

DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2020.01.013

# 构皮滩升船机承船厢现场拼焊施工设计方案

Design of on-site assembly and welding for Goupitan ship lift chamber

耿克普  
GENG Kepu

(杭州国电机械设计研究院有限公司, 杭州 310030)

(Hangzhou State Machinery Research and Design Institute Company Limited, Hangzhou 310030, China)

**摘要:** 承船厢现场拼焊是升船机工程施工中的难点工作, 主要受场地局限性、施工条件差、工期要求紧等因素制约。介绍了一种承船厢结构拼焊施工设计方案, 从承船厢结构分块、吊装转运就位、焊接流程设置等方面进行论述, 并从技术特点、工期及经济性、安全、质量4个方面进行效果分析。工程实践表明, 该设计方案能够确保施工质量, 节约工期, 提高工作效率, 保证施工安全。

**关键词:** 升船机; 承船厢结构; 分块; 吊装; 拼焊; 构皮滩; 通航建筑物

**中图分类号:** U 642

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1674-1951(2020)01-0063-05

**Abstract:** The on-site assembly and welding for ship lift chamber is the key in the construction of ship lift. It is mainly restricted by the site limitation, poor construction conditions, tight construction period and other factors. It introduces a design of on-site assembly and welding for ship lift chamber including the modularized structure, hoisting in position, and setting of welding process. And it analyzes the design including technical characteristics, construction period and economy, safety and quality. The engineering practice indicates that the design can effectively ensure the construction quality, save the construction period, improve the work efficiency and guarantee the construction safety.

**Keywords:** ship lift; structure of the ship lift chamber; modularization; hoisting; assembly and welding; Goupitan; navigation buildings

## 1 工程概况

构皮滩通航建筑物工程采用梯级过坝形式, 由上下游引航道、3座钢丝绳卷扬提升式垂直升船机和2级中间渠道(含通航隧洞、渡槽及明渠)等建筑物组成。其中第2级升船机布置在2级中间渠道之间, 为全平衡式升船机, 与我国目前升船机主要的设计形式相符<sup>[1-3]</sup>。第2级全平衡式升船机主要由主提升机系统、平衡重系统、闸首系统及承船厢系统组成, 最大提升高度127 m(立面图如图1所示), 设计船型500 t 机动驳船。

第2级升船机承船厢结构形式为钢质槽形结构, 通过80根钢丝绳经主提升机卷筒装置与平衡重相连, 承船厢有效水域尺寸59.0 m × 11.7 m × 2.5 m(长×宽×水深), 外形尺寸71.0 m × 16.0 m × 8.5 m(长×宽×厢头高), 船厢结构本体、设备加厢内水体总质量约3 400 t, 承船厢结构如图2所示。

收稿日期: 2019-05-21; 修回日期: 2019-11-13

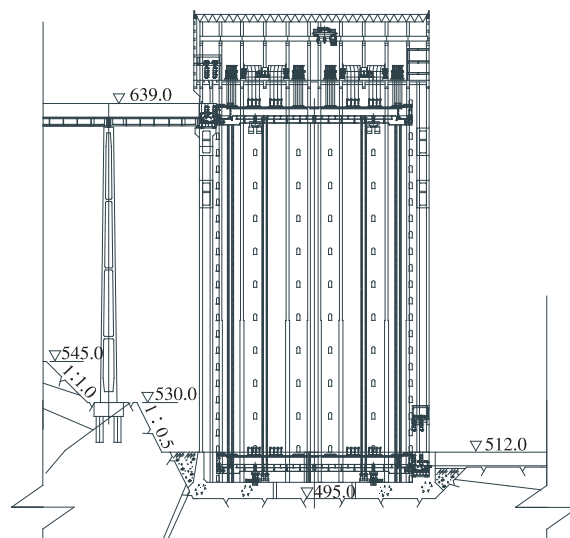


图1 第2级升船机立面

Fig.1 Second level ship lift facade

承船厢形体尺寸较大、设计形式复杂, 技术要求高, 工程施工中对工期要求紧, 但现场拼焊的施工条件有限, 涉及吊装、转运、焊接、检验等许多工序, 协调管理难度大。工程中厂内一般按照运输及吊装限

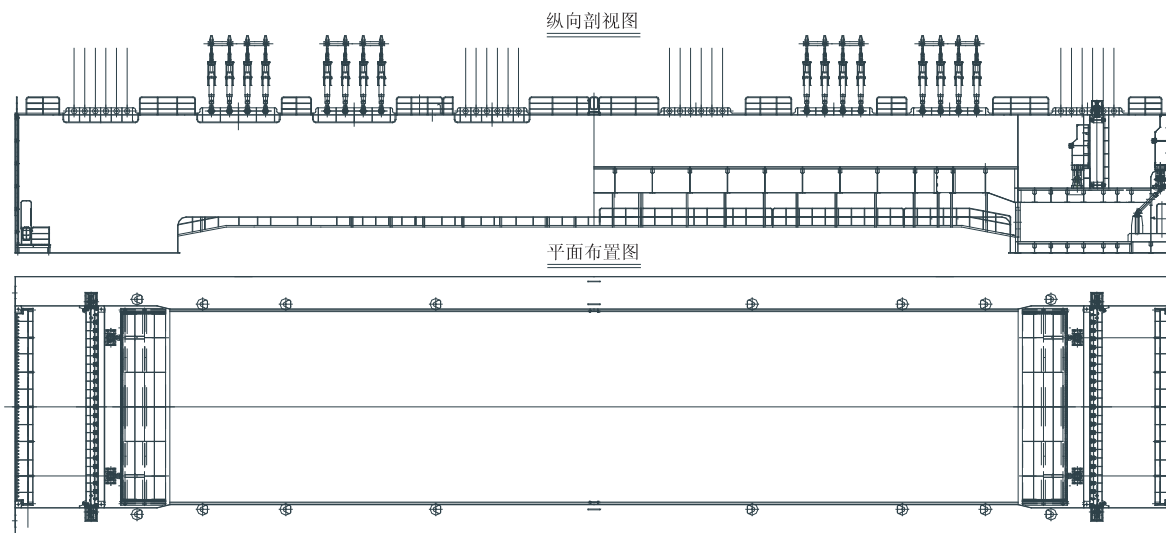


图 2 承船厢结构示意图

Fig. 2 Schematic of structure of the ship lift chamber

制条件分块制作,再运输至现场船厢室内进行拼焊<sup>[4-5]</sup>。由于存在诸多制约因数,承船厢现场拼焊施工方案的设计显得尤为重要。本文结合构皮滩第 2 级升船机承船厢拼焊工程实例,对承船厢结构的厂内制作分块方案、现场吊装方案、现场拼焊流程方案进行重点论述。

## 2 承船厢结构拼焊方案设计

### 2.1 承船厢结构分块方案

承船厢厂内制作及预拼装在江苏省海盐市完成,预拼装检查合格后解体发运至贵州构皮滩工地安装现场,因此长距离公路运输时的超高、超宽、超重问题是承船厢分块考虑的首要因素。其次,承船厢分块还应考虑焊接施工工艺、现场吊装、转运等限制条件因素。因此,综合考虑上述因素并结合承船厢结构形式,按照以下原则进行分块。

(1) 以整体刚度大小或重要部位单独分段,保证每个分块单元的整体性,并尽量减少结构分块数量,减少现场焊接量。

(2) 承船厢本体分块按照主纵梁 I、主纵梁 II、底铺板(含箱型梁)、上游厢头平台、下游厢头平台、

船厢工作门/检修门、厢头门槛及其他附件进行分块(分块编号如图 3 所示、各分块信息统计见表 1),严格控制分块单元的长度、重量,不得超过现场转运的限制条件。

(3) 考虑焊接收缩量前提下,将最后的修割余量设置在纵向两端,故将长度修割伸缩节单独分段。

上述长度修割伸缩节包括主纵梁 I 的 101-1, 110-1 分段、主纵梁 II 的 201-1, 210-1 分段均为 U 形,此处单独分块的目的主要是考虑下面 2 个因素。

(1) 承船厢两端是不锈钢止水面,与闸首密封系统对接,垂直度误差要求为  $\pm 5 \text{ mm}$  (不锈钢止水面总高度为 7500 mm),否则垂直度不满足会导致对接密封不严密会漏水。

(2) 承船厢长度误差要求为 10 mm (承船厢总长为 71000 mm),否则长度不足会引起对接密封不严密。

因此,将整体尺寸调整余量设置在两端,便于长度控制,该方案优于文献[6]中调整余量在中部的调整方法。

### 2.2 承船厢结构分块吊装方案

根据构皮滩升船机第 2 级施工现场吊装及转运

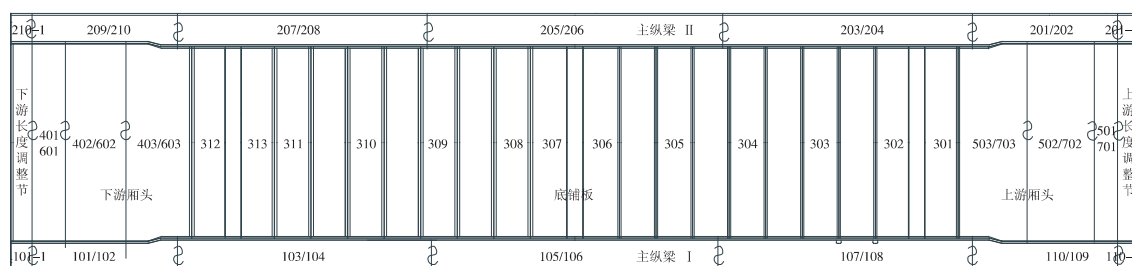


图 3 承船厢结构分块

Fig. 3 Modularized structure of the ship lift chamber

表 1 承船厢结构分块信息统计

Tab.1 Information statistics table of modularized structure of the ship lift chamber

| 名称        | 最大吊装运输单元 |  |          |                     |
|-----------|----------|--|----------|---------------------|
|           | 数量/件     | 分块编号   | 单件最大质量/t | 单件外形最大尺寸/m          |
| 主纵梁 I     | 12       | 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 101 - 1, 110 - 1 | 24.15    | 16.25 × 2.10 × 4.18 |
| 主纵梁 II    | 12       | 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 201 - 1, 210 - 1 | 28.30    | 18.80 × 2.00 × 3.72 |
| 底铺板       | 13       | 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313    | 14.30    | 12.00 × 3.28 × 1.60 |
| 上游厢头平台    | 6        | 401, 402, 403, 501, 502, 503                                       | 12.90    | 12.40 × 2.65 × 2.89 |
| 下游厢头平台    | 6        | 601, 602, 603, 701, 702, 703                                       | 11.70    | 12.40 × 4.20 × 0.91 |
| 船厢工作门/检修门 | 4        | 801, 802, 803, 804   | 24.96    | 11.90 × 3.39 × 1.00 |
| 上下游厢头门槛   | 2        | 901, 902   | 18.83    | 12.40 × 4.51 × 1.80 |
| 其他附件      | 36       |  | 9.91     | 12.40 × 4.51 × 0.80 |

限制条件定义质量大于 20 t、尺寸大于 12 m × 4 m 的单件设备称为超大件。

承船厢现场拼焊时主机房混凝土塔柱已经浇筑完成,但留有被混凝土梁分割成较多小孔的吊物孔(如图 4 所示),供桥机主钩上下运行,能够满足垂直起吊要求。但吊物孔被混凝土梁分割后,桥机无法水平运行,且主钩上下运行 1 次 160 m,需花费半小时,若采用主钩下放—收回—水平移动循环往复的方法水平移动构件,则会大大浪费时间,效率低,工期被延误。因此,分块单元在船厢室内水平移动必须借助临时运输小车得以实现。

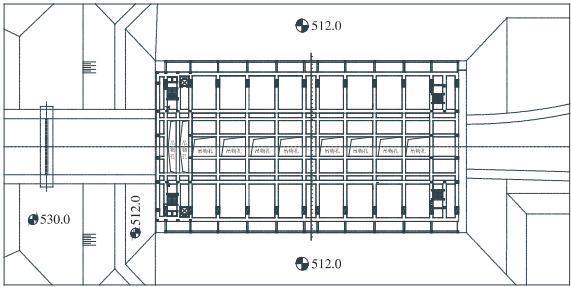


图 4 吊物孔布置

Fig.4 Hoisting hole arrangement

承船厢结构分块吊装前,应将胎架精确就位,分块单元就位在胎架上,焊接时的局部精调可借助桥机主钩、手拉葫芦和千斤顶等配合完成,在此不列举精调的施工方法。

2.2.1 水平运输及垂直起吊方案

根据承船厢底铺板胎架摆放位置,在船厢室底中心线上设置 2 根轨道,并安装 1 台 4 轮运输小车,行走机构由自身携带电机组成(如图 5 所示)。小车具有足够的强度,能够承受表 1 中单件设备的最大重量,且拆装简单,便于安装、移动。

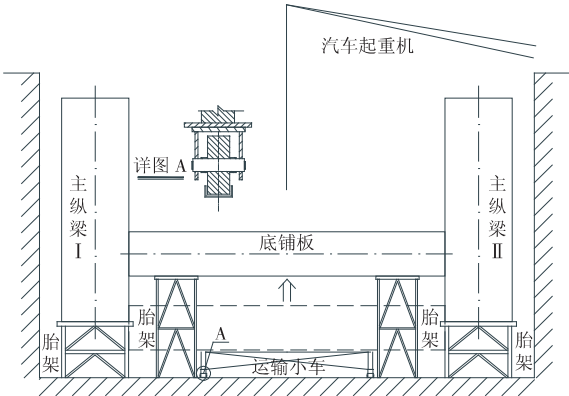


图 5 水平运输小车示意

Fig.5 Horizontal transport trolley

在船厢室上游侧,将分块单元由汽车起重机从 EL512 设备平台转运至运输小车上,若主纵梁、底铺板(含箱型梁)需旋转时,提前在汽车起重机吊装时完成,按照正确的摆放方向放置在小车上。将小车运行至指定位置,实现了水平运输快速、高效的目的,节约了时间、提高了效率。同时,小车根据转运工艺安排,在后期还可以布置在承船厢底铺板上部,因此,达到了灵活设置小车的目的,提高工作效率。

当需要垂直起吊时,小车行驶至指定位置后,桥机主钩已经下放至船厢室预定位置,再用桥机主钩将分块单元垂直起吊放置于胎架上,如图 6 所示。在起吊过程中,桥机钢丝绳竖向夹角小,吊物孔混凝土壁与钢丝绳具有一定距离,不会发生钢丝绳摩擦混凝土壁的不利情况。

2.2.2 承船厢结构分块吊装就位顺序

根据承船厢结构特点,若中部或者上游侧底铺板提前就位,则水平运输小车无法正常行驶,也就不能实现水平运输方案。

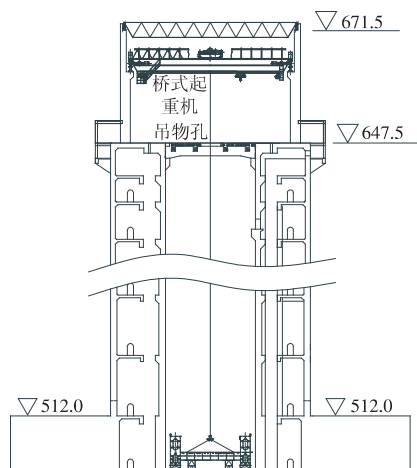


图 6 桥机主钩辅助吊装

Fig. 6 Auxiliary lifting device of bridge crane main hook

因此,为了最大程度节约工期,根据水平运输小车的布置特点,制定了图 7 所示的吊装就位顺序。

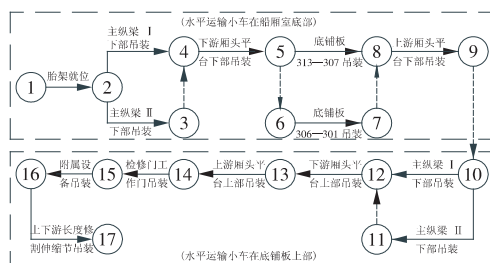


图 7 分块吊装顺序网络计划

Fig. 7 Blocked plan for modularized hoisting sequence

图 7 中上面虚线方框的吊装就位顺序为先将水平运输小车放置在船厢室底板上,将主纵梁 I、主纵梁 II 的下部单元按照起吊方案依次在胎架上就位后临时存。然后将下游厢头平台下部就位,再将底铺板(含箱型梁)下游侧 313—307 分块就位,此时,重点需将 307 分块按照地样线精确就位,因为底铺板焊接的控制基准点在 307 分块上。然后再将底铺板(含箱型梁)上游侧 306—301 分块、上游厢头平台下部就位,在吊装过程中可以将上下游厢头平台、船厢底部的电气液压设备同步吊装就位并做好防护措施,避免设备腔室先封闭后吊装的问题。

按照上述步骤就位后,便可以底铺板(含箱型梁) 307 分块为中心开始施焊,待底铺板(含箱型梁)单元、下游厢头下平台、上游厢头下平台、主纵梁 I、主纵梁 II 下部单元焊接形成整体并报验合格后,将水平运输小车转移至底铺板上部,并在底铺板下部与小车轮子对应的地方增设胎架,加强局部抗压能力,防止底铺板(含箱型梁)下挠。

再运输小车转移至底铺板上部后,首先将主纵梁 I、主纵梁 II 的上部单元吊装就位放置于胎架上,再将下游厢头平台上部、上游厢头平台上部、工作门/检修门及附属设备吊装就位。在吊装就位过程

中可以穿插进行主纵梁的焊接,组织好交叉施工的安全措施、质量措施,能够节约工期,提高效率。承船厢上部形成整体报验合格后,再将上下游长度修割伸缩节吊装就位,进行最后的尺寸控制。

## 2.3 承船厢结构焊接方案

由于承船厢结构分块单元数量多,技术要求高,焊接工序复杂,尺寸关联性强,每道工序焊接时都要保证误差准确,否则误差较大时,传递至最后将会造成无法弥补的质量问题。

根据承船厢结构分块吊装就位顺序方案,结合焊接施工工艺,经认真讨论、科学分析制定如下 3 阶段焊接方案:

第 1 阶段焊接工作为底铺板(含箱型梁)一下游厢头下平台、上游厢头下平台—主纵梁 I、II 下部单元。

第 2 阶段焊接工作为主纵梁 I、II 上部单元、下游厢头平台上部、上游厢头平台上部。

第 3 阶段焊接工作是上下游长度修割伸缩节焊接调整,以及部分附属设施、工作门/检修门安装焊接工作。

每阶段的焊接应注重中间过程质量控制,设置合理的质量控制点并自检合格,在完成全部焊接工作后组织监理、施工、设计单位验收。本文对具体焊接施工方法就不一一列举了,相关文献<sup>[4-5,7-10]</sup>已做深入研究。

## 3 效果分析

以下从方案的技术特点、工期及经济性、安全、质量方面对该方案的效果进行分析。

### 3.1 技术特点

该方案在厂内制作时已经考虑了运输、吊装等限制因素,提出分块的理念,并结合多年焊接施工工艺方案编制经验,将刚度大、整体性强的单独分段并尽量减少分块的数量,减少现场焊接工程量,以便更好地进行质量控制。

在吊装转运就位方案中,通过设置 1 辆水平运输车,解决了吊物孔限制桥机水平运输的困难。使用永久桥式起重机作为垂直起吊设备,满足了超大件吊装的要求。承船厢吊装转运施工过程中仅倒运超大件设备用到了汽车起重机,无其他起重设备投入,最大程度地节约了资源,提高了工作效率。

焊接方案则是首先确定了以承船厢底铺板中间单元为定位基准,两端逐步靠拢,最后的长度修割调节方案两端。这样在第 1、2 阶段焊接中只需以宽度方向控制为主、长度控制为辅(但也要确保误差不能积累过大),省去许多校准控制的环节。在第 3



阶段焊接时以长度控制为准、宽度控制为辅,将计算出的焊接收缩量集中设置在承船厢两端,能精确保证长度要求。U形长度修割伸缩节焊接时,其上的不锈钢止水面的垂直度也更好控制。

### 3.2 工期及经济性分析

该方案的工期优势在于吊装转运就位程序设置合理,并充分发挥了水平运输小车简明、高效、易操作的作用,最大程度上节约了工期。

焊接工艺编制上通过3阶段焊接过程的设置,简化了质量控制流程,明确了各自过程的质量控制点,节省了校准调整的时间。通过合理设置工序,优化了资源配置,吊装作业时人员数量少,焊接任务集中时调配人员进场,便于统一管理,且经济性良好。

### 3.3 安全分析

承船厢结构分块吊装是属于高空作业,通过吊装转运就位流程可知,该方案中不允许有交叉作业,减少了安全隐患。吊装借助永久桥式起重机而不使用其他设备,增加了安全性,减少了安全隐患,该工程实施过程中未发生任何安全事故。

### 3.4 质量分析

该方案焊接施工的3个阶段质量验收时,均一次性通过验收。通过在承船厢两端设置长度修割伸缩节,严格控制了承船厢的长度和止水面的垂直度,为承船厢实现精准对接奠定了基础。通过加强焊接过程质量监控,承船厢结构现场所有焊缝的探伤均一次性满足技术要求,除部分微小缺陷返修外,无其他返工问题。

## 4 结论

本文介绍了构皮滩升船机现场拼焊施工方案的设计思路,从结构分块、吊装转运就位、焊接方案上对方案进行阐述,并从技术特点、工期及经济性、安全、质量4个角度对方案效果进行了分析,工程实践表明,该方案可以确保施工质量,节约工期,提高工作效率,保证施工安全。

### 参考文献:

- [1] 谭守林. 思林水电站500t级垂直升船机设计布置[J]. 贵州水力发电, 2008(4): 62-65.  
TAN Shoulin. Design and layout of 500 t vertical ship lift in Silin Hydropower Station [J]. Guizhou Water Power, 2008 (4): 62-65.
- [2] 田应华. 垂直升船机在水利工程中的应用[J]. 江淮水利科技, 2014(2): 21, 23.  
TIAN Yinghua. Application of vertical ship lift in water con-

servancy project [J]. Jianghuai Water Resources Science and Technology, 2014(2): 21, 23.

- [3] 林太举, 朱翼挺. 金沙江向家坝高坝垂直升船机[J]. 水力发电, 2014, 40(1): 66-68.  
LIN Taiju, ZHU Yiting. Vertical ship lift in Xiangjiaba high dam of Jinsha River [J]. Water Power, 2014, 40(1): 66-68.
- [4] 韩孟均. 亭子口水利枢纽升船机承船厢制作工艺[J]. 四川水利, 2018, 39(5): 12-15, 26.  
HAN Mengjun. Fabrication technology of ship lift chamber of Tingzikou water control project [J]. Sichuan Water Resources, 2018, 39(5): 12-15, 26.
- [5] 韩孟均. 亭子口水利枢纽升船机承船厢安装[J]. 水电站机电技术, 2016, 39(11): 37-41.  
HAN Mengjun. Installation of ship lift chamber of Tingzikou water control project [J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station, 2016, 39(11): 37-41.
- [6] 王永玲, 彭圣华, 陈勇伦. 隔河岩升船机金属结构安装方案研究[J]. 人民长江, 2001(10): 37-38.  
WANG Yongling, PENG Shenghua, CHEN Yonglun. Research on installation scheme of metal structure of Geheyan ship lift [J]. Yangtze River, 2001(10): 37-38.
- [7] 史雄华, 牛业兴, 向生, 等. 船体结构焊接变形的预测与控制研究进展[J]. 造船技术, 2019(1): 1-6, 13.  
SHI Xionghua, NIU Yexing, XIANG Sheng, et al. Review on prediction and control welding distortion of ship structure [J]. Marine Technology, 2019(1): 1-6, 13.
- [8] 李鸿, 任慧龙, 曾骥. 预测船体分段焊接变形方法概述[J]. 船舶工程, 2005(5): 55-58.  
LI Hong, REN Huilong, ZENG Ji. General review of prediction methods of ship structures' welding deformation [J]. Ship Engineering, 2005(5): 55-58.
- [9] 侯志刚, 马焱, 王元勋, 等. 焊接变形预测与控制的研究进展[J]. 机械材料, 2004(3): 4-6, 30.  
HOU Zhigang, WANG Yuanxun, LI Chunzhi, et al. The development of prediction and control of welding deformation [J]. Materials for Mechanical Engineering, 2004(3): 4-6.
- [10] 陆永亚, 李航宇, 金龙. 大直径双辐板滑轮制造工艺研究[J]. 华电技术, 2019, 41(7): 54-57.  
LU Yongya, LI Hangyu, JIN Long. Study on manufacturing technology of large diameter double-spoke pulley [J]. Huadian Technology, 2019, 41(7): 54-57.

(本文责编: 齐琳)

### 作者简介:

耿克普(1987—), 男, 浙江杭州人, 工程师, 工学硕士, 从事升船机施工管理相关工作(E-mail: gengkepu123@163.com)。