

青藏铁路沿线风沙灾害特点及成因分析

安志山, 张克存, 屈建军, 牛清河, 张 号

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙漠与沙漠化重点实验室

敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 甘肃省风沙灾害防治工程技术研究中心, 兰州 730000)

摘 要:随着全球变暖,青藏高原作为全球独特的地域单元,其反应极为敏感,且随着青藏铁路的建成通车,铁路沿线风沙灾害日趋严重。通过野外考察,分析总结青藏铁路沿线风沙灾害特点,并揭示其成因。随着气温升高,冰川萎缩、雪线上升、冻土退化、高寒草甸沙化,释放了内部赋存的碎屑物质;同时,气温升高导致冻融作用增强,地表土壤结构更易离散分解,形成更多的碎屑物质。其次,青藏高原地处西风带,终年盛行西风,区内起沙风向单一,属于高风能地区,为风沙活动提供了充足的动力条件。再次,青藏高原属于典型的“风旱同季”,风水蚀交替影响,为沙害发生奠定了有利基础。第四,青藏铁路建成通车,铁路沿线流场发生改变,打破局地原有输沙平衡,形成易于沙粒沉降的有利环境,为风沙灾害的发生提供地点。综上四点,为铁路沿线风沙灾害的发生提供了便宜条件,最终导致风沙灾害的发生。

关键词:青藏高原; 全球变暖; 风沙灾害

中图分类号: P425. 5⁺5; U216. 41⁺9. 2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0285-05

Sand Hazard Characteristics and Genetic Analysis along the Qinghai-Tibet Railway

AN Zhi-shan, ZHANG Ke-cun, QU Jian-jun, NIU Qing-he, ZHANG Hao

(Dunhuang Gobi Research Station, Key Laboratory of Desert and Desertification,

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy

of Sciences, Gansu Center for Sand Hazard Reduction Engineering and Technology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Tibet Plateau is the unique geographical unit in the world. It has significant response to global warming. With the completion of the Qinghai-Tibet railway, the railway sand disasters had become increasingly serious. After the field investigation, the authors revealed the characteristics of sand damages. With the temperature rising, the glaciers are shrinking. The snow-line is rising. The permafrost is degenerating. The plateau meadow and grassland have the desertification. Therefore, the original fixed detrital material releases. Second, the freeze-thaw cycles enhanced, the surface soil structure decomposed and formed more detrital material. So, the sand sources increased. According to climate data, the windy period combining with an arid seasonal climate increased the risk of blowing sand in this area. It rarely snows in winter and the land surface is usually bare. Meanwhile, the wind is very strong and unidirectional along the Qinghai-Tibet Railway and the dominant direction is west. And it belongs to high-energy wind environment along Qinghai-Tibet Railway. Predominant wind has a unidirectional characteristic. The dominant directions of sand transport are westerly in the observed period. Third, the Qinghai-Tibet Railway opened to traffic and resulting in railway flow field change, breaking the local original sediment balance, forming sand sedimentation environment easily. Therefore, the sand damages readily occur because of the factors mentioned above.

Key words: Tibetan Plateau; global warming; sand damages

青藏高原是全球海拔最高、自然环境十分独特的巨型地域单元,也是土地沙漠化广为发生发展的重要区域之一^[1]。作为环境演变敏感区域,青藏高原对全球变化的响应极为显著^[2],青藏铁路沿线生态环境系

统具有原始、敏感、脆弱三大特点。近年来,由于自然和人为因素的双重影响,区域内草地退化^[3]、水土流失加剧^[4]、水环境失衡、生物多样性锐减^[5]、生态环境日益恶化、土地沙化严重^[6]。目前,沙化土地总面积

达 3.13 万 km², 占土地总面积的 13.20%, 潜在沙漠化土地 2.99 万 km², 占土地总面积的 11.33%^[7-9]。青藏铁路格拉段全长 1 142 km, 穿越高原腹地, 地跨昆仑山、唐古拉山和不少大峡深谷, 通过永久冻土地带和广袤的高寒草原草甸, 由于青藏高原独特的地理环境, 其致灾过程出现不确定性, 使得除已重视的冻土问题以外, 风沙灾害已是青藏铁路沿线面临的又一大难题^[10-15]。笔者通过 2007 年和 2012 年两次野外实地调查, 对青藏铁路格拉段风沙灾害现状进行分析, 同时结合地区气象资料, 剖析出青藏铁路沙害的原因, 为后期研究高海拔地区风沙灾害规律和制定更加完善有效的防护体系提供依据。

1 铁路沿线风沙灾害特点

(1) 空间非均匀性。在空间上, 青藏铁路沿线风沙灾害主要分布在青海格尔木至西藏安多措那湖段, 分布呈非均匀性, 严重和中度沙害路段主要分布在红梁河、秀水河、北麓河盆地、扎加藏布及措那湖滨河、滨湖地区^[16]。目前, 铁路沿线受风沙灾害威胁路段有 269.7 km, 占全路段的 23.62%。其中, 严重沙害路段 10.3 km, 中度沙害路段 49.8 km, 轻度沙害路段 209.5 km。

(2) 时间集中性。在时间上, 青藏铁路处在独特的高原环境, 受高空西风气流和柴达木盆地地面冷风影响, 大陆性气候非常明显。气候干燥、风力强劲、气温低且温差大、气候要素变化剧烈、干湿季分明。降水集中、多暴雨, 风水两相侵蚀营力时空交错。据统计, 青藏铁路沿线各站点年均大风日数均超过了 60 d。如沱沱河 125 d, 安多 139.5 d, 五道梁 110.1 d, 雨季主要集中在 6—9 月^[13]。铁路所经之处起沙风均以西风为主(图 1), 主要集中在冬春季节^[17]。

(3) 沙源多样性。青藏铁路沿线地貌类型复杂, 高原草甸草地以及干河床、湖盆广泛分布, 地表物质松散, 且冻融作用强烈, 冻土内部赋存大量碎屑物。在长期冻融、风蚀交错作用下, 碎屑物分解成细小颗粒, 为风沙活动提供了极为丰富的物质基础。同时, 随着全球变暖, 冻土退化, 高原草甸、草地地表、古沙丘地表结构和下垫面性质发生变化, 加之冰川夏季融水增多, 水蚀能力增强, 大量碎屑物质被释放并携带至河湖之中, 继而为风沙灾害的发生奠定良好的基础^[17-19]。

(4) 危害形式固定性。风沙流对铁路的危害主要表现在风蚀和沙埋。铁路的建成, 改变了原有高原地区的局地气流, 铁路周边流场和能量结构发生改变, 携沙气流受阻后, 风速下降, 携沙能力减弱, 故沙粒沉积在铁路路基和道床上, 形成沙埋, 威胁行车安全。风蚀则主要出现在大风天气下, 在强大的风力影

响下, 沙粒高速跃移, 直接对路基和铁轨形成磨蚀, 加剧钢轨的磨耗和锈蚀, 降低铁路使用年限^[17-19]。

2 沙害成因剖析

2.1 气候变暖, 沙源增多

随着全球气候变暖, 作为独一无二的地域系统, 青藏高原对于全球变化的响应极为显著。从那曲、当雄、五道梁、安多、沱沱河和措那湖六地近 50 a 年际气温趋势可知, 青藏铁路沿线年平均气温逐年增加, 其中以那曲年平均气温升高趋势最大, 年均增加 0.045℃; 沱沱河年平均温度增高趋势最小, 年均增加 0.029 16℃(图 2)。首先, 气温升高, 造成冰川融化, 空气湿度增加, 增强了岩石的物理风化作用。温度下降时, 水汽大量凝结在岩石表面形成泥流, 并因冻结膨胀产生压力而把裂隙附近的岩石压碎成块石和更细的物质, 白天温度升高后, 泥流将碎屑物质溶解带出裂隙后最终汇入河流, 周而复始, 导致岩石分崩离析。其次, 冰川融化, 河水径流量增大, 对地表侵蚀能力增强, 泥沙含量增大, 大量泥沙沉积到河道和湖泊底部。再次, 气温升高, 冻融作用增强。随着温度的升高, 多年冻土转变为季节性冻土, 季节性冻土逐渐消融, 原有冻土区内赋存的松散碎屑物质释放出来, 夏季或温度升高后, 大量融水将岩石裂隙、冻土间隙和松散土层内碎屑物质带出, 形成冻土泥流, 最终带入到河流湖泊之中, 形成沙源。可见, 随着全球变暖, 改变了青藏铁路沿线环境, 加之高原气候严酷、生态脆弱, 冻融、风蚀交互作用, 地表抗蚀能力差, 扰动破坏易风蚀等特点, 增加了沙物质的来源, 致使沙源面积和数量增多。

2.2 风动力环境

2.2.1 起沙风 起沙风是确定风沙活动发生与否及其活动强度的重要依据, 也是研究风沙运动规律、解决风沙工程问题的关键指标之一。对风沙地貌及沙害形成具有直接作用的是大于临界起沙风速的风, 且应用范围较广^[17-21]。因此, 在分析风沙活动强度之前, 首先要确定临界起沙风速。根据野外风洞实验和实地观测, 青藏铁路沿线临界起沙风速确定为 6.0 m/s。由图 1 可知, 各点年合成起沙风以偏西风为主, 沱沱河、五道梁、扎加藏布、安多、措那湖、红梁河合成起沙风向分别为: 292°, 284°, 281°, 268°, 259°, 317°。即合成输沙方向为偏东方向, 与输沙势分析结论保持一致。其中, 措那湖 W 风向占全年起沙风比例最高, 为 43.56%, 五道梁、扎加藏布、安多、沱沱河、红梁河西风向占全年起沙风比例分别为 37%, 36.08%, 27.58%, 27.14%, 18.75%。起沙风以西风为主, 其主要原因是青藏高原地处盛行西风带, 故偏西风频次较多, 且因其海拔较高, 所以风力较强。

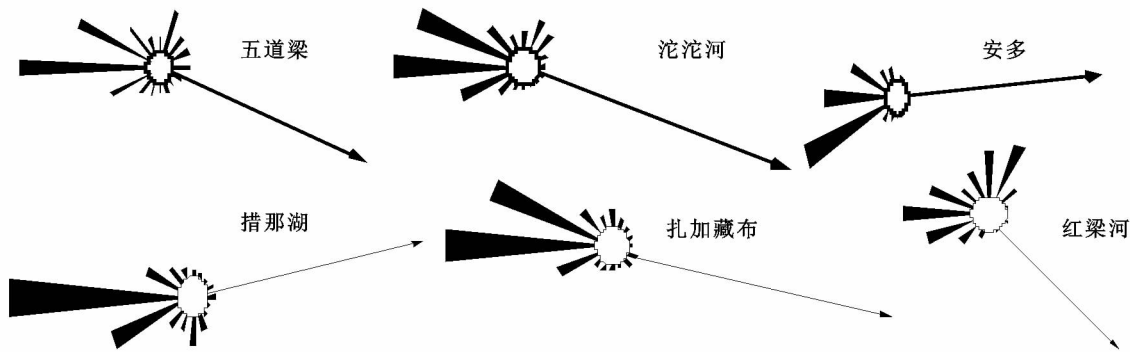


图 1 青藏铁路沿线各站点起沙风玫瑰

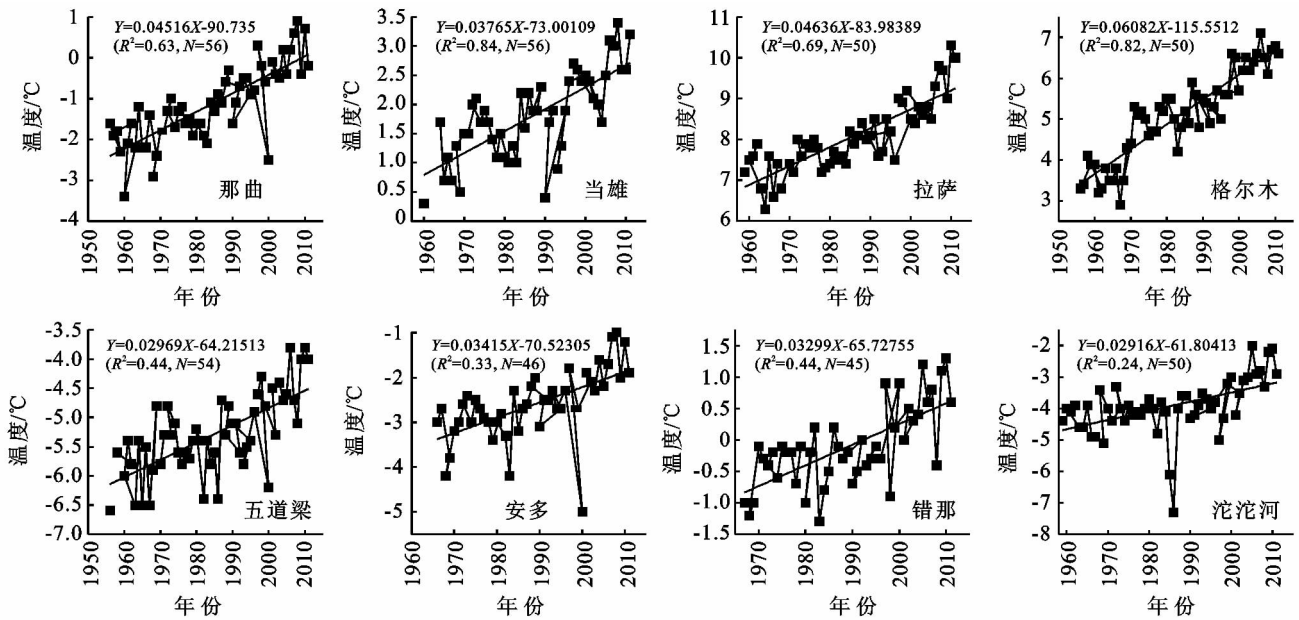


图 2 青藏铁路沿线年际温度变化趋势

2.2.2 输沙势 由图 3 可以看出,除红梁河属于中能风环境外,输沙势 DP 值为 342.11VU,RDP 值为 167.58VU,RDD 为 111°,其余各点均属于高能风环境,DP 值大于 400VU。其中,扎加藏布 DP 值最大,为 722.6 VU,RDP 值为 591.49 VU,合成输沙方向为 100°;五道梁其次,DP 值为 656.82VU,RDP 值为

438.08VU,合成输沙方向为 94°;措那湖、沱沱河和安多 DP 值分别为 557.29VU,538.17VU 和 415.86 VU,RDP 值分别为 396.96VU,320.3VU 和 231.97 VU,合成输沙方向分别为:94°,97°,85°。且各点合成输沙方向都集中在 85°—111°范围内,即东方向,由此可知,青藏铁路沿线盛行风向以西风为主。

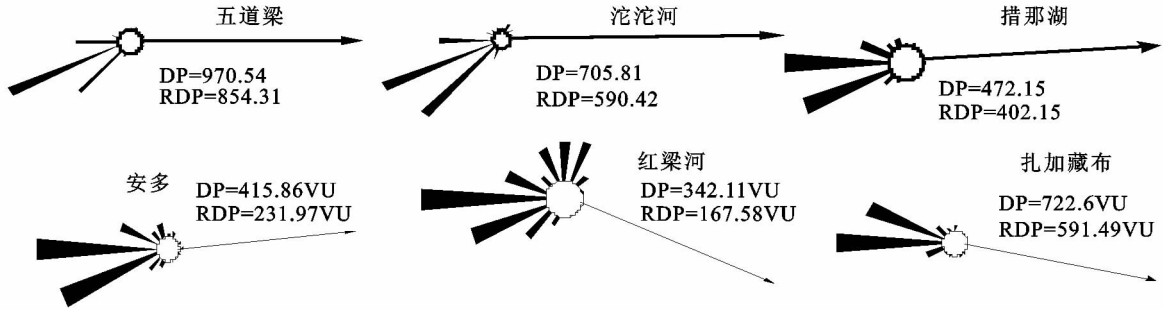


图 3 青藏铁路沿线各站点输沙势

2.2.3 最大可能输沙量 由最大可能输沙量分布 (表 1)可知,扎加藏布风沙活动最强烈,气流搬运能力最强,最大可能输沙量为 67.68 m³/(m·a),合成

输沙方向为 100°,其次为五道梁,为 50.10 m³/(m·a)。青藏铁路沿线各站点合成输沙方向集中在 83°—96°,即偏东方向。

表 1 青藏铁路沿线各站点最大可能输沙量分布

地 点	合成最大可能输沙量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)	合成方向	地 点	合成最大可能输沙量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)	合成方向
五道梁	50.10	93.5°	安多	36.08	84.9°
沱沱河	25.84	96°	红梁河	47.14	109.6°
措那湖	17.55	83°	扎加藏布	67.68	100.8°

2.3 风旱同季

从图 4 中青藏铁路沿线各站点多年月均风速可知,12 月一次年 5 月期间月平均风速较 6—11 月大,月均风速最大值为 3 月份或者 5 月份,最小值则主要集中在 7 月份。由于拉萨和格尔木海拔相对较低,且

城市建筑对气流的阻挡作用明显,故 3 月份平均风速较小,分别为 2.35 m/s 和 2.84 m/s,其余各站点地处高海拔,风速相对较大,月均风速均超过 3 m/s。如沱沱河、安多和红梁河各站点月平均风速均超过 5 m/s,安多月均风速达到 5.48 m/s。

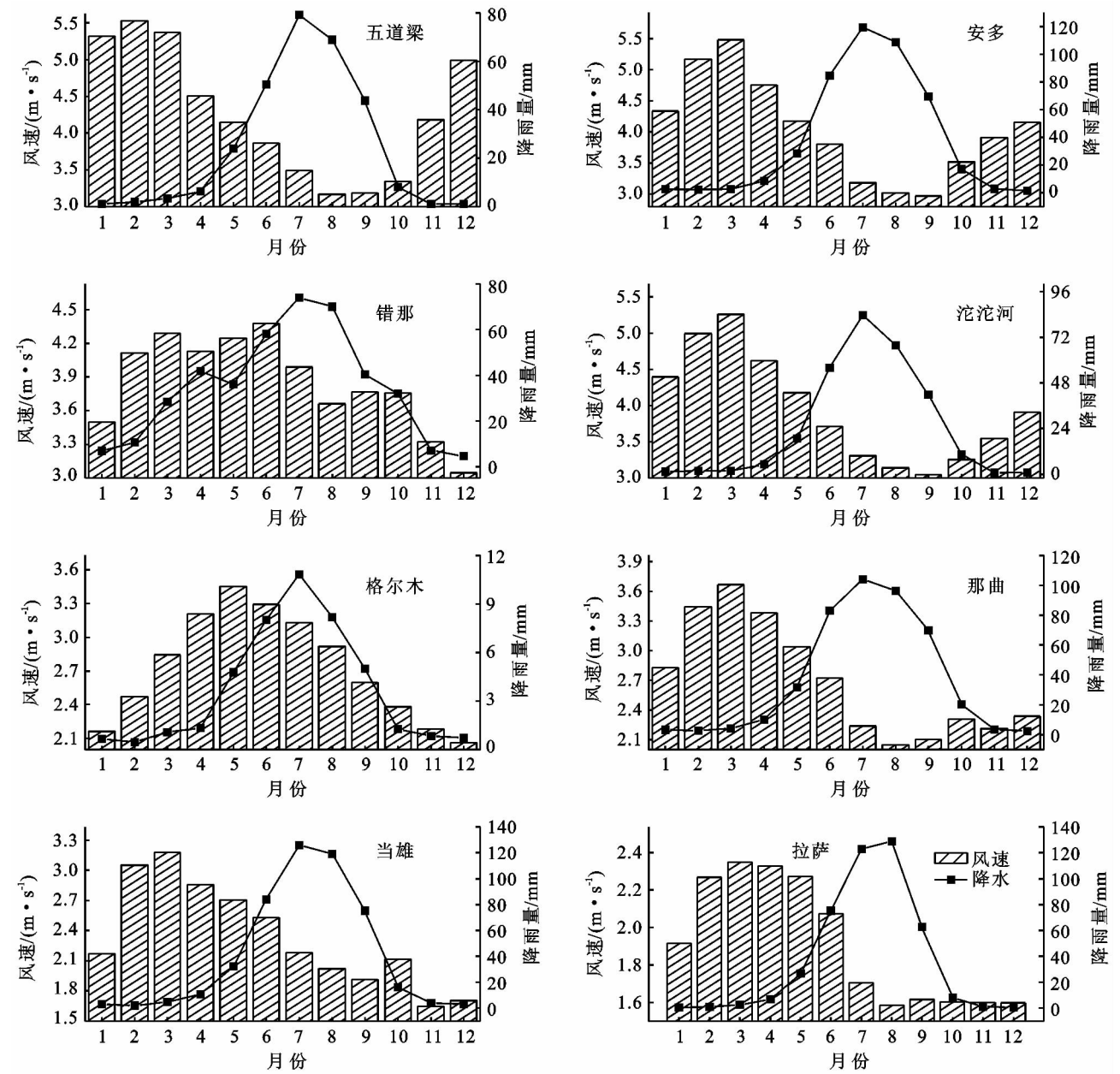


图 4 青藏铁路沿线各站点多年平均风速与降水

分析各站点月平均降水量可知,各站点年内降水量变化趋势相似,成正态分布,以 7 月份月降水量最多。10 月至次年 4 月期间,月平均降水量变化较小,

降水量维持在较低水平,范围为 0.4~4.1 mm,4—7 月期间,月降水量逐渐增多,7 月份达到峰值,之后逐渐减少。其中,格尔木 7 月份降水量最小,仅为 10.82

mm;其余各站点7月份月平均降水量均大于70 mm,以当雄最大,为126.08 mm。分析各站点多年月平均降水量和风速关系可知,降水量与风速存在反比关系,即风速较大时,降水量较小;风速较小时,降水量则较大,属于典型的“风旱同季”。冬春季节,降水量较小,植被盖度较低,对土壤保护作用减小,地表抗风蚀能力较小,而同期风速较大,极易造成土壤风蚀,破坏地表,形成更多的碎屑物质。夏季,平均风速降低,风蚀减弱,而同期降水量增大,河流径流量增大,水蚀增强。可见,“风旱同季”形成冻融、风蚀、水蚀交替出现的环境,导致地表土壤结构离散分解增强,进一步加剧了地表风沙活动的强度。

2.4 人为影响

随着全球温度的升高,青藏铁路沿线环境发生改变,沙源数量和面积增加,继而为风沙灾害提供了物质基础。其次,青藏高原常年盛行西风、且“风旱同季”的独特气候环境为风沙灾害提供了动力基础。两者为风沙灾害的发生提供了得天独厚的自然条件。

再次,青藏铁路的建设,改变了局地原有流场结构,铁路两侧流场形式和能量分布发生改变,风沙流在经过铁路时,在铁路迎风侧,气流受到铁路阻挡并抬升,风速降低,动能大量消耗,携沙能力减弱,大量沙尘在铁路迎风侧发生堆积。随着堆积体积增大,弱风的情况下,沙粒将以蠕移和跃移运动的方式搬至铁轨,进而形成二次危害。风力强劲时,风沙流处于不饱和状态,途经铁轨时,不产生沙埋危害,但易对铁轨形成磨蚀,降低铁轨的使用年限。可见,青藏铁路的修建,为风沙堆积创造了有利环境。

3 结论

综上所述,青藏高原风沙灾害呈现出空间非均匀性、时间集中性、沙源多样性以及危害形式固定性。其主要原因在于随着全球气温的升高,增加了青藏高原沙源面积和数量,加之其有利的动力环境以及青藏铁路建成后形成的易于沙粒沉降的局地环境,为风沙灾害发展提供了得天独厚的条件,最终导致风沙灾害的发生。并且,青藏铁路沿线地表类型复杂,独特的高寒地域环境,导致其风沙流结构与低海拔干旱、半干旱沙漠戈壁区存在重大差异,原有低海拔地区风沙灾害防治经验出现局限性。因此,对于高寒区青藏铁路的沙害问题研究工作有待深入,其致灾机理也待进一步研究与观测。

参考文献:

[1] 李森,董玉祥,董光荣,等. 青藏高原土地沙漠化区划

[J]. 中国沙漠,2001,21(4):418-427.

- [2] 李海东,沈渭寿,余光辉,等. 雅鲁藏布江源区近35 a 气候变化特征[J]. 水土保持研究,2010,17(5):63-67.
- [3] 王兮之,何巧如,李森,等. 青藏高原土地退化类型及其退化程度评价[J]. 水土保持研究,2009,16(4):14-18.
- [4] 刘兰花,李耀增,康峰峰. 高原地区铁路建设生态恢复技术初探[J]. 水土保持研究,2007,14(1):310-312.
- [5] 何晓蓉,李辉霞,范建荣,等. 青藏高原流域廊道体系对生态环境的影响:以尼洋河流域为例[J]. 水土保持研究,2004,11(2):97-99.
- [6] 王涛,吴薇,薛炯,等. 近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报,2004,59(2):203-212.
- [7] Wang X, Zheng D, Shen Y. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990—2000 [J]. Catena,2008,72(1):56-66.
- [8] 董玉祥. 西藏自治区土地沙漠化防治及其工程建设问题研究[J]. 自然资源学报,2001,16(2):145-151.
- [9] Ding M, Zhang Y, Shen Z, et al. Land cover change along the Qinghai-Tibet Highway and Railway from 1981 to 2001 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2006,16(4):387-395.
- [10] 祝广华,陶玲,任珺. 青藏铁路工程迹地对植被的影响评价[J]. 草地学报,2006,14(2):160-164.
- [11] Wu Q, Shi B, Fang H Y. Engineering geological characteristics and processes of permafrost along the Qinghai-Xizang (Tibet) Highway[J]. Engineering Geology, 2003,68(3):387-396.
- [12] 陈晓丹. 青藏铁路格拉段环境影响分析[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5/6):135-138.
- [13] 段青龙. 青藏铁路措那湖活动沙丘的形成机制及治理对策[J]. 岩土工程技术,2002(6):311-314.
- [14] Zhang K, Qu J, Liao K, et al. Damage by wind-blown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China[J]. Aeolian Research,2010,1(3):143-146.
- [15] 杨印海,蒋富强,王锡来,等. 青藏铁路措那湖段沙害防治措施研究[J]. 中国沙漠,2010,30(2):1256-1262.
- [16] 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.
- [17] 白虎志,李栋梁,董安祥,等. 青藏铁路沿线的大风特征及风压研究[J]. 冰川冻土,2005,27(1):111-116.
- [18] 张克存,屈建军,牛清河,等. 青藏铁路沱沱河路段风沙灾害特征及其动力环境分析[J]. 中国沙漠,2010,30(5):1006-1011.
- [19] 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.
- [20] 王多青. 青藏铁路格拉段风沙防治[J]. 铁道工程学报,2009(10):12-15.
- [21] 姚正毅,屈建军,等. 青藏铁路格尔木—拉萨段风成沙源及其粒度特征[J]. 中国沙漠,2012,32(2):300-307.