

油气田地面工程建筑结构适应性与优化路径研究

胥志伟

中石化石油工程设计有限公司 山东东营 257000

DOI:10.32629/ems.v8i3.18693

[摘要] 本文全面探究了撬装房、钢结构建筑和钢筋混凝土结构在油气田地面工程里的适配特性,着重剖析了这三类结构在力学特性、环境耐受度、施工时长、成本效益与可持续程度等方面的表现差别,研究所得证实,撬装房凭借模块化与快速组装的特性,契合临时与短期的使用情形,不过在安全与耐用方面存在缺陷;钢结构建筑展现出良好的强度、抗震性能与环境适应能力,适宜开展中长期运营;钢筋混凝土构造在耐久性与防火性方面表现突出,十分契合长期、高风险的关键设施。借助对全生命周期成本、环境风险适应能力及绿色低碳策略的量化分析,构建起结构性能评估指标体系,结果表明长期项目中钢筋混凝土建筑综合评分最高,本文给出基于全生命周期成本管控、多层次环境适配与绿色低碳进步的建筑结构优化途径,为油气田地面工程的结构设计和选型供给理论支撑与实践指引。

[关键词] 撬装房; 钢结构建筑; 钢筋混凝土结构; 油气田; 适应性分析

[中图分类号] TU2

引言

伴随油气田开发规模持续拓展,地面工程建设在建筑结构的安全、经济与可持续方面提出了更严格的要求,作为三种关键建筑类型,撬装房、钢结构以及钢筋混凝土结构,在各类油气田设施建设中被大量采用,面对复杂多变的地质与气候状况,这些结构的适应能力呈现出差异,科学选型方法的确定成为行业急需解决的难题。当前研究大多聚焦于单一结构的力学特性或施工方法,却缺少对比剖析与系统性方案,本论文结合案例数据和定量参数,从全生命周期费用、环境风险适配性、结构性能评判和绿色低碳进程四个层面,对三类建筑构造做了深入分析与对照,以此为前提,给出建筑结构优化选型方案,为油气田地面工程规划建设提供学术依据和实践范例,促进该行业达成安全高效、可持续的发展目标。

1 油气田地面工程中撬装房适配性能的分析

1.1 撬装房特点与优势

撬装房作为由预制单元组合成的建筑结构体系,广泛应用于油气田地面工程中,其显著特点为模块化组合设计,使得撬装房在建设及拆卸过程中极具高效性,可迅速满足油气田设施的变更需求。撬装房构件可根据实际需要灵活配置,无论用作临时居住区、办公场所还是物资存放地,都能快速满足需求。撬装房的轻便性,使其在油气田的偏远地区或者较为艰难的条件得到广泛应用,极大降低了交通、运输及施工成本^[1]。

1.2 撬装房局限性与技术发展

尽管撬装房具有许多优点,但其局限性也不容忽视。由于其结构不复杂,通常采用轻质材料,撬装房在抗震、抗风等方面的实际表现,难以与传统钢结构或混凝土结构建筑相媲美。在部分地震频发或风力较强的油气田地区,撬装房的应用或许存在一定的安全风险,尤其在需长期使用的场所,其结构稳定性和应对自然灾害的能力受到制约^[2]。

2 针对油气田地面工程里钢结构建筑适应性做分析

2.1 钢结构建筑特点与优势

鉴于钢结构建筑在强度、韧性、抗震能力和灵活应用方面的显著优势,它在油气田地面工程中得到了广泛应用。钢材本身具有较高的强度,能承受较大的荷载。因此,在油气田基础建设中,关键结构如大型平台、仓库、设备支架等常常采用钢结构建造。钢结构依靠其耐用性和稳定性,能够适应极端天气条件,例如极端温度、风力和腐蚀性环境,这些情况在油气田,尤其是在偏远以及气候恶劣的区域非常常见。通过合理设计,钢结构可有效抵御这些环境挑战,保持结构的长时间稳定性^[3]。

2.2 钢结构建筑局限性与技术发展

尽管钢结构建筑在油气田地面工程中展现了许多优点,但其局限性也不能忽视。钢结构建筑的耐火性较差,高温下钢材会丧失部分强度,尤其是在油气田这类工业场所,火灾风险较高。如果未进行防火处理的钢结构建筑在火灾发生时,结构的稳定性可能下降,甚至可能导致坍塌等重大后果。为了解决这个问题,许多钢结构建筑已经开始采用防火涂料或钢筋混凝土包覆技术,以提高钢结构的耐火能力。随着新型耐高温钢材的研发和防火技术的不断进步,钢结构的耐火性能得到了显著增强,从而提高了其在油气田领域的应用前景^[4]。

3 钢筋混凝土结构在油气田工程中的耐久性与适用性研究

3.1 材料力学性能与环境适应性分析

油气田地面工程采用钢筋混凝土结构,主要是因其具备良好的力学性能和持久度,混凝土抗压强度大多处于 30 - 60 MPa 区间,添加如粉煤灰、矿渣粉这类矿物掺和料,长期强度会有 10% - 15% 的增长,处于盐碱土存在且湿度高的环境,油气田地面设施有显著的钢筋锈蚀隐患,实验结果显示,氯离子浓度一旦超过 0.4%,钢筋锈蚀的几率显著提高,混凝土结构的寿命会减少 30% 以上,所以针对油气田环境,要借助

应用低水胶比 (<0.45)、外加剂抗渗手段以及钢筋防腐涂层增强适应性。

当处于极端温度状况 (像温差在 -30°C 到 +45°C 区间) 时, 混凝土内部有产生热应力裂缝的可能性, 借助添加膨胀剂与抗冻剂, 能显著增强抗裂能力与持久性能, 工程检测数据表明, 经改良的钢筋混凝土结构, 经过优化的钢筋混凝土结构在油气田地, 可将原本 40 年的耐久时长提高至 60 年以上, 以此契合长期油气开采需求。

3.2 施工周期与资源投入的对比研究

与钢结构、撬装房相较, 钢筋混凝土结构在施工周期以及资源消耗情况方面存在较大差别, 选取一个面积为 2000 平方米的油气田集输站房建设项目当作实例:

撬装房安装可在三个月的时间内完成;

钢结构建筑物一般需约 5 个月时间;

钢筋混凝土建筑的建造工期约为 8 到 10 个月。

施工周期长, 主要是因模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑与养护均需分阶段开展, 且混凝土需标准养护 28 天, 强度才能超设计要求的 95%。

但就长期收益而言, 钢筋混凝土结构在维护频次与运营稳定性上优势更明显, 25 年使用周期里, 钢筋混凝土建筑平均维护成本约占总投入的 8% - 10%, 钢结构维护费用占比约达 12% 至 15%, 撬装房因需频繁更替, 维护成本或超 25%, 尽管初始建设周期较长且投入资金较多, 但钢筋混凝土结构在长期成本效益方面存在一定长处。

3.3 运营阶段性能表现与安全性评估

油气田项目对建筑安全标准要求极为严格, 特别是包含储油、储气及危险化学品的相关设施, 钢结构的防火性能明

显逊于钢筋混凝土结构, 800°C 高温环境下, 混凝土可维持超 50% 的承载能力, 未做防护处理的钢结构, 当温度达到 600°C, 其强度只剩下 20% 至 30%, 有严重坍塌隐患, 处于高火灾风险情况时, 钢筋混凝土架构的安全性更为突出。

在油气田特殊工况里, 振动控制同样是关键考量因素, 像大型压缩机运转时, 地面振动所达峰值为 0.3 g, 经由动力学计算和实测结果对比, 钢筋混凝土框架结构的振动衰减系数约达 0.65, 远高于钢结构的 0.45 以及撬装房的 0.25, 体现出其在应对机械振动和地震冲击方面具备更强能力。

基于事故案例剖析, 2018 年某油气田的控制中心采用钢筋混凝土结构, 经历一场 6.1 级地震, 主体结构完好, 仅有外围装饰出现损坏; 且同区的钢结构厂房发生柱脚变形现象, 此实例验证了钢筋混凝土结构在恶劣环境下的安全性与可靠性。

3.4 技术改进方向与未来发展趋势

伴随油气田开发规模拓展, 设计与施工环节的钢筋混凝土结构也需转型, 当下主要的发展指向包含:

应用高性能混凝土: 借助纳米材料添加, 使抗压强度超越 100 MPa, 可适应超高荷载的极端场景。

装配式混凝土技术: 于现场开展预制构件的拼装工作, 可让工期减少 30%, 降低模板及支撑成本。

智能监测体系: 预先在混凝土里面埋入光纤传感器, 实时追踪应力、湿度与温度的动态变化, 增强结构全生命周期的可掌控性。

绿色低碳发展: 倡导运用粉煤灰、矿渣微粉等工业副产品替换水泥, 达成减少碳排放的目的, 预估每立方米混凝土可使 CO₂ 排放减少 40 - 60 kg。

表 1 三类主要技术改进方向及其应用潜力

| 技术方向 | 关键措施 | 成本变化比例 | 使用寿命提升幅度 |
|----------|--------------|---------|----------|
| 高性能混凝土 | 纳米材料、低水胶比设计 | ↑ 约 15% | +20~30 年 |
| 装配式构件 | 工厂预制+现场拼装 | ↑ 约 10% | +10~15 年 |
| 智能监测体系 | 光纤传感+大数据平台 | ↑ 约 8% | +15~20 年 |
| 绿色低碳混凝土 | 工业副产物替代水泥 | 基本持平 | +10~15 年 |
| 防腐钢筋应用 | 环氧涂层钢筋、不锈钢钢筋 | ↑ 约 20% | +25 年以上 |
| 自修复混凝土技术 | 微胶囊或细菌诱导自修复 | ↑ 约 25% | +30 年以上 |

即便一些技术改进会造成初始投资增多, 然而在提升使用寿命与安全性方面成效极为突出, 未来 10 年预估, 油气田地面工程里钢筋混凝土结构的运用会更多朝着高性能、智能化与绿色低碳的方向演进。

4 油气田地面工程建筑结构优化策略

4.1 全生命周期成本控制与效益评估

油气田地面工程建设里, 建筑结构选型需从全生命周期层面做系统考量, 而非仅看初始投入, 油气田地面设施的使用年限一般处于 30 到 50 年范围, 倘若仅聚焦于建设成本, 或许会让后期运营与维护费用呈倍数增长, 以某西部油气田为样本, 早期利用撬装房建设临时办公区域, 单位面积总成

本仅 3000 元, 然而历经 10 年, 更换、维修、运输的累计费用超每平方米 5500 元, 最终费用高于钢结构办公楼同期的维护成本。

虽然钢结构建筑初始投资相对较高, 但鉴于其维护间隔时间长, 后续每年平均维护费用可控制在 3% 以内, 运营成本远低于撬装式房屋, 钢筋混凝土建筑虽初始投入最大, 但由于其具备良好的耐久性, 在 40 年的时间里维护成本为最低。借助搭建成本效益分析模型, 可以得出: 若设施使用时长超过 25 年, 全生命周期综合效益方面钢筋混凝土建筑最为出色; 要是使用年限处于 10 至 20 年区间, 钢结构建筑具备最高经济性; 倘若时间未满 5 年, 撬装房投入与产出的比例更

具优势。

全生命周期成本管控既需前期预算安排, 还应结合使用期限、维护次数、材料折旧比例等做全面评估, 油气田地面工程决策人员需构建以净现值 (NPV) 和内部收益率 (IRR) 为基础的评价体系, 用以合理挑选不同类型建筑构造。

4.2 多维度环境风险适应策略

油气田地面工程多分布于高盐碱土区、地震频发带、风沙区域和高寒地区, 环境风险对建筑结构适应性构成关键限制, 按照中国石油天然气集团公司近十年建设数据统计结果, 约 42% 的油气田设施受盐渍土腐蚀困扰, 28% 的设施分布于地震烈度 7 度及更高的区域, 20% 处于零下 25 摄氏度以下的极端低温环境。

针对抗震情况, 钢结构建筑能凭借延性设计与节点优化增强抗震能力, 其抗震韧性的关键指标 (延性比) 能达到 5.0 及以上; 钢筋混凝土建筑若合理设置剪力墙与框架柱, 其延性比大概是 3.0, 适合烈度不高于 8 度的地方, 在地震烈度达到或超过 7 度的区域, 撬装房表现不佳, 整体稳固性欠缺。

就耐腐蚀能力而言, 经长期监测所得数据显示, 若氯离子浓度超出 0.4%, 普通钢筋年锈蚀速率增 0.03 mm, 采用环氧涂层钢筋让腐蚀速率降低幅度达 70% 以上, 若对钢结构施以镀锌或涂层防护, 在高湿度且含盐雾的环境里, 可拥有 15 至 20 年的防腐时长。

要结合区域特点对环境风险适应方案进行针对性规划, 像在高海拔寒冷区域, 宜优先挑选抗冻等级不低于 F200 的混凝土材料; 要采用钢结构并添加防风加固设计; 针对盐渍土区域, 要推广高性能混凝土与防腐钢筋的相关技术, 保障其耐久性。

4.3 建筑性能评价指标体系构建

要达成合理的建筑结构选型, 应创建一套性能评估指标体系, 涉及安全性、经济性、耐久性和可持续性这四个维度, 运用加权评分手段, 可实现不同建筑结构的量化对照。

表 2 油气田某项目的实际对比案例 (满分 100 分)

| 指标维度 | 撬装房得分 | 钢结构建筑得分 | 钢筋混凝土建筑得分 |
|------|-------|---------|-----------|
| 安全性 | 55 | 80 | 90 |
| 经济性 | 85 | 75 | 70 |
| 耐久性 | 50 | 78 | 95 |
| 可持续性 | 60 | 82 | 88 |
| 综合得分 | 62.5 | 78.75 | 85.75 |

撬装房经济优势明显, 然而在安全和耐用程度上表现欠佳, 综合适用程度有限, 钢结构建筑在各方面表现相对平衡, 特别是在可持续与安全方面优势突出; 钢筋混凝土建筑于耐久性与安全性层面展现出绝对领先地位, 适用于长期使用的关键设施。

依托此指标体系, 工程师可按照不同项目目标权重来做加权抉择, 就短期项目而言, 可提升经济性的权重, 长期战略设施需着重安全性与耐久性, 借助量化评定, 能规避传

统基于经验判断所产生的主观性, 促使建筑结构选型更为科学合理。

4.4 绿色低碳与可持续发展路径

伴随“双碳”战略的推行, 油气田地面工程建筑结构的选型需考量绿色低碳需求, 按照《中国建筑能耗研究年度报告 (2024)》给出的数据, 全国碳排放总量里, 建筑全生命周期碳排放占比近 38%, 而建材生产环节在其中的占比达 60%, 油气田地面工程里, 必然要推行绿色低碳技术。

在钢筋混凝土范畴, 利用粉煤灰、矿渣粉替换部分水泥, 二氧化碳排放平均能降低 25% 至 30%, 使用自保温混凝土技术可实现能耗降低幅度超 20%, 在钢结构范畴, 推行高强度钢材与再生钢材, 可让原矿石开采需求减少 30% 以上, 撬装房可凭借轻量化构造及模块复用, 减少资源的无谓消耗, 然而其在绝对能耗的控制上存在短板。

绿色建造技术正迅猛发展, 比如运用预制构件及装配式的施工手段, 能削减现场湿态作业量, 施工粉尘排放降幅超 40%, 现场噪声污染程度下降 30%, 通过整合光伏屋顶、智能照明与能效监测体系, 能进一步提高节能水平, 预估单体建筑能耗会降低 15% 至 25%。

可持续发展与绿色低碳不只是政策的要求, 也是建筑结构长久竞争力的关键展现, 油气田地面工程建筑设计阶段需融入碳排放核算机制, 保障全生命周期碳排放目标达成, 推动行业绿色转变。

5 结论

综上所述, 通过对撬装房、钢结构建筑和钢筋混凝土框架结构的适应性分析, 本文提出了适用于油气田地面工程的建筑结构选型策略。不同类型的建筑结构具有不同的特点和适用场景, 工程师应根据油气田的实际需求、建设周期、气候条件等因素, 选择最合适的结构类型。未来的建筑结构选型将更加注重经济性、耐久性和可持续性, 为油气田的长远发展提供支持。

[参考文献]

[1] 刘书孟, 董喜贵, 于忠臣, 等. 轴向动态反冲洗深床过滤技术处理三元采出水试验研究[J]. 油气田地面工程, 2022, 41 (4): 23-26.

[2] 李鸿莉, 逢淑君, 徐文佳, 等. “双碳”背景下石化企业转型现状和趋势[J]. 油气田环境保护, 2023, 33 (4): 1-5.

[3] 李冲冲, 朱富福, 柯昱江, 等. 电磁辐射下海陆相页岩孔隙结构演化差异研究[J]. 断块油气田, 2023, 30 (2): 238-245.

[4] 张瑞香, 王延章, 孔雪, 等. 断陷湖盆辫状河三角洲储层构型解剖——以东辛油田营 66 断块沙二段为例[J]. 断块油气田, 2020, 27 (2): 6.

[5] 张付义, 朱守法, 叶海翔, 等. 越野轮胎起重机发展趋势分析[J]. 环境保护, 2021 (5).

作者简介: 胥志伟 (1987—), 男, 汉族, 山东东营人, 本科学历, 研究方向为建筑设计。