

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.05.013

## 青藏铁路北麓河段风况特征分析

柯裕州<sup>1,4</sup>,姜鑫贵<sup>2</sup>,王丽娜<sup>3,4</sup>,杨梅香<sup>3,4</sup>,徐赞<sup>3,4</sup>

(1. 西藏自治区林木科学研究院,西藏 拉萨 850000;2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所,北京 100091;

3. 北京林业大学,水土保持学院,水土保持国家林业局重点实验室,北京 100083;

4. 北京林业大学,云南建水荒漠生态系统国家定位观测研究站,北京 100083)

**摘要:**利用五道梁气象观测站1973—2015年43a的实测数据(风速、风向、能见度、相对湿度),分析了北麓河段的风况特征。研究结果显示:北麓河地段属于高风能环境,主导风向为W、WNW,大风主要集中在11月~12月(冬季),1月—3月(春季)。2000年后风速趋于稳定,而沙害程度加深,造成该现象的原因是温度的升高,冻土层和表层冰雪消融,导致表层土壤松散,沙物质增多。北麓河段主要害风风向为W和WNW,故北麓河南北两岸所受沙害程度差异不大,建议适当增加北岸沙障数量,减少南岸沙障排数;在北麓河段的東西向上,采取以输沙为主的防沙措施减少河岸附近沙障的积沙。

**关键词:**青藏铁路;风速;风向;输沙势;铁路沙害

**中图分类号:**      **文献标识码:**A      **文章编号:**1003-5508(2018)05-0052-06

## Characteristic Analyses of the Wind Regime in Beilu River Section along Qinghai-Tibet Railway

KE Yu-zhou<sup>1</sup>    JIANG Xin-gui<sup>2</sup>    WANG Li-na<sup>3,4</sup>    YANG Mei-xiang<sup>3,4</sup>    XU Yun<sup>3,4</sup>

(1. The Tibet Autonomous Region Forest Science Institute, Tibet, Lhasa 850000;

2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091;

3. Beijing Forestry University, Key Laboratory of State Forestry Administration on Soil and Water Conservation, Beijing 100083, China;

4. Jianshui Research Station, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the wind data of 1973—2015 collected from the Wudaoliang meteorological station, the temporal and spatial variations of wind regime characteristics were analyzed, including wind speed, wind direction, visibility and relative humidity in the Beilu River. The results showed that wind showed higher energy in Beilu River area, and the dominant wind directions were W and WNW, which concentrated in November to December (winter) and January to March (spring). After 2000, the wind speed tended to be stable, while sandstorms were more and more serious. It was mainly due to temperature rising which made the snow covered on the soil surface and frozen soil melted in winter and spring. Therefore the surface soil was out of protection so that sand material increased. In Beilu River, the main wind direction in observation time was W and WNW. It could be believed that sandstorms was of no significant difference on both north and south banks of Beilu River. So the number of sand barriers could be suggested to reduce in the South Bank, and that in the North Bank should be increased. In addition, some measures could be

收稿日期:2018-10-03

基金项目:青藏铁路沿线沙害综合防治技术研发与示范(201504401)

作者简介:柯裕州(1970-),男,副研究员,主要从事林木种苗繁育和森林培育方面的研究。E-mail:keyuzhou@126.com

taken, aiming to transport sand to reduce sand sediment near the riverside sand barriers.

**Key words:** Qinghai-Tibet Railway, Wind speed, Wind direction, Sand drift potential, Railway sand damage

青藏铁路格拉段长 1 142 km, 大部分地段位于荒漠区或戈壁区, 导致铁路安全运营受到严峻的风沙威胁<sup>[1~3]</sup>。沙害路段共长 269.68 km, 其中包括轻度沙害路段 209.51 km、中度沙害路段 49.83 km、严重沙害路段 10.34 km, 轻度沙害路段主要集中在格尔木-西大滩、五道梁等段, 中度和重度沙害路段主要集中在红梁河、秀水河-北麓河、沱沱河、通天河、措那湖一带<sup>[4]</sup>。低温、多风、强辐射、土壤贫瘠的高寒脆弱生态系统使得生物治沙措施难以实施<sup>[5~7]</sup>, 机械措施的防护效益也随着拦沙设施拦截的沙物质增多而降低<sup>[8]</sup>, 甚至丧失防沙功能, 经常需要人工清理, 增加了铁路维修管护成本<sup>[9]</sup>。青藏铁路北麓河段地处多年冻土区, 平均海拔达 4 600 m, 实地勘察发现, 迎风侧前几排沙障基本被埋没, 尤其在南岸离铁路约 50 m 处高达 2 m 的拦沙墙已被掩埋, 成为铁路安全运营的隐患。风是铁路沙害的最主要的趋动力, 其携沙能力随风速增大而增强, 受阻后在铁路两旁堆积的沙物质相应增多。路基积沙致使道轨不平整, 极有可能发生列车侧滑和脱轨等问题<sup>[11][12]</sup>。研究表明, 北麓段属于高风能环境, 冬春季节风向变化相对单一、风力较大, 夏季和秋季方向变化较大、风力较小。目前青藏铁路治沙缺乏适合的植物措施, 多以机械沙障布设为主。在长时间尺度上分析北麓河段风况, 可为机械沙障防护的规划设计和长期布局以及青藏铁路的防沙治沙工作提供科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

研究所采用的数据来源于离青藏铁路北麓河段 50 km 远的五道梁气象站和利用美国气象数据中心 (national climatic data center, NCDC) 建立的全球地面小时数据库 (Global Integrated Surface Hourly Data, GISHD)。本研究选用 1973—2015 年 (43 a) 的时间序列, 分析数据包括每日风速、风向、能见度及空气相对湿度。风向数据使用 0°~360° 顺时针方位角表示。

### 1.2 计算方法

#### 1.2.1 风气象统计

我国气象观测业务中规定, 瞬间风速达到或超过  $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的风称为大风, 某一日中有大风出现, 便将该日计入大风日数<sup>[13]</sup>。沙尘暴是指强风从地面卷起大量沙尘, 使水平能见度小于 1 km, 具有突发性和持续时间较短特点的概率小危害大的灾害性天气现象。研究表明出现沙尘暴的天数可以表征区域风沙活动的强度<sup>[14]</sup>。本研究将风速  $> 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的、能见度  $> 1 \text{ km}$ 、空气相对湿度  $< 90$  的天气进行统计, 并将其算入大风日数和沙尘暴发生日数中。

#### 1.2.2 起沙风风况特征统计

依据已有的相关研究, 将 10m 高处的沙粒启动风速取为  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。首先统计年平均风速, 再对原始数据中  $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  起沙风、最大风速以及起沙风出现频率进行统计, 进而分析起沙风的季节变化。将风向观测中的方位角按划分为 N (0°)、NNE (22.5°)、NE (45°)、ENE (67.5°)、E (90°)、ESE (112.5°)、SE (135°)、SSE (157.5°)、S (180°)、SSW (202.5°)、SW (225°)、WSW (247.5°)、W (270°)、WNW (292.5°)、NW (315°)、NNW (337.5°) 16 个方位。并统计  $\geq 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的起沙风在 16 个方位出现的频率, 对每月不同方向上的起沙风进行分析。

#### 1.2.3 合成输沙势计算

输沙势 (drift potential, DP) 即输沙风能, 数值以矢量单位 (vector unit, VU) 表示, 16 个方位上的合成方向为合成输沙方向 (resultant drift direction, RDD) 和合成输沙势 (Resultant drift potential, RDP)。对研究区 1973—2015 年输沙势计算采用 Fryberger 方程<sup>[15]</sup>:

$$Q \propto V^2 (V - V_t) \times t \quad (1)$$

式中:  $Q$ ——输沙势;

$V$ ——10 m 高度的风速;

$V_t$ ——临界起沙风速, 其值为  $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$t$ ——刮风时间 (次数)。

注: 计算时, 将风速速度单位  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  均转换为节 ( $\text{knot} \cdot \text{h}^{-1}$ ); 各方向输沙势: 相加为总输沙势 (DP), 矢量相加为合成输沙势 (RDP), RDP/DP 表

示风向变率指数,用来表示风向的变化程度<sup>[16-18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 风况指标年际变化

统计可知,1973—2015年间年均大风日数为17 d,大风日数最多在1975年,1年内共出现41 d;起沙风频率高于25%,平均发生频率为35.89%;最大频率、最大年平均风速出现在1975年,多年平均风速为 $5.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;平均年沙尘暴日数为15 d,1984年频率最高(44 d)。2010—2015年间,年均大风日降为9.5 d,起沙风平均发生频率为31.01%,平均沙尘暴日数约为8 d,多年平均风速为 $4.66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。总体来看,43 a间,年大风日数、年沙尘暴日数、沙风频率及年平均风速呈下降趋势(见图1)。2000年前各指标变化幅度较大,之后下降趋势逐渐减弱,由此说明近年来风力减弱趋势趋于平缓;沙尘暴日数与其它3个指标的相关系数均 $<0.7$ ,与大风日数的相关性仅为0.68,起沙风频与大风日数及平均风速的相关系数 $>0.85$ ,表明沙尘暴的发生除风力主要影响因子外,还受其它因素的较大影响。

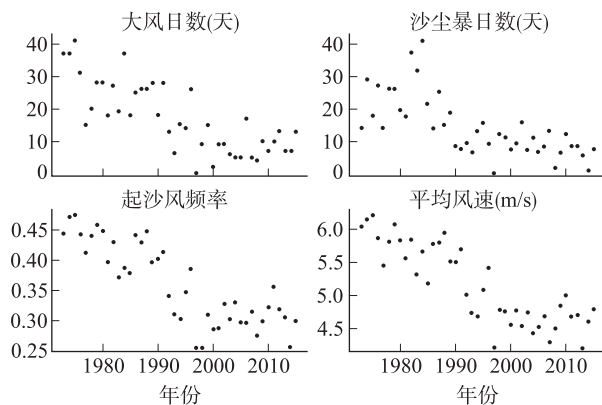


图1 风况各指标年际变化特征

Fig. 1 Interannual variation of indicators

### 2.2 风向变化

统计结果显示,W和WNW方向的起沙风出现频率最高,多年平均频率分别为36.03%、18.61%,WSW、NW和NNE方向分别为8.61%、5.05%和5.30%,其余风向出现的频率在1%~5%的范围内;SE、SSE方向最小分别为0.51%和0.58%。W、WNW方向出现频率之和为54.65%,2002年达到66.22%。从图2可知,除1987—1989年外,W风向出现的频率大,1998—2009年平均高出27.84%;

1973—1997年及2009年后两者出现的频率相差不大,W与WNW风向出现频率的方差为0.073和0.064,出现频率随时间变化未产生较大波动。说明起沙风W、WNW应该是北麓河地区的第一、第二主导方向且在的40多年间一直保持比较稳定的状态。

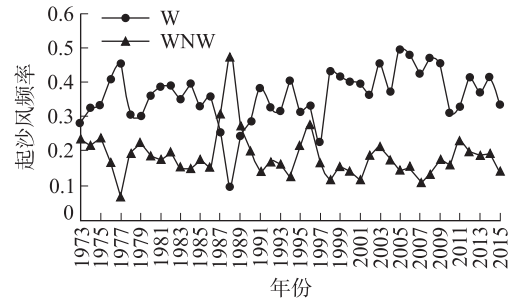


图2 主要风向起沙风频率年际变化

Fig. 2 Interannual variation of sand frequency in main Wind Directions

### 2.3 输沙势的年际变化

1973—2015年总输沙势呈下降趋势,平均值为1195.73 VU,最大值出现在1975年(图3)。1985—1997年前波动明显且降幅较大,1997年后相对稳定,并在2007年后呈上升趋势。2015年的总输沙势为904.54 VU,与1975年最大值相比下降了1.6倍。期间最小年总输沙势出现在1997年,总输沙势为323.70 VU。据Fryberger对区域风能的分类,除1997年外,北麓河地段均属高风能环境。输沙变率指数(RDP/DP)是反映风场方向的重要指标,比率与复合风况有关<sup>[15]</sup>。中比率与钝双峰风况或锐双峰风况有关,而大比率主要与单峰风况有关<sup>[19]</sup>,由图3可知,1983和1997年风向变率为中比率,钝双峰风况外,其余均为大比率,单峰风况。

#### 2.3.1 不同方向输沙势的年际变化

圆的半径越大,代表输沙势越大(见图4),输沙势最大的方向为W方向,其次为WNW与WSW,其余方向的输沙势都相对较小,与各风向每年出现的频率规律一致。W、WNW、WSW方向输沙势的多年平均值125.93 VU,3个方向的输沙势都随年份增加而减小,其中W方向减小幅度最为明显,其次为WNW和WSW方向,这三个方向的输沙势之和基本代表了该年的总输沙势,1973—2015年W方向的输沙势与年总输沙势的相关系数为0.80,WNW为0.74。随着时间后推三者的输沙势逐渐减少也决定了年总输沙势的减少。

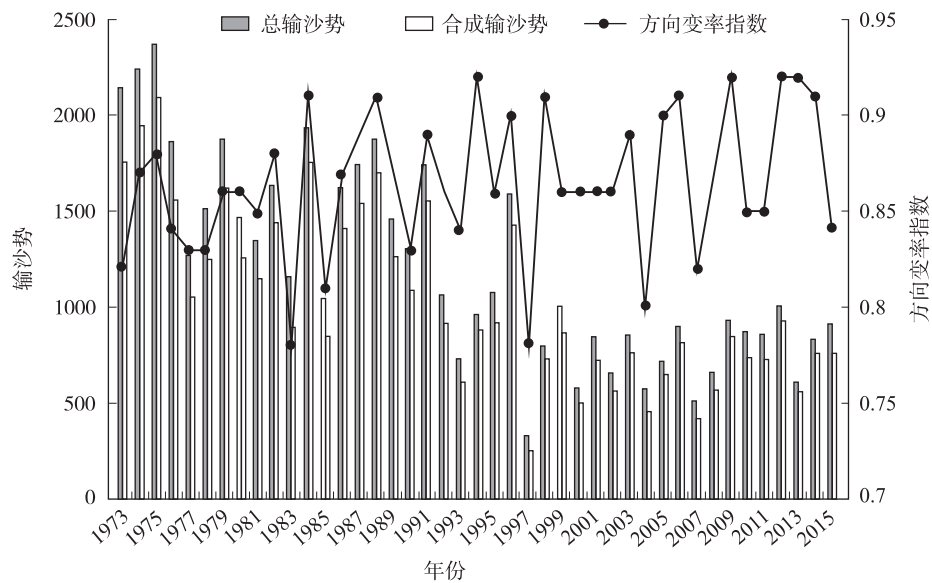


图3 输沙势的年际变化

Fig.3 Interannual variation of sand drift potential

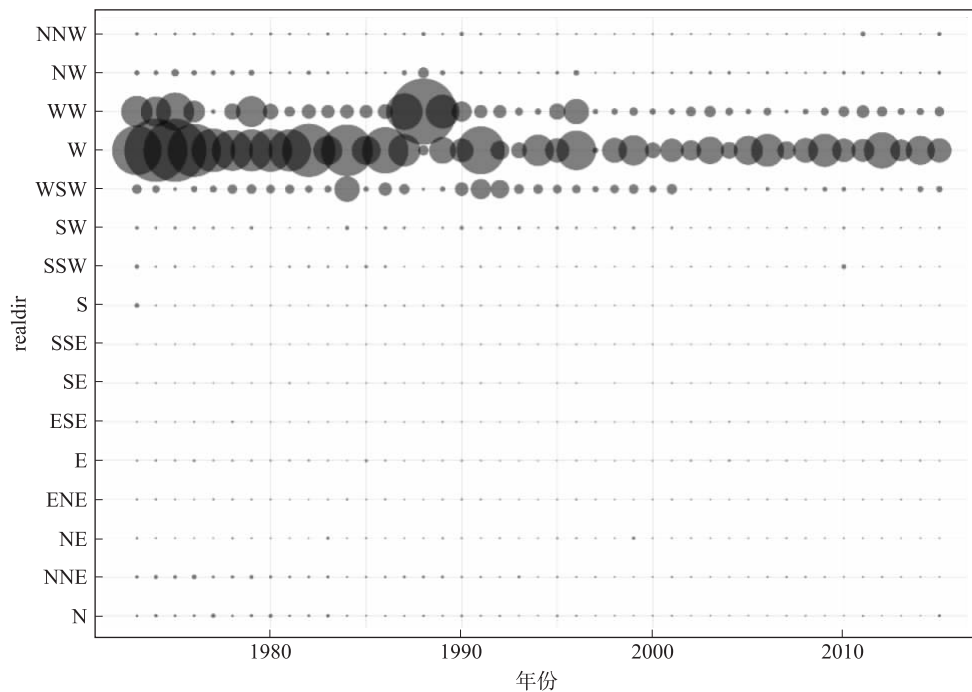


图4 不同方向输沙势的年际变化

Fig.4 Interannual variation of the sand drift potential in different directions

注:圆的半径越大,代表输沙势越大

### 2.3.2 月合成输沙势的变化规律

合成输沙势较大的月份,主要是在1月—3月(春季)及11月—12月(冬季),以W风为主,偶尔会出现WNW风;其次为4月,以WNW方向为主。整体上来看,10月的合成输沙势略小于4月,方向

仍以W风为主;5月—9月的合成输沙势最小,无明显方向规律。输沙势减少幅度较大的月份,主要集中在输沙势较大的月份上,说明合成输沙势的减少与11月至来年3月输沙势的减少密不可分。

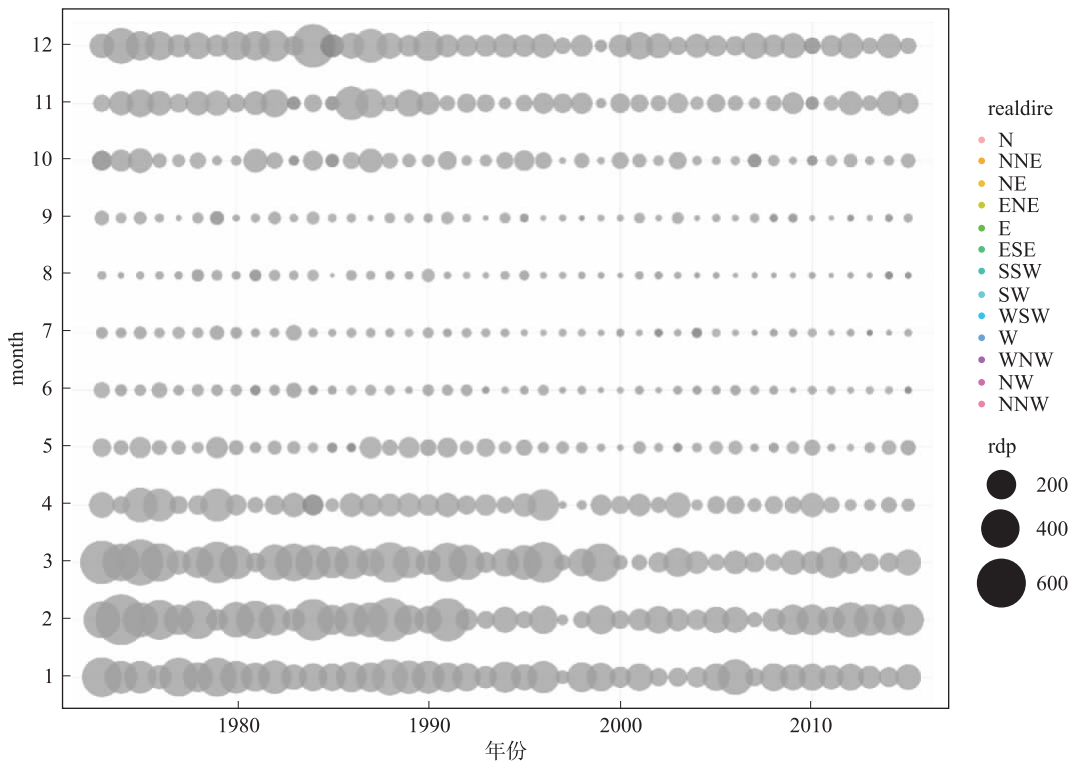


图5 不同月份不同方向的输沙势变化

Fig. 5 The variation of the sand drift potential in different directions in different months

### 3 讨论

从风速、大风日数和输沙势等指标看,1973—2015年间风力呈减小趋势,与 Robert Vautard<sup>[20]</sup>提出的北半球最近30a风速减慢的结果一致。风速下降主要影响因素一方面是气候变化,影响了气流的传统活动模式;另一方面,森林覆盖面积增加使得地球表面粗糙度增加,对风的阻力增加。温度上升及地面粗糙度增加致使青藏高原风速降低。北麓河段的风有明显的季节性,冬春季主要受西风气流影响,夏季随着西风带气流退到青藏高原以北,高原东西两侧各有半个大型反气旋环流(西太平洋副热带高压西伸脊和伊朗高压东伸脊),高原主体正好位于副热带高压的断裂带中,所以4月份(春季)以WNW为主风方,而5月~9月(夏、秋季)西风带气流作用持续减弱,此时主风方向并在年际上并未无明显变化规律。

随着时间推移,北麓河的风况整体上处于减弱的状态,2000年以前风沙天气出现频率较高,2000年后风沙天气出现下降趋于平稳;2006年北麓河风

况并未出现较大变化,而铁路沙害却日趋严重,因此沙害治理不能只依靠于风速减弱。根据 IPCC (2014) 报告,全球区域温度几十年来处于上升过程,预测21世纪全球平均气温上升速率达 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,高海拔地区增温的幅度可能更大<sup>[21]</sup>。到2050年,青藏高原年气温将升高 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[22]</sup>。升温可能导致冬春季高原冻土层提前融化,覆盖在土层表面的雪层消失,表层土壤的结构更加松散,极易受风影响而起沙。北麓河风能较大的时间主要集中在冬春季,地表沙物质增加,即使北麓河风力减弱或保持稳定状态,沙害依旧日益严重。温度上升成为了影响高寒沙区铁路沙害的主要气候因子,青藏铁路沿线的沙害防治形式愈发严峻。

目前北麓河的沙害防护主要还以机械措施为主,模式化的铁路沙害防护植被模式还未有。其中机械措施主要以固沙、阻沙为主。阻沙沙障设置方向一般应与主风方向垂直,主要通过改变近地表风沙流流场,形成涡流,降低地表风速和输沙能力,促使风沙流中主要沙粒沉降<sup>[23]</sup>。目前北麓河段沙障的设置走向与主风方向垂直,但仍有问题存在,南岸的沙障设置范围为东侧70m,西侧500m,沙障布设

密集,但主要以前三排沙障拦沙为主;而北岸的沙障设置范围相对较小,沿河布置的 2m 高的拦沙障已全部积满。本研究发现,北麓河段主害风方向包括 W 和 WNW,且以 W 风为主,南北两岸所受沙害程度几乎相近,可适当减少南岸的沙障排数,增加河北岸的沙障数量。此外,可借助设置合适的沙障角度,利用沙障的导沙作用,利用河道的导沙作用,将沙物质导向铁路的另一侧,以减轻河岸沙障的积沙压力。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 姜鑫贵,周金星,刘玉国,等. 青藏铁路南山口段沙害防治措施的效果[J]. 林业科学,2016,52(10):55~63.
- [3] 穆元伟,雷加强,石泽云. 古尔班通古特沙漠工程沙害形成的环境分析[J]. 干旱区研究,2005,22(3):350~354.
- [4] 李顺平,蒋富强,薛春晓,等. 青藏铁路格拉段沙害现场调查及防治研究[J]. 铁道工程学报,2014,31(5):1~5.
- [5] 杨洪晓,卢琦,吴波,等. 高寒沙区植被人工修复与种子植物物种多样性的变化[J]. 林业科学,2004,40(5):45~49.
- [6] Li X R, Jia X H, Dong G R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 64(3):505~522.
- [7] Zhou W, Gang C, Zhou L, et al. Dynamic of grassland vegetation degradation and its quantitative assessment in the northwest China [J]. Acta Oecologica, 2014, 55(2):86~96.
- [8] 孙涛,刘虎俊,朱国庆,等. 3 种机械沙障防风固沙功能的时效性[J]. 水土保持学报,2012,26(4):12~16.
- [9] 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(11):99~105.
- [10] Zhang C, Gong J, Zou X, et al. Estimates of soil movement in a study area in Gonghe Basin, north-east of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(3):285~295.
- [11] 张克存,牛清河,屈建军,等. 青藏铁路沱沱河路段流场特征及沙害形成机理[J]. 干旱区研究,2010,27(2):303~308.
- [12] Zhang K C, Qu J J, Liao K T, et al. Damage by wind-blown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China [J]. Aeolian Research, 2010, 1(3):143~146.
- [13] 李耀辉,张存杰,高学杰. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2004,24(6):715~723.
- [14] 贺大良,陈广庭. 北京地区风沙活动的现状[J]. 地理研究,1991(4):59~67.
- [15] Fryberger S G, Dean G. Dune forms and wind regime [J]. A study of global sand seas, 1979, 1052:137~169.
- [16] 房彦杰,赵景峰,郭永平,等. FRYBERGER 输沙势计算方法及其估算值偏差分析——以塔克拉玛干沙漠为例[J]. 干旱区地理,2015,38(1):95~102.
- [17] 王永胜,杨文斌,李永华,等. 库姆塔格沙漠东缘荒漠绿洲过渡带风况及输沙势[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(1):140~144.
- [18] 李晋昌,韩柳彦,赵艳芳,等. 晋北沙漠化地区起沙风况与输沙势[J]. 中国沙漠,2016,36(4):911~917.
- [19] 俎瑞平,张克存,屈建军,等. 塔克拉玛干沙漠风况特征研究[J]. 干旱区地理(汉文版),2005,28(2):167~170.
- [20] Vautard R, Cattiaux J, Yiou P, et al. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness [J]. Nature Geoscience, 2010, 3(11):756~761.
- [21] Jansen E, Overpeck J, Briffa K, et al. The Physical Science Basis [J]. 2007.
- [22] 秦大河,丁一汇,王绍武,等. 中国西部环境演变及其影响研究[J]. 地学前缘,2002,9(2):321~328.
- [23] 姚正毅,陈广庭,韩致文,等. 机械防沙体系防沙功能的衰退过程[J]. 中国沙漠,2006,26(2):226~231.