



# 直立式岸电设施接电箱升降装置设计

陈 轩<sup>1</sup>, 陈仲盛<sup>2</sup>

(1. 长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002;  
2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

**摘要:** 在直立式岸电设施的接电箱升降过程中, 如供电电缆承受额外载荷, 岸电设施安全性将受到显著影响。针对以上问题, 结合三峡库区旧州河锚地大水位差下岸电设施实际工程需求, 设计了1套由接电箱平台和提升机构组成的接电箱升降装置: 接电箱平台主体采用桁架结构, 可沿垂直轨道上下运行; 提升机构由提升绞车和动滑轮组组成, 用以驱动接电箱平台。利用三维BIM软件Inventor对接电箱平台主体结构进行三维建模和力学分析, 通过空间三维力学分析推导所需提升绞车牵引力。结果表明: 设计的电箱平台主体结构能够满足强度要求, 提升绞车牵引力能够满足提升要求。

**关键词:** 岸电设施; 大水位差; 三峡库区

中图分类号: U 653

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)09-0075-05

## Design for lifting device of connection box in upright shore-to-ship power supply system

CHEN Xuan<sup>1</sup>, CHEN Zhong-sheng<sup>2</sup>

(1.Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China;  
2.CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430060, China)

**Abstract:** The security of the upright shore-to-ship power supply system will be significantly affected when its cable is pulled up by extra load. To solve this problem, combined with the actual engineering needs of shore-to-ship power supply system under the large water level difference of the Jiuzhou River anchorage in the Three Gorges reservoir area, a connection box lifting device is designed which consists of electric box platform and lifting mechanism. The electric box platform can run up and down the track, and its main structure is truss structure. The lifting mechanism consists of hoisting gear and pulley block which is used to drive the electric box platform. And then, the truss structure is modeled and analyzed using the 3D BIM software Inventor, and the traction of hoisting gear is calculated. The results show that the truss structure can meet to requirements of the strength, the traction can meet the requirements of the hoisting.

**Keywords:** shore-to-ship power supply system; large water level difference; Three Gorges reservoir area

岸电设施是指船舶停靠后, 通过岸上供电系统获取船舶所需的电力, 用以取代燃油发电的设施<sup>[1-2]</sup>。随着长江航运的快速发展, 特别是三峡船闸通过能力的饱和, 长江三峡库区锚地经常停靠大量的待闸船舶, 这些船舶停靠期间在消耗大量燃油的同时, 也产生了大量污染物和噪声, 对生态环境和居民有较大影响, 因此三峡库区锚地岸

电设施的建设十分必要, 且符合“碳中和”“碳达峰”的国家发展战略<sup>[3-4]</sup>。

在此背景下, 长江岸电设施的建设发展迅速, 沿线有吴淞国际邮轮码头、嘉兴芦花荡水上服务区、铜陵市东苑码头、瑞昌市公用码头、岳阳城陵矶港口、宜昌秭归县秭归港、朝天门港、泸州港以及仙人桥锚地等先后建成了岸电设施, 既减

少了污染物排放，也取得了一定经济效果。

目前，长江上岸电设施建设大多是针对港口码头，三峡库区锚地水位随着季节性调度落差较大，位置较为偏僻，岸电设施建设较少，设计和管理难度大。已建三峡库区仙人桥锚地岸电设施的电缆卷筒位于系靠船墩顶部，接电箱设置在可垂直移动的平台上，通过电缆的收放实现平台的升降，以适应不同水位的接电需求，平台重力由输电电缆直接承担。

JTS 155—2019《码头岸电设施建设技术规范》明确斜坡式岸电设施供电电缆不应承受额外拉力，对于直立式岸电设施虽未有此规定，但为确保输电安全，设计 1 套避免供电电缆承受额外载荷的接电箱升降装置具有十分重要的意义。

## 1 工程概述

本工程位于宜昌市秭归县旧州河河口附近的三峡大坝库区。受三峡库区调度，该区域最大水位落差达 30 m，其水位变化曲线见图 1。

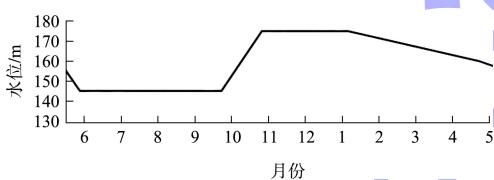


图 1 三峡库区水位变化

锚地共有 8 个锚位，单个锚泊点由 2 座直立式系靠船墩组成。 $1^{\#}$ ~ $6^{\#}$ 锚位为非易燃易爆危化品锚泊区，每个锚位并靠 4 艘 5 000 吨级危化品船。 $7^{\#}$ 、 $8^{\#}$ 锚位为易燃易爆危化品锚泊区，每个锚位并靠 2 艘 5 000 吨级危化品船。工程中需预留岸电设施，但由于目前国内尚无危化品船供应岸电的规定和技术标准，故暂不考虑向其供应电力；待国家或者行业出台危化品船岸电相关规定和技术标准后，且电气专业设计时已考虑防爆等安全方面的要求时，再考虑向其供应电力。 $1^{\#}$ ~ $6^{\#}$ 锚位可同时停靠 4 艘 5 000 吨级普通货船，为满足远期普通货船停靠时的用电需求，对锚位进行了岸电设施的设计，船上受电系统相应进行设计和改造，锚地工程中仅考虑岸上供电系统的设计。锚位平面见图 2。

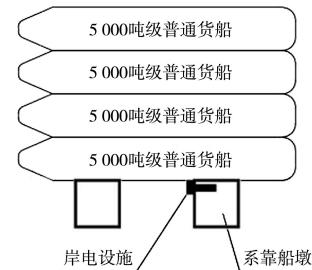


图 2 锚位平面

经现场调研，船舶受电采用 400 V/50 Hz 等级，单个锚位功率按照 320 kW 设计，可满足 4 艘普通货船岸电需求。

由于锚地最高与最低水位落差达 30 m，因此设计的岸电设施需要能够适应大水位落差，且其输电电缆需避免承受自重以外的载荷。

## 2 岸电系统的总体设计

针对工程需求，结合水工结构设计的系靠船墩形式，设计了 1 套直立式岸电设施，见图 3。

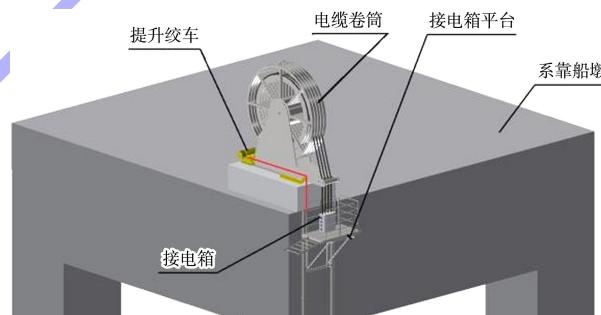


图 3 岸电设施三维视图

设计的岸电设施主要由电缆卷筒、提升绞车、接电箱、接电箱平台、轨道等组成。电缆卷筒和提升绞车置于系靠船墩的顶部；轨道设置在系靠船墩侧面，其截面为 H 形；接电箱位于接电箱平台上方，可沿轨道上下运行。非供电状态时，接电箱平台位于轨道最顶端；船舶用电前接电箱随接电箱平台下降至合适的高度以方便船舶接电；用电完成后，接电箱平台再次上升至导轨最上方。

对于供电方，设计的岸电设施现场无人值守，后方一对多值守；受电方可通过手机终端程序进行自助操作完成用电。为确保受电安全，船上受电电缆需预留一定长度，且在接电箱平台底部设

置雷达测距仪。当水位上升时,若水位距离小于阈值,升降装置将会自行上升一段距离;当水位下降时,船上受电电缆可自动适应水位变化。受电方还可根据实际情况申请下降接电箱平台。

为保证供电安全,输电电缆不宜承受自重以外的载荷,接电箱平台的运行需另设提升绞车驱动。电缆卷筒采用变频控制,与提升绞车共同由岸电管理系统集中控制。升降运行时,变频式电缆卷筒提供的力矩与其输出电缆长度的重力相对应,提升绞车采用恒张力模式被动运行;非运行状态时,提升绞车和电缆卷筒同步制动,确保载荷的分配。在该控制模式下,接电箱平台的驱动及其结构的合理设计将是岸电设施设计中的关键点之一。



具体来说,人梯用于搭接船舶,方便人员进入平台接电;运转件起导向和限位作用,共有4处,每处均由滚轮1、2组成,工作时,均处于轨道H形钢的凹槽内,滚轮1用于限制接电箱平台y向偏移,滚轮2限制其x向偏移;吊耳与接电箱提升机构的滑轮组相连,由提升绞车驱动。

### 3.2.2 接电箱平台结构验算

Inventor 是一款三维可视化 BIM 软件<sup>[5-6]</sup>,其构件生成器模块可以快速准确地实现桁架结构的三维建模,构件解析器能够方便快捷地实现桁架结构的力学分析。因此,本文以 Inventor 软件为依托,对所设计的结构进行验算。

接电箱平台的主体受力结构是桁架结构。验算时,对于栏杆、接电箱、面板等可视为载荷,

## 3 接电箱升降装置

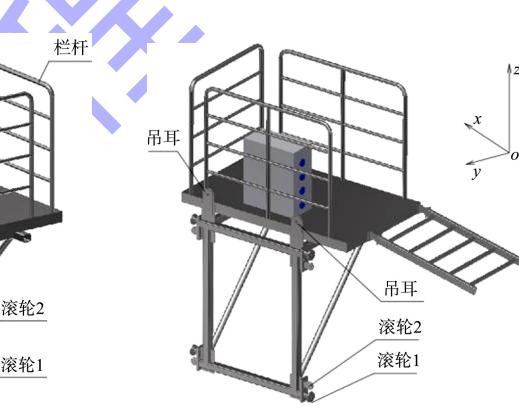
### 3.1 总体设计

接电箱升降装置主要由提升绞车、滑轮组和接电箱平台组成,其中接电箱平台是接电时直接使用的平台,提升绞车和滑轮组组成接电箱平台的提升机构,见图 4a)。

### 3.2 接电箱平台

#### 3.2.1 结构设计

接电箱平台作为船舶接电时的直接使用平台,需要根据实时水位和停靠的船型运行至合适的高度位置。结合工程实际情况,接电箱平台由面板、桁架结构、运转件(滚轮1和滚轮2)、吊耳、栏杆、人梯等组成,见图 4b)、4c)。



因此只需对主体承载结构进行建模,见图 5。



图 5 接电箱平台桁架结构

桁架结构除承受自重外,还将承受接电箱等附件重力。当人员进入平台接电时,主体桁架还将承受人体重力载荷,此时其结构受力最为严峻,对接工况进行以下校核验算。

1) 施加约束。对接电箱平台的桁架结构, 根据其工作原理, 在其运转件和吊耳处设置位移约束。在吊耳处节点约束  $z$  轴方向的位移, 在 4 处运转件安装节点均约束  $x$ 、 $y$  轴方向的位移, 见图 6。

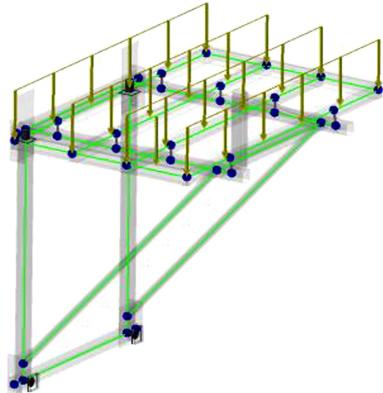


图 6 约束和载荷

2) 施加载荷。对于桁架结构自重, 在软件中直接设置重力加速度即可; 对于人员、接电箱等附加载荷, 以连续均布载荷的形式施加, 通过折算, 综合载荷取值为 5 kPa, 见图 6。

3) 计算分析。对于构件无需进行网格划分即可进行分析计算。桁架应力分布见图 7。最大应力为 29.17 MPa, 该处杆件为钢管, 其尺寸为  $\phi 76 \times 6-1908$  mm, 按照压杆稳定性折算, 其应力值为 52.55 MPa, 杆件材料为 Q235B, 强度许用应力值为 150 MPa, 设计的结构强度能够满足使用要求。

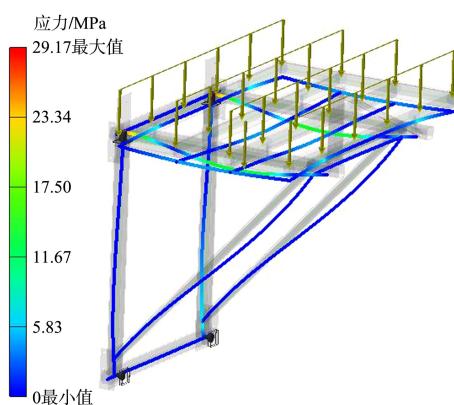
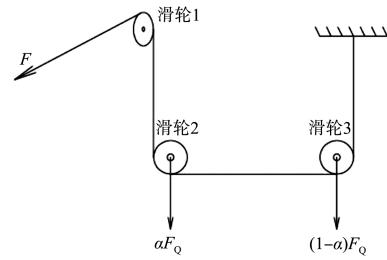


图 7 桁架结构应力分布

### 3.3 接电箱平台提升机构

接电箱提升机构由 1 台提升绞车和 1 套滑轮组组成, 滑轮组见图 8。



注:  $F$  为钢丝绳牵引端拉力;  $F_Q$  为接电箱平台传递给滑轮组的载荷;  $\alpha$  为分配系数, 在 0~1 之间。

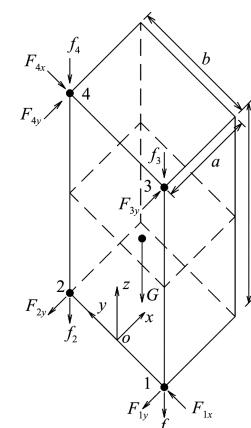
图 8 滑轮组原理

滑轮组由 3 个滑轮和钢丝绳组成动滑轮组。滑轮 1 为定滑轮, 起导向作用; 滑轮 2、3 为动滑轮, 其旋转轴固定在接电箱平台的吊耳处; 钢丝绳的牵引端与提升绞车相连, 另一端固定。滑轮组传动比为 2:1, 则有:

$$F = 0.5\eta F_Q \quad (1)$$

式中:  $F$  为钢丝绳牵引端拉力;  $F_Q$  为接电箱平台所需提升力;  $\eta$  为滑轮组效率, 取值 0.95。

以接电箱平台上行为例, 其主要承受的载荷见图 9。



注:  $G$  为重力载荷(含接电箱等附重), 图中以重心偏向于线  $l_{24}$  为例绘制载荷受力分布;  $T_{zd}$  为支承摩擦阻力  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ ;  $F_x$  和  $F_y$  为  $x$  轴和  $y$  轴方向限位的支反力(图中点 1~4 处);  $a$ 、 $b$  为平台平面的边长。

图 9 接电箱平台受力分析

根据接电箱平台运转件形式和工作条件分析, 接电箱平台所需提升力  $F_Q$  为:

$$F_Q = n_T T_{zd} + n'_G G \quad (2)$$

式中:  $F_Q$  为接电箱平台所需提升力;  $T_{zd}$  为滚动支承摩擦阻力;  $n_T$  为安全系数, 取值 1.2;  $n'_G$  重力载荷修正系数, 取值 1.1;  $G$  为重力载荷。

对于本结构的运转件滚轮,采用的是滑动轴承,其摩擦阻力为:

$$T_{\text{ad}} = \frac{P}{R}(f_h r + f) \quad (3)$$

式中:  $P$  为作用在滑动轴承上的作用力;  $R$  为滚动轮半径;  $f_h$  为滑动摩擦系数, 取值 0.3;  $r$  为滚动轴半径;  $f$  为滚动摩擦系数, 取值 1 mm。

对于作用力  $P$ , 根据力和力矩平衡方程解得:

$$P = 2G \left( \frac{|x_G|}{b} + \frac{|y_G|}{a} \right) \quad (4)$$

式中:  $x_G$  和  $y_G$  为接电箱平台作用点在图 9 所示坐标系  $oxyz$  下的  $x$  和  $y$  坐标。

将设计的参数代入上述公式, 重力载荷  $G$  以其在  $x$ 、 $y$  向各偏离几何中心 50% 计算, 可得提升绞车的牵引力  $F$  为 7.5 kN。根据钢丝绳使用要求, 选择的钢丝绳安全系数不小于 14, 据此, 选用 10 kN 牵引力的提升绞车, 能够满足升降要求。

## 4 结论

1) 调研和分析了三峡库区旧州锚地岸电设施的使用状况和建设条件, 设计 1 种能够满足库区大水位差的直立式岸电设施方案, 且避免了输电

(上接第 21 页)

- [11] 苗季朋. 公路桥涵水中混凝土结构施工中的防腐蚀工艺与后期维护[J]. 工程建设与设计, 2019(13): 107-108, 114.
- [12] 南京水利科学研究院. 杭州湾地区海港工程混凝土结构耐久性调查报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010.
- [13] 孙艺. 海洋环境下高桩码头耐久性分析方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [14] 方璟, 张燕迟, 朱雅仙, 等. 海港高桩码头破坏状况及耐久性对策与建议[C]//沿海地区混凝土结构耐久性及其设计方法科技论坛暨全国第六届混凝土耐久性学术交流会. 北京: 中国土木工程学会, 2004.
- [15] 颜桂云. 锈蚀钢盘混凝土压弯构件恢复力性能的试验研究与承载力的理论分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2001.
- [16] 侯保荣. 中国腐蚀成本[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [17] 谭金华, 吕秀杰, 徐俊, 等. 欧洲桥梁管理概况[J]. 世界桥梁, 2004(3): 52-55.
- [18] 交通运输部公路科学研究院. 公路桥梁技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [19] 金伟良, 吕清芳, 潘仁泉. 东南沿海公路桥梁耐久性现状[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2007(3): 254-257.
- [20] 李应根, 王银辉, 邹毅松. 沿海环境中砼桥墩耐久性病害研究[J]. 公路与汽运, 2015(6): 181-186.
- [21] 李连成. 中国需要多少铁路和公路[J]. 中国发展观察, 2013(5): 22-24.
- [22] 叶国文. 长距离大流量输水管道的防腐研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
- [23] 夏令. 沿海码头混凝土构件腐蚀特点及成因[J]. 水运管理, 2014, 36(3): 20-22.
- [24] 蒋建新. 海港码头钢筋混凝土结构氯离子腐蚀行为与防护措施研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2005.
- [25] 建设部标准定额研究所. 建筑结构检测技术标准: GB/T 50344—2004[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

电缆承载。

2) 应用 Inventor 软件对接电箱平台进行三维建模和力学分析, 并进行强度校核计算, 确保了设计的安全性。

3) 设计了一种动滑轮组和提升绞车结合的提升机构, 通过空间力学分析, 计算接电箱平台所需的牵引力, 选择 10 kN 牵引力的提升绞车可确保设计的合理性。

## 参考文献:

- [1] 王刚. 岸电技术在长江三峡坝区的应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [2] 宋文涛, 陈仲盛, 王海滨. 三峡库区锚地浮箱岸电设施的设计[J]. 水运工程, 2019(5): 147-151.
- [3] 赵伟. 船舶岸电电源控制策略研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2018.
- [4] 李坤, 陈一奇. 我国船舶应用岸电政策研究[J]. 珠江水运, 2020(12): 39-40.
- [5] 陈仲盛, 焦磊. 基于 INVENTOR 的桁架式叠梁闸门的结构分析[J]. 港口装卸, 2018(1): 15-17.
- [6] 焦磊. BIM 技术在某船闸工程金属结构设计中的应用[J]. 武汉勘察设计, 2017(5): 47-50.

(本文编辑 王传瑜)

- [18] 交通运输部公路科学研究院. 公路桥梁技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [19] 金伟良, 吕清芳, 潘仁泉. 东南沿海公路桥梁耐久性现状[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2007(3): 254-257.
- [20] 李应根, 王银辉, 邹毅松. 沿海环境中砼桥墩耐久性病害研究[J]. 公路与汽运, 2015(6): 181-186.
- [21] 李连成. 中国需要多少铁路和公路[J]. 中国发展观察, 2013(5): 22-24.
- [22] 叶国文. 长距离大流量输水管道的防腐研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
- [23] 夏令. 沿海码头混凝土构件腐蚀特点及成因[J]. 水运管理, 2014, 36(3): 20-22.
- [24] 蒋建新. 海港码头钢筋混凝土结构氯离子腐蚀行为与防护措施研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2005.
- [25] 建设部标准定额研究所. 建筑结构检测技术标准: GB/T 50344—2004[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

(本文编辑 武亚庆)