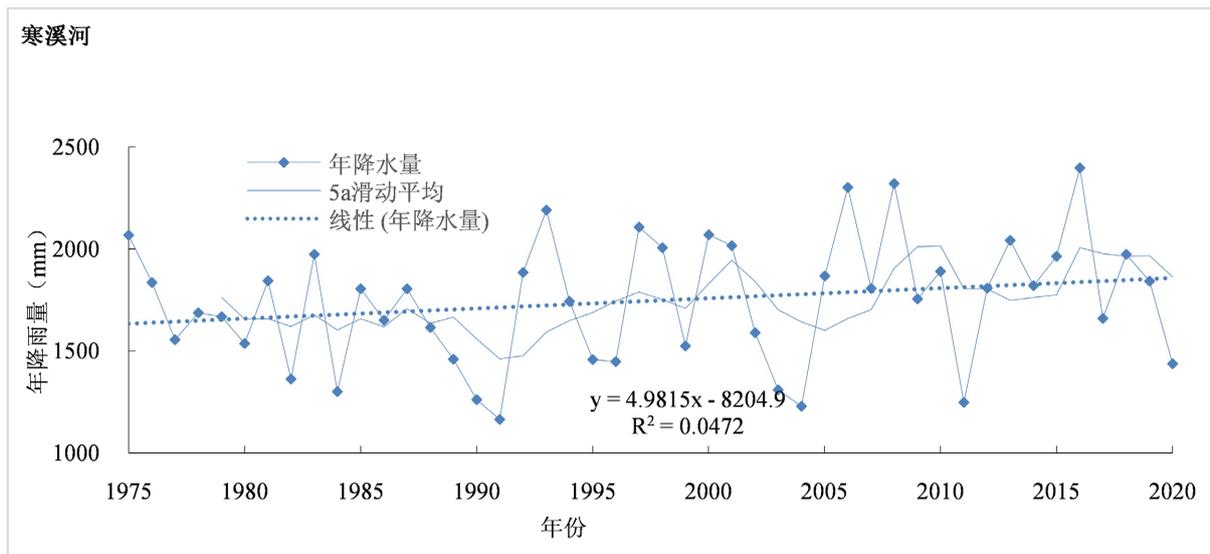
3. 结果与分析

3.1. 寒溪河流域雨分析

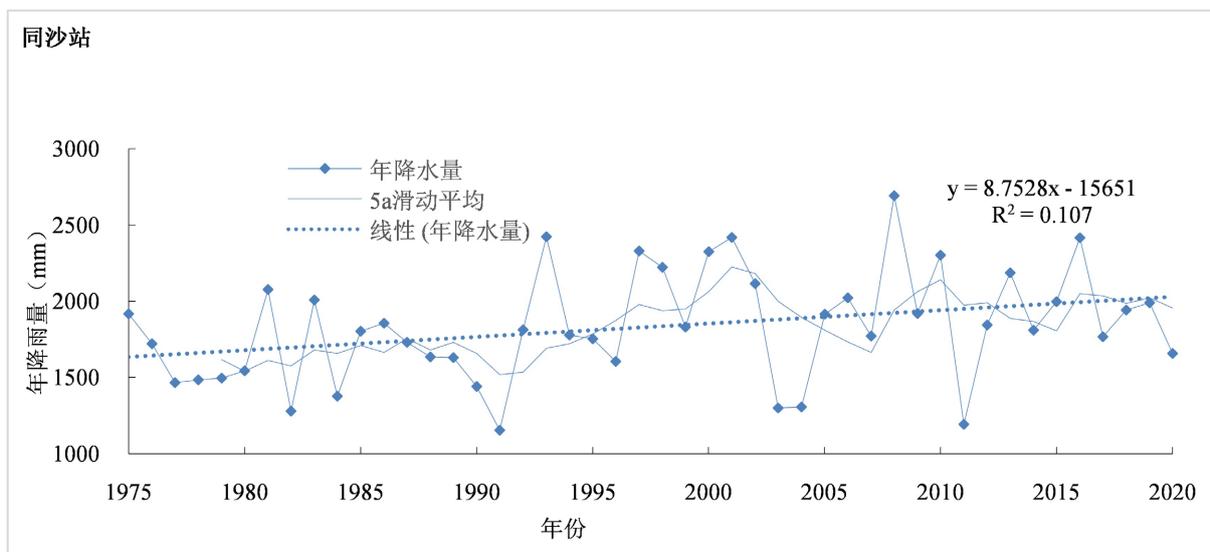
寒溪河流域雨分析选择寒溪河流域及流域内长度超过 30 年的主要站点石龙(樊屋)站、上村站、黄牛埔站、松木山站、常平站、同沙站, 根据各站的位置, 采用泰森多边形计算各站点的权重(见表 2), 分析计算寒溪河流域逐日雨(1975~2020 年)系列。

表 2. 各站点权重表

站点	石龙(樊屋)	上村	黄牛埔	松木山	常平	同沙	合计
权重(%)	10.0	9.0	14.6	21.5	24.7	20.2	100



(a) 寒溪河流域



(b) 同沙站

图 2. 寒溪河流域及同沙站年降雨变化趋势

3.2. 降雨趋势变化分析

本次研究对寒溪河流域及 6 个站点年降雨系列数据进行分析, 结果表明: 除松木山站以 -0.11 mm/a 的速度略有降低以外, 寒溪河流域及其他 5 个站点年降雨均呈上升趋势, 其中, 常平站和同沙站分别以 7.9 、 8.8 mm/a 的速度上升明显。以寒溪河流域和同沙站为例, 1975~2020 年的年降雨过程见图 2。接下来采用 M-K 方法对寒溪河流域及各站点年降雨系列的变化显著性进行分析(见表 3)。通过表 3 可以看出, 除松木山站外, 寒溪河流域及其他 5 个站点的 M-K 统计量均大于 0, 与上述结论一致。利用 95%置信度对相应统计量进行显著性检验, 仅常平站和同沙站通过显著性检验, 寒溪河流域、石龙(樊屋)站、上村站、黄牛埔站和松木山站均未通过显著性检验。

表 3. 寒溪河流域及各站点年降雨系列趋势性检验结果

名称	均值	M-K 统计量	显著性
寒溪河流域雨	1745.6	1.21	不显著
石龙(樊屋)站	1699.9	0.80	不显著
上村站	1698.6	0.53	不显著
黄牛埔站	1670.6	0.11	不显著
松木山站	1730.3	-0.04	不显著
常平站	1767.9	1.97	显著
同沙站	1832.5	2.14	显著

注: 本次置信度取 95%, 对应 M-K 统计量阈值为 1.96。

3.3. Pettitt 突变性分析

通过 Pettitt 非参数检验法对寒溪河流域及 6 个站点年降雨序列进行变异点分析, 结果见表 4。根据表 4 可以看出, 石龙(樊屋)站、上村站、松木山站和常平站年降雨序列突变点均为 2004 年, 寒溪河流域雨序列突变点为 1996 年, 黄牛埔站年降雨序列突变点为 2011 年, 同沙站年降雨序列突变点为 1991 年, 但均未通过显著性检验, 即寒溪河流域及 6 个站点年降雨序列对应突变点均不显著。

表 4. 寒溪河流域及 6 个站点系列突变性检验结果

名称	统计量	变异点可能取值年份	显著性	名称	统计量	变异点可能取值年份	显著性
寒溪河流域雨	190.0	1996	不显著	松木山站	100.0	2004	不显著
石龙(樊屋)站	264.0	2004	不显著	常平站	264.0	2004	不显著
上村站	136.0	2004	不显著	同沙站	273.0	1991	不显著
黄牛埔站	99.0	2011	不显著				

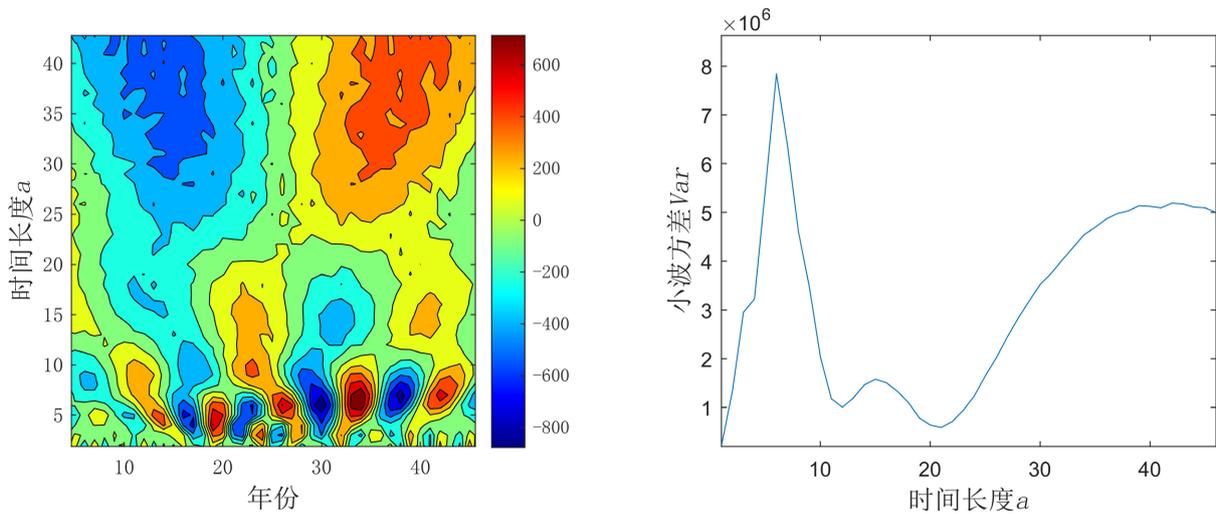
3.4. Morlet 小波分析法

在趋势性检测与突变性分析的基础上, 采用 Morlet 小波分析法对寒溪河流域及各个站点年降雨系列的周期性进行分析研究, 结果如表 5 所示, 以寒溪河流域、石龙(樊屋)站和同沙站为例, 小波分析图见图 3。图 3 显示寒溪河流域、石龙(樊屋)站和同沙站近 46 年降雨存在不同时间尺度的周期变化规律。寒溪河流域和同沙站在 41 年左右时间尺度上, 存在 2 个准震荡周期, 年降雨经历了少→多的循环交替, 6 年左右时间尺度的周期震荡在 90 年代以后较为稳定, 存在多雨和少雨的循环交替。寒溪河流域在 3 年左右时间尺度上存在多个的降雨较多和

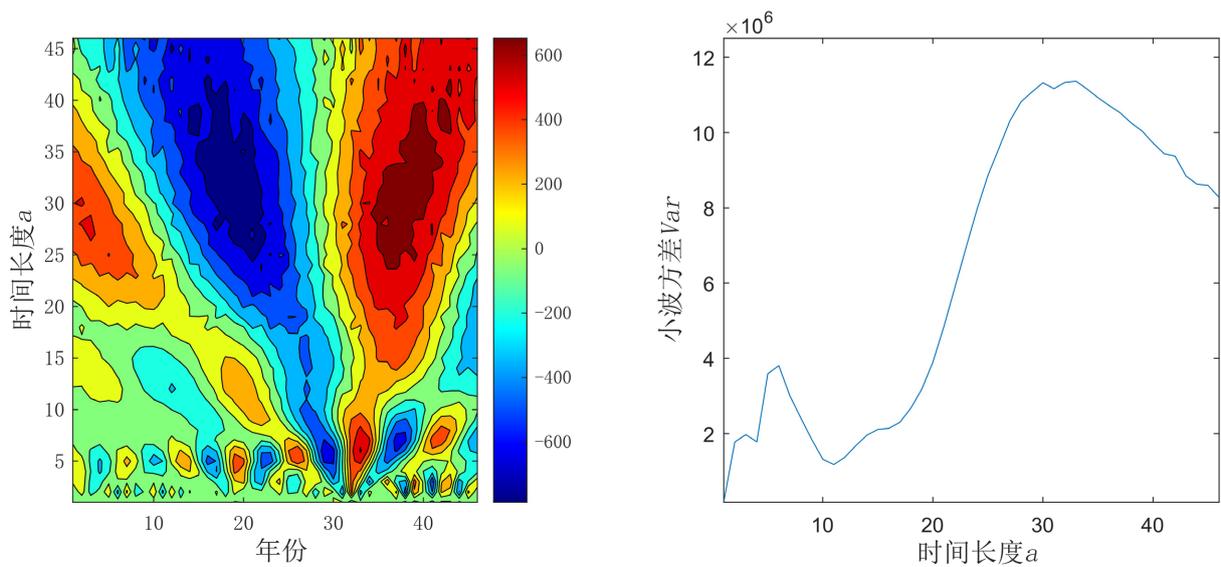
较少的循环交替，同沙站在 11 年左右尺度上存在准 6 次震荡。石龙(樊屋)站在 33 年左右时间尺度上，存在 3 个准震荡周期，年降雨经历了多→少→多的循环交替，6 年左右时间尺度的周期震荡同样是在 90 年代以后较为稳定，存在多雨和少雨的循环交替，在 3 年左右时间尺度上存在多个降雨较多和较少的循环交替。由表 5 结果可以看出，除石龙(樊屋)站年径流第一主周期为 33 年，第二主周期为 6 年，寒溪河流域和其他 5 个站点年径流第一主周期均为 6 年。

表 5. 寒溪河流域及各站点年降雨系列周期性检验结果

名称	第一主周期(年)	第二主周期(年)	第三主周期(年)	名称	第一主周期(年)	第二主周期(年)	第三主周期(年)
寒溪河流域	6	41	3	松木山站	6	3	29
石龙(樊屋)	33	6	3	常平站	6	41	16
上村站	6	4	17	同沙站	6	41	11
黄牛埔站	6	15	34				



(a) 寒溪河流域



(b) 石龙(樊屋)站

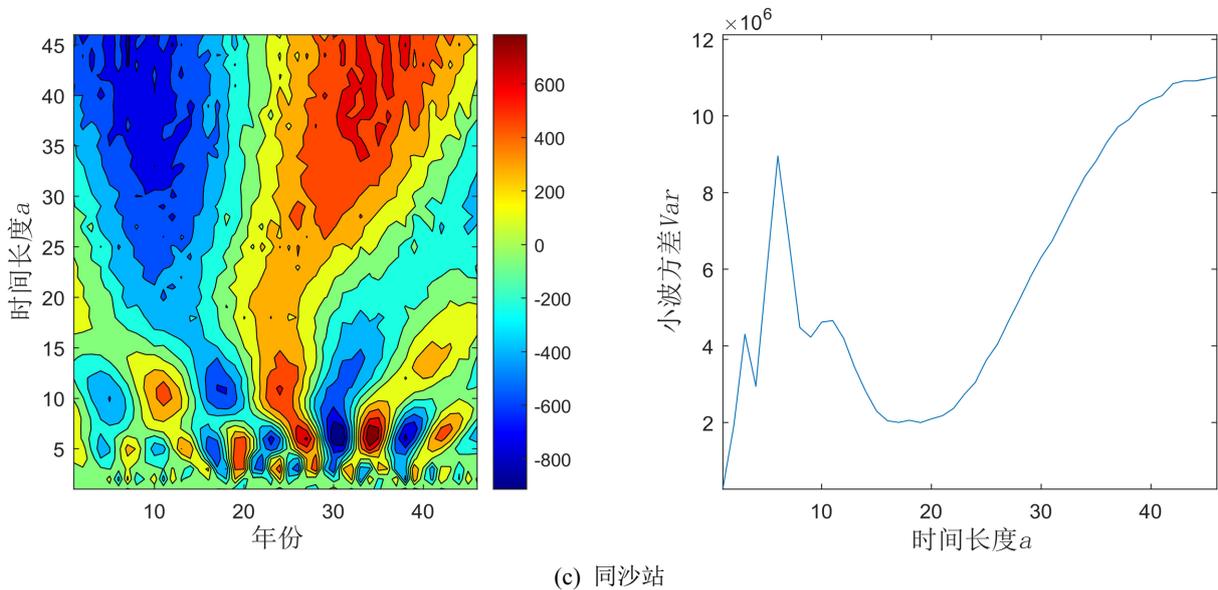


图3. 寒溪河流域、石龙(樊屋)站及同沙站年降雨系列小波分析图

3.5. 降雨空间演变规律

根据寒溪河流域及流域内 6 个雨量站降雨资料, 得到不同时段平均降雨值, 见表 6。通过寒溪河流域及流域内 6 个雨量站年降雨均值和汛期均值对比分析可知, 流域降雨空间分布总体表现出由南向北递减, 由西向东递减的规律, 年降雨均值和汛期均值最小值均为黄牛埔站, 分别为 1670.6 mm、1395.3 mm; 最大值均为同沙站, 分别为 1832.5 mm、1512.1 mm。

表 6. 不同时段降雨均值统计表

名称	寒溪河	石龙(樊屋)	上村站	黄牛埔站	松木山站	常平站	同沙站
多年均值	1745.6	1699.9	1698.6	1670.6	1730.3	1767.9	1832.5
汛期均值	1247.6	1231.4	1412.1	1395.3	1453.5	1479.6	1512.1

4. 结论

东莞市作为粤港澳大湾区重要节点城市, 已经发展成具有千万人口、万亿 GDP 的特大城市。寒溪河流域干支流主要流经包括东城街道、寮步镇、大岭山镇、大朗镇、黄江镇、横沥镇、东坑镇、企石镇、石排镇、茶山镇、松山湖、常平镇、桥头镇等 13 个镇, 因此, 寒溪河流域洪涝灾害防御能力对东莞市至关重要。考虑到寒溪河流域年降雨呈上升趋势, 尤其是流域内中下游年降雨增加趋势明显, 需合理划分防洪、排涝分区, 确定防洪排涝总体布局, 系统规划防洪排涝工程措施和非工程措施, 以进一步提升灾害防御能力。本文通过寒溪河流域及流域内 6 个雨量站降雨序列分析研究, 得出以下主要结论:

1) 除松木山站年降雨序列略呈下降趋势外, 寒溪河流域及其他 5 个站点年降雨序列均呈上升趋势, 且常平站和同沙站上升趋势显著。

2) 石龙(樊屋)站、上村站、松木山站和常平站对应突变点集中在 2004 年, 寒溪河流域、黄牛埔站、同沙站年降雨序列突变点分别为 1996、2011 和 1991 年, 但对对应突变点均不显著。

3) 除石龙(樊屋)站年降雨第一主周期为 33 年, 寒溪河流域和其他 5 个站点年降雨第一主周期均为 6 年。

4) 寒溪河流域降雨空间分布规律为由南向北递减, 由西向东递减, 年降雨均值和汛期均值最小值均为黄牛

埔站, 最大值均为同沙站。

参考文献

- [1] 孙林海, 王凌, 李威, 等. 2022 年我国主要天气气候特征[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(1): 8-15, 21.
- [2] 彭俊台, 张强, 刘春玲. 珠江流域降雨特征研究[J]. 人民珠江, 2012, 5(3): 13-17.
- [3] 陈立华, 王焰, 易凯, 等. 钦州市降雨及入海河流径流演变规律与趋势分析[J]. 水文, 2016, 36(6): 89-96.
- [4] 陈鹏, 何军, 徐小峰, 等. 气候变化背景下降雨序列的变异分析[J]. 水电能源科, 2015, 33(12): 6-8.
- [5] 张平, 夏军, 邹磊, 等. 近 50 年来淮河蚌埠以上流域降水时空变化特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2017(3): 1-8.
- [6] 张利茹, 王兴泽, 王国庆, 等. 变化环境下水文资料序列的可靠性与一致性分析[J]. 水文, 2015, 35(2): 39-43.
- [7] 王兆礼, 陈晓宏, 张灵, 等. 近 40 年来珠江流域降水量的时空演变特征[J]. 水文, 2006, 26(6): 71-75.
- [8] JELENA, L., BRANISIAV, B., DRAGAN, B., et al. Spatial pattern of recent rainfall trends in Serbia (1961-2009). *Regional Environmental Change*, 2014, 14(5): 1789-1799. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0459-x>
- [9] HIROYUKI, I. Increasing trends in heavy rain during the warm season in eastern Japan and its relation to moisture variation and topographic convergence. *International Journal of Climatology*, 2015, 35(8): 2154-2163. <https://doi.org/10.1002/joc.4115>
- [10] 张柳红, 伍红雨, 向昆仑, 等. 1961-2021 年粤港澳大湾区暴雨气候变化特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2023, 62(4): 32-44.
- [11] 张宇, 吴计生, 刘洪超, 等. 西辽河流域典型河流径流变化趋势及突变分析[J]. 中国水土保持, 2023(8): 43-47.
- [12] 祝宗礼. 气候变化和人类活动对西汉水上游径流影响的定量研究[J]. 水利建设与管理, 2023(8): 42-46.
- [13] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.