

# 大型光伏电站对共和盆地荒漠区微气候的影响

殷代英<sup>1,2</sup>, 马鹿<sup>3</sup>, 屈建军<sup>1</sup>, 赵素平<sup>2</sup>, 余晔<sup>2</sup>, 谭立海<sup>1</sup>, 肖建华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 青海黄河上游水电开发有限责任公司, 青海 西宁 810008)

**摘要:** [目的] 揭示光伏电站内外局地小气候的差异, 评估大型光伏电站的布设对共和盆地荒漠区小气候的影响。[方法] 利用自动气象站的观测数据, 通过对比对照点和光伏电站内观测点观测得到的基本气象要素(气温、相对湿度、风速和风向、辐射)和土壤温湿度评估大型光伏电站的布设对共和盆地荒漠区小气候的影响。[结果] 光伏电站的布设使得共和盆地荒漠区相对湿度增加 3.93%, 这种影响在较干日和夜间表现的更明显。在布设光伏电站后风向由原来的东北风转为以东风为主, 光伏电站的布设使得局地风向更加单一。对于风速而言, 在布设光伏电站后大风速出现的比例显著降低。大型光伏电站使得共和盆地荒漠区风速减小了 53.92%。大型光伏电站使得共和盆地荒漠区 10, 20, 40 cm 平均土壤温度分别降低 17.20%, 16.75% 和 16.09%, 对浅层的影响大于深层。光伏电站对共和盆地荒漠区 10 cm 土壤湿度的影响较其他要素更显著, 大型光伏电站使得共和盆地荒漠区 10 cm 平均土壤湿度增加了 71.61%。[结论] 大型光伏电站使得共和盆地荒漠区的湿度增加; 风向变得单一, 风速减小; 土壤温度降低和土壤湿度增加。

**关键词:** 光伏电站; 共和盆地; 荒漠区; 微气候

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0015-07

中图分类号: Q948, S718.51<sup>+</sup>2

**文献参数:** 殷代英, 马鹿, 屈建军, 等. 大型光伏电站对共和盆地荒漠区微气候的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3):15-21. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.003; Yin Daiying, Ma Lu, Qu Jianjun, et al. Effect of large photovoltaic power station on microclimate of desert region in Gonghe Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3):15-21. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.003

## Effect of Large Photovoltaic Power Station on Microclimate of Desert Region in Gonghe Basin

YIN Daiying<sup>1,2</sup>, MA Lu<sup>3</sup>, QU Jianjun<sup>1</sup>,

ZHAO Suping<sup>2</sup>, YU Ye<sup>2</sup>, TAN Lihai<sup>1</sup>, XIAO Jianhua<sup>1</sup>

(1. Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station, Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Regions, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. Huanghe Hydropower Development Co., Ltd., Xining, Qinghai 810008, China)

**Abstract:** [Objective] The effect of large photovoltaic(PV) power station on micro-climate of desert region in Gonghe Basin was evaluated via comparing basic meteorological factors to reveal the difference of microclimate both inside and outside of the photovoltaic power station. [Methods] Based on the meteorological data measured by automatic meteorological station, the impact of large PV power stations on microclimate of desert region in Gonghe Basin was evaluated by comparing the basic meteorological elements, including air temperature, relative humidity(RH), wind speed and direction, solar radiation, and soil temperature and water content of control point and monitoring points. [Results] The RH increased by 3.93% in desert region of Gonghe Basin due to the effect of large PV power station, which was more evident in drier day and during nighttime. The prevailing wind direction shifted from northeast to east after PV power station was established, and PV power station made local wind direction more single. As for wind speed, the frequency of high wind was significantly decreased after PV power station was established, and the wind speed reduced by 53.92% in desert region of Gonghe Basin due to the effect of large PV power station. The large PV power

收稿日期: 2016-09-20

修回日期: 2016-10-14

资助项目: 黄河水电水利公司项目“光伏产业带动生态建设试验示范”(90Y490B21); 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放资助项目支持(LPCC201502)

第一作者: 殷代英(1985—), 女(汉族), 甘肃省文县人, 硕士, 工程师, 主要从事风沙工程与干旱区陆面过程研究。E-mail: yindaiying@lzb.ac.cn.

station made mean soil temperature reduced by 17.20%, 16.75% and 16.09% at the depth of 10, 20, 40 cm, and the impact for shallow soil layer was more significant than that for deep soil layer. Additionally, the effect of large PV power station on soil water content in desert region of Gonghe Basin was more obvious than the ones on other factors. The mean soil water content (10 cm) was increased by 71.61% in Gonghe Basin due to the effect of large PV power station. [Conclusion] The large PV power station made the relative humidity increased, the prevailing wind direction became single, the wind speed and mean soil temperature decreased, and soil humidity increased in desert region of Gonghe Basin.

**Keywords:** photovoltaic(PV) power station; Gonghe Basin; desert region; microclimate

太阳能作为一种清洁能源,具有无限性、普遍性、清洁性和经济性等优点。太阳能光伏发电具有结构简单、使用方便、清洁、安全、无噪声、价格低、市场好等优点<sup>[1]</sup>,目前,全球光伏发电总装机容量约占全球发电总装机容量的1%,预计至2030年,可提供全球15%的电能<sup>[2-3]</sup>。光伏发电必将占据越来越重要的地位。近年来,光伏电站对气候和环境的影响研究逐渐受到重视。国外,Fthenakis等<sup>[4]</sup>在北美一个大型光伏电站用实测温度场数据于模拟的温度场数据最对比。Haider Taha<sup>[5]</sup>对洛杉矶地区进行气象建模来评估光伏电站的大气效应。Nemet<sup>[6]</sup>研究了由于安装大范围太阳能电池板所引起的反照率变化对全球气候的影响。Genchi等<sup>[7]</sup>研究了东京大规模屋顶光伏装置对城市热岛效应的影响。Theocharis等<sup>[8]</sup>的研究表明太阳能光伏发电的环境影响比较小,并且可以通过一些措施将其影响降低到最小。国内,王涛<sup>[9]</sup>、卢霞<sup>[10]</sup>研究了光伏电站建设对气候效应的影响。周波等<sup>[11]</sup>分析了荒漠戈壁区光伏电与风电对水土流失特征的对比。赵名彦等<sup>[12]</sup>研究了光伏电站建设给生态脆弱地区环境带来的影响。杨丽薇等<sup>[13]</sup>研究了格尔木光伏电站内的辐射特征。

至今对光伏电站小气候效应比较系统的研究还很少,小气候是指在近地面1.5~2.0 m以下的局部地区内,因下垫面局部特性影响而形成的贴地层和土壤上层的气候,它与大气候不同,其差异可用范围小、差别大、很稳定来概括<sup>[14-15]</sup>。研究小气候具有很大的实践意义<sup>[16-23]</sup>,光伏电站由于光伏电板的架设改变了下垫面,对局地小气候会形成一定的影响,研究光伏电站对小气候的影响具有重要的学术和现实意义。本文拟用光伏电站内的风速、气温、相对湿度、辐射量、土壤温湿度等气象要素与电站外对照点进行比较,揭示光伏电站内外局地小气候的差异,评估大型光伏电站的布设对共和盆地荒漠区小气候的影响。

## 1 研究区概况

共和盆地位于青藏高原东北边缘的祁连山、昆仑山与秦岭之间,地理坐标为 $98^{\circ}46' - 101^{\circ}22' E$ ,

$35^{\circ}20' - 36^{\circ}51' N$ 。盆地以西北西—南东南的走向延伸,长约210 km,宽为30~90 km,总面积约为13 800 km<sup>2</sup>。海拔高度2 400~3 500 m,地貌类型主要由平原、黄河及其支流的河谷和阶地、黄土丘陵和风沙地貌等类型组成。气候类型属高原温带亚干旱气候,年平均气温1.0~3.3 ℃;年平均降水量250~400 mm,年平均蒸发量1 528~1 937 mm,年平均风速2.1~2.7 m/s,年平均大风日数17.7~43.2 d,最多可达75 d,年平均沙尘暴日数在6.5~20.7 d<sup>[24-26]</sup>。

试验点位于青海省共和县境内,共和盆地中西部的塔拉滩上的塔拉214国道以南,毗邻龙羊峡水光互补光伏电站,是目前国内大型光伏电站之一,建设面积约6 km<sup>2</sup>,地势平坦而开阔,对照点( $36^{\circ}7'48'' N$ ,  $100^{\circ}31'6'' E$ ,海拔2 906 m),光伏电站内的点( $36^{\circ}7'9'' N$ ,  $100^{\circ}32'22'' E$ ,海拔2 863 m)。共和产业园分为3期,1期200 MW,2期150 MW,3期200 MW,均成功并网。

## 2 研究方法

2015年8月1日至9月30日在共和光伏电站内和在电站外部东北方向2 km处架设一套自动气象站作为对照点,利用HOBO观测仪对2个观测点的风速、气温、相对湿度、土壤温湿度等小气候要素进行观测。风速风向、气温和相对湿度的观测高度为2 m,其中风速传感器S-WSA-M003的测量范围:0~45 m/s,精确度为 $\pm 1.1$  m/s;风向传感器S-WDA-M003测量范围:0~355°,5°死区,精度: $\pm 5^{\circ}$ ;空气温湿度传感器S-THB-M002量程:温度:-40 ℃~75 ℃,精度:温度 $\pm 0.7^{\circ}$ ;相对湿度:0%~100%,精度: $\pm 3\%$ 。土壤温、湿度分10,20,40 cm 3个梯度布设,土壤温度的监测用的是12位温度传感器S-TMB-M002,量程:-40°~100 ℃,精度: $< \pm 0.2^{\circ}$ ;土壤湿度采用EC-5土壤水分传感器,测量范围:0~0.550 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,精度: $\pm 0.031$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ( $\pm 3\%$ );太阳总辐射传感器S-LIB-M003测量范围:0~1 280 W/m<sup>2</sup>,温度范围:-40°~75 ℃,精确度: $\pm 5\%$ 。观测时间为24 h不间断观测,数据采集间隔为5 min。输出的数据用

HOBO 软件导出 Excel 数据,利用 Matlab 软件进行数据的整理和分析,用 Origin 8.6 作图。HOBO 观测仪是目前使用比较广泛的小气候观测仪器,它能准确、快速并连续地观测气温、土壤温湿、风速、相对湿度等小气候因子。

### 3 结果与分析

#### 3.1 光伏电站对基本气象要素的影响

3.1.1 光伏电站对相对湿度的影响 图 1a 给出了 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内日平均相对湿度的变化。由图 1a 可见,对于空气湿度较高日(9 月 11 日),对照点和光伏电站内日平均相对湿度差异较小(对照点 88.9%,电站内 88.3%,差值-0.6%),而对于空气相对湿度较低(9 月 15 日),光伏电站内相对湿度明显高于对照点(对照点 50.5%,电站内 58.3%,差值 7.8%),这表明光伏电站对空气相对湿度的影响在空气较干日表现的更为显著。此外,图 1a 对比了 2015 年 8 月和 9 月两观测点(对照点和光伏电站内)相对湿度的平均日变化。对照点和光伏电站内相对湿度平均日变化趋势较一致。然而,夜间(早上 8 点以前和晚上 20 点以后)光伏电站内相对湿度明显高于对照点,这可能与夜间光伏电站使得近地面气温较对照点更低进而增强边界层逆温(图 1b),不利于水汽的向上输送有关。观测期间对照点和光伏电站内观测点平均相对湿度分别为 63.56% 和 66.06%。此外,为了更好地量化大型光伏电站对共和盆地荒漠区小气候的影响,表 1 也统计了对照点与光伏电站内观测点对应基本气象要素和土壤温湿度的差值及其占对照点的百分比。由表 1 可以看出,大

型光伏电站的布设使得共和盆地荒漠区局地相对湿度增加了 3.93%。以上的分析表明光伏电站通过改变下垫面性质对较干日和夜间相对湿度影响较大。

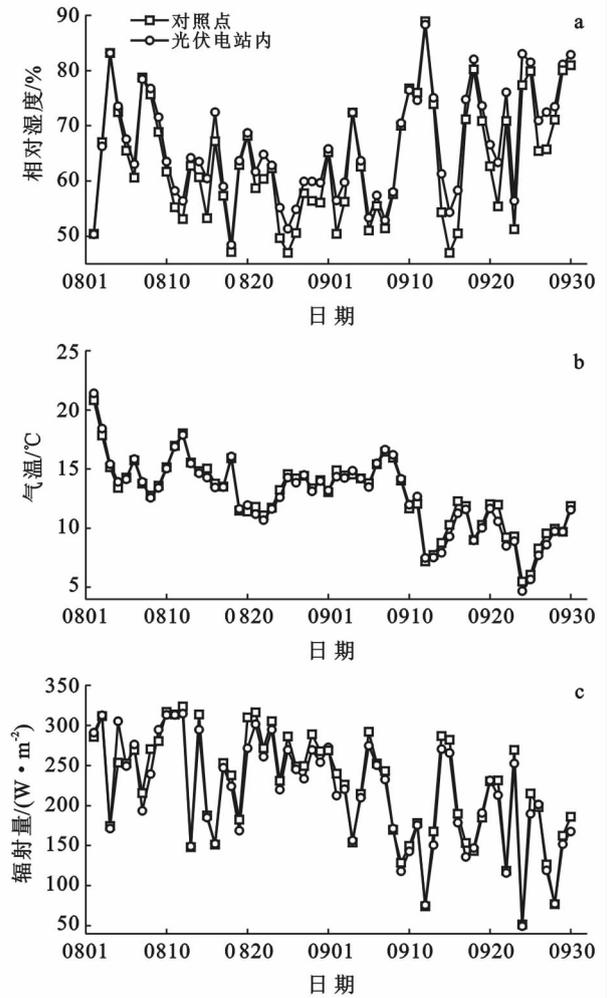


图 1 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内基本气象要素日平均值的变化

表 1 2015 年 8 和 9 月对照点和光伏电站内观测点基本气象要素和土壤温、湿度及其差值<sup>#</sup>

月份	$T/^\circ\text{C}$	$R_H/\%$	$W_S/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$S_R/(\text{W}\cdot\text{m}^{-2})$	$S_{T-10}/^\circ\text{C}$	$S_{T-20}/^\circ\text{C}$	$S_{T-40}/^\circ\text{C}$	$S_{W-10}/\%$
对照点	12.82	63.56	4.21	222.54	17.27	17.31	16.97	16.91
光伏电站内	12.62	66.06	1.94	215.03	14.30	14.41	14.24	29.02
差值	-0.2	2.50	-2.27	-7.51	-2.97	-2.90	-2.73	12.11
百分比/%	-1.56	3.93	-53.92	-3.37	-17.20	-16.75	-16.09	71.61

注:  $T, R_H, W_S, S_R, S_{T-10}, S_{T-20}, S_{T-40}, S_{W-10}$  分别表示气温、相对湿度、风速、辐射量、10、20、40 cm 土壤温度和 10 cm 土壤湿度; 差值 = 光伏电站内观测点 - 对照点; 百分比 = (光伏电站内观测点 - 对照点) / 对照点  $\times 100\%$ 。

3.1.2 光伏电站对气温的影响 图 1b 和 2 b 分别给出了 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内日平均气温的变化以及 2015 年 8 和 9 月两观测点气温平均日变化的对比。由这 2 幅图可以看出,对照点和光伏电站内日平均气温的变化不仅趋势较一致,总体上气温呈降低的趋势,而且其在量级上也差异很小,对照点

的气温比电站内的仅高出 0.2  $^\circ\text{C}$ 。这表明光伏电站通过改变下垫面性质对共和盆地日平均气温的影响较小,从表 1 也可得到类似的结论。为了更好地了解气温对大型光伏电站的响应,对比了对照点和光伏电站内气温的平均日变化(2b)。夜间(早上 8 点以前和晚上 20 点以后)光伏电站内气温明显低于对照点,而

日间(早上 8 点—晚上 20 点)光伏电站内气温高于对照点,这也很好地解释了上面得到的光伏电站对日平均气温影响较小的结论。对照点和光伏电站内气温差值的平均日变化与相对湿度差值的平均日变化相反。

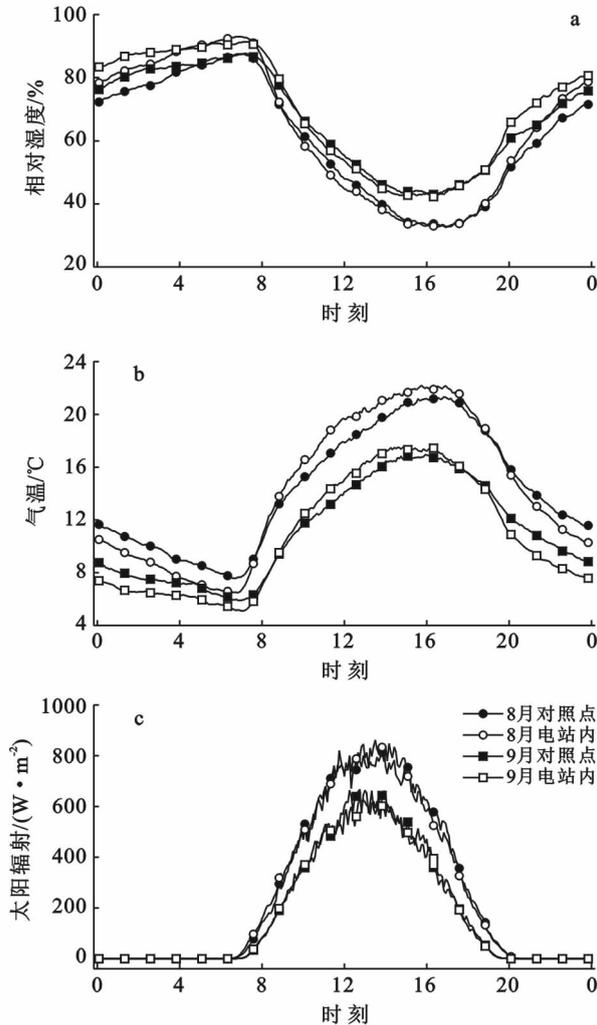


图 2 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内基本气象要素日变化的对比

3.1.3 光伏电站对太阳总辐射的影响 图 1c 和 2c 分别给出了 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内日平均辐射量的变化以及 2015 年 8 和 9 月对照点和光伏电站内辐射量平均日变化的对比。可以看出,观测期间两观测点日平均辐射量的变化趋势较一致,均呈波动性降低的趋势。对照点 8 和 9 月的辐射总量分别为 641.93, 505.45 MJ/m<sup>2</sup>, 电站内 8 和 9 月的辐射总量分别为 569.45, 470.97 MJ/m<sup>2</sup>, 电站内的辐射总量与对照点相比在 8 月降低了 11.3%, 9 月降低了 6.8%。对于低辐射量日, 两观测点日平均辐射量差异较小, 而对于高辐射量日, 对照点日平均辐射量高于光伏电站内观测点。

对于辐射量日变化而言, 2 个观测点辐射量均为单峰型, 峰值出现在下午 14 点左右, 2016 年 8 月和 9 月辐射量平均日变化峰值分别为 850, 650 W/m<sup>2</sup>。对照点辐射量高于光伏电站内观测点, 特别是当辐射量较高时表现的更为显著。2015 年 8—9 月期间, 对照点和光伏电站内观测点平均辐射量分别为 222.54, 215.03 W/m<sup>2</sup>, 大型光伏电站的布设使得共和盆地荒漠区辐射量减少了 3.37% (表 1)。由以上的分析可以发现大型光伏电站的布设对白天时段的太阳辐射具有较大的影响, 这一结果也与杨丽薇<sup>[13]</sup> 等对格尔木电站研究得出的结论相一致。

3.1.4 光伏电站对风速、风向的影响 如图 3 所示, 在未布设光伏电站之前共和盆地的主导风向为东北风。由于光伏电站的布设使得局地风况发生了显著的变化。在布设光伏电站后风向由原来的东北风为主转为以东风为主, 东风出现的比例提高到 50% 左右, 表明光伏电站的布设使得局地风向更加单一, 这主要与太阳能板布设的方向有关。对照点和光伏电站内观测点观测期间平均风速分别为 4.21, 1.94 m/s, 大型光伏电站使得共和盆地荒漠区风速减小了 53.92% (表 1), 这也在一定程度上起到了固沙的作用。此外, 在布设光伏电站后大风速出现的比例显著降低。光伏电站内观测点风速主要集中在 8.0 m/s 以下 (表 2), 2015 年 8 和 9 月分别有 98.3% 和 94.6% 的风速低于 8.0 m/s, 而对照点在不同方向均有大于 8.0 m/s 风速的出现, 对照点 2015 年 8 和 9 月风速大于 8.0 m/s 出现的比例分别为 14.7% 和 18.2%, 远高于光伏电站内的 1.7% 和 5.4%。以上的分析表明光伏电站的布设对共和盆地局地风速和风向均有显著的影响。

表 2 2015 年 8 和 9 月对照点和光伏电站内观测点不同段风速所占的比例

风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	不同段风速所占的比例/%			
	8 月		9 月	
	对照点	光伏电站内	对照点	光伏电站内
0~5	65.1	89.3	60.7	82.0
5~8	20.2	9.0	21.0	12.6
8~10	6.5	0.9	6.7	2.1
10~12	4.8	0.4	5.8	1.5
>12	3.4	0.4	5.7	1.8

### 3.2 光伏电站对土壤温、湿度的影响

3.2.1 光伏电站对土壤温度的影响 图 4a 和图 5a—5c 分别给出了 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内不同深度日平均土壤温度的变化以及 2015 年 8

和 9 月 2 个观测点不同深度土壤温度平均日变化的对比。可以看出,观测期间不同深度日平均土壤温度均呈显著减小的趋势,对照点不同深度日平均土壤温度均明显高于光伏电站内观测点,而且观测期间两观测点日平均土壤温度的差值逐渐增加,2015 年 9 月对照点与光伏电站内观测点不同深度日平均土壤温度差值(10 cm 4.08 ℃;20 cm 3.66 ℃;40 cm 3.25 ℃)高于 2015 年 8 月(10 cm 1.81 ℃;20 cm 2.03 ℃;40 cm 2.19 ℃)。为了更好地了解土壤温度对大型光伏电站的响应,对比了 2015 年 8 和 9 月两观测点不同深度土壤温度的平均日变化(图 5a—5c)。不同时刻对照点 10、20 和 40 cm 土壤温度均高于光伏电站内观测点。光伏电站内观测点 10 和 20 cm 土壤温度日变化特征较对照点更弱,这反映了光伏电站对土壤

温度的影响,特别地对于 20 cm 土壤温度。两观测点 40 cm 土壤温度日变化均不明显,表明光伏电站对 40 cm 土壤温度的影响主要集中在其量级上,8—9 月 40 cm 土壤温度对照点的日均值为 16.98 ℃,电站内为 14.24 ℃,站内低于站外 2.74 ℃,对日变化特征的影响可以忽略。为了量化光伏电站对土壤温度的影响,表 1 给出了观测期间对照点和光伏电站内不同深度平均土壤温度及其差值。可见,光伏电站内 10、20、40 cm 平均土壤温度分别为 14.30、14.41、14.24 ℃,分别较对照点的 17.27、17.31、16.97 ℃低 2.97、2.90 和 2.73 ℃,分别比对照点 10、20 和 40 cm 平均土壤温度降低了 17.20%、16.75% 和 16.09%。以上的分析均表明大型光伏电站对共和盆地荒漠区土壤温度具有较显著的影响,而且对浅层的影响大于深层。

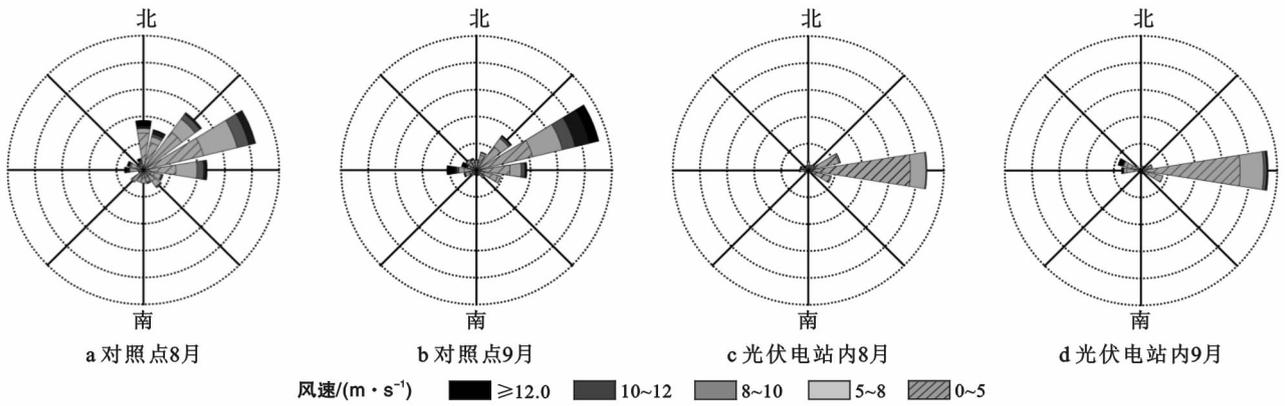


图 3 2015 年 8 和 9 月对照点和光伏电站内风玫瑰图

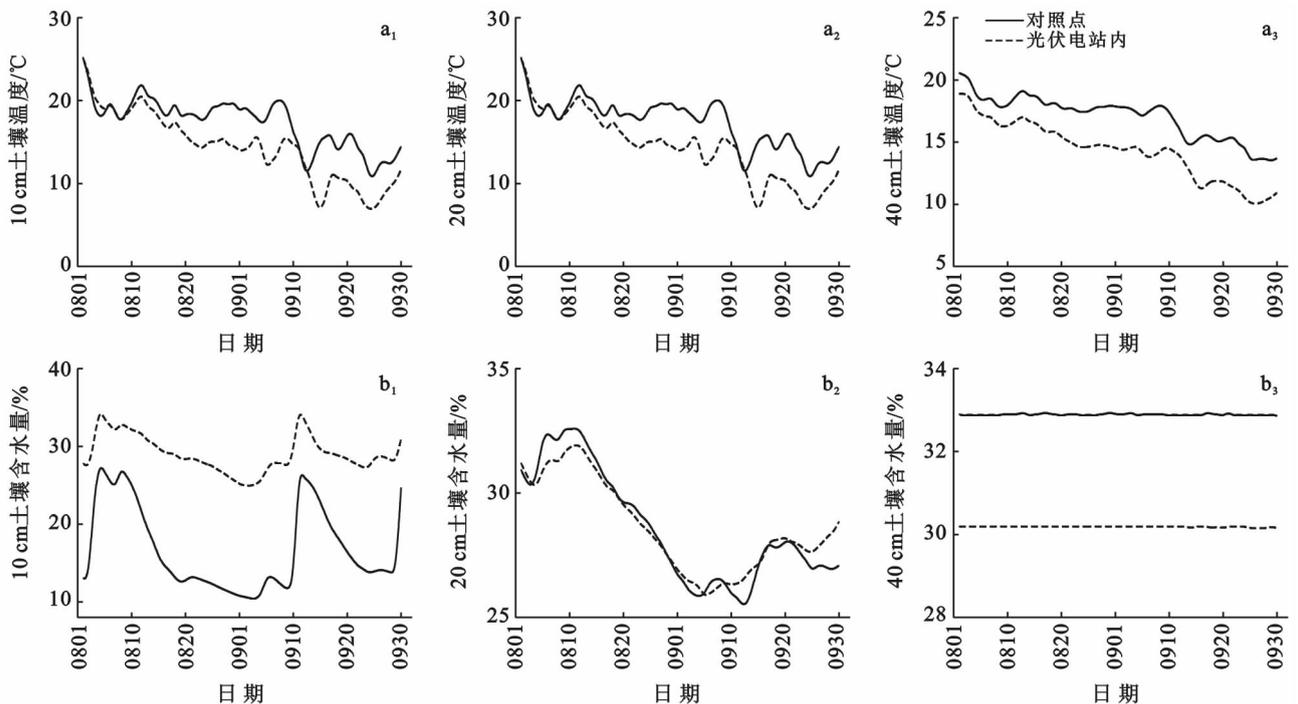


图 4 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内土壤温湿度日平均值的变化

3.2.2 光伏电站对土壤湿度的影响 图 4b 和 5d 分别给出了 2015 年 8—9 月对照点和光伏电站内不同深度日平均土壤湿度的变化以及 2015 年 8 和 9 月 2 个观测点 10 cm 土壤湿度平均日变化的对比。由图 4b 和 5d 可见,观测期间 10 cm 土壤湿度的变化较 20 cm 的变化更为显著,这与浅层土壤湿度更易受下垫面性质变化影响的事实有关。另外,光伏电站的布设可以使得局地 10 cm 土壤湿度显著增加,而对 20 cm 土壤湿度的影响较小,到了 40 cm 处电站内的土壤湿度反而低于对照点,这主要由 2 个观测点土壤性质的差异造成。为了更好地了解浅层土壤湿度对大型光伏电站的响应,对对照点和光伏电站内观测点 10 cm 土壤湿度平均日变化特征进行了对比(图 5d)。

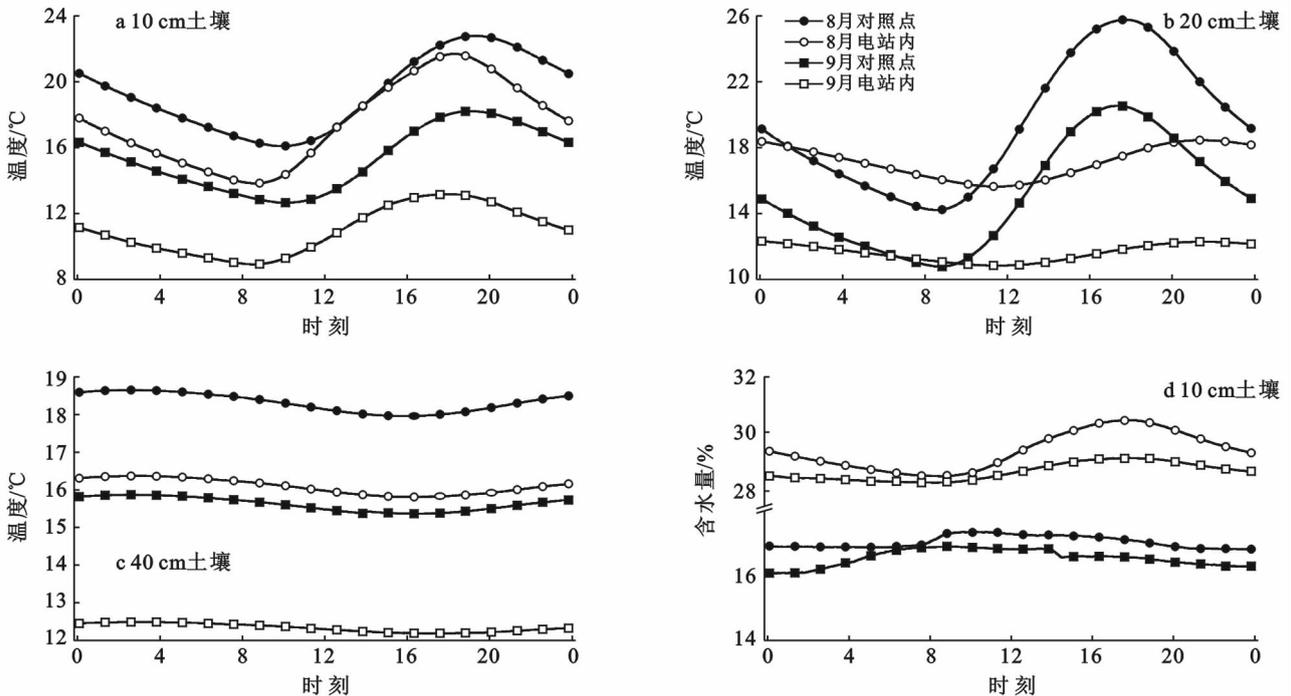


图 5 2015 年 8 和 9 月对照点和光伏电站内土壤温湿度日变化的对比

## 4 讨论与结论

(1) 大型光伏电站的布设对共和盆地荒漠区气温和太阳辐射的影响较小,对高辐射量时段的太阳辐射具有一定的影响。光伏电站内相对湿度较对照点高 3.93%,光伏电站对共和盆地相对湿度的影响在较干日和夜间表现的更明显。

(2) 光伏电站的布设使得局地风况发生了显著的变化。大型光伏电站使得共和盆地荒漠区风速减小了 53.92%,在一定程度上起到了防沙固沙的作用。

(3) 光伏电站内 10,20,40 cm 平均土壤温度分

别为 14.30,14.41,14.24 °C,分别较对照点低 2.97,2.90 和 2.73 °C,分别占对照点 10,20 和 40 cm 平均土壤温度的 17.20%,16.75% 和 16.09%。大型光伏电站对共和盆地荒漠区土壤温度具有较显著的影响,而且对浅层的影响大于深层。

(4) 光伏电站对共和盆地荒漠区 10 cm 土壤湿度的影响较其他要素更显著,大型光伏电站使得共和盆地荒漠区平均土壤湿度增加了 71.61%,光伏电站通过影响土壤湿度进而影响该地区的陆—气相互作用以及能量平衡。

本文只用了 2015 年 8 和 9 月 2 个月的观测数据,样本数量有限,以后还需要积累长时间序列数据

分析光伏电站在不同季节对小气候的影响。并且,在光伏电站对各个小气候因子产生影响的原因等,还需要进一步做深入的分析。这将是下一步工作的重点。

#### [参 考 文 献]

- [1] 崔容强,喜文华,魏一康,等. 太阳能光伏发电[J]. 中国建设动态. 阳光能源,2004(4):72-76.
- [2] Despotou E, Gammal A E, Fontaine B, et al. Global market outlook for photovoltaics until 2014[M]. Brussels: European Photovoltaic Industry Association (EPIA) Press,2010.
- [3] 刘建涛,曹雷,马杰,等. 基于储能系统的用户光伏并网发电系统经济性分析[J]. 太阳能学报,2012,33(11):1887-1892.
- [4] Pthenakis V, Yu Yuanhao. Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms[C]//Photovoltaic Specialists Conference(PVSC), Tampa, Florida, USA, 2013.
- [5] Taha H. The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar photovoltaic arrays in urban areas[J]. Solar Energy, 2013,91(3):358-367.
- [6] Nemet G F. Net radiative forcing from wide spread deployment of photovoltaics[J]. Environmental Science & Technology, 2009,43(6):2173-2178.
- [7] Genchi Y, Ishisaki M, Ohashi Y, et al. Impacts of large-scale photovoltaic panel installation on the heat island effect in Tokyo[C]//Fifth Conference on the Urban Climate. Tokyo, Japan, 2003.
- [8] Tsoutsos T, Frantzeskaki N, Gekas V. Environmental impacts from the solar energy technologies[J]. Energy Policy, 2005,33(3):289-296.
- [9] 王涛. 光伏电站建设对靖边县土壤、植被的影响研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [10] 卢霞. 荒漠戈壁区光伏电站建设的环境效应分析:以酒泉市东洞滩百万千瓦光伏示范基地为例[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [11] 周波,柴亚凡. 戈壁荒漠区风电及光伏发电工程水土流失特征的对比分析[J]. 水土保持通报,2014,34(6):140-145.
- [12] 赵名彦,李芳然,崔利强,等. 生态脆弱地区光伏电站建设的环境效应分析[J]. 科技创新与应用,2015(26):22-23.
- [13] 杨丽薇,高晓清,吕芳,等. 光伏电站对格尔木荒漠地区太阳辐射场的影响研究[J]. 太阳能学报,2015,36(9):2160-2166.
- [14] 王健,桑长青,何清. 塔克拉玛干沙漠公路中段两侧不同下垫面的小气候分析[J]. 中国沙漠,2003,23(5):577-580.
- [15] 刘燕华,李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京:商务印书馆,2001:256-261.
- [16] 钟秀娟,熊黑钢,张建军. 新疆于田县不同下垫面小气候特征比较研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):134-139.
- [17] 朱雅娟,李虹,赵淑伶,等. 共和盆地不同类型防护林的改善小气候效应[J]. 中国沙漠,2014,34(3):841-848.
- [18] 司建华,冯起,张小由,等. 荒漠河岸林胡杨和怪柳群落小气候特征研究[J]. 中国沙漠,2005,25(5):668-674.
- [19] 毛东雷,雷加强,李生宇,等. 策勒绿洲—沙漠过渡带小气候的空间差异[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1501-1510.
- [20] 庞营军,雷加强,曾凡江,等. 新疆维吾尔自治区策勒县绿洲—沙漠过渡带小气候特征[J]. 水土保持通报,2011,31(5):240-245.
- [21] 冯起,司建华,张艳武,等. 极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义[J]. 地理学报,2006,61(1):99-108.
- [22] 张克存,奥银焕,屈建军,等. 巴丹吉林沙漠湖泊—沙山地貌格局对局地小气候的影响[J]. 水土保持通报,2014,34(5):104-108.
- [23] 严坤,李生宇,雷加强,等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地生长季的小气候特征[J]. 水土保持通报,2010,30(2):198-202.
- [24] 杨世琦,高旺盛,隋鹏,等. 共和盆地土地沙漠化因素定量研究[J]. 生态学报,2005,25(12):3181-3187.
- [25] 张登山,青海共和盆地土地沙漠化影响因子的定量分析[J]. 中国沙漠,2000,20(1):59-62.
- [26] 赵训经,那文俊. 青海省塔拉滩草原利用方向探讨[J]. 自然资源学报,1996,11(3):272-279.