

机械传动 3D 打印机

李显涵

王子猛

苏兆文

向科润

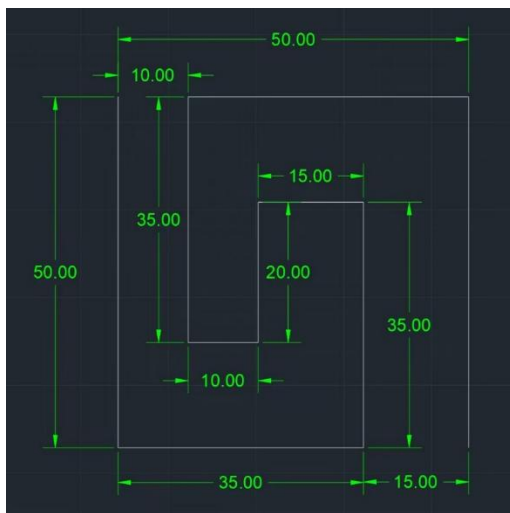
孙健玮 12012626

1 EXECUTIVE SUMMARY

为了发展我们的机械设计能力，熟悉从设计到制造的整个过程，我们的团队根据老师的要求设计和制造了一台具有动力传输系统和定位功能的手摇式 3D 打印机。在计算了打印机的工作空间，分析了机构上的力，并考虑到给定的行程规格后，我们决定采用悬臂结构，x 轴和 z 轴使用滚珠螺杆，y 轴使用皮带驱动。我们首先设计了 3D 打印机的整体结构，然后使用 SolidWorks 进行了应力模拟和分析，并设计了合适的连接器。随后，我们 3D 打印、切割并从制造商处购买零件进行生产和组装。最后，我们对整体布局和结构进行了优化，以达到预期的最终结果。

2 KEYWORDS FUNCTION, OBJECTIVE AND CONSTRAINTS

我们的手摇式 3D 打印机 x, y, z 轴的工作范围都是 250mm，具有动力传输系统和定位功能。该机构应采用手动驱动方式，机器应能够在 250mm×250mm×250mm 范围内定位空间坐标，并能在 2 分钟左右以 0.3mm 的精度绘制如下图形：



我们设计了 3 种传动方式，分别是齿轮传动、同步带传动以及滚珠丝杠传动，其中 x, z 轴使用的是滚珠丝杠传动，y 轴为了减轻悬臂载荷，我们使用了十分精巧的齿轮传动和同步带传动组合。同时，我们的 3D 打印机整体成本在 1000 元人民币以内，如果由更充足的预算，我们期望能设计一款并联机构 3D 打印机，以实现更好的精度以及稳定性。

3 CONCEPTUAL DESIGN

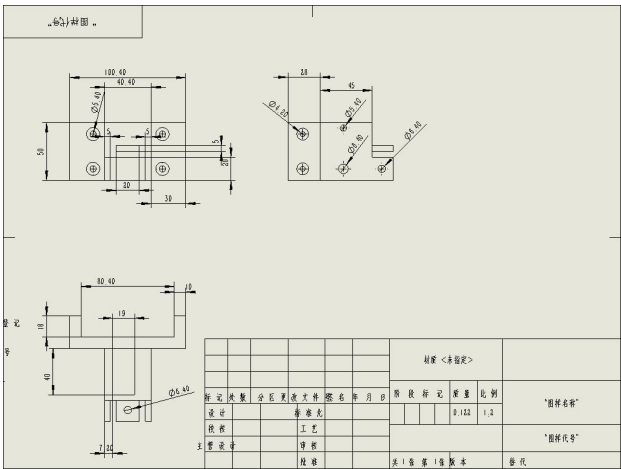
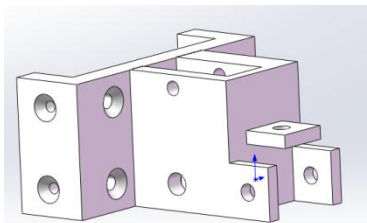
3.1 y 轴设计

y 轴采用了啮合式同步带的传动方式，外加一对减速齿轮使 y 轴上滑块的移动可以有快速和慢速两种调节方式。

y 轴的设计有三代，在这几代设计中均采用了 3 个打印件，接下来我将详细介绍我们的三代 y 轴设计。

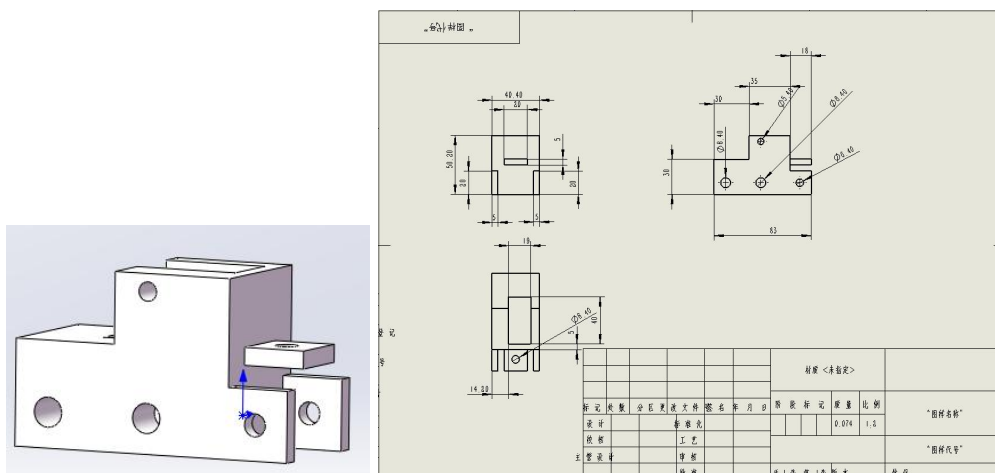
首先我们根据打印机行程要求和传动、支撑等机构设计选用了欧标 3030，厚度为 1.8mm 的铝型材。为留出一部分装配余量，y 轴选用型材设定长度为 400mm。根据我们所选型材的规格，型材边上的槽最窄处宽度为 8.2mm，同步带选用了宽度为 6mm 的 s3M 齿形同步带，购买长度为 1200mm。同样的，我们的同步轮初步选用 4 个，两个大轮外径最大处为 31mm，同步带槽宽 7mm，固定在轴上的内径为 8mm；两个小轮外径最大处为 16mm，同步带槽宽 7mm，固定在轴上的内径为 5mm。选用直径 8 长 70mm 与直径 5 长 45mm 的钢轴。减速啮合齿轮选用模 1 齿数 45 孔径 8 的从动轮与模 1 齿数 15 孔径 8 的驱动轮，因此得到两齿轮的中心距为 30mm，传动比为 3:1。此外还购买了型材配套垫片、M6 螺钉以及 T 型螺母以及配套手轮若干。

第一代的三个打印件为丝杠端皮带轮固定，远端皮带轮固定以及夹具。

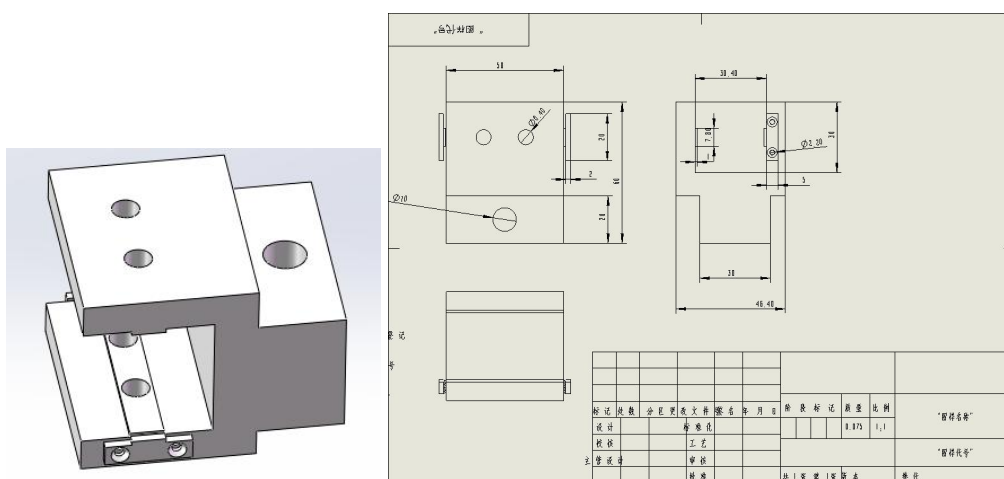


上图为丝杠端皮带轮固定的零件，左图零件的左侧可以用 4 枚 M5 螺钉和六枚 M4 螺钉固定在丝杠的滑台正面与侧面。最右端的三片突起是可以三枚 M6 螺钉和 T 型螺母固定在铝型材的一端。靠中间的上下两个孔作为插轴承的孔洞，用来支撑手轮、同步带轮等。

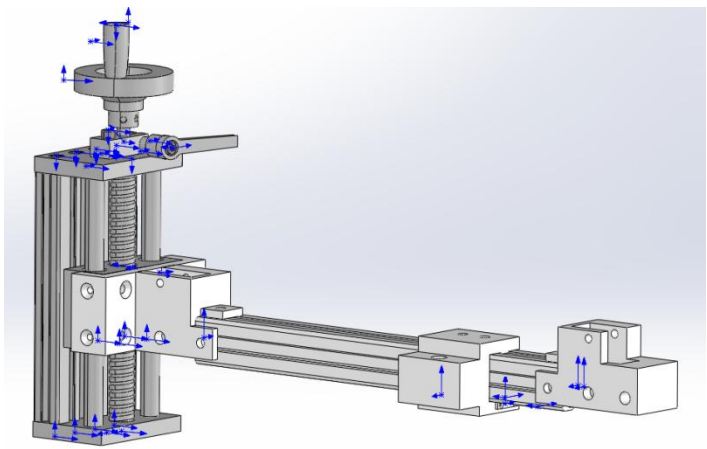
零件中间缝隙用来放同步带轮，轴穿过两侧的孔洞，并将同步带轮固定在里面。同步带从此零件的上下侧通过。



上图为 y 轴远端皮带轮固定的零件，最右端的三片突起是可以用三枚 M6 螺钉和 T 型螺母固定在铝型材的一端。靠中间的上下两个孔作为插轴承的孔洞，用来支撑同步带轮。左下两个 8mm 的孔间隔 30，其在零件外侧还用来配合减速齿轮，减速齿轮中的从动轮与同步带轮同轴，与其啮合的驱动轮固定在最左侧孔的轴上，与手轮同轴。同步带轮固定方法与同步带的走法与上个零件相同。

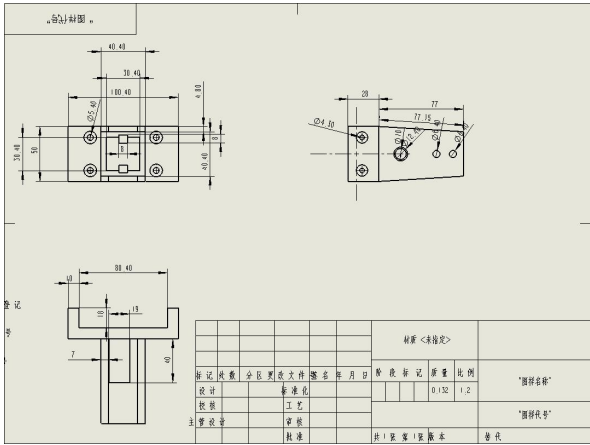
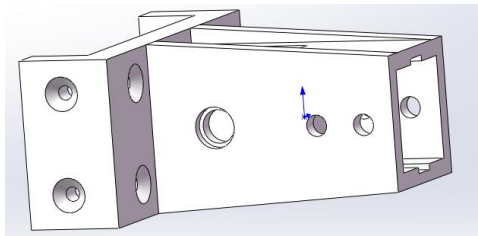


上图是 y 轴滑块的设计，型材从中间的槽穿过，上下四个孔洞用 M6 的螺丝将弹珠螺母卡到型材的槽内部，让螺母中的弹珠滚动。两侧的小片为同步带夹，将同步带拉紧后夹在小片与主体之间即可固定。右侧的 10mm 大孔用于固定喷头（中性笔）。

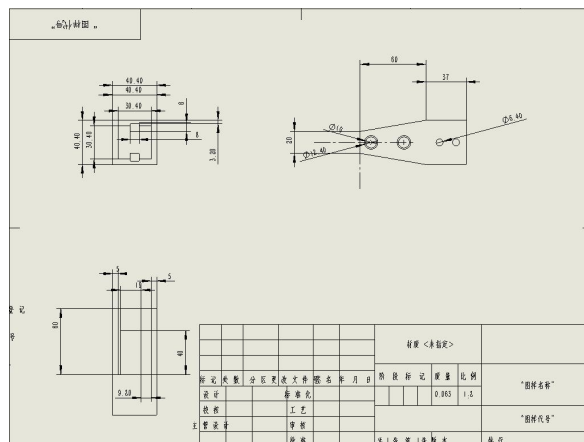
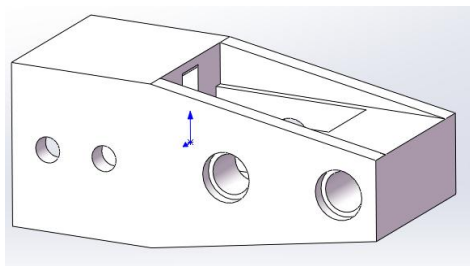


上图为第一代 y 轴整体外观效果，由于第一代设计的模型不够紧凑，且固定在型材两侧的设计无法承重，用弹珠螺母作为滚轮，用型材作为导轨的效果不好，8mm 的转轴和孔固定得太紧转动困难，因此进行了迭代。

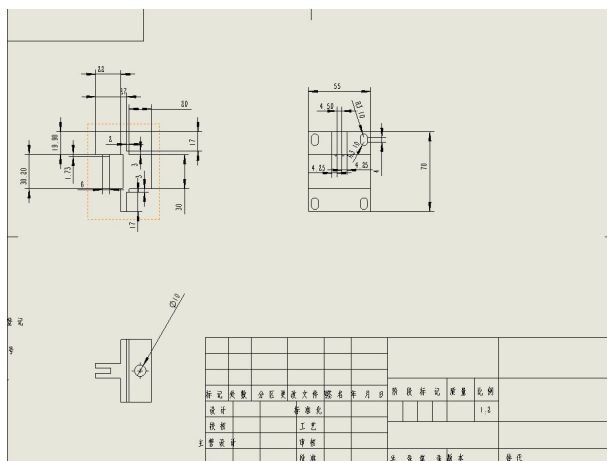
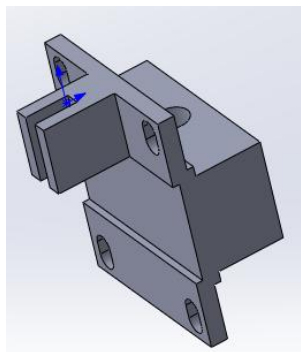
第二代的 y 轴去除了两个小的同步带轮，只保留了两个大的同步带轮，并在 8mm 转轴与打印件的配合处增加了 MF128zz8*12*3.5 的小轴承，滑块与型材配合方式换用了小轮子，同步带从型材内的凹槽通过。



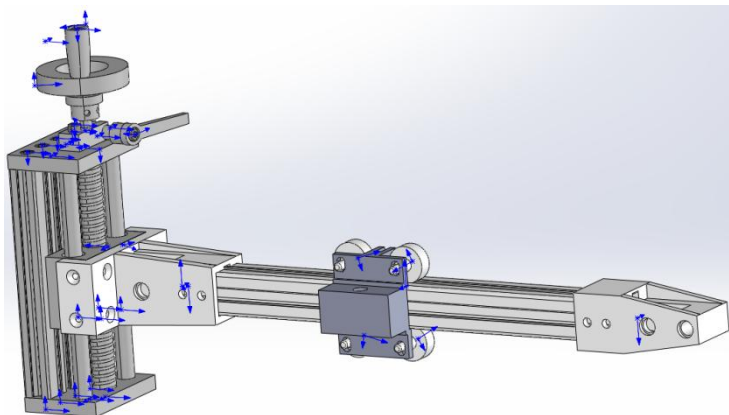
上图是丝杠端端皮带轮固定的零件，其固定在丝杠滑台上的方式与上一版相同。为了不影响上下两面型材的凹槽中同步带的运动，零件右侧的固定在型材上的螺钉孔全部开在了左右两个侧面，固定 8mm 转轴的孔内部直径 10mm，靠近外侧的地方有个直径 12.40mm 的同心圆柱凹槽，这是为了在两边的外侧卡住两个轴承，使 8mm 的转轴能在这个位置周向自由地转动。在零件内侧还有两个专门为同步带开出的两个孔，装配上型材后正好对着型材上下两个凹槽。在两侧还加了四根加强筋来加固此零件。



上图为 y 轴远端皮带轮固定的零件，与型材端固定思路和同步带走线思路与上一个零件相同。初去掉了小同步轮外，该零件在固定齿轮、手轮、轴和同步轮的思路与前一版类似，不同点同上一个零件一样，留了空间让轴承去承载转轴。

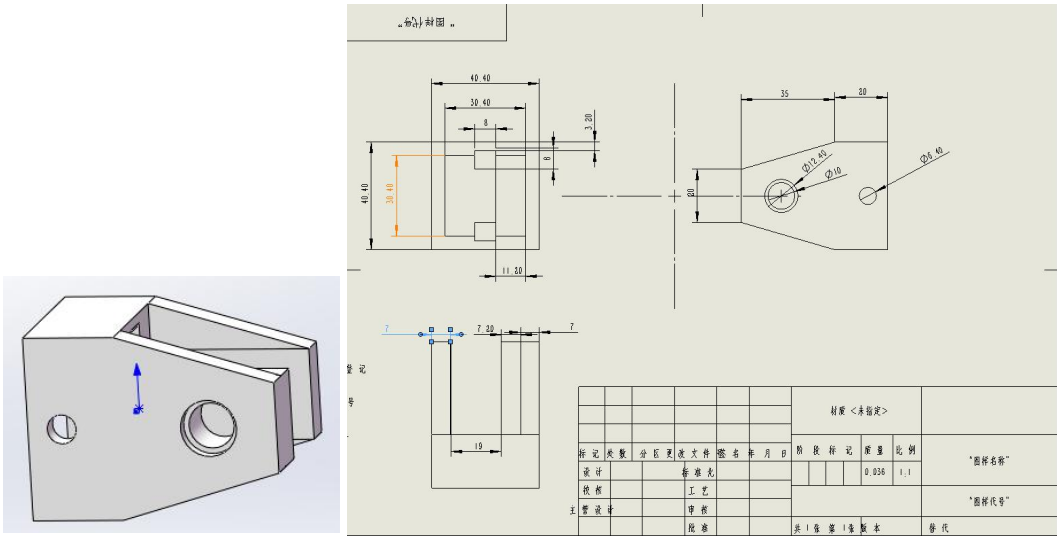


上图是 y 轴滑块打印件设计。夹喷头的部分与上一代一样，从背面看凹槽部分是型材的轨道，四个槽孔用来固定四个轮子，轮子对准并夹紧型材上的凹槽即可实现滑块功能。背面的突起用来夹住同步带，两边的同步带合并在一起从下面穿进中间的缝隙并用扎带在上面捆紧，同步带即可被固定和张紧。

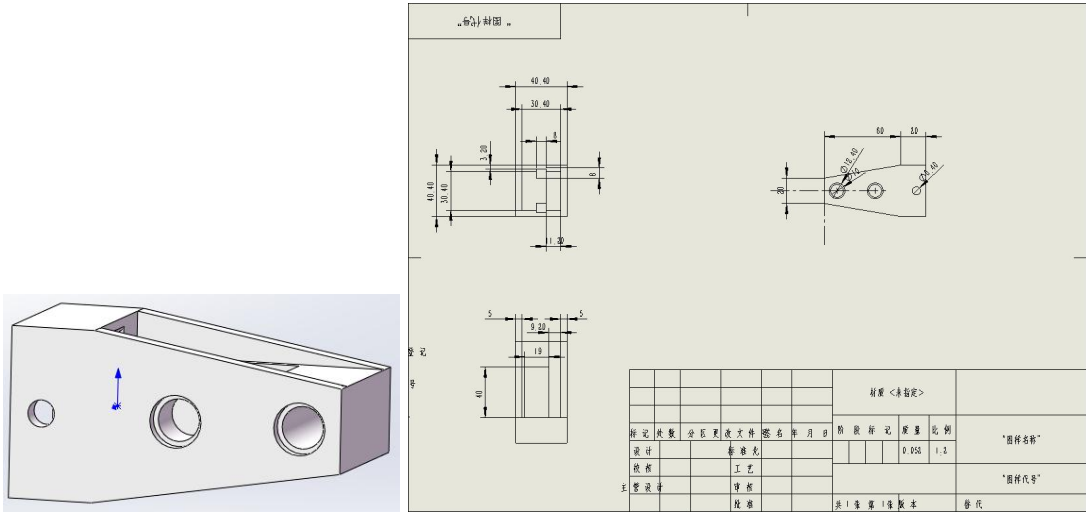


上图为第二代 y 轴整体外观效果，其在滑块效果、机构紧凑度和打印件承重效果都优于第一代，在轴传动这一部分已经性能良好。但是，它在与丝杠的滑台固定方面，打印件强度明显不足，y 轴末端会出现往下坠的情况。

针对此问题，我们换了一种固定 y 轴的思路，将 y 轴型材的侧面固定在丝杠滑台德侧面，将无齿轮对的一端放到 y 轴远端，把减速齿轮对放到丝杠后侧作为近端，以平衡丝杠前后两侧的力矩。这样做要重新设计一个固定同步带轮的零件，并再设计一个能在侧面固定丝杠滑和型材的零件。

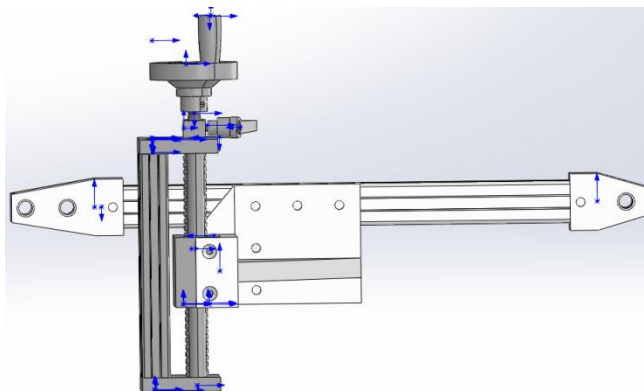


这是最终的远端皮带轮固定的零件，我们将这一个没有啮合齿轮的机构放到了型材上离丝杠远的一侧，并精简了其结构：由于不再需要承受大量重力，我将左侧的固定在型材一端上的孔减少为 2 个，左右两侧各一个。



这是最新版的近端皮带轮固定零件，其相较于上一版的远端皮带轮固定，除了将位置更改到丝杠的后侧以外，也是精简了与型材一端配合的结构。

y轴滑块相较于上个版本没有变换。此外还增加了一个y轴丝杠侧面与丝杠滑台侧面固定的打印件，下文将会详细介绍。



这是最终版的y轴整体效果（滑块已省略），其相较于前一版解决了y轴固定在丝杠滑台上的问题，让y轴能稳定地与z轴丝杠保持垂直关系。滑块的正面（喷头端）应朝着此视角内型材的背面，这样滑块行程就不会被将丝杠与y轴固定的打印件干扰。

3.1 z轴设计

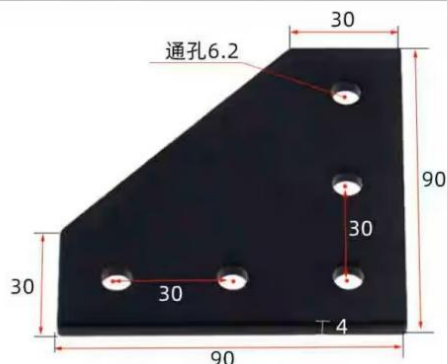
我们的z轴直接采用了一套行程为350mm的滚珠丝杠、导轨和滑台组成的运动模组。设计时只需要将这个套件的滑台与y轴固定，底面与打印机的底座型材固定即可。

3.3 y轴与z轴固定设计

我们总共设计了两版y轴与z轴固定的结构，第一版是与近端皮带轮固定件一体的设计（参考上文y轴设计第1-2版）。由于该打印件实际加工出来的承重效果不好，让y轴远端下坠，我们放弃了这一款设计。

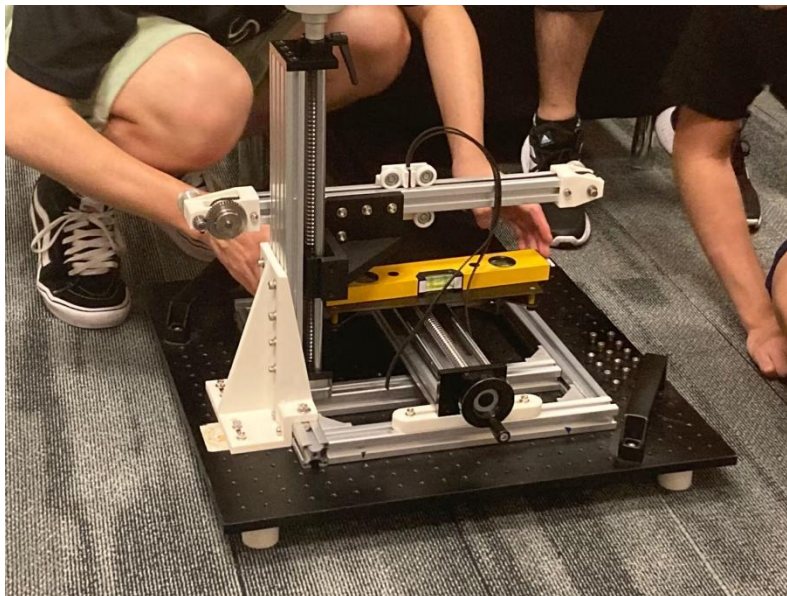
第二版的设计是将y轴型材的侧面固定在丝杠滑台的侧面，打印件和型材侧面之间还夹着下图的金属加强件来辅助承重。

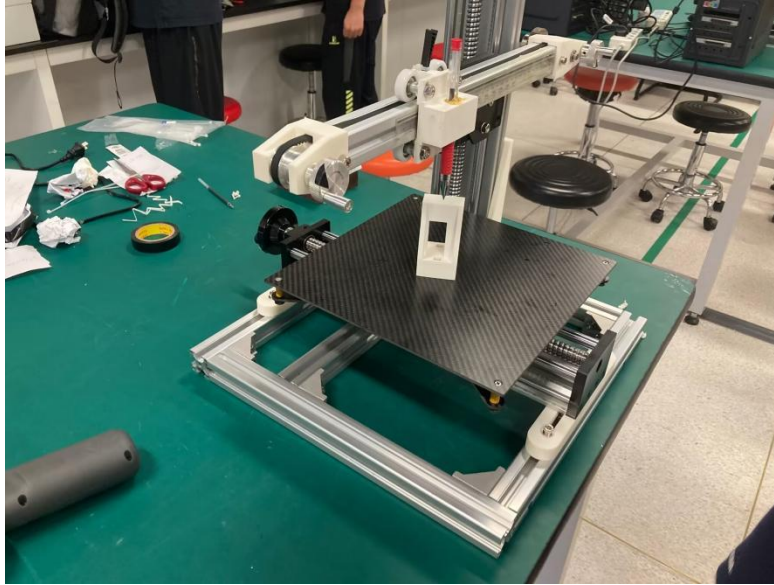
名称：铝合金连接板 表面：黑色
规格：3030L型5孔 材质：铝合金
用途：用于国欧标3030型材L形加固连接



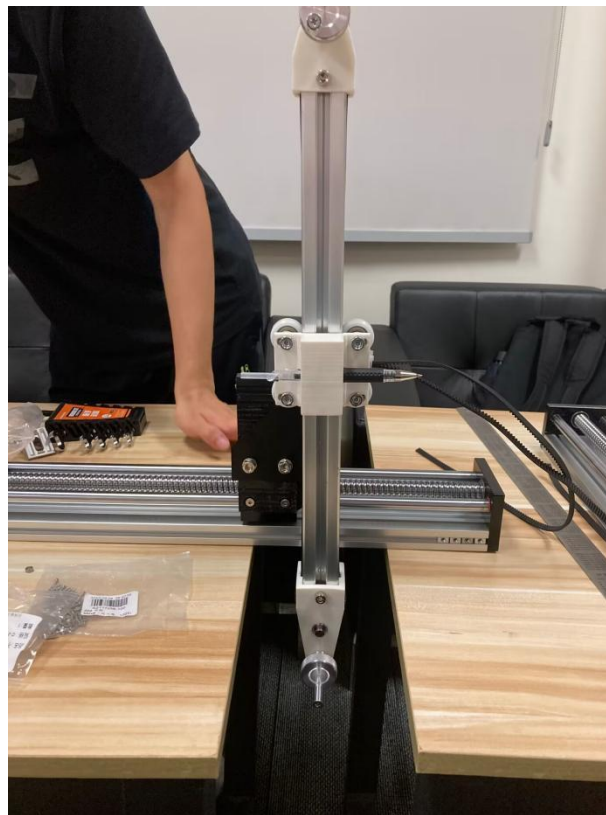


5 DETAILED DESIGN





5.1 y 轴设计



最终版本的 y 轴打印件已经在上面介绍，因此不再一一赘述。最终版的 y 轴设计装配布局上，将近端皮带轮固定件上质量较大减速齿轮对附着的面朝向丝杠，而将质量较小的铝制手轮朝向外侧。这样做的目的是尽可能降低丝 z 轴杠侧向的力矩负担从而降低其底部固定零件的设计复杂度。手轮和减速齿轮对放在打印件的不同两侧是为了尽可能让它们在

操作时不相互干扰。滑块轮子选择轴向厚度为 10mm 的小轮子，相比型材侧面较大的外侧沟槽 10.2mm 宽度相比几乎一致，而大于内侧沟槽较小处的 8.2mm，y 轴滑块在装配时应用轮子夹紧型材沟槽，这样的选型和装配可以最大程度降低滑块的抖动程度。喷头的固定则是将 0.5mm 笔芯装到中性笔壳中并塞入夹具的 10mm 通孔中，然后用热熔胶固定起来。y 轴型材侧面固定位置则需要测量出 y 轴滑块活动行程大于要求的 250mm，而后方的近端皮带轮固定件也不能干扰到丝杠的正常活动。最终经过测量并固定定下最终位置，y 轴总行程约为 255mm，符合要求。

减速齿轮对的减速比为 3:1，经过进一步计算，近端皮带轮固定件上的慢速手轮每转动一周滑块和喷头行进约 31.42mm，远端皮带轮固定件上的快速手轮每转动一周滑块和喷头行进约 94.25mm。

6 TEST

速度测试：

我们分别对 x，y，z 轴测试了极限速度，即在保持一定稳定性的情况下，以最快的速度摇动手轮，从行程的最小值移动到行程的最大值。我们使用的设备是戈顿秒表计时器 C-HY-XL011，分别对 x，y，z 轴测试了三次并求平均值，x，y，z 轴的使用时间分别是 12s, 5s 和 13s。可以看出 y 轴因为使用的是齿轮传动和同步带传动组合，用时最少。x 轴和 z 轴都使用的是滚珠丝杠，用时接近，而 z 轴因为重力的影响会稍微慢一些。

精度测试：

随后我们分别对 3D 打印机的 x，y，z 轴进行了精度测试。首先，我们放置了 5 组不同高度的长方体在 3D 打印机的工作台上，我们通过毫米级精度直尺测量长方体的高度，随后将高度调整的相应位置，5 组测试笔尖正好触碰到纸面，可以自如书写不断水，精度满足要求。接着我们再次将 x，y 轴从行程的最小值移动到行程的最大值，测量纸面上的直线精度，我们同样是测试了三次并求平均值，x，y 轴的精度分别是 0.1mm 和 0.2mm。可以看出 x 轴因为使用了滚珠丝杠精度要比 y 轴更高。

稳定性测试：

最后为了防止比赛当日有特殊情况发生，我们还对 3D 打印机进行了稳定性测试。我们设计了 3 种测试方法，即 3D 打印机正常工作时，对桌子进行晃动、对操作人员进行轻微干扰、使用不平整的纸面进行书写。首先，对桌子进行晃动后，我们的 x 轴书写方向并未出现肉眼偏差，但是 y 轴出现了轻微抖动的迹象。随后对操作人员进行轻微干扰，并未出现任何问题。最后我们使用不平整的纸面进行书写，长方体因为与工作台的摩擦力小于与笔尖的摩擦力而出现了轻微位移。因此，我们的 3D 打印机整体稳定性较好，但仍有提升空间。

7 OPTIMIZATION

在测试时，由于未标记手轮的旋转方向，导致在控制滚珠丝杠滑台向某方向运动时，可能出现朝反方向旋转手轮的情况，导致滑台运动方向与预期相反，因此我们在手轮上粘上黑色胶带用以标记手轮旋转方向与滑台运动方向，避免正式测试时出现上述错误。

由于 y 轴直接固定在 z 轴上且只有一段固定，当快速转动 y 轴手轮时，可能引起轴的抖动，导致笔画出的轨迹出现波形。因为我们直接将刻度贴在 y 轴上的，因此可以直接手动调整 y 轴滑块的位置，这样能够减少抖动，增强稳定性，提高打印机精度。

在控制笔的书写时，由于 z 轴存在一定的定位误差，且人工设定笔尖与纸面的距离，可能使得笔尖与纸面接触不够，导致笔尖移动时不能在纸上留下墨迹，也可能笔尖与纸面过度接触，导致笔头与纸面摩擦力过大，笔尖移动时带动放置白纸的长方体物块一起移动，最后导致测试失败。对此我们在笔芯末端增加了一个弹簧，这样在设置笔尖与纸面距离时可以稍微靠近两者，以保证两者接触，同时避免了两者接触压力过大的情况。改进后测试结果显示，在笔芯末端增加能够避免笔头与纸面接触不足和过度接触的问题。

8 CONCLUSION
