

# 方形发射机构：一种板材堆叠的低成本发射机构和设计思路

张楚杰

zhangchujie00@gmail.com

赵旭东

1179083669@qq.com

梁伟聪

1223106253@qq.com

廖洽源

liaoqiayuan@gmail.com

广东工业大学 DynamicX 机器人队

日期：2021 年 8 月 31 日

## 摘 要

这篇文章介绍了一种板堆叠发射机构和设计思路：它是由多层的板料堆叠而成、内接触面为正方形的组合型发射机构；它制作成本低，结构设计简洁，并且采用铰制孔用螺栓连接，安装定位精度高；它应用在 RoboMaster 机器人发射结构中，实际测试后发射弹丸的精度与一体式内接触面为圆柱形的经典发射机构性能相近；它陪伴具有发射机构的机器人（步兵、哨兵、英雄机器人）参加了 2021 年 RMUL（广东站）、2021 年 RMUC 南部分区赛和全国技术交流，性能稳定。

**关键词：**RoboMaster，板堆叠发射机构，低成本易加工，机械设计

## 1 经典发射机构

在 RoboMaster 比赛中，对发射结构的设计大部分采取的是经典的以内接触面为圆柱形的结构，如下面介绍的官方 RMUA 步兵与上交开源步兵的发射结构。

### 1.1 官方 RMUA 步兵

在官方步兵车 2020 的发射机构中，如 **图 1** 所展示，其设计中采用了限位开关与下部的圆弧面添加 2 个定位面对弹丸进行定心，定位面如正视图中红框内所示，并且在侧面设计了荧光充能装置的安装位置，功能性高度集成在一体，使得整个零件结构比较复杂。

具有多种方向的不同特征，不利于机械加工，需要 3 轴以上的多轴数控铣床加工，考虑到实际成本，3 轴及以上定制件加工昂贵，一般不考虑。这可能是导致官方发射机构即便精度高也较少被参赛队伍大量使用的原因之一。

### 1.2 上海交通大学开源步兵

在上海交通大学 2020 开源步兵中，整体设计结构外形规整，相比官方发射机构更易于加工，如 **图 2** 所展示，上交采用的纯圆柱形的内壁结构，再结合利用单发限位对弹丸进行定心，零件

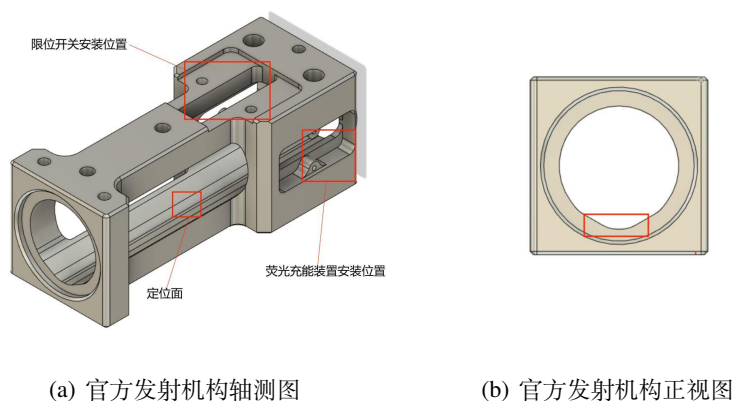


图 1: 官方步兵发射机构图

设计结构已经比较方便机加工，但由于内壁面为圆柱面，使得加工工艺要求变高，加工价格依旧比较昂贵，即便是在组队加工同一零件的情况下依旧需要 200-300 元/个的价格。

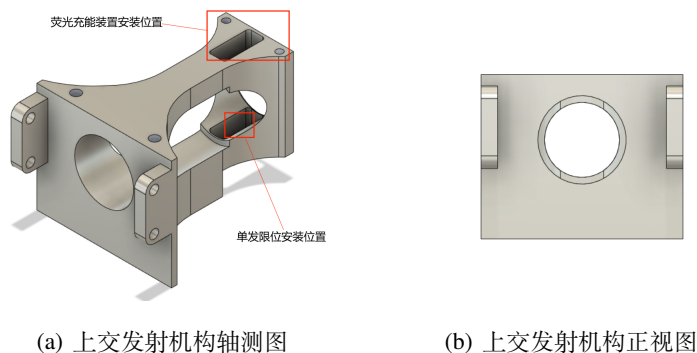


图 2: 上交步兵发射机构图

## 2 板堆叠方形发射机构

### 2.1 方形弹链

在各大学校具有发射机构的机器人设计方案中，绝大部分的弹链设计已经由打印件结构转变为板料结构。无论是在圆形通道或者是方形内通道中，弹丸与弹链为点接触，这样的认知使得大多数比赛队伍都舍弃了低强度的打印件弹链，而选择了高强度、结构简单的碳板弹链；如图 3 所展示的为英雄部分弹链，红框为内接触面，设计一样是把圆形轨道改造成方形结构。既然弹链可以用方形的，为什么我们不能用方形发射机构呢？面对这个问题我们提出了板堆叠的发射结构设计理念。

#### 2.1.1 基本结构

在 RoboMaster 比赛中，发射机构的本质是对发射弹丸进行定心，确保每颗弹丸经过发射机构接触摩擦轮加速发射出去前的位置都一致，如此得到高重复度的弹丸散布结果。下面讨论中

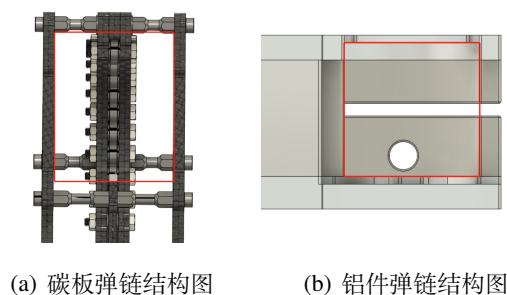
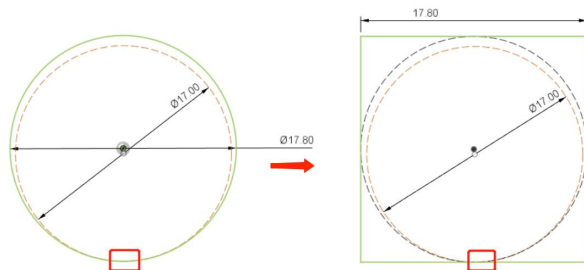


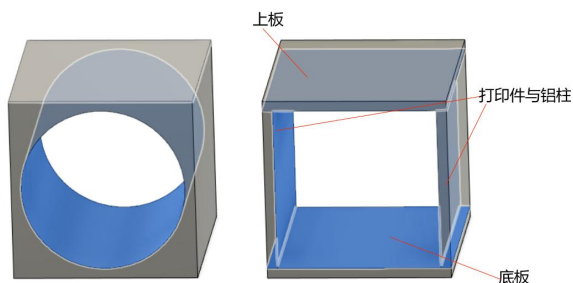
图 3: 英雄弹链展示图

的发射机构均为弹丸接触摩擦轮加速完成后不再触碰到任何部件的设计，发射弹丸的精度全部取决于弹丸接触摩擦轮时的位姿状态。

当将经典发射机构简化后，将内壁化成平面草图后，如 图 4(a) 所示，图中圆直径 17.8 mm 参考上交发射结构内壁数据，以中间通过 17 mm 弹丸为例。可以看出图片左边的圆与圆之间的接触点总是只有一个，即切点，如红框中所示；右边则是以对应 17.8 mm 的圆相切出的正方形为内壁接触面，可看出其与 17 mm 的圆的接触点也是一个，简化发射结构后发现，内壁为正方形或圆柱形与弹丸接触的点都为一个，即在本质理论上堆叠式和经典式的发射机构是一致的。后将草图拉伸为实体零件，再分割为几部分，如 图 4(b) 所示，后续设计完善得到：上层可设计为发射机构的上板，下层可设计为底板结构，侧板设计可成铝柱与打印件。



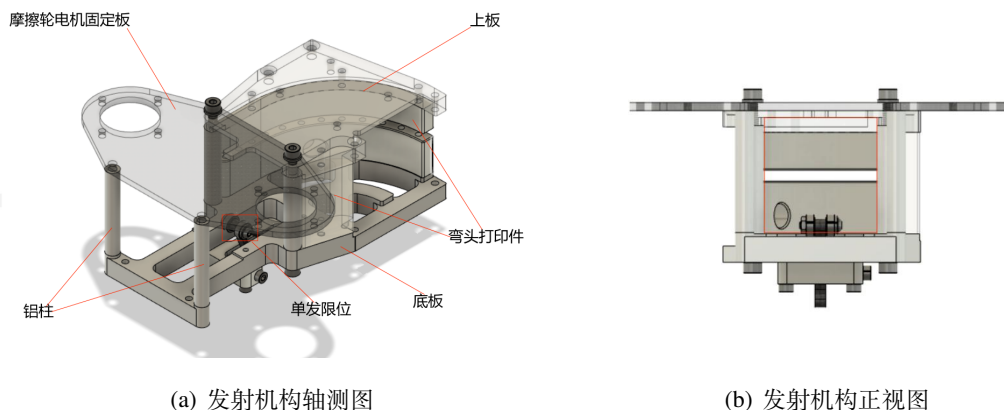
(a) 草图



(b) 拉伸实体图

图 4: 结构简化示意图

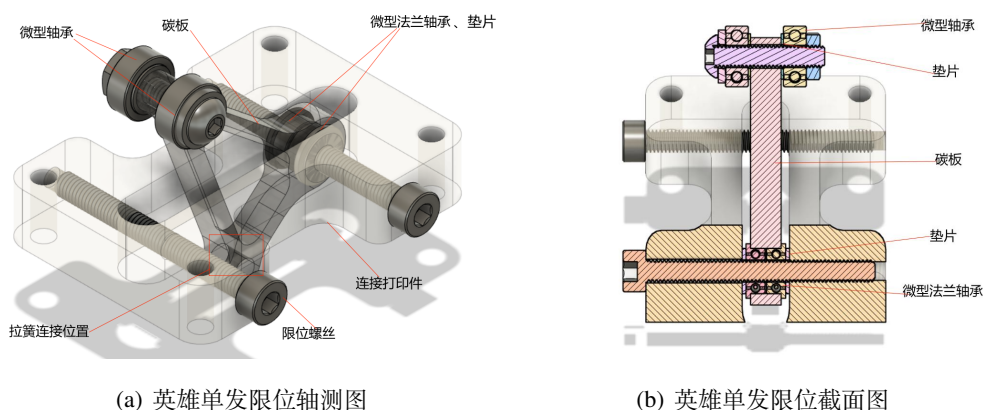
由上结论改变设计模型而成，如 **图 5** 所展示的为英雄发射机构，板堆叠发射机构具有高强度的同时，低成本易加工；整体结构为层层堆叠，弯头打印件内接触面（即左右侧面）为竖直平面，整体结构在去除连接的铝柱与摩擦轮固定板以后，只剩下上板、底板、打印件组成的正方立体空间与弹丸接触，如 **图 5(b)** 中红框所示，符合上述中简化的结果。



**图 5:** 英雄发射机构图

### 2.1.2 弹丸定心

弹丸无论在经典式或是堆叠式发射机构中，还是在官方发射机构中已描述过其定心方案，此处不再重述，这里主要介绍配套设计的单发限位结构来为弹丸定心。在 RoboMaster 比赛中部分设计的单发限位会利用一块片状的物体与弹丸接触，接触点为 1 个，接触面的平整度如何、是否在发射机构的正中心等都会出现较多的影响变量，导致发射精度的下降。



**图 6:** 英雄单发限位结构图

英雄 42 mm 单发限位结构如 **图 6** 所示，我们利用了 2 个微型轴承来对弹丸进行定位，可以使其具有 2 个接触点，在结合上板的平面与弹丸接触的 1 个点，使其具有 3 个接触点来完成弹丸定心，实现对弹丸位置的完全约束（弹丸自身滚动姿态不作讨论），并且利用滚动轴承使得弹丸接触时带来的摩擦力会变得更小，降低摩擦这一因数对发射精度的影响；同时给单发限位的碳板转轴加上了轴向定位。

如截面图所示，利用 2 个微型法兰轴承实现转轴的高精度，因找不到合适尺寸的塞打螺栓，故采用普通螺栓，但实测间隙很小可忽略不计，再结合利用垫片与整体打印件对其轴向定位，使得限位碳板在发射机构中的位置为左右中心，并且不会出现轴向的间隙，使其轴的转动具有高重复度，提高定心精度。

17 mm 发射机构单发限位如 图 7 所示，整体机构设计如上述英雄单发限位一致，不过由于尺寸明显变小，在接触弹丸的结构处，空间不足以安装 2 个微型轴承，故改用 1 个 U 型轴承代替，使用小垫圈垫高 u 型轴承两边，转轴使用滚花销直接敲进打印件，这样 u 型轴承中间的凹槽理论上可以卡住弹丸使其定位。

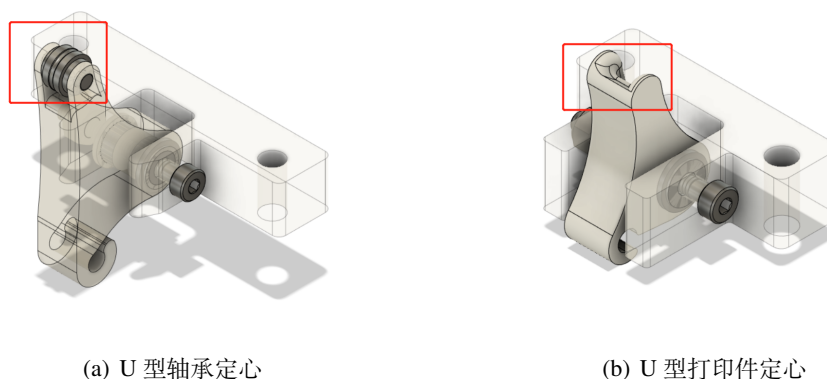


图 7: 17 mm 发射机构单发限位结构图

在实际测试中发现由于 u 型轴承的凹槽过小，定位弹丸的效果并不是很理想，反而过小的零件尺寸导致装配极其困难。另外这样的布置形式使得 u 型轴承很难流畅地转动，而且固定 u 型轴承的打印件两边厚度很薄，3D 打印很难打印出理想的效果，而就算打印出来后在高强度的测试下也很容易断裂。后来我们去除了 u 型轴承，修改打印件的相关参数和形状，直接利用 u 型的打印件来使弹丸定心，这样我们可以随意调整 u 型凹槽的大小，实际测试效果较好。

### 2.1.3 零件定位

对于板堆叠的发射结构，具有一个致命性的问题就是零部件数目过多，对安装的精度要求较高，由于普通的安装螺丝孔位一般为间隙孔，如 M 3 螺丝的安装孔位，按照机械设计中方便安装的目的，开孔需要直径 3.2-3.4 mm 范围内的间隙孔，这样的间隙对发射结构精度带来的影响是毁灭性的，故最后一定需要对其零件定位。

本设计采用的是定位销与铰制孔螺栓（塞打螺丝）对各层板类进行定位，如 图 8 所展示，图中红框内为铰制孔螺栓与销的定位孔，利用铰制孔螺栓的光轴起到与定位销一样的作用，同时利用铝柱进行板是竖直方向连接固定，实现固定与定位双结合。

安装时需要把铰制孔螺栓如定位销一样敲击进内，紧配安装。

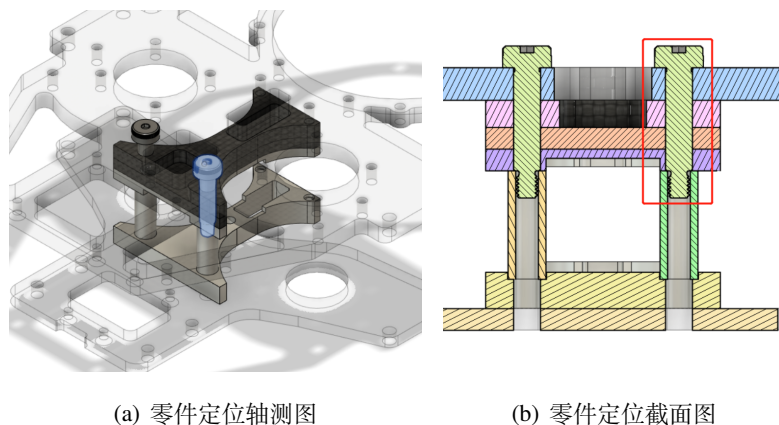


图 8: 零件定位展示图

### 2.1.4 加工工艺

板堆叠发射机构设计整体加工工艺需要 2D 雕刻和铣削，都可以通过一台常见的 3 轴雕刻机完成。

1. 2D 雕刻-设计使用板堆叠，所以主要的工艺为板料的 2D 雕刻，相对于一体式的发射机构更易加工，成本更低。
2. 铣削-对于部分设计里面需要阶梯平面的加工方式，如英雄发射机构的上板和底板铝件，使用 3 轴数控铣床即可完成加工。

### 2.1.5 射击测试数据

测试英雄发射命中率：连续发射 20 发弹丸，攻击 5 m 处大装甲板，命中率百分之百。

测试步兵发射命中率：连续发射弹仓中的 100 发弹丸，攻击 5 m 处小装甲板，不考虑受到反弹弹丸影响，命中率百分之百。

## 3 总结

该结构由方形弹链的衍生出的设计理念，一定程度上解决 RoboMaster 比赛中发射结构一体式、加工难度大、成本昂贵等问题，是一种合适 RoboMaster 比赛中经费较少并有自己的加工设备的队伍的发射机构设计方案。

## 4 致谢

感谢上海交通大学开源的步兵机器人，该开源机器人对我们的启发很大，本文所述机构是我们在一定方式某种意义上的改良。感谢机械组李钦鹏、黄瀚等其他正式队员以及伍将、余柏翰等梯队队员加工及安装步兵与英雄的发射机构。

## 参考文献

- [1] RoboMaster 官方. 【RoboMaster】RoboMaster AI 机器人 2020 标准版三维模型【RoboMaster 官网-RoboMaster 产品-机器人-AI 机器人】[EB/OL]. 2020. <https://www.robomaster.com/zh-CN/products/components/detail/2499>.
- [2] 交龙战队上海交通大学. 【上海交通大学】上海交通大学交龙战队步兵机器人机械技术开源【RoboMaster 论坛-科技宅天堂】[EB/OL]. 2020. <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11054>.