

顾军明, 霍文, 艾力·买买提明, 等. 塔克拉玛干沙漠北缘近地层气象要素变化特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 239-247. [GU Junming, HUO Wen, ALI Mamtiming, et al. Variation Characteristics of Meteorological Elements near Surface Layer in North of the Taklimakan Desert[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(2): 239-247], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0239

## 塔克拉玛干沙漠北缘近地层气象要素变化特征

顾军明<sup>1,2,3</sup>, 霍文<sup>2,3</sup>, 艾力·买买提明<sup>2,3</sup>, 杨兴华<sup>2,3</sup>, 何清<sup>2,3</sup>

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 3. 塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站, 新疆 塔中 841000)

**摘要:**利用塔克拉玛干沙漠北缘哈德自动气象站 2011 年 1~12 月近地面层气象要素梯度观测资料, 分析了该地区近地层风速、气温和相对湿度的日变化规律及四季廓线特征, 并计算了哈德观测点大气稳定性和中性条件下的地表粗糙度。结果表明, 哈德地区近地层 0.5~10 m 高度范围内气温、相对湿度和风速都呈现出明显的日变化特征。其中, 风速为白天高、夜晚低, 中午 15:00 各层风速均达到最大, 凌晨 04:00 降至最低, 其日变化幅度为 1.1~1.7 m/s; 14:00~15:00 各层气温均为最大值, 最低气温出现在 05:00~06:00, 昼夜温差大, 最大温差为 0.5 m 处的 16.5 °C, 下午 17:00 至次日 09:00 有逆温存在; 相对湿度日变化在 25%~55% 之间, 其变化规律与风速、气温的相反, 凌晨 06:00 最大, 下午 15:00 最低。哈德地区四季近地层风、温、湿廓线变化规律明显, 14:00 四季风速都呈指数形式增长, 其中 0.5~2 m 间低层风速变化明显大于 2~10 m 间高层的变化; 春、夏季气温主要以指数形式增长, 冬季以线性增长为主, 四季都有逆温存在; 冬季的相对湿度明显大于其它季节。另外, 哈德地区全年以东北风为主, 2 m 与 10 m 高度的主导风向一致, 风频稍有差别。中性层结大气条件下的空气动力学粗糙度范围为  $1.42 \times 10^{-11} \sim 1.7 \times 10^{-3}$  m, 平均值为  $4.2 \times 10^{-5}$  m。

**关键词:**塔克拉玛干沙漠; 近地层; 粗糙度; 过渡带

**文章编号:**1006-7639(2014)-02-0239-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0239

**中图分类号:**P42

**文献标识码:**A

### 引言

大气边界层是地球与大气之间动量、能量和各种物质(水分、二氧化碳和其他温室气体及各种污染物成份)上下输送的纽带。而且, 一些重要的天气现象, 如降水、雾、霜等特别是沙尘暴、暴雨等突发性气象灾害的形成大多与边界层过程密切相关<sup>[1]</sup>。因此边界层结构特征的研究, 尤其复杂地形条件下的大气边界层特征一直是边界层气象学研究的热点。随着人类活动的加剧, 大气边界层中各种气象条件发生着复杂的变化, 这些变化直接影响到人类的生存环境, 因而大气边界层中各气象要素的垂直廓线及其变化越来越成为科学家关心的课题, 其中以对北京 325 m 气象塔<sup>[2]</sup>、天津 250 m 气象塔<sup>[3]</sup>研

究最多。此外, 彭艳<sup>[4]</sup>、李家伦<sup>[5]</sup>、游庆龙<sup>[6]</sup>等分别利用青藏高原大气科学考察试验改则、当雄、昌都、纳木错等地大气边界层物理观测资料, 着重揭示了各地区边界层结构的观测事实, 尤其是近地层风、温、湿特征和土壤温、湿等气象要素变化特征。

我国西北干旱区, 处于东亚季风和印度季风影响区的边缘地带, 地形复杂, 加上干旱区自身很强的太阳辐射及地表加热作用, 使得影响该区域大气边界层形成和发展的环境特征和气候背景都具有明显的特殊性<sup>[7]</sup>。为此, 许多科学家做了相关的分析研究<sup>[8-13]</sup>。胡隐樵等<sup>[8]</sup>首次发现了邻近绿洲的荒漠大气逆湿, 并总结提出了绿洲与荒漠相互作用下热力内边界层的特征。王俊勤等<sup>[9]</sup>对 HEIFE 试验区的 3 种下垫面(农田绿洲、戈壁和沙漠)进行了边界

收稿日期:2013-05-08; 改回日期:2013-11-27

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费(IDM201001)、国家自然科学基金(41175140, 41175017)、中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2009002)、新疆维吾尔自治区绿洲生态重点实验室开放课题(XJDX0206-2010-02)共同资助

作者简介:顾军明(1987-), 男, 汉族, 甘肃天水人, 在读硕士, 主要从事干旱区环境灾害与防治方面的研究。E-mail: gjm219@126.com

通讯作者:何清(1965-), 男, 四川成都人, 博士, 研究员, 主要从事沙漠气象研究。E-mail: qinghe@idm.cn

层探测,分析结果表明,绿洲“冷岛效应”明显。朱平<sup>[10]</sup>、季国良<sup>[11]</sup>等利用黑河试验资料,分别对比分析了绿洲、沙漠及戈壁边界层中风、温、湿分布规律,初步研究了该地区绿洲和沙漠地面辐射收支的基本特征。董旭光等<sup>[12]</sup>利用宁夏鸳鸯湖地区 61 m 铁塔一年的气象观测资料,分析了该地区近地层不同高度各气象要素的变化规律。仵抗等<sup>[13]</sup>利用 20 m 的观测塔对巴丹吉林沙漠的比湿进行观测。塔克拉玛干沙漠位于欧亚大陆腹地,是我国最大的沙漠<sup>[14]</sup>。马志福等<sup>[15]</sup>对该地区冬、夏季平均气温、相对湿度、气压分布规律进行了系统研究,建立了冬季平均气温的预测方程。金莉莉<sup>[16]</sup>、缪启龙<sup>[17]</sup>、李祥余<sup>[18]</sup>、王珂<sup>[19]</sup>等分别对塔克拉玛干沙漠腹地的辐射特征、湍流特征以及春季阴天近地层风速、温度和湿度廓线特征层风场特征进行了研究,但对于其北缘沙漠—绿洲过渡带近地层气象要素变化特征的研究还较少。

## 1 资料及处理

哈德位于塔克拉玛干沙漠北缘荒漠向绿洲过渡区,下垫面为平坦的风蚀裸露古河床,属于塔里木河冲积—淤积平原。在哈德流动沙丘上的自动站附近安装了一套 10 m 铁塔相关系统,气象站往北 2 km 为胡杨林,东距肖塘站 50 km,测站周边有稀疏的灌丛沙包和稀疏矮小的植被,灌丛沙包的高度 1.5 ~ 2.0 m,稀疏矮小的植被多为红柳与梭梭,距离最近的沙包约 50 m,植被约 10 m(图 1)。

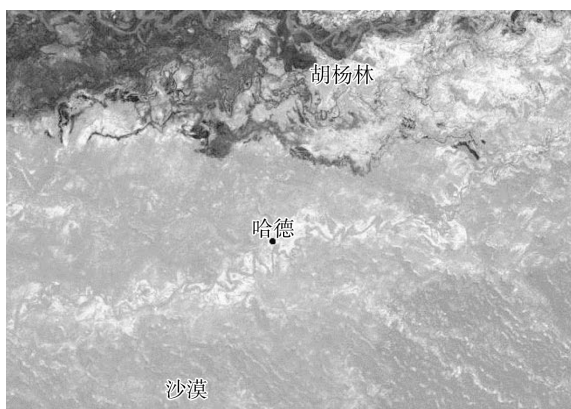


图 1 哈德地区地理位置图

Fig. 1 Geographical location of Hade area

### 1.1 资料来源

利用 2011 年 1 月 1 日至 2011 年 12 月 31 日哈德 10 m 梯度自动站系统所探测的风、温、湿逐小时梯度资料,时间是当地时。哈德 10 m 梯度自动探测系统建于自然沙面上,是塔克拉玛干沙漠塔中大气

环境观测实验站的重要组成部分,塔上共有 5 层观测平台,高度分别为 0.5、1、2、4、10 m,其中风速、气温、湿度 5 层,此外 2 m 和 10 m 安装有风向仪。仪器参数见表 1。

表 1 仪器参数表

Tab. 1 Instrument parameters

测量要素	测量范围	分辨率	精度
气温/℃	- 40 ~ + 60	0.1	0.1
相对湿度/%	0 ~ 100	1	1
气压/hPa	500 ~ 1100	0.1	0.1
风向/°	0 ~ 360	2.8	3
风速/m · s <sup>-1</sup>	0 ~ 60	0.1	0.1

### 1.2 资料处理

气象要素的日变化特征分析采取全年同一时段内所有数据的平均值;四季日变化特征分析选取本季节一日内 02:00、08:00、14:00、20:00 的平均值,每 6 h 一次。

由于仪器发生故障以及传输和记录过程中的其它原因,会出现一些虚假的数据,对明显错误的数据必须进行订正或删除,以免影响结果的可靠性。判断数据是否有问题的基本原则:

(1)不符合一般统计特征,如气温 > 60 °C,风速达 100 m/s;

(2)没有物理意义,如风向 > 360°,风速数值为负值;

(3)不满足时空变化的连续性。除非在特殊天气条件下(如锋面过境),气象要素不可能在有限的时空范围内发生极剧烈的变化,而在具体的质量控制过程中会遇到上下相邻层的风速差别很大的情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 近地层气象要素日变化特征

#### 2.1.1 风速

近地层内气象要素的日变化特征非常明显,认识其规律对于理解边界层物理机制有一定帮助,且具有实用价值<sup>[20]</sup>。图 2 给出了塔克拉玛干沙漠北缘哈德地区 2011 年全年近地层不同高度平均风速的日变化。可以看出,各高度层的风速都呈现出明显的“白天风速大、夜晚风速小”的日变化特征,同一时次的风速随高度的增加而增大,且 2 m 以上上下层的差距夜间大、白天小,与李家伦等<sup>[5]</sup>的研究

结果一致,这是由于白天湍流输送造成上下层动量交换较强。夜晚风速较小,且变化不明显,从凌晨06:00左右开始风速逐渐增大,且高度越高开始时间越推迟,至中午15:00各层风速均达到最大值,此后随着太阳有效辐射的降低,风速逐渐减小,至凌晨04:00风速降至最低,风速日变化幅度为1.1~1.7 m/s。哈德地区风速日变化特征与李祥余<sup>[21]</sup>在塔中地区的观测结果相似,只是风速日变化振幅更大。分析这一现象可知,在相同环流背景下沙漠—绿洲过渡带对风速产生的摩擦作用较沙漠强,使得过渡带白天风速比沙漠减弱得多,而夜间过渡带与沙漠的风速都较小,差别不大,其结果使得沙漠—绿洲过渡带的风速日较差比沙漠大,但比绿洲要小<sup>[11]</sup>。

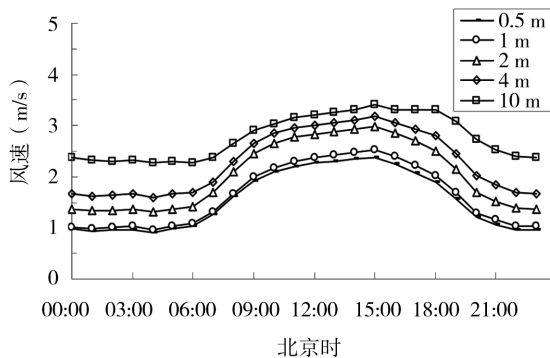


图2 近地层不同梯度平均风速的日变化

Fig. 2 Diurnal variations of average wind speed with different gradient near surface layer in 2011 in Hade

### 2.1.2 气温

图3是2011年全年哈德地区近地层不同高度平均气温日变化曲线。可以看出,各高度层的气温都呈明显的日变化特征,即白天气温明显大于夜晚。从凌晨05:00开始,0.5 m处的气温开始上升,且高度越高升温开始的时间越晚,10 m处是从06:00开始升温的,14:00~15:00各层气温均达到最大值,之后气温开始快速降低,最低气温出现在05:00~06:00,且气温最高和最低时的位相随高度增加而滞后。从下午17:00开始各层气温出现了一个交汇点,逆温开始形成,直到次日09:00逆温消散,这与青藏高原西部的改则地区相比<sup>[5]</sup>,逆温形成时间提前1~2 h,消散时间推迟1 h,这可能与两地所处的地理位置、地形及下垫面性质有关。其中逆温最弱是在下午17:00,气温垂直递减率仅为 $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,最强是在夜晚22:00~23:00,0.5 m与10 m间的温差达 $3.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,气温垂直递减率高达 $41.7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,这种超强逆温一直持续到早晨08:00,之后

逐渐降低,这种情况多发于沙漠,尤其是沙尘暴发生时,近地面气温会急剧降低,且强度大于沙漠—绿洲过渡带<sup>[19]</sup>。同时还发现,各高度层昼夜温差都达到了 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其中0.5 m处最大为 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这与青藏高原西部地区气温变化相似<sup>[4]</sup>,这可能与当地天空云量少且下垫面为荒漠有关。

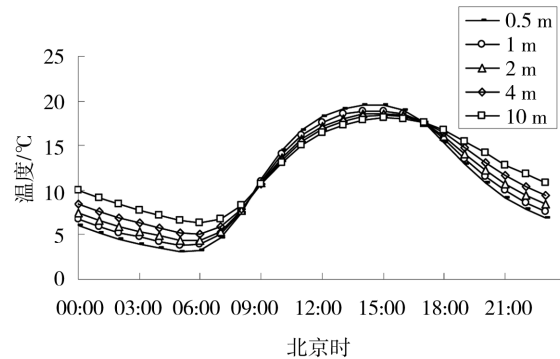


图3 近地层不同梯度平均气温的日变化

Fig. 3 Diurnal variations of the average temperature with different gradient near surface layer in 2011 in Hade

### 2.1.3 相对湿度

塔克拉玛干沙漠深居内陆、远离海洋,降水稀少,年蒸发量大,是世界上最干旱的地区之一。图4是2011年全年哈德地区近地层不同高度平均相对湿度日变化曲线。相对湿度日变化明显,呈夜高昼低的单峰型变化特征。从凌晨06:00开始,伴随着太阳有效辐射的增强,近地面开始升温,相对湿度开始快速降低,下午15:00降低至最小值,之后又持续增大,相对湿度日变化在25%~55%之间,且相对湿度最大和最小值的位相随高度增加而提前,这与塔中地区的相对湿度变化基本一致,只是值要高于塔中地区,小于绿洲地区。这是由于绿洲地表植被覆盖度大,土壤比较湿润,不断加湿大气,同时白天和夜间绿洲边界层的逆温层抑制了湿空气向上空扩散,使近地层的湿空气能够稳定长时间保持,产生绿洲“湿岛”效应<sup>[10]</sup>。另外,聚集在绿洲低层的湿润空气在大气逆温层的强迫下,通过水汽平流和水汽湍流输送给周围邻近荒漠的近地层大气,使邻近荒漠大气湿度相对于沙漠腹地明显偏大<sup>[11]</sup>。青藏高原大气科学考察试验<sup>[4-5,22]</sup>,由于观测时间短,湿度观测资料较少,相对湿度的位相变化规律不明显。从图4还可以看到,相对湿度昼夜差随高度增加而减少,最大值为0.5 m处的30.1%,10 m处也达到了25.6%;同一时刻不同高度相对湿度的差距白天小,夜晚大。其中0.5 m和10 m的相对湿度差值在00:00达到最大为4.7%,下午17:00最小,仅为0.

7%,这可能是由于夜晚风速较小且辐射冷却较强的原因。可见,相对湿度的日变化特征与气温的日变化存在很好的反对应关系。

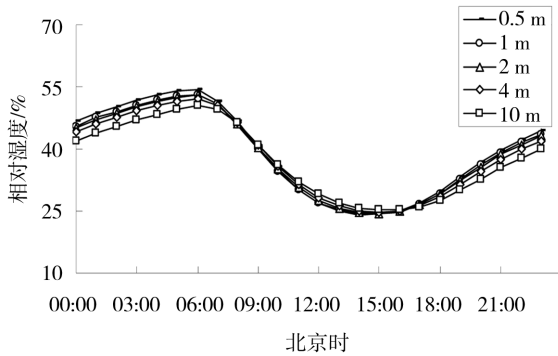


图4 近地层不同梯度相对湿度的日变化  
Fig.4 Diurnal variations of the average relative humidity with different gradient near surface layer in Hade

### 2.2 四季近地层气象要素垂直廓线特征

为了更好地反映2011年不同季节近地层气象要素的日变化特征,分别选取1、4、7、10月代表冬、春、夏、秋四季,通过对四季风、温、湿廓线的对比分析,更好地认识塔克拉玛干沙漠北缘近地层气象要

素的季节变化规律。

#### 2.2.1 风速

图5为哈德地区四季平均风速日变化廓线。由图可知,春季哈德近地层风速梯度日变化规律明显,不论白天还是黑夜风速都随高度的增加而增大,且0.5~4 m间风速的变化大于4~10 m间的变化。其中夜间02:00,0.5~4 m风速增大1.0 m/s,4~10 m增大0.8 m/s,其变化满足指数关系;晚上20:00的变化情况与02:00的基本一致,但08:00和14:00的风速在4 m高度以上变化较小,4~10 m间风速变化分别为0.19 m/s和0.23 m/s。夏季风速梯度变化与春季基本相同,也是以指数形式增长,只是风速变化主要发生在2 m高度以下,尤其是早晨08:00,2~10 m间的风速差只有0.5 m/s。秋季风速梯度变化与春、夏季完全不同,白天08:00和14:00风速基本保持指数增长形式,而夜间02:00和20:00风速的变化基本呈线性增长。秋季由于近地层大气层结趋于稳定,逆温不明显,从而造成风速梯度较大。冬季风速变化更特殊,除白天14:00风速呈指数形式增长外,其它时刻都近乎呈线性形式增长,且全天风速都较低,这与冬季近地层大气层结稳定有关。

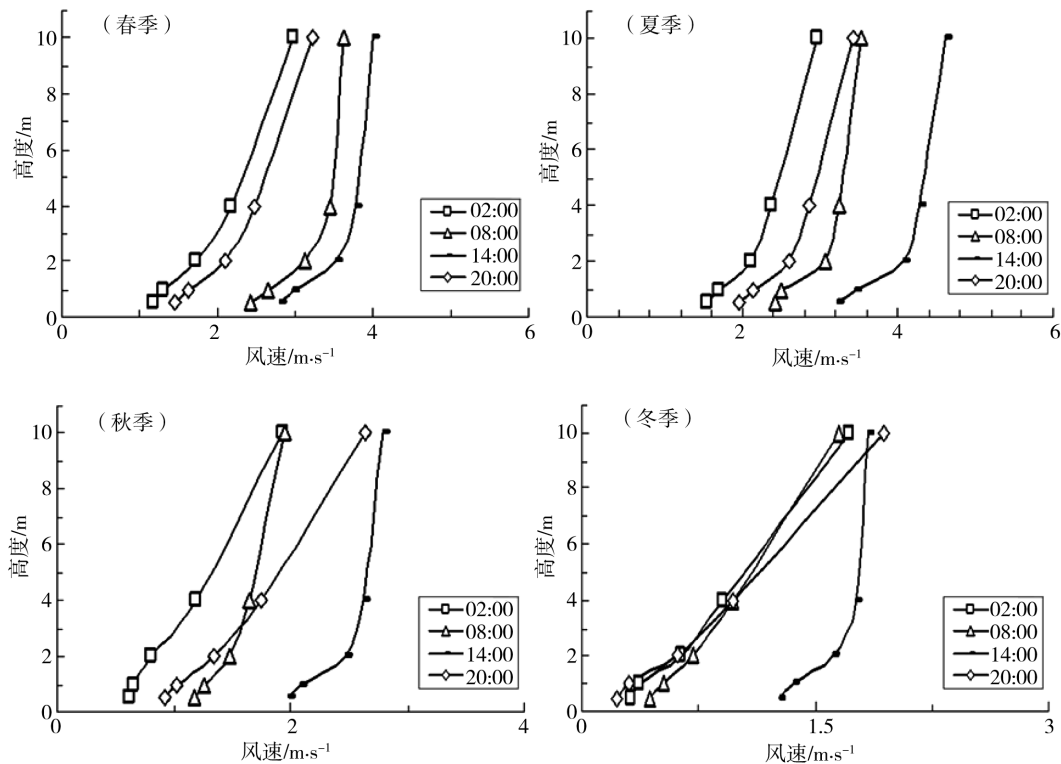


图5 哈德四季近地层风速廓线  
Fig.5 Vertical profiles of wind speed in four seasons near surface layer in Hade

### 2.2.2 气温

图6为哈德地区四季平均气温日变化廓线。由图可知,春季夜间02:00地表辐射冷却,而上层气温还保持着白天的变化趋势,导致气温随高度的增加而升高,大气呈逆温状态,至早晨08:00逆温消失,这与朱文宝等<sup>[23]</sup>对环青海湖地区草地的研究结论不同;14:00与08:00的变化趋势基本一致,即气温随高度的增加而降低,其变化主要发生在2 m高度以下;傍晚20:00随着太阳

落山,近地面快速冷却,大气层进入逆温状态。对比发现,夏季各时刻的气温廓线变化特征与春季极其近似,只是各层气温值大于春季的。秋季,早晨08:00的气温垂直廓线与其他季节不同,气温梯度很小,0.5~10 m间温差只有0.8℃;而其它时刻基本保持一致。冬季,除了白天14:00,其它时刻大气都处于较强的逆温状态,且温差梯度较大。如傍晚20:00,0.5~10 m间温差可达4.4℃,处于较强的辐射冷却阶段。

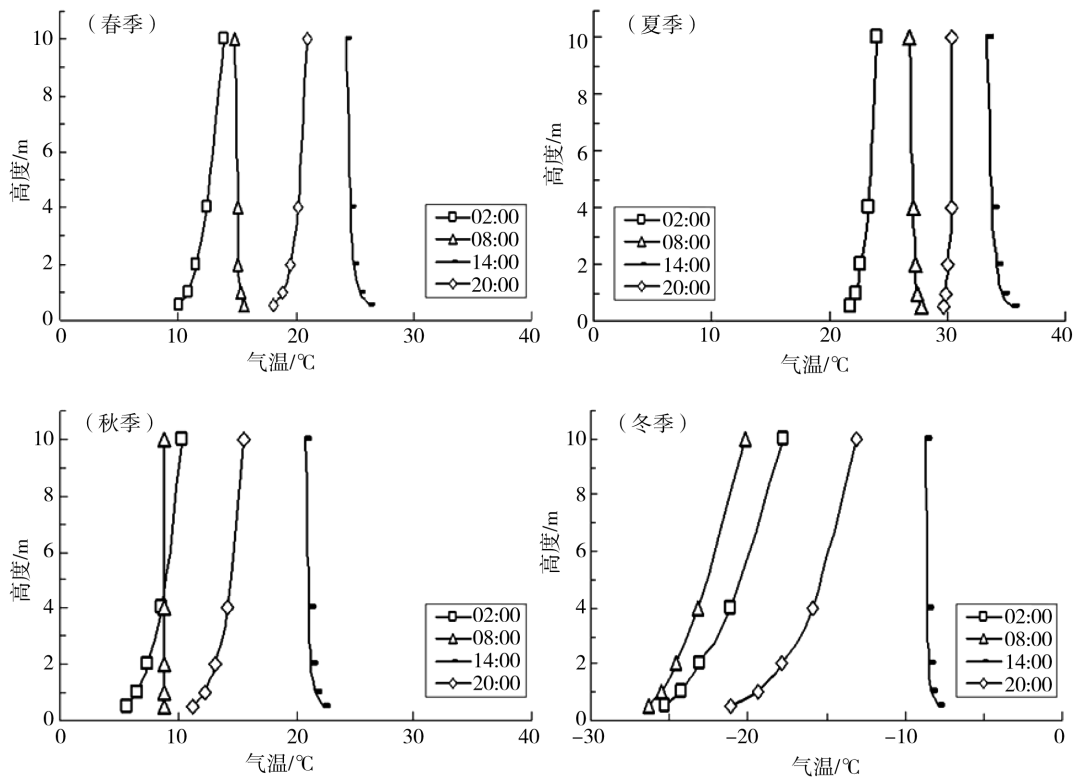


图6 哈德四季近地层气温廓线

Fig.6 Vertical profiles of temperature in four seasons near surface layer in Hade

### 2.2.3 相对湿度

图7为哈德地区四季平均相对湿度日变化廓线。由图可知,春季02:00和20:00的相对湿度垂直廓线特征基本一致,都是随高度的增加而减小,而早晨08:00相对湿度在1 m处存在一个转折点,相对湿度先降低,然后再持续增大,但2~10 m间相对湿度差值很小,仅有0.3%;中午14:00,不同高度的相对湿度变化很小,0.5~10 m范围变化只有0.8%。与春季相比,夏季除了中午14:00之外,其他时刻的相对湿度均较春季大,且夜间02:00的相对湿度明显大于早晨08:00的。夏季早晨08:00近地

层的气温已接近28℃左右,使得相对湿度比夜晚低很多。秋季相对湿度较夏季有所减小,02:00各层相对湿度明显小于08:00,且二者的差值随高度的增加而增大,恰好与春、夏季的相反,而其它时刻几乎相同。冬季是四季中相对湿度最高的季节,这可能与地面积雪有关。此外,各个时刻都很特殊。其中14:00相对湿度的梯度变化较其他季节明显许多;02:00和20:00的变化较复杂,在0.5~1 m的范围内相对湿度随高度的增加而降低,而在1~2 m范围内却呈相反的变化趋势,且2 m处是一个转折点,20:00在2~10 m间湿度变化较大,为8.2%。

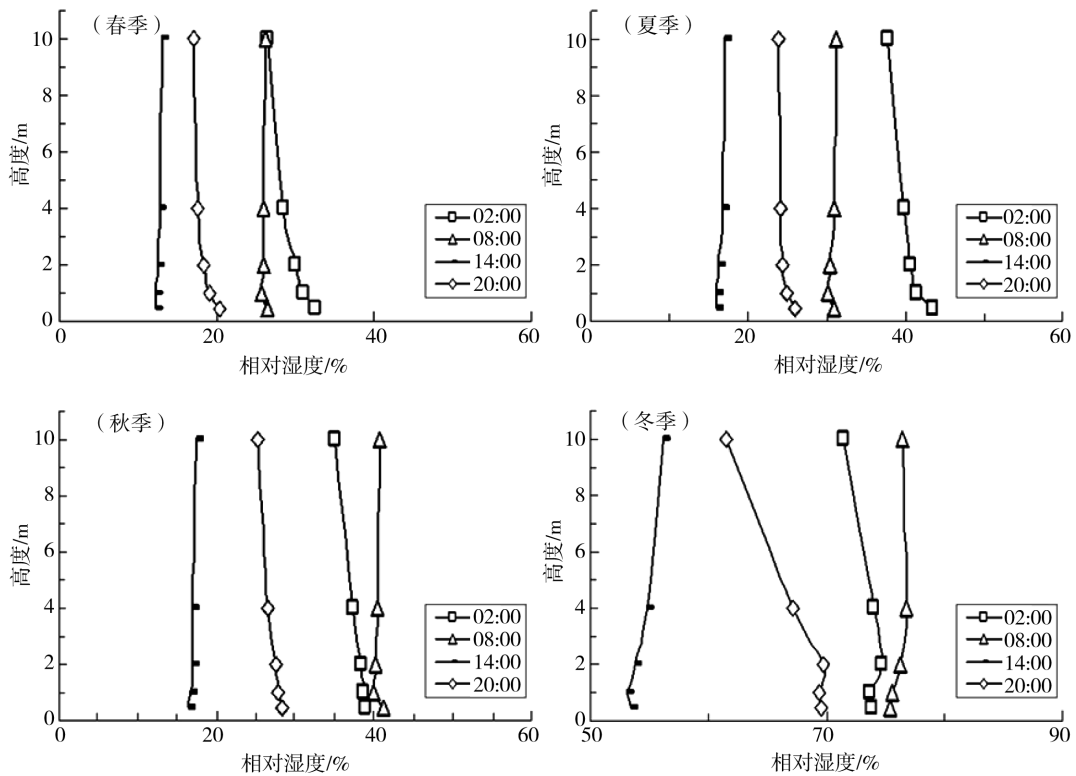


图7 哈德四季近地层相对湿度廓线

Fig. 7 Vertical profiles of relative humidity in four seasons near surface layer in Hade

### 2.3 近地层风向变化特征

图8为哈德地区2011年2、10 m处全年风向玫瑰图。可以看出,哈德地区全年以东北风为主,其中NNE、NE、ENE和E 4个风向共占全年风向的38.3%,这与整个塔克拉玛干沙漠的年盛行风向一致,这主要是由地形的影响形成的<sup>[24]</sup>。天山横亘新疆中部,当冷空气西来遇到天山的阻挡时,会发生绕流,绕过新疆北部,顺天山北麓转为西北气流东移。当东移到天山东侧,遇到地势低矮的“大缺口”——

沙漠东侧时,冷空气一泻而入,灌入塔克拉玛干沙漠东部,然后向西挺进,形成盛行偏东风。2 m与10 m高度的主导风向一致,只是风频略有差别。其中,2 m高度NE的风频最高,为12.7%,其次是ENE,为9.6%,WSW占7.5%;10 m高度NE的风频为11.7%,其次是ENE,为11.2%,WSW为5.8%。

### 2.4 空气动力学粗糙度

#### 2.4.1 大气稳定度的判定

现行的大气稳定度的判定方法较多,如理查逊数法、温差法、风速比法、Pasquill法、Turner方法等<sup>[25]</sup>。根据观测数据的特点,本文采取理查逊数法<sup>[26]</sup>对哈德观测点近地层大气的稳定度进行判定。计算公式如下:

$$R_i = \frac{g \sqrt{Z_1 Z_2}}{T} \frac{\Delta T}{(\Delta u)^2} \ln \left[ \frac{Z_2}{Z_1} \right] \quad (1)$$

式中, $\bar{T}$ 为平均环境绝对温度(K); $g$ 为重力加速度( $m/s^2$ ),由海拔高度计算得出当地值为 $9.7974 m/s^2$ ;  $u$ 为风速( $m/s$ ), $Z$ 为距离地面高度(m)。

结合具体情况采取了平原区的划分标准<sup>[27]</sup>,中性层结理查逊数的取值范围为 $-0.275 \sim 0.089$ ,哈德稳定度的分类结果如表2。由表中可知,观测期间哈德观测点中性大气层结(D类)在3个高度上

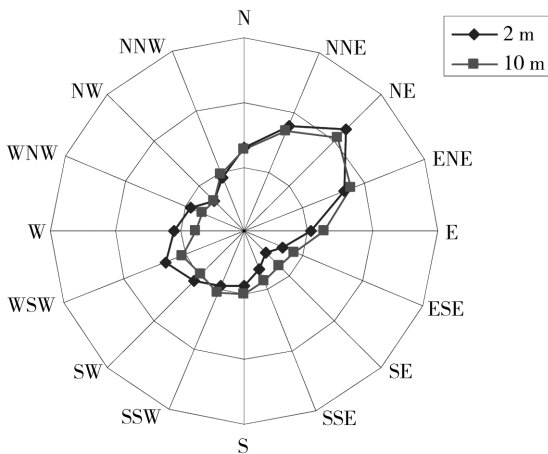


图8 哈德近地层风向玫瑰图

Fig. 8 Wind directions rose near surface layer in Hade

分别占13.7%、7.9%、12.61%。为了确保数据对中性层结具有代表性,首先对2、4、10 m高度所测不完整的、上层风速大于下层的数据(即2 m大于4 m和10 m、4 m大于10 m的风速)、2 m的风速 $\geq 4.4$

m/s(风沙运动的临界风速)和 $\leq 0.22$  m/s的数据全部予以剔除;其次要求2~10 m、4~10 m和2~4 m各层间的理查逊数 $R_i$ 都在中性层结取值范围内,选择2 m和10 m的风速进行空气动力学粗糙度计算。

表2 按照平原地区 $R_i$ 数分类标准得到的哈德稳定度频数分布(单位:%)

Tab.2 Distribution of stability frequency classified by the standard of Richardson for plain areas in Hade(Unit:%)

稳定度类别	$R_i$ (平原)等级	2~4 m	2~10 m	4~10 m
A(极不稳定)	$< -2.51$	3.8	16.2	20.7
B(不稳定)	$-2.51 \sim -1.07$	6.6	11.8	9.8
C(弱不稳定)	$-1.07 \sim -0.275$	17.0	7.6	7.1
D(中性)	$-0.275 \sim 0.089$	13.7	7.9	12.6
E(弱稳定)	$0.089 \sim 0.128$	3.2	2.4	4.2
F(稳定)	$\geq 0.128$	55.7	54.1	45.7

#### 2.4.2 空气动力学粗糙度 $z_0$ 计算

近地层中风受到地面摩擦力的影响而减速,因而随高度的升高,摩擦力减弱,风速增大。无风沙运动的床面上大气呈中性层结时,风速与高度的对数成正比<sup>[28]</sup>。大气为中性层结时,风速廓线表达式为:

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2)$$

$$u = 5.75 u_* \lg \frac{z}{z_0} \quad (3)$$

式中, $u$ 为高度 $z$ 处的风速, $u_*$ 为摩阻速度, $\kappa$ 为卡曼常数( $\kappa = 0.4$ ), $z$ 是高程, $z_0$ 为空气动力学粗糙度。当 $z = z_0$ 时, $\lg \frac{z}{z_0} = \lg 1 = 0$ ,则 $u = 0$ 。

根据公式(3),利用2个观测高度的风速差推导出如下公式:

$$\lg z_0 = \frac{u_1 \lg z_2 - u_2 \lg z_1}{u_1 - u_2} \quad (4)$$

利用2 m、10 m高度层风速资料,根据公式(4),计算出哈德中性层结大气条件下的空气动力学粗糙度,其范围为 $1.42 \times 10^{-11} \sim 1.7 \times 10^{-3}$  m,平均值为 $4.2 \times 10^{-5}$  m。该结果与刘小平等<sup>[29-30]</sup>通过对8种沙质床面和6种粒级的砾石测定12种覆盖度在10种自由风速时的空气动力学粗糙度进行风洞模拟实验后测得光滑床面的 $z_0$ 平均值为 $9.5 \times 10^{-6}$  m和 $2.6 \times 10^{-5}$  m,以及梅凡民等<sup>[31]</sup>在毛乌素平坦沙地上的野外观测试验值 $1.2 \times 10^{-5} \sim 4.5 \times 10^{-5}$  m的量级比较接近,而比陈家宜等<sup>[32]</sup>1988年和1992年利用HEIFE试验区平坦戈壁滩2批数据测得的 $z_0$

值 $1.5 \times 10^{-3}$  m和 $1.3 \times 10^{-3}$  m小2个数量级。

### 3 结论与讨论

(1)塔克拉玛干沙漠北缘哈德地区近地层0.5~10 m高度范围内,风速、气温和相对湿度均表现出明显的单峰日变化特征。其中,上层风速明显大于下层,上下层风速差夜间大于白天;气温,白天明显大于夜晚,夜间存在明显的逆温;相对湿度呈夜高昼低的日变化特征,昼夜差随高度的升高而减少,最大为30.1%,相对湿度的日变化特征与气温的日变化存在很好的反对应关系。

(2)哈德地区春季近地层风速梯度日变化规律明显,全天风速都随高度的升高呈指数形式增大,夏季风速梯度变化与春季基本相同,只是风速变化主要发生在2 m高度以下,秋季白天08:00和14:00的风速基本呈指数增长,但夜间02:00和20:00风速的变化大致呈线性增长,冬季风速除中午14:00的呈指数形式增长外,其它时刻几乎都呈线性增长;逆温明显。秋季气温早晨08:00的与春、夏季不同,与之对比的是冬季除了白天14:00,其它时刻都处在一个较强的逆温状态;春季早晨08:00相对湿度在1 m处存在一个转折点,08:00相对湿度低于夜晚。秋季02:00各层相对湿度明显小于08:00,而其它时刻和春、夏季的几乎相同。冬季02:00和20:00,0.5~1 m范围内相对湿度随高度的增加而降低,而1~2 m范围内却呈相反的变化趋势,其中2 m是相对湿度变化的转折点。

(3)哈德地区全年以东北风为主,其中NNE、NE、ENE和E 4个风向占全年风向的38.3%,这与

整个塔克拉玛干沙漠的年盛行风向一致,2 m 与 10 m 高度的主导风向一致,只是风频略有差别。

(4) 观测期间哈德观测点中性大气层结(D类)在3个计算高度上分别占到了13.7%、7.9%、12.61%,空气动力学粗糙度范围为 $1.42 \times 10^{-11} \sim 1.7 \times 10^{-3}$  m,平均值为 $4.2 \times 10^{-5}$  m。

本结论对研究塔克拉玛干沙漠北缘地区大气污染、提高空气质量预报精度和近地层湍流特征以及陆面过程数字化、确定空气动力学参数等有重要意义,但结果仅限于10 m 以内近地层温、湿、风特征及中性层结下的粗糙度。另外,观测资料有限,其结果只能反映这一时段的平均状况,随着资料的积累,下一步将根据大气层结稳定度和典型天气背景开展 $z_0$ 与下垫面状况、大气稳定度及风速相互关系的研究。

#### 参考文献:

- [1] 张强. 大气边界层气象学研究综述[J]. 干旱气象,2003,21(3): 526-532.
- [2] 赵鸣. 论塔层风、温廓线[J]. 大气科学,1993,17(1):65-76.
- [3] 解以扬,刘学军. 天津气象塔风温梯度观测资料的统计特征[J]. 气象,2003,29(1):592-595.
- [4] 彭艳,张宏升,刘辉志,等. 青藏高原近地面层气象要素变化特征[J]. 北京大学学报(自然科学版),2005,41(2):180-190.
- [5] 李家伦,洪钟祥,孙菽芬,等. 青藏高原西部改则地区大气边界层特征[J]. 大气科学,2000,4(3):301-312.
- [6] 游庆龙,康世昌,李潮流,等. 青藏高原纳木错气象要素变化特征[J]. 气象,2007,33(3):54-60.
- [7] 张强. 极端干旱荒漠地区大气热力边界层厚度研究[J]. 中国沙漠,2007,27(4):614-620.
- [8] 胡隐樵,高由禧. 黑河实验(HEIFE)-对干旱地区陆面过程的一些新认识[J]. 气象学报,1994(3):285-296.
- [9] 王俊勤,胡隐樵,陈家宜,等. HEIFE 区边界层某些结构特征[J]. 高原气象,1994,13(3):299-306.
- [10] 朱平,蒋瑞宾. 绿洲、沙漠及戈壁边界层特征对比分析[J]. 气象,1996,22(3):48-50.
- [11] 季国良,马晓燕,邹吉玲,等. 黑河地区绿洲和沙漠地面辐射收支的若干特征[J]. 干旱气象,2003,9(3):29-33.
- [12] 董旭光,王栋成,陈艳春,等. 宁夏鸳鸯湖地区低空气象要素观测分析[J]. 干旱气象,2006,24(3):62-67.
- [13] 何抗,胡隐樵. 远离绿洲的沙漠近地面观测实验[J]. 高原气象,1994,13(3):282-290.
- [14] 金莉莉,何清,李振杰,等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙丘温度特诊浅析[J]. 干旱气象,2010,28(2):134-141.
- [15] 马志福,谭芳,候勤东. 塔克拉玛干沙漠地区温压湿分布规律研究[J]. 中国沙漠,2000,20(3):289-292.
- [16] 金莉莉,曹兴,黄洁,等. 沙漠和绿洲典型天气辐射特征[J]. 干旱气象,2011,29(3):306-314.
- [17] 缪启龙,李兰兰,何清,等. 南疆沙漠腹地大气边界层湍流量特征的观测研究[J]. 气象与减灾研究,2008,31(3):15-21.
- [18] 李祥余,何清,艾力·买买提明,等. 塔中春季阴天近地层风速、温度和湿度廓线特诊分析[J]. 干旱气象,2007,25(2):22-29.
- [19] 王珂,何清,王敏仲,等. 塔克拉玛干沙漠腹地特征层风场特征[J]. 干旱气象,2011,29(3):302-305.
- [20] 高绍凤,陈万隆,朱超群,等. 应用气候学[M]. 北京:气象出版社,2001. 187-193.
- [21] 李祥余. 塔克拉玛干沙漠腹地近地层微气象学特征研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007.
- [22] 周明煜,徐祥德,卞林根,等. 青藏高原大气边界层观测分析与动力学研究[M]. 北京:气象出版社,2000. 17-37.
- [23] 朱宝文,宋理明,许存平,等. 环青海湖地区草地近地层气象要素变化特征[J]. 中国农业气象,2007,28(4):389-392.
- [24] 李江风. 塔克拉玛干沙漠和周边山区天气气候[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [25] 陈泮勤. 几种稳定度分类法的比较研究[J]. 环境科学学报,1983,3(4):357-364.
- [26] 蒋维楣,孔鉴宁,曹文俊,等. 空气污染气象学教程[M]. 北京:气象出版社,2004. 16.
- [27] 范绍佳,林文实,苏雄晖. 理查逊数 $R_i$ 在沿海近地层大气稳定度分类中的应用[J]. 热带气象学报,1999,15(4):370-375.
- [28] Tennekes H. The logarithmic wind profile[J]. Journal of Atmosphere Science,1973,30:234-238.
- [29] 刘小平,董治宝,王训明. 固定沙质床面的空气动力学粗糙度[J]. 中国沙漠,2003,23(2):111-117.
- [30] 刘小平,董治宝. 砾石床面的空气动力学粗糙度[J]. 中国沙漠,2003,23(1):38-45.
- [31] 梅凡民,Rajot J,Alfaro S,等. 平坦沙地的空气动力学粗糙度变化及其物理意义[J]. 自然科学进展,2006,16(3):325-330.
- [32] 陈家宜,王介民,光田宁. 一种确定地表粗糙度的独立方法[J]. 大气科学,1993,17(1):21-26.



## Variation Characteristics of Meteorological Elements near Surface Layer in North of the Taklimakan Desert

GU Junming<sup>1,2,3</sup>, HUO Wen<sup>2,3</sup>, ALI Mamting<sup>2,3</sup>, YANG Xinhua<sup>2,3</sup>, HE Qing<sup>2,3</sup>

- (1. Institute of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, 830054, China;
- 2. Institute of Desert Meteorology of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;
- 3. Desert Atmosphere and Environment Observation Experiment of Taklimakan Station, Tazhong 841000, China)

**Abstract:** Based on the elements gradient observational data from automatic meteorological observation station from January to December 2011 in Hade in north of the Taklimakan Desert, the diurnal variation of wind speed, temperature and relative humidity near surface layer and the profile characteristics in four seasons were analyzed, firstly. Then, the atmospheric stability and surface roughness under neutral stratification were calculated. The results showed that the diurnal variation of temperature, relative humidity and wind speed from 0.5 to 10 m near surface layer in Hade were obvious. The wind speed was high in the daytime and low at night, each layer wind speed reached the maximum value at 15:00 and the minimum value at 04:00, and the daily range was from 1.1 to 1.7 m/s. Each layer temperature increased to the maximum during 14:00 - 15:00 and dropped to the minimum during 05:00 - 06:00, the temperature difference was large between day and night, and the maximum temperature difference was 16.5 °C which appeared in height of 0.5 m. Moreover, there was significant temperature inversion from 17:00 to 09:00 in the next day. The relative humidity was between 25% and 55% in whole day, and the diurnal variation of relative humidity was opposite to temperature and wind speed. Among, the maximum value appeared at 06:00, while the minimum value appeared at 15:00. The profiles of wind speed, temperature, and humidity in four seasons near surface layer in Hade had an obvious change trend. The wind speed at 14:00 in four seasons increased exponentially, and the variations of wind speed from 0.5 to 2 m were greater than that from 2 to 10 m. The temperature in spring and summer rose mainly exponentially, while that in winter grew linearly, and there were obvious temperature inversion in four seasons. The relative humidity in winter was significantly higher than that in other seasons, and the profile in winter was more complex. The wind directions in Hade all year round mainly were the northeasterly wind, and the dominant wind directions in height of 2 and 10 m were consistent, but the wind frequencies were slightly different. Furthermore, the aerodynamic roughness under neutral stratification condition in Hade was from  $1.42 \times 10^{-11}$  to  $1.7 \times 10^{-3}$  m, and the mean value was  $4.2 \times 10^{-5}$  m.

**Key words:** Taklimakan desert; surface layer; roughness; transitional zone

## 欢迎订阅 2014 年《干旱气象》

《干旱气象》由中国气象局兰州干旱气象研究所、中国气象学会干旱气象学委员会主办,是我国干旱气象领域科学研究的专业性学术期刊,反映有关干旱气象监测、预测和评估的最新研究成果,充分展示干旱气象领域整体的研究和应用水平。期刊主要刊载干旱气象及相关领域有一定创造性的学术论文、研究综述、简评,国内外干旱气象发展动态综合评述、学术争鸣以及相关学术活动。具体包括:国内外重大干旱事件分析、全球及干旱区气候变化、干旱气象灾害评估及对策研究、水文、生态与环境、农业与气象、可再生能源开发与利用、地理信息与遥感技术的应用等。本刊还免费刊载干旱气象研究成果、研究报告、学术活动、会议消息等。《干旱气象》已被《中国学术期刊(光盘版 CAJ-CD)》、万方数据-数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中国科技论文统计源期刊、重庆维普中文科技期刊数据库、教育阅读网、台湾华谊线上图书馆等全文收录。

《干旱气象》内容丰富、信息量大、研读性强,适合广大气象科研业务工作者、各相关专业技术人员、大专院校师生阅读。

《干旱气象》为双月刊,国内外公开发行。2014 年正刊 6 期,每期定价 36 元,全年 216 元。欢迎广大读者订阅,并可以随时邮局款汇购买,款到开正式发票。

编辑部地址:甘肃省兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部  
 邮政编码:730020 联系电话:0931-4670216-2270 电子信箱:ghs\_ghqx@sina.com  
 银行汇款:兰州市工商银行拱星墩分理处 户 名:中国气象局兰州干旱气象研究所  
 帐 号:2703001509026401376  
 邮 汇:兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部