文章编号:1001 - 4179(2013)09 - 0047 - 04

彭水 500 吨级垂直升船机安装方案比选及优化

王 海 军[1],程 文 兵[2]

(1. 中国水利水电第七工程局有限公司,四川 彭山 620860; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北 武汉 430010)

摘要:彭水水电站 500t 级全平衡钢丝绳卷扬垂直升船机,最大提升高度 66.6 m,最大提升重量 3 050 t,金属结构及设备安装工程量为 8 598.8 t。围绕施工组织、重大件运输、吊装等问题,对土建与金结安装独立直线施工方案和土建与金结安装同步交叉施工方案进行了比选,最终采用土建与金结同步交叉的施工方案,并对此方案进行了优化。按优化后的方案施工,不仅加快了施工进度、提高了工程质量,同时降低了施工成本,取得了较好的经济效益。

关 键 词:安装方案; 方案优化; 经济效益; 垂直升船机; 彭水水电站

中图法分类号: U642 **文献标志码:** A

1 工程概况

彭水水电站位于重庆市彭水县境内,是乌江干流水电开发的第 10 个梯级电站。电站以发电为主,兼顾航运、防洪等综合效益。通航建筑物规模为 500 t 级,位于枢纽左岸,线路总长 1 188.6 m,主要由上游引航道、船闸、中间渠道、中间渠道渡槽、垂直升船机、下游引航道组成。垂直升船机主要由上闸首、承重塔柱和下闸首组成,为全平衡钢丝绳卷扬垂直升船机,总长 103.3 m,总宽 52.4 m,最大提升高度 66.6 m,最大提升重量 3 050 t,总建筑高度 113.0 m。上闸首布置有工作门、检修门及其液压启闭机;承重塔柱上部为主提升机房,下闸首布置有下沉式平板工作门、固定卷扬启闭机及其检修桥机,检修叠梁门及其检修桥机金属结构及设备安装总量为 8 598.8 t。设备总体布置示意见图 1。

2 工程特点及难点

2.1 升船机设备自身特点

升船机设备具有外型尺寸超大、分段单元超重的特点。根据彭水水电站施工现场边界条件,将重量大于 40 t 的设备进行分段,称为超重件;长度 × 宽大于 12 m × 4 m 的设备分段后称为超大件。以上两类通称为重大件,彭水升船机设备安装与运输重大件情况见表 1。

表 1 设备安装与运输重大件

项目	最大吊装单元			最大运输单元		
	数量	重量/t	外形尺寸(长×宽×高)/m	数量	重量/t	外形尺寸(长×宽×高)/m
下闸首检修门	1 扇	48.7	13.2×10.6×1.65	1 节	24	13.2×4.5×1.65
				1 节	24.7	13.2×6.1×1.65
下闸首检修叠梁门	5 节	32.9×5	13.2×3.2×1.65	5 节	32.9	13.2×3.2×1.65
下闸首 U 形工作门	1 扇	300.5	19.9×24.3×3.42	1 节	73.6	19.9×5.0×3.42
				1 节	70.1	19.9×6.4×3.42
				1 节	92.7	19.9×6.9×3.42
				3 节	64.1	-
主提升卷筒组	8 个	51.5×8	4.1×2.8×4.8	8 个	51.5×8	4.1×2.8×4.8
主提升减速器	4 套	70×4	5.4×2.8×2.7	4 套	70×4	5.4×2.8×2.7
主提升滑轮组	8 组	70×8	Φ5.0×4.8	8 组	70×8	Φ5.0×4.8
重力平衡混凝土块	48 块	42×96	10.5×2.0×0.61	96 块	21×96	5.25×2.0×0.61
扭矩平衡混凝土块	24 块	44×48	10.5×2.0×0.67	48 块	22×48	5.25×2.0×0.67
平衡链系统	4 组	50×4	-	-	-	-
工作门固卷卷筒	2 个	47×2	7.5×3.6×3.8	2 个	47×2	7.5×3.6×3.8
主提升检修桥机主梁	2 根	33.4×2	32.75×2.4×2.5	2 根	33.4×2	32.75×2.4×2.5
承船厢边梁分块	6 件	(60~71)×6	23.4×8.6×2	6 件	(60~71)×6	23.4×8.6×2
承船厢其他分块	17 件	(10~25)×17	12×(4~8)×2.3	17 件	(10~25)×17	12×(4~8)×2.3

收稿日期:2013 - 02 - 27

作者简介:王海军,男,工程师,主要从事水电工程施工工作。E - mail: meecwhj@ yahoo. com. cn

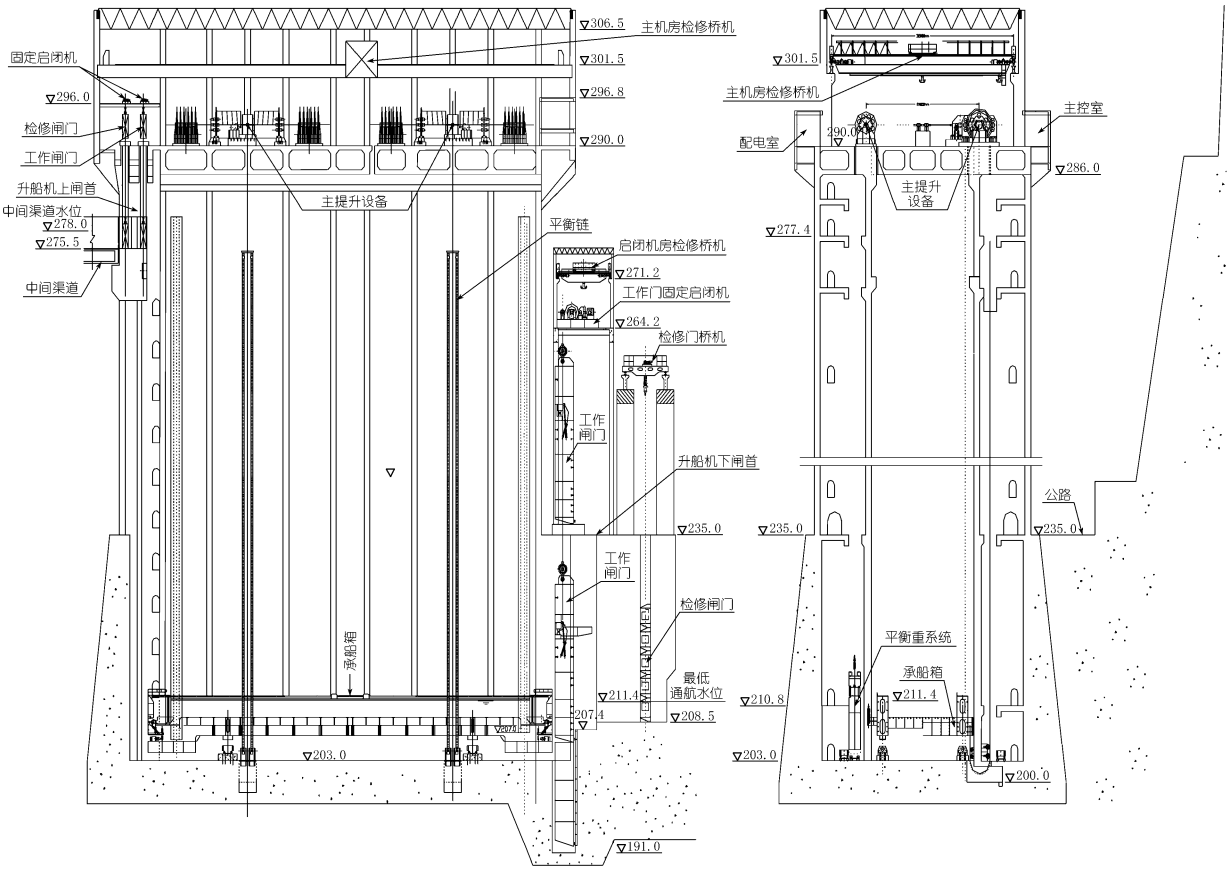

图 1 彭水 500 t 级升船机设备总体布置

2.2 升船机安装特点及难点

升船机的安装是一个难度大、精度高、时间长的系统工程[1]。所谓难度大,主要是由于升船机设备结构自身特点和施工现场边界条件限制造成的,重大件设备的运输与吊装方案设计及实施是其关键和瓶颈。重大件运输及吊装无类似工程可以借鉴,如隔河岩一、二级垂直升船机大件设备可以通过平板车经坝区公路和修建的临时道路直接运至安装现场[2]。岩滩垂直升船机大件可以通过坝顶 233 m 高程至升船机主机层 240 m 高程之间预制梁结构交通桥进行运输[3]。高精度主要是由升船机机构运行特点决定的。因此,控制网布置是安装精度保证的关键,其测量控制网具有相对精度高于绝对精度、平面精度高于高程精度、主提升机房层与承船厢层控制一致性的特点[1]。升船机安装过程不仅贯穿整个建筑物的混凝土体施工,同时作为特种设备,系统调试工作和必要安全性试验也极其复杂,因此升船机安装一般工期比较长。

3 方案比选及优化分析

升船机安装总体方案的制定必须全面考虑项目外部环境,如土建施工进度、设备供货进度、设备供货状态、现场交通条件等,其中现场交通条件起到决定性作用。因此,针对不同项目特点,如何解决升船机重大件运输和吊装与土建施工衔接问题就成为方案实施的核心。该工程制定了如下两套施工组织方案,通过对方案比选和优化,确定了实施方案。

3.1 土建与安装独立直线施工方案

3.1.1 方案简述

升船机一期埋件随土建承重筒体同步施工,升船机承重筒体浇筑完成后,只预留下闸首工作门启闭机机房排架柱暂不浇注,作为重大件设备吊装通道,待所有设备吊装完成后,最后浇筑下闸首启闭机房。因此土建施工与设备安装工作互不干扰,不会单独占用总工期的直线工期,如图 2 所示。

3.1.2 重大件设备运输及吊装方法

(1) 主机房 100 t 检修桥机主梁,用船运到升船机下闸首,采用高架门机卸船、吊装就位。

(2) 主提升设备和承船厢由船运到下闸首工作大门处,通过 300 t 汽车吊卸船、转幅、越过工作大门,吊入承船箱室。再通过排子滚筒、卷扬机、简易吊架、千斤顶等进行就位。而主提升设备拖运到吊物孔正下方 203 m 高程处,然后,采用主机房 100 t 安装检修桥机通过吊物孔提到高程 290 m 平台上进行安装就位,随后按上述施工方法对承船箱进行安装。

(3) 升船机上、下闸首金属结构及机械设备重大件,在长溪河口下游临时码头用 300 t 汽车吊卸船上岸并吊于平板拖车,通过现场公路运输至升船机下闸首附近,再用升船机土建施工布置的高架门机或汽车吊卸车吊装就位。利用两台 300 t 汽车吊(或履带吊)在航道两侧 235 m 高程对工作大门进行组装和下闸挡水。工作门固定卷扬启闭机和桥机安装,待启闭机排架和机房混凝土浇筑完工后,采用 300 t 汽车吊(或履带吊)吊装就位。

3.1.3　方案的优缺点

该方案的优点:① 土建施工与设备安装不存在工作面相互交叉,安全风险较小。② 施工关键线路简洁,现场管理、协调较容易。

缺点为:① 设备安装易受土建筒体浇筑不确定因素影响,整体工期不可控。② 升船机重大件的运输吊装易受施工场地和场内交通制约,需增加临建投资。③ 升船机大件设备运输吊装资源配置复杂,投入巨大,易造成资源严重浪费。④ 施工周期相对较长,且管理不当易造成工期延误。

3.2　土建与设备安装同步交叉施工方案

3.2.1　方案简述

升船机承重筒体 290 m 高程以上主要结构为 100 t 检修桥机承重排架、钢屋架承重排架、主提升机房中厢板。此部分结构复杂,难以通过增加资源实现突破性进展,且占用关键线路工期较长。因此,在土建承重筒体施工至 290 m 高程后,升船机设备安装与土建施工进行同步交叉施工,所有设备采用水路运输,利用升船机永久起吊设备及预留吊装孔口进行吊装。不仅解决了重大件设备运输和吊装的难题,而且优化了关键线路直线工期。如图 3 所示。

3.2.2　重大件设备运输及吊装方法

(1) 主机房 100 t 检修桥机,在升船机 290 m 高程平台暂未浇筑中厢板时,在 290 m 高程平台上设置横跨左右边柱的动态人字拔杆,主梁由船运到船厢室,单独采用拔杆将大梁卸船、吊装就位、安装。

(2) 升船机下闸首检修门桥机利用 100 t 汽车吊安装。下闸首检修叠梁门通过船运至下闸首处,利用已形成的下闸首检修门桥机吊入其门库进行组拚和焊接。

(3) 升船机下闸首起吊设备的安装。其中 50 t 检修桥机利用 290 m 高程平台悬出的挑梁布置 1 根起重钢梁,在钢梁下部悬挂 20 t 滑车组,利用靠山侧布置的 5 t 卷扬机将桥机部件进行空中“夺吊”提到 274 m 高程桥机轨道进行安装。下闸首工作门固定式卷扬启闭机最重件 47 t,由船运到工作门位置,用工作门的 50 t 检修桥机吊装就位。

(4) 升船机下闸首工作大门有 3 节门叶重量分别达到 70 t 以上,下闸首航道宽度为 12 m,船和门叶都只能顺水流方向进入闸室。将门叶立放于船上运输至门槽孔口处,然后利用其固定式卷扬启闭机和自制的平衡吊梁对工作门门叶进行吊装。先将门叶提升到高程 235 m 平台以上,然后将门叶进行水平旋转 90°之后下落到门槽内,排干闸室内的积水,进行门槽内闸门立组。

(5) 主提升共有 20 个重量在 55 ~ 72 t 的大件,直接通过船运到船厢室内,利用 301 m 高程 100 t 桥机进行吊装,将该部分对应的设备吊到 290 m 高程平台两

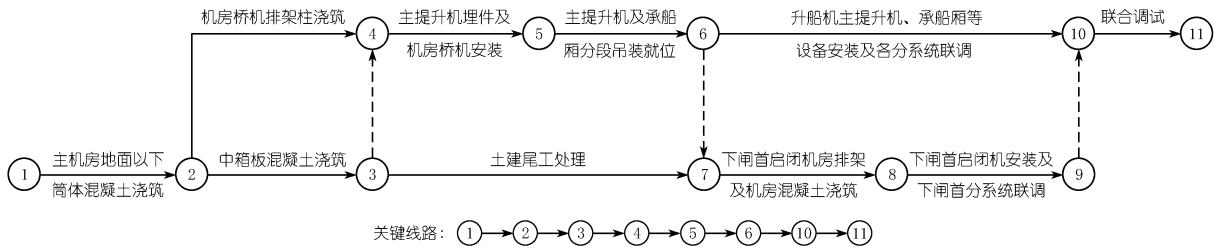

图 2　升船机独立直线施工关键线路

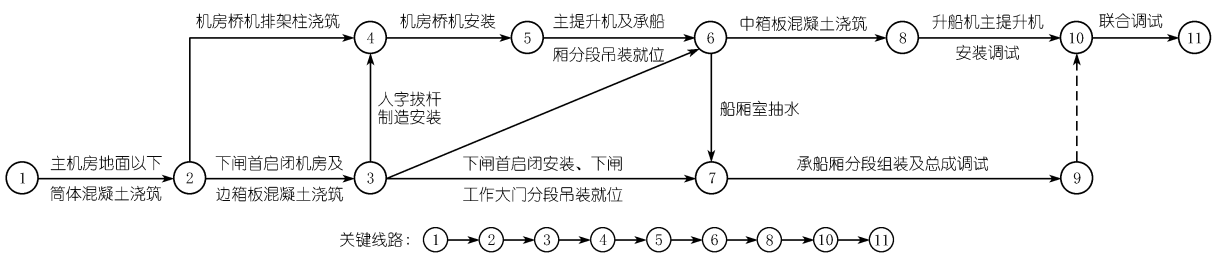

图 3　升船机同步交叉施工关键线路

侧筒体上存放。

(6) 承船厢结构自重 800 t,其外形尺寸为 71 m×16 m×8 m,由 25 个分段组成。利用承重筒体 290 m 高程混凝土中箱板中段暂不浇筑混凝土的时机,直接将船开到船厢室内,用 301 m 高程的 100 t 桥机将各分段卸船,机电液压设备采用后置法。将 6 个边梁依次落入船厢室水中,其他船厢分段及机电液压设备吊到高程 290 m 平台存放,待主提升等所有设备大件吊装完成后,用下闸首检修门挡水,待深水泵抽干船厢室中的水后,利用 100 t 桥机将承船厢分段按结构进行摆放组拼。

3.2.3 方案的优缺点

该方案的优点:① 土建施工与升船机设备安装同步进行,节约直线工期。② 资源配置简单,节约大量资源。③ 升船机设备运输吊装不受现场条件限制。④ 关键工期细化,易于控制。

缺点为:① 土建与安装施工存在交叉作业,对安全要求更高。② 土建与安装协调相对复杂,增加施工方管理难度。③ 大件吊装部分采用传统起吊技法,存在一定的安全风险。

4 实施方案的效果

(1) 经过方案比选和优化,彭水升船机设备安装最终采用同步交叉施工方案,水路运输设备,利用升船机永久起吊设备吊装重大件。该方案不仅解决了升船机安装超大超重件的运输及吊装问题,而且降低了设备在工地倒运的风险。

(2) 实施方案经优化关键线路施工工序,安装与土建交叉作业,仅用 2 a 时间就完成了升船机安装工作,创造了国内同类型升船机的安装调试速度新记录(2008 年底二期埋件安装,2010 年 12 月通过重庆质监局和港航验收进入试运行)。

(3) 实施方案充分保证了工程质量,2011 年 4 月,彭水水电站通航建筑物土建及设备安装工程单项工程竣工验收,经评定,质量优良。其中升船机设备安装质量优良,主机运行稳定,噪音远远低于合同要求的 83 dB。

(4) 实施方案自制起重装备,减少了大型吊装设备和运输设备的使用,大大降低了安装成本,同时减少了土建后期施工资源配置,避免了设备后期闲置浪费。

(5) 实施方案消除了不利边界条件的影响,同时节约了工程建设投资。如取消左岸临时码头建设,降低了场内道路、隧洞等级,大大降低了临建投入。

参考文献:

[1] 张文胜. 隔河岩升船机安装测量[J]. 测绘通报,2002,(10):40-42.

[2] 王永玲. 隔河岩升船机金属结构安装方案研究[J]. 人民长江,2001,32(10):37-38.

[3] 麦家耀. 岩滩升船机主提升机安装方法及工艺[J]. 红水河,1999,(4):79-81.

(编辑:徐诗银)

Comparison and optimization of 500 - tonnage vertical ship - lift installation in Pengshui Hydropower Station

WANG Haijun[1], CHENG Wenbing[2]

(1. *Sinohydro Bureau No. 7 Co., Ltd., Pengshan* 620860, *China*; 2. *Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan* 430010, *China*)

Abstract: The 500 - tonnage full balanced wire rope hoist vertical ship - lift of Pengshui Hydropower Station can rise to the maximum height of 66.6m and reach the largest weight of 3050 t, and the metal structures and equipment installation quantities are 8598.8 t. In view of the construction arrangement, transportation and lifting of heavy cargos, two construction schemes of civil construction and metal structure installation conducted successively and synchronously were compared and analyzed. And the later scheme was selected and optimized. The optimized scheme can not only speed up the construction progress and improve the project quality, but also reduce the construction cost, so economic benefits are obtained as well.

Key words: installation scheme; optimization; economic benefit; vertical ship - lift; Pengshui Hydropower Station