



山东建筑大学

本科毕业设计说明书

题 目: 2t 剪叉式升降平台设计

院 (部): 机电工程学院

专 业: 机械工程及自动化

班 级: 机职 042 班

姓 名: 程菲菲

学 号: 2004075371

指导教师: 王晓伟

完成日期: 2008 年 6 月 22 日

目 录

摘 要.....	III
ABSTRACT.....	IV
1 前 言.....	- 1 -
1.1 剪叉式液压升降平台概述.....	- 1 -
1.1.1 剪叉式液压升降平台发展状况.....	- 1 -
1.1.2 升降平台分类及各自优缺点.....	- 1 -
1.1.3 升降平台的选用.....	- 3 -
1.2 课题任务.....	- 4 -
1.2.1 课题背景和研究意义.....	- 4 -
1.2.2 本课题主要研究的内容.....	- 4 -
1.2.3 课题关键问题及难点：.....	- 4 -
2 设计方案的确定.....	- 6 -
2.1 剪叉式液压升降平台功能特点分析求解.....	- 6 -
2.2 确定设计方案的原则.....	- 6 -
2.3 设计方案的确定.....	- 6 -
2.3.1 总体设计方案的确定.....	- 6 -
2.3.2 主要技术参数的确定.....	- 8 -
2.3.3 各机构和各部件的结构方案设计.....	- 9 -
2.3.4 主要控制方案设计.....	- 10 -
3 上平台及各剪叉的设计计算.....	- 12 -
3.1 升降平台的参数.....	- 12 -
3.2 重物集中作用于升降平台中央位置时的受力分析.....	- 12 -
3.2.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析.....	- 12 -
3.2.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析.....	- 17 -
3.3 重物偏载于升降平台铰接处（即 D 端）时的受力分析.....	- 22 -
3.3.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析.....	- 22 -
3.3.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析.....	- 27 -

3.4 重物偏载于升降平台滚轮处（即 C 端）时的受力分析.....	- 33 -
3.4.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析.....	- 33 -
3.4.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析.....	- 38 -
3.5 剪叉的校核.....	- 43 -
3.5.1 剪叉 BD 的强度校核.....	- 43 -
3.5.2 剪叉 AC 的强度校核.....	- 43 -
总 结.....	- 44 -
谢 辞.....	- 45 -
参考文献.....	- 46 -

摘 要

剪叉式升降平台作为一种平面升降机械，主要用于抬升重物，在很多领域都有着广泛的用途，如用作货场装卸货物的升降台、各种工程中操作人员的工作平台等等。剪叉式液压升降平台是一种结构比较简单、举升力大、升降平稳、噪音低、操作方便、维修简便，并可以停留在升降范围内的任意位置上的一种广泛应用的升降平台。它目前广泛地应用在各行各业，是一种货物装卸流通领域中较为理想合理的升降平台。

液压系统是剪叉式液压升降平台的驱动和控制部分，通过液压缸驱动剪叉改变幅度，完成升降任务，通过平衡阀、调速阀和溢流阀的控制作用，完成调速、保压、制动、平衡的功能。

本次设计主要进行了升降平台功能特点分析求解，升降平台总体布局方案和主要性能参数确定，各机构和各部件的结构方案设计，主要控制方案设计，上、下台架机构、剪叉机构设计计算，整机稳定性、可靠性验算。

该课题属于横向课题。该升降平台作业区域属于易燃、易爆等场所。要求安全、可靠，自动化程度高。为保证仓储区域管理人员的人身安全和提高升降物品的安全性，采用无人化作业方式，安全装置及各种电器保护装置齐全、可靠，便于操作和维修。

关键词：液压升降平台；剪叉；液压缸；上平台；底座

ABSTRACT

Scissors-style take-off and landing platform as a plane movements machinery, mainly used for lifting heavy objects, in many fields have a wide range of uses, such as loading and unloading cargo freight yard for the lifting platform, operating in various projects of the work platform, and so on. Scissors hydraulic lifting platform is a relatively simple structure, the lifting force, a smooth take-off and landing, low noise, easy to operate, maintenance is simple, and can remain in the take-off and landing anywhere within the scope of a wider application of the take-off and landing platform. It is currently widely used in various trades and industries, is a cargo flow in the area more desirable and reasonable take-off and landing platform.

Hydraulic system is the scissors-type hydraulic lifting platform for the drive and control of the hydraulic cylinders driven by changes in the rate scissors, complete lifting tasks, through balance valve, relief valve and the governor valve control, the governor completed , Packing, braking and balance function.

The design for the main features of the take-off and landing platform for analysis, the take-off and landing platform for the general layout programmes and identify key performance parameters, agencies and parts of the structure of the programme design, the main control programme design, on-step down, scissors mechanism design and calculation With two stability, reliability checking.

The topic of cross-cutting issues. The take-off and landing platform for regional operations are flammable, explosive, and other places. Require safe, reliable, high degree of automation. In order to ensure regional warehouse management and improve the personal safety of movements of goods safety, use of unmanned operations, security installations and all kinds of electrical protection device complete, reliable and easy to operate and maintenance.

Key words: hydraulic lifting platform; scissors; hydraulic cylinder; on the platform; base

1 前言

1.1 剪叉式液压升降平台概述

1.1.1 剪叉式液压升降平台发展状况

剪叉式液压升降平台是一种结构比较简单，但举升力大、升降平稳、噪音低、操作方便、维修简便。并可以停留在升降范围内的任意位置上的一种升降平台。它目前广泛地应用在各行各业，是一种货物装卸流通领域中较为理想合理的新颖机具。

当前国外生产升降平台的国家比较多，如日本、德国、美国、英国等国家。升降平台在国外有的国家生产已有几十年的历史了，有多节和单节升降平台，有移动式、固定式、超低式等各种型式，绝大多数采用液压驱动。并广泛地应用在工业、航空、造船、商业、仓库、码头等场所，特别在商业系统货物装卸作业中已形成系列化的。如英国uK起重有限公司，他们生产多种形式的升降平台来适应商业系统方面各类仓库的装卸需求，而且绝大多数配套笼车搬运装卸是一种先进的装卸作业。在日本大多数升降平台应用在仓库中高站台运送叉车上下站用。所以说在国外应用升降平台是很普及的。

从国内情况来看，生产升降平台比国外起步晚。主要分两大类：一类是生产多节剪叉或液压升降平台。主要应用在高空作业中：如清洗、安装、维修等方面。另一类生产单节剪叉式液压升降平台，主要应用在生产流水线中配套使用、当然也有应用在其它方面的。目前生产升降平台的单位较多，但应用在商业系统仓库装卸货物作业方面的，据不完全了解还没有一家专业生产创造厂家。

目前，剪式升降平台的国内厂家主要有广州高昌、福州强伦、上海序达、汉麦克森等；国外品牌主要有美国的杰奔（JohnBean）、德国的好富满（Hofmann）。其中，2006年8月下线的杰奔牌48109B型和好富满BLA9144型超薄型剪式举升机是同类型产品的技术佼佼者，其产品在流水线上生产，钢材薄且强度大、造型美观、安全性能良好，将有更好的市场前景。

1.1.2 升降平台分类及各自优缺点

在物流系统中，应用于升降设备的类型众多，如：手动升降、气动升降、电动升降等，各有利弊。手动升降对一般较小量的物品垂直吊运。如在建筑工地上运输泥瓦工具、泥灰桶等。气动升降和电动升降，一般采用减速电机带动丝杠螺母，并靠设置丝杠螺母一端的挤压块，利用杠杆原理挤压升降叉的方式实现升降，由于其扭力大，可使丝杠螺母易损坏，从而降低了设备使用年限。而且上述设备只能单一使用，没有通容性。

剪叉升降台是常用的升降机械设备，由剪叉机构、传动装置、升降平台和机座等部件构成。剪叉机构起着传力和导向的作用，在传动装置的推动下，使升降平台平稳升降。目前，我国的升降平台的种类比较多，按传动装置的形式，可分为液压剪叉升降台和电动剪叉升降台两类，这两种不同形式的剪叉升降台都得到了广泛使用。

电动剪叉升降台其工作原理是置于升降台内的电动机、减速器传动系统，推动剪叉机构使升降平台做升降运动。电动剪叉升降台有着结构紧凑、运行平稳、调速性能好、组合灵活、安装工程量小、易于操作与维护等优点。在剧场、会堂、多功能厅、展览馆等处，人们可以按自己需要的方式，使用单台或数台电动剪叉升降台进行任意组合。

液压剪叉升降台的工作原理是电动机直接带动液压泵，输出压力油经控制阀直接推动液压缸，带动剪叉机构使升降平台做升降运动。液压剪叉升降台有着结构紧凑、运行平稳、噪声小、频响快、传递功率大、易于操作等优点。电动机、液压泵、油箱等构成的液压站，使用时噪声大，但可以远离主机安装，单独进行隔声降噪处理。由于有多种液压控制阀件、复杂的油路系统，安装和清理管路难度大，对液压油介质质量要求高，以及油路系统较容易漏油（因使用质次廉价的液压元件加上缺少维护，常见液压站附近到处是油污）和制造成本高等因素的影响。

目前，我国的升降平台的种类比较多，按动力传递形式，主要可以按电动机机械传动和液压传动两种方式来划分，它们都有各自的优点和不足之处。

电动机机械传动方式的特点是零件加工相对要求不高、结构较简单、加工容易、维修方便、适应环境能力强、抗冲击性能好、可实现准确到位，并有自锁功能、不污染环境，不足之处在于它的机械间的磨损很难克服，振动较大。其中以电机为动力源来提升平台又可分为以下几种：

（1）钢丝绳式和齿轮齿条式

两者都是目前应用最广的施工升降机，是垂直运送人员及物料的提升机械。随着我国建筑行业的蓬勃发展，各种大型建筑物不断增多，施工升降机的应用市场也在不断地扩大。特别是在1992年以来，施工升降机的发展最为迅猛。施工升降机不但可以应用在这些场合，它还可以应用在大型化工厂冷却塔、发电厂的烟囱、电视广播塔、大型桥式起重机及煤矿等位置。施工升降机已成为各行业建设中一种必不可少的建筑机械。

（2）蜗轮丝杠直顶式升降平台

作为基础起重部件，它具有结构紧凑、体积小、重量轻、无噪音、安装方便、能自锁、可靠性高的特点。对于大面积平台，采用多点提升，即每个顶点都安装一组蜗轮丝

杠。其好处在于：(1)可以减少台板主梁断面尺寸及应力，减小其挠度，增加平台自身刚度，提高运行平稳性。(2)可以减少每个支点的受力，从而减小蜗轮丝杠的提升力，增强压杆稳定性，并能减轻设备重量。

液压传动方式的特点是结构紧凑、工作较平稳、磨损小、布局灵活、易于控制。但液压件加工精度要求较高，密封泄漏难以控制，工作介质适应温度受限。液压传动是后来才发展起来的，以它为动力源来带动的升降平台又可分为以下几种：

(1) 链轮—承重链条机构的升降平台

该机构是由一个动滑轮和若干定滑轮以及承重链条组成的，根据动滑轮的特点，利用较短的液压行程来获得大的平台升降高度，该平台根据环境条件可以用在地下车库等有较大的提升高度以及宽敞空间的场合。

(2) 自行剪叉式高空作业平台

它是一种轻型的升降平台，广泛用于高空作业专用设备，可以移动。它的剪叉式机械结构，使升降台起升后有较高的稳定性，宽大的作业平台和较高的承载能力，使高空作业范围更大，并适合多人同时作业。它使高空作业效率更高，更安全。

(3) 固定液压剪叉式升降平台

它也是一种剪叉式结构，承载量较大，升降稳定性好，适用范围广的货物举升设备。主要用于生产流水线高度差之间货物运送：物料上线、下线；工件装配时调节工件高度；高处给料机送料；大型设备装配时部件举升；大型机床上料、下料；仓储装卸场所与叉车等搬运车辆配套进行货物快速装卸等。剪式升降平台作为一种平面升降机械，主要用于抬升重物，在很多领域都有着广泛的用途，如用作货场装卸货物的升降台、各种工程中操作人员的工作平台等等。

总之，随着经济的发展，目前出现了不同类型的升降平台，传动方式由以前单一的靠机械电力传动转向液压传动，升降平台的特点是根据不同的使用环境和所想达到不同的目的来进行设计的。

1.1.3 升降平台的选用

本次设计技术参数如下，额定承载量：2000kg，长：4900mm，宽：1300mm，平台最低高度：700mm，升降高度：1500mm。

根据所需平台的设计要求和技术参数，在额定承载量给定的情况下，齿轮齿条式和钢丝绳式的升降平台尽管结构简单，经济性好，但由于受到承载能力、爬坡度、使用寿命以及空间位置的影响，它们不能满足实际要求，故不能采纳；

蜗轮丝杠直顶式升降平台对于平台面积大，一般采用多点提升，即每个顶点都用一组蜗轮丝杠。从使用范围来考虑，它主要使用于大面积微动平台，升降高度受到限制；从加工成本来考虑，丝杠加工起来比较复杂，造价比较高，而且在升降高度比较大时，稳定性要求会更高，使其成本很高，故也不予采纳。

经过比较分析，选用剪叉式还是比较合适的。剪叉式升降平台是一种结构比较简单、举升力大、升降平稳、噪音低、操作方便、维修简便，并可以停留在升降范围内的任意位置上的举升机构。它目前广泛地应用在各行各业，是一种货物装卸流通领域中较为理想合理的新颖机具。它的剪叉式机械结构，使升降台起升后有较高的稳定性，宽大的作业平台和较高的承载能力，使高空作业范围更大，效率更高，更安全。

1.2 课题任务

1.2.1 课题背景和研究意义

背景：随着经济的发展，科学技术的进步，在市场经济的竞争大潮中，为了提高企业生产速度，人们想法设计了可以减少人力物力并且能够出色完成任务的设备，这其中之一就是人们现在经常会用到的升降平台。升降平台的种类比较繁多，根据不同的用途，升降平台的结构、动力传递形式以及规格会有不同的选择和设计。

意义：剪叉式升降平台具有结构紧凑、承载量大、通过性强和操控性好的特点，因此在现代物流、航空装卸、大型设备的制造与维护等场合中得到广泛应用。剪式升降平台作为一种平面升降机械，主要用于抬升重物，在很多领域都有着广泛的用途，如用作货场装卸货物的升降台、各种工程中操作人员的工作平台等等。

因此，这次的设计是非常有用的，也是非常必要的。在这次的设计中，不仅要考虑到其结构的合理布置性，还要考虑材料的节省即经济性问题。

1.2.2 本课题主要研究的内容

- (1) 升降平台功能特点分析求解；
- (2) 升降平台总体布局方案和主要性能参数确定；
- (3) 各机构和各部件的结构方案设计；
- (4) 主要控制方案设计；
- (5) 上、下台架机构、剪叉机构设计计算；
- (6) 整机稳定性、可靠性验算。

1.2.3 课题关键问题及难点：

本课题要求通过对升降平台功能特点分析求解，确定升降平台的总体布局方案，

然后对其上下台架机构、剪叉机构进行设计计算，并进行整机稳定性、可靠性的验算。

- 难点：**
- 1、正确计算一个油缸所需的最大推力及油缸的布置位置；
 - 2、计算上平台及外叉臂在极限载荷下的变形，校核它们的强度；
 - 3、为平台设计一个合格的、保压性能好的液压系统。
 - 4、材料的选择及热处理方法。

关键问题：该升降平台作业区域属于易燃、易爆等场所。要求安全、可靠，自动化程度高。为保证仓储区域管理人员的人身安全和提高升降物品的安全性，采用无人化作业方式，安全装置及各种电器保护装置齐全、可靠，便于操作和维修。为保证操作物品及周围环境的安全，要求该平台运行平稳、可靠性好。该设计要在保证可靠性的前提下，尽量减轻机构重量和提高机构刚性为原则；在具体机构设计上贯彻标准化、通用化的原则。

2 设计方案的确

2.1 剪叉式液压升降平台功能特点分析求解

剪叉式液压升降平台的原理是通过液压缸的举升带动剪叉机构的变幅来推动平台稳定升降。根据这个原理可以设计出多种的剪叉式液压升降平台，它具有承载量大、稳定性好、通过性强和操控性好的特点，是一种适用范围广的货物举升设备。它主要用于生产流水线高度差之间货物运送；物料上线、下线；工件装配时调节工件高度；高处给料机送料；大型设备装配时部件举升；大型机床上料、下料；仓储装卸场所与叉车等搬运车辆配套进行货物快速装卸等。因此它在现代物流、航空装卸、大型设备的制造与维护等场合中得到广泛应用。

2.2 确定设计方案的原则

该课题属于横向课题。该升降平台作业区域属于易燃、易爆等场所。要求安全、可靠，自动化程度高。为保证仓储区域管理人员的人身安全和提高升降物品的安全性，采用无人化作业方式，安全装置及各种电器保护装置齐全、可靠，便于操作和维修。

2.3 设计方案的确

剪叉式液压升降平台的设计，从以下四个方面进行设计：一是升降平台剪叉起升机构的关键参数设计；二是剪叉式起升机构各构件材料的确定；三是对起升机构进行运动学分析；四是升降平台的液压系统设计。升降平台的剪叉起升机构是整个平台的骨架，承受和传递整个平台所负担的载重量及其自身的重量。

2.3.1 总体设计方案的确

2t 升降平台主要要求及技术参数：

- 1) 为保证操作物品及周围环境的安全，要求该平台运行平稳、可靠性好；
- 2) 平台外形尺寸为 $4900 \times 1300 \times 700$ ；升降高度 1500mm；
- 3) 操作物品参考尺寸为 $1500 \times 1100 \times 1350$ mm，重量 500Kg；物品数量 3 只；
- 4) 升降速度 $< 5\text{m/min}$ 。

剪叉式液压升降平台具有制造容易、价格低廉、坚实耐用、便于维修保养等特点。在民航、交通运输、冶金、汽车制造等行业逐渐得到广泛应用。

根据液压油缸位置的不同设定，可以得到不同形式的升降平台，下面以固定单剪叉来说明，用长度相等的两根支撑杆AC和BD铰接与两杆的中心点E，两杆的A、D端分别铰接于平板和机架上，两杆的B、C端分别于两滚轮铰接，并可在上平板和机架上的导向槽内

滚动。如图2.1所示的三种结构形式示意图，它们的不同之处在于驱动气液压缸的安装位置不同。

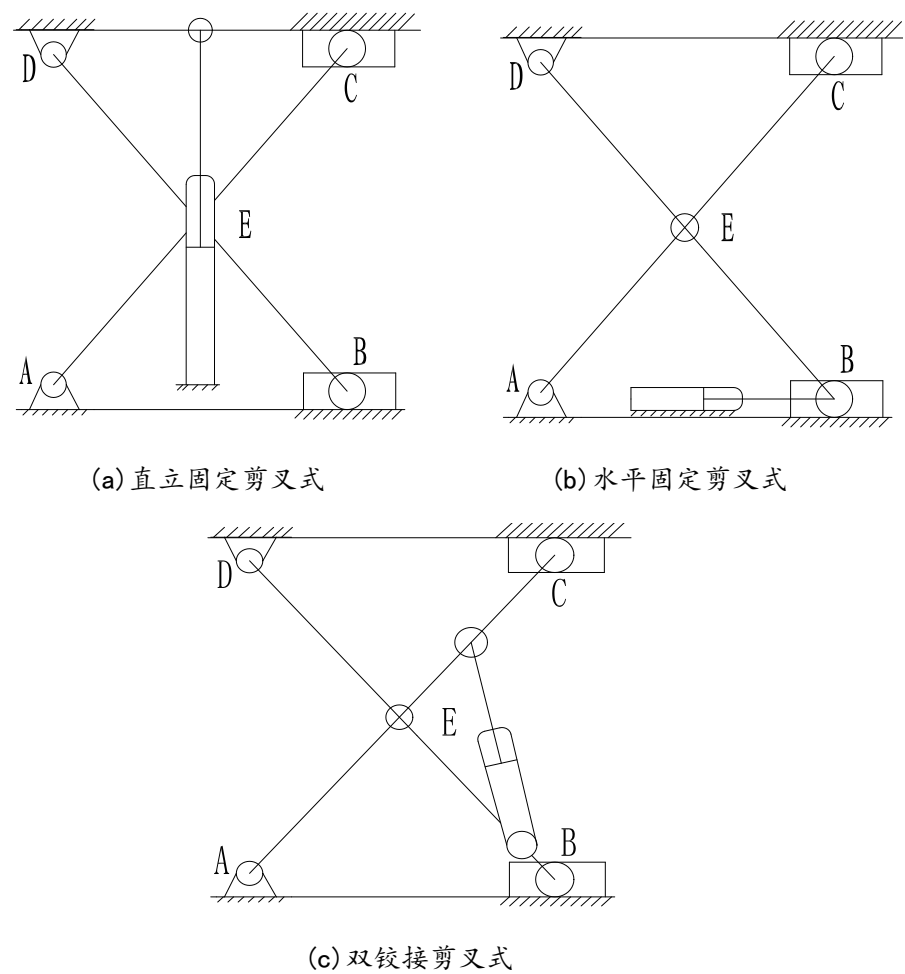


图2.1 结构形式示意图

图 2.1(a)中的驱动液压缸的下部固定在机架上,上部的活塞杆以球头与上平板球窝接触。液压缸通过活塞杆使上平台铅直升降。

图 2.1(b)中的卧式液压缸活塞杆与支撑杆BD铰接于B处。液压缸驱动活塞杆控制平台铅直升降。

图 2.1(c)中的液压缸缸体尾部与支撑杆BD铰接,活塞头部与支撑杆AC铰接。液压缸活塞杆可控制平台铅直升降。

按照液压缸的安装形式,本文称图2.1(a)的形式为直立固定剪叉式结构,图2.1(b)的形式为水平固定剪叉式结构,图2.1(c)的形式为双铰接剪叉式结构。

直立固定剪叉式结构,液压缸的行程等于平台的升降行程,整体结构尺寸庞大,且铰链加工复杂,在实际中应用较少。

水平固定剪叉式结构,通过分析可知,平台的升降行程大于液压缸的行程,但不足

之处是活塞杆受横向力作用，影响密封件的使用寿命。

双铰接剪叉式结构避免了上述缺点。结构比较合理，平台的升降行程可到达液压缸行程的二倍以上。故选用双铰接式的基本形式设计制造升降平台。

2.3.2 主要技术参数的确定

(1) 当升降平台处于最低位置时

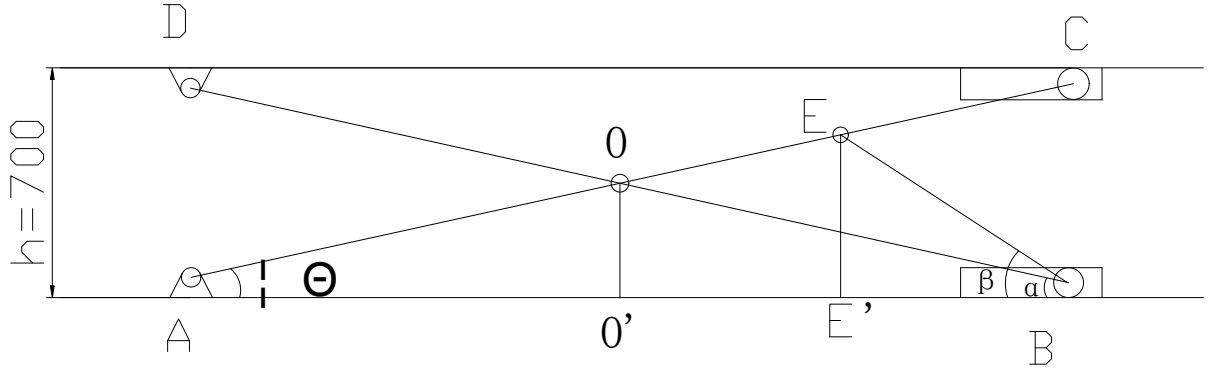


图 2.2 升降平台处于最低位置

当升降平台处于最低位置时，如图 2.2 所示， $AD=h=700\text{mm}$ 、 $AB=3900\text{mm}$ 、 $OE=1000\text{mm}$

在 $\triangle ABD$ 中， $\alpha = \arctan \frac{AD}{AB} = \arctan \frac{700}{3900} = 10.18^\circ$

剪叉 AC、BD 的长度为： $AC=BD=\sqrt{AB^2 + AD^2} = \sqrt{3900^2 + 700^2} = 3962\text{mm}$

在 $\triangle ABE$ 中， $AO = \frac{AC}{2} = \frac{3962}{2} = 1981\text{mm}$

$$AE = AO + OE = 1981 + 1000 = 2981\text{mm} \quad \theta = \alpha = 10.18^\circ$$

因此， $EE' = AE \cdot \sin \theta = 2981 \times \sin 10.18^\circ = 527\text{mm}$

$$AE' = \frac{EE'}{\tan \theta} = \frac{527}{\tan 10.18^\circ} = 2934\text{mm}$$

$$BE' = AB - AE' = 3900 - 2934 = 966\text{mm}$$

液压缸与水平面夹角 $\beta = \arctan \frac{EE'}{BE'} = \frac{527}{966} = 28.61^\circ$

此时液压缸长度总体长度 $BE = \sqrt{EE'^2 + BE'^2} = \sqrt{527^2 + 966^2} = 1100\text{mm}$

(2) 当升降平台处于最高位置时

当升降平台处于最高位置时，如图 2.3 所示。 $BD' = AC' = 3962\text{mm}$ ， $OE=1000\text{mm}$ ，

$$AD' = H = 2200\text{mm}$$

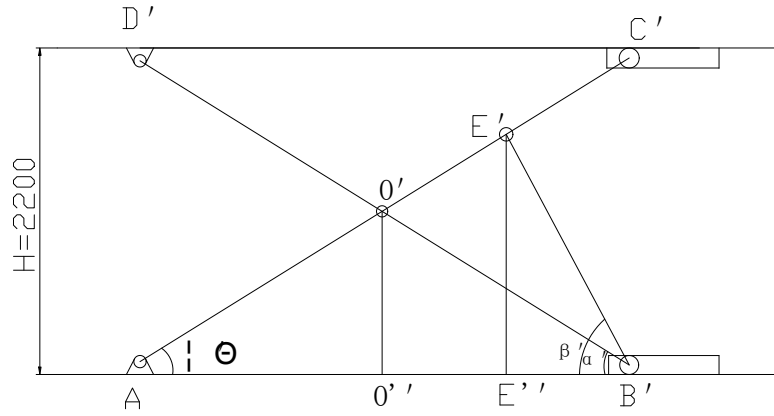


图 2.3 升降平台处于最高位置

在 $\triangle ABD'$ 中, $AB' = \sqrt{BD'^2 - AD'^2} = \sqrt{3962^2 - 2200^2} = 3295\text{mm}$

$$\alpha' = \arctan \frac{AD'}{BD'} = \arctan \frac{2200}{3295} = 33.73^\circ$$

在 $\triangle ABE'$ 中, $AO' = 1981\text{mm}$, $AE' = 2981\text{mm}$, $\theta' = \alpha' = 33.73^\circ$

因此: $E'E'' = AE' \cdot \sin \theta' = 2981 \times \sin 33.73^\circ = 1655\text{mm}$

$$AE'' = \frac{AE'}{c \tan \theta'} = \frac{2981}{c \tan 33.73^\circ} = 2479\text{mm}$$

$$BE'' = AB' - AE'' = 3295 - 2479 = 816\text{mm}$$

$$\text{液压缸与水平面夹角 } \beta' = \arctan \frac{E'E''}{B'E''} = \frac{1655}{815} = 63.78^\circ$$

$$\text{此时液压缸长度 } B'E' = \sqrt{E'E''^2 + B'E''^2} = \sqrt{1655^2 + 816^2} = 1844\text{mm}$$

因此, 液压缸的伸缩长度: $L = B'E' - BE = 1844 - 1100 = 744\text{mm}$

2.3.3 各机构和各部件的结构方案设计

上平台台面选用一块 $4900\text{mm} \times 1300\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的优质碳素结构热轧钢板, 然后用 $80\text{mm} \times 43\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的槽钢焊接成长 4900mm 宽 1300mm 的框架, 并将其点焊在上平台台面的下方, 增加槽钢焊接框架是为了增加上平台强度及其抗弯能力, 避免上平台因重物太重而发生弯曲或变形。

剪叉臂的材料选用 $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$ 空心矩形钢管, 为了避免剪叉臂在起升和下降过程中与上平台或底座发生干涉, 因此要将空心矩形钢管的头部做一下处理。剪叉臂的一端通过支座与上平台和底座铰接在一起, 另一端通过滚轮轴安装滚轮, 以便

在以 $100\text{mm} \times 48\text{mm} \times 5.3\text{mm}$ 做成的轨道上行走，从而完成剪叉臂的变幅。因剪叉臂要与上平台和底座铰接，为了增加其强度及刚度，应在剪叉臂各铰接连接孔处均增加轴套。

底座采用 $80\text{mm} \times 43\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的槽钢焊接成所需的框架即可。在底座的四个角上加四个由 $80\text{mm} \times 43\text{mm} \times 5\text{mm} \times 700\text{mm}$ 的槽钢做成的立柱。加立柱的目的是：（1）当升降平台处于最低位置时，液压缸卸荷，不再提供推力来支撑升降平台，这时立柱就起了支撑升降平台的作用。（2）在升降平台工作过程中，液压缸损坏突然卸荷，升降平台的上平台就可以直接落在立柱上，既起到支撑作用，也防止了液压原件或升降平台各部件的损坏。（3）在工作人员检修过程中，立柱还可以防止升降平台突然落下而导致人员的伤亡。

根据所需的最大液压缸推力选择合适的液压缸，在两个内剪叉臂之间位置安装油缸。在内剪叉臂和外剪叉臂之间分别焊接一根无缝钢管，在钢管的中间部位分别连接两个连接板，作为液压缸的支撑，通过液压缸的举升与伸缩带动与剪叉臂连接的滚轮在轨道上行走，从而改变剪叉臂的变幅，从而完成升降平台的升降。

各销轴和滚轮均采用调质处理的 45 钢制成。

2.3.4 主要控制方案设计

升降平台的起升与下降是依靠液压缸的伸缩实现的，下面就将液压控制系统原理图（图 2.4）做一下简要说明。

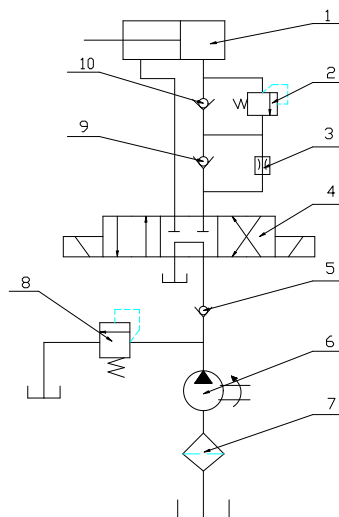


图 2.4 液压控制系统原理图

1—液压缸 2—平衡阀 3—调速阀 4—三位四通电磁换向阀

5、9、10—单向阀 6—液压泵 7—过滤器 8—溢流阀

设液压泵的额定压力为 10MPa

(1)、当系统压力过高时

液压回路为：油箱——过滤器——液压泵——溢流阀——油箱

(2) 当系统压力不超过液压泵额定压力时

若要实现升降平台的上升过程，其液压回路为：油箱——过滤器——液压泵——单向阀 5——三位四通电磁换向阀的左位——单向阀 9——单向阀 10 ——液压缸——三位四通电磁换向阀的左位——油箱

若要实现升降平台的下降过程，其液压回路为：油箱——过滤器——液压泵——单向阀 5——三位四通电磁换向阀的右位——液压缸——平衡阀——调速阀——三位四通电磁换向阀的右位——油箱

若要使升降平台处于静止状态，其液压回路为：油箱——过滤器——液压泵——单向阀 5——三位四通电磁换向阀的中位——油箱

3 上平台及各剪叉的设计计算

3.1 升降平台的参数

主要参数:

本文所研究升降平台的主要技术参数如下:

- 1) 升降平台最低高度为 700mm;
- 2) 升降平台最高高度为 2200mm;
- 3) 最大起升重量为2000kg;
- 4) 上平台重力为: $G=290.952 \times 9.8\text{N}=2851.33\text{N}$;
- 5) 重物重力为: $W=2000 \times 9.8\text{N}=19600\text{N}$;
- 6) 两剪叉重力分别为: $G_{AC}=G_{BD}=134.64 \times 9.8\text{N}=1319.472\text{N}$;
- 7) 升降平台处于最高位置时, $a=1950\text{mm}$, $a+b=3295\text{mm}$, $\alpha=33.73^\circ$, $\beta=63.78^\circ$;
- 8) 升降平台处于最低位置时, $a=1950\text{mm}$, $a+b=3900\text{mm}$, $\alpha=10.18^\circ$, $\beta=28.61^\circ$;

3.2 重物集中作用于升降平台中央位置时的受力分析

3.2.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最低位置时: $a=1950\text{mm}$, $a+b=3900\text{mm}$, $\alpha=10.18^\circ$, $\beta=28.61^\circ$ 。

1、总体受力

总体受力模型如图 3.1 所示。

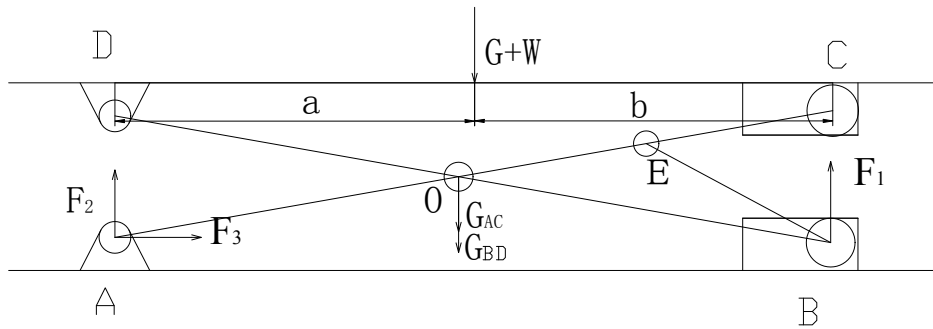


图 3.1 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} \cdot a + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1(a+b)\end{aligned}\tag{3—1}$$

将各数据代入公式 (3—1)，得

$$F_3 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} + 1319.472 \times 2 = F_1 + F_2$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} \times 1950 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3900}{2} = F_1 \times 3900$$

$$\begin{aligned} \text{解得: } F_1 &= 6932.305N \\ F_2 &= 6932.305N \end{aligned}$$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3.2 所示。

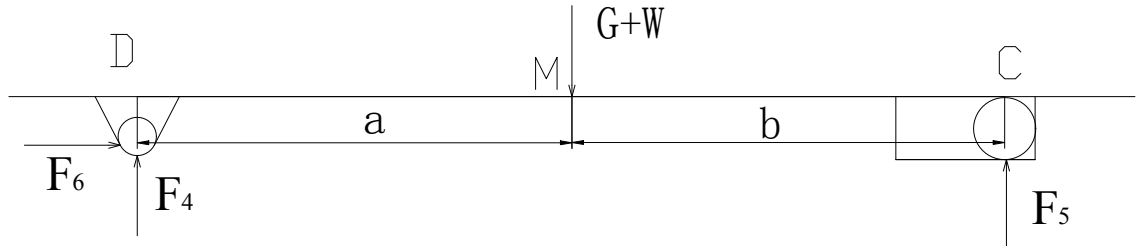


图 3.2 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_6 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_4 + F_5 \quad (3-2)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} \cdot a = F_5(a+b)$$

将各数据代入公式 (3—2)，得

$$F_6 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} = F_4 + F_5$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} \times 1950 = F_5 \times 3900$$

$$\begin{aligned} \text{解得: } F_4 &= 5612.833N \\ F_5 &= 5612.833N \end{aligned}$$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3.3 所示。

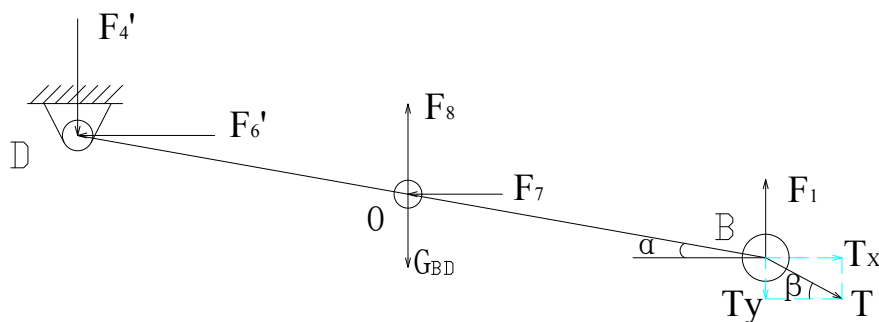


图 3.3 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为：

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0 &\Rightarrow F_7 = T_x \\ \sum F_y = 0 &\Rightarrow F_4' + T_y + G_{BD} = F_8 + F_1 \\ \sum M_0 = 0 &\Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y \\ T_y &= T_x \cdot \tan \beta\end{aligned}\quad (3-3)$$

将各数据代入公式 (3—3)，得

$$\begin{aligned}F_7 &= T_x \\ 5612.833N + T_y + 1319.472N &= F_8 + 6932.305N \\ 5612.833N + 6932.305N + T_x &= T_y \\ T_y &= T_x \cdot \tan 28.61^\circ\end{aligned}$$

注： F_4' 为 F_4 的反作用力，故 $F_4' = F_4$

$$\begin{aligned}T_x &= -27877.082N \\ T_y &= -15331.945N \\ \text{解得：} \quad F_7 &= -27877.082N \\ F_8 &= -15331.945N\end{aligned}$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.4 所示。

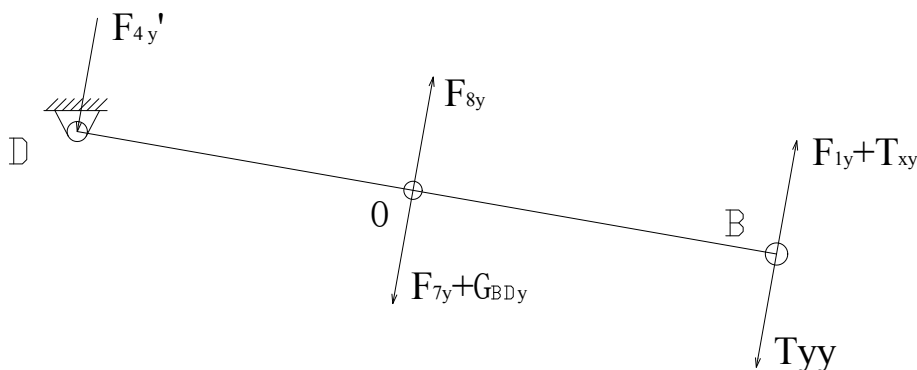


图 3.4 剪叉 BD 的简力图

$$F_{4y}' = F_4' \cdot \cos \alpha = 5612.833 \times \cos 10.18^\circ = 5524.472 N$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.580 N$$

$$F_{7y} = F_7 \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028 N$$

$$\text{其中 } G_{BDy} = G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7 N$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 6932.305 \times \cos 10.18^\circ = 6823.172 N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028 N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58 N$$

在 B0 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = T_{yy} - F_{1y} - T_{xy} = -16986.724 N$$

$$M_S(x) = -(T_{yy} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981 mm) = 0 \sim 33650700.24 N \cdot mm$$

在 OD 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -5524.472 N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图，如图 3.5 所示。

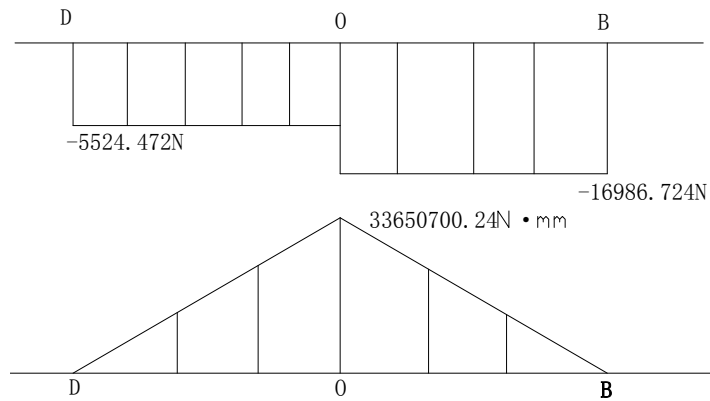


图 3.5 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.6 所示。

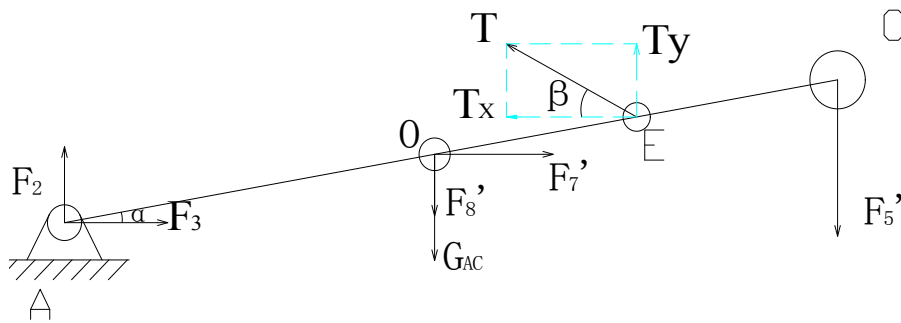


图 3.6 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为：

$$F_2 = 6932.305N \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 5612.833N \quad F_7' = -27877.082N$$

$$G_{AC} = 1319.472N \quad T_x = -27877.082N \quad T_y = -15331.945N \quad F_8' = -15331.945N$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.7 所示。

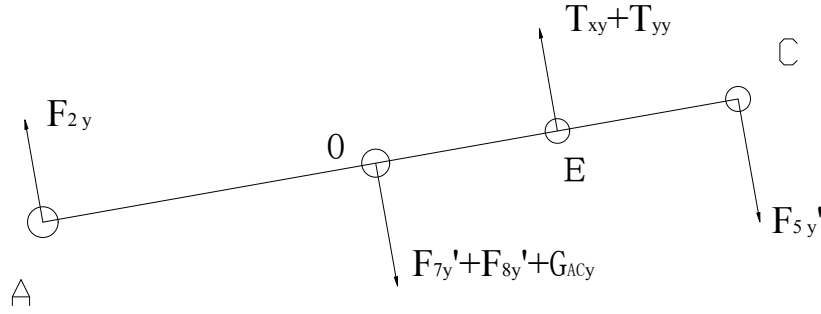


图 3.7 剪叉 AC 的简力图

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos \alpha = 6932.305 \times \cos 10.18^\circ = 6823.172N$$

$$F_{8y}' = F_8' \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.580N$$

$$F_{7y}' = F_7' \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

其中 $G_{ACy} = G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7N$

$$F_{5y}' = F_5 \cdot \cos \alpha = 5612.833 \times \cos 10.18^\circ = 5524.472N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58N$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' = 5524.472N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'x(0 \leq x \leq 981mm) = 0 \sim -5419507.032N \cdot mm$$

在 EO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' - (T_{xy} + T_{yy}) = 25542.08N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'(x + 981) + (T_{xy} + T_{yy})x(0 \leq x \leq 1000mm) = -5419507.032 \sim 30961587.03N \cdot mm$$

在 OA 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 6823.172N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.8 所示。

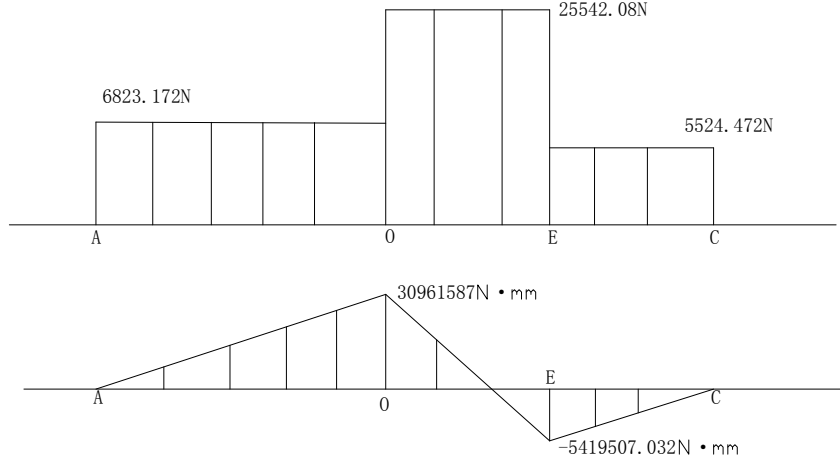


图 3.8 剪叉 AC 的简力图

3.2.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最高位置时： $a=1950\text{mm}$ ， $a+b=3295\text{mm}$ ， $\alpha=33.73^\circ$ ， $\beta=84.75^\circ$

1、总体受力

总体受力模型如图 3.9 所示。

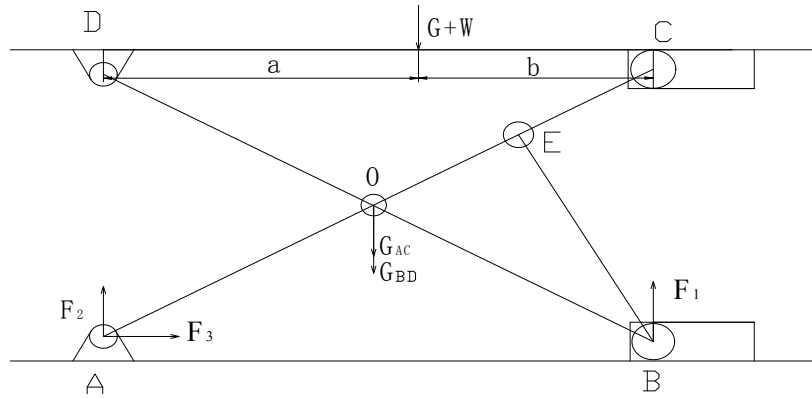


图 3.9 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} \cdot a + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1(a+b)\end{aligned}\quad (3-4)$$

将各数据代入公式 (3—4)，得：

$$F_3 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} + 1319.472 \times 2 = F_1 + F_2$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} \times 1950 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3295}{2} = F_1 \times 3295$$

$$\begin{aligned} \text{解得: } F_1 &= 7962.885N \\ F_2 &= 5901.724N \end{aligned}$$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3. 10 所示。

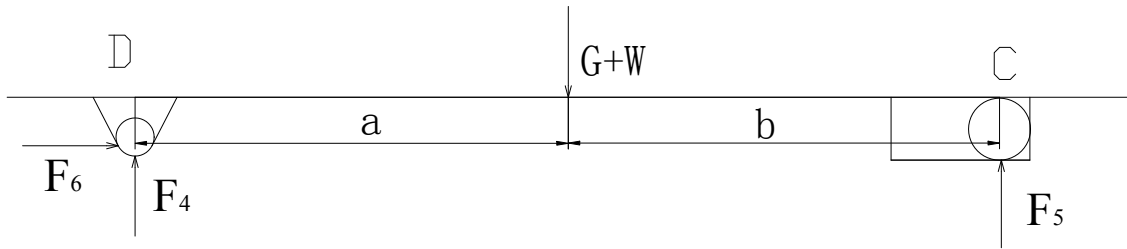


图 3. 10 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_6 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_4 + F_5$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} \cdot a = F_5(a+b)$$

(3—5)

将各数据代入公式 (3—5)，得：

$$F_6 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} = F_4 + F_5$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} \times 1950 = F_5 \times 3295$$

$$\begin{aligned} \text{解得: } F_4 &= 4582.252N \\ F_5 &= 6643.413N \end{aligned}$$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3. 11 所示。

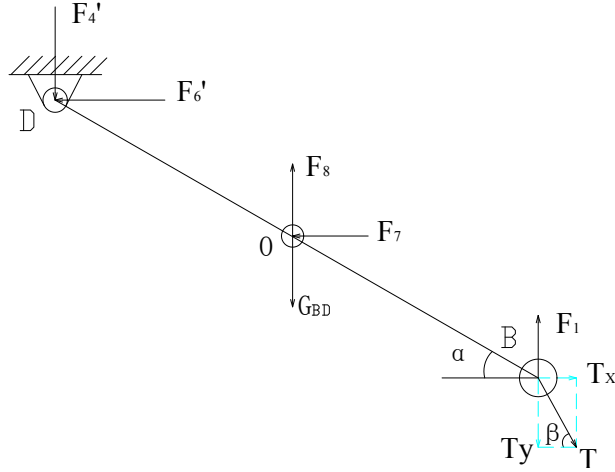


图 3.11 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为：

$$\begin{aligned}
 \sum F_x = 0 &\Rightarrow F_7 = T_x \\
 \sum F_y = 0 &\Rightarrow F_4' + T_y + G_{BD} = F_8 + F_1 \\
 \sum M_0 = 0 &\Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y \\
 T_y &= T_x \cdot \tan \beta
 \end{aligned}
 \tag{3—6}$$

将各数据代入公式（3—6），得

$$\begin{aligned}
 F_7 &= T_x \\
 4582.252N + T_y + 1319.472N &= F_8 + 7962.885N \\
 4582.252N + 7962.885N + T_x &= T_y \\
 T_y &= T_x \cdot \tan 84.75^\circ
 \end{aligned}$$

注： F_4' 为 F_4 的反作用力，故 $F_4' = F_4$

$$\begin{aligned}
 T_x &= 12179.745N \\
 T_y &= 24724.882N \\
 \text{解得：} \quad F_7 &= 12179.745N \\
 F_8 &= 22663.721N
 \end{aligned}$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.12 所示。

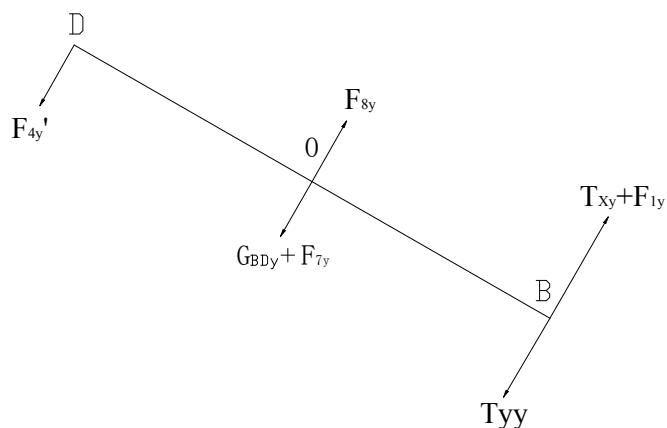


图 3.12 剪叉 BD 的受力图

$$F_{4y}' = F_4' \cdot \cos \alpha = 4582.25 \times \cos 33.73^\circ = 3810.89 N$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \cos \alpha = 22663.721 \times \cos 33.73^\circ = 18848.589 N$$

$$F_{7y} = F_{7y} = 6763.168 N$$

其中 $G_{BDy} = G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357 N$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 6932.3055 \times \cos 33.73^\circ = 5765.345 N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168 N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = 20562.782 N$$

在 BO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = T_{yy} - F_{1y} - T_{xy} = 8034.269 N$$

$$M_S(x) = -(T_{yy} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981 mm) = 0 \sim -15915886.89 N \cdot mm$$

在 OD 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -3810.89 N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图，如图 3.13 所示。

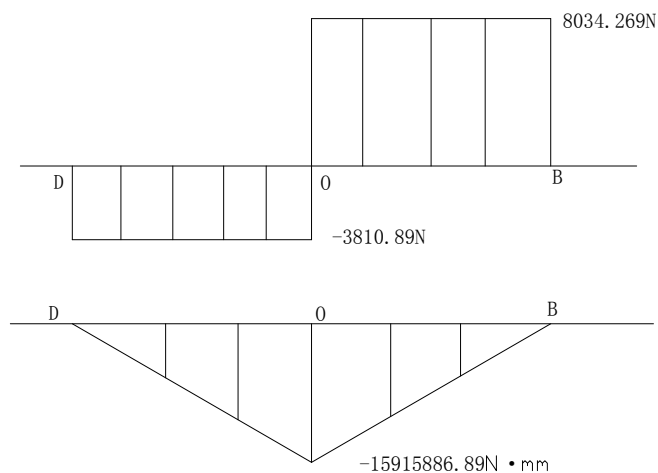


图 3.13 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.14 所示。

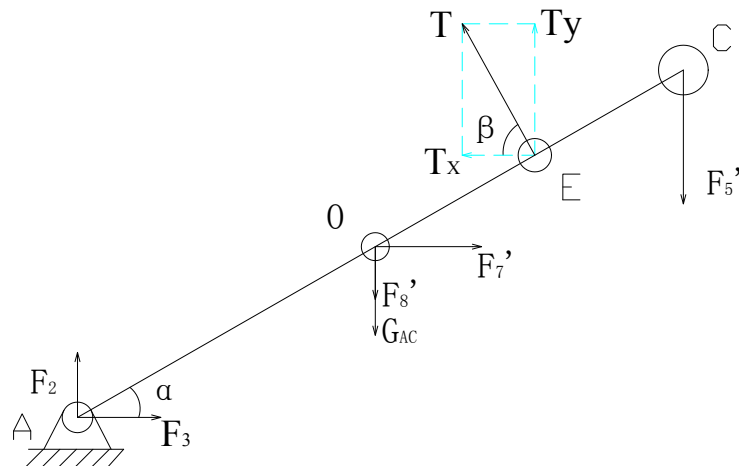


图 3.14 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为：

$$F_2 = 5901.742\text{N} \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 6643.413\text{N} \quad F_7' = 12179.745\text{N}$$

$$G_{AC} = 1319.472\text{N} \quad T_x = 12179.745\text{N} \quad T_y = 24724.882\text{N} \quad F_8' = 22663.721\text{N}$$

注： F_5' 为 F_5 的反作用力， F_7' 为 F_7 的反作用力， F_8' 为 F_8 的反作用力。

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.15 所示。

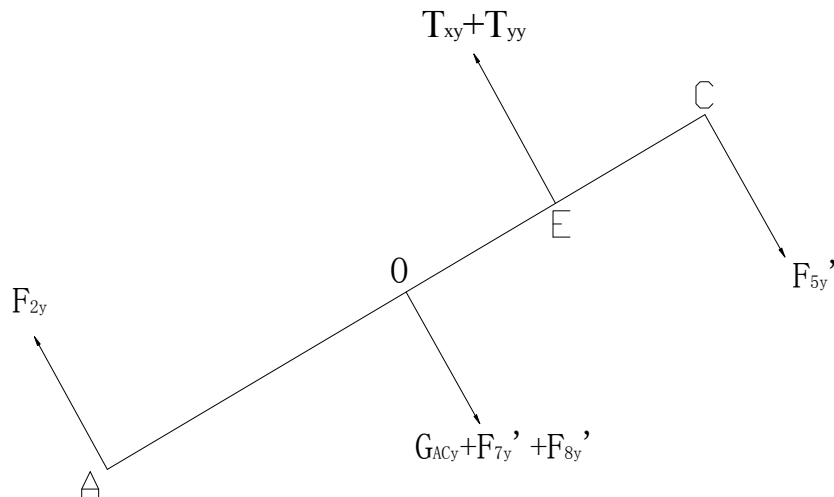


图 3.15 剪叉 AC 的简力图

$$\begin{aligned}
F_{2y} &= F_2 \cdot \cos \alpha = 5901.724 \times \cos 33.73^\circ = 4908.248N \\
F_{8y}' &= F_8' \cdot \cos \alpha = 22663.721 \times \cos 33.73^\circ = 18848.589N \\
F_{7y}' &= F_7' \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N \\
\text{其中 } G_{ACy} &= G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357N \\
F_{5y}' &= F_5 \cdot \cos \alpha = 6643.413 \times \cos 33.73^\circ = 5525.084N \\
T_{xy} &= T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N \\
T_{yy} &= T_y \cdot \cos \alpha = 24724.882 \times \cos 33.73^\circ = 20562.782N
\end{aligned}$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' = 5525.084N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'x(0 \leq x \leq 981mm) = 0 \sim -5420107.804N \cdot mm$$

在 E0 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' - (T_{xy} + T_{yy}) = -21800.866N$$

$$M_S(x) = (T_{xy} + T_{yy})x - F_{5y}'(x + 981)(0 \leq x \leq 1000mm) = -5420107.804 \sim 16380758.6N \cdot mm$$

在 A0 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 4908.248N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.16 所示。

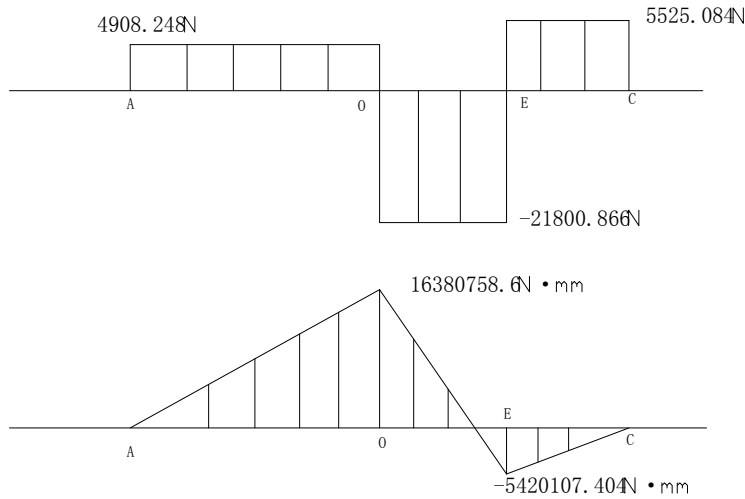


图 3.16 剪叉 AC 的剪力图和弯矩图

3.3 重物偏载于升降平台铰接处（即 D 端）时的受力分析

3.3.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最低位置时：a=1950mm，a+b=3900mm， $\alpha=10.18^\circ$ ， $\beta=28.61^\circ$ 。

1、总体受力

总体受力模型如图 3.17 所示。

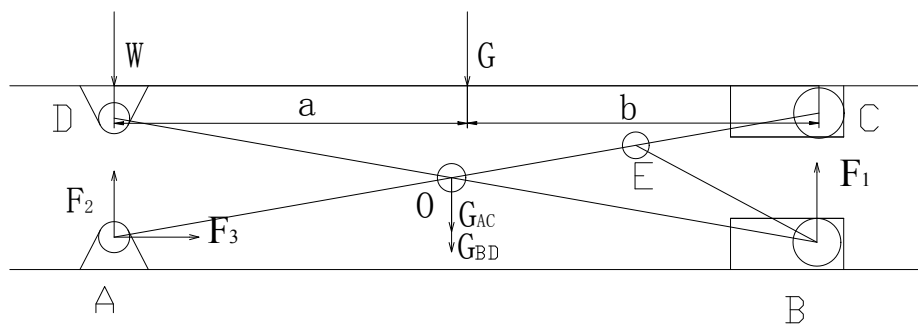


图 3.17 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_3 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \quad (3-7)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1(a+b)$$

将各数据代入公式 (3—7)，得

$$F_3 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} + 1319.472 \times 2 = F_1 + F_2$$

$$\frac{2851.33}{2} \times 1950 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3900}{2} = F_1 \times 3900$$

$$\text{解得: } F_1 = 2032.305 N$$

$$F_2 = 11832.304 N$$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3.18 所示。

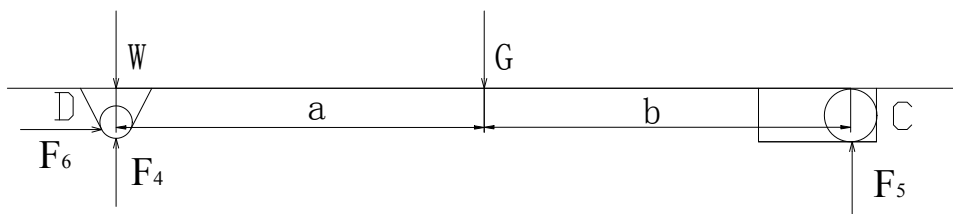


图 3.18 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_6 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_5 + F_4 \quad (3-8)$$

$$\sum M_D = 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a = F_5(a+b)$$

将各数据代入公式 (3—8), 得

$$F_6 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} = F_4 + F_5$$

$$\frac{2851.33}{2} \times 1950 = F_5 \times 3900$$

$$\begin{aligned} \text{解得: } F_4 &= 712.833N \\ F_5 &= 10512.833N \end{aligned}$$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3.19 所示。

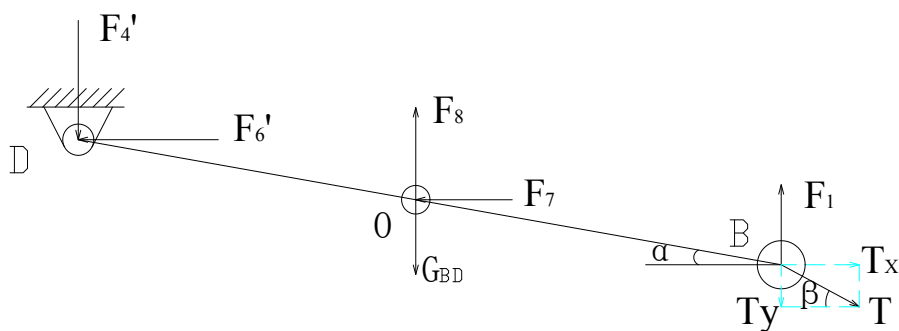


图 3.19 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_7 = T_x$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_4' + T_y + G_{BD} = F_8 + F_1 \quad (3-9)$$

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y$$

$$T_y = T_x \cdot \tan \beta$$

将各数据代入公式 (3—9), 得

$$F_7 = T_x$$

$$10512.832N + 1319.472N + T_y = F_8 + 2032.305N$$

$$10512.832N + 2032.305N + T_x = T_y$$

$$T_y = T_x \cdot \tan 63.78^\circ$$

注： F_4' 为 F_4 的反作用力，故 $F_4' = F_4$

$$T_x = -27877.082N$$

$$\text{解得： } T_y = -15331.945N$$

$$F_7 = -27877.082N$$

$$F_8 = -5531.946N$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.20 所示。

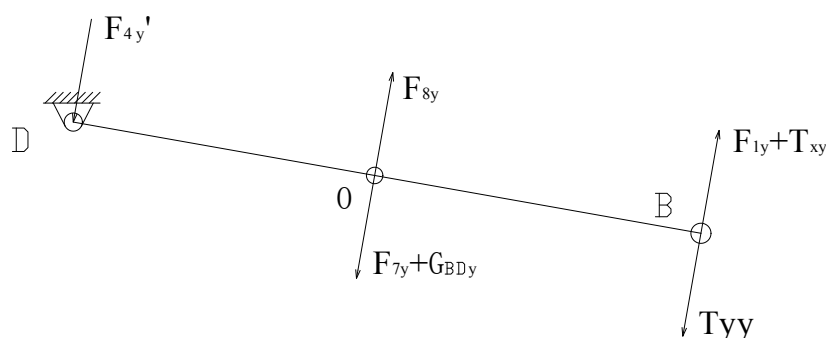


图 3.20 剪叉 BD 的简力图

$$F_{4y}' = F_4' \cdot \cos \alpha = 10512.832 \times \cos 10.18^\circ = 10347.332N$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \cos \alpha = -5531.946 \times \cos 10.18^\circ = -5444.859N$$

$$F_{7y} = F_7 \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

$$\text{其中 } G_{BDy} = G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7N$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 2035.305 \times \cos 10.18^\circ = 2000.311N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58N$$

在 B0 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = T_{yy} - F_{1y} - T_{xy} = -12163.863N$$

$$M_S(x) = -(T_{yy} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981mm) = 0 \sim 24096612.6N \cdot mm$$

在 D0 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -10347.332N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图，如图 3.21 所示。

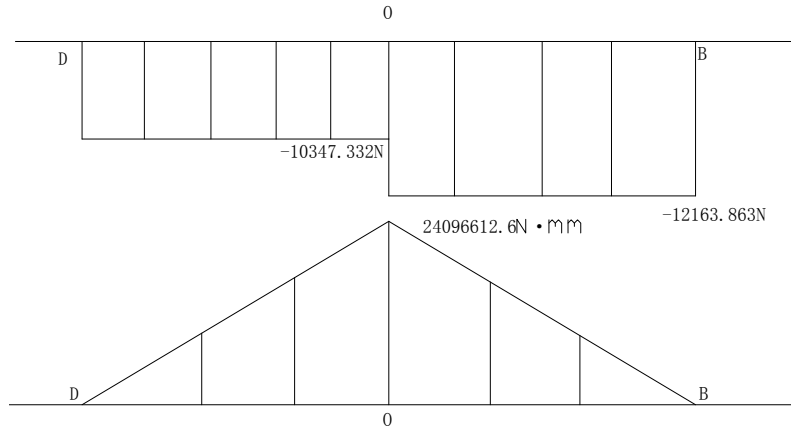


图 3.21 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.22 所示。

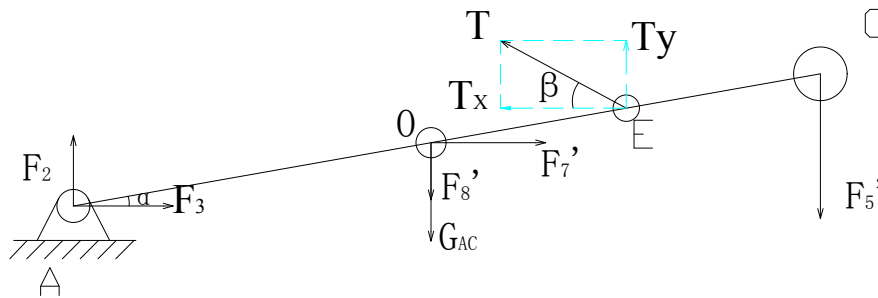


图 3.22 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为：

$$F_2 = 11832.304N \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 712.833N \quad F_7' = -27877.082N$$

$$G_{AC} = 1319.472N \quad T_x = -27877.082N \quad T_y = -15331.945N \quad F_8' = -25131.946N$$

注： F_5' 为 F_5 的反作用力， F_7' 为 F_7 的反作用力， F_8' 为 F_8 的反作用力

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.23 所示。

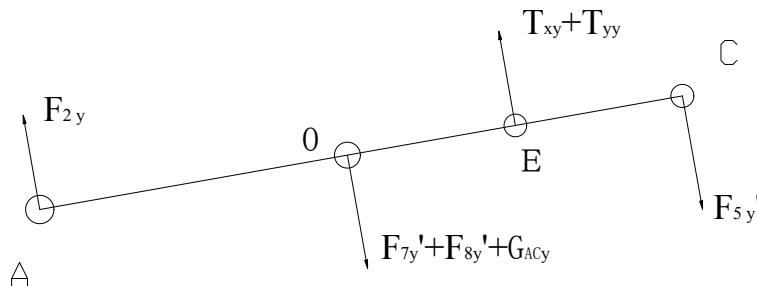


图 3.23 剪叉 AC 的简力图

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos \alpha = 11832.304 \times \cos 10.18^\circ = 11646.032N$$

$$F_{8y}' = F_8' \cdot \cos \alpha = -25131.946 \times \cos 10.18^\circ = -24736.303N$$

$$F_{7y}' = F_7' \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

$$\text{其中 } G_{ACy} = G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7N$$

$$F_{5y}' = F_5 \cdot \cos \alpha = 712.833 \times \cos 10.18^\circ = 701.611N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58N$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' = 701.611N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'x(0 \leq x \leq 981mm) = 0 \sim -688279.41N \cdot mm$$

在 EO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' - (T_{xy} + T_{yy}) = 20719.219N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'(x + 981) + (T_{xy} + T_{yy})x(0 \leq x \leq 1000mm) = -688279.41N \cdot mm \sim -21407499.39N \cdot mm$$

在 OA 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 11646.032N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.24 所示。

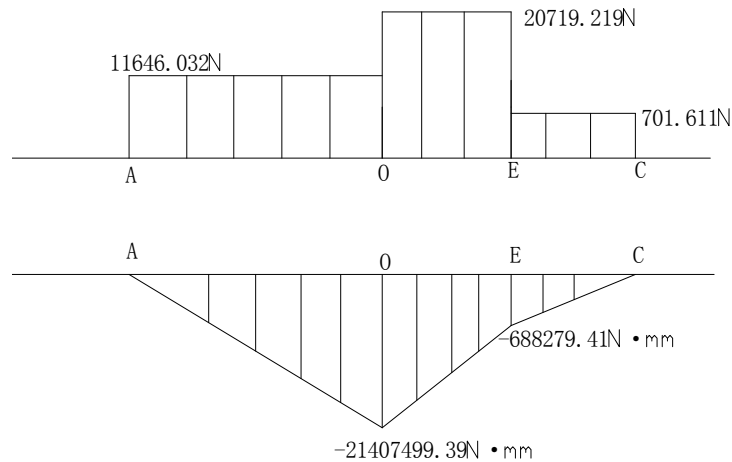


图 3.24 剪叉 AC 的简力图

3.3.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最高位置时：a=1950mm，a+b=3295mm， $\alpha=33.73^\circ$ ， $\beta=84.75^\circ$

1、总体受力

总体受力模型如图 3.25 所示。

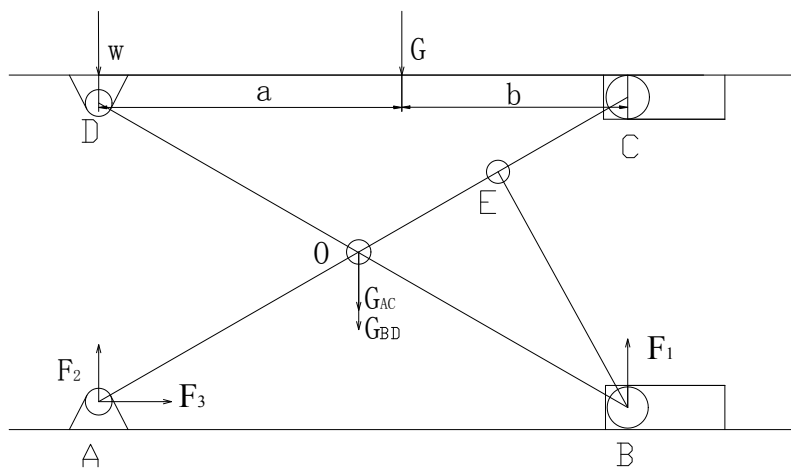


图 3.25 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1(a+b)\end{aligned}\quad (3-10)$$

将各数据代入公式（3—10），得：

$$\begin{aligned}F_3 &= 0 \\ \frac{2851.33 + 19600}{2} + 1319.472 \times 2 &= F_1 + F_2 \\ \frac{2851.33}{2} \times 1950 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3295}{2} &= F_1 \times 3295\end{aligned}$$

解得：

$$\begin{aligned}F_1 &= 2163.189N \\ F_2 &= 11701.420N\end{aligned}$$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3.26 所示。

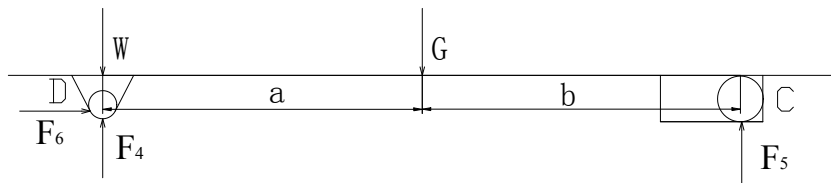


图 3.26 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_6 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_4 + F_5 \quad (3-11)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a = F_5(a+b)$$

将各数据代入公式 (3—11), 得:

$$F_6 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} = F_4 + F_5$$

$$\frac{2851.33}{2} \times 1950 = F_5 \times 3295$$

解得: $F_4 = 10381.948N$
 $F_5 = 843.717N$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3.27 所示。

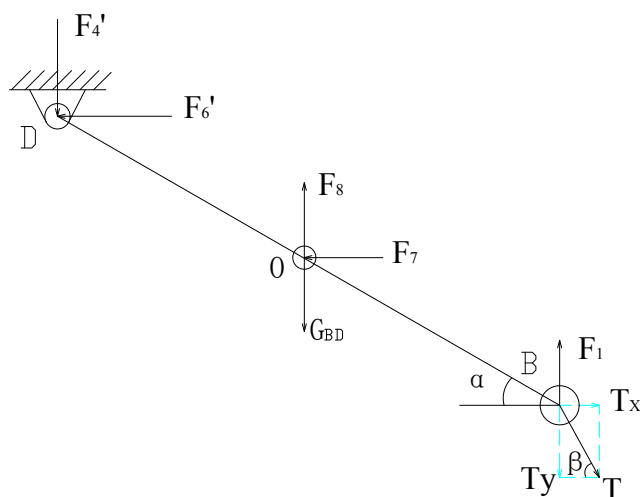


图 3.27 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_7 = T_x$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_4' + T_y + G_{BD} = F_8 + F_1 \quad (3-12)$$

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y$$

$$T_y = T_x \cdot \tan \beta$$

将各数据代入公式 (3—12), 得

$$F_7 = T_x$$

$$10381.948N + T_x + 1319.472N = F_8 + 2163.189N$$

$$10381.948N + 2163.189N + T_x = T_y$$

$$T_y = T_x \cdot \tan 63.78^\circ$$

注： F_4' 为 F_4 的反作用力，故 $F_4' = F_4$

$$T_x = 12179.745N$$

$$T_y = 24724.882N$$

解得：

$$F_7 = 12179.745N$$

$$F_8 = 34263.113N$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.28 所示。

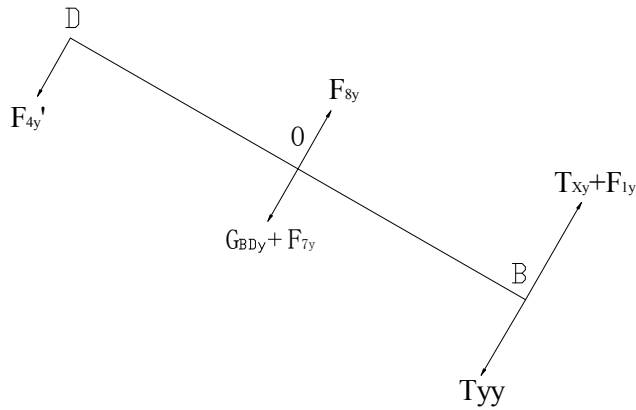


图 3.28 剪叉 BD 的简力图

$$F_{4y}' = F_4' \cdot \cos \alpha = 10381.948 \times \cos 33.73^\circ = 8634.287N$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \cos \alpha = 34263.113 \times \cos 33.73^\circ = 28495.38N$$

$$F_{7y} = F_7 \cdot \cos \alpha = 12179.745 \times \cos 33.73^\circ = 6763.168N$$

$$\text{其中 } G_{BDy} = G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357N$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 2163.189 \times \cos 33.73^\circ = 1799.045N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = 20562.782N$$

在 BO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = T_{yy} - F_{1y} - T_{xy} = 12000.569N$$

$$M_S(x) = -(T_{yy} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981mm) = 0 \sim -23773127.19N \cdot mm$$

在 OD 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -8634.287N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图，如图 3.29 所示。

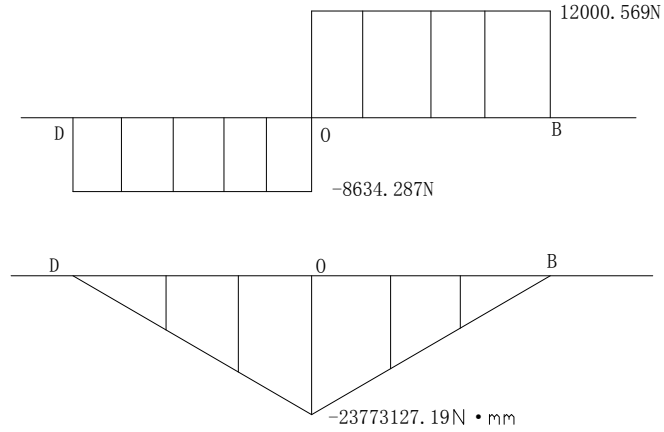


图 3.29 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.30 所示。

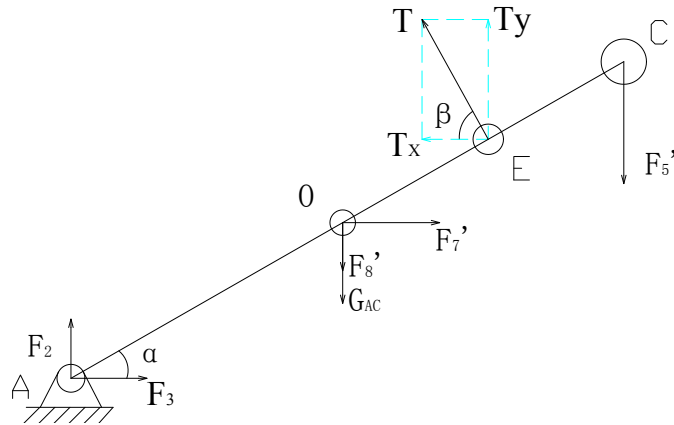


图 3.30 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为：

$$F_2 = 11701.420N \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 843.717N \quad F_7' = 12179.745N$$

$$G_{AC} = 1319.472N \quad T_x = 12179.745N \quad T_y = 24724.882N \quad F_8' = 34263.113N$$

注： F_5' 为 F_5 的反作用力， F_7' 为 F_7 的反作用力， F_8' 为 F_8 的反作用力。

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.31 所示。

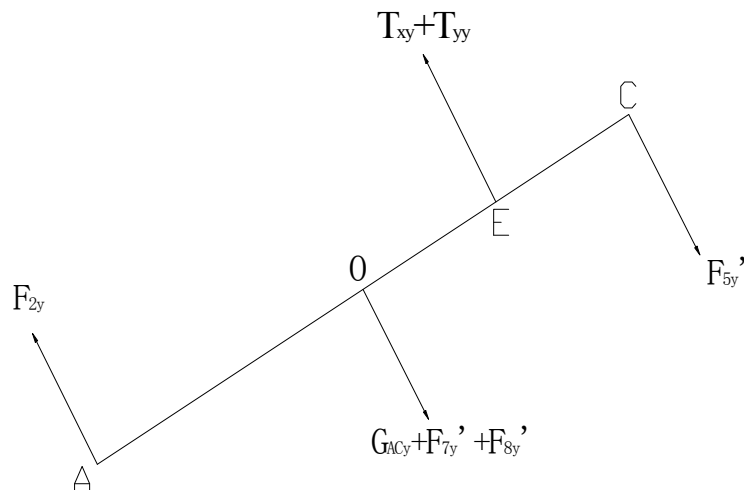


图 3.31 剪叉 AC 的简力图

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos \alpha = 11701.42 \times \cos 33.73^\circ = 9731.644 N$$

$$F'_{8y} = F'_8 \cdot \cos \alpha = 34263.113 \times \cos 33.73^\circ = 28495.38 N$$

$$F'_{7y} = F'_7 \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168 N$$

其中 $G_{ACy} = G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357 N$

$$F'_{5y} = F_5 \cdot \cos \alpha = 843.117 \times \cos 33.73^\circ = 701.689 N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168 N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = 24724.882 \times \cos 33.73^\circ = 20562.782 N$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F'_{5y} = 701.689 N$$

$$M_S(x) = -F'_{5y}x (0 \leq x \leq 981 mm) = 0 \sim -688356.909 N \cdot mm$$

在 EO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F'_{5y} - (T_{xy} + T_{yy}) = -26624.261 N$$

$$M_S(x) = (T_{xy} + T_{yy})x - F'_{5y}(x + 981) (0 \leq x \leq 1000 mm) = -688356.909 \sim 25935904.09 N \cdot mm$$

在 AO 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 9731.644 N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.32 所示。

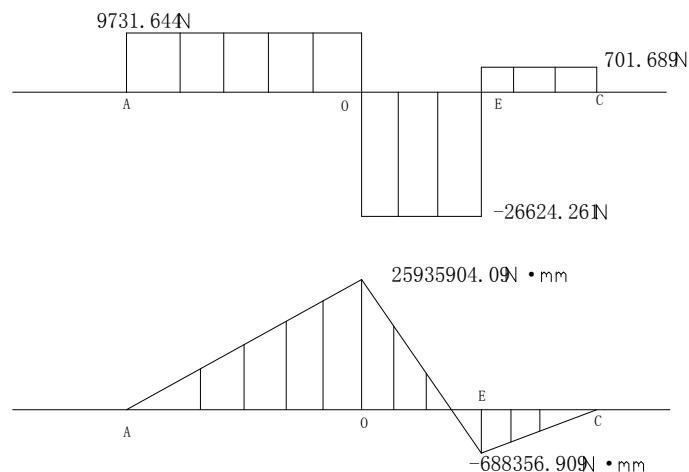


图 3.32 剪叉 AC 的剪力图和弯矩图

3.4 重物偏载于升降平台滚轮处（即 C 端）时的受力分析

3.4.1 升降平台处于最低位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最低位置时： $a=1950\text{mm}$ ， $a+b=3900\text{mm}$ ， $\alpha=10.18^\circ$ ， $\beta=28.61^\circ$ 。

1、总体受力

总体受力模型如图 3.33 所示。

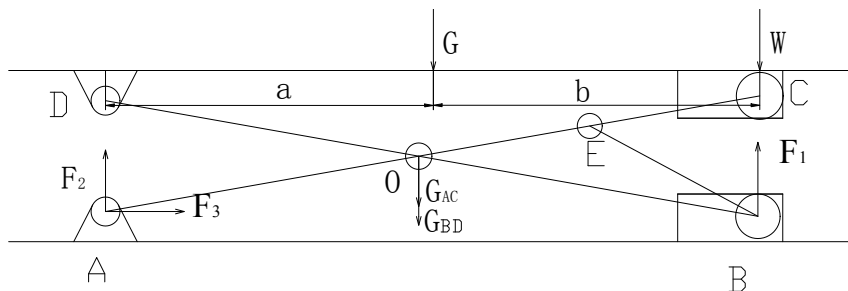


图 3.33 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_3 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \quad (3-13)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + \frac{W}{2} (a+b) + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1 (a+b)$$

将各数据代入公式（3—13），得

$$F_3 = 0$$

$$\frac{2851.33+19600}{2} + 1319.472 \times 2 = F_1 + F_2$$

$$\frac{2851.33}{2} \times 1950 + \frac{19600}{2} \times 3900 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3900}{2} = F_1 \times 3900$$

解得： $F_1 = 11832.304N$
 $F_2 = 2032.305N$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3.34 所示。

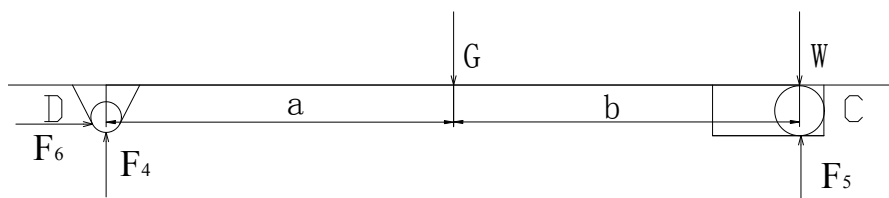


图 3.34 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + \frac{W}{2}(a+b) = F_5(a+b)\end{aligned}\quad (3-14)$$

将各数据代入公式 (3—14)，得

$$\begin{aligned}F_6 &= 0 \\ \frac{2851.33+19600}{2} &= F_4 + F_5 \\ \frac{2851.33}{2} \times 1950 + \frac{19600}{2} \times 3900 &= F_5 \times 3900\end{aligned}$$

解得： $F_4 = 712.832N$
 $F_5 = 10512.833N$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3.35 所示。

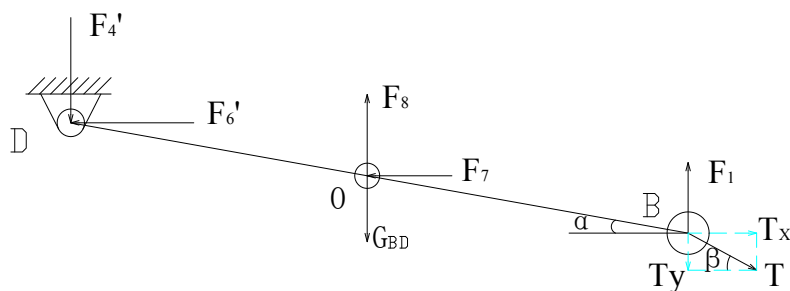


图 3.35 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为：

$$\begin{aligned}
\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_7 = T_x \\
\sum F_y &= 0 \Rightarrow F_4' + T_y + G_{BD} = F_8 + F_1 \\
\sum M_0 &= 0 \Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y \\
T_y &= T_x \cdot \tan \beta
\end{aligned} \tag{3-15}$$

将各数据代入公式 (3—15), 得

$$\begin{aligned}
F_7 &= T_x \\
712.832N + 1319.472N + T_y &= F_8 + 11832.305N \\
712.832N + 11832.805N + T_x &= T_y \\
T_y &= T_x \cdot \tan 63.78^\circ
\end{aligned}$$

注: F_4' 为 F_4 的反作用力, 故 $F_4' = F_4$

$$\begin{aligned}
T_x &= -27877.082N \\
\text{解得: } T_y &= -15331.945N \\
F_7 &= -27877.082N \\
F_8 &= -25131.946N
\end{aligned}$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解, 只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响, 因此可以得到简力图, 如图 3.36 所示。

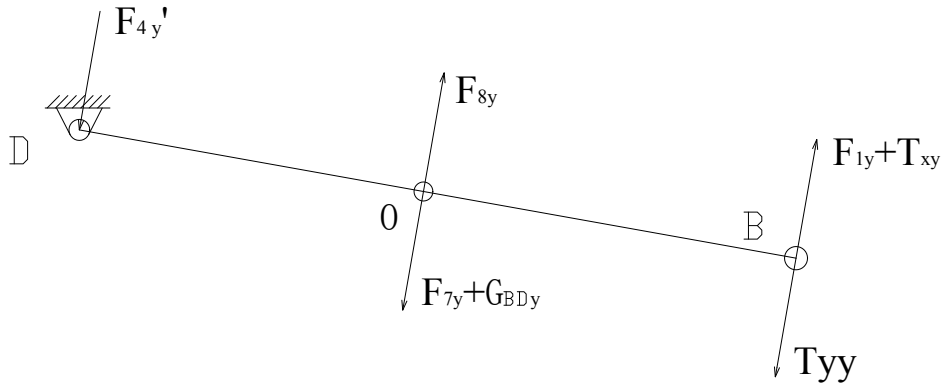


图 3.36 剪叉 BD 的简力图

$$\begin{aligned}
F_{4y}' &= F_4' \cdot \cos \alpha = 712.832 \times \cos 10.18^\circ = 701.610N \\
F_{8y} &= F_8 \cdot \cos \alpha = -25131.946 \times \cos 10.18^\circ = -24736.303N \\
F_{7y} &= F_7 \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N \\
\text{其中 } G_{BDy} &= G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7N \\
F_{1y} &= F_1 \cdot \cos \alpha = 11832.305 \times \cos 10.18^\circ = 11646.033N \\
T_{xy} &= T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028N \\
T_{yy} &= T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58N
\end{aligned}$$

在 B0 段内, 剪力方程和弯矩方程分别为:

$$F_S(x) = T_{y,y} - F_{1y} - T_{xy} = -18809.585N$$

$$M_S(x) = -(T_{y,y} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981mm) = 0 \sim 37422248.89N \cdot mm$$

在 D0 段内, 剪力方程为:

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -701.610N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图, 如图 3.37 所示。

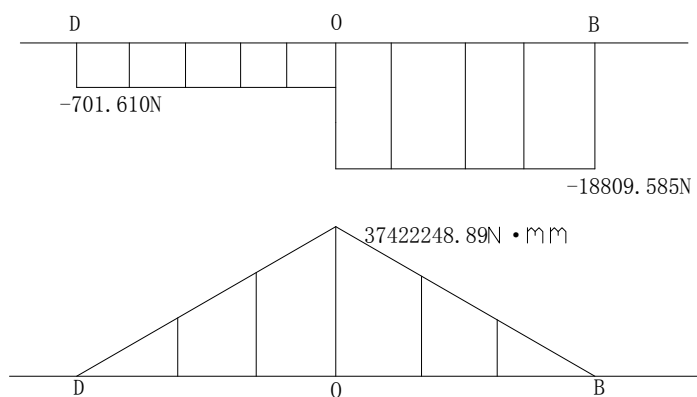


图 3.37 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.38 所示。

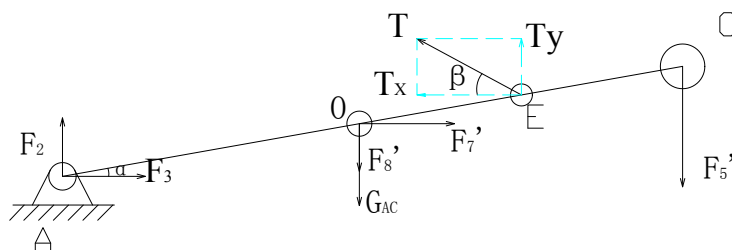


图 3.38 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为:

$$F_2 = 2032.304N \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 10512.833N \quad F_7' = -27877.082N$$

$$G_{AC} = 1319.472N \quad T_x = -27877.082N \quad T_y = -15331.945N \quad F_8' = -25131.946N$$

注: F_5' 为 F_5 的反作用力, F_7' 为 F_7 的反作用力, F_8' 为 F_8 的反作用力。

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解, 只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响, 因此可以得到简力图, 如图 3.39 所示。

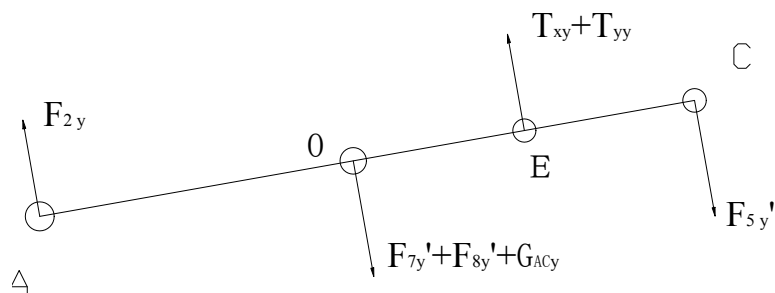


图 3.39 剪叉 AC 的简力图

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos \alpha = 2032.304 \times \cos 10.18^\circ = 2000.310 N$$

$$F_{8y}' = F_8' \cdot \cos \alpha = -25131.946 \times \cos 10.18^\circ = -24736.303 N$$

$$F_{7y}' = F_7' \cdot \sin \alpha = -27877.08 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028 N$$

其中 $G_{ACy} = G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 10.18^\circ = 1298.7 N$

$$F_{5y}' = F_5 \cdot \cos \alpha = 10512.833 \times \cos 10.18^\circ = 10347.333 N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = -27877.082 \times \sin 10.18^\circ = -4927.028 N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = -15331.945 \times \cos 10.18^\circ = -15090.58 N$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' = 10347.333 N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'x (0 \leq x \leq 981 mm) = 0 \sim -10150733.67 N \cdot mm$$

在 EO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' - (T_{xy} + T_{yy}) = 30364.941 N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'(x + 981) + (T_{xy} + T_{yy})x (0 \leq x \leq 1000 mm) = -10150733.67 \sim -40515674.67 N \cdot mm$$

在 OA 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 2000.310 N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.40 所示。

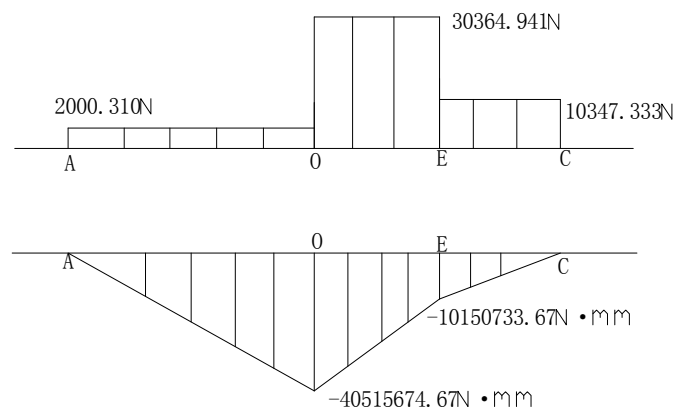


图 3.40 剪叉 AC 的剪力图和弯矩图

3.4.2 升降平台处于最高位置时的力学模型及受力分析

升降平台处于最高位置时： $a=1950\text{mm}$ ， $a+b=3295\text{mm}$ ， $\alpha=33.73^\circ$ ， $\beta=84.75^\circ$

1、总体受力

总体受力模型如图 3.41 所示。

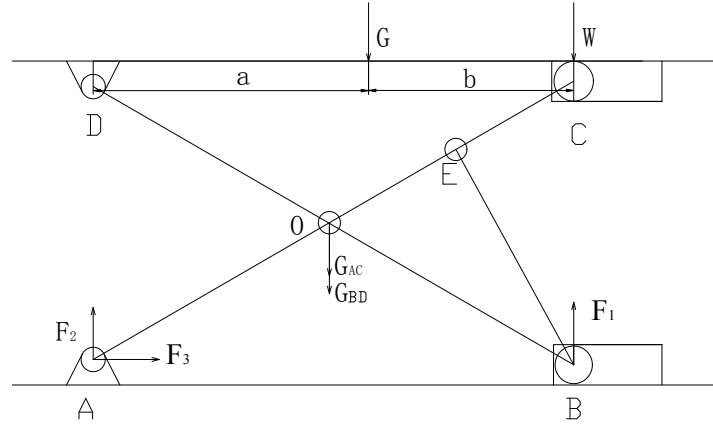


图 3.41 总体受力模型

从图中可以得出力学公式为：

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} + G_{AC} + G_{BD} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + \frac{W}{2} (a+b) + (G_{AC} + G_{BD}) \cdot \frac{a+b}{2} = F_1 (a+b)\end{aligned}\quad (3-16)$$

将各数据代入公式 (3—16)，得：

$$\begin{aligned}F_3 &= 0 \\ \frac{2851.33+19600}{2} + 1319.472 \times 2 &= F_1 + F_2 \\ \frac{2851.33}{2} \times 1950 + \frac{19600}{2} \times 3295 + (1319.472 \times 2) \times \frac{3295}{2} &= F_1 \times 3295\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{解得：} \quad F_1 &= 11963.189\text{N} \\ F_2 &= 1901.20\text{N}\end{aligned}$$

2、上平台的力学模型及受力分析

上平台受力模型如图 3.42 所示。

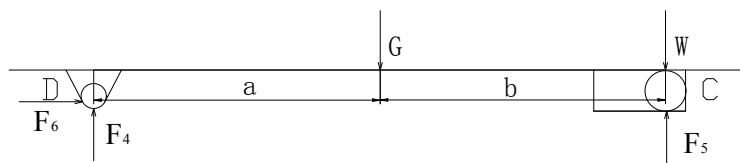


图 3.42 上平台受力模型

从图中可以得出力学公式为:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_3 = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow \frac{G+W}{2} = F_1 + F_2 \\ \sum M_A &= 0 \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot a + \frac{W}{2}(a+b) = F_5(a+b)\end{aligned}\quad (3-17)$$

将各数据代入公式 (3—17), 得:

$$\begin{aligned}F_6 &= 0 \\ \frac{2851.33+19600}{2} &= F_4 + F_5 \\ \frac{2851.33}{2} \times 1950 + \frac{19600}{2} \times 3295 &= F_5 \times 3295\end{aligned}$$

解得: $F_4 = 581.948N$
 $F_5 = 10643.717N$

3、剪叉 BD 的力学模型及受力分析

剪叉 BD 受力模型如图 3.43 所示。

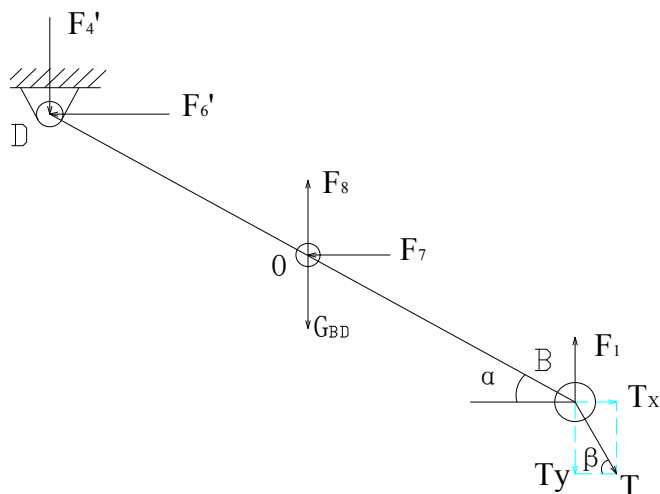


图 3.43 剪叉 BD 的受力模型

从图中可以得到力学公式为:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow F_7 = T_x \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow F_4' + G_{BD} + T_y = F_8 + F_1 \\ \sum M_O &= 0 \Rightarrow F_4' + F_1 + T_x = T_y \\ T_y &= T_x \cdot \tan \beta\end{aligned}\quad (3-18)$$

将各数据代入公式 (3—18), 得

$$F_7 = T_x$$

$$581.948N + 1319.472N + T_y = F_8 + 11963.189N$$

$$581.948N + 11963.189N + T_x = T_y$$

$$T_y = T_x \cdot \tan 63.78^\circ$$

注： F_4' 为 F_4 的反作用力，故 $F_4' = F_4$

$$T_x = 12179.745N$$

解得： $T_y = 24724.882N$

$$F_7 = 12179.745N$$

$$F_8 = 14663.113N$$

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.44 所示。

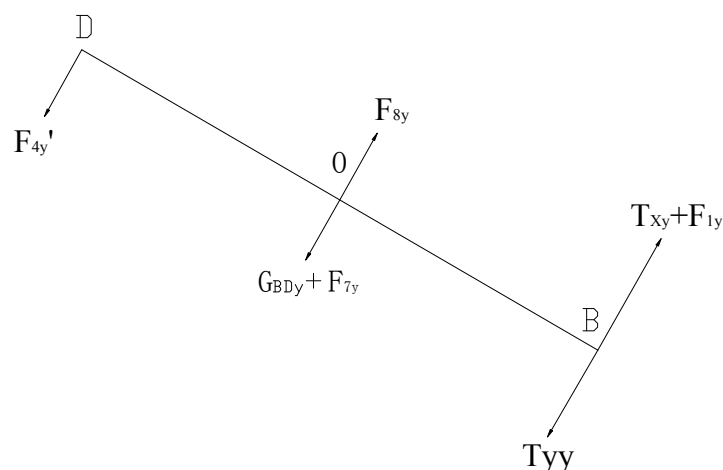


图 3.44 剪叉 BD 的简力图

$$F_{4y}' = F_4' \cdot \cos \alpha = 581.948 \times \cos 33.73^\circ = 483.985N$$

$$F_{8y} = F_8 \cdot \cos \alpha = 14663.113 \times \cos 33.73^\circ = 12194.776N$$

$$F_{7y} = F_7 \cdot \cos \alpha = 12179.745 \times \cos 33.73^\circ = 6763.168N$$

$$\text{其中 } G_{BDy} = G_{BD} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357N$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 11963.189 \times \cos 33.73^\circ = 9949.348N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = 20562.782N$$

在 B0 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = T_{yy} - F_{1y} - T_{xy} = 3850.266N$$

$$M_S(x) = -(T_{yy} - F_{1y} - T_{xy})x (0 \leq x \leq 1981mm) = 0 \sim -7627376.946N \cdot mm$$

在 OD 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = -F_{4y}' = -483.985N$$

由此可以得到剪叉 BD 的剪力图和弯矩图，如图 3.45 所示。

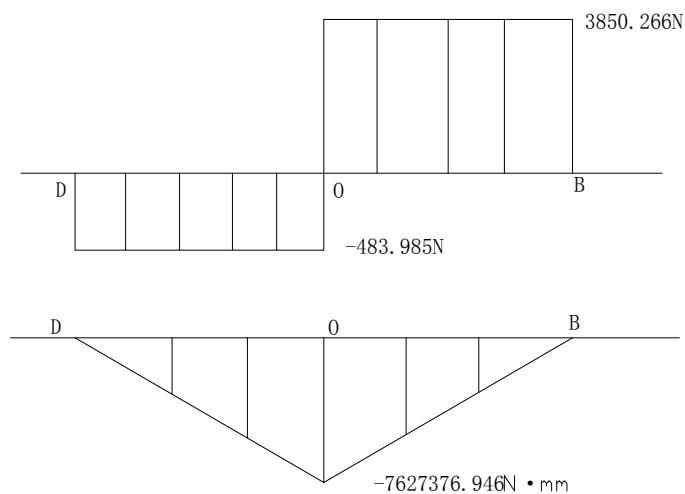


图 3.45 剪叉 BD 的剪力图和弯矩图

4、剪叉 AC 的力学模型及受力分析

剪叉 AC 的受力模型如图 3.46 所示。

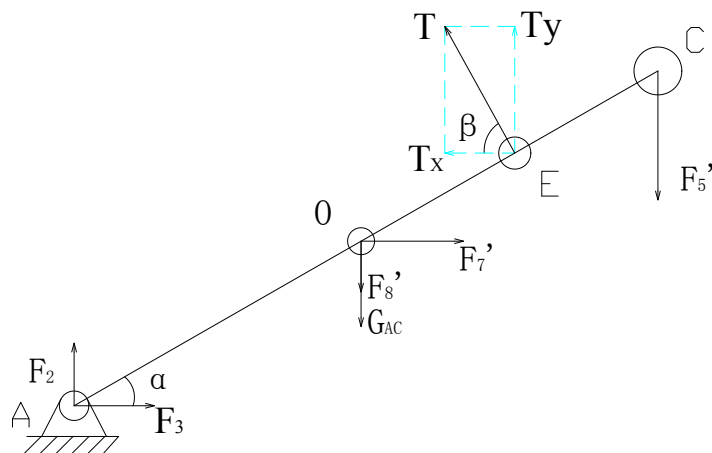


图 3.46 剪叉 AC 的受力模型

其各力大小分别为：

$$F_2 = 1901.420N \quad F_3 = 0 \quad F_5' = 10643.717N \quad F_7' = 12179.745N$$

$$G_{AC} = 1319.472N \quad T_x = 12179.745N \quad T_y = 24724.882N \quad F_8' = 14663.113N$$

注： F_5' 为 F_5 的反作用力， F_7' 为 F_7 的反作用力， F_8' 为 F_8 的反作用力。

将各力按照平行于剪叉方向和垂直于剪叉方向分解，只有垂直于剪叉方向的力对剪叉的强度产生影响，因此可以得到简力图，如图 3.47 所示。

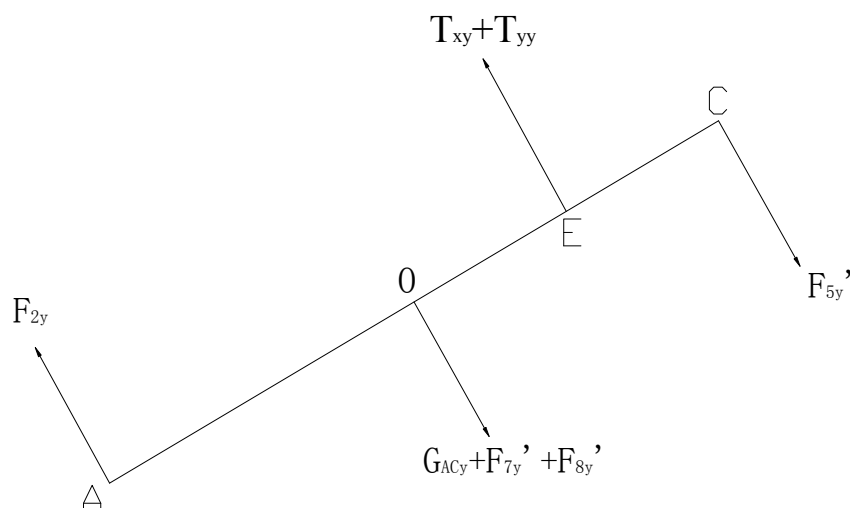


图 3.47 剪叉 AC 的简力图

$$F_{2y} = F_2 \cdot \cos \alpha = 11701.42 \times \cos 33.73^\circ = 9731.644N$$

$$F_{8y}' = F_8' \cdot \cos \alpha = 34263.113 \times \cos 33.73^\circ = 28495.38N$$

$$F_{7y}' = F_7' \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N$$

其中 $G_{ACy} = G_{AC} \cdot \cos \alpha = 1319.472 \times \cos 33.73^\circ = 1097.357N$

$$F_{5y}' = F_5 \cdot \cos \alpha = 843.117 \times \cos 33.73^\circ = 701.689N$$

$$T_{xy} = T_x \cdot \sin \alpha = 12179.745 \times \sin 33.73^\circ = 6763.168N$$

$$T_{yy} = T_y \cdot \cos \alpha = 24724.882 \times \cos 33.73^\circ = 20562.782N$$

在 CE 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' = 8851.991N$$

$$M_S(x) = -F_{5y}'x(0 \leq x \leq 981mm) = 0 \sim -8683803.171N \cdot mm$$

在 EO 段内，剪力方程和弯矩方程分别为：

$$F_S(x) = F_{5y}' - (T_{xy} + T_{yy}) = -18473.959N$$

$$M_S(x) = (T_{xy} + T_{yy})x - F_{5y}'(x + 981)(0 \leq x \leq 1000mm) = -8683803.171 \sim 9790155.829N \cdot mm$$

在 AO 段内，剪力方程为：

$$F_S(x) = F_{2y} = 1581.342N$$

由此可以得到剪叉 AC 的剪力图和弯矩图，如图 3.48 所示。

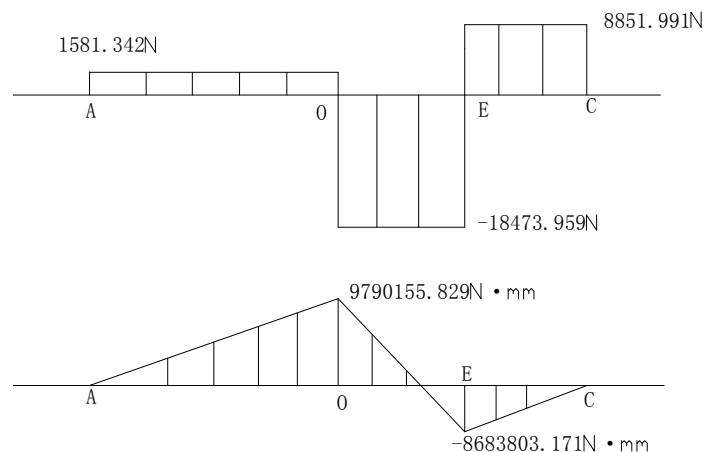


图 3.48 剪叉 AC 的剪力图和弯矩图

3.5 剪叉的校核

3.5.1 剪叉 BD 的强度校核

剪叉的材料为 Q235A，选用的是 $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$ 空心矩形型钢，因此，机械手册可以得到： $I=2263.188\text{cm}^4$ ， $W=214.844\text{cm}^3$ ，通过上述的弯矩计算，可以得到最大弯矩发生在当重物偏载于滚轮处且位于最低位置时，通过上述计算分析比较可以得到 $M_{\max}=37422248.89\text{N} \cdot \text{m}=37.422\text{KN} \cdot \text{mm}$

$$\text{因此， } \sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{37.422}{214.844} = 174\text{MPa} < [\sigma] = 235\text{MPa}$$

剪叉 BD 的强度满足条件要求。

3.5.2 剪叉 AC 的强度校核

剪叉的材料为 Q235A，选用的是 $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$ 空心矩形型钢，因此，机械手册可以得到： $I=2263.188\text{cm}^4$ ， $W=214.844\text{cm}^3$ ，通过上述的弯矩计算，可以得到最大弯矩发生在当重物偏载于滚轮处且位于最低位置时，通过上述计算分析比较可以得到 $M_{\max}=40515674.67\text{N} \cdot \text{m}=40.516\text{KN} \cdot \text{mm}$

$$\text{因此， } \sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{40.516}{214.844} = 189\text{MPa} < [\sigma] = 235\text{MPa}$$

剪叉 AC 的强度满足条件要求。

总 结

通过几个月的毕业设计，我主要完成了以下工作：

1. 通过查阅文献资料，了解了剪叉式升降平台的设计等方面的知识，掌握了剪叉式液压升降平台的基本原理与方法；
2. 进行了剪叉式升降平台总体布局方案和主要性能参数确定；
3. 主要控制方案设计；
4. 进一步熟悉了力学计算和结构设计方法，并且完成上、下台架机构、剪叉机构设计计算；
5. 完成了剪叉式液压升降平台装配图和零件图的绘制。

通过对剪叉式液压升降平台的设计，让我学会了如何检阅资料，如何在大量文献中提炼出经典，提炼出设计所需的资料，以及设计的具体步骤。通过本次的毕业设计，让我深深的体会到一句话的真理，“书到用时方恨少”，让我认识到还有很多的东西需要我去学习。

这次的毕业设计，不仅培养了我严谨的工作态度，也使我学习到了科学与实践要亲密结合的必要性和重要性。在以后的工作和学习过程中，我会更加努力。我相信有了这次宝贵的设计经验，在以后的设计工作中我会更加出色的完成自己的任务。

谢 辞

本文是在尊敬的导师王晓伟老师的精心指导下完成的。

在本文的方案提出、修改，系统设计及校核的整个过程中，自始至终都得到了王晓伟老师的精心指导。王老师对我的设计工作进行定期检查与指导，对我设计过程中所出现的错误进行及时的纠正与精心的讲解，让我少走了很多的弯路，也让我学习到了整个的设计过程及在设计过程中应该优先考虑什么及应该注意什么。

王老师多次为我指点迷津，帮助我开拓研究思路，精心点拨、热忱鼓励。王老师严谨的学风、高度的责任感给我留下了深深的印象，并将使我们铭记终生。在论文结束之际，谨向王老师致以衷心的感谢！

在设计过程中我也得到了部分同学的鼓励、帮助与支持，在此，也向所有关心、支持、帮助过我的同学表示衷心的感谢！

四年的大学生活里，山东建筑大学机电工程学院的老师们给予了我无私的教导与精心的指导，在此一并向大学期间所有关心、支持、帮助我的老师表示衷心的感谢！

参考文献

- [1][日]吉国宏编, 自动化仓库-堆垛机设计, 人民铁道出版社。
- [2]裘为章编, 物料搬运自动化, 机械工业出版社, 1985。
- [3]起重机设计手册, 中国铁道出版社
- [4]工程起重机, 中国建筑工业出版社, 1998年12月第二版
- [5][德] M. 舍费尔, 起重运输机械设计基础(第六版), 机械工业出版社, 1988
- [6]成大先主编, 机械设计手册, 北京:化学工业出版社, 2002年1月第四版
- [7]俞启颢, 国产施工升降机的技术状况和发展方向. 建筑机械, 1996
- [8]张颖, 蜗轮丝杆直顶式升平台. 有色设备, 1998
- [9]归正, X型剪叉升降平台机构的分析. 建筑机械, 1997
- [10]瓜景云, 铰接式升降平台. 起重运输机械, 1994
- [11]丁智平, 气液动剪叉式升降平台运动受力分析及其应用, 株洲工学院学报, 1999
- [12]张平格, 赵喜敬, 张伟杰, 姚贵英编. 液压传动与控制. 北京:冶金工业出版社, 2004
- [13]贾培起编液压传动, 天津科学技术出版社, 2003.
- [14]彦荣光, 李自光, 贺尚红编. 现代工程机械液压与液力系统, 人民交通出版社, 2001
- [15]朱德文, 张崇庆编, 升降机运行与控制, 北京:电力出版社, 2006
- [16]罗艳蕾, 液压同步回路及同步控制系统实现的方法, 液压与气动, 2004
- [17]唐朝明, 剪叉式液压升降平台的设计, 机车车辆工艺, 1995
- [18]王金若, 于兰峰编, 起重运输机械金属结构, 北京:中国铁道出版社, 2002
- [19]刘鸿文编著, 材料力学:上册, 北京:高等教育出版社, 2004. 1
- [20]哈尔滨工业大学理论力学教研组编, 理论力学:上册(第六版), 北京:高等教育出版社, 2002. 8
- [21]哈尔滨工业大学理论力学教研组编, 理论力学:下册(第六版), 北京:高等教育出版社, 2002. 8
- [22]宋耀军、刘棒, 液压缸驱动的剪刀撑机构运动及动力学分析, 起重运输机械, 2004
- [23]周士昌、曹鑫铭编, 液压系统设计图集, 北京:机械工业出版社, 2003
- [24]官忠范编, 液压传动系统, 北京:机械工业出版社, 2000
- [25]Gu Qingsong、Liu Qidong, Design of Hydraulic System for Maintenance Lift Platform Truck, Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2005
- [26]Li Guishan、Zhai Hun, A pplicationof Electeo-hydro Proportional Controlin Hydraulic Press, EQUIPMENT 2005

[27]张利平主编, 液压阀原理、使用与维修, 北京:化学工业出版社, 2005

[28]贾铭新编, 液压传动与控制, 北京:国防工业出版社, 2001

[29]张利平编, 液压传动系统及设计, 北京:化学工业出版社, 2005

[30]王以伦编, 液压传动, 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2005

[31]黎启柏主编, 液压元件手册, 北京:冶金工业出版社, 2000