

深水施工吊箱围堰的有限元分析

于建军¹, 丁飞鹏², 王长江¹, 郑凯锋³

(1. 中铁九局集团有限公司技术中心 辽宁 沈阳 110013 ; 2. 浙江省交通工程建设有限公司工程管理处 浙江 杭州 310004 ;
3. 西南交通大学研究生院 四川 成都 610031)

摘要 : 对施工设计的大辽河特大桥吊箱围堰全结构进行空间有限元分析 , 在有限元分析模型中对不同构件采用不同的有限单元 , 同时对不同单元之间的连接进行有效处理 . 分析结果表明 : 带有尖头侧板的吊箱板面受力较好 , 板中央的应力和变形减小 , 有益于稳定 , 吊箱围堰板面理论变形、失稳形态和施工实测变形是吻合的 .
关键词 : 吊箱 ; 有限元分析 ; 结构分析
中图分类号 : U443.162 **文献标识码** : A **文章编号** : 1000-1980(2007)05-0546-03

盘海高速公路大辽河特大桥建于辽宁省中南部大辽河干流上 , 桥址位于大石桥市石佛乡魏家塘村 , 桥位处平潮时水面净宽 280 m , 受渤海潮汐影响 , 涨落潮差 2.5 m , 水最深处达 12.0 m . 大辽河特大桥桥梁全长 1 688.39 m , 水中墩共计 9 个 , 其中深水墩 3 个 , 为 47 号 ~ 49 号墩 , 49 号墩位于河床最低处 , 是控制全桥工期的关键工程 , 也是技术和施工的难点 . 桥位处枯水期常水位为 0.5 m .

本文根据工程实际情况设计了吊箱围堰 , 建立了吊箱围堰全结构的有限元模型 , 分析了各部分的受力、变形、稳定性等情况^[1] , 并以此进行优化 .

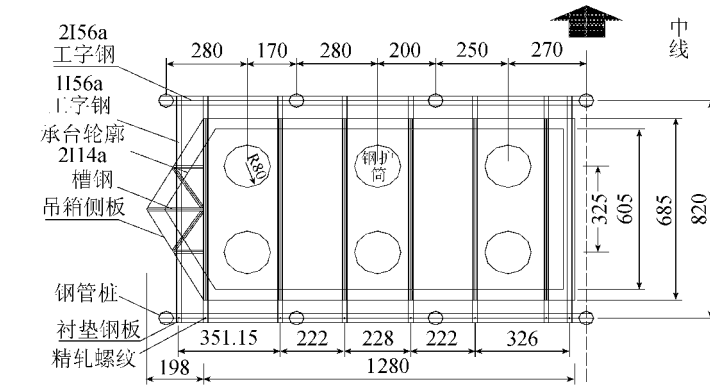


图 1 吊箱围堰几何尺寸(单位 :m)

Fig.1 Geometric size of suspension-box cofferdam(unit :m)

1 吊箱围堰设计

吊箱设计主要考虑在箱内无水的情况下修筑承台 , 且满足吊箱受力需要^[2] . 吊箱受到的最大侧压力为 680 kPa . 考虑承台及破冰体的几何尺寸及施工工作面要求 , 吊箱的设计尺寸为 : 长 × 宽 × 高 = 14.78 m × 6.85 m × 6.9 m (见图 1) . 受上游田庄台大桥净空的限制 , 打桩船及大型浮吊不能进入施工现场 ; 同时 , 由于吊箱体积大 , 利用大型水上吊装设备吊装 , 吊箱容易变形 . 因此 , 考虑将吊箱分块、分片制作 , 最后在桥位处平台上组装成型 , 利用下沉系统下沉就位 .

2 吊箱围堰结构分析

吊箱围堰的板面、内支撑、悬吊结构以及施工平台的钢管桩、钢护筒等共同构成较为复杂的空间体系^[3] . 本文建立了吊箱围堰的全结构模型(图 2) , 采用实体、板壳、梁、杆等多种单元组成有限元空间模型^[4] .

有限元模型相对准确地模拟了构件吊箱围堰的空间位置、连接形式、荷载作用等 , 由此得到结构总体分析结果和局部分析结果^[5] .

2.1 吊箱围堰工况分析

对大辽河特大桥高桩承台吊箱围堰施工全过程进行分析 , 得出吊箱围堰施工承台全过程中最不利荷载

组合,确定计算模型需要进行3个阶段荷载工况的验算,即灌注封底混凝土(Ⅰ)工况、抽除吊箱内河水(Ⅱ)工况、承台破冰体施工(Ⅲ)工况。

2.2 吊箱围堰静力分析

由表 1、表 2 可以看出,最不利变形情况发生在第Ⅲ工况。其中, X 方向最大变形为 19.5 cm,发生在第Ⅱ、Ⅲ工况; Y 方向最大变形为 23.8 cm,发生在第Ⅱ、Ⅲ工况; Z 方向最大变形为 2.25 cm,发生在第Ⅲ工况。最不利应力情况发生在第Ⅱ、Ⅲ工况。其中, X 方向最大应力为 316 MPa,发生在第Ⅱ、Ⅲ工况; Y 方向最大应力为 314 MPa,发生在第Ⅲ工况; Z 方向最大应力为 316 MPa,发生在第Ⅱ、Ⅲ工况。

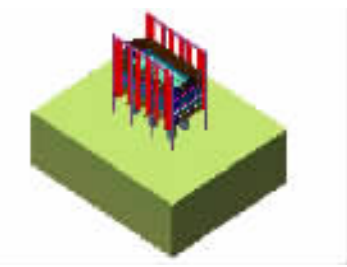


图 2 吊箱围堰计算模型
Fig.2 Computational model of suspension-box cofferdam

表 1 吊箱围堰结构变形及最不利工况

Table 1 Deformation and the most disadvantageous loading case of suspension-box cofferdam

部位	变形/cm									最不利工况		
	工况 I			工况 II			工况 III					
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
吊杆	0.06	0.26	0.51	0.06	0.24	0.48	0.09	0.37	0.69	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
顶梁	0.02	0.26	0.51	0.02	0.24	0.48	0.03	0.36	0.69	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
底梁	0.04	0.01	0.48	0.04	0.01	0.45	0.07	0.02	0.65	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
板面	0.08	0.30	0.48	19.50	23.80	0.44	19.50	23.80	0.66	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
支撑	0.01	0.01	0.82	0.36	0.08	2.04	0.32	0.08	2.25	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ

表 2 吊箱围堰结构应力及最不利工况

Table 2 Stress and the most disadvantageous loading case of suspension-box cofferdam

部位	应力/MPa									最不利工况		
	工况Ⅰ			工况Ⅱ			工况Ⅲ					
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
吊杆	0.3	0.2	26.3	0.25	0.16	24.9	0.36	0.23	39.5	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
顶梁	16.4	37.4	10.1	15.50	35.10	9.6	24.30	53.70	14.6	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
底梁	3.7	14.6	1.9	3.28	11.80	1.6	5.16	20.60	2.7	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
板面	13.3	3.6	12.2	315.00	189.00	316.0	316.00	188.00	316.0	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
支撑	20.2	33.2	4.8	157.00	313.00	30.3	157.00	314.00	30.9	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

2.3 计算变形与实测施工变形的比较

将计算出的吊箱板面变形(图 3)与施工实测时的变形进行对比,如表 3 所示,表 3 中数据是以第Ⅲ工况为例进行对比的。其中,长板面的变形指 Y 方向变形,短板面和尖头板面的变形指 X 方向变形。由表 3 可以看出,计算的变形数据与施工实测时的变形数据是吻合的。

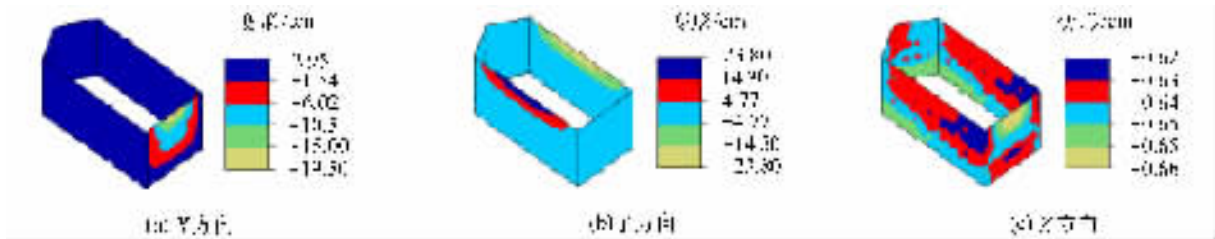


图 3 第Ⅲ工况变形
Fig.3 Deformation in loading case Ⅲ

2.4 吊箱围堰稳定分析

吊箱围堰全结构在受力后,最大变形发生在吊箱板面^[6],在吊箱围堰的 3 个平面侧板中部较大。侧板的最大变形为 23.8 cm(图 4)。由表 4 屈曲模态分析计算结果可知,首先失稳的位置为吊箱两长板面的中部 9 m 范围内,这与实际施工中吊箱板面的变形是基本吻合的。

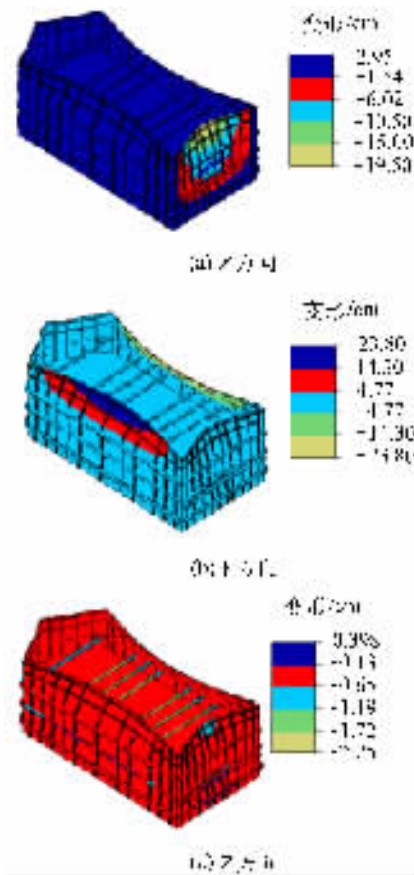


图4 第Ⅲ工况屈曲模式

Fig.4 Buckling mode in loading case Ⅲ

参考文献：

[1] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动[M]. 2版. 北京: 中国铁道出版社, 1996: 235-238.

[2] 刘自明, 王邦楣, 陈开利. 桥梁深水基础[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 330-344.

[3] 孙 徐伟. 高桩承台钢吊箱围堰施工过程结构分析[J]. 福建工程学院学报, 2004, 2(1): 36-38.

[4] 陈绍蕃. 钢结构设计原理[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2005: 26-35.

[5] 张立明. Ansys在桥梁工程中的应用方法与实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005: 26-35.

[6] 骆艳斌, 徐伟. 不同形状吊箱动力特性比较分析[J]. 结构工程师, 2006, 22(3): 41-45.

[7] 江见鲸, 何放龙, 何益斌, 等. 有限元法及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 75-82.

Finite element analysis of deepwater construction
of suspension-box cofferdam

YU Jian-jun¹, DING Fei-peng², WANG Chang-jiang¹, ZHENG Kai-feng³
(1. Technical Center, China Railway No.9 Group Corp., Shenyang 110013, China;
2. Engineering Department, Zhejiang Provincial Transportation
Engineering Construction Group, Hangzhou 310004, China;
3. Postgraduate Institute, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A spatial full structure finite element analysis was performed for construction design of suspension-box cofferdam of Daliaohe River Bridge. In the spatial finite element model, different finite elements were adopted for different parts of suspension-box cofferdam. Meanwhile, the connection between different elements was treated effectively. The result shows that the stress distribution in the surface of suspension-box with sharp lateral panel is satisfactory, and the stress and deformation at the center of the panel decrease, thus the stability of the suspension-box could be improved. Moreover, the deformation and instability modes of the panel of suspension-box cofferdam obtained by theoretical analysis coincide well with measured data.

Key words: suspension-box; finite element analysis; structural analysis

表3 计算变形与施工实测变形的比较

Table 3 Comparison of calculated and measured deformations

部 位	计算变形	施工变形
长板面	1/4	14.3
	2/4	23.8
	3/4	14.3
短板面	1/4	10.5
	2/4	19.5
	3/4	10.5
尖头板面	1/4	2.3
	2/4	0
	3/4	2.3

表4 吊箱围堰屈曲模态及屈曲倍数

Table 4 Buckling mode and buckling multiple of suspension-box cofferdam

工况	方向	形态	倍数
I	X	0.08	15.82
	Y	0.30	
	Z	0.82	
II	X	19.50	2.41
	Y	23.80	
	Z	2.04	
III	X	19.50	2.38
	Y	23.80	
	Z	2.25	
最不利工况		III	III

3 结 论

- a. 计算模型必须真实地反映结构的特性,优化的模型是计算速度和正确结果的可靠保证^[1].
- b. 正确的设计理念和思路可以有效地规避使用大型设备的风险,从而降低成本.
- c. 带有尖头侧板的吊箱板面受力较好,减少了板中央的应力和变形,同时有利于结构的稳定.
- 因此,对于大型的吊箱围堰结构,可根据结构需要增加尖头异形部分,以减少应力和变形.本文吊箱围堰全结构的稳定性分析还有待于进一步研究,但其计算结果仍具有一定的参考价值.