

国家电网1980~2020年洪涝危险性的时空变化特征

刘晓琳^{1,2}, 宋宗朋^{1,2}, 靳双龙^{1,2}, 王 勃^{1,2}, 滑申冰^{1,2}, 裴 琳³, 郑子彦^{4*}

¹中国电力科学研究院有限公司新能源与储能运行控制国家重点实验室, 北京

²电力气象国家电网有限公司联合实验室, 北京

³北京城市气象研究院, 北京

⁴中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室, 中国科学院大气物理研究所, 北京

收稿日期: 2021年12月11日; 录用日期: 2022年1月11日; 发布日期: 2022年1月18日

摘 要

极端降水是引发我国电网洪涝危险性的主要因子。本研究基于1980~2020年全国2419个基准气象站的日降水资料, 选取降水强度、暴雨日数、强降水量和极强降水量这4个极端降水指数作为电网洪涝危险性的指标, 通过计算分析国家电网东北、西北、华北、华东、华中和西南6个区的历史气候态、区域平均序列和站点线性趋势, 综合考察国家电网不同分区的洪涝危险性在研究期的分布和变化。结果表明, 电网南方3区的洪涝危险性远大于北方3区, 其中以华东区的极端降水气候值最高, 变化最显著, 面临的危险性最大; 华中区次之, 华北区和东北辽东地区的危险性也有一定程度的增长, 京津冀和川渝城市群则总体有所降低; 此外, 部分气候干旱区的洪涝危险性也有显著增大, 需要在未来的建设和防汛中给予足够的重视。

关键词

国家电网, 极端降水, 洪涝危险性, 变化趋势

The Spatial-Temporal Characteristics of Rainfall-Flood Hazard in China State Grid during 1980~2020

Xiaolin Liu^{1,2}, Zongpeng Song^{1,2}, Shuanglong Jin^{1,2}, Bo Wang^{1,2}, Shenbing Hua^{1,2}, Lin Pei³, Ziyang Zheng^{4*}

¹State Key Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems, China Electric Power Research Institute, Beijing

*通讯作者。

文章引用: 刘晓琳, 宋宗朋, 靳双龙, 王勃, 滑申冰, 裴琳, 郑子彦. 国家电网 1980-2020 年洪涝危险性的时空变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1): 32-40. DOI: 10.12677/ccrl.2022.111004

²Electric Power Meteorology State Grid Corporation Joint Laboratory, Beijing

³Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing

⁴Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Received: Dec. 11th, 2021; accepted: Jan. 11th, 2022; published: Jan. 18th, 2022

Abstract

The extreme precipitation is the main factor in leading to flood hazard on State Grid. Based on the daily observed precipitation from 2419 national benchmark stations, this study investigated the rainfall-flood hazard of State Grid by introducing 4 extreme precipitation indices including rains-torm days, precipitation intensity, strong precipitation amount and extreme precipitation amount as the indicators. Then the distribution and trend of rainfall-flood hazard over State Grid's 6 divisions were analyzed by calculating the climatology patterns, regional average series and stationial trends. The results show the larger rainfall-flood hazard in South than in North, and the East_China is facing the most serious hazard both in distribution and trend. There are also significant increased trends in Central_China, North_China and east part of Northeast_China. Urban agglomerations in Jing-Jin-Ji of North_China and Chengdu-Chongqing of Southwest_China show deceased trends in the local scale. Moreover, the significant increased trends in historical arid regions (e.g. Northwest_China) need more attention in future operational construction and flood control due to the potential hazard and risks.

Keywords

State Grid, Extreme Precipitation, Rainfall-Flood Hazard, Trend

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

电力行业是对气象高敏感和高需求性行业[1]。近年来,随着气候变暖加剧,全球水循环加速,频繁发生的极端天气气候事件引发的气象灾害不断加剧,严重威胁电网的正常稳定运行[2] [3] [4]。如1998年的长江流域的特大暴雨和洪水,就严重影响了当时华中和华东地区部分电网设施的运行,造成部分地区低压线路、配变台区设备受损严重[5]。21世纪以来,伴随着国家经济社会的迅速发展,全国电网的建设和运行呈现出一体化的特征,各类先进技术和设备的大量应用使电网运行特性更加复杂,防汛压力和挑战不断增大,各类灾害对电网造成的破坏及由此引发的损失和后果也愈发严重[6]。例如2016年6月23日,受强雷电、暴雨、冰雹等极端天气的影响,江苏电网盐城地区500千伏线路跳闸2条,220千伏线路跳闸4条,倒塌塔基1座,停电用户7.36万户,损失负荷4.87万千瓦,造成了巨额的财产损失以及巨大的抢险抢修人力物力。我国电网安全面临着严峻的形势和挑战。

降水是影响电网安全运行的诸多气象因子中最重要因子,电网的洪涝危险性与极端降水密切相关。受季风气候的影响,我国大部分地区的极端降水主要集中在夏季汛期(6~9月),强度大、突发性强,对电

网设施有巨大的洪涝危险性，一直以来是我国电网防汛所关注的重点[6] [7] [8]。自 2017 年以来，国家电网北京市电力公司与中国气象局合作建设的气象灾害精准预报预警系统上线运行，同时其它地区的电力部门也与气象部门合作开展了电网预警系统的开发和应用，显著提升了电网对各类气象灾害特别是极端降水的应对能力[9] [10] [11]。然而，由于缺乏长时间、高精度的基础数据支撑，目前我国电网洪涝危险性的研究，对过去极端降水时空分布特征和规律的认识仍然很不充分，这使得我们对电网受灾与局地气象和水文要素特征的关联性缺乏深入认识，也对加强电网布设和防灾的依据和针对性造成了一定的限制。

因此，明晰我国极端降水的分布特征和演变规律，进一步探明电网孕灾环境信息，提高汛期电网气象预报的针对性，是保障电网安全运行的必然要求[12]。本研究拟基于中国气象局最新的国家基准气象站日降水数据，以广泛应用的极端降水指数作为国家电网的洪涝危险性指标，分析国家电网 1980~2020 年洪涝危险性的时空变化特征及趋势，为改进当前电网防汛业务中对极端降水现状认识的不足、提高防汛措施的针对性提供现状分析和科学依据。

2. 方法和数据

2.1. 国家电网分区

国家电网有限公司成立于 2002 年，是经过中国国务院同意进行国家授权投资的机构和国家控股公司，主要负责建设和运营中国电网，并向全国 26 个省市和自治区提供电力供应的保障。按照我国地域行政区分布，国家电网在全国设了 6 个分区，分别负责各自区划内省市区的电力供应业务，具体如图 1 和表 1 所示。

Table 1. The regional divisions of State Grid in China
表 1. 国家电网分区概况

分区	主要省份	站点数
东北区	黑龙江省、吉林省、辽宁省、内蒙古自治区	316
华北区	北京市、天津市、河北省、山西省、山东省	401
华东区	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省	287
华中区	河南省、湖北省、湖南省、江西省	388
西北区	陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区、青海省、新疆维吾尔自治区	362
西南区	四川省、重庆市、西藏自治区	230

注：广西省、广东省、云南省、贵州省和海南省的供电归属南方电网公司管辖。

2.2. 降水观测数据

本文所使用的降水数据来为中国地区 2419 个国家级台站 1980~2020 年的日降水数据观测数据集。该数据集源自《中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集》，在原有基础上，通过翻查国家级、省级资料中心保存的历史报文、报表资料，修订了大量数据(错误数据订正、遗失数据补录、无效数据剔除)，并经过气候极值、内部一致性、空间一致性等质量控制和均一化订正，去除了许多显著的人为影响，使

得数据完整性与可靠性有了一定程度的提升[13]。在国家电网的6个分区内，除了西北区和西南区的西藏地区站点相对较少外，其余地区的站点分布较为均匀，站网较密，具有较好的区域代表性。站点分布详见图1所示。

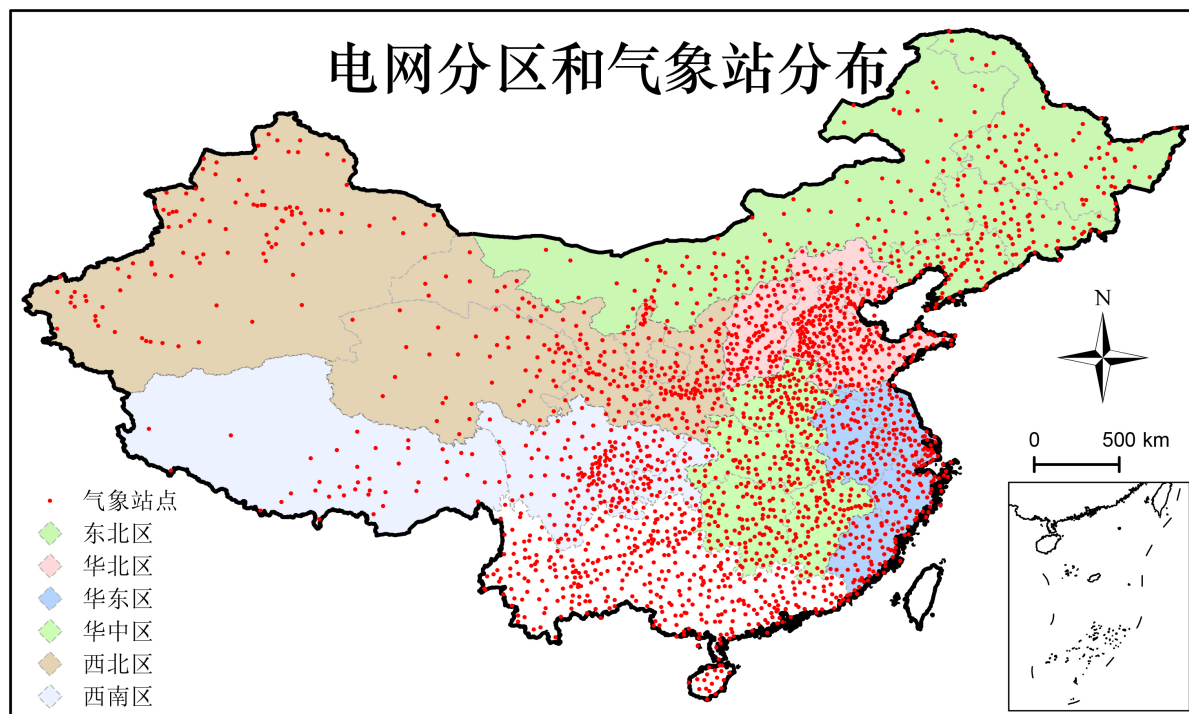


Figure 1. The spatial distributions of State Grid divisions and meteorological benchmark stations

图 1. 国家级电网分区及气象站点的分布图

2.3. 极端降水指数

本研究基于国际学术界较为通用且在国内研究中常用的极端降水指数，选取代表性较强的4个指数作为表征电网洪涝危险性的指标[2]。具体包括：暴雨日数、降水强度、强降水量和极强降水量，各个指标的定义、代码和单位如表2所示。通过分析1980~2020年期间各极端降水指标气候平均态和线性变换趋势的空间分布和各分区区域平均的时间序列，综合考察电网不同分区的洪涝危险性状态、空间分布格局特征以及过去41年间的变化趋势。

Table 2. The 4 extreme precipitation indices used in this study

表 2. 本研究选取的4个极端降水指数

序号	代码	名称	定义	单位
1	R50	暴雨日数	日降水量 ≥ 50 mm 的天数	d
2	SDII	降水强度	年降水量/降水日数(日降水量 ≥ 1 mm)	mm/d
3	R95p	强降水量	日降水量 $> 95\%$ 分位值的总降水量	mm
4	R99p	极强降水量	日降水量 $> 99\%$ 分位值的总降水量	mm

3. 结果与讨论

3.1. 气候平均态分布

图 2 给出了我国暴雨日数、降水强度、强降水量和极强降水量在 1980~2020 年间的气候平均态等值线分布。总体来看,所有极端降水指标都表明国家电网的南方 3 区(西南、华中和华东区)的洪涝风险要显著高于北方 3 区(华北、西北和东北区),这与我国的基本降水格局相一致。受长期干旱气候的影响,西北绝大部分地区的年暴雨日数小于 2 天,部分区域常年为 0,降水强度在 6 mm/d 以下,年强降水量小于 60 mm,年极强降水量不超过 15 mm,各指标量值在 6 个分区中均为最低,因此该区电网的洪涝危险性最低。东北区除辽东半岛的降水强度稍大之外,其西部大部分地区暴雨日数、强降水量和极强降水量在全国均处于较低的水平,电网洪涝危险性仅需关注东南部、特别是辽东半岛的沿海地区。

华北区是我国政治和重工业中心,尽管受上世纪 80 年代以来的干旱气候影响,年暴雨日数在 2 天以下,但其降水强度、强降水量和极强降水量的分布显示出了较大的“东-西”向梯度,这表明电网的洪涝危险性由西向东逐渐增大,尤其是在山东南部的沂蒙山区,年均降水强度超过 15 mm/d,强降水量超过 90 mm,极强降水量达到 30 mm 以上。

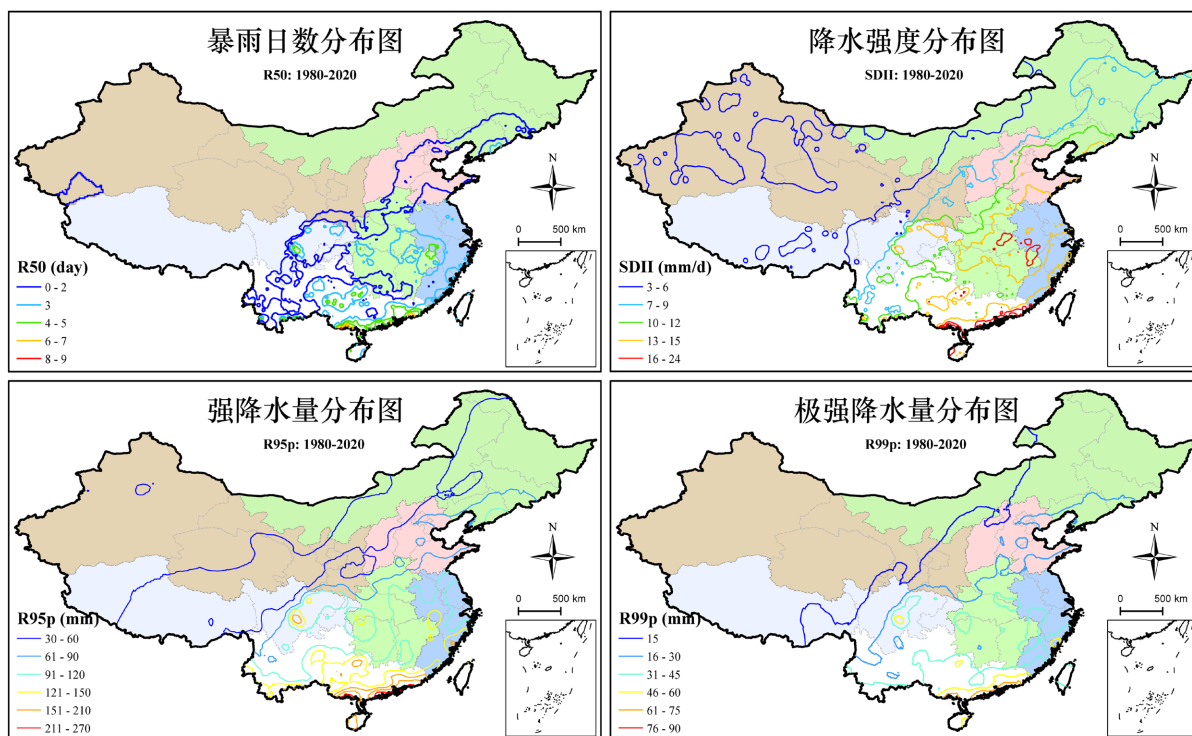


Figure 2. The spatial distributions of annual climatology of 4 selected extreme precipitation indices during 1980~2020
 图 2. 1980~2020 年 4 个极端降水指数的气候平均态等值线空间分布图

除西藏和四川西部地区之外,南方 3 区电网的洪涝危险性显著高于北方。其中,四川东部、华东与华中区的交界处以及华东区的沿海地区。其中华北、华中区的鄂赣皖地区降水强度为全国之最,最高达到 24 mm/d,暴雨日数也超过 5 天,是除华南沿海外的全国高水平地区之一;区域强降水量超过 150 mm,极强降水量超过 45 mm,这说明该地区不仅极端降水强度大,而且暴雨日数多,可对电网造成高强度、长持续时间的洪涝风险,是防汛的重点地区。在西南区,成都平原的 4 个极端降水指标均处于明显的高

值区,这说明该地区极端暴雨洪涝事件的风险极高,应是电网洪涝危险性预警和防范的重点。除了高精度的监测和及时的防汛预警业务外,电网的基础建设和安全等级同样需要有针对性地加强和维护。

3.2. 电网分区时间变化

国家电网各区域 1980~2020 年的平均极端降水指标序列如图 3 所示,各区各指标的变化趋势如表 3 所示。总体而言,华东区的洪涝危险性居 6 区之首,华中区和西南区次之;华北区和东北区位于相对较低水平,西北区则处于洪涝危险性的最低水平。从区域变化趋势来看,除西南区变化不明显,其余各区各指标在 1980~2020 年期间均表现出了增长的趋势,这说明在过去的几十年间,气候变化导致了各电网分区的洪涝危险性在逐渐增大。其中华东区的 4 个极端降水指标增大速率均为全国各区最快,这说明该区域极端降水事件频次及强度均有显著增大。华中区则在降水强度和极强降水量上有显著增多。尽管西北区的电网洪涝危险性是最低的,但受西北暖湿化气候的影响,该区域 1980~2020 年间的降水强度、强降水量和极强降水量均有较为显著的增大,这说明电网的洪涝危险性正在不断增大,尽管目前仍处于频率和强度较低的水平,但考虑到西北区的经济社会发展及电网基础设施建设的发达程度弱于其他区,因此在未来的防汛及电网规划建设中,必须给予足够的重视。华北区和东北区的降水强度变化显著,其余指标有一定程度的增大趋势,但不显著。在所有指标中,变化最为显著的是降水强度,在除西南区之外的其余 5 个区均呈现出显著增大的趋势(显著性水平平均超过 95%,除华北区外均超过 99%);极强降水量次之,在华东和西北区呈显著增大趋势(显著性水平达 95%以上),在华中区的显著性水平也超过了 90%。这说明在过去的 41 年间,我国电网所面临的洪涝危险性,主要体现在降水强度的增大及极强降水量的增多这两个方面。

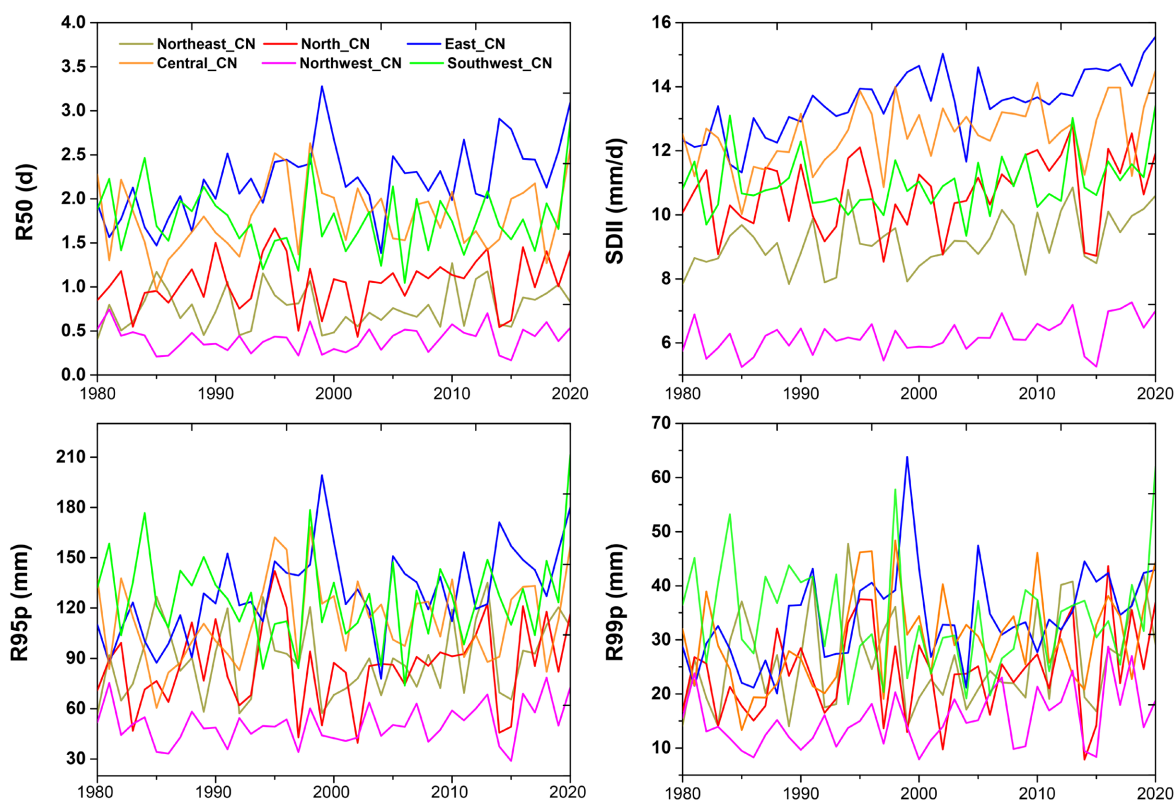


Figure 3. The regional mean time series of the extreme precipitation indices over State Grid's 6 divisions

图 3. 国家电网 6 个分区极端降水指标时间变化序列图

Table 3. The linear trend and significance (p value) of the regional averaged extreme precipitation indices over 6 State Grid's divisions

表 3. 国家电网 6 个分区各极端降水指数区域平均序列的线性趋势和显著性(p 值)

分区	R50		SDII		R95p		R99p	
	趋势 d/yr	p 值	趋势 mm/d/yr	p 值	趋势 mm/yr	p 值	趋势 mm/yr	p 值
东北区	0.004	0.22	0.03	<0.01	0.35	0.23	0.148	0.21
华北区	0.005	0.22	0.03	0.04	0.368	0.26	0.169	0.13
华东区	0.018	<0.01	0.059	<0.01	1.131	<0.01	0.303	<0.01
华中区	0.005	0.32	0.04	<0.01	0.362	0.28	0.209	0.07
西北区	0.001	0.58	0.019	<0.01	0.262	0.09	0.155	0.02
西南区	-0.001	0.77	0.017	0.15	-0.002	0.99	-0.071	0.59

注：p 值为显著性检验方法得到，显著性水平为(1 - p) * 100%。

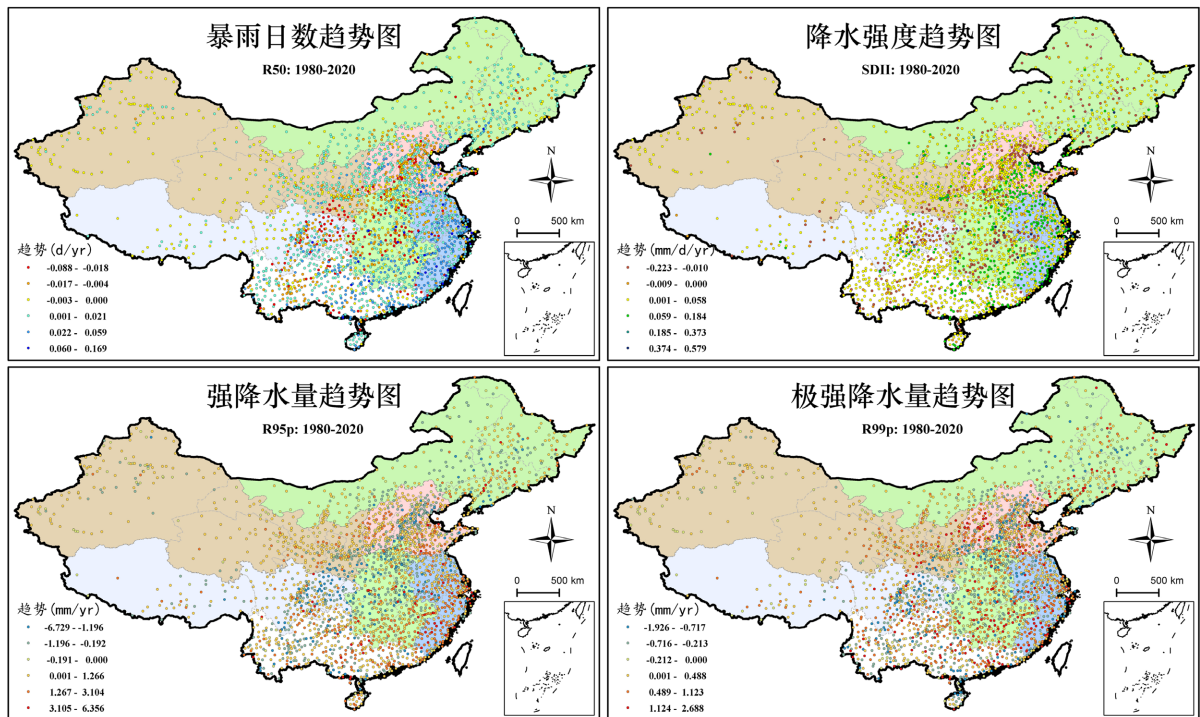


Figure 4. The spatial distribution of each meteorological station's linear trend of the extreme precipitation indices during 1980~2020

图 4. 各个极端降水指标 1980~2020 站点变化趋势分布图

3.3. 站点变化趋势分布

为了研究不同区域极端降水变化趋势的空间分布特征，我们计算了 4 个极端降水指数在每一个站点的 1980~2020 年间的线性变化趋势，结果如图 4 所示。从图 4 可见，各极端降水指数的趋势都显示出了

很强的区域性特征。对于暴雨日数来说,华东区绝大部分呈现增多趋势,西北区和西南区的西藏和川西地区基本上表现出微弱的增多或减少,变化幅度不大;东北区的暴雨日数变化在平原区较大,特别是辽东地区,而在内蒙古地区相对较小;而在华北区、华中区和西南区的川东和重庆地区,暴雨日数变化趋势的空间异质性较大,显示出了强烈的地域性特征,其中川东、河南、河北南部及湖北东部地区减少较为明显,而在山东、湖南和江西地区,则呈现出相对较快的增长趋势。降水强度的趋势分布特征和暴雨日数相似,总体上华东地区增长最大且区域最为集中,西北区呈微弱增大,程度较弱,东北区相对变化幅度大一些,东部呈微弱增大,西部有相当一部分站点有下降趋势,这可能与区域气候的暖干化有一定关系;华北区的山西、山东及河北南部降水强度呈现出增大趋势,但在京津冀城市群则有明显的减小趋势,同样的情况也发生在西南的川东和重庆地区,这可能与快速的城市化进程有关[14];降水强度趋势空间分布最不均匀的是华中区,该地区呈减小趋势的站点多位于长江干流沿岸,而在支流的上游地区则多呈增大趋势,这表明人类活动可能会对该区的降水强度造成一定的影响。

从强降水量和极强降水量的趋势空间分布来看,华东区增长幅度最大最明显,依然面临着最为严峻的洪涝危险性;华中区、华北区的山东地区和东北区的辽东地区次之;而华北区的山西地区和西北区东部同样呈现出较为明显的增大趋势,且极强降水量的增加趋势相对于周边地区更加明显,考虑到这些地区都是历史上较为干旱的地区,这说明极端降水量的变化正使得这些地区电网的洪涝危险性逐渐增大,这需要在当下和未来的电网防汛与规划工作中,引起足够的重视。与降水强度相一致,京津冀和川渝城市群大部分站点的极端降水量呈现出减少的趋势,但仍有个别站点的增加趋势较为明显,因此对重点城市地区的洪涝危险性的有效应对仍不能掉以轻心。

4. 结论

本研究基于中国气象局 2419 个国家级台站的日降水观测数据,通过暴雨日数、降水强度、强降水量和极强降水量 4 个极端降水指数为国家电网洪涝危险性指标,分析了电网 6 个分区 1980~2020 年的洪涝危险性的气候态和变化趋势的空间分布特征,以及各区域的时间变化特征,取得的初步结论如下:

1) 从气候态的角度来看,国家电网南方 3 区的洪涝危险性远大于北方 3 区,其中以华东区和华中区为最高,洪涝高危险性地区主要集中在东南沿海和长江沿线地区,特别是赣、皖、浙交界区;华北区、西南区和东北辽东地区次之,西北区的洪涝危险性最低;

2) 在区域尺度上,华东区的洪涝危险性的增大趋势最为显著,华中区和西北区次之,东北区和华北区除降水强度外增大都不显著,西南区则有一定程度的减小;区域尺度的洪涝危险性增加最显著的是降水强度这一指标,但需要重视的是,极强降水量这一危险性最高的指标在华东、华中和西北区同样有显著的增大;

3) 从极端降水变化趋势分布来看,华东区在各个指标上都呈现出最大的危险性增大趋势,华中区次之,但有着空间异质性最大的分布特征,综合而言上述两区气候湿润、降水丰沛,面临着最严峻的危险性形势,应为电网防汛预警和基础建设的重点关注地区;华北的山西地区和西北区的东部则在极强降水量上有显著的增大,同样是电网未来建设规划重要的现实问题;京津冀和川渝城市群的电网洪涝危险性则总体呈减少趋势,这可能与以城市化为代表的人类活动有关,但个别站点的显著增大趋势会使得部分重点城区仍然面临不可忽视的潜在风险。

基金项目

本研究由国家电网有限公司总部管理科技项目“电网防汛气象风险评估及区域化关键致灾因子分析”(5200-202055300A-0-0-00)资助。

参考文献

- [1] 薛丽芳, 王亦宁, 谢凯, 等. 基于防灾预警电网气象信息系统的设计与实现[J]. 水电与抽水蓄能, 2013, 37(2): 9-13.
- [2] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 337-353.
- [3] 郭萍. 面对自然灾害的电网安全措施分析[J]. 集成电路应用, 2020, 37(3): 116-117.
- [4] 王志利, 赵晓锋, 武国亮, 等. 电力微气象灾害监测与预警系统的设计与实现[J]. 电力与能源, 2014, 35(6): 712-716.
- [5] 曹琰, 黄海煜. 大电网防汛攻略[J]. 国家电网, 2015(8): 46-47.
- [6] 王兴发, 曹怀予, 肖军诗, 等. 我国电网自然灾害预警系统研究[J]. 安全与环境工程, 2012, 19(6): 38-44.
- [7] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [8] 丁一汇, 江滢. 亚洲季风活动及其与中国大陆降水关系[J]. 应用气象学报, 1998(S1): 84-89.
- [9] 国网北京市电力公司. 国网北京市电力公司气象灾害精准预报预警系统上线运行(资讯) [J]. 电力安全技术, 2017, 19(10): 7.
- [10] 贾新民, 郑璐, 赵建利, 等. 电力气象灾害监测预警系统的开发与应用[J]. 内蒙古电力技术, 2020, 38(4): 9-12.
- [11] 周象贤, 刘黎, 王少华, 等. 浙江电网自然灾害特征、趋势与预测技术概况[J]. 浙江电力, 2021, 40(5): 20-29.
- [12] 戴小青, 林梅. 关于城市电网规划自然灾害风险评价研究探讨[J]. 科技资讯, 2015(21): 108-110.
- [13] 王秋香, 李庆祥, 周浩楠, 等. 中国降水序列均一性研究及对比分析[J]. 气象, 2012, 38(11): 1390-1398.
- [14] 严中伟, 王君, 李珍, 等. 基于均一化观测序列评估城市化的气候效应[J]. 气象科技进展, 2014, 4(3): 41-48.