

罗希昌, 杨彬, 张玉生, 等. 安徽省分钟降雨率分布特征[J]. 电波科学学报, 2020, 35(6): 908-913. DOI: 10.13443/j.cjors.2020103001

LUO X C, YANG B, ZHANG Y S, et al. Distribution characteristics of minute rainfall rate in Anhui Province [J]. Chinese journal of radio science, 2020, 35(6): 908-913. (in Chinese). DOI: 10.13443/j.cjors.2020103001

安徽省分钟降雨率分布特征

罗希昌¹ 杨彬¹ 张玉生² 王传辉¹ 姚叶青¹

(1. 安徽省公共气象服务中心, 合肥 230000; 2. 中国电波传播研究所 电波环境特性及模块化技术重点实验室, 青岛 266107)

摘要 利用安徽省2017—2019年81个国家级气象站实测分钟降雨率资料, 统计站点分钟降雨率累积分布, 对安徽省分钟降雨率的时空分布特征进行分析, 并将实测降雨率与ITU降雨率模型预测结果进行对比。结果表明: 安徽省山区的分钟降雨率累积分布整体上高于其他地区, 淮北平原东部在小于0.03%时间概率点时呈现出较高分钟降雨率累积分布; 山区受地形降雨影响, 高海拔处分钟降雨率总体上高于低海拔处; 平原地区的 $R(0.01)$ 年际变化较其他地区显著; 2017年、2018年和2019年的降雨最坏月份分别为8月、7月和6月。实测分钟降雨率分布与ITU模型预测结果总体上保持一致, 在0.03%时间概率点以内, 模型预测结果整体偏低; 在淮北平原和山区高海拔处, 模型预测结果误差较大。

关键词 分钟降雨率; 时空分布; 地形降雨; 最坏月份; 年际变化

中图分类号 TN92

文献标志码 A

文章编号 1005-0388(2020)06-0908-06

DOI 10.13443/j.cjors.2020103001

Distribution characteristics of minute rainfall rate in Anhui Province

LUO Xichang¹ YANG Bin¹ ZHANG Yusheng² WANG Chuanhui¹ YAO Yeqing¹

(1. Anhui Public Meteorological Service Center, Hefei 230000, China; 2. National Key Laboratory of Electromagnetic Environment, China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao 266107, China)

Abstract Using the measured minute rainfall data of 81 national meteorological stations in Anhui Province from 2017 to 2019, we calculate the cumulative distribution of minute rainfall rate at the station, and analyze the temporal and spatial distribution characteristics of minute rainfall rate in Anhui Province. Finally, the measured rainfall rate is compared with the prediction result of the ITU rainfall rate model. The results show that the cumulative distribution of minute rainfall rate in mountainous areas in Anhui Province is generally higher than that in other regions. The eastern part of the Huaibei Plain shows a higher cumulative distribution of minute rainfall rates within 0.03% of the time percentage. In mountainous areas, affected by terrain rainfall, the minute rainfall rate at high altitudes is generally higher than that at low altitudes. The interannual variability of $R(0.01)$ in the plain area is more significant than that in other areas. The worst months of the province's rainfall rate are August, July and June. The distribution of the measured minute rainfall rate is generally consistent with the ITU model prediction results. Within 0.03% of the time, the model prediction results are generally low; in the Huaibei Plain and high altitude areas in the mountains, and the model prediction results have large errors.

Keywords minute rainfall rate; temporal and spatial distribution; topographic rainfall; worst month; interannual variation

收稿日期: 2020-10-30

资助项目: 国家支持项目(A132001W13)

联系人: 杨彬 E-mail: 353428290@qq.com

引言

在 10 GHz 以上频段,降雨对无线电波的散射和吸收引起的传播衰减是不可忽视的,且在一定频率范围内衰减值随频率的增加而增大。因此,在 10 GHz 以上无线电链路设计中,必须考虑降雨引起的电波衰减。降雨率是雨衰减预测研究中必不可少的基础性数据,在降雨衰减的估算中,降雨率必须是以 1 min 为积分时间的分钟降雨率,否则计算结果会产生很大误差^[1-7]。长期以来,由于技术、成本等客观因素限制,大范围开展分钟降雨率测量是十分困难的,国内外主要利用统计模型,通过 10 min 和 5 min 实测降雨率来推算分钟降雨率^[8-9]。

安徽省地处南北气候过渡带,淮河以北属温带半湿润季风气候,淮河以南属亚热带湿润季风气候。由于地处过渡带,南北冷暖气流常常交汇于江淮地区,天气气候复杂,旱涝灾害比较常见^[10-13]。安徽省地貌类型复杂多样,山地、丘陵与平原南北相间排列,全省大致可分为淮北平原、江淮丘陵、大别山区、沿江平原和皖南山区五个自然地貌区^[14]。复杂的气候和多样化的地形地貌造成了全省范围内降雨分布存在较大差异^[12]。

随着气象现代化的不断推进,气象观测的时间和空间分辨率都有了很大提升^[15]。目前,气象部门降雨量观测的时间分辨率达到了 1 min,这使得基于实测数据的大范围分钟降雨率分析成为可能。本文基于安徽省 81 个国家级气象站 2017—2019 年的分钟降雨率资料,对安徽省分钟降雨率的时空分布特征进行了研究,并与 ITU 降雨率预测模型的计算结果进行了对比。

1 数据资料及预处理

安徽省 81 个国家级气象站覆盖了淮北平原、江淮丘陵、大别山区、沿江平原和皖南山区五大地貌区,具体分布情况如图 1 所示。降雨测量使用翻斗式雨量传感器,传感器分辨率为 0.1 mm,测量频率为每分钟一次。本文对安徽省 81 个国家级气象站 2017—2019 年的分钟降雨率资料进行了收集整理,并对每个站点的分钟降雨率累积分布进行了统计分析,得出安徽省分钟降雨率的时空分布特征。降雨率的累积概率分布统计中,降雨率 R 大于某一门限 R_0 的累积概率定义为^[17]

$$P(R > R_0) = \frac{T(R > R_0)}{T} \quad (1)$$

式中: $T(R > R_0)$ 为 $R > R_0$ 的时段长度; T 为降雨率统计的总时段长度。为方便表达,本文把 $p\%$ 时间概率点内超过的降雨率记为 $R(p)$ 。

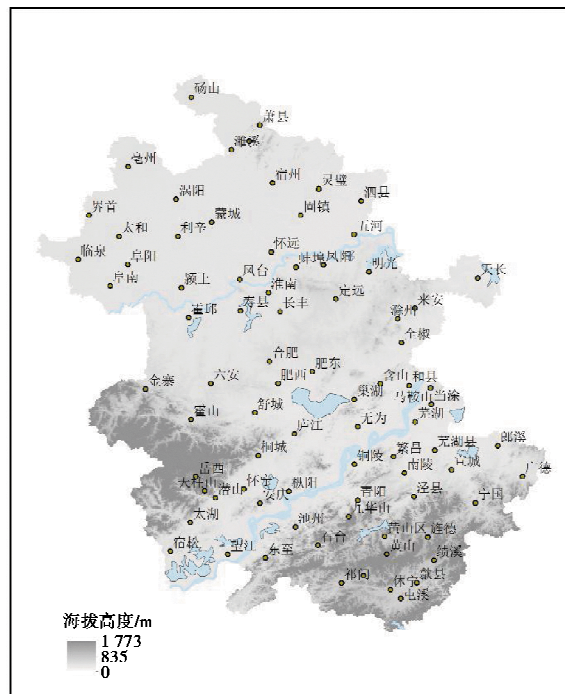


图 1 安徽省海拔高度及国家级气象站点分布

Fig. 1 Altitude and distribution of national meteorological stations in Anhui Province

2 安徽省分钟降雨率时空分布

2.1 全省分钟降雨率时空分布

为了简单但不失一般性,本文采用了分钟降雨率累积分布的部分时间概率点 ($p\% = 0.3\%, 0.1\%, 0.03\%, 0.01\%$) 来研究降雨特性,这些概率点对应了通信系统一些关键的可靠性概率(例如 99.7%, 99.9%, 99.97%, 99.99% 等)^[5-7]。

统计各站点 2017—2019 年的平均分钟降雨率累积分布,得到全省站点 $R(0.3)$ 、 $R(0.1)$ 、 $R(0.03)$ 和 $R(0.01)$ 的分布情况如图 2 所示。可以看出:在任意时间概率点上,皖南山区和大别山区的降雨率整体上高于其他地区;当时间概率点小于 0.03% 时,江淮平原东部也出现了明显高于其他地区的降雨率累积分布。这些分布特征表明,皖南山区和大别山区降雨率整体上比其他地区偏大,而江淮平原东部则容易出现短时、局地强对流降水天气。

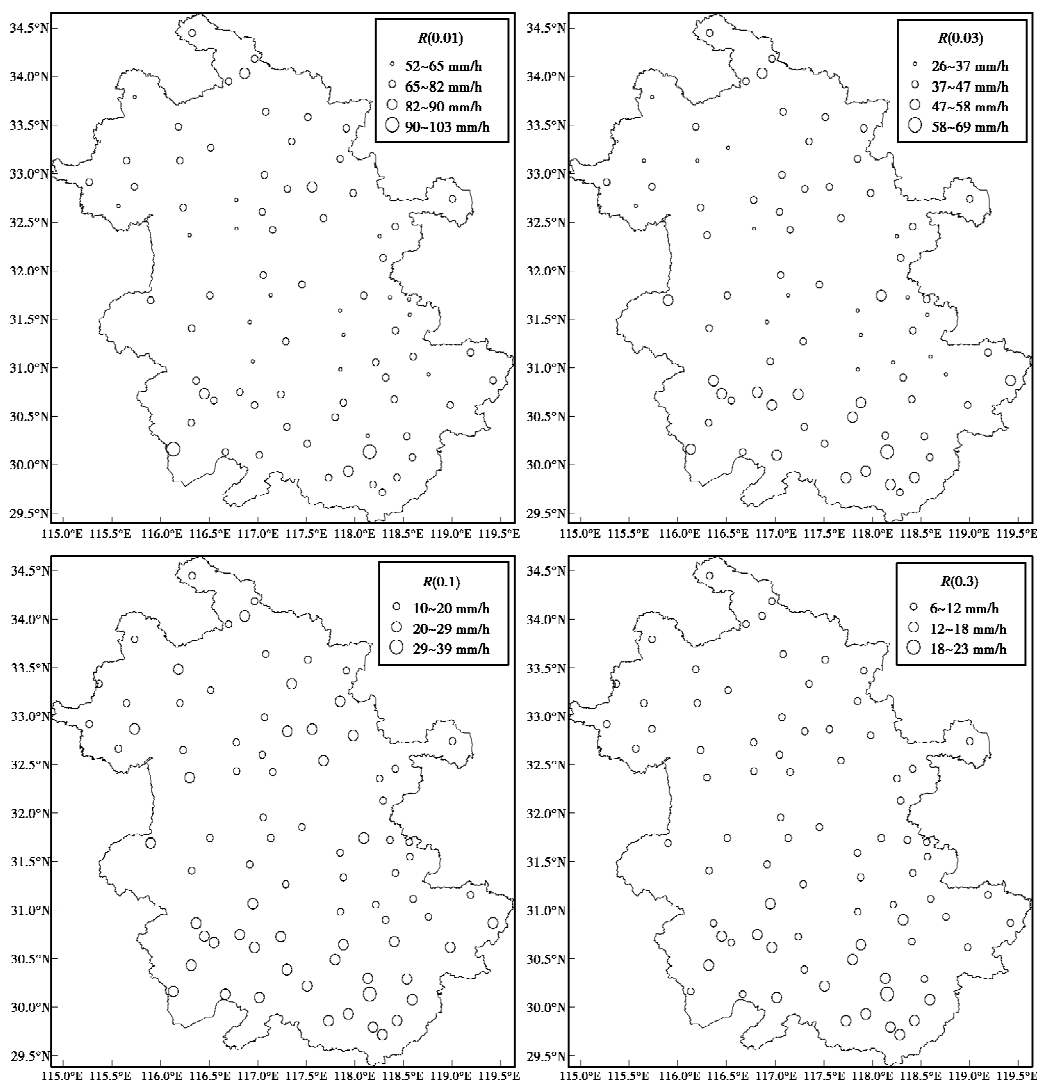


图 2 安徽省 2017—2019 年平均分钟降雨率分布

Fig. 2 Distribution of average minute rainfall rate in Anhui Province from 2017 to 2019

2.2 山区降雨率分布特征

通过图 2 还可以看出,在皖南山区和大别山区,降雨率空间分布变化剧烈,如一些相邻站点水平距离接近,降雨率却存在较大落差。例如皖南山区的黄山光明顶 $R(0.3)$ 、 $R(0.1)$ 、 $R(0.03)$ 和 $R(0.01)$ 的年平均值分别为 102 mm/h、68 mm/h、38 mm/h、22 mm/h,而水平距离 20 km 以内的黄山区相应概率点的降雨率仅为 64 mm/h、42 mm/h、22 mm/h 和 12 mm/h,类似的情况还有大别山区的天柱山和岳西等。这种现象是由于地形降雨造成的,为了解山区垂直空间上的降雨率分布特性,本文根据海拔

高度对站点进行分类,分别计算海拔 200 m 以上站点和海拔 200 m 以下站点 $R(0.01)$ 的最小值、最大值和平均值。统计结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,海拔超过 200 m 站点的 $R(0.01)$ 的最小值、最大值和平均值都高于海拔低于 200 m 的站点。这说明在山区,降雨率在垂直空间分布上存在明显差异,而且总体上海拔较高处降雨率更大。根据地形降雨的形成机理,海拔并不是影响地型降雨的唯一地形要素,地形降雨是气流与海拔、坡向等地形要素共同作用的结果^[12]。因此,具体到某一位置,还要根据实际地理条件综合分析降雨率的分布特性。

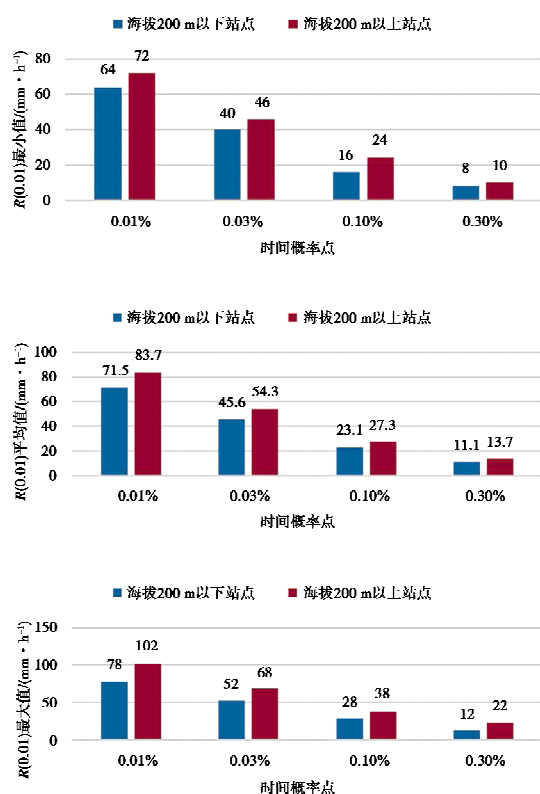


图 3 不同海拔高度站点降雨率分布统计
Fig. 3 Statistics of rainfall rate at different altitudes stations

2.3 $R(0.01)$ 降雨率的年际变化

以 $R(0.01)$ 的年际差来说明每个站点 2017—2019 年的年际变化,结果如图 4 所示. 可以看出: 2017—2019 年安徽省各站点 $R(0.01)$ 最大年际差的

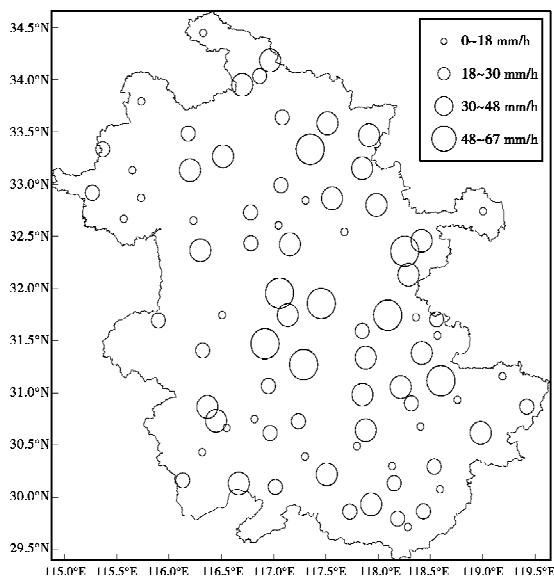


图 4 $R(0.01)$ 最大年际差统计
Fig. 4 $R(0.01)$ Interannual Change Statistics

最高值出现在固镇和合肥,为 66 mm/h;最大年际差的最低值出现在安徽北部的亳州,为 0 mm/h. 江淮平原东部和沿江平原站点的 $R(0.01)$ 最大年际差值明显高于其他地区. $R(0.01)$ 年际变化大的站点集中在平原地区,这与平原地区在夏季容易发生局地强对流降雨有关^[18].

2.4 降雨最坏月份分析

降雨存在着明显的季节变化和月份变化. 因此,对降雨率最坏月份的统计具有重要的意义^[16]. 本文以 0.01% 时间概率点被超过的分钟降雨率作为降雨最坏月份统计的门限值,对全省范围内进行 3 年时长的最坏月份分布统计,统计结果如图 5 所示. 可以看出,2017—2019 年安徽省整体上的降雨最坏月份为 8 月,2017 年的降雨最坏月份为 8 月,2018 年的降雨最坏月份为 7 月,2019 年的降雨最坏月份为 6 月,从最坏月份也可以看出降雨的年际变化较为明显.

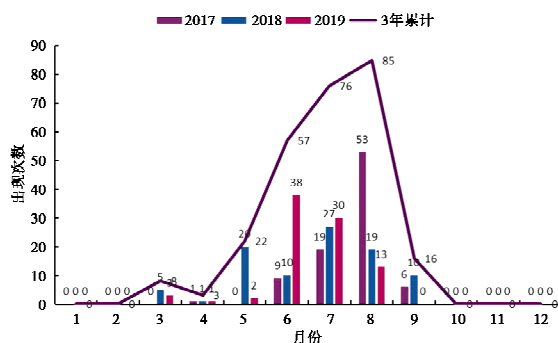


图 5 降雨率最坏月份分布统计
Fig. 5 The worst month distribution statistics of rainfall rate

3 实测数据与 ITU 模型对比

ITU-R P. 837-7 建议书提供了一种降雨率预测方法,用于预测 1 min 积分时间的降雨率统计特性^[17]. 将利用实测分钟数据统计的降雨率累计分布(记为 $OD-R(p)$)与利用 ITU-R 降雨率预测模型计算的结果($ITU-R(p)$)在 0.01%、0.03%、0.1% 和 0.3% 时间概率点进行比较,如图 6 所示. 可以看出,ITU 模型预测结果与实测数据计算结果总体上保持一致,但是不同时间概率点、不同站点的误差大小又存在明显差异.

经统计,在 0.01%、0.03%、0.1% 和 0.3% 时间概率点上,实测结果与 ITU 模型预测结果的平均相对误差分别为 14.6%、15.8%、11.5% 和 16.6%. 在 0.01% 和 0.03% 时间概率点上,实测结果整体高于

ITU 模型预测结果,个别站点情况相反。在 0.01% 时间概率点上,对两种结果的绝对误差进行空间分析,如图 7 所示,模型预测结果高于实测结果的站点主要分布在山区低海拔处,绝对误差较大的站点主要分布在淮北平原和山区高海拔处。

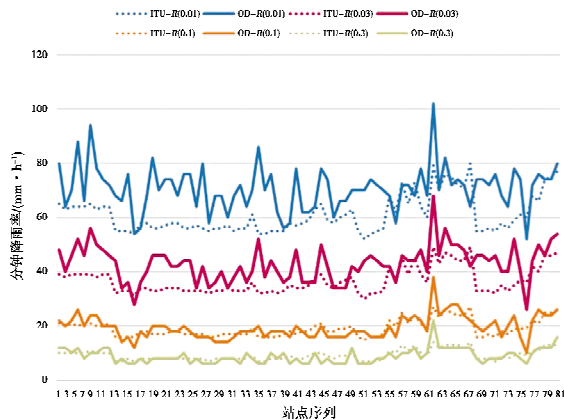


图 6 降雨率实测数据与 ITU 模型计算结果对比

Fig. 6 Comparison of rainfall rate calculation results between ITU model and the measured data

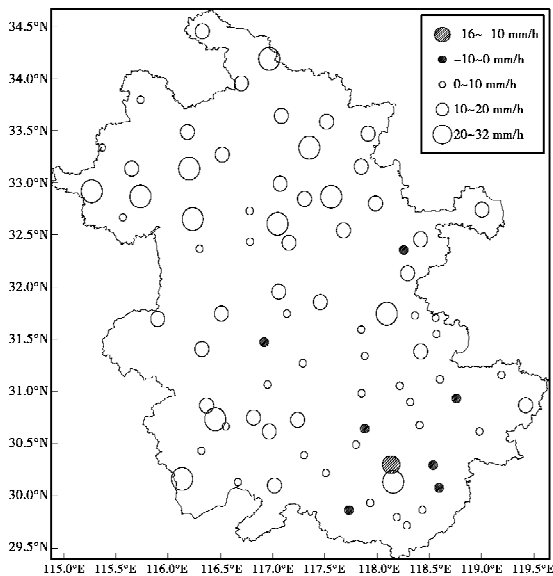


图 7 实测数据与 ITU 模型误差统计

Fig. 7 Statistics of absolute error between the measured data and ITU model

4 结 论

基于 2017—2019 年安徽省 81 个国家级气象站分钟降雨率资料,对全省分钟降雨率累积分布进行了统计,通过对比分析,总结了安徽省分钟降雨率在空间和时间上的分布特征,得出以下结论:

1) 皖南山区和大别山区的分钟降雨率累积分布整体上高于其他地区,当时间概率点小于 0.03% 时,江淮平原东部分分钟降雨率累积分布也明显高于除皖南山区和大别山区以外的其他地区。在山区,整体上海拔高度越高的地区分钟降雨率越高。

2) 安徽省平原和丘陵地区的 $R(0.01)$ 年际变化大于山区;全省范围内,2017—2019 年整体上的最坏月份为 8 月,3 年的最坏月份分别为 8 月、7 月和 6 月。

3) 实测结果与 ITU 模型预测结果总体上保持一致,在 0.03% 时间概率点,实测结果整体高于 ITU 模型预测结果,山区部分低海拔站点情况相反。实测结果与 ITU 模型预测结果在淮北平原和山区高海拔处误差较大。

参考文献

- [1] 仇盛柏. 我国分钟降雨率分布[J]. 通信学报, 1996, 17(3): 78-81.
QIU S B. The distributions of 1-min rainfall rate in China[J]. Journal on communications, 1996, 17(3): 78-81. (in Chinese)
- [2] 郑进宝. 我国 Ka 频段卫星通信雨衰分析及抗雨衰技术[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
ZHENG J B. Analysis to rain attenuation in Ka band satellite communication in China and anti-rain fade technology[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007. (in Chinese)
- [3] 黄润生, 张长清, 王魁霞. 35 GHz 地-空路径降雨衰减的研究[J]. 电波科学学报, 1986, 1(4): 65-74.
HUANG R S, ZHANG C Q, WANG K X. Study of rain attenuation of 35 GHz from the earth to space path[J]. Chinese journal of radio science, 1986, 1(4): 65-74. (in Chinese)
- [4] 郭相明, 刘永胜, 赵栋梁, 等. C 波段蒸发波导传播衰落特征的试验研究[J]. 电波科学学报, 2019, 34(5): 622-627.
GUO X M, LIU Y S, ZHAO D L, et al. Experimental study on fading characteristics in the evaporation duct propagation at C band[J]. Chinese journal of radio science, 2019, 34(5): 622-627. (in Chinese)
- [5] 侯光明, 王健, 郭巧, 等. 全国降雨率累积分布 $R(0.01)$ 的研究[J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(2): 262-264.
HOU G M, WANG J, GUO Q, et al. A study on the cumulative distributions of rainfall rate $R(0.01)$ over China[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2002, 22(2): 262-264. (in Chinese)

- [6] 肖景明,程登辉,王立钧. 西安地区降雨率的统计与分析[J]. 电波科学学报, 1987, 2(1): 41-50.
XIAO J M, CHENG D H, WANG L J. Rain rate statistics and analysis in Xi'an district[J]. Chinese journal of radio science, 1987, 2(1): 41-50. (in Chinese)
- [7] 李莉,朱元竞. 由实测小时雨量预报地星通信雨致衰减的方法研究[J]. 电波科学学报, 1997, 12(1): 78-88.
LI L, ZHU Y J. On prediction of rain attenuation to earth-satellite links from hourly rain gauge data[J]. Chinese journal of radio science, 1997, 12(1): 78-88. (in Chinese)
- [8] 仇盛柏,陈京华. 我国典型地区不同积分时间降雨率的换算公式[J]. 电波科学学报, 1997, 12(1): 112-117.
QIU S B, CHEN J H. The conversion formulae of rainfall rate distributions with different integration times at the typical regions in China[J]. Chinese journal of radio science, 1997, 12(1): 112-117. (in Chinese)
- [9] 张瑜,王静,张玉生. 无降雨记录地区的雨强计算方法[J]. 电波科学学报, 2002, 17(4): 401-403.
ZHANG Y, WANG J, ZHANG Y S. The calculated method of the rainfall intensity in the area of no rainfall record[J]. Chinese journal of radio science, 2002, 17(4): 401-403. (in Chinese)
- [10] 唐宝琪,延军平,曹永旺,等. 安徽省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2016, 55(5): 127-134.
TANG B Q, YAN J P, CAO Y W, et al. Climatic change and drought-flood regional responses in Anhui [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2016, 55(5): 127-134. (in Chinese)
- [11] 江俊杰,孙卫国. 1959-2007年安徽省降水时空变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 27-33.
JIANG J J, SUN W G. Analysis of spatial temporal precipitation variation in Anhui Province during 1959-2007[J]. Chinese journal of agrometeorology, 2012, 33(1): 27-33. (in Chinese)
- [12] 杨祖祥,李萌萌,钱磊,等. 安徽省分地形小时极端降水气候分布特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(3): 131-139.
YANG Z X, LI M M, QIAN L, et al. Climatic distribution characteristics of hourly extreme precipitation over different terrain areas in Anhui Province[J]. Journal of Yunnan University: natural sciences edition, 2020, 42(3): 131-139. (in Chinese)
- [13] 黄勇,张红,冯妍. 近38年安徽省夏季降水日数和强度的分布与变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 157-159.
HUANG Y, ZHANG H, FENG Y. Characteristics of precipitation days and intensity of Anhui Province in summer during recent 38 years[J]. Resources and environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(2): 157-159. (in Chinese)
- [14] 李婧晗,江岭,左颖,等. 面向对象的安徽省基本地貌类型划分方法[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(5): 86-91.
LI J H, JIANG L, ZUO Y, et al. Landform classification based on object-oriented method in Anhui Province [J]. Geography and geo-information science, 2018, 34(5): 86-91. (in Chinese)
- [15] 钱毅,朴权哲,董德宝,等. 安徽省新型区域自动气象站数据传输方案及通讯协议设计[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 30(2): 87-91.
QIAN Y, PIAO Q Z, DONG D B, et al. Design on data transmission and communication protocol of a new regional weather station in Anhui Province[J]. Meteorological hydrological and marine instrument, 2013, 30(2): 87-91. (in Chinese)
- [16] 张长清,李焕矩,严云英. 最坏月份降雨率统计分布的预测[J]. 电波科学学报, 1988, 3(2): 25-27.
ZHANG C Q, LI H J, YAN Y Y. Prediction of statistical distribution for the worst-month rainfall rate[J]. Chinese journal of radio science, 1988, 3(2): 25-27. (in Chinese)
- [17] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P. 837-7 characteristics of precipitation for propagation modelling[S]. Geneva: ITU, 2017.

作者简介

罗希昌 (1986—),男,河南人,安徽省公共气象服务中心工程师,硕士,研究方向为气象信息技术。

杨彬 (1964—),男,安徽人,安徽省公共气象服务中心高级工程师,研究方向为专业气象服务。

张玉生 (1969—),男,研究员,1992年毕业于南京气象学院,长期从事电波环境特性和大气数值模拟研究,发表研究论文30多篇,出版专著1部。