

# RoboMaster 2022

## 共轴麦轮平衡步兵开源报告



**GMaster**  
XJTLU

# 目录

1.	前言 .....	3
2.	机器人核心参数 .....	3
3.	设计方案.....	5
	<b>3.1 底盘部分.....</b>	<b>5</b>
	3.1.1 共轴四麦轮底盘整体方案分析 .....	6
	3.1.2 轮组&悬挂设计 .....	7
	3.1.3 车架设计 .....	12
	3.1.4 底盘部分目前存在的问题&改进方向 .....	15
	<b>3.2 云台部分.....</b>	<b>16</b>
	3.2.1 发射模块 .....	16
	3.2.2 双枪管切换模块 .....	19

## 1. 前言

自从 20 赛季增加平衡步兵机器人，虽有个别学校进行研发，但是 21 赛季未有过上场案例。其原因可能是 21 赛季赛场上的属性加成依然很难掩盖全向机动性与稳定性的劣势。22 赛季的平衡步兵迎来了进一步加强，由之前的四块小装甲板改为前后两个大装甲板。这意味着在两个方向上敌人无法对平衡步兵造成伤害，这会为上场平衡步兵的队伍带来极大的优势。

目前 RM 中出现过平衡步兵都是普通两轮设计，部分增加轮腿结构用于弹跳和辅助平衡，没有出现过共轴麦轮结构的平衡步兵，因此没有先例设计用于参考。设计麦轮平衡步兵的目是实现平衡步兵的全向移动功能，使平衡步兵在赛场上的功能和操作与普通步兵相似，从而将平衡底盘带来的影响降到最低。同时全向移动特性能更好的利用“无敌面”，防止对手进行包抄，增加赛场上的生存能力与压制能力。相比轮腿平衡步兵，麦轮平衡步兵控制难度更低，造价便宜，性价比更高。

此机器人主要针对 RoboMaster2022 进行设计，针对对抗赛场地中的起伏路面，设计了一套用于共轴麦克纳姆轮底盘的自适应悬挂和减震结构，从而将电控调试难度降到最低。此开源报告将对主要设计点和设计思路进行详细讲解，希望能为其他参赛队伍的研发和优化提供参考，促进共轴麦轮在 RM 赛场上的使用与发展。

## 2. 机器人核心参数

平衡步兵的重量、尺寸等，其中尺寸和重心高度可参考下图

名称	参数
重量 (kg)	21
长、宽、高 (mm)	595*440*495
重心高度 (mm)	180
云台与车体自由度	云台 360° 自由度为 2
移动速度 (m/s)	前进: 3.9
	平移: 3.2
最大上坡度数 (°)	纵向: 15
	横向: 14
最大射频 (发/s)	25

表 2.1: 机械参数

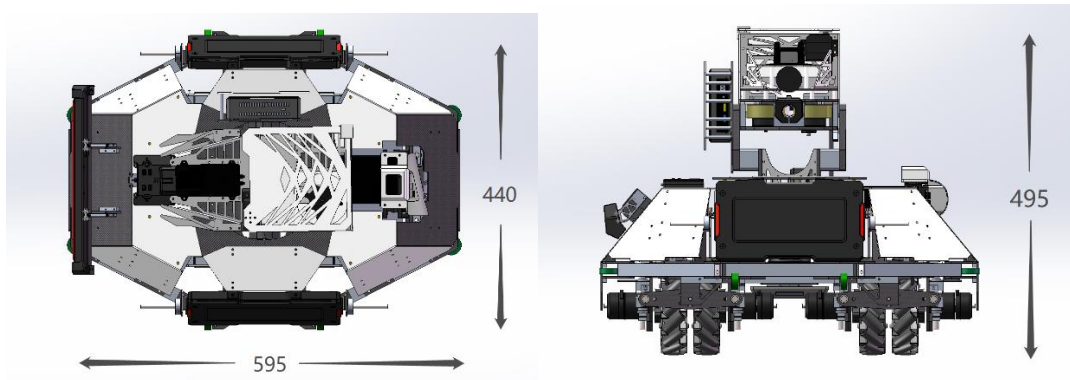


图 2.1: 机器人长宽高示意图

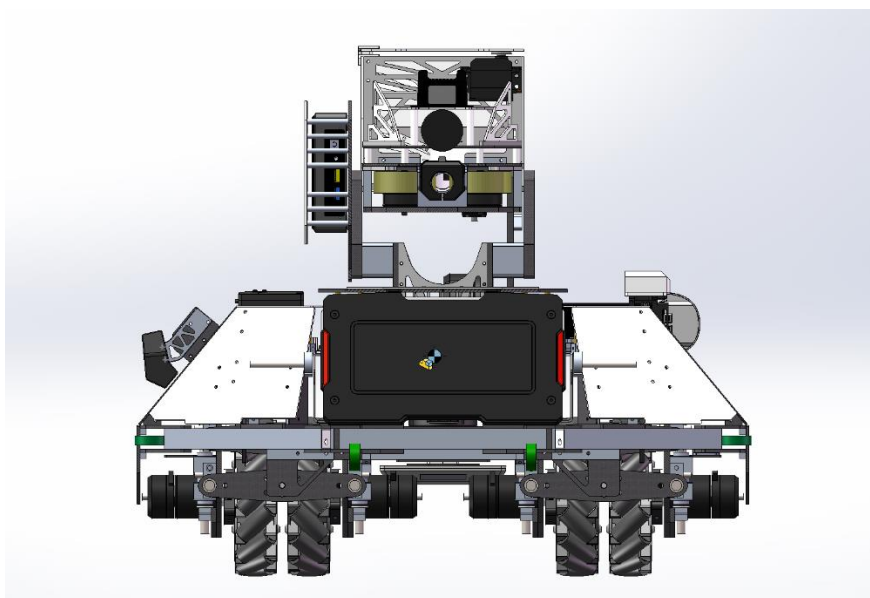


图 2.2: 机器人重心示意图

### 3. 设计方案

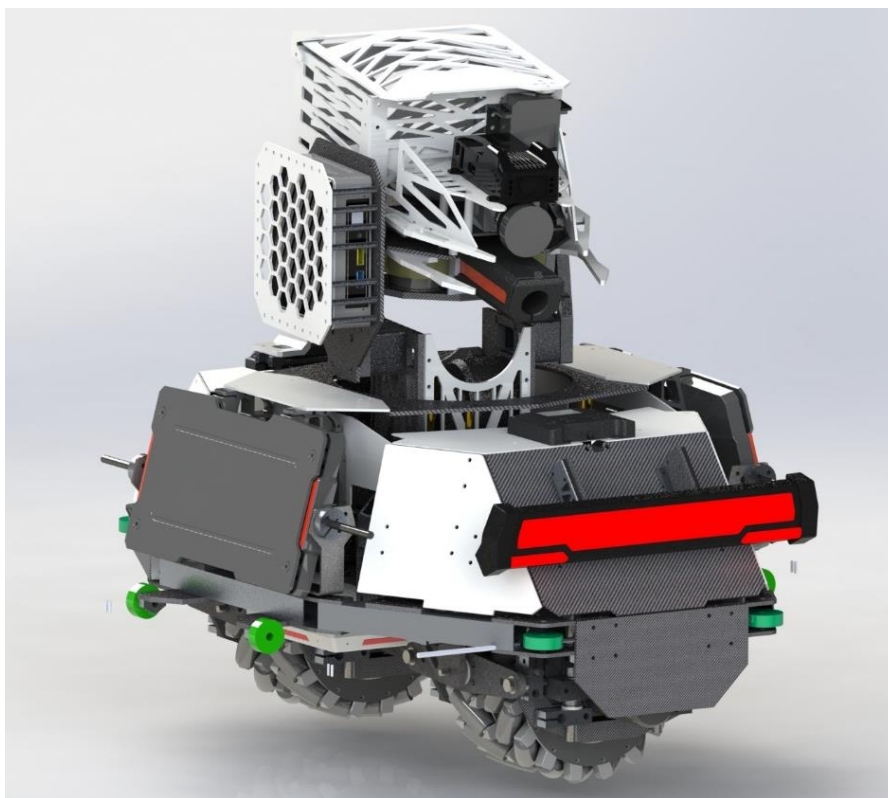


图 3.1: 平衡步兵完整机械结构

#### 3.1 底盘部分

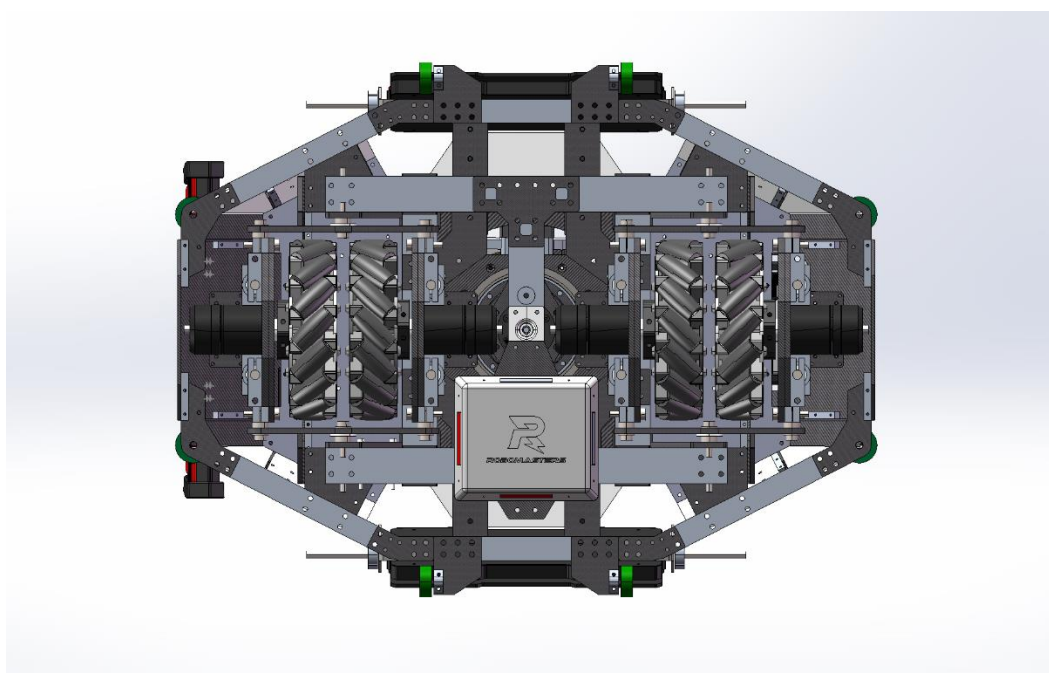


图 3.2: 底盘结构图



### 3.1.1 共轴四麦轮底盘整体方案分析

#### ◆ 需求分析

功能	需求
移动	能在保持平衡的状态下进行全向移动
重心	应处于中心平面附近，以减小陀螺时 roll 轴晃动

表 3.1: 底盘需求分析

#### ◆ 底盘整体设计

机器人底盘使用四麦克纳姆轮共轴结构，每个麦克纳姆轮由单独的 3508 电机进行驱动。轮组形式为电机-联轴器-麦轮。

根据测量，单个轮组宽度约为 130mm。因此四麦轮并排排布所需宽度约为 520mm，小于步兵最大宽度 600mm。因此理论上可以使用普通官方麦轮进行设计。其中约 80mm 宽度可用于轮组间隙以及两侧保护装置。

由于轮组占用了底盘的大部分空间，底盘结构的分布设计是难点之一，设计思路与普通步兵机器人底盘完全不同。

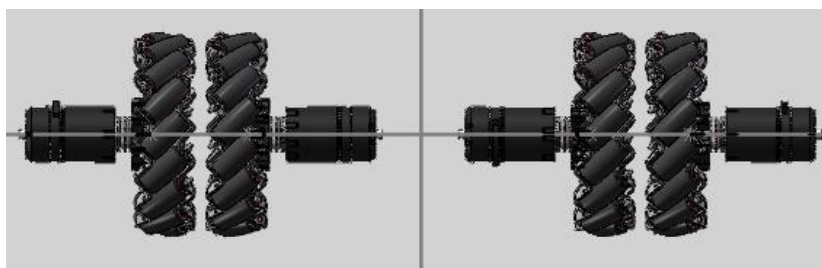


图 3.3: 轮组摆放形式示意图

#### ◆ 共轴麦轮底盘运动学分析&麦轮顺序

四麦轮共轴平衡车麦轮排序主要有两种，分别是“ABAB”以及“ABBA”。

对横移运动过程中的麦轮进行受力分析发现：“ABAB”型麦轮会出现旋转力矩，导致横移时底盘发生旋转。而“ABBA”型排序则会将麦轮的垂直分力抵消。

因此，四麦克纳姆轮共轴底盘应当使用“ABBA”型麦轮排序。

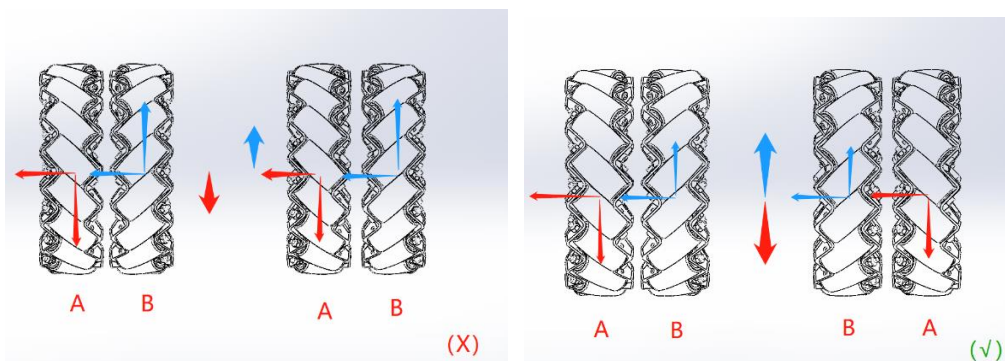


图 3.4: 麦轮顺序示意图

### 3.1.2 轮组&悬挂设计

#### ◆ 需求分析

功能	需求
悬挂	能够自适应各种地形，如坡面，起伏，地台
轮组	有较强的刚性，能适应比赛强度
加工	尽量避免使用 CNC 定制加工件以降低成本

表 3.2: 轮组&悬挂需求分析

#### ◆ 悬挂设计

由于麦克纳姆轮的工作性质：四个麦克纳姆轮同时着地且力度相同时底盘才能正常运动。由于 2022 赛季场地上存在斜坡，起伏路面等复杂地形。因此需要设计一种基于共轴麦轮结构的悬挂来适应场地要求。

独立悬挂会导致四个麦轮的着地力度不同，会影响平衡机器人的调试与控制。因此，设计了一种共轴麦轮的自适应悬挂结构。原理为通过平行双曲柄结构连接同侧的两个麦轮，从而实现麦轮的 z 轴自由度运动。

单侧悬挂结构如下图：

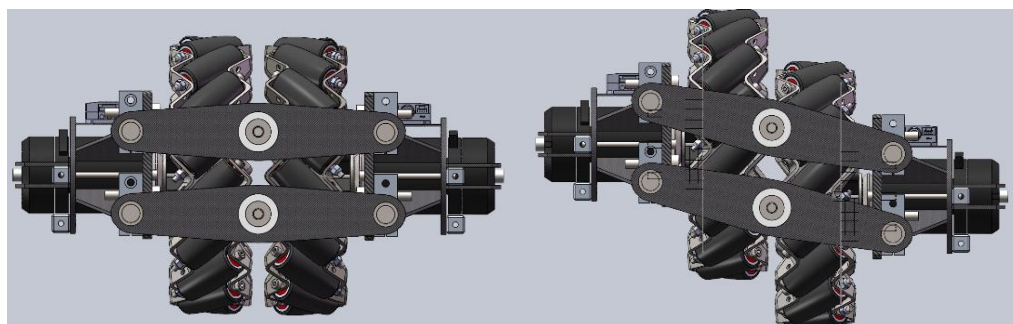


图 3.5: 悬挂结构示意图

这种悬挂结构通过关联悬挂状态与机器人重心实现自适应。由于机器人重心位于车架正中位置，而车架与悬挂位于连杆中间，因此四个麦轮受力大小始终保持相同。这为之后的电控调试降低了难度。

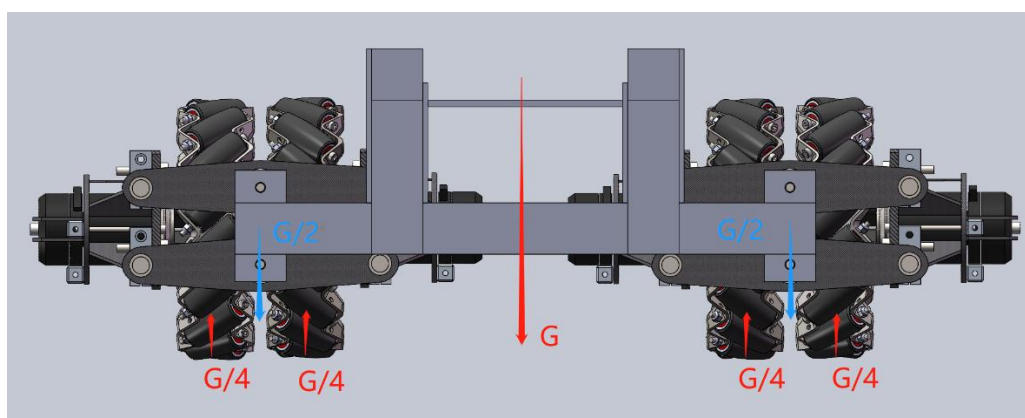


图 3.6：四个麦轮的受力分析

机器人悬挂能通过重力自适应地形，让机器人的四个轮子在不平坦路面也能保持全部着地的状态。

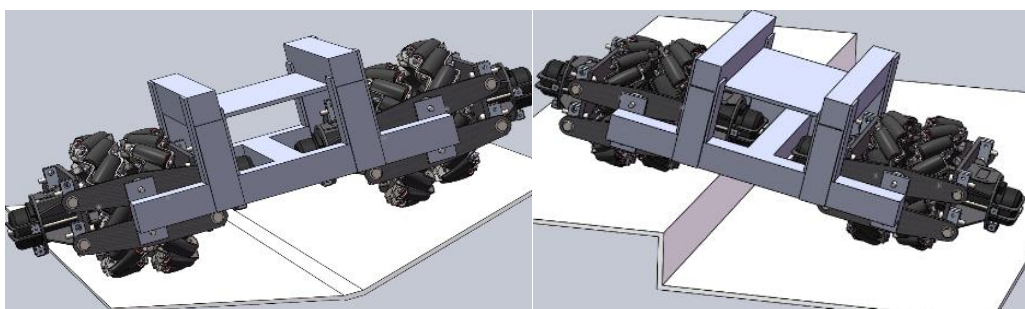


图 3.7：不平整路面情况下的悬挂示意图

- ◆ 轮组设计（高校联盟赛无减震版本）

- 轮组支撑结构

根据对验证车进行的实验发现，由于使用的官方标准麦轮，且为单侧支撑，车身重力会施加给电机安装板力臂，导致电机安装板刚性不足而发生形变，麦克纳姆轮出现倾斜（外八）。这可能导致电控调试难度增加以及功率损失。另一种方案是双侧支撑麦轮，但是会导致单个轮组宽度增加，因此不适用。



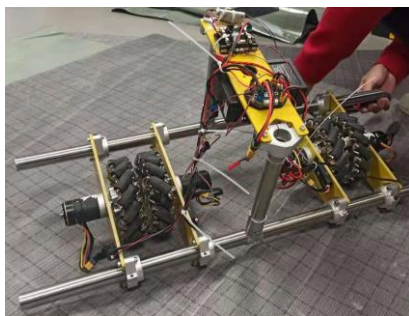


图 3.8: 平衡底盘验证车

根据分析，如果轮组的电机安装板增加横竖两个方向的支撑能减小形变。分别增加横竖两种支撑会导致结构复杂并增大体积，于是通过在轮组的电机方向增加 X 形支撑结构来增加电机安装板的刚性。

对两种结构进行有限元分析，结论为增加支撑结构后结构形变量与应力明显减小。

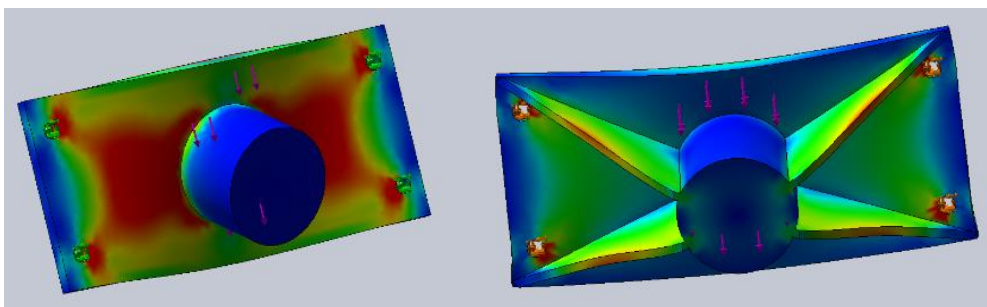


图 3.9: 电机安装板支撑结构的有限元分析对比

实际设计中通过榫卯与锁紧结构将 3508 电机减速箱与 X 形支撑固定。

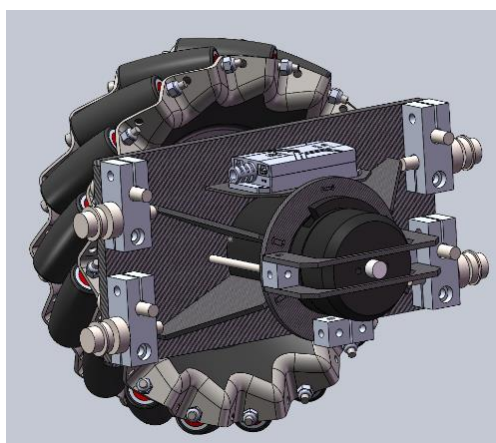


图 3.10: 单个轮组的 X 形支撑结构

#### ➤ 轮组转轴

轮组转轴使用标准件“十字轴座”代替 CNC 加工件，降低成本。

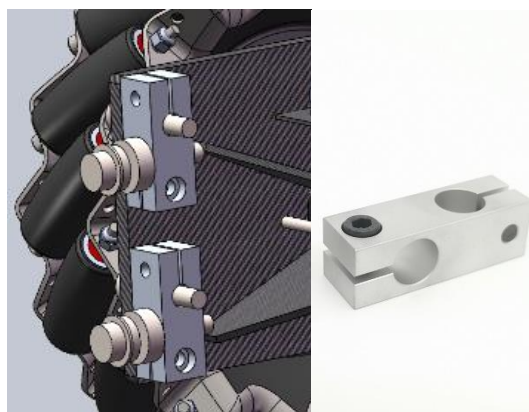


图 3.11: 十字轴座

### ➤ 电机转子保护

为了防止赛场上激烈的撞击导致外框形变，损坏电机。在 3508 电机转子外部增加防撞框。

外侧电机的防撞框为碳板材质半包裹，主要为了预防撞击。

内侧为 3d 件全包裹，防止电机转子卷入导电滑环附近的电线。

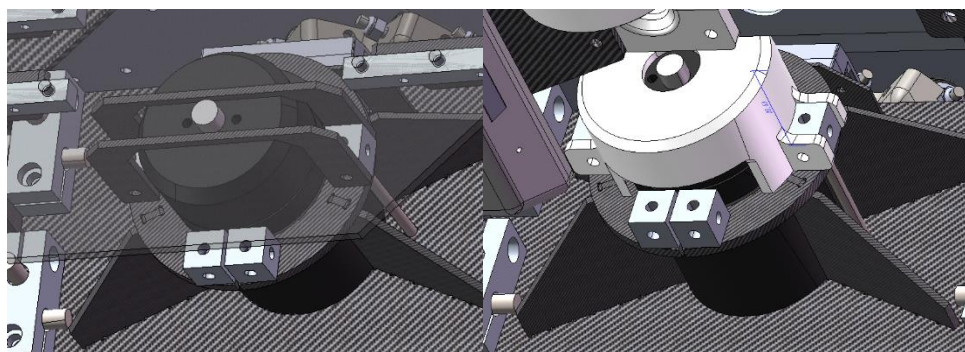


图 3.12: 外/内侧电机转子的保护

### ◆ 轮组减震装置（超级对抗赛版本）

22 赛季场地中起伏路面占据很大一部分面积。因此需要设计减震或者吸能装置来防止车架结构被起伏导致的冲击力损坏。由于底盘的整体结构与布局已经成型，能够改动的空间有限，很难再改动整个悬挂的机械结构。

解决方案为：保持整体悬挂结构不变的情况下，在单个麦轮轮组上增加垂直的减震装置，使单个麦轮轮组能发挥减震和吸能的作用。悬挂系统中的连杆和轮组分别负责自适应和减震的功能

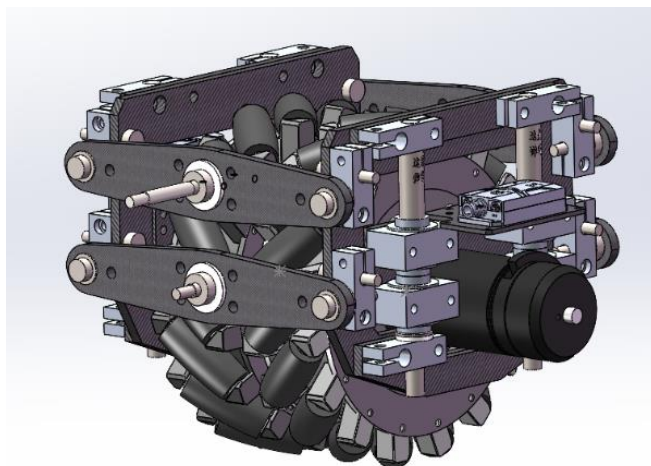


图 3.13: 减震型麦轮悬挂系统

单个减震型麦轮轮组由内外轮组两部分组成，内轮组用于固定麦克纳姆轮和电机，外轮组用于连接悬挂连杆。内外轮组通过直线轴承和钢轴进行连接，钢轴外部套入弹簧（弹簧参数为 1.3-13-40）。钢轴-弹簧-直线轴承在实现轮组上下自由度功能的同时实现了弹簧减震器的功能，这种解决方案最小的占用了底盘空间。钢轴底端加入硅胶垫片，用来缓冲轮组回弹产生的冲击力。

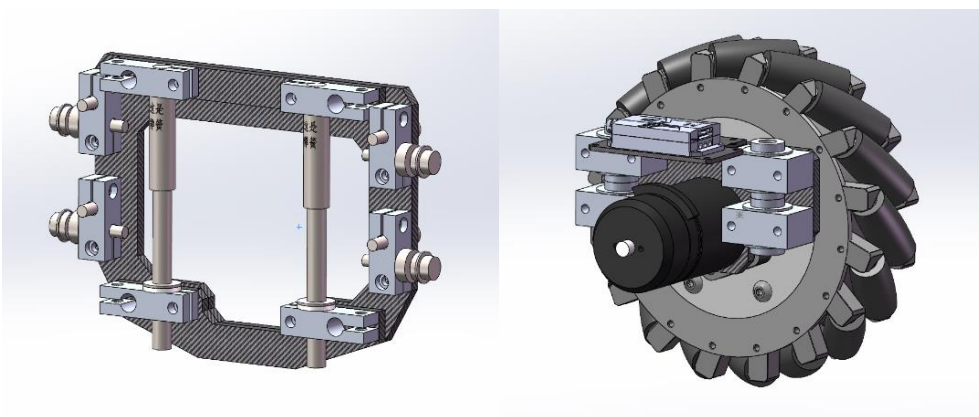


图 3.14 外/内轮组结构

减震系统设计中标准件“铝座箱式直线轴承”来实现轮组的垂直移动。由于轮组受力不垂直于钢轴，因此应当使用两个直线轴承串联来减小滑动阻力。



图 3.15: 铝座箱式直线轴承

### 3.1.3 车架设计

#### ◆ 需求分析

功能	需求
车架	有足够的刚性与强度，
外壳	包裹严实，没有线材裸露
车架整体	结构紧凑，同时有足够空间布置硬件以及走线
加工	尽量使用低成本外包加工件，如铝方管，板材 避免焊接

表 3.3: 车架需求分析

#### ◆ 车架整体设计方案

车架整体通过铝方管与板材搭建，无加工件。使用螺丝以及铆钉进行连接，无需焊接。车架易损部位的铝方管内置填充件增加强度。

车架可以分为内框架以及外框架两部分。内框架用于连接轮组和云台，结构受力大，有铝方管内部填充内嵌件进行加固。外框架用于安装外壳，保护框，裁判以及硬件系统，主要受外部冲击力。

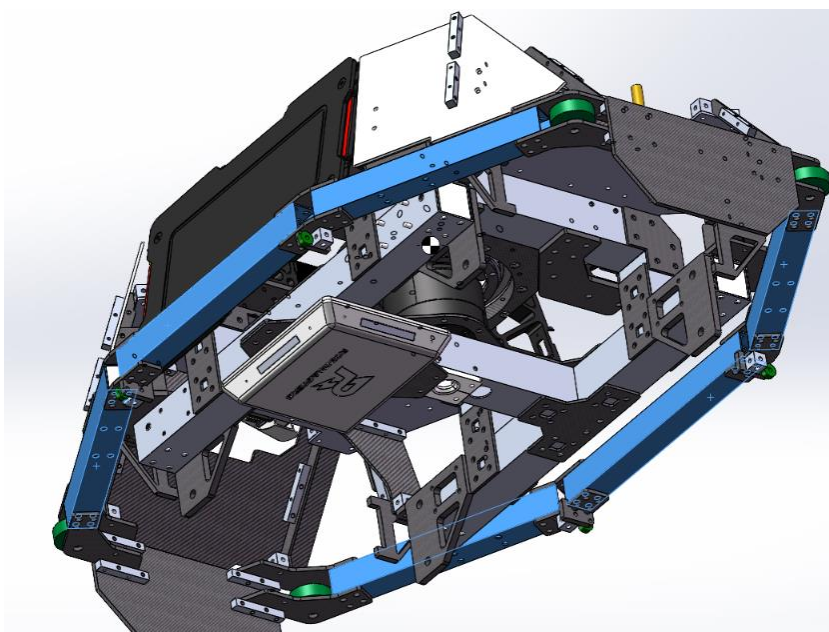


图 3.16: 车架



- ◆ 车架空间布局设计

相比普通步兵底盘，平衡步兵底盘体积更小，而四麦轮共轴结构导致轮组和悬挂占用了底盘的大部分空间，这导致电池，裁判系统，硬件系统和线路的空间不足。

解决方案：通过龙骨结构，在轮组上方搭建空间，从而为裁判，硬件线路和电池提供布置空间。

底盘空间布局如下图所示：

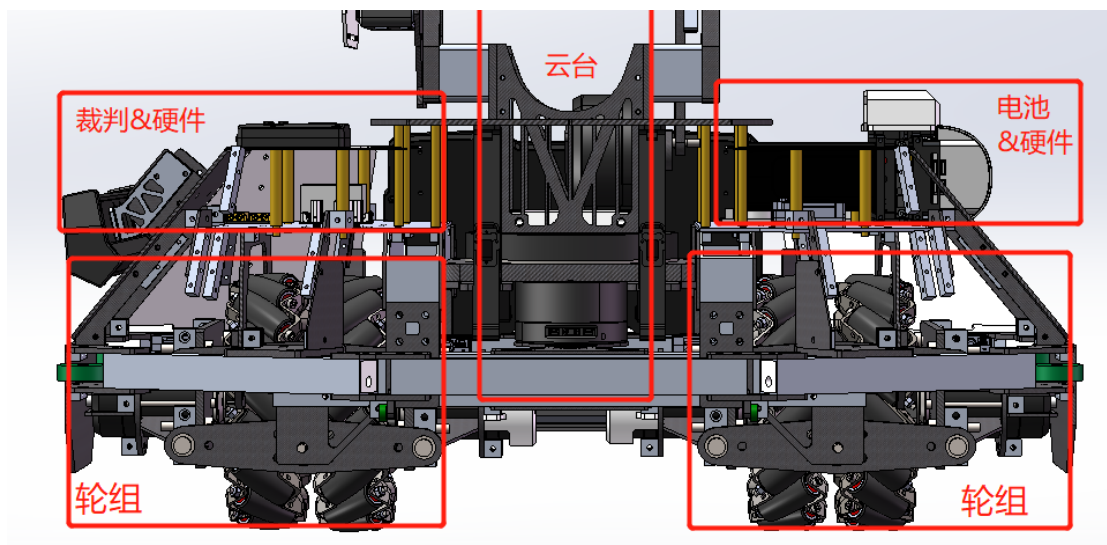


图 3.17：底盘空间布局

- ◆ 方管内嵌件设计

对内框架结构进行有限元应力分析，发现横梁与竖梁的连接处的应力最集中，这意味着这个位置最可能出现损坏。需要对此处的强度进行增强。

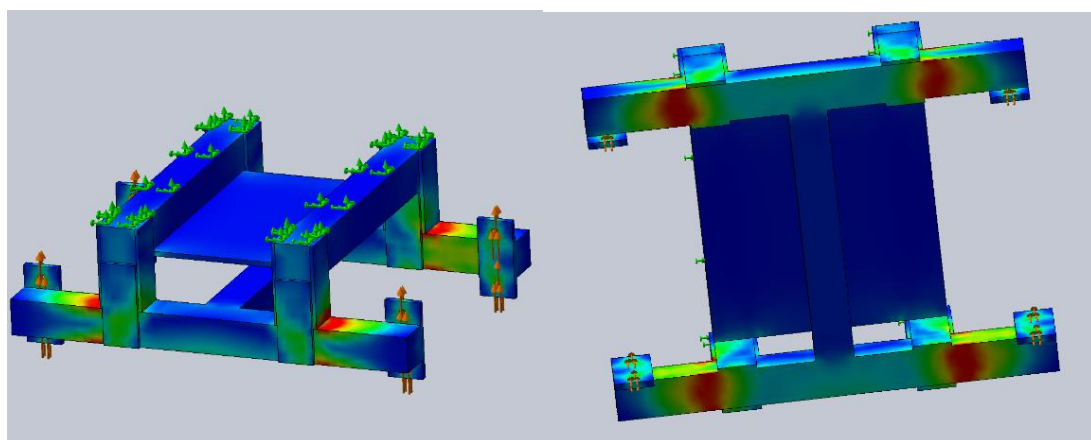


图 3.18：车架的有限元分析结果



解决方案为在应力集中部位的铝方管内，设置内嵌件填充。内嵌件采用碳板包内嵌3d打印件方案，利用榫卯结构，方便装配。

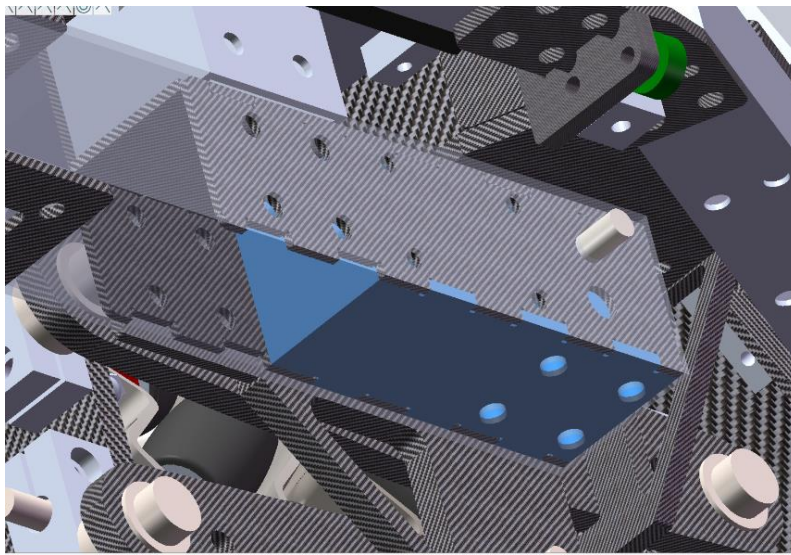


图 3.19: 铝方管内嵌件

- ◆ 云台俯角

底盘外壳设计时考虑了云台俯角，以减少竖向姿态时的射击死角。

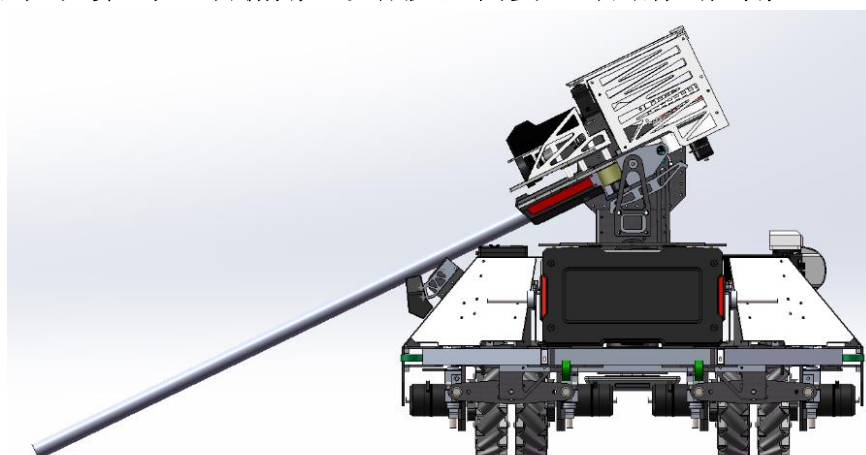


图 3.20: 射击死角

- ◆ 救援装置

救援装置使用钣金件连接钢轴作为拖拽位置，钣金件直接连接外框架。

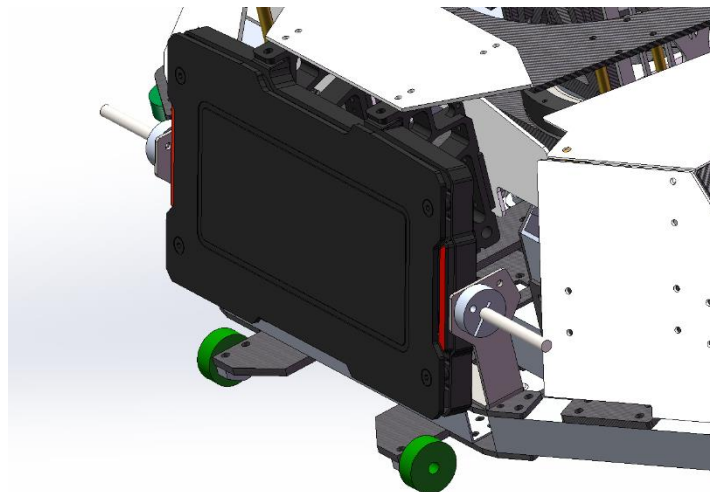


图 3.21: 救援装置

### 3.1.4 底盘部分目前存在的问题&改进方向

- ◆ 由于车架的铝管多是通过铆钉进行铆接，导致较为严重的累积误差。实际组装过程中，经常出现零件无法对齐的情况，需要外力进行矫正。这导致结构存在内应力，可能增加故障发生的概率。
- ◆ 设计欠缺模块化，装配需要严格按照顺序进行，这导致维修维护难度较大。
- ◆ 减震机构行程短，飞坡，下台阶等操作可能会导致结构损坏。
- ◆ 减震机构没有阻尼装置，阻尼不足。
- ◆ 重量较重，由于底盘研发过程重未考虑减重，导致结构强度冗余。可以通过镂空或者简化结构等方法进一步减轻整车重量。

### 3.2 云台部分

步兵机器人云台部分采用了模块化设计理念，可根据需求选择单/双枪管设计与是否添加为采用为平衡步兵设计的图传模块旋转模块。不同步兵之间云台通用，互相兼容。本文将步兵云台归类为基本模块部分与特殊模块部分。

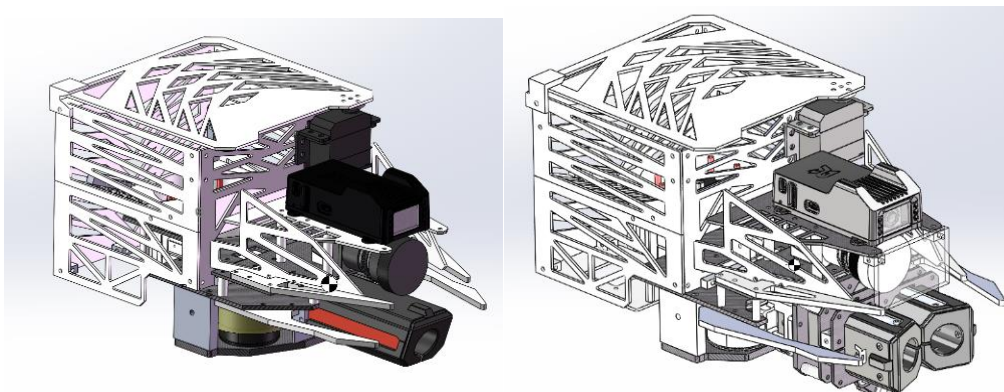


图 3.22：单枪管云台和双枪管云台示意图

#### 3.2.1 发射模块

##### ◆ 需求分析

功能	需求
弹仓容量	填满弹仓的情况下装弹量不少于 250 发 17mm 弹丸
射速	最高射速达到 30m/s，射速稳定
射击精度	5 米小装甲板最高射速命中率为 100%
充能装置	充能装置在 3 分钟之内完成维修，更换
整体结构	长度尽可能短，轻量化并保持较低的制作成本

表 3.4：发射模块需求分析

##### ◆ 发射机构设计方案

采用上供弹方式，弹仓位于云台后方，拨弹轮采用侧置方案，经测算，相较于传统中置拨弹轮方案可减少约 20mm 云台长度，同时使弹道更为平直，减少拨弹阻力。

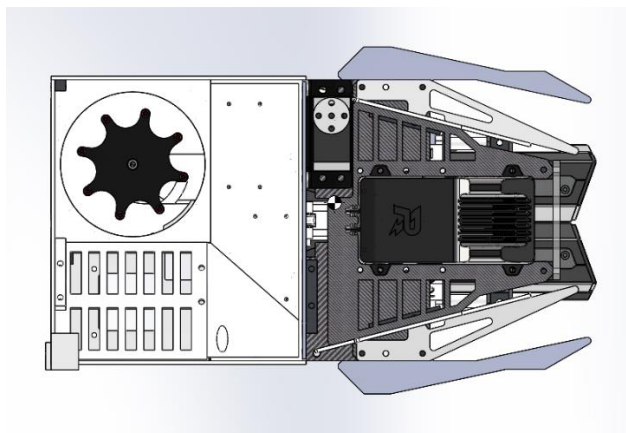


图 3.23: 发射机构俯视图

根据去年参赛经验，发现充能模块损坏率较高，因此设计快拆结构。

充能装置经由一片玻纤板固定在弹链侧边，玻纤板通过螺丝贯穿固定，两侧无遮挡，可实现快速拆装更换的需求。

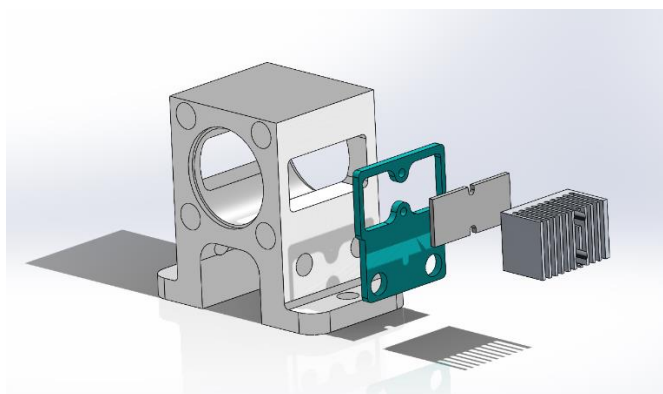


图 3.24: 充能装置

定心装置采用两颗 U 型轴承，在发射过程中，弹丸先通过接触轴承并被轴承挤压完成定心，并在离开轴承之前被摩擦轮挤压发射。保证了弹丸发射前初始位置的一致性，提高了弹丸的射击精度。

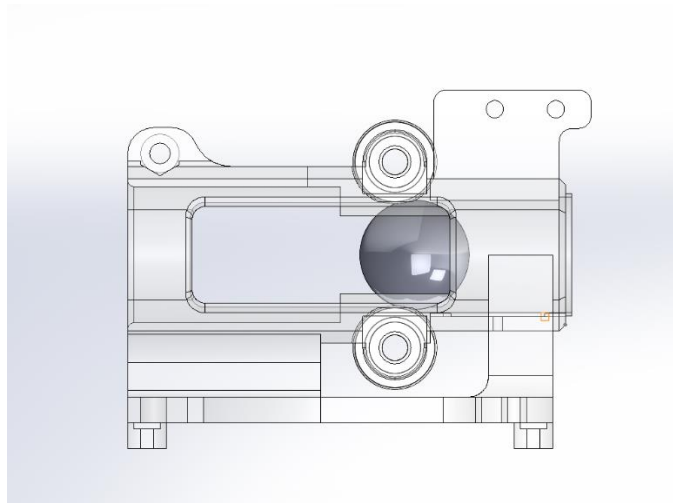


图 3.25: 定心装置

◆ 云台内部空间设计

侧置拨弹轮结构为云台后端另一侧预留了较大空间，以安装 RoboMaster 开发板板 C 型与云台分线板，该区域位于弹仓下方，不易因受到冲击或弹丸击打而导致损坏。同时，云台侧板采用螺丝固定，可在三十秒内完成拆卸，拆卸后 RoboMaster 开发板 C 型的 IO 接口与云台分线板直接裸露，便于程序调试，线路维护等。

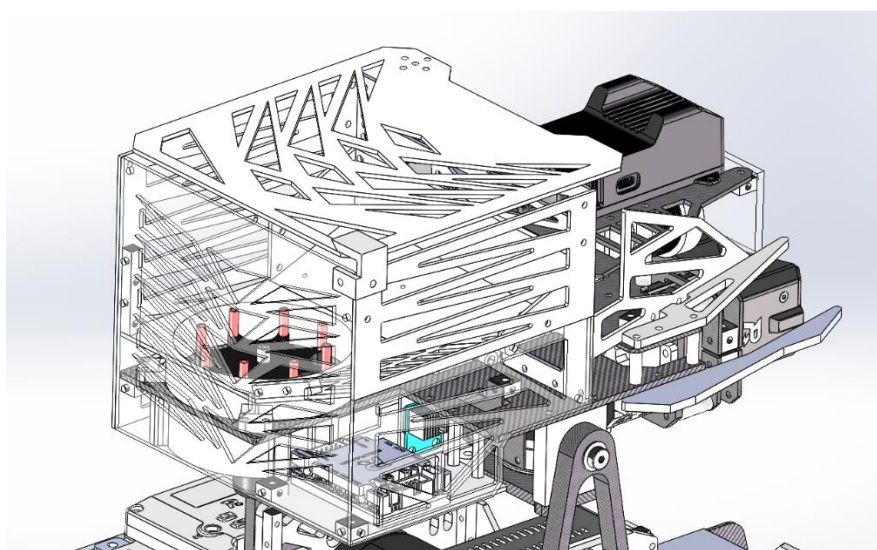


图 3.26: 云台内部空间分布



### 3.2.2 双枪管切换模块

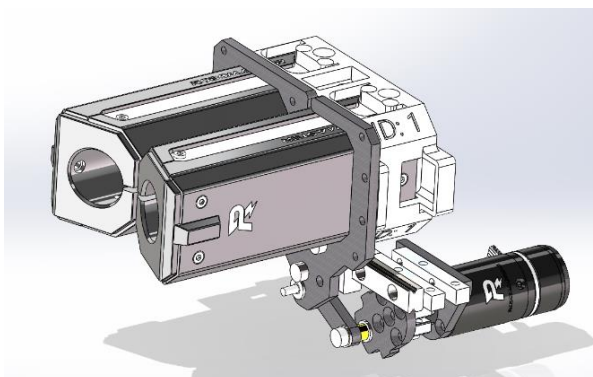


图 3.27：双枪管切换模块

◆ 需求分析

功能	需求
切换测速模块	切换速度快，误差小，电控易于控制
结构	结构体积尽可能小，重量尽可能轻 能够适配普通云台

表 4.5：切换模块需求分析

◆ 结构设计

两个测速通过锁紧结构进行固定，并通过滑轨滑块连接云台。

利用连杆结构自锁的特性，防止枪口晃动。

利用连杆结构的精确特性，能减小切枪前后的位置误差。

连杆由 2006 电机驱动，占用空间小，重量轻，切换速度快。

短连杆上设计有机械限位，方便电控控制与校准。

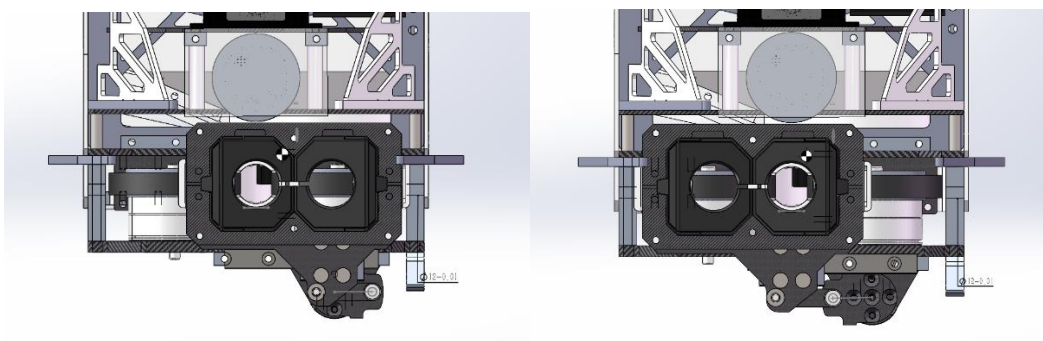


图 3.28：测速切换功能示意