

三峡升船机横梁支撑系统安全监测及分析

刘新清,何 炜

(中国葛洲坝集团股份有限公司三峡分公司,湖北宜昌 443002)

[摘要] 本文从监测对象的选择、监测项目的确定、监测点的布置以及监测结果的评价等方面详细介绍了三峡升船机横梁支撑系统的安全监测情况。监测项目包括:贝雷架支撑系统在混凝土浇筑前后以及混凝土浇筑过程中的应力、应变和位移监测;相应的塔柱混凝土墙体结构变形监测;横梁排架的立杆垂直度和位移监测。通过监测结果与原型荷载试验中获取的基础数据的比较分析表明:在施工过程中,横梁混凝土支撑体系安全可靠,应力、应变和位移等监测指标均满足设计要求,能够保证横梁混凝土的顺利浇筑。同时,本工程在安全监测方面建立的方案与技术体系可为其他同类工程的安全监测提供参考和借鉴。

[关键词] 三峡升船机;安全监测;横梁支撑系统;贝雷架

[中图分类号] TV523 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)09-0108-05

1 前言

三峡垂直升船机是三峡水利枢纽的永久通航设施之一,设计过船规模为3 000吨级,最大提升高度为113 m,具有提升高度大、提升质量大、水位变幅大和水位变化快的特点,技术难度和建设规模居当今世界之首。三峡升船机船厢室段塔柱为薄壁墙体结构,整个结构水平面内呈双重对称布置,在每个塔柱的上、下游布置有剪力墙。上、下游塔柱与剪力墙之间通过纵梁实现纵向连接,左右两侧塔柱通过塔柱顶部的横梁实现横向连接^[1-3]。

升船机横梁结构混凝土外观质量要求高,规模巨大,技术复杂,结构特殊,施工时为高空作业,受起吊能力、技术要求限制,经综合分析比较,决定采用贝雷架结合模板排架系统支撑施工。贝雷架采用B321型贝雷架拼装而成,模板排架系统搭设在贝雷架上部,每榀贝雷架两端均坐落在塔柱墙面的钢支座上。B321型贝雷架由Q345型钢制作,由上下弦杆、竖杆和斜杆等拼装而成,弦杆由10号槽钢组成,腹杆系由8号工字钢组成。钢支座系统主要由钢箱梁、钢支座及埋件组成。钢支座对称布置在船

厢室两侧的塔柱墙壁上,垂直于水流方向,通过高强螺栓组与埋件结构连接。钢支座与贝雷架之间设置钢结构箱梁。

升船机塔柱顶部横梁结构均为现浇混凝土,横梁不分层一次浇筑成型。全部施工荷载通过模板排架、贝雷架最终传递到钢支座系统上。整个施工支撑体系跨度大,所承受的施工荷载大,且为高空作业。因此,通过安全监测手段监测施工支撑体系的应力与变形情况,以保证贝雷架支撑系统、模板排架和钢支座系统的安全稳定就显得至关重要。

2 安全监测的内容

顺水流方向,横梁从上游至下游依次编号为HL1~HL13。为保证三峡升船机塔柱横梁施工安全,根据塔柱横梁结构施工荷载受力情况,选择承受荷载最大的HL2、HL7和HL12横梁(上、中、下3个浇筑块)的支撑系统作为监测对象。这3根横梁的支撑系统监测内容如下。a. 监测贝雷架支撑系统在混凝土浇筑前后以及混凝土浇筑过程中的应力、应变、自振频率和贝雷架跨中横截面挠度及侧弯。b. 贝雷架两端支座位移及监测。c. 监测相应的塔柱

[收稿日期] 2013-06-28

[作者简介] 刘新清(1976—),男,湖北丹江口市人,工程师,主要从事施工管理;E-mail:18571016114@163.com

混凝土墙体结构变形。d. 由于HL12和HL7横梁排架分别被HL11排架和HL6排架遮挡,故只有对HL2、HL6和HL11 3根横梁排架的立杆垂直度和位移进行观测。

3 安全监测的实施

3.1 钢管排架系统监测

为了准确地反映横梁排架立杆的变形情况,监测点的布设位置及监测方法如下。a. 在HL2横梁排架下游侧、HL6横梁排架上游侧和HL11横梁排架上游侧中部各选择一根立杆作为排架立杆垂直度监测对象,在每根立杆的上、中、下部位置贴反射片。b. 利用全站仪测量出监测点坐标变化值,从而计算出排架立杆垂直度。c. 监测频率为在横梁混凝土浇筑前、每坯层混凝土浇筑后以及全部混凝土浇筑完成1h后各进行一次。

3.2 贝雷架系统监测

3.2.1 贝雷架系统监测项目及监测频次

监测项目 a. HL2、HL7和HL12横梁贝雷架的自振频率监测。b. HL2、HL7和HL12横梁贝雷架腹杆、弦杆应力、应变监测。c. HL2、HL7和HL12横梁贝雷架跨中横截面挠度及侧弯监测。

监测频率与钢管排架系统的监测频率相同。

3.2.2 贝雷架系统应力、应变及频率测点布置

横梁混凝土浇筑前,在承受荷载最大的HL2和HL12横梁处的贝雷架支撑体系布置12个应力、应变测点,在HL7横梁处的贝雷架支撑体系布置24个应力、应变测点和1个频率测点,其中频率测点布置在贝雷架中间底部位置。采用应变计监测贝雷架的应力、应变状态,通过静态应变测试系统采集数据。频率监测采用无线环境激励实验模态测试分析系统采集数据。应力、应变测点布置见图1。

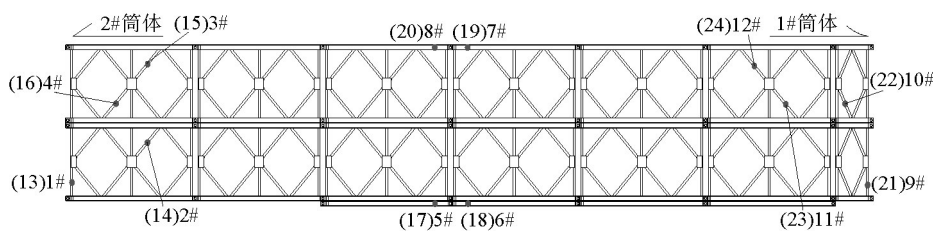


图1 HL2、HL7和HL12横梁贝雷架应力、应变测点布置示意图

Fig.1 The layout diagram of stress-strain monitoring points of HL2, HL7 and HL12 Bailey rack

注:图中括号内数据为HL7横梁监测点编号

3.2.3 贝雷架系统变形监测

为了准确地反映横梁贝雷架的变形情况,贝雷架变形监测点的布设位置及监测方法如下。a. 在HL2、HL7和HL12横梁贝雷架上游侧面底部1、5、9节处布置3个监测点,每点贴反射片。b. 利用全站仪测量出监测点坐标变化值,并据此计算出贝雷架的挠度和侧弯变化值。

3.2.4 贝雷架系统安全监测设备

贝雷架系统安全监测项目所采用的主要设备见表1。主要监测设备均经过检定,达到设计要求的精度,并且处于检定周期范围内。

3.3 钢支座系统监测

采用在墙壁上安装托架并布设百分表的方法监测钢支座系统。利用膨胀螺栓将角钢固定在梁支座周边并以此作为支撑点,然后焊接支撑托架并固定。在每个支座及高强螺栓处分别布置6个百分表进行监控。其中,在支座位置的6个百分表监测

表1 贝雷架监测主要仪器设备表

Table 1 Major equipments of safety monitoring on Bailey rack

监测项目	仪器设备名称	规格型号	数量
横梁浇筑	静态应变测试系统	DH 3819	1套
	无线环境激励实验模态测试分析系统	DH 5907A	1套
	应变计	GBY-100	24个
	全站仪	Leica TM 30	1台
	全站仪	索佳NET 05	1台

支座X、Y、Z 3个方向位移变化,在 6个百分表监测高强螺栓的位移量。百分表托架在安装过程中需保证其支撑完全依附于混凝土墙壁,与贝雷架支座系统完全独立,以确保后续监控数据能够真实反映支座系统与混凝土墙壁间的相互位移关系。监控表针与监控对象的监控点接触面顶紧并进行表值读数与记录,并以此时的表值作为监

控起始值。在混凝土浇筑过程中分段进行表值读取与记录。

3.4 塔柱墙体变形监测

分别在距离横向贝雷架底部0.5 m处靠船厢室侧的两侧墙体上埋设监测棱镜,通过膨胀螺丝固定在墙体上,作为塔柱墙体变形监测点。观测时将全站仪架设在位于下闸首84.00 m高程平台的观测墩上,测出仪器到左、右两个棱镜的水平距离以及两个棱镜与仪器组成的夹角,计算出两个棱镜之间的

水平距离。通过计算得出的棱镜之间的水平距离来反映塔柱墙体的变形。

3.5 安全监测预警

根据贝雷架原型荷载试验^[4]的监测结果,采用试验数据作为贝雷架及排架施工监测安全限值、通常值及预警值的基础值。采取原型荷载试验中100%荷载数据作为通常值,110%荷载数据作为预警值,根据线性分析计算出120%荷载对应的数据为安全限值,见表2。

表2 监测数据通常值、预警值和安全限值

Table 2 The normal value, alarm value and safety limit value of monitoring data

项目	贝雷架杆件轴向应力值/MPa				贝雷架挠度值/mm		贝雷架自振频率/Hz		排架垂直度/mm	筒体位移/mm	支座及高强螺栓
	上弦杆	下弦杆	斜腹杆	竖腹杆	竖向挠度值	侧弯变化值	竖向	横向			
通常值	-58.3	+36.9	-79.3	-55.0	54.5	±5			11.2		
预警值	-64.3	+53.4	-85.5	-63.9	57.4	±5.2	≥4.59	≥0.68	12.6	≤40	无变形
安全限值	-70.15	+58.25	-95.16	-66	63.75	±6			13.75		

注:“+”为拉应力,“-”为压应力

1)安全限值。为保证在浇筑混凝土时承载结构不出现局部失稳、整体较大变形,贝雷架结构必须满足的限值指标。超过此值时,必须采取一定措施确保安全。

贝雷架竖向挠度安全限值包括贝雷架安装后的初始挠度值和浇筑过程中的挠度值,根据贝雷架结构竖向挠跨比安全限值为 $L/400$ (L 为跨度)计算出的安全限值为63.75 mm,该值大于试验数据计算值62.62 mm,因此竖向挠度安全限制取63.75 mm。

对于贝雷架侧弯,由于贝雷架安装时的初始值和试验时的初始值不同,故用试验时的侧弯变化值作为安全限值,根据试验数据计算得到的侧弯变化值安全限值为±6 mm。

2)通常值。超过此值时,应仔细检查承载结构是否存在隐藏的病害(如支撑架、联板不强等)。

3)预警值。超过此值时,应仔细检查承载结构,并采取降低混凝土入仓强度以及坏层厚度等措施。

4)贝雷架自振频率安全预警。在混凝土浇筑过程中为保证结构的刚度和整体性良好,其浇筑过程中贝雷架的自振频率必须大于贝雷架原型荷载试验时的自振频率。

5)贝雷架支座监测安全预警。为满足施工安全要求,贝雷架支座系统高强螺栓在监测过程中发生伸缩量位移时需立即停止施工。

4 安全监测结果及分析

4.1 安全监测结果

塔柱横梁结构共分为上游块、中游块和下游块3个仓次浇筑,整个浇筑过程顺利,并全程进行了安全监测,监测数据及结果见表3~表5。

表3 HL2贝雷架支撑系统及筒体监测数据表

Table 3 The monitoring datasheet of HL2 Bailey rack supporting system and cylinder

项目	贝雷架杆件轴向应力值/MPa				贝雷架挠度值/mm		贝雷架自振频率/Hz		排架垂直度/mm	筒体位移/mm	支座及高强螺栓位移/mm
	上弦杆	下弦杆	斜腹杆	竖腹杆	竖向挠度值	侧弯变化值	竖向	横向			
初始	0	0	0	0	21.4	14.6	6.6	1.6	0	13.9	0
第1坏层	-5.4	+6.8	-5.4	-4.1	22.8	0.3	6.6	1.6	2.1	—	0.05
第2坏层	-20.6	+18.5	-24.7	-21.0	26.2	0.5	6.6	1.6	4.9	—	0.04
第3坏层	-28.2	+27.0	-31.9	-26.6	28.9	0.7	6.6	1.6	8.1	—	0.04
第4坏层	-42.4	+37.3	-49.0	-43.3	29.7	1	6.4	1.8	9.1	17.7	0.06
砼后1 h	-43.3	+38.1	-49.0	-43.3	29.9	1.7	6.4	1.8	9.1	17.7	0.08

注:“+”为拉应力,“-”为压应力

表4 HL7贝雷架支撑系统及筒体监测数据表

Table 4 The monitoring datasheet of HL7 Bailey rack supporting system and cylinder

项目	贝雷架杆件轴向应力值/MPa				贝雷架挠度值/mm		贝雷架自振频率/Hz		排架垂直度/mm	筒体位移/mm	支座及高强螺栓位移/mm
	上弦杆	下弦杆	斜腹杆	竖腹杆	竖向挠度值	侧弯变化值	竖向	横向			
初始	0	0	0	0	19.1	0	6.4	0.8	0	11.1	0
第1坏层	-8.4	+16.3	-15	-16.5	20.6	4.1	6.4	0.8	3.4	—	0
第2坏层	-16.1	+19.8	-29.9	-32.8	20.8	3.3	6.4	0.8	2.9	—	0.02
第3坏层	-21.6	+28.2	-47.2	-45.3	23.4	3.2	6.4	0.8	3.4	26.0	0.03
第4坏层	-25.8	+36.9	-56.2	-69.4	28.4	3.1	6.4	0.8	4	—	0.05
砼后1h	-25.8	+38.9	-56.2	-68.8	28.7	3.2	6.4	0.8	5	32.9	0.05

注：“+”为拉应力，“-”为压应力

表5 HL12贝雷架支撑系统及筒体监测数据表

Table 5 The monitoring datasheet of HL12 Bailey rack supporting system and cylinder

项目	贝雷架杆件轴向应力值/MPa				贝雷架挠度值/mm		贝雷架自振频率/Hz		排架垂直度/mm	筒体位移/mm	支座及高强螺栓位移/mm
	上弦杆	下弦杆	斜腹杆	竖腹杆	竖向挠度值	侧弯变化值	竖向	横向			
初始	0	0	0	0	17.5	0	6.4	0.8	0	13.0	0
第1坏层	-9.8	+9.6	-8.6	-8.2	20.2	0.4	6.4	0.8	2.7	—	0.1
第2坏层	-18.3	+14	-19.3	-19.9	23.5	0.8	6.4	0.8	2.4	15.8	0.1
第3坏层	-22.8	+17.9	-28.8	-51.0	25.0	1.1	6.4	0.8	4.7	—	0.1
砼后1h	-23.8	+17.9	-28.8	-51.2	25.1	0.3	6.4	0.8	5.5	17.8	0.1

注：“+”为拉应力，“-”为压应力

4.2 安全监测结果分析

1)通过比较监测结果与监测数据限值可以发现,贝雷架的挠度值、侧弯变化值、自振频率和排架垂直度均比通常值小,筒体位移满足设计要求。这表明在横梁混凝土的浇筑过程中,横梁支撑系统稳定、安全,技术方案可靠,能够保证混凝土浇筑的顺利进行。

2)混凝土浇筑过程中钢支座系统部分百分表监测出了微小位移量变化,其中HL2贝雷架左侧支座高强螺栓监测出了0.08 mm的位移变化,HL7贝雷架支座局部监测出0.05 mm的位移变化,HL12贝雷架支座局部监测出0.1 mm的位移变化。根据各钢支座的监测数据分析,出现位移量变化的监测点只是少数点,而且出现的位移量变化是非线性且可逆的。分析认为支座及高强螺栓的变形属弹性变形,监测位移量变化主要是因为振动引起的,对整个支撑系统的安全稳定影响不大。

5 结语

三峡升船机塔柱横梁结构采用贝雷架结合模板排架系统支撑施工。施工支撑体系跨度大,所承受的施工荷载大,且为高空作业,为了保证横梁施工的安全进行,在施工过程中,对整个支撑系统的应

力、应变、位移和频率等项目进行了监测。将监测结果与原型荷载试验中获取的基础数据进行比较,据此来评价整个支撑系统的安全状况。监测结果表明,贝雷架杆件应力、挠度变形以及排架变形均满足安全要求,筒体位移满足设计要求,贝雷架支撑系统稳定,能够保证横梁混凝土的安全顺利浇筑。

工程安全监测是掌握施工质量、指导施工、监控工程运行工况的重要手段,必须予以高度重视。本文从监测对象的选择、监测项目的确定、监测点的布置以及监测结果的评价等方面详细地介绍了三峡升船机横梁支撑系统的安全监测情况,累积了很多安全监测设计的宝贵经验。这些经验可以为类似工程安全监测的实施提供借鉴,具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 钮新强. 三峡升船机结构关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2005.
- [2] 苏海东,谢小玲,祁勇峰. 三峡升船机塔柱联系梁三维有限元内力计算[J]. 长江科学院院报,2009,26(1):38-41.
- [3] 朱虹,林新志. 三峡升船机塔柱抗震设计[J]. 人民长江,2009,40(23):56-58.
- [4] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50017—2003 钢结构设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.

Safety monitoring and analysis on crossbeam supporting system of Three Gorges Project ship lift

Liu Xinqing, He Wei

(China Gezhouba Group Co., Ltd. Three Gorges Company, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] Safety monitoring on crossbeam supporting system of Three Gorges Project ship lift has been introduced in detail through the selection of monitoring objects, determination of monitoring items, arrangement of monitoring points and evaluation on monitoring results. The monitoring items include stress-strain and displacement monitoring of Bailey rack supporting system, deformation monitoring of tower column, verticality and displacement monitoring of bent. By comparing the monitoring results with the data acquired from prototype load tests, it shows that the crossbeam supporting system is very safe and reliable during the construction progress. At the same time, all the monitoring indexes can meet the design requirements. Meanwhile, the safety monitoring plan and technology system can provide a reference for the safety monitoring of other similar projects.

[Key words] Three Gorges Project ship lift; safety monitoring; crossbeam supporting system; Bailey rack

(上接90页)

High precision installation technology of metal structure embedded parts of Three Gorges Project ship lift

Wei Shuman, Zhang Weiming, Li Chenzhi

(Gezhouba Group Mechanical & Electrical Construction Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

[Abstract] Based on the layout characteristics of the first-stage and second-stage metal structure embedded parts, and combined with the site construction environment, this article analyzes the high precision installation method in detail. At the same time, various construction plans which are suitable for Three Gorges Project ship lift are put forward. These construction plans which have been successfully used in Three Gorges Project have solved many technological problems, such as the deformation control of the embedded parts, fast and accurate positioning, high precision measurement and so on. Meanwhile, these technologies provide a reference for the constructions of similar projects.

[Key words] ship lift; metal structure embedded parts; high precision; installation technology; Three Gorges Project