

钢管混凝土桥墩的应用与研究

臧华, 刘钊

(东南大学土木工程学院, 南京 210096)

[摘要] 对钢管混凝土桥墩的诸多优良特性进行了介绍, 总结了国内外钢管混凝土桥墩的应用及研究现状, 并就钢管混凝土桥墩的应用前景以及结构形式的演变进行了展望。

[关键词] 钢管混凝土; 桥墩; 应用; 研究

[中图分类号] TU528.59 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742 (2007) 07-0071-05

1 前言

桥墩是桥梁结构的主要承重结构, 其损坏与否对桥梁结构整体的损伤乃至倒塌起着举足轻重的作用。国内外的桥墩普遍采用的是钢筋混凝土结构, 这种结构形式在历次地震中都遭受到严重的破坏, 表现出易损性; 在日本, 钢桥墩也是一种常用的形式, 在阪神地震中, 钢桥墩受到了大量的损坏^[1]。墩柱结构的严重破坏可能引起桥梁倒塌, 且在震后难以及时修复使用, 给震后的抢险救灾带来麻烦, 造成的间接损失往往也十分巨大。

钢筋混凝土桥墩的破坏主要源于设计和构造两方面的缺陷^[2], 包括: 1) 墩柱抗弯设计不足, 主要是横向约束箍筋配置不足等; 2) 墩柱设计抗剪强度不足, 致使脆性的剪切破坏先于延性的弯曲破坏出现, 如图1所示。阪神地震中钢桥墩的破坏主要也是因为其变形能力不够, 发生局部屈曲所致^[3], 图2为钢桥墩的典型破坏形式^[4]。而钢管混凝土结构具有承载力高、延性好、施工方便及综合经济效益显著等优势^[5], 因此很适合作为桥梁的墩柱, 已在日本等地震多发国家得到应用, 而我国对于钢管混凝土的应用研究才刚刚起步。

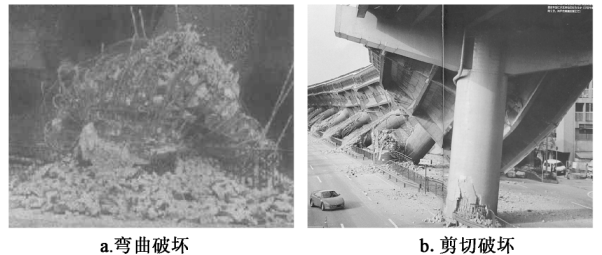


图1 钢筋混凝土桥墩的破坏形式

Fig.1 Failure modes of RC piers

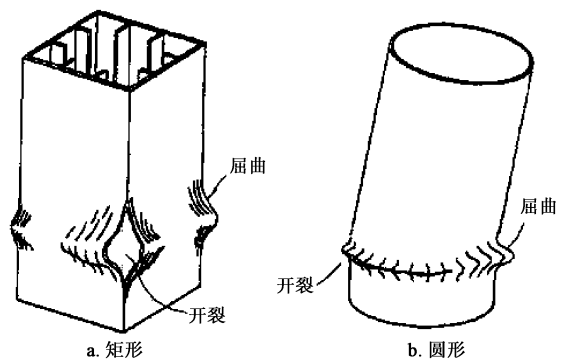


图2 钢桥墩的破坏形式

Fig.2 Flexural modes of steel piers

[收稿日期] 2006-07-12; 修回日期 2007-08-31

[作者简介] 臧华 (1979-), 男, 江苏东台市人, 东南大学土木工程学院博士研究生

刘钊 (1964-), 男, 安徽和县人, 博士, 东南大学土木工程学院教授

2 钢管混凝土应用于加固既有桥墩

既有桥梁在服役期间,一方面由于受到地震作用或车辆、船只的撞击及环境的恶劣作用,桥墩可能受到较大的损伤,需要对其进行修复,延长桥梁的使用寿命;另一方面,随着交通量的不断增加,行车密度及车辆载重越来越大,桥墩负荷日趋加重,其刚度、强度或延性等不再满足现行规范的要求,这就需要对其采取适当的加固措施,恢复或提高其承载力能力。对于铁路桥梁,由于列车尤其是货运列车的不断提速后,轻型桥墩的横向振动明显加剧,影响了行车平稳性和旅客乘坐的舒适度,甚至影响行车的安全性,所以横向振幅超限的桥梁成了铁路全线提速的“瓶颈”,需对其进行加固,增大其横向刚度^[6,7]。

对既有桥墩进行加固包括两种情况:1) 钢管外包原钢筋混凝土桥墩^[8],如图 3 所示;2) 原钢桥墩内填充混凝土^[9],如图 4 所示。这两种情况都是使原墩柱在加固后变成钢管混凝土结构,使结构的刚度和延性都有较大的提高。这两种加固形式都具有施工方便、几乎不增大墩柱截面尺寸的优点,从而不会影响桥下行车或通航的要求,但对于后一种加固形式,需要注意的是:当墩柱填充混凝土后,对地基的作用力不能超过地基本身的承载能力;加固后桥墩的强度不应超过下部基础,否则塑性铰可能会出现在不易检查和难以加固修复的基础上^[1,9]。

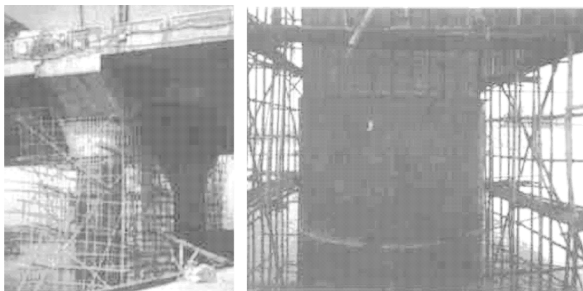


图 3 外包钢管加固钢筋混凝土桥墩

Fig.3 Retrofitting for existing RC piers by wrapping steel jacket

日本阪神地震中,灾区有约 1% 的钢桥墩发生倒塌或遭到严重破坏,有约 50% 的钢桥墩受到不同程度的破坏^[1],震后,日本的许多研究人员对内填混凝土的钢桥墩的受力性能进行了试验和理论研究,研究成果均表明,这种加固措施行之有效,原

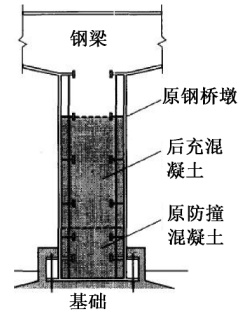


图 4 内填混凝土加固钢桥墩

Fig.4 Retrofitting for existing steel piers by filling concrete

结构的刚度和延性均得到较大的提高,可以满足抗震要求^[1,4,9]。

3 钢管混凝土用作新建桥梁的墩柱

将钢管混凝土结构用作桥梁的墩柱,是一个创新的设计,其优越性主要表现在^[5,9,10]:1) 能够充分发挥钢管混凝土结构抗压强度大的优势;2) 施工便捷,速度快,钢管本身既是承重结构又是外模,且具有工业化快速安装施工的优势;3) 经济效益显著。理论分析和工程实践都表明,钢管混凝土与钢结构相比,在保持自重相近和承载力相同的条件下,可节省钢材约 50%;与普通钢筋混凝土相比,在保持用钢量相近和承载力相同的条件下,构件的截面面积可减少约 50%,自重大大减小,对于城市桥梁下行车空间受限的情况,能够减小结构尺寸,同时取得轻盈美观的视觉效果;4) 延性好,耗能性能好,有利于抗震。

1966 年建成的英国 Almondsbury 立交桥的桥墩是国外较早采用钢管混凝土结构的工程实例之一^[11]。对钢管混凝土结构开展大量的试验研究始于 20 世纪 60 年代,但对钢管混凝土桥墩的研究则主要是在 1995 年的阪神地震发生后,由于地震区大量钢筋混凝土桥墩和钢桥墩的毁坏,引起了广大研究者对新的抗震结构的探索。我国对于钢管混凝土结构的研究主要集中于高层建筑的柱子和拱桥的拱肋,对钢管混凝土用作桥梁墩柱的研究还未见文献报道,但自 20 世纪 80 年代以来,已有零星采用钢管混凝土桥墩的工程实践,见表 1。

4 钢管混凝土桥墩研究现状

与钢管桥墩和钢筋混凝土桥墩相比,相同截面

表 1 钢管混凝土桥墩在我国的工程应用实例^[12~17]

Table 1 Applications of composite piers in China

| 桥名 | 跨径/m | 钢管尺寸/cm | 建成时间 | 备注 |
|---------|------------|----------|------|--------|
| 魏家岭跨线桥 | 24+2×35+24 | 90×1 | / | 连续梁墩柱 |
| 天津市某立交桥 | 4×84 | / | 1982 | 连续梁墩柱 |
| 深圳北站大桥 | 150 | Φ280~340 | 2000 | 系杆拱桥墩柱 |
| 兰州雁盐黄河桥 | 85+127+85 | 350×2 | 2003 | 系杆拱桥墩柱 |
| 南京龙池立交桥 | 21+2×35+21 | 140×1 | / | 连续梁墩柱 |

尺寸下，钢管混凝土桥墩具有承载能力高、刚度大、延性好等优点，见图 5^[9]，很适合用作桥梁的墩柱。与高层建筑中的钢管混凝土柱相比，钢管混凝土桥墩的主要特点是^[9]：1) 截面尺寸相对较大；2) 钢管内壁通常设置剪力键或加劲肋（特别是对于矩形截面）；3) 轴压比相对较小。图 8 为钢管截面与钢管混凝土截面的屈曲模式的比较^[9,18]。

阪神地震后，日本研究者对钢管混凝土桥墩的受力性能做了大量的研究工作，并对日本公路桥梁规范（JSHB）中的桥墩抗震设计做了修订^[9,19]。名古屋大学的 Usami T. 等进行了钢管混凝土桥墩在循环荷载及动荷载作用下的性能试验，试验结果表明钢管混凝土桥墩具有良好的抗震性能^[20]；大阪城市大学的 Katsuyoshi Nakanishi 等研究了 10 个试件（包括 2 个钢管和 8 个钢管混凝土试件）极限承载

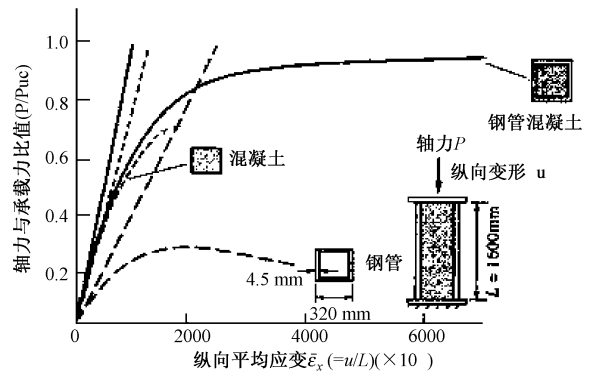


图 5 等截面钢管、混凝土及钢管混凝土构件的轴力—平均应变关系对比

Fig.5 Relationships between applied compressive load and mean axial strain

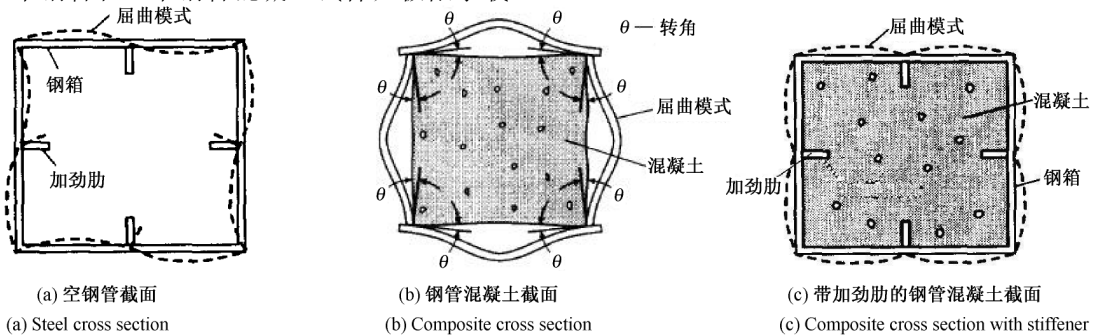


图 6 钢管截面与钢管混凝土截面屈曲模式比较

Fig.6 Difference in buckling modes between cross-sections of steel and composite piers

力及延性，试验结果表明钢管混凝土桥墩具有很好的性能，并认为在钢管混凝土桥墩中再插入钢管的方法，可以大大提高桥墩的极限强度和延性，其抗震性能大大提高^[21]；文献[22]也对双层钢管混凝土构件的性能做了试验研究，试验结果表明双钢管混凝土具有很好的延性和耗能能力，并且使结构的自重得以减小；美国布法罗大学的 Michel Bruneau 和加拿大的 Julia Marson 对四根钢管混凝土桥墩试

件进行了循环加载试验，研究了钢管混凝土桥墩的耗能、承载能力以及延性等，试验结果表明钢管混凝土桥墩具有很好的耗能能力和延性，适用于北美抗震区的桥梁墩柱^[23]。

5 结论

钢管混凝土结构的诸多优良的力学性能和经济效益使得其成为桥墩设计的一个理想选择，并

已在国外得到广泛应用。但在我国,由于种种原因,钢管混凝土桥墩还未被广大桥梁设计者所关注。随着我国高速公路和城市轨道交通的发展,大量跨线桥、立交桥的兴建,钢管混凝土可以凭借其在结构、施工方面的优势,加快施工速度,节约成本。同时,很好地解决因减小墩柱截面尺寸和高强混凝土脆性所带来的问题。

目前钢管混凝土的结构形式也在不断发展,除了钢管内满充混凝土的常见形式外,双层钢管混凝土、部分钢管混凝土(只在桥墩的底部填充一定高度的混凝土,一方面底部所受的作用最大,另一方面降低车辆碰撞对桥墩的损伤)以及双层部分钢管混凝土结构都得到了研究。但对于笔者拟研究的另一种形式的“部分钢管混凝土”,即只在桥墩的底部(或顶部)一定高度范围内包裹钢管的情况以及圆截面钢管内表面设置加劲肋(或剪力键)的情况未见有公开文献报道,随着钢管混凝土桥墩应用研究的深入,其结构形式必将不断发展。

高速、重载是铁路运输发展的必然趋势,列车高速、平稳和安全行驶要求铁路桥梁具有足够大的刚度(主要是横向刚度),而钢管混凝土结构刚度相对较大,可以减小桥梁的横向和纵向振动,从而也为铁路桥梁墩柱的设计增添了一种选择。

参考文献

- [1] Kazuhiro Nishikawa, Satoshi Yamamoto, Tooru Natori, et al. Retrofitting for seismic upgrading of steel bridge columns[J]. *Engineering Structures*, 1998, 20, 4~6: 540~551
- [2] 范立础,卓卫东. 桥梁延性抗震设计[M]. 北京:人民交通出版社,2001
- [3] Susantha K. A. S, Tetsuhiko Aoki, Takushi Kumano, et al. Applicability of low-yield-strength steel for ductility improvement of steel bridge piers [J]. *Engineering Structures*, 2005, 27: 1064~1073
- [4] Kitada T, Yamaguchi T, Matsumura M, et al. New technologies of steel bridges in Japan [J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2002, 58: 21~70
- [5] 蔡绍怀. 现代钢管混凝土结构[M]. 北京:人民交通出版社,2003
- [6] 周恩海. 铁路轻型桥墩横向刚度加固设计与研究[J]. *铁道建筑*, 2006, (5): 5~8
- [7] 卜建清,娄国充,罗永会. 铁路桥梁横向振幅超限的原因及加固减振方法探讨[J]. *铁道工程学报*, 2000, (1): 45~48
- [8] 郑强,孙国安. 佛陈大桥缺陷原因分析及加固[J]. *中国铁道科学*, 2000, 21(4): 21~29
- [9] Kitada T. Ultimate strength and ductility of state-of-the-art concrete-filled steel bridge piers in Japan[J]. *Engineering Structures*, 1998, 20, 4~6: 347~354
- [10] Shun-ichi Nakamura, Yoshiyuki Momiyama, Tetsuya Hosaka, et al. New technologies of steel concrete composite bridges [J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2002, 58: 99~130
- [11] 蔡绍怀. 钢管混凝土结构的计算与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989
- [12] 王新. 京沈高速公路钢管混凝土独柱式立交桥的设计[J]. *辽宁交通科技*, 1997, 20(6): 28~32
- [13] 岳澄,熊刚,李林安,等. 立交桥多跨连续梁复位监测[J]. *实验力学*, 2004, 19(1): 29~33
- [14] 何晓晖,刘冰,李勇. 深圳北站大桥设计及施工简介[J]. *华东公路*, 2001, (6): 28~31
- [15] 李勇,聂建国,陈宣言,等. 深圳彩虹大桥设计与研究[J]. *土木工程学报*, 2002, 35(5): 52~56
- [16] 贾军政,王明,马国刚,等. 兰州市雁盐黄河大桥主桥的一些设计特点[J]. *桥梁建设*, 2003, (2): 41~43
- [17] 李连法. 南京龙池立交桥曲线箱梁的设计与施工[J]. *桥梁建设*, 1996, (1): 20~22
- [18] Shanmugam N E, Lakshmi B. State of the art report on steel-concrete composite columns [J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 2001, 57: 1041~1080
- [19] Toshiyuki Kitada, Masahide Matsumura, Yukitoshi Otaguro. Seismic retrofitting techniques using an energy absorption segment for steel bridge piers[J]. *Engineering Structures*, 2003, 25: 621~635
- [20] Usami T, Ge H B, Saizuka K. Behavior of partially concrete-filled steel bridge piers under cyclic and dynamic loading[J]. *J. Construct. Steel Res.*, 1997, 41(2/3): 121~136
- [21] Katsuyoshi Nakanishi, Toshiyuki Kitada, Hiroshi Nakai. Experimental study on ultimate strength and ductility of concrete filled steel columns under strong earthquake[J]. *Journal of Constructional Steel Research*, 1999, 51: 297~319
- [22] Xiao-Ling Zhao, Raphael Grzebieta. Strength and ductility of concrete filled double skin (SHS inner and SHS outer) tubes[J]. *Thin-Walled Structures*, 2002, 40: 199~213
- [23] Julia Marsonl, Michel Bruneau. Cyclic Testing of Concrete-Filled Circular Steel Bridge Piers having Encased Fixed-Based Detail[J]. *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 2004, 9(1): 14~23

Application and Research on Concrete-Filled Steel Bridge Piers

Zang Hua, Liu Zhao

(*School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China*)

[**Abstract**] The characteristics of concrete-filled steel bridge piers were presented briefly in the paper. The status of application and research on concrete-filled steel bridge piers was summarized. The prospects of application and changing of its structural type of concrete-filled steel bridge piers were predicted. Order to promote future application and research of the new-style piers for bridge structures in China.

[**Key words**] concrete-filled steel tube; bridge pier; application; research

(上接第 64 页)

The On-line Fault Detection of the Wheelset Bearing Based on the Spectrum Zoom

Huang Cailun, Yu Xiaohua, Chen Anhua, Zhang Jian

(*Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China*)

[**Abstract**] The fault of wheelset bearing is one of the most important factors which is dangerous to the safety of the train running. And the key problem that should be solved firstly is the accurate measurement method for the high speed heavy haul locomotive. Since there are some discontinuity points in the amplitude of the vibration signals when the wheelset bearing is abnormal, a method for analyzing the vibration acceleration signals which come from the wheelset bearing by using the spectrum zoom is presented. The experiments indicate that the abnormality of wheelset bearing high-accuracy detection can be realized by using this method, and this method can detect the abnormality effectively compared to the commonly used methods.

[**Key words**] wheelset bearing; spectrum zoom; abnormality; detection