

上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



RoboMaster2023 参赛机器人 平衡步兵机器人机械技术说明文档

上海交通大学交龙战队

2023 年 9 月

上海交大平衡机器人机械技术说明文档

前言

平衡步兵，作为步兵的一个子兵种，最早在 2019 赛季就出现在了相关官方文档中。顾名思义，这是一辆以平衡车为底盘的步兵车辆，各支队伍可以在如腿构型、车轮选型以及车辆平衡算法上发挥己长，大放异彩。然而在之前由于其研发成本高，且在比赛中没有实车战绩可供参考，大部分队伍一直处于观望状态。直到 22 赛季各个区域赛上都有队伍的平衡步兵，以其光辉的战绩给人留下无比深刻的印象，很多队伍才开始投入到平衡步兵的研发当中。

平衡步兵相较于普通步兵，有着巨大的优势。首先从规则手册上来看，平衡步兵在上限血量、底盘上限功率和每秒枪口冷却上相较于同等级的普通步兵都有着压倒性的优势。并且，在性能数值以外，平衡步兵独有的前后两块大装甲板让对手无装甲板可打的想法成为可能。同时，若辅以设计合理的双自由度轮腿，平衡步兵可以拥有普通步兵难以拥有的弹跳能力。这对曾经的战术方法是一个巨大的冲击和扩充，让我们拥有了更加多样的战术选择。

综上所述，平衡步兵的加入，将是对战队战斗能力的巨大提升，以及对战术打法的巨大丰富。所以，尽管需要投入大量资源进行研发，也在所不惜。

而本开源文档将主要介绍上海交通大学 2023 赛季全国赛 5 号步兵的机械结构设计，此量步兵由 2022 赛季平衡步兵改进迭代而来。

关键词：平衡步兵、构型、机械结构

目录

平衡底盘.....	3
平衡步兵车身结构.....	3
需求与设计.....	3
实践情况.....	6
经验、技术点总结.....	7
改进与展望.....	7
平衡步兵腿部结构.....	7
需求与设计.....	7
实践情况.....	11
经验、技术点总结.....	12
改进与展望.....	12
下供弹云台.....	12
需求与设计.....	12
实践情况.....	15
经验、技术点总结.....	16
改进与展望.....	16

第一章 平衡底盘

平衡步兵车身结构

需求与设计

需求分析以及设计思路

在 22 赛季平衡底盘的日常测试中，我们经常会遇到关节电机电流过大、发热严重，车架方管容易变形、影响车辆控制以及结构强度以及在侧身状态下贴脸射击，车身结构遮挡弹道的问题。

通过分析，我们得出以下简单结论：

1. 电机电流过大导致发热严重，不只是因为电机性能不足，同时也因为全车质量过大，导致电机在各种工况下负载太大。
2. 车架方管容易变形，是因为平衡车工况特殊。在日常调试以及行驶情况下经常会倾倒磕地。在上一代平衡底盘中，与地面碰撞产生的力大都直接传递到

方管。久而久之，在没有任何补强措施的情况下，方管自然地发生形变。

3. 侧身遮挡弹道，则是因为由于尺寸限制，我们留给云台和关节电机之间的高度差并不充足，导致云台难以发挥应有的射击俯角。

因此，一个轻量化，强度加强以及空间布局更加合理的新平衡底盘成了我们的研发目标。

对象	指标
车架	内置补强件，并设计减震机构替方管直接承受撞击
空间布局	在高度限制以内，压缩车身其他地方的高度，增大云台与关节电机之间的高度差
质量	删去不必要结构，优化镂空

车架及补强件设计

如下图所示，我们方管采用了经典的“井”字形设计。

为了控制全车的重量，我们采用了厚度为 1mm 的薄铝方管，横梁在保证高度的同时尽量增加宽度，以增强负载能力，因为全车的重量最终都会经由横梁传递到腿上。而纵梁由于主要承受车身组件的质量，负载要求低于横梁，在同时考虑到质量控制后，我们选择高度较高而较窄的矩形截面设计。

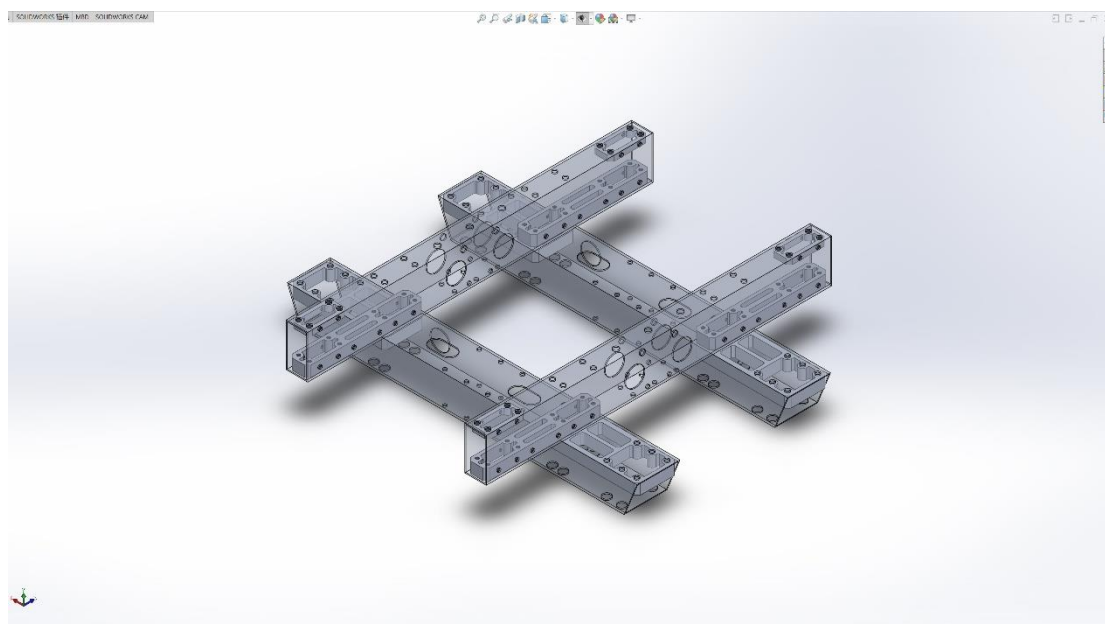


图表 1：方管架

同时，由于平衡车有着特殊的工况，其车架经常承受着高频的交变载荷，此前的平衡底盘出现过在压力测试过程中方管连接处结构失效的情况。

为此，我们在方管与方管之间以及方管与板材之间的连接处加上了铝件。这些铝件可以帮方管分担相当一部分应力，大大提升了车架的稳定性和耐用性。

在国赛期间，5 号步兵经历了不下三位数的飞坡，车架主结构未发生重大问题。由此可知我们的补强措施十分有效。

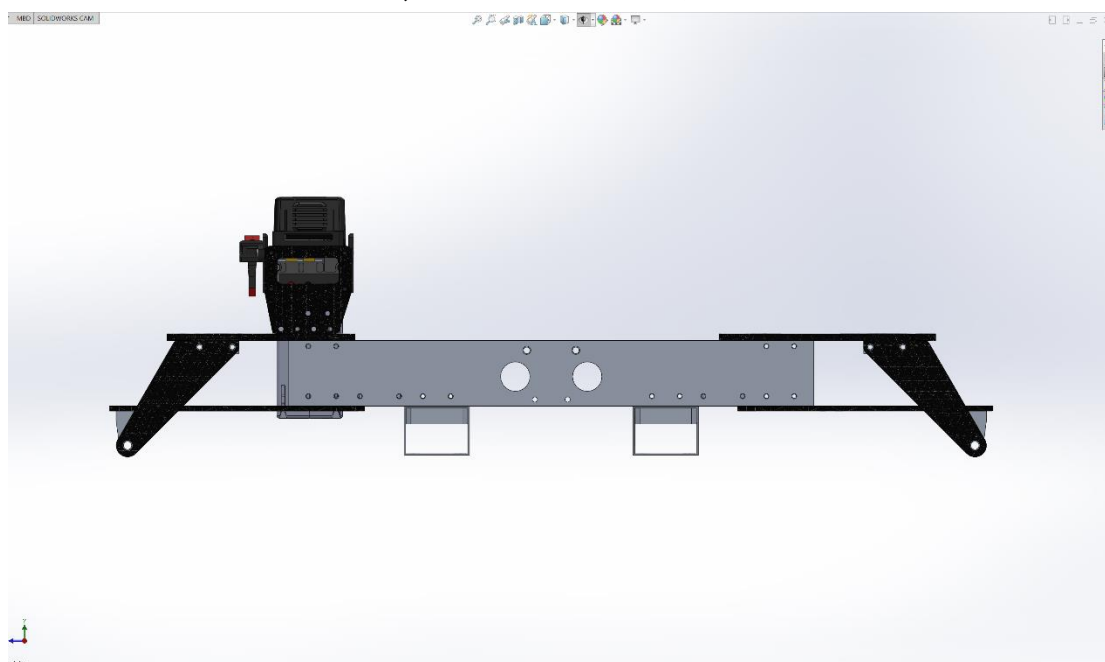


图表 2：方管内加强件

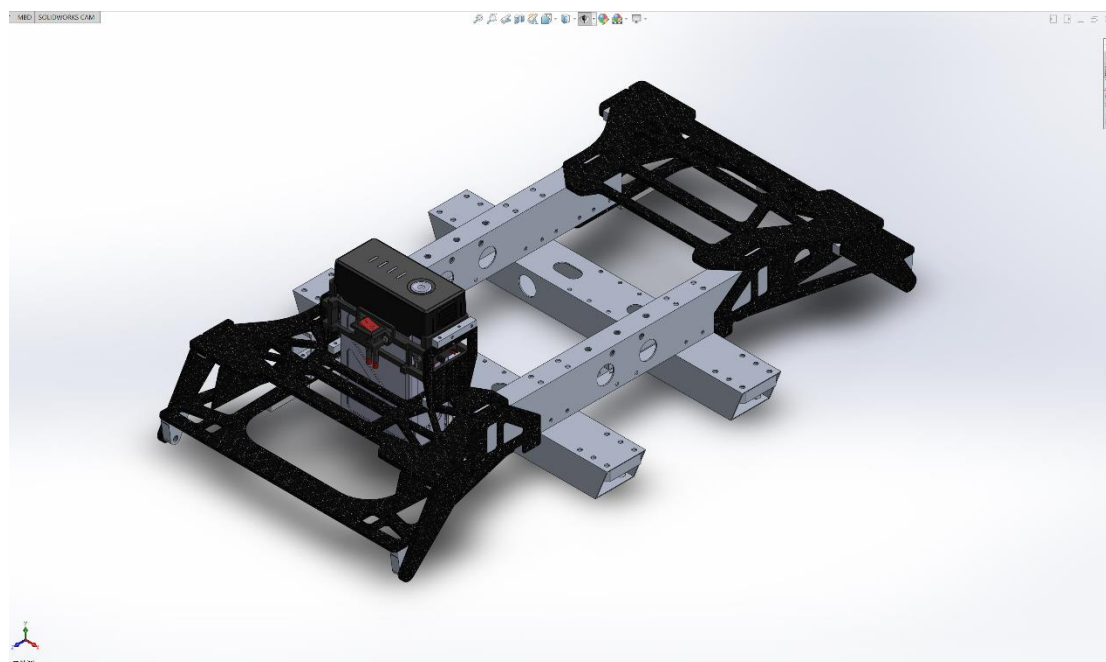
减震机构设计

当然，车架主结构的稳定离不开合理的受力形式。再强的方管也禁不起连续地暴力的直接摧残。因此，我们为新底盘设计了一套缓冲结构。

飞坡导轮是平衡车每次磕地首当其冲的地方。假若其直接固定在车架方管上，我们的实践经验告诉我们，方管一定会发生塑性形变。因此，我们的导轮经由碳板转接。这样一套悬臂梁的结构，在飞坡导轮的位置受到冲击后，两层碳板会首先发生弹性形变。这样的形变过程会帮助铝方管吸收能量，由此极大地强化了铝方管的抗弯性能。



图表 3：减震机构侧视

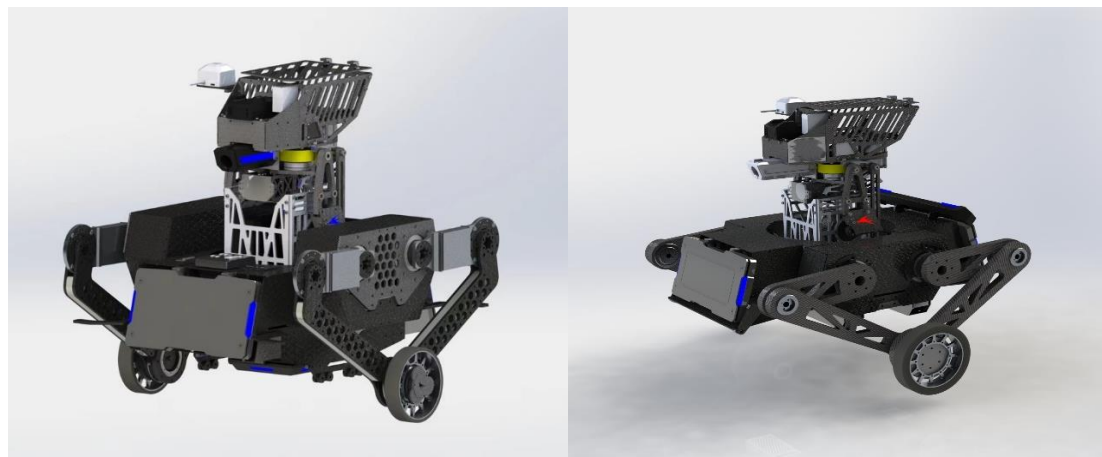


图表 4：减震机构效果图

结构布局优化

如图是我们优化了的全车结构布局。原本两侧高耸的髋关节严重地阻挡了侧身时相机的视野和发射的弹道。经过优化后，问题得到了改善。

平衡底盘全车各部分的尺寸高度相关，我们能有这样的优化离不开腿构型的改进。这一部分可以在后面的章节看到。



图表 5：新旧底盘对比

实践情况

在实际中我们发现，由于追求轻量化与紧凑化，全车为走线预留的空间不是非常充足，导致走线不是很灵活。以及后续若想进行线材的更换，操作空间及其局促，极大的增加了维护步骤与耗时。

经验、技术点总结

本底盘是在 2022 赛季的平衡底盘基础上迭代而来的，解决的大都是上一代底盘在长期使用过程中暴露出来的结构弱点。由此我们深深地感到，在平时进行高于赛场强度的强度测试，对于研发改进工作是相当有启发性的。

改进与展望

1. 电器元件的布局以及线材的布置需要被更加细致地考虑。
2. 车内空间被方管分割严重，有极大的优化空间。

平衡步兵腿部结构

需求与设计

1.1 需求分析以及设计思路

经过分区赛的比赛，我们发现分区赛版本的平衡步兵腿部结构复杂，不便维修，并且质量较大，因此我们需要一个更轻更强更简单的腿部结构。

因此，将碳板作为腿部主要支撑部件，简化关节处零件，减少其数量并且优化碳板镂空就成了新平衡步兵腿部结构的设计要求。

表 1-1 碳板腿需求分析表

对象	指标
膝关节和轮部关节部件	零件少，结构简单，强度高，能承受轴向和径向的力
碳板腿	构型符合实际受力需求，镂空在减重的同时保证强度
维修简易度	腿整体易拆卸，轮组拆卸方便
电控元件	电调安装位置不易受到冲击，有充分保护；线头不易脱落；线材有效保护，保证不断。
腿部整体	强度达标、轻量化、保护充分、拆装简单

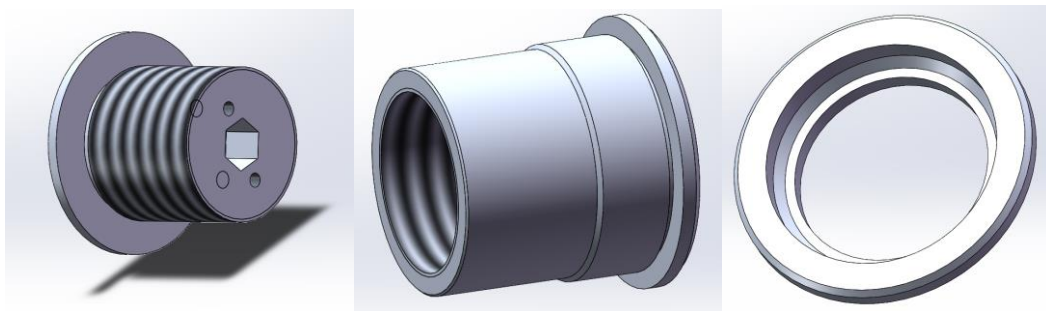
1.2 膝关节和轮关节处设计

在对于分区赛平衡步兵的使用和维修过程中，我们发现膝关节处和轮电机部分零件多，结构复杂，维修十分不便，并且膝关节处的轴承对于轴向力耐受程度有限，在使用一段时间后膝关节处轴承会出现轴向间隙。

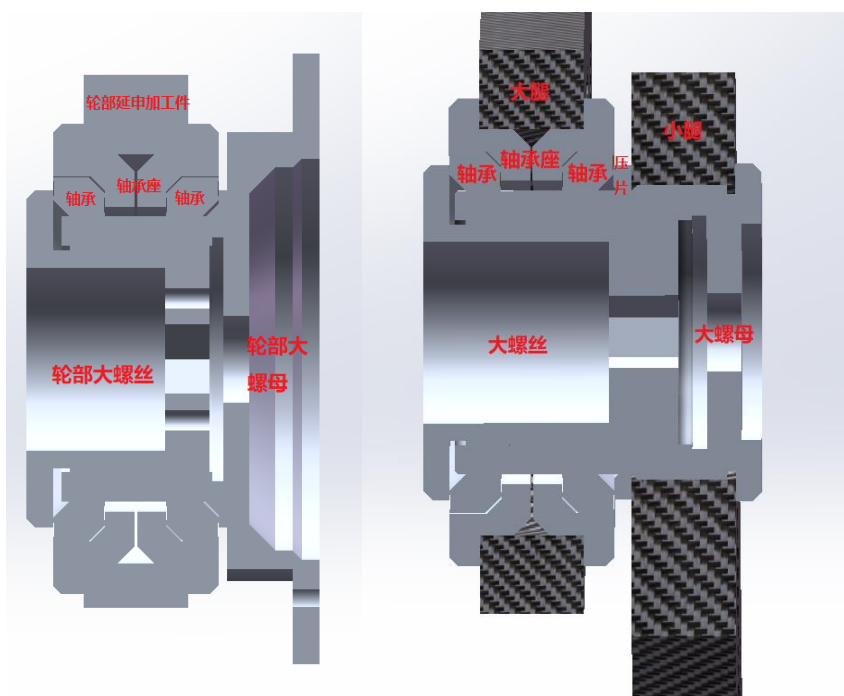
为解决上述问题，我们有以下两个设计要求：

1. 简化两处关节结构；
2. 使用对于轴向力承受能力更好的轴承。

对于第一点，我们设计了仅由四种铝合金加工件组成的螺丝螺母关节结构，并且可以在两处关节部分通用，极大地简化了关节结构，降低了维护成本。



图表 6：关节处铝件

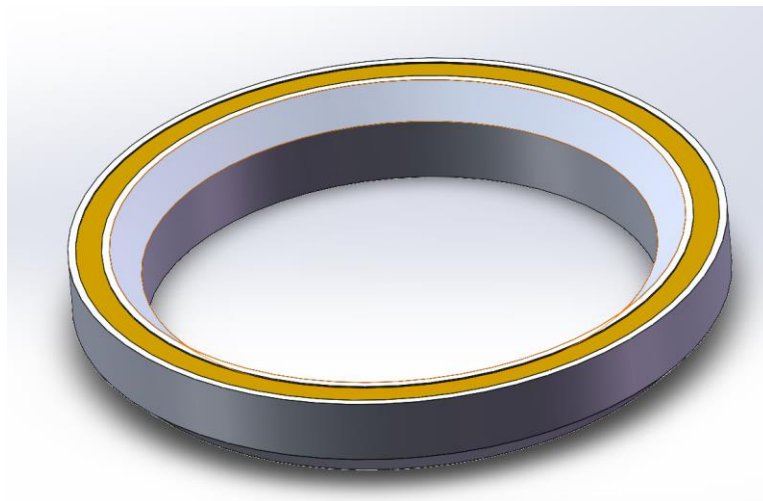


图表 7：轮关节处与膝关节处截面图

螺丝螺母的设计大大减少了维修时间，满足了需要经常拆卸轮电机的实际需求。

对于螺丝螺母的锁紧方案，我们采用了螺丝拧紧的方式来阻止螺丝的相对转动，实践证明，在事先拧紧的情况下，大螺丝从未松脱。并且大螺母上有刻滑痕迹，这些现象说明这种防滑措施是有效的。

对于第二点，我们选用了碗组轴承。这种轴承两个为一组，在组合使用时能很好地承受轴向和径向的力，并且价格相对便宜。



图表 8：碗组轴承

我们在对上述结构进行测试时，发现 70kg 重物施压对整体结构没有任何影响。两周的高强度国赛后，两处关节依然能够正常工作。

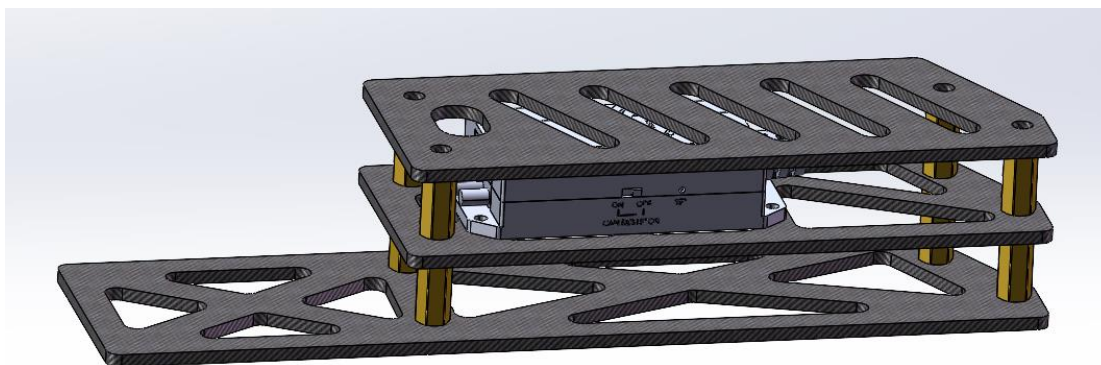
因此，实践证明，这种结构的关节设计极大地简化了关节结构，降低了维护成本，并且使得强度有了一定的提高，满足了设计需求。

1.3 碳板腿及其镂空设计

相比于之前的碳板加 3D 打印件结构，碳板结构腿有重量小，体积小，易维护的优点，但同时也具有走线、电调外露，轮部螺丝螺母结构突出的问题。

为了满足上面的设计需求，我们采用了碳板+加工件的设计方案，给轮部大螺丝螺母留出了空间。

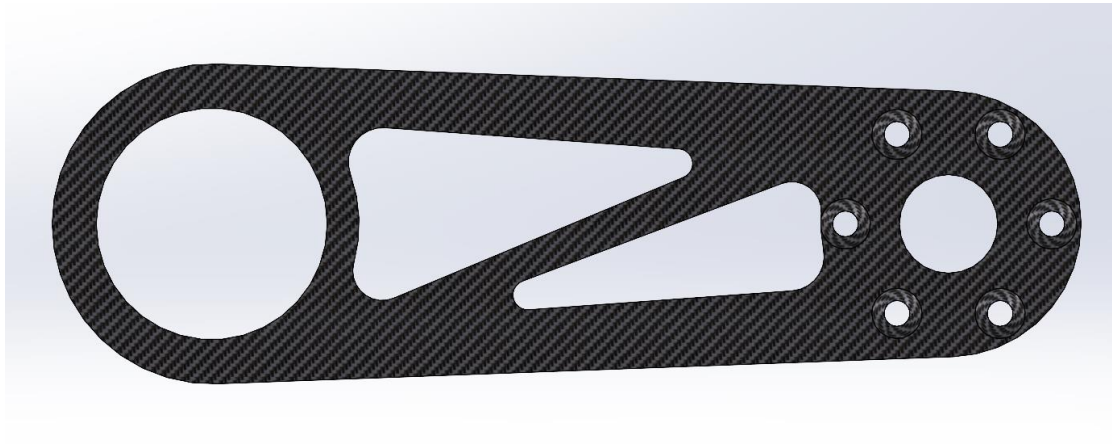
为了解决走线、电调外露的问题，我们采用了橡胶管+编织管的线材保护方案，以及碳板铜柱夹在小腿镂空中的电调保护方案，避免在碳板上打洞，从而保证了小腿的强度。最终两个方案的实践效果都很好，没有出现断线脱线的情况。



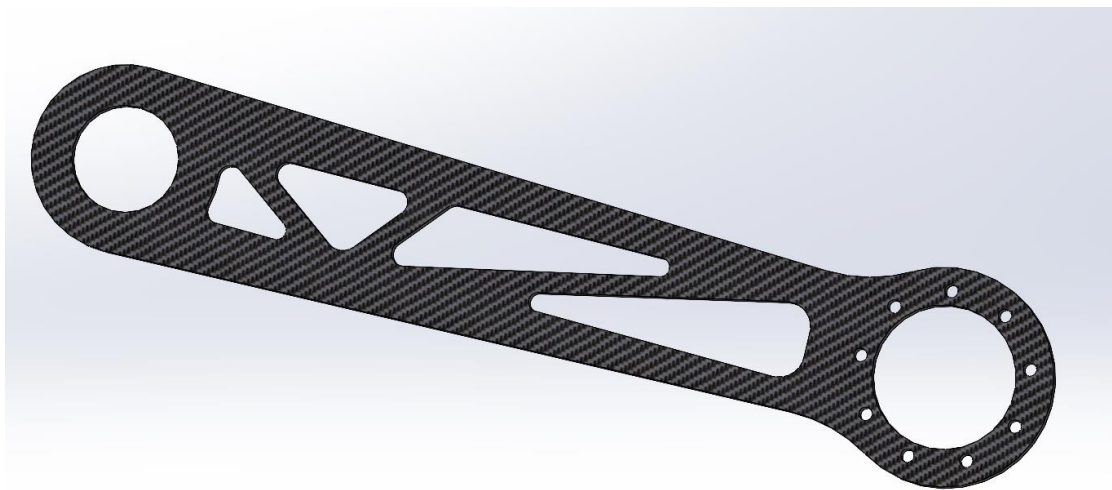
图表 9：电调保护

设计腿的构型和镂空时，我们综合考虑了在实际情况中腿的受力情况，例如，小腿会受到扭转力、侧面冲击力等需要特殊考虑的力，越靠近关节处力矩越大等等情况。

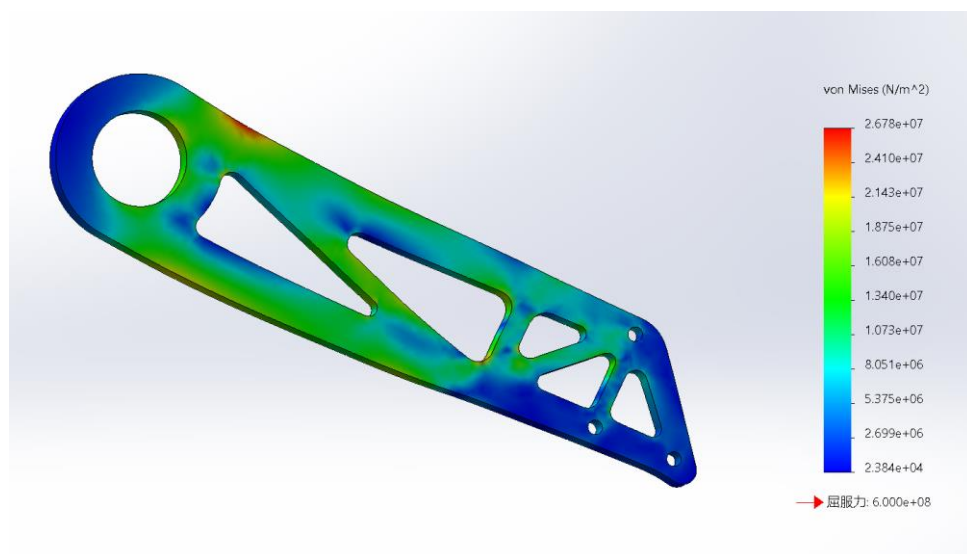
在使用了 solidworks 中的 simulation 插件对腿的受力情况进行分析后，我们最终将腿部镂空设计成如下图所示：



图表 10：大腿



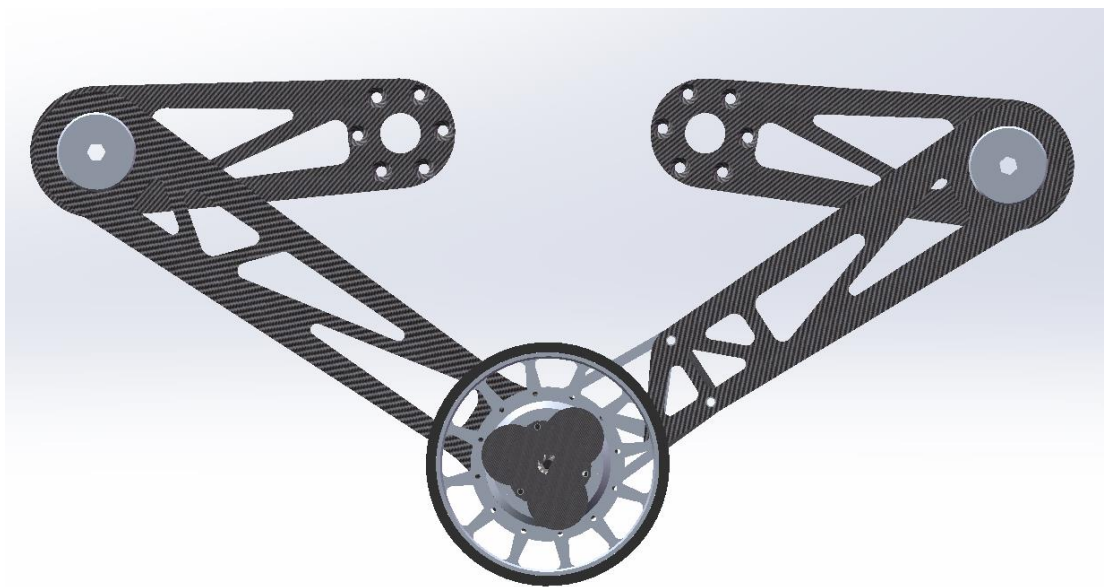
图表 11：小腿



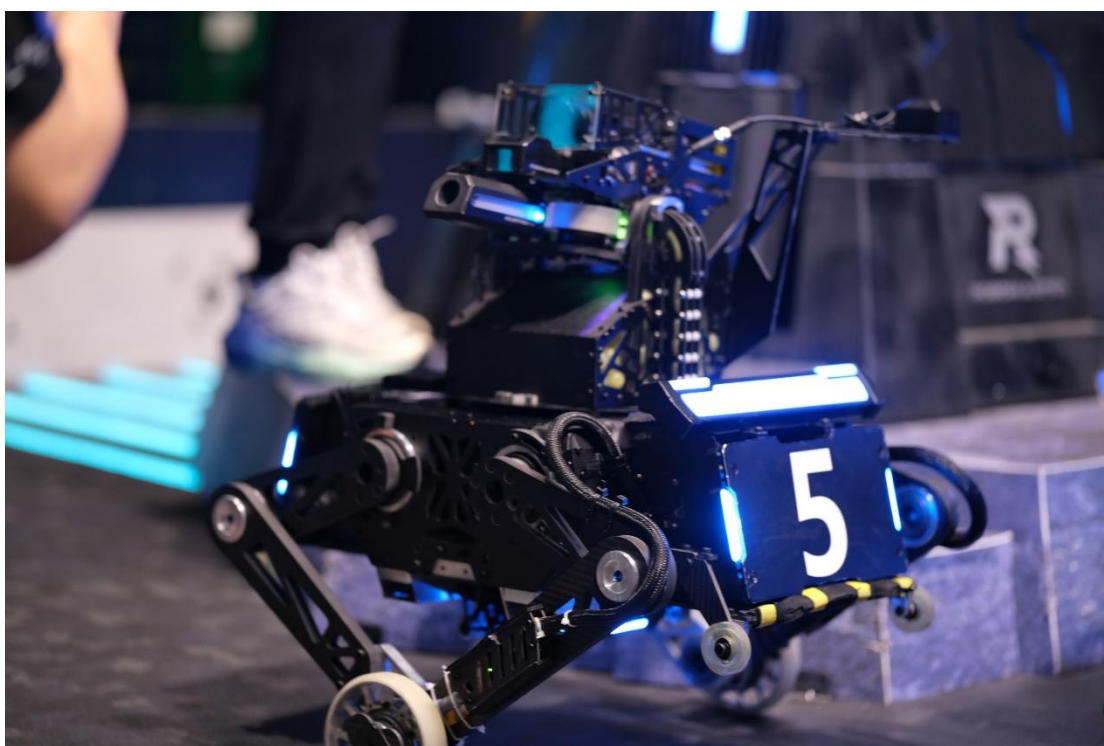
图表 12：腿部有限元分析结果

实践情况

以下为碳板腿平衡步兵腿部总体示意图：



图表 13：整体效果



图表 14：赛场实车

经过实践检验，这个平衡步兵腿部结构基本满足了设计需求。

经验、技术点总结

平衡步兵腿部结构设计的难点在于设计简单高效易维护的关节结构，选择合适的轴承以及设计合理的镂空。

改进与展望

- 1.厚碳板造价昂贵，且复用性差，希望以后可以探索价格便宜的新材料腿。
- 2.因为缺少科学的实验，这个构型的腿是否存在强度过剩的问题也是未知，希望以后可以对某些不合理的部分进行优化。

第二章 下供弹云台

需求与设计

1.1 需求分析以及设计思路

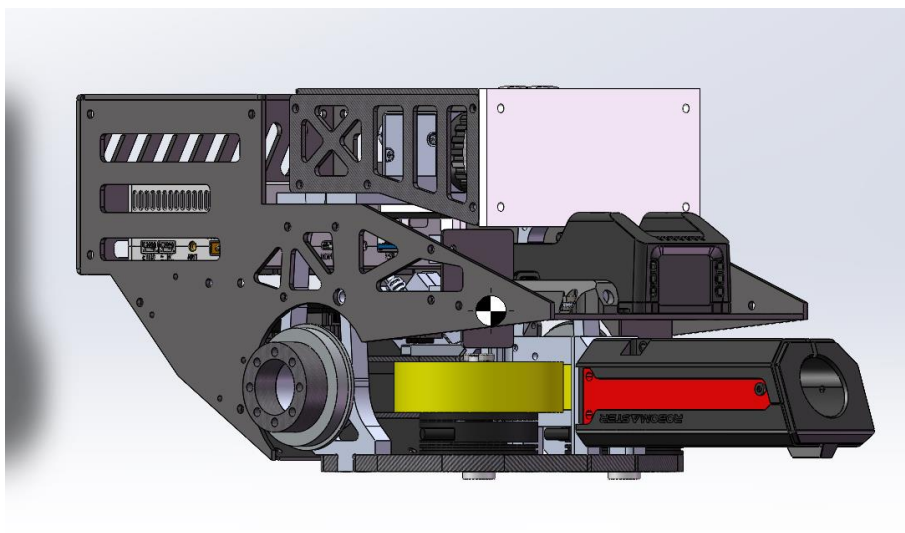
下供弹云台的需求来自 23 赛季规则允许远程兑换发弹量，因此我们需要一个容弹量更大的云台，然后考虑到兼容不同类型的底盘，弹舱选择放置在 YAW 轴和 PITCH 轴之间，整个云台的构型也就差不多确定了。

1.2 发射机构设计

发射部分主要包括摄像头、minipc、图传、摩擦轮、枪管、测速以及一部分链路结构。

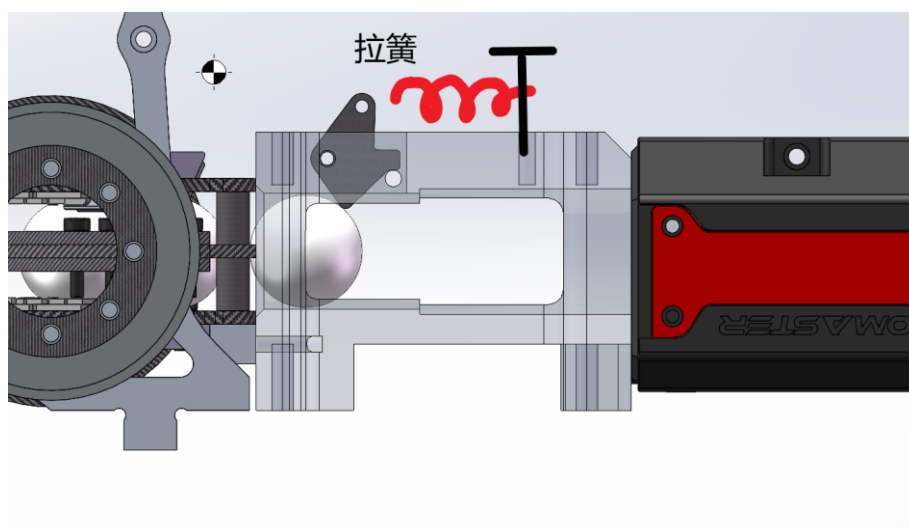
摄像头安装件和摩擦轮板都通过特定结构与支撑铝件定位而后固连，保证了视觉参数的稳定性。经过测试，翻车或者重装后相机与弹道的夹角和偏置参数都没有太大变化。

电脑和摄像头放置在一处，既达到了配平重心至中间的作用，也确保了视觉线材不会随 Pitch 轴运动，提高了视觉的稳定性。



图表 15：发射机构

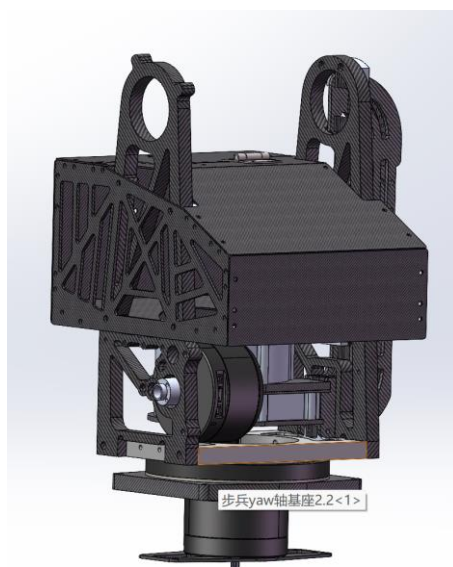
本次使用的单发限位机构使用了拉簧和碳板挡片构成的柔性限位机构，具体安装方式如下所示，拉簧的选型需要经过大量测试，由于时间有限，我们最终使用的拉簧可以做到不卡弹不双发，但是容易尿弹。



图表 16：拉簧单发限位

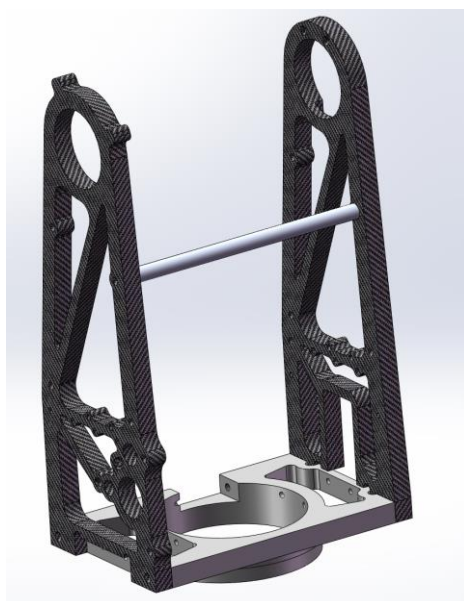
1.3 云台架设计

云台架主要包括云台基座、拨盘、弹舱、yaw 轴电机以及一部分链路结构。拨盘以及 YAW 轴均沿用 20 赛季步兵机器人开源设计。链路整体均由碳板搭建。弹舱容量为 500 以上，满足设计要求。PITCH 轴电机内置，减小双轴惯量。



图表 17：云台架

主体支撑结构采用两块 10mm 厚碳板分别在左右支撑发射部分。在碳板中部以机加工铝件支撑柱相连，保证整体结构承压时抗弯能力，同时简化了云台轴系设计。

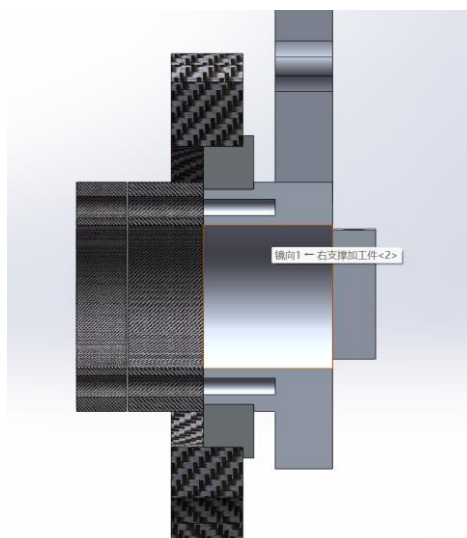


图表 18：云台架主体支撑

轴系设计采用法兰轴承法兰边向外紧贴云台支撑架，内圈与发射机构固连。轴系比较简单但是并不能确保轴承不轴向运动。

通过前述的支撑杆可以减小该间隙。在实际装配过程中，我们根据发射部分左右活动的空间，调整铝棒的长度，通过拧紧铝棒两边提供内应力压紧两边的法兰轴承外圈，以达到消除间隙的效果。

这样的轴系设计和固定方式产生的误差在实际使用中经受住了考验，对自瞄和控制没有显著影响。



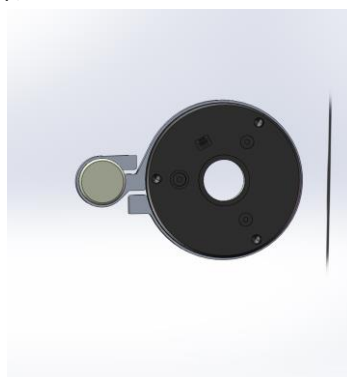
图表 19：发射机构与云台架连接轴系设计

实践情况

从 SW 图中，我们计算得到云台的重心靠前靠上，而云台在使用过程中尝尝处在低头状态，可能会导致 Pitch 轴电机使用过程中用于重力补偿的电流过大，控制更加困难并且容易过热。

因此我们设计了如图所示的 6020 配重块以平衡重心。

在实际使用中，我们发现：通过合理的理线和电控元件的安排，可以调整一些重心位置，使得重力补偿在可以接受范围内，打完 BO5 而不过热。因此在实际上场车辆云台上，我们并没有全部使用该配重方案。



图表 20：pitch 轴配重

我们的常用预置位置处于拨盘转到距离小弹丸顶到单发限位有 2-4mm 左右的距离。相较于上供弹云台，下供弹云台对拨盘预置的位置有了更高的要求。并且该要求的严苛程度，即不卡弹不双发的预置位置与拉簧的选型和单发限位的设计有比较大的关联。

在实践中我们发现：拉簧的预张力和单发限位的行程越小越容易造成双发，而变大则有可能导致发弹延迟明显提高。在仓促中我们选择了一款比较合适的拉簧和单发限位，但是存在尚未解决的尿弹问题。

经验、技术点总结

该下供弹云台独特的难点在于合理安排各个部件的位置，以达到在配平重心的基础上减小惯量和最大程度扩展弹仓的空间。

改进与展望

发射部分的设计还是进行的相对粗糙，受限于分区赛结束和期末考，在一周多的设计时间内，我们的云台结构并没有对原有发射结构进行太多的优化和改进。在国赛赛场上仍然会出现尿弹的问题，希望在下个赛季下供弹云台能够达到更加完美的状态。

对象	指标
电控元件安装	稳定固定所有电控元件，线头被合适保护
视觉元件安装	摄像头固定稳定，用力扳动形变量小
维修简易度	电控元件走线在同一空间，维修不需要拆装额外模块
云台整体	强度达标、轻量化、保护充分、拆装简单