

文章编号:1006-2106(2014)12-0041-05

高速铁路大跨度钢桥上树脂枕轨道方案研究^{*}

杨吉忠^{**} 颜 华 林红松 潘自立

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:为了研究树脂轨枕应用于高速铁路大跨度钢桥上的可行性,采用有限元方法建立树脂枕轨道结构模型,根据钢轨位移、应力、弯矩、扣件安装空间以及轨枕与桥梁间的连接空间等方面的要求,对树脂轨枕的高度、宽度、长度、支承间距、缓冲垫层刚度等进行分析研究,提出适合高速铁路大跨度钢桥上树脂轨枕的合理参数取值。

研究结论:(1)轨枕宽度主要取决于其经济性和扣件安装空间,取 200~300 mm 即可满足轨道使用的力学要求;(2)轨枕高度对轨枕弯曲应力有较大影响,为保证部件可靠性,建议轨枕高度取 210 mm 及以上;(3)枕下横向支点间距对轨道刚度、轨枕弯矩、动态轨距变化量影响很大,树脂轨枕的支点应尽量贴近钢轨中心线,避免轨枕支点力作用在两支点间的悬空部分;(4)枕下缓冲垫层刚度对轨道垂向位移影响较大,为了防止轨枕的垂向位移过大,垫层刚度应保证在 750 kN/mm 及以上;(5)该研究结果可应用于高速铁路大跨度桥上轻型轨道结构设计中,为类似工程提供参考。

关键词:树脂枕;轨道;大跨度钢桥;几何尺寸;刚度
中图分类号:U213.2+43 **文献标识码:**A

Research on the Synthetic Resin Sleeper Track Structure on Large Span Steel Bridge in High Speed Railway

YANG Ji-zhong, YAN Hua, LIN Hong-song, PAN Zi-li

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: **Research purposes:** In order to study the feasibility on the application of the synthetic resin sleeper on the large span steel bridge in high-speed railway, the finite element method is used to establish the track model with synthetic resin sleeper. According to the requirements of the rail's displacement, stress, bending moment, installation space for fasteners, and connection space for sleepers and bridge, the height, width, length, bearing spacing and cushioning stiffness of the synthetic resin sleeper are analyzed, the reasonable parameter values are proposed for the synthetic resin sleeper installed on the large span steel bridge in high-speed railway.

Research conclusions: The sleeper width depends primarily on its economy and installation space for fasteners, 200~300 mm width can meet the track's mechanical requirements. The sleeper height has a great effect on the sleeper bending stress. In order to ensure the sleeper reliability, it is suggested to take a 210 mm height sleeper or more. The lateral space between fulcrums of the resin sleeper has a great effect on track stiffness, sleeper bending moment, and dynamic gauge enlargement, so the fulcrums should be as close as possible to the rail centerline in order to avoid sleeper fulcrum force in the overhanging portion between the two fulcrums. The cushion stiffness has a great effect on the track vertical displacement. In order to control the track's vertical displacement, the cushion stiffness should take 750 kN/mm or above. The research results can be used in structural design of light rail on the large span bridge of high speed railway,

* 收稿日期:2014-03-05

** 作者简介:杨吉忠,1980 年出生,男,工程师。

to provide a reference for similar projects.

Key words: synthetic resin sleeper; track; large span steel bridge; geometric dimension; stiffness

目前,国内外铁路钢桁梁常用的轨道结构有木枕明桥面轨道、有砟轨道、合成树脂枕轨道及板式轨道等。为减轻二期恒载、节约桥梁用钢量、降低工程投资,研究在大跨度钢桥上采用自重较轻的树脂枕轨道结构有着重要意义。

1980 年日本铁道综合技术研究所开始研发合成树脂轨枕,并首先应用于桥梁及海底隧道,1985 年开始在日本国铁应用。此后,随着东海道新干线的提速,树脂枕以其耐腐蚀、耐候、抗疲劳性、质量轻等特点,在日本新干线铁路得到广泛应用。我国曾在广州地铁首先使用树脂轨枕,主要应用在道岔铺设地段,南京地铁 12 号线在大胜关长江大桥上也铺设合成树脂枕轨道,但在高速铁路大跨度钢桥上应用树脂轨枕,国内还未见有相关研究报告。因此,在高速铁路大跨度钢桥上应用树脂枕轨道缺乏相应的设计标准和应用经验。本文针对树脂枕轨道对高速铁路大跨度钢桥的适应性,从轨道结构静态受力特征出发开展初步研究。

1 树脂枕轨道计算模型

以某大跨度钢桁桥为对象,以开展树脂枕轨道在大跨钢桥上的适应性进行研究。该桥上层四线设计为客运专线,下层两线为货运专线。建成后将成为世界上跨度最大、荷载最重的六线铁路斜拉桥,为了使桥上树脂枕轨道结构高度与桥梁两侧路基地段有砟轨道结构高度一致,在树脂枕铺设范围内的桥面系上,采用如图 1 所示的工字型纵梁来协调轨道高度差。

树脂枕轨道结构由 CHN60 钢轨、护轨、WJ-7 型扣件(改)、合成树脂轨枕及枕-梁联结装置组成,钢梁面上树脂枕的长、宽、高尺寸主要取决于结构受力和构造要求两个方面。针对树脂枕轨道结构特点,建立如图 2 所示的树脂枕轨道有限元计算模型,其中钢轨以弹性点支承梁模型模拟,轨枕采用点支承梁模拟,扣件以及轨枕支座的弹性则以线性弹簧模拟。

树脂枕枕部分参数如表 1 所示。

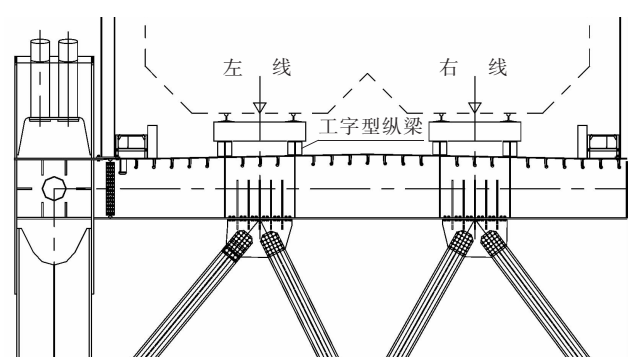


图 1 树脂枕轨道结构

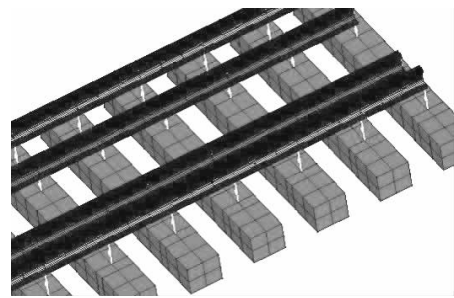


图 2 树脂枕轨道有限元计算模型

表 1 树脂枕枕部分力学参数 (单位:MPa)

项 目	材料强度
弯曲强度	40
弯曲杨氏弹性模量	6 000
纵向压缩强度	58
剪切强度	9

2 树脂枕参数分析

2.1 树脂枕枕高度分析

日本研究结果显示树脂枕枕的厚度最小可达 100 mm。本小节轨枕宽度取 220 mm,轨枕长度取 2 500 mm,枕下垫板刚度取 750 kN/mm,分析不同的轨枕高度对轨道结构静态受力的影响,计算结果如表 2 所示。

表 2 轨枕高度变化对轨道准静态受力的影响

轨枕高度/mm	钢轨垂向位移/mm	轨枕最大垂向位移/mm	轨底应力/MPa	轨枕最大弯曲应力/MPa	钢轨弯矩/(kN·m)	轨枕弯矩/(kN·m)
70	3.008	0.432	138.0	12.12	37.266	2.159
140	2.896	0.282	136.0	5.99	36.652	4.304
210	2.856	0.227	135.0	2.97	36.412	5.262
280	2.845	0.211	134.0	1.95	36.338	5.559

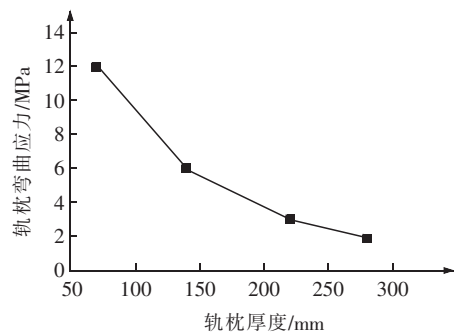


图 3 轨枕应力与树脂轨枕高度的关系

从表 2 数据可以看出,当树脂轨枕高度由 70 mm 增加到 280 mm 时,钢轨垂向位移、轨底应力、轨枕垂向位移、轨枕弯曲应力分别减小 5.42%、2.90%、

51.16% 和 83.91%,可见,树脂轨枕高度对轨枕垂向位移和弯曲应力的影响较大,随着轨枕高度的增加,轨枕抗弯刚度随之增大,从而减小了钢轨位移和应力。轨枕高度为 70 mm 时,轨枕变形较大,且轨枕应力较高。图 3 为树脂轨枕应力与高度的变化曲线,从图中可知,当轨枕高度达 210 mm 以上时,轨枕弯曲应力增量明显减缓,保持在 3 MPa 以下的较低水平。因此,为发挥可靠的部件性能,建议轨枕高度采用 210 mm。

2.2 树脂轨枕宽度分析

本小节取轨枕厚度为 210 mm,轨枕长度为 2 500 mm,其他条件等不变,分析不同轨枕宽度对轨道结构静态受力的影响,计算结果如表 3 所示。

表 3 轨枕宽度对轨道系统准静态受力的影响

轨枕宽度/mm	钢轨位移/mm	轨枕位移/mm	轨底应力/MPa	轨枕应力/MPa	钢轨弯矩/(kN·m)	轨枕弯矩/(kN·m)
200	2.860	0.232	135.0	3.22	36.433	5.193
220	2.856	0.227	135.0	2.97	36.412	5.262
240	2.853	0.223	135.0	2.75	36.393	5.330
260	2.851	0.220	135.0	2.57	36.378	5.386

从表 3 分析得出:当轨枕宽度从 200 mm 增加到 260 mm 时,钢轨垂向位移、轨底应力、轨枕垂向位移、轨枕弯曲应力分别减小 0.31%、0%、5.17% 和 20.19%,可见,轨枕宽度对钢轨位移、钢轨应力和轨枕位移影响很小,较宽的轨枕有利于轨枕的应力。轨枕宽度在 200~300 mm 之间时均可满足轨道结构承载要求,可在满足经济性和扣件安装空间等构造条件下

合理选用。

2.3 树脂轨枕—纵梁横向支承间距分析

树脂轨枕宽度取 220 mm,高度取 210 mm,轨枕长度为 2 500 mm,其他条件保持不变,通过改变轨枕下两支点间距离,以分析纵梁横向布置间距对轨道结构受力的影响,如表 4 所示。

表 4 轨枕支点间距对轨道受力的影响

支点间距/m	钢轨位移/mm	轨枕位移/mm	轨底应力/MPa	轨枕应力/MPa	钢轨弯矩/(kN·m)	轨枕弯矩/(kN·m)
1.5	2.856	0.227	135.0	2.97	36.412	5.262
1.6	2.912	0.410	136.0	3.24	36.620	5.386
1.8	3.093	0.908	138	3.68	37.255	6.432
2.0	3.510	1.704	142.0	4.98	38.466	8.843

从表 4 可以看出,当枕下横向支点间距由 1.5 m 增加到 2.0 m 时,钢轨垂向位移、轨底应力、轨枕垂向位移、轨枕弯曲应力分别增加 22.90%、5.19%、650.66% 和 67.68%。图 4 为钢轨和轨枕位移随枕下横向支承间距变化的关系曲线,从图 4 可见,随着枕下横向支点间距的增大,钢轨和轨枕的垂向位移随之增大,且轨枕位移增大的幅度明显快于钢轨位移,枕下横向支点间距的增大对轨枕弯矩及轨枕转角引起的轨距变化影响也很大。在满足轨枕与桥梁之间连接要求以及扣件安装空间的前提下,枕下支承应尽量贴近钢轨中心线,以达到最佳承载效果。

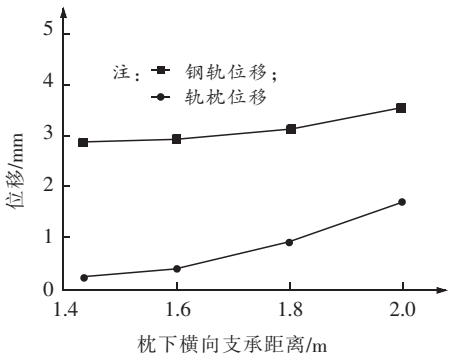


图 4 钢轨、轨枕位移与轨枕支点间距的关系

2.4 树脂轨枕长度分析

当树脂轨枕枕下横向支点间距一定时,改变轨枕长度对于轨道系统受力几乎没有影响。因此在保证轨枕支点间距、支点支承宽度和轨道配件安装的基础上,为实现树脂轨枕较好的经济性,宜采用较短的树脂轨枕长度。

2.5 枕下缓冲垫层刚度分析

在枕下设置隔振垫层,不仅可以缓解轨枕与纵梁间的振动,还可以起到调整轨道高低不平顺的功能。本小节树脂轨枕宽度取 220 mm,高度取 210 mm,轨枕长度取 2 500 mm,轨枕支点间距取为 1.5 m,其他条件保持不变,分析不同枕下缓冲垫层刚度其对轨道结构受力的影响,计算结果如表 5 所示。

表 5 枕下隔振垫层刚度对轨道受力的影响

枕下刚度 /(kN·mm ⁻¹)	钢轨位移/mm	轨枕位移/mm	轨底应力/MPa	轨枕应力/MPa	钢轨弯矩 /(kN·m)	轨枕弯矩 /(kN·m)
250	3.103	0.545	139	3.25	37.625	5.773
500	2.921	0.311	136	3.11	36.746	5.517
750	2.856	0.227	135	2.97	36.412	5.262
1 000	2.824	0.184	134	2.84	36.232	5.047

从表 5 可以看出,枕下垫层刚度从 250 kN/mm 提高到 1 000 kN/mm,轨枕位移变化较大,从 0.545 mm 降至 0.184 mm,降幅 66.24%。由于钢轨在列车荷载作用下的垂向位移一般应小于 3.0 mm,因此,建议枕下缓冲垫层刚度取 750 kN/mm 及以上,垫层刚度主要取决于减振效果,具体取值可采用树脂枕轨道结构动力学计算确定。

脂轨枕具有木枕的所有优点,但树脂枕具有更好的强度、耐腐蚀、耐候和抗疲劳等特性,使用寿命更长,轨道几何形位保持能力更强,养护维修工作量更少等优点。在日本新干线铁路也已有 30 多年的运营经验。综上所述,树脂枕轨道未来可成为高速铁路大跨度钢桥上最优的轨道结构型式。

3 树脂枕轨道适应性分析

综合国内外轨道结构研究和应用现状,以下从轨道结构自重、施工和维修的难易程度、经济性等方面,对传统有砟轨道、木枕轨道和树脂枕轨道在大跨钢桥上的适应性进行比较。

我国武汉天兴洲长江大桥和渝利铁路韩家沱长江大桥均采用有砟轨道结构,尽管有砟轨道的养护、维修等有成熟经验可借鉴,轨道几何形位调整较为方便,但有砟轨道自重较大,加上有砟轨道需在桥面设置钢筋混凝土道砟槽板,轨道结构重量可达 6~7 t/单线延米,是目前各种轨道类型中自重最大的。同时,由于桥面被道砟槽板覆盖,桥面系不易检查与维护。

木枕轨道结构具有结构自重小、成本低、施工和维修便利等优点。单枕构成的轨道结构可适应桥梁的大挠度变形,轨枕之间及轨枕与桥梁之间的空隙便于桥面系的检查与维护,较大的轨道调整量可通过轨枕下调高垫板予以解决,线路爬行可通过设置合理的轨枕与桥面连接方案解决。但木枕易腐朽和开裂,结构寿命较短,同时木枕道钉容易松弛,需经常养护维修,轨道稳定性较低,一般只适用于速度不高于 120 km/h 的线路。

树脂枕轨道结构重量约为 1.04 t/单线延米,约为传统有砟轨道结构自重的 1/6。相对于木枕来讲,树

4 结论

相对于有砟轨道和木枕轨道,树脂枕轨道自重轻、使用寿命长、施工和维修便利,可大幅降低大跨度桥上轨道恒载,是未来高速铁路大跨度钢桥上最优的轨道结构型式。

(1)树脂轨枕宽度主要取决于其经济性和扣件安装空间,200~300 mm 的轨枕宽度均可满足轨道使用要求,为得到较好的经济性,在保证扣件安装空间的前提下尽量采用较窄的轨枕宽度。

(2)轨枕高度对轨枕弯曲应力有较大影响,为保证部件可靠性,建议轨枕高度取 210 mm 及以上。

(3)枕下支点间距对轨道刚度、轨枕弯矩、动态轨距变化量影响很大,在满足轨枕与桥梁之间连接要求以及扣件安装空间的前提下,树脂轨枕的支点应尽量贴近钢轨中心线,以达到最佳承载效果。

(4)枕下缓冲垫层刚度对轨枕的垂向位移影响较大,为了防止钢轨的垂向位移过大,其垫层刚度应取 750 kN/mm 及以上。

参考文献:

[1] TB 10082—2005, 铁路轨道设计规范 [S].
TB 10082—2005, Code for Design of Railway Track [S].
[2] 林红松, 杨吉忠, 颜华. 高速铁路大跨度钢桁梁斜拉桥轨道型式研究[J]. 铁道工程学报, 2014(4): 75—80.

- Lin Hongsong, Yang Jizhong, Yan Hua. Research on the Track Type of Large Span Steel Truss Cable Stayed Bridge for High Speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(4): 75-80.
- [3] 陈秀方. 轨道工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- Chen Xiufang. Track Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [4] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程设计技术手册—线路[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
- First Survey and Design Institute of Ministry of Railways. Railway Engineering Technical Manual - Line[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1994.
- [5] Coenraad Esveld. Modern Railway Track [M]. 2nd Edition. The Netherlands: MRT - Productions, 2001.
- [6] 佐藤吉彦. 新轨道力学 [M]. 徐涌, 译. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- Sato Yoshihiko. New Track Mechanics[M]. Xu Yong, Translate. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.
- [7] 中国铁道科学研究院. 南京大胜关长江大桥项目赴德技术交流考察报告[R]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2009.
- China Academy of Railway Sciences. Investigation Report on Technical Exchanges to Germany of Dashengguan Yangtze River Bridge in Nanjing City [R]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2009.
- [8] 杨新民, 张立国, 张庆. 合成树脂轨枕的应用研究[J]. 铁道标准设计, 2009(6): 15-17.
- Yang Xinmin, Zhang Ligu, Zhang Qing. Application Research of Synthetic Resin Sleeper [J]. Railway Standard Design, 2009(6): 15-17.

(编辑 赵立兰)

(上接第40页 From P. 40)

6 结论

本文提出了一种基于 FPSS 光纤传感技术的铁路崩塌落石振动分析报警系统, 经实际应用, 效果良好, 可以非常好的区分出落石滚落信号与环境噪声信号 (主要是大风)。当落石落在被动网上时, FPSS 光纤振动传感器接收到振动信号, 并联动相应区域的摄像头监控该区域, 使得监控中心的监控人员可以监控到落石的落下并做出相应的处理。相对于传统的电子探测设备而言, 使用光纤作为探测元的系统其敏感性更高, 识别能力更强, 而且其前端不供电, 不受电磁干扰, 所以不会因为雷电等电磁原因产生故障。同时相对于电缆等其他传感器而言, 光纤的耐腐蚀性等环境性能更优, 在无人员破坏的情况下寿命可达 15 年以上。摄像头自身附带的视频运动识别功能会因落石的滚落动作而产生报警信号, 使得监控系统弹出该区域的画面并在监控中心产生声光报警信息, 为系统提供第二道保障。

参考文献:

- [1] 胡厚田. 崩塌落石研究[J]. 铁道工程学报, 2005(增): 387-391.
- Hu Houtian. Rockfall Research[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(S): 387-391.
- [2] 彭龙, 邹琪琳, 张敏, 等. 光纤周界探测技术原理及研究现状[J]. 激光杂志, 2007(4): 1-3.
- Peng Long, Zou Qilin, Zhang Min, etc. Optical Fiber Perimeter Detection Principle and Research Status of Technology[J]. Laser Journal, 2007(4): 1-3.
- [3] 谢征宇, 董宝田. 基于视频监控的高铁客运枢纽行人安全预警系统研究[J]. 物流技术, 2011(4): 95-97.
- Xie Zhengyu, Dong Baotian. High-speed Rail Passenger Hub Station Pedestrian Safety Forewarning System Based on Video Monitoring [J]. Logistics Technology, 2011(4): 95-97.
- [4] 罗文志. 浅谈确保高速铁路安全运行的措施[J]. 高速铁路技术, 2012(1): 73-76.
- Luo Wenzhi. Measures for Safety Operation of High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2012(1): 73-76.
- [5] 王慧文, 江先进, 赵长明, 等. 光纤传感技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- Wang Huiwen, Jiang Xianjin, Zhao Changming, etc. Technology and Application of Optical Fiber Sensing [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001.
- [6] 石锐华, 李伟. 高速铁路的灾害防护设计[J]. 铁道工程学报, 2008(6): 6-9.
- Shi Ruihua, Li Wei. The Design of Disaster Prevention System for High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(6): 6-9.

(编辑 赵立兰)