

# 全海域大跨度移动模架复合材料预压施工技术

路明远, 吕光智, 樊志威, 王帅

(中交一航局第五工程有限公司)

**摘要:**以厦金大桥(厦门段)欧厝互通工程为工程背景, 基于移动模架预压试验的目的、原理及具体工艺, 结合全海域施工环境特点, 阐述移动模架预压的材料选择对整个预压试验的质量、成本影响, 通过逐级加载和卸载分析主梁及各个测点的弹性变形、非弹性变形, 以便真实模拟施工荷载下的弹性变形值, 消除非弹性变形, 为后续施工模板设置预拱度提供依据, 有效提高本项目桥梁施工的安全与质量, 为类似环境下桥梁施工提供有益的借鉴和参考。

**关键词:**移动模架; 预压材料; 预压施工技术; 全海域桥梁施工

## 0 引言

在现代桥梁工程, 特别是城市高架、跨线桥及全海域地形复杂地区的桥梁建设中, 移动模架具有机械化程度高、施工速度快、适应性强、对地面交通或下方环境影响小等显著优势, 已成为现浇混凝土梁体施工的主流技术之一。移动模架作为承载整个梁体浇筑荷载的大型临时支撑与模板系统, 首次组装完成后及后续过孔就位时, 其复杂的结构体系不可避免存在各种非弹性变形和弹性变形, 需要有效消除非弹性变形, 并为后续梁体浇筑时的预拱度设置提供准确可靠的依据, 确保梁体施工质量、结构线形精度和施工过程的安全可靠。

## 1 工程概况

欧厝互通匝道桥位于厦金大桥(厦门段)中段, 北侧连接翔安支线, 南侧接入主线桥梁, 其中 A、B 匝道在靠近主线位置下穿主线桥梁, 空间上由高到低依次为主线桥、A 匝道、B 匝道。

欧厝互通匝道桥总长 4 669.464 m, 其中 A 匝道全长 1 646.823 m, B 匝道全长 1 550.541 m, C

匝道全长 827.9 m, D 匝道全长 644.2 m。本方案采用移动模架施工的现浇梁共 7 联 23 跨, A 匝道 16 跨, B 匝道 7 跨, 其中单箱三室 9 跨、单箱四室 14 跨, 单跨最长 60 m, 最短 55.3 m。桥梁宽度主要为 11.75 m、16 m 两种。A 匝道第七联, B 匝道第三联为 Y 形段采用支架现浇。施工范围 A 匝道最小平曲线半径为 400 m, 最小竖曲线半径 12 000 m, 最大纵坡 0.5%, 最大横坡 3%。现浇梁高均为 3.5 m, 采用 C50 海工耐久性混凝土。

## 2 海域移动模架复合材料预压施工技术原理

移动模架现浇箱梁<sup>[1]</sup>在混凝土浇筑前, 利用砂袋的稳定精确性和水袋的高效灵活性, 模拟真实荷载, 通过分级加载/卸载过程, 消除结构非弹性变形, 在关键部位布置精密仪器, 精确测量弹性变形, 并据此科学设置预拱度抵消未来浇筑混凝土时模架产生的弹性变形和下挠, 最终确保模架安全可靠且浇筑出的梁体线形精准。其核心在于“以压代浇, 数据先行”。

### 2.1 移动模架结构

移动模架设计图如图 1 所示。

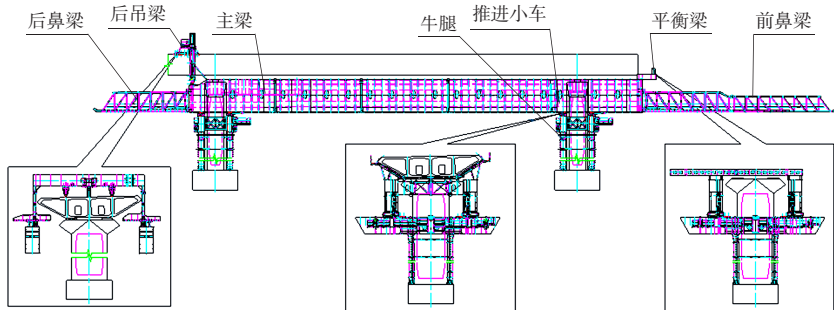


图 1 移动模架设计图

移动模架主要由主梁、前鼻梁、后鼻梁、牛腿、推进小车、横梁、后吊梁、平衡梁、内外模板及液压电气系统等组成。移动模架全长 123.3 m, 前后鼻梁为箱形桁架结构, 前鼻梁长 31.98 m, 后鼻梁长 15.68 m。主梁为钢箱梁, 长 75.68 m, 高 5.6 m, 宽 2.5 m。每部分都配有相应的液压或机械系统。

## 2.2 预压材料选择

经多方比选采用砂袋+水袋形式, 成本效益显著。砂袋作为稳定基底荷载, 可精准堆叠在关键区域(如支点、悬臂端), 弥补水袋在局部点位荷载精度上的不足, 避免风浪导致水袋移位, 中间铺设防水布, 水袋采用矮胖型设计(高径比小)并压于砂袋层之上, 可直接抽取海水完成数小时内荷载的施加, 大幅压缩预压周期, 如遇大风影响, 必要时用网格绳固定。通过这种复合材料分级堆载, 通过控制水泵启停, 轻松实现 50%→80%→100%→110%的分级加载, 同时二者对海洋环境影响极小, 卸载后海水可直接排出。监测方面, 海水密度(约 1.025 t/m<sup>3</sup>)稳定, 通过体积计算荷载误差<2%; 沙袋按堆叠数量计量, 辅助校核总重, 荷载精度可控, 变形测量干扰小; 相比重型设备(如千斤顶), 沙袋+水袋荷载无振动冲击, 确保变形监测数据(沉降、挠度)的准确性<sup>[1]</sup>。

## 3 施工工艺流程

### 3.1 施工准备

施工前对移动模架进行空载及加载试验。移动模架预压工艺流程如图 2 所示。综合考虑各种因素, 确定基准载荷。用沙袋+水袋模拟混凝土桥梁的重量分布, 模拟移动模架实际所承受的荷载<sup>[2]</sup>,

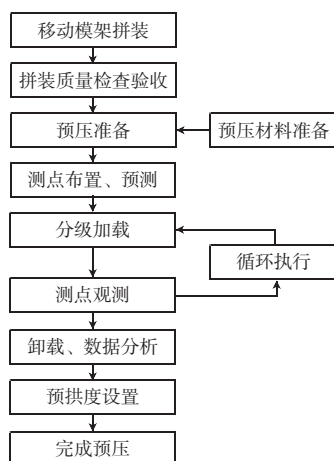


图 2 预压工艺流程图

观察移动模架的受力变形以及承载的安全性, 将变形数据与理论变形数据进行对比, 以确定移动模架的预拱度值。理论 110%最大预压重量为 3 466.94 t, 扣除盖梁部分预压重量, 现场实际 100%最大预压重量为 2 815.52 t; 现场实际 110%最大预压重量为 3 103.27 t, 共分 4 级加载。

海水由水泵泵送进水袋逐级加载, 水表计量。砂袋通过 60 t 履带吊按压载平面布置图进行叠放。配置测量员 1 名, 技术人员 2 人, 普工 4 名, 60 t 履带吊 1 台。

### 3.2 移动模架安装与调试

按照设计图纸和施工方案, 将移动模架的各个部件运输至施工现场, 在海上拼装平台进行组装, 预压前对移动模架进行全面检查, 如安装位置、模板中线、高程、构件间连接情况、安全自锁装置、液压系统以及预压施工人员就位情况等。

### 3.3 加载与监测

#### 3.3.1 空载试验

测量箱梁底模标高; 操作主梁竖直油缸, 使整个模架基本同步顶升, 观察竖直油缸的保压性能。在以上动作中, 同步检查电路、液压、设备部分是否正常, 并记录油压表的读数。

#### 3.3.2 加载试验

调整主梁 4 个支点 4 组液压缸的行程, 使主框架的四角处于同一标高位置, 再调整模板撑杆, 使模板处于浇筑状态位置。

沿着桥梁纵向布置 6 个监测断面<sup>[3]</sup>, 位置分别为 0L、1/4L、1/2L、3/4L、1L、7/6L(L 为梁长); 每个监测断面上设置 5 个观测点; 底板上布置 3 个, 侧模顶设置 2 个,

测量各测点的原始标高, 第一级按 50%基重加载, 第二级按 80%基重加载, 每 1 h 测量各测点的标高值, 持荷时间不小于 2 h; 第三级按 100%基重加载, 第四级按 110%基重加载, 每 1 h 测量各测点的标高值, 持荷时间不小于 6 h。静置 6 h 后, 再次测量各测点的标高值。卸载 6 h 后再次测量各测点的标高值。

#### 3.3.3 具体加载步骤

预压加载顺序按照纵桥向由两边向中间, 横桥向由中间向两边, 左右对称加载。

1) 预压材料规格: 砂袋长 1.1 m、宽 1.1 m、高 1.2 m, 单个重 1.7 t, 共 1 150 个。水袋有 2 种规格, 其中长 12 m、宽 5 m、高 3 m 的 10 个, 长

8 m、宽 6 m、高 3.5 m 的 2 个。

2) 预压原则: 第 1 层、第 2 层采用砂袋进行满铺。第 2 层砂袋上面放置水袋, 逐级加载, 通过水袋注水控制加载重量。海水密度取值  $1\ 025\ \text{kg/m}^3$ 。采用注水高度和流量计双控注水重量。

#### ①第一级: 50%基重

$W_{50\%}=1\ 414.4\ \text{t}$ , 其中一区砂袋 76 个; 二区砂袋 534 个; 三区砂袋 84 个; 四区砂袋 84 个; 五区砂袋 54 个。

#### ②第二级: 80%基重

$W_{80\%}=2\ 253.34\ \text{t}$ , 其中一区砂袋 84 个; 二区砂袋 817 个; 三区砂袋 84 个; 四区砂袋 84 个; 五区砂袋 60 个。将二区空隙砂袋补齐后开始布置水袋, 根据重量分布注水。其中一区水袋 1.04 m (64.06 t); 二区水袋 0.11 m (59.96 t); 三区水袋 1.37 m (84.56 t); 四区、五区组合水袋 1.28 m (125.46 t)。

#### ③第三级: 100%基重

$W_{100\%}=2\ 818.52\ \text{t}$ , 其中一区砂袋 84 个; 二区砂袋 817 个; 三区砂袋 84 个; 四区砂袋 84 个; 五区砂袋 60 个。一区水袋 1.04 m+0.84 m (115.82 t); 二区水袋 0.11 m+0.65 m (424.35 t); 三区水袋 1.37 m+0.92 m (140.93 t); 四、五区组合水袋 1.28 m+0.94 m (218.12 t)。

#### ④第四级: 110%基重

$W_{110\%}=3\ 103.27\ \text{t}$ , 其中一区砂袋 84 个; 二区砂袋 817 个; 三区砂袋 84 个; 四区砂袋 84 个; 五区砂袋 60 个。一区水袋 1.04 m+0.84 m+0.42 m (141.96 t); 二区水袋 0.11 m+0.65 m+0.34 m (608.85 t); 三区水袋 1.37 m+0.92 m+0.46 m (169.12 t); 四、五区组合水袋 1.28 m+0.94 m+0.47 m (264.04 t)。

### 3.4 卸载与数据整理

全部加载完成后持荷 6 h 且最后 2 次观测变形值之差小于 2 mm 时, 可认定变形稳定, 可以进行卸载。对模架的代表性区域预压监测过程中, 当不满足规定时, 查明原因后对模架进行处理, 处理后重新进行预压; 当预压加载达到设计要求

并经过一定时间的稳压监测后开始卸载。卸载过程同样采用分级卸载的方式, 按照与加载相反的顺序进行操作。卸载完成后, 对预压过程中采集的监测数据进行整理和分析, 计算移动模架的弹性变形和非弹性变形值, 绘制变形曲线和应力应变曲线。根据数据分析结果, 评估移动模架的承载能力和稳定性, 可为后续的桥梁施工提供技术依据。

### 4 预拱度调整

根据移动模架预压及两支座处的弹性变形值、梁体跨中及两支座处设计拱度、距离计算模架和梁体拱度二次抛物线方程, 通过计算模架和梁体的同一点的拱度差值设置模架预拱度。

1) 非弹性变形值=卸载后标高-初始标高;

2) 弹性变形值=卸载后标高-加载后标高 (110%);

3) 底模顶面标高=梁底设计标高+弹性变形的平均值。

### 5 结语

1) 本工程采用复合材料预压工艺相较传统工艺具有明显优势, 大幅度缩短预压工期和成本, 为以后相同或类似的陆上或全海域桥梁工程施工提供参考依据。

2) 复合式预压材料通过材料自身流动性弥补空隙, 能够较好地真实反馈浇筑混凝土时状态。

3) 本工程采用的复合材料通过耐腐蚀材料包装, 原材未有损坏, 对环保和周边海洋生态保护具有重要意义。

4) 本工程预压采用的复合材料能够满足施工精度要求, 施工简便, 加载总重量误差不大于 3%, 减少原材过载和摆放误差, 在类似工程中具有较强的参考价值。

### 参考文献:

- [1] Q/CCCC GL201—2016, 现浇混凝土梁移动模架施工技术规范[S].
- [2] JTG/T 3650—2020, 公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] 刘三友. MSS32-900 型移动模架堆载预压与预拱度设置[J]. 铁道标准设计, 2010(4):41-44.