

# 亚马逊流域降雨径流时空变化分析

曹 爽<sup>1,2</sup>, 秦天玲<sup>2</sup>, 石晓晴<sup>2</sup>, 孙若尘<sup>3</sup>, 景兰舒<sup>4</sup>

(1.北京工业大学建筑工程学院,北京 100124;2.中国水利水电科学研究院水循环模拟与调控国家重点实验室,

北京 100038;3.郑州大学水利与环境学院,河南 郑州 450001;4.河北工程大学水利水电学院,河北 邯郸 056038)

**摘 要:**基于全球降雨气候中心(GPCC)和全球径流数据中心(GRDC)的降雨径流资料,选择亚马逊流域 16 个测站,利用三次样条、Mann-Kendall 法、Yamamoto 检验、最大熵谱法和小波分析法,分析了各子流域的年降水量和年径流量的趋势性、周期性、突变性,并对降水、径流的时间变化和空间分布进行分析。结果表明:整个流域降水量和径流量随时间变化呈增加趋势;其降雨分布不均,南多北少;年降水倾向率有明显空间差异,近 50 年,流域上、下游径流增加,中游径流减少,整体则有微弱增长。

**关键词:**降雨;径流;趋势性;周期性;突变性;亚马逊流域

中图分类号:TV121<sup>+</sup>.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)01-0090-07

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告显示,全球气候系统变暖毋庸置疑,1880~2012 年全球地表平均温度上升约 0.85℃,2003~2012 年平均温度比 1850~1900 年平均温度上升了 0.78℃,1983~2012 年可能是近 1 400 年来最暖的 30 年<sup>[1-2]</sup>。随着全球变暖问题日益严重,影响范围逐渐扩大,由全球变暖导致的极端气候频繁出现,受到人们广泛关注,学者们对降雨、径流、气温等变化进行了大量研究,并取得了一定的进展<sup>[3-5]</sup>。

亚马逊河是世界流量最大、流域面积最广、支流最多的河流。每年注入大西洋的水量达  $69\,300\times 10^8\text{m}^3$ ,为全世界河流注入海洋总水量的  $1/11$ <sup>[6]</sup>。但是近些年亚马逊流域发生了一些极端现象,比如 2005 年遭遇“百年不遇”干旱,2006 年发生洪水,不到 5 年的时间,2010 年再次发生干旱<sup>[7]</sup>。世界各国学者对亚马逊流域的降水径流已开展了研究工作。一些研究表明,厄尔尼诺现象对亚马逊流域东北部地区的径流变化造成极大影响<sup>[8]</sup>,对流域南部马德拉河上游的影响与对东北部地区的影响正相反<sup>[9]</sup>。此外,关于亚马逊流域径流量趋势变化的研究,如学者们认为内格罗河径流量在 20 世

纪不会出现突变<sup>[8]</sup>;亚马逊干流 Obidos 站测得的径流量从 20 世纪 70 年代开始,最大、最小和平均值一直居高不下,直至 70 世纪中期最小值减小,而最大值和平均值一直持续到 21 世纪始<sup>[9]</sup>。

本文结合多种方法从趋势性、周期性、突变性三方面将亚马逊流域的降水及径流的时空变化特征作为研究对象,分析气候变化对亚马逊流域水资源现状演变的影响,研究成果将为重点研发计划项目“陆地-水文耦合模式构建与全球陆地水资源演变趋势预测”涉及的陆地广义水资源评价提供参考依据。

## 1 研究区域概况

亚马逊流域发源于南美洲西部安第斯山脉,上游从发源地到马拉尼翁河口,中游自马拉尼翁河口至玛瑙斯,下游从玛瑙斯至入海口,最终流入大西洋,其中内格罗河河口至大西洋段被称作亚马逊河。流域界于西经 49°~79°,北纬 6°~南纬 20°之间,流经巴西、秘鲁、厄瓜多尔、哥伦比亚、委内瑞拉、圭亚那和玻利维亚 7 个国家,63%的面积位于巴西境内。流域面积约  $600\times 10^4\text{km}^2$ ,支流超过  $1.5\times 10^4$  条,年均径

收稿日期:2016-11-08

基金项目:国家重点研发计划项目:陆地-水文耦合模式构建与全球陆地水资源演变趋势预测(2016YFA0601503)

作者简介:曹爽(1993-),女,辽宁锦州人,硕士研究生,主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail:i1993i@163.com

通讯作者:秦天玲(1986-),女,山东淄博人,高级工程师,主要从事水文与水资源方面的研究工作。E-mail:tianling406@163.com

流量 209 000 m<sup>3</sup>/s, 其流量、流域面积和支流数量均居世界之最<sup>[10]</sup>。

流域呈西高东低, 南高北低的走势。西部为海拔 3 000 m 以上的安第斯山脉, 北部为海拔 300~400 m 的圭亚那高原, 南部为海拔 300~1 500 m 的巴西高原, 亚马逊平原地势低平广袤, 干流两岸海拔多为 200 m 以下<sup>[10]</sup>。亚马逊流域地理位置及水系如图 1 所示。

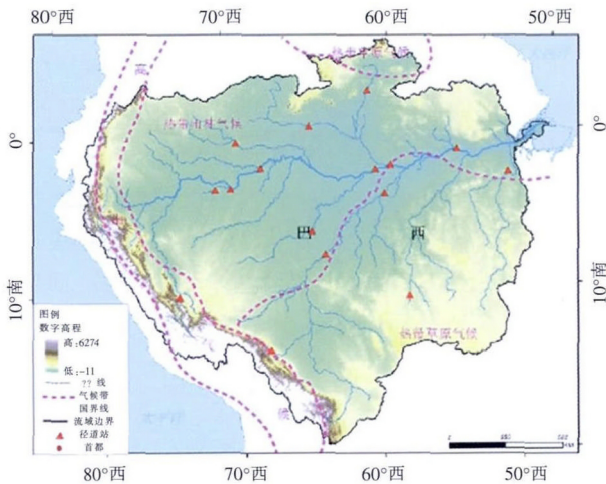


图 1 亚马逊流域地理位置及水系图

Fig.1 The location of the Amazon basin and the main rivers

流域地处赤道附近, 跨南北半球, 有热带森林和热带草原两类气候区, 基本特点为炎热潮湿, 雨量充沛, 年平均温度 25~27℃, 年均降水量多在 1 500~2 500 mm。亚马逊流域南部地区的年内降雨量有明显差异, 北部雨季为 6~8 月, 降雨量为 700~900 mm, 南部雨季为 12~翌年 2 月, 降雨量为 800~1 000 mm<sup>[11-13]</sup>。亚马逊河每年有两次汛期, 高洪峰通常在 3~6 月出现, 次洪峰在 10~11 月<sup>[14]</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 站点及数据来源

本文采用的年实测径流数据来源于全球径流数据中心 (GRDC) 和原环境气象研究中心 (<http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/Data/Station-Access-Maps/HYBAM-ORE-South-America>)。GRDC 提供了流域内 200 多个站点的年径流量数据; HYBAM 提供了水文测站测得的日径流量和月径流量数据以及站点的详细信息。综合两组数据源, 考虑站点控制面上流域大小、站点测得的多年平均径流量、站点在流域内的位置分布以及其时间序列长度, 本文选取了 16 个测站作为研究

对象<sup>[15]</sup>。这些测站的地理位置和主要特征见图 1。由于数据资料的局限性, 未能获得社会经济资料。径流数据没有还原天然径流量, 分析结果有一定误差, 但考虑到亚马逊流域城市面积相对较少, 人类干扰较弱, 水文过程识别以实测径流为研究对象。本文应用的降雨数据, 来源于全球降雨气候中心 (GPCC)。GPCC 的降雨数据集, 是多种降水数据综合分析处理的结果。将全球超过 6 000 个地面雨量站的观测数据和卫星测得的降雨数据插值到全球经纬度网格上, 重建了 1901~2013 年的全球格点降水数据集<sup>[16]</sup>。本文选择空间分辨率为 0.5°×0.5°的逐月降水资料。

### 2.2 分析方法与支撑平台

#### 2.2.1 分析方法

本文针对亚马逊流域年径流量数据和年降雨量数据的趋势性、突变性、周期性检验结果进行分析。采用三次样条和线性趋势法进行趋势性检验; 依据 M-K 法检验和 Yamamoto 检验的结果, 得出突变性特征; 运用最大熵谱法和小波分析法得出其周期性特征<sup>[17-19]</sup>。用多种不同的检验方式对结果进行综合性分析, 可得出更客观结论。

本文应用降水倾向率为气候趋势特征指数来描述降水空间特征趋势的改变<sup>[20]</sup>。通常降水等气候要素的趋势拟合存在线性相关关系, 用一次方程表示为:

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad t = 1, 2, 3, \dots, n (\text{年份序号})$$

一次回归系数为  $a_1 = \frac{d\hat{x}}{dt}$ , 将  $a_1 \times 10$  称为降水倾向率 ( $b$ ), 即每 10a 的降水变化率。

#### 2.2.2 数据处理平台

GPCC 将降雨数据以 netcdf 格式存储, 利用 matlab 编程将 nc 数据输出到 excel, 并基于泰森多边形法进行面雨量处理。在获得可编辑的基础数据资料之后, 应用 matlab 和 fortran 软件编程处理数据, 获得趋势性、突变性、周期性计算结果; 再用 excel 进行二次处理, 将结果数据整理绘图等。借用 arcgis 软件中的插值分析工具, 应用克里金法插值, 结合测站的面雨量数据对全流域多年平均降水量、降水趋势系数和降水倾向率进行插值, 以获取降水空间变化特征。

## 3 结果与讨论

### 3.1 降水及演变特征

#### 3.1.1 降水总体概况

亚马逊流域 1901~2013 年多年平均降雨量

为 2 107.2mm,由图 2 年降水量的距平情况可以看出,113 年间亚马逊流域年平均降水量呈增长趋势,平均每年增长 1.2mm,20 世纪 00 年代~10 年代降水量低于平均水平,20 年代~50 年代高于多年平均水平的年份居多,60 年代降水量低于平均水平,70 年代降水量高于平均水平,80 年代~21 世纪 10 年代,降水量处于平稳时期。上述时期的最大值为 2 300mm,出现在 1973 年,最小值为 1 786mm,出现在 1906 年。

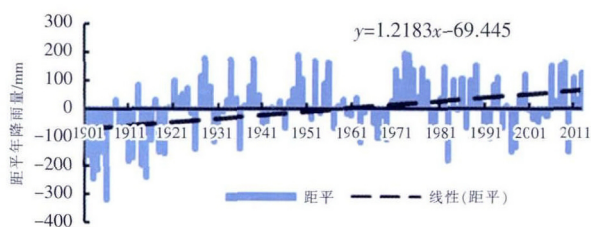


图 2 亚马逊流域 1901~2013 年年降水量距平变化

Fig.2 The change of the annual precipitation anomaly in the Amazon basin during 1901~2013

亚马逊流域年平均降水量的空间分布不均。主要表现为西部安第斯山脉附近降水量最小,低于 1 000mm;中部地区降雨量在 2 000mm 左右;南部地区降雨量随纬度增大而逐渐减少,从 1 900mm 减少至 1 100mm;北部地区降雨量相对较大,年均降雨量 3 000mm 左右,明显大于南部地区。年平均降雨量最高值主要分布于西北部的内格罗河、雅普拉河地区,有些年份甚至超过 3 000mm。年平均降雨量最低值主要分布于南部贝尼河等地区,流域的南部和北部地区降雨量存在着明显差异。

### 3.1.2 年降水量趋势性分析及空间变化

图 3 给出亚马逊流域 1901~2013 年年降水倾向率等值线分布图,可见亚马逊流域降水量的变化趋势存在着区域性差异。赤道以北的北部地区降水量减少,主要影响内格罗河及其上游地区;靠近流域入口口的三角洲地区的减少趋势最为明显,平均降水倾向率为  $-30\text{mm}/10\text{a}$ 。流域西北北部和西南南部地区,也就是秘鲁境内安第斯山脉附近,年降水变化出现不同程度的负增长趋势。其中,亚马逊河源头乌卡利亚河和亚马逊河上游马拉尼翁河所在区域下降趋势最显著,为每 10 年减少 20mm。在流域的其他地区,包括赤道以南大部分地区、北部小部分区域、西南部小部分区域年降水量均呈现增长趋势。其中,位于巴西高原的南部区域年降水量增长趋势最显著,平均降水倾向率为

50mm/10a。

### 3.1.3 年降水量周期性分析及空间变化

结合最大熵谱法和小波分析法得到亚马逊流域年降水量的周期性分布情况。流域上游河段,包括马拉尼翁河、查瓦利河、亚马逊河上游部分主周期最高峰值均为 3~4a;流域中下游河段的北部地区,包括雅普拉河、布朗库河、内格罗河、亚马逊河中下游部分最高峰值对应应在 5~7a 上;流域南部地区,包括普鲁斯河、马德拉河、兴谷河主周期对应的最高峰值均为 40a,次高峰为 25a。其中其西部地区,支流茹雷纳河的周期不同,其主周期为 25a。

### 3.1.4 年降水量突变性分析及空间分布

采用 M-K 法和 Yamamoto 法对流域年降水量突变性进行检验,从检验结果可以看出,两种方法得到的突变点基本一致。整个流域从上游至下游,即由西至东方向,马拉尼翁河降水量在 20 世纪 30 年代后期至 40 年代初期发生了突变,通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量减少趋势较显著;查瓦利河降水量在 1995~2000 年之间发生突变,通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量增加趋势显著;亚马逊干流中游部分在 70 年代发生强突变且通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量增加趋势异常显著;干流其他部分均未发生突变,未通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量的改变趋势不明显。从南至北方向,雅普拉河 60 年代发生突变,通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量减少趋势显著;布朗库河在 1955 年左右发生突变,通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明降水量增加趋势较显著;

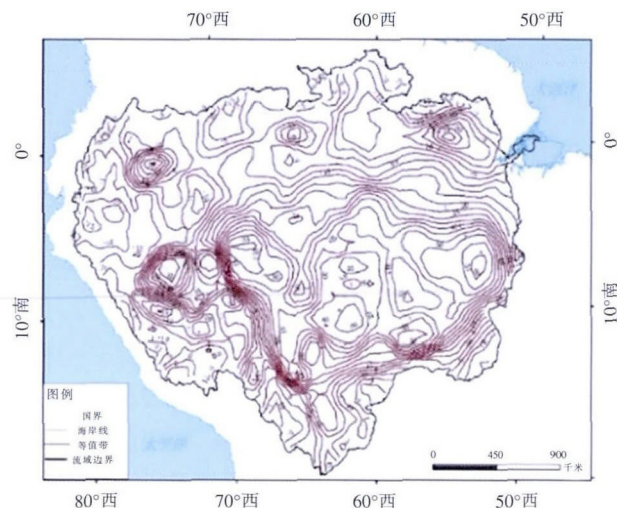


图 3 亚马逊流域年降水倾向率等值线分布图

Fig.3 The contour line of the annual mean precipitation trend rate in the Amazon basin



马德拉河在 1969~1973 年发生突变,通过了  $\alpha=0.01$  的显著性检验,说明降水量增加趋势非常明显。

以亚马逊流域内 1901~2013 年的格点降水数据为基础,将每个格点上的年降水量进行突变检验,从图 4 可以看出,整个流域的突变时间可划分成两个部分:由中部向东北和西南方向突变时间逐渐推迟。中部地区突变时间为 20 世纪 10 年代,发生时间最早,且发生突变面积相对比较集中;由该地区向西南和东北方向发展,突变时间后移,均以 20 世纪 20 年代为主要突变时间;向流域边缘地区发展,突变时间继续推后,主要在 20 世纪末和 21 世纪初发生。

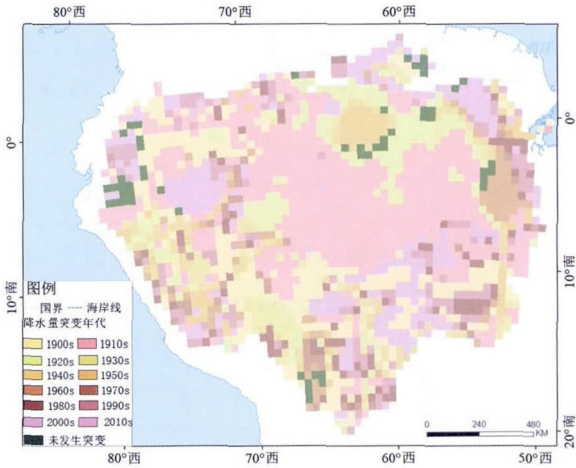


图 4 亚马逊流域年降水突变时间空间分布图

Fig.4 The mutation test result of the annual mean precipitation in the Amazon basin

这种降雨量分布不均可能是受大气环流和地理位置等因素的共同影响。首先,亚马逊流域包含热带草原和热带雨林两个气候带。热带雨林气候在赤道两侧,向

南北各延伸  $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$  左右。流域北部地区属热带雨林气候,处于赤道低压带,气流以上升运动为主,易形成降雨。热带草原气候系在南北纬  $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$  左右,流域北部地区即属于该热带草原气候。另外,由于流域东低西高,当受赤道低压带控制时,流域中部平原地区,盛行赤道海洋气团,且有辐合上升气流;再者,又受到东北、东南信风和南北赤道暖流带来的丰沛的暖湿气流共同影响<sup>[21]</sup>。在赤道低压带和信风带南北移动、交替影响下,降雨量有多、少差异。热带大西洋和太平洋的海面温度的季节性均对亚马逊流域的降雨有很大影响,而且大西洋比太平洋对亚马逊流域降雨影响更大<sup>[22]</sup>。

3.2 径流及演变特征

以上游 SADI、中游 MAN、下游 OL 站的径流变化趋势来看,近 50 年流域上、中、下游径流表现出不同的变化趋势(见图 5)。多年平均径流量分别为  $55\,807.4\text{m}^3/\text{s}$ 、 $101\,397.6\text{m}^3/\text{s}$ 、 $174\,308.8\text{m}^3/\text{s}$ 。上游站和下游站径流呈增加趋势,平均每 10 年分别增加  $1\,014\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1\,958\text{m}^3/\text{s}$ ;中游站径流呈减少趋势,平均每 10 年减少  $1\,474\text{m}^3/\text{s}$ 。这表明 20 世纪 60 年代以来流域年径流呈微弱增加趋势,但地区分布不均。从年代分布来看,中游站和下游站 80 年代有一个明显减小趋势;90 年代、00 年代逐渐增加;上游站径流年代变化不大。中游站径流减小主要是由北部地区降雨量减少所致。图 6 为突变性检验结果。表明上游站、中游站、下游站径流突变起始时间序列分别发生在 1995~2000 年、2000~2005 年、2005~2010 年。由此可见,径流突变发生时间由上游至下游方向逐渐延迟。径流的周期性表现为,上、中、下游主周期分别为 4a、6a、6a,次周期分别为 3a、12a、3a。

对流域内其余 13 个测站年径流量进行趋势性、

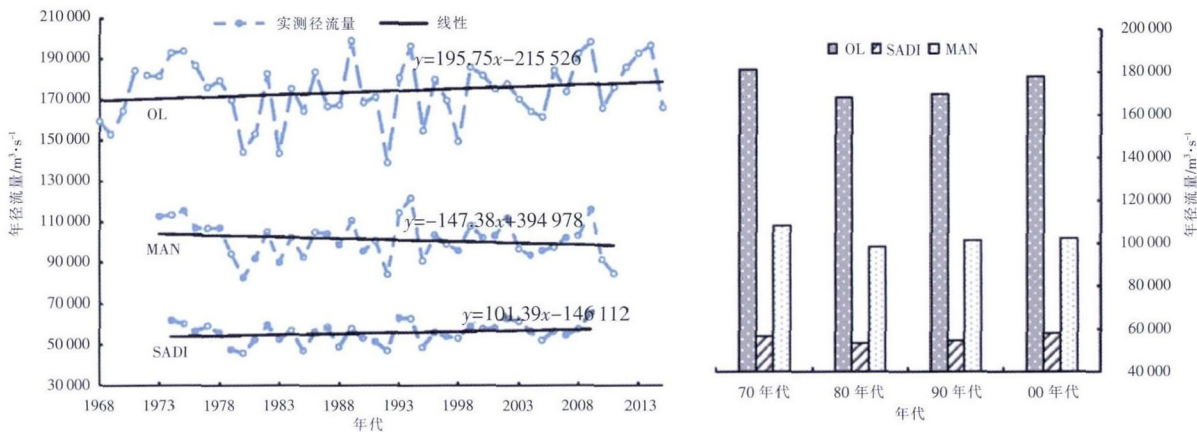


图 5 SADI、MAN、OL 站年径流量变化

Fig.5 The change of the annual runoff at the stations of SADI、MAN and OL

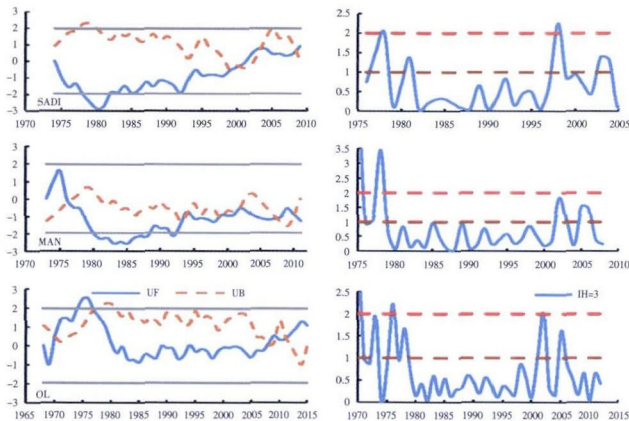


图6 SADI、MAN、OL站突变性检验(左侧为MK法,右侧为Yamamoto法)  
Fig.6 The mutation test results of the stations of SADI、MAN and OL

周期性分析和突变性检验,结果见表1。亚马逊流域的三面地势均属高原,即西部发源地为安第斯山脉;北部地区位于圭亚那高原;南部地区为巴西高原。该流域地表径流主要源于降水补给,因而径流分配受降雨制约显著。

### 3.3 全流域径流系数分布特征

根据所选站点的径流量得到亚马逊流域平均径流

系数为0.57。由图7各站径流系数可知,径流系数随着面积的增加而变小。采用克里金法对流域近50年年均径流系数进行空间插值,结果表明流域径流系数高的地区主要集中于上游的北部和南部,且空间分布对称;最低的地区主要集中于下游入海口附近。自西向东径流系数呈逐渐减小趋势。整体来说,亚马逊流域径流系数形成了南北高、中间低的马鞍状空间分布格局。考虑其空间分布的主要成因与降水分布、植被覆盖及地形有主要关系。该研究区为西高东低,南高北低的走势,中间为亚马逊平原,地势相对复杂。研究区内高原地区易形成径流,径流系数则偏高;自西向东森林覆盖度逐渐增加,地势逐渐变缓,径流系数逐渐减小;入海口地区海拔高度较低,地势较平,降雨量减少,植被覆盖度低,降水转化成径流部分较少,不易形成径流。

## 4 结论

应用亚马逊流域年降水量和年径流量资料分析了其时空分布及变化特征,得到以下结论:

(1)流域年降水量整体随着时间变化呈增加趋势;

表1 亚马逊流域年径流量趋势性、突变性及周期性统计表

Table1 The test results of the tendency, periodicity and mutability of the annual runoff at the representative stations in the Amazon basin

站点名称	年均径流量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	趋势性	突变性 (发生突变时间)	最大熵谱法				小波分析	
				第一峰值	第二峰值	第三峰值	第四峰值	小波周期	小波方差 (震动最强)
EDR	2553.4	缓慢增加	2004年前后	5.0				3a-8a	11年周期
BOR	4897.8	显著增加	1998年前后	3.8	5.0	2.3		2a-3a	8年周期
VB	13620.7	显著下降	2004年前后	2.3	7.5	3.8		3a-7a	23年周期
FON	1465.1	减小趋势	1975年前后	3.0	5.0	2.5		25a/6a	7年周期
JAT	125531.0	显著增加,波动较大	1999年前后	2.3	6.4	4.0	3.2	3a-6a	11年周期
TAB	36090.4	缓慢增加,波动较大	2003年	4.6	2.9	2.3	8.0	4a	12年周期
FVA	27556.1	减小趋势	70年代初期	23.0	9.2	5.1	2.3	7a/27a	22年周期
ALT	7873.1	缓慢增加,波动较大	1996年前后 2004年前后	5.5	14.7	3.7	3.0	25a/5a	16年周期
LAB	5540.2	下降趋势	2003年前后	3.8	5.8	4.6	2.6	3a	14年周期
RUR	2036.4	显著增加	2008年前后	15.3	4.6	2.6		13a	12年周期
SER	16461.2	减小趋势	00年代初期	3.0	16.0	4.8		30a/3a	22年周期
CAR	2990.15	增加趋势	00年代初期	5.6	2.6			3a-5a	22年周期
PV	18633.4	显著增加,波动较小	70年代、80年代及00年代中期	5.0	2.2	8.0		5a	26年周期

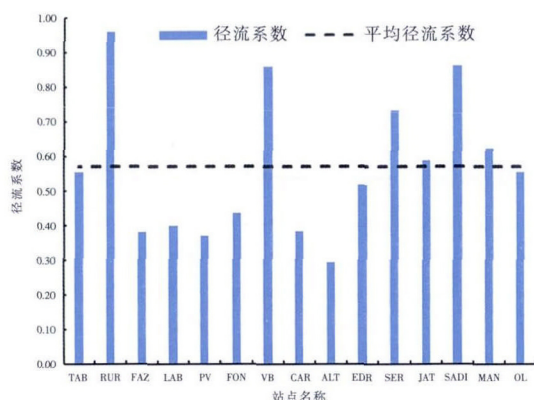


图7 各站多年平均径流系数

Fig.7 The coefficients of the annual mean runoff at the representative stations in the Amazon basin

年降水倾向率有明显空间差异。北部地区降水量减少,尤以三角洲地区减少趋势最为明显;西北北部和西南南部地区,近百年来降水量呈减少趋势;在流域的其他地区年降水量随时间变化均呈现增加趋势。

(2)流域内降水量空间分布不均。北部地区降雨量最大,而西部高海拔地区降雨量最少;低海拔地区降雨量分布具有空间差异性,降雨量随纬度增高逐渐减少。

(3)年降雨量突变时间呈现出由中部向南北部逐渐推迟的分布特征。南部和北部最初发生突变时间为20世纪20年代初期;中部突变时间为20世纪10年代;流域边缘地区突变时间主要在20世纪末和21世纪初。

(4)流域年径流量空间分布不均。近50年流域上、下游径流增加,中游径流减少。因减少量低于增加量,整体仍呈微弱增加态势。

(5)流域年径流量整体存在2~6a左右的变化周期。综合考虑突变发生时间,从上游至下游突变时间逐渐后移,从20世纪90年代后期推至21世纪00年代后期。

(6)该研究区的流域径流系数随面积增大而减小。其空间分布格局呈现为南北高、中间低的马鞍状。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [2] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004,62(2):230-236. (WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in

China in recent 50 years [J]. Acta Metrological Sinica,2004,62(2): 230-236. (in Chinese))

- [4] Baines, P., Folland, C., Evidence for a rapid global climate shift across the late 1960s [J]. Journal of Climate, 2007,20:2721-2744.
- [5] Carlos H.R. Lima, Upmanu Lall, Tara J. Troy, et al. A climate informed model for nonstationary flood risk prediction: application to Negro River at Manaus, Amazonia [J]. Journal of Hydrology, 2015,522:594-602.
- [6] Rodrigo Cauduro Dias de Paiva, Diogo Costa Buarque, Walter Collischon, et al. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin [J]. Water Resources Research, 2013,49:1226-1243.
- [7] Zeng, N., Yoon, J., Marengo, J., et al. Causes and impact of the 2005 Amazon drought [J]. Environmental Research Letters, 2008, (3):99.
- [8] Ronchail, J., Labat, D., Callède, J., et al. Discharge variability within the Amazon basin: climate variability and variability and change hydrological impacts [J]. International Association of Hydrological Sciences, 2005,296:21-29.
- [9] Callède, J., Guyot, J. L., Ronchail, J., et al. Evolution the flow of Amazonas Obidos between 1902 and 1999 [J]. Hydrological Sciences Journal, 2004,49:85-97.
- [10] Jhan Carlo Espinoza Villar, Josyane Ronchail, Jean Loup Guyot, et al. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador) [J]. International Journal of Climatology, 2009,29:1574-1594.
- [11] Roberto Valmir Da Silva, Yosuke Yamashiki, Kaoru Takara. Evaluating a multi-velocity hydrological parameterization in the Amazon basin [J]. Journal of Japan Society of Civil Engineers, 2011,67:49-54.
- [12] Jos?e A. Marengo. Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s [J]. Hydrological Process, 2009,23:3236-3244.
- [13] Jose A. Marengo, Stefan Hastenrath. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin [J]. Marengo and Hastenrath, 1993,(6):617-627.
- [14] 王素霞. 世界第一河—亚马逊河 [J]. 陕西水利, 2006,(5). (WANG Suxia. Top river in the world [J]. Shanxi Water Resources, 2006, (5).(in Chinese))
- [15] Jhan Carlo Espinoza Villar, Jean Loup Guyot, Josyane Ronchail, et al. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974-2004) [J]. Journal of Hydrology, 2009,375:297-311.
- [16] 白建锋. 全球共享降水数据在我国的适用性研究[D]. 上海: 东华大学, 2012. (BAI Jianfeng. The Applicability of the Global Sharing Precipitation Data in China [D]. Shanghai: Donghua University, 2012. (in Chinese))
- [17] 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. Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology [M]. Beijing: Meteorology Press,1999. (in Chinese))

- [18] 王欣,覃光华,李红霞. 雅鲁藏布江干流年径流变化趋势及特性分析[J]. 人民长江, 2016,47(1):23–26. (WANG Xin, QIN Guanghua, LI Hongxia. Analysis on characteristics and variation trend of annual runoff of mainstream of Yarlung Tsangpo River [J]. Yangtze River, 2016,47(1):23–26. (in Chinese))
- [19] 向辽元,陈星. 近 55a 中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象, 2006,(6):44–47. (XIANG Liaoyuan, CHEN Xing. Regional and seasonal features of abrupt temperature change in China in recent 55 years [J]. Meteorological Monthly, 2006,(6):44–47. (in Chinese))
- [20] 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000,11(3):322–330. (REN Guoyu, WU Hong, CHEN Zhenghong. Spatial patterns of change trend in rainfall of China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2000,11(3):322–330. (in Chinese))
- [21] 杨青山,韩杰,丁四保. 世界地理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. (YANG Qingshan, HAN Jie, DING Sibao. Geography of the World[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese))
- [22] Rong FU, Robert E. Discinson, Mingxuan CHEN, et al. How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon [J]. Journal of Climate, 2001,(14):4003–4026.

### Time-spatial Distribution of Rainfall and Runoff in Amazon Basin

CAO Shuang<sup>1,2</sup>, QIN Tianling<sup>2</sup>, SHI Xiaoqing<sup>2</sup>, SUN Ruochen<sup>3</sup>, JING Lanshu<sup>4</sup>

(1. College of Architecture and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 4. College of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** Based on the rainfall-runoff data obtained from GPCC (Global Precipitation Climatology Centre) and GRDC (Global Runoff Data Centre), this selected 16 stations in the Amazon Basin to analyze the trend, periodicity and mutation of the annual precipitation and runoff in the various sub-basins, and analyzed the variation of runoff in time and spatial distribution, by using Cubic Spline Interpolation, Mann-Kendall method, Yamamoto test, Maximum Entropy method and Wavelet Analysis. The results show that there is an increase in precipitation and runoff in the whole basin. The distribution of rainfall is uneven, with the north experiencing lesser rain than the south. In the past 50 years, the runoff has increased in the upper and lower parts of the basin. The runoff in the middle has reduced, but the decrease was lesser than the increase. There is a slight increase in the overall trend.

**Key words:** rainfall; runoff; tendency; periodicity; mutability; Amazon Basin

(上接第 52 页)

### Permeability Coefficient of Pebble and Gravel in Yellow River Terrace of Lanzhou

GAO Honggang, ZHAO Tianyu, HU Jianfang, WANG Pengwei

(Gansu Province Transportation Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd, Lanzhou 730030, China)

**Abstract:** The permeability coefficient of pebble and gravel in the first terrace of the Yellow River in Lanzhou are 34.19m/d, 32.68m/d and 26.50m/d, respectively, tested by pumping, injection in borehole and single ring water injection test. According to particle analysis, the pebble and gravel formed skeleton of large pores, and the less fine sand are difficult to filling the much more large pores, which only to reduce the seepage paths. In this way, the permeability coefficient of porous medium is larger than the fine sand, but less than the pebble and gravel without or only contained very small amount of fine sand. Through the contrastive analysis, the predicted value of permeability coefficient by grain-size distribution appeared great discrepancy and variability, which should be argued on design parameters of engineering construction. Base on hydrogeological test results, engineering practices and regional empirical value, the permeability coefficient of pebble and gravel in the Yellow River terrace of Lanzhou was suggested taking 34.19m/d.

**Key words:** Yellow River terrace; pebble and gravel; permeability coefficient