

撞击作用下某输煤栈桥结构反应及数值分析

张振涛

(中国建筑东北设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 为分析栈桥结构的抗撞能力, 研究了在车辆撞击作用下栈桥的结构反应及破坏机理. 基于工程事故调查结果, 对某火电厂输煤栈桥被车辆撞击的反应进行了数值模拟, 分析了蜂窝梁和牛腿在车辆撞击作用下的破坏模式、应力及位移响应. 计算结果表明: 在撞击荷载作用下, 蜂窝梁在支座及撞击部位应力最大; 牛腿混凝土处于拉扭复合受力状态. 分析结果可为车辆与栈桥碰撞问题提供参考.

关键词: 输煤栈桥; 蜂窝梁; 牛腿; 碰撞

中图分类号: TU366; TU311.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)06-0827-06

电力系统作为一座城市的生命线工程, 其对整座城市的生活和生产有着重要作用. 煤炭运输是电力系统组成的重要部分, 输煤栈桥连接原煤仓和锅炉仓, 在整个发电程序中起着输送煤炭的作用, 一旦发生破坏将导致整个发电系统的瘫痪^[1]. 由于输煤栈桥在使用过程中, 难免会发生各种各样的车辆碰撞破坏或者损伤, 使得输煤栈桥的安全度降低甚至丧失, 因此科学评价车辆对输煤栈桥的破坏是一个重要的有应用价值的课题^[2-3].

国外针对车辆撞击桥梁的问题已经开展了一系列试验和理论分析, 也初步形成了设计和加固方法^[4-6]. 然而这些研究还没有形成体系, 尤其是考虑到中外车辆有所差别, 国外的规范对中国工程实际也不能完全适用. 因此, 有必要根据中国的实际的情况, 更加深入研究车辆和栈桥的碰撞机理. 现采用 ABAQUS 有限元分析工具, 结合某火电厂输煤栈桥被车辆撞击的实际案例, 对栈桥结构在车辆撞击作用下的破坏模式进行探讨.

1 工程概况

某电厂 4 号输煤栈桥长 94.95 m, 宽 7.2 m, 坡度 14.4°. 栈桥沿南北方向 (长度方向) 共七跨, 沿东西方向 (宽度方向) 一跨. 栈桥柱采用现浇钢筋混凝土柱, $Y_{12}^4 \sim Y_{12}^5$ 跨的主梁采用蜂窝状钢梁, 次梁采用工字形钢梁, 板采用压型钢板与混凝土组合板, 主梁通过预埋件与柱螺栓连接, 次梁与主梁采用高强螺栓连接, 压型钢板直接搭在次梁上. 栈桥的立面局部布置如图 1 所示.

栈桥 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 跨度为 16 m, 蜂窝钢梁型号为 WH1050 mm×400 mm×18 mm×28 mm, Y_{12}^4 轴线对应的钢筋混凝土柱柱顶标高为 29.616 m, Y_{12}^5 轴线对应的钢筋混凝土柱柱顶标高为 34.027 m, 柱的截面尺寸均为 500 mm×600 mm, 每侧牛腿截面尺寸均为 250 mm×600 mm, 同一轴线的两柱在柱顶采用截面为 300 mm×600 mm 的连续梁进行连接. 蜂窝钢梁以及牛腿的截面尺寸及配筋尺寸如图 2 所示.

进入现场时, 栈桥 $Y_{12}^4 \sim Y_{12}^5$ 跨西侧蜂窝钢梁受撞击后变形严重 (图 3a), Y_{12}^4 柱西面、东面混凝土破碎 (图 3b、图 3c), Y_{12}^5 轴线对应柱顶牛腿的混凝土破损较轻, 个别部位混凝土起皮破裂, 柱子西面混凝土被压碎 (图 3d), 在栏杆基础梁上侧及外侧混凝土出现裂缝的同时, 蜂窝梁有少量偏移 (图 3e, 图 3f), 而

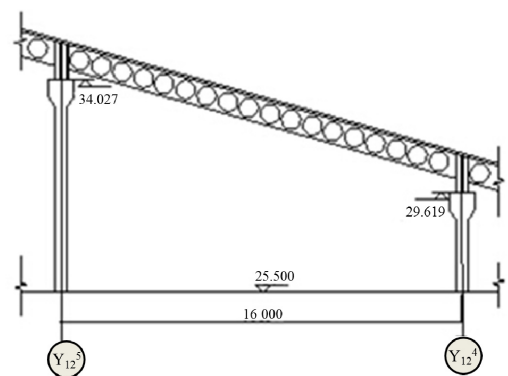


图 1 栈桥立面局部布置图

Fig.1 The local chart of elevation

收稿日期: 2014-07-21

修改稿日期: 2014-12-04

基金项目: 住房和城乡建设部科学技术项目 (2012-K2-12)

作者简介: 张振涛(1966-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事结构工程设计及研究. E-mail: longztt@163.com

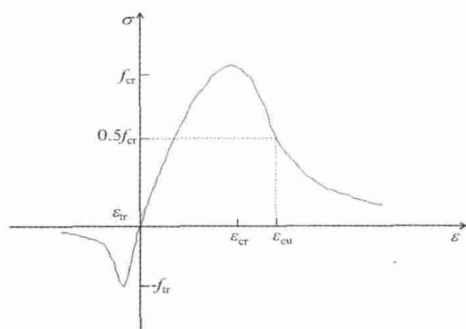


图4 混凝土单轴应力-应变曲线

Fig.4 The uniaxial stress-strain curve of concrete

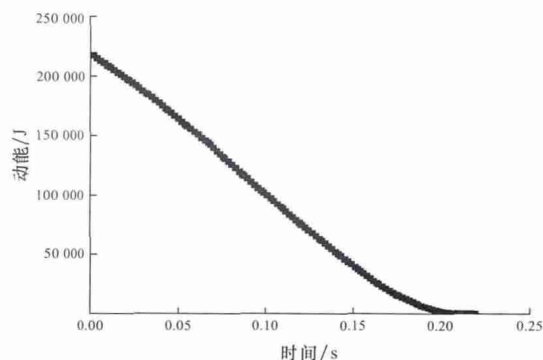


图5 碰撞过程动能曲线

Fig.5 The curve of collision kinetic energy

2.2 有限元结果分析

(1) 碰撞过程的能量分析

由图5可知汽车的动能随着时间的增加在逐渐减小，两者几乎为线性关系。在0.22 s时刻左右动能几乎为零，此持续时间与实际情况较为接近。由于汽车在碰撞的过程中速度减小直至减小为零，根据动能定理可知汽车的动能在逐渐减小。

(2) 蜂窝梁计算结果分析

从蜂窝梁应力云图中(图6)可以明显的判断各个区域应力的大小,以及发生屈服的区域。由图中得出:碰撞部位附近和支座附近钢梁的应力较大。在撞击部位,颜色从红褐色到红色的区域其应力值为318~424 MPa,已经超过了Q345B钢的屈服应力345 MPa,说明已有部分区域进入塑性阶段,下翼缘部分区域和加劲肋已经屈服,与现场检测结果相符。蜂窝梁整体空间变形图如图7a所示可以明显看出梁发生了大变形,且沿X、Y、Z方向都发生了不同程度的位移。其中蜂窝梁沿X、Y、Z方向最大位移均发生在发生撞击的部位,其位移随时间变化曲线如图7b、图7c、图7d所示,其最大位移分别为83.4 mm、307.2 mm、541.4 mm,与现场实际测量的位移88 mm、273 mm、560 mm较为接近,表明计算模型与所选定的参数比较客观合理。

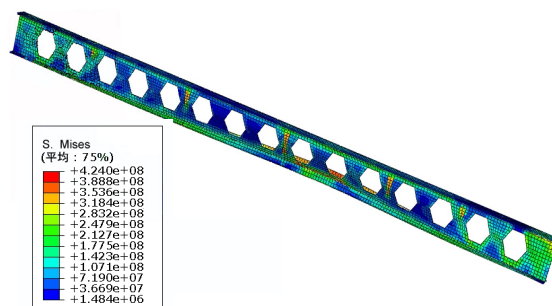
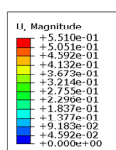
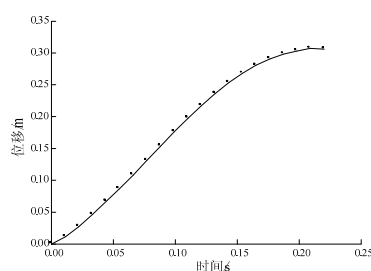


图6 蜂窝梁应力云图

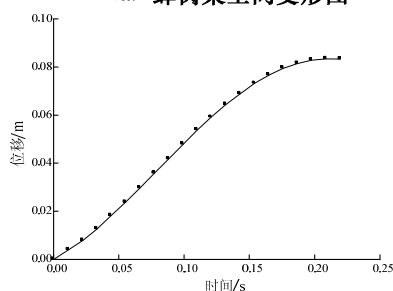
Fig.6 Castelled beam stress nephogram



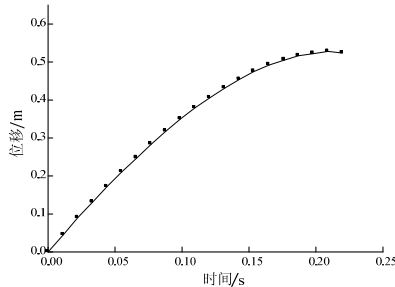
(a) 蜂窝梁空间变形图



(b) 蜂窝梁沿X方向位移曲线图



(c) 蜂窝梁沿Y方向位移曲线图



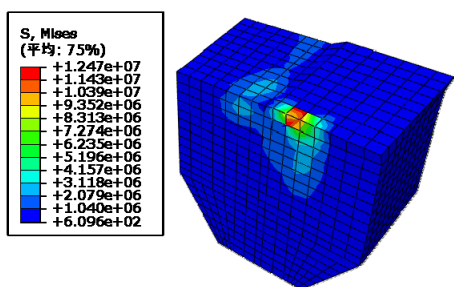
(d) 蜂窝梁沿Z方向位移曲线图

图7 蜂窝梁位移曲线图

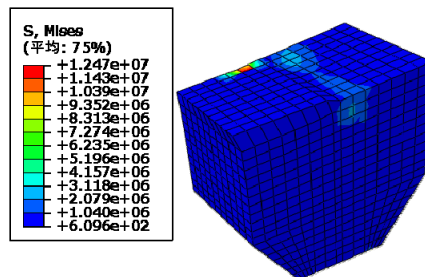
Fig.7 The displacement curve of castelled beam

(3) 牛腿的计算结果分析

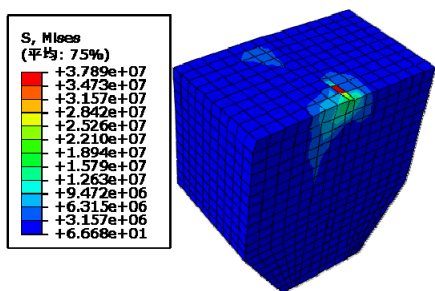
牛腿 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 混凝土的应力云图如图 8 所示, 由图可知牛腿 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 西面、东面在 0.22 s 时刻前, 破坏区域的应力已经超过了混凝土的峰值极限拉应力 2.75 MPa, 混凝土开裂, 与现场实际检测的结果比较接近, 说明建立的模型和参数的设置比较合理。



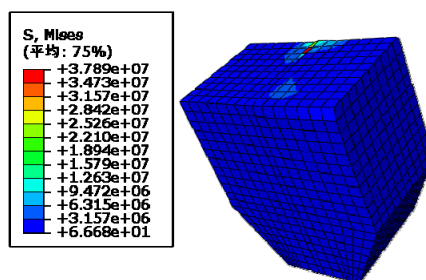
(a) 牛腿 Y_{12}^4 西面在 0.22s 时刻的应力云图



(b) 牛腿 Y_{12}^4 东面在 0.22s 时刻的应力云图



(c) 牛腿 Y_{12}^5 西面在 0.22s 时刻的应力云图

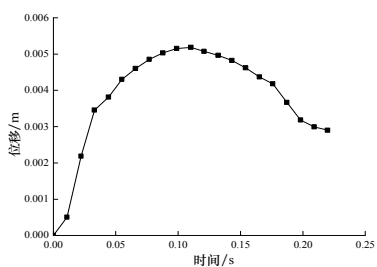


(d) 牛腿 Y_{12}^5 东面在 0.22s 时刻的应力云图

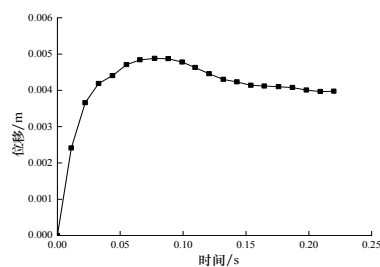
图 8 牛腿应力云图

Fig.8 The bracket stress nephogram

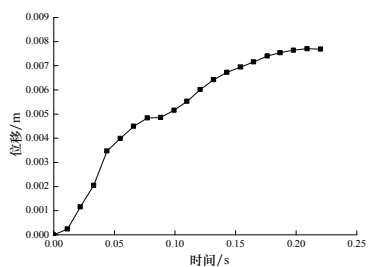
牛腿 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 混凝土的变形取东面变形区域边缘上的节点, 该节点在 X 方向和 Y 方向的位移如



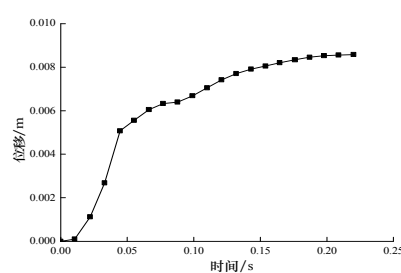
(a) 牛腿 Y_{12}^4 节点 X 方向位移曲线图



(b) 牛腿 Y_{12}^4 节点 Y 方向位移曲线图



(c) 牛腿 Y_{12}^5 节点 X 方向位移曲线图



(d) 牛腿 Y_{12}^5 节点 Y 方向位移曲线图

图9 牛腿位移曲线图

Fig.9 The displacement curve of bracket

图9所示, 由位移曲线可知, 在0.12 s之前, X 方向和 Y 方向的位移是随着时间的增加而增大, 之后随时间增加而略有减小, 说明此节点开始时受拉, 继而受扭. 与现场的破坏现象比较符合.

(4) 钢筋的应力云图

牛腿 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 筋的主应力云图如图10所示, 由图可知钢筋最大应力为300 MPa, 小于主筋的屈服应力335 MPa, 表明主筋没有发生屈服, 只有少量的箍筋发生了屈服. 同时由于支座的转动, 也使得钢筋发生了一定的变形, 与实际破坏现状大致吻合.

以上研究分析表明, ABAQUS有限元分析模拟结果与结构实际破坏现状相近. 依据《工业厂房可靠性鉴定标准》^[8] (GB50144-2008), 参考《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205-2001) 认为此输煤栈桥 Y_{12}^4 、 Y_{12}^5 跨破坏较为严重, 已影响安全和正常使用, 建议原蜂窝钢梁拆除重做, 并将柱上端牛腿进行加固处理.

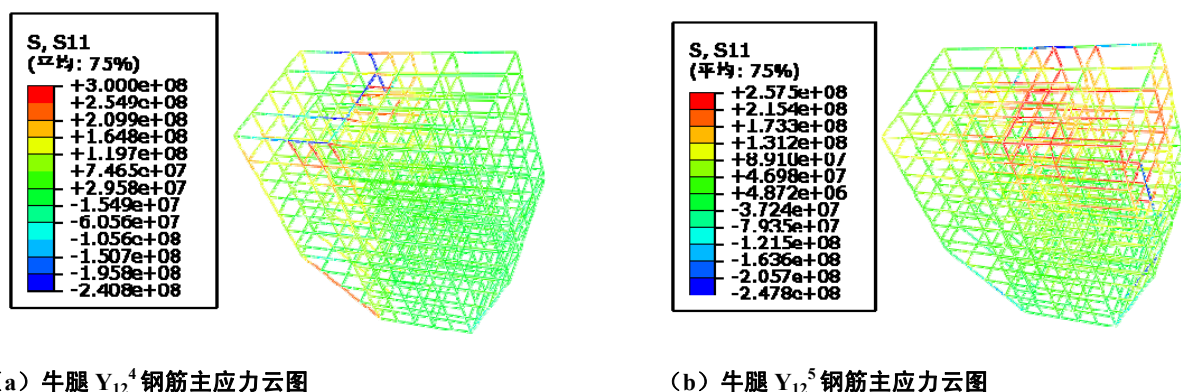


图10 牛腿钢筋主应力云图
Fig.10 The steel stress nephogram of bracket

3 结论

(1) 输煤栈桥的破坏现场和有限元模拟结果均表明: 牛腿混凝土在拉扭复合状态下产生裂缝并逐步发展, 因此在输煤栈桥的结构设计中应加强牛腿在抗拉和抗扭方面的构造措施.

(2) 在撞击作用下, 蜂窝梁在碰撞部位的变形最大, 应力最大值集中在支座附近和碰撞部位, 实际破坏情况与模拟结果相符, 为其它相关工程的有限元模拟提供了参考.

(3) 由于蜂窝梁的破坏, 导致上部附属结构的栏杆基础和钢梁的支座都会产生一定的变形与偏移, 加固设计中应该予以充分的重视.

参考文献 References

- [1] 王胜波. 工作状态下栈桥加固设计[J]. 煤矿现代化, 2003(5): 18-19.
WANG Shengbo. Trestle-reinforcing design under the operating condition[J]. Coal Mine Modernization, 2003(5): 18-19.
- [2] 李晓润, 杨建平, 侯兆欣. 简支蜂窝梁极限承载力简化设计方法[J]. 钢结构, 2008, 23(1): 35-37.
LI Xiaorun, YANG Jianping, HOU Zhaoxin. Simplified design method of ultimate bearing capacity of the simply castellated beam [J]. Steel Construction, 2008, 23(1): 35-37.
- [3] 朗婷, 赵滇生. 蜂窝钢梁的强度和刚度研究[J]. 浙江工业大学学报, 2005, 33(10): 538-543. LANG Ting, ZHAO Diansheng. The analyses of behaviors of honeycombed girder[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2005, 33(10): 538-543.
- [4] 张炎圣, 陆新征, 宁静, 等. 超高车辆撞击组合结构桥梁的仿真分析[J]. 交通与计算机, 2007, 25(3): 65-69.
ZHANG Yansheng, LU Xinzhen, NING Jing, et al. Computer simulation for the impact between over-high truck and composite viaduct[J]. Computer and Communications, 2007, 25(3): 65-69.
- [5] OKUBO T, NETHERCOT D A. Web post strength in castellated beams [C]// Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London: ICE Publishing, 1985: 533-557.
- [6] FU C C, BURHOUSE J R, CHANG G L. Over height vehicle collisions with highway bridges [J]. Transportation Research Record, 2004, 1865: 80-88.
- [7] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
GB50010-2010 Code for design of concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

- [8] GB50144-2008 工业厂房可靠性鉴定标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
GB50144-2008 Standard for appraisal of reliability of industrial buildings and structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [9] GB50205-2001 钢结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
GB50205-2001 Code for acceptance of construction quality of steel structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.

Numerical analysis of collision between truck and coal transporting trestle

ZHANG Zhentao

(China Northeast Architectural Design & Research Institute Co. LTD, Shenyang 110006, China)

Abstract: In order to improve the capacity of collision of trestle structure, the mechanism of collision between truck and trestle structure was studied. Based on actual accident investigations, a classical collision accident of a coal transporting trestle hit by vehicle was simulated. The failure modes, stress and displacement response of the castellated beam and the bracket were analyzed. Results indicate that under impact load the stress of castellated beam was maximal at the supporting regions and impact site. Bracket has the feature of tension-torsion. The computational results can be used for further studies on the truck- trestle impact problem.

Key words: coal transporting trestle; castellated beam; bracket; collision

(本文编辑 沈波)

(上接第 821 页)

The three-dimension spline wavelet finite element Construction and application on antiknock of underground box structure

SUN Huixiang¹, XU Jinyu¹, KANG Ting¹, QI Yong², LIU Yuanfei¹

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College of Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2. The Division of Construction of Air Force Engineering University, Xi'an 710044, China)

Abstract: Because of the characteristics of special material and high-speed loading becomes it easy for numerical oscillation to occur in traditional finite element simulation when the underground structure is subject to blasting load. The division of elements is numerous, and the computation inefficient. The wavelets finite element has the characteristics of many dimensions and many resolutions. And the precision can be improved by increasing yardstick of wavelets functions or measurement functions. The three-dimension transition matrix was derived. The new element of three-dimension interval B-spline was constructed using the measurement functions as interpolation function, which was applied on antiknock of underground box structure under blasting load through programming with Matlab software. The result shows that the computation precision is high with little elements and the computation efficiency is improved comprised with common finite element.

Key words: blast load; underground box structure; dynamic action; interval B-spline wavelet; element construction

(本文编辑 沈波)