

文章编号:1006-2106(2015)10-0061-05

风区高速铁路路基沙害防治研究与设计^{*}

辛文栋^{**}

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

摘要:研究目的:兰新第二双线通过的烟墩风区及百里风区,风速高,风沙流对高速铁路的危害严重,为有效的避免或减少沙害对无砟轨道铁路路基的危害,研究强风形成机理、风沙流活动规律、风沙两相流的特点,建立风区路基防沙对策技术体系,研究成果应用于本线的防沙设计与施工。

研究结论:通过现场实测、室内试验、风洞试验以及数值分析等,研究戈壁风沙流的运动特征,得出:(1)主导风向与挡沙墙垂直时,防沙效果最佳,当挡沙墙与主导风向夹角逐渐变小时,挡沙墙的导沙作用明显;(2)挡沙墙高度 2 m、透风率 40% 时挡沙效果最佳;(3)采用高立式挡沙墙阻沙,石方格沙障固沙的措施适宜于本线的风沙防治;(4)防沙工程有效地减轻了沙害对列车运营的影响,对于列车全天候运行提供了技术保障;(5)该研究成果可为戈壁强风区风沙防治提供参考,为相关规范的修订提供理论技术支持。

关键词:风区;高速铁路;风沙流;对策;研究;设计

中图分类号:U216.413 文献标识码:A

Sand Disaster Prevention Research and Design for High Speed Railway Subgrade in the Wind Zone

XIN Wen - dong

(China Railway First Survey & Design Institute Group Ltd, Xi'an, Shaanxi 710043, China)

Abstract: Research purposes: There is high wind speed in Xinjiang Hundred Kilometres Gale Area and Yandun Wind Zone where the second double high speed railway construction from Lanzhou to Xinjiang was designed through, the harm of sand-driving wind is serious. In order to effectively avoid and reduce the harm of the sand disaster to ballastless track railway, the formation mechanism of the strong wind and activity rules of wind sand flow and characteristics of wind sand two phase flow are studied, the technology system of countermeasures to sand prevention is established, and the research results are applied to sand prevention design and construction of the line.

Research conclusions: Through field measurement, indoor test, wind tunnel test, and numerical analysis, and by analyzing the Gobi sand movement characteristics, the results have be demonstrated: (1) When the dominant wind direction and the direction of the retaining sand wall are vertical, effect of sand blocking of sand barrier is the best, when the angle of them is changed gradually to the small angle, effect of sand guiding of sand barrier is obvious. (2) While height of the retaining sand wall is 2 m and ventilation rate is 40%, the effect of sand prevention is remarkable. (3) Facilities of sand resistance such as high vertical sand barrier, measures of sand fixing such checkerboard sand barrier as stone box, these engineering measures are suitable for the line. (4) The influence of sand damage to normal operations of the train is reduced because of sand control engineering, and the technical support is provide for the train to run all day. (5) The research achievements can provide the reference for sand prevention of

* 收稿日期:2015-07-22

** 作者简介:辛文栋,1976 年出生,男,高级工程师。

strong wind zone of Gobi, and provide the theoretical and technical support for the revision of the relevant standards.
Key words: wind zone; high speed railway; sand – driving wind; countermeasure; research; design

1 工程概况

兰新第二双线新疆段位于新疆维吾尔自治区境内,东起甘新省界,途经哈密市、鄯善县、吐鲁番市,西至新疆维吾尔自治区首府乌鲁木齐市。线路正线全长 709.923 km,路基长 567.676 km,风沙路基工程长度约 171 km,主要集中于烟墩风区及百里风区,占路基长度的 30%。大风区自然条件恶劣,人烟稀少,多为戈壁,是我国乃至世界上铁路风灾最严重的地区之一^[1]。在大风作用下戈壁土地表失稳,地表的沙土为风沙流的形成提供了条件,风沙流起沙风速很大,风沙流中沙密度大^[2],扬沙高度高。风沙灾害易使车窗玻

璃破损、道床积沙、钢轨磨损增大、行车设备寿命减少等。

2 沙害分布

线路通过地段属于半荒漠、荒漠地区,受气候条件及植被发育程度的影响,在部分地表形成风积沙地貌。沿线经过的百里风区及烟墩风区,地表的细粒土经过大风的吹蚀和搬运作用,沙易积于铁路上,给铁路修筑和运营养护带来一系列困难和危害。风沙现象主要为地表积沙,部分地段表现为固定、半固定、流动沙地、沙丘。沙害的分布如表 1 所示。

表 1 沿线沙害分布表

序号	起迄里程	风沙程度	特 征
1	DK 1 158 + 000 ~ DK 1 229 + 000	轻微及中等风沙	位于烟墩风区,戈壁风沙流地段,起风时有风沙流活动
2	DK 1 229 + 000 ~ DK 1 256 + 000	轻微风沙	位于烟墩风区,固定 ~ 半固定沙丘,属轻度沙漠化土地,起风时有风沙流活动
3	DK 1 256 + 000 ~ DK 1 281 + 196	轻微及中等风沙	固定 ~ 半固定沙丘,属轻度及中度沙漠化土地,起风时有风沙流活动
4	DK 1 343 + 750 ~ DK 1 346 + 660	轻微及中等风沙	固定 ~ 半固定沙丘,属轻度及中度沙漠化土地,起风时有风沙流活动
5	DK 1 363 + 100 ~ DK 1 376 + 300	轻微及中等风沙	固定 ~ 半固定沙丘,属轻度及中度沙漠化土地,起风时有风沙流活动
6	DK 1 414 + 413 ~ DK 1 507 + 850	轻微及中等风沙	位于百里风区,风区内自然条件恶劣,人烟稀少,在大风作用下,沙害曾多次造成既有兰新线多次限速、停轮

3 植物防沙技术研究

3.1 利用地下水建立植物防沙工程研究

本线位于干旱荒漠区,年天然平均降雨量很小,植物难以依靠天然降雨生长。通过对沙害区段内地下水的勘探,DK 1 247 + 600 ~ DK 1 281 + 196 段地下水丰富,能够满足滴灌种植植物的要求。但与当地水利部门结合后,认为风沙防护林取用地下水,在取水井周围形成地下降水漏斗,荒漠植被逐渐枯萎死亡,导致新的土地沙化,不同意建井取水。因此通过利用地下水来建立植物风沙防护林的措施难以实施。

3.2 利用路堑地下水建立植物防沙工程研究

路堑两侧渗沟有地下水流动的段落有三段:DK 1 251 + 550 ~ DK 1 252 + 180、DK 1 256 + 256 ~ DK 1 257 + 000、DK 1 370 + 000 ~ DK 1 370 + 842 段,长度为 744 m。地下水为潜水,受大气降水、高山融雪补给。其水量的大小具有不确定性,若补给来源丰富

时,水量较大;若补给水源不足,水量较小,甚至可能出现断流。路堑两侧渗水暗沟的深度为路肩以下 2.3 m 处,其设置的目的是在路堑两侧形成降水曲线,保证路基基床范围内不受地下水的破坏。地下水位在渗水暗沟排水的作用下逐年下降,可推测出两侧渗水暗沟继续降低地下水位后,只在丰水季节可能有地下水流出,枯水季节会出现断流。如在干旱年份出现断流,没有足够水量灌溉植物的条件下,可能造成大面积植物枯死。因此,利用路堑地下水灌溉植物的方案风险较大,难以保证供水的稳定,不推荐利用路堑地下水建立植物防沙工程。

4 工程防沙技术研究

4.1 风沙路基试验段

4.1.1 烟墩风区风沙试验段

DK 1 237 + 150 ~ DK 1 240 + 150 段,长 3 000 m,位于烟墩风区,地形平坦开阔,地势略有起伏。主导风

向 NE、ENE,线路通过小草丘地,为固定~半固定沙丘,呈轻度沙漠化土地。起风时有风沙流活动,呈轻微风沙影响地段。地表为细砂、细圆砾土及泥岩风化层,在风力作用下,砂粒容易被大风搬运。

线路右侧为主导风向侧,在该侧离线路堤坡脚(或路堑堑顶)外约 100 m 处,设置不同透风率的高立式 PE 网挡沙墙和不同型式的插板式混凝土挡沙墙。挡沙墙设置如表 2 所示。

表 2 挡沙墙设置表(烟墩风区)

序号	起迄里程	长度/m	挡沙墙型式
1	DK 1 237 + 150 ~ DK 1 237 + 550	400	透风率为 30% 的 PE 网挡沙墙(2.0 m 高)
2	DK 1 237 + 550 ~ DK 1 237 + 950	400	透风率为 40% 的 PE 网挡沙墙(2.0 m 高)
3	DK 1 237 + 950 ~ DK 1 238 + 350	400	透风率为 50% 的 PE 网挡沙墙(2.0 m 高)
4	DK 1 238 + 350 ~ DK 1 238 + 750	400	斜插板式挡沙墙(2.5 m 高)
5	DK 1 238 + 750 ~ DK 1 239 + 150	400	斜插板式挡沙墙(2.0 m 高)
6	DK 1 239 + 150 ~ DK 1 239 + 650	500	斜插板式挡沙墙(1.5 m 高)
7	DK 1 239 + 650 ~ DK 1 240 + 150	500	直插板式挡沙墙(2.0 m 高)

线路右侧路堤坡脚(或路堑堑顶)外距路基约 50 m 处,设置一道透风率为 40% 的 PE 网挡沙墙,同时在背风侧距路基 50 m 处设置一道透风率为 40% 的 PE 网挡沙墙。

线路右侧挡沙墙与路基坡脚之间,DK 1 237 + 150 ~ DK 1 238 + 650 设置 1.0 m × 1.0 m 的固沙剂固结格状沙障。DK 1 238 + 650 ~ DK 1 240 + 150 设置 1.0 m × 1.0 m 的石方格沙障,沙障宽度 30 m。

4.1.2 百里风区风沙试验段

DK 1 415 + 050 ~ DK 1 418 + 300 段,长 3 250 m,位于百里风区,地形较开阔,多为典型的戈壁荒漠地貌,植被覆盖较少。

线路右侧为主导风向侧,在该侧设一道不同型式的挡沙墙,墙体设置方式垂直于主导风向。挡沙墙设置如表 3 所示。

表 3 挡沙墙设置表(百里风区)

序号	起迄里程	长度/m	挡沙墙型式
1	DK 1 415 + 050 ~ DK 1 415 + 412	362	箱式挡沙墙(高宽比为 3.7)
2	DK 1 415 + 412 ~ DK 1 415 + 780	368	箱式挡沙墙(高宽比为 4.5)
3	DK 1 415 + 780 ~ DK 1 416 + 100	320	箱式挡沙墙(高宽比为 6.0)
4	DK 1 416 + 100 ~ DK 1 416 + 893	793	直插板式挡沙墙(高度为 2.0 m)
5	DK 1 416 + 893 ~ DK 1 417 + 150	257	斜插板式挡沙墙(高度为 1.5 m)
6	DK 1 417 + 150 ~ DK 1 417 + 990	840	斜插板式挡沙墙(高度为 2.0 m)
7	DK 1 417 + 990 ~ DK 1 418 + 300	310	斜插板式挡沙墙(高度为 2.5 m)

由于百里风区的主要沙源来自于线路右侧,线路左侧未设置防沙措施。

4.2 试验段研究结论

通过现场实测、室内试验、风洞试验以及数值分析等,研究戈壁风沙流的运动特征,提出合理的工程防治措施,主要结论如下:

一是,风沙流在路基本体相对高风速区产生风蚀现象,在相对低风速区产生积沙现象。挡沙墙墙体背风侧形成涡流,沙粒主要积于墙体背风侧^[3]。

二是,挡沙墙高度越高防沙效果越好,高度与防沙效果呈正相关变化,挡沙墙高度在 2.0 m 时防沙效果最佳。挡沙墙的宽度与防沙效果呈负相关变化,挡沙墙宽度越小防沙效果越好^[4]。

三是,烟墩风区,当阻沙措施高度相同时,孔隙率为 40% 的高立式 PE 网挡沙墙防沙效果最好,斜插板式挡沙墙防沙效果略好于直插混凝土板挡沙墙。

四是,百里风区,斜插板挡沙墙的防沙效果略好于直插混凝土板挡沙墙。箱式挡沙墙易在箱体内充满沙粒,防沙效果相对较差,且工程投资偏高。

五是,主导风向与挡沙墙垂直时,防沙效果最佳。当挡沙墙与主导风向夹角逐渐变小时,挡沙墙的导沙作用明显。

六是,阻沙设施采用高立式挡沙墙,固沙措施采用石方格、固沙剂沙方格等,具体布设位置依据当地的主导风向及微地形地貌来确定。

4.3 防沙工程与相关工程关系分析

4.3.1 防沙工程与防风结构

路基防风工程的设置,以防列车倾覆为目标,结合具体的风区划分、风速分布及频率特征、不同的路堤高度和路堑深度综合确定。路基防风结构主要有:悬臂

式挡风墙、扶臂式挡风墙、柱板式挡风墙等。挡风墙设置于路堤地段路肩迎风侧,路堑地段设置于堑顶迎风侧。挡风墙的设置对于沙害具有一定的阻挡作用,但由于负压的存在,易在挡风墙后积沙^[5]。因此有必要在风区沙害地段设置防沙工程。

4.3.2 防沙工程与导流堤

沿线大风、风沙与洪水同时存在,风沙路基工程的实施在充分考虑防沙的同时,应与导流堤相结合,建立完善的防风、防沙、防洪三者统一的体系。在风沙路基段落漫流区地段,设置了大量的导流堤工程。导流堤型式为人字型形状,对沙害有一定的阻挡作用。从挡沙的角度考虑,将挡沙墙设置于导流堤外侧比较有利,但洪水对挡沙墙易造成冲刷破坏。综合以上因素,风区设置了挡风墙及导流堤的地段,考虑导流堤与挡风已形成2道挡沙设施,挡沙墙的设置需结合现场沙害观测,确有必要时设置防沙工程,防沙工程的设置需考虑防冲刷措施,同时预留过水通道。

4.3.3 上风口人为破坏对本线沙害的影响

本线地处戈壁荒漠区,植被覆盖率很低,在风蚀的作用下,地表有一定的硬壳层,起到了阻止沙害的作用。上风口人为以及工程建设等对原地表的破坏,造成稀有植被的减少以及地表硬壳层破坏,在大风的作用下,形成新的沙害影响本线的安全运营^[6]。

4.4 挡沙墙选型

根据试验数据研究分析,挡沙墙的高度宜采用 2 m,挡沙墙的透风率宜采用 40%。孔隙率 40% 的高立式 PE 网挡沙墙防沙效果最优,其缺点是易受大风及老化破坏影响,运营期间养护维修工作量大;其优点为工程投资小,地形变化适应能力强。斜插板式挡沙墙的防沙效果略优于直插板式挡沙墙,但直插板式圪工量较小,节省工程投资。直插板式挡沙墙的优点是坚固耐用,免维修,使用时间长;缺点是直插板式挡风墙在地形起伏变化较大的地段适应地形能力差。箱式挡沙墙由于圪工量较大,且箱体体积有限,易被积沙填满箱体,失去透风式阻沙的功能,不建议采用。

综合考虑耐久性、大风风蚀、免维修、持久耐用以及工程投资等,推荐采用直插板式挡沙墙。

4.5 方格沙障选型

草方格、芦苇或沙柳枝方格具有施工便捷、耐久性好、性价比高等优点,但是其受原料产地限制较大,本线缺乏原材料。石方格^[7]可就地取材,但造价略高。固化剂沙方格因施工难度大,表面易破坏、老化,不推荐采用。因此在地表易起沙的地段采用石方格固沙比较适宜。

5 防沙工程设计

防沙工程设计分两批实施,第一批针对具有明显沙害影响的地段进行防沙工程的设计与施工,其余地段进一步进行观测,根据观测情况有针对性的实施第二批防沙工程。分批实施的目的是避免防沙工程设置的盲目性,有针对性、有计划的实施防沙工程,最大限度的发挥防沙工程的作用。

5.1 第一批防沙工程

DK 1 158 + 000 ~ DK 1 229 + 000 段,路基长度为 43.9 km,位于烟墩风区,为戈壁风沙流地段,采用在迎风侧及背风侧各设 1 道透风式挡沙墙。风区段落已在迎风侧设置了挡风墙,同时设置了导流堤的地段,考虑导流堤及挡风墙已形成了 2 道挡沙设施,不设置挡沙墙。

DK 1 229 + 000 ~ DK 1 247 + 600 段,路基长度为 17.6 km,位于烟墩风区,为轻微及中等风沙地段,迎风侧及背风侧设置石方格及透风式挡沙墙的防沙措施。轻微风沙地段迎风侧及背风侧各设置 1 道挡沙墙,中等风沙地段迎风侧设置 2 道挡沙墙、背风侧设置 1 道挡沙墙。

DK 1 247 + 600 ~ DK 1 252 + 651.55、DK 1 253 + 350 ~ DK 1 254 + 950 及 DK 1 277 + 460 ~ DK 1 281 + 196.61 段,路基长度 10.4 m,为轻微及中等风沙地段,迎风侧及背风侧设置石方格及透风式挡沙墙的防沙措施。轻微风沙地段迎风侧及背风侧各设置 1 道挡沙墙,中等风沙地段迎风侧设置 2 道挡沙墙、背风侧设置 1 道挡沙墙。

DK 1 343 + 750 ~ DK 1 346 + 660 段,路基长度为 2.9 km,为中等风沙地段,迎风侧及背风侧设置石方格及透风式挡沙墙的防沙措施。中等风沙地段迎风侧设置 2 道挡沙墙、背风侧设置 1 道挡沙墙。

DK 1 418 + 932 ~ DK 1 506 + 041 段,位于百里风区,迎风侧路堤坡脚外侧一定距离处设置 1 道透风式挡沙墙。风区段落已在迎风侧设置了挡风墙,同时设置了导流堤的地段,考虑导流堤及挡风墙已形成了 2 道挡沙设施,不设置防沙墙。

5.2 第二批防沙工程

第一批防沙工程实施后观测了近一年的时间,在2014年4月23日遇强沙尘暴天气,沿线多区段出现了积沙现象,烟墩风区及百里风区积沙较重,最严重地段道床板上积沙呈连续片状分布,水沟、路肩封闭层、排水沟内均见明细积沙,局部段落积沙厚度较厚;达坂城风区及三十里风区区段积沙较轻,呈零星积沙状分布,积沙厚度较薄,积沙量较少。针对调查轨道积沙段

落的情况,对于沙害严重及中等地段增加防沙工程,沙害轻微地段主要是采取快速清沙措施。

DK 1 227 + 970 ~ DK 1 235 + 000 段,位于烟墩风区,路基长度为 6.36 km,右侧路肩封闭层、右侧道床板,两侧排水沟内积沙较多,呈连续片状分布,积沙厚度约 12 ~ 15 cm。在现有防沙设施的基础上,迎风侧增设 1 道挡沙墙,同时,由于两侧地表施工扰动较大,采用石方格固沙。

DK 1 247 + 600 ~ DK 1 252 + 651.55 段,位于烟墩风区,路基长度为 5.05 km,右侧路肩封闭层、右侧道床板,两侧排水沟内积沙较多,呈连续片状分布,积沙厚度约 12 cm。迎风侧及背风侧各设置 1 道挡沙墙,迎风侧地表采用石方格固沙。

DK 1 277 + 460 ~ DK 1 281 + 196.61 段,路基长度为 3.74 km,右侧路肩封闭层、右侧道床板,两侧排水沟内积沙较多,呈连续片状分布,积沙厚度约 12 cm。迎风侧及背风侧各设置 1 道挡沙墙,迎风侧地表采用石方格固沙。

DK 1 363 + 100 ~ DK 1 376 + 300 段,位于百里风区东端,路肩封闭层、道床板,路基边坡、坡脚及侧沟平台,积沙较多,右侧路基边坡上出现了较重的积沙,呈连续片状分布,积沙厚度约 10 ~ 35 cm。无导流堤地段右侧(迎风侧)路堤坡脚(或埕顶)外设 2 道挡沙墙,有导流堤地段导流堤外一定距离处设置 1 道挡沙墙。

DK 1 418 + 000 ~ DK 1 507 + 850 段,位于百里风区,积沙较重段落路基长度为 71.63 km,路肩封闭层、道床板、坡脚及侧沟平台,积沙较多,呈连续片状分布,积沙厚度约 5 ~ 50 cm。该段沙源主要来源于线路右侧(迎风侧),因此,对于积沙严重段落在迎风侧增设 2 道挡沙墙,对于积沙中等段落迎风侧增设 1 道挡沙墙。

了墩北、柳树泉南、盐泉北、烟墩东、思甜南站站场积沙多,特别是岔区积沙严重,对以上车站在迎风侧增设 1 ~ 2 道挡沙墙,岔区范围增设 2 ~ 3 道挡沙墙。

5.3 防沙工程实施效果

2014 年 4 月 23 日的特大沙尘暴(根据气象资料当日最大风速超过 30 m/s)为第二批防沙工程的实施提供了依据。其中柳树泉范围的沙害主要是由于路堑降水,导致地下水下降,使得地表植被退化,固沙功能丧失,大风时地表失稳,形成大量沙源。百里风区红层附近、烟墩风区是全段的沙害最严重的地区,沙源主要来自铁路北侧干枯的河床和人为破坏、扰动后不稳定地表。达坂城风区沙害发生在特大沙尘暴时期,其来源范围广,沙害相对轻微。

风沙防护的施工线路两侧范围内原有地表的植被

及硬壳的应采取保护措施^[8],但现场实际受各种因素的影响,两侧地表有施工扰动现象,在风力的作用下易形成轨道积沙。随着工程建设的完成,地表开始固化,沙害明显减少,铁路道床积沙亦在减少。

防沙工程实施后,经过静态验收及现场观测,防沙工程能够有效的阻止大部分沙源于路基以外。但受环境因素的影响,局部地段轨道板上有少量积沙,需采取快速清沙措施,保证列车的正常运行。

结合强风区风沙试验段的研究与设计,防沙工程的实施有效的减轻了戈壁风沙流的危害,对于列车的正常运营提供了保障。防沙工程的建立减少了本体工程如防风明洞及桥梁的设置段落,经济效益显著。

6 结论

兰新铁路所碰到的强风沙问题是一个重大科学技术难题,通过开展风沙防治对策研究,提出了戈壁风沙两相流结构特点、运动规律、蚀积变化规律及高风速情况下对列车运营的影响。同时通过试验研究,提出了适用于本线的防沙措施及结构型式,可指导兰新铁路第二双线高标准铁路的修建及运营管理。

风沙是兰新第二双线新疆段铁路运营以及所在区域工程建设不可避免的自然现象。铁路工程当遇到沙尘暴时不可避免地产生沙害。铁建设函[2010]541号规定:“防风工程设计要适当考虑防沙,主要是采取快速清除措施”,现场防沙工程具有良好的效果,但受大风环境及沙尘天气的影响,不能完全避免铁路积沙,需进一步对防沙技术进行深化研究。

参考文献:

- [1] 王锡来,张登绪,蒋有华,等. 南疆铁路沿线风沙危害与工程防治[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007(3):59-63.
Wang Xilai, Zhang Dengxu, Jiang Youhua, etc. Drifting Sand Disasters and Engineering Control along South Xinjiang Railway Line[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007(3):59-63.
- [2] 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):54-58.
Zhang Kecun, Qu Jianjun, Zu Ruiping, etc. Research on the Characteristics of Drifting Sand Flux and Wind Velocity Profile over Gobi[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005(1):54-58.
- [3] 李凯崇,蒋富强,薛春晓,等. 南疆铁路风沙流结构特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2011(5):67-71.

(下转第 72 页 To P. 72)