

# 1980 – 2015 年贵州省不同等级降雨日数时空变化特征

莫跃爽, 索惠英, 焦树林, 赵宗权, 张洁, 赵梦

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** 使用贵州省 19 个气象站 1980 – 2015 年的 36 年逐日降水观测数据, 通过计算气候态、倾向率、雨日概率、线性系数, 运用样条函数插值法、Mann – Kendall 突变检验等现代统计诊断方法, 研究了贵州省不同地貌各等级降雨日数的时空分布特征和不同等级降雨日数的趋势变化。得到以下结论: 1980 – 2015 年, 贵州省各地降雨日数多年平均值在 130 ~ 200 d 之间, 全省年总雨日平均值为 171 d, 小雨日数占总雨日数的 81.31%, 对降雨日数的贡献最高, 总雨日时空分布由小雨型决定, 空间分布上, 总体表现为西多东少, 中部多南北少; 暴雨和大雨日数在空间上呈带状分布, 南多北少; 中雨日数出现两个大值中心, 一个位于东部, 另一个位于西南部的岩溶盆地; 暴雨和大雨日整体呈微弱上升趋势, 而中雨、小雨、总雨日数呈下降趋势, 总雨日下降趋势最显著; 岩溶峡谷的雨日数最多, 非喀斯特区和岩溶槽谷的雨日数最少。暴雨、大雨、中雨日数高值区在岩溶盆地, 低值区在岩溶峡谷; 降雨日数冬半年少于夏半年, 冬季是全年中降雨日数最少的季节, 以南部地区较少; 贵州省总雨日年内分布可分为 3 类: 平缓型、单峰型、双峰型, 岩溶槽谷、非喀斯特区和岩溶高原地区属于平缓型; 峰丛洼地地区为单峰型; 岩溶峡谷和岩溶盆地为双峰型; 小雨日、总雨日数在 1997 – 1998 年发生突变, 呈显著的下降趋势, 暴雨、大雨、中雨日数没有发生突变。

**关键词:** 降雨日数; 雨日等级; 时空分布; 趋势变化; 贵州省

中图分类号: P468.0<sup>+</sup>24

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)03-0088-09

## Spatio-temporal characteristics of precipitation days of different levels in Guizhou Province from 1980 to 2015

MO Yueshuang, SUO Huiying, JIAO Shulin, ZHAO Zongquan, ZHANG Jie, ZHAO Meng

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Based on the daily observed rainfall dataset of 19 stations in Guizhou Province during 1980 – 2015, the spatio-temporal distribution features and the trend variation features of different precipitation day levels in different geomorphological types were investigated with methods of spline function interpolation and Mann – Kendall abrupt change test, combined with the calculation of climatic states, tendency rates, rainy day probability and linear coefficients. Results show that the average annual precipitation days of Guizhou Province was 171 days, which ranged from 130 to 200 days in different parts of this province. Light precipitation days made up 81.31% of the total precipitation days, so it determined the spatio-temporal distribution of the total precipitation days. The distribution of precipitation days showed remarkable regional characteristics, which increased from east to west and from north and south to central part. The spatial distribution of rainstorm and heavy precipitation days was in a strip pattern, which decreased from south to north. The moderate precipitation days had two centers of high values, which were located in the east and a karst basin of the southwest. It is also evident that the number of rainstorm and heavy precipitation days showed a slight upward trend, whereas the moderate precipitation days, light precipitation days and total number of precipitation days all showed the opposite, with the total precipitation days decreasing most significantly. The number of precipitation days was the highest in the karst

收稿日期: 2019-10-16; 修回日期: 2019-12-21

基金项目: 贵州省国内一流学科建设项目(黔教科研发[2017]85号); 贵州省水利厅科技专项经费项目(KT201602)

作者简介: 莫跃爽(1995-), 女, 贵州平塘人, 硕士研究生, 主要研究方向为岩溶水资源与GIS。

通讯作者: 焦树林(1969-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为喀斯特水文水资源与流域地表过程和环境变化。

gorge, but lowest in the non-karst and karst troughs. The maximum values of rainstorm, moderate and heavy precipitation days were in the karst basin, and the minimum values in the karst gorge. The number of precipitation days from March to August was greater than that from September to February, with the least number of precipitation days appearing in the winter, even less in the south. The annual distribution of total precipitation days were categorized into 3 types, which were gently, unimodal and bimodal type. Karst trough, non-karst and karst plateaus were all classified as gently type, peak clusters was unimodal type, karst gorge and karst basin were bimodal type. The numbers of light precipitation days and total precipitation days changed abruptly to a decreasing trend during 1997 to 1998, whereas the numbers of rainstorm, heavy and moderate precipitation days remained their courses.

**Key words:** number of precipitation days; precipitation level; spatio-temporal distribution; trend variation; Guizhou Province

## 1 研究背景

近年来,随着全球气候变暖,降水气候变化也受到了人们的广泛关注。国内外学者主要就降水量的时空变化、年代际变化、气候区划、降水相关分析以及极端降水的变化等方面进行了研究,且取得了丰硕的成果<sup>[1-4]</sup>,但针对量级降水和非汛期降水的研究较少。降雨日数与降水频率有密切关系,雨日能反映降水在时空分布上的均衡情况和区域特征,以及相关的天气系统和背景大气环流在该地区的活动强度,对气候变化趋势和旱涝灾害防治具有重要的现实意义。在国内,黄嘉佑<sup>[5-6]</sup>首先开始对月降雨日数进行研究,并分析了我国夏季雨日与海温的关系,进入21世纪后,关于雨日的研究引起了更多学者的关注,但所研究的时间尺度不一,研究区域和时段也不同,部分学者还对雨量等级标准进行了进一步划分,增加了微量等级等<sup>[7]</sup>和降水强度等级<sup>[8]</sup>。陈晓燕等<sup>[9]</sup>、吴昊旻等<sup>[10]</sup>、刘金平等<sup>[11]</sup>得出小雨日数在总降雨日数中是最主要的,总雨日数的减少主要是由于小雨日数的减少所致,且近50年来我国大到暴雨雨量和日数比重有所增加。谢益军等<sup>[12]</sup>研究中国8个气候区不同强度降雨日数的变化情况,认为我国长江流域和东北地区的极端降雨日数分别在冬季和夏季、冬季和春季显著增加,而西北地区四季的极端降雨日数均呈显著增加趋势;其季节极端降水异常主要受ENSO影响。此外,李慧等<sup>[13]</sup>指出华南地区强降水雨日数呈增加趋势。汪卫平等<sup>[14]</sup>认为中国年总雨日数高值区在四川东部、贵州、江南及云南西南部,推测其原因与青藏高原东部低层回流冷空气形成的静止锋或辐合带相关。

贵州省位于中国西南腹地<sup>[15]</sup>,属我国典型喀斯特山区<sup>[16]</sup>,生态环境脆弱<sup>[17]</sup>,自然灾害频发。以往对

贵州省降水的研究多侧重于年代际的多年平均状态<sup>[18]</sup>、极端降水指数<sup>[19-20]</sup>、强降水变化特征<sup>[21-22]</sup>,从地形坡度、流域及汛期与非汛期等方面进行研究,缺乏对不同雨量等级进行分析探讨,现有研究表明<sup>[23-25]</sup>,降雨日数减少的范围远大于降雨量减少的范围,且具有较强的区域性和季节性<sup>[8-9]</sup>,因此,在研究降雨量的同时,很有必要研究降雨日数及各等级雨量在不同地貌类型上的气候特征及其规律,以期为当地制定防灾减灾措施提供现实指导和理论依据。

## 2 资料与方法

### 2.1 研究区概况

贵州是中国南方一个岩溶极其发育的省份,位于中纬度(103°36'~109°35'E,24°37'~29°13'N)的云贵高原,是全国云量最多的地区,受云贵静止锋的影响,多阴雨天气。贵州省属亚热带湿润季风气候,南来的暖湿气流常与北来的冷空气在省内交绥,常年雨量充沛,时空分布不均,年降雨量大都超过1 100 mm,平均气温在15℃左右,光照适中,相对湿度较大,日照时数少,雨季明显,四季分明。贵州地处高原,高原、丘陵和山地约占全省面积的97%,"坝子"仅占3%。地势西高东低,平均海拔1 100 m,地面起伏大,海拔高度相差2 500 m以上,境内山峦交错、河谷纵横,地势极为复杂,大部是崇山峻岭,少部是丘陵起伏,仅在山脉的平缓处有少数山间盆地,垂直差异较大,立体气候明显。省内降雨日数多,高地尤多,夏半年多于冬半年。贵州省地形地貌及气象站点分布见图1。

### 2.2 研究数据及方法

本文采用1980-2015年贵州省19个气象站点的24 h日降水量,统计小雨、中雨、大雨、暴雨、总雨日日数,数据来自中国气象数据网。19个站点中,遵义站的缺测和错误率为2.54%,其余站点均小于

1%, 错误或缺测的数据采用其他年份同期的平均值代替。以3-5月为春季, 6-8月为夏季, 9-11月为秋季, 12-翌年2月为冬季<sup>[26]</sup>。为了方便分析, 基于地形、岩性和地质的区域结构条件, 将贵州省分为6个地貌区, 即岩溶槽谷、非喀斯特区、岩溶高原、峰丛洼地、岩溶峡谷、岩溶盆地<sup>[27]</sup> (详见图1)。将24 h日降水量(包括降雪)  $\geq 0.1$  mm 定义为雨日, 若日降水量在0.1~9.9 mm之间, 则该日雨量等级定义为小雨, 10.0~24.9 mm为中雨, 25.0~49.9 mm为大雨, 日降水量  $\geq 50.0$  mm 定义为暴雨。气候态为1980-2015年共36 a的雨日平均值。所用的方法有线性趋势法、概率估算法、M-K突变检验法等, 并采用GIS样条函数插值法绘图。

### 3 结果与分析

#### 3.1 各地貌区降水日数的趋势分析

表1为1980-2015年贵州省6个地貌区暴雨、大雨、中雨、小雨、总雨日年均降雨日数及线性系数。从表1中可看出, 贵州省年均总雨日数为170.80 d, 岩溶盆地最多, 高达181.31 d, 峰丛洼地最少, 为161.06 d, 两者相差20 d左右; 暴雨、大雨在岩溶盆地比较常见, 日数分别为3.39 d和10.94 d, 在岩溶

峡谷日数较少, 分别为1.42 d和5.31 d; 中雨日数范围为18.68~25.39 d, 全省平均值为20.77 d, 中雨日数最高的仍是岩溶盆地25.39 d, 最低的是岩溶高原18.68 d; 小雨日数总体较多, 均值为138.88 d, 范围为126.63~152.13 d, 小雨日数起伏较大, 在岩溶高原最频繁, 在峰丛洼地最少, 比平均水平低12.25 d。从变化趋势上看, 1980-2015年间, 暴雨和大雨日整体呈微弱上升趋势, 而中雨、小雨降雨日数和总雨日呈下降趋势, 其中总雨日下降趋势最显著, 而中雨日递减趋势不明显。

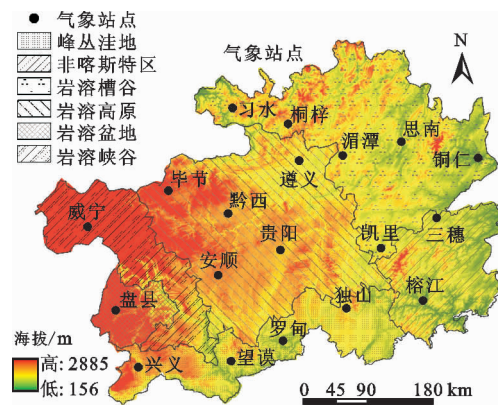


图1 贵州省地形地貌及气象站点分布

表1 1980-2015年贵州省各地貌区不同等级降雨的年均日数及线性趋势

地貌分区	暴雨		大雨		中雨		小雨		总雨日	
	日数/d	系数	日数/d	系数	日数/d	系数	日数/d	系数	日数/d	系数
岩溶槽谷	2.76	0.012	7.94	-0.004	21.07	-0.075	137.67	-0.376	169.40	-0.436
非喀斯特区	2.53	0.026	8.76	0.009	23.29	0.030	128.08	-0.578	162.67	-0.513
峰丛洼地	3.74	0.018	9.86	0.034	20.83	-0.138	126.63	-0.941	161.06	-1.028
岩溶高原	2.58	0.020	7.32	-0.001	18.68	-0.113	152.13	-0.445	181.00	-0.539
岩溶峡谷	1.42	0.028	5.31	0.026	18.72	-0.204	151.81	-0.513	177.25	-0.663
岩溶盆地	3.39	-0.034	10.94	0.008	25.39	-0.034	141.58	-0.873	181.31	-0.933
全省平均	2.86	0.015	8.29	0.008	20.77	-0.106	138.88	-0.602	170.80	-0.685

#### 3.2 降雨日数的时间变化

1980-2015年贵州省不同等级年降雨日数及年总雨日数变化如图2所示。由图2可看出, 暴雨日数和大雨日数呈不明显递增趋势(图2(a)、2(b)), 上升速率分别为0.015和0.008 d/a, 即36 a内暴雨日数上升了约0.53 d, 大雨日数上升约0.28 d。暴雨日数的极低值与极高值相继出现在2013年和2014年, 两者相差2.9 d, 变化起伏较大。1983年的大雨日数最多, 达185 d, 比2009年的大雨日数最低值高5.64 d, 大雨日在20世纪80年代发生频率相对较低, 在90

年代较高。中雨日数和小雨日数总体呈递减趋势(图2(c)、2(d)), 下降速率分别为0.106和0.602 d/a, 可推测这段期间内中雨日数减少3.81 d左右, 小雨日数下降约21.68 d, 小雨日数降幅度较大。中雨日数在1980年最多, 为27.68 d, 1980年后开始减少, 1990后有短暂的回升情况, 在2011年出现最低值12.26 d, 极差值为15.42 d, 说明整体波动较大。小雨日数最低值出现在1987年, 为125.05 d, 最高值为2012年的163.95 d, 两者相差38.90 d。1980-2015年贵州省年降水日数多年平均值为170.80 d, 暴雨、大雨、中

雨、小雨分别为2.86、8.29、20.77、138.88 d(表1),分别占该省多年平均降水日数的1.68%、4.85%、12.16%、81.31%,即小雨日数最多,暴雨日数最少,强降水天数整体呈下降趋势,此结论与文献[28]得出的贵州省强降水天数的时间变化特征结论一致。由于小雨日数占比总雨日的比重最高,因此总雨日数的

线性变化趋势与小雨日数大致相同,呈显著的递减趋势,下降速率为0.685 d/a,总雨日数下降约24.67 d,1982年总雨日数最多,为194.58 d,2011年总雨日数最少,为146.84 d;从不同时间阶段看,1987-2000年总雨日数较多,呈增加趋势,其他阶段降水天数呈减少趋势(图2(e))。

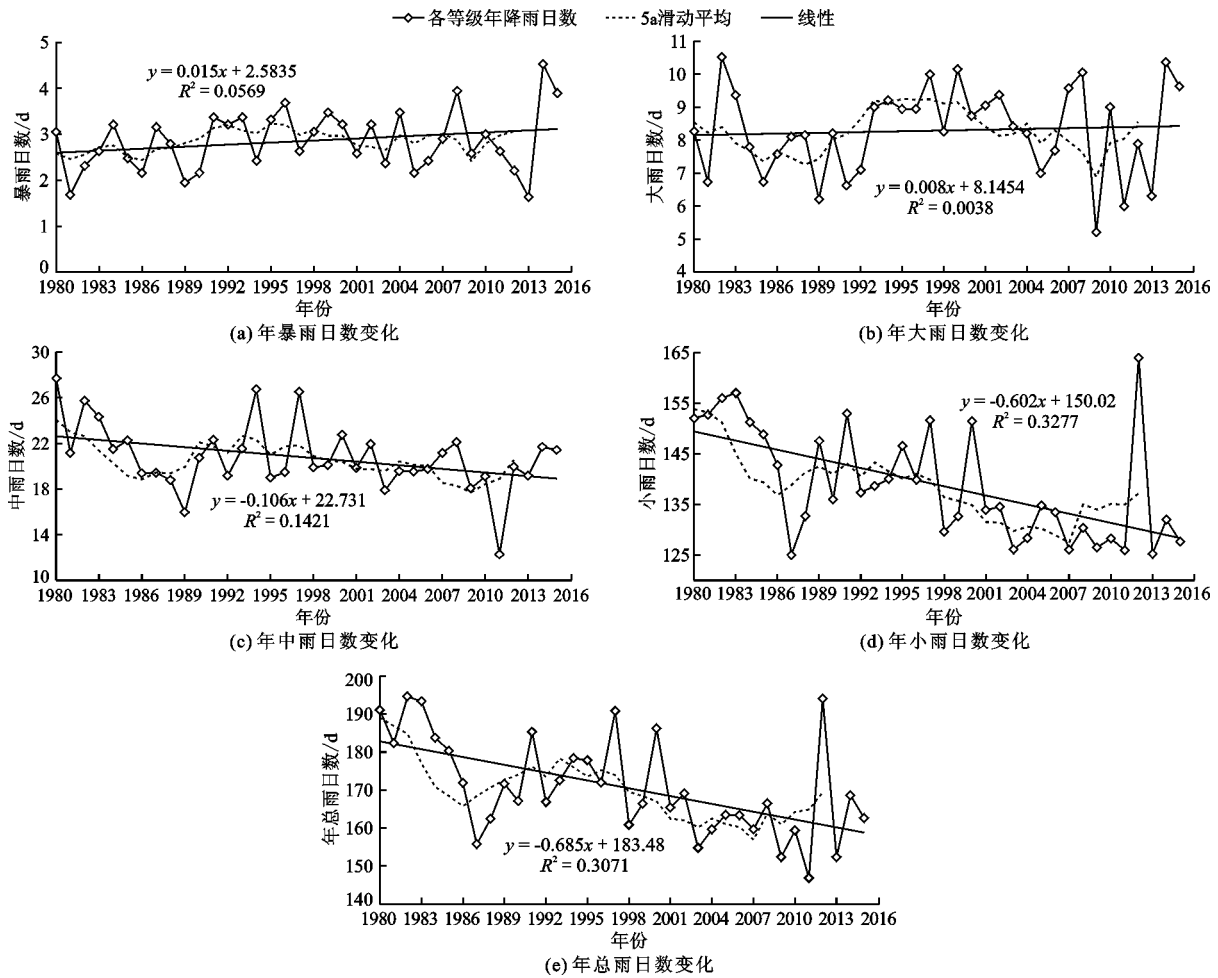


图2 1980-2015年贵州省不同等级年降雨日数及年总雨日数变化

### 3.3 降雨日数的空间变化

前人有研究认为中国雨日数与相应时段的降水分布型呈一致性<sup>[29-30]</sup>,实际上,小雨决定雨日数,大量级降雨决定降水量,因此雨日数和降水量的分布情况存在较大差异。图3为1980-2015年贵州省年均总雨日数气候态分布及空间变化趋势,由图3(a)可看出,贵州省总雨日数的气候态整体为西多东少,中部多南北少。该时段贵州省年总雨日平均值为170.8 d,雨日最多的地区在习水-毕节一带,可达200 d左右,雨日最少的区域在峰丛洼地的望谟和罗甸,为138~143 d,非喀斯特区的榕江、岩溶槽谷区的铜仁和思南等地的雨日数也偏低,为154 d左右。由图3(b)中变化趋势上看,年总雨日数普遍呈显著下降趋势,总

雨日数倾向率从东北至西南递减,即西南部的总雨日数减少最为明显,望谟、罗甸、盘县、兴义等地的倾向率可达-10 d/10a以上,比较特殊的是处于中部的贵阳呈现出一个高值中心,其倾向率为-1.3 d/10a,表明其总雨日减少速率没有周围区域快。

图4为1980-2015年贵州省不同等级年雨日数及空间变化趋势。由图4(a)、4(b)可看出,暴雨日数在西南部较多,在西北部较少,从东到西呈现出递减的趋势;暴雨倾向率均值为0.152 d/10a,说明暴雨日数整体呈上升趋势,且南方高于北方,罗甸、凯里、毕节、榕江这4个站点的倾向率较大,其值分别为0.456、0.414、0.418、0.378 d/10a,盘县为全省暴雨日数倾向率的低值中心,其倾向值为-0.335

d/10a,表明盘县的暴雨日持续偏少。图4(c)、4(d)表明,大雨日数总体分布规律与暴雨日数接近,其高值区在西南部的盘县-兴义-独山一带,大雨日数达10~11d,低值区在西北部的威宁-毕节-黔西一带,自北向南,大雨日数呈递增趋势;在湄潭为代表的北部地区和东南部的榕江周边大雨日数减少趋势明显,倾向率为 $-0.248 \sim -0.529$  d/10a,大雨日正趋势区域主要在南部岩溶洼地的罗甸、独山一带,倾向值分别为 $0.516, 0.627$  d/10a。图4(e)、4(f)表明,中雨日数自东、西向中部递减,东部的三穗、铜

仁和西南部的盘县中雨日数较高,日数值在23~26d之间;中雨日数倾向率除东部的铜仁和榕江的部分地区为正值外,其他绝大多数地区为负值,在安顺、独山和桐梓等地区形成低值中心,倾向率为 $-3.815 \sim -2.280$  d/10a。由图4(g)、4(h)可看出,小雨日数从西北到东南、从西南到东北呈下降趋势,小雨日数的变化趋势与图3(b)中的总雨日大致相同,整体呈下降趋势,其中南部和西部的下降速率最快,以非喀斯特区的望谟、罗甸地区为典型代表,倾向率分别达 $-12.761, -13.089$  d/10a。

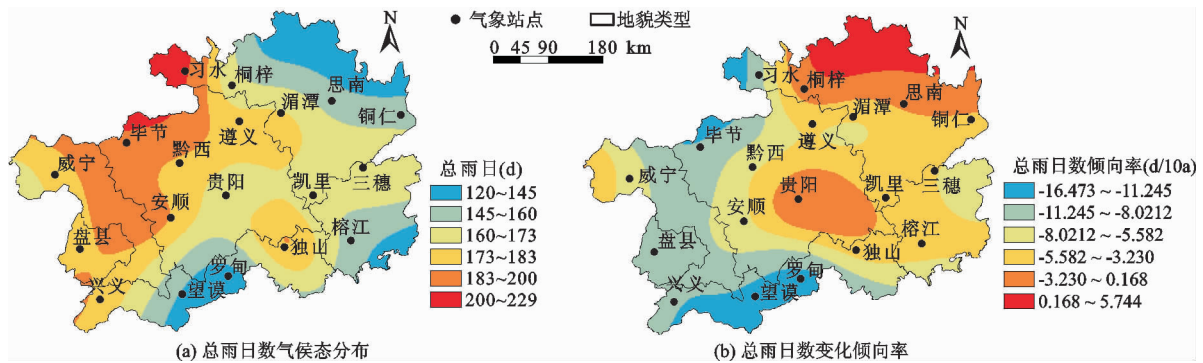


图3 1980-2015年贵州省年均总雨日数气候态分布及空间变化趋势

### 3.4 雨日概率的年内分布特征

1980-2015年贵州省不同地貌类型不同等级雨日气候概率的年内分布如图5所示。为清楚显示暴雨日的概率,图5中使用双坐标,其中,横坐标为365d,左边纵坐标为1980-2015年36a年内平均每天出现总雨日、小雨、中雨、大雨的概率,右边纵坐标为暴雨概率,总雨日、暴雨、大雨、中雨、小雨日的概率以30a滑动平均线性显示。总雨日概率分布大致可分为3类:平缓型、单峰型、双峰型<sup>[14]</sup>。

如图5(a)、5(b)和5(d)可知,岩溶槽谷、非喀斯特区和岩溶高原地区总雨日概率属于第1类平缓型,即全年多雨日,总体波动不大,总雨日概率的主峰值特征不明显,分布有多个小峰值,同时也存在一些区域差异:岩溶槽谷和非喀斯特区总雨日概率在春季时为全年最大值,达0.57,同期小雨、中雨和大雨日概率也出现了最高值,全年雨日概率最小是在冬季,概率分别为0.34和0.21;岩溶高原在5月总雨日概率最大,达0.58,小雨概率最大值则出现在1月;岩溶槽谷和非喀斯特区的暴雨概率在夏季有一个比较明显的峰值,主要在6月,期间正值江南的梅雨期,暴雨概率除了在冬季很低之外,在9、10月下旬也出现明显的暴雨低发时段;岩溶高原地区的暴雨概率年内分布相对集中,在4-10月呈单峰型出

现,且在7月达到峰值。

第2类单峰型总雨日概率分布出现在峰丛洼地地区,如图5(c)所示。峰丛洼地地区的各等级降雨峰值早晚、概率大小均存在差异。图5(c)表明,总雨日概率在6、7月达到最大值0.58,小雨概率在3月出现一个短暂的峰值,之后总体呈下降趋势;峰丛洼地的暴雨概率在6月和8月出现两个峰值,概率分别为0.084和0.098,是全省6个地貌区暴雨总概率最高的地区。

第3类双峰型总雨日概率分布地区包括岩溶峡谷和岩溶盆地,如图5(e)、5(f)所示。由图5(e)、5(f)可看出。岩溶峡谷和岩溶盆地在冬季的总雨日概率偏低,但在其他季节雨日概率明显增多,且有两个峰值出现,在5月底-7月出现第1个峰值,随后在9-10月出现第2个峰值。有研究显示<sup>[14]</sup>,岩溶盆地、岩溶峡谷大部分区域位于贵州省西部,处于西南暖湿气流入侵通道,故西南部地区多雨,另一原因是当西太平洋副热带高压控制该省,大部分地区处于连晴少雨时,该区恰处于副高压边缘,反而多降暴雨。岩溶峡谷的暴雨概率呈对称双峰型(图5(e)),岩溶盆地的暴雨概率在7月份出现一个极大峰值,达0.14(图5(f)),说明该地区历年在同期出现暴雨天气的可能性最大。

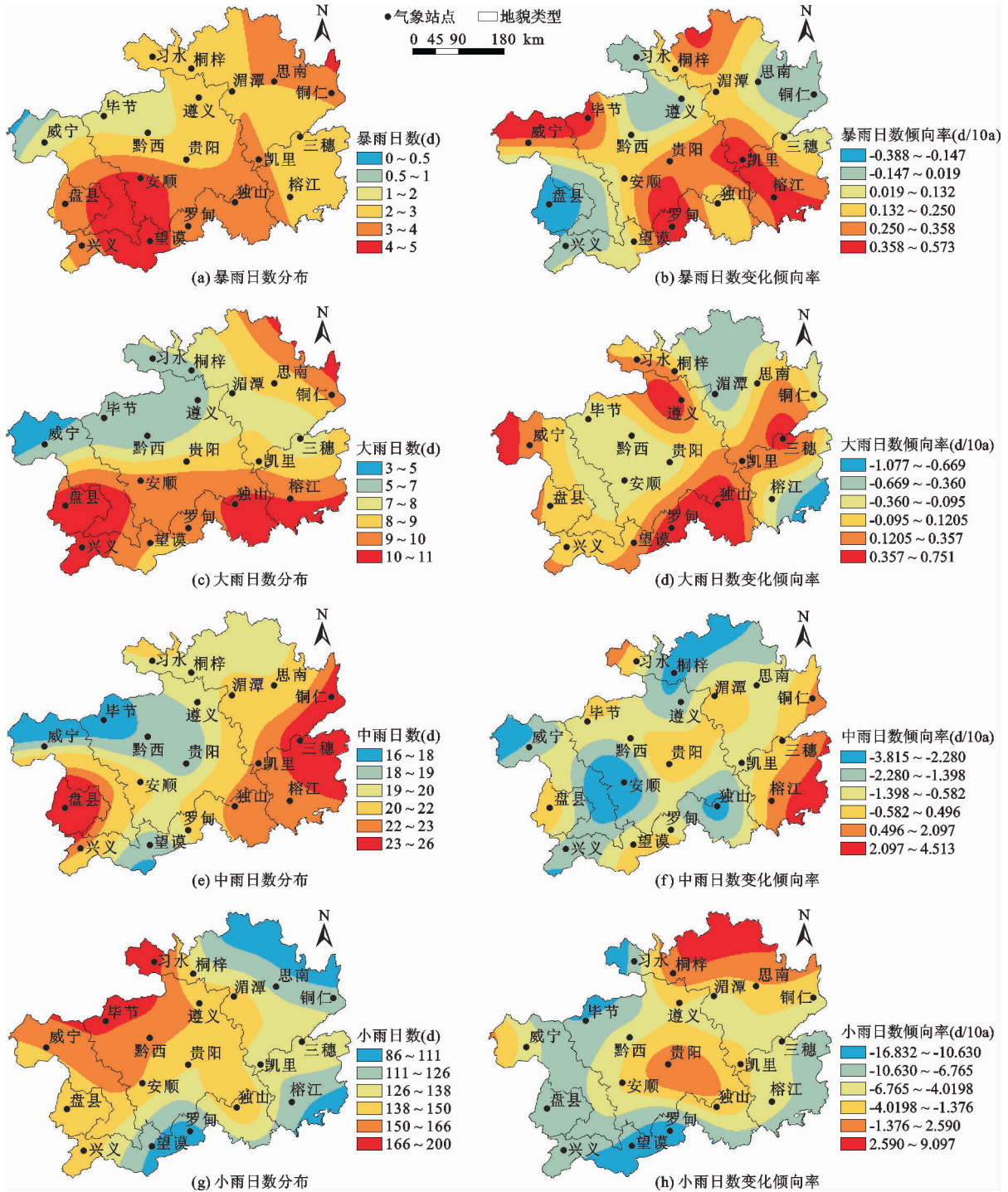


图 4 1980-2015年贵州省不同等级年雨日数及空间变化趋势

### 3.5 降雨日数的 M-K 突变检验

1980-2015年贵州省不同等级降雨日数 M-K 突变检验结果如图 6 所示。从暴雨日数的突变检验图(图 6(a))来看,1983年前,  $UF$  值小于 0, 说明在此期间,暴雨日数表现出下降趋势;1983年后  $UF$  值大于 0(1986、1990 年除外),暴雨日数有回升的迹象,由于  $UF$  与  $UB$  两条线存在多个交点,故贵州省

的暴雨日数未发生明显突变。大雨  $UF$  曲线(图 6(b))显示,1980-1994年,绝大多数年份  $UF$  值小于 0,大雨日数呈现出递减的趋势,1994年后  $UF$  值大于 0,大雨日数增加。由中雨日数  $UF$  曲线(图 6(c))可见,1980-2015年的  $UF$  值均小于 0,说明该期间中雨日数总体呈下降趋势。1985年以前小雨日数曲线中的  $UF$  值大于 0(图 6(d)),小雨日数增

加,2000年以后  $UF$  值小于 0,小雨日数明显减少。从总雨日  $UF$  曲线(图 6(e))可以看出,1984 年以后的所有年份的  $UF$  值小于 0,总雨日大部分年份呈递减趋势,并两次超出  $U_{0.05} = -1.96$  置信水平,总体来看,总雨日日数呈显著下降趋势。

在 95% 的显著性水平下,1980 - 2015 年贵州省的小雨日数、总雨日数均发生了突变(图 6),并且均在突变后呈现显著性下降的趋势,暴雨、大雨和中雨的雨日数未发生突变。小雨日数的  $UF$  和  $UB$  曲线

在 0.05 显著性水平区间中相交于 1998 年左右, $UF$  曲线在 2002 年左右开始低于  $U_{0.05} = -1.96$  的显著性水平,说明贵州省的小雨日数存在明显的突变。小雨日数的突变点在 1998 年左右,在突变前小雨日数的多年平均值为 144.9 d,而突变后的多年平均值为 133.8 d,突变后比突变前减少了 11.1 d。同理,总雨日数的突变点在 1997 - 1998 年,突变前总雨日数多年平均值为 177.6 d,突变后的多年平均值为 163.4 d,突变后比突变前减少了 14.2 d。

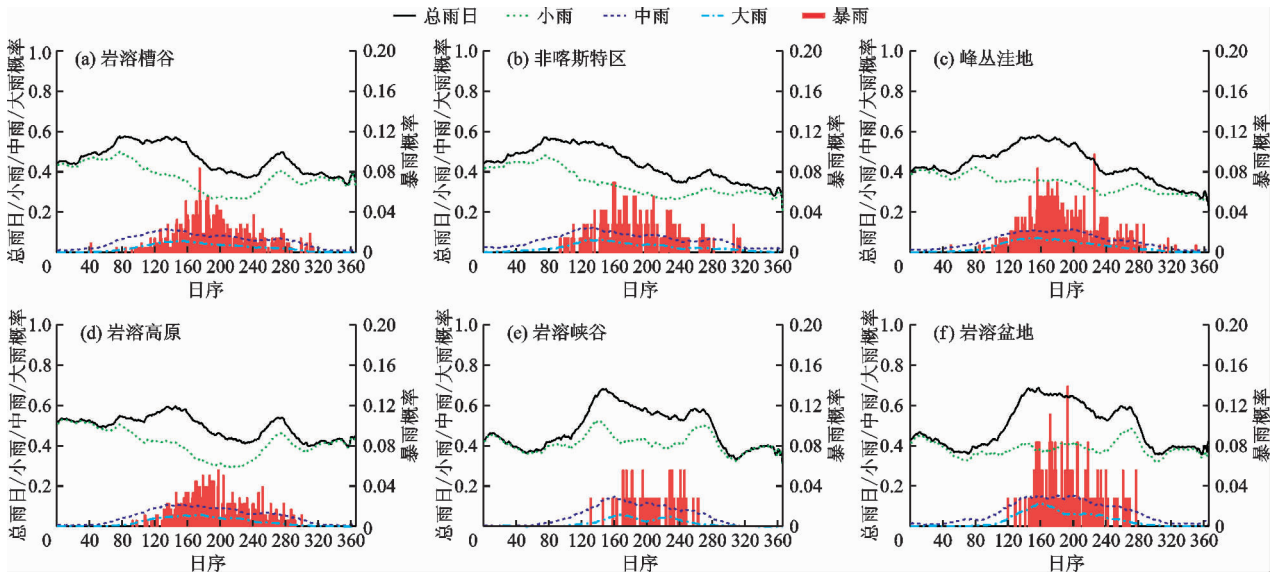


图 5 贵州省不同地貌区不同等级雨日概率的年内分布

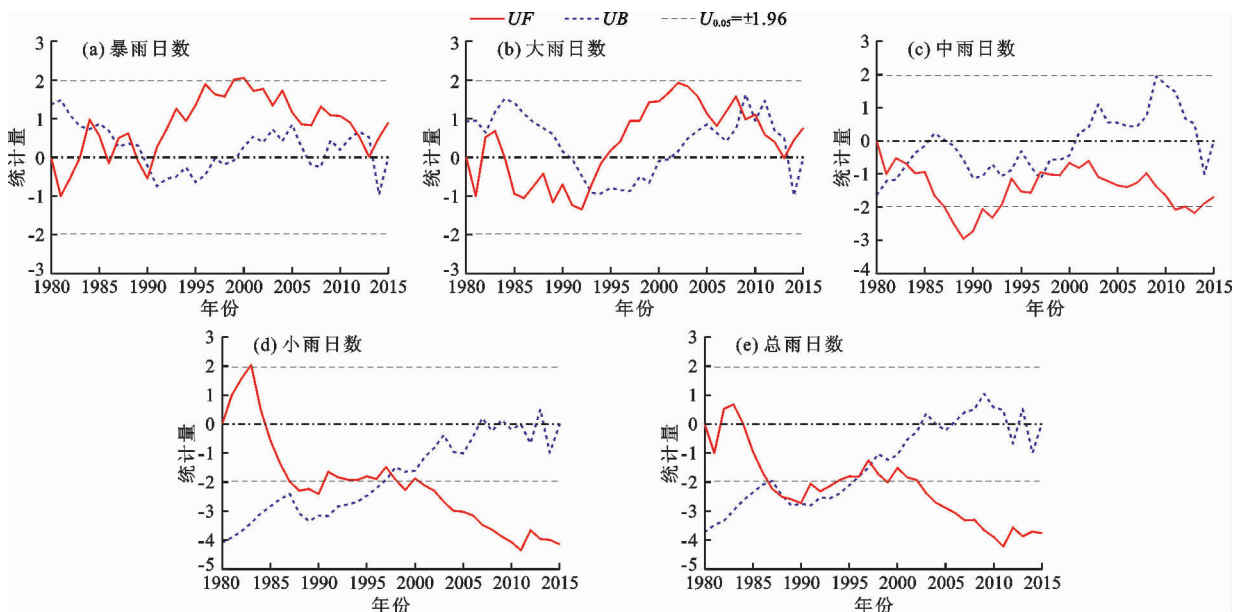


图 6 1980 - 2015 年贵州省不同等级降雨日数的 M - K 突变检验

### 4 讨论

在全球气候变暖的影响下,我国雨日数呈减少

趋势<sup>[14,31]</sup>,大到暴雨增加区主要集中在南方<sup>[8-9]</sup>。本文在时间序列变化上得出,贵州省总降水日数和小雨日数为负趋势,暴雨和大雨日数呈不明显上升

趋势,这与前人研究得到的云贵高原雨日数结果一致<sup>[7,16,25]</sup>。王颖等<sup>[31]</sup>通过计算中国最大雨日概率的10个城市,得出贵州省毕节、贵阳、兴仁、遵义4个城市均在其中,进一步表明贵州省中西部雨日较多,但省内大多数城市的雨日数明显减少。贵州省雨日等级表现出的特征在一定程度上可能加大旱涝灾害发生的概率<sup>[15-16]</sup>,如望谟地区降水量、降水强度、总雨日、中雨日、小雨日均较低,但暴雨日数和变化率非常高;盘县的暴雨、大雨、中雨日数均非常高,而其变化率和总雨日数相对偏低。针对贵州省雨日等级体现出的特殊性,需进一步分析地形地势和季风活动等对贵州省降雨日数的影响,加强对大雨以上量级雨日数的降水动态研究及灾害防治。

本文通过现代统计诊断方法,比较客观地分析出1980-2015年贵州省雨日数的时空气候变化趋势,但为什么会产生这些变化还未作深入研究,对于该区域降雨特征的形成原因还需要从物理角度作进一步的探讨。贵州省降雨日数大体呈现出明显的下降趋势,但进入21世纪后特别是2010年以后却呈增加趋势,未来降雨日数又会呈现怎样的变化趋势、大气环流是如何影响我国西南地区的雨量等级、其影响过程通过何种方式来实现等问题,均有待于今后进一步分析和数值模拟研究。

## 5 结 论

(1)1980-2015年贵州省各地降雨日数多年平均值常在130~200 d之间,全省年总雨日平均值约为171 d,雨日时空分布主要由小雨日数分布决定,总雨日数与小雨日数分布情况大致相同,总体表现为西多东少,中部多南北少,180 d以上降雨日数的地区主要分布在中部和西部,以毕节、习水一带的200 d为最多。暴雨、大雨、中雨、小雨日数分别为2.86、8.29、20.77、138.88 d,暴雨、大雨日数的空间上呈带状分布,整体表现为南多北少;中雨日数存在两个大值中心,一个位于东部,另一个位于西南部的岩溶盆地。

(2)1980-2015年贵州省暴雨和大雨日整体呈不显著上升趋势,而中雨、小雨、总雨日数呈下降趋势,总雨日下降趋势最显著。岩溶峡谷的雨日数最多,非喀斯特区和岩溶槽谷最少,暴雨、大雨、中雨日数高值区在岩溶盆地,低值区在岩溶峡谷。

(3)从降雨时间分配来看,冬半年少于夏半年,冬季是全年中降雨日数最少的季节,尤其以南部地区较少。贵州省总雨日年内概率分布曲线可分为3

类:平缓型、单峰型、双峰型。岩溶槽谷、非喀斯特区和岩溶高原地区属于第1类平缓型,全年多雨日,总体波动不大;峰丛洼地地区为单峰型,夏季雨日多,冬季雨日少;岩溶峡谷和岩溶盆地为双峰型,冬季雨日少,其他季节雨日多,在5-7月和9-10月各有一个峰值,岩溶峡谷地区的暴雨年内概率分布呈对称双峰型,岩溶盆地的7月份暴雨概率高达0.14,说明该地区历年在同期出现暴雨天气的可能性极大,应注意防汛防灾。

(4)贵州省的小雨日、总雨日数在1997-1998年发生突变,呈显著的下降趋势,且均通过0.05的显著性检验,暴雨、大雨和中雨日数均未发生突变。

## 参考文献:

- [1] CHEN Xi, WANG Shanshan, HU Zengyun, et al. Spatio-temporal characteristics of seasonal precipitation and their relationships with ENSO in central Asia during 1901-2013 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(9): 1341-1368.
- [2] 朱艳欣, 桑燕芳. 青藏高原降水季节分配的空间变化特征[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(11): 1533-1544.
- [3] GONG Daoyi, SHI Peijun, WANG Jingai. Daily precipitation changes in the semi-arid region over northern China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(4): 771-784.
- [4] ZOLINA O, SIMMER C, GULEV S K, et al. Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls [J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(6): L06704.
- [5] 黄嘉佑. 我国月降水频数的时空特征[J]. *气象*, 1987, 13(1): 10-14.
- [6] 黄嘉佑. 赤道东太平洋海温与我国夏季雨日的相关矩分析[J]. *气象学报*, 1989, 47(4): 475-478.
- [7] 符娇兰, 林祥, 钱维宏. 中国夏季分级雨日的时空特征[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(4): 367-373.
- [8] 王小玲, 翟盘茂. 1957-2004年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(5): 459-466.
- [9] 陈晓燕, 尚可政, 王式功, 等. 近50年中国不同强度降水日数时空变化特征[J]. *干旱区研究*, 2010, 27(5): 766-772.
- [10] 吴昊旻, 黄安宁, 姜燕敏. 华东地区不同等级降水日数的时空分布特征[J]. *气候与环境研究*, 2013, 18(3): 387-396.
- [11] 刘金平, 韩军彩, 向亮, 等. 1961-2012年京津冀地区不同等级降水日数时空演变特征[J]. *气象与环境学报*, 2015, 31(1): 43-50.
- [12] 谢益军, 邹用昌, 谢倩, 等. 我国四季极端雨日数时空变化及其与海表温度异常的关系[J]. *热带气象学报*,



- 2012, 28(3):311-320.
- [13] 李慧,周顺武,陆尔,等. 1961-2010年中国华南地区夏季降水结构变化分析[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3):247-256.
- [14] 汪卫平,杨修群,张祖强,等. 中国雨日数的气候特征及趋势变化[J]. 气象科学,2017,37(3):317-328.
- [15] 钱莉莉,贺中华,梁虹,等. 基于降水Z指数的贵州省农业干旱时空演化特征[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(1):10-14+19.
- [16] 张勇荣,马士彬,闫利会. 贵州省近55年降水事件变化特征[J]. 长江科学院院报,2017,34(1):40-44.
- [17] 吴端耀,罗娅,王青,等. 2001-2014年贵州省林草植被覆盖度时空变化及其与气温降水变化的关系[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2017,35(1):1-7+29.
- [18] 张志才,陈喜,王文,等. 贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J]. 地球与环境,2007, 35(4):351-356.
- [19] 陈学凯,徐建新,胡娟萍,等. 1961-2012年贵州省极端降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(4):50-56+61.
- [20] 韩会庆,张娇艳,苏志华,等. 2011-2050年贵州省极端气候指数时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2):341-346.
- [21] 甘文强,李刚,万雪丽. 近57 a 5-9月贵州极端强降水变化特征[J]. 干旱气象,2018,36(4):617-623+635.
- [22] 严小冬,孙翔,杨春艳,等. 贵州近50 a来夏季不同等级强降水事件特征研究[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(2):1-6+20.
- [23] 刘德祥,白虎志,梁东升,等. 甘肃不同强度降水日数变化对干旱灾害的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2):212-217.
- [24] ZHAI Panmao, ZHANG Xuebin, WAN Hui, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005, 18(7):1096-1108.
- [25] 彭贵芬,刘瑜. 云南各量级雨日的气候特征及变化[J]. 高原气象,2009,28(1):214-219.
- [26] 莫跃爽,周秋文. 贵州省1960-2014年不同地貌类型的气温变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4):166-170+176.
- [27] TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the karst regions of Southwest China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, 2017, 54:105-113.
- [28] 韩会庆,苏志华,张娇艳,等. 1960-2013年贵州省强降水天数时空变化特征[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(11):1-5.
- [29] 王大钧,陈列,丁裕国. 近40年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3):283-289.
- [30] 刘学华,吴洪宝. 中国夏季雨日降水量的概率分布[J]. 南京气象学院学报, 2006,29(2):173-180.
- [31] 王颖,施能,顾骏强,等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1):162-170.

(上接第87页)

- [9] 武冬冬,康卫东,王文祥,等. 张掖盆地地下水锶元素地球化学特征研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(4):41-44.
- [10] 苏春田,聂发运,邹胜章,等. 湖南新田富锶地下水水化学特征与成因分析[J]. 现代地质, 2018, 32(3):554-564.
- [11] 朱小龙,罗维均,王世杰. 贵州凉风洞洞穴系统锶同位素特征[J]. 地球化学,2018,47(2):209-216.
- [12] 刘超飞,张志强. 锶同位素研究综述[J]. 科技广场, 2017(7):26-33.
- [13] 王增银,刘娟,王涛,等. 锶元素地球化学在水文地质研究中的应用进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4):91-95.
- [14] 苏小四,吴春勇,董维红,等. 鄂尔多斯沙漠高原白垩系地下水锶同位素的演化机理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2011,38(3):348-358.
- [15] 李小倩,周爱国,刘存富,等. 河北平原深层地下水中氟含量与锶同位素组成的关系研究[J]. 水文, 2008, 28(4):38-42.
- [16] 范伟,杨悦锁,冶雪艳,等. 青肯泡地区地下水中锶富集的水文地球化学环境特征及成因分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2010,40(2):349-355+367.
- [17] PU Junbing, YUAN Daoxian, ZHANG Cheng. Tracing the sources of strontium in karst groundwater in Chongqing, China: A combined hydrogeochemical approach and strontium isotope [J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 67(8):2371-2381.
- [18] 董维红,苏小四,谢渊,等. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水水-岩反应的锶同位素证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2):342-348.
- [19] 吴春勇. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水水化学演化的同位素示踪研究[D]. 吉林:吉林大学, 2011.