

# 贝雷梁技术在沙沱电站垂直升船机施工中的应用

陈 雄, 王 俊

(中国人民武装警察部队水电第三支队, 广西南宁 530222)

**摘要:**沙沱水电站垂直升船机的设备层为板梁结构,其混凝土浇筑施工面临起重设备布置、施工干扰多等困难,若采用满堂钢管排架作模板支撑,则需耗费大量人力物力,且拖延工期。通过采用贝雷梁技术,不仅使建工作量及施工干扰也减少,且有利于快速施工,其综合技术经济指标达到了最大限度的优化。简要介绍了贝雷梁系统的安装与拆除思路及混凝土施工方案等。

**关键词:**贝雷梁; 升船机; 模板支撑; 混凝土浇筑

中图分类号: U61

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.20.011

## 1 基本概况

沙沱水电站通航建筑物按4级航道设计,过坝船舶吨位500 t级,年过坝能力330万t,采用垂直升船机型式,由上游引航道、过坝渠道、上闸首、船箱室本体段、下闸首、下游引航道及靠船墩等组成,布置于大坝溢流坝段的右侧13号坝段上。船箱室本体段平面尺寸为83.5 m × 40.0 m × 106.1 m,底板高程为281.00 m,上游端以5.0 m厚的混凝土墙与13号坝段衔接。本体段左右两侧为双墙体结构,内、外墙体之间通过1.2 m厚的墩墙相连。中部设备层高程为377.00 m,在设备层上布置升船机电安装平台,设备层以上高程377.00 ~ 398.0 m为起重桥机排柱架及屋架结构。

设备层为板梁结构,纵向跨度为17.6 m,其结构形式如下:楼板厚度50 cm;主梁断面尺寸为120 cm × 240 cm(宽 × 高),共12根;次梁断面尺寸为80 cm × 160 cm(宽 × 高),共8排(其中,左右边墙各2排,承船厢室4排),每排10根。

## 2 贝雷梁技术

贝雷梁又称贝雷片或贝雷架,由英国人发明。由于能够满足快速架设桥梁的需要,得到了很大发展,广泛应用于国防战备、交通工程、市政水利工程。它具有

结构简单轻巧、拆装方便、经济快速、适应性强等优点。

贝雷梁主要由桁架、销子、支撑架、支撑架螺栓、加强弦杆及加强弦杆螺杆组成。桁架及加强弦杆主要采用10号槽钢焊接而成。桁架分为标准型和非标准型。标准型桁架长度为3 m,多个桁架间采用销子连接成一单片梁;非标准型桁架与标准型结构形式相同,长度不同,需要根据实际长度定制。用加强弦杆螺栓将加强弦杆和桁架上下面连接起来,加强贝雷梁的承载能力。非标加强弦杆与相应的非标桁架一同使用。支撑架是贝雷梁间的连接构件,通过支撑架螺栓使梁与梁之间构成整体受力,梁的间距决定了贝雷梁间连接的支撑架尺寸,支撑架的尺寸主要有450型、600型、900型、1350型等。

## 3 设备层结构尺寸及贝雷梁参数

沙沱水电站升船机设备层板梁净跨17.6 m,分3块,长度共71.35 m,建筑高度距底板面96 m。一般的施工方案是用搭设满堂钢管排架来支撑模板结构系统。但满堂脚手架方案的安装与拆除工期长,安全性低,而且材料、人员投入也较大,最主要的是施工将占据船箱室所有工作面,其它施工工序无法同步进行,这是抢工工程所不允许的。因此采用贝雷梁技术是设备层现浇板梁施工的首选方案。

根据贝雷梁支撑架的规格型号,在设备层楼板主梁

位置按22.5 cm的间距布置一榀贝雷梁,其它位置按 45 cm 的间距布置一榀贝雷梁;每榀贝雷梁长17.3 m。这样每榀贝雷梁由 5 个标准桁架和一个2.3 m的非标准型桁架组成。每榀贝雷梁的两端都和已浇筑混凝土外露表面间各有 15 cm 间隙,既确保贝雷梁在拆除时与永久混凝土面之间的间隙余地,又确保在拆除中贝雷梁端头不至于拖出预埋支撑工字钢面而造成安全问题。所使用的贝雷梁结构参数如表 1 所示。

表 1 贝雷梁参数

部件	单位	数量	尺寸/mm	单重/kg	备注
桁架	片	910	3000 × 176 × 1500	270	标准
桁架	片	182	2300 × 176 × 1500	210	非标准
销子	颗	3640	50 × 200	3	
加强弦杆	根	1820	3000 × 176 × 100	80	标准
加强弦杆	根	364	2300 × 176 × 100	65	非标准
加强弦杆螺栓	套	4368	38 × 200	3	
450 支撑架	片	1972	1270 × 540 × 80	21	次梁及板贝雷梁
900 支撑架	片	576	1270 × 990 × 80	28	楼板主梁贝雷梁
支撑架螺栓	套	12496	22 × 118	0.69	

## 4 贝雷梁施工措施

### 4.1 贝雷梁支撑架预埋件施工方案

根据设计要求,设备层沿坝横方向以 3 个分块的方式进行混凝土浇筑,由于本体段设备层及墙体的结构复杂,施工难度大,根据现场实际施工形象进度及工期节点控制要求,将设备层和两边墙体分开浇筑。在墙体施工中,先将外侧墙体1.5 m厚的混凝土施工完成至377.00 m高程。内侧1.2 m厚墙体及连接内外墙体的1.2 m厚墩墙在373.00 m高程以上的混凝土和设备层同步施工。这样一方面保证了施工工序的正常推进,另一方面保证了设备层施工后的强度,同时又有利于贝雷梁支撑件的预埋和贝雷梁的安装。

贝雷梁的支座采用 25 a 工字钢,并预埋在本体段边墙墙体混凝土内。根据贝雷梁参数,预埋工字钢安

装在内边墙371.65 m高程上,工字钢总长度为1.2 m,向船箱室内外露0.4 m。在混凝土内的工字钢尾端焊接 2 根  $\Phi 25$ “U”型锚筋,以增强预埋工字钢的稳定性,安装预埋件前,通过测量放出预埋件安装位置。为避免混凝土浇筑过程中工字钢发生偏移,在安装时增设插筋并焊接样架与墙体结构钢筋固定。在贝雷梁安装前,在两侧预埋 25 a 工字钢,面上沿纵向布置一根 20 a 工字钢,并用  $\Phi 25$  钢筋固定,最后通过吊装设备将拼装好的贝雷梁吊放至该工字钢上就位(见图 1)。



图 1 贝雷梁安装形象图

### 4.2 贝雷梁安装及设备层混凝土施工方案

根据设备层中间跨梁板混凝土结构特点,当沿纵向工字钢安装完成后,在其上架设承重贝雷梁,然后在贝雷梁上搭设排架,以支撑混凝土结构模板的承重钢管排架。

贝雷梁事先在拼装场地连同相对应的加强弦杆拼装成8.3 m和 9 m 的初始形状,再由拖车运至安装现场,利用现场的 C7050 塔式起重机完成安装。在安装中,已拼装好的单榀贝雷梁仅 1.5 余吨,根据吊装位置及塔机吊装能力确定所拼装贝雷梁的榀数后直接吊运至工作面上安装,这充分利用了贝雷梁质量轻的特点,可在吊装设备极难布置的场合完成安装,从而实现大吨位板梁结构的施工。所拼装的贝雷梁就位后,每吊装单元间的贝雷梁采用相应的支撑架进行横向连接,形成一个整体贝雷梁受力支撑结构,然后在梁上搭设承重钢管排架,在排架上进行立模等相关混凝土施工

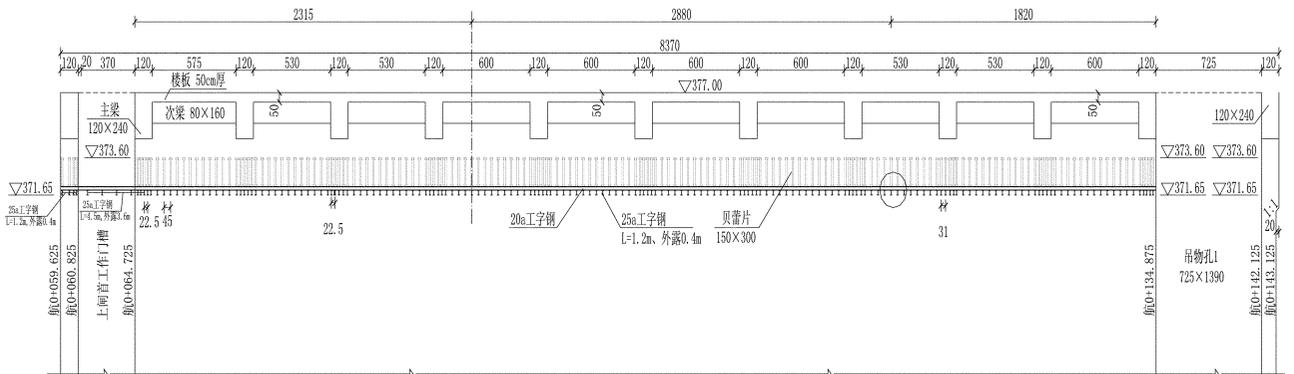


图 2 设备层贝雷梁支撑系统布置(单位:cm)

工序。每根主梁底部采用 5 榀间距为 22.5 cm 的贝雷梁,板与次梁底部按 45 cm 的间距布置贝雷梁,贝雷梁上搭设承重钢管排架的立杆间距与贝雷梁间距一致。按设计要求的排距搭设钢管排架,并以剪刀撑形式加固。为保证交叉施工安全,在贝雷片桁架上满铺一层防护竹条板。支撑系统见图 2。

设备层混凝土施工工艺流程为:施工准备→测量放样→埋件安装→贝雷梁安装→钢管排架安装→模板安装→钢筋安装→仓号冲洗→仓面验收→混凝土运输→混凝土入仓、振捣→拆模及养护。

### 4.3 贝雷梁拆除施工方案

在混凝土达到 28 d 龄期后,拆除贝雷梁上方钢管排架,再拆除模板后,就可以开始拆除贝雷梁。由于贝雷梁位于混凝土板梁下方,在拆除时需将贝雷梁移出板梁至上游工作门槽或下游吊物孔出口处,才能使用现场的塔机吊出工作面解体运出场外。

在贝雷梁移出混凝土板梁过程中,采用手拉葫芦通过设备层上船箱主起升钢丝绳孔将需移出的贝雷梁榀架组提起 20~30 cm 高度,在该榀架组底部与贝雷梁支撑工字钢之间放入预先制作好的移动小车,取掉手拉葫芦将需移出的贝雷梁榀架组放在移动小车上。采用布置好的卷扬机通过拖动移动小车将待拆贝雷梁榀架组移至吊出工作面上。移动小车采用型钢制作,总高度在 20 cm 以下,上方与待拆榀架组直接接触,下方安装若干组滚动轴承,两侧卡住纵向 20 a 工字钢,使小车在整个拖动过程中沿工字钢面滑动而不滑出支撑工字钢(见图 3)。



图 3 贝雷梁拆除效果

## 5 贝雷梁支撑系统承载力计算

### 5.1 混凝土主梁结构贝雷梁承载力计算

设备层板梁结构大梁净跨 17.6 m,梁断面宽 1.2 m,高 2.4 m。贝雷梁总荷载由以下组成:混凝土重取 1 343.232 kN;梁模板组件重 79.2 kN;承重排架重 182.35 kN;施工人员及施工设备荷载取 52.8 kN;振捣荷载取 42.24 kN。静荷载分项系数取 1.2,动荷载分项系数取 1.4,所以单根大梁施工的荷载为 2 058.79 kN,转换成线荷载为 116.98 kN/m。

初步确定每根大梁由 5 榀贝雷梁来承重,则单榀贝雷梁所承受的线荷载为 23.4 kN/m。

根据参考文献[1],查得该手册中表 3~6 相关承载力允许值。实际施工中贝雷梁内力均小于容许承载力,结构受力上满足使用要求。其中,梁抗弯安全系数 1.86,抗剪安全系数 1.19,满足承载力要求。

### 5.2 次梁和板同时浇筑时贝雷梁承载计算

(1) 次梁和板同时浇筑时,板作用在贝雷梁上的荷载为均布荷载。次梁由于跨越多榀桁架,因此作用在贝雷梁上的荷载为集中力。由于板下贝雷架均匀连续布置,跨度不同的板底部贝雷梁承载力相同,以跨度为 530 cm 的板为例进行计算。

次梁的断面尺寸为 80 cm × 160 cm(宽 × 高),计算时取梁高 160 - 50 = 110 cm,单根长 530 cm,以集中力形式作用在板的承重贝雷梁上。经类似计算可得,单榀贝雷梁承受集中荷载为 16.53 kN。

(2) 板的高度为 50 cm,单根长 530 cm,作用在贝雷梁上的力为均布荷载。经类似计算可得,单榀贝雷梁受到的线荷载为 12.83 kN/m。

(3) 次梁和板同时施工时,贝雷梁所受的荷载为板的均布荷载和次梁的集中荷载叠加。由前面的计算可知,贝雷梁跨中最大弯矩为 817.46 kN·m,支座端剪力为 145.96 kN,查文献[1]可知,其抗弯安全系数为 2.06,抗剪安全系数为 1.68,满足承载力要求。

### 5.3 桁架支座预埋工字钢计算

桁架支座预埋采用 25 a 工字钢,工字钢外露 40 cm。由前面计算可知,桁架两端传递给支座的最大荷载为 221.3 kN。经计算,预埋工字钢抗弯强度满足要求。25 a 工字钢的截面特性为:截面积  $A = 48.51 \text{ cm}^2$ ,抵抗矩  $W = 401.4 \text{ cm}^3$ 。

### 5.4 贝雷片桁架变形计算

根据文献[1],贝雷片桁架的变形有非弹性变形和弹性变形两种,非弹性变形主要是由于轴销之间的间隙而产生的变形,弹性变形则是由于荷载引起的变形。

本文中贝雷桁架跨度为 17.6 m。

(1) 非弹性挠度。简支情况下桁架(偶数节)非弹性变形可采用公式  $f_m = 0.05n^2$  计算,其中,  $n$  为贝雷片桁架的单元数,本桁架跨度 17.6 m,单元数  $n = 6$ ,则  $f_m = 1.8$  cm。

(2) 弹性变形。参照简支吊车桁架跨中挠度计算,根据《钢结构设计手册》中的简支吊车桁架跨中挠度计算公式,经计算,弹性变形为 1.99 cm。

因此,桁架的总变形为 3.79 cm,满足设计要求。

## 6 效果分析

沙沱电站通航建筑物本体段土建施工时间紧、任务重,尤其是设备层板梁结构混凝土施工难度大、起重设备布置难、相关工序同步施工干扰多,施工中采用了

贝雷梁技术后,以上问题迎刃而解。承载力计算表明,贝雷梁能够在稳定性和控制变形方面满足设计要求;通过合理布置,能够最大限度地方便施工,实现主体结构的快速施工;通过采取有效的安全防护措施,可使贝雷梁下方的工作面同步施工,为抢工工作面提供了条件;利用贝雷梁轻巧的特点,无需大型起重设备参与施工,解决了施工场地无法布置大型起重设备的矛盾;无需搭设高高程满堂钢管排架,使施工周期缩短,大大降低了人力资源和材料的投入,在综合技术经济指标上得到了最大限度的优化。

### 参考文献:

- [1] 黄绍鑫,刘陌生. 装配式公路钢桥多用途使用手册[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

(编辑:郑毅)

## Application of bailey beam in vertical ship – lift machine construction of Shatuo Hydropower Station

CHEN Xiong, WANG Jun

(No. 3 Detachment of Armed Police Hydropower Engineering Troops, Nanning 530222, China)

**Abstract:** The equipment floor of vertical ship – lift machine of Shatuo Hydropower Station is designed as a beam – slab structure, so its concrete construction is encountered with many difficulties such as layout of lifting machine, construction interference, etc. And the full framing support for template would take a large quantity of human power and material resources, and prolong the construction period. By using bailey beam, the assembling work was reduced and the construction interference was effectively avoided, which was beneficial to the quick construction, and the technical – economic indexes were optimized to the ultimate degree. The installation and removal process of the bailey beam system as well as the concrete construction solution are introduced, which could provide a reference for similar projects.

**Key words:** bailey beam; ship – lift; support of template; concrete pouring

### · 简讯 ·

## 国家大坝中心举办面板堆石坝加固技术交流会

2015年10月16日上午,国家大坝安全工程技术研究中心举办的“面板堆石坝加固技术交流会”顺利召开。来自长江科学院、长勘所、岩土公司枢纽处、施工处等单位 and 部门的 100 余名设计及相关技术人员参加了会议。

国家大坝中心技术交流部主任王秘学在题为“混凝土面板堆石坝加固技术交流”的汇报中,回顾了面板堆石坝的发展历史与现状,以及我国面板堆石坝的建设成就;总结了面板堆石坝的主要破坏形式、破坏原因及相应的加固技术;并以我院承担的白云、株树桥、磨盘等面板坝加固工程为案例,详细介绍了面板堆石坝的渗漏检测及加固技术,包括大坝水下渗漏声呐检测、面板脱空检测,以及面板修复、止水修复、裂缝修补等。白

云大坝、株树桥大坝经处理后的效果均极为显著,为长江勘测规划设计研究院在坝工界赢得了良好声誉。

交流会上,参会人员就面板堆石坝渗漏检测、渗漏治理、施工技术等内容进行了充分的交流互动。国家大坝中心副主任谭界雄总结指出,近年来,面板堆石坝在我国迅速发展并取得斐然成绩。然而,在其设计、施工及加固过程中,仍需要水利界同仁不断总结经验,不断完善设计,真正发挥其安全、经济、便利的优势;特别是关于其快速、无损、准确的检测技术,以及快速、有效的加固手段,更是今后面板坝需要重点关注和研究的内容。

(长江)