

哈爾濱工業大學

基于项目学习的毕业设计 项目进展报告

项目名称：复合滑台式腹腔镜微创手术机器人结构设计及分析

院（系）	机电工程学院
专 业	机械电子工程
学 生	王啸龙
学 号	1143340109
班 号	1408504
指导教师	于洪健
日 期	2018.03.24

哈尔滨工业大学机电工程学院

2014 年 9 月制表

说 明

一、进展报告应包括下列主要内容：

1. 阶段计划要点和调整情况；
2. 研究工作主要进展和阶段性成果；
3. 下一阶段工作计划；
4. 经费使用情况与下一阶段经费预算；
5. 项目执行过程中存在的问题及解决措施；
6. 论文按时完成的可能性。

二、报告的电子版请通过《机电学院本科毕业设计管理系统》上传，
由指导教师在线评阅。

三、报告需用 A4 纸双面打印，左侧装订，统一交所在院（系）保存，
以备检查。

四、此说明页不得删除。

报告正文

1 阶段计划要点和调整情况

截至目前，我们的项目已经完成了如下部分：

- 1.复合滑台式远心机构的提出；
- 2.远心机构实例的筛选；
- 3.结构方案的筛选；
- 4.运动学建模、仿真与验证；
- 5.求取操作空间。

在这些工作进展的同时，我们的工作方向发生了少许的改变，与开题定的目标相差不大，具体改变如下：

1.毕设题目修改为复合滑台式微创腹腔镜手术机器人设计及分析。这是因为设计作品的最大创新点在于增加了复合滑台的特性，尽管在设计过程中仍保留了小型化的特点，但与前者相比，小型化的特点并不显著；

2.毕设论文类型修改为综合型。这是由于本次设计不单单是机械设计及分析，还涉及到机构的创新、建模、仿真、设计计算等过程，即包含了工程设计型和理论研究型的特点，根据机械类专业本科毕业设计（论文）要求，论文类型应修改为综合型。

2 研究工作主要进展和阶段性成果

针对本次设计要求，我们提出一种复合滑台式平面远心机构，其机构原理图如图 1 所示。

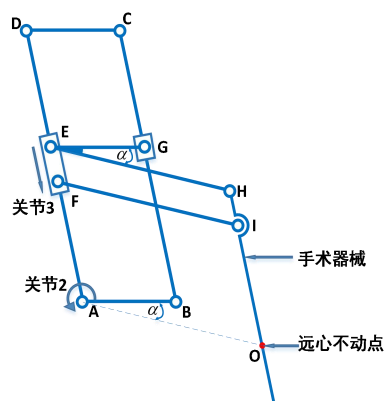


图 1 远心机构

目前使用较广泛的远心机构，将主动驱动的移动副，置于双平行四边形末端，而本次设计的机构，创新点在于，将移动副移至主平行四边形和副平行四边形之

间,使副平行四边形与手术器械一起相对于主平行四边形移动,使结构更加紧凑,这将带来结构设计上的一系列改变。

该手术机器人具有 3 个独立的主动运动关节:

(1) 关节 1 为回转关节,实现微器械绕腹壁创口点的单自由度转动可由环形的转台或臂式结构实现;

(2) 关节 2 为回转关节,实现微器械绕腹壁创口点的单自由度转动,关节 1 与关节 2 可实现微器械绕腹壁创口点的两自由度转动,为微创手术提供倒锥形手术操作空间。

(3) 关节 3 为移动关节,可根据手术需要调整微器械在倒锥形操作空间的位置,构件 EF 沿轴线 AD 的移动可由滚柱丝杠实现,滑块 G 沿轴线 BC 的移动可由滚动导轨实现,构件 HEG 的作用在于约束丝杠螺母绕轴线 AD 的旋转运动。

现在假设 $DE=CG$, $EH//FI$ 恒成立,具体实现方式在下文进行说明。下面将对平面远心点的确定做数学推导。

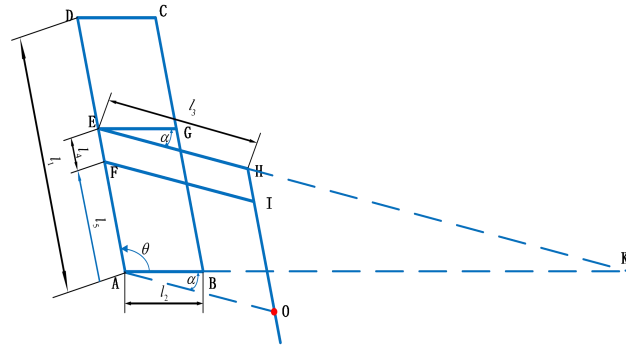


图 2 构件尺寸标注

各构件尺寸如图 2-3 所示,其满足的关系如下:

$$l_{BC} = l_{AD} = l_1, l_{AB} = l_{CD} = l_{EG} = l_2;$$

构件 EH 与构件 EG 固连,其夹角设为 α ,并且满足

$$l_{EH} = l_{FI} = l_3, l_{EF} = l_{HI} = l_4;$$

点 O 为空间中一不动点,满足

$$l_{AO} = l_3, \angle BAO = \alpha;$$

由于 $AD = BC$, $CD = AB$, 实现 $\square ABCD$, 这里称 $\square ABCD$ 为主平行四边形;
由于 $EH = FI$, $EF = HI$, 实现 $\square EHIF$, 这里称 $\square EHIF$ 为副平行四边形。

由主平行四边形 ABCD 和副平行四边形 EHIF 即可得到平行四边形 FIOA，其中点 O 即为远心点，下面是其证明过程：

由于 $DE = CG, DC = EG$, 因此 $EG \parallel DC$;

由于 $AB \parallel CD$, 可得 $AB \parallel EG$, 进而 $\angle GEH = \angle EKA = \alpha$, 因此 $\angle EHK = \angle KAO$, 故得到 $EH \parallel FI \parallel AO$ 。

现在以点 A 为原点，以 AB 为极轴，建立极坐标系，其中 l_5 与 θ 为独立变量，则可得：

$$\vec{AF} = l_5 e^{i\theta}, \vec{FI} = l_3 e^{-i\alpha}, \vec{AO} = l_3 e^{-i\alpha};$$

$$\vec{AE} = (l_4 + l_5) e^{i\theta}, \vec{EH} = l_3 e^{-i\alpha}, \vec{AO} = l_3 e^{-i\alpha};$$

$$\text{由于 } \vec{AO} = \vec{AF} + \vec{FI} + \vec{IO}, \vec{AO} = \vec{AE} + \vec{EH} + \vec{HO}$$

$$\text{因此 } \vec{IO} = -l_5 e^{i\theta} = l_5 e^{i(\theta-\pi)} \text{ 且 } \vec{HO} = (l_4 + l_5) e^{i(\theta-\pi)};$$

$$\text{因为 } \vec{HO} = \left(1 + \frac{l_4}{l_5}\right) \cdot \vec{IO},$$

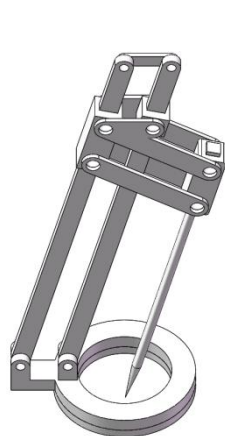
所以 H, O, I 共线；

这表明在两个独立变量 θ 与 l_5 的作用下，手术器械的轴线 HI 总会经过空间内的固定点 O，且轴线上任一点的运动由下列两种运动复合而成：

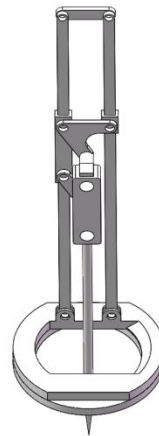
- (1) 绕点 O 的转动，角度改变值为 θ ；
- (2) 过点 O 且沿轴线方向的移动，长度改变值为 l_5 ；

这恰为平面远心机构的特点，因此点 O 为远心点，证明完毕。

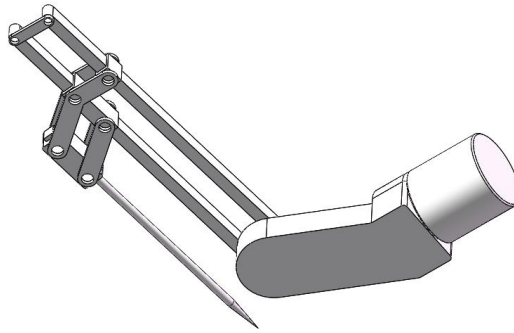
关于上面提出的远心机构关节 1，我们提出 3 种实例，如图 3 所示。



a) 单侧转台式



b) 跨轴转台式



c) 臂式

图 3 机构的三种实例

(1) 单侧转台式的特点：如图 3a) 及图 4 所示，单侧转台式采用一对双平行四边形对称布置，可以保证手术器械的对中特点，并能提高系统的刚性，但由于两个大臂必须置于转台一侧，因此两臂间的距离较短，两臂的干涉将导致手术器械的运动范围大大减小，同时两臂由于距离较近，在结构实现上难度也较大。

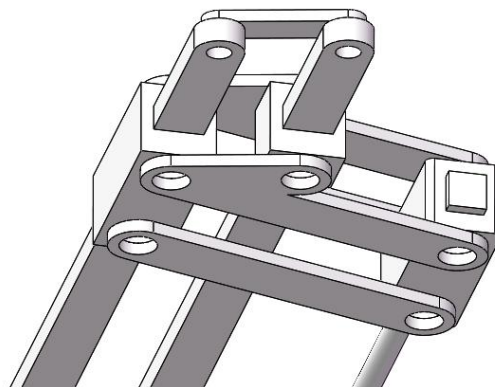


图 4 对称布置的两个双平行四边形

(2) 跨轴转台式的特点：如图 3b) 所示，由于双臂可以跨轴布置，因此双臂间的距离可以较大，进而手术器械的运动范围可以进一步加大，由于采用转台式，故可以保证结构的小型化，考虑到杆件的尺寸因素，应设置合理的尺寸，以保证手术器械的轴线与转台的转轴相交于远心点。

(3) 臂式结构的特点：如图 3c) 所示，臂式结构使用较普遍，该结构可以保证系统具有较大的刚度，以及较大的操作空间，但其结构尺寸较大，难以实现我们小型化的目标。

综上所述，考虑到结构的小型化，以及合理的手术操作空间，我们决定采取图 3b) 的跨轴转台式机构，为保证两个假设条件成立，我们对该机构进行了下文所示的演变。

现在回顾上文提到的假设条件： $EH//FI$, $DE=CG$ 恒成立。

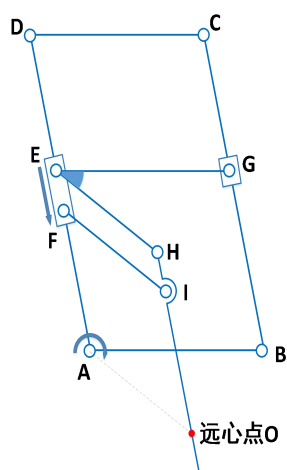


图 5 跨轴转台式远心机构简图

(1) EH//FI 的实现方法

之所以会有这个假设，是因为当副平行四边形相邻两边重合时，接下来的运动将出现不确定性，要么仍保持平行四边形结构，如图 2-7a) 所示，这正是我们希望出现的结果；要么呈 8 字形结构，如图 6b) 所示，但这是我们不希望看到的。

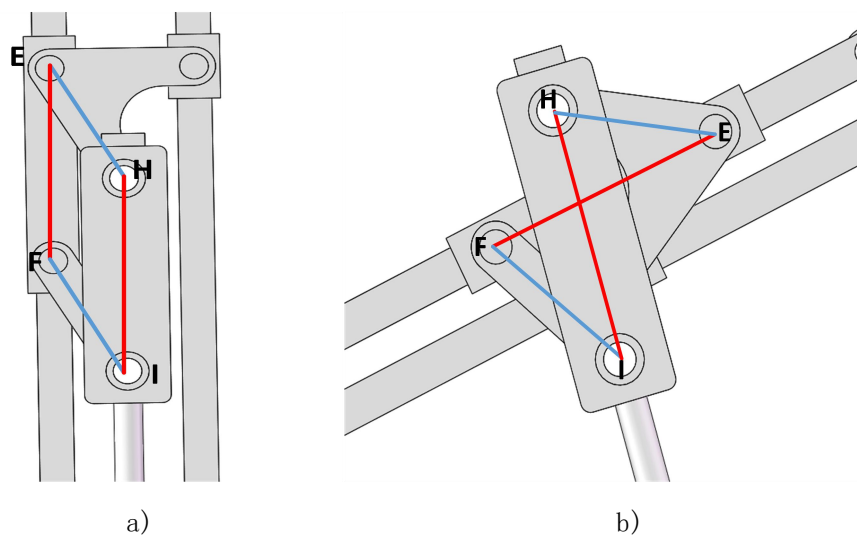


图 6 副平行四边形相邻两边重合时机构运动的不确定性

解决该问题的措施是，利用另一个平行四边形作为冗余机构，来限制该运动的结果，使之只能形成平行四边形，改进机构如图 7 所示，这里假设 $DE=CG$ 仍成立。

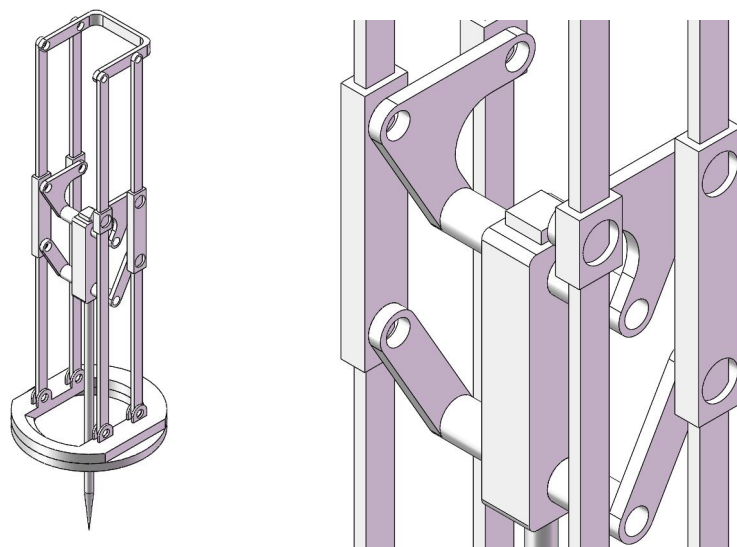


图 7 改进机构

当 EH 与 EF 重合时，改进后的机构工作位置如图 8 所示。此时由于杆件的尺寸关系， $E'H=EH=FI=F'I$ 且 $E'F'=EF=HI$ ，故 $E'HIF'$ 亦为平行四边形结构，因此 $HI//E'F'$ ；在主平行四边形的约束作用下， $E'F'//EF$ ，故可知 $EF//HI$ 仍成立，这表明，当一个副平行四边形处于奇异位置时，另一非奇异位置的副平行四边形可保证该机构正常工作，这是此冗余机构的作用，也是本次设计的一个创新点。

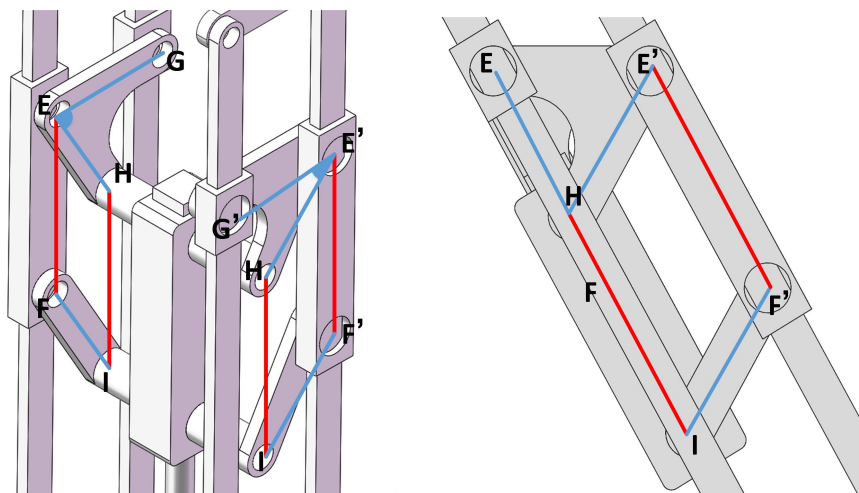


图 8 副平行四边形相邻两边重合的情况

(2) $DE=CG$ 的实现方法

之所以会有这个假设，是因为若 $DE=CG$ 不成立，则在每一时刻，G 都有两种可能的存在位置，如图 2-10 所示。即使初始位置通过外部措施保证 $EG//AB$ ，但当机构运动至 $AD \perp AB$ 时，接下来的运动仍具有不确定性，这表明该位置为一奇异位置，并且是工作中必须经过的位置。这个问题很难从机构的角度得到解决，因此我们将试着通过其他途径解决这个难题。

我们这里有两个方案：

方案一：通过两个电机分别驱动两个滚珠丝杠，实现 $DE=CG$ ；

方案二：利用一个电机通过传动机构同时驱动两个滚珠丝杠，实现 $DE=CG$ ；

由于 $DE=CE'$, $DE \parallel CE'$

故 $DEE'C$ 为平行四边形

所以 $DC \parallel EE'$ 且 $DC=EE'$

因为 EH, HE', EE' 长度固定

可得三角形 EHE' 在工作过程是不变的

因此 $\angle E'EH$ 大小不变

令 $CD=l_1, EH=l_2, E'H'=l_3$, 则 $\alpha = \arccos(\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2l_1l_2})$

结合前面的证明过程，我们不难证明， O 为远心点。

注意，改进后的 EE' ，可等效视作图 5 中的 EG ，因为两者与 EF 间的夹角皆是固定不变的，只不过改进前通过构件 GEF 的尺寸保证该条件，而改进后，由于“长度固定的三条边若能形成三角形，则只能形成唯一的三角形”，这保证了该三角形每一内角的不变性，进而保证该条件；另外，应保证 $EH=E'H=FI=F'I$ ，这样利于接下来要进行的结构设计。

再结构实现上，我们提出两种设想：

方案一：使用滚柱丝杠与光杠配合。

图 10 所示的机构完全可以保证远心点的存在，但从结构的角度讲，系统的稳定性稍差些，为弥补这个缺点，我们将增加一部分辅助机构，来增强系统的稳定性，如图 11 所示，新增的移动关节通过光杠与直线轴承的配合实现。这样通过 solidworks 建出相应的实例如图 12 所示。基于此机构我们设计的结构如图 13 所示。

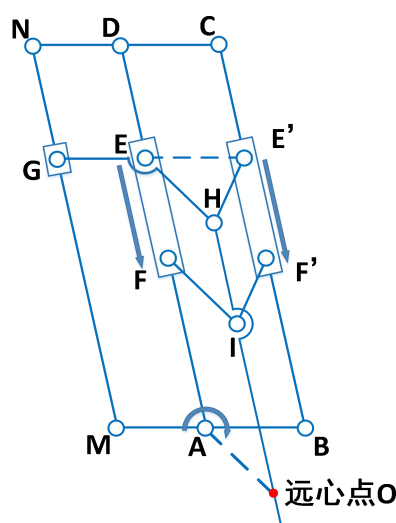


图 11 方案一的机构简图

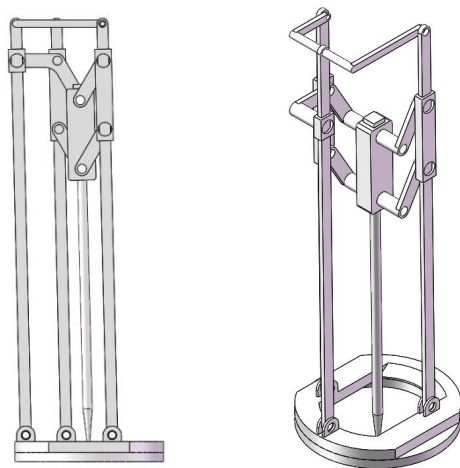


图 12 方案一机构模型

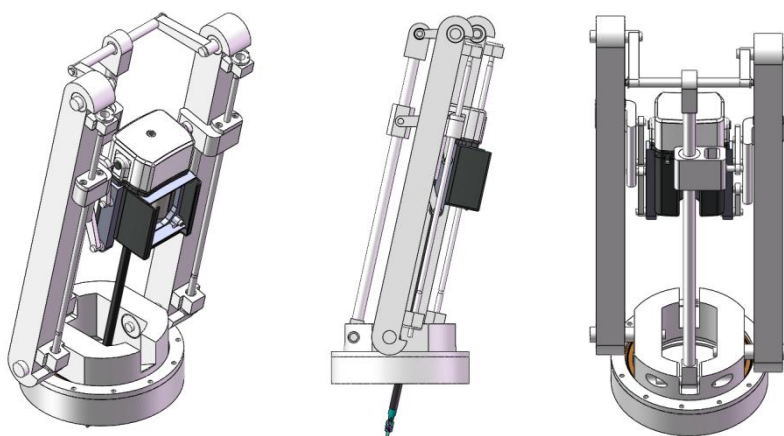


图 13 结构方案一的 solidworks 模型

方案二：使用单轴驱动器。

此方案使用单轴驱动器，其模型如图 14 所示。由于单轴驱动器皆为直线导轨和滚柱丝杠配合，因此无需增加光杠等辅助支撑，直接利用图 10 所示的机构简图即可。其机构模型如图 15 所示。这样通过 solidworks 建出相应的实例如图 16 所示。

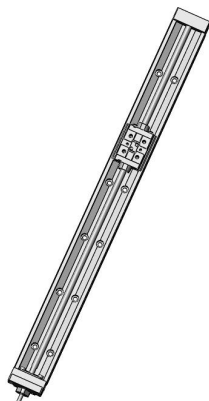


图 14 单轴驱动器

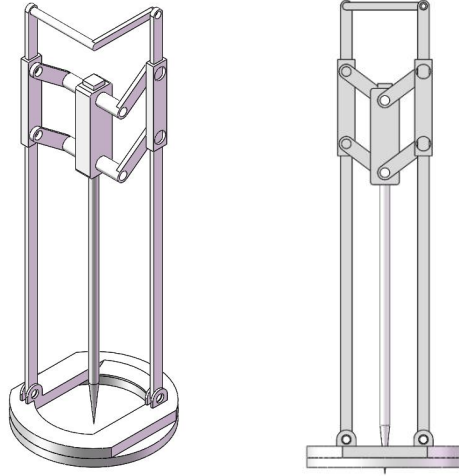


图 15 方案二机构模型

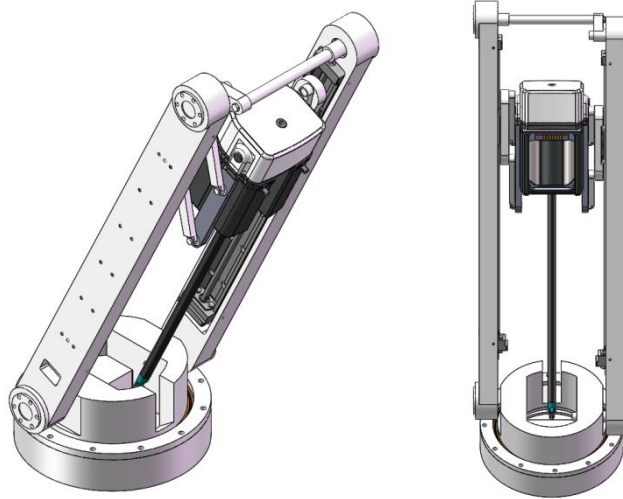


图 16 结构方案二的 solidworks 模型

结构方案一的一些零件，由于其特殊作用，导致其工艺性较差；并且由于光杠的存在，导致其整体尺寸较大，综合以上因素考虑，我们选择方案二进行接下来的研究。

接下来进行运动学建模，这里采用的仍是普遍使用的 D-H 法，本次设计选择前置法建系，如图 17 所示。远心点相对基座是静止，三个关节轴线 A_1, A_2, A_3 皆通过远心点。由于使用前置法建系， $\sum O_1$ 原点建立在远心点处， z_1 与 A_1 同向， x_1 与连杆长 l_1 同向，即 A_1 与 A_2 公垂线方向，利用 $y = z \times x$ 可得 y_1 方向；同理，可建立 $\sum O_2$ 的各轴方向。为简化杆件参数，我们选择将坐标系 $\sum O_0$ 原点建立在远心点处，并且各轴方向与 $\sum O_1$ 初始位置的各轴同向。 $\sum O_3$ 的初始位置亦建在远心点处，按前置法规则， z_3 与 A_3 同向，并且出于简化杆件参数的目的， x_3 与 x_2 同向，最后 $y = z \times x$ 得到 y_3 方向。机械臂杆件 D-H 参数表如表 1 所示。

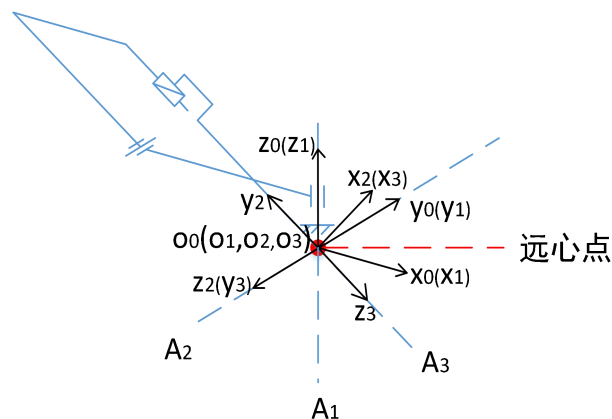


图 17 机械臂 D-H 坐标系

表 1 机械臂杆件 D-H 参数表

关节	$l_{i-1}(mm)$	$\alpha_{i-1}(^\circ)$	$d_i(mm)$	$\theta_i(^\circ)$
1	0	0	0	θ_1
2	0	90	0	θ_2
3	0	90	d_3	0

${}^{i-1}_iT$ 的求法: $\sum O_{i-1}$ 先沿 x_{i-1} 的方向移动杆长 l_{i-1} , 再绕 x_{i-1} 的方向旋转扭转角 α_{i-1} ,

此时得到的坐标系 z 轴与 z_i 同向, 继续将该坐标系沿 z_i 的方向移动偏移量 d_i , 再绕 z_i 的方

向旋转关节角 θ_i , 此时新的坐标系与 $\sum O_i$ 重合。整个变换过程皆为局部变换, 因此将变换

矩阵依次右乘, 即可得到两坐标系齐次变换矩阵 ${}^{i-1}_iT$ 。

$${}^{i-1}_iA = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & l_{i-1} \\ \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -d_i \sin\alpha_{i-1} \\ \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i \cos\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据表 1 中给出的杆件参数, 可得到机械臂关节空间变化矩阵及末端相对于基坐标系的齐次变换矩阵 ($si=\sin(\theta_i)$, $ci=\cos(\theta_i)$):

$${}^0_1A = \begin{bmatrix} c1 & -s1 & 0 & 0 \\ s1 & c1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^1_2A = \begin{bmatrix} c2 & -s2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s2 & c2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^2_3A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -d_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0_3T = {}^0_1A {}^1_2A {}^2_3A = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

位置向量参数为

$$\begin{cases} p_x = c1 \cdot s2 \cdot d3 \\ p_y = s1 \cdot s2 \cdot d3 \\ p_z = -c2 \cdot d3 \end{cases}$$

姿态向量参数为

$$\begin{cases} n_x = c1 \cdot c2 \\ n_y = c2 \cdot s1 \\ n_z = s2 \\ o_x = s1 \\ o_y = -c1 \\ o_z = 0 \\ a_x = c1 \cdot s2 \\ a_y = s1 \cdot s2 \\ a_z = -c2 \end{cases}$$

通过观察齐次变换矩阵 0_3T 的各元素，我们可以得到下面的逆解公式，出现特殊情况时，需要更加详细的分类讨论，结果如下。

$$\begin{cases} d_3 = \pm \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2} \\ \theta_2 = \arctan 2\left(\pm \sqrt{\frac{p_x^2 + p_y^2}{d_3^2}}, -\frac{p_z}{d_3}\right) \\ \theta_1 = \arctan 2\left(\frac{p_y}{\sin \theta_2 \cdot d_3}, \frac{p_x}{\sin \theta_2 \cdot d_3}\right) \end{cases}$$

当 $d_3 = 0$ 时， θ_1 与 θ_2 可取任意值；

当 $\theta_2 = 0^\circ$ 或 180° 时， θ_1 可取任意值。

考虑到实际情况， d_3 为一正数， θ_2 亦为一锐角，因此上式可简化为：

$$\begin{cases} d_3 = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2} \\ \theta_2 = \arctan 2\left(\pm \sqrt{\frac{p_x^2 + p_y^2}{d_3^2}}, -\frac{p_z}{d_3}\right) \\ \theta_1 = \arctan 2\left(\frac{p_y}{\sin \theta_2 \cdot d_3}, \frac{p_x}{\sin \theta_2 \cdot d_3}\right) \end{cases}$$

当 $d_3 = 0$ 时， θ_1 与 θ_2 可取任意值；

当 $\theta_2 = 0^\circ$ 时， θ_1 可取任意值。

ADAMS，即机械系统动力学自动分析(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems)，该软件是美国机械动力公司(Mechanical Dynamics Inc.) (现已并入美国 MSC 公司)开发的虚拟样机分析软件。ADAMS 软件使用交互式图形环境和零件库、约束库、力库，创建完全参数化的机械系统几何模型，其求解器采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法，建立系统动力学方程，对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析，输出位移、速度、加速度和反作用力曲线。ADAMS 软件的仿真可用于预测机械系统的性能、运动范围、碰撞检测、峰值载荷以及计算有限元的输入载荷等，是目前使用较广泛的刚体动力学分析软件，因此本章将利用 ADAMS 对结构进行仿真。

我们先将建好的 solidworks 模型装配体保存为 x_t 格式，在 Adams 新建一个 model 后，导入该文件，重新添加零件间的约束关系后，利用 Adams 软件对图 2-14 所示的模型进行仿真，如图 18 所示。

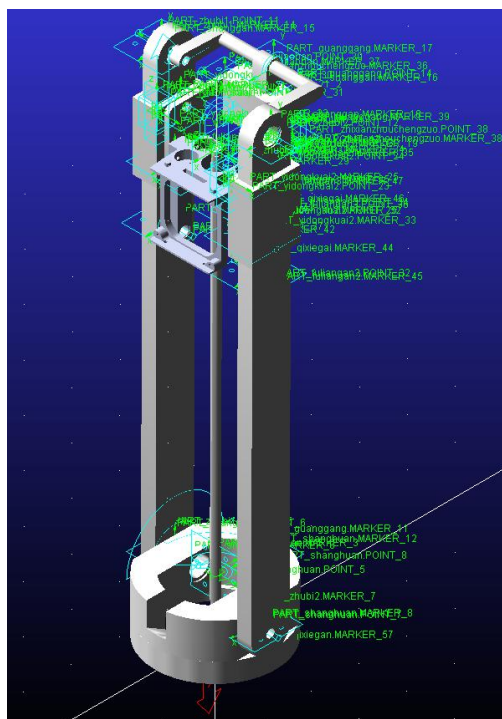
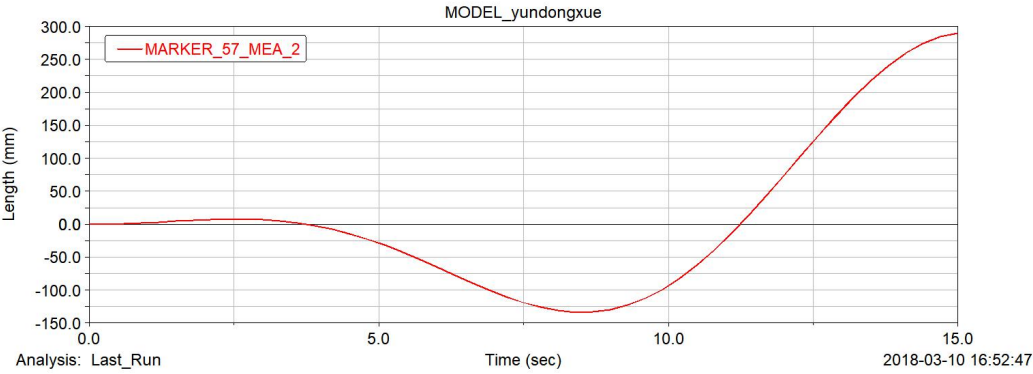


图 18 利用 Adams 对模型进行仿真

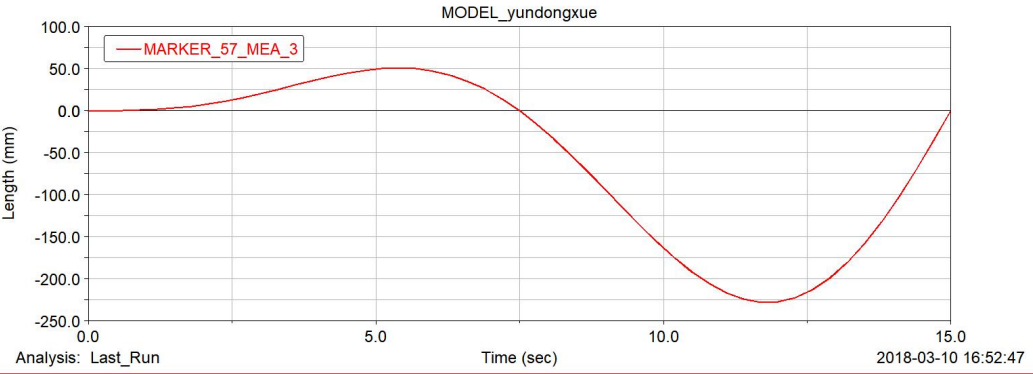
图示位置保证各关节变量皆为零位，在此基础上对关节 1 加的的驱动速度为 $24^{\circ}/s$ ，对关节 2 加的的驱动速度为 $7^{\circ}/s$ ，对关节 3 与关节 4 加的的驱动速度为 $20mm/s$ ，仿真时间为 $15s$ ，得到的曲线关系如图 19 所示。

表 2 仿真参数表

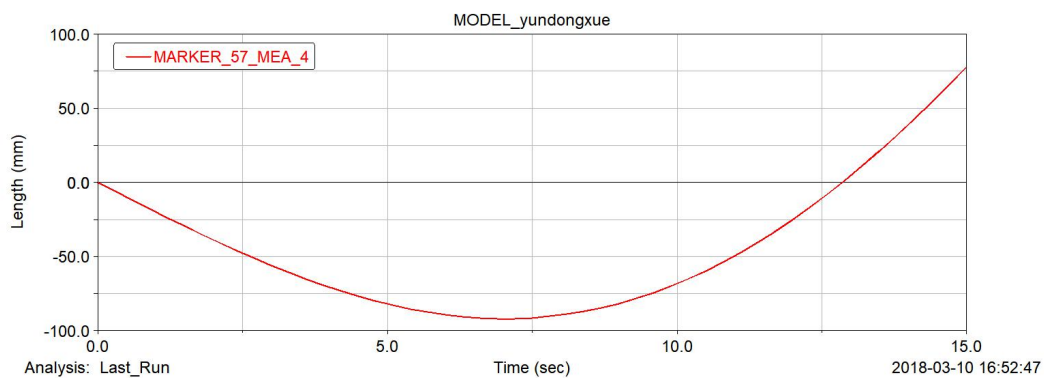
仿真时间/s	关节 1 初始 位置 $\theta_{10}/^{\circ}$	关节 2 初始 位置 $\theta_{20}/^{\circ}$	关节 3 初始 位 置 d_{30}/mm	关节 1 速度 $/^{\circ}\cdot s^{-1}$	关节 2 速度 $/^{\circ}\cdot s^{-1}$	关节 3 速度 $/mm\cdot s^{-1}$
15	0	0	0	24	7	20



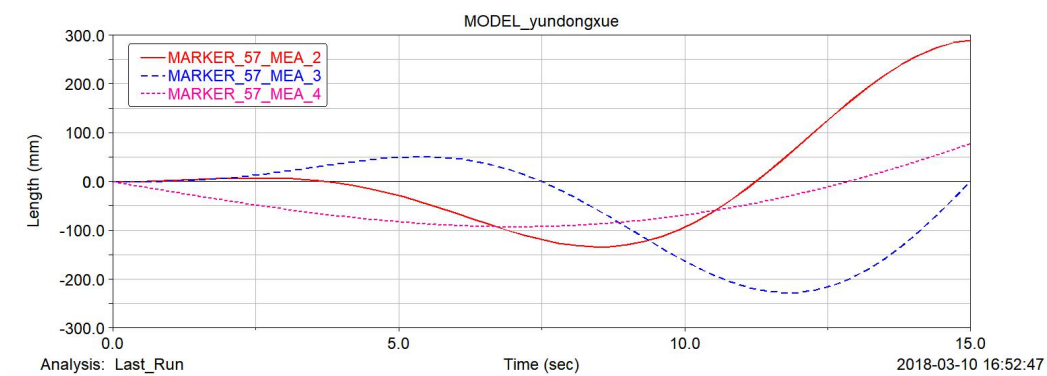
a) 末端坐标系原点在基座坐标系位置矢量的 x 轴分量



b) 末端坐标系原点在基座坐标系位置矢量的 y 轴分量



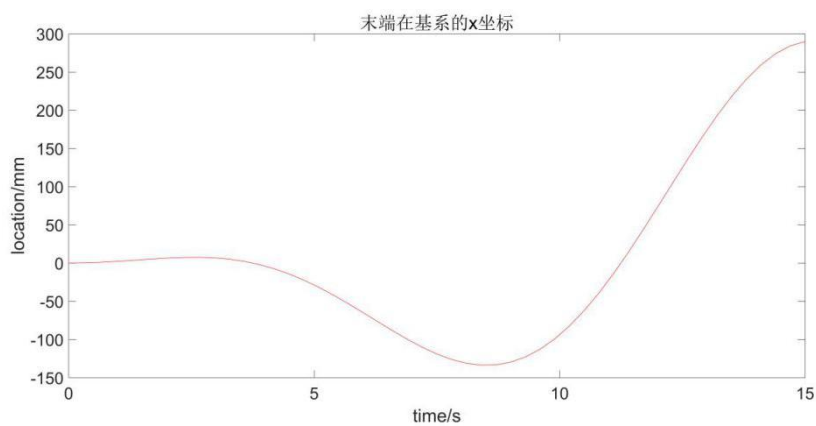
c) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量的 z 轴分量



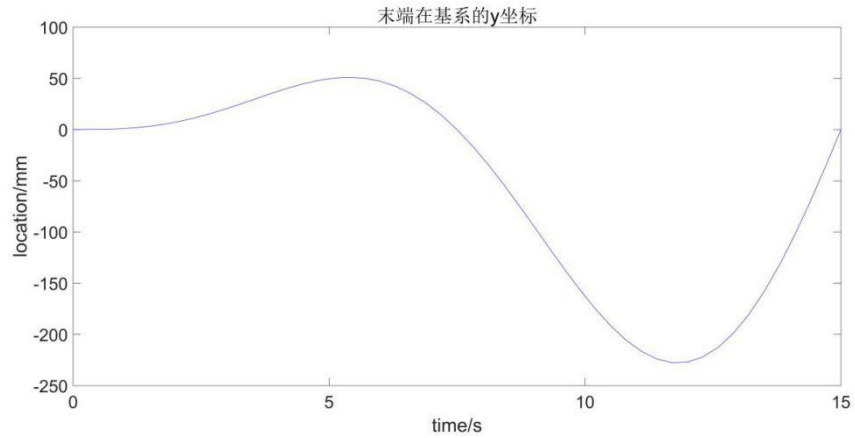
d) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量

图 19 利用 Adams 得到的曲线结果

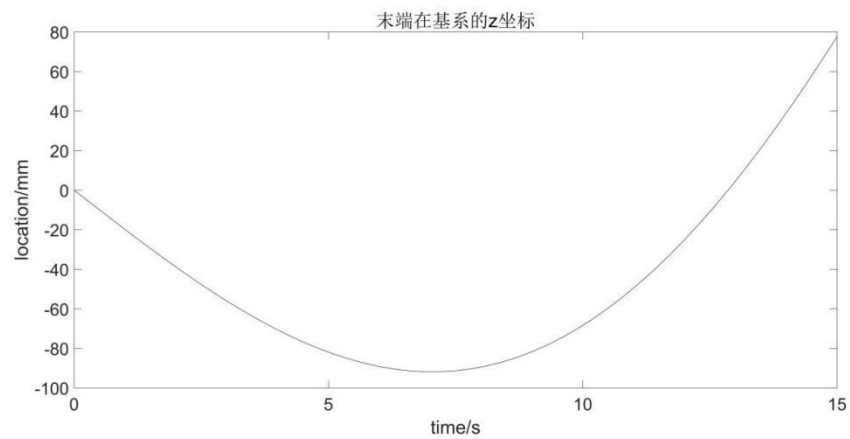
根据前面得到的数学模型，我们可以通过 Matlab 软件利用数学模型得到相同条件下的曲线与数据结果。曲线结果如图 20 所示，数据结果见表 4。



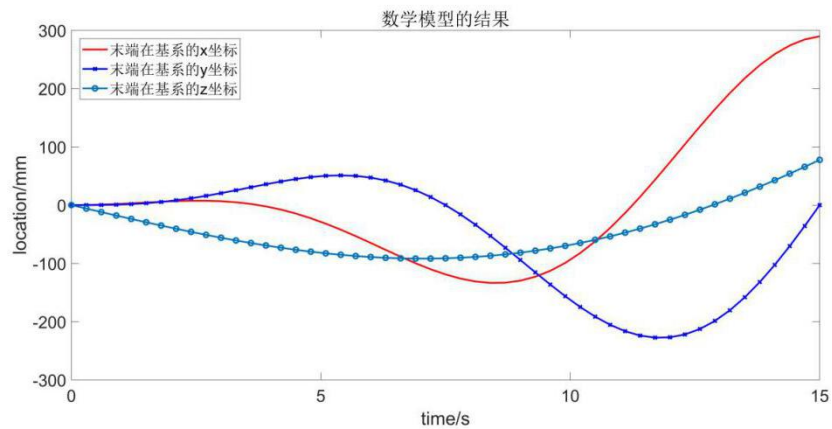
a) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量的 x 轴分量



b) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量的 y 轴分量



c) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量的 z 轴分量



d) 末端坐标系原点在基坐标系位置矢量

图 20 利用 Matlab 得到的曲线结果

如图 21 所示,利用 Matlab 将模型与仿真间的误差数据处理为曲线的方式可以让我们有更加直观的感受,误差最大值为 $9.1638 \times 10^{-5} \text{ mm}$, 误差最小值为 $8.1793 \times 10^{-32} \text{ mm}$, 误差在允许范围内, 因此可以验证数学模型的正确性, 这里的误差可能是 matlab 的数值算法, 以及人为因素导致。

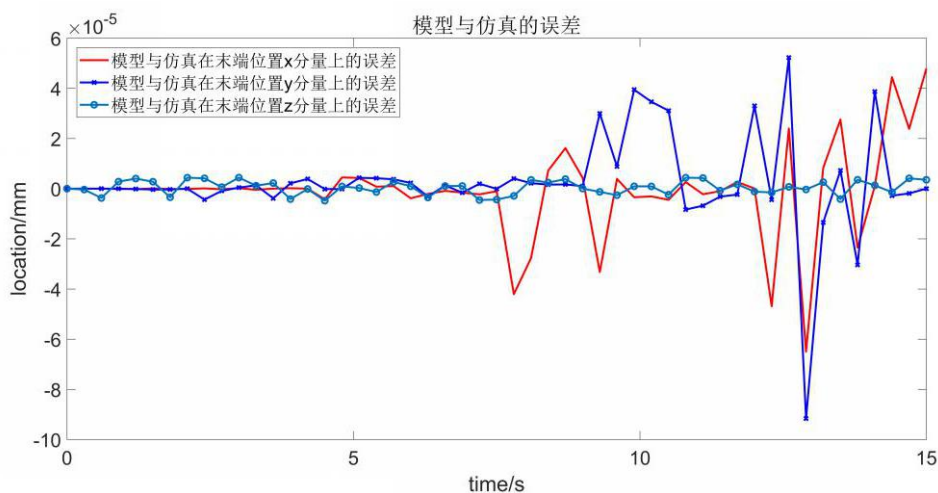


图 21 模型与仿真的误差结果

接下来我们利用运动学正解和逆解模型分别求解操作空间。

蒙特卡罗方法，也称统计模拟方法，是二十世纪四十年代中期由于科学技术的发展和电子计算机的发明，而被提出的一种以概率统计理论为指导的一类非常重要的数值计算方法。是指使用随机数（或更常见的伪随机数）来解决很多计算问题的方法。采用蒙特卡洛法进行机器人工作空间分析，关键在于机器人各关节变量是在规定取值范围内工作的，当所有关节变量在规定取值范围内随机遍历取值后，依次生成的末端参考点的全部随机点的集合就组成了机器人的工作空间。基于蒙特卡洛法的手术机器人工作空间分析如图 22 所示。

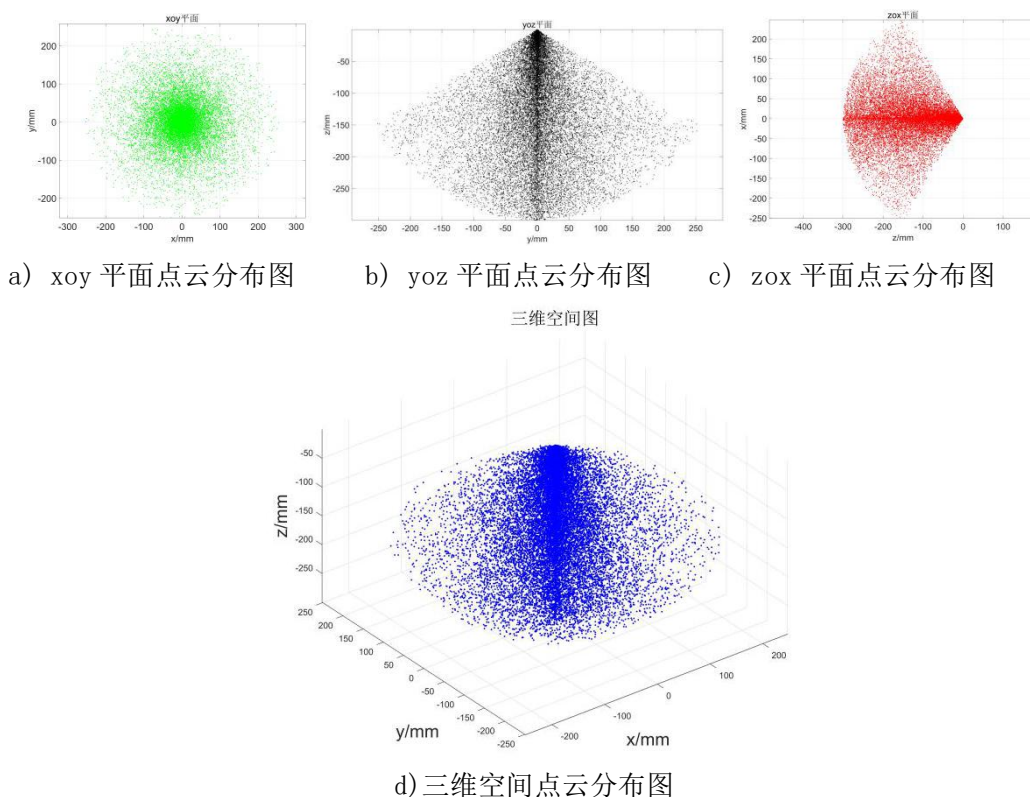


图 22 基于蒙特卡洛法的工作空间分析

利用运动学逆解分析工作空间的想法是，将空间分为均匀的网格，对每一节点做逆解分

析，若得到的关节角或连杆偏移量在我们的允许范围内，则该节点在我们的可达工作空间，所有的节点即可构成机器人的操作空间。我们利用 Matlab 实现这一意图，利用 `meshgrid()` 函数生成 x - y 平面的均匀二维网格，当节点在基座标系的 x, y 坐标固定时，通过 z 轴坐标的均匀取值，我们可以得到两个边界点，均匀变化 x, y 坐标后，我们可以得到两组边界点构成的数组，分别利用 `mesh()` 函数，就能得到两个边界曲面，当相邻节点间隔极小时，这两个边界曲面就会趋于无缝结合，它们包围的区域即为机器人的操作空间，利用逆解得到的操作空间如图 23 所示。

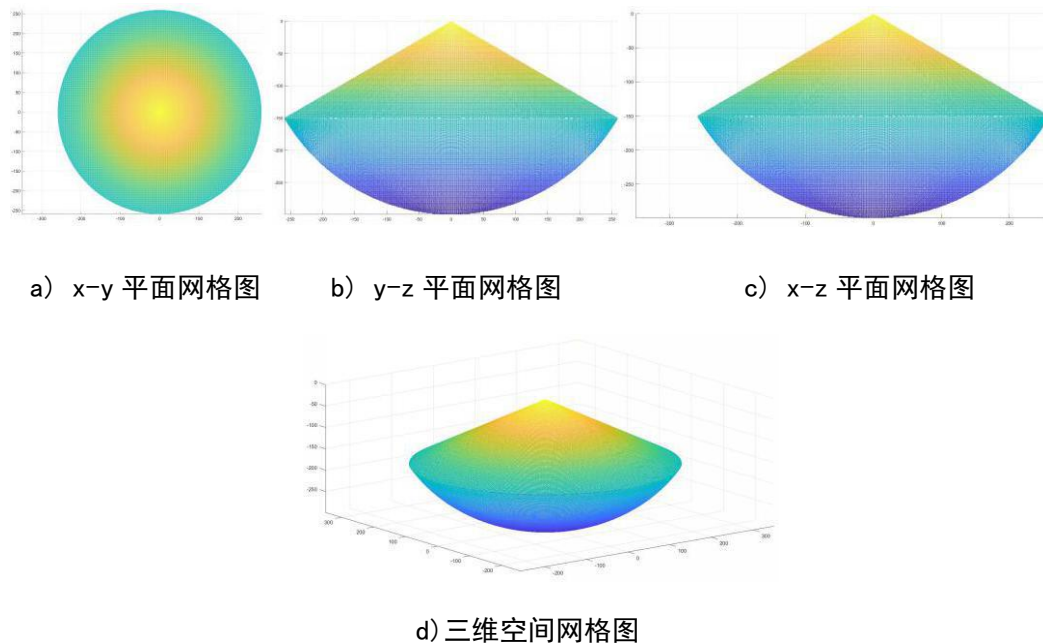


图 23 基于运动学逆解的工作空间分析

两组图像可以对应上，这表明我们的逆解模型很可能是正确的，不过具体的验证过程，仍留在中期以后进行。

至此，即为中期所完成的全部工作，毕设进展比原计划进行的略快一些，现已开始学习下一阶段的内容。

3 下一阶段工作计划

1. 完成结构模型的细节设计，实现较好的零件工艺性；
2. 进行运动学逆解的验证；
3. 动力学建模分析工作；
4. 完成手术机器人三维模型；
5. 完成模型的图纸绘制（包括装配图和零件图）；

6. 完成毕业设计论文。

4 经费使用情况与下一阶段经费预算

经费使用充足，由于方案筛选工作仍未完成，故目前无法估计接下来的预算。

5 项目执行过程中存在的问题及解决措施

（1）由于设计者目前处于本科阶段，所学习的基础知识可能不足以对研究内容做深入探讨，应通过阅读相关文献不断自学相应知识；

（2）在这一过程中我接触了一些本科阶段很少用甚至未见过的标准件，他们的使用方式是从教材课本中找不到的，倘若在实际工程中需要使用他们，只能积极的寻找样本或与厂家联系，而这在本科阶段是很少遇到的情况。

（3）在初期使用建模或仿真软件时，经常会遇到效率极低甚至软件崩溃的问题，在经过他人的教导后，养成一些良好的习惯，这对软件的使用有很大帮助。

（4）当存在多个可行方案时，应根据后期的相关分析工作，得到最合适的方案，或列出不同方案的利与弊，根据具体情况进行取舍。

6. 论文按时完成的可能性

由于修改毕设课题并未与已进行的工作发生冲突，并且毕设进展比原计划进行的略快一些，现已开始学习下一阶段的内容，指导教师经验丰富，经费充足，因此可以保证毕设的顺利进行。