

# 机械式立体车库轻量化设计的应用研究

张秀芬 胡玉庆 刘立山

山东东方华宸智能停车设备有限公司 山东 潍坊 261000

**摘要：**机械式立体车库已在国内外得到了广泛应用，我国机械式立体车库也已有较大生产规模和市场体量，并已成为机械式车库产销量第一大国。依托于我国自身机械制造行业的迅速增长，立体停车设备行业也得到了快速发展。同时随着市场经济的激烈竞争，停车设备制造还需要进一步降低成本，提高设备使用的安全性和可靠性。轻量化设计，是我们本次要讨论的基于立体车库结构改进的办法。

**关键词：**轻量化设计；广泛应用

轻量化设计，是轻量化材料和轻量化制造技术的集成应用。轻量化的最终目标是重量、性能和成本等因素的综合优化。在国内立体车库等钢结构领域，我国的钢结构设计理论偏于保守，过度重视安全因素，安全系数非常高，结构自身重量非常大，元器件比较笨重而性能较差。目前机械式立体车库行业中所采用的轻量化设计多以仿生设计为主，缺乏试验数据的支撑，钢结构设计基础理论和智能技术在中缺乏深度与广度。

机械式立体车库本质是钢结构设备，钢材的型号选择对车库的使用安全、成本构造以及外观体验都起着至关重要的作用。又要考虑车辆停放在载车板上时，需要进行升降、横移、旋转等动作，那么车辆本身的重量也会对车库产生一定的作用力。如果选材规格不够，车库整体的刚度和强度达不到，会有安全隐患；如果用料规格过大，则增加了车库的重量，造成移动和运输过程的难度，增加了制造成本，同时也不符合近年来国家提倡的节能减排的政策号召。因此，我们对立体车库的轻量化设计进行研究。

我们的研发内容主要想达到三个目的，一是在传统机械式立体车库基础上，进行立体车库轻量化研究，进一步降低成本；二是通过改变电机的位置，设计更为合理的车库结构，节省停车空间，实现同样的空间停放更大尺寸的车辆，填补市场空白；三是改进载车板导向装置和防坠落措施，提高新机型的可靠性和安全性。

我们对轻量化设计的出发点有三个方面：一是载车板、边梁、立柱与纵梁钢材等的选材。载车板边梁通常是 Q235B 材质，厚度 3mm。假如我们改用 Q500 材质，厚度改为 2mm；原材料采购成本约增加 17%，但是质量减轻了 30%。二是车库成品部件的表面处理是按产品质量收费的，从而表面处理费用可以相应减少 30%；而且质量减轻后，同样吨位的货车可以装载更多的货物，从而降低了运输费用。三是产品出口的国际海运费用颇高，同样质量减轻带来的运输费节省更为明显。因此，引入轻量化设计将为公司带来较大的经济效益。

## 1、我们要探讨的研发内容如下：

为了满足企业的发展需求，同时使车库整体刚度和强度满足使用要求，达到车库停放车辆的安全性指标，也为了满足减少材料浪费的目标，我们先在传统机械式立体车库基础上，对立体车库的轻量化设计进行研究。

立体车库的轻量化设计是为了实现两个轻量化目标，一是优化立体车库车板结构，实现车板减重 30%；二是采用高强度钢材替代常规钢材，降低立体车库车板、立柱和纵梁钢材的厚度，实现立体车库整体减重 20%，从而实现轻量化。为此，我们研究制定了逻辑严密的研究计划，主要分以下步骤：

①分析不同汽车重量分布，对车板进行受力分析。

②建立车板受力有限元模型，分析得出车板应力、应变云图，找出车板危险部位，设置加强筋进行强化。

③分析对比常规钢材 Q235B 与高强度钢材 Q355、Q500、Q700 材料的比强度、比刚度。

④建立立体车库的有限元模型，分析得出立体车库应力、应变云图，得出车板、边梁、立柱与纵梁钢材的最小安全厚度，实现立体车库的轻量化设计。

⑤轻量化设计的技术路线如下：

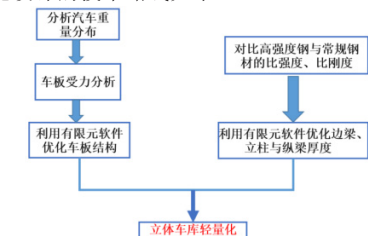


图 1 立体车库轻量化设计技术路线图

## 2、我们的研究方法主要从四个方面入手：

### (1) 基于材料的轻量化设计方法

材料方面的轻量化设计，主要体现在两方面：一是材料的选取，目前同行业立体车库常用材料是 Q235B，在轻量化设计角度出发，计划选用采用 Q355 或 Q500 或 Q700 的材料等多种选材进行设计分析；二是针对工程机械不同部件选用不同强度的材料，从而实现工程机械整机的轻量化。

### (2) 基于结构的轻量化设计方法

通过对机械式立体车库结构的优化，合理减小各个部件的材料选用型号来实现工程机械轻量化设计，分尺寸优化、形状优化、形貌优化和拓扑优化四个方向。本项目需要分析对车板进行受力分析，建立车板受力有限元模型，分析得出车板应力、应变云图，找出车板危险部位，设置加强筋进行强化。在尺寸优化方面，需要得到车库结构和关键零部件自身的各种几何参数及受力分析，探讨车库结构优化方法，例如车板边梁厚度能否从 3 毫米改为 2 毫米、前立柱厚度能否从 4 毫米改成 3 毫米、纵梁厚度能否从 6 毫米改为 4 毫米等截面长、宽、板材的厚度等方面。采用拓扑优化方式探讨通过优化计算去除多余的材料，从而得出用料最少方案。

### (3) 基于制造工艺的轻量化设计方法

基于制造工艺的轻量化，比如板料整体下料、折弯一体成型、激光焊接、新的热处理工艺、锁锚连接等。

### (4) 模拟法

钢架结构是立体车库设备的重要部件之一，原因是它不仅承受着载车板、车辆、电机等各种部件的重量，钢架结构是整个立体车库的核心，需要对钢架进行强度和刚度的校核。本项目引入有限元数值方法，在静力学结构分析的基础上，加上计算机辅助技术和迭代计算，找到最优结构方案。利用 ANSYS Workbench 中的优化设计模块 Design Explorer 对结构部件进行局部结构优化。基于有限元数值模拟技术，构建以立体车库的车板、边梁、立柱与纵梁钢材为变量，质量和最大等效应力、最大形变量作为优化评价统计量的数学模型，采用零阶算法进行求解，并进行仿真和物理实验，得出车板、边梁、立柱与纵梁钢材的最小安全厚度，实现立体车库的轻量化设计。

立体车库钢结构经过轻量化研究后，整体刚度和强度都要满足使用要求，而且要达到车库停放车辆的安全性指标，钢结构安装应符合《机械式停车设备 通用安全要求》，也能满足减少材料浪费的目标。同时，也要可达成以下目标：

①根据汽车重量分布，优化立体车库车板结构，实现车板减重 30%。

②采用高强度钢材替代常规钢材，降低立体车库车板、立柱和纵梁钢材的厚度，实现立体车库整体减重 20%，从而实现轻量化。

轻量化立体车库的设计，涉及工程机械轻量化、新能源汽车充电与停车一体化及机械式立体智能车库领域，实现了传统机械式立体车库的旧机改造、新建智能立体车库的停车充电一体化技术、以及当前工程机械轻量化优化等课题，最终得到一款轻量化的智能立体车库，既符合节能减排提质增效的产业导向，也完全符合当前停车市场的发展方向，将是解决停车难问题的最佳方案。

轻量化设计的机械式立体车库的研发方向与多个产业发展方向是非常契合的，首先车库的轻量化设计节省了钢材和运输成本，为公司创造经济效益的同时也符合国家规划强调的“节能减排、提质增效”等政策导向。如若能够实现轻量化技术在立体车库设计中的实际应用，则可以明显提高立体车库经济效益，为高强度钢材的型号选择以及车库车板结构优化提供理论基础，为未来车库设计提供参考模型。

## 参考文献

[1] 张秀芬, 胡玉庆, 刘立山. 机械式立体车库轻量化设计的应用研究 [J]. 数码 - 移动生活, 2020(12):89.