

---

## 基于 TRIZ 理论小型车库设计

### 摘 要

为了应对现今“寸土寸金”的社会中存在“停车难”现象，这次将运用到 TRIZ（theory of inventive problem solving）创新理论进行分析与设计，给小型立体车库确认到更好的创新设计方案。

首先，我们对目前社会中比较普遍的“停车难”问题进行了调查分析，接着介绍立体车库的背景，发展之路以及对目前立体车库所存在的问题进行分析；然后为了更好地解决“停车难”问题，让各地方的车辆有更多的车位可以停放，引入 TRIZ 理论，通过因果分析，阿奇舒勒矛盾矩阵得出多种立体车库的方案，选取其中一种，即将立体车库设计成双层、运用平行四边形连接杆机构和液压缸的动力来实现通过托举上层车库完成上下层移动的新型停车库设计方案。在设计中，分析其自由度，运动轨迹，确立各个零部件的参数，再对零部件进行校核计算。

最后，用 CATIA 软件对所设计的车库进行三维建模、仿真分析。

**关键词：**TRIZ；立体车库；托举；平行四边形连接杆机构；液压缸；CATIA

---

## Small garage design based on TRIZ theory

### Abstract

In order to deal with the phenomenon of "parking difficulty" in today's "land and money" society, this paper will apply the theory of innovative problem solving (TRIZ) to analyze and design, and confirm a better innovative design scheme for small three-dimensional garage. .

First of all, we have investigated and analyzed the common "parking difficulty" problem in the current society, then introduced the background, development path and existing problems of the three-dimensional garage; then in order to better solve the "parking difficulty" problem, so that there are more parking spaces for vehicles in various places, we introduced TRIZ theory, through causal analysis, a Qishule contradiction matrix obtains many kinds of plans of three-dimensional garage, and chooses one of them, that is, the three-dimensional garage is designed into a double-layer, using the power of parallelogram linkage mechanism and hydraulic cylinder to realize the new design plan of the parking garage that the upper and lower layers are moved by lifting the upper garage. In the design, analyze the degree of freedom, motion track, establish the parameters of each component, and then check and calculate the components.

Finally, the designed garage is modeled and simulated by CATIA software.

**Keywords:** TRIZ; Stereo garage: lift; Parallelogram linkage mechanism; The hydraulic cylinder; CATIA;

---

# 目 录

1 前言 .....	6
1.1 本设计的目的、意义及应达到的技术要求 .....	7
1.2 立体车库在国内外的的发展概况及存在的问题 .....	8
1.3 本设计应解决的主要问题 .....	9
2 发明问题解决理论 .....	10
2.1 引言 .....	10
2.2 TRIZ 的定义 .....	11
2.3 TRIZ 理论体系 .....	11
3 小型立体车库的总体方案拟定 .....	13
3.1 目前小型升降立体车库的分析 .....	13
3.2 小型立体车库的因果分析 .....	15
3.2.1 五个为什么分析 .....	15
3.2.2 因果轴分析 .....	15
3.3 小型立体车库的方案确认 .....	17
3.3.1 小型立体车库主要的问题 .....	17
3.3.2 小型立体车库的方案 .....	17
4 液压托举式立体车库的设计 .....	19
4.1 车库设计 .....	19
4.2 机构介绍 .....	19
4.3 运动分析 .....	20
4.4 机构的自由度分析 .....	20
4.5 平行四边形连接杆机构的运行轨迹分析 .....	21
4.6 托举机构的受力分析 .....	22
5 小型立体车库的各参数确认 .....	24
5.1 承载托盘的设计 .....	24
5.1.1 承载板的参数确定 .....	24
5.1.2 承载板的应力校核 .....	24
5.2 液压平行四边形连接杆机构的结构设计 .....	25
5.2.1 托架部分 .....	25
5.2.1.1 托架的参数确认 .....	25
5.2.1.2 托架的最大弯曲应力校核 .....	25
5.2.2 平行四边形连接杆部分 .....	26
5.2.2.1 平行四边形连接杆参数的确定 .....	26
5.2.2.2 连杆机构的最大弯曲应力校核 .....	27

---

5.2.3 液压缸的选择 .....	28
5.2.4 销轴的设计 .....	29
5.2.4.1 销轴的参数确定 .....	29
5.2.4.2 销轴的强度校核 .....	30
5.3 底座的设计 .....	31
5.3.1 底座的选材与整体设计 .....	31
5.3.2 底座的校核 .....	31
6 车库仿真建模 .....	32
7 总结 .....	34
参考文献 .....	35
谢 辞 .....	38
附 录 .....	39

---

## 1 前言

当今社会，人们出门大部分都开车，随着用车数量的增多，汽车停放问题已经是如今城市里面较为多见的静态交通问题<sup>[1]</sup>。静态交通的存在，是相对于动态交通的，动态交通主要是指路上行驶的车辆；相反之，静态交通指的是车辆的停放，这两个交通问题又互相促进又相互制约，就像是一个天平，但一旦有一方失去平衡，城市交通路段拥堵和停车难的两个重大问题变会迎面扑来<sup>[2]</sup>。

据数据显示，2018 年底，全国的汽车已经达到 2.4 亿辆，比起 2017 年来说，扩增了 2285 万辆，上升了 10.51%。其中，私家车就是其中增长最快的。

同时，在最近这几年的城市交通建设中，动态交通问题被重视，位于相对位置的静态交通，却一直处于冷板凳的位子，几乎没怎么去解决<sup>[1]</sup>。目前，我国各大城市中，根据汽车数量与停车位的配比率的数据就可以说明问题，其中相对较高的有：深圳 1: 0.602、北京 1: 0.57、杭州 1: 0.55，但是，正常交通秩序的配比率是 1: 1.2-1.5，这些数据与其比较，少了很多。而且，所统计的数据显示，已经越过 6000 万的车辆没有车位，这一现象无疑是造成的极其严重的停车难局面。此外，根据《2017 智慧停车行业大数据报告》的统计分析，中国中只有近 9%的车位停放汽车率高于 50%，停放率高于 40%的只有约 20%，停车位停放率低于 30%有约 50%。再回到最初的数据显示，有 2.4 亿的汽车数量，停车位的整体缺乏是一个板上钉钉的事实，它的停放率不高也是一个很实际的问题。于静态交通来说，它已经变成动态交通的制约因素，如今如果把希望放在有足量高效率的平面停车场的话，显然是很没意义的。

现在，不论如何降低汽车的使用率还是车库的使用率，车，总归是要有位子放才行。在应对超过 6000 万停车位缺乏的情况中，解决停放问题的首要任务还是要增加停车位的数量，在利用有限的土地资源上尽可能多的增加停车位。传统中，平面停车场的优势是：占地空间大，且容车量有限，现在已经没法支持大家的停车需求了。所以，许多城市针对这严峻的问题，采取了许多措施，其中一个就是尝试在市区中建造立体车库来实现“以空间换场地”的目标。这类罕见的立体车库有很多种类：比如：机械式立体车库，自走式立体车库。比起自走式立体车库，机械式立体车库更具有优势，它结合了机械、电子、液压等多种技术，拥有智能化程度高、占地空间小等特点，这样子的设计，可以充分多地让更大的面积得到使用，也可以随机应变的进行更改，甚至可以和普通的平面停车场、地下车库和大型的停车楼一起组合使用，是如今能够更有效解决城市停车难问题的办法，也是停车产业发展的必

经 之 路 [ 2 ]

---

。机械式立体车库的工作原理有很多，种类也可分为很多种，如今比较普遍的可分为升降横移、简易升降、垂直循环、水平循环、多层循环、平面移动、巷道堆垛、垂直升降和汽车升降机九大类。

## 1.1 本设计的目的、意义及应达到的技术要求

随着停车难的问题逐渐扩大，立体车库的建立已经逐渐达到认可，却鲜有人会对立体车库的结构的进化进行系统深入的研究。在机械立体车库的众多种类中，简易升降类小型立体车库能实现至少“一库两车”的目标，能够做到很有效地解决小区域内的各种“停车难”问题。本次设计，也将主要从简易升降类车库入手。

简易升降类立体车库的发展史，初始阶段，是由传统的简易升降类车库发展到之后出现的无避让类立体车库，中间也经过了很多代的立体车库演变，汲取了许多研究成果，积累了许多研究经验，最后对其进行信息整理，综合分析，然后逐渐发展到现在。他的研究与出现，是对立体车库的有效运用具有深刻的意义，同时也为以后简易升降类立体车库的发展与创新提供了一定的理论依据。

## 1.2 立体车库在国内外的的发展概况及存在的问题

立体车库，是各个国家在应付停车难题上的有效措施，其在欧美国家开始诞生，这方面技术流经日本韩国后得到有力的发展，同时，<sup>[1]</sup>也是汽车工业发展和科学技术进步的产物<sup>[7]</sup>。目前，各类的停车问题层出不穷，尤其在亚洲各国出现的次数较多，根据各方数据显示，立体停车的相关市场主要分布在中国、韩国、日本等多个地方。

论国外，说到立体车库的源头，就可以想到上个世纪的美国。首先，第一座机械式升降立体汽车库就是在美国被建造而成的，而此时，当立体车库出现的时候，一直面临难题的停车问题得到了很好的解决。随着科技的发展，世界各国也都紧随美国的后头，更多种形式的立体车库也开始在欧洲的国家出现。20世纪60年代，汽车方面的工业也逐步开始大力的发展，其中，在亚洲国家尤为凸显，而私家车的数量更是急速上升，停车难的问题也跟着出现了。随着逐渐的问题出现的越来越多，各个国家和其大小地区都开始注重机械式停车库的研究，都取得了不错的发展，很有效地缓解了停车难的状况。与此同时，也逐步作为了一个包含着立体车库制造、安装、使用和维修的产业链起步。其中，起步较早、发展较快的就是那些人口数量多，用车数量也大但占地面积不大的国家与或者地区，如：日本、韩国和我国的港、澳、台。

日本，在汽车行业方面颇有名气，论到汽车车库方面，他也是应用机械式立体

---

停车库的首批国家之一，其中，新明和三菱重工就是其发展较为好且比较出名的企业。而其余发展的比较好的国家韩国、中国以及台湾地区对于立体车库的研究相较落后一些。八十年代期间，韩国引进日本的技术，同时政府给予大力支持，让立体车库的技术研究突发猛进，并在九十年代就能够熟练掌握了。所以，在各国的重视政策之下，立体车库已经有了很多种类，而且每年都以 30% 左右的速度在增加，发展比较稳定。

论国内，跟国外的技术比起来，我国立体车库方面技术的发展稍晚些，一开始研究的机械式立体车库大部分都是仿日本生产的<sup>[10]</sup>。20 世纪 80 年代，立体车库首次出现在台湾，而 1989 年的时候，垂直循环式立体车库也开始在内陆出现<sup>[9]</sup>，逐步的，90 年代初期成为了立体车库的技术引进和消化阶段<sup>[8]</sup>。同为 80 年代，我国也已经接触了立体车库，可惜近 20 年没有很大的发展空间，这方面技术也是没有发展下去。到 20 世纪 90 年代末 21 世纪初，由于汽车工业和建筑业的快速进步，轿车也随着融入我们家庭，汽车的使用数量也快速上升，所需要的停车位也增多，此时的机械式立体车库，开始受到国家的重视，得到良好的推广与应用很，并逐渐形成了新兴的停车设备行业<sup>[11]</sup>。2015 年，着力发展车库技术的企业数目上升迅速，很快就达到近百家。在国内立体车库制造企业发展的同时，全国起重机械标准化技术委员会也经过近 20 年的努力，给机械式停车设备 9 大类产品均制定了相应的产品标准<sup>[12]</sup>，这无疑是为机械式立体停车设备的创新发展奠定了基础。如今，经过先前的快速发展，机械式立体车库行业也是进入了稳定发展阶段，在将来，汽车的使用量会增多，机械式立体车库的需求是很有潜力的。近几年，停车问题的逐渐增多，国家的重视程度也迅速上升，国家和地方政府对此越来越重视，发布及出台了十多项关于停车方面的法律法规和政策。正是在国家的重点关注之下，一种基于“新建建筑必须满足自己产生的停车需求”的原则即配建车位指标概念应运而生。随着政策的进一步落实，近些年各个城市大力建设配建车位以满足人民的需求，根据数据显示：随着城市建筑所配套建设的停车位数量越来越多，如今配建车位已经约占整个城市停车位总量的 80%，在一些城市配建车位的数量甚至能够达到占全市 95%。但是随着国家城镇化建设的快速发展，我国汽车的拥有量大幅提升以及我国房地产市场的持续萎缩，城市停车难的问题仍未解决，因此国内机械式停车设备的市场重心也从以增加住宅小区所配套的停车位需求为主导的市场向以解决城市重点城区实际的停车需求为主导的市场转变。所以，现在越来越多的人对小型机械立体停车设备进行研究，经过不懈的努力得出了许多有效的研究成果，研究出了不同类型的机械立体式停车设备，如简易升降式的立体车库、无避让式的立体车库等，但是这些机械立体式停车设备仍然存在着一一些问题。小型机械式立体停车设备的结构较为复杂，在停车和取车的过程中需要花费驾驶员较长的时间停放，同时建设这些停车设备需要花费的成本及维护维修费用较高。因此，各大企业与高校投入大量的人力物力对此进行研究，通过将计算机电子信息、液压控制等技术的相互结合，以停车设备越

---

来越智能化，存取速度越来越快、控制技术越来越成熟为目标，在实际应用停车设备的基础上进行创新研发，为未来机械立体式停车设备的发展奠定良好的基础。

---

### 1.3 本设计应解决的主要问题

目前，基于立体车库的分析，应解决的问题主要有：

- 1、车库在存取车辆的时候，上下层车库能相互不干涉；
- 2、该车库的存在不会影响隔壁车库的运作；
- 3、车库在存取车库的过程，操作简便；

---

## 2 发明问题解决理论

### 2.1 引言

当今社会，科技发展越来越快，人们的生活品质也随着上升，对身边产品的要求也越来越高，“高质量，低成本”是明显的趋势，这些要求无疑是给现在的设计人员出了个难关，无论是要求其有所会知识、思维能力，都得是需要很有能力的人进行创新设计，展示其产品的及时性、可靠性、先进性以及经济性<sup>[20-22]</sup>。为此，对于设计人员如何提高产品各方面性能，对产品的创新、思维开拓方面都有新要求。在机械行业竞争中一个十分重要的因素就是通过方法理论结合对现有产品进行创新，如何在概念设计阶段对产品进行创新也成为企业研发的重要问题。

国际上有很多著名设计理论，其中 TRIZ 理论较为突出，相较其它设计理论，TRIZ 理论通过将问题标准化处理，逐步分析问题矛盾，最终结合各专业领域知识找到解决方案，具有较强思维发散性与可操作性。

### 2.2 TRIZ 的定义

TRIZ<sup>[23-27]</sup> (俄文缩写) 理论全称为发明问题解决理论，是由前苏联发明家根里奇·阿奇舒勒先生创立。由于 TRIZ 理论的标准性、严谨性和普遍性，使其很快在各国得到发展。TRIZ 研究团队耗费大量人力物力对全世界的先进专利进行研究、总结，综合各学科专业原理并进行大量实验验证，最终总结出在发明创造过程中解决技术问题的规律方法。之后，阿奇舒勒综合了这些规律和法则，形成了 TRIZ 理论，通过该理论可以有效加快创新进程，快速得到高质量的创新产品<sup>[28-35]</sup>。多年来的实践效果反映出 TRIZ 理论在设计师进行创新设计研发工作时具有良好的思路扩展和引导作用，对创新设计领域具有重要意义。

总的来说，TRIZ 理论是一种创新研究工具，在发明创造过程中辅助人们分析问题根本矛盾并寻找对应解决方法，正如著名的 TRIZ 专家 Sawansky 博士对 TRIZ 的定义：TRIZ 是基于知识的、面向人的、发明问题解决理论、系统化的方法学<sup>[36]</sup>。目前在解决工程问题时，TRIZ 理论是最强有力的工具。

### 2.3 TRIZ 理论体系

TRIZ 理论的核心思想主要体现在 3 个方面。首先，无论是一个简单产品还是复

杂的技术系统，其核心技术都是遵循着客观的规律发展演变的，即具有客观的进化规律和模式。其次，各种技术难题、矛盾和矛盾的不断解决是推动这种进化过程的动力。再就是技术系统发展的理想状态是用尽量少的资源实现尽量多的功能。传统上，TRIZ 的理论体系的表述方式如下图 2.1:

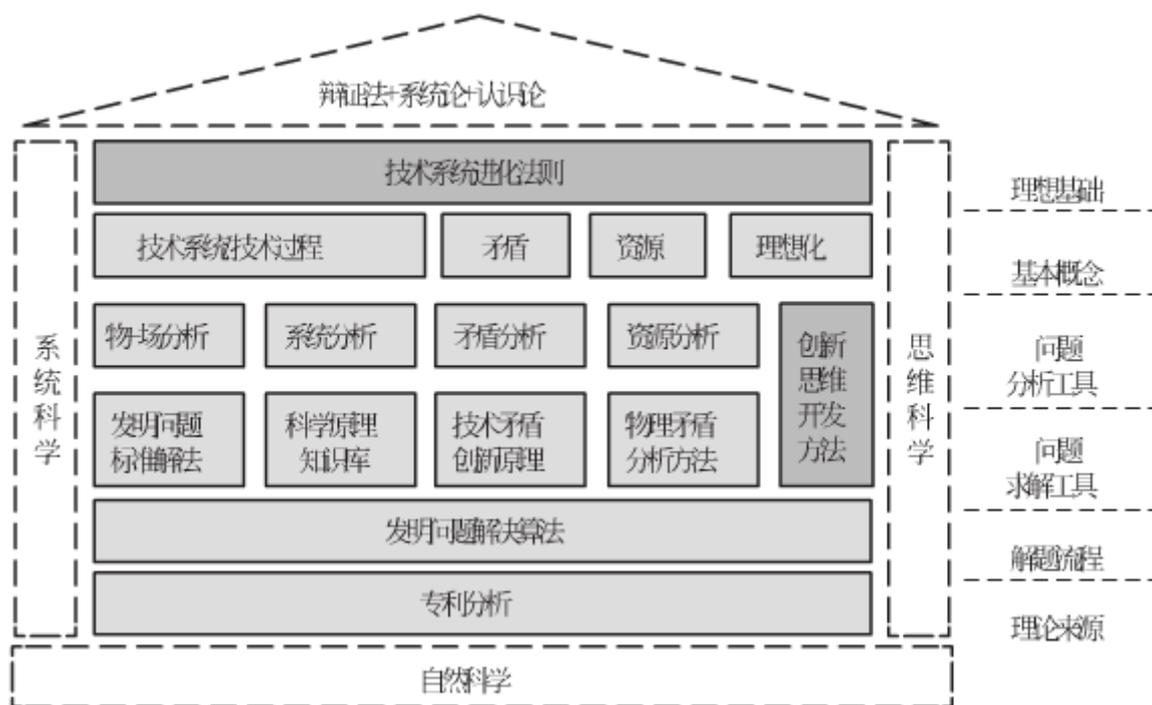


图 2.1 TRIZ 经典体系的表述方式

TRIZ 理论包含着许多系统、科学而又富有可操作性的创造性思维方法和发明问题的分析方法。而如今，经过半个多世纪的发展，TRIZ 理论已经成为一套解决新产品开发实际问题的成熟的九大经典理论体系，如：八大进化法则、最终理想解、40 个发明原理、39 个工程参数及阿奇舒勒矛盾矩阵、物理矛盾和四大分离原理、物-场模型分析、发明问题的标准解法、发明问题解决算法、科学效应和现象知识库。



### 3 小型立体车库的总体方案拟定

#### 3.1 目前小型升降立体车库的分析

此次设计，主要以简易升降类立体车库为主体来研究。在如今当中，根据使用率较高的立体车库种类中可知，不同升降形式的简易立体车库，其车库车辆进行多层停放时，实际过程中主要有三种不同类型的运动形式：升降运动、平移运动和回转运动。在简易升降立体车库最开始传动机构中，其机构传动方式大致都为最普通的升降运动，例如：俯仰传动机构中液压缸的伸缩<sup>[40]</sup>、卷扬机通过正反转的方式带动钢丝绳运动<sup>[41]</sup>、液压动力驱动剪叉式升降机构<sup>[42]</sup>和卷扬机动力驱动的钢丝绳与滑轮组相互配合运动<sup>[43]</sup>实现上一层车库升降，结构如图 3-1 所示。

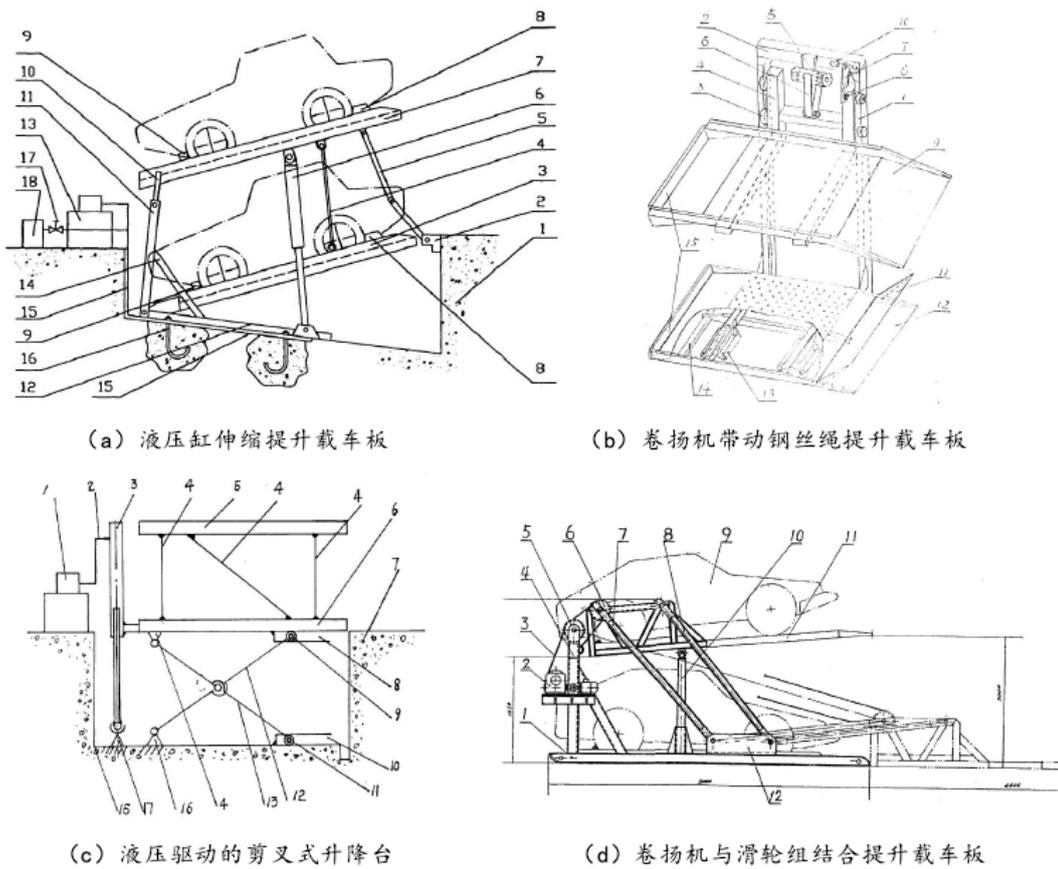


图 3.1 简易升降类立体车库早期传动机构图

目前，传统的简易升降立体车库优点有：运动简单可靠、安装费用低等。因此，在生活中，使用范围是较广泛的，它的传动形式主要有电机动力驱动钢丝绳向上提升、液压缸俯仰驱动向上提升、液压缸垂直提升和链轮链条相互啮合向上提升等，形式如图 3-2 所示。



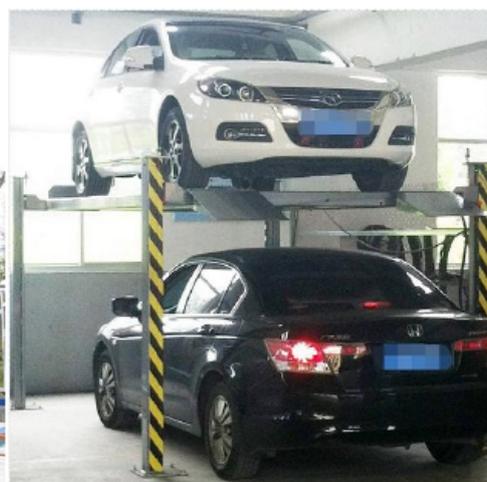
(a) 钢丝绳提升



(b) 液压缸俯仰或摆动提升



(c) 液压缸垂直顶升



(d) 链轮链条提升

图 3.2 传统简易升降类立体车库提升方式图

综合以上内容分析知，简易升降类车库通常情况下分为上下两层结构，大部分都是借助升降机构或俯仰机构完成汽车的停放，如当下车车库有的车的时候，我们又刚好要把车停到上层车库去，这个时候就只能把下车车库内的车移动出来需。于传统的简易升降形式的立体车库来探究后，其现在所存在的最重要的问题就是：上层车库车位在存放时，无法避免的因为下层车库车辆移出时造成不便。若根据立体车库的客户需求方面分析的话，归根到底，简易升降类立体车库的服务对象就是我们这些生活着的人们。因此，要使简易升降类立体车库实际生活中广泛应用，就必须能够让我们这些服务群体感受到生活的便利，即能够简单快速的完成停车。就比如：在我们需要把车停放在上层车库的时候，不需要考虑到下层车是否存在，不需要去把下层车移开。所以，此次设计就将从这方面问题进行改良优化。

---

## 3.2 小型立体车库的因果分析

### 3.2.1 五个为什么分析

以上节内容来论，根据目前简易升降类立体车库所存在的问题进行分析，先采用五个为什么“为什么”的方法进行因果分析，通过一步步分析，得出有效的解决问题的方案。

1、在存取上层车库时候，下层车辆需要避让。为什么？

2、在下降过程中，在下层的车辆阻碍了让上层车辆转移机构的运行路径。

为什么会阻碍机构的运行路径？

3、在上层存取前，需要把车辆转移到下层车库的位子上。

为什么需要转移到下层车库的位子上？

4、上层车直接在上层入库比较难以实现。

为什么难以实现？

5、简易升降车库采用的机构都是垂直的升降机构或者俯仰机构这类结构较为简单的机构，其的存取路径基本都会经过下层车库。

那么，解决方案：可从机构的存取路径上入手。

### 3.2.2 因果轴分析

由于车库系统的不足，在此对其进行因果轴分析，可进一步地分析其产生的原因，再利用这些原因写成因果轴，用其表达出来，如图 3.3 所示

而因果轴的组成则是原因轴加上结果轴来表示，原因轴上，找到的因素为：1、下层对上层车的运作路径有阻碍、2、机构运作过程，下降点在下车位，会发生碰撞、3、机构结构单运作路径较为单一；而结构轴较为简单，找到因素为：当上层车需要存取时，下层车库有车。

然后，对因果轴进行图形化规范描述，如图 3.4 所示。描述完后，得出下层车需要避让的根本原因为：1、机构的运作路径过度；2、存取机构的运作过程不稳定；3、下层降落点的存在造成了有害影响；4、上层车库的直接入库条件比较不足。5、选用的机构结构复杂程度不够。

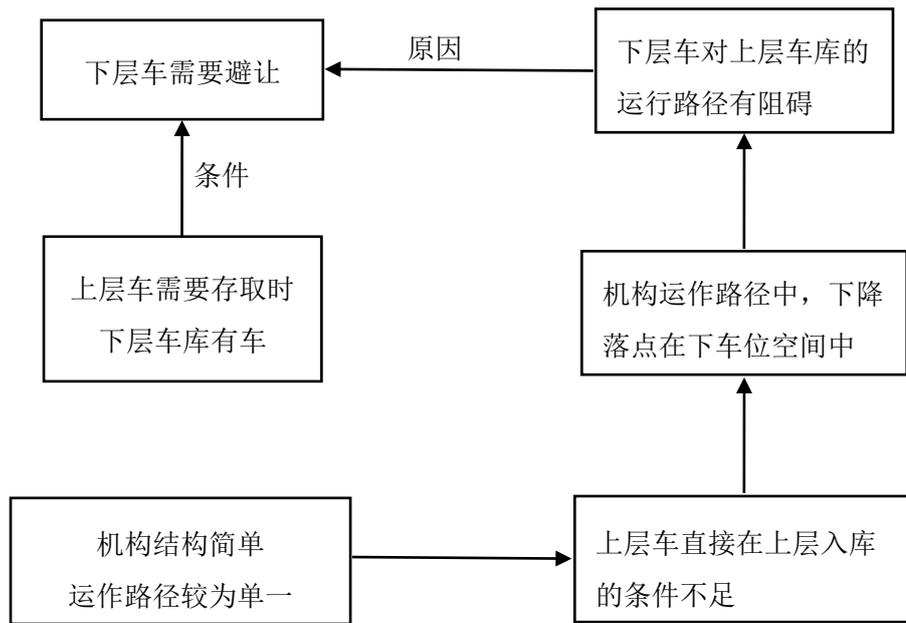


图 3.3 简易升降类立体车库的因果轴分析模型

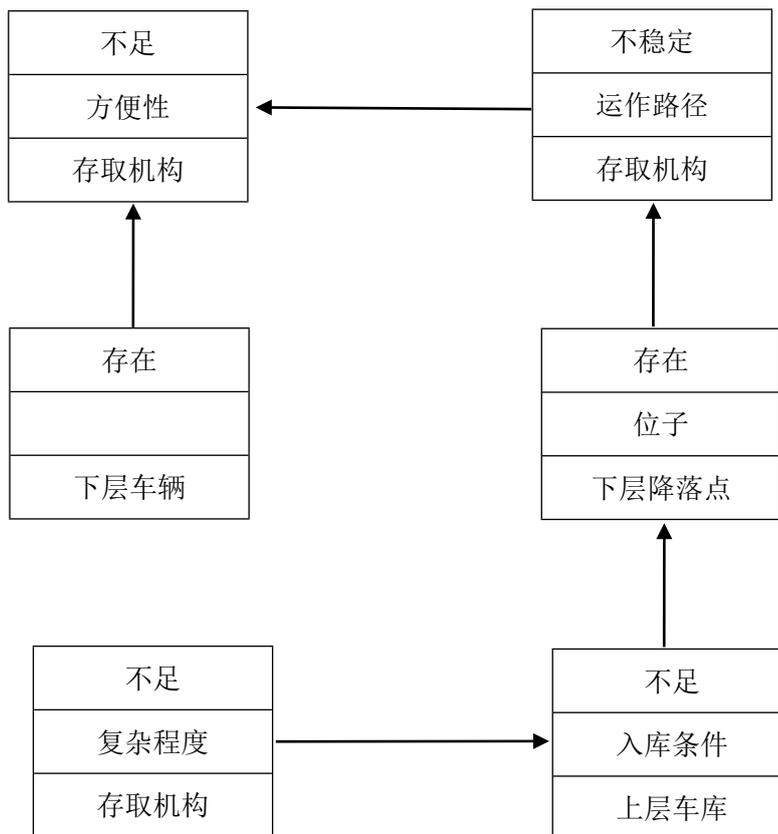


图 3.4 简易升降立体车库的因果轴规范化模型

### 3.3 小型立体车库的方案确认

#### 3.3.1 小型立体车库主要的问题

由之前的分析可知，目前的问题是：上层车辆较为难以实现直接在上层入库，然后只能都通过下降至下层车库所在的位子，再在下层入库，然后通过机构提升上去。在这个过程中，下层车库会对上层车库的运行路径造成阻碍，从而需要将下层车移开。此外，还可能会出现因为上下两辆车在不同的时间段使用的原因，会对下层车辆的车主带来麻烦，上层车辆的车主也会有所不便，即在下层车存取车时候，而上层车库需要被使用的时候。

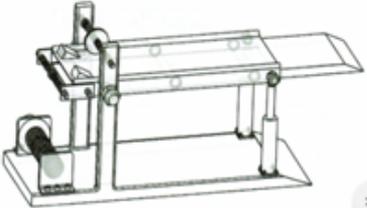
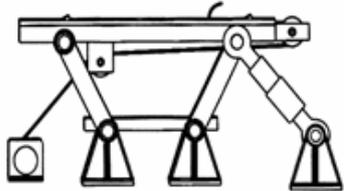
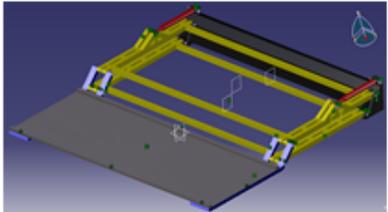
#### 3.3.2 小型立体车库的方案

根据所分析的主要问题与阿奇舒勒矛盾矩阵的方法，对小型立体车库一遍步骤后，在此对所能确定的方案进行汇总与简单介绍，如表 3.1、表 3.2。

表 3.1 方案的冲突确认过程汇总表

方案	识别技术矛盾		转化工程参数		查表得发明原理
	B	C	B1	C1	
一	提高车库机构的可操作性	车库过程的能量损失会变大	33. 可操作性	22. 能量损失	2, 19, 13
二、三	通过复杂的结构减少车库运行过程中的能量损失	结构零件数目增加	22. 能量损失	26. 物质或事物的数量	7, 18, 25
四	提高车库机构的可操作性	车库机构会变得更加复杂	33. 可操作性	37. 设备复杂性	32, 26, 12, 17

表 3.2 方案的确认汇总表

方案	运用发明原理	设计简介	图
一	NO.2 分离原理	利用分离原理，将上层车库的载车板和提升机构一起分离出来。运用钢丝绳作为传递拉伸并令车库上下层位移的工具，卷扬机和行走电机作为拉伸的动力，履带作为上层库的平移工具等零部件构成钢丝绳悬吊式二元立体车库	
二	NO.7 嵌套原理	运用嵌套原理，将上车版做成嵌套式，外层倾斜一定角度后，由嵌套做成的内车板延伸到地板，令车辆自动行驶上去。由液压缸控制上车板的倾斜角度，行走电机控制内层车板的伸长等零部件构成的载车板嵌套式二元立体车库。	
三	NO.25 自服务原理	运用自服务原理，使车辆不需要很大的动力或者尽量不需要借助外界复杂的动力机构就可以直接到达上层载车板。结合连杆机构的原理，将上层载车板当作一连杆，车库支架作机架，再和两对连架杆组成四杆机构，令上层载车板能够自行降落至地面。	
四	NO.17 空间维数变换原理	运用维数变换原理，有正常的二维运动变换为三维运动已达到上层车库下降至下层的原理。利用液压钢的伸缩，平行四边形连杆机构已达到水平托举的目的，上车库放在托架上，以托举的形式达到上下层位移	

在此，我们选取方案四来进行深入研究与设计：阿奇舒勒矛盾矩阵立体车库创新设计实施：（1）描述关键问题：上层车库 E 移动到下层需要把下层车挪开（2）将问题转化为技术矛盾：如果通过非垂直路线下降，那么无需挪开下层车，但是机构会变复杂（3）识别矛盾参数，B1 为参数 33 使用方便性（可操作性），C1 为参数 37 设备复杂性。（4）对照 B1 列 C1 行，查找阿奇舒勒矛盾矩阵如表 1，获得发明编号 32、26、12、17，其中，32 是指改变颜色、拟态，26 是指复制，12 是指等势，17 是空间维数变换。（5）根据所推荐发明原理，选择 17 号空间维数变换，该发明原理就是讲本来在二维面运动时所存在的问题，运用过度到三维空间运动来消除。则根据空间维数变换的发明原理，将采用液压托举机构的方法来实现。

## 4 液压托举式立体车库的设计

### 4.1 车库设计

此立体车库系统的结构主要由承载托盘机构、底座、平行四边形连接杆机构、两液压缸、传感器和控制系统组成。可归为简易升降类立体车库。车库总体结构简单、当两车处在承载托盘上且为上下两层状态时，为正常的储存状态。上层车库的原理大致为，由平行四边形连接杆机构实现的上下层移动，移动过程由平行四边形连接杆机构中原动臂处的液压缸水平伸缩运动实现如下图 4.1。

整个车库结构简单，操作方便，且上层和下层车库互相独立，机构安全护锁，运行可靠，效率也高。

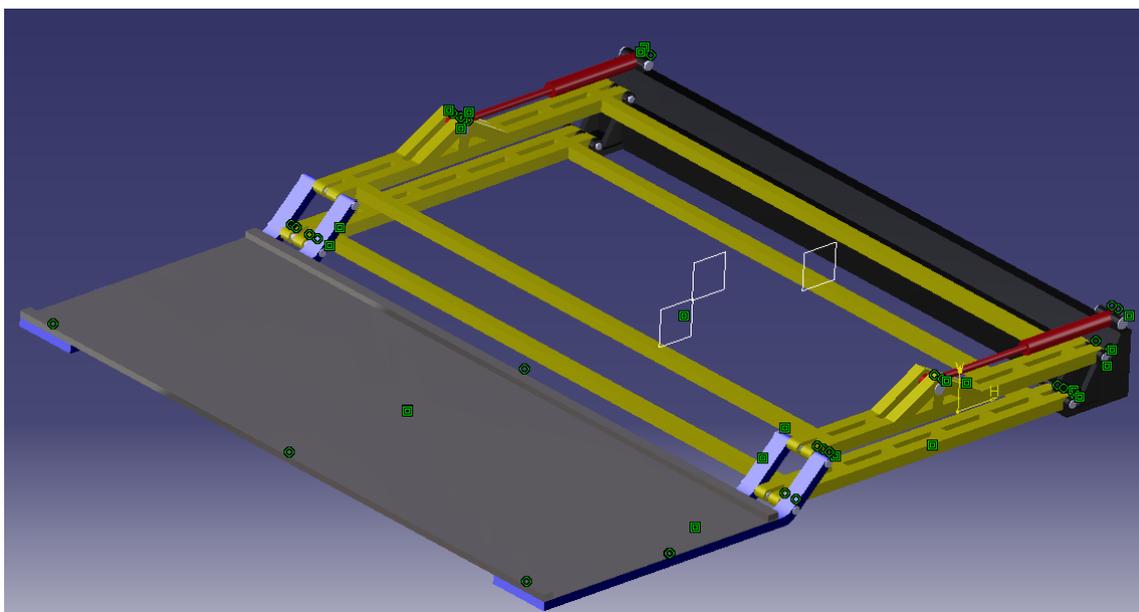


图 4.1 车库简图

### 4.2 机构介绍

平行四边形连接杆机构是由两个平行四边形连接杆分别连接两个液压缸组成。液压缸水平装在平行四边形连接杆机构上方的一侧，缸体底部和液压导杆顶端都有活动销轴的连接装置，缸体底部和底盘连接，液压导杆顶端和平行四边形连杆上凸起部位的原动臂连杆连接，令平行四边形连接杆机构在液压缸的伸缩运动过程中向上转动。平行四边形连接杆机构与液压缸一起安装在底座上，平行四边形连接杆机构的另一端（与液压缸相反端）与连杆构成托盘托架，托盘托架与承载托盘底部相连。

### 4.3 运动分析

当车库的上层有车停放且已经储存完毕的时候，整个托举机构是直立的状态。即连杆机构为与地面成垂直状态，托架在最上方被托举静止不动的状态。此时，当车库需要运作的时候时，托架部分需往下层移动，可以通过操作控制面板上的顶层存车按钮，液压缸准备开始运作，此时，车库上装的传感器开始工作，当检测到车库满足运行的条件后，液压缸开始伸出，推动者原动臂，使连接杆开始往下层转动。此时，连接杆以 B、B'、A、A' 为旋转点，以缓慢的速度把托架降至下层，放平在地面，如图 4.2。

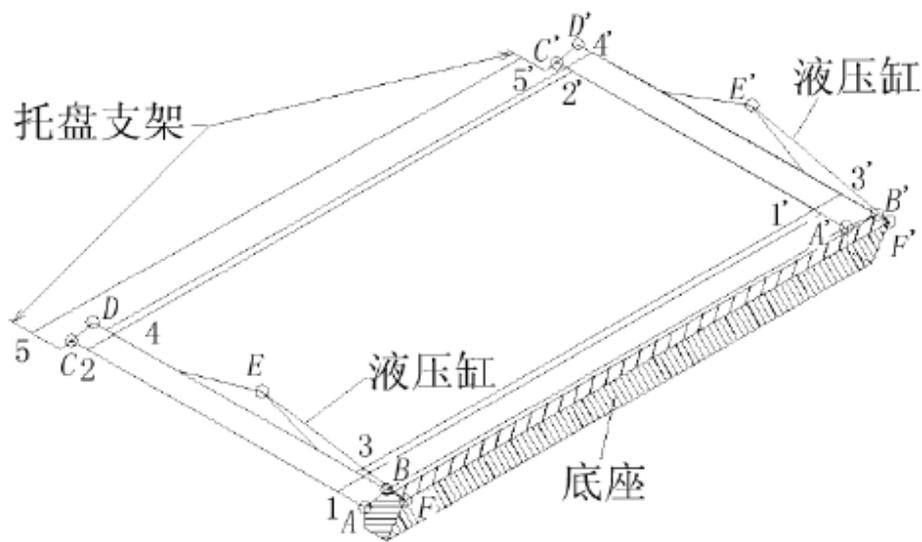


图 4.2 平行四边形连接杆机构简图

反之，降至下层时候，若有停放的车入库后停在承载板上，按动控制面板上的按钮，液压系统重新工作，液压缸的伸缩杆开始收缩，带着平行四边形连接杆机构托举着托架和承载板与车做类圆曲线的往返运动。当液压缸收缩至极限的时候，也是最初的直立状态，车辆位于最高位子，此时整个机构各部分都处于稳定状态。

### 4.4 机构的自由度分析

每设计一个机构，或者认真解析一个机构，首先做的就是他的自由度分析和计算。计算公式为：

$$F = 3n - 2P_1 - P_h \quad (\text{式 4.1})$$

式 4.1 中：F——机构的自由度；

N——机构活动构件数；

P<sub>1</sub>——机构中低副的数目；

P<sub>h</sub>——机构中高副的数目。

得出结果后，若  $F=0$  的话，这个结构为刚性桁架结构，则构件之间无相对运动<sup>[37]</sup>。若原动件数目  $>F$  时，则各机构无确定的相对运动<sup>[38]</sup>；若原动件数目  $<F$  时，则该机构容易在薄弱处发生损坏。但若是当机构自由度  $F>0$  时，此时，也正是机构中原动件数目与机构自由度数值相同时，也证明此机构具有确定的运动<sup>[39]</sup>。

如图 4.2 中所示，下方的连杆 AC 与连杆 A'C 通过横连杆 11' 和横连杆 22' 刚性连接，使得 AA'C'C 形成一个框形构件；同理，上方的连杆 BD 与连杆 B'D' 通过横连杆 33' 和横连杆 44' 刚性连接，也令得 BB'D'D 形成一个框形构件；AB 与 A'B' 是一起安装在底座上的，它们两个也形成一个构件；而连杆 CD 与连杆 C'D 处于连接部位，他是由平行四边形连接杆和托架与载车板连接并成为一体。所以，构件中的 A'、B'、C'、D' 形成了虚约束。

经过计算，平行四边形连接杆机构的自由度为： $F=3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ ，所以它的自由度为 1，把框型结构 BDD'B'（与两个液压缸连接的结构）作为原动件，原动件数目与机构自由度数值相同，都为 1，所以这个机构具有确定的运动轨迹<sup>[40]</sup>。

#### 4.5 平行四边形连接杆机构的运行轨迹分析

下面用解析法进行分析，对象是平行四边形连接杆机构上任意一点 E 的运动轨迹<sup>[41]</sup>，如图 4.3 所示。以连杆 BD 为原动件，取 B 点为坐标原点，则连杆 DC 延长杆上一点 E 的运动轨迹方程为：

$$\begin{aligned} X_E &= L_{BD} \cos \alpha + L_{CE} \cos \beta + L_{DC} \\ Y_E &= L_{BD} \sin \alpha + L_{CE} \sin \beta \end{aligned} \quad (\text{式 4.2})$$

参考运动轨迹方程 4.2 可以得出，点 E，是连杆 DC 延长杆上的任意一点，他的轨迹是由主动连杆 BD 决定的半圆弧形，这个半圆形的回转半径就等于连杆 BD 或 AC 的长度，即  $R=L_{BD}$  或者  $R=L_{AC}$ ，其圆心坐标为  $(L_{CE} \cos \beta + L_{DC}, L_{CE} \sin \beta)$ 。

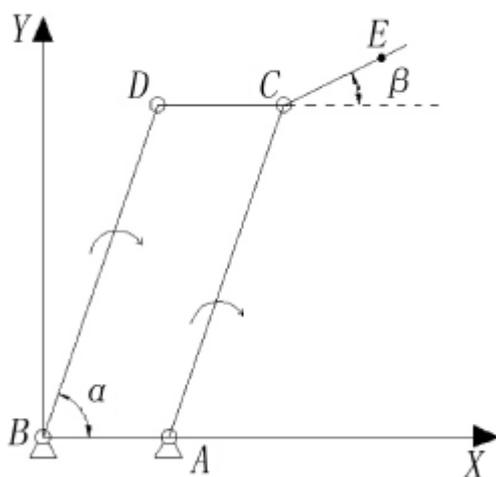


图 4.3 平行四边形连杆结构简图

再用图解法来对另一部分的托架上任意一点  $e$  的轨迹进行分析，如下图 3.10 所示。图中，巧妙地画出机构运行时期，在不同位置上的运动示意图，可以看出其运动轨迹。参考图 4.4，会知道托架上任意一点  $e$  的轨迹，是由主动连杆  $bd$  决定的圆弧，该圆弧的回转半径就等于连杆  $bd$  或  $ac$  的长度，即  $r=l_{bd}$  或  $r=l_{ac}$ ，圆心坐标  $O$  位于距离  $a$  点的  $l_{ce}$  之处，即长度  $L_{ao}=L_{ce}$ 。

此外，通过图 4.4 也可以看出，我们的平行四边形连接杆机构的最大高度和水平位移的距离，也就是连杆  $ac$  或  $bd$  的长度。

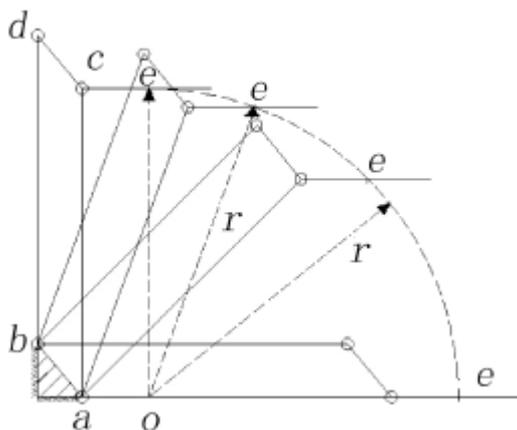
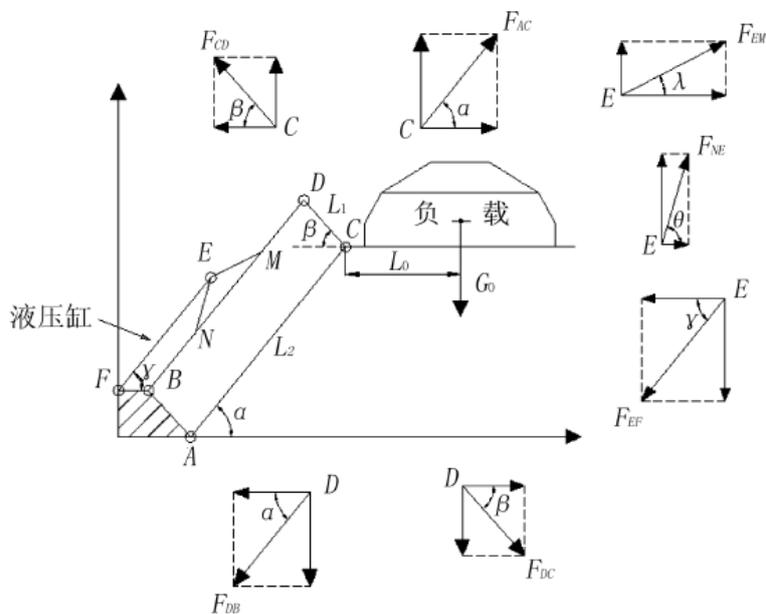


图 4.4 机构运动轨迹示意图

## 4.6 托举机构的受力分析

机构的液压缸作用于平行四边形连接杆机构的原动臂连杆，当位于某一时刻的  $C$  点、 $D$  点、 $E$  点受力情况分析，如图 4.5 所示。



---

图 4.5 机构受力分析简图

承载托盘除了受到承载车辆的重力，还有托盘自重，假设合并起来后的重量为  $G_0$ ，重心的位置如图 4.5 所示。承载托盘除了受到重力  $G_0$  外，还要受到机构连杆 AC 和 DC 的作用力，整个机构在液压缸的作用下，保持一种稳定的状态<sup>[42]</sup>。

E 点受力平衡方程：

$$\begin{aligned} F_{EF} \sin \gamma - F_{NE} \sin \theta - F_{ME} \sin \lambda &= 0 \\ F_{EF} \cos \gamma - F_{NE} \cos \theta - F_{ME} \cos \lambda &= 0 \end{aligned} \quad (\text{式 4.3})$$

C 点力矩平衡方程：

$$F_{CD} \sin \beta \cdot L_1 \cos \beta + F_A C \sin \alpha \cdot L_2 \cos \alpha - G_0 \cdot L_0 = 0 \quad (\text{式 4.4})$$

通过各点受力情况和方程等式可以看出，在整个水平托举或下降动作的运动过程中，在任一点的平衡状态，所需液压缸的动力  $F_{EF}$ ，是随着托举机构所处于的位置状态的不同而不同的。

---

## 5 小型立体车库的各参数确认

### 5.1 承载托盘的设计

#### 5.1.1 承载板的参数确定

液压托举式小型立体车库的车容量为两辆，车型现选择中小型车型为例，尺寸上限设定为：总长 4800mm，宽 1800mm，总高 1550mm，重 1700kg。承载托板尺寸，也即汽车载车板的尺寸，考虑到停放要求，肯定比车型的尺寸大，则设定为：总长 5800mm，宽 2300mm，厚度 5mm。

由于对应力的承受能力要求较高，故底板的材料选为 45 号钢，密度为  $7.85 \times 103\text{kg/m}^3$ ，根据质量公式公式：

$$m = \rho V \quad (\text{式 5.1})$$

则根据公式 5.1 托盘的质量为：

$$m_{\text{板}} = \rho V = 7.85 \times 10^3 \times 5.8 \times 2.3 \times 0.005 = 523.595\text{kg}$$

由于车上可能还有其他附件或者物品，因此将托板的质量修整为  $m_{\text{板}}=530\text{N}$   
重量  $G_{\text{板}}=530 \times 10=5300\text{N}$

#### 5.1.2 承载板的应力校核

当汽车停在底板上时，由于每个车轮与底板的接触面积为 0.02 平方米，总的接触面积为 0.08 平方米，当人在车里面，再加上其他负重，以及汽车的自重，底板受到的力为：

$$G_{\text{车}} = \text{人重} + \text{车重} \quad (\text{式 5.2})$$

则：

$$G_{\text{车}} = (75 + 1700) \times 10 = 177500\text{N}$$

45 钢的抗拉强度  $[\sigma] = 610\text{M pa}$

根据应力公式：

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{式 5.3})$$

底板上接触面的挤压应力为：

$$\sigma = \frac{17750}{0.08} = 221875\text{pa} < [\sigma]$$

故材料及其底板尺寸选择满足要求。

## 5.2 液压平行四边形连接杆机构的结构设计

### 5.2.1 托架部分

#### 5.2.1.1 托架的参数确认

在连杆机构的设计中，托架起着极其重要的部分，他是撑起上层车库的重要角色，此处，选用材料为 Q235 钢，厚宽为  $75 \times 150\text{mm}$  的钢架作为机构机架，体积为  $V_1=0.24\text{m}^3$ ，与托板接触面面积  $S_1=3.09\text{m}$ ，架子部分总长度为  $l=2.3\text{m}$ ，则根据公式 5.1 托架的总质量为：

$$m_{\text{架}} = 7.85 \times 10^3 \times 0.24 = 1884\text{kg}$$

重量为：  $G_{\text{架}} = 1884 \times 10 = 18840\text{N}$

这部分总重量为：  $G_1 = G_{\text{板}} + G_{\text{车}} + G_{\text{架}} = 5300 + 18840 + 17750 = 41890\text{N}$

其结构设计如图 5.1 所示：

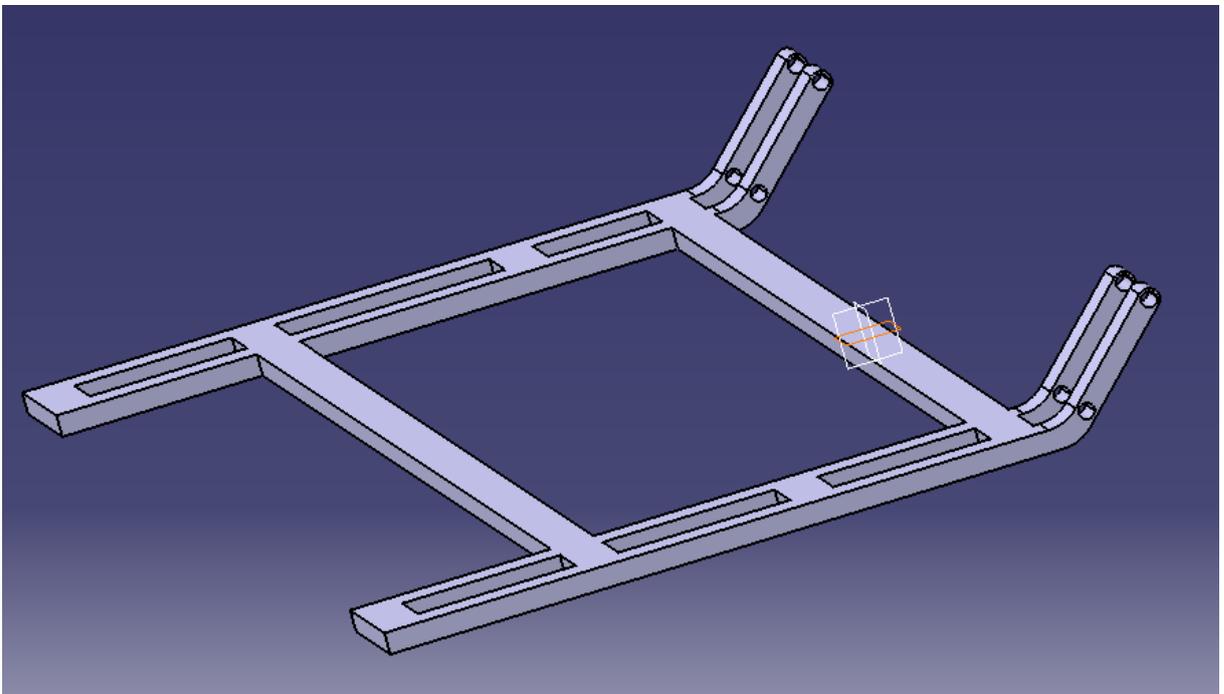


图 5.1 托架结构设计

#### 5.2.1.2 托架的最大弯曲应力校核

当托架托着承载板的时候，和悬臂梁受均匀载荷时候的情况相同，可归为一类

研究。

当受到均匀载荷时，弯矩的公式为：

$$M_1 = \frac{ql^2}{2} \quad (\text{式 5.4})$$

均匀载荷  $q$  的公式为：

$$q = \frac{G}{S} \quad (\text{式 5.5})$$

则根据公式 5.4、5.5 当受到均匀载荷  $q$  的时候，最大弯矩为：

$$M_1 = \frac{ql^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{G_1}{S_1} l^2 = \frac{41890}{2 \times 3.09} = 6778.31715 \approx 6780N$$

矩形钢材的截面系数公式为：

$$W = \frac{a \times b \times b}{6} \quad (\text{式 5.5})$$

式 5.5 中， $a$ ——宽

$b$ ——厚

所以其截面系数为：

$$W = \frac{0.075 \times 0.15 \times 0.15}{6} = 2.8125 \times 10^{-4}$$

此时应力计算公式为：

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (\text{式 5.6})$$

所以根据式子 5.6 实际应力为：

$$\sigma_1 = \frac{6780}{0.00028125} = 24106666.7 \approx 24.1 \times 10^6 Pa$$

最大许用弯曲应力为： $[\sigma] = 158MPa = 158 \times 10^6 Pa > \sigma_1$ ；

故材料及其托架尺寸选择满足要求。

[Q235 参考资料] Q235 钢 许用弯曲应力  $[\sigma] = 158MPa$  许用剪切应力  $[\tau] = 98MPa$   
许用挤压应力  $[\sigma]_p = 240MPa$

## 5.2.2 平行四边形连接杆部分

### 5.2.2.1 平行四边形连接杆参数的确定

平行四边形连接杆，同托架部分一样，是搬运上层车库的重要结构，还再运作工程中，起着主要的支撑作用。在此，选用材料为 Q235 钢，厚宽为  $100 \times 100mm$  的钢架，机构连杆部分的总长为  $5400mm$ ，体积为  $V_2 = 0.63m^3$ ，则根据式子 5.1 连杆机构的质 量 为：

$$m_{\text{杆}} = 7.85 \times 103 \times 0.63 = 4961.2 \text{ kg}$$

重量为：  $G_{\text{杆}} = 4961.2 \times 10 = 49612 \text{ N}$

当整个机构运作时候，连杆机构所受的总重力为：

$$G_2 = G_1 + G_{\text{杆}} = 41890 + 49612 = 91502 \text{ N}$$

其结构分为上下两个机架，由销轴和其他部件连接后构成平行四边形连杆，设计如图 5.2 所示：

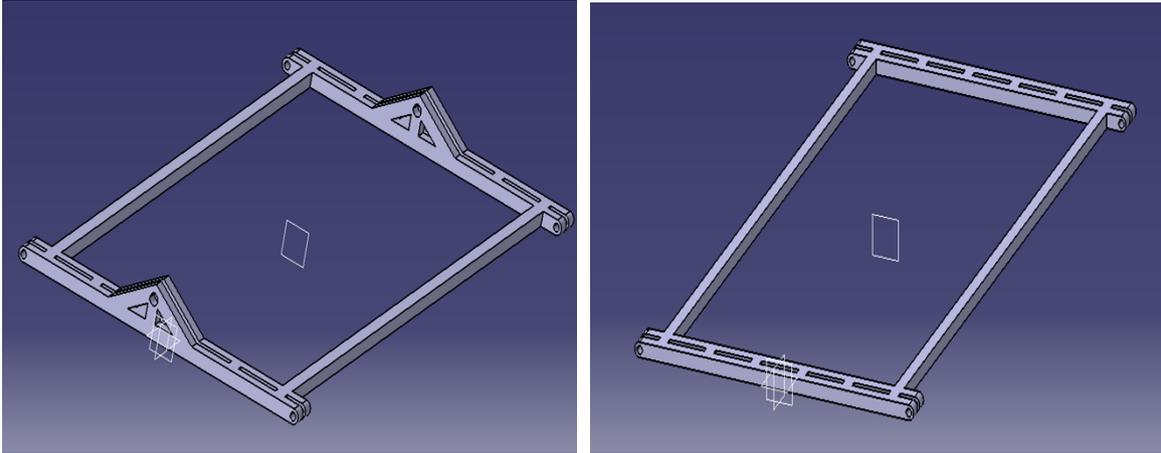


图 5.2 连杆上下部分机架

### 5.2.2.2 连杆机构的最大弯曲应力校核

当平行四边形连接杆机构开始工作的时候，情况可当做悬臂梁正常受力的来分析此时，弯矩计算公式为：

$$M = P \times A \quad (\text{式 5.7})$$

式子 5.7 中，P——所承受力

A——到受力点的距离

根据公式 5.7，最大弯矩为：

$$M_2 = P \times A = G_2 \times A = 90510 \times 5.4 = 488754 \text{ N}\cdot\text{m}$$

根据公式 5.5 矩形钢材的截面系数为：

$$W = \frac{0.1 \times 2 \times 0.1 \times 4 \times 0.1 \times 4}{6} = 5.33 \times 10^{-3}$$

所以根据公式 5.6 实际应力为：

$$\sigma_2 = \frac{488754}{0.00533} = 92.2177358 \times 10^6 \text{ Pa} \leq [\sigma];$$

故材料及其机构尺寸选择满足要求。

### 5.2.3 液压缸的选择

液压系统，在本设计中采用液压作为驱动系统，液压源采用独立的液压站提供液压动力，通过调节液压的同步系统，使两个液压缸能够同步工作，完成好液压杆的伸缩。

液压缸选用双作用式活塞式液压缸，固定方式为缸筒固定，选材为铸钢，液压的活塞杆要拉起车辆、承载板和托板，载荷相当大。要活塞杆成功拉起，因此在此设计杆的最大工作负载为  $F_w = G_2 = 90510N$ 。取稳定安全系数  $n_{st} = 6$ ，活塞杆长度  $l = 1200mm$

根据公式：

$$P_{cr} = F_w n_{st} \quad (\text{式 5.8})$$

杆的临界压力  $P_{cr} = F_w \times n_{st} = 90510 \times 6 = 543060N$

由公式：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (\text{式 5.9})$$

式 5.9 中，E——钢材的弹性模量，这里  $E = 210pa$

I——活塞杆截面的惯性矩 (m<sup>4</sup>)；

l——活塞杆的长度 (m)

求得：

$$I = \frac{1.2^2 \times 543060}{\pi^2 \times 210 \times 10^9} \approx 3.77 \times 10^{-7} m^4$$

又有：

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 \quad (\text{式 5.10})$$

于是根据式 5.10 求得杆的直径约为  $d = 0.0526m$ ，查表 GB2348-80《活塞杆直径系列》，取  $d = 56mm$ 。估算立体车库液压缸的工作压力为 7MPa，故查表《液压缸工作压力与活塞杆直径》，得液压缸推荐内径为：

$$D = \frac{d}{0.7} \quad (\text{式 5.11})$$

所以：

$$D = \frac{56}{0.7} = 80mm$$

根据公式：

$$\frac{\pi}{5} D^2 p = \frac{F}{\eta_{cm}} \quad (\text{式 5.12})$$

式 5.12 中,  $p$ ——液压钢的工作压力 (Pa) ;

$F$ ——工作循环中最大的外负载 (N) ;

$\eta_{cm}$ ——液压钢的机械效率, 这里取 0.95

于是求得液压钢的工作压力为:

$$p = \frac{90510}{0.95 \times \frac{\pi}{4} \times 80^2} \approx 18.954 \text{MPa}$$

根据缸底厚度的计算公式:

$$h = 0.433D \sqrt{\frac{P_y}{[\sigma]}} \quad (\text{式 5.13})$$

式 5.13 中,  $P_y$ ——为试验压力, 根据缸的工作压力, 这里取额定压力  $P_n$  为 20MPa,

由于  $P_n > 16\text{MPa}$ , 所以  $P_y = 1.25P_n$

$[\sigma]$ ——为材料许用应力, 为 100MPa

所以, 缸底厚度为:

$$h = 0.433 \times 80 \times \sqrt{\frac{1.25 \times 20}{100}} = 17.32 \text{mm}$$

缸筒壁厚  $\delta$  用强度条件来算。设计选用无缝钢管材料, 一般取薄壁圆筒结构, 即

$\frac{D}{\delta} \geq 10$ , 则取  $\delta$  为 8mm

液压缸的导向长度满足以下要求

$$H \geq \frac{L}{20} + \frac{D}{2} \quad (\text{式 5.14})$$

式 5.14 中,  $L$ ——液压缸的最大行程, 这里取 200mm;

于是,

$$H \geq \frac{200}{20} + \frac{80}{2} = 50 \text{mm}$$

活塞宽度取  $B = 0.8D = 64\text{mm}$ 。为了减少加工难度, 一般缸筒长度不超过内径的 20 倍, 这里取 1000mm。

## 5.2.4 销轴的设计

### 5.2.4.1 销轴的参数确定

根据《销轴国家标准新版-GB/T 882-2008》表内容所示, 先选取公称直径  $d=55\text{mm}$  的销轴作为平行四边形连杆与托架之间的连接轴, 轴总长度为  $L_1=280\text{mm}$ , 选用 45 号钢, 其余的尺寸如:  $d_k=72\text{mm}$ ,  $d_1=10$ ,  $k=11$ ,  $L_n=14$ , 如图 5.3。再选取平行四边形连杆与底座之间的销轴, 尺寸同上, 轴总长度为  $L_2=380\text{mm}$ 。

---

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要  
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/307110130036006060>