青藏高原红梁河风沙动力环境特征

谢胜波[1]，喻文波[2]，屈建军[1]，庞营军[3]

（1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室，甘肃 兰州 730000；2. 中国人民解放军 63607 部队，甘肃 酒泉 735000；3. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所，北京 100091）

摘要：青藏高原红梁河沙地广布，目前对其风沙活动规律认识不足，不利于开展防沙工作。为此，通过野外观测和室内分析、计算等方法，对红梁河的风沙动力环境特征进行研究。结果表明：红梁河年起沙风向以 N 风为主，冬春季输沙势（*DP*）、合成输沙势（*RDP*）大，夏秋季输沙势、合成输沙势小，合成输沙方向（*RDD*）年内变化较小。年输沙势为 249.84 VU，属于中风能环境，年合成输沙势为 242.92 VU，年方向变率指数（*RDP*/*DP*）为 0.97，属于大比率，年合成输沙方向为 173.8°，为 S 方向。八方位年实测输沙总量为 434.33 kg·m^{-1}，以 SW 方向的输沙量最大。

关键词：起沙风；输沙势；实测输沙量

文章编号：1000-694X(2018)02-0219-06　　**DOI**：10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00146

中图分类号：P931.3　　**文献标志码**：A

0 引言

风况不仅是分析风沙地貌形成过程的重要气象因素[1-2]，也是区域沙害评估和防治的重要参考值[3-5]。由于独特的高寒环境，青藏高原的风沙运动有其特殊规律[6-7]。近年来，随着气候变化和人类活动的增加[8]，青藏高原沙化土地面积达 33.03×10^4 km^2[9-10]，威胁着本已脆弱的生态环境。红梁河位于青藏高原腹地，平均海拔大于4 600 m，年均气温 −4.3 ℃，年均相对湿度 55.0%，年均饱和水汽压 301.2 Pa，年均大风日数 136 d，年均降水量 266 mm；这里植被稀少，风沙地貌广布，风沙活动强烈。青藏工程走廊（铁路、公路、输电线路）在此经过，由于风沙堆积及沙丘前移，沙害已严重威胁青藏线的安全运营[11-13]。目前，关于青藏铁路的沙害及防治问题研究较多[14-17]，而对高原风沙活动规律研究较少、认识不足。特别是红梁河沙区风沙动力环境如何？这个问题至今鲜有报道，不利于开展防沙工作。为回答该问题，笔者通过野外观测和室内分析、计算，对青藏高原红梁河的风沙动力环境特征进行研究，以期加深对青藏高原风沙活动规律的认识，为当地的沙害防治提供依据。

1 资料来源及研究方法

研究资料源于 2014 年 1—12 月对青藏高原红梁河的观测，观测实验地点坐标为 35°03′13″ N、93°01′11″ E，海拔4 658 m。气象传感器距地表高度为 2 m，观测当地的风速、风向、温湿度、水汽压，同时，使用 8 路方口立式集沙仪观测输沙（图 1）。

根据观测资料先统计平均风速、起沙风频率、风玫瑰、起沙风玫瑰，再计算输沙势，计算公式如下[18-19]：

$$DP = V^2(V - V_t)t \quad (1)$$

式中：*DP* 为输沙势，用矢量单位 VU 表示；*V* 为大于临界起动值的风速（m·s^{-1}）；V_t 为临界起动风速（m·s^{-1}），风速单位需换算为 nmile·h^{-1}，经现场风洞实验[6-7]，红梁河 2 m 高度的起沙风速为 5.7 m·s^{-1}；t 为起沙风作用时间，用频率表示，一般为观测期内起沙风出现时间的累积数与总观测时间数的百分比。由于风速是矢量，在计算时，先按照 16 个方位统计每个方位上大于起沙风风速出现的频率并算出每个方位的输沙势，再根据矢量合成法则将 16 个方位的输沙势进行合成，得到合成输沙势 *RDP*（VU）和合成输沙方向 *RDD*（°），以反映一个地区净输沙能力大小。合成输沙势与输沙势的比值称为方向变率指数 *RDP*/*DP*，以反映一个地区风向组合情况。Fryberger 根据输沙势大小，将风环境分为高能（≥400 VU）、中能（200～400 VU）及低能（≤200 VU），将方向变率指数分为大比率（≥0.8）、

收稿日期：2016-10-17；**改回日期**：2016-11-14

资助项目：国家公益性行业（林业）科研专项（201504401）；中国博士后科学基金项目（2014M560817，2015T81069）

作者简介：谢胜波（1984—），男，湖南湘乡人，博士，副研究员，主要从事风沙物理与风沙工程研究。E-mail：xieshengbo@lzb.ac.cn

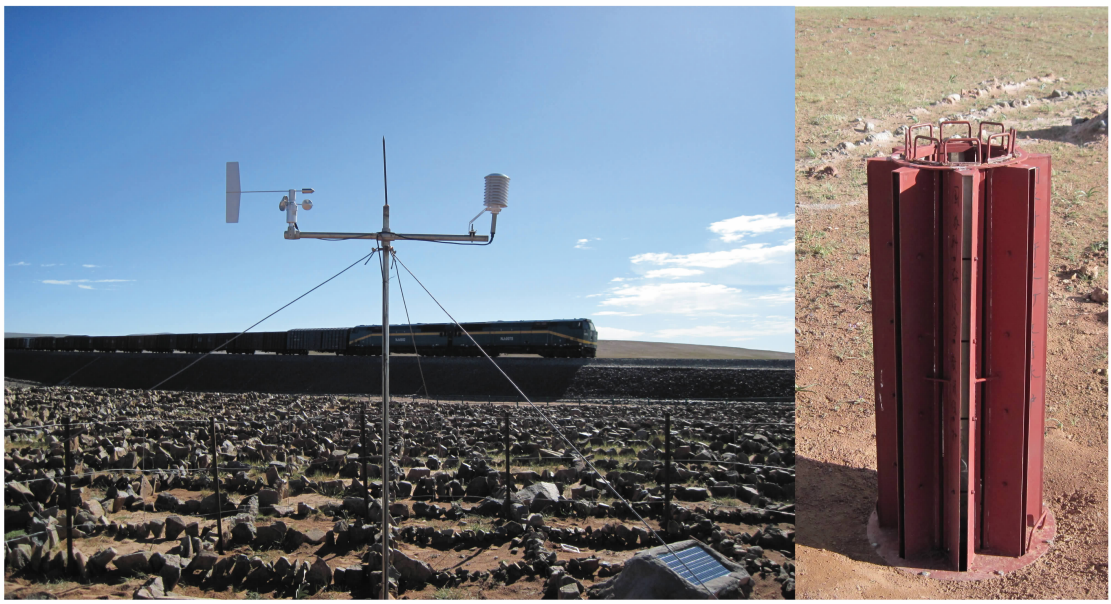


图 1 观测实验地点及仪器

Fig. 1 Observation experimental site and instruments

中比率(0.3～0.8)和小比率(≤0.3)[20]。

2 结果

2.1 平均风速

红梁河 2014 年平均风速为 3.74 m·s^{-1},最大风速为 15.93 m·s^{-1}。2 月平均风速最大,达 4.71 m·s^{-1};10 月平均风速最小,仅为 2.67 m·s^{-1}(图 2)。从图 3 可以看出,红梁河风向以 N 风为主,占全年总量的 51.3%;其次为 NNW 风,占全年总量的 39.3%;再次为 NW 风,占全年总量的 8.2%;其他方向的风很少出现,静风频率为 1.2%(图 3)。

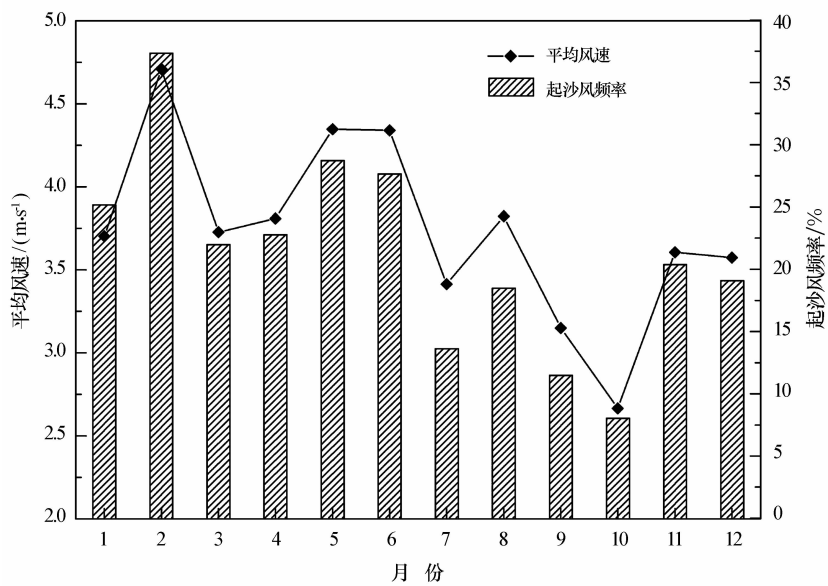


图 2 2014 年红梁河平均风速和起沙风频率的月际变化

Fig. 2 Variations of monthly average wind speed and sand-moving wind frequency at Honglianghe River in 2014

2.2 起沙风况

红梁河 2014 年起沙风频率为 21.1%。2 月起沙风频率最高,达 37.3%;10 月起沙风频率最低,仅为 8.0%(图 2)。红梁河起沙风频率的月际变化与平均风速的月际变化具有较好的一致性(图 2)。

从图 4 可以看出,10 月至第二年 5 月红梁河起沙风均以 N 风为主,分别占当月总量的 78.5%、95.3%、88.9%、93.4%、99.7%、87.8%、79.6%、56.8%;6—9 月分别以NNW、NW、NNW、NW风

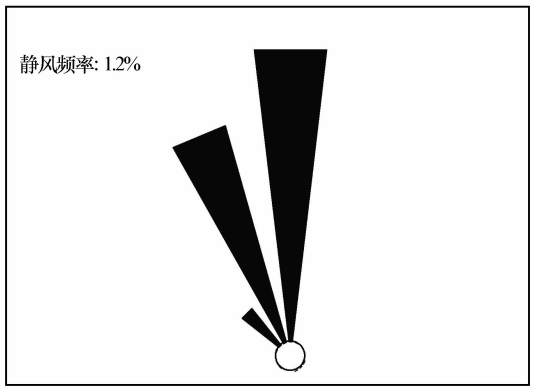


图 3　2014 年红梁河风玫瑰图

Fig. 3　Yearly wind direction rose at Honglianghe River in 2014

为主，分别占当月总量的 54.0%、52.8%、54.1%、45.2%；因此，红梁河夏季起沙风以 NNW 和 NW 风为主，其他季节起沙风以 N 风为主。2014 年红梁河起沙风以 N 风为主，占全年总量的 64.3%；其次为 NNW 风，占全年总量的 22.5%；再次为 NW 风，占全年总量的 13.2%；其他方向的起沙风很少出现（图 5）。

对红梁河 2014 年各月起沙风频率和方向进行矢量合成，其月际变化如图 6 所示。各月合成起沙风频率均在 90%以上；合成起沙风方向 6—9 月为 SSE 方向，其余月份均为 S 方向。全年合成起沙风频率为 96.1%，年合成起沙风方向为 169.2°。

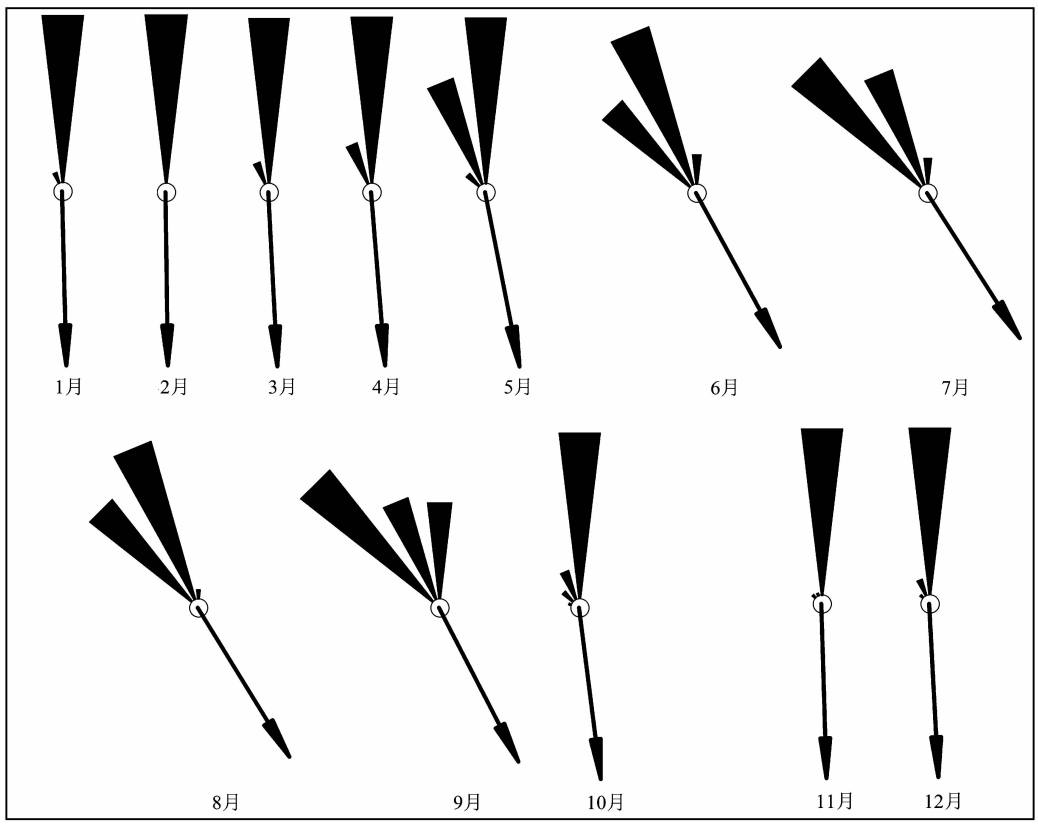


图 4　2014 年红梁河各月起沙风玫瑰图

Fig. 4　Monthly sand-moving wind rose at Honglianghe River in 2014

2.3　输沙势

冬春季 *DP*、*RDP* 大，其中 2 月最大，*DP*、*RDP* 分别为 54.45 VU、54.45 VU；夏秋季 *DP*、*RDP* 小，其中 7 月最小，*DP*、*RDP* 分别为 5.65 VU、5.40 VU。*RDD* 的年内变化稳定，除 6—9 月为 SSE 方向外，其余月份均为 S 方向。各月的 *RDP*/*RD* 均大于 0.9，属于大比率，说明红梁河年内风向单一（图 7）。

2014 年红梁河的年输沙势为 249.84 VU，属于中风能环境，年合成输沙势为 242.92 VU，年方向变率指数为 0.97，属于大比率，年合成输沙方向为 173.8°，为 S 方向（图 8）。

2.4　实测输沙量

2014 年，红梁河八方位年输沙总量为 434.33 kg·m^{-1}，其中，SW 方向的输沙量最大，达 151.57 kg·m^{-1}，占 34.9%；其次为 W 方向，在本研究中，

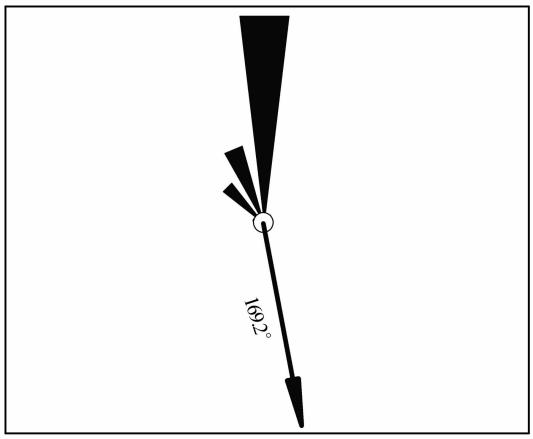


图 5 2014 年红梁河年起沙风玫瑰图

Fig. 5 Yearly sand-moving wind rose at Honglianghe River in 2014

占 28.2%;其他方向的输沙量较小,其中,S 方向最小,仅为 9.97 kg·m^{-1}(图 9)。

3 讨论

起沙风速 5.7 m·s^{-1}是由现场风洞实验确定的,但由于沙层表面的含水量变化会影响到起沙风速,因此实际起沙风速有一定的变化范围。红梁河的年降水量为 266 mm,属于高寒半干旱气候,夏秋季(6—10 月)集中了全年 90%以上的降水[21],空气湿润,水汽压高(图 10),地表沙层含水量高,起沙风速增大。而冬春季(11 月至第二年 5 月)降水稀少,空气干燥,水汽压低(图 10),地表沙层含水量低,大风与干燥同步叠加,起沙风速减小。

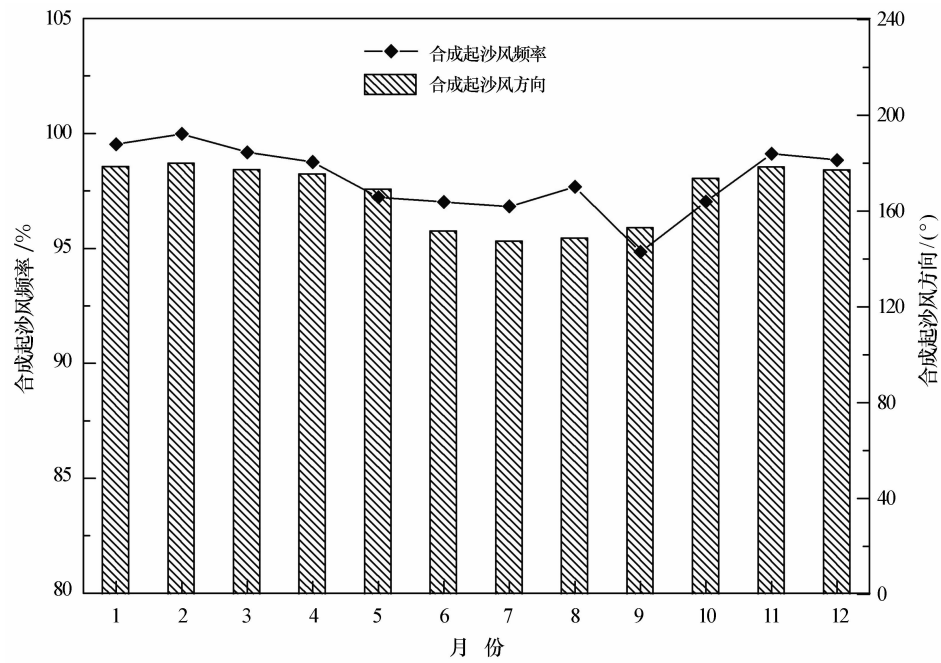


图 6 2014 年红梁河各月起沙风矢量合成

Fig. 6 Vector synthesis of sand-moving wind of each month at Honglianghe River in 2014

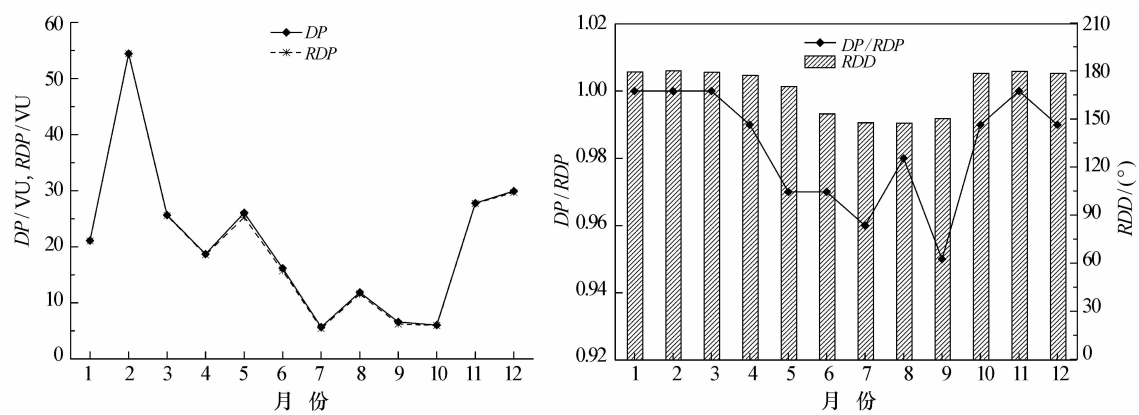


图 7 2014 年红梁河输沙势的月际变化

Fig. 7 Variations of monthly sand DP at Honglianghe River in 2014

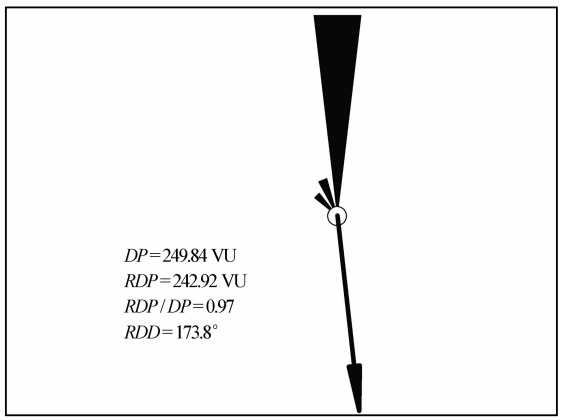


图 8　2014 年红梁河输沙势玫瑰图

Fig. 8　Yearly sand DP rose at Honglianghe River in 2014

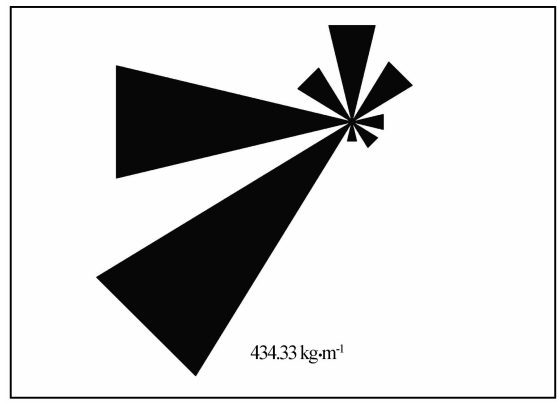


图 9　2014 年红梁河实测输沙量玫瑰图

Fig. 9　Measured sand transport quantity rose at Honglianghe River in 2014

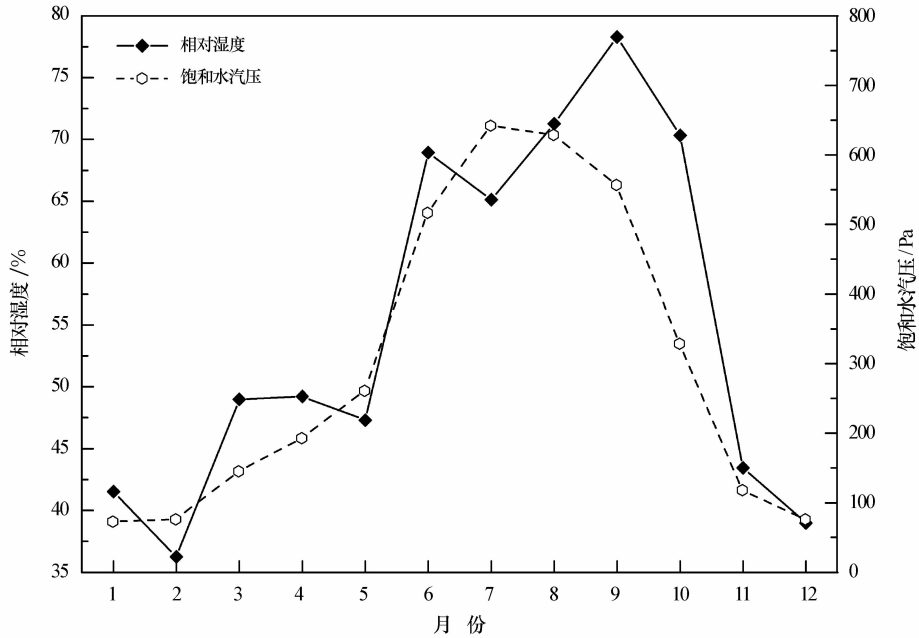


图 10　2014 年红梁河相对湿度、饱和水汽压的月际变化

Fig. 10　Variations of monthly relative humidity and saturation vapor pressure at Honglianghe River in 2014

这与输沙势的计算结果一致。在观测输沙量时，由于沙源位于集沙仪的西南方向，且沙物质供应充足，西南方向的实测输沙量最大，但这与合成起沙风方向、合成输沙势方向不一致。其主要原因是实测输沙量除了与风速、风向有关外，还受环境条件的影响，尤其与当地的沙源状况密切相关。这与在青藏铁路沿线[22－24]、敦格铁路[25]等地的研究结果相似。

4　结论

红梁河年风向、年起沙风向均以 N 风为主。冬春季 *DP*、*RDP* 大，夏秋季 *DP*、*RDP* 小，*RDD* 的年内变化稳定，除 6－9 月为 SSE 方向外，其余月份均为 S 方向。年 *DP* 为 249.84 VU，属于中风能环境，年 *RDP* 为 242.92 VU，年 *RDP*/*DP* 为 0.97，属于大比率，年 *RDD* 为 173.8°，为 S 方向。八方位年实测输沙总量为 434.33 kg·m^{-1}，以 SW 方向的输沙量最大。

参考文献：

[1]　Zhang W M, Qu J J, Tan L H, et al. Environmental dynamics of a star dune[J]. Geomorphology, 2016, 273: 28－38.

[2]　Dong Z B, Lv P, Lu J F, et al. Geomorphology and origin of Yardangs in the Kumtagh Desert, Northwest China[J]. Geomorphology, 2012, 139: 145－154.

[3]　张克存，牛清河，屈建军，等. 敦煌鸣沙山月牙泉景区风沙环境分析[J]. 中国沙漠，2012，32(4)：896－900.

[4]　张克存，牛清河，屈建军，等. 腾格里沙漠东南缘输沙势与最大可能输沙量之比较[J]. 中国沙漠，2008，28(4)：605－610.

[5] Xie S B, Qu J J, Lai Y M, et al. Formation mechanism and suitable controlling pattern of sand hazards at Honglianghe River section of Qinghai-Tibet Railway[J]. Natural Hazards, 2015, 76(2): 855－871.
[6] Han Q J, Qu J J, Dong Z B, et al. The effect of air density on sand transport structures and the adobe abrasion profile: a field wind-tunnel experiment over a wide range of altitude[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2014, 150(2): 299－317.
[7] Han Q J, Qu J J, Dong Z B, et al. Air density effects on aeolian sand movement: Implications for sediment transport and sand control in regions with extreme altitudes or temperatures[J]. Sedimentology, 2015, 62(4): 1024－1038.
[8] Duan A M, Wu G X, Zhang Q, et al. New proofs of the recent climate warming over the Tibetan Plateau as a result of the increasing greenhouse gases emissions[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51: 1396－1400.
[9] 董玉祥. 青藏高原沙漠化研究的进展与问题[J]. 中国沙漠, 1999, 19: 251－255.
[10] 张登山, 高尚玉. 青海高原沙漠化研究进展[J]. 中国沙漠, 2007, 27: 367－372.
[11] 谢胜波, 屈建军. 青藏铁路主要沙害路段治理技术及成效[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 105－110.
[12] 唐玉龙. 青藏铁路西格段戈壁风沙流防治体系研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 72－76.
[13] 杨印海, 蒋富强, 王锡来, 等. 青藏铁路错那湖段沙害防治措施研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1256－1262.
[14] 牛清河, 屈建军, 张克存, 等. 青藏铁路典型路段风沙灾害现状与机械防沙效益估算[J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 596－603.
[15] 张克存, 屈建军, 牛清河, 等. 青藏铁路沿线阻沙栅栏防护机理及其效应分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 16－20.
[16] 姚正毅, 屈建军. 青藏铁路格尔木-拉萨段风成沙物源及其粒度特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 300－307.
[17] 谢胜波, 屈建军, 刘冰, 等. 青藏铁路沙害及其防治研究进展[J]. 中国沙漠, 2014, 34(1): 42－48.
[18] Lettau K, Lettau H. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration[C]//Lettau K, Lettau H. Exploring the World's Driest Climate. Madison, USA: University of Wisconsin-Madison, 1977: 110－147.
[19] Bagnold R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes [M]. New York, USA: Dover Publications, 2005: 57－76.
[20] Mckee E D. A Study of Global Sand Seas[M]. Hawaii, USA: University Press of the Pacific, 1979: 137－169.
[21] 谢胜波, 屈建军. 青藏铁路沿线地形、气候、水文特征及其对沙害的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10): 157－163.
[22] 殷代英, 屈建军, 韩庆杰, 等. 青藏铁路错那湖段风沙活动强度特征分析[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 9－15.
[23] 张克存, 牛清河, 屈建军, 等. 青藏铁路沱沱河路段风沙危害特征及其动力环境分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1006－1011.
[24] 谢胜波, 屈建军, 庞营军, 等. 青藏铁路红梁河段沙害成因及防治模式[J]. 铁道学报, 2014, 36(11): 99－105.
[25] 姚宏乐. 敦煌-格尔木铁路高大沙丘区的风沙环境特征及风沙危害综合防护体系[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 555－564.

Dynamic Environment of Blown Sand at Honglianghe River of Qinghai-Tibet Plateau

Xie Shengbo[1], Yu Wenbo[2], Qu Jianjun[1], Pang Yingjun[3]

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. The Unit 63607 of People's Liberation Army of China, Jiuquan 735000, Gansu, China; 3. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Sand land in the Honglianghe River area of Qinghai-Tibet Plateau is widespread, and its blown sand activity rules are currently not sufficiently understood, which is not conducive to targeted sand prevention and control work. Therefore, the dynamic environments characteristics of blown sand at Honglianghe River are investigated using different methods, such as field observation, laboratory analysis, and calculation. The direction of yearly sand-moving wind at Honglianghe River is usually found to originates from the north direction, and the sand drift potential (*DP*) and the resultant drift potential (*RDP*) are high during winter and spring, low during summer and autumn. The variation of the monthly resultant drift direction (*RDD*) is stable. The yearly sand drift potential is 249.84 VU, which indicates an intermediate wind energy environment. The yearly resultant drift potential is 242.92 VU, and the yearly index of directional wind variability (*RDP/DP*) is 0.97, which indicate a high ratio. The yearly resultant drift direction is 173.8 , which indicate a south direction. The yearly total sand transport quantity of the eight directions of Honglianghe River is 434.33 $kg \cdot m^{-1}$, and the sand transport quantity of the southwest direction reached its maximum. The research results have guiding significance for controlling sand hazards of the locale.

Key words: sand-moving wind; sand drift potential; measured sand transport quantity