 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10268

Research on Construction Engineering Design Optimization and Full Life Cycle Cost Control for Gas Station Projects

Yinxue Wang

Harbin Tianyuan Petrochemical Engineering Design Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150000, China

Abstract

Against the backdrop of land use constraints and safety/environmental requirements, refined oil retail systems have led to gas station construction projects characterized by structural complexity, significant load variations, and multi-disciplinary collaborative construction. Traditional non-standardized design approaches and extensive construction methods struggle to meet the dual requirements of engineering quality and cost control. This study focuses on gas station construction projects, systematically analyzing structural safety design, functional zoning construction practices, and application pathways for new building materials through three technical dimensions: engineering design optimization, standardized construction, and modular construction. Key engineering technologies introduced include prefabricated components, light steel structure systems, and composite waterproofing materials. A collaborative control mechanism is established between design and construction phases, while a lifecycle-based cost equilibrium management approach is developed to achieve comprehensive optimization of engineering quality, construction efficiency, and operational costs. The research provides actionable engineering solutions for implementing gas station construction technologies.

Keywords

gas station; architectural engineering design; standardized construction; modular construction; lifecycle cost control

加油站建筑工程设计优化与全生命周期成本控制研究

王银雪

哈尔滨天源石化工程设计有限责任公司，中国 · 黑龙江 哈尔滨 150000

摘　要

成品油零售体系在用地约束与安全环保要求叠加背景下，加油站建筑工程呈现结构复杂、荷载差异显著与多专业协同施工特征，传统非标准化设计与粗放施工方式难以满足工程质量与成本协同控制要求。本文以加油站建筑工程为对象，围绕工程设计优化、标准化建造与模块化施工三大技术维度，系统分析结构安全设计、功能分区构造做法及新型建材应用路径，重点引入装配式构件、轻钢结构体系及复合防渗材料等工程技术，构建设计阶段与施工阶段协同控制机制，并从全生命周期视角建立成本均衡管控路径，实现工程质量、施工效率与运维成本的综合优化，为加油站建筑工程技术实施提供可操作的工程化方案。

关键词

加油站；建筑工程设计；标准化建造；模块化施工；全生命周期成本控制

1 引言

加油站建筑工程属于典型的高安全等级基础设施工程，涉及防火、防爆、防渗等多重安全控制要求，同时承受频繁重载车辆作用，对路面结构与基础承载能力提出较高标准。工程建设过程中涵盖土建结构、工艺设备、电气系统及环保设施等多专业协同，设计与施工复杂程度较高。现阶段部分加油站工程仍存在非标准化设计比例高、构造做法不统一、施工组织效率偏低等问题，导致工程周期延长与资源利用效率下降；同时，结构耐久性与材料选型不合理也易引发后期维护频率增加，推高全生命周期成本。在安全规范与用地约束持续强化的背景下，如何通过工程设计优化、标准化建造与施工技术提升，实现结构安全、施工效率与成本控制的协同提升，成为加油站建筑工程技术研究的重要方向。

2 加油站建筑工程设计的工程约束与技术实现路径

2.1 工程设计约束条件分析

加油站建筑工程设计需以运行工况与使用强度为基础，将实际使用条件转化为可量化的工程参数。交通流量直接影响站内道路宽度与通行能力，车道宽度一般控制在 3.5 ~ 4.5m 范围，转弯半径依据车型组合确定，小型车辆不低于 6m，重型车辆区域宜达到 12m 以上，以保证通行安全

【作者简介】王银雪（1988–），女，中国黑龙江人，本科，工程师，从事建筑工程、建筑设计研究。

与效率 [1]。车辆类型差异对路面结构设计形成约束，小型车区域面层厚度不低于4cm，重载车辆区域需提升至6cm以上，并同步增加基层厚度与强度等级，以满足重复荷载作用下的结构稳定性要求。使用频率与运行周期决定结构耐久等级，重载高频区域需提高混凝土强度等级与抗疲劳性能，防渗结构设计寿命不低于 20 年，关键构造部位需预留检修空间与更换条件。上述约束条件通过参数化设计转化为具体工程指标，实现设计方案与实际运行条件的有效匹配。

2.2 工程设计的技术适配原则

工程设计围绕结构安全、构造合理与耐久性能展开，通过结构选型与构造做法实现功能需求的工程化表达。道路系统设计以坡度控制与排水组织为核心，纵坡宜控制在 2% 以内，横坡设置 1.5% ~ 2% 排水坡度，确保雨水快速排出并避免积水侵蚀结构层 [2]。附属建筑优先采用轻钢结构体系，柱距与跨度按标准模数布置，便于构件批量生产与现场装配，提高施工效率与结构一致性。围护结构选用阻燃夹芯板体系，结合标准节点连接方式，提升整体密封性与保温性能。卫生间及设备区重点强化防水构造，采用卷材与涂膜复合防水体系，防水层高度不低于 1.8m，并结合独立排风系统形成稳定的运行环境。防渗工程采用 HDPE 膜与土工布复合结构，配套集油沟与导流系统，实现油污隔离与集中处理。通过模块化设计与标准构件应用，降低设计复杂度并提高工程实施的可控性。

2.3 工程设计对施工与运维的技术影响

工程设计阶段的技术选择直接影响施工组织效率与后期运维成本。标准化设计通过统一构件尺寸与节点形式，减少现场加工与误差累积，提升施工精度与装配效率。模块化施工将加油岛、附属用房及设备基础划分为独立功能单元，实现工厂预制与现场快速拼装，缩短施工周期并降低人工投入。耐久性设计通过提高材料性能与优化结构构造，降低裂缝、沉降及渗漏风险，减少后期维修频率与维护成本 [3]。防渗、防腐与防火等关键工程措施在设计阶段一体化考虑，避免运行阶段重复改造与安全隐患累积。通过工程设计与施工技术的协同优化，实现施工质量稳定、运行维护可控及全周期成本降低的技术目标。

3 加油站建筑工程关键设计与施工技术

3.1 主体结构与功能区域工程设计

加油区域作为核心承载区，路面结构采用基层与面层复合体系，基层选用 C30 混凝土结合级配碎石垫层，面层采用抗滑耐磨沥青混凝土，并依据车辆荷载进行分区设计，小型车区域面层厚度不低于 4cm，重载车辆区域提升至 6cm 以上，基层厚度同步增加以提高承载能力与抗疲劳性能 [4]。加油岛结构可采用钢筋混凝土现浇与预制装配相结合方式，预制加油岛在工厂完成主体成型与管线预埋，现场进行吊装与连接，台面高出路面 15 ~ 20cm，内部设置排水坡度不低于 2%，并预留标准化管线接口，提高施工效率与安装精度。储油罐区域防渗结构采用 HDPE 膜与土工布复合体系，底部设置双层防渗结构并配套防渗墙与集水系统，实现污染隔离与渗漏控制。附属建筑优先采用轻钢模块单元体系，结构模数按 6m 或 12m 进行标准化布置，柱距控制在 4 ~ 6m 范围，围护结构采用阻燃夹芯板，构件统一规格，便于批量生产与现场快速装配，提高结构一致性与施工效率。

3.2 新型建材与施工工艺应用

工程材料选用以耐久性与工程适配性为导向，关键结构部位采用高性能混凝土材料，提高抗压强度与抗油蚀能力，延长使用寿命。防渗系统采用 HDPE 复合防渗体系，结合焊接工艺与节点密封处理，形成连续密闭结构，有效阻隔油品渗透路径。附属建筑围护系统采用高保温性能夹芯板与密封连接构造，降低能耗并提高整体结构稳定性。施工阶段引入装配式施工技术，将加油岛、设备基础及附属用房构件在工厂预制，现场进行快速拼装，减少湿作业比例并缩短工期。施工组织中采用 BIM 技术进行工序模拟与管线综合排布，优化施工路径与空间冲突，提升施工精度与协同效率。通过工艺优化与材料升级，实现施工效率、结构质量与工程耐久性的协同提升。

为量化不同建材在初始成本、施工难度与耐久性能方面的差异，建立建材类型对比关系如下图 1 所示。

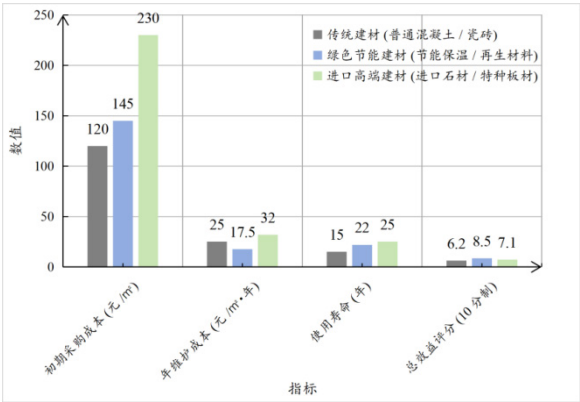


图 1 不同建材类型工程成本与耐久性能对比图

图 1 表明不同类型建材在初始投入与使用性能方面存在明显差异，进口高端建材初始成本最高但使用寿命最长，传统建材初始成本较低但耐久性与抗劣化能力相对不足，绿色节能建材在成本与耐久性之间形成相对均衡状态。进一步对比全寿命周期成本可见，绿色节能建材总成本最低，说明其在长期运行中维护频率较低、性能衰减较慢，从而有效降低运维支出。该结果反映出材料选择应由单一初始成本控制转向综合性能与寿命周期评价，通过提高材料耐久性与稳定性，实现工程整体成本的持续优化。

3.3 安全与合规性工程设计

加油站建筑工程设计严格遵循《汽车加油加气加氢站设计与施工规范》（GB50156-2021），加油区与附属建筑

防火间距不低于 10m，钢结构构件涂覆防火涂料，耐火极限不低于 1.5h。电气系统采用防爆型设备，电缆穿管敷设并设置防护措施，设备布置满足防爆分区要求，避免电气火花引发安全风险。结构抗震设计按不低于 7 度设防，优先采用钢结构框架或钢筋混凝土框架体系，提高整体稳定性与抗震性能。环保工程设计采用 HDPE 防渗层，厚度不低于 1.5mm，并设置隔油池与污水处理系统，实现油污分离与达标排放。噪音控制通过隔音墙与绿化缓冲带结合实施，形成多层次隔声体系。各类安全与环保构造在设计阶段统一布置并明确技术参数，确保工程实施过程与运行阶段均满足规范要求与安全控制标准。

4 加油站建筑工程成本优化技术路径

4.1 基于标准化设计的成本控制技术

设计阶段成本控制以标准化与模块化为核心，通过构件统一与模块复用降低工程复杂度。主体结构优先选用标准截面钢构件与统一规格预制混凝土构件，减少非标加工比例，降低加工与安装误差。附属建筑采用模数化设计，结构开间与进深按 6m 或 12m 标准布置，实现构件批量化生产与重复利用。路面结构设计依据荷载分区进行参数化控制，小型车区域与重载区域分别确定基层与面层厚度，避免统一放大设计导致材料浪费。加油岛及设备基础采用标准化尺寸与接口形式，减少现场调整与二次加工。通过多方案技术比选，对结构形式、材料用量及施工难度进行综合分析，选取工程参数最优组合，使设计阶段直接实现材料节约与施工简化。

4.2 施工阶段的工艺优化与成本控制

施工阶段通过工艺优化与工序组织提升资源利用效率。装配式施工技术在加油岛、设备基础及附属建筑中推广应用，构件在工厂完成预制加工，现场进行吊装与拼接，减少湿作业时间并降低人工投入。工厂预制比例控制在 60% 以上，可显著缩短施工周期并降低现场管理成本。施工组织按照“地下优先、结构同步、分区实施”的原则展开，先完成地下管线与防渗结构施工，再进行路面与主体结构施工，避免重复开挖与工序冲突。材料使用采用定额控制与余料回收机制，提高钢筋与混凝土利用率。施工过程结合 BIM 进行空间协调与工序模拟，减少管线冲突与返工情况，提升整体施工精度与效率，从工艺层面实现成本压缩。

为明确各阶段成本在整体中的分布关系，加油站建筑工程全生命周期成本构成如下图 2 所示。

图 2 显示运营阶段成本占比达到 55%，明显高于建设阶段的 35%，说明加油站建筑工程成本主要集中在长期使用过程；拆除阶段与其他隐性成本占比较低，但仍对整体成本结构形成补充影响。该分布表明，单纯压缩建设投入难以实现总体成本最优，需通过提升结构耐久性与工程设计合理性，降低运行维护支出，从而实现全生命周期成本的有效控制。

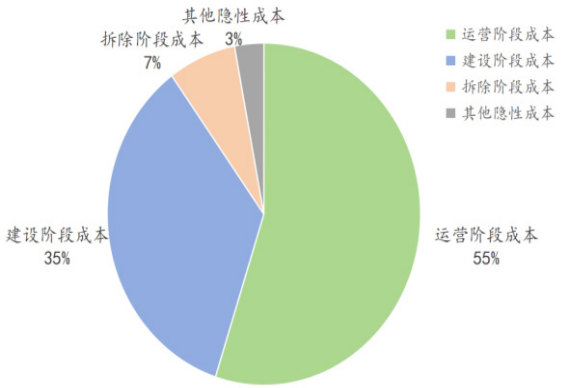


图 2 加油站建筑工程全生命周期成本构成比例图

4.3 全生命周期成本均衡管控

加油站建筑工程成本控制贯穿设计、施工与运维全过程。结构设计阶段通过提高材料耐久性与优化构造形式，降低后期维修频率与更换成本；防渗、防腐及防火等关键工程措施一次成型，减少运行阶段重复改造。施工阶段保证构造质量与施工精度，为长期使用提供稳定基础。运营阶段通过能耗监测与设备运行数据分析，优化用能结构并降低日常消耗；定期维护结构与设施，延长使用周期。拆除阶段在设计初期即考虑材料可回收性与结构可拆解性，减少拆除成本并提升资源再利用率。各阶段通过工程参数与材料性能的协同控制，实现结构寿命与运维成本的整体优化。

5 结论

本文以加油站建筑工程为对象，围绕工程设计优化、结构安全控制与施工技术实现路径，构建以标准化设计与模块化建造为核心的工程技术体系。通过统一构件规格、推广装配式施工与优化结构构造，实现施工效率提升、材料利用率提高及工程质量稳定控制。基于全生命周期成本控制思路，将结构耐久性与运维成本统筹考虑，形成建设投入与长期运行成本的协同优化路径，为加油站建筑工程技术实施与成本管控提供工程化参考。

参考文献

[1] 黄振辉. 加油站综合服务体建设的探索与实践 [J]. 石油库与加油站, 2023, 32 (04): 43-46+6+20.

[2] 陈云鹏.加油站施工建设精细化管理的实施路径探讨[J].企业改革与管理,2024,(20):166-168

[3] 陈云鹏. 论如何做好加油站施工建设管理[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(34):70-72.

[4] 杨英勇,马端阳.加油站建设工程中绿色施工技术的实施与环境效益评价[J].石化技术,2025,32(09):233-235.