

地震作用下西堠门大桥设置 Lock-Up Device 可行性研究

罗加标¹, 卢桂臣², 胡雷挺²

(1. 浙江海洋工程有限公司, 浙江宁波 316000; 2. 舟山海峡大桥发展有限公司, 浙江舟山 316000)

摘要: Lock-Up Device 是一种类似速度开关的装置, 可以改变结构的平动动力约束方式。在舟山大陆连岛工程西堠门大桥的设计、建设过程中, 对在使结构产生较大运动速度的荷载作用下, 为了使加劲梁不产生额外的梁端位移; 或在大的冲击作用下梁体对伸缩缝不产生过大的速度以损害伸缩缝, 进行了梁端设置 Lock-Up Device 的可行性研究。该文对地震作用下梁端设置 Lock-Up Device 于西堠门大桥抗震性能的影响进行了详细的分析和研究。

关键词: 西堠门大桥; 梁端位移; 伸缩缝; 可行性研究; 抗震性能

中图分类号: U442.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)05-0062-03

0 前言

作为交通线的重要一环, 桥梁结构为了适应温度、收缩徐变等变形要求, 设置伸缩缝; 或由于构造要求, 构件与构件之间留有间隙, 例如在城市立交中简支梁的上部结构和凸型盖梁之间。为了减少中小地震荷载、风荷载带来的桥梁各部分间的碰撞^[1,2]时, 需要改变结构的约束方式, 例如, 静力作用下为简支梁, 通过设置 Lock-Up Device, 在地震作用下使上部结构共同运动, 在纵向成为连续梁。

Lock-Up Device 是一种类似速度开关的装置。当桥梁运动到某一速度下启动。锁住安置两点间的位移, 可以看成是一个简单的速度开关, 当速度大于启动值时, 装置启动, 变成刚性连杆。但其没有耗能作用, 也不能减少桥墩的受力。

在舟山大陆连岛工程的设计、建设过程中, 对在使结构产生较大运动速度的荷载作用下, 为了使加劲梁不产生额外的梁端位移; 或在大的冲击作用下, 梁体对伸缩缝不产生过大的速度以损害伸缩缝。对梁端设置 Lock-Up Device 的可能性进行了研究和探讨, 该文对地震作用下梁端设置 Lock-Up Device 于西堠门大桥抗震性能的影响进行了详细的分析和研究^[3]。

1 西堠门大桥简介

西堠门大桥是舟山大陆连岛工程中规模最大的跨海特大桥之一, 为大跨度悬索桥, 见图 1、图 2。其走向由北向南, 北连册子岛, 南连金塘岛。跨径布置为 578 m+1 650 m+485 m。由于地形的原

因, 主桥在北边跨和中跨的主梁设计为连续加劲梁, 北边跨和北塔之间为悬吊结构, 设置有横向抗风支座, 北塔设下横梁。因此加劲梁的实际连续长度为 2 228 m。南塔的下横梁和北锚碇上设置反力墙, 以便加劲梁梁端设置梁端约束。

在西堠门大桥动力分析中, 空间弹性梁单元模拟主梁、桥塔, 用弹簧单元模拟桩基础, 用空间杆单元模拟索, 主梁节点和斜拉索吊点用主从模拟, 并考虑恒载引起的几何非线性, 北边跨和北塔之间为悬吊结构, 设置有横向抗风支座, 用主从信息模拟。

当西堠门大桥北锚碇反力墙与主梁北端、主梁南端与南塔反力墙之间设置 Lock Up Device 时, 地震作用下, 就相当于给北锚碇反力墙与主梁北端、主梁南端与南塔反力墙之间提供了纵向刚性约束。结构的动力特性发生改变。该文采用大刚度弹簧对 Lock Up Device 进行了模拟, 并进行了地震响应分析。从动力特性、关键节点的位移、桥塔、横梁、桩基础的受力等几个角度来说明。装置施加在纵向, 对地震纵向 + 竖向输入时影响比较大, 因此对地震横向 + 竖向输入情况不进行分析。该文采用的地震波由中国地震局地质研究所对舟山大陆连岛工程西堠门大桥进行了地震危险性分析后提供, 超越概率为 100 a 3%。

2 梁端设置 Lock Up Device 对大桥抗震性能的影响

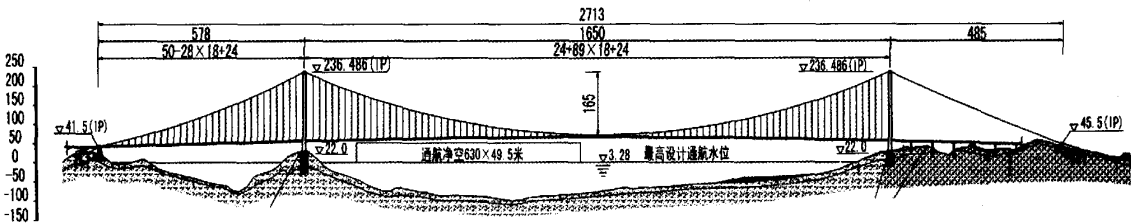
2.1 动力特性的影响

两种情况下前十阶振型和其它几种由代表性的振型见表 1, 梁端设置 Lock-Up Device, 纵飘振型消失, 除此之外的其它振型和频率几乎没有变化。

2.2 关键节点的位移

收稿日期: 2006-02-27

作者简介: 罗加标 (1968-), 男, 浙江三门县人, 工程师, 从事公路、桥梁建设管理工作。



(说明:高程系统为国家 85 高程,单位为 m。)

图 1 西塔门大桥纵断面桥型布置图

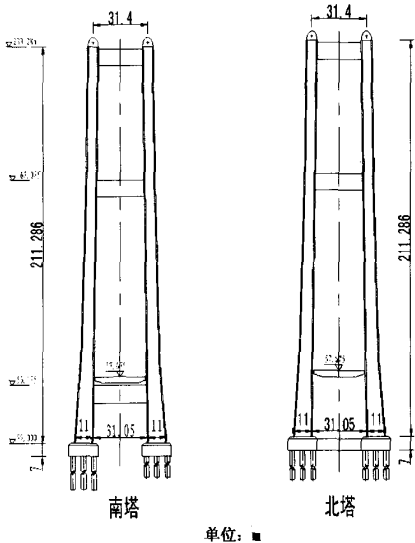


图 2 西塔门大桥桥塔设计图

由表 2 可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device,使北塔顶位移减小约 15%,南塔顶的位移增大约 3%,梁端纵向位移消失,主梁跨中纵向位移几乎消失,竖向位移减小约 30%。

表 2 关键节点的位移最大值 (单位:m)			
工况	位置	纵向 + 竖向输入	
		纵向	竖向
梁端自由	北塔顶	9.360E-02	6.589E-03
	南塔顶	8.824E-02	8.107E-03
	梁端	3.643E-01	0.000E+00
	跨中	3.517E-01	3.133E-01
设置 Lock-up 装置	北塔顶	8.019E-02	6.907E-03
	南塔顶	9.035E-02	7.833E-03
	梁端	/	/
	跨中	9.117E-02	2.087E-01

2.3 主塔塔柱受力

实际设计中北塔下部没有牛腿,图中仅作为标记,指出此处为北塔主梁穿越处。由表 3、表 4 可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔塔柱受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔塔柱受力普遍增大;塔底增大幅度约 20%。桥塔截面受力位置示意图 4。

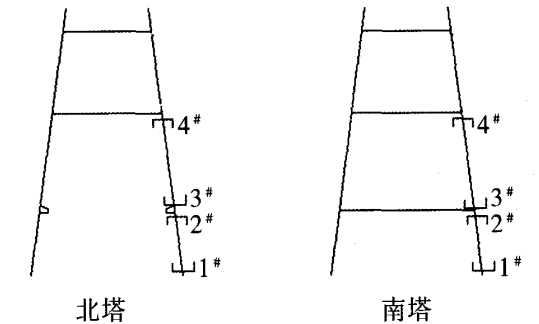


图 4 桥塔截面受力位置示意图

2.4 横梁受力情况

由表 5、表 6 可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔横梁受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔下横梁受力急剧增大;增大幅度约 400%。

2.5 桩基础受力分析

表 1 动力特性					
梁端自由			设置 Lock Up Device		
振型阶数	频率(Hz)	振型特征	振型阶数	频率(Hz)	振型特征
1	0.048609	一阶对称侧弯	1	0.048609	一阶对称侧弯
2	0.082986	一阶反对称竖弯	2	0.098424	一阶反对称竖弯
3	0.102808	一阶对称竖弯	3	0.105378	一阶对称竖弯
4	0.107505	一阶反对称侧弯	4	0.107505	一阶反对称侧弯
5	0.132098	对称竖弯	5	0.134952	对称竖弯
6	0.144199	纵飘	6	0.181201	反对称竖弯
7	0.181257	反对称竖弯	7	0.183340	对称侧弯
8	0.18334	对称侧弯	8	0.187721	对称竖弯
9	0.188051	对称竖弯	9	0.199388	索面振动
10	0.199388	索面振动	10	0.203268	索面振动
19	0.27311	一阶对称扭转	18	0.273110	一阶对称扭转
20	0.275444	一阶反对称扭转	19	0.275444	一阶反对称扭转
43	0.522402	塔振动	42	0.519599	塔振动

表 3 北塔控制断面内力最大值				
工况	截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q ₂ (kN)	弯矩 M ₂ (kN·m)
梁端自由	1#	5.792E+04	1.782E+04	9.321E+05
	2#	5.680E+04	1.653E+04	4.875E+05
	3#	5.621E+04	1.562E+04	4.130E+05
	4#	3.874E+04	7.700E+03	3.529E+05
设置 Lock-up 装置	1#	6.01E+04	1.83E+04	8.63E+05
	2#	5.90E+04	1.63E+04	5.10E+05
	3#	5.84E+04	1.50E+04	4.36E+05
	4#	4.06E+04	7.70E+03	3.36E+05

注:1.主塔 3 方向为横桥向,2 方向为纵桥向;2.表中数据为单柱的反应。

表 4 南塔控制断面内力最大值				
工况	截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q ₂ (kN)	弯矩 M ₂ (kN·m)
梁端自由	1#	7.227E+04	2.816E+04	1.062E+06
	2#	7.144E+04	2.600E+04	5.934E+05
	3#	6.892E+04	1.766E+04	4.584E+05
	4#	4.751E+04	8.853E+03	3.476E+05
设置 Lock-up 装置	1#	6.93E+04	3.30E+04	1.22E+06
	2#	6.85E+04	3.18E+04	6.51E+05
	3#	6.61E+04	1.58E+04	5.37E+05
	4#	4.59E+04	6.54E+03	3.61E+05

注:1.主塔 3 方向为横桥向,2 方向为纵桥向;2.表中数据为单柱的反应。

表 5 北塔横梁断面内力最大值						
工况	截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q ₂ (kN)	剪力 Q ₃ (kN)	弯矩 M ₂ (kN·m)	弯矩 M ₃ (kN·m)
梁端自由	中横梁	1.395E+03	3.746E+03	3.214E+03	3.503E+04	3.304E+04
	上横梁	1.388E+03	3.293E+03	2.493E+03	2.172E+04	2.129E+04
设置 Lock-up 装置	中横梁	1.47E+03	3.86E+03	2.84E+03	3.13E+04	3.46E+04
	上横梁	1.46E+03	3.40E+03	2.09E+03	1.93E+04	2.18E+04

注:横梁 2 方向为竖桥向,3 方向为纵桥向。

表 6 南塔横梁断面内力最大值						
工况	截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q ₂ (kN)	剪力 Q ₃ (kN)	弯矩 M ₂ (kN·m)	弯矩 M ₃ (kN·m)
梁端自由	下横梁	2.098E+03	1.747E+03	5.830E+03	4.380E+04	1.516E+04
	中横梁	1.594E+03	4.567E+03	3.685E+03	3.682E+04	5.047E+04
	上横梁	1.828E+03	3.998E+03	2.337E+03	2.154E+04	2.537E+04
设置 Lock-up 装置	下横梁	2.18E+03	1.79E+03	1.80E+04	2.18E+05	1.68E+04
	中横梁	1.60E+03	4.46E+03	2.93E+03	3.20E+04	4.99E+04
	上横梁	1.76E+03	3.94E+03	1.82E+03	1.57E+04	2.58E+04

注:横梁 2 方向为竖桥向,3 方向为纵桥向。

表 7 桩基础单桩内力最大值						
工况	截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q ₂ (kN)	剪力 Q ₃ (kN)	弯矩 M ₂ (kN·m)	弯矩 M ₃ (kN·m)
梁端自由	北塔	1.839E+04	1.502E+03	/	/	4.166E+03
	南塔	2.378E+04	2.028E+03	/	/	4.824E+03
设置 Lock-up 装置	北塔	1.694E+04	1.553E+03	/	/	3.968E+03
	南塔	2.448E+04	3.841E+03	1.634E+03	1.607E+03	6.096E+03

由表 7 可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔桩基础单桩受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔桩基础单桩受力增大;增大幅度约 40%。

2.6 反力墙受力(见表 8)

表 8 反力墙受力	
主梁北端	主梁南端
3.554E+04	3.137E+04

3 结论

通过与梁端纵向自由情况弹性时程分析得到的结果相比较可知:

- (1)梁端设置 Lock-Up Device,纵飘振型消失。
- (2)由关键节点的位移最大值比较可知:与梁

端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔顶位移减小,减小幅度约 15%;南塔顶的位移增大;增大幅度约 3%。

(3)由主塔塔柱受力分析比较可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔塔柱受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔塔柱受力普遍增大;塔底增大幅度约 20%。

(4)由横梁受力情况比较可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔横梁受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔下横梁受力急剧增大;增大幅度约 400%。

(5)由桩基础受力分析比较可知:与梁端纵向自由情况相比,设置 lock up device 使北塔桩基础单桩受力变化不大,变化幅度约 5%;南塔桩基础单桩受力增大;增大幅度约 40%。(下转 86 页)

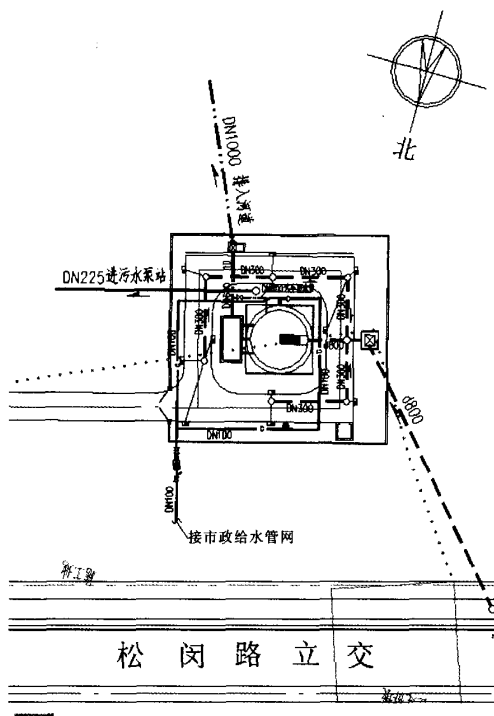


图2 松闵路立交泵站平面布置图

泵站首选合建式,外部进、出口形式的雨水泵站,其次采用分建式。

(上接64页)

(6)由以上可知,南塔与主梁南端连接条件的改变,使南塔的传力体系发生变化,因此,地震沿着纵向+竖向输入时,南塔的下横梁和塔底以及桩基础的受力明显增大。

(7)设计的主梁北端反力墙至少要承受 3.554×10^4 E的水平作用力;南端反力墙至少要承受 3.137×10^4 E的水平作用力。

(2)合建式隧道、地道泵站在设计中应考虑以下措施:

采用自动化程度高、效率高、质量好的无人管理设备。采用全自动粉碎型格栅加潜污泵(或潜水泵),可增加对水泵的保护,延长其使用寿命。如单选切割泵不设格栅,则效率低,能耗大,导致经常运行费用高,不宜采用。泵站内须设备用泵。

如泵站出路直排河道,则应增加截污泵,以防止对河道产生污染。

如泵站出路为管网,则视地区排水管网系统的排水体制情况及小区建设不同情况而不同:a.出路为合流管网,不需要增加截污泵;b.出路为分流制,其后续管网有雨水泵站或雨水调节池,则不需增加截污泵;c.出路为分流制,其后续管网无雨水泵站或雨水调节池,则需增加截污泵。

(3)泵站进、出口应尽量设在隧道外部,以减少交通安全隐患,实在无法设在外部,则考虑在隧道内设进、出口。

(4)无论是合建式还是分建式隧道、地道雨水泵站,在引道与主道接口处须视引道规模大小设置一道或多道横截排水沟。

参考文献

- [1]陈永祁.结构保护系统-泰勒公司液体粘滞阻尼器在桥梁工程上的应用[Z].Blue Lake International, Inc.2004
- [2]Douglas P. Taylor. Fluid Lock-Up Devices- A Robust Means to Control Multiple Mass Structural Systems Subjected to Seismic or Wind Input[Z].
- [3]舟大陆连岛工程西堠门大桥主桥抗震性能研究[Z].同济大学土木工程防灾国家重点实验室,2004.

杭州湘湖二期工程将恢复一批标志性桥梁

近日,杭州湘湖启动区块二期工程中的五座桥梁的设计方案在萧山区展出。据了解,湘湖二期工程要恢复一批标志性桥梁,同时在一期工程基础上完成10多万平方米的旅游配套设施建设。

此次展出的五个跨湖桥的设计方案各有千秋。有的方案兼容并蓄,新桥老桥或并肩而立,或前后相连,力求在保存古风雅韵的同时满足现代桥梁的功能要求;有的倾向于保留跨湖桥的原始风貌,古樟、桥亭、官祠静静地守候在一旁;有的突出跨湖桥的功能性,充分考虑“三通”(通车、通航、通水)。

据了解,从建筑风格和工艺判断,现存的跨湖桥应是晚清时代的作品,但跨湖桥的始建年代应为1554年。该桥见证了湘湖的历史变迁,也是湘湖的一个重要文化符号。据悉,这五座桥梁的设计方案在征求市民意见并修改后,将于近期动工建设。明年“五一”前市民们就可漫步桥上,亲身体验“跨湖夜月”、“跨湖春涨”等迷人景致。