

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.01.017

黔东北地区可利用降雨资源的变化 及关联因子分析

徐大红, 茅海祥, 胡萍, 钟有萍, 张李娟

贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁 554300

摘要: 利用 1960—2018 年黔东北(贵州省铜仁市)地区 10 个国家观测站的逐月降水量、蒸发、气温和日照资料, 采用经验正交函数 EOF 分析、线性趋势回归分析和相关分析方法, 分析了该区域的年降雨量、年可利用降雨量、年平均气温的空间分布特征和年际变化趋势, 以及年可利用降雨资源与年降雨量、年平均气温、年蒸发和年日照的关系。结果得出: 黔东北地区年可利用降水资源量、年降雨量和年平均气温的空间场分为 4 种典型分布类型。其中, 年可利用降水资源有全区一致型、南北反相型、东西反相型、对角反相型; 全区一致型为三者的主要空间分布型。在 59a 中该地区的年降雨量为线性减少趋势, 年平均气温为线性升高趋势, 年平均气温的线性升高趋势最为显著。年可利用降雨资源量与年降雨量的年代际振荡特征相似, 呈现为多—少—多—少—多的振荡变化, 年平均气温则由低转高的年代际变化特征。年可利用降雨资源与年降雨量、年降雨日数呈正相关, 而与年平均气温、年蒸发量、年日照时数呈负相关。相关程度最大的是年降雨量, 第二是年蒸发量, 第三是年降雨日数, 第四是年日照时数, 相关程度最小是年平均气温。

关键词: 黔东北地区; 可利用降雨资源量; 空间分布; 趋势变化; 相关分析

中图分类号: P467 文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2022)01-0184-10

Changes of Available Rainfall Resources in Northeast Guizhou and Analysis of Correlation Factors

XU Dahong, MAO Haixiang, HU Ping,
ZHONG Youping, ZHANG Lijuan

Meteorological Bureau of Guizhou Tongren City, Tongren Guizhou 554300, China

Abstract: Based on the monthly precipitation, evaporation, temperature and sunshine data of 10 national observation stations in northeastern Guizhou (Tongren City, Guizhou Province) from 1960 to 2018, using empirical orthogonal function EOF analysis, linear trend regression and correlation analysis methods, this

收稿日期: 2021-02-10

基金项目: 贵州省科技基金项目(黔科合基础【2018】1158)。

作者简介: 徐大红, 高级工程师, 主要从事天气预报与气候研究。

study analyzed the spatial distribution characteristics and interannual variation trend of annual rainfall, annual available rainfall and annual average temperature, as well as the relationships between annual available rainfall resources and annual rainfall, annual average temperature, annual evaporation and annual sunshine. The results showed that the spatial fields of annual available precipitation resources, annual rainfall and annual average temperature in northeastern Guizhou are divided into 4 typical distribution types. Among them, the annual available precipitation resources presented uniform type, north-south reversion type, east-west reversion type, and diagonal reversion type. The uniform pattern in the whole region is the main spatial distribution pattern of the three. In 59a, the annual rainfall in this area showed a linear decreasing trend, the annual average temperature showed a linear increasing trend, and the annual average temperature showed the most significant linear increasing trend. The annual available rainfall resources were similar to the inter-decadal oscillation characteristics of annual rainfall, showing more-less-more-less-more oscillation changes, while the change of annual average temperature changed from low to high. Annual available rainfall resources were positively correlated with annual rainfall and days of annual rainfall, but negatively correlated with annual average temperature, annual evaporation and annual sunshine hours. The highest degree of correlation is annual rainfall, the second is annual evaporation, the third is annual rainfall days, the fourth is annual sunshine hours, and the lest correlation is annual average temperature.

Key words: northeast Guizhou; available rainfall resources; spatial distribution; trend changes; correlation analysis

全球受气候变暖造成的水资源紧张现象日趋凸显, 水资源变化的最直接因素是气候变化. 最新的 IPCC 第六次评估报告的第一个特别报告《全球 1.5 °C 增暖》指出, 全球升温 1 °C 已导致极端天气增多、海平面上升、北极冰川减少等诸多后果, 也增加了生态系统长期或不可逆变化的风险. 气候变化对水资源的影响业已成为各界关注研究的重要课题, 也是关乎一个地区生态、经济、民生的重要问题. 我国从 20 世纪末就逐渐展开了气候变化以及水资源水文变化的研究工作. 中国科学院“九五”重大应用基础研究项目研究得出, 在气候变暖的背景下, 华北地区降水呈减少趋势; 陆面蒸发呈增加趋势^[1], 水资源呈减少趋势; 李永华等^[2]研究指出重庆地区在年气温偏高(低)、降水量偏少(多)时, 年可利用降水资源偏少(多); 陈亚宁等^[3]对全球气候变化背景下的中亚天山山区水文、水资源变化进行了讨论分析, 指出气候变暖直接影响区域水循环和水系统的稳定性, 引起径流补给方式和水资源数量的改变, 加大了水资源时空分布的不确定性; 翟禄新^[4]研究指出, 西北地区东部地表有变干的趋势, 这一趋势与降水量的减少和潜在蒸发量的增加有关; 罗永祥等^[5]研究指出, 贵州降水蒸发差在时空上的分布具有均衡性, 西部以负值为主, 东部以正值为主.

黔东北地区有武陵山脉的主峰——梵净山, 高大的山体南北向耸立在该地区中部, 2018 年梵净山国家自然保护区成为贵州四大世界自然遗产地. 黔东北地区的西部有乌江自西南向西北汇入长江水系, 东部则有松江、锦江两条大河汇入珠江水系, 年降雨量丰富, 其年际、地区间差异大, 导致该区域的水资源变率大, 江河流域水位陡涨陡跌, 洪涝、干旱灾害交替发生, 对经济发展和生态保护影响较大. 因此, 本研究试图从气候变化角度, 探析黔东北地区可利用降雨资源的分布状况、变化规律和影响因子, 为气候变化影响下的水资源利用和保护提供科学依据.

1 资料和方法

1.1 资料

本研究采用黔东北地区铜仁市的 10 个国家观测站的逐月降雨量、月雨日数、月平均气温、月日照资料, 序列长度为 1960—2018 年共 59a, 月蒸发量时间序列为 1980—2018 年共 39a, 资料经过均一检验. 通

常一个地区水资源的多少应取决于降雨量、蒸发量和径流量 3 个因子的变化,其中降雨量和蒸发量是决定水资源的 2 个最直接的因子,降雨量反映的是水分收入状况,而蒸发量则是显示水分消耗程度的指标,降水量与蒸发量之差基本能表征可利用降雨资源的多寡.为保证蒸发资料的统一性,使用蒸发量均采用各站的小型蒸发观测值,对一些站已使用大型蒸发代替小型蒸发的观测值,应用任芝花等^[6]研究的方法,将大型蒸发观测值换算为小型蒸发值后使用.

1.2 分析方法

本研究采用的方法为经验正交函数 EOF 方法、线性倾向估计回归、滑动平均法和相关分析方法,对黔东北地区年可利用降雨资源量、年降雨量、年平均气温和年蒸发量的空间分布特征和时间变化趋势,以及年可利用降雨资源量与年降雨量、年平均气温、年蒸发量和年日照时数之间的关系进行分析.

Lorenz 经验正交函数 EOF 分析方法,也称特征向量分析或主成分分析法,是提取主要数据时空分布特征量的一种方法.它通常用来研究样本的时空二维分布场,解决的是区域内时间尺度的分布状态.特征向量分析对应的是空间模态,主成分分析对应的是时间变化或时间系数.运用 North 等^[7]提出的计算特征值误差范围来进行显著性检验,其检验方法是计算特征值 λ_i 的误差范围: $e_i = \lambda_i \{2/n\}^{1/2}$, n 为样本量.当相邻的特征值 $\lambda_i + 1$ 满足 $\lambda_i - \lambda_{i+1} \geq e_i$ 时,就认为这两个特征值所对应的自然正交函数是有价值的信号.

2 黔东北地区年可利用降雨资源及关联气象因子

2.1 可利用降雨资源量、年降雨量、年平均气温的 EOF 空间分解特征

采用黔东北地区 10 个观测站 1960—2018 年共 59a 的月降雨量、月平均气温序列,以及 1980—2018 年 39a 月蒸发量,将同时期的月降雨量和月蒸发量计算相应差值作为各站 39a 的年可利用降雨资源量序列,对以上 3 个变量序列(年可利用降雨资源量、年降雨量、年平均气温)的标准化场分别进行经验正交函数 EOF 分解,计算结果列于表 1.

表 1 黔东北地区年可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温的前 4 个特征向量方差贡献

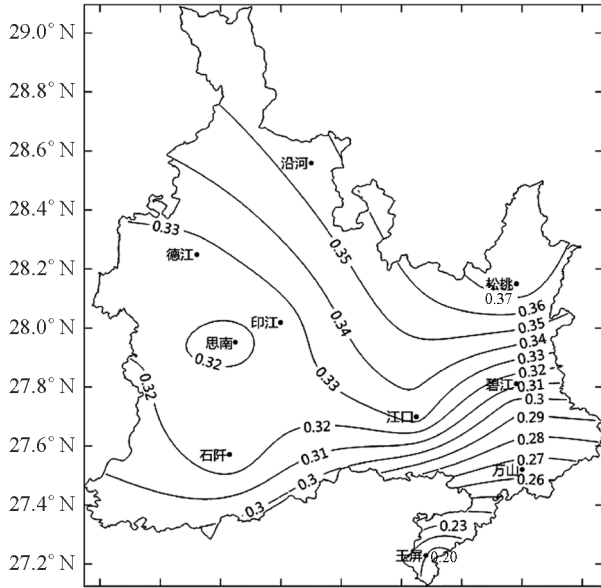
变量序列	第 1 特征向量		第 2 特征向量		第 3 特征向量		第 4 特征向量	
	方差	累积方差	方差	累积方差	方差	累积方差	方差	累积方差
	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%	贡献率/%
年可利用降雨资源量	71.11	71.11	8.82	79.93	7.02	86.95	3.53	90.48
年降雨量	63.23	63.23	11.84	75.07	6.67	81.74	4.88	86.62
年平均气温	86.43	86.43	6.35	92.78	3.04	95.82	1.49	97.31

从表 1 可看到,年可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温这 3 个变量序列的 EOF 分解的前 4 个特征向量的累积方差贡献率总和分别达 90.48%,86.62%,97.31%,涵盖了 3 个变量原始资料 86.62% 以上的信息,其中,累积方差贡献率总和年平均气温最大,年可利用降雨资源量次之,年降雨量最小,3 个变量的第 1 特征向量的累积方差贡献率分别达到总方差的 71.11%,63.23%,86.43%.因此可认为采用 3 个变量的前 4 个特征向量就可以较好地表征 3 个变量的空间典型场分布特征.

2.1.1 年可利用降雨资源量的空间场特征

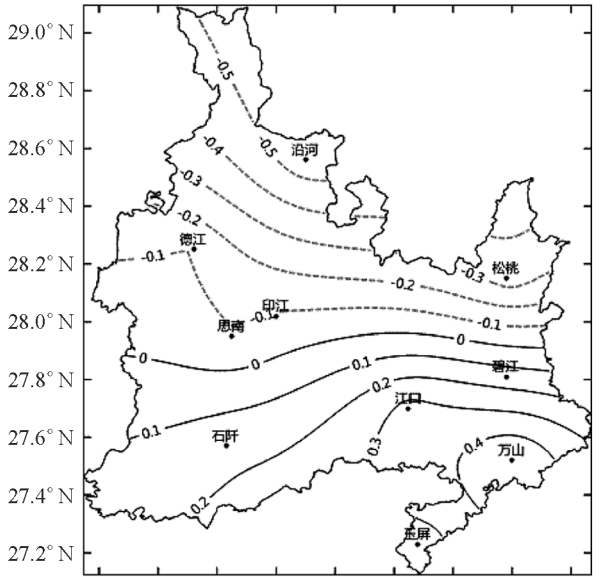
运用 EOF 分解的前 4 个特征向量,分解出年可利用降雨资源量的 4 种典型空间分布(图 1).分析发现,年可利用降雨资源量的第一特征向量符号均为正值,表明黔东北地区的年可利用降雨资源量主要分布基本一致,为全区一致型,说明该地区多数年份的年可利用降雨资源量反映为一致多或一致少的分布,高值中心集中在区域北部,以松桃 0.37 最高,东南部玉屏 0.20 最低(图 1a);第 2 特征向量符号南正北负,表明黔东北地区的年可利用降雨资源量第 2 分布型为南北反相型,说明在该区域年可利用降雨资源量的次多分布为南部偏多(少)时北部偏少(多)(图 1b);第 3 特征向量符号东正西负,黔东北地区的年可利用降雨资源量第 3 分布型为东西反相型,说明在该区域年可利用降雨资源量的第 3 多分布为西部偏多(少)时东部偏少(多)(图 1c);第 4 特征向量符号西南和东北正、西北和东南负,黔东北地区的年可利用降雨资源量第

4 分布型为西南—东北与西北—东南的对角反相型(图 1d).



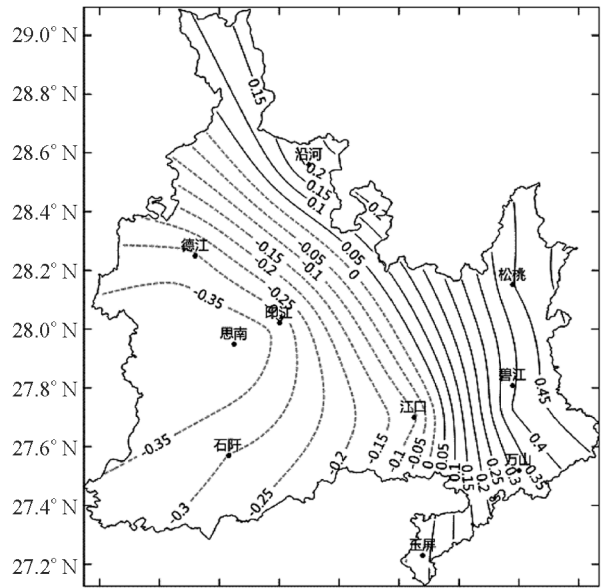
107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

a. 第1特征向量



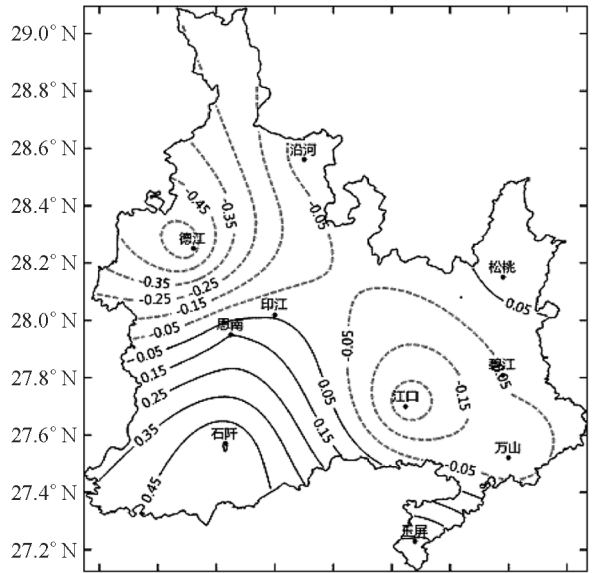
107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

b. 第2特征向量



107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

c. 第3特征向量



107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

d. 第4特征向量

图 1 黔东北地区年可利用降雨资源量 EOF 分析的前 4 个特征向量场

2.1.2 年降雨量的空间场特征

黔东北地区年降雨量 EOF 分解的前 4 种典型空间分布见图 2。分析发现, 年降雨量的第 1 特征向量符号一致均为正值, 表明黔东北地区的年降雨量主要分布基本一致, 为全区一致型, 说明该地区多数年份的年降雨量反映为一致多或一致少的分布, 高值中心集中在江口和松桃, 东南部低值区为玉屏(图 2a); 第 2 特征向量符号南正北负, 表明黔东北地区的年降雨量第 2 分布型为南北反相型, 说明在该区域年降雨量的第二分布型为南部偏多(少)时, 北部偏少(多)(图 2b); 第 3 特征向量符号西南及中部负、西北及东部正, 黔东北地区的年降雨量第 3 分布型为西南与西北+东部的反相型, 说明在该区域年降雨量的第 3 分布型为西南部偏多(少)时, 西北及东部偏少(多)(图 2c); 第 4 特征向量符号西南和东北负、西北和东南正, 黔东北地区的年降雨量第 4 分布型为西南—东北与西北—东南的对角反相型(图 2d)。

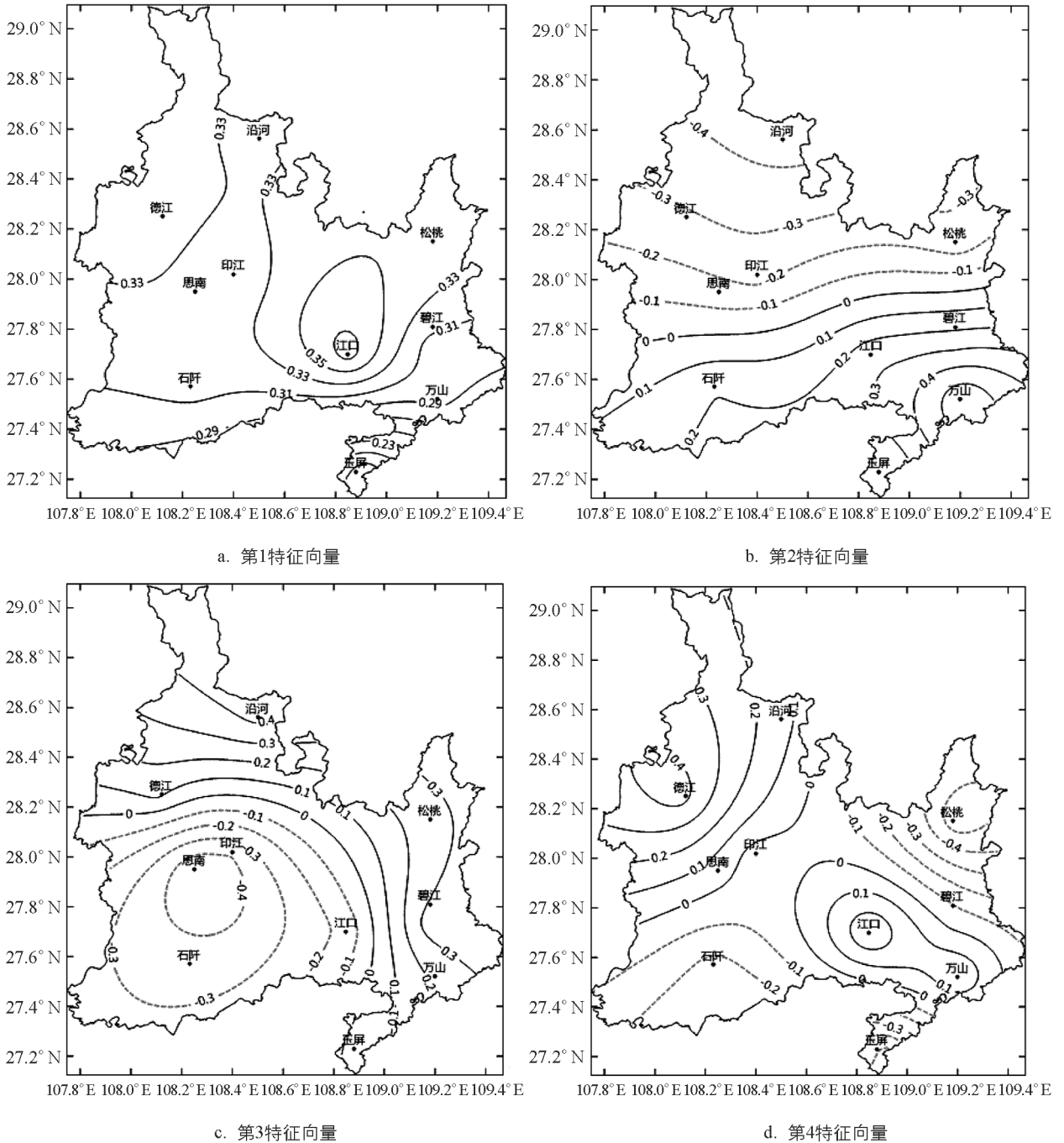


图 2 黔东北地区年降雨量 EOF 分析的前 4 个特征向量场

2.1.3 年平均气温的空间场特征

黔东北地区年平均气温 EOF 分解的前 4 个特征向量空间场分布见图 3。由图 3 可看出, 年平均气温的第 1 特征向量符号一致均为正值, 表明该地区的年平均气温主要分布基本一致, 为全区一致型, 说明该地区多数年份的年平均气温呈现为一致偏高或一致偏低的分布态, 高值中心集中在江口和石阡, 低值区位于西北部德江和东南部玉屏(图 3a); 第 2 特征向量符号西北和东南正, 中部负, 表明黔东北地区的年平均气温第 2 分布型为中部与西北和东南反相型, 说明在该区域年平均气温的次多分布为西北、东南部偏高(低)时, 中部偏低(高)(图 3b); 第 3 特征向量符号北负南正, 黔东北地区的年平均气温第 3 分布型为南北反相型, 说明在该区域年平均气温的第 3 种分布为北部偏高(低)时南部偏低(高)(图 3c); 第 4 特征向量符号西北向东依次为负—正—负—正分布, 该地区的年平均气温第 4 分布型为自西向东两次交替反相型(图 3d)。

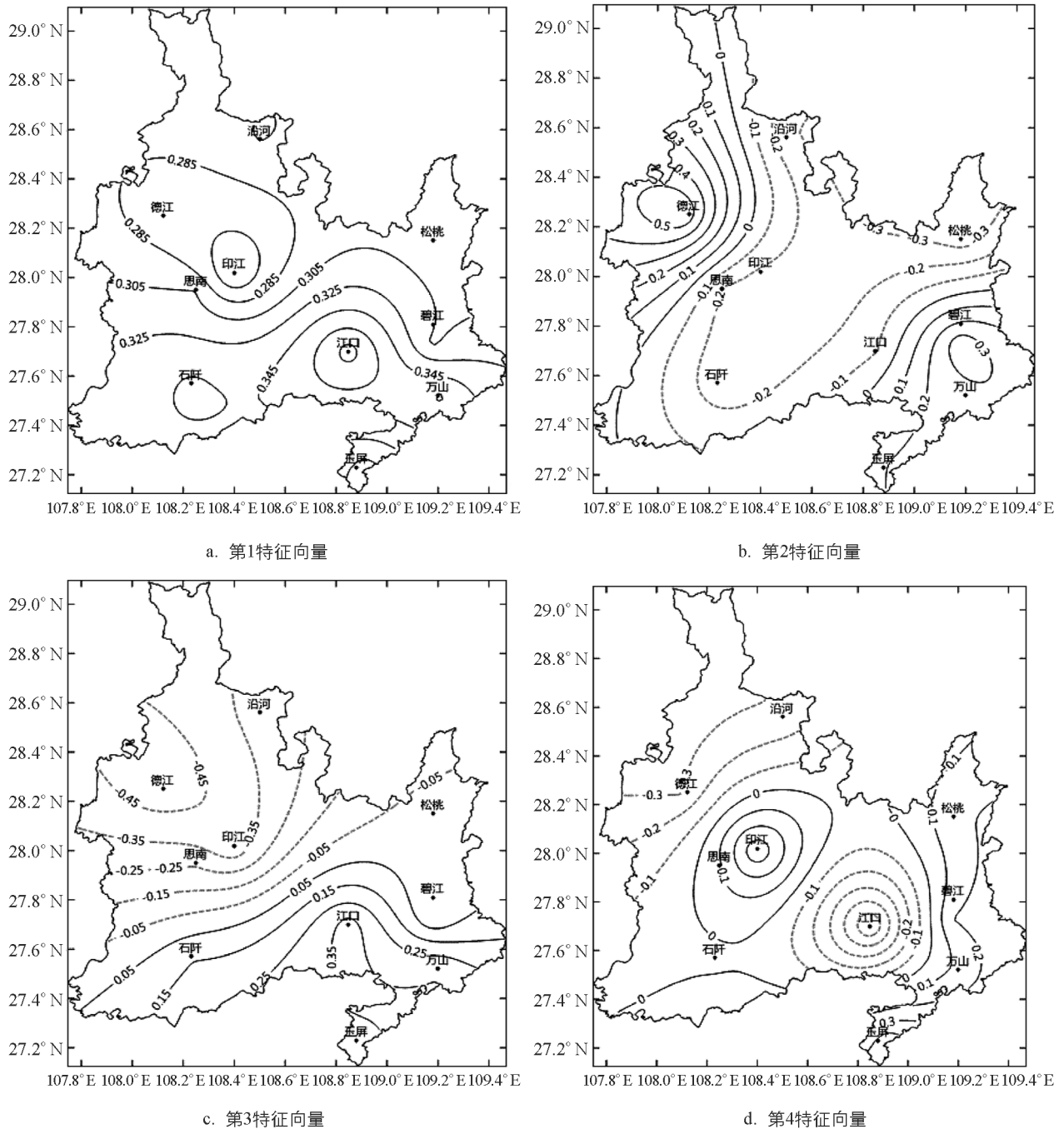


图 3 黔东北地区年平均气温 EOF 分析的前 4 个特征向量场

2.2 年可利用降雨资源量、年降雨量、年蒸发量和年平均气温的时间变化特征

2.2.1 年可利用降雨资源量、年降雨量、年蒸发量和年平均气温的趋势变化分析

一般意义上,年可利用降雨资源量与年降雨量、年蒸发量和年平均气温这 3 个气象因子有较为直接的关联,因此分别对黔东北地区 10 个观测站的 4 个变量因子进行线性倾向估计趋势和 5 年滑动平均的变化分析。

黔东北地区的年可利用降雨资源量、年蒸发量、年降雨量、年平均气温的长期趋势和年代际变化有着不同的特征(图 4 和图 5)。从线性趋势分析来看,黔东北地区的年可利用降雨资源量和年蒸发量近 39a 的线性趋势变化特征均不显著,相比而言,年蒸发量有缓量增加趋势(0.082 mm/a);年降雨量近 59a 年来呈现为线性减少趋势(0.094 mm/a),线性减少趋势通过 $\alpha=0.02$ 水平的显著性检验;年平均气温近 59a 里总体表现为线性升高趋势(0.001 $^{\circ}\text{C}/\text{a}$),线性升高趋势通过 $\alpha=0.001$ 水平的显著性检验;4 个要素中年平均气温的线性升高趋势最为显著。从 5 年滑动平均趋势分析看,4 个要素的年代际变化特征也存在差异,年

可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温三者的年代际变化较为明显,年蒸发量的年代际变化不显著;年可利用降雨资源量的年代际振荡最大,在1983-1994年间为负值,期间可利用降雨资源偏少,在1994-2004年间为正值,期间可利用降雨资源偏多,2005-2016年间再次转为负值,期间可利用降雨资源偏少;年降雨量在年代际振荡中减少,年平均气温则在年代际振荡中升高。

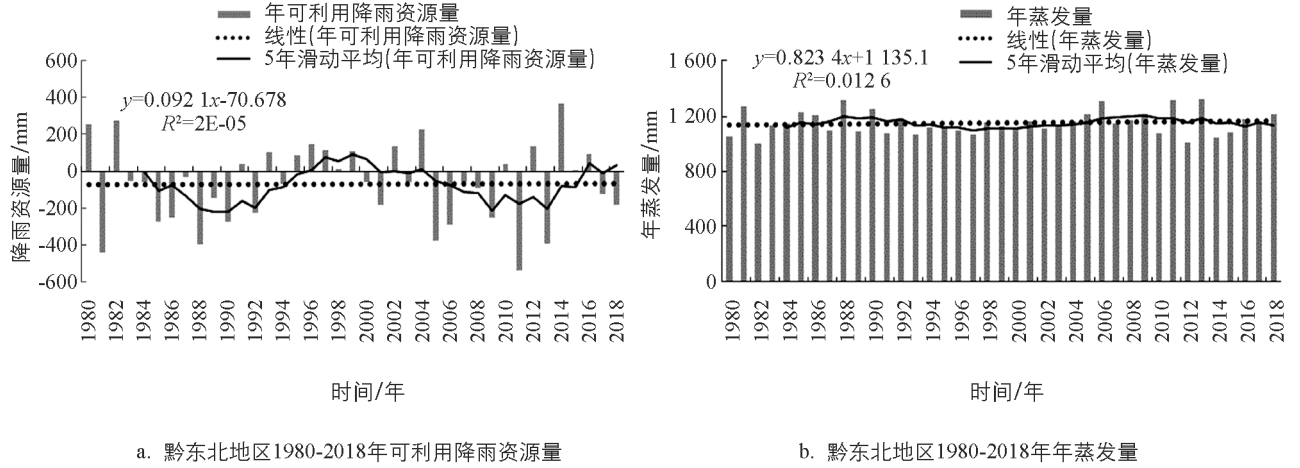


图 4 黔东南地区 1980—2018 年年可利用降雨资源量和年蒸发量趋势图

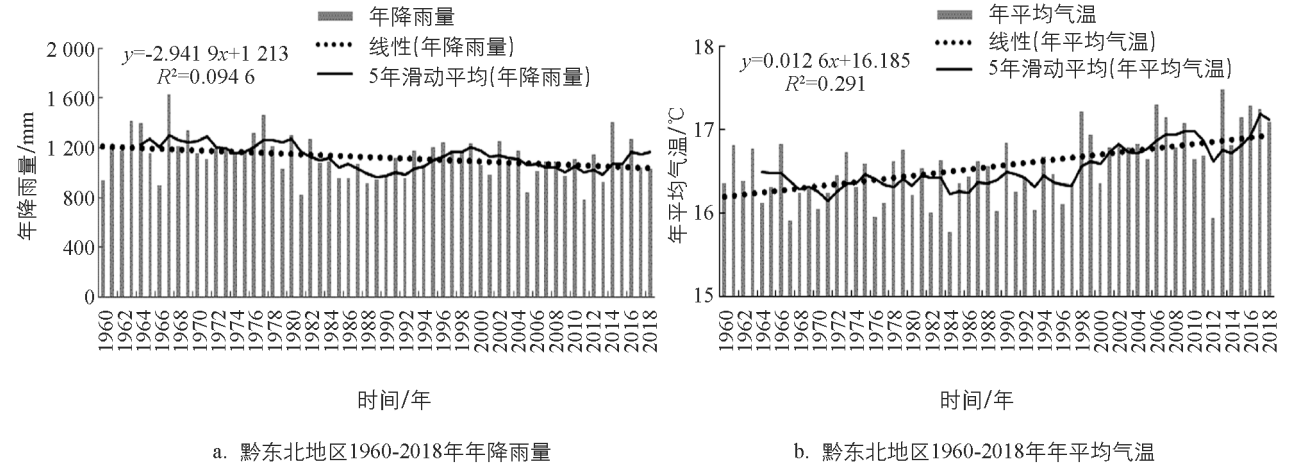


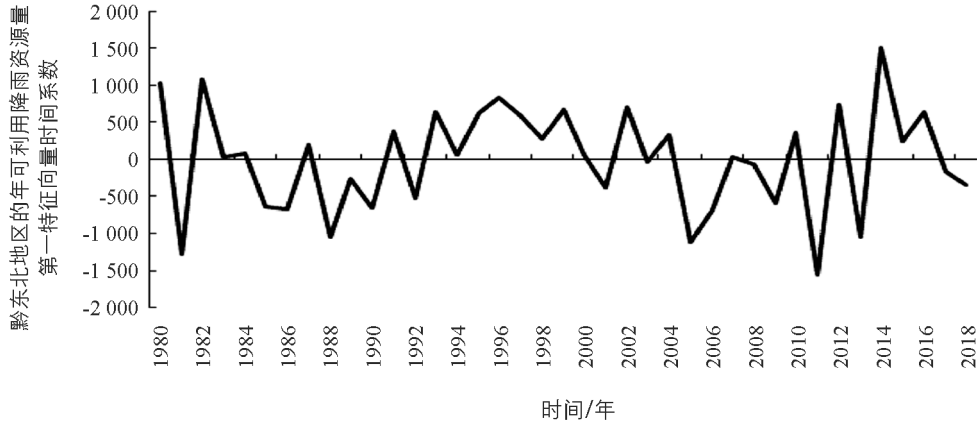
图 5 黔东南地区 1960—2018 年降雨量、年平均气温趋势图

2.2.2 可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温的 EOF 年代际变化特征

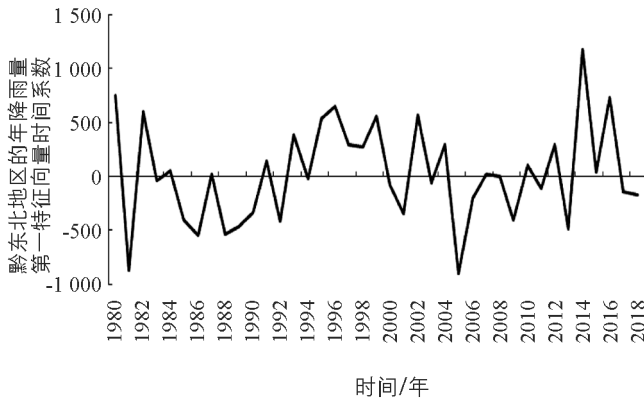
为了更清楚地反映年可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温 3 要素在黔东南地区的时间变化特征,同时 EOF 分解出的该地区 3 要素的第一特征向量在总的方差贡献中占比分别达 71.11%,63.23%,86.43%,就对第 1 特征向量的时间系数进行分析,结果见图 6。

分析表明:在 1980-2018 年的近 39a 间,黔东南地区的年可利用降雨资源量的年代际振荡特征明显,呈现为多一少一多一少一多的振荡变化,在 20 世纪 80 年代初期年可利用降雨资源量偏多,80 年代中后期转为偏少,90 年代整个为偏多时期,21 世纪 00 年代至 10 年代初期又转为偏少时期,21 世纪的 10 年代中期至今为偏多时期(图 6a)。近 39a 来黔东南地区的年降雨量的年代际振荡特征也较为明显,同样呈现了多一少一多一少一多的变化状态,在 20 世纪 80 年代初期年降雨量多,80 年代中后期转为偏少,90 年代至 21 世纪 00 年代初期为偏多时期,21 世纪 00 年代中期至 10 年代初期转为偏少时期,21 世纪的 10 年代中期至今为偏多时期,大致与该区域的年可利用降雨资源量年代际变化特征相似(图 6b)。近 39a 来黔东南地区的年平均气温的年代际则主要呈现由偏低转偏高的变化特征,在 20 世纪 80 年代至 90 年代末,年平均气温为偏低时期,21 世纪 00 年代至 10 年代转为偏高

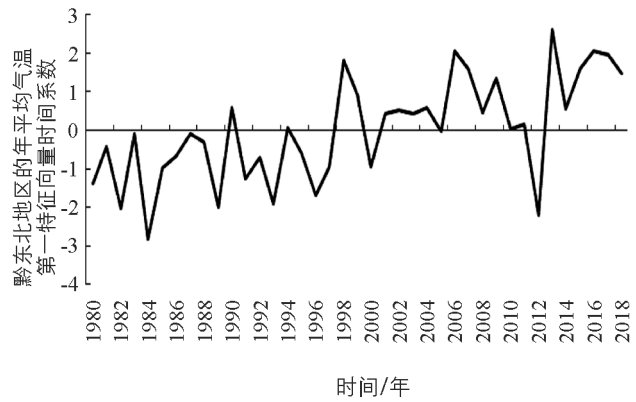
时期(图 6c)。总结发现, 黔东北地区的年可利用降雨资源量与年降雨量的年代际变化特征极为相似, 年平均气温的年代际特征与前二者显著不同。



a. 年可利用降雨资源量



b. 年降雨量



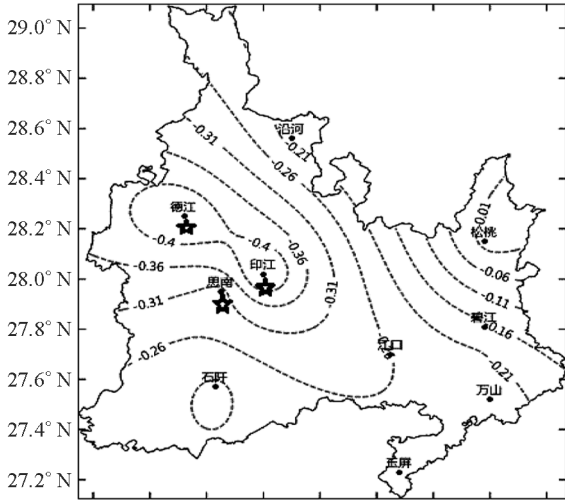
c. 年平均气温

图 6 黔东北地区年可利用降雨资源量、年降雨量和年平均气温的 EOF 第一特征向量时间系数

2.3 黔东北地区年可利用降雨资源量与关联气象因子的关系分析

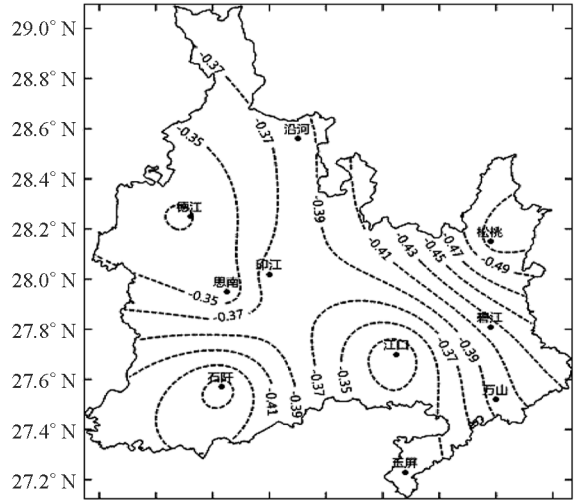
通常认为某个地区的可利用降雨资源, 跟当地的降雨、蒸发有关联, 为了弄清黔东北地区年可利用降雨资源量与哪些气象因子有关联, 关联的密切程度怎样, 选定该区域年降雨量、年蒸发量、年总降雨日数、年平均气温、年日照时数 5 个因子进行与可降雨资源量的相关分析, 结果采用 t 检验方法进行相关关系的显著性检验。

由图 7 可见, 黔东北地区的年可利用降雨资源量与年降雨量、年降雨日数呈正相关的关系, 而与年平均气温、年蒸发量和年日照时数呈负相关的关系。表明当年降雨量偏多(少)、年降雨日数偏多(少)、年蒸发量偏少(多)、年平均气温偏低(高)、年日照时数偏少(多)时, 年可利用降雨资源量会偏多(少)。年降雨量与年可利用降雨资源量的相关程度最高(图 7c), 各站点正相关系数均在 0.9 以上, 且通过 t 检验 $\alpha=0.001$ 水平的显著性检验; 年蒸发量与年可利用降雨资源量的相关程度次高(图 7d), 各站点的负相关系数在 -0.59 (万山)~ -0.89 (松桃)以上, 通过 t 检验 $\alpha=0.001$ 水平的显著性检验; 相关程度排第 3 的是年总降雨日数与年可利用降雨资源量的正相关(图 7e), 各站点正相关系数在 0.32 (德江)~ 0.62 (印江)之间, 通过 t 检验 $\alpha=0.005$ 水平的显著性检验; 相关程度排第 4 的是年日照时数, 与各站点年可利用降雨资源量为负相关(图 7b), 各站点负相关系数在 -0.31 (江口)~ -0.52 (松桃)之间, 通过 t 检验 $\alpha=0.01$ 水平的显著性检验; 相关程度最低的是年平均气温, 与年可利用降雨资源全区为负相关(图 7a), 各站点负相关系数在 -0.19 (沿河)~ -0.45 (印江)之间, 且仅德江、印江、思南 3 个县区域通过 t 检验 $\alpha=0.1$ 水平的显著性检验。



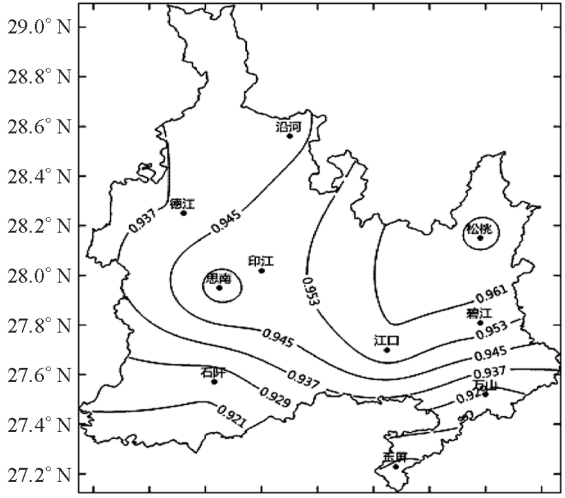
107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

a. 年平均气温



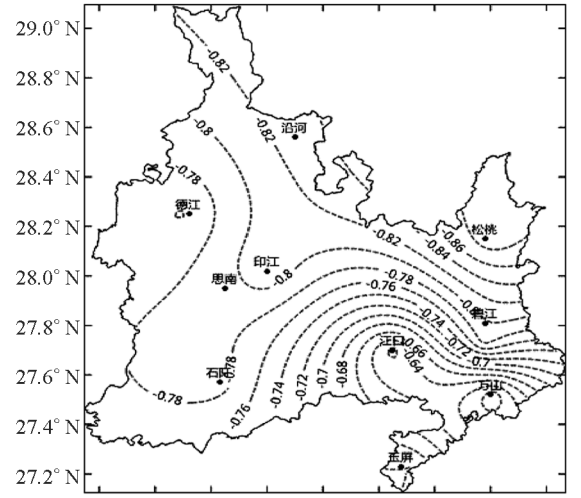
107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

b. 年日照时数



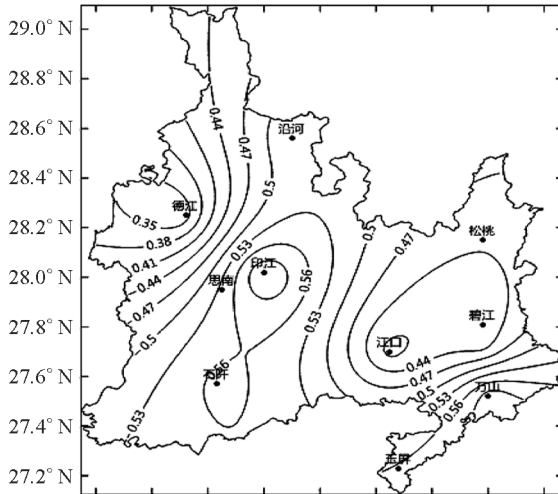
107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

c. 年降雨量



107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

d. 年蒸发量



107.8°E 108.0°E 108.2°E 108.4°E 108.6°E 108.8°E 109.0°E 109.2°E 109.4°E

e. 年雨日数

图 7 黔东北地区年可利用降雨资源量与年平均气温、年日照时数、年降雨量、年蒸发量和年雨日数的相关系数(☆为 t 检验显著水平通过 0.1 的观测站)

3 结论与讨论

采用经验正交函数 EOF、线性倾向趋势、滑动平均和相关分析方法,对黔东北地区年可利用降水资源的变化及关联气象因子关系进行分析,得出以下结论:

1) 黔东北地区年可利用降水资源量、年降雨量和年平均气温有4种典型空间分布场。第1种空间分布场三者相同,均为全区域一致型,是最主要的空间场分布型,其总方差贡献率达63.23%以上;第2种空间分布场,年可利用降水资源量、年降雨量为相似的南北反相型,年平均气温为西北、东南与中部南北反相型;第3种空间分布场,年可利用降水资源量、年降雨量为相似的西南—中部与西北及东部反相型,年平均气温为南北反相型;第4种空间分布场,年可利用降水资源量、年降雨量为西南—东北与西北—东南的对角反相型,年平均气温为自西向东两次交替反相分布型。

2) 黔东北地区年可利用降水资源量和年蒸发量的线性趋势变化特征均不显著,年降雨量呈现为线性减少趋势,年平均气温为线性升高趋势且升高趋势最为显著。年可利用降水资源量、年降雨量和年平均气温的年代际变化较为明显,年蒸发量的年代际变化不显著。年可利用降水资源量与年降雨量的年代际振荡特征相似,呈现为多—少—多—少—多的振荡变化,年平均气温则呈现为由低转高的年代际变化特征。

3) 黔东北地区的年可利用降水资源量与年降雨量、年降雨日数呈正相关,而与年平均气温、年蒸发量、年日照时数呈负相关。相关程度最高的是年降雨量,相关程度次高的是年蒸发量,第3高的是年降雨日数,第4高的是年日照时数,相关程度最低的是年平均气温。

黔东北地区地处武陵山脉腹地,属云贵高原向湘西丘陵过渡的斜坡地带,山地多,地形地貌复杂多样,江河溪流分支多,加之属典型的亚热带季风气候,降雨时空变率大,地区社会经济发展不平衡,导致对水资源的合理认识及开发利用管理差异大,旱涝灾害多发,而本研究仅从气象因素对可利用水资源进行分析,后续可增加地形、河流和工程设施等多因素的影响分析,为区域水资源的科学合理开发利用提供更加准确的参考。

参考文献:

- [1] 黄荣辉,陈烈庭,张庆云,等. “中国华北地区水资源变化及其调配研究”课题专辑 [J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-680.
- [2] 李永华,高阳华,廖良兵. 重庆地区年可利用降水资源的变化分析 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(3): 422-428.
- [3] 陈亚宁,李稚,方功焕,等. 气候变化对中亚天山山区水资源影响研究 [J]. 地理学报, 2017, 72(1): 18-26.
- [4] 翟禄新. 近50a来中国西北气候变化及其水文响应分析 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [5] 罗永祥,谷晓平. 近36a贵州降水蒸发差的时空分布特征 [J]. 中低纬山地气象, 2019, 42(1): 55-58.
- [6] 任芝花,黎明琴,张纬敏. 小型蒸发器对E-601B蒸发器的折算系数 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(4): 508-512.
- [7] NORTH G R, BELL T, CAHALAN R, et al. Sampling errors in the Estimation of Empirical orthogonal function [J]. Mon Wea Rev, 1982, 110(2): 699-706.
- [8] 李斐斐,姚素香. 基于EOF分析的江苏省沿江7市梅雨量变化特征 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2015, 37(2): 250-258.
- [9] 张立波,景元书,娄伟平,等. 近50a华东地区雨日及降水量的变化特征 [J]. 大气科学学报, 2013, 36(4): 426-433.
- [10] 范伶俐,张福颖,胡祯祥,等. 近50a华南干湿状态的时空特征 [J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 29-36.
- [11] 邓世雅,赵磊,李得勤,等. 东北半干旱地区辐射收支与地表能量分析——以锦州地区为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(9): 95-105.
- [12] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征 [J]. 气象学报, 1995, 53(4): 432-439.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007.