

RM 2020 直播间 第十二期

RoboMaster中的成本管理和控制



Zemel.Shuai

2020.02.23

目录

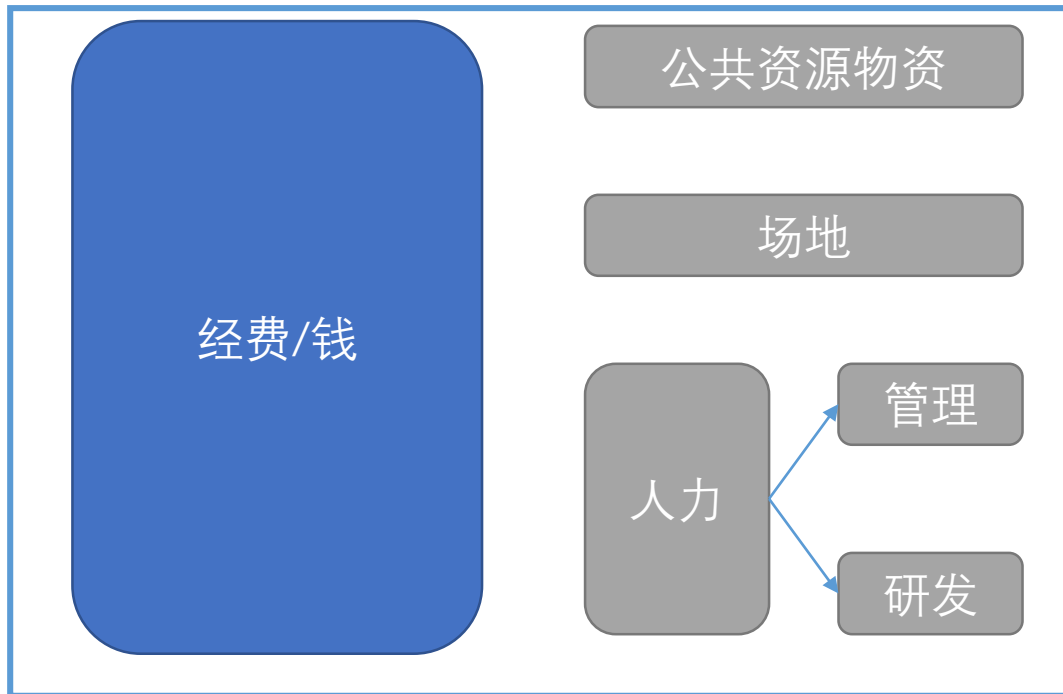
- 一. 成本的概念与组成, 优劣势
- 二. RM成本的优劣
- 三. 为什么要做成本管理与控制
- 四. 成本管理方法与注意事项
- 五. 成本控制的方法—科学设计
- 六. 成本控制的方法—机械零件优化
- 七. 相关参考书籍与资料

一、成本的概念与组成

进行生产经营活动时候，会耗费一定的资源，其所费资源的货币表现及其对象化称之为**成本**

成本管理存在于备赛的各个阶段

RoboMaster中成本的组成



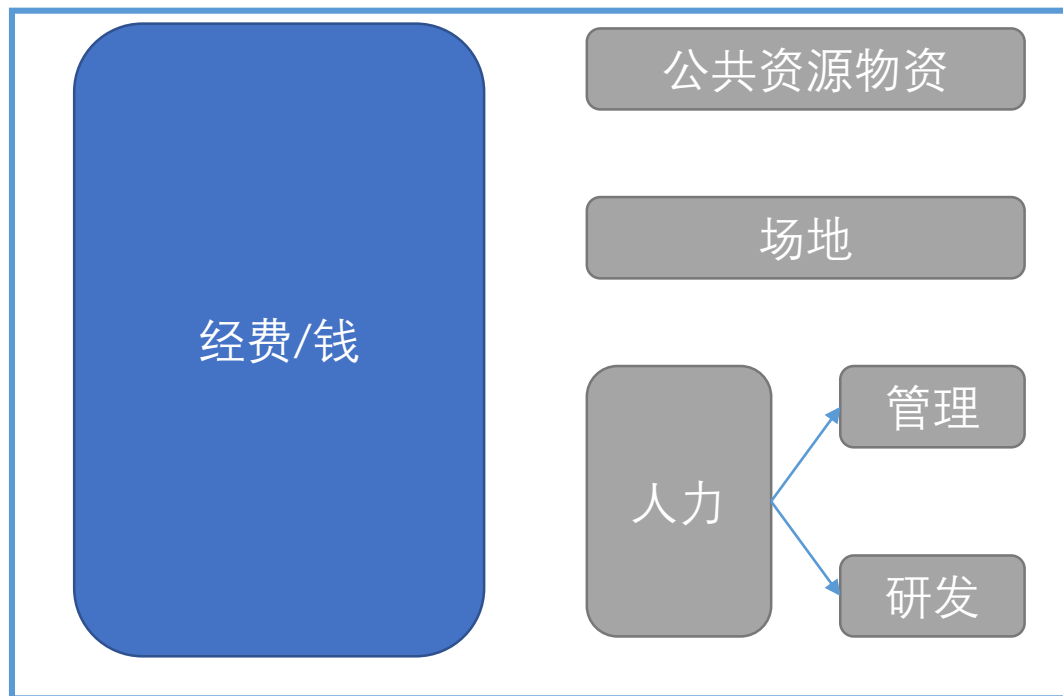
经费是重点关注对象，但其他隐性成本也不能忽视，每一项成本的合理使用都是团队持续发展的重要保证。

不健康成本使用举例：

- 公用设备和耗材随意使用
- 共用经费，只买贵不买对
- 场地整理脏乱差，过多占用学校资源。
- 违规使用场地，聚餐、食宿等
- 人力分配不平衡，大多倾向研发。
- 人力的无持续发展计划，疏忽梯队的培养。
- 队长过多专注一个项目，忽略团队整理方向纠偏。
- 某一个队员承担太多，任务多而不精，团队不和谐

二、RM成本管理的优劣势

RoboMaster中成本的组成



优势:

- 隐形资源丰富，特别是人力，基数大，时间多
- 工作内容与个人职业发展契合度高，需正确引导
- 公共资源丰富，无需考虑衣食住行
- 学生时期，试错成本低
- 教师和图书资源
- 多种项目申报途径，整合经费资源

劣势:

- 团队管理与成本管理意识弱，方法相对原始。
- 项目流程不完善，缺少有效的方案风险规避措施
- 设计经验少，科学设计意识少。
- 往届经验无传承。新人踩旧坑。
- 非标零件的成本评估能力不足，量少，成本高，无谈价筹码
- 供应商渠道少

三、为什么要做成本管理与控制

现状

- RM2019赛季的成本调研显示，多数经费远超预期。
- 有军备竞赛趋势，竞赛生态发展不可持续



整体发展

- RM团队虽小，五脏俱全，人力资源配置和小型公司基本一致。需要多学科人才，工科，财会，管理，宣传等。
- 高性能的方案设计和低成本是可以并存的，成本控制能力是工程师的重要能力体现，是必备技能。

四、成本管理方法与注意事项

接下来主要从经费这一块进行成本管理的宣导

专业化-智能化

- 使用专业财务管理软件，高效率统计与管理成本
- 把尝试把财会岗位纳入招新范畴,或者明确岗位职责交项管管理

管理系统的需求（根据实际进行删减）

- 系统操作简单，不过多增加流程时间
- 可记录每笔开销的申请与进度
- 可记录物资库存
- 可进行发票管理
- 系统分管理账户和普通账户
- 管理账户可看总报表



中国矿业大学正在使用的[云进销存系统](#)
关注论坛“工具开源”的帖子

管家婆云进销存

高效、省心、高性价比的在线进销存软件，满足不同行业需求，为从事商品批发零售经营的中小企业量身打造

已不墨本' 2022年11月11日 10:00:00

- 物资采购流程清晰（团队成员都有个人账号）
- 经费支出明确有据可循，
- 财务管理便捷自动化，包括发票整理等
- 财务报表精准，成本问题分析高效

四、成本管理方法与注意事项

制度化-流程化

■ 物资采购流程

- 物资有明确可落地的采购流程,
- 审批高效, 监管有力

■ 方案评审流程

- 研发需求必须明确, 数据化, 文字化, 可阶段性更新
- 方案评审流程清晰, 责任清晰, 形成团队制度一部分
- 使用数据和测试结果做有效判断依据
- 评审人员出发点合理, 客观, 避免评审一言堂
- 根据自身情况进行选择, 贪多嚼不动

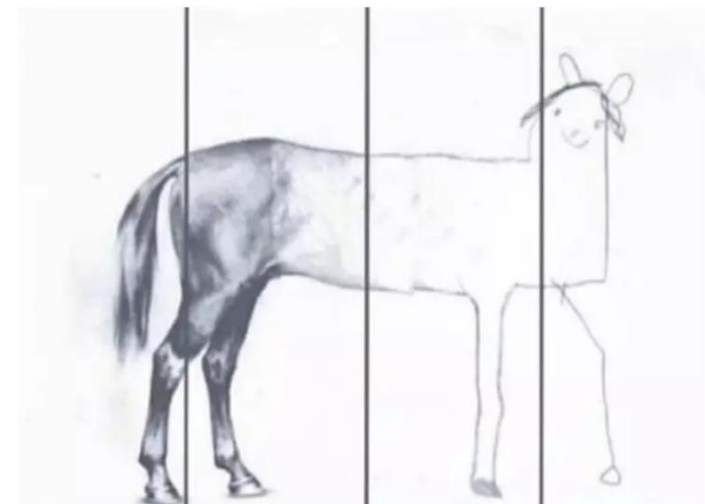
四、成本管理方法与注意事项

制度化-流程化

■ 项目研发流程

- 项目研发分阶段，以下以机械研发阶段举例
- 总结部分方法论，新队员培训多宣导

研发阶段	阶段内容	参与人员
需求阶段	根据规则与往届情况确定研发细节目标	全员
多方案验证	根据需求进行结构简图绘制，多方案验讨论和验证	机械、嵌入式
方案评审	根据验证结果评审确定一两种方案去落地，硬件方案和软件方案做初步规划。	机械、嵌入式等
详细结构设计	把确定好的方案进行详细设计和物资选型	机械
详细结构评审	完成设计以后，进行细节评审，零件DFM，受力分析，干涉检查，标准件选型，电路布线等	机械，
图纸审核	2D图纸标准审核，确保设计与加工一致。	机械
外发加工	此阶段可进行标准件采购，自制件制作，整理初版BOM表，写总结，或协助场地道具设计和其他项目。	机械，项管
装配测试	装配后记录问题，定位属于设计还是属于制造，是否有必要迭代	机械，嵌入式，硬件，算法



概念 详细 测试 成品



五、成本控制的方法

成本控制即**降成本**

降成本存在于备赛的各个阶段，由于成本和机械关系密切，以下均为**机械方向**的具体内容

赛季规划中成本控制多数的理解和做法

- 货比三家选便宜的
- 沿用旧零件
- 多设计自制件

此外还有

- 多做统计，分析财务报表，从大占比的块头里想办法—BOM表与成本管理
- 方案制定时进行成本控制—评审流程
- 提高机械组业务树中的成本控制能力—**科学设计方法，零件DFM与DFC，零件标准化**

五、成本控制的方法-科学设计

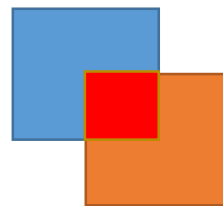
ROBOMASTER

使用科学设计软件，和科学设计思路

均可减少迭代次数和研发周期，在项目前期避免风险。

干涉检查：

➤ Solidworks和Creo均自带干涉检查工具，风险排除在外发加工之前。



有限元仿真：

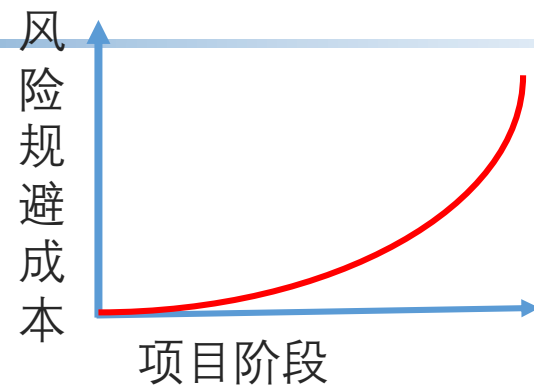
➤ Solidworks和Creo中均自带的单零件和装配体的有限元仿真，常规的应力分析，危险截面校核均可完成，减少迭代次数和研发周期。（下页举例）

虚拟样机技术：

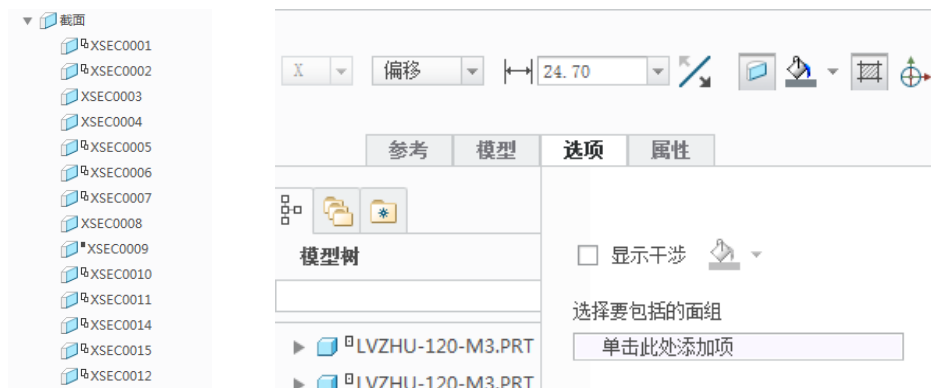
➤ Adams View的基本功能即可实现重力场下的虚拟样机建模与仿真（后面举例）

设计思路

- 方案设计除了脑补还需进行有效的校核计算。
- 多做方案调研与竞品分析，站在巨人的肩膀上。（论坛，youtube，精巧机构简图等）
- 方案设计采用先打一枪，再放一炮，最后再全面进攻的套路。出现风险可及时止损。



设计完图纸必须进行干涉检查，

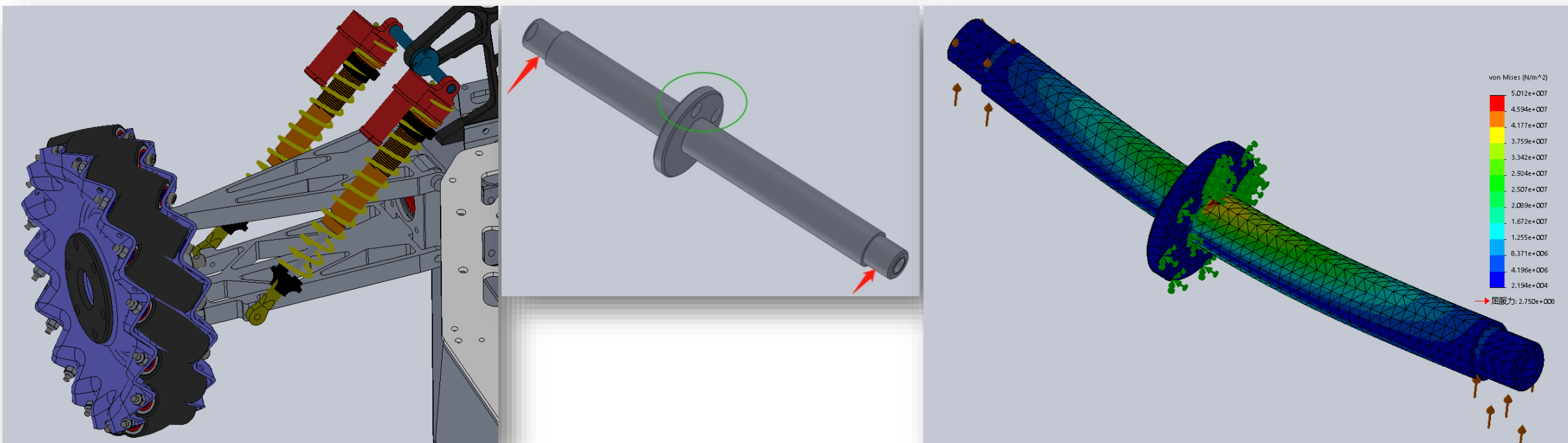


干涉检查可用截面命令检查，显示该截面干涉情况。
效果显著

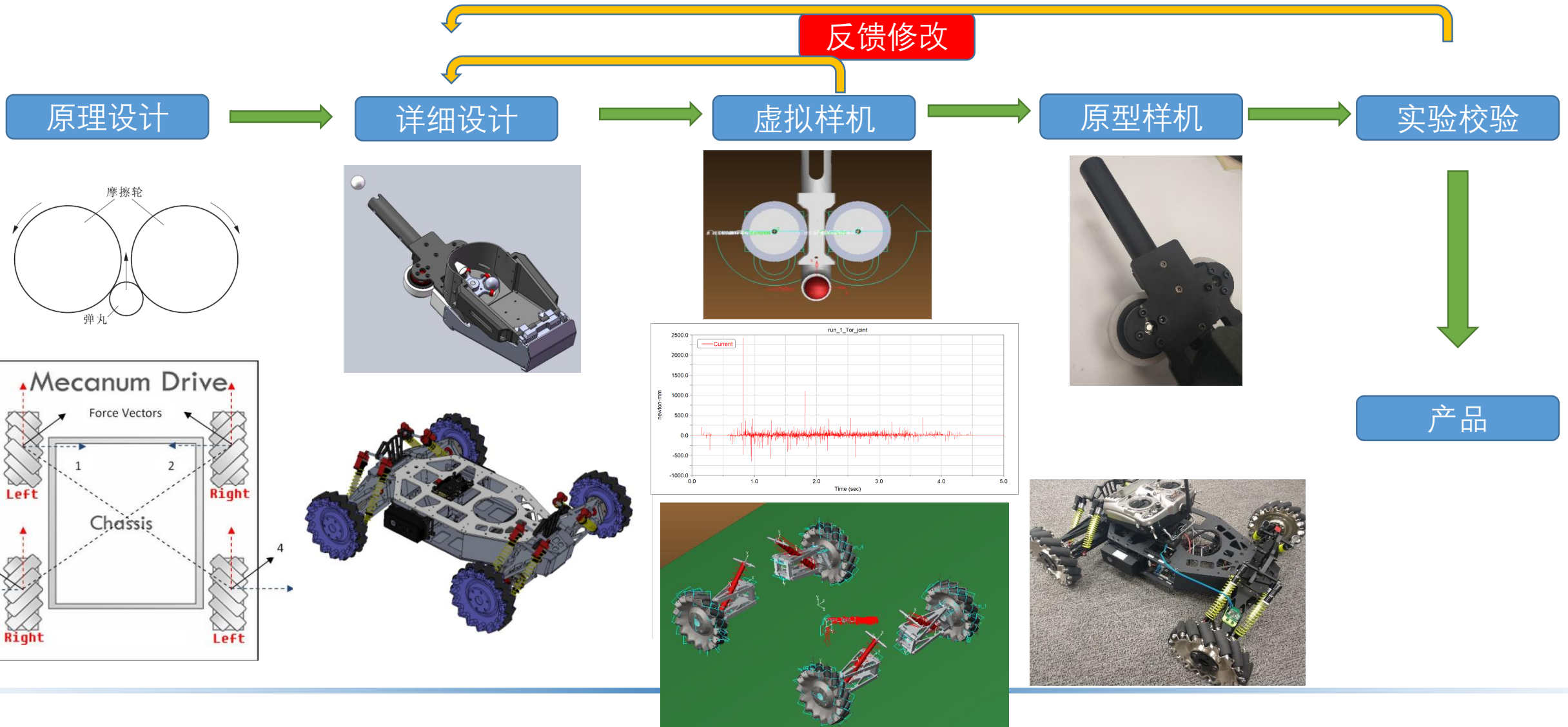
单零件的有限元仿真

✓ 根据产品模型和工况在计算机中搭建出来的机械系统**模拟器**

进行**零件**疲劳和刚度强度仿真校核。



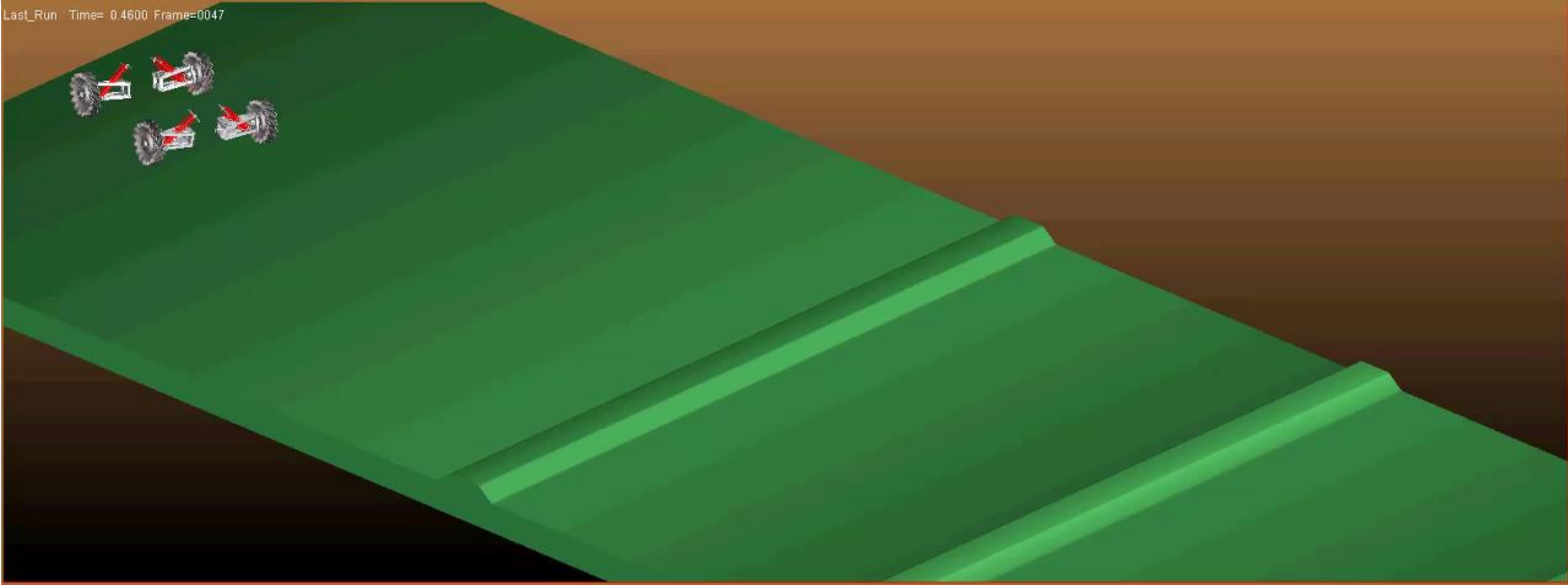
虚拟样机开发流程



虚拟样机做四悬挂麦轮底盘的仿真

ROBOMASTER

Last_Run Time= 0.4600 Frame=0047



搭建虚拟样机方法探索与优化

编写自定义窗口
进行参数修改, 方便调试

电机运动参数

控制方式

避震器参数

麦轮与地面接触力参数

Parameter	Value
MC_1	step(time,0,0,0.5,900d)
MC_2	step(time,0,0,0.5,900d)
MC_3	step(time,0,0,0.5,900d)
MC_4	step(time,0,0,0.5,900d)
Control Mode	Velocity
stiffness	500
exponent	1.3
damping	1
dmax	0.01
mu_sta	0.7
mu_dyn	0.65
BZ_K	3
BZ_length	150
BZ_C	1

Adams View

The image displays the Adams View software interface. The main window shows a 3D model of a magazine with several balls inside. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Settings, Tools), a toolbar with various icons, and a ribbon with tabs for Bodies, Connectors, Motions, Forces, Elements, Design Exploration, Plugins, Machinery, Simulation, and Results. Below the ribbon are toolbars for Solids, Flexible Bodies, Construction, Booleans, and Features. On the left, there is a tree view showing the model's structure, including Bodies, Connectors, Motions (with motion_1 selected), Forces, Elements, Measures, Design Variables, Simulations, Results, and All Other. A search bar is located at the bottom left. Two dialog boxes are open: 'File Import' and 'Simulation Control'. The 'File Import' dialog shows 'File Type' set to 'Adams/View Command File (*.cmd)' and 'Display Model Upon Completion' checked. The 'Simulation Control' dialog shows 'End Time' set to 5.0, 'Step Size' set to 0.1, and 'Reset before running' checked. The 'Simulation Control' dialog also includes a 'Simulation Settings...' button.

Adams/View Adams 2015

File Edit View Settings Tools

Bodies Connectors Motions Forces Elements Design Exploration Plugins Machinery Simulation Results

Solids Flexible Bodies Construction Booleans Features

loader_2 loader_2

Browse Groups Filters

- Bodies
- Connectors
- Motions
 - motion_1
- Forces
- Elements
- Measures
- Design Variables
- Simulations
- Results
- All Other

Search

Increment 30.0

File Import

File Type Adams/View Command File (*.cmd)

File To Read

Echo Commands

Update Screen

Display Model Upon Completion

On Error:

Continue Command Ignore Command Abort File

OK Apply Cancel

Simulation Control

End Time 5.0

Step Size 0.1

Sim. Type: Default

Start at equilibrium

Reset before running

No Debug

Nastran

Update graphics display

Interactive Scripted

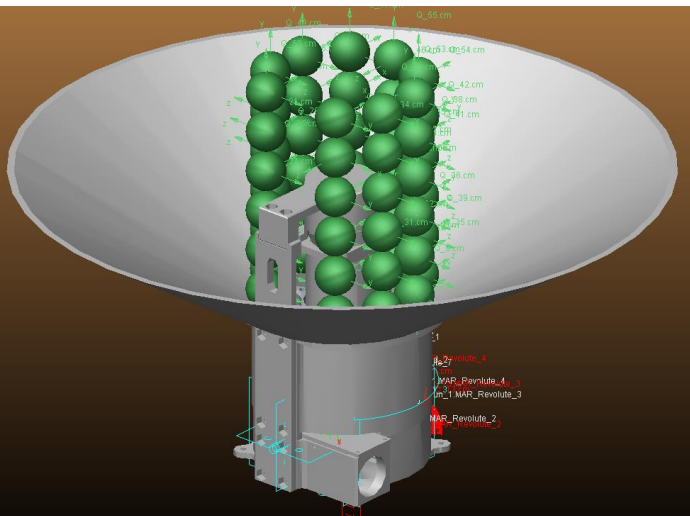
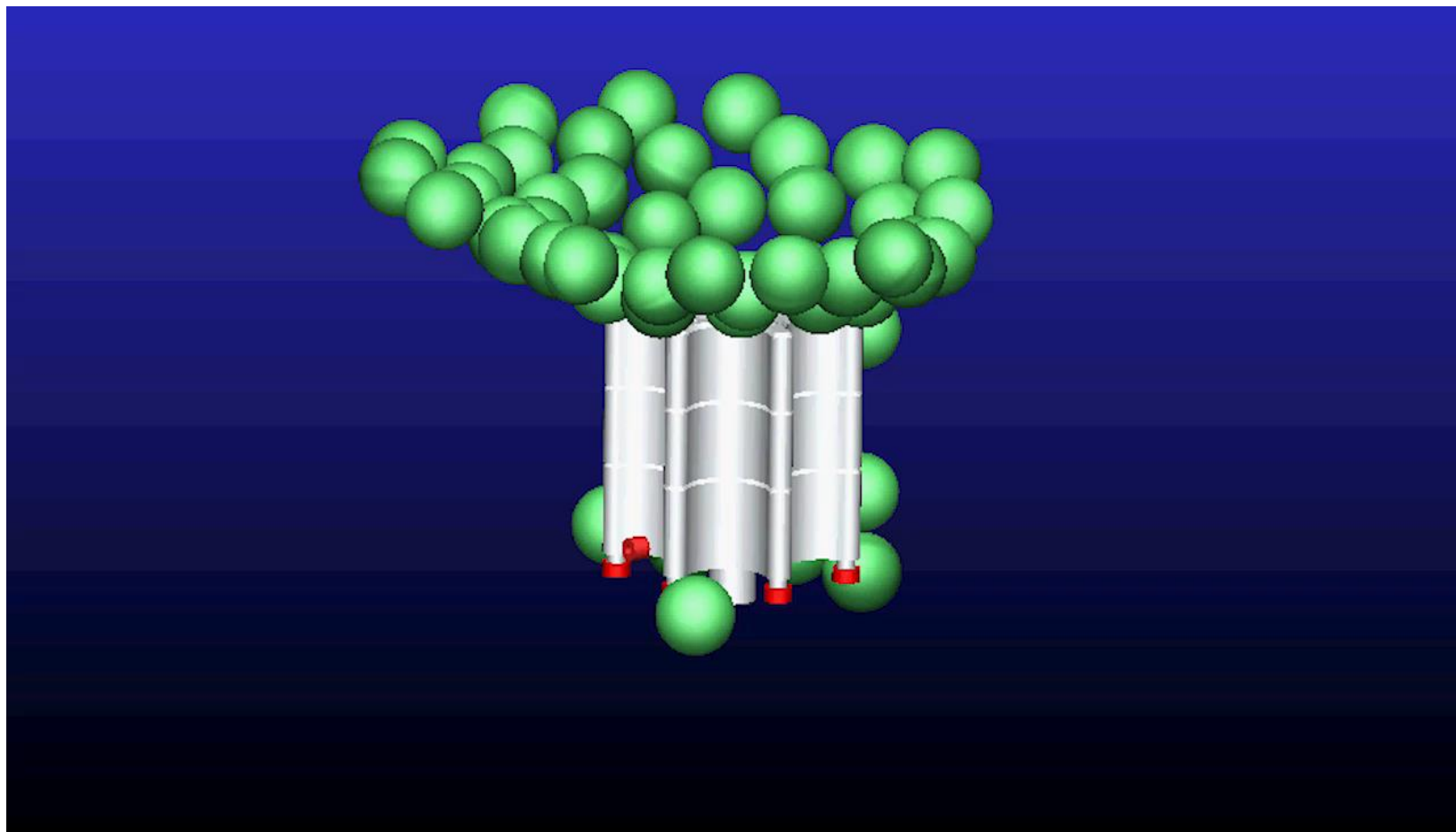
Simulation Settings...

使用虚拟样机技术提高射速的优化（即射击频率）

外壳隐藏, 观察内部弹丸运动情况

转速为 $2r/s$

弹丸落入弹槽概率大, 没有空弹情况, 射频有提升空间

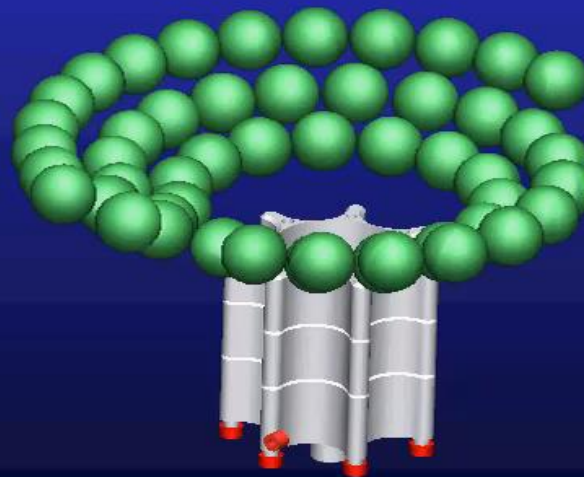


输出结果

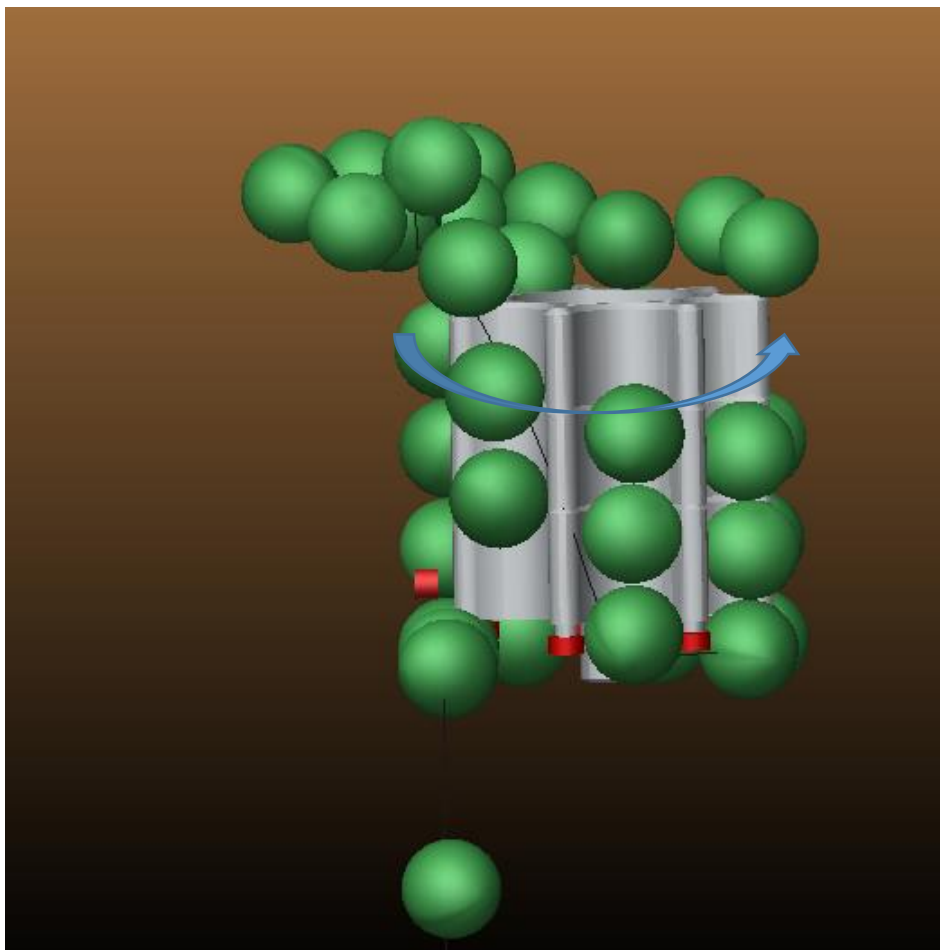
外壳隐藏, 观察内部子弹运动情况
转速为 $3r/s$, 落弹概率变小, 根据
计算这种情况下子弹落入的概率
很小, 但是因为上部子弹有压力,
依旧有一些子弹落入弹槽

并不能一味提高拨
弹电机转速来提高
射频,

Last_Run Time= 0.1000 Frame=002001



输出结果(轨迹跟踪)

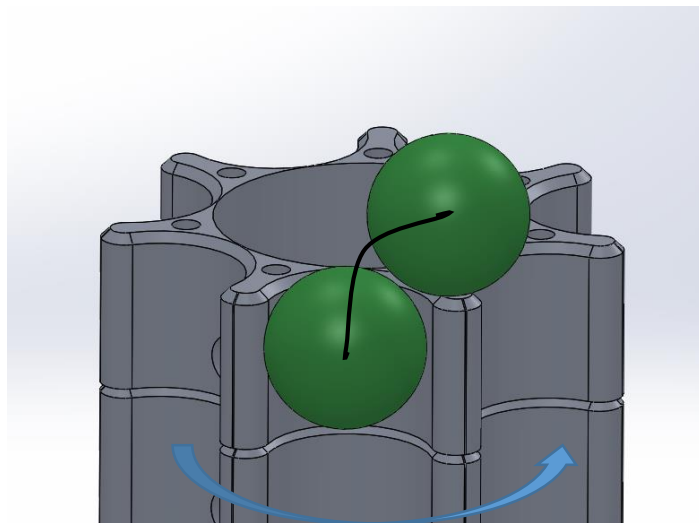


根据轨迹追踪可以估算子弹在弹槽

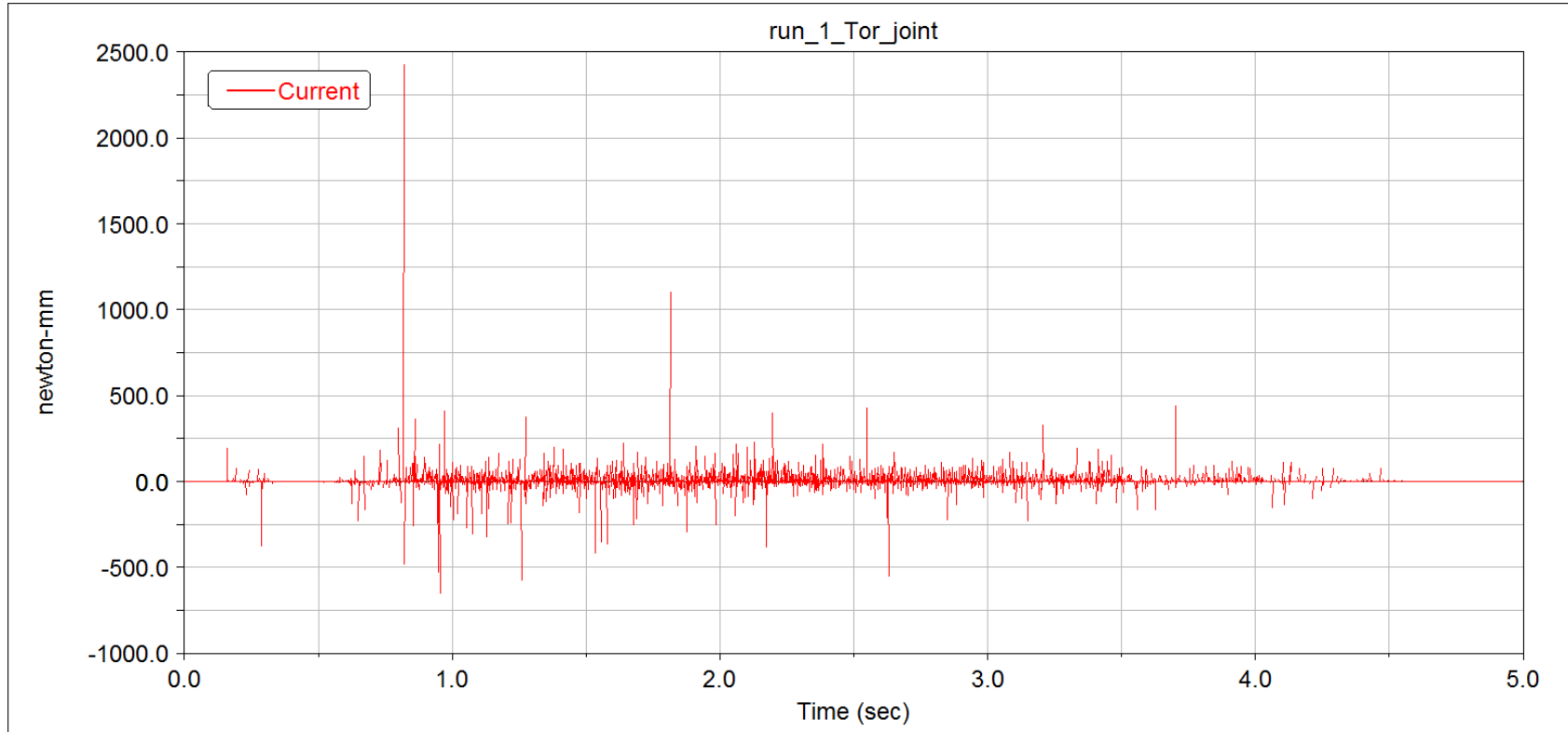
内下落加速度为 5m/s^2

进而可以估算, 转过 $1/14$ 圈时子弹下

落的距离, 来评判子弹的极限射频



输出结果(图表)



在虚拟样机中测量得到

拨轮所受扭矩最大为 $2.5\text{N}\cdot\text{m}$

初步分析得到,

2310减速电机 $3.8\text{N}\cdot\text{m}$ 扭矩满足要求

优化方案

ROBOMASTER

Last_Run Time= 0.0444 Frame=00149

继续改, 完全靠离心

原理测试

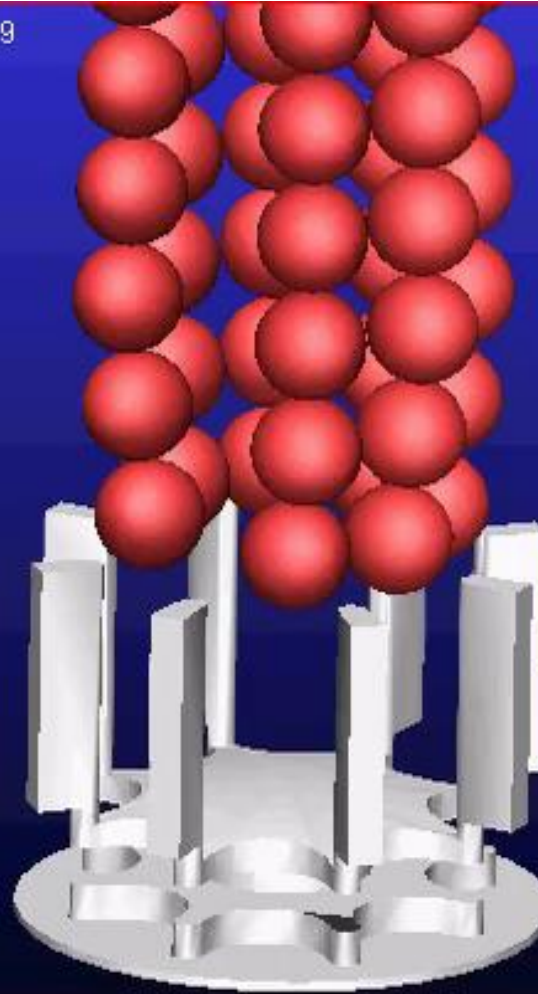
改回八拨叉, 挡板变成八个

转速4r/s

射频32

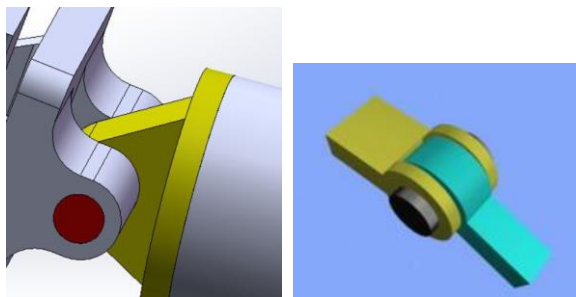
目前此模型解决了子弹落入

弹槽的概率, 卡单问题依旧存在

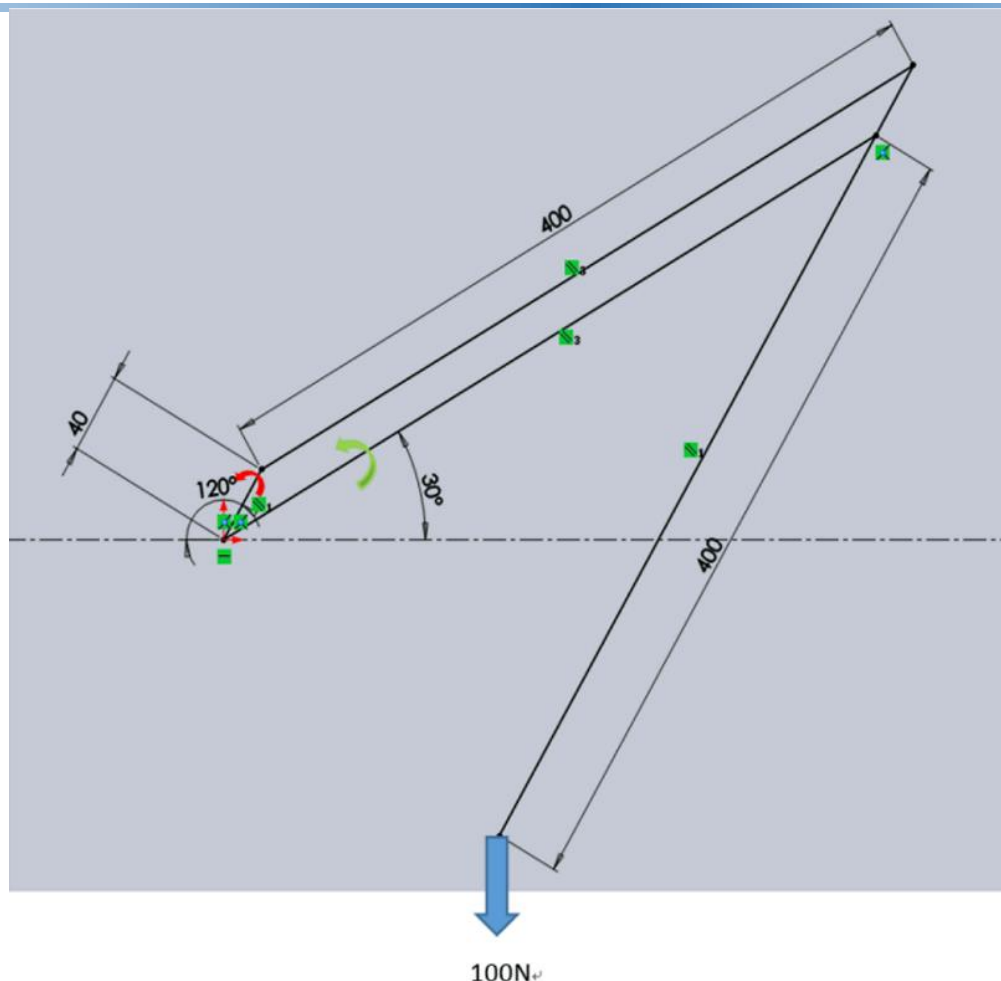


连杆题目实战

两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副



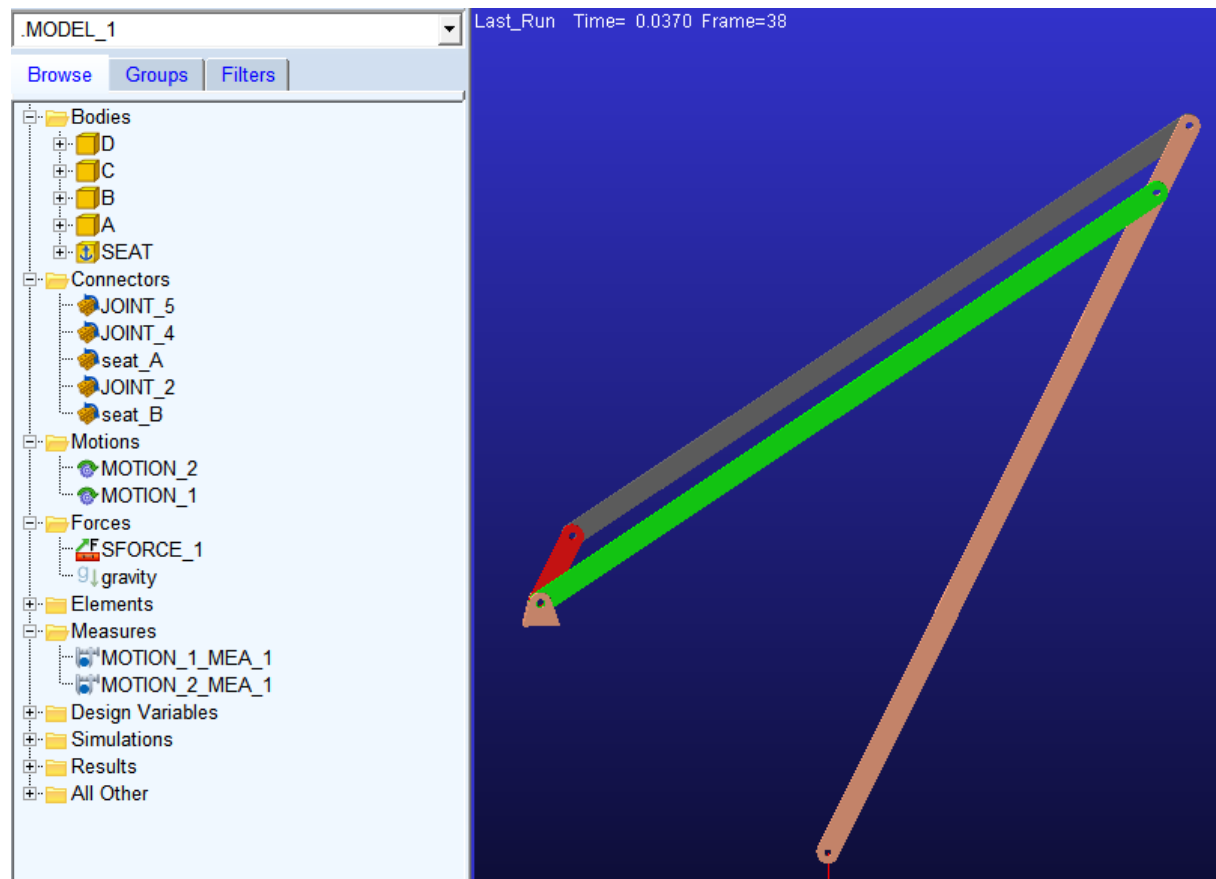
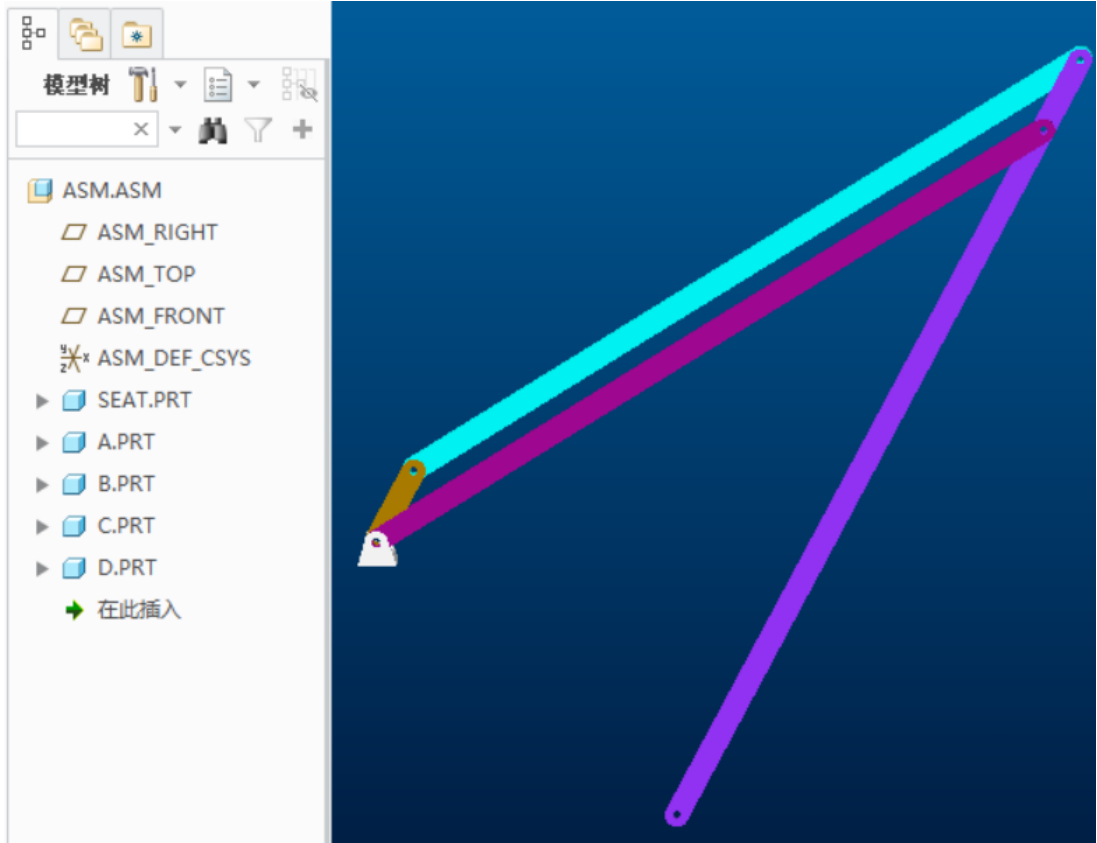
思考：
此模型一共几个转动副？



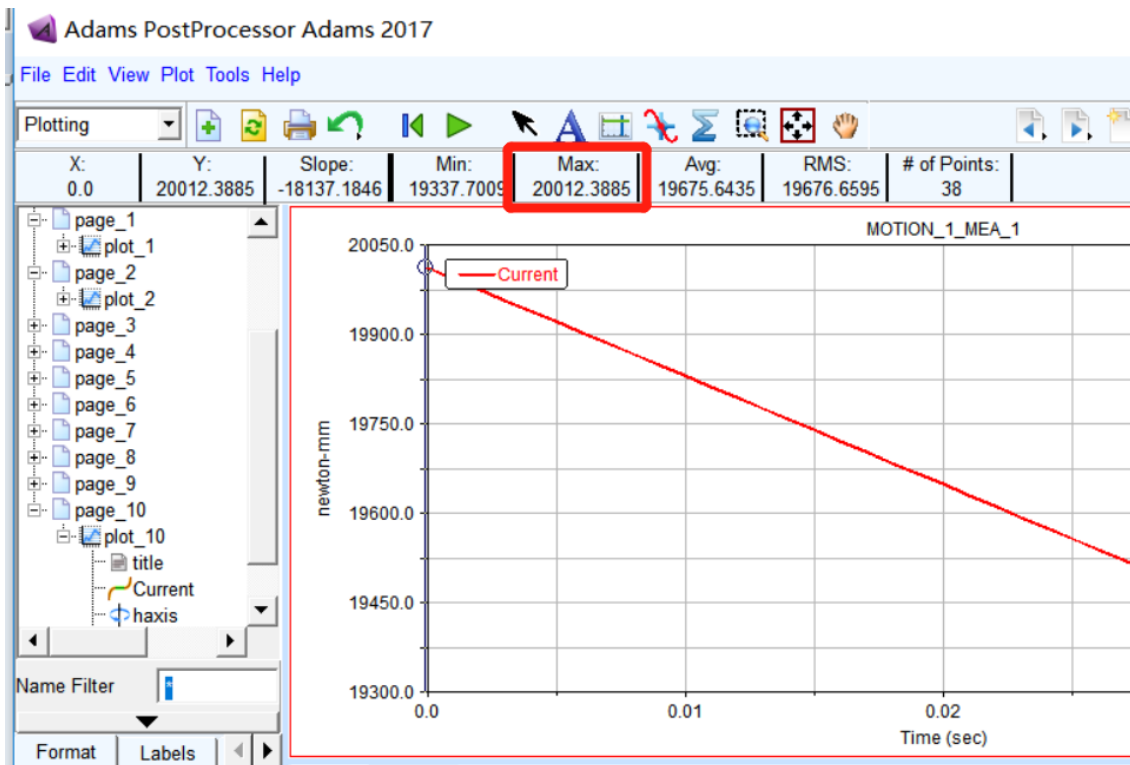
8、如图所示平行四连杆机构，假设负载 100N ，机构稳定在当前位置，请计算红色、绿色箭头代表的力矩的大小和方向（注：红色、绿色代表的力矩大小方向均是相对于地面）。
(机构受力分析计算 单位： N 、 mm)

搭建虚拟样机

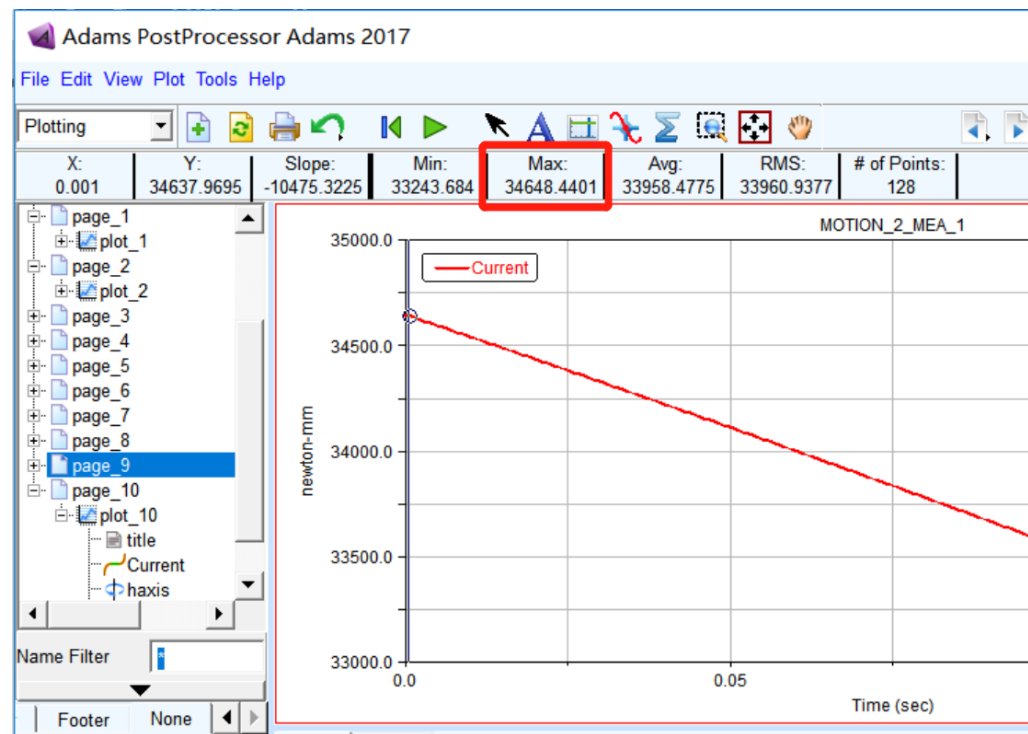
ROBOMASTER



虚拟样机仿真结果



仿真结果：
20012N*mm
笔算结果：
20000N*mm



笔算结果：
34648N*mm
笔算结果：
 $20000 \sqrt{3} \text{N*mm} \approx 34641 \text{N*mm}$

五、成本控制的方法-机械零件

DFM (Design for manufacturability) 面向制造的设计

产品或零件以最低的成本、最短的时间、最高的质量制造出来, **即可制造性**

DFC (Design For Cost), 面向成本的设计, 满足需求的前提下尽可能的降低成本, **即成本最优**

DFM和DFC关系比较比较密切, 可以先统称降本设计

85%以上的成本是由设计决定的, 剩下15%是由制造工艺决定。使得机器人设计周期短, 成本低, 质量高。

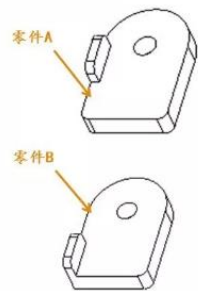
零件降本设计是一项综合考验, 需要掌握材料成本、加工制造成本、装配工艺等。通过降本设计可以减少装配时间、减少零件数量、降低零件不良率、防止;

五、成本控制的方法-机械零件

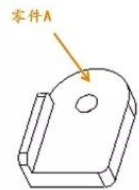
1. 减少零件数量
2. 钣金件替换
3. 复杂件简化
4. 零件标准化
5. 相邻零件合并
6. 相似零件统一
7. 对称零件的合并统一
8. 设计多功能的零件（减少零件类型）
9. 模块化产品设计
10. 设计一个稳定的基座
11. 减少零件装配方向
12. 设计导向特征
13. 先定为后固定
14. 为辅助工具提供空间
15. 防止零件欠约束和过约束
16. 宽松的零件公差要求
17. 防呆防错的设计

减少零件数量

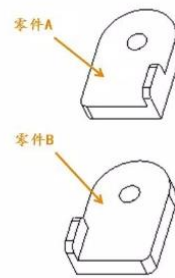
- 1.完成设计后对每个零件，考虑去除的可能性
- 2.相邻的零件合并为一个零件
(合并原则：1.相邻零件没有相对运动
2.相邻零件的合并不会阻止其他零件的固定、拆卸和维修
3.相邻零件合并不会造成零件制造复杂，成本增加。)
- 3.把相似零件合并，如图1
- 4.把对称零件合并，如图2
- 5.合理选用制造工艺，设计多功能零件



原始的设计



优化的设计



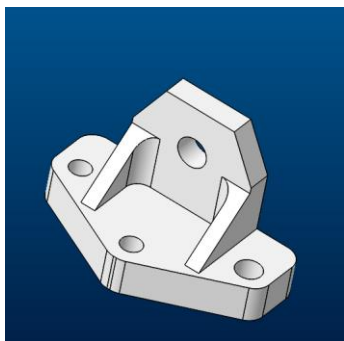
原始的设计



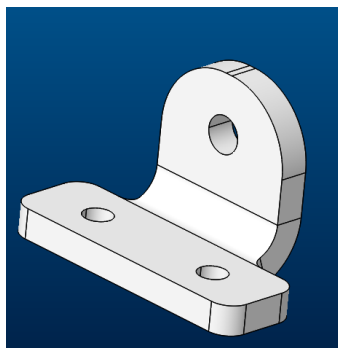
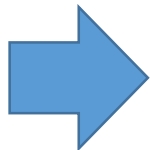
优化的设计

钣金件替代

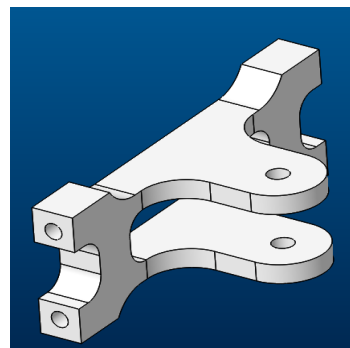
在大小相似，可实现同种功能情况下钣金件要比CNC机加件成本低
钣金制作为激光切割板材，折弯机折弯，从工艺上比cnc简单。
耗材、时间、人力方面计算钣金对cnc加工存在优势。



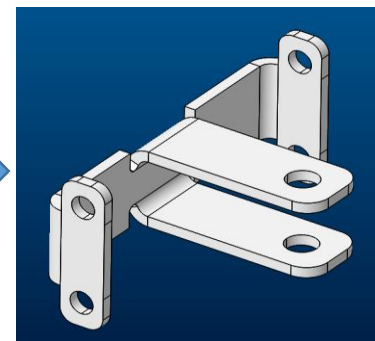
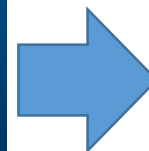
之前 50元



之后 20元



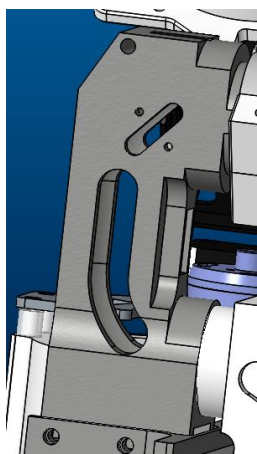
改之前 78元



改之后 25元

复杂件简化

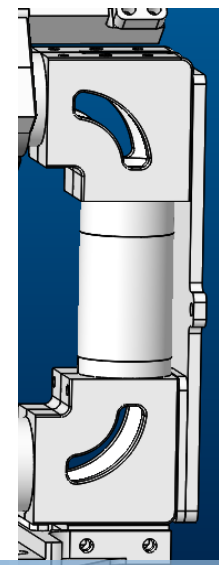
- 1.复杂零件对加工工艺和工人熟练度的要求很高。
- 2.复杂零件工件越小，难度越高，加工成本越高
- 3.价格上复杂零件的价位很高，可能会超过几个简单零件的和。若可保证功能一样的前提下可以将一个复杂零件拆分为几个简单零件或已有零件



两个镜像零件，特征复杂，报价共560元



改为六个简单工件，一套240元



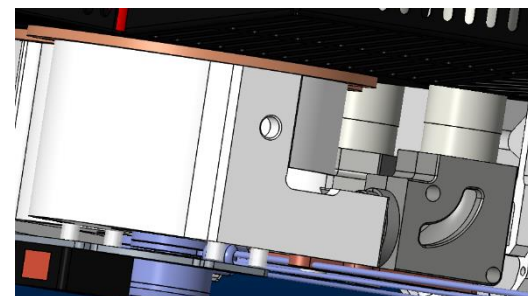
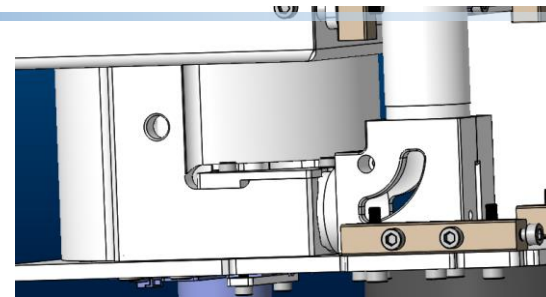
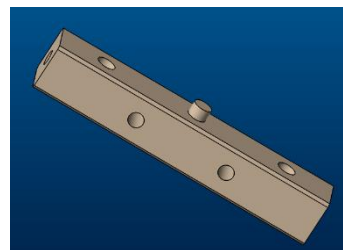
零件标准化

标准化的好处：

- 1.零件标准化，量大从优。
- 2.减少备用零件种类和数量方便管理
- 3.可以重复使用

怎么做标准

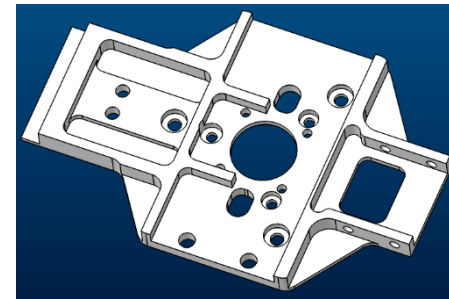
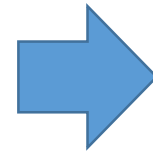
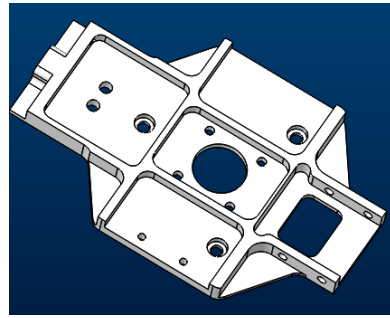
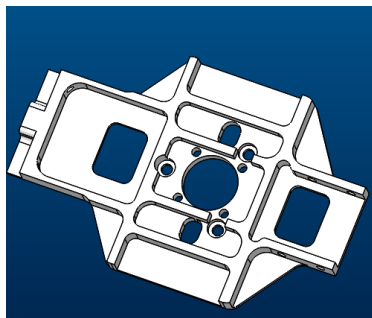
- 1.使用五金标准件，直接采购。价格低，质量可靠。
- 2.制定常用零件的标准库，一般为结构方案稳定不变，或者定位特征等地方。小定位特征件可以队内统一尺寸标准，采购标准件或批量定做一批。
- 3.不同项目具有相同功能的零件可以尝试利用起来，增加零件的通用性。如步兵和英雄的电机组、步兵和哨兵的传弹接口、拨弹盘、17mm发射机构等等...
- 4.零件设计时候，孔间距，孔尺寸等做个标准，建议孔间距优选16mm和8mm的倍数。可适配市面上大多数型材。



相似件统一

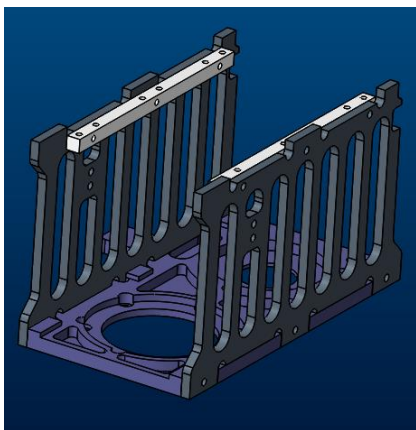
- 1.检查相似零件，是否可以做到统一
- 2.制造过程两个相同的工件只需编写一次程序
而两个相似的工件需要编写两次程序，有额外人工成本的支出。

图中相似的两个工件，因与其配合的工件不同，设计成两种零件
经过改装将两个功能结合在一个工件上，成为两个相同工件



相邻零件合并

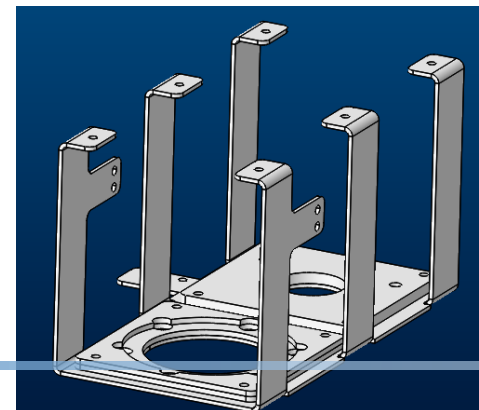
- 1.零件的加工报价为单独报价
- 2.有些零件合并后的加工工艺并不复杂，可节省制造成本。
- 3.当一套结构需要三个或三个以上的零件组成，且这些零件各不相同，加工需要不同加工方式或工时较长
- 4.尝试将多个零件合并为一个钣金件，能够大幅降低成本。



图中由5个工件构成，经过三方报价后最低价为504元

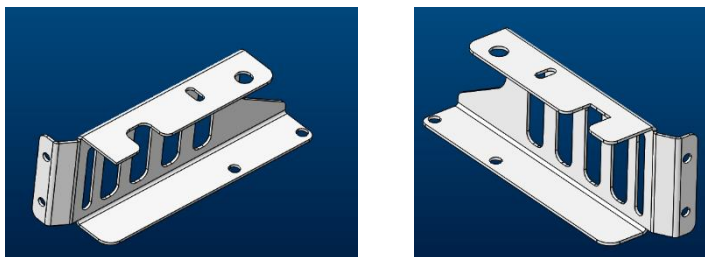


将图上5个件合并为一个件，外加两个小玻纤板，改完之后一套价格为90元

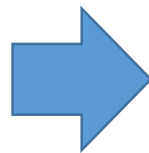
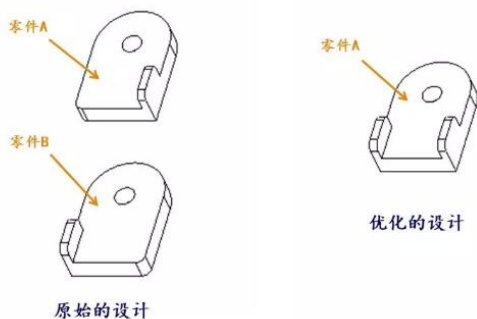


对称零件的合并统一

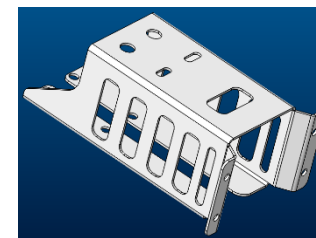
1. 对称零件本质上也是两个相似零件。
2. 有些装配体需要几个对称零件组合起来，在考虑加工难度提升不高，不影响使用情况下可以考虑合并为一个零件。
3. 减少加工时间，降低一些需要组合零件的装配难度



摄像头架之前采取两个镜像钣金组合而成两个工件总价160元



改版后合并为一个工件，价格130元



机械设计模块化：

模块化是指把机器人某一模块中多个相邻零件合并为一个子组块，一台机器人由多个子组块构成

模块化好处：

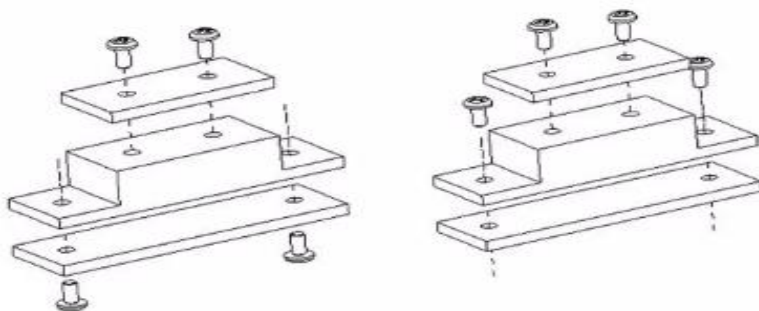
- 1.缩短机器人总装配的工序，提高总装配的效率。
- 2.提高装配灵活性，不同模块让不同队员进行装配。
- 3.质量问题尽早发现，更容易修改。
- 4.提高零件的可拆卸性和可维修性。
- 5.若模块可靠性高，不同机器人可应用相同模块。

减少装配方向

一般可以分为6个方向：

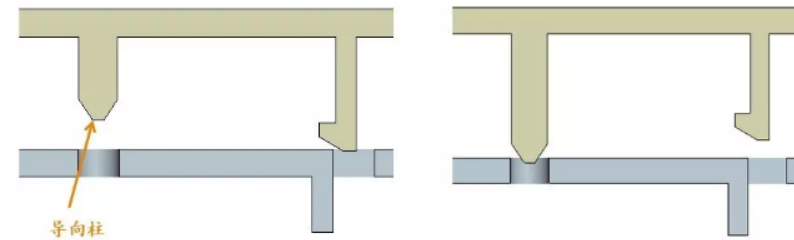
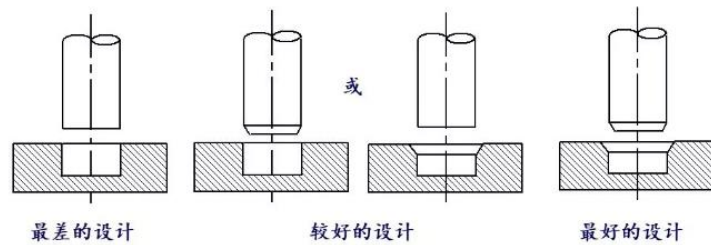
1. 从上到下装配，可充分利用重力，是最理想装配方式
2. 从侧面（前、后、左、右），进行装配
3. 从下至上，由于要克服重力对装配影响，是最差装配方式。

如何优化：



设计导向特征

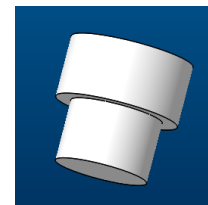
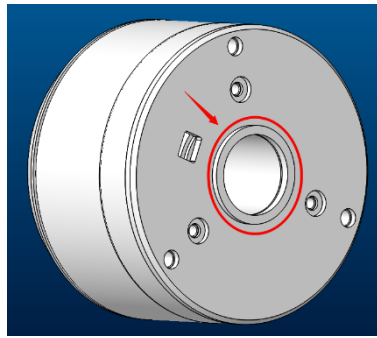
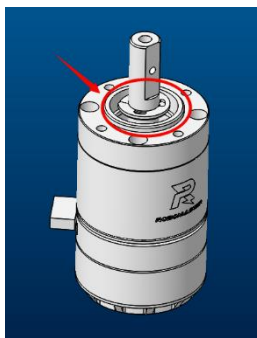
- 1.导向特征可以使零件自动对齐到正确位置，从而减少装配过程中零件位置的调整。减少零件互相卡住的可能性，提高装配质量和效率。
- 2.对于盲装，更应该使用导向特性。（盲装：视线受挡的装配）



先定位后固定

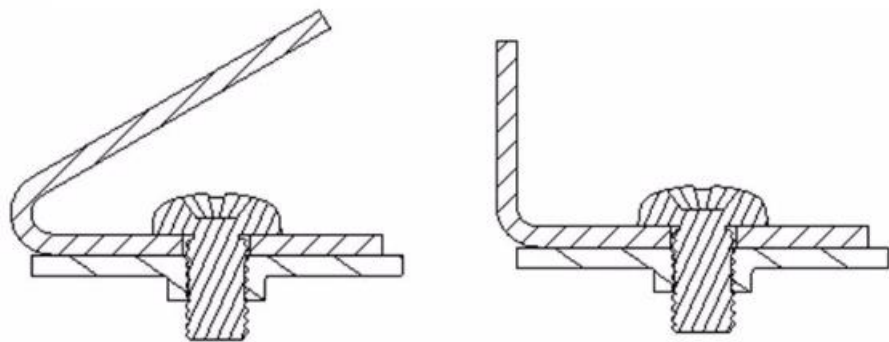
零件的装配如果先定位后固定，在固定之前零件就已对其到正确位置上了，这样可以减少装配过程的调整，大幅度提高装配效率。
诸如多使用电机上的定位孔。

为重要零件设计止位特征：



为辅助工具提供空间

在零件设计过程中需要为辅助工具设计足够的空间，使得辅助工具和零件可以顺利完成装配。如果零件设计提供的空间不够大，阻碍辅助工具的正常使用的，势必影响装配质量。严重情况下装配无法完成。

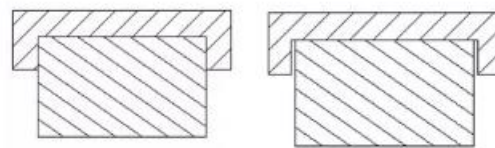
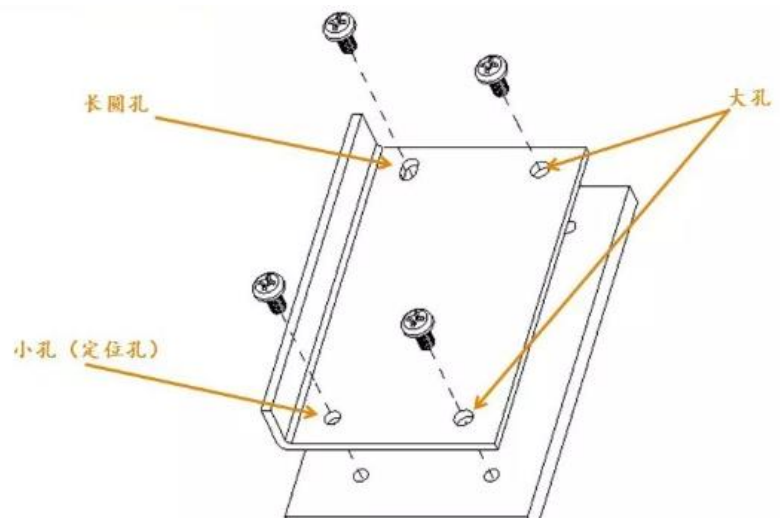


避免零件欠约束或过约束

完全约束：零件在6个自由度上都存在约束，称之为零件完全约束。

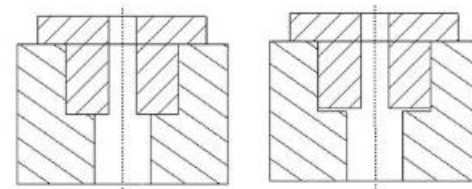
欠约束：零件在一个或一个以上的自由度上不存在约束，称之为零件欠约束

过约束：零件在一个自由度上有两个或两个以上的约束，成为过约束。



原始的设计

优化的设计

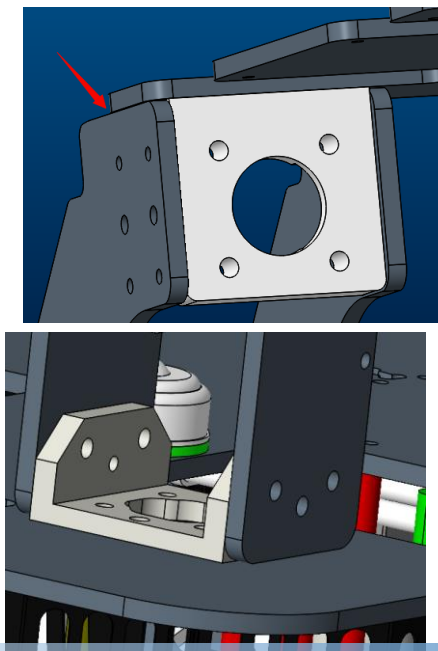


原始的设计

优化的设计

避免零配

三个或三个以上零件堆积装配时应当避免出现三个零件相互零配合，当有一个零件加工误差时，这套组合件可能无法成功装配或产生较大误差。



图中由四个零件构成，箭头所指处下玻纤板与上玻纤板留出了一定的间隙，避免玻纤板加工误差导致无法装配。

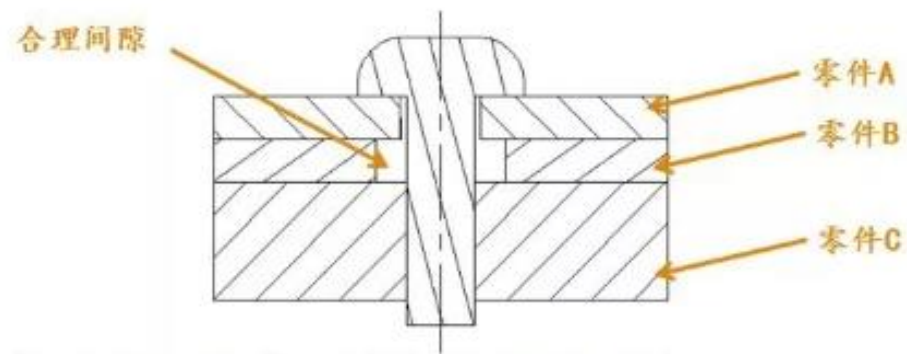
竖直方向玻纤板与下方玻纤板之间也存在一定间隙，避免零配

放宽零件公差要求

零件公差越严格，零件制造成本越高。

严格的零件公差意味着：

- 1.更精密的设备和仪器
- 2.额外的加工程序
- 3.更长的生产周期
- 4.更高的不良率和反工率



CNC加工的降成本

决定CNC成本的因素包括：

1. 加工时间。加工时间越长，CNC成本越高。加工时间是CNC成本的主要驱动因素。
2. 材料成本。坯料材料成本是CNC成本的重要组成部分。通过优化的设计以尽量使用标准化的坯料以及减少废料等可以降低材料成本。
3. 安装时间。当批量较小时，几何模型的准备以及加工过程的规划严重影响CNC成本。这一部分成本是固定成本，可以通过大批量生产来分摊。
4. 其它设计因素。当CNC零件设计具有特殊要求时（例如精密公差要求和薄壁设计），需要使用特殊的刀具、更精密的质量管控、更低的加工速度、以及更复杂的加工步骤，这些都会严重影响CNC成本。

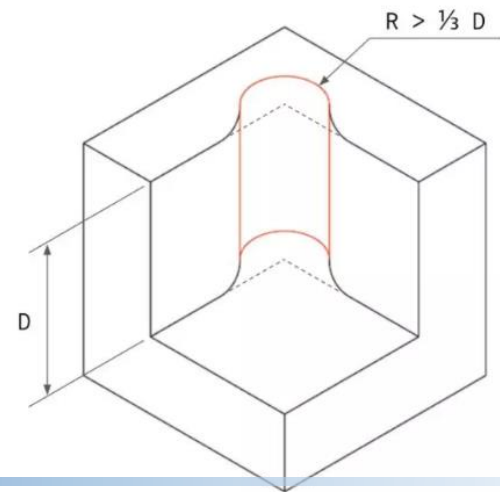
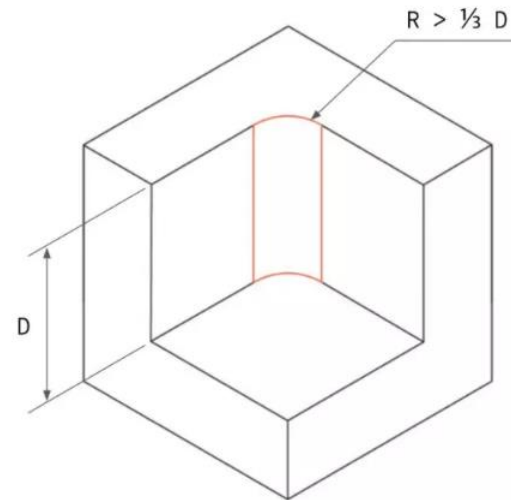


倒角：

所有的CNC刀具都有一个圆柱体外形，在加工槽体时会在槽体垂直的面与面连接处产生一个与外形大小一致圆角。如果产品设计时，槽体垂直面连接处圆角过小则需要使用小的刀具，这意味着增加加工工时，因为小的刀具加工效率比不上大的刀具——这会导致加工时间和成本的增加。

为降低成本：

1. 圆角大小至少是槽体深度的1/3，越大越好；
2. 所有圆角大小相同；这样整个加工可以使用同一刀具；
3. 在槽体根部，设计一个很小的圆角（0.5mm或1mm），或者不倒圆。
4. 理想的圆角大小应该稍微大于刀具的半径，这会减少加工时作用在刀具上的载荷，继而减少加工成本。例如，槽体深度为12mm，圆角设计为5mm或更大，加工时可以使用直径为8mm的刀具（半径为4mm），可以保证加工效率。
5. 如果因为设计要求不能倒圆，例如此处需要与另外一个方形零件配合，为了避免较小圆角，可以如图2设计。

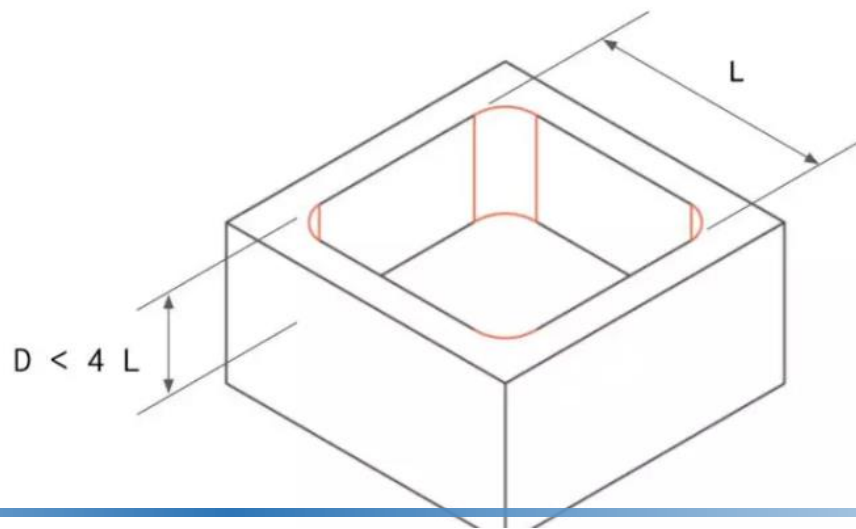


CNC加工的降成本

降低槽深度

槽体加工极大影响零件成本，这是因为大量的材料需要加工去除，这会使得加工时间大幅增加。

CNC刀具的加工深度都有一定的限制，槽体深度是刀具直径的2~3倍时，加工表现最好。例如，一个直径为12mm的铣刀能够加工槽体的安全深度最大为25mm。当然，加工更深的槽体也是可能的，最大不超过4倍刀具直径，但这会增加成本，特别是当使用多轴数控机床加工时。



CNC加工的降成本

避免薄壁

除非特殊要求，应当避免薄壁设计，因为薄壁强度不够，同时加工成本高。薄壁加工时容易变形甚至破裂，为了避免这种情况的发生，需要增加更复杂的加工路径，这会耗费更多的加工工时。薄壁更容易产生振动，高精度的加工薄壁是一个很大的挑战

为降低成本：

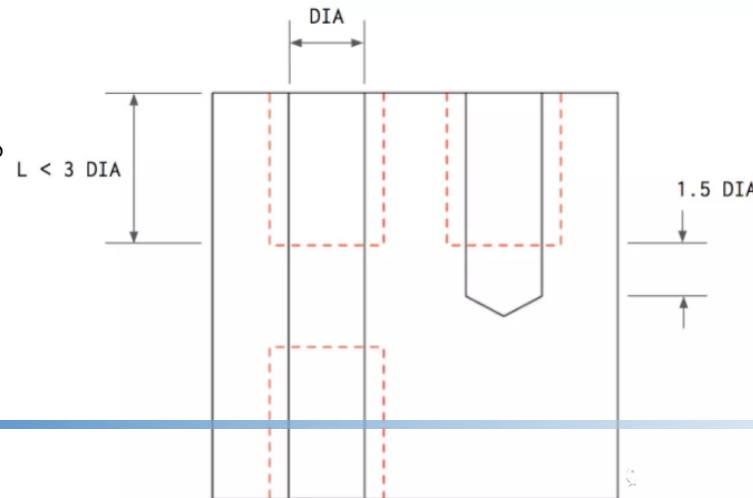
1. 对于金属零件，墙的厚度至少是0.8mm，越厚越好。
2. 对于非金属零件，墙的厚度至少是1.5mm，越厚越好。
3. 金属零件最小可以做到0.5mm，当然这是不推荐的；
4. 当在零件边缘设计孔（包括通孔和螺丝孔）或槽时，常常会出现薄壁，需要多加注意

降低螺纹深度：

不必要的螺纹深度会增加CNC加工成本，因为需要使用特殊的刀具。请记住：螺纹深度过长（超过0.5倍孔直径）并不会增加连接强度。

为降低成本

1. 螺纹深度最多可以做到螺孔直径的3倍。
2. 对于盲孔攻牙，最好在孔根部至少增加1/2孔螺径的额外长度。



使用标准尺寸的孔

使用标准钻头，可以快速高精度的加工孔；对于非标准的孔，使用端铣刀会增加成本。

另外，孔的深度应该不超过其直径的4倍。深孔（最多超过直径10倍）可以被加工，但这会急剧增加成本，因为加工困难。

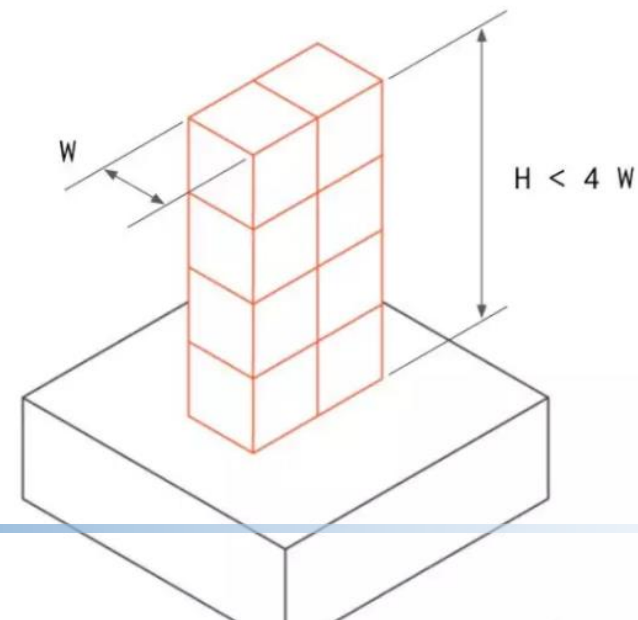
避免较大高宽比的特征：

在CNC加工时，一些具有较大高宽比的小特征容易发生振动，使得很难精确的加工。

为避免这种情况的方式，这些小的特征应当与一些较厚的壁连接或者通过一些加强筋来支撑。

为降低成本：

- 1.避免设计高宽比超过4的特征。
- 2.小特征与较厚的壁连接或者增加加强筋来支撑。



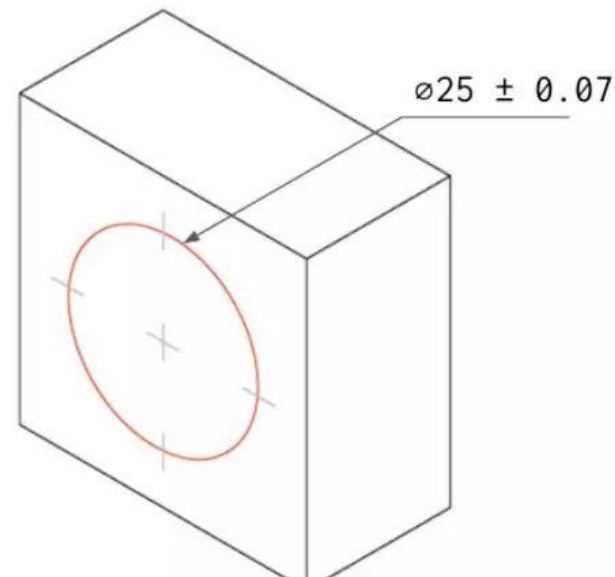
避免频繁精密公差要求

精密公差要求会增加成本，因为这会要求复杂的加工工序，增加加工时间，同时需要更多的检查。定义零件尺寸公差时必须认真加以对待，避免任意尺寸都标注公差，只有在有需要时才标注公差，只有在万不得已时才标注精密公差。

如果在零件工程图中没有定义公差，那么零件就会按照标准公差进行加工（ $\pm 0.2\text{mm}$ 或更宽松），对于多数的非关键尺寸已经足够，这会大幅降低加工成本。

为降低成本：

1. 只对有要求的地方定义精密公差。
2. 所有尺寸标注均通过同一基准标注。
3. 请记住：公差中的小数点很重要，它定义了精确的程度以及需要使用哪种测量工具。例如，两位小数点可以使用游标卡尺测量，三位小数点可以使用千分尺或者三坐标测量仪。为降低成本，尽量避免增加不必要的小数点位数。



减少装夹次数：

尽可能减少零件装夹次数，最好只需装夹一次。例如，一个两侧具有盲孔的零件就需要两次装夹，一侧加工完成后再旋转重新装夹，才可以加工另一侧。

旋转或重新定位零件会增加加工成本，因为装夹动作一般是通过人工完成。另外，对于复杂零件结构，需要定制装夹治具，更进一步增加成本。特别复杂的零件结构可能需要多轴数控机床，再进一步增加成本，因为多轴数控机床的小时费率很高。

可以考虑把复杂零件结构分成多个零件进行CNC加工，然后再通过螺纹紧固成一体。

为降低成本：

- 1.尽可能设计零件仅需装夹一次。
- 2.如果不可能，把复杂零件分成多个零件，通过后续工艺紧固成一体。

考虑材料加工工艺性：

材料的加工工艺性是指材料加工时的难易程度。加工工艺性越好，零件更容易进行CNC加工，成本更低。材料的加工工艺性取决于材料的物理属性。一般来说，材料越软、延展性越高，则越容易加工。例如，黄铜C360就有最高的加工工艺性，可以进行高速加工；铝合金（铝6061）也可以很容易的加工。钢的加工工艺性很低，相对于铝合金，钢需要2倍以上的加工时间。当然，不同钢之间的加工工艺性不同，不锈钢304的加工工艺性指数为45%，而不锈钢303的指数为78%，后者更容易加工。塑胶材料的加工工艺性能取决于其刚度和热性能。在CNC加工时，塑胶材料很容易在高温下溶化和变形。POM是最容易CNC加工的材料，ABS次之；PEEK和尼龙是常见的很难加工的工程塑胶材料。

为降低成本：

1. 在可能的情况下，尽量选择加工工艺性好的材料。

考虑原材料坯料价格

原材料坯料价格是CNC成本的另一个关键因素。

下表显示了常见金属和塑胶原材料坯料的价格，坯料尺寸为150 x 150 x 25 mm。

原材料	坯料价格
铝 6061	¥170
铝 7075	¥540
不锈钢 304	¥610
不锈钢 303	¥1000
黄铜 C360	¥1006
ABS	¥115
尼龙 6	¥204
POM	¥180
PEEK	¥2000

CNC加工的降成本

考虑坯料尺寸：

坯料尺寸会影响CNC成本：为确保尺寸精度，零件的所有面的材料必须加工去除，这会大幅增加材料成本，特别是在批量较大时。

一般来说，坯料尺寸至少比零件大3mm。例如，一个零件的外形尺寸为30X30X30mm，那么可以选取尺寸为35X35X35mm的坯料；而外形尺寸为27X27X27mm，那么可以选取尺寸为30X30X30mm的坯料，这可以节省一部分材料材料成本。

为降低成本：

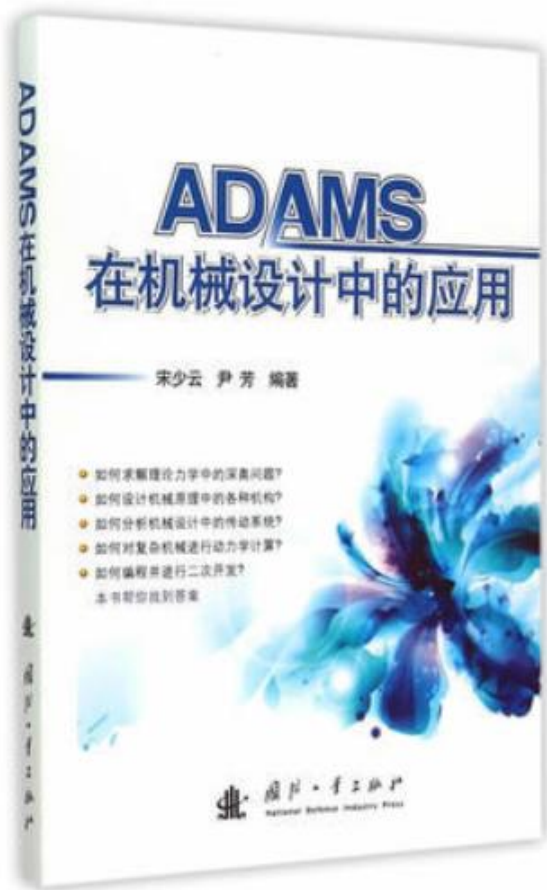
1. 坯料尺寸一般至少比零件尺寸大3mm。
2. 可以向供应商咨询标准坯料尺寸规格，尽量设计零件靠近坯料尺寸规格以减少材料浪费。



机械工业出版社
ISBN: 9787111540137



机械工业出版社
此书在2020年2~3月会出版，京东有售



国防工业出版社
ISBN: 9787118098457



[机械设计] 虚拟样机技术之拨弹模块动力学仿真分析

Zemel



2018-3-25 22:10:40 6958 54

大家在设计和制作战车各个模块机械设计的时候很多都是凭感觉和经验，在方案选型时没有科学深入的分析。这样会产生两个问题，一、没有直观数据支撑证明，无法量化机构的功能参数。二、遇到问题时依靠试错来解决，费时费力效率低。

今天给大家分享一下**虚拟样机技术在机械设计中的应用案例-拨弹模块**教程，使用solidworks和adams进行仿真分析。希望大家从这个案例开始逐步接触和学习科学设计和分析的方法。正确合理使用仿真软件能提高竞赛机器人的设计迭代效率，节约时间和资金，并为设计者留下可靠的数据资料，分析问题清晰明了。

本帖最后的网址是详细参考资料的网盘链接，此教程目录如下：

一、虚拟样机技术简介

二、常用虚拟样机软件

三、搭建虚拟样机的动力学模型

四、在Solidworks中建立虚拟样机，导入Adams计算和后处理

4.1、Solidworks中简化模型

4.2、进入motion模块操作

4.3、.adm导入Adams

4.4、后处理模块Postprocessor

4.5、小结

五、Solidworks提供三维模型,Adams完成虚拟样机搭建和计算及后处理

5.1、Solidworks中简化模型

5.2、Adams中动力学模型

5.3、后处理模块Postprocessor

5.4、小结

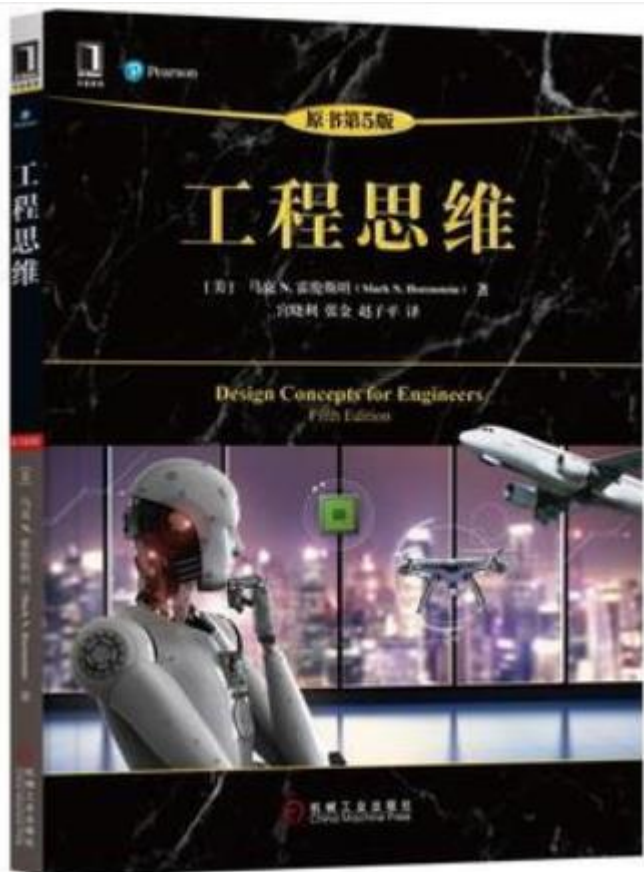
六、参考文献

相关参考文件下载地址：链接：https://pan.baidu.com/s/1SMVIEFgHphjnY0DYB_9k2w 密码：ht16

有问题可在RoboMaster技术交流QQ群提出讨论。

论坛搜索关键词：虚拟样机

注意密码，复制粘贴进入，不要输入，1和L分不清容易出错



工程师正确地做事，做正确的事

The End

答疑