

埕岛油田某平台生活楼结构型式比选与经济效益分析

刘 阳(中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 本文通过结合埕岛油田海上平台生活楼不同的结构型式, 以埕岛油田某平台生活楼设计为典型实例, 从设计方案、计算分析、安全性、经济性等方面进行对比, 更好地实现生活楼的质量控制, 为今后埕岛油田生活楼结构设计提出有效可行的建议, 满足海上油田降本增效的要求。

关键词: 海上平台; 生活楼; 结构型式; 安全性; 经济性

1 埕岛油田现状

埕岛油田位于山东省东营市河口区北部渤海海域的2~18m水深的极浅海海域, 是我国在极浅海域开发的第一个大油田。从九十年代开始, 先后有17座平台设置了生活楼。

2 生活楼常用结构型式

目前海洋平台生活楼按结构型式分为两个大类, 模块单元式生活楼和整体式生活楼。

模块单元式生活楼就是每个舱室单独成块, 根据业主对生活楼功能的要求进行舱室模块拼装而组成。此类生活楼具有易组装、造价高的特点, 常用于海上在役平台的改造项目, 未在埕岛油田海洋平台得到应用。

整体式生活楼按结构型式分为梁柱式和板壳式两类, 这两类结构型式的生活楼各有优劣。

梁柱式生活楼广泛应用于埕岛海域等全海域的海洋平台, 梁柱式生活楼平立面采用H型钢或钢管作为主框架、墙壁采用普通或波纹钢板的结构。

板壳式整体生活楼的结构主要由甲板、T型材、角钢及圆管等组成, 板壳式结构的优点在于钢围壁(墙体)和甲板参与生活楼框架的整体强度计算。板壳式整体生活楼的建造形式可采用分层或分块建造及吊装方式。该结构型式暂无应用于埕岛油田的实例。

考虑传统做法、应用情况、施工机具等因素, 本文针对梁柱式结构, 以埕岛油田某平台生活楼设计为典型实例, 从设计方案、计算分析、安全性、经济性等方面进行结构型式的比选分析。

3 方案设计

3.1 设计参数

平台顶层甲板拟新建生活楼一座, 设计人员定额60人, 每层甲板主尺寸(长×宽)为24.5m×11m(轴线尺寸), 共三层。一层甲板底部设管线夹层, 夹层底部设支撑框架。生活楼内采用单通道布置。每层甲板设休息平台、斜梯等附属构件。

3.2 结构型式

本文采用梁柱式生活楼的两种结构型式开展对比分析。

方案一: 结构型式采用H型钢为主框架的梁柱式结构。一层房间高度为3.5m, 二层房间高度为3.5m, 三层房间高度为3.5m, 一层甲板下设支撑甲板, 支撑甲板梁顶与一层甲板梁顶间距0.9m, 其余各层梁顶间距为3.5m。

主梁采用热轧H型钢HM300, 次梁采用热轧H型钢HN200, 立柱采用焊接H型钢H400和热轧H型钢HN200, 上铺设6mm钢板, 钢板下采用角钢L125×80×8作为加强肋。生活楼外壁采用6mm厚钢板, 并用热轧角钢L75×50×6进行加强, 内壁采用4mm厚钢板, 并用热轧角钢L75×50×6进行加强。

生活楼为独立结构, 安装时通过吊装就位。

方案二: 结构型式采用圆管和H型钢为主框架、墙板采用波纹板的梁柱式结构。一层甲板下设支撑甲板, 支撑甲板梁顶与一层甲板梁顶间距0.7m, 其余各层梁顶间距为3.5m。

支撑甲板梁格采用H型钢H600, 甲板主梁采用H型钢H500或H600, 次梁采用H型钢HM300, 上铺设6mm钢板, 钢板下采用角钢L100×80×8作为加强肋。

生活模块主立柱采用Φ508×22, 顶部变径为Φ610×25。次立柱采用钢管Φ325×14、Φ273×13, 斜撑采用钢管Φ273×13。

生活楼为独立结构, 安装时通过吊装就位。

4 建模分析

本文使用SACS程序对两个方案的生活楼结构进行模型建立、整体分析和杆件的应力校核, SACS程序是专用于海洋结构工程的静动力结构分析系统。

4.1 设计数据与假设

①环境条件: a. 风况, 强风向: NW—NNW和

NNE—ENE 两个方向范围；常风向：S. b. 风速 (m/s)，设计取 100 年重现期，时距为一分钟的设计风速用于局部构件基本风压计算，时距为十分钟的设计风速用于结构总体基本风压计算。

②偶然因素：对于结构的分析与验证，考虑偶然性系数并加到结构干重上，结构（主要）考虑 15% 的系数，附属构件、工艺、消防、电力、通信、舾装、自控、暖通、防腐等考虑 5% 的系数，管道考虑 10% 的系数。

在 SACS 模型中，考虑 15% 的偶然性系数来改变钢材密度，其中 10% 用于加固节点，5% 用于不确定的框架构件。所有的重量均乘以相关系数，系数由相关专业提供。

4.2 结构模型建立

①概述：在位期间生成的 3D 模型如下所示。

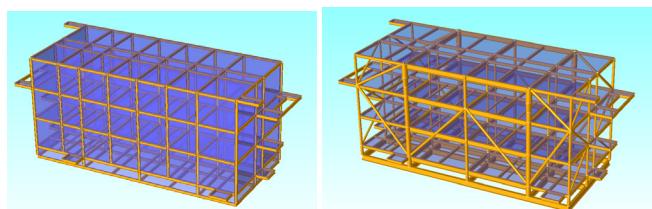


图 4.2-2 方案一和方案二 三维模型图

②杆件长细比：所有的主结构框架应符合下列规定：主要结构构件的长细比应限制为 120（压缩）和 200（拉伸）。

③主体结构：所有分析均使用的是三维空间框架结构模型。所有的主要结构构件和次要钢构件都在几何数值模型中表示。节点视为刚性节点，每个杆件两端均为刚性连接。有效构件长度 L 取为向构件提供有效支撑的支架或支撑杆件的工作点之间的距离。结构模型需要包括支撑之间 75mm 的杆件偏移。支撑需建立在弦杆所在平面内，建立模型时也要表示出梁的偏移。所有甲板在结构模型中均模拟为板单元。在役中及服役前的结构模型相似。

④附属构件：结构中的附属构件（斜梯、栏杆等）在模型中表示为杆件荷载或者节点荷载。

4.3 施加荷载

①重力荷载：荷载工况 DED 表示的是结构的恒荷载，即生活楼结构在空中的自重。结构恒荷载由 SACS 软件自动生成。考虑 15% 的偶然性系数，生活楼结构的构件密度均乘以 1.15，生活楼结构的结构自重为 281.0t。

②舾装荷载为 282.4t。

③活荷载：操作工况下的甲板活荷载分布于内部和外部走道、地板和无设备区。活荷载总计 110.56t。

④机械设备荷载：模型中生活楼的机械设备、舾装、管道等设备的干重和最大操作重由相关专业提供。本文设备荷载干重总计 24t，最大操作重总计 43t。

⑤环境荷载：风力的计算考虑了屏蔽、形状系数和风速随高度的变化。考虑了风荷载的操作风速和极端风速。风速剖面和风压由 SACS 程序自动计算。

甲板结构上的风荷载计算应考虑甲板风投影面积、区域中心及其分布节点数（应用 SACS 计算的风力）。

4.4 吊装分析

①吊装模型：吊装模型除了边界条件外与装船模型相同。同时在吊装模型中增加吊缆模型，吊缆是只承受拉力的构件。

②边界条件：生活楼底部采用了弹簧模型，以提供水平约束，避免刚体运动。

③吊装模型：两个方案的吊装模型如下。

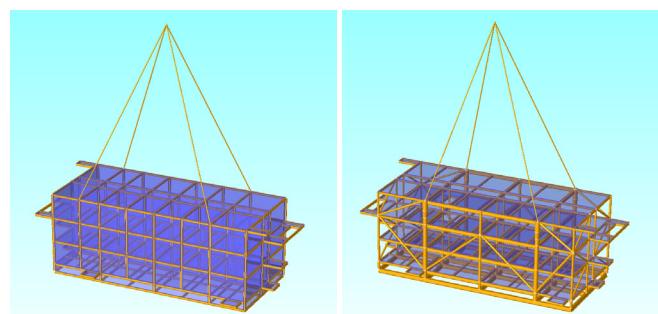


图 4.4-2 方案一生活楼结构吊装模型

方案二的生活楼梁格跨度比较大，为了减小杆件的位移，底部采用了 50.0kN/m 的弹簧模型，其余边界条件同方案一相同。

④分析和设计方法：在结构总体分析中按照空间三维结构进行模拟，导管架及缆绳模拟成空间刚架，在总体分析中采用一个整体模型，导管架在吊装时采用 4 点吊，吊缆与水平夹角不小于 60°。与吊点直接连接的传力构件最小荷载系数设计为 2.0，其他构件与节点的最小荷载系数为 1.35。

⑤应力校核：校核所有杆件与节点是否符合 GD 30-2022 和 AISC 规范的要求。吊装分析不考虑基本许用应力的增加。

⑥结果汇总：吊装计算结果汇总如下。

a. 杆件应力校核：两个方案的应力比结果大于 0.5 的杆件如下图所示。

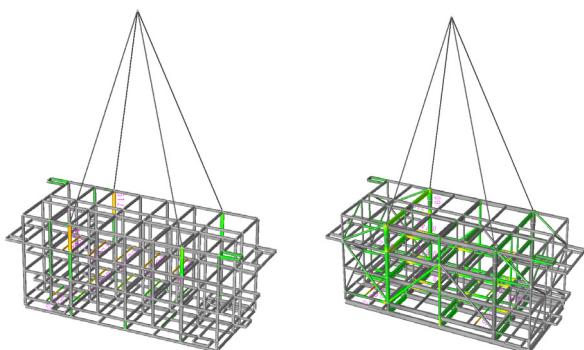


图 4.4-3 应力比大于 0.5 的杆件对比图

由结果可知, 吊装工况下, 方案二结构型式应力比结果大于 0.5 的杆件要多于方案一。

b. 结构变形: 方案一各种组合工况下最大变形为 13.4cm, 方案二各种组合工况下最大变形为 23.9cm。

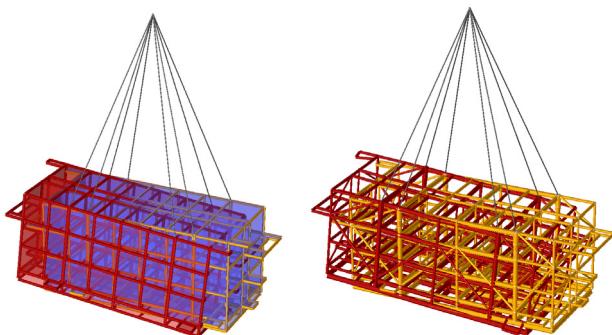


图 4.4-4 结构变形对比图

4.5 小结

①两个方案生活楼的所有结构杆件尺寸均能够承受静力状态下所有可能会产生的力, 满足规范要求。②方案二的结构重量要大于方案一。③方案二结构应力比结果大于 0.5 的杆件数量要多于方案一。④各种组合工况下, 方案二的结构变形要大于方案一。

5 经济效益分析

在埕岛油田某平台生活楼的建设中, 结构型式的选择对经济效益有着深远影响。以下是对不同结构型式的经济效益分析:

①钢结构: 钢结构具有强度高、重量轻的特点, 在海上平台空间有限、承载能力要求高的情况下优势明显。从建设成本来看, 虽然钢材价格相对较高, 初始投资较大, 但钢结构施工速度快, 能有效缩短工期, 减少海上作业时间成本。同时, 其使用寿命长, 可达到 50 年甚至更久, 长期来看分摊到每年的成本较低。在维护方面, 钢结构耐腐蚀性能较好, 经过合理的防腐处理后, 维护成本相对较低, 能有效减少因维修导致的停工损失。

②钢筋混凝土结构: 钢筋混凝土结构的材料成本相对较低, 在一定程度上降低了初始投资。然而, 其自重大, 对海上平台的基础承载能力要求更高, 可能需要额外增加基础建设成本。施工过程中, 混凝土浇筑等工序较为复杂, 工期较长, 会增加人工成本和海上作业费用。而且, 在海洋环境下, 钢筋混凝土结构易受到海水侵蚀, 维护成本较高, 维修周期相对较短, 长期维护费用的累积会对经济效益产生不利影响。

③模块化结构: 模块化结构是将生活楼的各个功能模块在陆地工厂预制完成, 再运输到海上平台进行组装。这种结构型式施工周期短, 能大幅降低海上作业时间和成本。同时, 工厂化预制可保证施工质量, 减少后期维修成本。虽然模块的预制和运输可能会增加一定成本, 但综合考虑建设周期、维护成本和使用效果, 模块化结构在长期运行中具有较好的经济效益, 尤其适用于对工期要求紧迫的项目。

综合比较, 不同结构型式各有优劣, 在选择时需综合考虑项目的具体需求、预算以及长期运营规划, 以实现经济效益最大化。

6 结论

通过上述的研究, 针对胜利海上埕岛油田某平台生活楼结构型式比选形成如下认识, 为今后埕岛油田生活楼结构设计提出了有效可行的建议。

①从安全性来说, 在各种组合工况下, 杆件应力比、结构变形等方面结果可知, 方案一采用 H 型钢为主框架的梁柱式结构整体受力情况要优于方案二采用圆管和 H 型钢为主框架、墙板采用波纹板的梁柱式结构。

②从经济性来说, 方案一采用 H 型钢为主框架的梁柱式结构重量轻, 钢材类型较少, 优于方案二采用圆管和 H 型钢为主框架、墙板采用波纹板的梁柱式结构。更好地实现生活楼的质量控制, 满足海上油田降本增效的要求。

参考文献:

- [1] 袁行伟, 李拓夷, 郭术彪, 任志巍. 张力腿平台轻型生活楼方案 [J]. 海洋工程装备与技术, 2016, 03:189-195
- [2] 中国船级社. 渤海海域钢质固定平台结构设计技术指南 2023[S]. 2023
- [3] AISC. Specification for Structural Steel Buildings. 1989.

作者简介:

刘阳 (1991-), 男, 山东聊城, 大学本科, 工程师, 从事海洋工程结构工作。