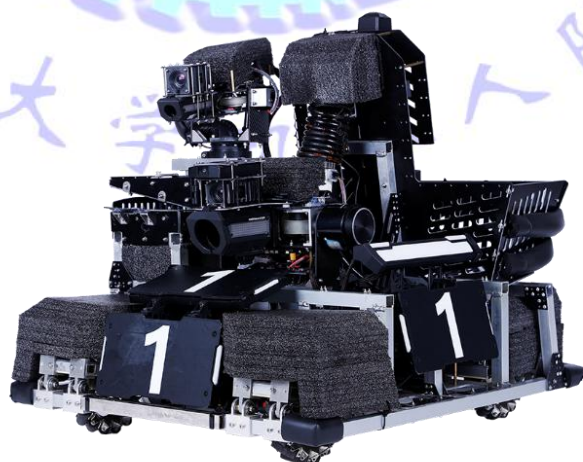




南昌大学 Passion 战队
Robomaster2019 赛季
英雄机器人开源技术文档



目录

一、 总体介绍.....	1
二、大弹仓模块介绍.....	2
三、17mm 发射模块介绍.....	4
四、42mm 发射模块介绍.....	6
五、关键结构有限元分析.....	9
六、遗留问题.....	11



一、总体介绍

1.1 本文档内容来源及开源声明

1、本开源文档为 Robomaster2019 赛季南昌大学英雄机器人机械结构开源，附属文件包含完整的零件图和装配图、技术文档、机构演示视频等。

2、本开源仅限于 Robomaster 参赛队之间技术交流，不得作任何商业用途。

3、未经作者允许，不得转载至任何公共空间

4、本作品的声明以及其修改权、保护作品完整权及最终解释权均归南昌大学机器人队 Passion 战队所有。

1.2 本文的开源内容

在赛季初，19 年规则刚出来时，我们也曾考虑过将英雄定位成一个远程吊射基地顶部三角装甲的炮手，通过气动发射，从远处击打对面基地。但由于，气动发射效率过低，达不到比赛的需求，且发射系统的气密性很难保证，在早期的队内讨论中被否决了。

在之后的几次队内讨论后，定下了英雄机器人初步的设计思路，其中包含了拨叉与摩擦轮组合的发射枪口、带轮循环供弹链路、具备自动巡航自主反击的小枪口以及四轮纵臂式非独立悬挂底盘，具体三维图如图 1.1 所示

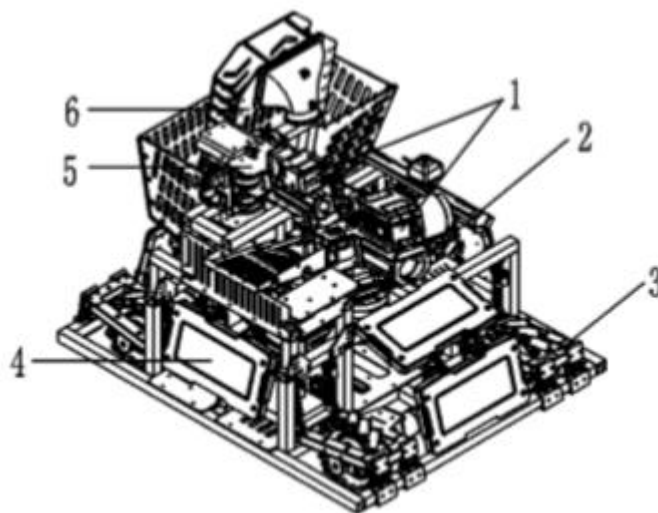


图 1.1 英雄机器人系统的组成

1. 摄像头模块；
2. 大弹丸发射模块；
3. 底盘模块；
4. 裁判系统模块；
5. 小弹丸发射模块；
6. 为大弹丸循环供弹模块。

二、大弹仓模块介绍

2.1 大弹仓方案选择

根据比赛规则分析，机器人在一局比赛中预计可以获得 25-60 个 42mm 大弹丸，因此需要设计合适容量的弹仓来存储弹丸。另外，机器人受到枪口热量和升级机制的限制，发射机构存在多种发射模式，因此稳定流畅的供弹链路是提高机器人输出能力的重要基础。

考虑到灵活性的需求，弹仓位置应该越低越好，可以降低整车的重心，避免倾覆。而弹仓开口越大越好，可以降低交接精度，减小和工程车的交接难度。

在方案收集后，总结出供弹方案大体分为以下几种形式：①斜置式拨盘；②螺旋式拨盘；③循环供弹式拨盘；模型见图 2.1 所示

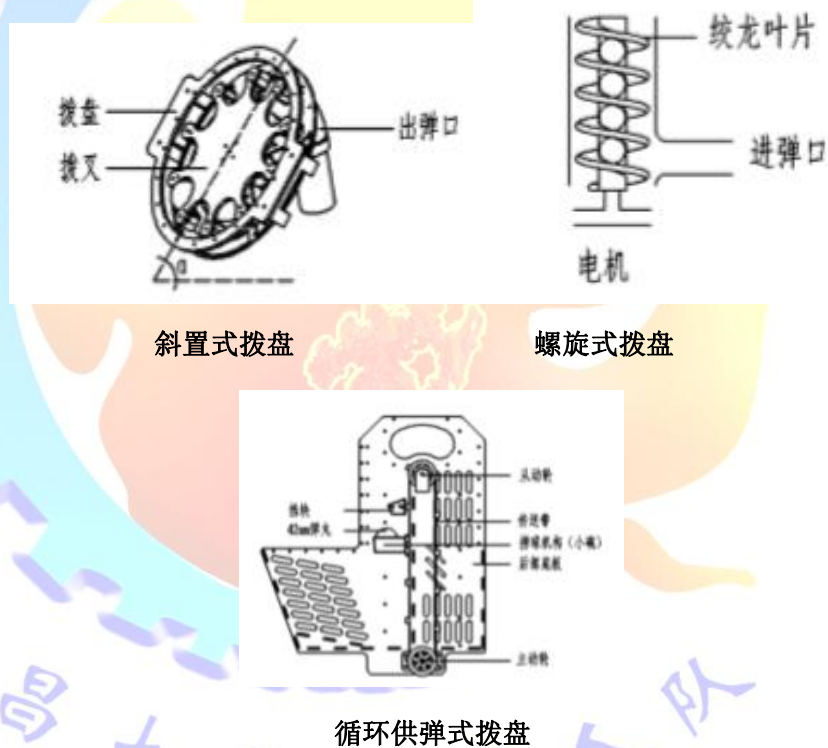


图 2.1.1 三种供弹方案

机器人在赛场上高速移动和连续发射弹丸，不仅需要高效稳定的供弹链路，还需要尽可能降低整车重心，综合考虑多方面因素，我们决定采用循环供弹的方式。循环供弹链路模型如图 2.2 所示

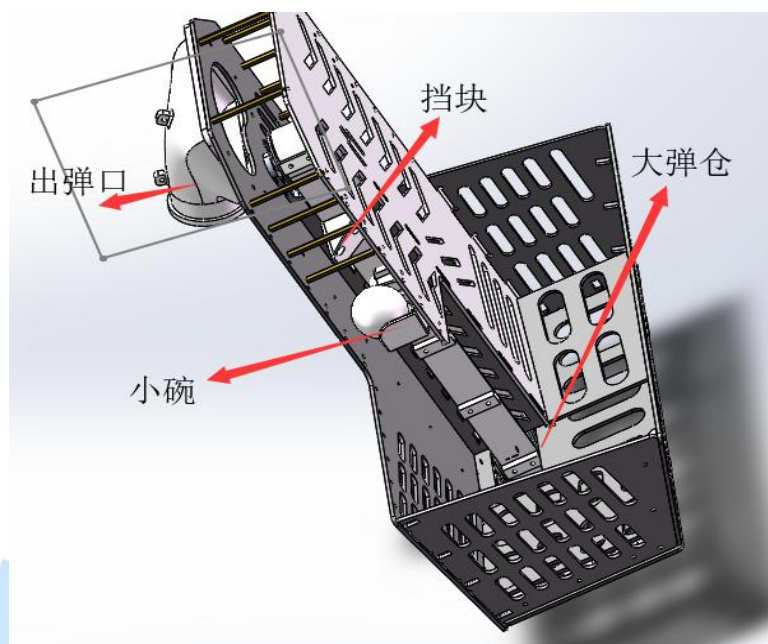


图 2.1.2 循环式供弹链路模型

2.2 机构细节分析

大弹仓整体采用 3mm 玻纤板拼接，玻纤板做了大量的镂空处理，一方面是为了减轻弹仓的重量，另一方面是为了过滤掉掉入大弹仓内的 17mm 小弹丸，防止小弹丸落入链路内造成卡弹。

输弹链路通过同步带加上一个放置小弹丸的平台将弹丸置于平台中运输上去，原理类似水车。带轮上的小碗循环转动捞取弹丸，将弹仓倾斜放置并添加侧面斜板以使得弹丸更好地汇聚。此时弹仓中堆积的弹丸会呈现无序状态，小碗上方挡块就是为了保证每次小碗都只能捞起一颗弹丸并平稳运送至出弹口。在链路中小碗只起到捞取并运送弹丸的作用，挡块的存在可以将大量堆积的弹丸进行搅动，避免弹丸之间受力平衡而不发生滚动；另外，挡块的表面进行了拔模处理，对弹丸起到一定的导向作用。

在大弹仓测试输送大弹丸卡弹情况的时候，我们都是英雄车静止不动的条件下测试的。但在之后操作手实地训练时发现，大弹丸经常会被小碗卡在右侧出弹口。经过拍摄后发现，当英雄车加速时，大弹丸会越过左侧出弹口而直接被小碗直接拨到右侧出弹口。由于已经临近比赛，来不及对机械结构做太大的变动，故从电控方面下手，增添了一条卡弹反转程序。

同样由于大弹仓的存在，导致英雄机器人在于补给站交接时，会撞到大弹仓顶部，不能完全进入补给站内部。这在很大程度上影响力补弹的效率。

三、17mm 发射模块介绍

3.1 17mm 发射方案选择

英雄机器人可以同时具备 42mm 发射以及 17mm 发射系统，关于两套发射系统的放置，大致可以分成：

①大小枪管单独放置；②大小枪管一体放置两类。

考虑到我们队内对英雄车的定位，故采用了大小枪管单独放置的思路。将小枪管放置在整车高点，全自动巡航，在减轻操作手负担的同时，起到移动哨兵的作用，保护英雄以免遭受侧方位的偷袭。17mm 发射模型如图 3.1 所示

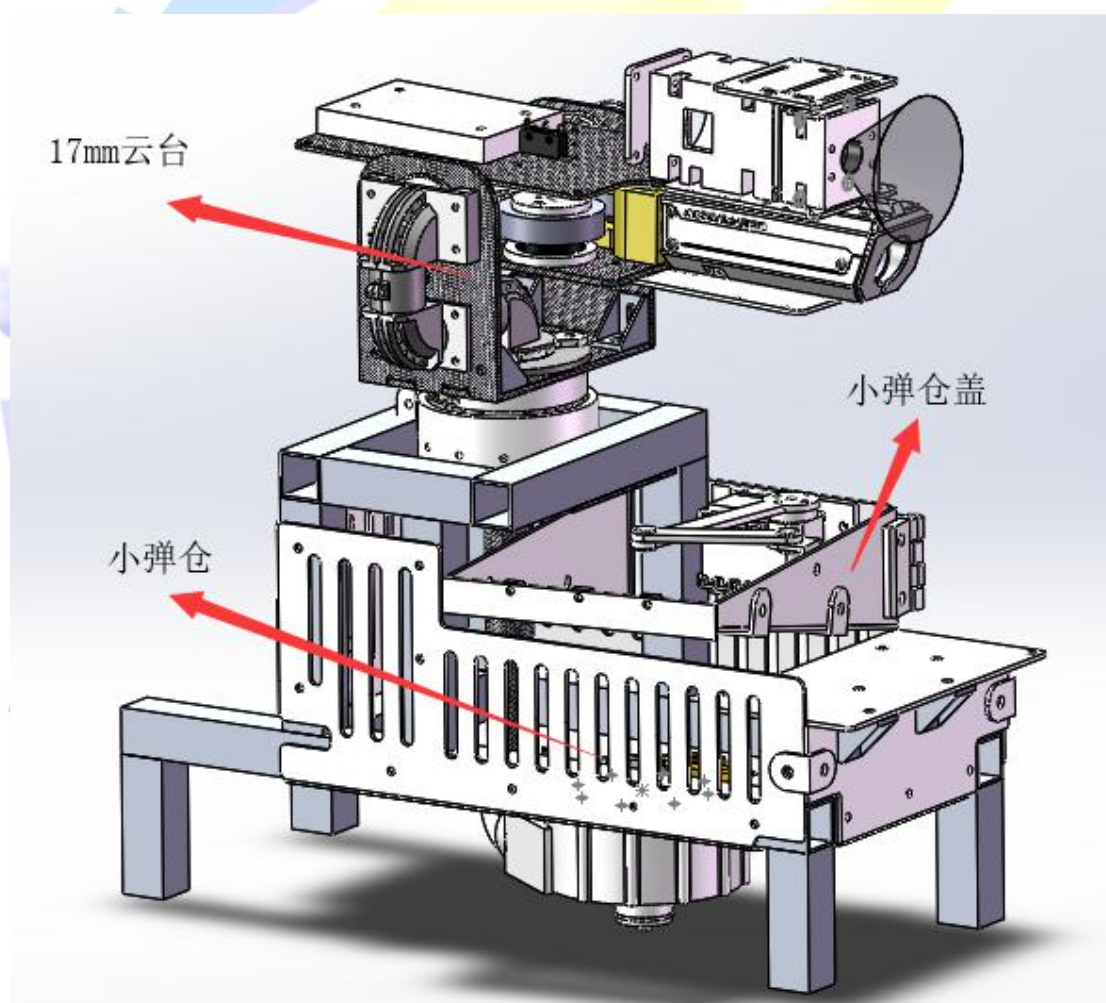


图 3.1 17mm 发射模块

3.2 机构细节分析

小弹丸发射系统的存在，可以增强对敌方的打击范围和我方的防御能力，因此在灵活性方面相较于大弹丸发射系统提出了更高的要求。为了提升云台的响应速

度，小弹丸发射系统采用了下供弹链路，弹仓与云台分离，使结构设计更加灵活，减轻了云台的负载，增强了枪口的机动性。

因为下供弹的特性，英雄 17mm 发射链路至少有四个弯角，且管路之间因为存在相对转动，所以会有狭小缝隙。设计时尽可能地减少管路的衔接，一体成型。同时，考虑到英雄要以大弹丸为主，小枪口要轻量化，于是对管路进行了优化，采用了 6020 下供弹电机，去掉了原来的回转支承和带轮。

由于英雄大弹仓的存在，导致了英雄并不能全部进入补给站，而小弹丸又只能通过与补给站交接获取。因此，17mm 弹仓盖被设计成了抽屉式结构。通过舵机控制小弹仓盖开合，以延伸进补给站内部，获取小弹丸。



四、42mm 发射模块介绍

4.1 方案的选择

比赛过程中，敌方车辆的装甲板在高速无规律地全向移动，而大弹丸云台在时刻调整枪口方向来跟随敌方装甲板，弹丸的发射角度和速度也不能确定；发射角度多变会带来发射的不稳定性，因此在弹丸进入加速导向机构之前，需要有机机构限制弹丸的自由度，还要有机机构来稳定准确地拨动弹丸，避免“走火”和“空弹”的现象出现。预置拨弹机构的方案大体分为以下几种形式：

① 行程开关预置；② 竖直摩擦轮预置；③ 竖直拨叉预置。

为了满足既可以减小发弹延迟，同时又可以做到预置多发弹丸的需求，再结合了相关的实验数据后，我们最终选择了竖直拨叉预置的方式。42mm 发射模块如图 4.1 所示



图 4.1 英雄 42mm 发射模块

4.2 机构细节分析

在竖直拨叉实验开始阶段，竖直的拨叉存在着极高的概率，分析后得出以下两点卡弹原因：

1. 卡弹分析 拨叉作为预置拨弹机构，卡弹形式主要有以下两种：

A. 拨叉与弹丸在进弹口处对顶，如图 4.2.1 所示

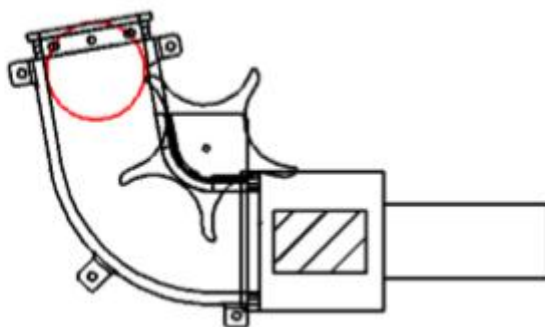


图 4.2.1 拨叉卡弹 A

产生这种卡弹现象的主要原因是拨叉的转动与供弹链路的控制逻辑存在问题，当拨叉转动并经过该位置时，恰好有弹丸掉落，形成上图所示状态。

B. 拨叉与弹丸在弯管处卡死，如图 4.2.2 所示

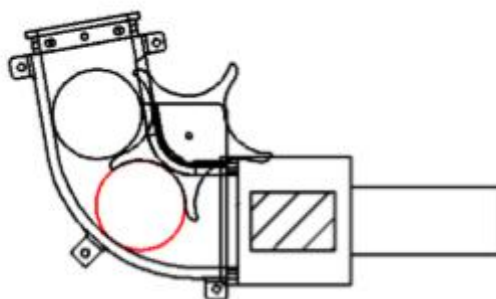


图 4.2.2 拨叉卡弹 B

弹丸在弯管处的运动方向发生改变，较短的拨叉对弹丸推力方向是朝着管壁的，力的效果增大了弹丸和弯管管壁的压力，导致卡弹。

2. 拨叉的具体结构设计 结合上述分析，设计拨叉的要点如图 4.2.3 所示

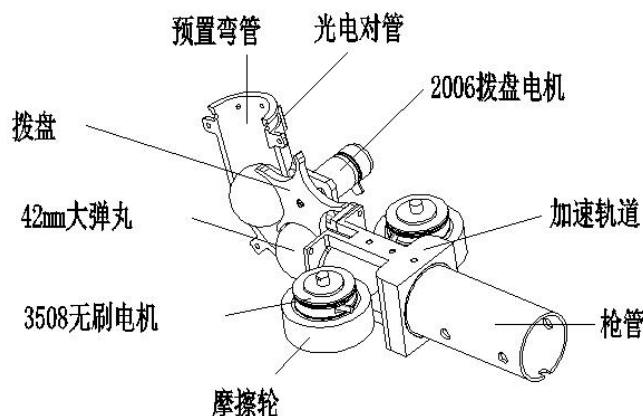


图 4.2.3 最终版拨叉

(1) 尺寸设计:

1. 拨齿的包络空间只允许容纳 1 个弹丸，拨叉转动时，拨齿可以准确的插入两个弹丸中间，将其分离；
2. 在弯管处，拨齿对弹丸的作用力方向尽可能与弹丸所在点的管壁切线方向相同
3. 发射弹丸时，弹丸前面的拨齿要转出发射轨道，避免与发射的弹丸碰撞

(2) 加工工艺:

1. 拨叉的圆弧段和弯管表面尽可能光滑，减小摩擦力
2. 拨叉要具有足够的强度，防止卡弹时拨齿崩断
3. 拨叉的传动要尽量减小间隙，较大的回程误差会影响控制

3. 设计结果

通过用 CAD 进行拨弹过程的分解，并结合上述设计要点，我们最终设计了 5 齿拨叉；同时采用 3D 打印一体成型，将每个拨齿都进行了倒角处理，并用砂纸打磨光滑；拨齿的末端添加了仿“钩子”形设计，易于分离弹丸；传动部分为铝制法兰盘与电机直连，D 形孔加装顶丝，减小传动间隙。

实验结果表明，机器在静态情况下，可以满足比赛常规击打角度的连发，以及大角度（约 60 度）的发射。

五、关键结构有限元分析

5.1 云台支撑件有限元分析

云台支撑件不仅需要承载整个发射机构的重量，还需要抵抗转动过程中所带来的离心力。发射机构自重为 1.82kg，pitch 轴电机质量为 0.625kg；发射机构重心到转动轴线的垂直距离为 0.053m，工作时的最大转速为 3r/s，因此转动过程中弹舱自重产生的离心力为： $F = mr\omega^2 = 1.82 \times 0.053 \times (3\pi)^2 = 8.57 N$ ；对三维模型添加材料，划分网格，施加约束和载荷，运行后得到的应力和变形云图分别如下

模型参考	属性
	模型材料: 6061 合金
	模型类型: 线性弹性同向性
	默认失败准则: 最大 von Mises 应力
	屈服强度: $5.51485e+007 \text{ N/m}^2$
	张力强度: $1.24084e+008 \text{ N/m}^2$
	弹性模量: $6.9e+010 \text{ N/m}^2$
	泊松比: 0.33
	质量密度: 2700 kg/m^3
	抗剪模量: $2.6e+010 \text{ N/m}^2$
	热扩张系数: $2.4e-005 \text{ /Kelvin}$

图 5.1.1 云台支撑零件材料属性

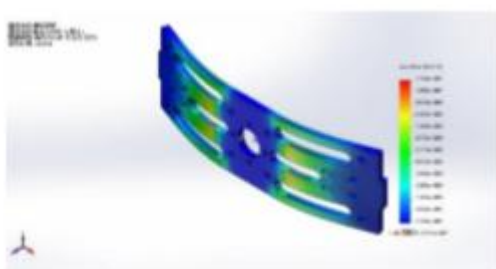


图 5.1.2 云台支撑零件的应力云图

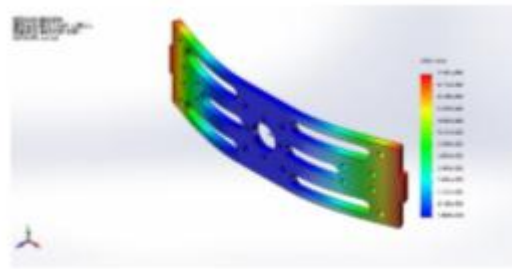


图 5.1.3 云台支撑零件的变形云图

由上图可知，云台支撑底板的最大应力为 $1.15388e+007 \text{ N/m}^2$ ，出现在靠近中心的凹槽处，最大形变量为 0.0739148 mm ，出现在两侧。该零件的强度符合设计要求。

5.2 底盘车轴有限元分析

轮系是底盘的关键模块，不仅承载机械结构所有的重量，还需要提供足够的驱动力矩来实现机器人的全向运动；在轮系零件中，车轴既是传动零件，又

是支撑零件。机器人自重为 32.1kg，底盘配套电机的额定转矩为 3N·M，车轴的材料为 Q235，对三维模型添加材料，划分网格，施加约束和载荷，运行后得到的应力和变形云图分别如下

模型参考	属性
	模型材料: AISI 1045 钢, 冷拔
	模型类型: 线性弹性同向性
	默认失败准则: 最大 von Mises 应力
	屈服强度: $5.3e+008 \text{ N/m}^2$
	张力强度: $6.25e+008 \text{ N/m}^2$
	弹性模量: $2.05e+011 \text{ N/m}^2$
	泊松比: 0.29
	质量密度: 7850 kg/m^3
	抗剪模量: $8e+010 \text{ N/m}^2$
	热扩张系数: $1.15e-005 \text{ /Kelvin}$

图 5.2.1 车轴的材料属性



图 5.2.2 车轴的应力云图

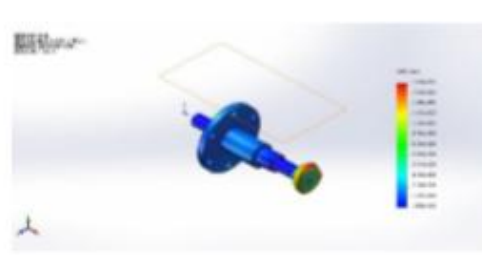
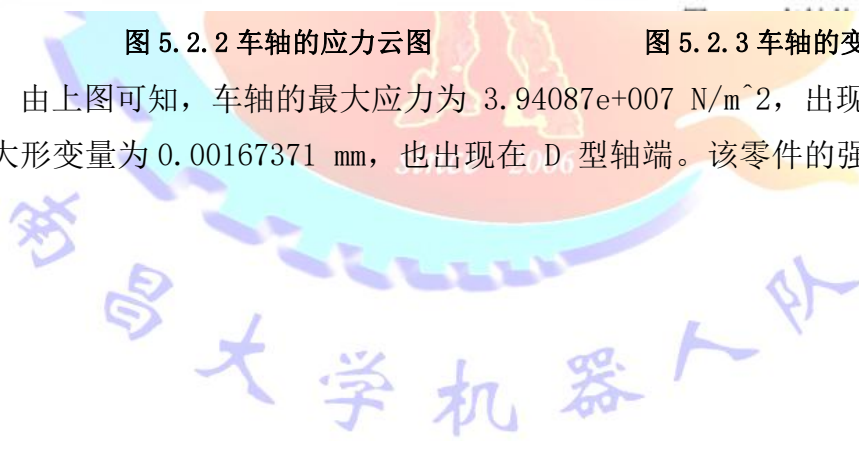


图 5.2.3 车轴的变形云图

由上图可知，车轴的最大应力为 $3.94087e+007 \text{ N/m}^2$ ，出现在 D 型轴端，最大形变量为 0.00167371 mm ，也出现在 D 型轴端。该零件的强度符合设计要求。



六、遗留问题

6.1 遗留的问题

1. 在发射机构的设计过程中，对影响弹道发散的因素分析不全，弹道发散现象明显存在，远程吊射不能达到好的效果；
2. 大弹丸供弹系统的出弹口和发射模块的进弹口，两者之间通过弹簧气管连接，在俯仰角和偏航角的极限位置仍然会出现子弹过度挤压的现象，会对云台的活动产生一定的影响，因此链路内无法塞满弹丸，造成供弹的效率较低；
3. 底盘轮系的设计，两个轴承支座的安装会存在同轴度问题，没有进行精确定位和调试；
4. 机器人设计在前期缺乏整体布局的思考，英雄车的重心相较于其他队伍仍然较高，质量也较大，在底盘功率限制的情况下机器的整体运动性能会受到影响。

6.2 设计者的话

很感谢大疆举办的 robomaster 赛事，让我们找到了真正热爱的事情，并为之奋斗青春。

英雄机器人的设计还存诸多不足，整个备赛期，我也多次浏览 robomaster 论坛，和很多队伍的参赛队员进行了交流，从很多帖子里吸收了他们的设计经验和机械图纸（华南师大的拨叉机构设计，让我少走了很多弯路；厦门大学嘉庚学院老哥的英雄设计思维导图，让我知道机器人的设计需要有清晰的全局观；微信群和 QQ 群里其他战队的设计经验和赛事资讯共享；在本队队员启发下设计的独具特色的循环供弹链路……）。在此对帮助过我的其他队伍队员以及论坛上开源资料的大佬表示感谢。

未来，我们大家会更努力！