

周 达,许红梅,艾婉秀,等.2022年夏季川渝高温干旱事件对电力供需影响分析[J].气象研究与应用,2024,45(1):6-11.
ZHOU Da, XU Hongmei, AI Wanxiu, et al. The impact of high temperature and drought events in the Sichuan and Chongqing region during summer 2022 on the power supply and demand[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 6-11.

2022年夏季川渝高温干旱事件对电力供需影响分析

周 达¹, 许红梅^{2*}, 艾婉秀², 王秋玲², 肖 潺², 黄子立²

(1. 中国华电集团有限公司四川分公司, 成都 610041; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 在气候变化背景下,极端天气气候事件的多发对电力系统的影响加剧。利用川渝地区1961—2022年的气温、降水和气象干旱指数,2022年7—9月泸定、立洲和瓦屋山水电站的日入库流量和发电量,及2022年6—9月成都市和四川省的日用电量和日高峰负荷等数据,分析2022年盛夏川渝地区高温干旱事件及其对水电和电力需求的影响。结果表明,1961—2022年川渝地区气温及高温日数显著增加,高温干旱灾害风险增大。2022年盛夏(7—8月),川渝地区气温偏高幅度、降水偏少程度、高温日数、最大干旱影响范围均为1961年以来之最。降雨量和入库流量是影响水电的重要因素,水电出力对入库流量的响应呈非线性;夏季气温与用电量具有显著的正相关,日用电量和高峰负荷对日平均气温的敏感性最高。

关键词: 高温干旱;电力供需;川渝地区;气候变化

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.02

随着全球气候变暖加剧,高温热浪、骤旱、暴雨洪涝、寒潮、暴风雪等极端天气现象频繁出现,极端天气气候事件的频率与强度、时空分布、潜在风险、复合型灾害损失等都发生了显著变化^[1]。气候变化和极端事件直接影响电力的生产、传输、消费各个环节^[2]。在近30 a全球大停电事故发生诱因中自然灾害占比达56%^[3]。2016年9月28日,台风和暴雨等极端天气袭击澳大利亚南部地区电网,引发风电机组大规模脱网等一系列故障,导致全州停电50 h^[4]。2021年2月15日,受冬季风暴的影响,美国南部德克萨斯州气温骤降至-22℃,导致大量风力涡轮机冻结,同时极寒天气引发常规火电出力不足,超过300万人失去电力供应^[5-6]。2023年6月孟加拉国遭遇热浪袭击,气温升高推高用电需求,加上发电厂燃料短缺,导致连续几周经常大面积停电。近年来我国电力系统也多次遭受寒潮、台风、高温热浪等极端天气袭击,直接影响能源供应、电

力设施和电力负荷,导致诸如发电能力不足、峰值电力需求不稳定、电力设施损耗增加等^[7-8]问题。2022年夏秋季长江流域出现大范围极端高温干旱事件,对自然生态和社会经济造成广泛影响^[9-10]。川渝地区水资源丰富,水电装机占比超过80%。2022年迎峰度夏期间,川渝地区发生的高温干旱复合极端事件导致水资源紧张,多个水电站运行水位下降,水电出力明显减少,供电支撑能力大幅下跌;同时,居民用电需求激增,电力负荷不断攀升,电力系统供需矛盾突出,电力保供形势极为严峻,大面积限电事件造成巨大社会影响^[11-12]。

随着气候变暖持续,未来极端气候事件将更加频繁,应对极端气候事件将是电力系统面临的“新常态”^[7,13]。在碳达峰碳中和目标愿景下,我国能源电力行业将从以化石能源为主向以可再生能源为主转变,将构建以新能源为主体的新型电力系统^[14-15]。新能源出力随机性带来的不确定性,以及

收稿日期: 2024-02-20

基金项目: 国家重点研发计划中美清洁能源联合研究中心政府间合作能源与水项目(2018YFE0196000)

第一作者简介: 周达(1981-),男,高级工程师,主要从事发电市场营销工作。E-mail: zhouda-sc@chd.com.cn

* 通讯作者: 许红梅(1974-),女,正高级工程师,博士,主要从事气候变化对水资源影响评估工作。E-mail: xuhm@cma.gov.cn

极端天气气候事件风险加大,将加剧电力系统源荷双侧压力^[16]。以水电占比较高的四川省为例,深入分析2022年川渝极端高温干旱事件对电力供需的影响,对于发挥气象监测预报预测信息在电力保供中的作用具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源

文中采用的气候观测数据来自国家气象信息中心,包括川渝地区1961—2022年192个国家基本气象站的观测资料,其中四川157个站,重庆35个站;主要观测要素包括最高气温、最低气温、平均气温、降水量等地面观测资料。气象干旱监测数据则来自国家气候中心气象干旱监测业务系统。

文中采用的四川省长江水系主要流域面雨量数据来自四川省气象服务中心,流域来水量数据来自四川省水文水资源勘测中心。2022年7月1日至9月30日3个具备不同库容调节能力的水电站(泸定、立洲和瓦屋山)的日入库流量和日发电量来源于华电四川发电有限公司,2022年成都电网和四川省夏季(6—9月)逐日用电量和日高峰负荷数据来源于华电四川发电有限公司。此外,2022年四川省水力、火力、风力和太阳能不同类型月发电量数据来源于国家统计局。

1.2 分析方法

以1990—2020年作为常年气候特征值,分析1961—2022年川渝地区气温、高温日数(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)、降水变化特征;气象干旱的监测指标采用气象干旱综合监测指数^[17],依据标准将气象干旱分为无旱、轻旱、中旱、重旱和特旱5个等级进行统计。针对2022年川渝地区迎峰度夏期间的高温干旱特征,文中分析7—8月气温、降水和气象干旱等特征,并与常年值进行比较;分析2022年夏季四川主要流域降雨量和来水量的距平变化,采用线性相关方法,分析2022年7—9月极端高温干旱事件影响下3个典型水电站的入库流量和日发电量的关系,以及日用电量、日高峰用电负荷与日平均气温、最高和最低气温的相关性。此外,还通过现场调研,分析2022年高温干旱事件对泸定水电站和瓦屋山水电站运行管理的影响。

文中采用线性拟合时间序列的长期变化趋势,并用t—检验方法对趋势进行显著性水平为0.05的检验,超过信度的即为变化趋势显著。

2 结果与分析

2.1 2022年川渝地区盛夏高温干旱事件演变

2.1.1 1961—2022年气温、降水和干旱变化特征

川渝地区常年平均气温 15.7°C ,平均最高气温 20.9°C ,平均最低气温 12.6°C ,年高温日数13.3 d。常年平均降水量992.2 mm,其中7—9月常年降水量492.9 mm,占年总量的49.7%。川渝地区因降水的季节差异太大,夏季高温日数多,基本上每年都有区域性、阶段性的气象干旱发生;常年平均中度及以上等级的干旱日数有53.5 d,夏季最多(15.4 d),其次是春季(15.1 d),最少是秋季(11.5 d)。

1961—2022年,川渝地区的平均气温、平均最高气温、平均最低气温和高温日数均呈显著增加趋势,增加速率分别为 $0.17^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.24^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.21^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $1.6\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$;年降水量呈减少趋势,速率为 $-4.1\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,减少趋势不显著,7—9月降水量也呈减少趋势,速率为 $-6.1\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,减少趋势不显著。干旱日数呈增加趋势,速率为 $0.8\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,增加趋势不显著。综合川渝地区气温、降水的气候特征及气候变化趋势,该地区高温干旱灾害的风险有增加趋势。

2.1.2 2022年盛夏高温干旱事件分析

2022年7—8月,川渝地区遭遇1961年以来最严重的高温干旱复合极端气候事件。期间,川渝地区平均气温为 27.4°C ,比常年同期偏高 3.0°C ,为1961年以来同期最高;有60%的测站最高气温达到或超过 40°C ,其中重庆北碚8月18日和19日连续2 d达到 45°C ;有112个测站最高气温突破或达到1961年以来的历史极值,占比达到58%。如图1(a)所示,东部地区高温日数普遍在30 d以上,较常年同期偏多20 d以上,四川简阳和威远偏多达到38 d;区域平均高温日数达到30.9 d,较常年同期偏多20.8 d,为1961年以来同期最多。如图1(b)所示,同期,川渝地区61%的测站降水量不足200 mm,18.2%的测站不足100 mm,大部分地区降水量较常年偏少2~5成,中部偏少5~8成;川渝地区平均降水量只有192.1 mm,比常年偏少4.7成,为1961年以来最少,汛期反枯现象突出。

温高雨少的异常气候导致气象干旱持续发展,7—8月川渝地区平均中旱等级以上的干旱日数29.5 d,较常年偏多18.8 d,为1961年以来第2多,仅次于2006年(32.9 d)。8月24日气象干旱监测显

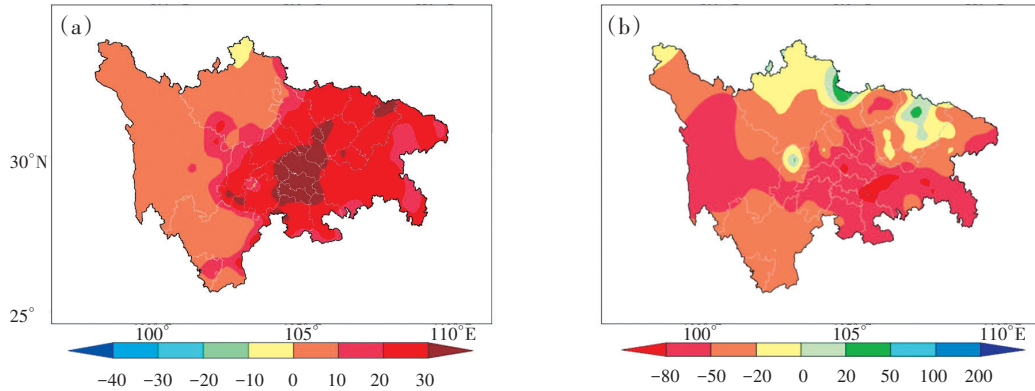


图1 2022年7—8月川渝地区高温日数距平(a,单位:d)及降水量距平百分率(b,单位:%)分布

示,川渝大部分地区都是中旱等级以上的气象干旱,出现中旱等级以上的气象干旱的测站占比达到86.4%;中旱以上等级的面积有 $5.14\times 10^7\text{ hm}^2$,其中重旱以上有 $4.12\times 10^7\text{ hm}^2$,而特旱面积则有 $2.03\times 10^7\text{ hm}^2$,均为1961年以来干旱影响面积的最大值。

2.2 夏季高温干旱对电力供需的影响

水力发电需要足够高的水头,以形成落差势能驱动水轮机转动。四川是水电大省,水电装机占比约达80%,2022年因夏季极端干旱事件,水电发电能力断崖式下降,造成全省供电支撑能力大幅下跌。在电力供应大幅下降的同时,盛夏极端高温事件导致空调负荷猛增,避峰措施失效,没有用电低谷,全天电力电量“双缺”。为此,四川省政府在8月21日启动突发事件能源供应保障最高级别的Ⅰ级应急响应,加大火电、光伏、风电等其他电源的发电计划;国家电网公司组织东北、华北、西北地区富余

电力全部输送至西南等地区,最大限度支援川渝地区电力供应。

2.2.1 2022年主要流域降水量和来水量

2022年夏季四川长江流域的降水量少,来水量不足,水库蓄水量低。2022年6月,大渡河上游、岷江和嘉陵江的降水量较常年偏少4~6成;7月,除岷江降水量偏少1成外,其余各流域偏少6~7成;8月,大渡河下游、岷江和嘉陵江降水偏少加剧;9月,各水系降水量趋于正常或偏多(表1)。主汛期“无汛”导致川渝境内长江主要水系来水持续偏少。6月,大部分水系来水量接近常年;7月,各水系来水量较常年普遍偏少3~5成;8月,偏少4~8成;9月,各水系来水量仍偏少1~7成。8月,大渡河为有实测记录以来同期最枯,嘉陵江、渠江、涪江、雅砻江为有实测记录以来同期次枯或第三枯;多个主力水库蓄水逼近死水位。

表1 2022年6—9月四川长江流域主要水系月平均降水量和距平

月份	降水量	雅砻江	大渡河			岷江	嘉陵江
			上游	中游	下游	上游	
6月	降水/mm	169.4	84.7	187.1	134.2	38.5	36.9
	距平/%	9.6	-44.6	5.6	-17.2	-62.6	-51.5
7月	降水/mm	82.9	49.8	49.2	152.9	70.9	238.7
	距平/%	-52.2	-53.0	-73.3	-45.8	-12.2	-41.4
8月	降水/mm	70.5	104.3	124.3	59.0	54.5	63.5
	距平/%	-46.4	-6.2	-25.1	-73.7	-30.3	-67.6
9月	降水/mm	140.6	90.6	90.8	78.3	81.4	208.2
	距平/%	19.8	25.3	29.8	9.1	40.7	20.3

2.2.2 水电发电出力影响分析

四川电力系统以水电为主,径流式电站占比超过三分之二,发电量依赖于流域降水量和河流来水

量,导致“丰多枯少”,弃水矛盾突出。2022年四川水力发电量约 $3.684\ 8\times 10^{11}\text{ kWh}$;8月至11月,水力发电量同比分别减少2.2%、22.9%、7.4%和7.8%。

本文选取具备不同调节库容的代表性水电站(表2),对代表性水电站日入库流量和发电量进行分析,由于径流式水电站调节能力差,日发电出力与入库流量呈现正相关;当入库流量超过一定阈值

时,日发电出力不再增加,出现弃水现象;具备季节以上调节能力的水库电站,发电出力与日入库流量的线性相关将低于径流式水电站。

表2 华电四川水电站主要指标参数

序号	水电站	装机容量($\times 10^4$ kWh)	河流	流域	调节库容($\times 10^8$ m ³)
1	泸定	92	大渡河	大渡河	日调节/0.21
2	立洲	35.5	木里河	雅砻江	季节调节/0.82
3	瓦屋山	26	周公河	青衣江	多年调节/4.634

如图2所示,泸定水电站位于大渡河中游河段,具有日调节性能,设计平均发电量 3.78×10^9 kWh。大渡河流域来水量总体特征是年径流相对稳定,极端天气气候下极易出现来水丰枯不均。泸定水电站上游虽然有两座季节调蓄电站,但是调蓄能力有限,无法应对极端天气气候。2022年气候异常及夏季极端高温干旱事件导致发电受损,汛期发电量为 2.715×10^9 kWh,较2021年同期偏少 3.51×10^8 kWh,偏差考核风险加大。

瓦屋山水电站是青衣江右岸支流周公河干流

七级开发的第一级,为多年调节水库,多年平均流量为 $38.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,多年平均发电量 6.99×10^8 kWh。2022年7—9月,瓦屋山水库平均日入库流量仅为 $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,明显低于多年平均流量;同期总发电量仅为 9.377×10^7 kWh,日均发电出力仅为 4.2×10^4 kW,明显偏低。此外,水库蓄水偏少导致水资源安全压力大。2022年夏季,受瓦屋山水库蓄水和天然降雨偏少的影响,周公河流域来水量明显偏少,特别是进入枯水期,流域各管理和考核断面水量不足的情况日益明显,生态流量和雅安南郊水厂取水安全压力大。

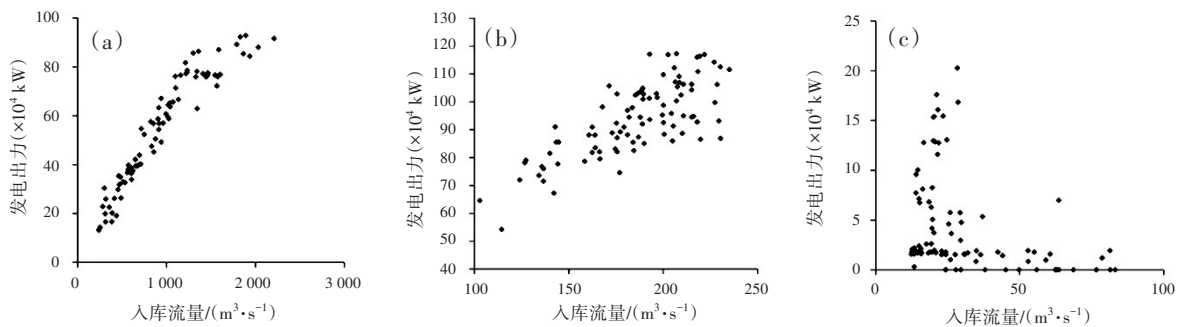


图2 2022年7月1日至9月30日不同调节库容水电站日入库流量与日发电量

(a) 泸定; (b) 立洲; (c) 瓦屋山

2.2.3 用电量和用电负荷影响分析

随着城镇化水平及居民电气化水平的提高,度夏和度冬期间气温对用电负荷的影响越来越显著。2022年,四川全社会用电量为 3.447×10^{11} kWh,在高温避暑期间用电需求激增,净增的 3×10^8 kWh基本是空调负荷,其中7月居民日均用电同比增长93.3%,8月居民日均用电是常态的3.6倍。

从2022年6月1日至9月30日成都市和四川省气温和日用电量相关分析可知(表3),用电量与

气温呈显著正相关;随着气温升高,日用电量增加,日用电量增加速率变大。其中,成都市和四川省的日用电量都表现为对日平均气温的敏感性最强,其次是日平均最高气温,对日平均最低气温的敏感性则最低。同期,日高峰负荷与温度呈显著正相关,成都市和四川省的日高峰负荷也随着气温升高而增加,且对日平均气温、最高气温和最低气温的敏感性依次降低。

表3 2022年6月1日至9月30日四川省和成都市气温与日用电量、日高峰负荷的相关系数比较

影响变量	气温	四川省	成都市
日用电量	日平均	0.8024	0.7667
	日最高	0.7613	0.7089
	日最低	0.7519	0.6719
日高峰负荷	日平均	0.7809	0.6929
	日最高	0.7435	0.6719
	日最低	0.7435	0.5679

*样本数 122, 相关系数的显著性水平检验为 0.01

3 结论与建议

3.1 主要结论

本文基于长序列的气候数据揭示 1961—2022 年川渝地区气候及高温、干旱变化,分析 2022 年夏季川渝地区极端高温干旱事件的特征;基于气候水文、发电和用电数据,分析入库流量和发电量,以及气温与用电量、用电负荷的相关关系;评估极端高温干旱事件对四川省电力系统源荷双侧的影响。主要研究结论为:

(1)1961—2022 年,川渝地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温和高温日数均为显著增加趋势,降水量为不显著减少趋势,干旱日数为不显著增加趋势。综合气温、降水的气候变化特征,该地区高温干旱灾害风险有增加趋势。2022 年川渝地区夏季遭遇的高温干旱事件为当地 1961 年以来最严重,区域气温偏高幅度、降水偏少程度、高温日数、最大干旱范围均为 1961 年以来之最。

(2)多个水库来水量与发电统计显示,降雨量和入库流量是影响水电站发电出力的重要因素,水电出力对入库流量的响应呈非线性;持续的高温干旱导致来水偏枯,水电出力锐减。

(3)四川省和成都市的气温与用电量统计显示,夏季气温与用电量的正相关关系很好,日用电量和高峰负荷对日平均气温的敏感性最高。

(4)高温干旱复合极端事件加剧水电大省的电力供需矛盾,因此准确的气候水文预测对提前做好发电计划和分配、优化水库调度、预测用电需求和负荷及电力保供平稳至关重要。

3.2 对策建议

全球气候变暖背景下,我国的极端事件呈多发态势。围绕国家的能源重大战略,面向清洁能源开发产业,以应对极端事件的能力提升、双碳目标下

能源结构调整的综合效益提高等为目标,以气候变化和极端气候事件对新型电力系统源荷两侧的精准确估和预测预警为抓手,借鉴 2022 年川渝地区应对极端高温干旱事件的经验,建议:(1)推进气候变化和双碳目标下能源气象服务,加强多时空尺度气象预报预测信息应用,提高极端事件的预见能力。(2)强化提前谋划多能融合,提高应急保供能力。(3)推进科学有序开发,统筹风光水(储)一体化。(4)推动跨部门合作创新,增强电力系统气候韧性。

参考文献:

- [1] 秦大河,翟盘茂.中国气候与生态环境演变:2021(第一卷 科学基础)[M].北京:科学出版社,2021:433-435.
- [2] 卢赓,邓婧.气象灾害下电力系统面临的风险辨析及应对策略[J].机电工程技术,2020,49(12):30-32.
- [3] 胡源,薛松,张寒,等.近 30 年全球大停电事故发生的深层次原因分析及启示[J].中国电力,2021,54(10):204-210.
- [4] 曾辉,孙峰,李铁,等.澳大利亚“9·28”大停电事故分析及对中国启示[J].电力系统自动化,2017,41(13):1-6.
- [5] 王伟胜,林伟芳,何国庆,等.美国得州 2021 年大停电事故对我国新能源发展的启示[J].中国电机工程学报,2021,41(12):4033-4043.
- [6] 冷喜武.美国得州 2021 轮停事故分析及其对中国电网改革的启示[J].发电技术,2021,42(2):151-159.
- [7] 岳昊.构建新型电力系统需更加重视气候变化“新常态”[J].中国电力企业管理,2022(22):59-61.
- [8] 卢赓,邓婧,王渝红,等.电力系统受极端天气的影响分析及其适应策略[J].发电技术,2021,42(6):751-764.
- [9] 梅梅,高歌,李莹,等.1961—2022 年长江流域高温干旱复合极端事件变化特征[J].人民长江,2023,54(2):12-20.
- [10] 夏智宏,刘敏,秦鹏程,等.2022 年长江流域高温干旱过程及其影响评估[J].人民长江,2023,54(2):21-28.
- [11] 官学文,曾明.2022 年长江流域枯水特征分析与启示[J].人民长江,2022,53(12):1-5,36.
- [12] 周业荣,毛玉鑫,胡杨,等.2022 年夏季极端天气对四川电力影响与启示[J].水力发电学报,2023,42(6):23-29.
- [13] 陈亚宁.“双碳”目标下我国电力结构转型现状、趋势及建议[J].调研世界,2023(3):71-78.
- [14] 张文华,闫庆友,何钢,等.气候变化约束下中国电力系统低碳转型路径及策略[J].气候变化研究进展,2021,17(1):18-26.
- [15] 鲁宗相,林弋莎,乔颖,等.极高比例可再生能源电力系统的灵活性供需平衡[J].电力系统自动化,2022,

46(16): 3–16.

[16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国

家标准化管理委员会. 气象干旱等级: GB/T 20481–2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

The impact of high temperature and drought events in the Sichuan and Chongqing region during summer 2022 on the power supply and demand

ZHOU Da¹, XU Hongmei^{2*}, AI Wanxiu², WANG Qiuling², XIAO Chan², HUANG Zili²

(1. China Huadian Group Corporation Limited Sichuan branch, Chengdu 610041, China;

2. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: The impact of the frequent occurrence of extreme weather and climate events on the power system is intensified under climate change. In this study, the daily temperature, precipitation and meteorological drought index of the Sichuan and Chongqing region from 1961 to 2022, the daily inflow flow and power generation of Luding, Lizhou and Wawushan hydropower stations from July to September 2022, and the daily electricity consumption and daily peak load data of Chengdu City and Sichuan Province from June to September 2022 were used to analyses the high temperature and drought event in the summer of 2022 and its impact on hydropower generation and power demand. The results show that there was a significant increase in temperature and the number of high temperature days, and an increase in the risk of high temperature and drought in the Sichuan and Chong region from 1961 to 2022. In the peak summer of 2022 (July–August), Sichuan and Chongqing experienced the highest temperature since 1961, as well as less precipitation, the largest number of high-temperature days, and the greatest extent of drought. Rainfall and inflow flow are important factors affecting hydropower generation, and the response of hydropower generation to inflow flow is nonlinear. There is a significant positive correlation between summer temperature and electricity consumption, and the daily electricity consumption and peak load exhibit the highest sensitivity to average daily temperature.

Key words: high temperature and drought; power supply and demand; the Sichuan and Chongqing region; climate change