

文章编号:1671-6833(2010)05-0070-04

支座脱空对西张村大桥受力性能的影响

朱小青, 陈 淮, 于品德

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:采用梁格法建立西张村大桥有限元计算模型, 计算了支座脱空对横向由多片 T 梁组成的连续梁桥力学性能的影响, 给出了西张村大桥考虑支座脱空后桥梁的支反力、横梁和主梁的内力变化情况。计算结果表明: 边支座脱空相对危险, 支反力可增大到原支反力的 2.704 倍; 支座脱空后与脱空前的横梁截面上最大剪力比值在 6.919~19.266 间, 最大正弯矩比值可达 18.9, 最大负弯矩比值可达 70.76; 支座脱空使相邻主梁的剪力和弯矩增大; 边支座相对中支座脱空对桥梁结构的受力性能影响更大。

关键词:连续梁桥; 力学性能; 有限元法; 支座脱空

中图分类号: U445.7⁺1

文献标识码: A

0 引言

橡胶支座以其结构形式简单、造价低廉、施工方便、养护工作量少等优点而成为公路桥梁中最常用的桥梁支座形式。而橡胶支座常由于施工、运营维护不当等原因造成支座局部脱空、完全脱空、异常变形、开裂、锈蚀等病害, 目前已成为公路桥梁常见的病害^[1-3]。支座的破坏直接引起桥梁上部结构受力发生变化, 特别是对于横向由多片 T 梁组成的连续梁桥, 将引起主梁、横梁内力分布产生变化、支座反力发生突变, 情况严重者会威胁桥梁结构的安全。目前, 对各种桥梁形式的支座失效原因分析及预防控制、公路桥梁橡胶支座失效判别及更换等方面开展的研究较多, 而对支座脱空失效对桥梁的影响程度定量研究相对较少^[4]。笔者以横向由 5 片 T 梁组成的连续梁桥——西张村大桥为工程实例, 探讨支座脱空对桥梁上部结构受力性能的影响。

1 工程概况及计算模型

以正在建设的河南省省道 S318 线西张村大桥为工程实例, 西张村大桥跨径组合为 $(4 \times 50 \text{ m} + 3 \times 50 \text{ m})$ 连续 T 梁 + $(4 \times 25 \text{ m})$ 连续箱梁, 设计荷载为公路 I 级。该桥上部结构主跨为横向由 5 片 T 梁组成的 50 m 跨径的先简支后连续梁, 以第

一联 $(4 \times 50 \text{ m}$ 连续 T 梁) 为例进行分析。该桥上部结构跨中横截面如图 1 所示, 主梁高 2.7 m, 宽 2.4 m, 边主梁预制宽度为 1.95 m, 中主梁预制宽度 1.5 m; 梁肋端部 7.4 m 范围内逐渐加宽, 在支点位置梁肋加宽至马蹄同宽; 主梁间通过横隔梁及主梁翼缘连接, 横隔梁间距为 8.1 m, 支点位置横梁不掏空; 预制主梁、横隔梁及湿接缝均采用 C55 混凝土。该桥每联仅在端部设置滑板支座, 跨中支座均为板式橡胶支座, 全联沿纵向共设置 5 排支座, 编号为 A, B, C, D, E, 每排有 5 个支座, 其编号同主梁编号, 如 A1, A2, A3, A4, A5。

利用 Midas/civil 有限元程序, 采用梁格法^[5]建立大桥第一联的有限元计算模型, 主梁及横隔梁均采用空间梁单元模拟, 在计算模型中湿接缝宽度计入相邻主梁的翼缘宽度, 主梁间的横向连接用 T 形截面横梁模拟, T 形截面腹板模拟横隔板, 翼缘模拟主梁翼缘, 由于横梁间距较大, 考虑翼缘剪力滞效应, 建模时以翼缘有效宽度输入^[5-7]。不考虑下部结构的影响, 全联计算模型及支座编号如图 2 所示, 全联共计 1 392 个单元, 总体坐标系为: 沿桥梁纵向为 x 轴, 横桥向为 y 轴, 竖向为 z 轴。支座用边界约束模拟, 边界条件为全联在中梁支座约束 y 方向位移, 仅在中间桥墩上约束 x 方向, 其余支座只约束 z 方向。在模型中用解除支座处的竖向 (z 向) 约束模拟支座脱空。

收稿日期: 2009-10-01; 修订日期: 2010-01-12

基金项目: 河南省杰出人才计划资助项目 (084200510003)

作者简介: 朱小青 (1982-), 男, 江西高安人, 郑州大学博士研究生, 主要从事桥梁结构分析研究工作, E-mail:

xqzhu25@zzu.edu.cn.

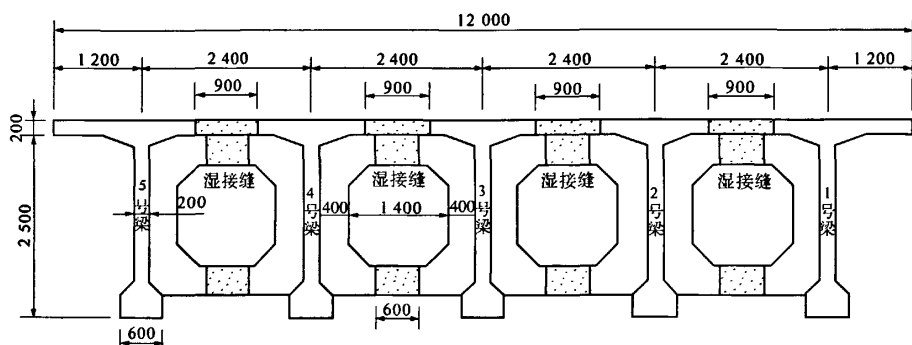


图1 主梁跨中横断面图(单位:mm)

Fig.1 Cross section of main beam (mm)

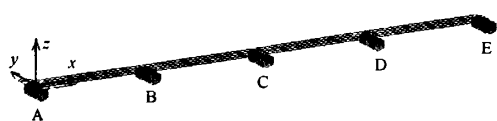


图2 有限元模型及支座编号

Fig.2 FEA model and number of bearings

为分析桥梁支座脱空对上部结构的影响,计算时考虑了以下荷载。

(1) 恒载:包括一、二期恒载。其中,一期恒载为结构自重,程序自动计算;二期恒载包括桥面铺装、栏杆和人行道板重量,建模时为均布荷载。

(2) 活载:活载考虑汽车荷载及人群荷载,其中汽车荷载为公路 I 级,人群荷载为 3 kN/m 。建模时,分别在 2 号梁和 4 号梁上布置车道,以公路 I 级荷载进行移动荷载分析,并考虑冲击效应,移动荷载分析可以得到结构的影响线,在影响线上按最不利位置加载,以获得结构在最不利加载下的受力状况。人群荷载以均布荷载加到 1 号和 5 号梁上。

考虑偏载加载(工况 1)和对称加载(工况 2)。工况 1:自重+二期恒载+人群荷载+4 号梁汽车荷载。工况 2:自重+二期恒载+人群荷载+2、4 号梁汽车荷载。

2 计算结果及分析

2.1 支座脱空对桥梁支反力分布的影响

由于仅考虑单支座脱空失效,计算时设置了 15 种支座的失效状态,提取了原结构和各支座分别脱空时的支反力计算结果,如表 1 所示。计算结果表明,支座脱空对同一桥墩上的支反力产生较大影响,而对其它桥墩上的各支座支反力影响较小,故表 1 中只列出了支座所在桥墩上各支座反力脱空后与脱空前的比值。

由表 1 可知,当支座脱空失效时,由于横梁的存在,使同一横梁位置的各支座反力重新分布。当

边支座脱空失效时,如 A1、B1、C1,支座反力将增大,最大值达原来的 2.704 倍;当中支座脱空时,与脱空支座相邻的支座反力将增加到原来的 1.4~2 倍。计算结果表明,边支座相对于中支座脱空是更危险的,只有支座承压安全系数大于 2.704 时才能保证边支座脱空后相邻支座满足承压验算要求。

支座横梁的存在才使得支座脱空后支反力的影响范围基本控制在该桥墩上,为了使支座横梁真正实现这个功能,应该保证其可靠联结并具有一定的抗弯刚度和强度。

2.2 支座脱空对横梁受力的影响

支座脱空对于其支承的横梁来说,计算模型发生了改变,内力重新分布。由于各排支座脱空对横梁受力的影响的规律大致相同,表 2 只给出了 B 排支座脱空后与脱空前整个横梁上最大内力的比值,脱空前后最大内力的位置均发生了改变。

由表 2 可知,支座脱空后横梁上最大截面剪力与脱空前的最大剪力比值在 6.919~19.266;最大正弯矩比值可达 18.9,最大负弯矩比值可达 70.76,弯矩和剪力都将迅速增加。在已建成的许多连续梁桥中,横隔梁裂缝出现超限的现象较多,这与连续梁横隔梁缺乏实用而精确的设计手段有关^[8],所以在连续梁桥横隔梁设计时应引起足够重视。

2.3 支座脱空对主梁内力的影响

由于支座脱空对主梁受力性能的影响主要集中在脱空支座附近,表中只列出了 B 排支座脱空后的主梁内力变化情况。支座脱空后与脱空前相应位置剪力和弯矩比值见表 3 和表 4。

由表 3 可知,当某根主梁下的支座脱空后,所引起的正、负剪力的变化规律基本一致,与其相邻的同一桥墩位置的主梁剪力增大,边支座脱空时剪力最大可增大到脱空前的 2.76 倍,中支座脱空时剪力最大可增大到脱空前的 1.75 倍;同一桥墩

表 1 支座脱空后与脱空前支座反力比值

Tab.1 The ratio of the support reaction force after and before bearings hanging in the air

支座 编号	工况 1		工况 2		工况 1		工况 2		工况 1		工况 2	
	A1 失效		A2 失效		A3 失效		A4 失效		A5 失效		A5 失效	
A1	0.000	0.000	1.421	1.427	0.859	0.869	0.980	1.427	0.971	0.000		
A2	2.704	2.204	0.000	0.000	1.667	1.453	0.871	0.000	0.896	2.204		
A3	0.358	0.329	1.699	1.894	0.000	0.000	1.941	1.894	0.243	0.329		
A4	0.941	0.932	0.919	0.913	1.428	1.453	0.000	0.913	2.286	0.932		
A5	0.976	0.976	0.982	0.982	0.868	0.869	1.419	0.982	0.000	0.976		
	B1 失效		B2 失效		B3 失效		B4 失效		B5 失效		B5 失效	
B1	0.000	0.000	1.434	1.437	0.883	0.888	0.959	1.437	0.946	0.000		
B2	2.687	2.457	0.000	0.000	1.638	1.535	0.941	0.000	0.820	2.457		
B3	0.521	0.501	1.641	1.708	0.000	0.000	1.739	1.708	0.461	0.501		
B4	0.868	0.855	0.955	0.952	1.513	1.535	0.000	0.952	2.505	0.855		
B5	0.953	0.952	0.963	0.962	0.890	0.888	1.426	0.962	0.000	0.952		
	C1 失效		C2 失效		C3 失效		C4 失效		C5 失效		C5 失效	
C1	0.000	0.000	1.432	1.439	0.884	0.889	0.959	1.439	0.946	0.000		
C2	2.682	2.413	0.000	0.000	1.642	1.522	0.941	0.000	0.818	2.413		
C3	0.525	0.503	1.636	1.719	0.000	0.000	1.756	1.719	0.457	0.503		
C4	0.873	0.859	0.957	0.953	1.496	1.522	0.000	0.953	2.465	0.859		
C5	0.954	0.953	0.964	0.963	0.891	0.889	1.428	0.963	0.000	0.953		

表 2 支座脱空后与脱空前横梁结构最大内力比值

Tab.2 The ratio of the cross beam's largest internal force after and before bearings hanging in the air

脱空位置	工况 1		工况 2		工况 1		工况 2		工况 1		工况 2	
	正剪力	负剪力	正剪力	负剪力	正弯矩	负弯矩	正弯矩	负弯矩	正弯矩	负弯矩	正弯矩	负弯矩
B1	19.266	12.845	13.275	10.505	1.193	63.780	1.057	42.651				
B2	11.866	7.557	9.222	6.919	15.805	11.097	13.781	8.136				
B3	10.893	9.118	7.244	7.244	14.124	10.755	10.627	7.016				
B4	10.793	12.237	6.919	9.222	18.902	12.607	13.781	8.136				
B5	16.799	18.184	10.505	13.275	0.945	70.767	1.057	42.651				

表 3 支座脱空后与脱空前主梁剪力比值

Tab.3 The ratio of the main beam's shear after and before bearings hanging in the air

输出位置	B1 失效		B2 失效		B3 失效		B4 失效		B5 失效		B5 失效	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
B1	正	0.08	0.12	1.37	1.37	0.89	0.90	0.96	0.96	0.95	0.95	
	负	-0.03	0.03	1.45	1.44	0.88	0.89	0.96	0.96	0.94	0.95	
B2	正	2.57	2.24	0.08	0.18	1.60	1.45	0.95	0.96	0.84	0.88	
	负	2.76	2.34	-0.03	0.11	1.66	1.49	0.94	0.96	0.82	0.87	
B3	正	0.56	0.57	1.59	1.63	0.10	0.14	1.68	1.63	0.52	0.57	
	负	0.51	0.52	1.65	1.70	0.00	0.05	1.75	1.70	0.47	0.52	
B4	正	0.89	0.88	0.96	0.96	1.44	1.45	0.17	0.18	2.29	2.24	
	负	0.88	0.87	0.96	0.96	1.48	1.49	0.09	0.11	2.39	2.34	
B5	正	0.96	0.95	0.97	0.96	0.90	0.90	1.40	1.40	0.10	0.12	
	负	0.95	0.95	0.96	0.96	0.89	0.89	1.44	1.44	0.01	0.03	

注:表中正、负分别表示该支座位置的左截面、右截面剪力。

表 4 支座脱空后与脱空前主梁负弯矩比值

Tab.4 The ratio of main beam's negative bending moment after and before bearings hanging in the air

输出位置	B1 失效		B2 失效		B3 失效		B4 失效		B5 失效		B5 失效	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
B1	0.85	0.86	0.93	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97		
B2	1.20	1.19	0.89	0.89	1.06	1.06	1.00	1.00	0.98	0.98		
B3	0.98	0.98	1.06	1.06	0.89	0.89	1.06	1.06	0.98	0.98		
B4	0.98	0.98	1.00	1.00	1.05	1.06	0.89	0.89	1.20	1.19		
B5	0.98	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.05	0.86	0.86		

位置其他主梁剪力减少,但减少幅度不大。

支座脱空对主梁内力的影响主要集中在脱空支座所在桥墩位置的主梁负弯矩上,所以表4只给出了同一桥墩位置主梁负弯矩支座脱空后与脱空前比值。由表4可知,当某根主梁下的支座脱空后,与其相邻的主梁在该位置处弯矩增大,其他主梁弯矩减小,但是脱空对弯矩的影响没有对剪力的影响明显。当边支座脱空时,弯矩最大可增大20%,当中间支座脱空时,弯矩最大可增加6%。其他主梁弯矩减少幅度很小,一般在5%以内。

3 结论

(1) 支座脱空使同排支座支反力重新分布,边支座脱空是相对危险的,支反力可增大到原来支反力的2.704倍,中支座脱空影响相对较小。

(2) 支座脱空对支座所在位置横梁内力有较大影响,支座脱空后横梁上最大截面剪力与脱空前最大剪力比值在6.919~19.266;最大正弯矩比值可达18.9,最大负弯矩比值可达70.76;弯矩和剪力都将迅速增加,

(3) 单支座脱空失效对主梁的受力性能有所影响,相邻主梁的剪力和弯矩都将增大。当边支座脱空时,剪力可增大到脱空前的2.76倍,当中间支座脱空时,剪力可增大到脱空前的1.75倍。

(4) 边支座脱空相对中支座脱空对结构的受力性能影响较大,实际工程中应注意边支座的脱空失效的检查。

由于支座的脱空和失效已是目前桥梁运营过程中的一个常见病害,为了保证桥梁结构在个别支座脱空失效后,还能基本维持正常运营,避免因个别支座脱空后出现其他支座连锁失效的后果,建议桥梁设计时提高支座的安全系数。

参考文献:

- [1] 周明华,葛宝翔.公路桥梁橡胶支座的使用寿命与应用对策[J].土木工程学报,2005,38(6):92-96.
- [2] 金玉泉.桥梁的病害及灾害[D].上海:同济大学土木工程学院,2006.
- [3] 肖玉辉,沈立宏.混凝土桥梁病害成因分析及对策研究[J].中外公路,2004,24(1):38-42.
- [4] KIM S H, MHA H S, LEE S W. Effects of bearing damage upon seismic behaviors of a multi-span girder bridge[J]. Engineering Structures, 2006(28): 1071-1080.
- [5] 戴公连,李德建.桥梁结构空间分析设计方法与应用[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [6] 徐建国,陈淮,王博,等.连续箱梁桥力学性能分析[J].郑州大学学报:工学版,2004,25(1):28-30.
- [7] 易建国.混凝土简支梁(板)桥[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [8] 罗爱道,王晓鸣,周南杰,等.简支T梁横隔梁病害与维修加固[J].华中科技大学学报:城市科学版,2008,25(1):85-87.

Influence of Bearing Hanging in the Air on the Structural Performance of Xi Zhang Cun Bridge

ZHU Xiao-qing, CHEN Huai, YU Pin-de

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The structural performance influence of bearings hanging in the air on the continuous girder bridges composed of 5 "T" beams in cross was calculated. The Xi Zhang Cun Bridge FEM model was established using the grillage method, and the change of cross beam and main beam's internal forces and support reaction after bearings hanging in the air is given in this article. The result shows that: peripheral bearings hanging in the air are relatively dangerous; Compared with the original bridge, support reaction force can be increased to 2.704 times. The ratio of the largest shear after and before bearings hanging in the air is between 6.919~19.266 and the ratio of maximum positive and negative bending moment are 18.9 and 70.76. Bearing hanging in the air causes the shear and bending moment of the main beam increasing. In a word, the impact of structural performance of peripheral bearings hanging in the air is greater than that of middle bearings hanging in the air.

Key words: continuous girder bridge; structural performance; finite element method; bearings hanging in the air