

深水库区浮吊浮箱平台施工技术研究与应

曹景伟¹ 黄星亚² 李浩铭³

1 浙江交投高速公路建设管理有限公司 浙江杭州 311300

2、3 浙江交工宏途交通建设有限公司 浙江杭州 311300

【摘要】本文针对深水库区复杂水文地质条件下桥梁下构施工平台问题，从平台施工特点、解决方法、方案比选、主要施工方案及实施后的效果进行简要阐述。根据平台的设计要点、稳定性控制及施工工艺，提出一种新型“哑铃”形浮吊浮箱平台结构。结合抗倾覆力学计算，验证了平台在动载作用下的安全性，用以解决山区高速跨水域桥梁大型设备（打桩船、浮船）设备进场困难、费用高以及栈桥平台施工成本高、工期长及机械共振等问题。通过工程应用验证了该技术的可行性与经济性，为同类桥梁下构施工提供经验与参考。

【关键词】深水库区；平台；抗倾覆稳定性；施工方案；可行性

引言

深水库区桥梁下构施工因水深、水流变化不规律、地质条件复杂等特点，需搭设临时施工平台。传统的钢栈桥+钢平台因工期长、施工难度及造价高等问题制约着平台的施工进度；打桩船（大型浮船）因造价高、进场问题在一定程度上限制了其使用环境，较少运用于山区高速公路跨水域桥梁下构施工；浮吊浮箱平台作为一种新型水上施工平台，通过模块化设计组合，充分发挥组装的便捷性和机动性，能显著提升施工效率。本文以景文高速白鹤水库大桥项目的“哑铃形浮吊浮箱平台”设计的小浮箱组拼技术，解决了山区深水库区浮吊浮箱平台的设计与应用问题，应用成果不仅解决了实际工程难题，也可类似桥梁结构的施工提供实践经验。

1 平台施工特点

桥梁在跨越水域特别是江河湖海等深水域环境时，下构施工需搭设临时施工平台。临时平台施工具备使用周期长、搭设工期长、投入钢构件多、吊装作业频繁、造价高等特点。因此，在涉水桥梁下构施工中，临时平台的施工起着极为重要的环节，是实施桥梁下构施工的前置必要条件。

2 常用方案

目前，常用的施工平台有以下形式：1. 钢栈桥+钢平台，多运用于水域环境较浅、涉水桥梁跨径多、长度较长的桥梁基础施工；2. 打桩船（大型浮船），该设备常运用于大江（海）等深水环境，且江（海）面有足够的工作空间足以支撑打桩船（大型浮船）的自主航行的长大桥梁基础施工；3. 浮吊+浮箱+钢平台，常运用于水库环境且水域有一定深度，桥梁跨径适中、工期较紧的中小桥梁基础施工。

3 方案比选

方案比选分析表

方案	工期	测算费用 (万元)	施工难度	安全性能	适用环境
钢栈桥+钢平台	最长，需根据栈桥长度确定施工时间	极高，根据栈桥长度，1年使用期约2200万	遇到岩石岩层时栈桥钢管基础施工难度大	安全可靠	浅水环境
打桩船（大型浮船）	最短，直接租用并投入使用	根据市场价，租用1年约1320万	容易	安全可靠	深水环境，大江、大海面
浮吊+浮箱+钢平台	适中，租用市场的浮吊浮箱，预计40天时间能完成组拼及钢平台搭设	根据市场价，租用1年约380万	适中	安全可靠	具有一定深度、且无通航条件下的山区水库

4 平台结构设计与稳定性分析

4.1 结构设计

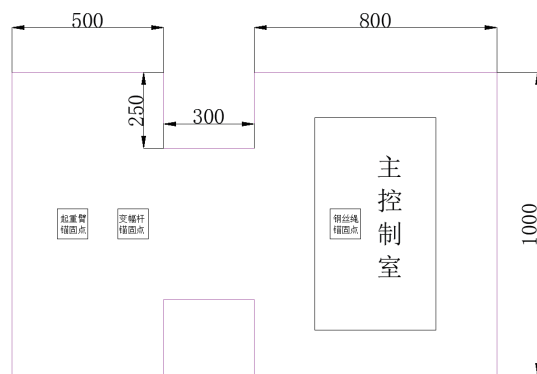
平台采用“哑铃”形布局，整体重心与浮体形心重合，提升自身稳定性。材料采用15mm厚Q345钢板，箱体连接方式可采用设置于甲板接缝处的止顶板及连接板以高强螺栓进行连接，局部螺栓连接不到的地方可采用对接焊或角焊，并辅以CO₂气体保护焊减少变形。

以浮吊起重设备3.5m的工作半径及最大承重荷载确定浮吊浮箱尺寸（图1），浮吊浮箱高2m，空载145t、空载吃水深度1m，额定承载重量260t，可满足深水作业需求。

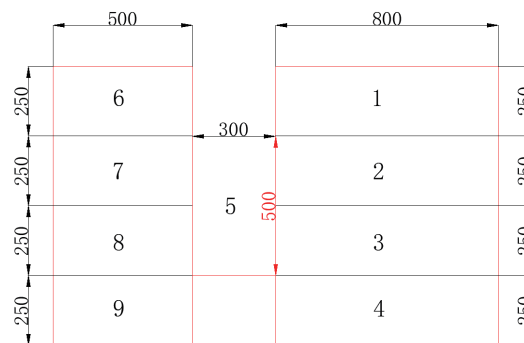
4.2 抗倾覆稳定性计算

施工水域深30m，模拟以下两种典型工况通过力矩平衡分析验证平台稳定性，安全系数均取2.0。

工况一：空载状态，受浮力与水流力、波浪力作用下的



浮吊浮箱平面尺寸图 单位: cm



浮吊浮箱模块安装编号图 单位: cm

图1 浮吊浮箱平面尺寸图

合力矩小于抗倾覆力矩。水域环境为水库环境,经实测常规条件下水流力为1m/s,波浪高约为0.1m,最不利条件既汛期实测水流力为5m/s,波浪高约为0.3m,本工况采取最不利条件下的水流力和波浪高。

1. 水流力

$F_{\text{水流}} = 0.5 * \rho * C * A * V^2 = 0.5 * 1 * (10 * 1) * 5^2 = 125 \text{ kN}$; 作用点高度: 吃水线以下0.5m, 力矩: $M_{\text{水流}} = 125 * 0.5 = 62.5 \text{ kN/m}$ 。

2. 波浪力

$F_{\text{波浪}} = 0.5 * \rho * g * H^2 * L = 0.5 * 1 * 9.81 * 0.3^2 * 10 = 4.415 \text{ kN}$; 作用点高度: 吃水线以上1m; 力矩: $M_{\text{波浪}} = 4.415 * 2 = 8.83 \text{ kN/m}$ 。

3. 总倾覆力矩

$M_{\text{倾覆}} = F_{\text{水流}} + F_{\text{波浪}} = 62.5 + 8.83 = 71.33 \text{ kN/m}$

4. 抗倾覆力矩

$M_{\text{抗}} = W * B / 2 = 145 * 10 / 2 = 725 \text{ kN/m}$

5. 安全系数

$K = M_{\text{抗}} / M_{\text{倾覆}} = 725 / 71.33 = 10.16$ (大于2.0)

结论: 工况一稳定性极高, 满足安全使用要求。

工况二: 浮吊(自重25t)吊装工作半径3.5m, 限制吊重($\leq 35 \text{ t}$), 最大起吊重量50t。

总荷载: $145 + 25 = 170 \text{ t}$; 倾覆力矩: $M_{\text{倾覆}} = 35 * 3.5 = 122.5 \text{ kN/m}$; 抗倾覆力矩: $M_{\text{抗}} = 170 * 5 = 850 \text{ kN/m}$; 安全系数: $K = M_{\text{抗}} / M_{\text{倾覆}} = 850 / 122.5 = 6.94$ (大于2.0)。

结论: 工况二稳定性满足要求, 安全系数充足。

5 施工方案简述

5.1 施工准备

详细调查水库周边环境、水深、流速、历史水位变化及河床地质, 确定浮吊浮箱运输到场的中转场或临时存放点。浮吊浮箱标准件由专业厂家按设计尺寸、参数等相关要求进行加工并标记节段编号, 出厂前对标准件进行全面检查验收并进行试拼装, 相关验收材料及合格证书随标准件一同运输至现场, 卸货时按模块编号分类堆放标准件, 确保吊装组拼时标准件不出现混编情况。标准件运至现场

后, 对所有构配件及其他辅助材料进行检查验收, 确保所有产品质量符合国家标准, 验收合格后方可投入使用。

5.2 浮吊船箱体组装

根据划分的9个小单体, 按编号顺序进行拼装, 采用两台50t汽车吊拼装并辅助下水, 组拼后形成“哑铃”形结构。拼装过程中采用激光校准技术进行浮箱平面控制, 确保浮箱平面误差 $\leq 20 \text{ mm}$ 。箱体组装完成后及时在四周临水面安装可拆卸式防护栏杆, 栏杆高度宜在1-1.2m, 栏杆处每隔3m配备水上救援设备, 并在外围四周悬挂水上作业安全操作规程, 底部20cm高安装踢脚板, 防止施工器具、杂物掉落水库中。用扭力扳手对各标准件之间的螺栓连接进行扭力检测, 确保扭力到位, 同时检查相邻箱体的高差及箱体外表是否存在碰撞痕迹、是否存在漏水等影响浮吊船体使用功能的项目。

5.3 浮吊起重设备安装

浮吊船体拼装完成后, 理顺用于待穿束的钢丝绳, 清理甲板以及各待安装杆件上的杂物。通过50t汽车吊将浮吊变幅杆、起重臂标准节自岸上吊装至浮吊船体甲板上, 以汽车吊完成变幅杆、变幅杆滑轮组安装及变幅杆钢丝绳穿束。浮吊变幅杆及钢丝绳安装完成后, 继续以汽车吊完成底节起重臂标准节与浮吊船体锚固端连接, 然后通过起重臂上连接法兰盘依次接长起重臂, 安装至尾端起重臂时, 先在船体甲板上安装好滑轮组, 在将已安装在变幅杆尾端的钢丝绳穿束至即将安装的尾端起重臂滑轮组, 最后起吊已穿好钢丝绳的尾端起重臂通过法兰盘连接到已安装的上一节起重臂端头, 完成起重臂全部节段安装, 最后将钢丝绳另一端固定在浮吊船体控制室的锚固端, 使变幅杆、起重臂、钢丝绳成为一个整体的吊装体系。钢丝绳安装前对其外观进行检查, 保证钢丝绳无扭转、串索、损伤等缺陷。当吊装体系形成后, 接通控制室的电源, 启动卷扬机, 调整钢丝绳松紧情况, 进行电气设备起吊设备调试。

5.4 动载试验

按起吊安全操作规程进行100%额定起重量的负荷, 反

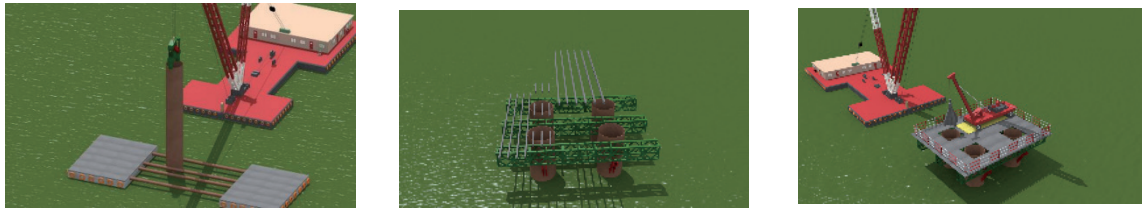


图2 钻孔平台搭设示意图

复进行起钩、制动、落钩，以检查起重设备的各项工作性能。试验后检查起重机杆件是否存在裂纹、损坏、弯曲变形以及连接处松动等影响起重机安全性能的隐患。

5.5 试吊

浮吊调试完成后，在水上以浮箱作为重物进行试起吊，试吊时首先将浮箱提升至脱离水面约30cm，待起重物稳定15min后，再次进行提升，并调节起重臂角度，检验浮吊起重臂在起重时的机动性。

5.6 平台移位

当前区域施工完成后，进行平台移位。松开四角锚钢索，解开岸锚连接，利用浮吊拔除限位锚固钢管桩，在汽艇或绞盘牵引作用下将平台移动至指定工作区域，将绞盘锚钢与新的锚点或岸锚连接，调整锚钢长度，使平台定位于新的位置。

5.7 钢护筒定位浮箱平台施工

浮箱下水后通过与浮吊共用的动力艇进行转运，转运时动力艇位于前方或侧前方，采用牵引的方式进行转移。浮箱四周均设置防撞护舷以缓冲两者间相互接触时的荷载，同时动力艇与浮箱间设置旁带挂架，便于动力艇安装及转向，转运至施工位置处后，进行暂时拉锚固定。浮箱转运就位且初步定位后，利用浮吊以贝雷桁架、钢护筒导向架采用连接销轴通过设置于浮箱甲板、侧面腹板上的四个连接节点将2个浮箱标准件连接成统一整体，完成钢护筒定位浮箱平台拼装。钢护筒定位浮箱平台拼装完毕后，在汽艇或绞盘牵引作用下将平台移动至桩基施工区域；将平台四角绞盘钢索与水中投锚或岸上预置岸锚连接，根据所需定位位置调整各锚钢长度后采用牵引设施对锚钢进行最后拉紧。为保证浮箱平台在钢护筒施工过程中的精准定位，避免出现晃动影响施工精度，可在浮箱四周打设4根钢管桩对其进行限位，限位钢管桩完成后，测量放样出钢护筒的平面位置，进行钢护筒施工，当桩基全部钢护筒施工完成后，进行桩基钻孔平台施工。

5.8 注意事项

1. 浮箱定位与稳定性

在流速 $\geq 2\text{m/s}$ 的水域，可采用动态定位系统或小型辅助拖轮微调位置；通过注水/排水调节浮箱吃水，确保横倾 $< 2^\circ$ ，纵倾 $< 1^\circ$ ，重心低于稳心高度；安装倾角传感器、GPS定位仪，数据同步至控制室，当浮箱偏差超过5%时

立即报警。

2. 水下作业风险管控

潜水作业应执行GB 26123-2010《潜水作业安全规程》，潜水员水下工作时间 ≤ 30 分钟/次，配备应急减压舱；对所有接焊缝进行100%UT（超声波探伤）+10%RT（射线探伤），水下焊接采用湿法焊或高压干式焊。

3. 水位动态变化应对

可采用自适应锚固系统，通过张力传感器与卷扬机联动，实时调节锚绳长度。

6 工程运用取得的效果

本技术利用了水库深水浮力作为浮吊浮箱平台的承重点，因地制宜，充分发挥了该技术的便捷性、灵活性和准确性。运用于景文高速白鹤水库大桥5-8号墩水中32根桩基平台施工，解决了山区跨水库桥梁桩基施工平台因工期紧、费用高、材料投入多等施工难题。该平台自进场拼装到完成首个桩基钻孔钢平台^①搭设实际施工时间35天，较测算工期减少了5天，有效提高了施工进度。平台实际使用1年时间，总费用约340万元，远小于钢栈桥+钢平台和打桩船（大型浮船）的费用投入，取得了显著的经济效益。

注释：①桩基钻孔钢平台为借助拼装完成的浮箱平台定位桩基护筒的位置，根据位置埋设护筒，最后在护筒上焊接膺架牛腿，在膺架牛腿上搭设桩基钻孔平台（图2）。

7 总结

通过工程案例的成功运用，本工艺具有结构简单、安装方便、抗倾覆性能好、工期短、造价可控、机动便捷及安全性能高等优点，适用于跨越山区不具备通航条件且水深满足要求的水中中小桥梁下部构造临时平台施工，可为类似桥梁提供借鉴与参考。

参考文献：

- [1] 深水库区重载哑铃形浮箱平台水上施工技术. 期刊网, 2019.
- [2] 小浮箱组拼式浮式平台在深水裸岩钻孔桩施工中的应用. 铁道建筑, 2017.
- [3] 预制箱梁浮吊架设施工技术. 公路期刊, 2014年第10期.
- [4] 斜拉桥超宽幅钢梁浮箱移运施工技术. 城市道桥与防洪, 2023年第1期.