

海工结构物顶升及运输方案智能设计研究

杨风艳¹ 于嘉骥¹ 田旺生¹ 宫晨¹ 阚卓²

1 海洋石油工程（青岛）有限公司，山东青岛，266520；

2 山东科技大学测绘与空间信息学院，山东青岛，266590；

摘要：现阶段海洋平台多采用分层预制、逐层总装流程搭建，顶升系统对海工结构物运输过程至关重要。但当前其布局及 SPMT 运输车位置选择依赖专家经验，效率低且稳定性不足。本研究提出基于智能算法的顶升和 SPMT 系统协同决策方法，构建结构片主次梁拓扑特征识别体系，结合三维空间解析与重心补偿模型，开发多目标优化算法及自适应运输定位系统。经结构片测试，该算法能高效生成安全方案，规避风险，提升精确性与可靠性，为海洋工程吊装智能化决策提供技术支撑。

关键词：海工结构物；顶升系统；自行式模块化平板车（SPMT）运输；起吊作业；智能设计；数字辅助技术

DOI：10.69979/3041-0673.25.09.025

引言

在现代海洋工程结构物^[1]建造中，吊装作业的高效与安全是行业核心关注点。顶升系统^[2]布设及结构片在作业车^[3]上位置精准确定，对工程部署极为关键。

顶升系统是结构片从低位升至高位的关键支撑，若顶升系统布局失当，吊片局部会承受过大压力，致使结构片变形损坏，严重威胁吊运稳定性。SPMT 运输车^[4]作为运输结构片的重要工具，放置位置关乎运输全程平衡^[5]，结构片与车的重心关系^[6]，位置失误易引发倾斜、滑落等危险。

国内外的吊装作业^[7]中，顶升系统布设和 SPMT 车位置选择多依赖经验判断^[8]，方案差异大、无统一流程、浪费人力物力^[9]，发达国家正探索的数字化技术也不成熟^[10]。

本文提出面向海洋工程吊装场景的先进算法。该算法以结构片主次梁深入分析，确定关键梁结构，用力学模型确定千斤顶、垫墩位置，综合多因素精准定位结构片在 SPMT 车上位置，为提升吊装作业质量、效率与安全性提供有力支撑。

2 数据

2.1 结构片数据

实验对所采用的一号结构片 SACS 模型及其 DXF 格式的 CAD 模型。

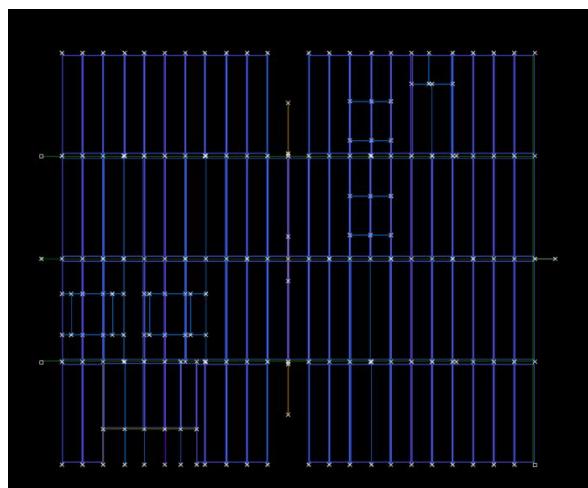


图 2-1 结构片模型 1 号

2.2 其他数据模型

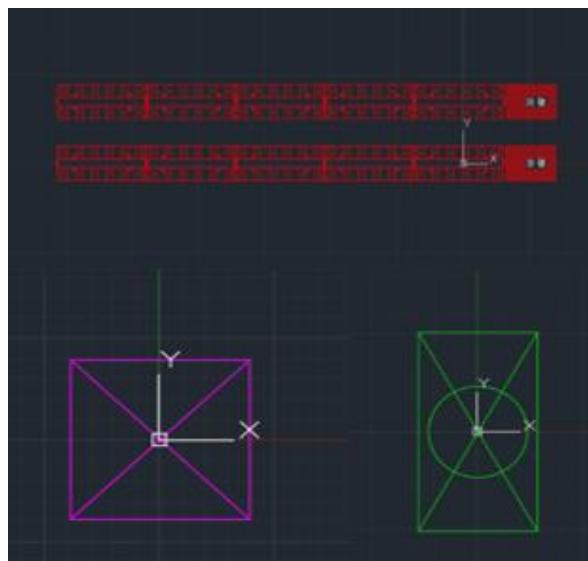


图 2-2 SPMT 模型、千斤顶模型及垫墩模型

3 方法

本文所涉及流程图如下：

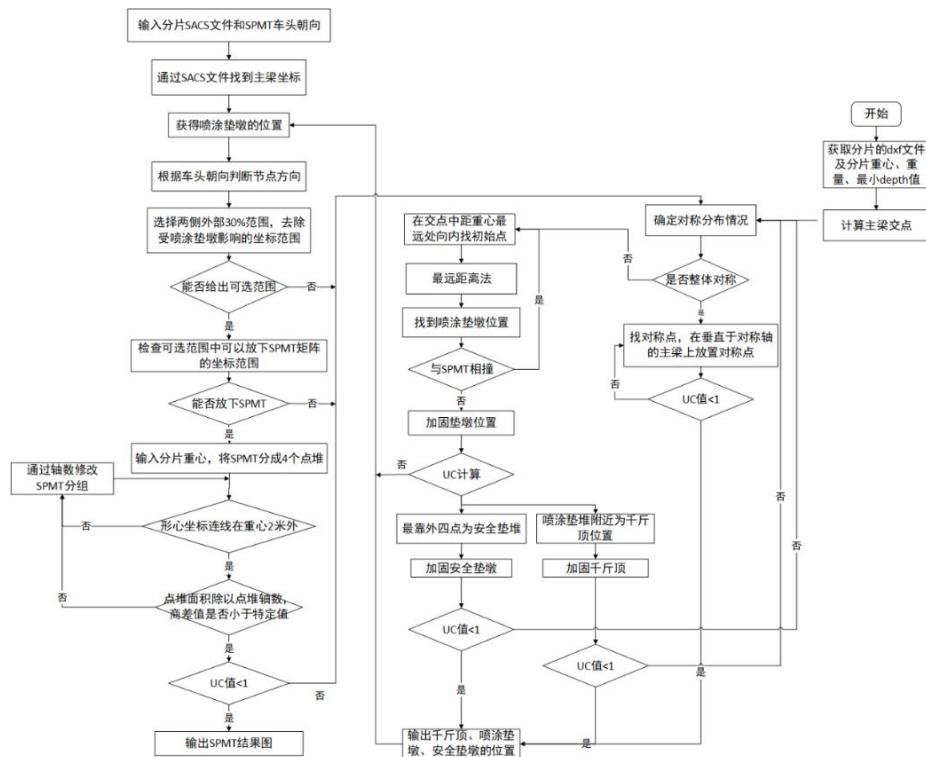


图 3-1 顶升系统、SPMT 位置选择流程图

3.1 千斤顶、垫墩位置选择

对于对称结构片，确定对称轴后在垂直主梁上生成对称点，经 UC 计算验证确定千斤顶和垫墩位置。非对称结构片先算重心，排序主梁交点，选出候选点，检查与 SPMT 投影区冲突情况，经两次 UC 验证通过后确定顶升位置。

3.2 结构片在 SPMT 运输车上安放位置确定

依据 SACS 文件提取主梁坐标与垫墩位置，并划定车体两侧 30% 范围，判断能否布置跨距小于 16 米的 SPMT 矩阵，满足则输入重心划分 SPMT 为 4 点堆，验证点堆形心与重心距离，不符就调轴数重验。通过后确保点堆面积与轴数比值差值小于 50bar，超限再调轴数循环，之后执行 UC 计算，以此保障安全性与可行性，规避风险。

4 实验

4.1 顶升系统布设实验

在完成结构片主、次梁交点选择以及确定千斤顶、垫墩位置选择算法的基础上，进行顶升系统布设实验，以确定最终适用于实际海洋工程结构物建造过程吊装作业的顶升系统方案。

4.1.1 实验过程

收集结构片主次梁分布、尺寸等数据，建立数据库，确定结构片整体情况后，进行极限承载力计算验证其能否承受顶升载荷，通过对后直接输出对称点作为千斤顶和垫墩位置。未通过则调整对称点间距后重新计算，若遍历所有情况仍无法找到合适的方案则输出警告。

4.1.2 实验结果呈现与验证

根据实验最终绘制的顶升系统布设图，效果图如下所示。

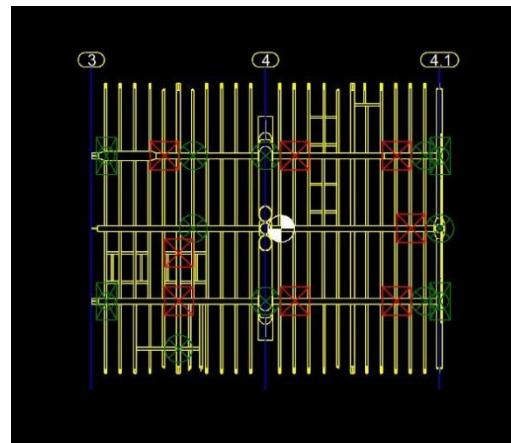


图 4-1 一号结构片顶升位置选择效果图(绿色为垫墩，红色为千斤顶)

最终方案经 SACS 验证，表明不同构件在顶升载荷

(CON工况)下的UC检查值和轴向应力通过测试，其中安全裕度最低且受力最大为H4组，其UC值为0.42，小于1且压应力水平较低，安全性较好。

4.2 SPMT位置布设实验

本实验围绕结构片在SPMT运输车上的位置布设展开，旨在全面评估基于算法确定的SPMT放置位置的准确性、算法稳定性以及对不同应用场景的适应性，为实际吊装作业提供可靠依据。

4.2.1 实验过程

加载结构片的尺寸、重心等几何信息与道路数据，输入SACS文件与车头朝向，提取主梁坐标，划定车体两侧30%范围，检查布置跨距小于16米SPMT矩阵的可行性，通过后执行UC计算，输出坐标等参数，确保布置安全可行。

4.2.3 实验结果分析与呈现

绘制SPMT位置布设图如下图所示。

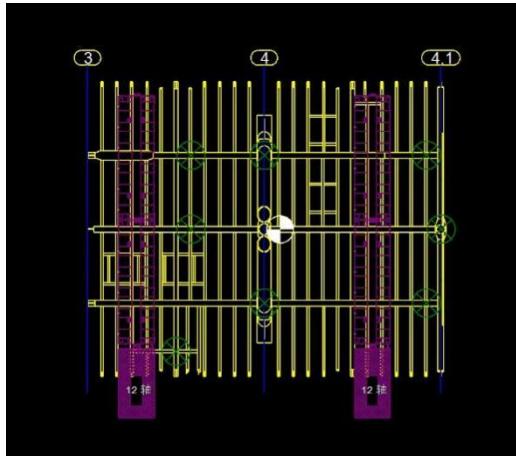


图4-2 一号结构片SPMT位置布设图(紫色为SPMT)

经验证，SPMT运输工况下各构件UC检查值和轴向应力均满足要求。其中H2组($UC=0.18$)和SP组($UC=0.19$)为关键受力构件，其UC值均小于1且压应力处于可控范围，结构安全性良好。

5 实验结果与结论分析

本研究针对海洋工程结构物吊装作业需求，创新提出智能化顶升布局与SPMT运输定位决策算法。算法构建基于主次梁拓扑识别体系，实现顶升系统动态配位，融合重心补偿技术开发运输定位系统。通过多因素耦合模型生成可行方案。经验证，该方法能自动适配不同吊

装结构生成SPMT方案和顶升布设方案，方案均通过SACS验证，可靠性得到保证。本研究解决了传统方案布置因人员差异带来的不稳定情况，为之后吊装结构物的运转决策提供支持，提升工程智能化方案生成的普适性。

参考文献

- [1]代晶,刘博,田亮,等.建筑工程地上主体钢结构吊装安全施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(20):163-165.
- [2]谢如辉,谢福金,张超前,等.液压千斤顶的工程应用及计量方法的研究[J].仪器仪表标准化与计量,2024,(06):31-33.
- [3]常宝琛,王希,陈晓东,等.基于SPMT模块车辆运输的研究[J].设备管理与维修,2024,(16):166-168. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2024.08D.56.
- [4]王晓凯,吴彬,张玲,等.基于SPMT双向布车的结构片顶升总装工艺[J].石油和化工设备,2024,27(06):33-35+25.
- [5]吴航,赵江达,潘继东,等.SPMT平板车在立式建造导管架装船过程中的应用[J].焊接技术,2022,51(02):64-67. DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2022.02.029.
- [6]樊巍巍,李荣遵.SPMT液压平板车在大件称重中的应用研究[J].起重运输机械,2015,(05):107-111.
- [7]张玲,耿建成,王晓凯,等.基于辅助框架的结构片立柱吊装工艺研究[J].石油和化工设备,2024,27(09):76-78.
- [8]张国荣,徐丰芹,孙松.船海工程大型模块建造预组装技术[J].船舶与海洋工程,2024,40(04):46-51. DOI:10.14056/j.cnki.naoe.2024.04.008.
- [9]. Hou W ,Liang S ,Zhang T , et al. Low-Carbon Emission Demolition of an Existing Urban Bridge Based on SPMT Technology and Full Procedure Monitoring [J]. Buildings, 2023, 13 (6):
- [10]. Kolosov A, Dolgova T, Skibina I, et al. Traffic control of self-propelled modular conveyors[J]. Transportation Research Procedia, 2022, 63: 1544-1555.