

南方科技大学 Artinx 机器人战队

机械拼装建模入门手册

V1.0

编写人：Artinx 徐康 卢睿

最新更新日期：2017 年 8 月 2 日

Tips: 目录星号以及正文加下划线粗体红字为常用的，需要特别注意的条目。

0 前言	
0.1 装配的含义.....	
0.2 装配基础.....	
1 基本工具.....	
1.1 加工工具.....	
1.1.1 内六角扳手*	
1.1.2 其他扳手.....	
1.1.3 电烙铁.....	
1.1.4 热熔胶*.....	
1.1.5 激光切割机.....	
1.1.6 3d 打印机.....	
1.1.7 电动磨机，电钻.....	
1.2 装配工具.....	
1.2.1 钳类*.....	
1.2.2 热缩管.....	
1.2.3 理线管.....	
1.2.4 线束固定座.....	
1.2.5 卡箍.....	
1.2.6 电工胶带.....	
1.2.7 波纹管（开口）	
2 装配零件.....	
2.1 分类	
2.1.1 螺栓*.....	
2.1.2 螺母*.....	
2.1.3 垫圈*.....	
2.1.4 卡簧.....	
2.1.5 铜柱.....	
3 结构零件.....	
3.1 同步带.....	
3.2 丝杆	
3.3 轴承	

3.4 联轴器.....	
4 材料	
4.1 亚克力.....	
4.2 木板	
4.3 碳板	
4.4 3d 打印塑料.....	
4.5 铝型材	
4.6 电子器件.....	
5 机械原理与机械设计.....	
5.1 SolidWorks 简单入门和学习方法.....	
5.2 机器人基础（概念篇）	
5.3 机器人基础（机械篇）	
5.4 设计实例——底盘.....	
5.5 设计实例——云台.....	
5.6 设计实例——补给站.....	
5.7 设计实例——英雄车登岛结构.....	
5.8 设计实例——工程车功能实现.....	
6 比赛规则及其他.....	
6.1 比赛规则综述（赛场角度分析）	
6.2 2017 各赛区决赛队伍与比赛分析.....	

0 前言

装配一线装备：一个小马扎，一套内六角扳手，一把 M3/M4 六角扳手，一把 M5/M6 扳手。可以和你的爱车幸福快乐一整夜了。

但是在上前线之前，还是要对爱车的零件有所了解，才能够拼装出一辆好车~一辆不会掉螺丝的，好车~本册只提供实战中的经验，较少涉及严整的基础知识（可以在网络大量获得），意在提供从入门到精通的进阶模式。

通过学习，希望在前期对基本工具分类、机械结构、软件使用、组织架构有一个了解。

0.1 装配的含义

装配是指将零件按规定的技术要求组装起来，并经过调试、检验使之成为合格产品的过程，装配始于装配图纸的设计。

装配必须按照图纸、一般装配顺序、设计装配顺序、零件装配要求等进行。重点是公差和装配顺序。

装配前请务必准备好打印好的，或者三维的待装配图纸，和设计者完全沟通，并且整理所有加工件到位，确认大致需要的装配零件。

装配时，按照规范，并且保持环境整洁。

0.2 装配基础

尺寸和公差是设计中最为精密的部分，决定了每个结构的强度、有效性。尺寸和公差在设计是指导细节，在工程图中指导制造，在装配中指导方法。以上提及的方面，均可以从网络中查到丰富资料供参考。以下举例说明。

例如：轴承轴向固定。轴向固定有多种方法，万一损坏，需要拆卸，则极少用过盈配合，用间隙配合，还需要配合外附件进行固定。常用卡簧（挡圈）。轴承中间轴会以轴承内径尺寸系列设计，而卡簧一般往小了选。孔用则往大了选。

选定后，设计卡簧槽，需要查表。一般距离断面 1~1.5 个卡簧槽宽度。

标注工程图时，卡簧配的轴内径和宽度可以配正公差（0-0.02，即 2 个丝以内），因为对于卡簧一类的粗制标准件，其精度差，尺寸不稳定。对于轴承一类精密零件，需要查表得到公差。

装配时，需要使用专业的卡簧钳。

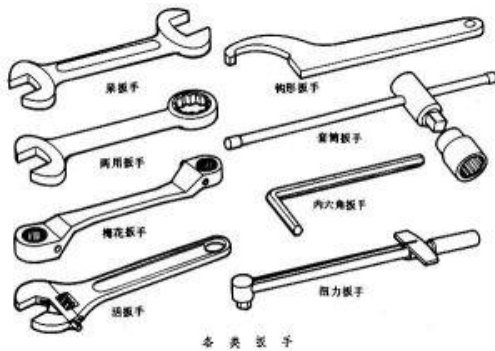
1 基本工具

1.1 一般工具

1.1.1 内六角扳手*



1.1.2 其他扳手



1.1.5 激光切割机

基本步骤:

打开电源，打开冷却水，打开抽风机

调节激光头高度

导入文件（不同材料不同厚度不同加工方式需要调节）

确认加工范围（省材料为主）

关防护罩，开始加工

1.1.6 3d 打印机

1.1.3 电烙铁



1.1.4 热熔胶*



1.1.7 电动磨机，电钻

1.2 装配工具

1.2.1 钳类*

名称	样式	备注
钢丝钳		材质为镍铬合金钢 、铬钒合金钢、高碳钢、球墨铸铁，因而较脆，不能当榔头使用。 为防止生锈，钳轴要经常加油。
尖嘴钳		材质一般由 45#钢制作，韧性硬度都合适。
管子钳		一般管子钳不能作为锤头使用。
迷你钳		
斜嘴钳		是一种金属切断工具，用于切断金属丝。 材质可有 45#碳钢、55#碳钢、铬钒钢等。

扁嘴钳			主要用于弯曲金属薄片，及金属细丝成为所需的形状。
鹰嘴钳			
卡簧钳			一种用来安装内簧环和外簧环的专用工具。 锻造而成，较脆。
鲤鱼钳			用于夹持圆形零件，也可代替扳手旋小螺母和小螺栓，钳口后部刃口可用于切断金属丝，在汽修行业中运用较多。
电缆钳			
剥线钳			专供电工剥除电线头部的表面绝缘层用。

Tips:

- 1 不要把钳子当锤头！
- 2 虽然钳子有折弯剪断的功能，但也只是针对强度较小的材料对象。
- 3 因为钳子的强度有限，所以不能用它去操作它能力范围外的工作，特别是型号较小的普通的尖嘴钳，如过分使用会将其钳口损坏的。
- 4 钳子的钳柄是用手去握力的，避免使用外部加力，如用锤子捶打，用台虎钳夹，这都是不允许的，会将其损坏的。

1.2.2 热缩管



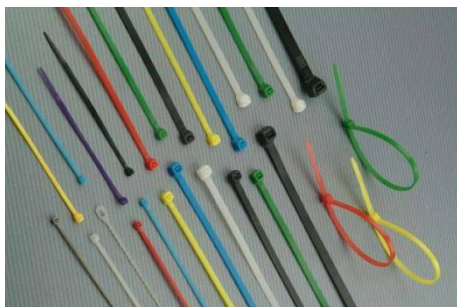
Tips:

- 1 套在接线处，打火机烧，使其收缩
- 2 直径范围很大，从 1mm 至 80mm 均有

1.2.3 缠线管



1.2.4 线束固定座、扎带



1.2.5 卡箍



1.2.6 电工胶带



1.2.7 波纹管（开口，闭口）



2 装配零件

螺栓螺母垫片一般综合使用，因此装配重点只要集中写在垫片的 tips 里面。

2.1 分类

2.1.1 螺栓*

分类方法	名称	样式	备注
受力方式	普通	<p>受振动载荷的零件宜用铰制孔螺栓</p> <p>普通螺栓 铰制孔螺栓</p>  <p>较差 较好</p>	轴向力，横向的载荷 承受方法主要是靠 预紧力矩带来的摩 擦力
	铰制孔		横向力横向载荷的 承受方法是靠螺栓 本身的抗剪强度 塞打螺栓（六角头铰 制孔螺栓）
头部形状	外六角		
	<u>内六角</u>		别名杯头
	圆头十字		还有梅花六角字

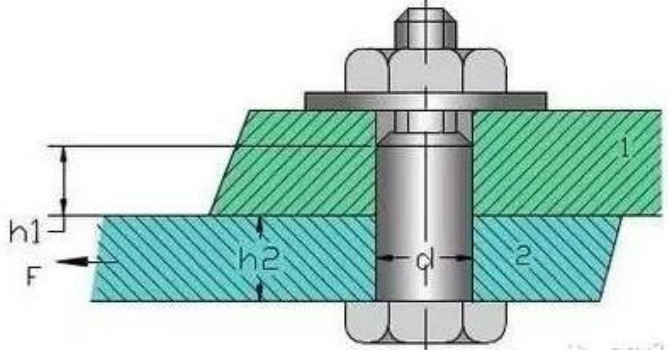
	方形头		多用于铝型材
	沉头十字		减小空间，注意孔设计
	特殊用途：有孔锁紧，焊接螺柱		孔加短销
螺纹牙型	粗牙		标准螺距为粗牙，细牙会有 2-3 个不同类
	细牙		
螺纹长度	全螺纹		
	非全螺纹		

tips:

- 1 性能等级：8.8 以上为高强度螺栓，8.8 级以下为普通螺栓
- 2 螺纹主要为右旋，少数左旋。一根轴上为了防止松动一般是一个左旋一个右旋
- 3 高强度要求和震动处需要螺栓止退，点焊、胶粘、充点
- 4 螺钉在紧固运动装置或维护时无须拆卸部件的场合，**装配前螺丝上**应加涂螺纹胶
- 5 一般情况下，螺纹孔的螺纹连接应有防松弹簧垫圈

螺纹联接的其他防松办法：

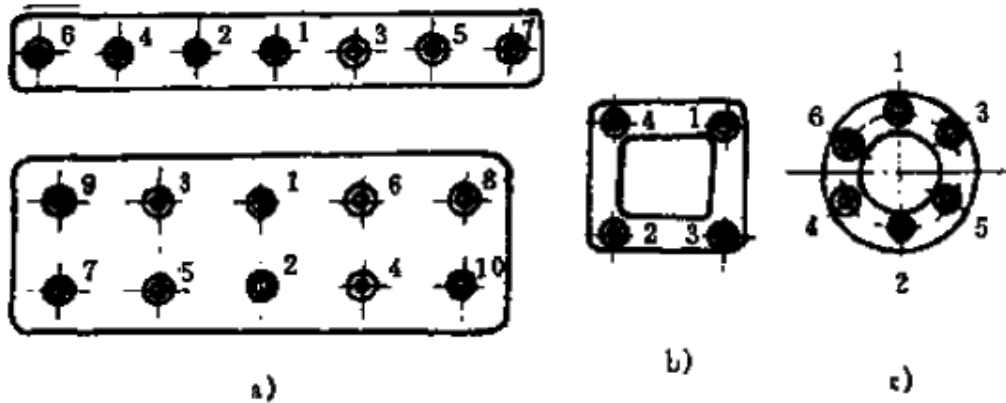
- 1) 采用锁紧螺母防松
- 2) 用金属丝来防松或成对的螺栓
- 3) 用开口销插入六角槽形螺母的槽或螺母的孔中来止动
- 4) 用弹簧垫圈、止动垫圈或带翅垫圈来防松



5) 用点铆的办法来制止螺母的回松

6) 沉头螺钉用打样冲眼的方法来止动定位

6 螺栓安装有顺序，从中间到旁边，先定位再固定，防止变形。尤其是脆性亚克力，韧性碳纤维板



2.1.2 螺母*

名称	样式	备注
六角螺母		少用，特殊时候，空间有限，或者用于支撑距离
<u>防松螺母</u>		螺栓螺纹必须超过螺母 2-3 丝(圈) 基本只用防松螺母，震动处在使用几小时后需要二次紧固
吊环螺母		

圆螺母		别名锁紧螺母 用于轴端轴承轴向固定的圆螺母需要配合止退垫圈 外圆柱圆螺母可以用于为管件添加内螺纹
焊接方 / 六角螺母		

Tips:

- 1 以上为常用螺母，材质为不锈钢，还有铜、合金材料螺母
- 2 过度加垫片减小联接螺纹长度，会减小强度，每个螺母下使用一个垫片为佳
- 3 螺栓需要一定预紧力，我们的机器不需要精确的预紧，适当的预紧力，不会损坏工件，又可以提高强度，必须注意材料承受力

2.1.3 垫圈*

名称	样式	备注
平垫圈		平垫圈一般用在连接件中一个是软质地的，一个是硬质地较脆的，其主要作用是增大接触面积，分散压力，防止把质地软的压坏
弹簧垫圈		增大螺母和螺栓之间的摩擦力 无螺母有震动联接等处必须增加弹簧垫圈
防松垫圈		

橡胶垫圈		
------	---	--

Tips:

1 对一般的螺栓连接，螺栓头和螺母下面应放置平垫圈，以增大承压面积。垫圈用于保护被连接件的表面不受螺母擦伤，分散螺母对被连接件的压力，一定注意材料。实际操作中为了减重和简化装配，只在特殊位置使用垫片，以下为理论的装配要求，实际需要看情况决定是否使用

2 哪里需要垫片：

1) 螺纹孔部分必须安装弹簧垫圈

2) 螺栓头和螺母侧应分别放置平垫圈，螺栓头侧放置的平垫圈一般不应多于 2 个，螺母侧放置的平垫圈一般不应多于 1 个

3) 对于设计有要求防松动的螺栓、锚固螺栓应采用防松动装置的螺母或弹簧垫圈，弹簧垫圈必须设置在螺母一侧

4) 对于承受动荷载或重要部位的螺栓连接，应按设计要求放置弹簧垫圈，弹簧垫圈必须设置在螺母一侧

3 怎么装螺栓螺母垫片：

1) 螺栓、螺钉装配时应该用手拧入大于 2 至 3 个螺距，然后再用扳手或电动工具拧紧

2) 螺母拧紧后，螺栓头部应露出螺母端面 2 至 3 个螺距，螺母和垫圈均以反面面向被连接体（螺母标有字样的一面为正面，垫圈圆滑一面的为正面）

2.1.4 卡簧（弹性挡圈）

名称	样式	备注
C 型-孔用 RTW		选型孔径为基准，查表，往大选

C 型-轴用 STW		选型轴径为基准，查表，往小选
异型-E 型		

tips:

1 轴用孔用都有不同的安装工具——卡簧钳。使用时，先套到轴上再用钳子撑开，或者直接压缩放入孔中

2.1.5 铜柱



3 结构零件

3.1 同步带（轮）



3.2 滚珠丝杠



3.3 轴承

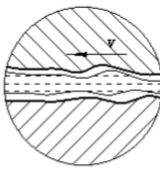
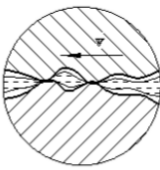
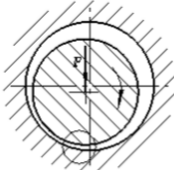
滑动轴承根据轴承所能承受的载荷方向不同，可分为向心滑动轴承和推力滑动轴承。向心滑动轴承用于承受径向载荷；推力滑动轴承用于承受轴向载荷。

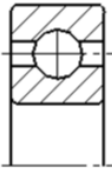
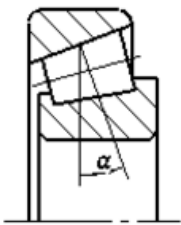
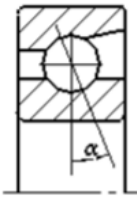
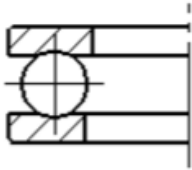
滚动轴承按滚动体的形状分，可分为球轴承和滚子轴承两大类。

按滚动体的列数，滚动轴承又可分为单列、双列及多列滚动轴承。

按工作时能否调心可分为调心轴承和非调心轴承。调心轴承允许的偏位角大。

按承受载荷方向不同，可分为向心轴承和推力轴承两类。

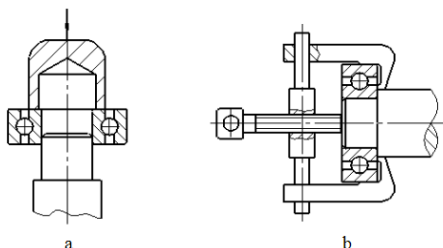
名称	样式	备注
滑动轴承	<div><div><p>a 滑动轴承原理图</p><p>b 非液体摩擦状态</p><p>c 液体摩擦状态</p></div></div>	

深沟球		主要承受径向载荷，少量的轴向载荷。转速很高而轴向载荷不太大时，可代替推力球轴承承受纯轴向载荷。生产量大，价格低。
圆锥滚子		能承受以径向载荷为主的径向、轴向联合载荷，当接触角 α 大时，亦可承受纯单向轴向联合载荷。 <u>因为是线接触，承载能力大于 7 类轴承。</u> 内、外圈可以分离，装拆方便，一般成对使用。
角接触		能同时承受径向和轴向联合载荷。接触角 α 越大，承受轴向载荷的能力也越大。接触角 α 有 15° 、 25° 和 40° 三种。一般成对使用，可以分装于两个支点或同装于一个支点上。
推力球		接触角 $\alpha=0^\circ$ ，只能承受单向轴向载荷。而且载荷作用线必须与轴线相重合，高速时钢球离心力大，磨损、发热严重，极限转速低。所以只用于轴向载荷大，转速不高之处。

Tips:

1 一般轴承装配有两种方法：

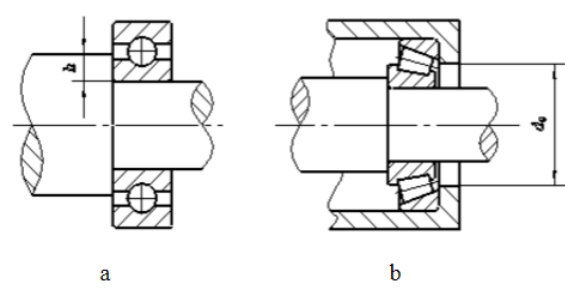
- 1) 冷压法：用专用压套压装轴承，先加专用压套，再用压力机压入或用手锤轻轻打入
- 2) 热装法：将轴承放入油池或加热炉中加热至 $80\sim 100^\circ\text{C}$ ，然后套装在轴上



2 以上装配方法针对间隙或者过盈配合的大型轴承。对于普通小型轴承（机器人中使用的全部轴承），基本使用简短小力敲击装入

3 轴承装配设计必须配备公差，一般使用间隙配合，特殊紧固处使用过盈配合

4 为了便于用专用工具拆卸轴承，设计时应使轴上定位轴肩的高度小于轴承内圈的高度



3.4 联轴器

名称	样式	特点
膜片式联轴器		高刚性，零背隙
十字式联轴器		偏心反作用力小
沟槽式联轴器		低惯性矩，高响应
爪形联轴器		绝缘性好，可吸收震动

波纹管形联轴器		低惯性矩，等速性好
刚性联轴器		高刚性，零背隙
万向接头联轴器		可设置角度实现不等速旋转

tips:

1

3.5 弹簧

4 材料

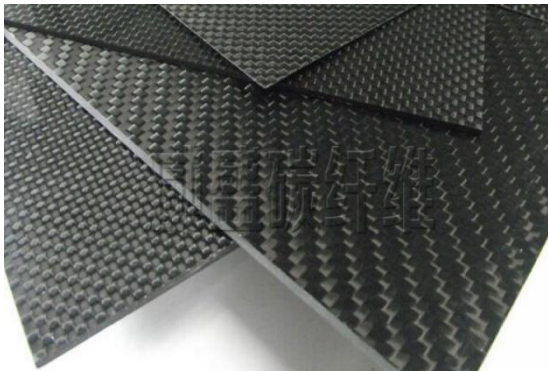
4.1 亚克力



4.2 木板



4.3 碳板



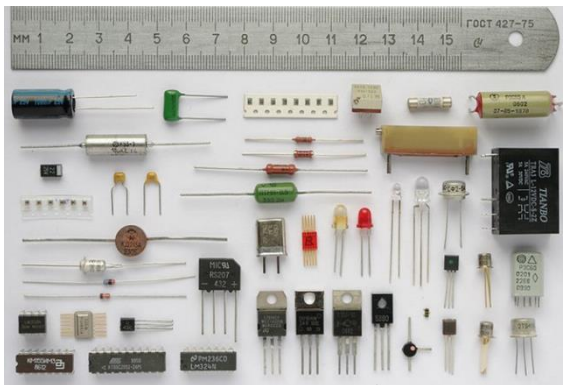
4.4 3d 打印塑料



4.5 铝型材



4.6 电子器件



5 机械原理与机械设计

5.1 SolidWorks 简单入门和学习方法（三维和二维）

5.1.1 导引

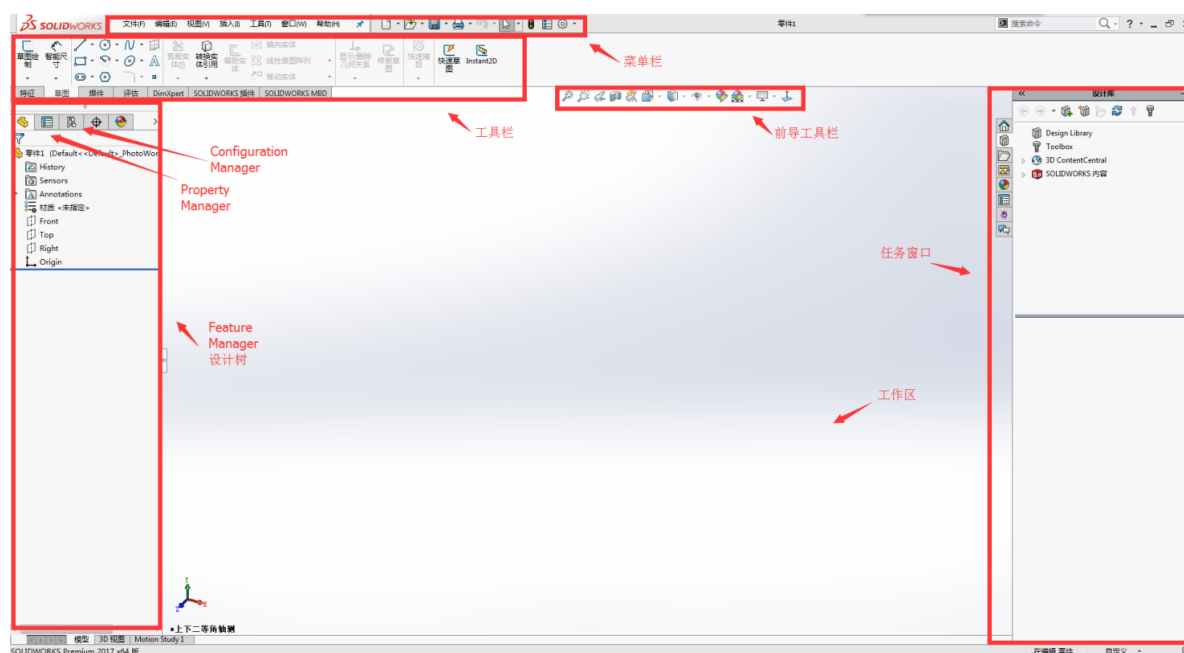
Solidworks 是我们车队的主力软件，具有功能强大、易学易用和技术创新三大特点。

注意，Solidworks 仅支持向下兼容，低版本无法打开高版本保存的文件，所以在车队内工作时请注意自己使用的版本。

本教程均以 SolidWorks2017 为例。

5.1.2 基本介绍

界面



画图思路：

由二维至三维，由简单到具体。

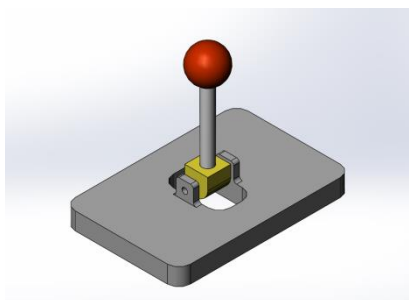
注意，画图时，始终记得为后期调试修改留好后路，争取让自己画出来的图，步骤简洁，且便于修改。

2.3.3 画图习惯

1. 零件在空间中的位置

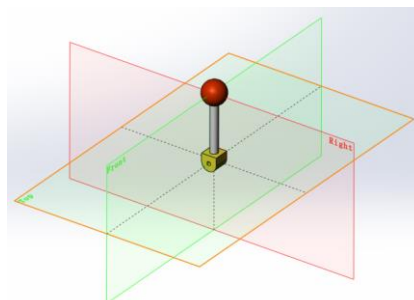
零件在空间中的位置即零件与原点，基准面的相对位置，这个位置不是随便定义的，应当根据其在装配体中的位置及装配方法而调整。这样，在制作装配体的过程中将会获得极大的便利。

例如，摇杆在装配体的位置如图

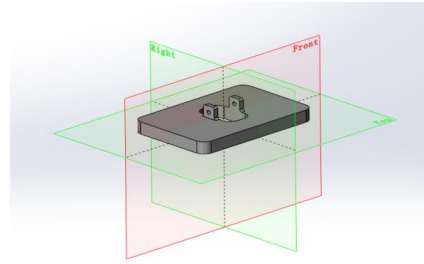


则摇杆与三个基准面的关系最好如右图所示，上视基准面穿过轴心。

原点位于轴线中点。



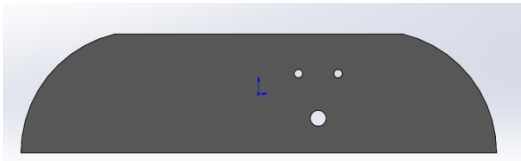
而对于底板则较为随意，一般将底面画在上视基准面中，右视基准面和前视基准面穿过轴线中点。



2.草图的关系定义

合理地定义草图关系可以使后期的检查和修改更方便，同时也方便队友间的交流。

例如，在仪表盘上开孔：

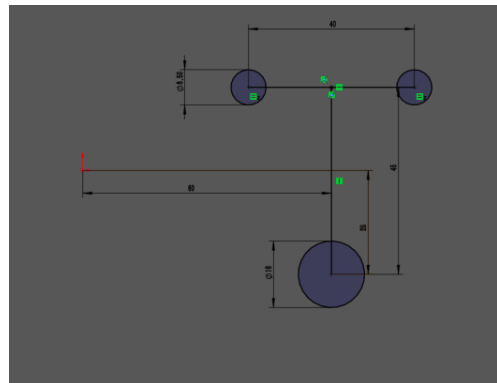


上面两个小孔大小相等，关于过底下大圆圆心的一条竖直线对称。

一种较好的定义方法如下：

首先做一条竖直线和一条水平中点线，中点线的两个端点为小孔的圆心，竖直线的底端点为大孔的圆心。

定义好竖直线和中点线的长度→定义两小孔相等→定义小孔的直径→定义大孔的直径→定义大孔与原点的竖直距离→定义竖直线与原点的水平距离。



这里特别提一点，这三个孔在仪表板上的位置均以原点为参照。这样做的好处是，当我们改变仪表板的大小时，三个孔在仪表板上的位置不会发生变化。假如我们以仪表板底边为参照，当我们将仪表板的宽度加大时，三个孔的位置就会下移，这时我们还得对孔与底边的距离进行修改，增加了修改的麻烦性。

一般情况下，完成好的草图中不应该出现蓝线（未定义）。

3.装配体中的配合

装配体中的零件如何配合在一起，考验着绘图者的综合水平。以下介绍较好的装配习惯：

（1）定好基准零件

每次做装配体的时候，都应当首先放入基准零件。如整车装配中，车架就是我们的基准零件。

基准零件应当正确地完全定义，有些时候 SolidWorks 会帮我们固定第一个插入的零件，这个时候零件并没有真正地定义好，取消固定后将会使零件浮动，造成不必要的麻烦。所以建议插入基准零件后，就取消零件的固定（即设置为浮动），再用正确的关系将其与空间配合。以后新加入的零件就不必与空间配合了，而是直接配合在基准零件上。（注：很多情况下，只要基准零件的三个基准面定得好，就只需将空间的三个基准面与基准零件的三个基准面重合就行了）

（2）正确运用子装配体

SolidWorks 中可以存在多级子装配体，正确运用子装配体可以使大型装配体中的结构清晰明了，易于整理。但在大装配体中无法移动小装配体中的零件（如悬架装配体中的轮胎，在整车装配体中无法再鼠标的拖动下旋转），所以某个零件是否应该放在子装配体中，应该根据该零件在大装配体中应具有的配合关系决定

（3）正确运用文件夹

在左侧的 FeatureManager 设计树中，零件可以被归入某一个文件夹。同一个文件夹中的零件可以同时被隐藏、压缩、孤立显示等等，所以及时将零散的零件有序地归入文件夹中，可以使大型装配体的层次结构清晰明了。

（4）及时检查配合错误

大型装配体中出现配合错误是一种常见现象，我们应当及时检查、及时处理出现的错误，避免错误累积，不便修改。

配合错误常常由于过定义和配合冲突产生，对于过定义的配合，我们只需要删掉次要配合关系即可，而配合冲突则常常由多种因素造成，一种可能是两个相互配合的零件在设计的时候就存在配合误差，所以装配过程中，SolidWorks 就会由于无法解出该配合而报错（即使是 0.00000.....1 的偏差也会使 SolidWorks 报错）。这种情况下，建议使用其他配合方式。

最后完成的装配体不应当存在报错情况。

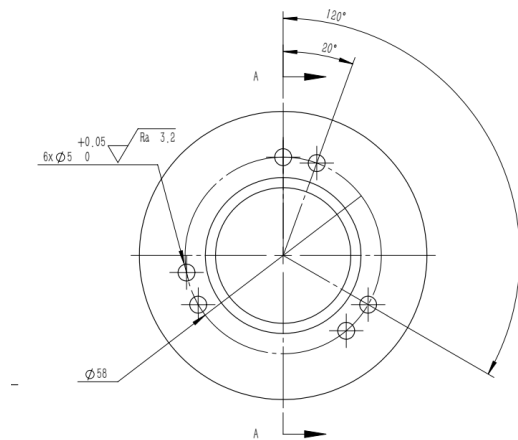
5.1.3 二维尺寸标注基础

1.合理选择尺寸基准

尺寸基准是尺寸的起点，合理选择尺寸基准，是尺寸标注的第一步

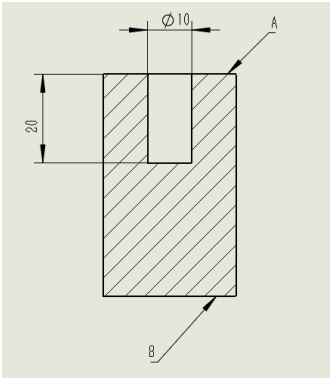
尺寸基准分为设计基准和工业基准

1)设计基准是指零件设计时主要用来定型的中心线、构造线等，在标注时可先将零件的设计基准补全，再进行尺寸标注，如下图的 20° 角的标注

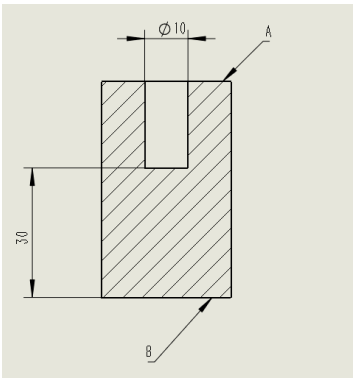


2)工业基准是为了便于加工和测量零件所设的辅助基准

如下图如果以 A 面为基准则可以清楚地标出孔的深度并且便于测量，而以 B 面则不利于控制加工与测量



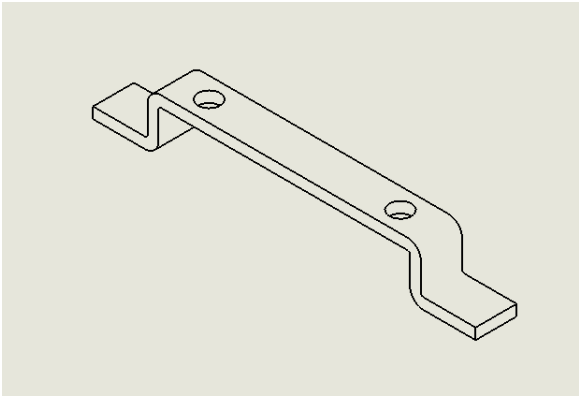
合理



不合理

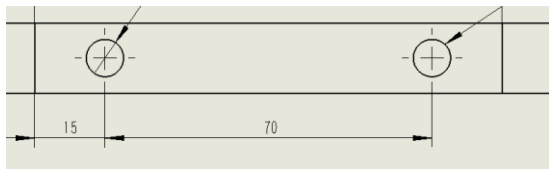
2.重要尺寸需要直接标出

对于某个有特殊功用的零件，其有些尺寸是比较重要的，如保证零件工作性能或是与其

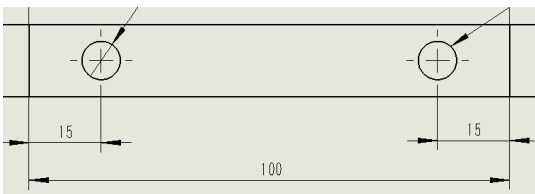


他零件装配的尺寸，这些尺寸都必须直接标出，而不能由其他尺寸推出。

如下图的钣金件，上面的两个孔是为了和另一个零件用螺栓连接，因此这两个孔的孔心距是一个重要的定位尺寸，应直接标出。



合理

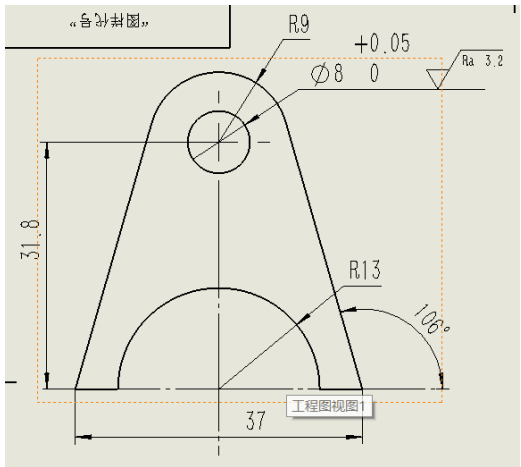


不合理

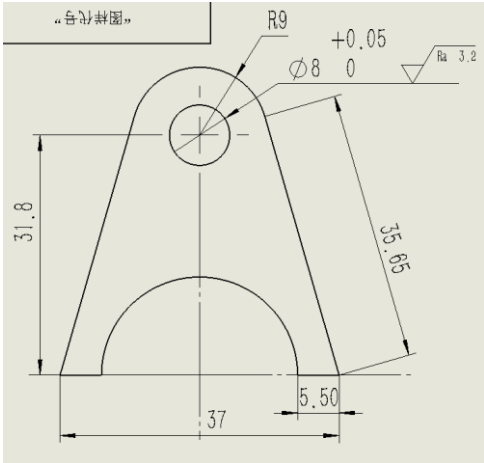
3.一般尺寸应尽量符合加工工艺

在对零件的尺寸进行标注时，要考虑到加工的步骤

以下图耳片为例，加工时会以给的角度 106° 和底边长度 37 切个等腰三角形，之后顶角切成 R9，靠从底边的距离 31.8 打直径为 8 的通孔，最后在底边上切出 R13 的半圆缺口



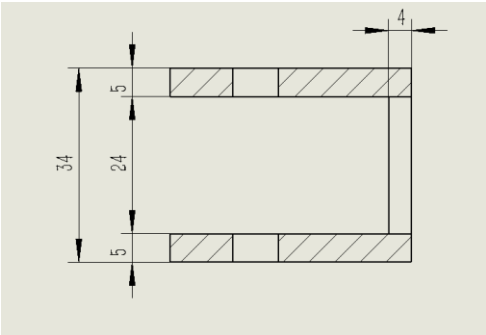
合理



不合理

4.避免出现重复标注和封闭的尺寸链

在零件加工时重复标注标注可能会引起加工时的问题，如果同一个尺寸标注了两次，而这两次不一样的话，加工时会不知道以哪个为准。

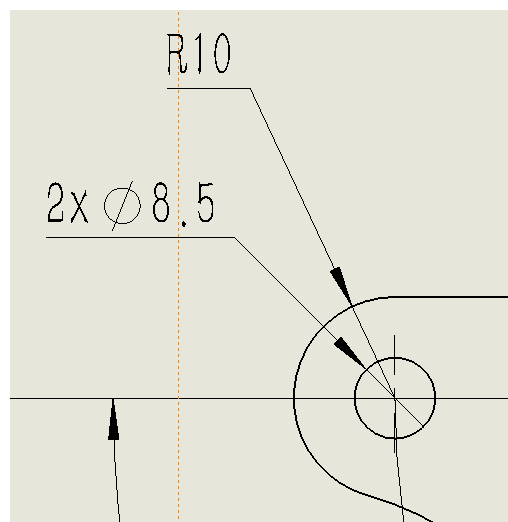


现在假设中间的间距 24 和两个 5 的厚度是比较重要的，那在标注时就只标注这两个尺寸，并且注上公差，24 为 ± 0.05 ，这样既保证了重要尺寸的精度要求，又降低了次要尺寸（34）的精度



1、对于使用较大图纸（A0、A1、A2）的零件工程图，尺寸的字体应相应调大，因为加工的时候是打印成纸质版，再拿到车间里加工，A0、A1 的纸太大了，不方便使用，所以会选择小一点的纸，这时上面的尺寸如果继续沿用图纸自带的大小，就会看不清了。

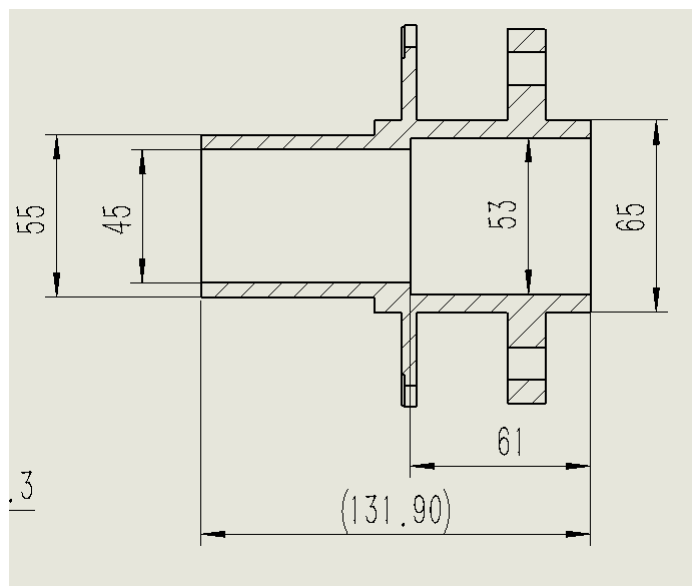
2、尺寸数字不要与零件的轮廓线重合



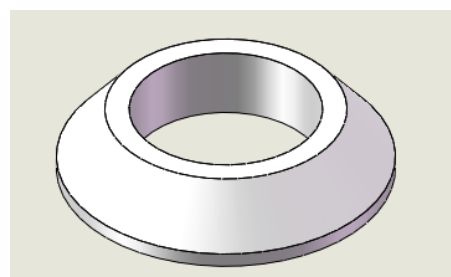
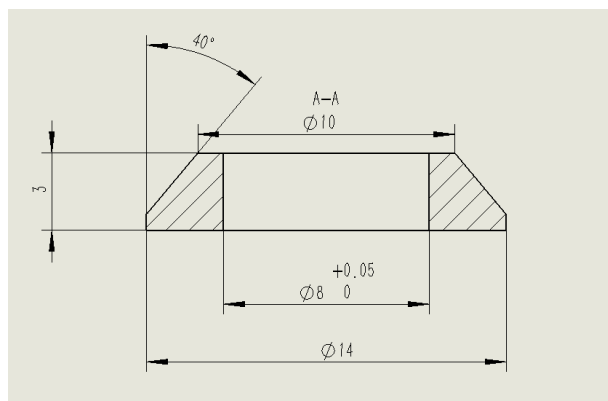
- 3、标注尺寸、特别是复杂零件的尺寸时，注意标注完整、清晰、有序
- 4、像是直径之类可以选择放置角度的尺寸，记得将引出线末端改成水平，方便阅读

5.1.4 视图的选择

除了前视、俯视图和左视图三个基本视图之外，对于不同的零件，还可以选择添加辅助视图来使零件的表达更清晰、尺寸标注更方便。其中最经常使用到的即为剖视图。其他还有局部剖、局部放大、向视图、断面图等。



有时候零件不是十分复杂时，可以选取尽量少的视图，使用最具有代表性的视图就足够了，如下面的锥形垫片，只需要一张图片就可以将其表达清楚



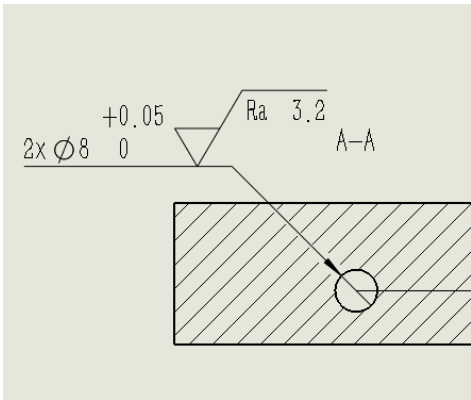
在图纸空白处可选择放置一张轴测图，方便加工人员直观地了解零件的外形

5.1.5 表面粗糙度基础

粗糙度越小，即越光滑，在工作时磨损也会小，工作性能也会更好，但是与之相对的，造价也会更高。工业上对其的要求是，在保证性能的前提下，尽量使用大的表面粗糙度，以

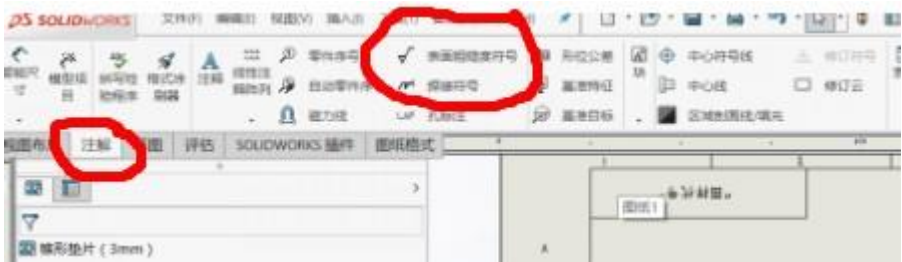
节省成本。详细的我就不在这介绍了，如果有兴趣的话可以自己找相关资料阅读，接下来就讲一下需要用到的基本知识。

一般平面、非配合平面	无要求/12.5
较为重要的平面	6.3
与光杆相配合的孔、转动滑动速度不高的接触面	3.2
轴套（用来与轴承外圈配合的孔）（由于不好加工）	1.6
轴上安装轴承的表面（好加工）	0.8



Tips:

SOLIDWROKS 表面粗糙度标注方法简要说明



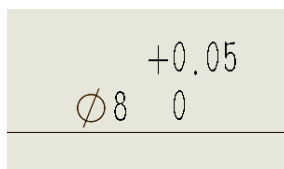


符号一般选择第二个，表示表面去除材料的表面粗糙度，之后在符号布局中填写相应的表面粗糙度即可。放置位置可以选择放置在尺寸线上，也可以另外引出引线。

5.1.6 尺寸极限偏差基础

在零件加工过程中，由于种种因素，尺寸是无法加工到绝对精准的，但是如果尺寸不合适，会给零件的配合带来困难。而可行的方法是在满足零件性能要求的条件下，允许尺寸在所限定的范围内变动。这个允许变动的范围就称为尺寸极限偏差，也称作公差。

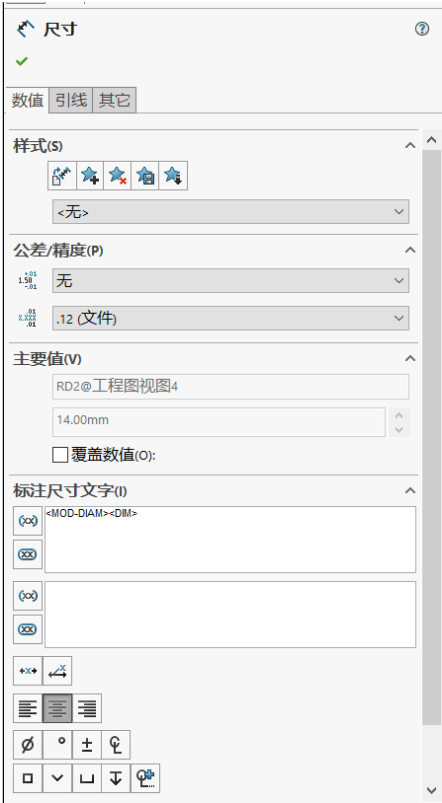
基础知识：像是有一个孔，它是要有一根直径为 8 的光杆通过的，那么这个孔的直径至少要是 8，可以稍微大一点但是不可以小，因此公差应为



Tips:

SOLIDWORKS 公差标注方法简要说明：

先点击尺寸，在右边就会出现下图，在公差/精度这边选择类型，填写数字，上面那个孔的公差是选择了双边



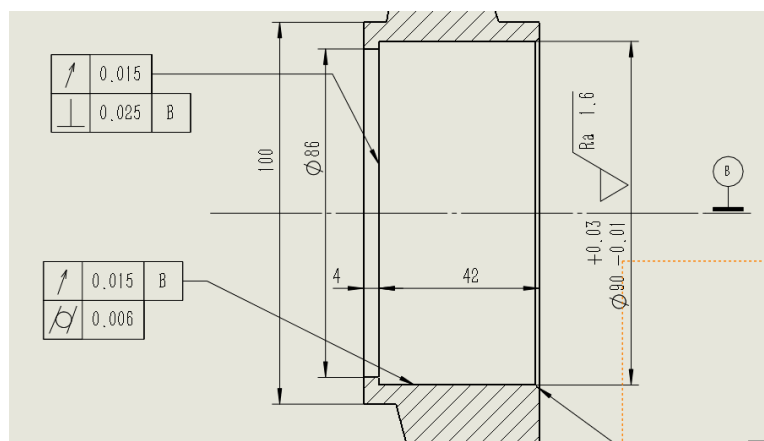
5.1.7 几何公差基础

零件上的一些特征部分，如点、线或者面称为要素，这些要素在加工的时候可能会出现形状、位置或方向等方面的误差，如两个圆柱的轴线没有重合，这时就需要几何公差来限制允许的偏差。

下图是一张几何公差，也可以叫形位公差的表格

表 15-8 几何公差特征项目及符号			
分 类	名 称	符 号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	▱	无
	圆度	○	无
	圆柱度	⊘	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌒	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌒	有
位置公差	位置度	⊕	有或无
	同心度 (用于中心点)	◎	有
	同轴度 (用于轴线)	◎	有
	对称度	≡	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌒	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	↗	有

就好比需要装轴承的内圈，那么其圆柱度就有相应的要求，而且用来给轴承限位的轴肩也应垂直于内圈，因此也有垂直度的要求。



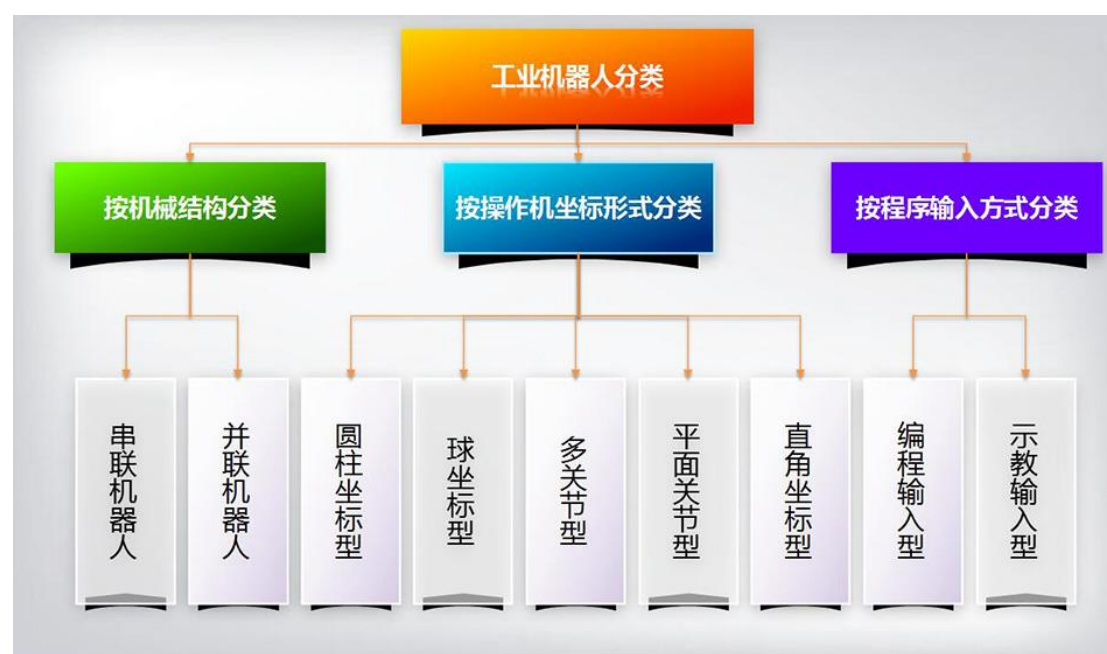
5.1.8 总结

好的画图习惯需要在平时的练习中养成，日积月累的练习不但能提升画图能力，还能使好的画图习惯成为本能。创建大型装配体可以让我们更深地体会到画图习惯的重要性，建议大家在具备了基本的画图能力后，尝试创建一个大型装配体，并在装配体完成后，对零件进行修改，以加深对画图习惯的理解。

5.2 机器人基础（概念篇）

机器人一般由执行机构、驱动装置、检测装置和控制系统和复杂机械等组成。

5.2.1 机器人分类



5.3 机器人基础（机械篇）

5.4 设计实例——底盘

5.5 设计实例——云台

5.6 设计实例——补给站

5.7 设计实例——英雄车登岛结构

5.8 设计实例——工程车功能实现

6 比赛规则及其他

6.1 比赛规则综述（赛场角度分析）

6.2 2017 各赛区决赛队伍与比赛分析