

曹梅,王斌,杨珍,等. 西安平原地区地面辐射收支特征分析[J]. 陕西气象,2026(4):64-70.

文章编号:1006-4354(2026)04-0064-07

西安平原地区地面辐射收支特征分析

曹梅^{1,2},王斌³,杨珍¹,马凌珊¹,孙涛¹,史钰⁴,李博⁵

(1. 西安市气象局,西安 710016;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016;

3. 陕西省气象局机关服务中心,西安 710014;4. 鄠邑区气象局,陕西鄠邑 710300;

5. 西安理工大学光电科学与智能仪器学院,西安 710048)

摘要:利用西安泾河国家基本气象站 2022 年 7 月 1 日—2024 年 6 月 30 日地面辐射小时数据,分析了西安平原地区辐射月、季、小时变化特征以及降水过程对辐射分量的影响。结果表明:(1)西安平原地区总辐射月均值在 224.9~408.9 W/m²,1—2 月、10—12 月为低值期,5—8 月较高;受总辐射和植被影响,反射辐射 2 月最低,7—8 月较高;大气长波辐射 12 月、1 月为低值期,2—8 月随着气温升高而增大;地面长波辐射在 1—8 月逐月增加,9—12 月呈下降趋势;净辐射全年月均值为正,7 月最高,12 月最低,4—9 月的振幅高于其他月份。(2)总辐射、反射辐射、地面长波辐射、大气长波辐射季节变化特点均为夏季>春季>秋季>冬季;日变化均呈现早晚低、中午高的单峰型,辐射分量日峰值一般出现在 12—14 时;总辐射和反射辐射出现时间为 05—07 时,趋于 0 W/m²的时间为 17—19 时;净辐射出现负值的时间为 16—19 时,出现正值的时间为 06—08 时。(3)总辐射、反射辐射、大气与地面长波辐射年平均曝辐量分别为 4 834.74 MJ/m²、992.09 MJ/m²、10 564.04 MJ/m²、12 320.75 MJ/m²,各辐射曝辐量季节变化特点均为冬季<秋季<春季<夏季。(4)不同天气个例下的分析表明,总辐射强度为晴天>多云>阴天>降雨>降雨夹雪>降雪;净辐射在降水过程中日变化趋势与总辐射一致并且变化较明显;地面反照率在降雪过后上升明显,雪化后降低。

关键词:西安;平原;地面辐射收支;特征

中图分类号:P422

文献标识码:A

太阳辐射作为地球气候系统的主要能量来源,对地球的气候、生态等众多领域产生深远影响。以地表辐射平衡和热量平衡为主的能量交换过程是地表与大气之间相互作用的主要方式,是地气能量平衡的纽带^[1]。地面辐射收支是近地表陆面转化和实现能量循环的重要环节。开展地表辐射收支研究,对气候变化、生态修复、气象灾害预测有着重要意义^[2]。国内外学者针对地面辐射收支开展众多观测试验,在研究不同地区地表辐射方面取得了丰硕成果^[3-12]。王国胜等^[12]利用

2020 年辐射观测数据分析了东帕米尔高原各辐射通量变化,结果表明晴天时各辐射通量变化较平滑,多云时为不规则单峰型,降水时除冬季外均为多峰型。次仁尼玛等^[6]分析了青藏高原羊八井地区的辐射变化,结果表明长短波辐射均具有单峰季节变化特征,短波辐射峰值和谷值分别出现在 6 月和 12 月,长波辐射峰值和谷值分别出现在 6—7 月和 1 月。

西安地处关中平原中部,地形主体由秦岭山地与平原组成,西安市人口和城市主要分布在平

收稿日期:2025-02-19

作者简介:曹梅(1979—),女,汉族,陕西米脂人,硕士,高级工程师,从事综合气象探测工作。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金项目(2025G-20);国家自然科学基金项目(42475194)

原区域。太阳辐射作用于地表,会驱动出复杂的局地环流系统,给农业生产及城市生活带来影响,深入研究西安平原地区太阳辐射特征有助于剖析当地环境资源特征和发展潜力,也可对西安经济社会可持续发展提供科学依据。关于西安地区太阳辐射的研究不多^[13-15]。吴林荣等^[13]利用延安、西安、安康地面观测站总辐射数据和省内其余地面站月日照百分率资料,分析了全省逐月总辐射分布情况。张宏利等^[14]利用西安辐射站总辐射资料和若干地面观测站日照百分率数据,给出了西安太阳总辐射的时空分布。以往对西安地区辐射的研究多采用太阳总辐射资料,或根据日照资料计算而得,没有直接用辐射仪器观测资料分析辐射分量的变化特征。本文利用西安市泾河国家基本气象站(以下简称泾河站)2022年7月1日—2024年6月30日的地面辐射观测资料,分析西安平原地区辐射收支特征,并对比了降水形态对辐射分量的影响,以弥补西安平原地区辐射研究的不足。

1 研究站点及观测数据

泾河站为陕西省唯一的国家二级辐射观测站,该站数据能够较好地反映西安平原地区地面辐射特征。为了滤除外界影响导致的小扰动,结合现有研究成果,将短波辐射小于 20 W/m^2 的观测值设置为 0 ^[12]。因西安市地方平均太阳时与北京时相差 44 min ,因此每个时次的值取北京时整点后第 44 min 的值,辐射观测以地方时 24 h 为日界。求平均前对数据缺测情况进行检查,数据缺测时舍弃。检测表明,共有 175 个时次出现缺测,占总观测时次的 0.99% 。在求日平均值时,除总辐射和反射辐射取白天平均值外,其余辐射量均取全天平均值。

选取泾河站 2022 年 7 月 1 日—2024 年 6 月 30 日辐射实测四分量(总辐射、反射辐射、地面长波辐射、大气长波辐射)小时辐射辐照度及曝辐量数据进行分析。辐射辐照度^[16]为单位时间内投射到单位面积上的辐射能,单位为 W/m^2 。曝辐量^[16]指一段时间(如一天)辐照度的总量或累计量,单位为 MJ/m^2 。根据观测得到的四分量辐射数据计算净辐射和地面反照率,计算公式参考《地

面气象观测规范》^[16]。

$$E^* = E_g \downarrow - E_r \uparrow + E_L \downarrow - E_L \uparrow, \quad (1)$$

$$\alpha = E_r \uparrow / E_g \downarrow. \quad (2)$$

式中: E^* 为净辐射; α 为地面反照率,反映了地表对总辐射的反射能力; $E_g \downarrow$ 和 $E_r \uparrow$ 分别为总辐射、反射辐射; $E_L \downarrow$ 和 $E_L \uparrow$ 分别为大气长波辐射和地面长波辐射。

2 地面辐射收支变化特征

2.1 地面辐射辐照度月变化特征

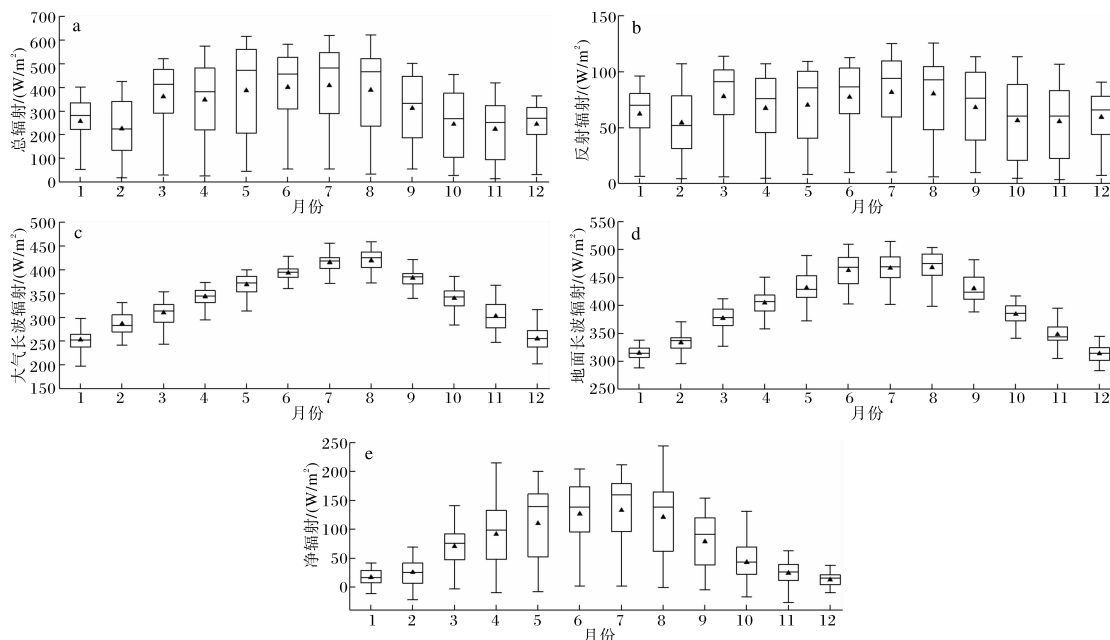
图 1 为西安市 2022 年 7 月 1 日—2024 年 6 月 30 日各月辐射分量(总辐射、反射辐射、大气长波辐射、地面长波辐射、净辐射)日均值箱线图。从图 1a 可知,总辐射月均值变化幅度较显著,月均值在 $224.9 \sim 408.9 \text{ W/m}^2$ 。总辐射在 1—2 月较低,2 月均值 226.7 W/m^2 ,为全年次低值;3 月增长明显,4 月又略有减小,5—8 月较高,7 月均值增长至 408.9 W/m^2 ,为全年最高值;从 9 月开始迅速变小,10—12 月维持在较低水平,11 月均值下降至 224.9 W/m^2 ,为全年最低值。3 月月均值(362.2 W/m^2)大于 4 月(348.9 W/m^2),且 3 月的中位数也大于 4 月,但 4 月最大值大于 3 月,主要原因是 3 月西安阴天和降雨天数较少,4 月逐渐进入雨季,降水天气和云量增多,太阳辐射随之减少,导致 4 月总辐射平均值和中位数均低于 3 月。

反射辐射受总辐射影响的同时,也受到下垫面性质的影响。图 1b 为反射辐射箱线图,反射辐射 1—2 月为低值期,2 月全年最低为 54.5 W/m^2 。受总辐射增长的影响,同时地表的自然植被还未复苏,3 月反射辐射出现明显增长。从 4 月起,随着植被复苏,反射辐射开始降低,4—6 月反射辐射月均值维持在 $67.6 \sim 77.4 \text{ W/m}^2$ 。7 月起,随着夏季总辐射的明显增强,反射辐射月均值达到全年最高值 81.7 W/m^2 ,8 月次高值为 80.4 W/m^2 ,7—8 月也出现了全年最明显的振荡。9 月起,随着总辐射的下降,反射辐射开始出现明显下降,10—12 月为低谷期,11 月均值 55.6 W/m^2 ,为全年次低值。

大气长波辐射与气温及大气中气溶胶含量、云量、云状关系密切。图 1c 为大气长波辐射月均

值变化,12—1月为全年低值期,1月最低,月均值为 253.1 W/m^2 ,2—8月大气长波辐射度随着气温的升高逐渐增强,月均值从2月的 286.8 W/m^2

上升至8月的全年最高值 419.7 W/m^2 。9月起,随着气温的降低及大气中气溶胶的增加,大气长波辐射逐月减小,冬半年的振幅明显大于夏半年。



箱体上下沿为4分位点,上下边缘为最大和最小值,实线为中位数,三角为平均值。

图1 西安市2022年7月—2024年6月各月辐射分量日均值箱线图(a总辐射,b反射辐射,c大气长波辐射,d地面长波辐射,e净辐射)

地面长波辐射与地面温度、下垫面性质、大气状况(云量、水汽)等有关。从图1d可知,1—8月地面长波辐射逐月增加,8月增加至全年最高值 468.1 W/m^2 ,6—8月月均值基本一致。9—12月随着地面温度的降低,地面长波辐射逐月下降,12月月均值 313.8 W/m^2 ,为全年最低值。

净辐射与长波辐射变化规律较为接近。由图1e可知,全年净辐射月均值均为正值,从1月开始净辐射月均值逐渐增加,7月升至全年最高值 133.2 W/m^2 ;而后8月开始下降,12月月均值为全年最低值,仅有 12.9 W/m^2 。4—9月净辐射振幅明显高于其他月份。

2.2 各季节地面辐射辐照度日变化特征

图2为西安市2022年7月1日—2024年6月30日各季节各辐射分量日变化特征,其中3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12—次年2月为冬季。总辐射、反射辐射、地面长波辐射、大气长波辐射季节变化特征均表现为夏季>春季>秋季>冬季,日变化均呈现早晚低,中

午高的单峰型,四季中日峰值除大气长波辐射出现在13—14时外,其余辐射分量日峰值均出现在12—13时。如图2a、2b所示,每个季节早晨总辐射和反射辐射开始出现的时间略有差异,春季、夏季05时开始出现总辐射和反射辐射,秋季06时开始出现,冬季07时开始出现。总辐射和反射辐射趋于 0 W/m^2 的时间春夏为19时,秋季为18时,冬季为17时。如图2e所示,春、夏、秋、冬季节净辐射开始出现负值的时间分别在18时、19时、16时、16时左右,开始出现正值的时间分别在07时、06时、07时、08时左右。

2.3 地面辐射曝辐量月变化特征

图3为西安市2022年7月—2024年6月地面辐射曝辐量月变化图。总辐射年均曝辐量为 4834.74 MJ/m^2 ,月平均曝辐量为 402.89 MJ/m^2 。由图3可见,全年最大月曝辐量为 577.28 MJ/m^2 ,出现在7月;最小月曝辐量 232.97 MJ/m^2 ,出现在11月。总辐射曝辐量具有明显的季节变化特点,变化规律为冬季<秋季<春季<夏季。反射辐射年均

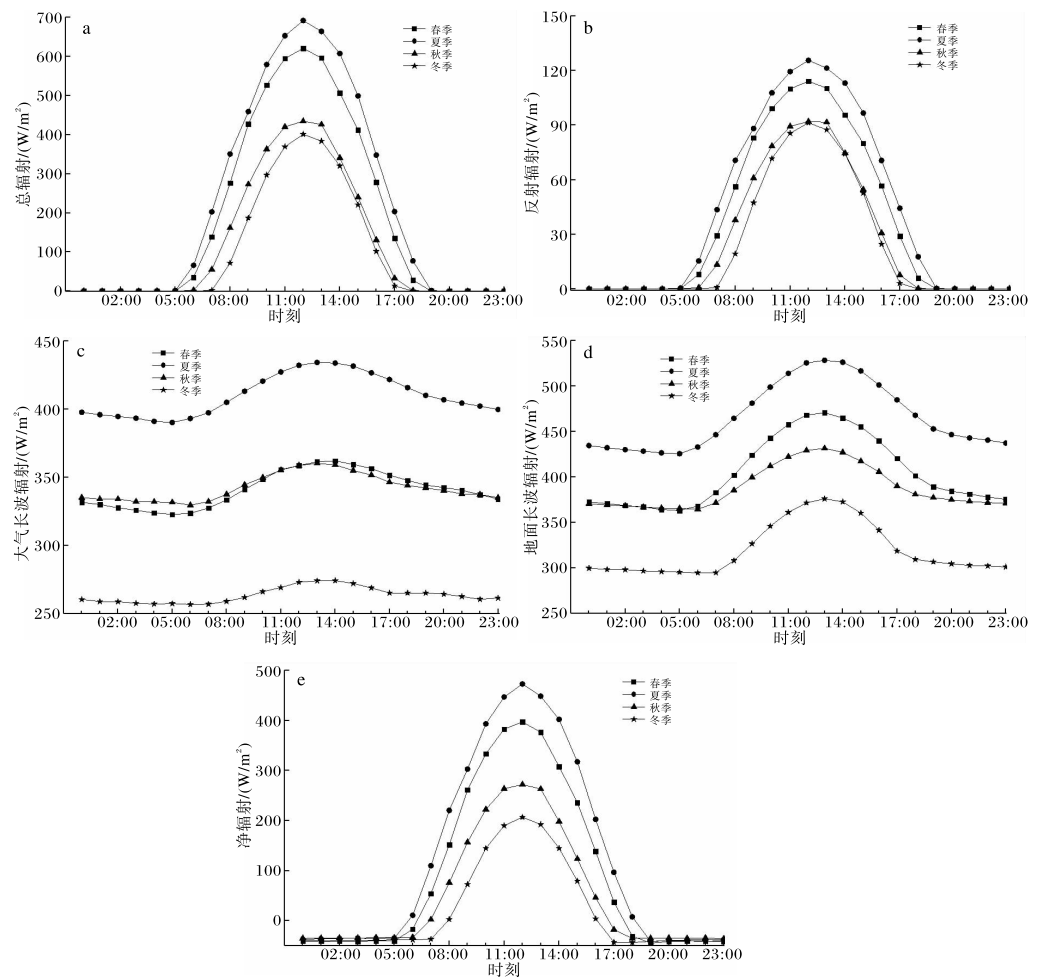


图2 西安市2022年7月—2024年6月不同季节辐射分量日变化特征(a总辐射,b反射辐射,c大气长波辐射,d地面长波辐射,e净辐射)

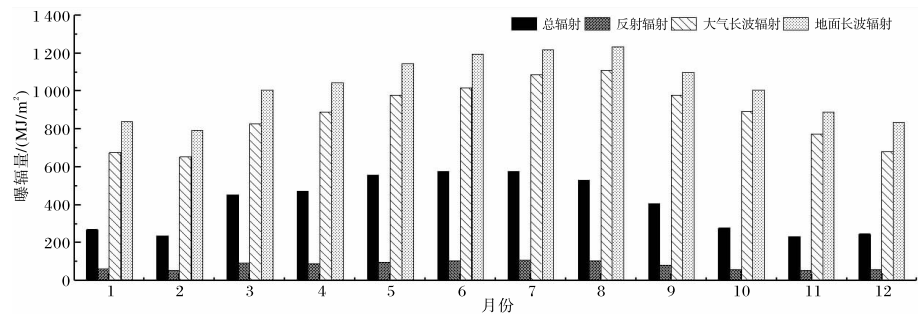


图3 西安市2022年7月—2024年6月地面辐射曝辐量月变化

曝辐量为 992.09 MJ/m^2 , 月均曝辐量 82.67 MJ/m^2 。全年最大月曝辐量 111.91 MJ/m^2 , 出现在7月; 最小月曝辐量 55.32 MJ/m^2 , 出现在2月, 季节变化规律同总辐射。大气长波辐射年均曝辐量为 $10\,564.04 \text{ MJ/m}^2$, 月均曝辐量为 880.34 MJ/m^2 。全年最大月曝辐量为 $1\,107.58 \text{ MJ/m}^2$, 出现在8月; 最小月曝辐量 652.44 MJ/m^2 , 出现在2月。

地面长波辐射年均曝辐量为 $12\,320.75 \text{ MJ/m}^2$, 月均曝辐量为 $1\,026.73 \text{ MJ/m}^2$ 。全年最大月曝辐量为 $1\,235.14 \text{ MJ/m}^2$, 出现在8月; 最小月曝辐量 793.17 MJ/m^2 , 出现在2月。大气长波辐射曝辐量与地面长波辐射曝辐量的季节变化规律一致, 均为冬季<秋季<春季<夏季。

3 不同天气对地面辐射的影响

以上分析了地面辐射各分量长时间尺度的变化,其影响因素包括太阳常数、纬度、海拔高度、大气状况和下垫面性状等。大气状况多变,和天气紧密相关,对辐射变化影响明显。天气主要通过云量、云层厚度和大气中水汽/气溶胶含量影响太阳辐射。选取2024年1月30日—2月6日典型

天气过程,分析不同天气对太阳辐射收支的影响。2024年1月31日—5日为主要降水时段,降水相态转换时间、日降水量、雪深等详见图4。从图中可知,2—3日以雪为主,31日、1日、4日为雪和雨夹雪混合相态。2日的雪深为1 cm,3日和4日的雪深为2 cm。

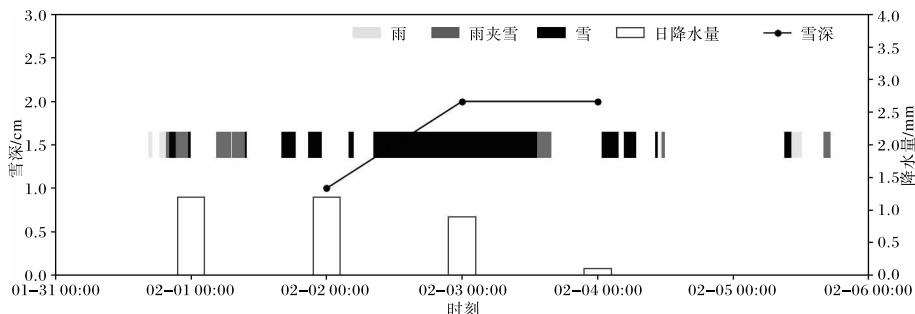


图4 2024年1月31日—2月5日西安市降水过程相态转换时间及日降水量、雪深

图5为2024年1月30日—2月6日降水过程前后及降水相态转换过程中辐射收支日变化特征。由图5可知,降水过程中天气状况转变顺序为:晴—阴—雨—雪—雨夹雪—雨—阴—晴,1月30日为晴天无降水,日最大小时总辐射辐照度为13时的530 W/m²。1月31日降水16:22开始,日最大小时总辐射辐照度为11时的110 W/m²。2月1日全天有雨夹雪和雪,日最大小时总辐射辐照度为13时的37 W/m²。2月2日全天有雪,并有1 cm的雪深,日最大小时总辐射辐照度为

13时的106 W/m²,日最大反射辐射也出现在13时,为43 W/m²。2月3日15:49降水停止,15时的总辐射辐照度为256 W/m²,也是当日最大值,因积雪的存在,当日最大小时反射辐射辐照度为87 W/m²,出现在12时。2月4日降雪时段较短,主要出现在上午时段,日最大小时总辐射辐照度和反射辐射辐照度均出现在12时,分别为522 W/m²和117 W/m²。在2024年1月31日—2月5日的降雪过程中,太阳总辐射强度表现为晴天>多云>阴天>降雨>降雨夹雪>降雪。

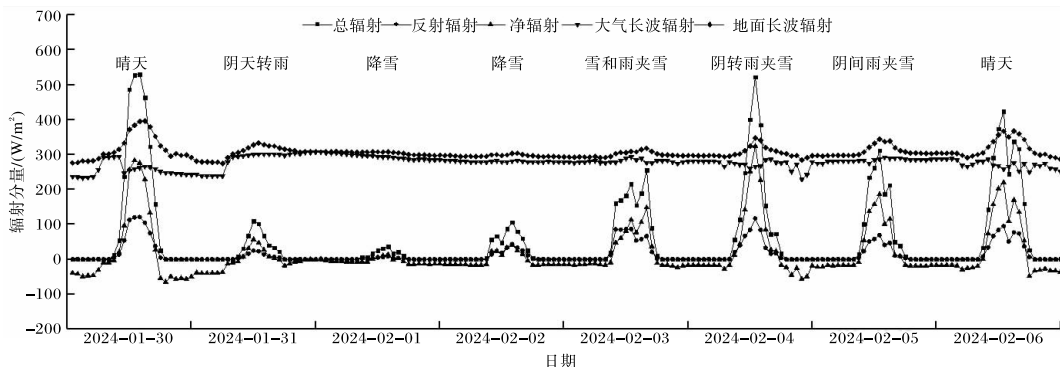


图5 2024年1月30日—2月6日西安市降水过程前后及降水相态转换时辐射收支日变化

大气长波辐射与地面长波辐射辐照度在降水过程的小时值范围分别为229~308 W/m²和275~396 W/m²。在连续降水过程中,大气长波辐射和

地面长波辐射变化平缓,4日为主要融雪日,融雪过程吸收热量影响空气温度,大气长波辐射日变化较为明显。2—3日有积雪时,到达地面的太

阳能量主要用于积雪融化,地面温度低并且变化幅度小,地面长波辐射也较低;积雪融化后,地面温度升高使地面长波辐射变化增强。受总辐射影响,降水过程中净辐射日变化趋势与总辐射一致且变化较明显,连续的降水过程导致净辐射减小,在出现间歇性降水或多云天气时迅速回升。

图6为2024年1月30日—2月6日西安市降水过程前后地面反照率日均值与雪深变化。如

图所示,2日新雪的产生导致地面反照率上升,达到8d中的最大值0.38;3日地面反照率为0.34;4日为晨雪,因每日雪深测量时间为08时,午后雪停后地面积雪处于融化阶段,导致地面反照率有所下降,为0.21;5日无积雪,地面反照率继续下降;6日无积雪但为多云天气,地面反照率上升。地面反照率在有新雪产生时最高,随着积雪的融化而降低。

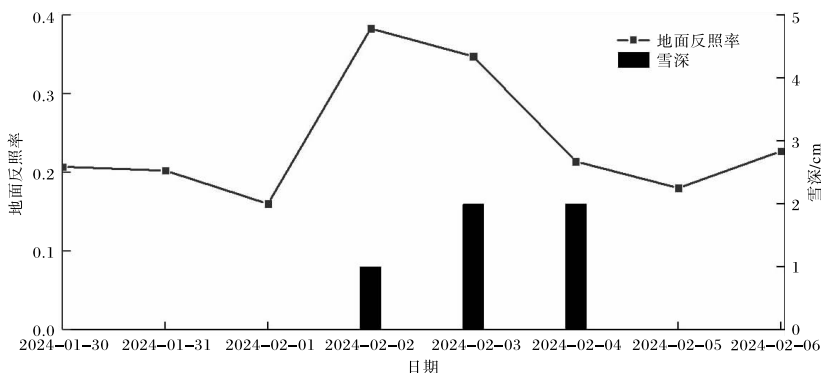


图6 2024年1月30日—2月6日西安市降水过程前后地面反照率日均值与雪深变化

4 结论

利用西安泾河国家基本气象站2022年7月1日—2024年6月30日地面辐射小时数据,分析了西安平原地区各辐射月变化、季节变化及日变化特征以及降水过程对辐射分量的影响,得出如下结论。

(1)西安平原地区总辐射月均值在224.9~408.9 W/m²之间,季节变化特征显著,1—2月和10—12月为低值期,5—8月处在较高水平。反射辐射受总辐射和地表植被影响,2月最低,7—8月较高且振荡明显。大气长波辐射受温度和气溶胶等影响,12月和1月在低值期,2—8月随气温升高逐渐增强。地面长波辐射受到地面温度及地表植被的影响,1—8月逐月增加,9—12月处于下降阶段。净辐射全年月均值均为正值,7月最高,12月最低,4—9月振幅高于冬半年。

(2)总辐射、反射辐射、地面长波辐射、大气长波辐射季节变化特征均为夏季>春季>秋季>冬季,日变化呈早晚低、正午高的单峰型。除大气长波辐射日峰值在13—14时外,其余辐射分量日峰

值在12—13时。总辐射和反射辐射开始出现及下午趋于0 W/m²的时间随季节不同,夏季和春季比冬季早2 h出现,下午比冬季约晚2 h成为0 W/m²。净辐射出现正、负值的时间在不同季节存在差异,夏季约在19时出现负值,冬季约16时出现负值,早上夏季约在06时出现正值,冬季约在08时出现正值。

(3)总辐射、反射辐射、大气长波辐射与地面长波辐射年平均曝辐量分别为4 834.74、992.09、10 564.04、12 320.75 MJ/m²。总辐射与反射辐射最大月曝辐量分别为577.28、111.91 MJ/m²,出现时间为7月。大气长波辐射与地面长波辐射最大月曝辐量分别为1 107.58、1 235.14 MJ/m²,出现在8月。总辐射、反射辐射、大气长波与地面长波辐射曝辐量季节变化特点均为冬季<秋季<春季<夏季。

(4)不同天气下的个例分析表明,总辐射强度为晴天>多云>阴天>降雨>降雨夹雪>降雪。大气与地面长波辐射在降水时变化平缓,融雪时受到影响。净辐射受总辐射影响,降雪时减小,间

歇降水或多云时回升。在降雪过程中,地面反照率在有新雪产生时上升明显,雪化后降低。

参考文献:

- [1] 岳平,牛生杰,张强,等. 春季晴天与阴天草原辐射和能量平衡特征的一次对比观测[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6):1464-1468.
- [2] 吴俊杰,任佳莉,夏春炯,等. 雅鲁藏布江下游典型河谷地带辐射收支及反照率特征研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2025, 19(3):1-9.
- [3] 肖婉秋,买买提艾力·买买提依明,刘永强,等. 中天山地区草地地表辐射收支演变规律[J]. 生态学报, 2022, 42(11):4550-4560.
- [4] 柳英,阿吉古丽·沙依提,买买提艾力·买买提依明,等. 新疆昌吉绿洲地表辐射收支特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(1):66-73.
- [5] 谷星月,马耀明,马伟强,等. 青藏高原地表辐射通量的气候特征分析[J]. 高原气象, 2018, 37(6):1458-1469.
- [6] 次仁尼玛,单增罗布,宣越健,等. 青藏高原羊八井地区地表辐射的季节变化特征[J]. 高原气象, 2013, 32(5):1253-1260.
- [7] 顾润源,武荣盛,吴菊秀,等. 内蒙古半干旱草原下垫面地表辐射特征[J]. 干旱区地理, 2013, 36(5):854-864.
- [8] 蔡雯悦,徐祥德,孙绩华. 青藏高原东南部云状况与地表能量收支结构[J]. 气象学报, 2012, 70(4):837-846.
- [9] 吴彩云,何清,赵竹君,等. 阿克达拉紫外辐射特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(5):146-152.
- [10] 武荣盛,马耀明. 青藏高原不同地区辐射特征对比分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2):251-259.
- [11] 卞林根,陆龙骅,逯昌贵,等. 1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学, 2001, 25(5):577-588.
- [12] 王国胜,何清,邢红艳,等. 东帕米尔高原地表辐射收支及地表反照率特征[J]. 高原气象, 2023, 42(3):619-631.
- [13] 吴林荣,江志红,鲁渊平,等. 陕西太阳总辐射的计算及分布特征[J]. 气象科学, 2009, 29(2):2187-2191.
- [14] 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等. 西安市近49年太阳总辐射的时空变化特征[C]//第28届中国气象学会年会论文集. 北京:中国气象学会, 2011:684-690.
- [15] 王越,徐虹. 西安市紫外线辐射强度与气象因素的关系[J]. 陕西气象, 2002(6):17-19.
- [16] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 2003:69.