

赵明珠, 俎瑞平, 王军战, 等. 哈罗铁路沿线沉积物粒度特征[J]. 中国沙漠, 2021, 41(1): 19-27.

哈罗铁路沿线沉积物粒度特征

赵明珠^{1,2}, 俎瑞平¹, 王军战¹, 谭立海¹

(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. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 哈罗铁路开通对沿线资源的开发具有重要意义, 然而自开通以来饱受风沙危害。对铁路沿线及防沙体系内沉积物粒度特征参数进行了对比分析, 以期为该线风沙危害的科学防治提供有益参考。结果表明: (1) 铁路沿线沉积物组成以中细沙为主, 灌丛沙地分选性中等至很差, 偏度以近对称为主, 峰度中等至很窄; 戈壁区沉积物整体分选性较差, 偏度以极正偏为主, 峰度以很窄为主; (2) 灌丛沙地粒径频率曲线呈单峰态分布, 而戈壁粒径频率曲线呈双峰或三峰态分布; 哈密盆地戈壁沉积物粒径垂直分布特征表现为上粗下细; (3) 铁路沿线形成沙害的主要原因是就地起沙, 防护体系内的积沙已成为危害铁路的二次沙源。

关键词: 沉积物; 机械组成; 戈壁; 防沙体系; 哈罗铁路

文章编号: 1000-694X(2021)01-019-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00096

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

哈罗(哈密-罗中)铁路的开通结束了“死亡之海”罗布泊没有铁路的历史, 不仅促进了沿线矿产资源的开发, 解决了钾盐出疆的难题, 而且对促进沿线旅游资源的开发具有重大意义^[1-3]。然而, 这里风力强劲且频繁^[4], 铁路受风沙危害严重(图1A)。据实际观测, 截至目前全线风沙危害路段长195.5 km, 约占线路全长的52%, 其中98%以上为戈壁风沙危害。戈壁又称砾漠, 是砾石和粗沙覆盖在硬土层上的一种地表类型^[5], 主要分布于中国西北干旱少雨地区, 生态环境脆弱, 易发生风沙灾害^[6]。戈壁与沙漠具有完全不同的风沙流结构^[7], 因此, 在建设之初相关部门根据沙漠地区风沙防治经验建立的防沙体系多数不奏效, 大部分防护措施都遭流沙掩埋或损毁(图1B), 在风沙危害最严重地段, 铁路两侧防护体系内的地表已由戈壁逐渐变为流沙, 风沙危害呈逐年加剧趋势。

目前关于戈壁风沙危害防治研究, 多集中在表面砾石^[8]以及表层风沙流结构^[9-10], 鲜有对戈壁下伏

沉积物粒度方面的分析。粒度作为沉积物的重要特征, 能反映沉积物的搬运方式和沉积环境, 判別地质类型和物质来源, 计算简单方便, 反映意义较为准确。目前在海洋、湖泊、沙漠等研究中, 粒度分析被广泛应用^[11-12]。本文采用激光粒度仪法, 分析哈罗铁路沿线不同采样点沉积物粒度特征, 阐明不同地表泥沙粒度组成特征, 分析危害该铁路的沙物质来源, 以期为该铁路沿线风沙运动及防治方面的监测和实验工作提供理论依据。

1 研究区概况

哈罗铁路北起新疆维吾尔自治区哈密市的哈密南站, 途经吐鲁番地区和巴音郭楞蒙古自治州到达罗布泊镇的罗中站(图2)。铁路依次穿越哈密盆地冲洪积平原区(K0-K46, 长46 km)、天山东部支脉库鲁克塔格低山丘陵区(K46-K294, 长248 km)、罗布泊湖积平原区(K294-K383, 长89 km)等地貌单元。其中, 哈密盆地地形平坦、开阔, 海拔510—700 m; 库鲁克塔格低山丘陵区山体平缓, 海拔700—1 220 m, 相对高差为10—50 m, 局部呈剥蚀准平原;

收稿日期: 2020-06-29; 改回日期: 2020-09-08

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(41977416, 41771010); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部青年学者”项目; 中国铁路呼和浩特局集团有限公司科技研究开发计划课题(HJTJ-GW-2018-59)

作者简介: 赵明珠(1995—), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为地表风沙过程。E-mail: zhaomingzhu@lzb.zc.cn

通信作者: 俎瑞平(E-mail: zurp@lzb.ac.cn)

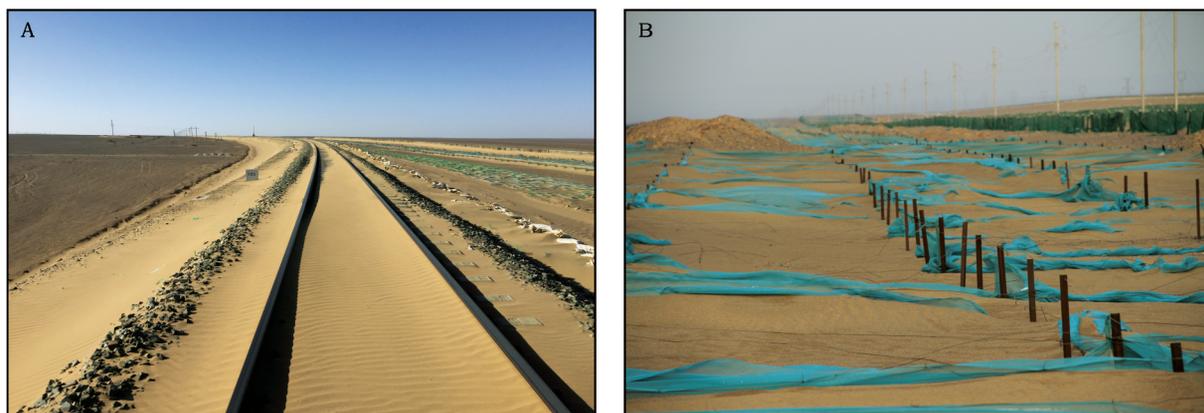
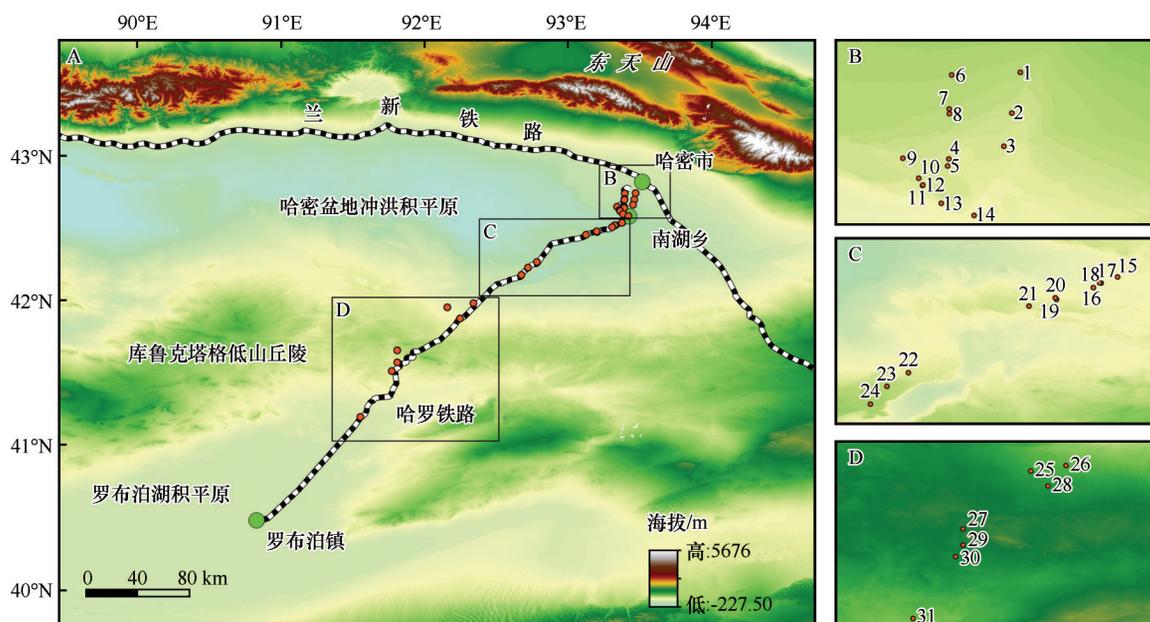


图1 哈罗铁路沿线沙害(A)和防护体系(B)现状

Fig.1 The status of sand hazard (A) and protection system (B) along Hami-Lop Nor Railway



采样点1、6、14属农田;采样点2、3、4、7、8、9、11属灌丛沙地;采样点5、10、12、13、15、16、17、18、19、20、21、22(K101)、23、24、25、26、27、28(K166)、29、30(K232)、31(K280)属戈壁

图2 哈罗铁路沿线采样点位置

Fig.2 Location of sampling points along the Hami-Lop Nor Railway

罗布泊湖积平原地处塔里木盆地东部,地表因超盐渍土的盐胀呈现“犁耕地”现象,似波浪状起伏,为厚层龟裂状盐壳,高度为5—25 cm,地表无植被,呈现茫茫盐漠景观。沿线属大陆性温带干旱气候,有地球“旱极”之称,最高温度达43.9℃,年均气温9.9—12.3℃,年降水量26.1—35.7 mm,年蒸发量2974.7—4820.5 mm,是降水量的83—185倍。对2018年8月至2019年7月沿线6个站点10 m高度风速实地观测、分析可知,沿线风力强劲,大风频繁,风季在4—7月,最大风速 $30.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,不同路段主要风向不同,K73+100、K87+700和K94+500路段以西北风和偏东风为主,K104+700路段以西南风为主,

K110+100路段以偏北风为主,K291+100路段以偏东风为主。哈密至南湖乡间多辟为耕地,局部荒地上生长有白茨(*Nitraria tangutorum*)及蒿属(*Artemisia*)等耐旱性植物,植被盖度低,种类组成单一,南湖乡以南植被覆盖度不足5%^[13]。

2 研究方法

2.1 样品采集

根据实地调查,铁路沿线下垫面类型主要为灌丛沙地和戈壁。其中从哈密至南湖乡为灌丛沙地、戈壁相间分布,南湖乡至罗布泊镇全部为戈壁。对

这两种典型下垫面类型依次采集地表沙样,采集深度分别为0—5 cm和5—10 cm,每个采样点用GPS定位经纬度和海拔,并详细记录周边地貌、植被、采样时间等信息。由于罗布泊湖积平原区,多质地坚硬的厚盐壳,无风沙危害,因此在粒度采样中没有涉及到这一区域。在铁路沿线表层共设置31个采样点,其中哈密盆地冲洪积平原区农田3个、灌丛沙地7个、戈壁覆盖区8个,库鲁克塔格低山丘陵戈壁覆盖区13个。此外,对沿线高立式沙障内积沙取对比戈壁表层与沙障内沉积物粒度参数变化,从上风向对K56附近防护体系下不同措施内依次取样,用于分析沙源。采样位置与样品19位置相近,因此对采集的样品从上风向依次编号为19-1、19-2、19-3、19-4、19-5、19-6。

2.2 数据分析

测定沉积物粒度的方法有很多种,如直接测量法、沉降法、影像分析法、筛析法、X射线衰减法、电阻法、激光粒度仪法等。其中,激光粒度仪法采用光学原理测定粒径大小,具有准确性高、分析范围广且速度快等优点^[14-15]。使用Mastersizer 2000型激光粒度仪对采集样品进行粒度分析测试。为便于作图和运算,粒径值通过如下公式进行对数转化:

$$D = -\log_2 d \quad (1)$$

式中: D 为颗粒直径(单位 Φ); d 为颗粒直径(单位mm)。

不同粒级沉积物的粒度范围和类别名称如表1^[16]。

平均粒径(M_z)、分选系数(σ)、偏度(SK)以及峰态(K_g)等粒度特征参数采用福克(Folk)和沃德

(Ward)1957年提出的公式^[16]:

$$M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \quad (2)$$

$$\sigma = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6 \quad (3)$$

$$SK = (\Phi_{16} + \Phi_{18} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16}) + (\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_5) \quad (4)$$

$$K_g = (\Phi_{95} - \Phi_5)/2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25}) \quad (5)$$

式中: Φ_5 、 Φ_{16} 、 Φ_{25} 、 Φ_{50} 、 Φ_{75} 、 Φ_{84} 和 Φ_{95} 分别为累积百分含量5%、16%、25%、50%、75%、84%和95%时对应的粒径值; M_z 代表平均粒径; σ 代表分选系数(<0.35 Φ :分选极好;0.35—0.50 Φ :分选很好;0.50—0.71 Φ :分选较好;0.71—1.00 Φ :分选中等;1.00—2.00 Φ :分选较差;2.00—4.00 Φ :分选很差;>4.00 Φ :分选极差); SK 代表偏度(-1.0—-0.3:极负偏;-0.3—-0.1:负偏;-0.1—0.1:近对称;0.1—0.3:正偏;0.3—1.0:极正偏); K_g 代表峰度(<0.67:很宽;0.67—0.90:宽;0.90—1.11:中等;1.11—1.50:窄;1.50—3.00:很窄;>3.00:非常窄)。

3 结果与分析

3.1 沉积物粒度组成及参数特征

由图3可知,哈罗铁路沿线地表样品的粒度范围为1.6—3.7 Φ ,均以细沙和中沙为主。其中,哈密盆地冲洪积平原区灌丛沙地平均粒径的平均值为2.2 Φ ,细沙和中沙平均含量分别为32.3%和35.1%;哈密盆地冲洪积平原区戈壁平均粒径的平均值为2.6 Φ ,细沙和中沙平均含量分别为30.9%和35.1%;库鲁克塔格低山丘陵区戈壁平均粒径与哈密盆地冲洪积平原戈壁覆盖区平均粒径相似,平均值为2.5 Φ ,细沙和中沙平均含量分别为31.0%和32.1%。

分选系数表示颗粒大小的均匀程度。哈密盆地冲洪积平原区灌丛沙地的沉积物分选性为中等,约占50%,分选系数0.78—2.19 Φ ;哈密盆地冲洪积平原戈壁的下伏沉积物分选较差和分选很差,约占80%,分选系数0.80—2.67 Φ ;库鲁克塔格低山丘陵区的戈壁下伏沉积物分选较差和分选很差,约占43%、57%,分选系数1.40—2.58 Φ 。灌丛沙地经风的筛选作用,粒径较为一致;而戈壁地区有表层砾石的保护作用,分选性则表现较差。

偏度可衡量频率曲线的对称性。测试发现,灌丛沙地偏度集中于0—0.5,以近对称为主,约占43%;哈密盆地冲洪积平原区的戈壁下伏沉积物偏

表1 沉积物粒度范围和类别名称

Table 1 Sediment particle size range and category name

沉积物	粒径/ Φ	类别名称	沉积物	粒径/ Φ	类别名称	
砾石	<-8	巨砾/漂石	沙	2-1	中沙	
	-6--8	卵石		3-2	细沙	
	-5--6	极粗砾		4-3	极细沙	
	-4--5	粗砾		粉沙	5-4	粗粉沙
	-3--4	中砾			6-5	中粉沙
	-2--3	细砾			7-6	细粉沙
	-1--2	极细砾			8-7	极细粉沙
沙	0--1	极粗沙	黏土	>8	黏土	
	1-0	粗沙				

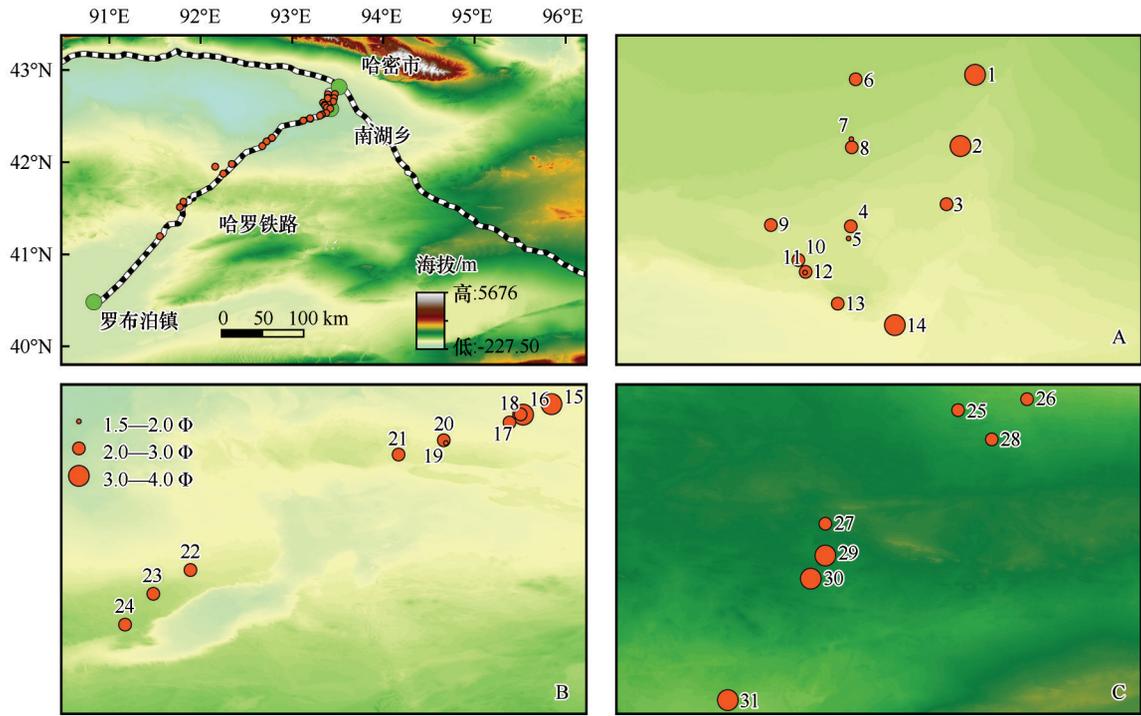


图3 哈罗铁路沿线表层(0—5 cm)沉积物的平均粒径分布

Fig.3 Average particle size of surface (0—5 cm) sediments along the Hami-Lop Nor Railway

度分布范围较广(0—0.6),以极正偏为主,约占70%;库鲁克塔格低山丘陵区的戈壁下伏沉积物偏度集中于0.18—0.54,其中极正偏约占86%。结果显示戈壁下伏沉积物粒度分布对称性较差,且集中于粗粒部分。

峰度描述粒径分布曲线形态的尖锐程度。铁路沿线峰度均表现为中等至很窄峰态。其中,灌丛沙地峰度大于0.9,以中等和很窄峰态为主;哈密盆地冲洪积平原区和库鲁克塔格低山丘陵区的戈壁下伏沉积物峰度均以大于1.5、很窄峰态为主,分别占比70%和86%,也反映了戈壁粒度组成范围较小、以粗粒为主的特征。

3.2 沉积物粒度空间变化

由图4可知,灌丛沙地样品7和样品8粒径频率曲线呈明显的单峰态分布,主峰高且峰值集中。其原因可能是由于灌丛沙地上的植被对风沙流的阻挡作用,使较粗粒径的沙粒固定下来;而风沙流中黏粒由于粒径较小,重力小于风的湍流应力,导致悬浮时间较长,沉降速度较慢。此外,该地段除少部分植被覆盖外,大部分为裸露在外的沙地地表,受西北风吹蚀时间长,使得该地段分选作用相对较好。戈壁的样品5、12、18和30呈双峰态分布,而样

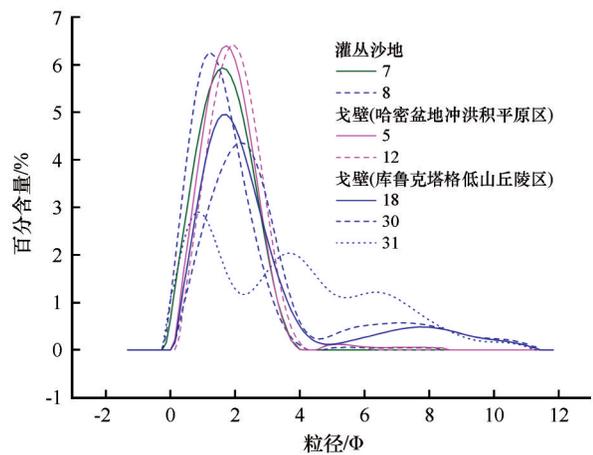


图4 粒度分布频率曲线

Fig.4 Frequency curve of particle size distribution

品31呈三峰态分布特征,表明因冲洪积作用形成的堆积型戈壁和低山残丘形成的剥蚀型戈壁砾石层下的沉积物颗粒均粗细混杂,分选性较差^[17]。

从垂直方向上看,哈密市至南湖乡附近戈壁下伏沉积物与表层机械组成存在明显差异(图5)。0—5 cm的沉积物中大于8 φ(黏土,4%)的颗粒含量小于5—10 cm中的沉积物含量(黏土,6%);0—5 cm的沉积物粒度4—8 φ(粉沙,9%),小于5—10 cm沉积物粉沙占比(粉沙,10%);-1—4 φ在0—5 cm的沙物质含量(沙,87%)大于5—10 cm深度采样的沉

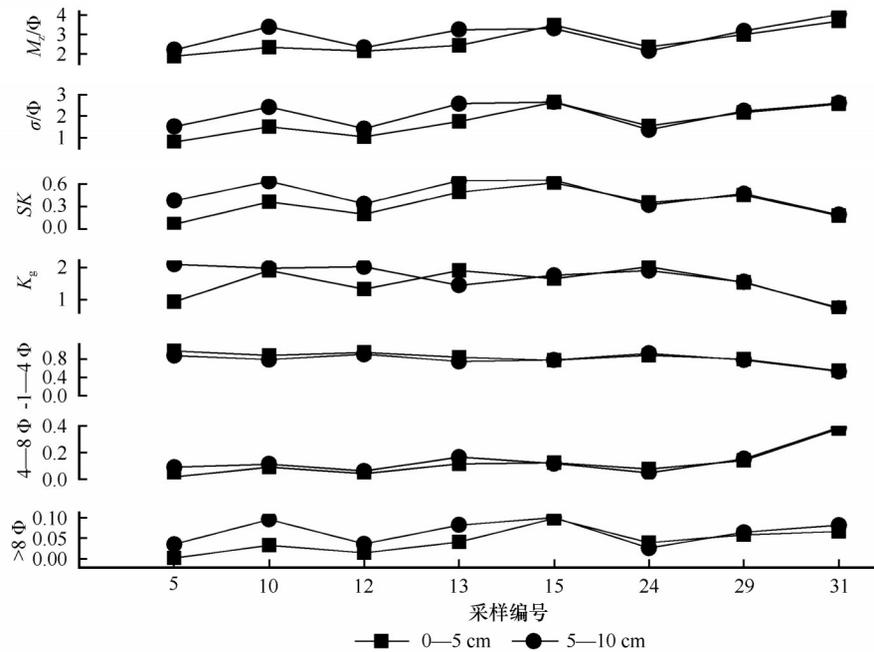


图 5 戈壁下伏 0—5 cm 和 5—10 cm 沉积物参数对比

Fig.5 Comparison of sediment parameters of 0—5 cm and 5—10 cm underlying Gobi

积物沙含量(沙,84%)。其中,5号样品中0—5 cm 中沙的含量高达98%,通过对比可知,表层黏土颗粒相对较少,沙含量相对较多。

由图 5 可知,哈密盆地冲洪积平原区 0—5 cm 与 5—10 cm 沉积物粒度参数存在一定差异。0—5 cm 沉积物平均粒径为 2.5 Φ (1.9—3.5 Φ),高于 5—10 cm 沉积物的平均粒径 2.9 Φ (2.2—3.4 Φ)。从分选系数看,0—5 cm 的分析系数表现较差(1.5 Φ),而 5—10 cm 分选系数表现很差(2.1 Φ),即 0—5 cm 沙粒的分选性好于 5—10 cm 沙粒的分选性。由以上分析可以看出,铁路沿线表层(0—5 cm)的平均粒径较大,且粒径分布相对均匀。从偏度看,0—5 cm 沙粒偏度范围在 0.2—0.7,表现为近对称-正偏-极正偏,平均偏度为 0.3;5—10 cm 沙粒偏度范围在 0.4—0.6,属于极正偏,平均偏度为 0.5。这表明相对 0—5 cm 沉积物的粒度分布的对称性好于 5—10 cm 沉积物粒度分布的对称性。0—5 cm 与 5—10 cm 沉积物峰态平均值分别为 1.5 和 1.8,取值范围分别为 0.9—1.9 和 1.5—2.1,0—5 cm 沉积物的峰度值整体低于 5—10 cm 的峰度值,反映出 0—5 cm 沉积物粒度的高值分布范围较广,粒度分布相对均匀。这可能是由于表层砾石间的空隙捕获并固定流水和风力搬运的细颗粒物质,使得表层沉积物的粒径跨度较大,分选性较好。库鲁克塔格低山丘陵区 0—5 cm 沉积物和 5—10 cm 沉积物的不同粒径沙含量

以及平均粒径、分选系数、偏度、峰度参数相差不大。这可能是由于该地区属于剥蚀低山和丘陵地貌,长期受到的动力作用相似,一定厚度内堆积的碎屑残积物组成相似。

3.3 防护体系对沉积物粒度的影响

由表 2 可知,高立式沙障外戈壁沉积物到障内沉积物粒度参数均有明显变化,主要表现为以下 4 个方面:①障内平均粒径大于戈壁沉积物的。可能因为风沙流遇到障碍,较粗的颗粒先沉积,粒径较小的沙物质被带到更远的地方,致使沙障内沉积的

表 2 戈壁表层与沙障内沉积物粒度参数比较

Table 2 Parameters of sediments in the Gobi surface and the sand barrier

样本编号	M_z/Φ	σ/Φ	SK	K_g
G18 戈壁	2.414	1.881	0.476	1.934
S18 高立式沙障内	1.491	0.727	0.117	1.002
G21 戈壁	2.239	1.229	0.233	1.471
S21 高立式沙障内	1.782	0.988	0.156	0.943
G22 戈壁	2.429	1.553	0.310	1.830
S22 高立式沙障内	2.081	0.996	0.012	0.990
G24 戈壁	2.365	1.540	0.356	2.015
S24 高立式沙障内	1.845	0.916	0.115	0.951

因采样点位置相近,沙障外戈壁沉积物编号前加“G”,沙障内沉积物编号前加“S”,以示区分。

平均粒径变大;②分选性由较差变为中等,风动力环境相似,沉积颗粒大小相似;③偏度由极正偏变为正偏。这表明沉积物中粗粒含量减少,风带动沙粒有一定的粒径范围,较大的沙粒不易移动;④峰度值减小。这表明沙粒沉积之后,新环境对它的再分选作用较弱。此外,通过沙障内积沙和防护体系上风向戈壁下伏沉积物的粒度频率曲线对比(图

6),发现两者除较粗和较细颗粒含量有差别之外,0—4 Φ 粒度含量百分比极其相似,可能因为较粗的沙粒不易被风吹动,而较细的颗粒又不易降落,只有易发生跃移、蠕移的0—4 Φ 的沙粒易被沙障阻拦而降落。通过分析可得,造成铁路沿线沙害的主要原因是就地起沙,这也与王锡来等^[18]得出的戈壁地区铁路沙害成因结论相似。

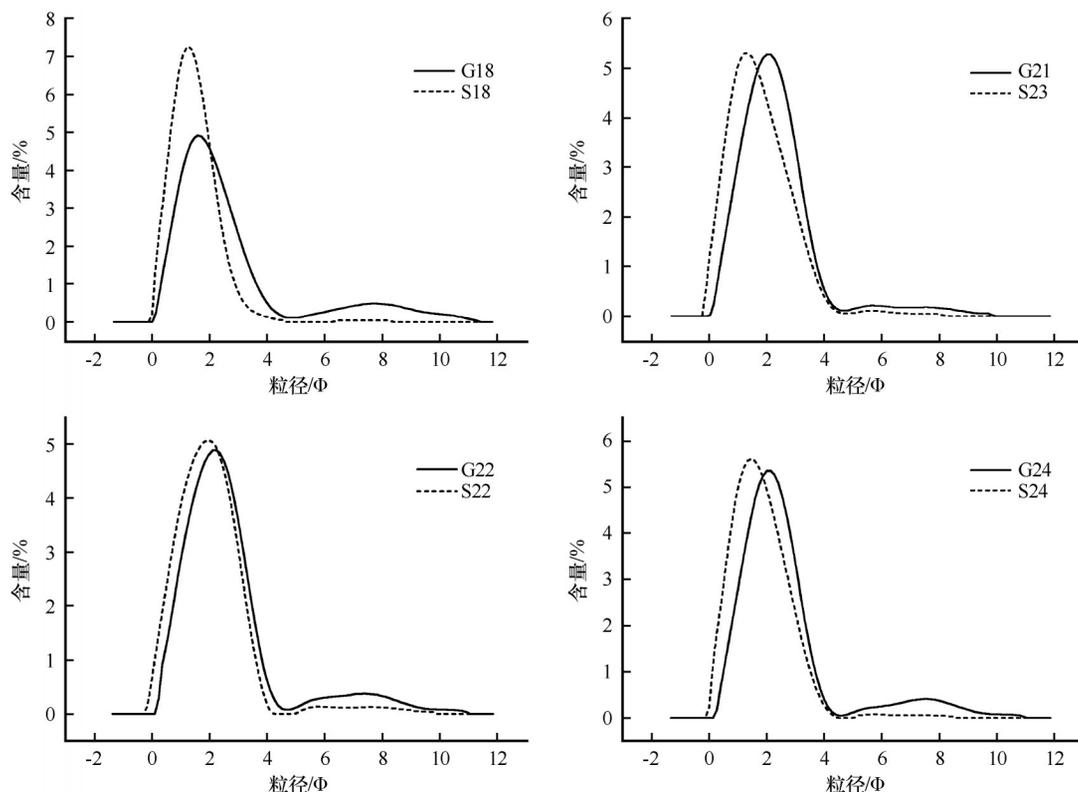


图6 戈壁表层与沙障内粒度分布频率曲线对比

Fig.6 Frequency curve comparison of particle size distribution between gobi surface and sand barrier

图7中19-1和19-2、19-3和19-4分别采自于K56附近高立式沙障前、后。两两相似性极大,且4个样本中几乎没有大于4 Φ 的粉沙,这可能是由于高立式沙障高度较大,降风效应显著^[19],粗沙、中沙、细沙随风跃移、蠕移中遇阻降落堆积,而粒径较小的粉沙、黏粒悬移越过沙障,沉积较少,也表明高立式沙障能使风速减弱,使得某一粒径范围内的沙粒在风速减弱区沉降,起到一定防护作用,但是不能完全阻截风沙流,尤其是粉沙和黏粒会越过沙障对铁路产生危害。此外,19-2和19-4沙障后的粗粒沉积少于沙障前19-1和19-3,可能与当地风向有关,该路段为一主一次钝双峰型风向,盛行主起沙风向是西北风(WNW-NNW),次起沙风向为偏东风(SE-ESE),起沙风频率、强度表现为主风向大

于次风向,风吹蚀带动较粗沙粒移动的可能性更大,使得堆积在沙障前粗粒相对较多。格状沙障内部19-5和19-6采样点粗沙有一定的分布,但同时粉沙及黏粒也均有分布,两者大于4 Φ 的粉沙含量占比依次为11.17%、22.57%,这一部分可能是由于气流经过第一道和第二道高立式沙障后,动力不足以携带较粗的沙粒移动,也可能是由于格状沙障不仅具有单排的高立式沙障阻沙功能,同时具有固沙功能。此外,第一处格状沙障内19-5平均粒径为2.2 Φ ,对应粒度分级为细沙,第二处格状沙障内19-6平均粒径为3.6 Φ ,对应的粒径分级为极细沙,说明经过第一处的格状沙障后,动能减弱,携带的沙粒粒径更小。值得注意的是19-5和19-6采样点邻近铁路,而其大于2 Φ 以上的细沙占比均在60%

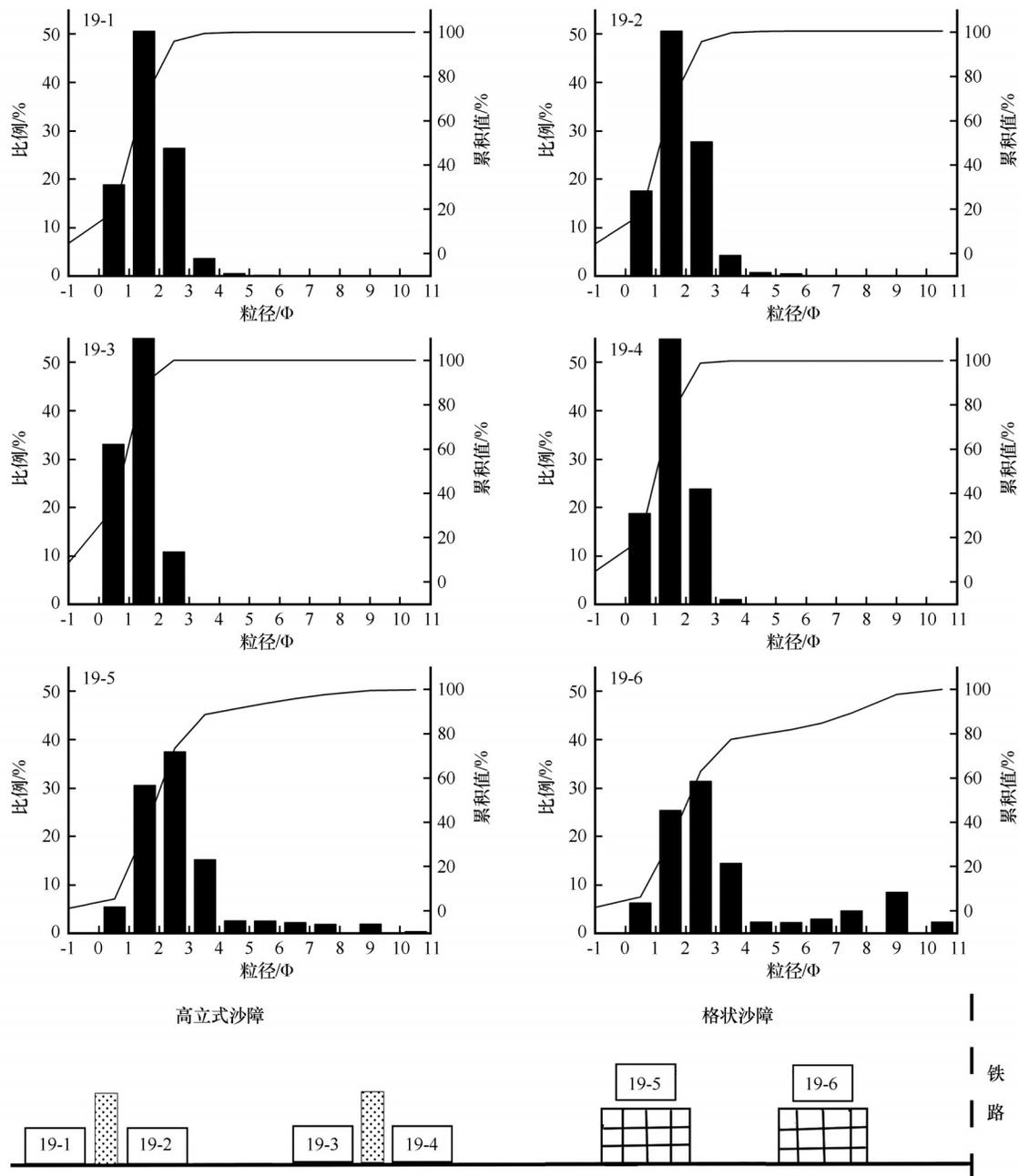


图 7 防护体系下沉积物粒度及采样点位置示意图

Fig.7 Sediment grain size and sampling points under the protection system

以上,大于 19-1、19-2、19-3 和 19-4 采样点细沙比例,这一部分是因为格状沙障的固沙作用,另一部分可能是因为在修建铁路的过程中,破坏了戈壁表层覆盖的砾石,底层细沙上翻,大风天气时,这将成为风沙灾害的二次沙源,造成沙害。

由图 8 可知,沉积物粒度概率累积曲线为三段式,分别对应滚动、跃移和悬移 3 种运动方式。其中跃移组分的比率最高,占比 63%—69%,区间在 1—3 Φ ,斜率在 60°左右,分选性较好。滚动占比

平均为 23%,说明沉积物的搬运方式以蠕移和跃移为主,加之跃移粒径比河湖沉积、沙漠沉积粒度粗^[20-22],暗示了高能的沉积环境。此外跃移和悬移之间有一个过渡段,跃移总体和悬移总体交截点在 3—4 Φ ,出现此种现象的原因可能是沙粒搬运中受到扰动以及风力不同。其次,悬移组分占比在 10%左右,粒径 4—9 Φ ,其特别之处在于悬浮运动散点呈曲率较小的圆弧形,斜率较低,分选较差,粒径分布较分散,这可能是因为悬移成分距源区较远。

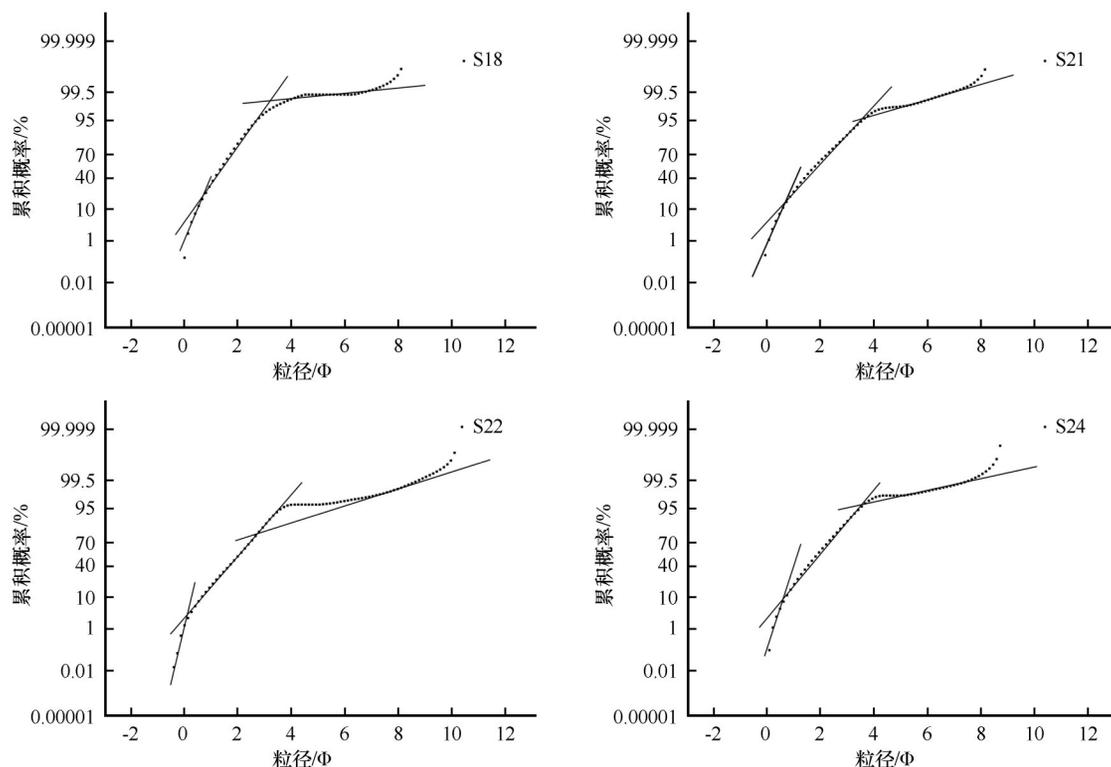


图8 防护体系内积沙粒度的概率累积曲线

Fig.8 The probability cumulative curves of sediment in the protection system

4 结论

哈罗铁路沿线沉积物粒径较粗,以中、细沙为主;哈密盆地冲洪积平原区,灌丛沙地分选性中等至很差,偏度以近对称为主,峰度以中等和窄峰态为主;哈罗铁路沿线戈壁下伏沉积物颗粒粗细混杂,粗粒占比较大且集中,分选性表现为较差和很差,偏度以极正偏为主,峰度以窄峰态为主。灌丛沙地下伏沉积物粒径频率呈单峰态分布,戈壁下伏沉积物粒径频率呈双峰或三峰态分布。哈密盆地冲洪积平原区戈壁的0—5 cm与5—10 cm沉积物相比,平均粒径大、分选性较好,偏度、峰度偏小,具有上粗下细的结构特征。造成铁路沿线沙害的主要原因是就地起沙;防护体系虽能起到一定的防护作用,但因沙障内积沙距铁路较近,是潜在危害铁路的二次沙源。

参考文献:

- [1] 焦鹏程,刘成林,颜辉,等.新疆罗布泊盐湖深部钾盐找矿新进展[J].地质学报,2014,88(6):1011-1024.
- [2] 樊晨琛.建国以来新疆哈密铁路建设研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2016:21-25.
- [3] 阚耀平.哈密地区旅游资源开发研究[J].干旱区地理,1999(3):77-81.
- [4] 谢德江.哈罗铁路戈壁风沙流路基防治措施[J].科技交流,2013,43(2):7-10.
- [5] 冯益明,吴波,姚爱冬,等.戈壁分类体系与编目研究[J].地理学报,2014,69(3):391-398.
- [6] 常兆丰,刘世增,张德魁,等.戈壁的正向生态作用与负向生态作用:以甘肃河西走廊为例[J].中国农业资源与区划,2016,37(1):43-49.
- [7] 屈建军,黄宁,俎瑞平,等.戈壁风沙流结构特性及其意义[J].地球科学进展,2005(1):19-23.
- [8] 曹晓阳,冯益明.噶顺戈壁地表砾石粒度特征分析[J].中国水土保持科学,2016,14(1):46-52.
- [9] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.戈壁风沙流结构和风速廓线特征研究[J].水土保持研究,2005(1):54-55.
- [10] 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.
- [11] Gao S, Collins M B, Lanckneus J, et al. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the Belgian continental shelf[J]. Marine Geology, 1994, 121(3/4): 171-185.
- [12] Zhao S, Yu Y, Xia D, et al. Urban particle size distributions during two contrasting dust events originating from Taklimakan and Gobi Deserts [J]. Environmental Pollution, 2015, 207: 107-122.
- [13] 陈浩,李晓兵,史培军.中国西北地区蒸发散量计算的遥感研究[J].地理学报,2001(3):261-268.
- [14] 蔡雄飞,廖计华,蔡海磊,等.第四系冲、洪积物的识别标志和研究意义[J].海洋地质前沿,2007,23(1):10-12.

- [15] Weiss E L, Frock H N. Rapid analysis of particle size distributions by laser light scattering[J]. *Powder Technology*, 1976, 14(2): 287-293.
- [16] 中国黑戈壁地区生态本底科学考察队. 中国黑戈壁研究[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 32-34.
- [17] 董智, 王丽琴, 杨文斌, 等. 额济纳盆地戈壁沉积物粒度特征分析[J]. *中国水土保持科学*, 2013, 11(1): 32-38.
- [18] 王锡来, 王在广, 张登绪. 戈壁地区铁路沙害成因及工程防护初步研究[J]. *路基工程*, 2000(6): 44-51.
- [19] 韩致文, 郭彩霞, 钟帅, 等. 库布齐沙漠 HDPE 网和植物纤维网沙障防沙试验效应[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(4): 681-689.
- [20] 徐利强, 徐芳, 周涛发. 巢湖沉积物粒度特征及其沉积学意义[J]. *地理科学*, 2015, 35(10): 1318-1324.
- [21] 魏本杰, 侯战方, 陈诗越, 等. 黄河下游大野泽沉积物粒度特征及其对环境演化的指示[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(3): 151-161.
- [22] Oliver M L, Michael C H, Thomas M M. Statistical comparisons of grain size characteristics, hydraulic conductivity, and porosity of barchan desert dunes to coastal dunes[J]. *Aeolian Research*, 2020, 43: 1-12.

Grain size characteristics of sediment along the Hami-Lop Nor Railway

Zhao Mingzhu^{1,2}, Zu Ruiping¹, Wang Junzhan¹, Tan Lihai¹

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The operation of Hami-Lop Nor Railway is of great significance to the development of resources along the railway. However, it has suffered from sand hazards since its work. In this study, in order to provide useful references for the scientific control of the sand hazards of along the railway, the grain size characteristic parameters of sediment from along the railway and sand-prevention system were analyzed. The results showed that: (1) The sediment composition along the railway was mainly medium and fine sand. For the shrub sand, the sorting was medium to very poor, the skewness was mainly near symmetry, and the kurtosis was medium to very narrow. The sorting of the sediment from gobi area was poor, with pole-positive skewness predominating and very narrow kurtosis. (2) The grain size frequency curve of shrub sand presented the distribution with a single peak. However, the grain size frequency curve of the gobi area presented the distribution with bimodal or triple peaks. The vertical distribution of the particle size of the gobi sediment in the Hami Basin was characterized by coarse upper and finer bottom. (3) The main reason for the formation of sand hazards along the railway was local sand entrainment, and the sediment in the sand-prevention system has become the secondary source of sand hazards to the railway.

Key words: sediment; grain size composition; gobi; sandy-prevention system; Hami-Lop Nor Railway