

基于成本控制的地下车库顶板优化分析

梁发演

新疆昊辰建筑规划设计研究院有限公司 新疆 昌吉 831100

摘要：城市化进程加快与土地资源紧张推动地下车库成为现代建筑标配，地下车库顶板作为核心承重构件，其设计直接决定工程造价。本文以成本控制为核心，剖析顶板结构特点、受力特征与成本构成，在保障安全与功能的前提下提出优化方案。通过对比材料、施工、维护等全维度成本，结合有限元法开展结构性能分析，并依托实际工程验证效益。研究表明，优化结构布置、优选材料、调整构件截面、改进施工工艺可显著降低顶板造价。预应力技术能减小构件截面、节约材料；合理梁板布置可优化受力、提升性能；高性能混凝土在保障强度的同时降低运维成本。本文优化方案可为地下车库顶板设计提供指导，助力控制工程造价，也为同类工程成本管控与结构优化提供参考。

关键词：成本控制；地下车库；顶板优化；结构设计；经济效益

引言：研究表明，优化结构布置、优选材料、调整构件截面、改进施工工艺可显著降低顶板造价。预应力技术能减小构件截面、节约材料；合理梁板布置可优化受力、提升性能；高性能混凝土在保障强度的同时降低运维成本。本文优化方案可为地下车库顶板设计提供指导，助力控制工程造价，也为同类工程成本管控与结构优化提供参考。

1 研究背景及意义

我国城市化持续推进，土地资源紧缺，地下空间开发成为缓解用地压力的关键路径。地下车库已成为新建建筑必备配套，住宅项目配建率超85%，商业建筑更是高达95%以上。地下车库顶板是地下结构核心承重部件，承担上部建筑、地面铺装、防水层及车辆活载等多重荷载，其设计质量直接关系到结构安全、工程经济性与耐久性。

建筑成本持续上涨，地下车库顶板造价管控愈发重要。顶板造价占地下车库总造价的30%-40%，是成本控制核心环节。传统顶板设计偏保守，安全冗余过大，存在用料超标、工期延长、造价偏高等问题。因此，在保障结构安全的基础上，通过优化设计降低顶板造价，兼具工程必要性与经济价值。

1.1 研究目的

本文通过分析地下车库顶板成本构成与结构特性，构建以成本控制为导向的顶板优化设计方法。在满足安全与使用功能的前提下，开展多维度成本对比与结构性能评估，筛选最优设计方案，降低工程造价。针对当前顶板设计成本高、经济性不足的痛点，为设计人员提供参考；推动顶板设计从安全优先向安全与经济并重转变，提升建筑行业经济效益与可持续发展水平。

1.2 国内外研究现状

国外对地下车库顶板结构优化研究起步早，初期聚焦结构安全与承载力，后期转向经济性优化。拓扑优化、多目标优化等技术广泛应用，通过数学建模与计算机仿真，实现材料最优布置，兼顾结构重量、造价、施工难度等指标。

近年来，全生命周期成本理念成为研究热点，同步考量初始建设成本与后期维护、使用寿命成本。预制装配式技术应用成熟，依托标准化设计、工厂化生产，实现降本增效，为顶板经济性设计提供了实践支撑。

国内学者围绕顶板优化与成本控制开展大量研究。雷孝通对比不同楼盖选型的技术经济性，为结构选型提供依据；许爱国分析梁板式、无梁楼盖、预应力楼盖的成本差异，结合使用功能给出选型建议；吴伟田基于全生命周期成本理念，提出涵盖结构选型、材料选用、施工方法的设计阶段成本控制体系。

现有研究聚焦结构选型、经济性分析、全过程成本控制，但仍存在不足：缺乏系统化的成本控制优化方法，无统一的成本管控效果衡量标准，这也是本文的研究核心。

1.3 研究内容

分析顶板结构特点与成本构成，构建包含材料费、施工费、维护费的成本评估体系，明确核心控制因素。

研究顶板受力与结构性能，采用有限元法建立优化模型，分析结构参数的影响规律。

从结构布置、材料选型、构件截面、施工工艺四方面提出优化措施，重点分析预应力、高性能混凝土、梁板布置的降本效果。

结合实际工程开展成本效益对比，验证优化方案的可行性，形成可推广的管控措施。

1.4 研究方法

采用理论研究+工程应用结合模式：以文献研究法梳理国内外成果，奠定理论基础；用有限元数值模拟（ANSYS软件）分析不同方案的受力与变形；通过成本效益分析法建立多维度评价体系，优选方案；依托实际工程案例验证，提炼可复制的优化措施。

2 地下车库顶板结构特点

地下车库顶板是地下结构关键承重构件，主流形式包括现浇钢筋混凝土板、预制装配式板、预应力混凝土板，各有优劣。顶板需承受恒载、活载，具备足够抗弯、抗剪性能与刚度，荷载传递路径为：顶板→梁板→柱/墙→地基^[1]。

设计需兼顾多重约束：功能上满足车库净高 $\geq 2.2\text{m}$ ；耐久性上适配潮湿环境，保障混凝土抗渗性与钢筋防腐性；同时预留消防、通风、照明管线空间，这些因素均影响造价与结构设计。

2.1 地下车库顶板设计基本原理

顶板设计遵循安全与经济兼顾原则，满足承载力、刚度、防水防腐要求。常见结构形式包括现浇梁板式、无梁楼盖、预应力结构：梁板式受力合理，但构件多、施工复杂；无梁楼盖减少模板用量，但需增大板厚；预应力结构提升受力性能，可减小截面、增大跨度，大跨度场景经济性突出。

设计需综合柱网、跨度、截面尺寸，经结构计算确定最优方案，同时优化施工缝、后浇带等构造，保障施工可行性与结构整体性。

2.2 地下车库顶板成本构成分析

顶板成本由直接成本、间接成本、全生命周期维护成本组成。

直接成本：材料费占比最高，混凝土占35%-45%，钢筋占25%-35%，模板占8%-12%；人工费占20%-25%，机械费占8%-15%。

间接成本：现场管理、质量安全管控费用，占总成本5%-8%。

维护成本：防水修补、裂缝处理等费用，与前期设计、材料选型直接相关，是全生命周期成本的重要组成。

不同工程、地区、技术水平下成本构成存在差异，需针对性制定管控措施^[2]。

3 结构设计因素

3.1 板厚选择对成本的影响

板厚是造价核心影响因素，厚度每增加50mm，混凝土用量增加12%-15%，材料成本同步上升。8m跨度车库顶板，合理板厚为200-250mm；过厚增加材料与施工成

本，过薄易引发变形、开裂，提高运维费用。同时，板厚影响模板支撑、浇筑效率，需以全生命周期成本为依据确定最优值。

3.1.1 配筋方案对成本的影响

钢筋费用占顶板造价25%-30%，是第二大成本支出。配筋优化聚焦直径、间距、搭接与锚固：主筋选用 $\phi 16 \sim \phi 20$ 、分布筋 $\phi 12 \sim \phi 14$ 兼顾受力与经济性；合理增大间距、采用高强度钢筋可节约用量；机械连接替代传统搭接，可节省15%-20%钢筋；优化搭接与锚固位置，进一步降本增效。

3.1.2 跨度布置对成本的影响

跨度直接影响结构受力与造价，跨度从6m增至9m，顶板弯矩增加125%，材料成本上升40%-50%。8.0-8.4m跨度可适配两排车位+一条车道，兼顾使用与经济性；小跨度减少顶板用料但增加柱与基础成本，大跨度大幅提升顶板用料。跨度 $> 12\text{m}$ 时，预应力方案比普通混凝土方案成本低8%-12%。

3.2 材料因素

3.2.1 混凝土强度等级选择

混凝土强度等级越高，单价越高（C30比C40低50-80元/ m^3 ），且高强度混凝土施工要求更严格。但合理选用高强度混凝土可减小构件截面、降低总用量。需结合荷载、跨度、耐久性需求选型，避免盲目追求高强度造成浪费。

3.2.2 钢筋材料选择

HRB400钢筋比HRB335贵200-300元/吨，但用量可降低12%-15%，综合成本更低；预应力钢筋单价高，但能减小截面、减轻自重。钢筋选型需综合价格、用量、施工难度，实现技术与经济最优。

3.2.3 防水材料选择

防水材料影响长期运维成本：传统卷材前期投入低，但易老化、维修频繁；高分子材料耐久性强，虽单价高但可大幅降低后期费用；自愈合涂料裂缝自愈效果好，减少维护支出。需结合性能、施工、寿命、维护成本，优选高性价比方案。

3.3 施工因素

3.3.1 施工工艺对成本的影响

传统现浇工艺模板用量大、工期长；预制装配式减少湿作业、提速增效，但前期与运输成本高；预应力工艺减小截面、节约材料，但技术要求高。需结合直接成本、工期、质量、运维成本，选择最优工艺。

3.3.2 施工周期对成本的影响

工期越长，人工、设备租赁、管理、资金占用成本

越高,还面临材料涨价风险。流水作业、平行施工、BIM技术、装配式施工可缩短工期,降低间接成本,需建立工期-成本动态管控机制。

3.3.3 质量控制对成本的影响

严格质量管控虽增加前期检测成本,但可避免返工、降低维修费用。混凝土、钢筋工程质量缺陷会引发安全风险与经济损失,需建立全过程质量管理体系,实现质量成本最小化^[3]。

4 优化设计原则与方法

4.1.1 成本控制原则

遵循全生命周期成本、安全经济兼顾、标准化、可持续发展四大原则,统筹设计、施工、运维全流程,优先选用绿色环保材料与技术。

4.1.2 优化设计方法

采用多目标优化、有限元分析、参数化设计、价值工程、敏感性分析、模块化设计,依托BIM协同设计减少变更与返工,实现全方位优化。

4.1.3 约束条件分析

优化需满足结构安全(承载力、裂缝、挠度)、使用功能(车位、净高)、施工条件、材料供应、成本预算、环保要求等多重约束。

4.2 结构参数优化分析

4.2.1 板厚优化分析

有限元分析表明,150mm板厚为最优方案:混凝土45元/m²、钢筋38元/m²,总费用83元/m²;120mm板厚钢筋用量大,总费用91元/m²;180mm板厚混凝土成本高,总费用95元/m²。常规车库选用150mm板厚最经济。

4.2.2 配筋优化分析

HRB400替代HRB335可节省6%费用,配筋率控制在0.35%-0.45%避免浪费;大直径钢筋提升绑扎效率,节约人工15元/m²;优化搭接与锚固,节约钢材5%-8%。最优配筋方案比常规方案节省12%成本。

4.2.3 跨度布置优化

8.1m×8.1m柱网受力均匀、造价最低,综合造价78元/m²;7.2m×7.2m小跨度减少柱与基础成本,总造价降低8%;9.0m×9.0m大跨度大幅增加顶板成本,造价提升15%。

4.3 工程实例分析

4.3.1 工程概况

某一线城市商业综合体地下车库,总面积3.2万m²,三层1200个车位,框架结构。地下一层顶板承受上部商业荷载,活荷载8kN/m²,恒荷载12kN/m²,地质复杂、地

下水位高。

4.3.2 原设计方案成本分析

原方案为普通现浇混凝土,板厚300mm,梁300mm×800mm,柱网8.1m×8.1m,C30混凝土、HRB400钢筋。混凝土用量9600m³,费用432万元;钢筋1920吨,费用806.4万元;材料成本1238.4万元,施工费576万元,总成本1950万元,单位面积609元/m²。

4.3.3 优化方案设计

柱网调整为7.8m×8.4m不等跨,减小边跨弯矩;混凝土升级为C35,钢筋采用HRB500高强钢筋,增设预应力筋;板厚降至280mm,主梁280mm×750mm,次梁250mm×600mm;添加高性能外加剂,采用大模板与泵送混凝土施工。

4.3.4 优化效果对比分析

优化方案满足规范要求,最大挠度12.5mm、裂缝宽度0.18mm,性能优于原方案。混凝土用量降至8640m³,节约10%;普通钢筋1632吨,预应力钢筋96吨,总钢筋减少192吨;材料成本1089.6万元,施工费528万元,总成本1735万元,节省215万元,降幅11.03%,单位面积542元/m²。20年运维周期内可节约维护费约80万元,全生命周期效益显著。

5 结论

本文针对地下车库顶板的成本控制问题进行研究,在理论上提出了以成本控制为导向的地下车库顶板优化设计思路,分析了材料成本、施工成本以及维护成本等三方面的成本控制方法,对工程实践起到指导作用。从技术上利用有限元的方法证明了预应力的应用是可行的,合理地改变梁板布置可以大大改善结构性能,而采用高性能混凝土可以在保证安全性的前提下降低总成本。从实际应用的角度出发,所提出的多角度的成本评价方法已经在实际项目中得到了应用,层高优化可以节省每平米20元的成本,总体上节省的成本是非常可观的。本课题的研究对于建筑行业地下车库的设计有着良好的借鉴作用,有利于提高建筑行业的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]张焯峰.地下车库顶板结构形式对比及分析[J].建筑技术开发,2026(07):15-17.
- [2]哈斐.地下车库结构选型及经济性分析[J].中国房地产业,2020(32):45-47
- [3]吴伟田.基于地下车库工程设计成本控制的探讨[J].居舍,2020(25):121-122+170.