

塔中地区近地层风沙流的结构特征

康永德^{1,2}, 杨兴华¹, 何清¹, 杨帆¹, 霍文¹, 艾力·买买提明¹

(1. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: [目的] 分析特定高度的风沙流结构, 阐明其风沙流运动规律, 为防沙治沙提供理论依据。[方法] 采用全方位微梯度集沙仪和风速仪, 收集 2014 年 7 月至 2014 年 8 月风沙流输沙样, 通过对近地层 0—85 mm 风沙流输沙率、风速进行分析。[结果] 输沙率与风速的最佳拟合关系为幂函数, 相关系数为 0.968 7。随风速的增大, 风沙流输沙率主要集中在 0—35 mm, 0—5 和 15—35 mm 百分含量基本呈上升的趋势, 5—15 和 35—85 mm 百分含量基本呈下降的趋势。[结论] 风沙流运动是一种贴近地面沙物质的搬运过程, 随风速的增大, 输沙量越来越集中在 0—35 mm 范围内。因此, 采取各种措施改变近地表层的风状况及风沙流结构就能有效地削弱风沙活动的强度。

关键词: 近地层; 风沙流结构; 输沙率; 塔中地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0195-05

中图分类号: P931.3, P425.5⁺5

文献参数: 康永德, 杨兴华, 何清, 等. 塔中地区近地层风沙流的结构特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 195-199. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 03. 032; Kang Yongde, Yang Xinghua, He Qing, et al. Structural characteristics of near surface wind blown sand in central Tarim Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 195-199. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 03. 032

Structural Characteristics of Near Surface Wind Blown Sand in Central Tarim Basin

KANG Yongde^{1,2}, YANG Xinghua¹, HE Qing¹, YANG Fan¹, HUO Wen¹, AILI · Maimaitiming¹

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi,

Xinjiang Uygur Autonomous Region 830002, China; 2. School of Geography and Tourism

Science, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830045, China)

Abstract: [Objective] To analyze the structure of wind blown sand at a specific height, in order to clarify the disciplinarian of wind blown sand, and provide the theoretical basis for preventing and controlling desertification in central Tarim Basin. [Methods] Omni-directional microinverse sand trap and anemometer were used to collect sand transport sample of wind blown sand from July to August in 2014 and wind-sand transport rate, wind speed in the near surface layer (0—85 mm) were analyzed. [Results] The most fitting relationship between sand transport rate and wind speed was power function, the correlation coefficient was 0.9687. Along with the increase of wind speed, sand transport rate mainly concentrate on 0—35 mm layer, meanwhile, it showed ascending trend in 0—5 mm and 15—35 mm layers, and descending trend in 5—15 mm and 35—85 mm layers. [Conclusion] Wind blown sand movement is the process of sand sediment transport in the near surface layer, and sand sediment discharge more and more concentrated on the range from 0 mm to 35 mm with the increase of wind speed. Thus, it requires taking various measures to change the state of near earth surface wind blown sand structure and meanwhile which can effectively weaken the strength of the sandstorm activities.

Keywords: near-strata; wind blown sand structure; sediment transport rate; central Tarim Basin

风沙流结构是输沙量随高度的分布形式和变化规律, 也是近地面输沙强度评估和防沙治沙工程布设

的重要参数之一^[1], 阐明风沙流结构特征和运动方式对于风蚀、风积作用的研究及防沙措施的制定具有重

要意义^[2]。随着风沙物理学的发展,风沙流运动备受人们关注。自 20 世纪 40 年代以来,随着野外观测、风洞试验等手段的完善,以及数值模拟技术的高速发展,国内外学者在风沙流结构领域中取得了巨大成果。研究范围涉及固定沙丘与半固定沙丘、流动沙丘、河岸沙丘、海岸沙脊、平原农田等^[3-6]。中国学者在野外观测和风洞模拟试验^[7-9]方面进行了大量的研究。例如,屈建军等^[10],尹永顺等^[11]在戈壁风沙流结构方面进行了研究;杜鹤强等^[12]在塔克拉玛干沙漠的研究;哈斯^[13]、张正偲等^[2]对腾格里沙漠的研究;以及乌兰布和沙漠、毛乌素沙地等进行的研究^[14-16],探讨了风速、下垫面、输沙量、天气、粗糙度等对风沙流结构的影响。研究发现各因素之间不仅自身变化,也相互促进或制约^[17]。研究者一般认为,风沙流结构呈指数函数^[18]或幂函数^[19]分布。但随着下垫面、气象因素、集沙仪等不同,风沙流运动亦呈特定形式。例如,受地表沉积物粒度影响,戈壁地表甚至新月形沙丘表面的风沙流结构出现“象鼻效应”^[10-12]。众所周知,新疆是西北干旱区荒漠化面积最大、分布范围较广,灾害程度最严重的区域之一,全疆许多县市风沙灾害天气频发,对耕地、草地、林地、道路等带来严重威胁。例如南疆,特别是塔里木盆地危害最甚,是全疆沙漠化防治最为重点的区域^[20]。因此,本文拟选取塔克拉玛干沙漠腹地的塔中地区为研究区,借助野外实测数据,进行特定高度的风沙流结构分析,以期阐明其风沙流运动规律,为防沙治沙提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

塔中地处塔克拉玛干沙漠腹地(38°57′29″—38°59′48″N,83°42′54″—83°44′59″E,海拔 1 127~1 144 m)。年平均气温 12.4℃,7 月温度最高为 28.0℃,12 月最低温度为-8.0℃。年均降水量约 25.9 mm,蒸发量约 3 638.6 mm。风沙活动频繁,风力强劲,年平均风速 2.3 m/s,年起沙风速高达 500 次以上,最大瞬时风速达到 20.0 m/s,起沙风向主要在 ENE,NE 方向。扬沙、浮尘年平均不少于 157 d,沙尘暴年平均不少于 16 d^[21]。地表植被匮乏,群落结构简单。沙样粒径主要集中在 63~250 μm,以细砂、极细砂为主。

1.2 研究方法

2014 年 7—8 月在塔中进行风速与输沙量的同步观测。沙样收集仪器为乌鲁木齐沙漠气象研究所何清等研制的微梯度旋转集沙仪,共 4 个高度,依次

为 0—5,5—15,15—35,35—85 mm。其工作原理:来风时,风吹动尾翼,尾翼旋转带动集沙仪转动,保持进沙口始终对准来风的方向,达到起沙风速时,沙粒便通过积沙口进入积沙盒,进入集沙盒不同高度的沙粒依次进入相应的集沙室。

风速仪安装在距地面 50 cm 高程处,将采集的初始时间为 1 min 的风速数据〔即风速数据采集时间间隔(频率)为 1 次/min〕转化成 10 min 平均风速,将 10 min 平均风速作为本试验的风速数据进行处理。沙样每 10 min 收集 1 次并及时装袋,样品经预处理后,由精度为 0.001 g 分析天平称重计算输沙率。上述实测数据的统计和制图用 Excel 和 Sigmaplot 12.5 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同风速下各高度输沙率的变化情况

对 0—85 mm 高度内的 4 层沙样进行分析,其输沙率与高度间的关系如表 1—2 所示,可以看出,0—85 mm 垂直高度内,随着风速的增大,各层输沙率和总输沙率整体随风速呈递增趋势,变化规律趋于一致,第 4 层 35—85 mm 处输沙率随风速增加不明显。利用统计学分析可得:风速小于 7 m/s 时,每层输沙率随风速的增大,输沙率增加的趋势不显著;风速大于 7 m/s 时,气流搬运沙量急剧增加,各层的输沙率随风速的增大而增加地十分显著,但发生在各时间段的输沙率变化又有不同。7 月 16 日输沙率大小依次为:5—15,0—5,15—35,35—85 mm,7 月 31 日输沙率大小依次为:0—5,15—35,5—15,35—85 mm,其中风速小于 8.0 m/s 时,0—5 和 15—35 mm 输沙率值相近,风速大于 8.0 m/s 时,相邻两高度层输沙率值差异明显。随着风速的增加,0—85 mm 高度内,0—35 mm 高度层的输沙率变化最为剧烈,说明风沙流活动主要集中于 0—35 mm 高度层,同时表明风沙流运动是一种贴近地表的沙物质的搬运过程^[16]。造成该区域风沙流结构变异的主要因素可能是沙尘暴天气过程下平均风速较高,提高了对风沙搬运的高度,使近地面输沙量百分含量减小,风沙流结构变异。

2.2 风速与各高度层输沙率的相关性

对各层输沙率(Q)与风速(V)进行拟合,得出最佳关系曲线是幂函数关系,且输沙率随高度的增加呈幂函数增加的趋势(表 3),关系方程式为(1):

$$Q = aV^b \quad (1)$$

式中:Q——各高度层总输沙率[(g·cm)/10 min];
v——50 cm 处风速(m/s); a, b——系数。系数 a 间接反映了近地表各高度层输沙率的差异, b 表征了各高度层输沙率的大小。由拟合结果知,各层输沙率

均随风速的增大而增加,相关系数 R^2 为 0.968 7,说明各层输沙率与风速的相关性较好。从 b 值可以看

出风速对高度层的影响主要集中在 0—35 mm 范围内。

表 1 2014 年 7 月 16(15:02—18:28)不同风速(m/s)下的输沙率 (g·cm²)/10 min

高度层/ mm	不同风速下各高度层的输沙率										
	5.7	6.3	6.6	7.2	7.5	9	9.2	9.4	9.6	9.9	10
0—5	3.74	6.5	9.9	11.45	24.05	38.74	43.47	43.02	44.42	49.56	48.56
5—15	13.92	16.43	19.52	20.91	32.06	45.74	50.04	49.62	50.9	55.57	54.67
15—35	3.77	6.29	9.38	10.77	22.22	35.6	39.9	39.48	40.76	45.43	44.53
35—85	4	4.5	5.12	5.44	7.69	10.36	11.22	11.44	11.4	12.33	12.15
总输沙率	25.43	33.72	43.92	48.57	86.02	130.44	144.63	143.56	147.48	162.89	159.91

表 2 2014 年 7 月 31(17:02—20:22)不同风速(m/s)下的输沙率 (g·cm²)/10 min

高度层/ mm	不同风速下各高度层的输沙率										
	5.9	6.2	6.5	6.8	7	7.6	8.1	8.5	8.7	8.9	9.2
0—5	3.36	3.37	3.4	3.61	3.48	4.03	9.27	16.76	23.51	20.6	37.72
5—15	1.68	1.69	1.71	1.91	1.79	2.29	7.06	13.86	20	17.36	32.92
15—35	3.43	3.44	3.47	3.66	3.54	4.04	8.81	15.61	21.75	19.11	34.67
35—85	3.93	3.93	3.94	3.98	3.95	4.05	5.01	6.37	7.59	7.07	10.18
总输沙率	12.4	12.43	12.52	13.16	12.76	14.41	30.15	52.6	72.85	64.14	115.49

表 3 2014 年各高度层输沙率与风速的相关性

时间	高度层/ mm	输沙率与风速的相关性	
		方程	系数 R^2
7 月 16 日 (15:48—18:28)	0—5	$Q=0.0036V^{4.1700}$	0.9668
	5—15	$Q=0.3018V^{2.2534}$	0.9423
	15—35	$Q=0.0047V^{4.0188}$	0.9687
	35—85	$Q=0.1760V^{1.8298}$	0.9610
7 月 31 日 (17:02—20:22)	0—5	$Q=8.2 \times 10^{-5}V^{5.7212}$	0.8399
	5—15	$Q=2.9 \times 10^{-6}V^{7.1702}$	0.8560
	15—35	$Q=0.0001V^{5.4471}$	0.8371
	35—85	$Q=0.0824V^{2.0680}$	0.8136

2.3 各高度输沙量百分比与风速的相关性

为了精细化研究 0—85 mm 高度的风沙流结构特征,分别将每层百分含量与风速进行方程拟合(表 4),发现每层的百分含量与风速间的最佳关系曲线是幂函数关系: $y=ax^b$ 和对数函数关系: $Y=y+a\ln x$ 。出现不同拟合函数的原因可能是:近地面空气干湿度不一样、沙粒物质机械组成、下垫面粗糙度不同等。当达到一定风速时,每层的百分含量变化不明显,当风速未达到这一值时,表现为幂函数;当风速超过这一值时,表现为对数函数。由表 4 知,虽然近地面输沙量的差异造成拟合函数的关系式不同,但总体趋势一致。因此,无论服从幂函数还是服从对数函数,每层输沙率百分含量与风速的相关性均较好,相关系数 R^2 最大为 0.951 0, R^2 最小为 0.781 9。从 a 和 b 值

可以看出,0—5 和 15—35 mm 的百分含量随风速呈现增大的趋势,5—15 和 35—85 mm 的百分含量随风速呈现减小的趋势,同时由 35—85 mm 高度层方程的 a 和 b 值说明随着风速的增大,输沙量越来越集中在 0—35 mm 范围内,徐军等^[22]研究发现,随着风速的增加,40—80 mm 的百分含量呈现下降的趋势,与本文研究结果大致相同。

表 4 2014 年各高度层输沙量百分比与风速的相关性

时间	高度层/ mm	输沙量百分比与风速的相关性	
		方程	系数 R^2
7 月 16 日 (15:48—18:28)	0—5	$Q=-0.1281+0.1038\ln V$	0.9524
	5—15	$Q=-0.1354\ln V+0.5427$	0.9517
	15—35	$Q=-0.4044+0.3516\ln V$	0.9501
	35—85	$Q=-0.3207\ln V+0.9893$	0.9610
7 月 31 日 (17:02—20:22)	0—5	$Q=0.0018V^{1.8441}$	0.9171
	5—15	$Q=0.0001V^{3.2831}$	0.9325
	15—35	$Q=0.0119V^{1.5718}$	0.9129
	35—85	$Q=17.06V^{-1.7891}$	0.8145

2.4 总输沙率与风速的相关性

由图 1 可知,总输沙率随风速增大呈幂函数规律增加,与朱震达^[23]的研究结果相吻合,拟合最佳函数关系式为(2):

$$Q=aV^b \quad (2)$$

式中: Q ——总输沙率[(g·cm)/10 min]; V ——50 cm 处风速(m/s); a, b ——系数。

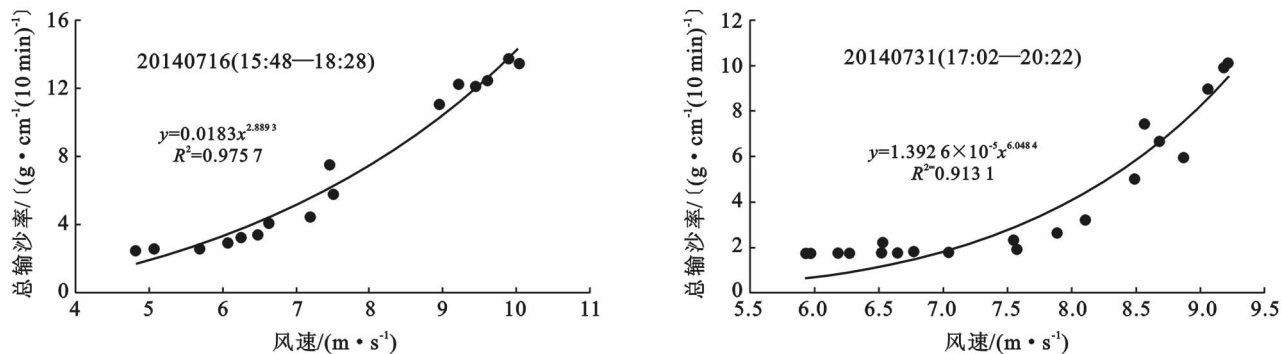


图 1 塔中地区总输沙率与风速的相关性

从图 1 中不难发现,风速小于 7 m/s 时,总输沙率呈现增大的趋势,但比较缓慢,风速大于 7 m/s 时,增大趋势明显,说明风速的增大,沙粒携带的能量增加,从而气流搬运的沙量急剧增加。

3 讨论

风沙流在地表运移过程中,主要集中在地表一定高度。Chepil 等^[24]研究发现,在地表 0—5 cm 内占总搬运量的 60%~80%;毛东雷^[25]研究表明,10 和 30 cm 高度范围的积沙量占总输沙量的百分比分别在 23.43%~50.40%和 64.30%~83.13%;张正偲等^[26]研究腾格里沙漠时指出,风沙流主要集中在 10 cm 高度内,约占总输沙量的 95.46%。本文基于野外大量的观测数据研究发现,风沙流主要中集中在 0—35 mm 高度范围内,说明 0—85 mm 气流层内沙粒的运动以跃移为主,侧面反映出风沙流运动是一种贴近地表的沙物质搬运过程,这一结果与其他研究者的观测结果一致。上述所有试验结果均表明风沙运动是一种贴近地面的沙物质的搬运过程,因此,采取各种措施改变近地表面的风状况及风沙流结构就能有效地削弱风沙活动的强度。

有研究表明,总输沙量及各高度层的输沙量均随风速的增加而增加,拟合曲线遵循幂函数^[27-28],丁国栋^[29]、朱震达等^[23]研究显示,总输沙量和各高度层输沙量随风速增加呈对数关系,并不因风速和下垫面改变而发生变化,屈建军等^[10]研究发现,戈壁风沙流结构具有与沙漠风沙流完全不同的风沙流特征,其表面风沙流输沙量高度分布表现出独特“象鼻”效应,在一定高度处呈现最大值,并随风速的增加而增高;杜鹤强等^[12]研究表明,新月形沙丘因部位不同呈现不同的曲线。本研究显示 0—85 mm 总输沙量与各梯度输沙量均呈现幂函数关系。

由于研究区域间的差异及观测时间间隔性的不同,今后若进一步全面探究该区域风沙流结构特征,

还有待继续加强试验精细化观测。由此可见,风沙流结构仍是一个继续性研究的课题,不同研究者研究结果有所差异,或许是因为研究区不同或下垫面性质的不同所致。本研究基于长期野外观测的基础上,结合微梯度集沙仪,更加精细化阐明了 0—85 mm 风沙流结构运动规律,可为今后进一步对风沙流结构的研究提供理论依据。

4 结论

塔中地区风沙流随高度与风速增大均呈幂函数形式递增,输沙率集中在 0—35 mm 内。沙尘暴天气过程中,由于风速较大,输沙率表现出其特有的形式,0—5 和 15—35 mm 高度呈上升的趋势,5—15 和 35—85 mm 高度呈下降趋势,其中,15—35 和 35—85 mm 高度层变化最为明显,0—5 mm 变化不明显。由于风速和输沙率的不同,导致各梯度输沙率与风速的最佳拟合函数呈现幂函数和对数函数,由系数 b 得出,随风速的增大,输沙量越来越集中在 0—35 mm 范围内。

[参 考 文 献]

- [1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] 张正偲, 董治宝. 腾格里沙漠东南部野外风沙流观测[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 973-980.
- [3] 郭洪旭, 王雪芹, 盖世广, 等. 古尔班通古特沙漠腹地半固定沙垄顶部风沙运动规律[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 954-961.
- [4] 毛东雷, 雷加强, 王翠, 等. 新疆策勒县沙漠—绿洲过渡带风沙流结构及输沙粒度特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 25-33.
- [5] Anthony E J, Ruz M H, Vanhee S. Aeolian sand transport over complex interracial bar-trough beach topography[J]. Geomorphology, 2009, 105(1): 95-105.
- [6] 王翠, 李生宇, 雷加强, 等. 近地表风沙流结构对过渡带不同下垫面的响应[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 52-56.

- [7] 李清河,包耀贤,王志刚,等. 乌兰布和沙漠风沙运动规律研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):86-89.
- [8] 王自龙,赵明,冯向东,等. 民勤绿洲外围不同下垫面条件下风沙流结构的观测研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):72-75.
- [9] Valance A, Rasmussen K R, El Moctar A O, et al. The physics of Aeolian sand transport[J]. *Comptes Rendus Physique*, 2015,16(1):105-117.
- [10] 屈建军,张克存,张伟民,等. 几种典型戈壁床面风沙流特性比较[J]. 中国沙漠,2012,32(2):285-290.
- [11] 邹学勇,董光荣,王周龙. 戈壁风沙流若干特征研究[J]. 中国沙漠,1995,15(4):368-373.
- [12] 杜鹤强,韩致文,王涛,等. 新月形沙丘表面风速廓线与风沙流结构变异研究[J]. 中国沙漠,2012,32(1):9-16.
- [13] 哈斯. 河北坝上高原土壤风蚀物垂直分布的初步研究[J]. 中国沙漠,1997,17(1):9-14.
- [14] 任小玢. 腾格里沙漠东南缘风沙流特征[D]. 西安:陕西师范大学,2013.
- [15] 刘芳,郝玉光,辛智鸣,等. 乌兰布和沙漠东北缘地表风沙流结构特征[J]. 中国沙漠,2014,34(5):1200-1207.
- [16] 吴晓旭,邹学勇,王仁德,等. 毛乌素沙地不同下垫面的风沙运动特征[J]. 中国沙漠,2011,30(4):828-835.
- [17] 马世威. 风沙流结构的定量研究[J]. 中国沙漠,1988,8(3):8-22.
- [18] Dong Zhibao, Lv Ping, Zhang Zhengcai, et al. Aeolian transport over a developing transverse dune[J]. *Journal of Aridland*, 2014,6(3):243-254.
- [19] 何京丽,郭建英,邢恩德,等. 黄河乌兰布和沙漠段沿岸风沙流结构与沙丘移动规律[J]. 农业工程学报,2012,28(17):71-77.
- [20] 阿力木江·牙生,蓝利,程红梅,等. 新疆沙漠化防治区划及分区防治技术与模式[J]. 干旱区地理,2010,33(3):353-362.
- [21] 何清. 塔克拉玛干沙漠塔中大气边界层结构及地气相互总用观测研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2009.
- [22] 徐军,章尧想,郝玉光,等. 乌兰布和沙漠流动沙丘风沙流结构的定量研究[J]. 中国农学通报,2013,29(19):62-66.
- [23] 朱震达. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M]. 北京:科学出版社,1981:56-59.
- [24] Chepil W S, Woodruff N P. Sedimentary characteristics of dust storms(II): Visibility and dust concentration [J]. *American Journal Science*, 1957, 255: 104-114.
- [25] 毛东雷. 策勒绿洲:沙漠过渡带风沙前沿风沙流结构研究[J]. 现代农业科技,2011(15):266-269.
- [26] 张正德,董治宝,赵爱国,等. 沙漠地区风沙活动特征:以中国科学院风沙观测场为例[J]. 干旱区研究,2007,24(4):550-555.
- [27] 韩致文. 半湿润地区风沙流结构的定量研究:以豫北沙地为例[J]. 中国沙漠,1993,13(3):25-31.
- [28] 董玉祥,马骏. 风速对海岸沙丘表面风沙流结构影响的实证研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(9):179-184.
- [29] 丁国栋. 野外风沙流结构的定量研究[J]. 内蒙古林业科技,1994(4):38-40.

(上接第194页)

- [13] 任国玉,国军,徐铭志,等. 近50 a 中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [14] 李艳,耿丹,董新宁,等. 1961—2007年重庆风速的气候变化特征[J]. 大气科学学报,2010,33(3):336-340.
- [15] 何旭强,张勃,赵一飞,等. 黑河流域1960—2009年平均风速时空变化特征[J]. 水土保持通报,2013,33(4):242-247,252.
- [16] 王利盈. 1960—2010年云南省日照时数和风速变化特征[J]. 甘肃农业大学学报,2014,49(5):140-147.
- [17] 蒋冲,王飞,张仁慧,等. 渭河流域近52 a 日照时数和风速时空变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(5):228-234.
- [18] 虞海燕,刘树华,赵娜,等. 我国近59 a 日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J]. 气候与环境研究,2011,16(3):389-398.
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社,2007:36-69.
- [20] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- [21] 黄小燕,张明军,王圣杰,等. 西北地区近50 a 日照时数和风速变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(5):825-835.