

# 1998年夏季青藏高原高原辐射平衡分量特征<sup>\*</sup>

卞林根 陆龙骅 逯昌贵 陈彦杰 高志球

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

刘辉志

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

张宏升 陈家宜

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

**摘 要** 利用1998年夏季第二次青藏高原气象科学试验(TIPEX)获得的改则、当雄和昌都三个热源观测站的数据和相关资料,统计和分析了高原夏季辐射平衡分量和热源强度的变化特征。结果表明高原地面总辐射平均强度以西部最强,中部次之,东部最小。6月中旬后随着雨季到来,地表反射率均有所降低,中部和东部的辐射强度明显减弱,西部雨季降水和云量都较少,辐射强度变化不明显。高原中部和东部的净辐射在6月中旬有明显的突变现象,西部突变期出现在7月上旬,以中部的辐射加热强度最大,东部次之,西部最小。湿期随着地面长波辐射的减少,热源强度明显增大。

**关键词:** 青藏高原; 总辐射; 反射率; 长波辐射; 热源强度

## 1 引言

青藏高原约占我国陆地面积的四分之一,平均海拔在4000 m以上,是世界上最高、地形最复杂的高原。多年来的业务和科研工作表明,隆起的青藏高原以其独特的地理位置、复杂的地形和不均匀表面,形成了对我国、亚洲,乃至全球大气环流和天气具有重要影响的高原气候。有关青藏高原的动力和热力作用的研究,已愈来愈受到中外专家的关注,多年来对高原气象的观测研究一直持续不断。1979年第一次青藏高原气象科学实验(QXPME X),把高原地表辐射平衡和热平衡的时空变化作为主要观测研究项目。高原辐射气候等方面的研究取得了重要的进展,揭示了许多有意义的观测事实<sup>[1,2]</sup>。为获得青藏高原地区新的辐射平衡和热源研究资料,1998年我国进行了第二次青藏高原气象科学试验(TIPEX),由中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所、北京大学和国家海洋局组成的观测组,分别在高原西部的改则、中部的当雄和东南部的昌都地区设置了观测站,主要对向上向下的短波辐射和长波辐射以及地中热交换进行了系统观测,观测仪器的先进性和自动化程度都高于第一次青藏高原气象科学实验<sup>[3]</sup>。本文利用3个观测站的数据和有关资料,对地面总辐射、反射率、有效辐射、净辐射和热源强度等的变化特征进行分析。

2000-01-10收到,2001-03-07收到再改稿

<sup>\*</sup> 国家攀登-B项目和中国气象科学研究院跨世纪人材项目共同资助

## 2 总辐射

改则 (32°13'N, 84°48'E)、当雄 (30°02'N, 91°06'E) 和昌都 (31°06'N, 97°16'E) 观测点的地理纬度的差异不大 (图 1), 改则、当雄的海拔高度都在 4 300 m 以上, 大气质量相当于海平面的一半, 昌都的海拔高度为 3 227 m。有关青藏高原和其他地区瞬时总辐射通量大于太阳常数的现象已有很多观测事实<sup>[4,5]</sup>, TIPEX 期间也多次出现类似现象, 青藏高原自西向东出现总辐射大于太阳常数的现象十分频繁。以昌都为例, 该地区进入雨季早于当雄和改则, 在 5~8 月都可以出现总辐射大于太阳常数的现象, 总辐射大于太阳常数的记录一般出现在中午前后, 天空布满积云, 但日面未被遮住的天气条件下。由于辐射观测系统能连续采集和记录, 故在改则 40 天的观测期中有 17 天出现过大于太阳常数的总辐射记录, 最大总辐射达到  $1\ 655\ \text{W}/\text{m}^2$ , 超过太阳常数约 21%; 在 30 s 采样频率的记录中, 总辐射大于太阳常数一天最多出现了 32 次。昌都站 84 天观测期中, 有 28 天出现大于太阳常数的总辐射通量 (图 2), 最大通量为  $1\ 530\ \text{W}/\text{m}^2$ , 超过太阳常数约 11%。当雄 35 天的辐射观测资料表明, 有 2 天的 10 min 平均日最大总辐射超过太阳常数, 最大值为  $1\ 394\ \text{W}/\text{m}^2$ , 超过太阳常数约 1%。在过去报道的总辐射大于太阳常数的记录一般指的是总辐射的瞬时极大值, 本次观测发现改则和当雄 10 min 平均的总辐射均出现过大于太阳常数的记录。出现这种现象的原因从观测资料可以发现, 云的散射辐射是相当强的。陆龙骅等<sup>[5]</sup>已对全国许多地区出现总辐射大于太阳常数的可能原因作了分析。有些原因是共同的, 如夏季的中午前后, 天空几乎为积云遮蔽而日面无云和云体的散射作用等。但需要强调的是青藏高原夏季对流十分旺盛, 经常出现布满天空的积云, 加之高原上的大气透明度极高等因素, 这为出现

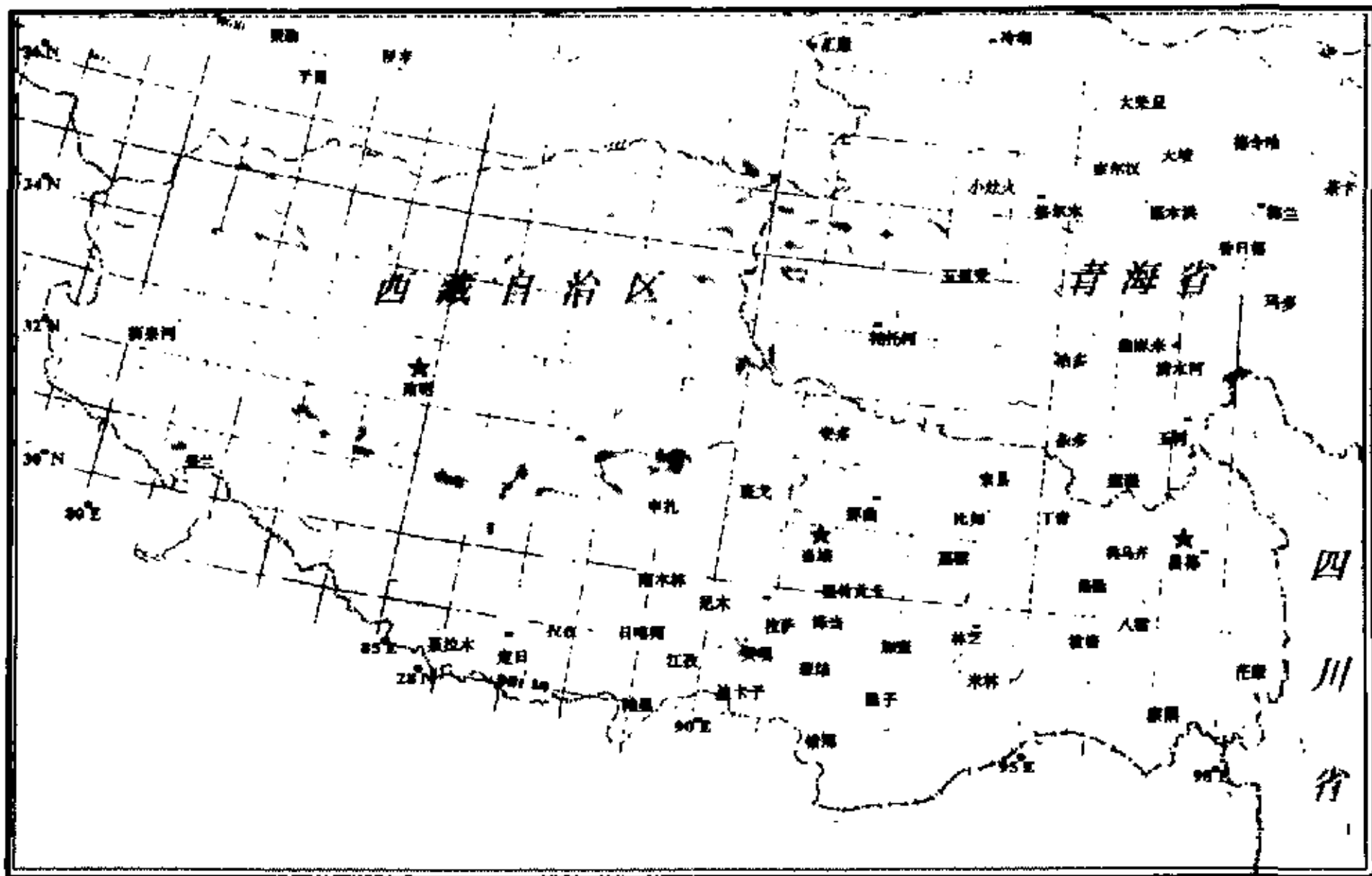


图 1 改则、昌都和当雄 3 个辐射观测站在青藏高原上的地理位置 (★)

总辐射大于太阳常数的记录提供了重要的条件。因此, 高原上出现这种现象绝非偶然。

图 3 给出了改则、当雄和昌都干期和湿期总辐射 ( $S_t$ )、反射辐射( $S_g$ )和吸收辐射 ( $S_t - S_g$ )的平均日变化。改则和当雄干期总辐射平均强度日变化的峰值达到 1 000

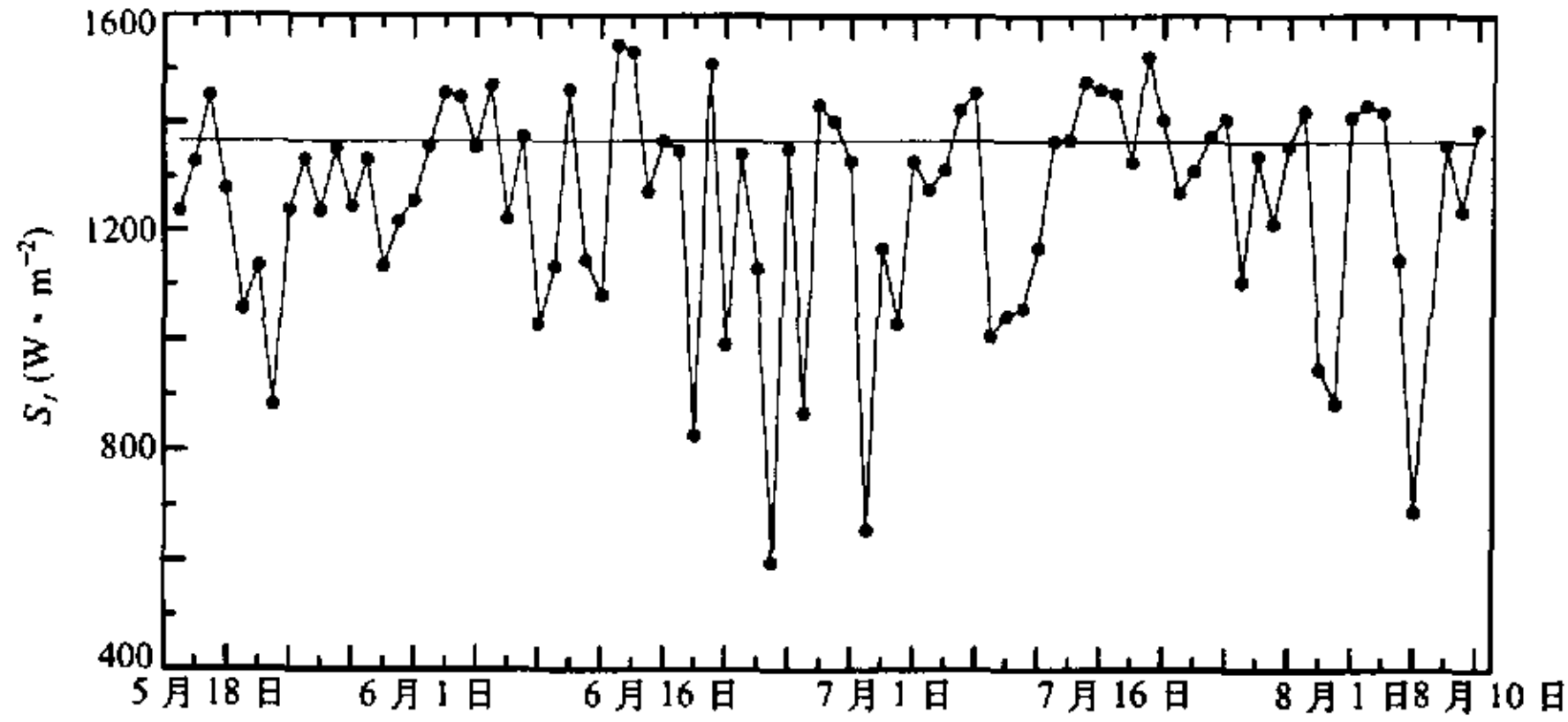


图 2 1998 年 5 月 18 日~8 月 10 日昌都逐日总辐射( $S_t$ )瞬时极大值, 直线为太阳常数值 ( $1376 \text{ W} / \text{m}^2$ )

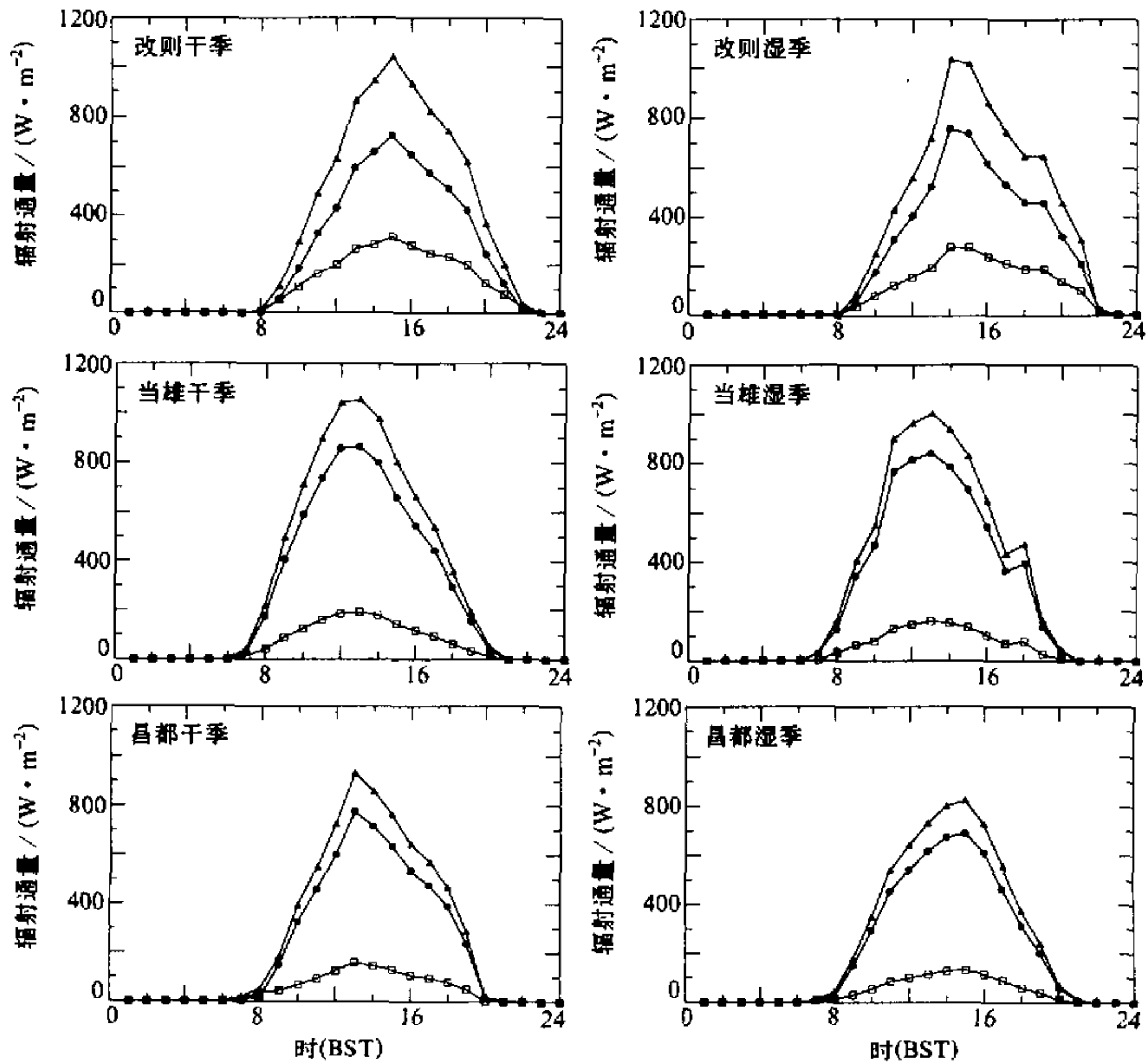


图 3 1998 年青藏高原不同地区干期和湿期总辐射 (▲)、反射辐射 (□) 和吸收辐射 (●) 通量的平均日变化

$W/m^2$  以上, 昌都为  $900 W/m^2$  以上, 比改则和当雄小 10%, 而在雨季改则总辐射平均强度日变化的峰值仍在  $1000 W/m^2$  以上, 当雄 (雨季从 6 月 23 日开始) 日变化的峰值下降到  $900 W/m^2$ , 昌都日变化的峰值则下降到  $800 W/m^2$  以下。由此可见, 高原上夏季地面总辐射自东向西逐渐增大。高原西部雨季降水量很少, 云量和日照的季节变化小, 因而总辐射通量的变化不明显。高原中、东部有明显的雨季, 干季和雨季的总辐射有明显的差异。

改则的吸收辐射和反射辐射强度的平均日变化与总辐射相似, 没有明显的干季和湿季; 而昌都和当雄则差异明显, 两站干季的吸收辐射强度基本相当, 日峰值都在  $700 W/m^2$  左右, 湿季都明显减小。为说明高原上总辐射的时空分布特征, 表 1 给出 1998 年 5~8 月高原 7 个站总辐射的旬平均强度。由表可见, 高原上总辐射强度的季节变化有明显的地域性差异, 以阿里和改则代表高原西部, 5~8 月旬平均达到  $340 W/m^2$ , 旬平均强度最大值达到  $370 W/m^2$  以上, 超过了 QXPME X 观测的  $352 W/m^2$  的最大值。与文献[6]中的结果相比, 该地区夏季总辐射量为世界上最大地区之一, 远大于北半球热带和副热带沙漠地区所测到的太阳总辐射量的最大值 ( $320 W/m^2$ )。西部总辐射旬际变化基本没有干季和雨季之分, 仅仅随太阳高度角变化, 以夏至前后旬的辐射

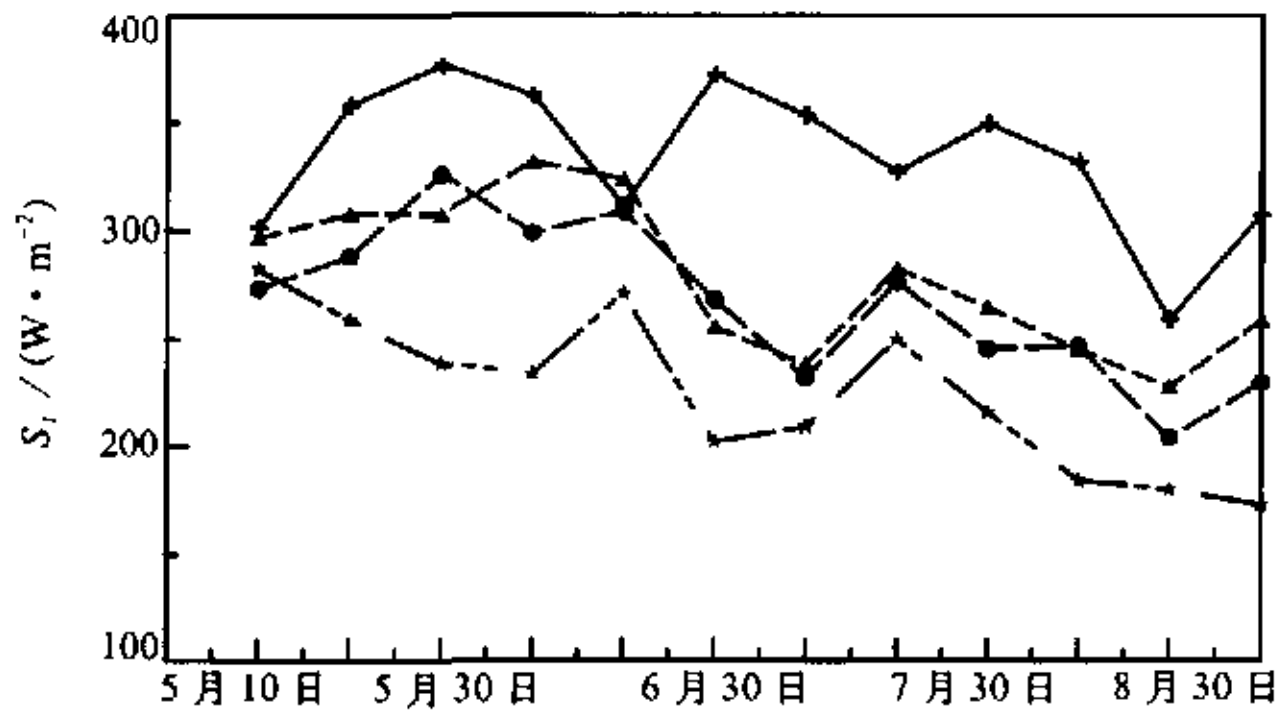


图 4 1998 年 5~8 月阿里 (+)、那曲 (▲)、拉萨 (●) 和昌都 (\*) 各旬总辐射 ( $S_t$ ) 的时间序列

强度最强。代表高原中部的那曲、拉萨和当雄, 5~8 月的旬平均强度为  $270 W/m^2$  左右, 夏至前的旬辐射强度最大; 6 月下旬雨季出现后, 辐射强度明显减弱; 7~8 月的辐射总量低于 5~6 月 (图 4)。代表高原东南部的昌都, 5~8 月旬平均强度为  $228 W/m^2$  左右, 仅为高原西部的 60%。上述 3 个区总辐射旬平均强度的时空变化特征与 QXPME X 结果基本近似。

表 1 1998 年青藏高原各站 5~8 月总辐射旬平均强度

$W/m^2$

月份	5 月			6 月			7 月			8 月			平均
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
阿里*	322	358	377	363	312	372	353	327	349	332	258	307	334
改则				347*	330	360	339	373*					349
那曲*	273	288	326	299	309	268	232	276	245	247	204	230	266
拉萨*	297	308	308	332	324	256	238	282	264	245	228	259	278
当雄			317*	342	317	291							
昌都*	282	259	239	234	271	202	209	250	216	184	180	173	225
昌都观测站		282*	229	223	270	190	213	255	213	202			230

\* 资料不足 10 天, 取自日射站

### 3 地表反射率

地表反射率反映了地面对太阳辐射的反射能力, 对研究下垫面的热力性质具有重要意义。青藏高原上的地表反射率已有很多观测研究<sup>[7]</sup>。由于反射率除了与地表状况(地面性质、植被覆盖程度等)有关外, 还与观测期的天气状况关系密切, 如雨天会增加地表的吸收辐射, 使反射率变小等。因此, 不同地区和不同时间的观测结果都有一定差异。高原西部的改则, 地表长有很稀疏的矮草, 在 40 多天的观测期中, 6 月份只有两个降水日, 降水量为 4 mm; 7 月有 7 个降水日, 降水量 22 mm, 最大日降水量为 5.5 mm, 蒸发大, 地表十分干燥。日平均最大地表反射率为 0.35, 最小为 0.23。

表 2 1998 年青藏高原各站 5~8 月平均反射率

站名 \ 月份	5	6	7	8	平均
改则		0.31	0.27		0.29
拉萨	0.19	0.17	0.14	0.15	0.16
当雄	0.18	0.17			
昌都	0.17	0.16	0.16	0.18	0.17

由表 2 可知, 改则 6 月地表反射率平均为 0.31, 7 月为 0.27, 与被 QXPME X 称为荒漠草原的狮泉河和荒漠盐碱戈壁的格尔木地表反射率的观测结果接近<sup>[7]</sup>。因此, 改则是高原上地表反射率最大的地区之一。高原东南部的昌都, 雨量和雨日都比常年偏多, 5 月下旬雨季开始, 地表植被(以草为主)开始生长, 8 月上旬, 植被达到 30 cm 高。降水日占观测期的 50% 以上, 雨量达到 400 mm, 最大日降水为 30 mm, 土壤湿度一直比较大。日平均地表反射率最大为 0.19, 最小为 0.13, 5~8 月观测的平均反射率为 0.17, 月际变化范围比较小, 在 0.16~0.18 之间。昌都地表反射率与以森林草原为主的林芝 QXPME X 5~8 月平均地表反射率一样, 均为 0.17。高原中部的当雄观测期间有 22 个雨日, 降水日占观测期的 50%, 最大日降水量为 18.2 mm, 可见地表也是相对潮湿。5~6 月平均反射率为 0.18, 略高于昌都同期的地表反射率, 与高原中部夏季地表反射率历次记录比较接近(表 3, 取自文献[8]), 由此可见高原中部和东部地面反射率的差异不大。

表 3 高原中部 6~8 月平均地面反射率

站名 \ 年份	1979 年	1982~1983 年	1994~1995 年	1995~1996 年
拉萨	0.20	0.18	0.17	0.14
那曲	0.20	0.17	0.16	0.18

图 5 进一步反映了高原中、西和东南部地表反射率的变化状况。改则在 6 月末开始, 地面反射率明显下降, 并伴随降水过程的发生, 出现几个低谷; 当雄 6 月 23 日地面反射率也有明显下降; 昌都 5 月份的地面反射率明显高于 6 月, 最低地面反射率为 0.13。



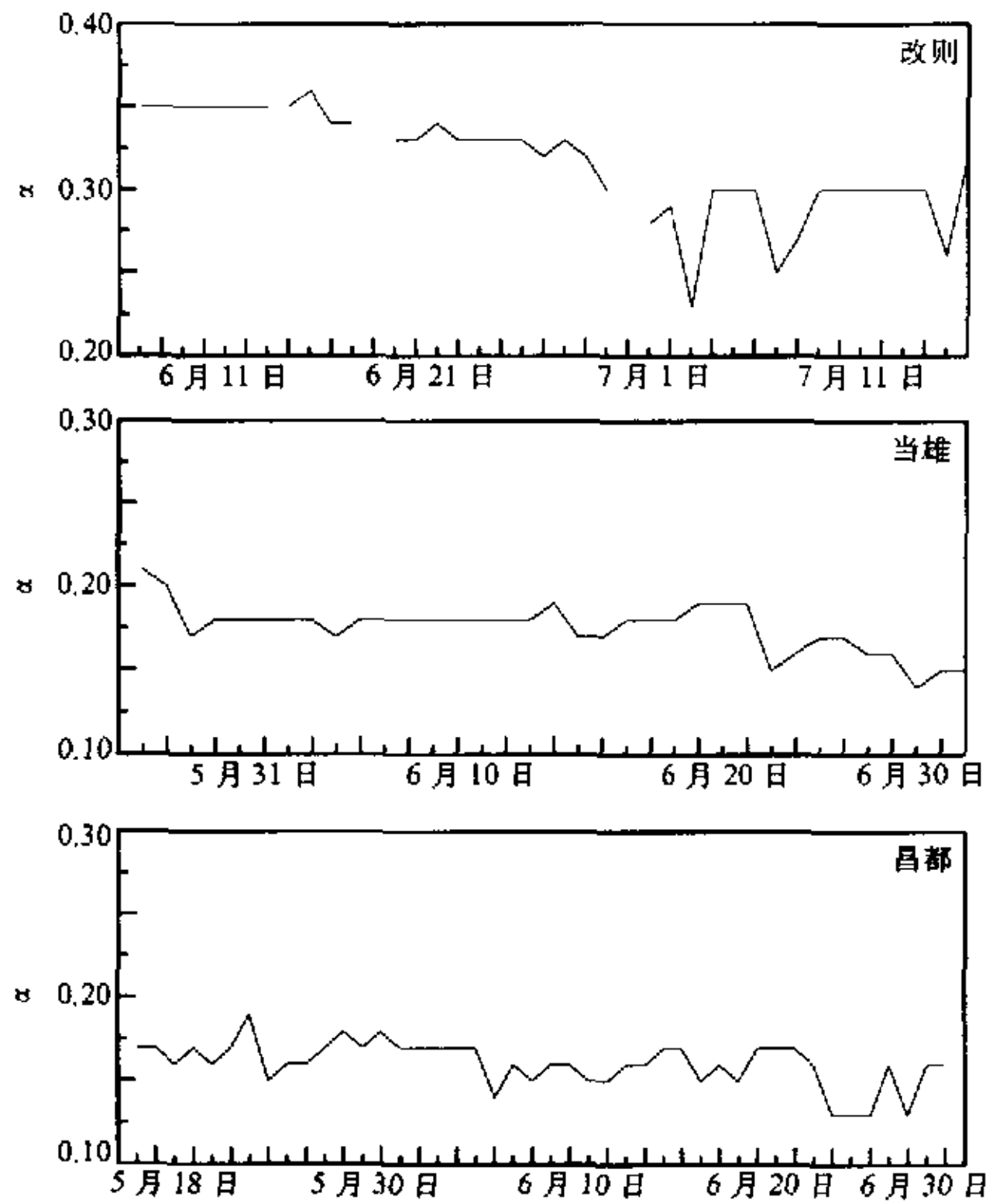


图5 1998年改则6月7日~7月16日、当雄5月27日~6月30日和昌都5月18日~6月30日地表反射率( $\alpha$ )的日际变化

和  $309 \text{ W/m}^2$ 。当雄干期和湿期大气辐射的日最高值分别为  $352 \text{ W/m}^2$  和  $362 \text{ W/m}^2$ ，日最小值分别为  $256 \text{ W/m}^2$  和  $307 \text{ W/m}^2$ 。昌都干期和湿期日最大值分别为  $339 \text{ W/m}^2$  和  $361 \text{ W/m}^2$ ，日最小值分别为  $263 \text{ W/m}^2$  和  $305 \text{ W/m}^2$ 。由此可见，3个站的大气辐射均有湿期的日最大、最小值大于干期的特点，说明湿期随着空气中水汽的增加，大气辐射也有所增加。除此以外，日峰值出现在午后，最小值出现在日出前，日变化形式基本相似。

从图7中3个站的日平均大气辐射的月际变化也可以看出，当雄和昌都观测期间的大气辐射随时间是增加的，而改则观测期间没有明显的变化趋势，日际变化比较大，表明改则空气中的水汽含量随影响本地的天气系统而变化，昌都和当雄近地层空气中水汽呈增加趋势。

#### 4.2 地面长波辐射

从图6中可知，改则、当雄和昌都干期和湿期地面长波辐射的平均日变化比大气辐射大得多。改则干期和湿期平均日较差分别是  $243 \text{ W/m}^2$  和  $206 \text{ W/m}^2$ ，当雄干期和湿期平均日较差分别是  $274 \text{ W/m}^2$  和  $168 \text{ W/m}^2$ ，昌都分别为  $328 \text{ W/m}^2$  和  $166 \text{ W/m}^2$ 。3站具有相似的日变化特征，日出前出现最小值，日出后迅速增加，峰值出现在中午前后，午后时段的平均通量大于午前时段的平均通量。但地面长波辐射的强度略

## 4 长波辐射

长波辐射是指大气和地面放出的长波辐射。本次观测3个辐射站全部采用高精度的红外辐射表对大气和地面放出的长波辐射进行了观测，并获得了连续资料，使我们得以对向上向下长波辐射，即大气辐射和地面放出的长波辐射的特点进行分析。

### 4.1 大气辐射

大气辐射与气温和大气中的水汽含量有密切关系，在晴天条件下，大气主要是空气中的水汽放射的长波辐射。从图6可知，改则、昌都和当雄干期和湿期大气辐射都具有日变化小的特点。改则干期和湿期大气辐射的日最高值分别为  $331 \text{ W/m}^2$  和  $351 \text{ W/m}^2$ ，日最低值分别为  $285 \text{ W/m}^2$

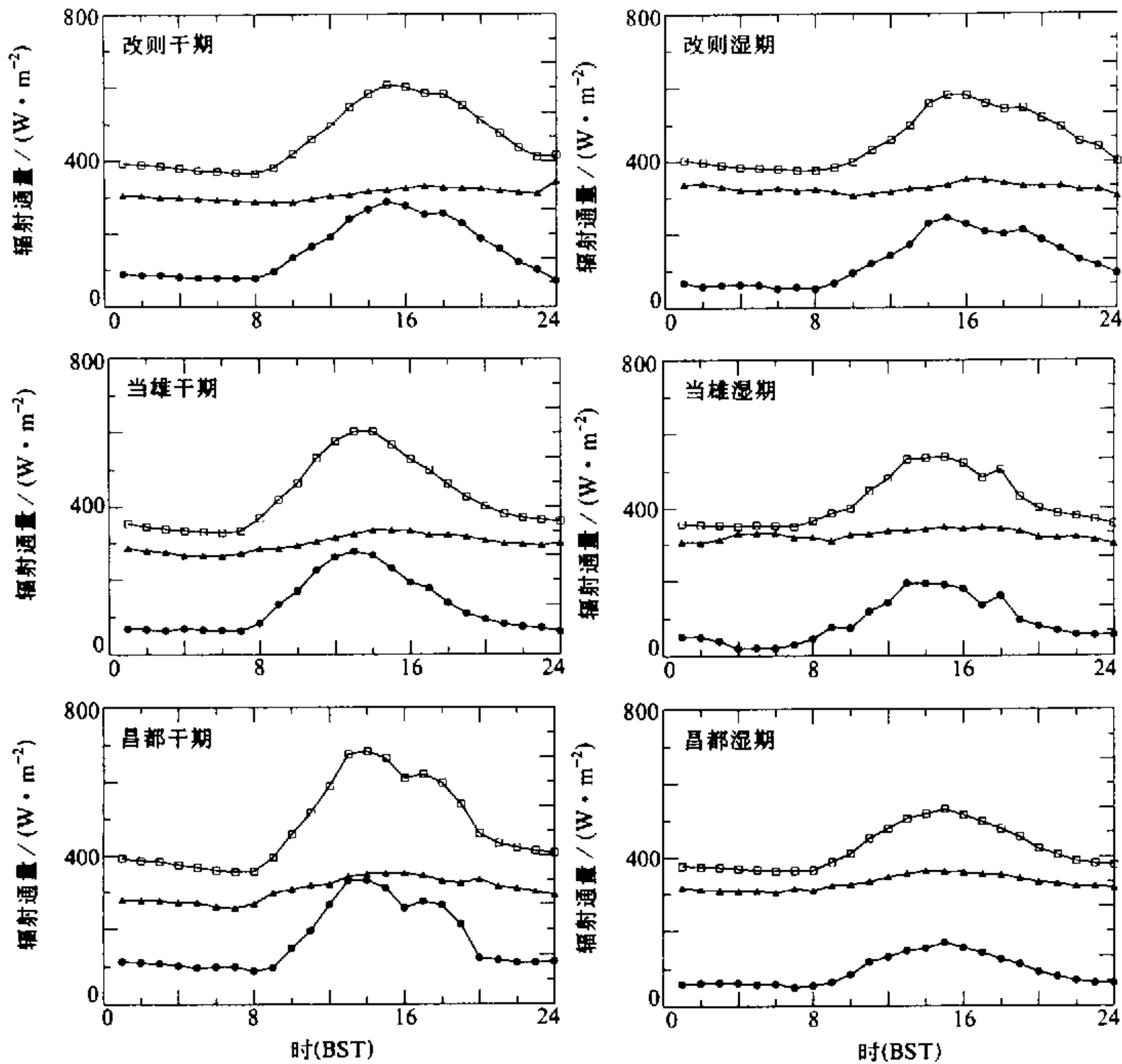


图6 1998年夏季青藏高原不同地区大气逆辐射(▲)、地面长波辐射(□)和有效辐射(●)通量的平均日变化

有不同, 干期以昌都地面长波辐射最强, 当雄次之; 湿期以改则最强, 昌都和当雄基本相同。3个站地面长波辐射日际变化的特点也是如此。

分析辐射平衡分量的日际变化有助于深入了解天气过程的影响。从图7可以看出, 改则、当雄和昌都总辐射、反射辐射、大气辐射及地面放出的长波辐射日总量的日际间峰谷值分布。它们反映了不同天气过程的影响作用, 图中谷部对应于有降水的时段。昌都辐射平衡分量的日总量峰谷值频繁交替变化, 这与藏东南地区进入雨季不同降水过程有关。虽然5月下旬以后, 降水日较多, 雨量较大, 但多为局地对流形成的雷阵雨天气, 日间仍有一定时数的日照。因此, 即便在雨季, 有的时段总辐射还是比较大。当雄观测期间雨日也较多, 但雨量小, 降水持续时间短, 对总辐射的日总量的影响不大, 日际变化曲线相对平稳, 振幅较小。改则观测期间的辐射平衡分量日总量尽管也较为明显, 但总辐射与当雄一样, 很少出现低于  $200 \text{ W/m}^2$  的日总量, 没有明显的干、湿转

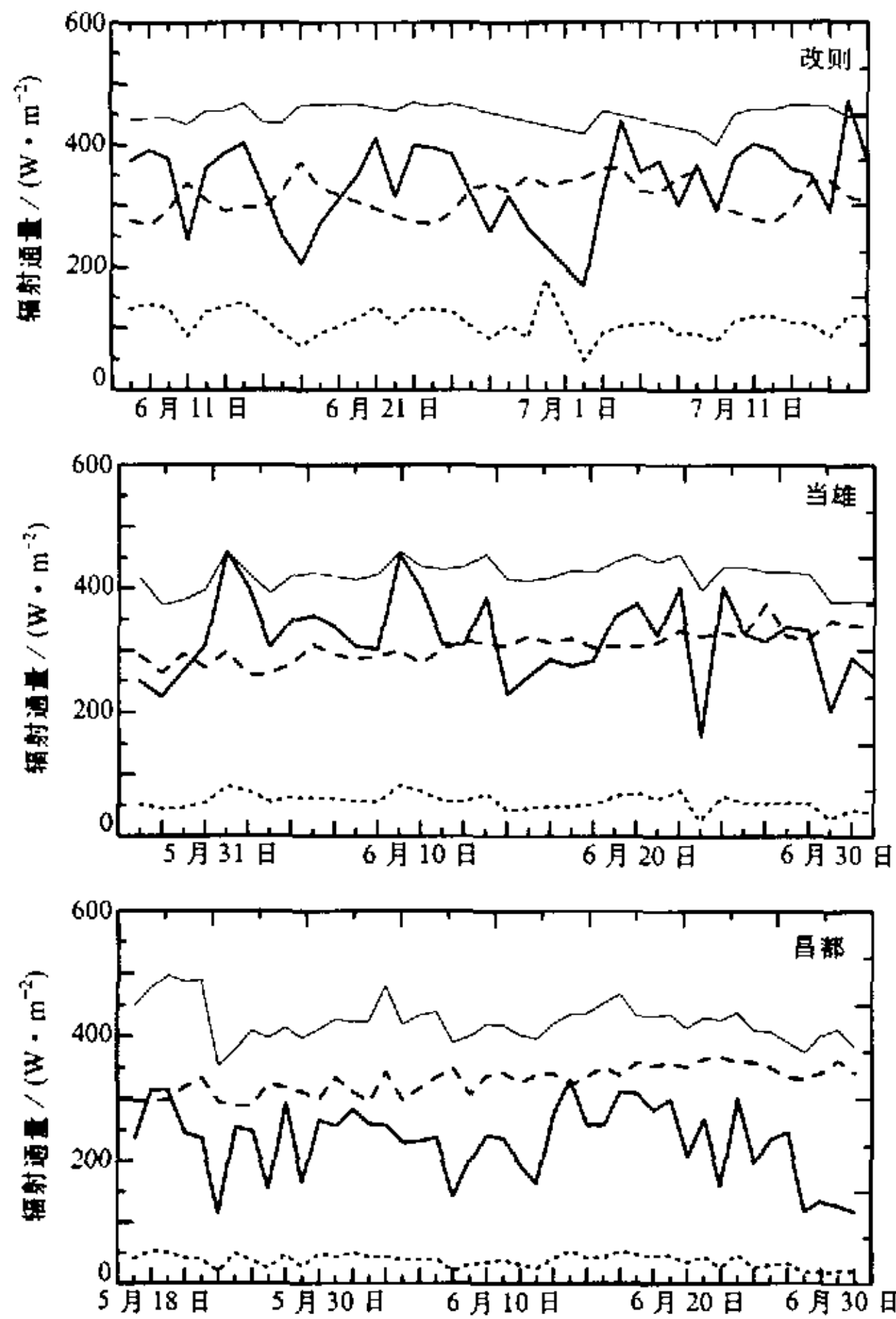


图7 1998年改则6月7日~7月16日、当雄5月27日~6月30日和昌都5月18日~6月30日总辐射( $S_t$ , 粗实线)、反射辐射( $S_r$ , 粗虚线)、大气辐射( $L_a$ , 细实线)和地面放出的长波辐射( $L_o$ , 长虚线)的逐日变化

换特征。昌都辐射平衡分量的日总量干期和湿期有突变现象,都以总辐射、反射辐射和地面放出的长波辐射日总量出现的第一个深谷为进入湿期的标志。

### 4.3 有效辐射

有效辐射为地面长波辐射和大气辐射之差,又称为长波净辐射。有效辐射的日变化与地面长波辐射基本相同。3个站干期的日较差大于湿期,当雄尤为明显。当雄湿期由于以多云阴湿天气为主,不仅使大气辐射增加,同时使地面温度下降,减小了地面的长波辐射。因此,在降水集中的湿期,地面长波辐射和有效辐射特别小,有效辐射的日较差仅有  $69 \text{ W/m}^2$ ,干期有效辐射的日较差达到  $200 \text{ W/m}^2$ 。

表4给出本次观测各站月平均有效辐射通量。各月有效辐射类似于地面的总辐射的分布特征,有效辐射东西向差异不明显的6~7月,以高原西部的有效辐射通量最大,往东逐渐减少。改则7月有效辐射

达到  $143 \text{ W/m}^2$ ,超过 QXPME X 的观测结果 ( $112 \text{ W/m}^2$ )。高原中部和东部的有效辐射有明显的日际变化,8月有效辐射仅为5月的60%,其变化特征与 QXPME X 的结果基本相似。

表4 1998年青藏高原夏季各站月平均有效辐射通量

站名 \ 月份	$\text{W/m}^2$				平均
	5	6	7	8	
改则		141**	143**		
拉萨*	159	113	82	71	106
当雄	128	109			
昌都	97	80	58	48	71

\* 资料取自日射站; \*\* 资料不足1个月



## 5 土壤热通量

改则和当雄对 1cm 深处的 4 个热通量传感器测定的土壤热通量进行平均, 代表观测区地表热通量; 昌都利用 0~5 cm 的土壤温度梯度计算出该层土壤热通量, 加上 5 cm 处 4 个热流板测定的平均值, 表示测区的土壤热通量。改则、当雄、昌都干期和湿期土壤热通量的平均日变化均与其他辐射通量有相似的日变化特点, 午间达到最大值, 日出前出现最小值, 夜间变化比较平稳, 白天从 09:00~19:00 土壤吸收热量, 其他时段放出热量, 即为负值。昌都和改则干期白天的土壤热通量均大于湿期。以昌都的日较差为最大, 干期和湿期日最大值分别为  $180 \text{ W/m}^2$  和  $138 \text{ W/m}^2$ ; 改则次之, 峰值分别为  $123 \text{ W/m}^2$  和  $105 \text{ W/m}^2$ ; 当雄干、湿期日较差不明显, 均为  $100 \text{ W/m}^2$  左右。因此可见, 3 个地区土壤热通量的差异明显, 其差异的主要原因可能是由于昌都进入雨季早, 地表潮湿, 吸收和消耗于土壤水分的热量较多。青藏高原 1979 年大多数观测站夏季土壤热通量不超过地表面供给大气热量 (吸收辐射) 的 4%<sup>[9]</sup>。本次观测的土壤热通量与吸收辐射的比例有显著的时空差异, 高原西部地区平均达到 7% 以上, 中部和东部地区平均比例为 4%。

改则、当雄和昌都日平均土壤热通量的日际变化如图 8 所示。昌都干期 5 天的地中热通量最大, 雨期来临后显著减少, 且日际间的振幅减少。3 个地区中以改则的日平均地中热通量最大, 当雄次之, 两站的日际变化的振幅都比昌都大, 每次降

水过程中, 土壤热通量的反映明显, 这表明土壤湿度对土壤热通量的影响较大。昌都和当雄日平均土壤热通量都出现过负值, 即土壤吸收的热量小于放出的热量; 但改则观测期间未出现过, 即土壤吸收的热量总是大于放出的热量并向深层土壤传导。

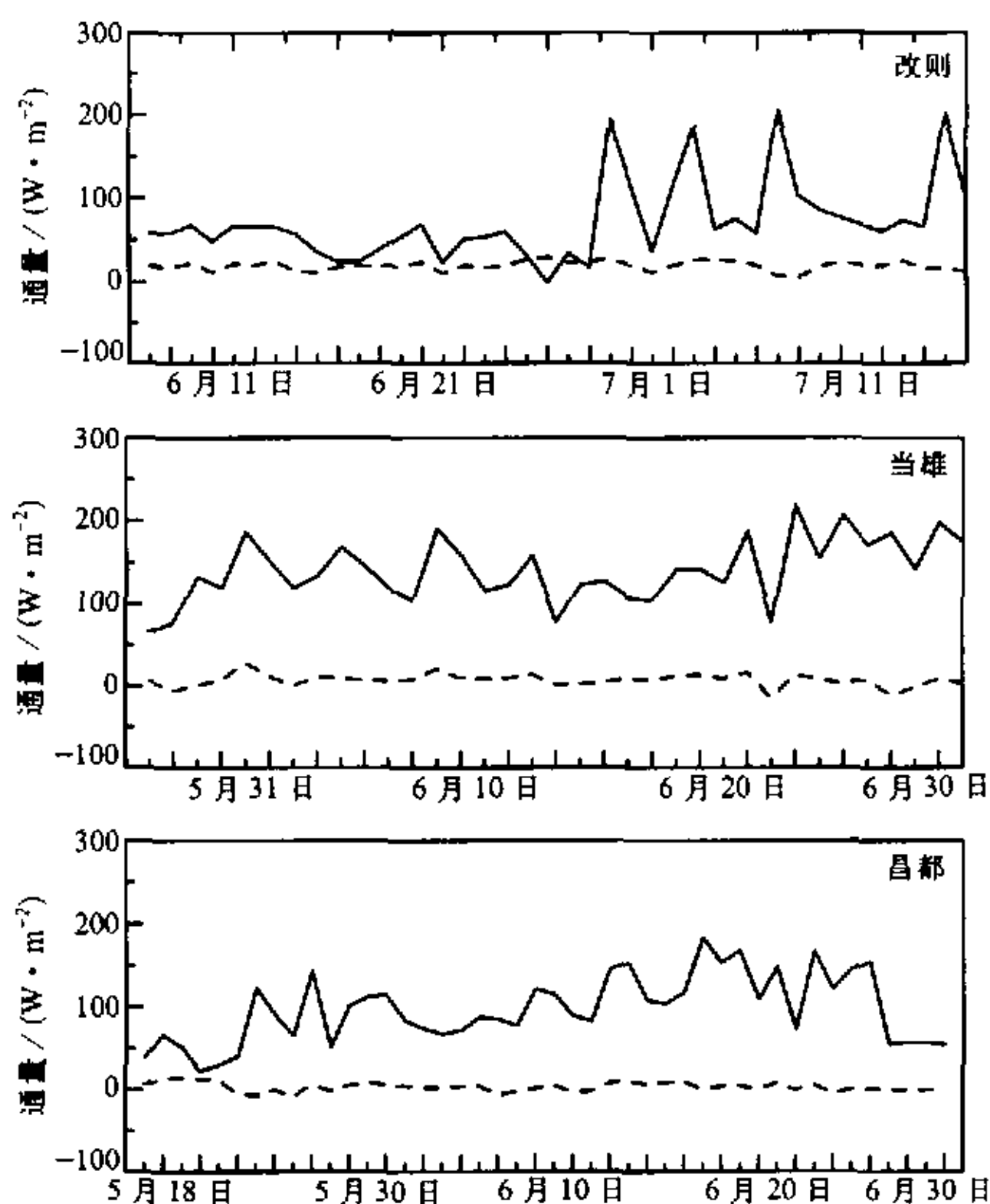


图 8 1998 年改则 6 月 7 日~7 月 16 日、当雄 5 月 27 日~6 月 30 日和昌都 5 月 18 日~6 月 30 日地中热通量 ( $Q_G$ , 虚线) 热源强度 ( $R_n - Q_G$ , 实线) 的日际变化

## 6 热源强度

高原下垫面对大气的加热作用是由辐射过程和湍流过程的平衡来决定的。前者是指地表吸收和放出短波和长波辐射的能量变化,后者则是指近地层吸收太阳辐射能以湍流方式向大气输送热量和水汽的能量消耗。根据下垫面的热平衡方程可表示为

$$R_n - Q_G = Q_H + Q_E, \quad (1)$$

$$R_n = S_i(1 - \alpha) - L_g + L_a, \quad (2)$$

式中 $Q_H$ 和 $Q_E$ 分别为感热和潜热, $Q_G$ 为地表土壤热交换通量, $R_n$ 为净辐射,又称辐射平衡。 $S_i$ 为总辐射, $\alpha$ 为反照率, $S_g$ 为反射辐射, $L_a$ 为大气逆辐射, $L_g$ 为地面放出的长波辐射,以上参数均为实测值。式(2)的左边项( $R_n - Q_G$ )和右边项( $Q_H + Q_E$ )都可以称之为热源强度。由于 $Q_G$ 是个小量,所占热源强度的比例不大,常用 $R_n$ 来讨论高原上的热源强度。TIPEX 3个大气边界层观测站由于观测的起始时间和持续时间都不同,难以有代表性地分析1998年夏季的热源状况。因此分析中采用了有净辐射观测的阿里、拉萨和昌都3个日射站资料。虽然日射站的观测仪器与TIPEX不同,但仍具有一定的代表性。由高原各站1998年5~8月逐旬净辐射旬平均强度的分布(表5)可知,昌都日射站与TIPEX观测站的净辐射观测序列差异不大,具有其代表性。高原西部阿里的净辐射最小,中部的拉萨和当雄为高值区,东南部昌都的净辐射大于西部,而小于中部。其结果与QXPME X的观测结果<sup>[1]</sup>相近。6月中旬前,3个地区的净辐射差异不大,都在70~100 W/m<sup>2</sup>之间,其后,以改则为西界,各区净辐射均有突变现象。6月下旬改则的净辐射为74 W/m<sup>2</sup>,7月上旬突增到119 W/m<sup>2</sup>,热源强度有明显的增加,而位置偏西的阿里净辐射变化很小,维持在70~80 W/m<sup>2</sup>,仅有正常的季节变化。拉萨净辐射6月下旬比6月中旬增加21 W/m<sup>2</sup>,7月中旬达到最大153 W/m<sup>2</sup>;当雄净辐射6月下旬比6月中旬增加34 W/m<sup>2</sup>;昌都净辐射6月中旬从6月上旬增加49 W/m<sup>2</sup>,旬平均最大净辐射与拉萨一样,出现在7月中旬。昌都虽然进入雨季早,但在5月下旬至6月中旬多为短暂的局地性雷阵雨,对净辐射影响不大,净辐射强度维持在80~90 W/m<sup>2</sup>;6月下旬起,常出现系统性降水过程,地表湿润程度增加,吸收到更多的辐射能,使得净辐射增强。由此可见,青藏高原西部净辐射

表5 1998年青藏高原各站净辐射旬平均强度

W/m<sup>2</sup>

月份 旬	5月			6月			7月			8月			平均
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
改则				76**	70	74	107	114**					88
阿里*	70	64	70	71	84	78	77	70	63	62	69	50	61
拉萨*	94	84	88	89	106	127	143	153	131	137	132	140	119
当雄			131**	147	138	172							
昌都*	99	88	97	93	147	125	123	132	130	102	104	96	111
昌都观测站		63**	84	90	139	106	128	142	125	120			110

\* 资料取自日射站; \*\* 旬资料不足10天

突变期比中部和东南部晚一旬左右。朱福康等人<sup>[10]</sup>已对净辐射的加热作用对大气环流的影响作了研究。从图 8 可以进一步看出高原中部的辐射加热强度最大, 东部次之, 西部最小。

## 7 结语

本文初步分析了 1998 年 TIPEX 改则、当雄和昌都强化观测期取得的辐射平衡各分量及相关资料, 讨论了干期和湿期总辐射、反射率、大气逆辐射、地面长波辐射和热源强度等的变化特征, 归纳几点结果讨论如下:

(1) 高原地面总辐射平均强度以西部最强, 中部次之, 东部最小。6 月中旬后随着雨季到来, 中部和东部的辐射强度明显减弱, 西部雨季降水和云量都比较少, 总辐射的变化不明显。在特定云天条件下, 观测到的瞬时和 10 min 平均总辐射大于太阳常数值

的记录。

(2) 高原地表反射率西部最大, 中部和东部差别不大。湿期各区地表反射率均有所降低。1998 年夏季高原中部的地面反射率与历次观测结果差异不大。

(3) 高原上有效辐射呈西高东低, 具有与总辐射类似的分布特征。中部和东部湿季的平均强度明显小于干期, 西部变化不大。

(4) 高原中部和东部的净辐射在 6 月中旬有明显的突变现象, 西部突变期出现在 7 月上旬, 以中部的辐射加热强度最大, 东部次之, 西部最小。湿期随着地面长波辐射的减少, 热源强度明显增大。

**致谢:** 中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所、北京大学和西藏自治区气象局参加我国第二次青藏高原气象科学试验的全体同仁, 为获得观测资料付出了艰辛的劳动, 特别是陈联寿院士及项目组的周明煜教授、陈家宜和徐祥德教授赴高原亲临现场指导观测工作, 曲绍厚研究员对本文提出了宝贵意见, 在此一并表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 沈志宝, 翁笃鸣, 潘守文, 青藏高原热源观测实验概况, 青藏高原气象科学实验文集 (一), 北京: 科学出版社, 1987, 1~9.
- 2 章基嘉, 朱抱真, 朱福康等, 青藏高原气象学进展, 北京: 科学出版社, 1988, 1~268.
- 3 徐祥德, 周明煜, 卞林根等, 青藏高原大气边界层观测分析和动力学研究, 北京: 气象出版社, 2000, 3~20.
- 4 陆龙骅, 周国贤, 张正秋等, 1992 夏季珠穆朗玛峰地区太阳直接辐射和总辐射, 太阳能学报, 1998, 3(16), 229~232.
- 5 陆龙骅, 戴家洗, 唐古拉地区的总辐射和净辐射, 科学通报, 1979, 24(9), 400~404.
- 6 青藏高原气象科学实验第一课题组, 1979 年 5~8 月地面辐射平衡时空分布特征, 青藏高原气象科学实验文集 (三), 北京: 科学出版社, 1987, 16~28.
- 7 谢贤群, 青藏高原 1979 年 5~8 月的地表反射率, 青藏高原气象科学实验文集 (二), 北京: 科学出版社, 1984, 17~23.
- 8 赵平, 青藏高原热源状况及其海气关系的研究, 中国气象科学研究院博士学位论文, 1999, 89~90.
- 9 徐兆生, 马玉堂, 青藏高原土壤热通量的测量, 计算和气候学推广方法, 青藏高原气象科学实验文集 (2), 北京: 科学出版社, 1984, 24~34.
- 10 朱福康, 赵卫, 青藏高原地面净辐射对大气环境作用的一些观测事实, 青藏高原气象科学实验文集 (三), 北

京: 科学出版社, 1987, 54~61.

## The Characteristics of Radiation Balance Components of the Tibetan Plateau in the Summer of 1998

Bian Lingen, Lu Longhua, Lu Changgui, Chen Yanjie and Gao Zhiqiu  
(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Liu Huizhi

(*Institute of Atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10029*)

Zhang Hongsheng and Chen Jiayi

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871*)

**Abstract** Based on the second Tibetan Plateau Meteorological Experiment (TIPEX) radiation data of Gerze, Damxung and Qamdo as well as related data, the characteristics of radiation balance components and heat source intensity for summer time, 1998 are presented in this paper. The result shows that the global radiation intensity of surface in the western plateau is stronger than that in the middle and eastern plateau. The surface albedo and radiation intensity are obviously reduced in June at monsoon onset with rain season coming. Meanwhile they are little changed in the western part where there are smaller clouds and rainfall. The variation of effective radiation has a same pattern as global radiation. The radiation budget in the middle and eastern plateau have a remarkable "jump" change in June and the jump does not occur in the western part until earlier July. The larger radiation budget appears in the middle and eastern Plateau, and the smaller in the western. In the wet period, the surface long-wave radiation becomes weak and the surface heat source to the atmosphere is significantly enhanced.

**Key words:** Tibetan Plateau; global radiation; albedo; long-wave radiation; heat source