

文章编号: 1674—8247(2020)04—0070—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.04.014

铁路桥梁新型球型钢支座防风沙试验研究

宋晓东^{1,2} 陈 列² 薛 鹏³ 钟洪军³

(1. 西南交通大学, 成都 610031; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;
3. 成都亚佳工程新技术开发有限公司, 成都 610083)

摘 要: 本文针对铁路穿越风沙环境地区时,普通桥梁支座使用寿命会严重缩短的现状,介绍了一种适应风沙环境的新型铁路桥梁球型钢支座,并为研究支座的防风沙性能,设计了具体的试验方法与步骤。通过与普通支座进行对比试验分析,验证了新型支座结构设计合理,防风沙方案可行,能够有效抵御风沙入侵,延长支座在风沙环境下的使用寿命。研究结果表明:(1)新型球型钢支座防风沙材料受风沙影响较小;(2)新型球型钢支座防风沙措施效果好,5 a加速周期内没有风沙入侵情况;(3)新型球型钢支座在风沙环境下的预期使用寿命可达30 a,普通球型钢支座仅为3 a。

关键词: 铁路; 桥梁; 新型; 球型钢支座; 防风沙; 试验; 使用寿命
中图分类号: U443.36+2 **文献标志码:** A

70

Research of Wind and Sand Proof Experiment for a New Type Spherical Steel Bearing of Railway Bridge

SONG Xiaodong^{1,2} CHEN Lie² XUE Peng³ ZHONG Hongjun³

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;
3. Chengdu Alga Engineering New Technology Developmen Co., Ltd., Chengdu 610083, China)

Abstract: In view of the fact that the service life of ordinary bridge bearings will be significantly shortened when they are used in railway sections passing through the sandy environment, this paper introduces a new type of spherical steel bearings for railway bridges that adapt to the sandy environment, and designs specific test methods and steps to study the sand-proof performance of bearings. Compared with ordinary bearings, it is verified that the structural design of the new bearings is reasonable, and the sand-proof scheme is feasible, which can effectively resist the invasion of wind and sand and prolong the service life of bearings in a windy and sandy environment. The results show that: (1) The new sand-proof material of spherical steel bearing is less affected by sand. (2) The new spherical steel bearings have good sand-proof performance, and there is no sand invasion in the 5-year accelerating period. (3) The expected service life of the new spherical steel bearings in the windy and sandy environment can reach 30 years, while that of the ordinary spherical bearings is only 3 years.

Key words: railway; bridges; new type; spherical steel bearing; sand-proof; test; service life

收稿日期: 2019-05-31

作者简介: 宋晓东(1985-), 男, 高级工程师。

基金项目: 中国铁路总公司科研重大课题(2016G002-A)

引文格式: 宋晓东, 陈列, 薛鹏, 等. 铁路桥梁新型球型钢支座防风沙试验研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 70-74.

SONG Xiaodong, CHEN Lie, XUE Peng, et al. Research of Wind and Sand Proof Experiment for a New Type Spherical Steel Bearing of Railway Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 70-74.

我国的西北戈壁是由粗砂、砾石覆盖在硬土层上形成的一种荒漠地形,其地表是由黄土和稍小粒径的砂石混合组成的,比例大概为1:1,戈壁滩上还分布有少量的植被。当风力较小时,风吹起的大多是尘土,风力较大时则会出现风挟沙的现象^[1]。长时间的沙尘天气会使铁路桥梁支座结构性能退化,甚至有可能导致支座功能失效。球型支座因具有使用寿命长、承载力大、转动灵活、可适应梁端大转角和大位移等优点而得到广泛应用^[2]。对于普通球型钢支座来说,风沙侵袭将细小沙砾带入滑动摩擦副和转动摩擦副,当少量沙尘聚集在摩擦副时,会加速耐磨板的磨损,最终导致支座摩擦副失效;当大量沙尘聚集在摩擦副时,会导致摩擦系数急剧增加,从而导致支座丧失滑动能力。因此,亟需开发一种具有防风沙功能的新型桥梁支座来满足运营要求。

1 球型支座

1.1 普通球型钢支座

国内某型号普通球型钢支座结构如图1所示。

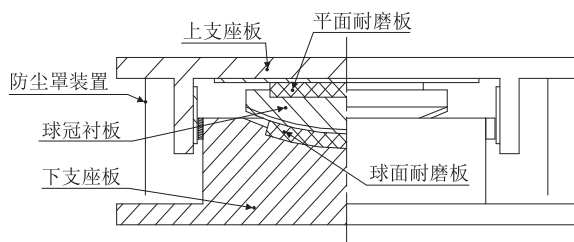


图1 普通球型钢支座结构示意图

该支座主要由上支座板(含平面不锈钢板)、防尘罩装置、平面耐磨板、球冠衬板(含球面不锈钢板)、球面耐磨板、下支座板等部件组成,虽然设置有防尘罩装置,但没有完全密封,风力较大并夹杂大量沙石时,风沙极易进入支座内部,且其防尘罩装置材料为橡胶,受风沙侵蚀时容易磨损,使用寿命受风沙的影响明显。

1.2 新型球型钢支座

新型防风沙球型钢支座结构如图2所示,主要包括支座上支座板、平面耐磨板、球冠衬板、转动块、球面耐磨板、弹性围板、下支座板和调平螺栓等结构。针对沙尘暴特点,新型球型钢交座在支座四周设置全密封弹性包围。全密封弹性包围采用新型聚氨酯材料,使支座在位移过程中内部始终保持密封状态。支座滑动板侧面不锈钢板与底面不锈钢板一体成型,防止因粉尘聚集导致的摩擦性能失效,同时保证支座具有优异的受力性能。

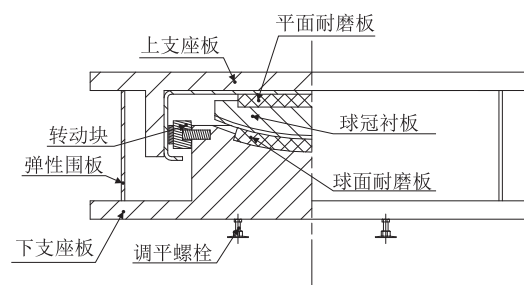


图2 防风沙球型钢支座结构示意图

2 试验方案

2.1 整体设计

支座本体采用3 000 kN具有防风沙性能的铁路桥梁新型球型钢支座,常规试验按TB/T 3320-2013《铁路桥梁球型钢支座》^[3]进行。目前支座风沙试验尚无规范或指导标准可循,因此,本文根据支座设计目的自行设置符合使用环境的试验方法。

试验采用气流挟沙喷射法模拟风沙环境开展球型钢支座防风沙研究。试验系统由强力鼓风系统、落沙系统(可控制下沙速率和存储沙粒)、防护系统和沙尘回收系统组成,如图3所示。试验的风力来源为强力鼓风机和喇叭口管道,其中鼓风机为风源,喇叭口管道起到风力加强的作用。在试验中,强力鼓风机的吹风角度可根据试验要求的喷沙方向进行调整。沙尘的浓度可通过落沙装置实现,落沙装置由内漏斗形储沙箱、支架、漏沙导管和漏沙槽组成,通过调节漏沙导管达到相应的沙尘浓度。沙尘回收装置由集沙板和移动储沙箱组成,沙尘落到集沙板后,通过集沙板回流至移动储沙箱,从而完成沙尘的回收。

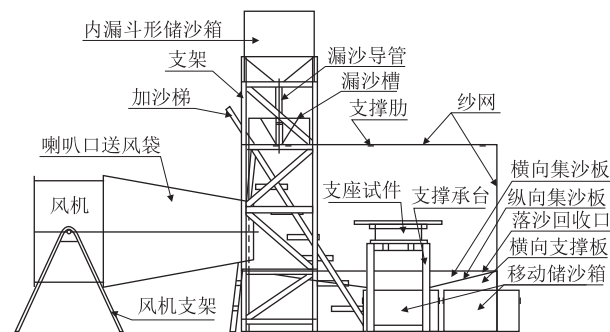


图3 风沙试验装置图

2.2 试验设备

试验所使用的试验设备和仪器如表1所示。

本试验采用风速为20 m/s,轴流式风机出口实测风速为13 m/s,因此,从轴流风机送出的风不能直接去吹落下来的沙尘,需采用设备将风力提升至支座实

表1 主要的试验设备及仪器表

序号	设备及仪器名称	技术参数
1	强力鼓风机	压力≥380 Pa;流量≥37 200 m ³ /h
2	喇叭口管道	大直径≤0.9 m;小直径≤0.53 m
3	风速仪	测量范围0.3~45 m/s
4	沙箱	容积≥30 L
5	试验承台	尺寸≤0.55 m×0.5 m×0.7 m
6	防护室	尺寸≥2 m×1.0 m×1.5 m
7	沙粒回收箱	尺寸≤0.6 m×0.5 m×0.35 m
8	粗糙度仪	分辨率(垂直)≤0.01 μm
9	分析天平	最小称重0.000 1 g
10	电子秤	最小称重0.1 kg

际工作环境下的风力大小,从而满足试验的正常开展。风机出口直径为0.815 m,根据不可压缩流体流动的连续性方程,可得:

$$A_2 = \frac{v_1 A_1}{v_2}$$

(1)

再根据面积公式,可得出风口直径:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}}$$

(2)

式中: v_1 ——轴流风机出口的风速;

v_2 ——喇叭口出口的风速;

A_1 ——轴流风机出风口面积;

A_2 ——喇叭口送风袋出口面积;

d_2 ——喇叭口管道出口直径。

根据以上计算,可确定风力加强设备的尺寸大小,喇叭口的尺寸参数如表2所示。

表2 喇叭口管道尺寸参数表

喇叭口进风口直径/mm	喇叭口出风口直径/mm	长度/mm	角度/(°)
0.850	0.460	1 200	15

表面粗糙度测量采用T1000A型便携式表面粗糙度测量仪,其取样长度为0.25 mm/0.8 mm/2.5 mm,量程为±50 μm/±25 μm/±10 μm,最小分辨率为0.005 μm,评定长度为*N*倍取样长度(*N*=1,2,3,4,5)。

2.3 试验环境模拟

风沙试验要符合支座设计的使用环境,可从试验风速、试验沙尘和试验时间3个方面进行控制,模拟支座的真实使用环境。

2.3.1 风速模拟

由JTG/T 3360-01-2018《公路桥梁抗风设计规范》^[4]可知,西北地区50年重现期下的最大风速值多数分布于20~30 m/s之间,强沙尘暴的风力等级大于9级,风速大于20 m/s,弱沙尘暴的风力等级小于

6级^[5]。试验选取强沙尘暴作为实验条件,风速为20 m/s。

2.3.2 沙尘模拟

沙尘浓度是表征沙尘暴强度的一个重要参数,沙尘浓度是指在1次沙尘暴发生时出现的最大浓度。根据现有研究结果^[6],基于颗粒物浓度的沙尘天气分级如表3所示。试验选取强沙尘暴作为试验条件。

表3 基于颗粒物浓度的沙尘天气分级表(mg/m³)

沙尘天气分级	TSP 浓度限值(小时值)
浮尘	1.0≤TSP<2.0
扬沙	2.0≤TSP<5.0
沙尘暴	5.0≤TSP<9.0
强沙尘暴	≥9.0

试验过程中通过控制下沙率来模拟新疆百里风区的沙尘浓度。根据流体力学中定义,将风沙流看作连续介质,风沙流的流量*Q*表达式为:

$$Q = A\nu$$

(3)

式中:*Q*——流体的流量,试验中为输沙率;

A——过流横截面面积,即将风沙流看做连续均匀的介质且每颗沙子保持同一速度,当风沙出口至试件表面距离一致时,沙流冲击到试件表面的面积;

ν ——试件表面的风速。

沙尘浓度表达式为:

$$S = \frac{M}{Q}$$

(4)

式中:*S*——试验挟沙气流的沙尘浓度;

M——下沙率。

试验通过沙箱底部沙量控制阀控制下沙率,从而控制试验过程中的沙尘浓度,本次试验采用的下沙率为20 g/min(理论计算结果)。

沙粒粒径是表征沙尘暴强度的重要参数。根据一般规律,离地表越高,细颗粒的含量越多,沙粒主要为悬浮状态;反之,越接近地表,则沙粒直径越大。风沙运动的起沙基本方式有悬移、跃移和蠕移3种。蠕移的沙粒直径范围为500~1 000 μm,由于沙粒太重,只能在表层滚动移动,不能进入风中。跃移颗粒的直径范围为100~500 μm,当起动风速为5 m/s时,便可发生跃移。悬移粒径的直径通常小于100 μm,这些颗粒容易被大风带到空中悬移,从而被风输送,有时输送距离会很大。根据乌鲁木齐铁路局提供的资料并结合支座使用环境,选取新疆百里风区离地面9 m处沙粒粒径分布情况(如表4所示)作为试验条件。

表 4 新疆百里风区离地面 9 m 处沙粒粒径分布情况表			
粒径/mm	>0.5 mm	0.25 ~0.5 mm	<0.25 mm
分布百分比/%	1.2	1.8	95.61

2.3.3 试验时间模拟

根据陶健红^[7]西北地区各月区域平均沙尘日数的研究成果,得出其年沙尘日数为 37.8 d。根据郑广芬等人^[8]的研究成果可知,近年来西北地区东部沙尘暴平均日持续时间最长为 131 min。由计算可知,西北地区 1 年的沙尘天气总时间为 82.53 h。按照每 5 a 的周期计算,室内每天的试验时间为 9 h,试验总时间约为 1.5 月。

3 试验结果分析

3.1 磨蚀性能分析

采用目测法检测两种支座的外观质量,采用测量工具对两者的几何尺寸变化情况进行检测。经观察,试验结束后,两种支座的外观几何尺寸变化不明显,说明风沙并不会对支座几何尺寸产生明显影响。

使用表面粗糙度测量仪对试验后两种支座的弹性围板进行测量,最大磨蚀深度(R_v)测量结果如表 5 所示。

表 5 弹性围板最大磨蚀深度(um)								
年份		测点						
		1	2	3	4	5	6	7
1	R_v	1.29	1.09	1.08	1.28	1.25	1.30	1.31
	R'_v	1.44	1.14	0.86	0.70	1.28	1.32	1.36
2	R_v	1.62	1.40	1.28	1.55	1.63	1.68	1.73
	R'_v	1.44	1.05	0.87	0.90	1.26	1.19	1.14
3	R_v	1.56	1.37	1.27	1.55	1.62	1.67	1.76
	R'_v	1.44	0.88	0.88	1.10	0.95	1.36	1.47
4	R_v	1.37	1.24	1.27	1.39	1.54	1.57	1.59
	R'_v	1.44	1.14	0.89	1.30	0.64	1.71	1.53
5	R_v	1.34	1.27	1.47	1.18	1.71	1.66	1.39
	R'_v	1.44	2.31	0.90	1.50	0.63	2.11	1.58

注: R_v 为防风沙支座最大磨蚀深度; R'_v 为普通支座最大磨蚀深度

从表 5 可以看出,防风沙支座弹性围板最大磨蚀深度为 1.71 μm ,根据耐严寒防沙尘球型支座迎风侧挡板最大磨蚀深度 R_v 的拟合公式,此种支座最大磨蚀深度大于 1 mm 时的时间为 30 a,最大磨蚀深度大于 2 mm 的时间为 37 a(防风沙型挡板厚度为 2~3 mm)。普通支座围板最大磨蚀深度为 2.31 μm ,根据拟合公式,此种支座磨蚀深度大于 1 mm 时的时间为 25 a,最大磨蚀深度大于 2 mm 时的时间为 30 a。

3.2 风沙侵入程度分析

将球型支座外表面附着的沙尘用清扫工具清除干

净,采用工具将支座开启,称量支座内的风沙侵入量,结果如表 6 所示。

表 6 球型支座沙尘侵入量统计表			
加速时间/a	检查部位	沙尘侵入量/g	
		防沙尘支座	普通支座
3	球面不锈钢板上表面	0	6.17
	下支座板	0	7.25
5	球面不锈钢板上表面	0	11.39
	下支座板	0	13.31

从表 6 可知,防风沙支座开启检查时,风沙侵入量为 0 g,故支座基本不会因沙尘侵入而失效;普通支座 3 a 开启检查时,球面不锈钢板上表面的风沙量为 6.17 g,下支座板滑动面的风沙量为 7.25 g;5 a 开启检查时,球面不锈钢板上表面的风沙量为 11.39 g,下支座板滑动面的风沙量为 13.31 g,故较易发生沙尘侵入。

3.3 支座失效分析

试件在风沙试验完成后,即按照 TB/T 3320—2013《铁路桥梁球型支座》附录 D 要求进行摩擦系数试验,试验结果如表 7 所示。

表 7 球型钢支座摩擦系数表		
加速时间/a	防沙尘支座	普通支座
3	0.008	0.033
5	0.008	0.053

TB/T 3320—2013《铁路桥梁球型支座》5.1.4 规定:常温型支座摩擦系数应小于等于 0.03,耐寒型支座摩擦系数应小于 0.05。从试验结果可知,防沙尘支座摩擦系数仍满足要求,普通支座在加速时间为 3 a 时,摩擦系数为 0.033,在常温地区使用时已失效;加速时间为 5 a 时,摩擦系数为 0.053,在严寒地区使用时已失效。

4 结论

本文通过对新型球型钢支座开展室内风沙侵蚀加速试验,模拟支座在西北风沙地区 5 a 的风沙侵蚀情况,并与普通球型支座进行对比试验,得出结论如下:

- (1)防沙尘新型球型支座在 5 a 的沙尘环境中,支座挡板的最大磨蚀深度 R_v 为 1.71 μm ,风沙对其表面的磨蚀程度较普通球型支座要小。
- (2)防沙尘新型球型支座的防风沙性能好,支座开启检查时风沙侵入量为 0 g,而普通球型支座球面不锈钢板上表面有大量风沙侵入。
- (3)防沙尘新型球型支座在 5 a 期内摩擦系数没有明显变化,而普通球型支座在 5 a 时支座已失效。

参考文献:

[1] 王争鸣. 兰新高铁穿越大风区线路选线及防风措施设计[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(1): 1-6.
WANG Zhengming. Design of Route Selection and Windproof Measures for Strong Wind-hit Section of Second Double Line of Lanzhou-Urumqi Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(1): 1-6.

[2] 王旭芳. 高速铁路桥梁支座设计要求及应用技术[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(5): 51-54.
WANG Xufang. Application Technology and Design Requirement of High Speed Railway Bridge Bearing [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(5): 51-54.

[3] TB/T 3320-2013 铁路桥梁球型支座[S].
TB/T 3320-2013 Spherical Bearings for Railway Bridges[S].

[4] JTG/T 3360-01-2018 公路桥梁抗风设计规范[S].
JTG/T 3360-01-2018 Wind-resistent Design Specification for Highway Bridges[S].

[5] 王炜, 方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 366-381.

WANG Wei, FANG Zongyi. Review of Duststorm Weather and Research Progress [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2004, 15(3): 366-381.

[6] 万本太, 康晓风, 张建辉, 等. 基于颗粒物浓度的沙尘天气分级标准研究[J]. 中国环境监测, 2004, 20(3): 8-11.
WAN Bentai, KANG Xiaofeng, ZHANG Jianhui, et al. Research on Classification of Dust and Sand Storm Basic on Particular Concentration [J]. Environmental Monitoring in China, 2004, 20(3): 8-11.

[7] 陶健红. 西北地区沙尘天气的气候特征及其影响研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
TAO Jianhong. Study on the Climatic Characteristics and Influence of Sand-dust Weather in Northwest China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2007.

[8] 郑广芬, 冯建民, 赵光平, 等. 中国西北地区东部沙尘暴区划研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(10): 1676-1688.
ZHENG Guangfen, FENG Jianmin, ZHAO Guangping, et al. Study on Sandstorm Climatic Regionalization in Eastern Part of Northwest China[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(10): 1676-1688.

(上接第 64 页)

[5] 刘爱荣, 张俊平, 孙卓, 等. 大跨度连续刚架钢桁拱桥的动力特性及行波效应分析[J]. 中南公路工程, 2007, 32(3): 50-54, 63.
LIU Airong, ZHANG Junping, SUN Zhuo, et al. Dynamic Characteristics and Traveling Wave Effect Analysis of Long-span Continuous Steel-Truss Arch Bridge [J]. Journal of Central South Highway Engineering, 2007, 32(3): 50-54.

[6] 赵灿晖, 周志祥. 大跨度上承式钢桁拱桥的地震响应分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2006, 3(5): 6-11.
ZHAO Canhui, ZHOU Zhixiang. Seismic Response Analysis of Long-span Steel Braced Deck-type Arch Bridge [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2006, 3(5): 6-11.

[7] 李程, 张念来. 铁路钢桁拱桥减隔震支座设计参数的优化研究[J]. 公路工程, 2009, 34(3): 89-93.
LI Cheng, ZHANG Nianlai. The Research on Parameters Optimization of Seismic-isolated Bearings of Railway Steel Truss Arch Bridge [J]. Highway Engineering, 2009, 34(3): 89-93.

[8] 杨华平, 钱永久, 邵长江, 等. 行波效应对大跨度上承式钢桁拱桥地震响应的影响[J]. 铁道建筑, 2014, 54(2): 8-10.
YANG Huaping, QIAN Yongjiu, SHAO Changjiang, et al. Influence of Traveling Wave Effect on Seismic Response of Long-span Deck Steel Truss Arch Bridge [J]. Railway Engineering, 2014, 54(2): 8-10.

[9] 张永亮, 董阳, 朱尚清, 等. 大跨上承式铁路钢桁拱桥减震性能研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(1): 75-79.
ZHANG Yongliang, DONG Yang, ZHU Shangqing, et al. Research on the Damping Performance of the Long-span Deck Type Steel Truss Railway Arch Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(1): 75-79.

[10] 田玉玲. 城市大跨度钢桁拱桥抗震体系对比分析[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(3): 88-91.
TIAN Yuling. Comparative Analysis of Seismic System for Urban Long-span Steel Truss Arch Bridge [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(3): 88-91.

[11] 董俊, 曾永平, 陈克坚, 等. 大跨度中承式铁路拱桥缓冲限位耗能装置研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(12): 85-90.
DONG Jun, ZENG Yongping, CHEN Kejian, et al. Study on Displacement Restriction and Shock Mitigating Device for Long Span Half-through Railway Arch Bridge [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(12): 85-90.