

面向制造和装配的产品设计

© 2023 maxiaofeng=chishui

培训目的

教学相长

在培训过程中积极互动，提高培训效果

抛砖引玉

引导养成良好的面向制造和装配的设计的系统思维习惯

DFMA

学以致用

据此持续优化现有开发流程，从研发端提高产品的竞争力

课题落地

选中具体的落地项目，按照面向制造与装配的产品设计的理念进行产品开发

第一部分 总论

- 设计的重要性
- DFMA概念
- DFMA的价值
 - ◆ 宏观、微观方面的价值;
 - ◆ 减少设计修改
 - ◆ 缩短产品开发周期
 - ◆ 降低产品成本
 - ◆ 提高产品质量
- DFMA的实施
 - ◆ 实施DFMA的关键步骤
 - ◆ DFMA与传统开发流程对比
 - ◆ DFMA检查表
 - ◆ DFMA实施
 - ◆ DFX

附1: 产品生命周期管理实例

附2: 参考文献

第二部分 塑胶件的设计

- 定义与特性
- 分类
- 材料
- 塑胶件设计
 - ◆ 零件壁厚
 - ◆ 避免尖角
 - ◆ 脱模斜度
 - ◆ 加强筋的设计
 - ◆ 支柱的设计
 - ◆ 孔的设计
 - ◆ 提高塑胶件强度的设计
 - ◆ 提高塑胶件外观的设计
 - ◆ 降低塑胶件成本低设计
 - ◆ 注塑模具可行性设计
 - ◆ 塑胶件的装配
 - ◆ 卡扣装配
 - ◆ 卡扣的设计
 - ◆ 机械固定, 自攻螺钉
 - ◆ 超声波焊接
 - ◆ 塑胶件DFMA检查表

第三部分 钣金件的设计

- 钣金概念
- 钣金材料类型
- 钣金设计
 - ◆ 冲裁
 - ◆ 折弯
 - ◆ 拉深
 - ◆ 凸包
 - ◆ 止裂槽
 - ◆ 飞边
 - ◆ 提高强度
 - ◆ 降低成本
 - ◆ 装配及对比

第四部分 压铸件的设计

- 压铸件概念及优缺点
- 材料类型
- 压铸件设计
 - ◆ 零件壁厚
 - ◆ 最小孔
 - ◆ 加强筋
 - ◆ 脱模斜度和圆角
 - ◆ 支柱
 - ◆ 字符
 - ◆ 螺纹
 - ◆ 飞边和浇口
 - ◆ 公差
 - ◆ 简化设计
 - ◆ 机械加工
 - ◆ 简化产品结构, 降低产品成本

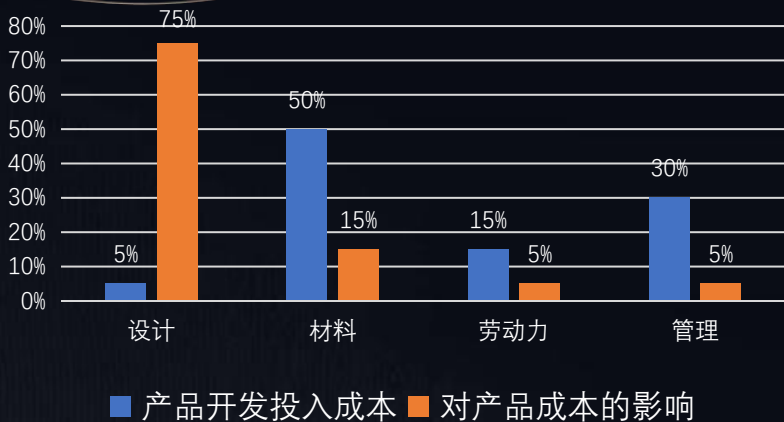
第五部分 机械加工件的设计

- 通用机械加工件的设计
 - 车削件的设计
 - 钻削件的设计
 - 铣削件的设计
 - 机械加工DFMA核查表
- ## 第六部分 公差分析
- 公差的定义及产生
 - 公差的本质
 - 公差和成本
 - 公差分析的常见错误方法
 - 公差分析的步骤
 - 极值法与均方根法的差异
 - 公差设计的三大原则

第一部分 总论

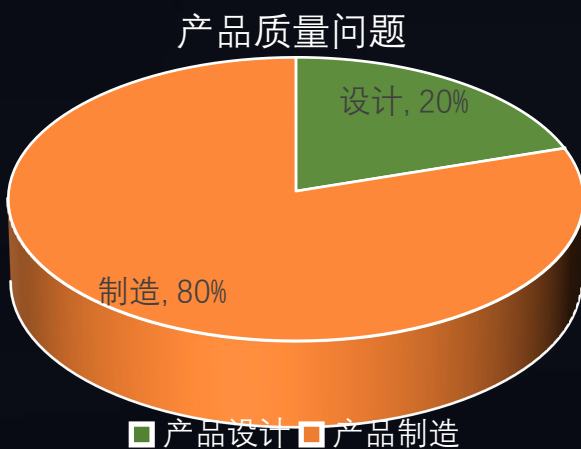
1、设计决定了产品成本

- 产品设计阶段的成本仅仅占整个产品开发投入成本的5%。
- 产品设计决定了75%的产品成本。
- 产品设计在很大程度上决定了材料、劳动力和管理的成本，如果没有产品设计的优化，材料、劳动力和管理对于降低产品成本影响很小。



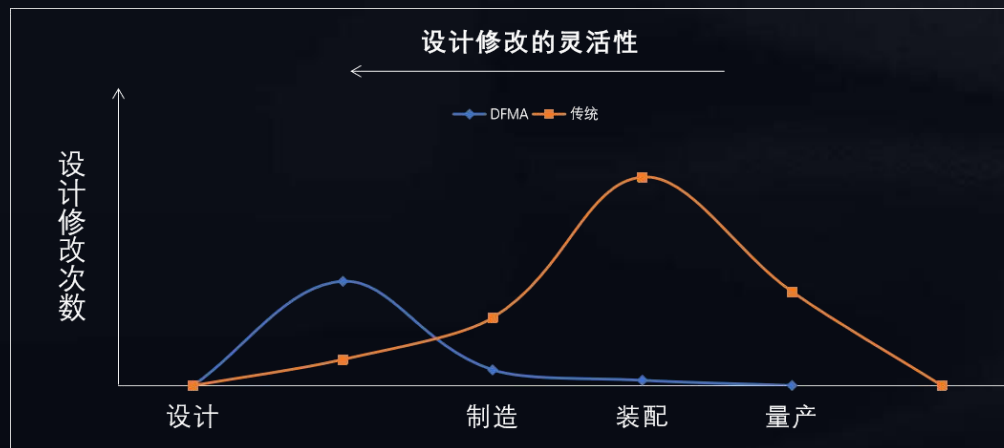
2、产品设计决定了产品质量，质量从哪里来？

- 质量是检验出来的？事后把关，挑出不合格；
- 质量是制造出来的？仅仅是实现设计要求；质量是设计出来的？设计决定产品基因
- Taguchi:产品质量首先是设计出来的，然后才是制造出来的。
- 德国人对质量的定义:优秀的产品设计加上精致的制造。
- 二八原则:80%左右的产品质量问题是由设计造成的。



3、产品设计决定了产品的开发周期

- 面向制造和装配的产品开发相对于传统的产品开发在各个阶段的设计修改次数如图所示。两者最大的差异是前者将设计修改前置到设计阶段，通过设计阶段的方案创造、修改和优化，实现部件易制造，整机易装配，售后易维修，回收易拆解等。
- 设计修改集中在产品设计阶段，追求一次就做对，同时降低修改的经济成本、时间成本和口碑损失成本等。



设计：根据设计师Victor Papanek的定义——设计是为构建有意义的秩序而有意识付出的努力。更详细的定义如下：

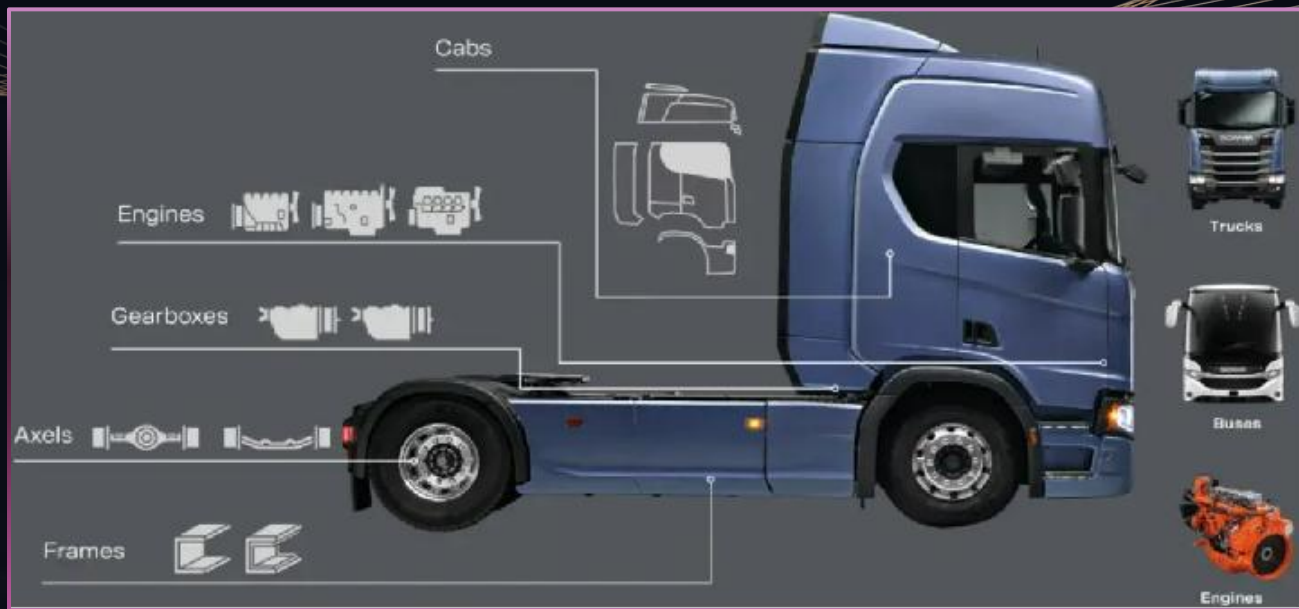
- 第一步：理解用户的期望、需要、动机，并理解业务、技术和行业上的需求和限制。
- 第二步：将这些所知道的东西转化为对产品的规划（或者产品本身），使得产品的形式、内容和行为变得有用、能用，令人向往，并且在经济和技术上可行。（这是设计的意义和基本要求所在）

DFMA：面向制造和装配的产品设计(Design for Manufacturing and Assembly 简称DFMA):在考虑产品外观、功能和可靠性等前提下通过提高产品的可制造性和可装配性，从而保证以更低的成本、更短的时间和更高的质量进行产品设计。

- 可制造性:制造工艺对零件的设计要求，确保零件容易制造、制造成本低、质量高等。
- 可装配性:装配工艺对产品的设计要求，确保装配效率高、装配不良率低、装配成本低、装配质量高等。



斯堪尼亚卡车



乐高积木



军用航空发动机

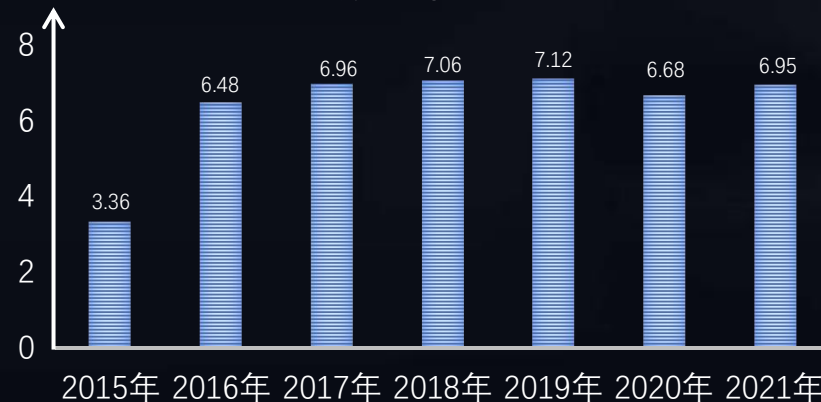
宏观方面，具有以下几方面的价值：

- **社会价值：**推动社会的进步和发展。如人类社会最大的卫生贡献疫苗和清洁的饮用水，这两个是使人类寿命大幅提高的主要原因。这些都有人类有意识的努力。再如马斯克的移民火星计划等等。
- **经济价值：**设计能够创造出品牌价值和形象价值，它们具有无法替代的经济价值，为国家在国际竞争中创造出得天独厚的无形的综合优势。
- **生态价值：**《绿色律令》书中对“设计伦理”、“设计的精神”、“设计生态学”、“设计教育”等问题进行了深入的讨论，其中设计生态学接近今天的可持续发展理念。我们要崇尚简约、低碳和闭环循环的设计。践行循环经济模式。如海尔承建的“全国家电行业数字化回收平台”建设。实体灯塔工厂可拆解家电200万台。（全球制冷、洗衣、空调及大型厨电年销量7亿件左右）
- **文化价值：**设计文化作为文化载体是以创造物质文化为根本，并融合了精神文化和物质文化双重意义，同时可以超越人种和语言，全球传播。



希腊克里特岛科罗索斯王宫（公元前1900年，此时中国为夏代）遗址中手持水具的侍女壁画

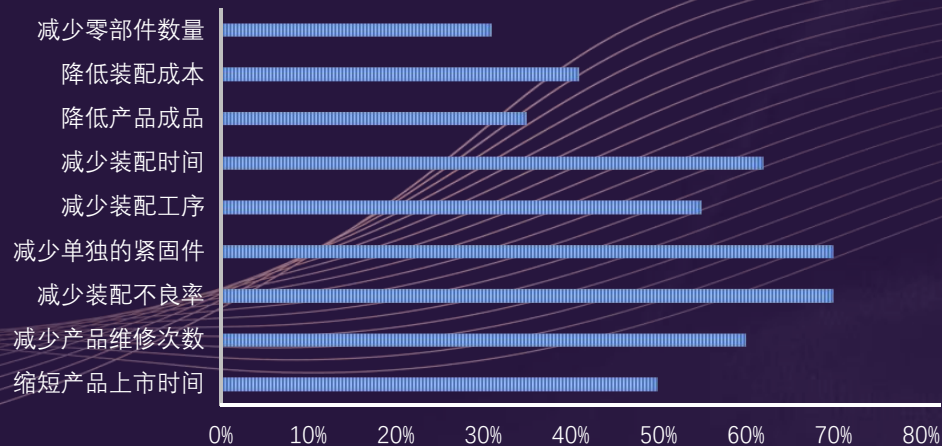
2015-2021年全球大家电市场销量统计
销量（亿件）



- **微观方面：**面向制造和装配的产品设计充分考虑部件制造和整机装配的要求，第一次就把事情作对。具有四大优点：



DFMA的价值



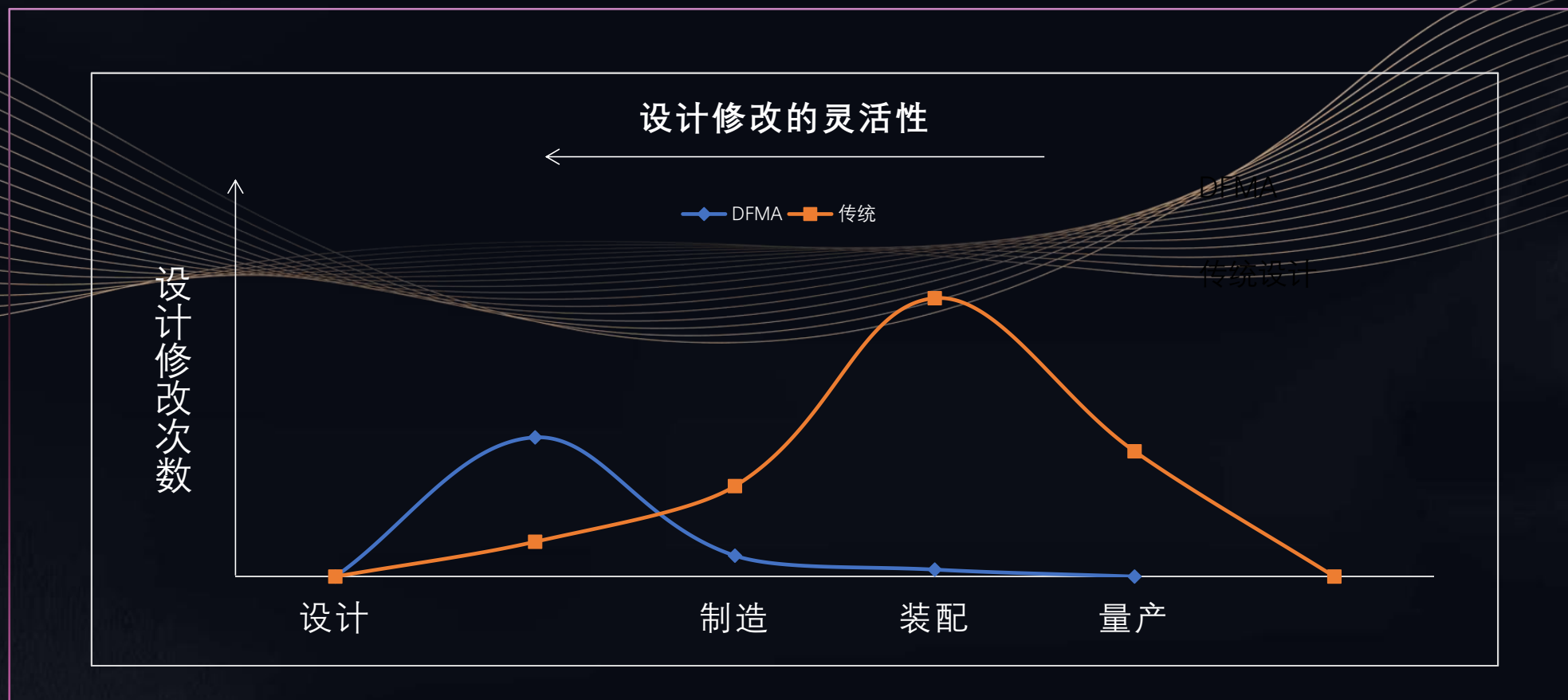
- **案例：**

C品牌同一系列的产品共规划了2款外观，4个型号的产品。

- 其中双模产品在快件样机开发阶段，各个环节评审共计38个问题，研发组内部评审62个问题。
- 正是研发组的超高标准，严格要求，将问题在模具制作前全部找出，最终产品顺利量产。
- 单模产品由于设计不合理，最终产品在量产后一次下线合格率太低，最终产品模具报废，重新设计开模，仅模具费就损失260万元。

1、减少设计修改:

- 产品具有很好的可制造性和可装配性，产品制造和装配顺利，设计修改少把设计修改集中在产品设计阶段，第一次就把事情做对。
- 产品设计阶段修改容易、灵活性高、修改时间短、成本低；越到产品开发后期，设计修改越难、灵活性越低、成本越高。



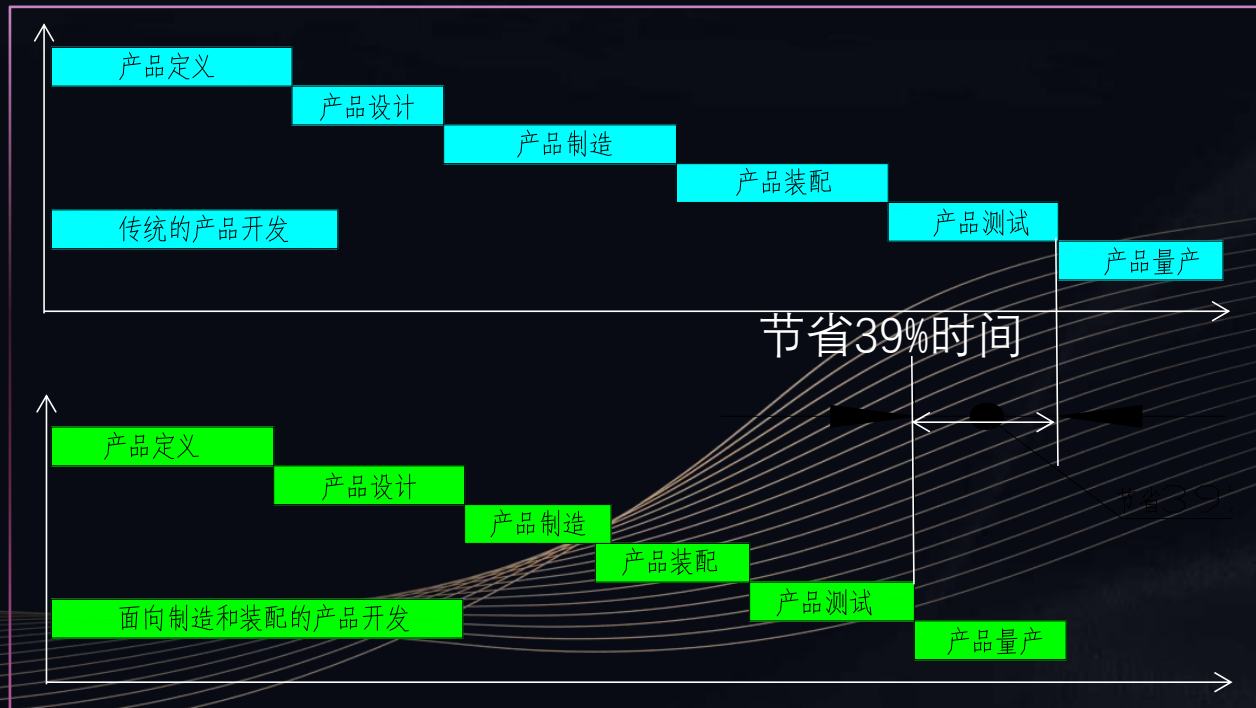
2、缩短产品开发周期:

- 在产品阶段投入较多的时间和精力，第一次就把事情做对；
- 第一次就把事情做对，相比传统产品开发周期缩短39%

产品开发时间构成

	周期 (天)	说明
产品设计	90-360	
模具开发及更改	60-360	由模具设计、机加工、装配及模具精细化等构成。
样机制作	取决于部件材质、制造设备及工装器具、制造工艺、组件装配工艺等因素。	
样机装配	由组装工序（如焊接、喷粉、搪瓷）和复杂程度决定。	
实验测试	包括外部强制认证、能效认证、节能认证和特殊认证及内部的形式试验和可靠性实验周期。	
试制转量产	如手工样机、工艺样机、小批样机等各阶段时间。	

其中面向制造和装配的设计时间在整个产品开发周期中起到了“牛鼻子”的作用，这个阶段投入的时间长，工作做得细，能实现模具结构更简单，部件生产简单高效，整机装配更合理，降低生产引起的质量不良等，减少设计导致的实验不合格等。从整个环节，多个节点节省时间，缩短整个开发周期。在产品还没有完善前，匆匆忙忙进行模具设计和制造，结果只能是事倍功半、适得其反。



案例：（以家电行业为例）

内资品牌：

- H品牌：2007年4月26日启动1000天流程再造，通常A类300天-540天；B类180天-240天
- M品牌：通常A类360天-540天；B类180天

外资品牌：

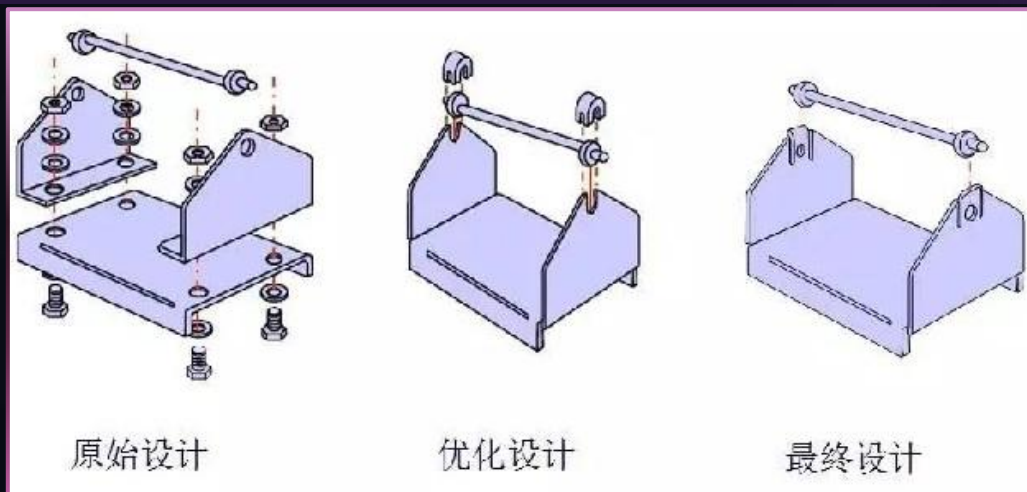
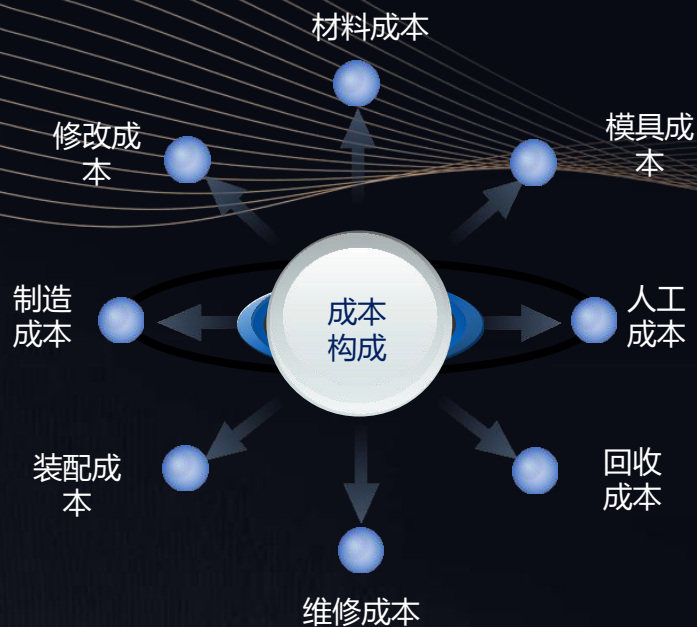
- A品牌（美资）：正常产品开发周期A类540天-720天；B类240-360天（来源于第三方渠道）
- L品牌（日资）：正常产品开发周期A类360天-720天；B类240-360天（来源于第三方渠道）

3、降低成本

竞争力大师迈克尔·波特 (Michael E.Porter) 在其1980年出版的《竞争战略》 (《Competitive Strategy》) 一书中提出了三种卓有成效的竞争战略, 它们是**成本领先战略、差别化战略和专一化战略**。

其中, **成本领先战略**处于至关重要的首要地位。放眼全球商品及服务, 随着时间的推移, 绝大多数都最终归结为**总成本领先战略**。好的设计是全链条、全节点成本最优, 是**综合成本最优**。

- 在设计阶段进行成本分析, 满足功能的前提下, 选择合适的材料和最经济的制造工艺, 降低成本;
- 减少设计修改, 降低成本。在开发周期里, 设计修改的灵活性随着时间的推移越来越低, 修改所导致费用呈10倍增长;
- 简化零件设计、减少零件数量, 降低制造复杂度, 降低成本;
- 选择合适的装配工序、保证产品的可装配性, 使装配简答、有效率、人性化, 减少装配工序和装配时间, 降低装配成本;
- 降低产品不良率, 减少成本浪费。



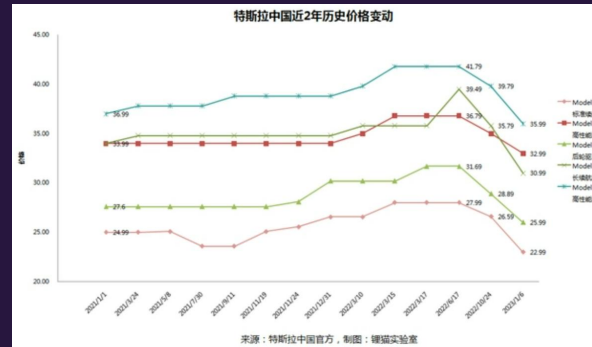
原始设计

优化设计

最终设计

降低成本案例1:

第一辆成品T型车诞生于1908年9月27日，位于密歇根州底特律市的皮科特(Piquette)厂。该车的价格降低到290美元/辆，福特工人日薪5美元，半年可以买一辆。依靠成本，福特汽车在美国的市占率超过60%。累计销量1500万辆。在20世纪世界最有影响力汽车（英文）的全球性投票之中，福特T型车荣登榜首。



降低成本案例2:

特斯拉也在干同样的事情，依靠简约、多功能集成化设计，将汽车零部件数量由传统的3万多个压缩到了1万多个，且还在持续下降。一体压铸技术使特斯拉原本需要70个零部件集成为1个。正是由于良好的设计，特斯拉才可以持续降价，以Model Y长续航版车型为例，从最初的48.8万元，降到目前的30.99万元，降幅达36.5%。

时间	后轮驱动	长续航	高性能	幅度	时间	后轮驱动	长续航	高性能	幅度
2020.7.13		48.8			2022.3.15	-	37.59	41.79	涨1.8、2.0
2021.3.24	/	34.79	37.79	涨0.8	2022.3.17	31.69	-	-	涨1.5
2021.9.11	/	-	38.79	涨1.0	2022.6.17	-	39.49	-	涨1.9
2021.11.24	28.07	-	-	涨0.47	2022.10.24	28.89	35.79	39.79	降2.8、3.7、2
2021.12.31	30.18	-	-	涨2.1	2023.1.6	25.99	30.99	35.99	降2.9、4.8、3.8
2022.3.10	-	35.79	39.79	涨1.0	2023.2.10	26.19	-	-	涨0.2

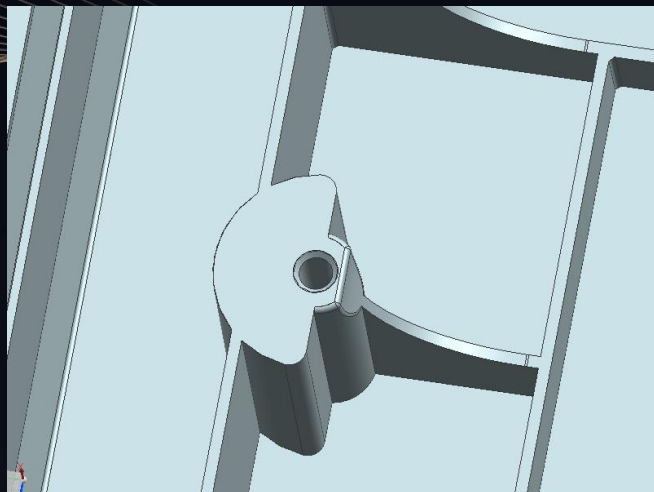
2021年1月1日，据特斯拉中国官网：特斯拉Model Y长续航版起售价为30.99万元，此前为48.8万元，下调14.81万元。特斯拉Model Y Performance 高性能版起售价为36.99万元，此前为53.5万元，下调16.51万元。

4、提高产品质量:

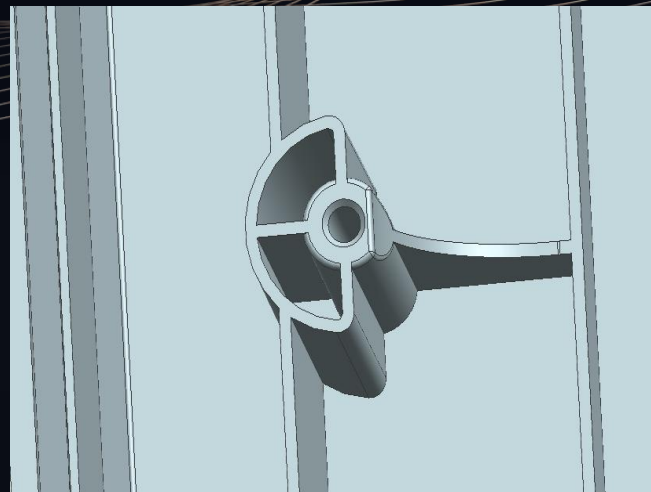
➤通过DFMA，产品具有很好的可制造性和可装配性，产品设计在产品开发阶段就得到了优化和完善，避免产品在后期制造和装配产生中的质量问题，大大提高了产品的质量。

案例:

➤在设计阶段充分考虑注射工艺对零件的设计要求，进行掏空设计，避免壁厚太大，保证了零件壁厚均匀，不出现缩水、变形、汽包等问题，零件质量更好。



错误的设计：壁厚不均、缩水、变形



正确的设计：合理避空、均匀壁厚

为提高产品质量、缩短开发周期、降低开发成本，实施DFMA的关键：

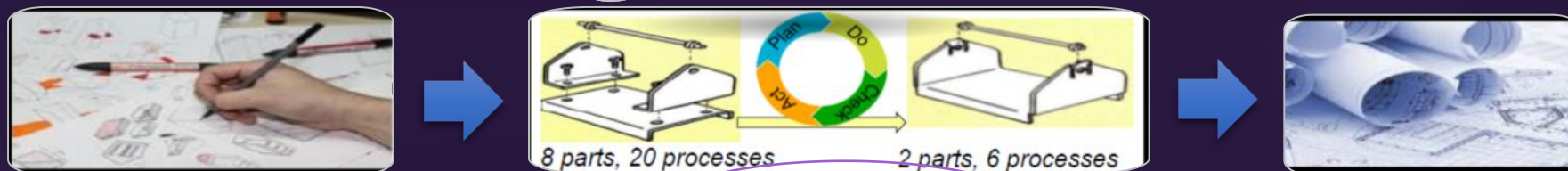
1、转变思想

- 我们设计，你们制造 → 我们设计，你们制造，设计充分考虑制造的要求
- 重制造，轻设计 → 加大对设计的投入，支持DFMA

2、组建DFMA团队：



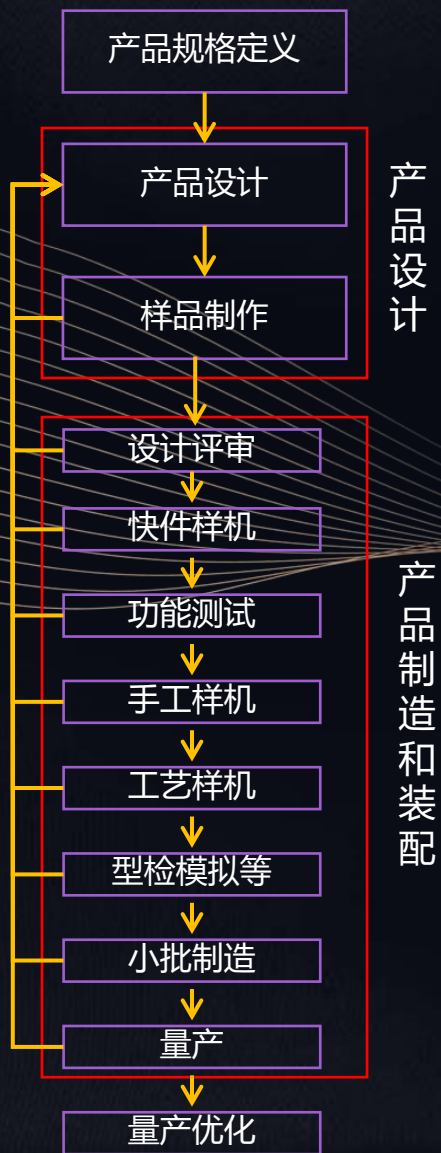
3、实施DFMA开发流程



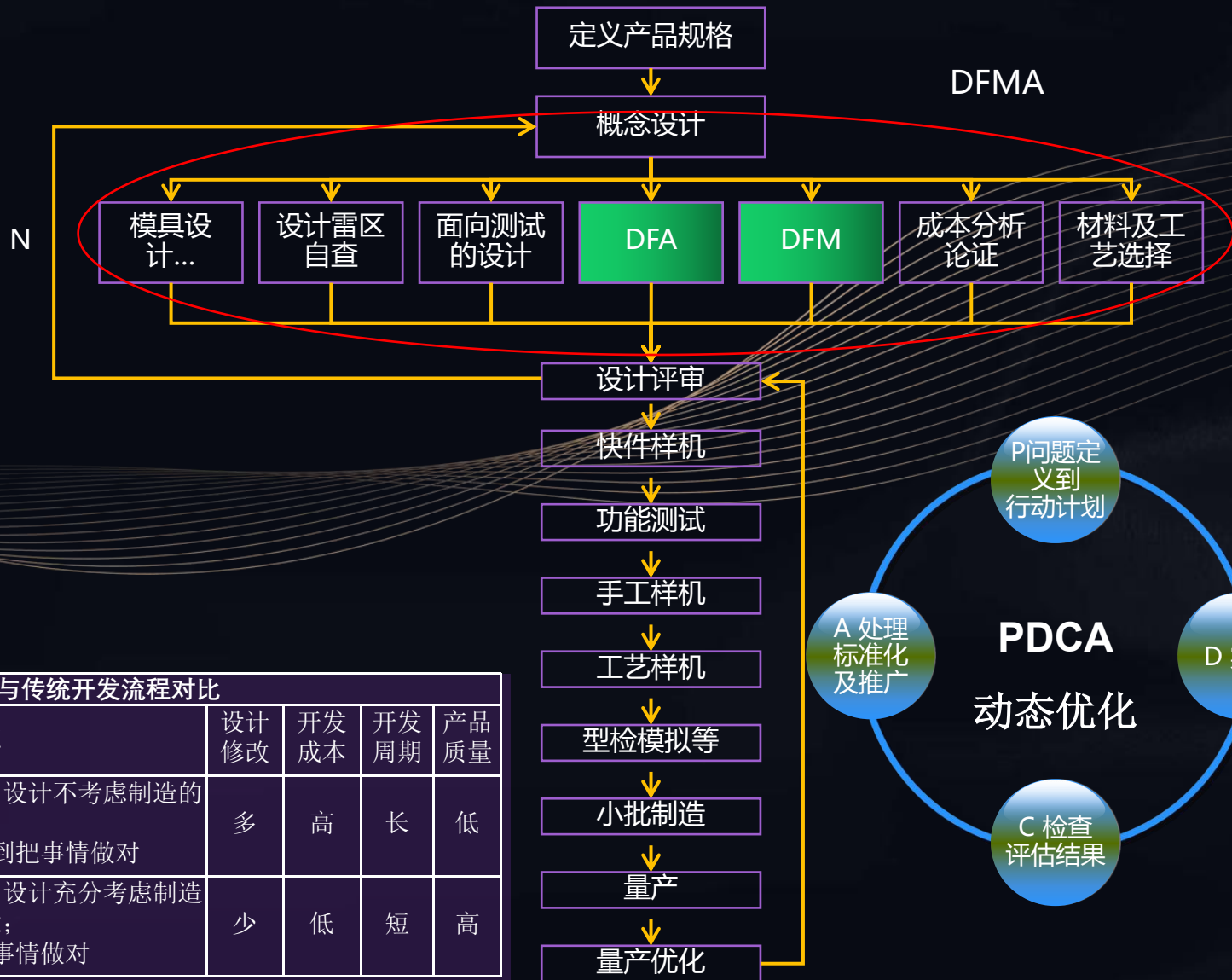
4、开展DFMA培训

5、使用DFMA检查表

● 瀑布式开发流程：



● DFMA开发流程：



DFMA与传统开发流程对比					
优劣模式	特点	设计修改	开发成本	开发周期	产品质量
瀑布式开发	我们设计，你们制造，设计不考虑制造的要求；反反复复修改直到把事情做对	多	高	长	低
DFMA	我们设计，你们制造，设计充分考虑制造的要求；第一次就把事情做对	少	低	短	高

DFMA检查表

DFMA检查表					
面向装配的设计检查		装配工序	把冰箱打开	把大象装进去	把冰箱门关上
零件标准化	1.五金零件标准化				
	2.重复利用其他项目零件				
产品模块化					
设计一个稳定的基座	1.最理想的装配是金字塔式的装配				
	2.设计一个稳定的基座				
	3.避免把大的零件置于小的零件之上				
零件容易被抓取	1.避免零件过小、过滑、过热、过软				
	2.设计抓取特征				
	3.避免零件锋利的边、角				
避免零件缠绕	1.避免零件互相缠绕				
	2.避免零件在装配中卡住				
减少零件装配方向	1.装配方向越少越好				
	2.最理想的装配方向是从上至下				
设计导向特征					
先定位后固定					
避免装配干涉	1.避免零件过程干涉				
	2.避免运动件运动过程干涉				
为辅助工具提供空间					
为重要零部件提供装配止位					
宽松的零件公差要求	1.合理设计零件间隙				
	2.为关键尺寸缩短尺寸链				
	3.使用定位特征				

DFMA检查表

		DFMA检查表			
面向装配的设计检查		装配工序	把冰箱打开	把大象装进去	把冰箱门关上
避免零件欠约束或过约束	1.避免零件欠约束				
	2.避免零件过约束				
防错的设计	1.零件仅具有唯一正确的装配位置				
	2.零件的防错特征越明显越好				
	3.相似零件合并, 如不能则夸大零件的不相似性				
	4.零件完全对称, 如不能则夸大零件的不对称性				
	5.设计明显防错标识				
	6.最后的选择: 通过制程防错				
装配中的人机工程学	1.避免视线受阻的装配				
	2.避免装配操作受阻				
	3.避免操作人员受到伤害				
	4.减少工具的种类和特殊工具				
	5.设计特征辅助装配				
线缆布局	1.合理的线缆布局				
	2.为线缆提供保护				
可靠性测试	1.防水/防尘IP65/跌落				
	2.散热设计 (芯片温度)				
工程安装设计					
其他					
		总分			
		设计更改建议			

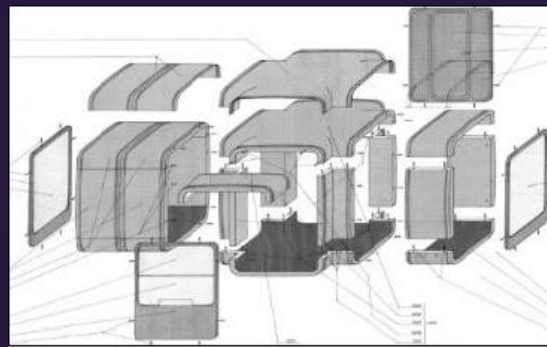
1、DFMA——功能分析：构建功能部件及相互之间关系的完整视图



圆珠笔功能分析示例

进行功能分析的好处：

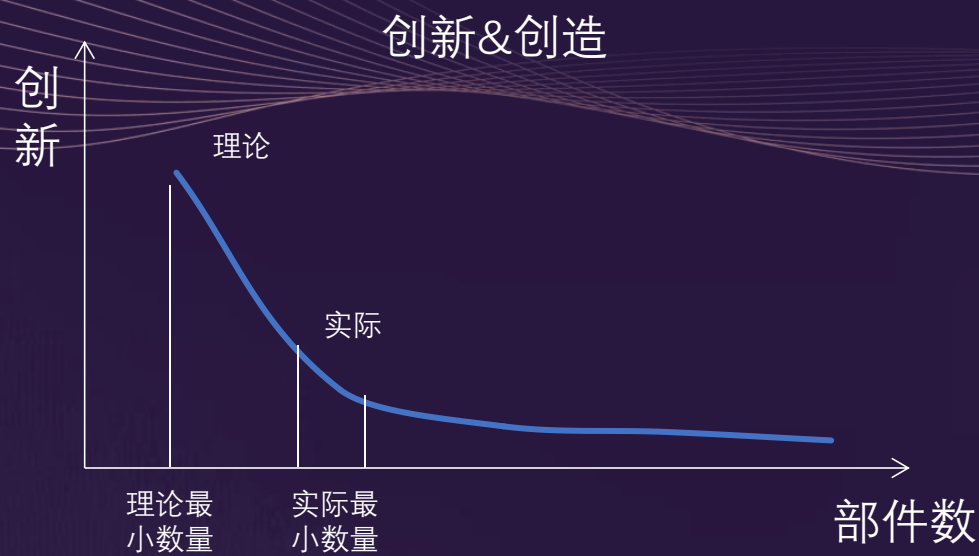
- 全面检查产品的预期用途，以更好地了解用户和客户需求
- 在选择最佳设计方案之前，有助于调动创造性思维进行创新
- 能够识别和定义模块功能，促进模块化和组件的设计



模型设计

2、DFMA——确定功能需求，减少零件数量，并提问：

- 部件是否必须相对于已安装在组件中的其他部件移动？
——只有当运动对产品功能至关重要时，它才是唯一的
- 零件必须由不同的材料制成吗？
——只有当材料类型对产品的适合性、形状或功能至关重要时，它才是唯一的
- 零件必须与其他零件分开吗？
——只有在使用中调整或更换有分离要求时，它才是唯一的



减少零部件数量，以降低库存和装配难度

1	下臂接头
1.1	底座部件-下臂
1.2	下臂盖
1.3	铆钉
2	上臂接头
2.1	上臂
2.2	上臂盖
2.3	铆钉
3	弹簧
4	支点

零件清单

3、DFMA——减少紧固件的数量和类型:

➤ 选用同一种类型的紧固件:

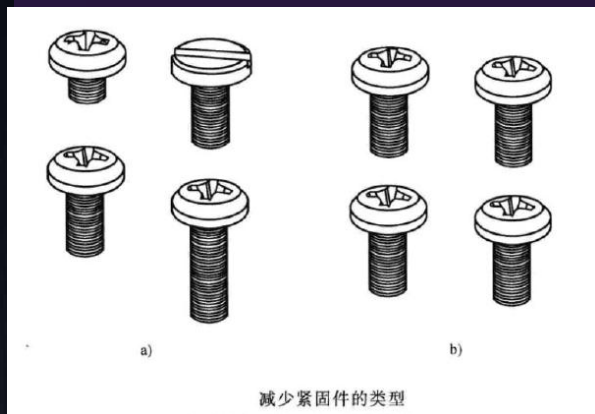
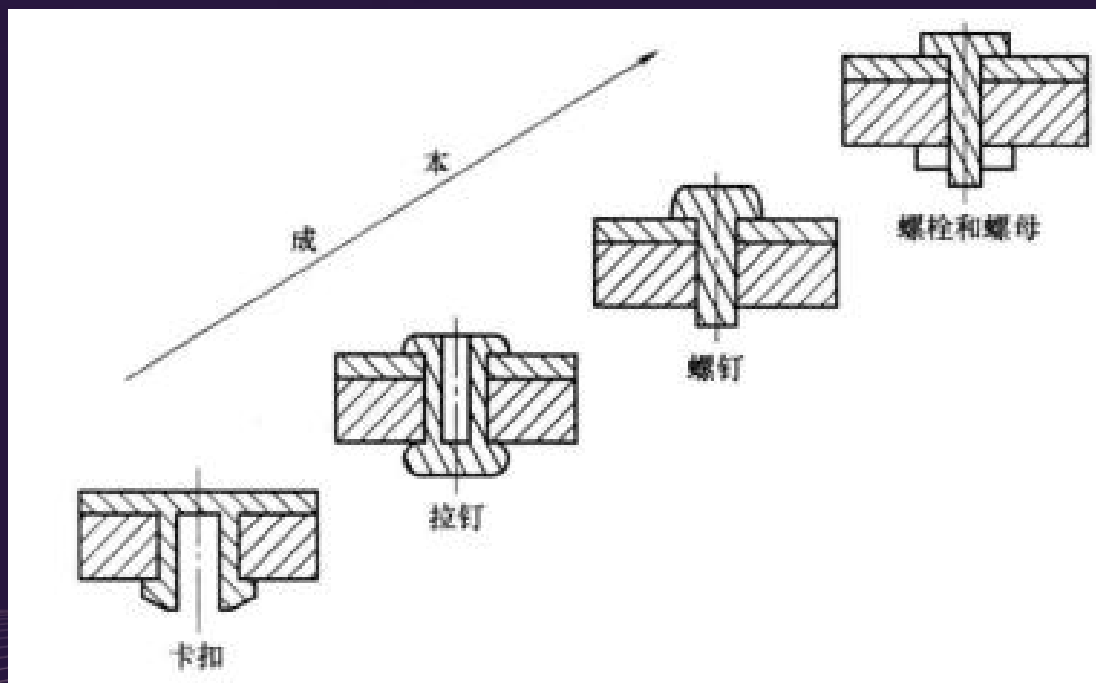
- 卡扣/爪
- 塑料折弯
- 铆接
- 螺钉紧固

➤ 使用卡扣、折边等代替紧固件

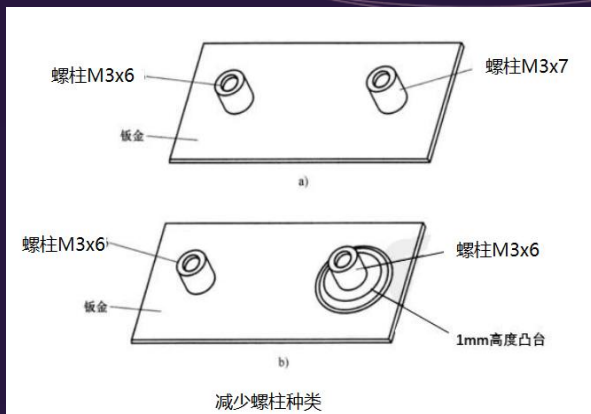
➤ 避免紧固件过于分散，提高装配销量

➤ 使用自攻螺钉代替机械螺钉

➤ 把螺柱和螺母作为最后的选项



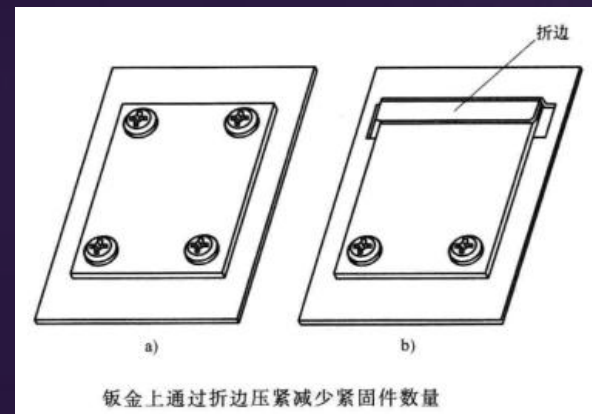
减少紧固件类型



减少螺柱规格



避免太过分散的设计



利用折边减少紧固件数量

4、DFMA——确定零部件最理想的装配方式：

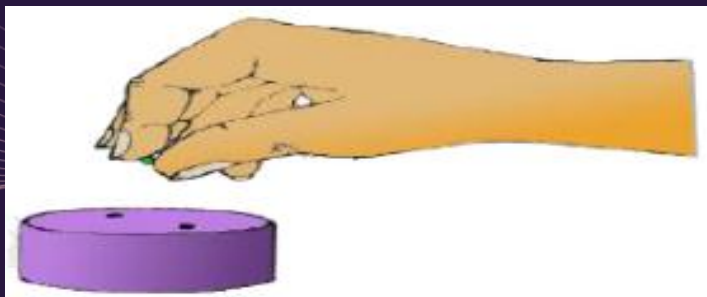
➤ 叠放和卡位设计，避免零件缠绕、卡住



避免缠绕

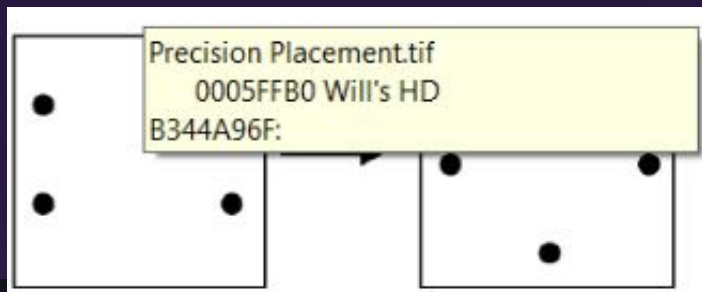


➤ 避免太大或太小



避免小部件，
需要精准放置

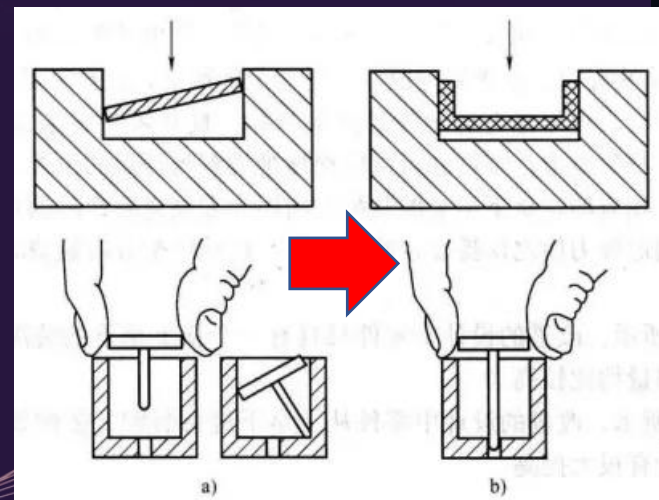
● 对称性设计，降低定位难度



非对称结构

对称设计

对称性设计消除定位问题，降低装配难度

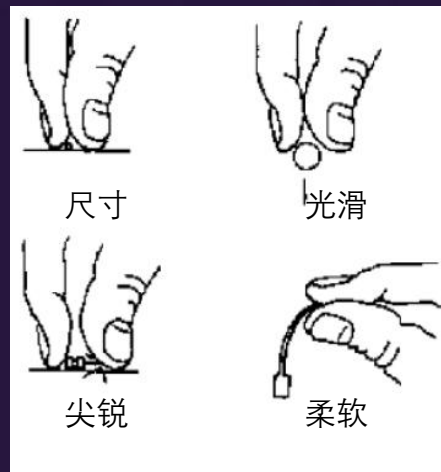


避免卡住

5、DFMA——零件容易被抓取：

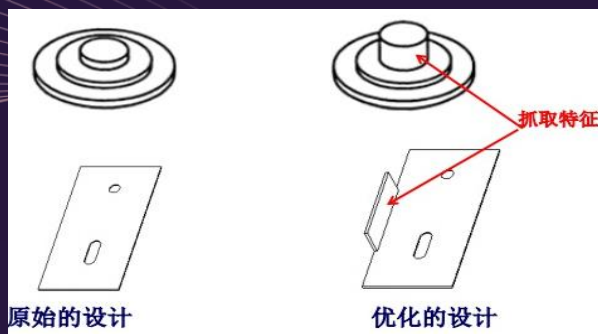
避免零件太小、太重、太滑、太黏、太热或太柔弱

- 需要几只手？
- 需要握紧吗？
- 部件的对称结构对装配有什么影响？
- 部件容易对齐或定位吗？



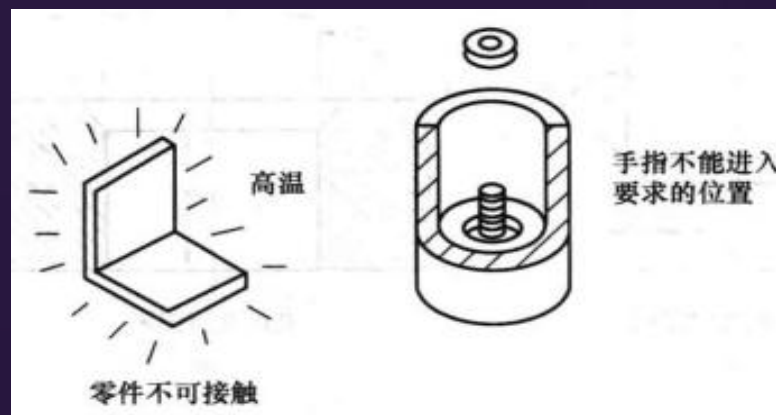
设计适当的抓取特征：

- 如折边



避免零件的锋利边角：

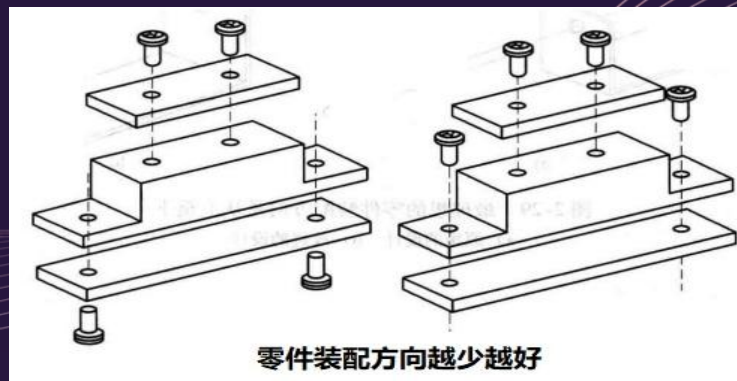
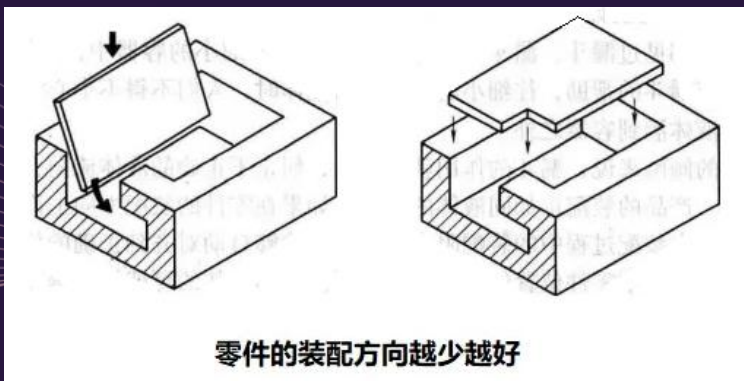
- 防止对操作人员或消费者造成人身伤害



6、DFMA——减少装配方向：

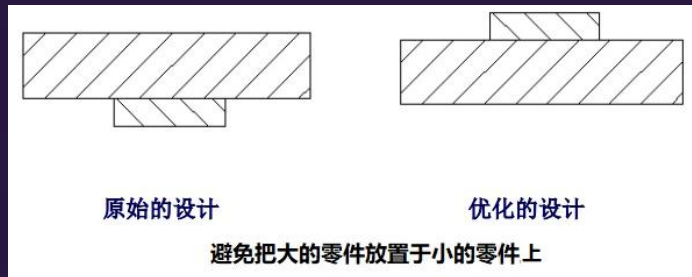
零件装配方向越少越好：

- 零件只有一个装配方向为佳
- 装配方向过多，移动、旋转、翻转等，降低装配效率，操作人员易疲惫
- 装配方向过多，可能造成零件发送碰撞而损坏



注意事项：

- 避免自下向上装配，这需要克服零件的重力，在零件固定前需要施加外力保持正确位置，费时、费力，易造成质量问题



7、DFMA——防错设计：

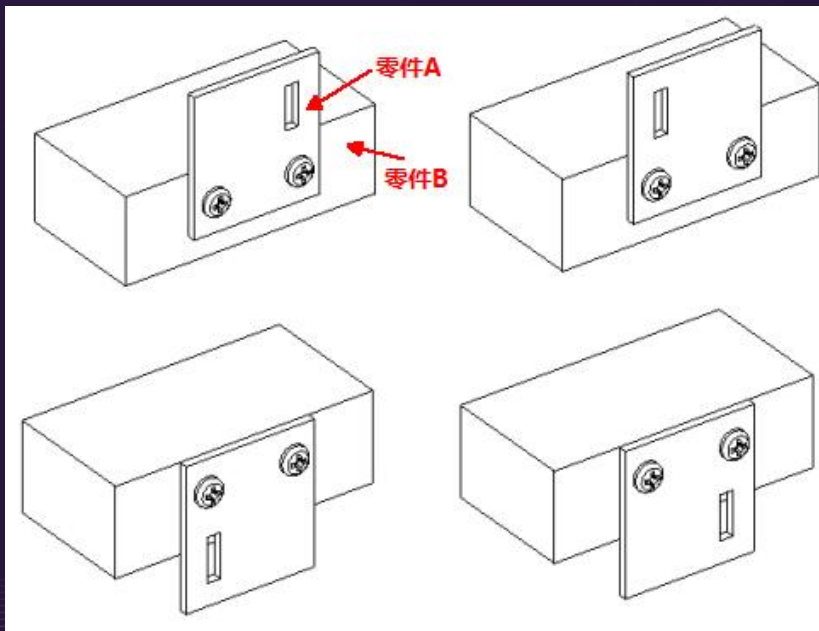
墨菲定律：可能出错的事，就会出错。

防错设计的好处：

- 防止用错部件、漏装部件、部件方向错误
- 减少时间浪费、不必要检查
- 消除返工
- 提高人性化、可操作性

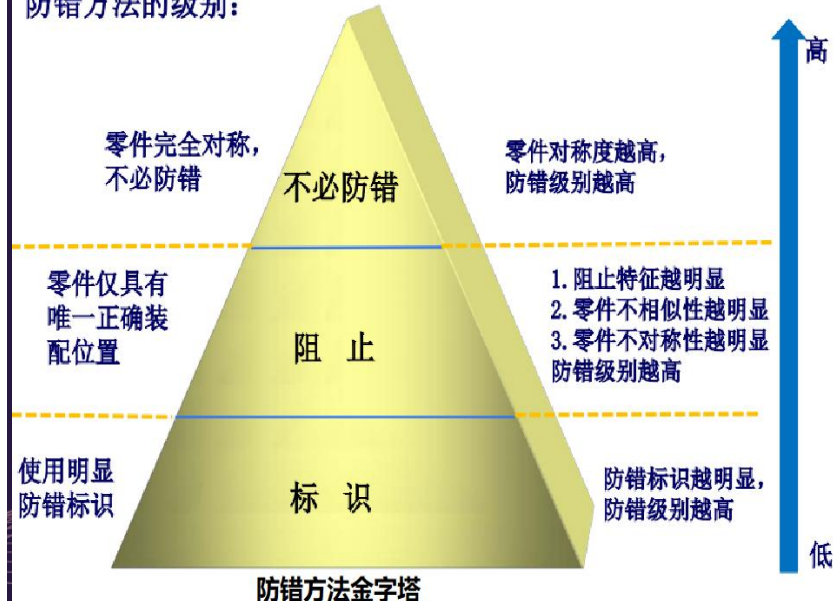
好的防错设计：

- 零件仅具有唯一正确的装配位置
- 相似零件具备醒目的防错特征、明显的不对称性



易造成装配方向错误的设计

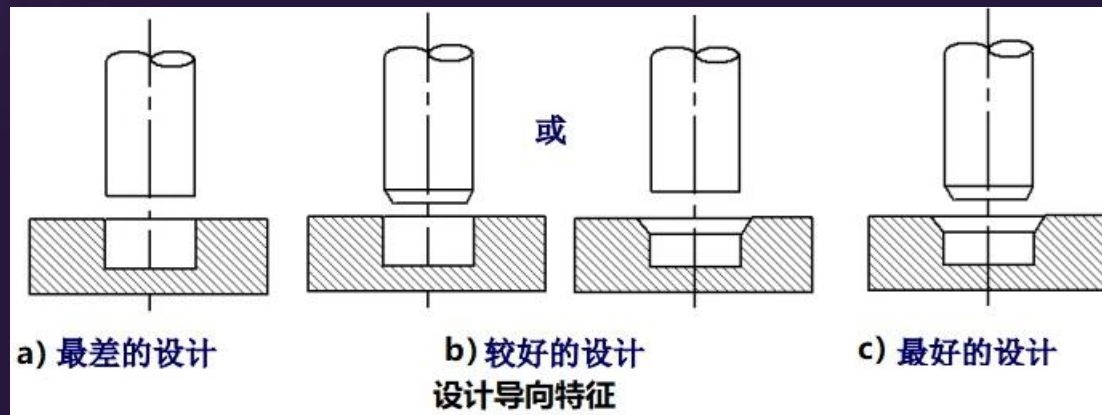
防错方法的级别：



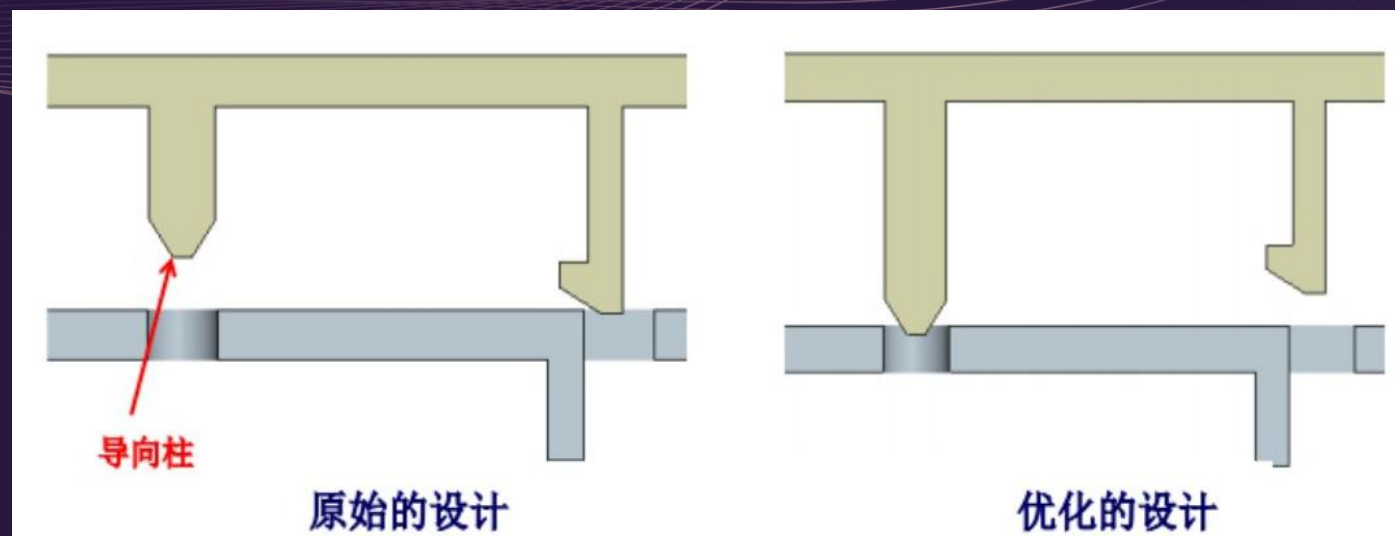
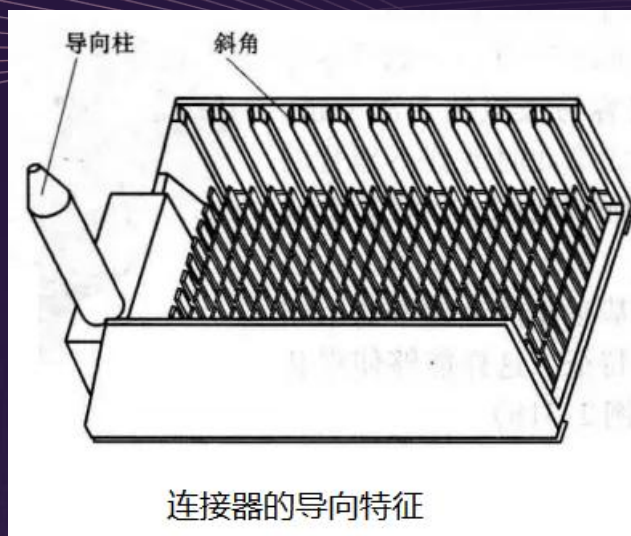
好的防错设计

8、DFMA——导向与定位:

- 导向特征：斜角、圆角、导向柱、导向槽



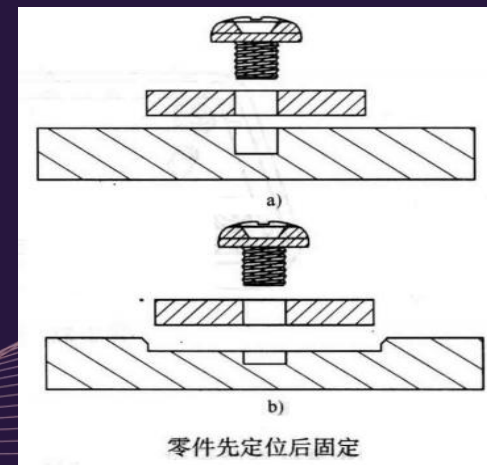
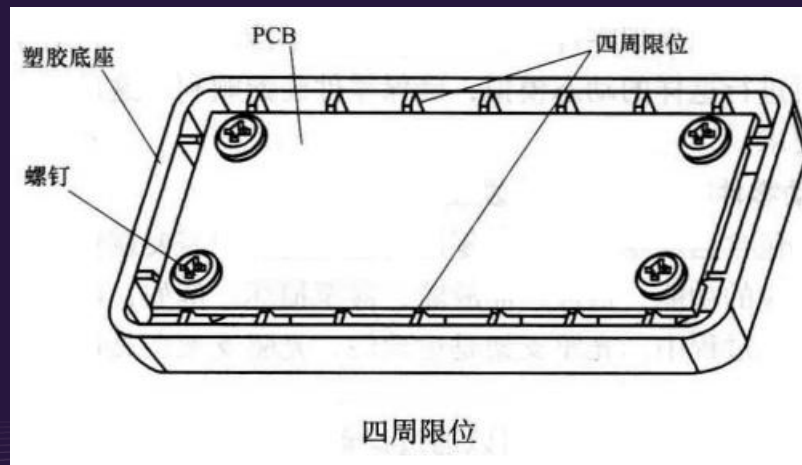
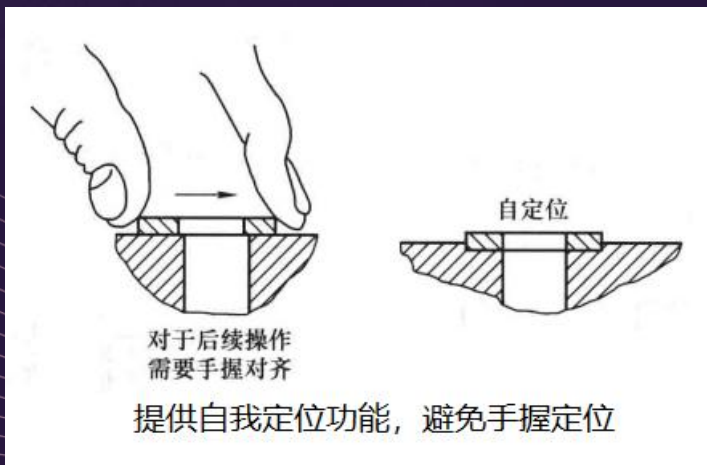
- 导向特征应先于零件的其它部分与对应的装配件接触



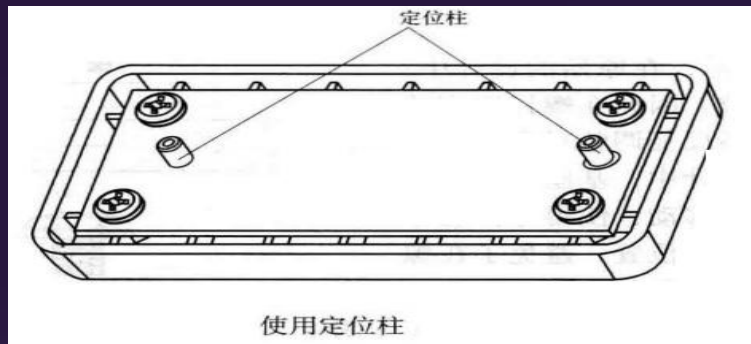
8、DFMA——导向与定位:

➤ 先定位后固定：在固定零件之前自动对齐到正确位置，减少装配调整，提高装配效率

● 四周限位

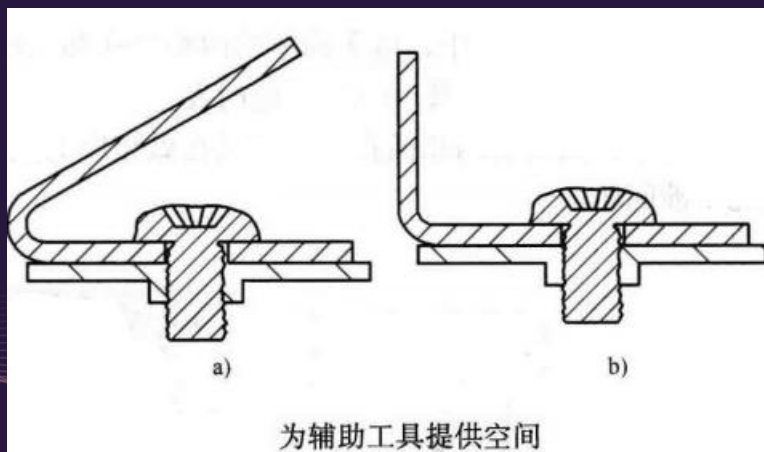


● 定位柱、止位槽



9、DFMA——装配干涉：

- 设计阶段，在三维设计软件中进行装配过程、运动部件动态模拟，避免零部件在装配、运动过程中出现干涉
- 在产品设计中要了解辅助工具的尺寸及其工作原理，为其提供足够的空间，使之能够顺利完成装配工序



10、DFMA——公差设计，严格的公差设计意味着：

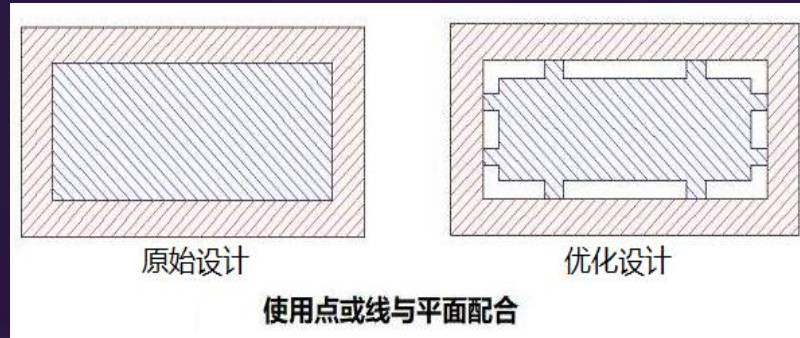
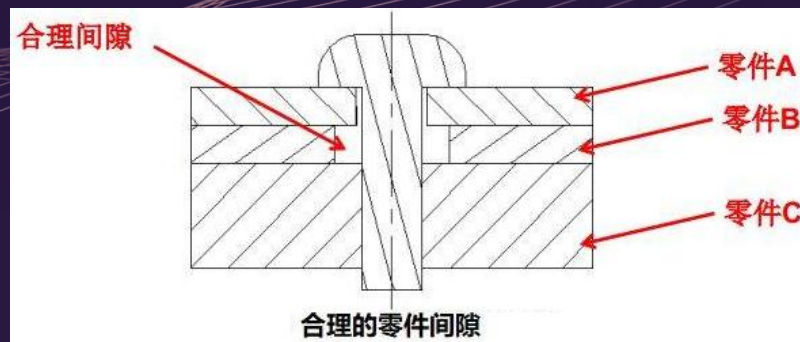
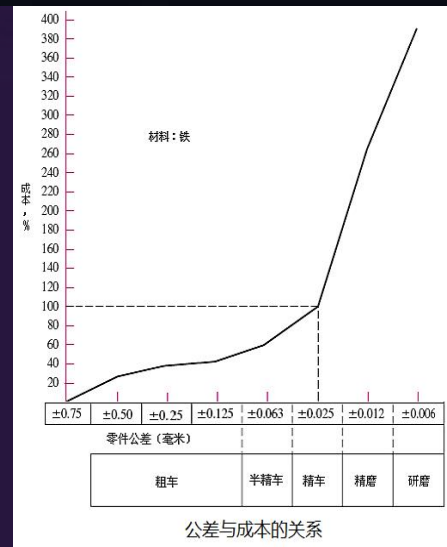
- 更高的模具费用
- 更精密的设备、仪器
- 更多的加工工序
- 更长的生产周期
- 更高的不良和返工
- 更高的操作技能
- 更高的原材料质量和成本



- 质量管控要求更高
- 装配不良更改
- 装配效率更低
- 装配成本更高

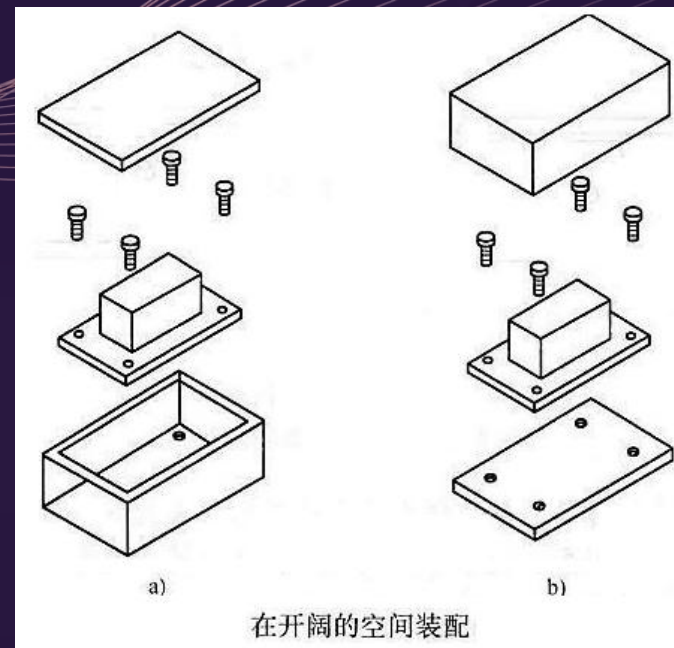
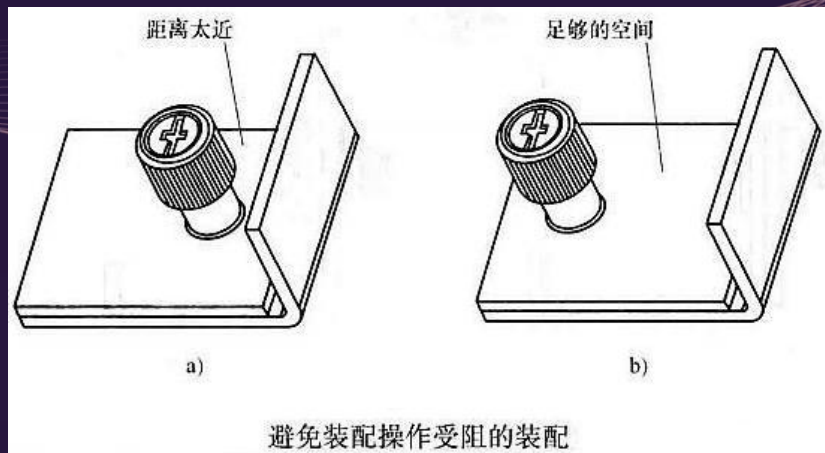
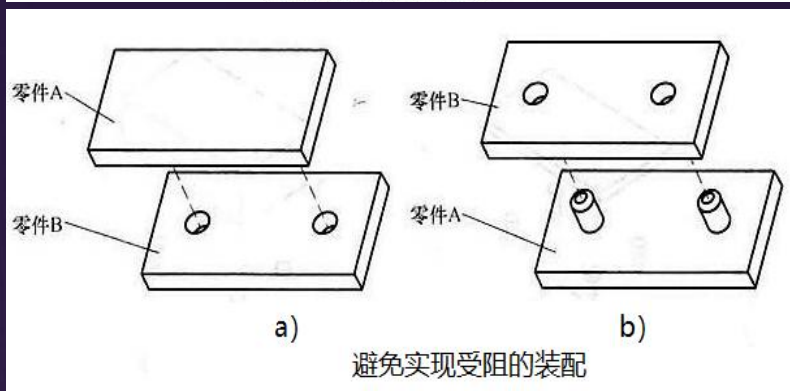
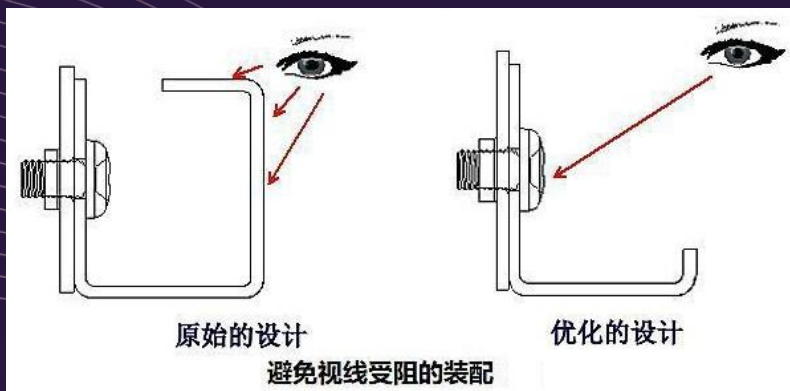
➤ 在满足功能和质量的前提下，应允许宽松的零件公差、装配公差：

- 合理的间隙设计，防止过约束或欠约束
- 简化产品装配关系：减少尺寸链中的尺寸数量，减小累积公差
- 运用特征定位：如对定位柱、止位槽等的公差进行管控
- 当零件之间通过平面与平面配合并具有相对运动关系时，可以使用点或线与平面配合的方式代替，避免平面变形或者平面较高的粗糙度阻碍零件的顺利运动，从而可以不对零件的平面度和表面粗糙度提出严格的公差要求。



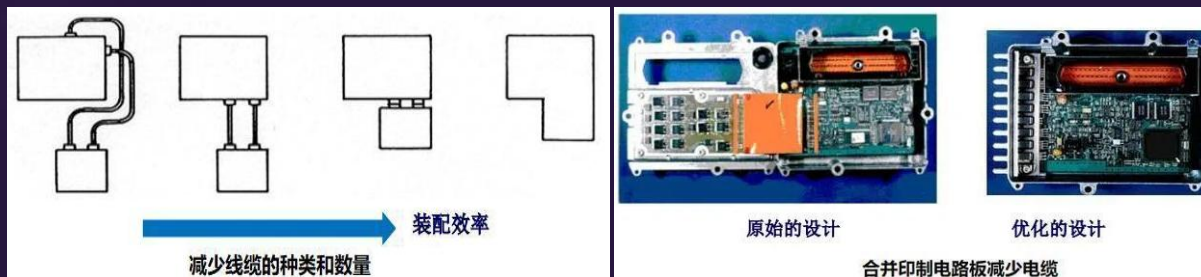
11、DFMA——装配中的人机工程学：

- 避免视线受阻
- 避免装配受阻
- 避免操作人员受到伤害
- 减少工具的使用种类，避免使用特殊工具

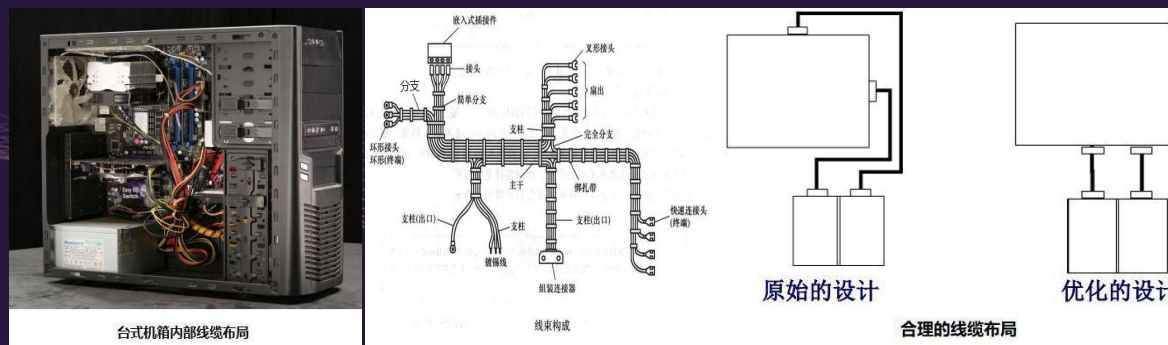


12、DFMA——线缆的布局:

- 减少线缆的种类和数量，优化产品内部结构、使用板对板连接、合并印刷电路板等



- 合理布局线缆走向，减少线缆种类、数量和长度，采用线夹、束线带或部件特征来辅助控制线缆走向



- 对线缆进行保护，线缆走向上的钣金件压飞边、反折压平或增加塑胶护线套
- 线缆防错：单根线缆的连接器应只有一个正确的插入方向；多根线缆的连接器接口应当不同，防止插错
- 为线缆装配提供充足空间

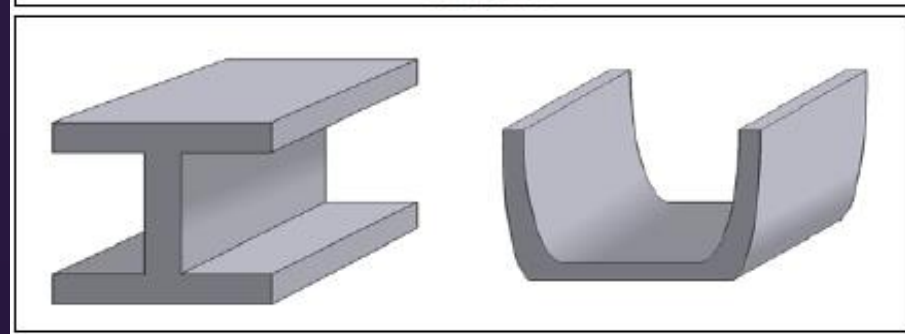
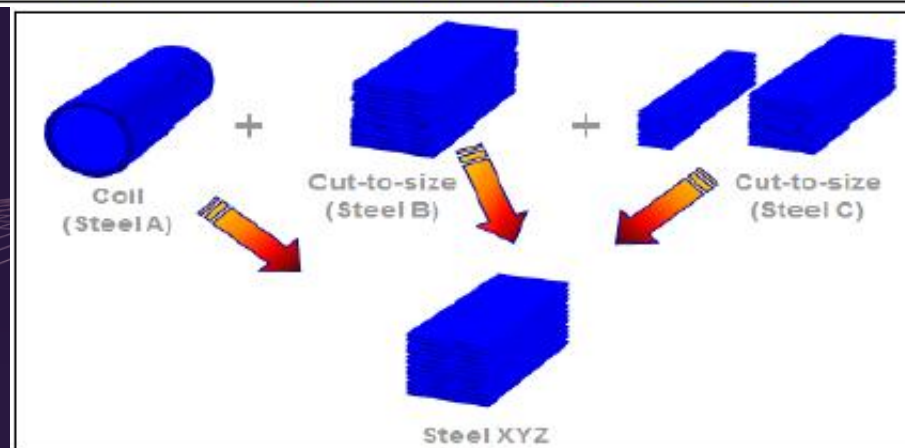
13、DFMA——零件标准化:

永远不要设计从产品目录中买不到的零件。

- 零部件标准化、避免定制零部件的好处：
 - 减少新零件开发时间和精力浪费，缩短开发周期
 - 标准化零部件的规模性具备成本优势
 - 标准化零部件已被广泛使用，质量可靠

如何实现标准化:

- 制订常用零件标准库、优选表，在不同产品间实行标准化策略
- 收集整理各种五金零件供应商的产品目录，建立常用标准件三维数据库；五金零件，如螺钉、螺柱、导电泡棉等选用供应商的标准零件



14、DFMA——模块化：

把产品中多个相邻的零件合并成一个子组件或模块。

➤ 模块化产品设计的好处：

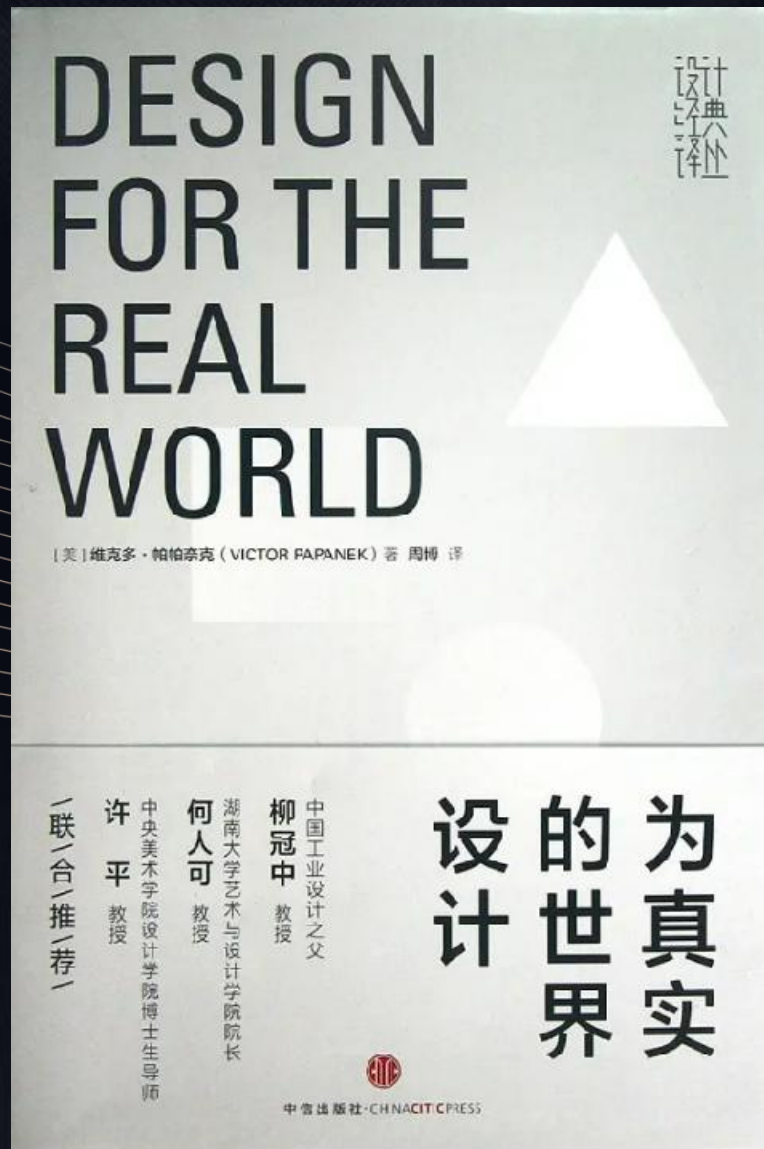
- 缩短开发周期，提高装配效率
- 在不同模块间合理使用人工或机械，提高装配灵活性
- 模块化的子组件在装配前进行质量检验，更早、更容易发现质量问题，提高装配效率和质量
- 子模块出现质量问题时，容易替换，利于维护，避免产品报废，利于降低成本
- 可靠零件/模块最先装配、易出问题的零件/模块最后装配，提高产品可拆卸性和可维修性
- 容易实现“按单定制”，快速满足个性化需求

卓越设计：设计 (DFX) 不止于“装配” (DFA) 或“制造” (DFM)，还有其他类型，如：

- DFA: Design for Availability 可用性设计。保证设备运行时，业务或功能不可用的时间尽可能短。
- DFC: Design for Compatibility 兼容性设计。保证产品符合标准、与其他设备互连互通，以及自身版本升级后的兼容性。
- DFC: Design for Compliance 顺从性设计。产品要符合相关标准 / 法规 / 约定，保障市场准入。
- DFC: Design for Cost 面向成本的设计。是指在满足用户需求的前提下，尽可能地降低产品成本。
- DFD: Design for Diagnosability 可诊断性设计。提高产品出错时能准确、有效定位故障的能力。
- DFD: Design for Disassembly 可拆卸性设计。产品易于拆卸，方便回收。
- DFD: Design for Discard 可丢弃性设计。用于维修策略设计，部件故障时不维修，直接替换。
- DFE: Design for Environment 环保设计。减少产品生命周期内对环境的不良影响。
- DFE: Design for Extensibility 可扩展性设计。产品容易新增功能特性或修改现有的功能。
- DFEE: Design for Energy Efficiency 能效设计。降低产品功耗，提高产品的能效。
- DFF: Design for Flexibility 灵活性设计。设计时考虑架构接口等方面的灵活性，以适应系统变化
- DFF: Design for Fabrication of the PCB 为 PCB 可制造而设计。PCB 设计需要满足相关可制造性标准。
- DFH: Design for Humanity/ Ergonomics 人性化设计。强调产品设计应满足人的精神与情感需求。

.....





维克多·J.帕帕奈克 (Victor J.Papanek, 1923—1998)

设计师、教育家、作家，
以其前瞻性的观点和设计
理论在世界范围内享有广
泛声誉。

帕帕奈克积极倡导对**社会及生态负责**的设计理念，并在其职业生涯中将该理念运用至诸多具有人文关怀的设计项目，曾为联合国教科文组织、世界卫生组织和许多第三世界国家进行大量设计工作，被称为“世界公民”。他的著作包括1970年《为真实的世界设计》，1973-1974年《流浪者的家具》，1983年《为人的尺度设计》和1995年《绿色律令》等。《为真实的世界设计》已被翻译为20多种语言，是全世界读者最多的设计著作之一。

- 1、钟元 《面向制造和装配的产品设计指南》 第2版 2016.6
- 2、[Victor Papanek](#) 《绿色律令：设计与建筑中的生态学和伦理学》（《THE GREENIMPERATIVE》）周博刘佳译 中信出版社 2013年
- 3、将设计置于整个人类社会的远景中，对整个人类社会的未来发展有积极的促进作用。如人类社会最大的卫生贡献第一个是疫苗；第二个是清洁的饮用水，这两个是使人类寿命大幅提高的主要原因。人类历史发展的每一个重要时期，都可以看到水卫生的支撑。马斯克的移民火星计划等等。这些都有人类有意识的努力。

第二部分 塑胶件的设计

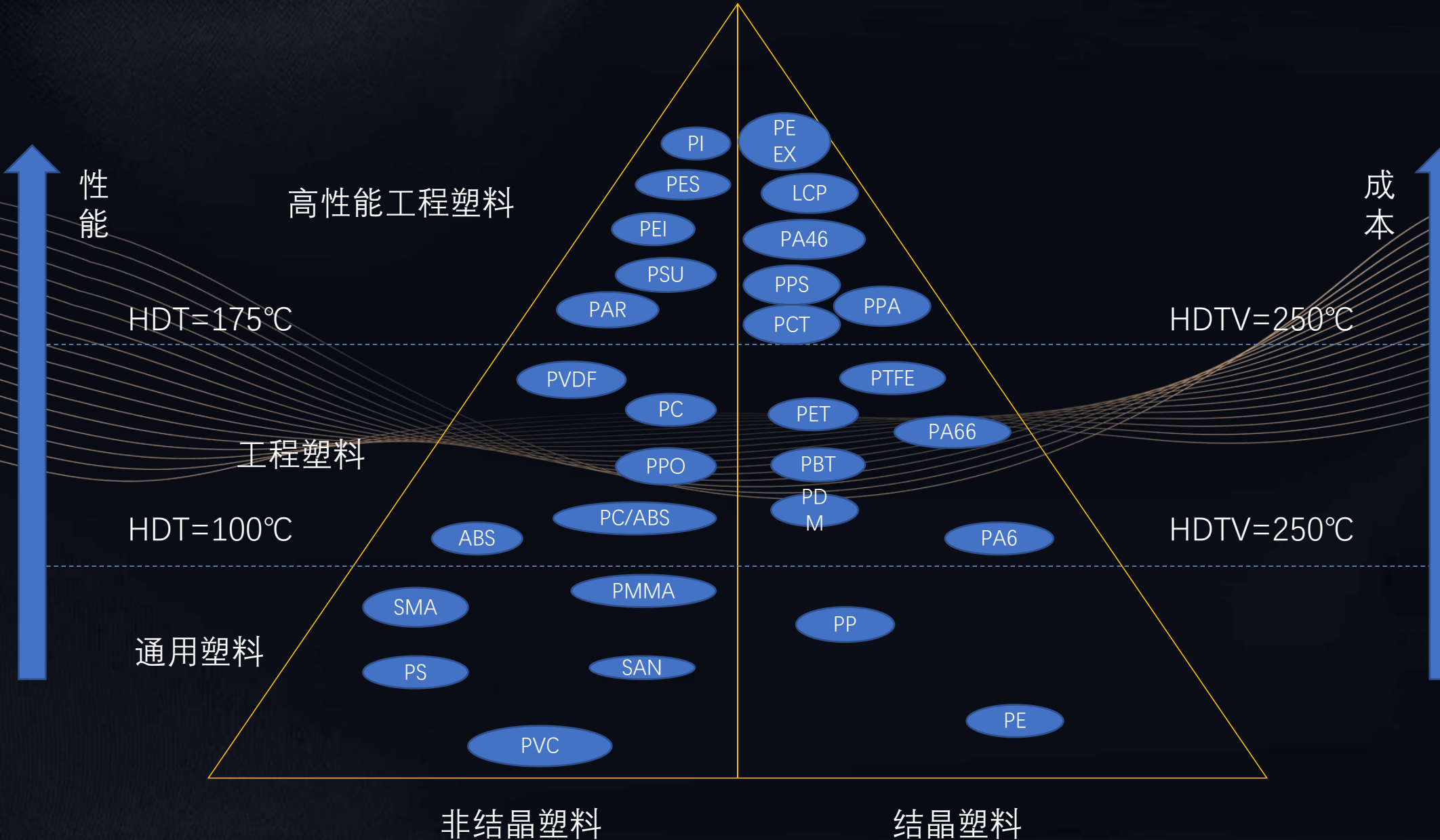
- 定义与特性
- 分类
- 材料
- 塑胶件设计
 - ◆ 零件壁厚
 - ◆ 避免尖角
 - ◆ 脱模斜度
 - ◆ 加强筋的设计
 - ◆ 支柱的设计
 - ◆ 孔的设计
 - ◆ 提高塑胶件强度的设计
 - ◆ 提高塑胶件外观的设计
 - ◆ 降低塑胶件成本低设计
 - ◆ 注塑模具可行性设计
 - ◆ 塑胶件的装配
 - ◆ 卡扣装配
 - ◆ 卡扣的设计
 - ◆ 机械固定, 自攻螺钉
 - ◆ 超声波焊接
 - ◆ 塑胶件DFMA检查表

塑胶:

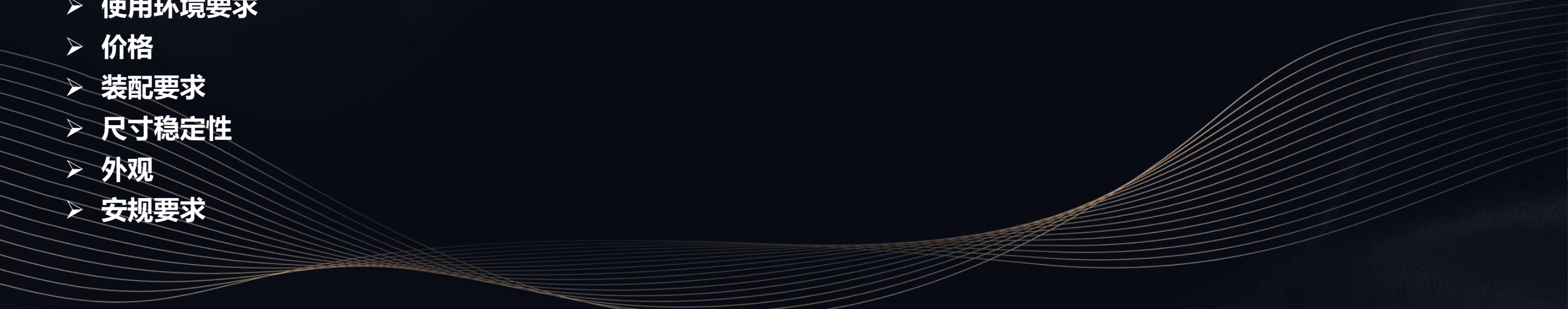
主要由碳、氧、氢和氮及其他有机或无机元素所构成，成品为固体，在制造过程中是熔融状的液体，因此可以籍加热使其熔化、加压力使其流动、冷却使其固化，而形成各种形状，此庞大而变化多端材料族群称为塑胶；

特性:

- 低强度与低韧性
- 原料丰富，价格低廉
- 成型容易，易加工成复杂形状，可大批量生产
- 重量轻，低密度（塑胶比重0.9~2，铝2.7，铁7.8）
- 受外力作用时容易产生连续变形
- 色彩鲜明，着色容易，适当加入着色剂，可改变其色泽
- 良好的绝缘性
- 耐腐蚀性佳，耐水、耐油、耐酸、耐化学药品，而且不生锈
- 耐热性差，大部份的塑料耐热温度约在150C以下
- 不导电性、不导热性
- 可以具有其他特殊性质，例如透明性、弹性等



材料特性 \ 塑胶分类	非结晶塑胶	结晶塑胶
比重	较低	较高
拉伸强度	较低	较高
拉伸模量	较低	较高
延展性	较高	较低
抗冲击性	较高	较低
最高使用温度	较低	较高
收缩率和翘曲	较低	较高
流动性	较低	较高
耐化学性	较低	较高
耐磨性	较低	较高
抗蠕变性	较低	较高
硬度	较低	较高
透明性	较高	较低
加玻璃纤维补强效果	较低	较高

- 塑料材料的分类
 - 物性表
 - 零件的功能要求
 - 使用环境要求
 - 价格
 - 装配要求
 - 尺寸稳定性
 - 外观
 - 安规要求
- 

零件壁厚必须适中

- 壁厚太小：
 - 强度低
 - 流动阻力大，熔料难充满
- 壁厚太大：
 - 产生缩水、气孔和翘曲等质量问题
 - 冷却时间增加，成型周期加长，生产效率低
 - 用料增加，成本正佳
- 常用塑料材料合适壁厚范围（单位：mm）：

材料 壁厚	PE	PP	Nylon	PS	AS	PMMA	PVC	PC	ABS	POM
最小	0.9	0.6	0.6	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
最大	4.0	3.5	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	4.5	5.0

塑胶件壁厚选择

塑胶种类	最小壁厚	小型件壁厚	中型件壁厚	大型件壁厚
ABS	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
防火ABS	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
PArt66+玻纤	0.45	0.75	1.6	2.4~3.2
PMMA	0.8	1.5	2.2	4~6.5
透明PC	0.95	1.8	2.3	3~4.5

尽量减小零件壁厚，错误的做法是为提高零件强度而片面增加零件壁厚。决定零件壁厚的因素有：

- 强度要求
- 成型时能否抵抗脱模力
- 抵抗装配时的紧固力
- 有金属埋入件时，埋入件周围的强度是否足够
- 孔的强度是否足够

➤ 零件壁厚均匀:



➤ 当壁厚不均匀时:

原始设计



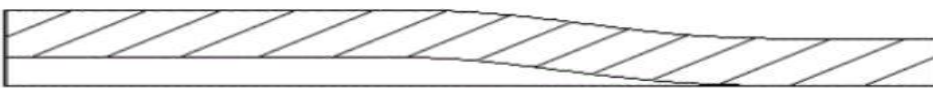
较优设计A



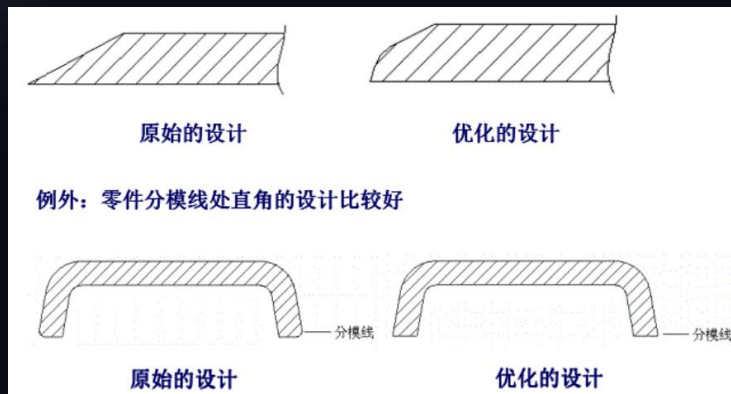
较优设计B



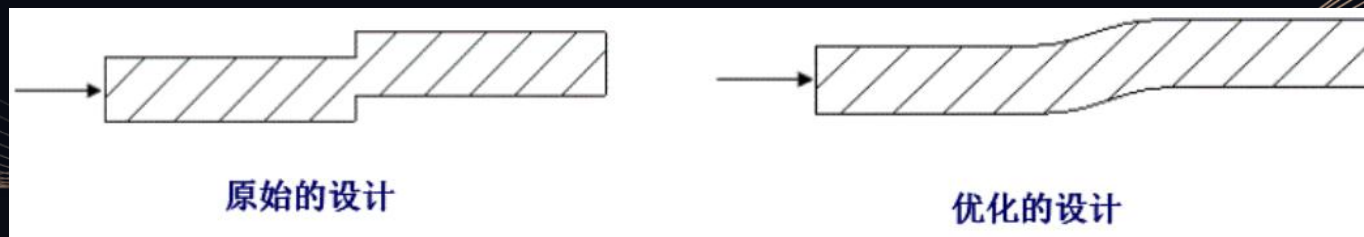
最优化设计



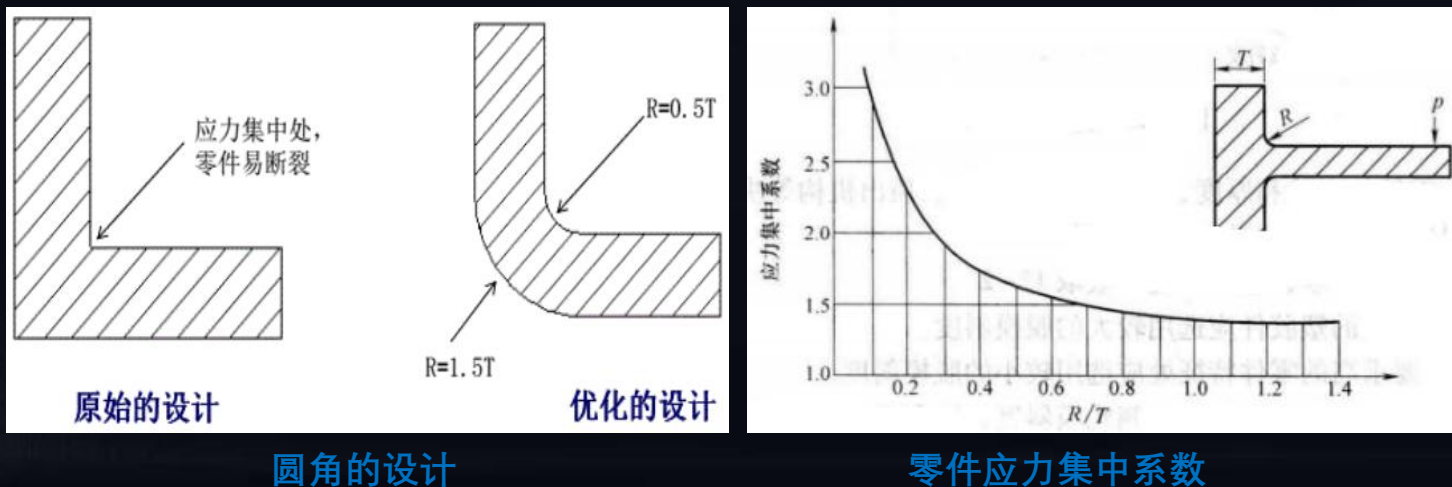
避免零件外部尖角：



避免在塑胶熔料流动方向上产生尖角：

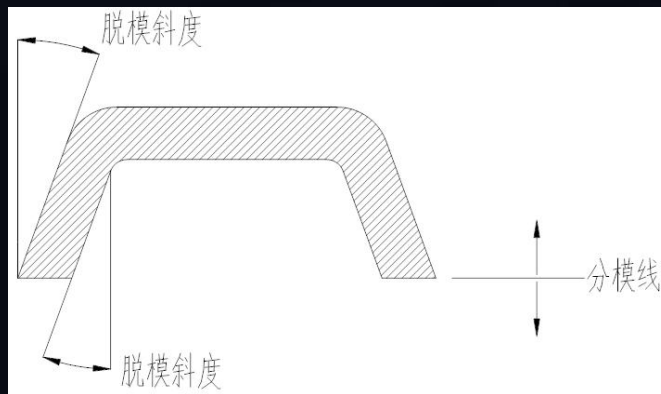


避免在零件连接处产生尖角：



决定脱模斜度的因素:

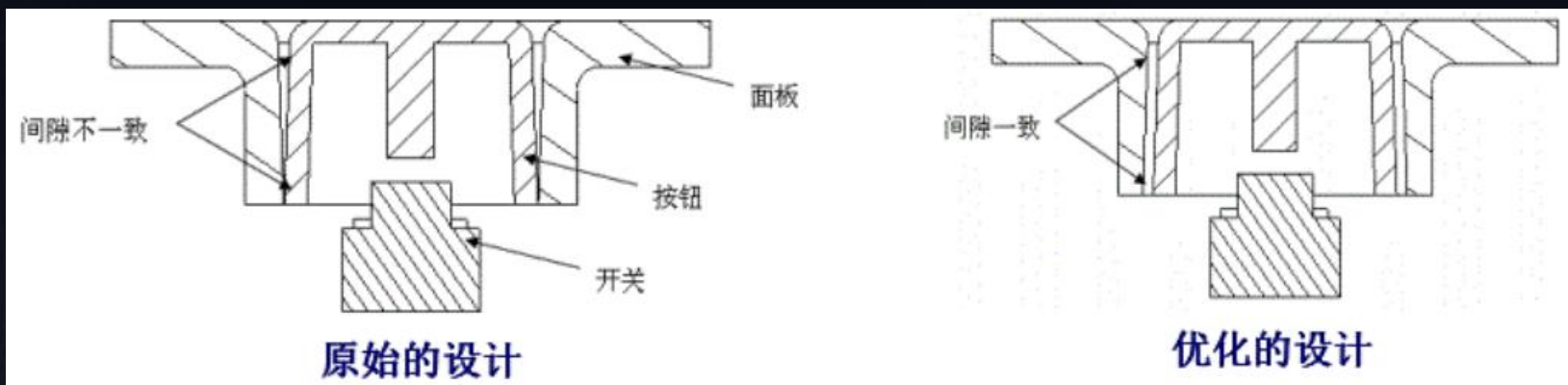
- 脱模斜度一般取1~2°;
- 收缩率较大的塑胶件脱模斜度较大;
- 尺寸精度要求较高的特征处取较小脱模斜度;
- 公模侧脱模斜度小于母模侧以利于脱模;
- 壁厚较厚时, 成型收缩大, 取较大脱模斜度;
- 咬花面与复杂面取较大脱模斜度;
- 玻纤增强塑料取较大脱模斜度;
- 零件某些平面因为功能需要可以不设置脱模斜度, 但模具则需设计侧抽芯结构, 模具结构复杂, 成本高;
- 在零件功能和外观等允许情况下, 零件脱模斜度尽可能取大;
- 脱模斜度的大小与方向不能影响零件的功能实现。



表面部位	斜度	
	连接零件与薄壁零件	其它零件
外表面	15'	30'; ~1°
内表面	30'	≈1°
孔 (深度 < 1.5d)	15'	30'~45'
加强筋、凸缘	2°、3°、5°、10°	

不同表面的脱模斜度推荐

脱模斜度的大小和方向不能影响零件的功能实现:



塑料名称	脱模斜度
聚乙烯、聚丙烯、软聚氯乙烯	30'~1°
ABS、聚酰胺、聚甲醛、氟化聚醚、聚苯醚	40'~1° 30'
硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚砜	50'~2°
聚苯乙烯、有机玻璃	50'~2°
热固塑料	20'~1°

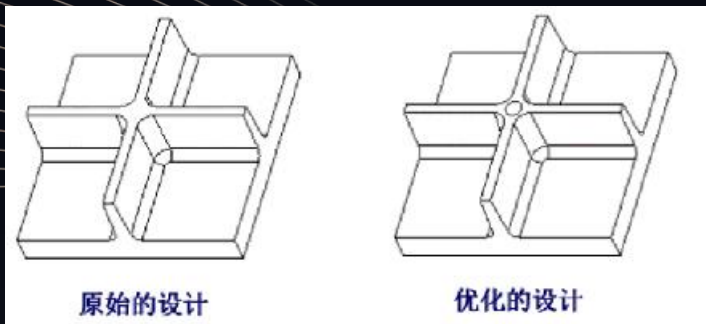
不同塑料的脱模斜度推荐

➤ 加强筋的尺寸:

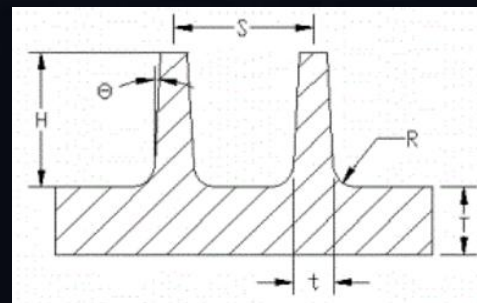
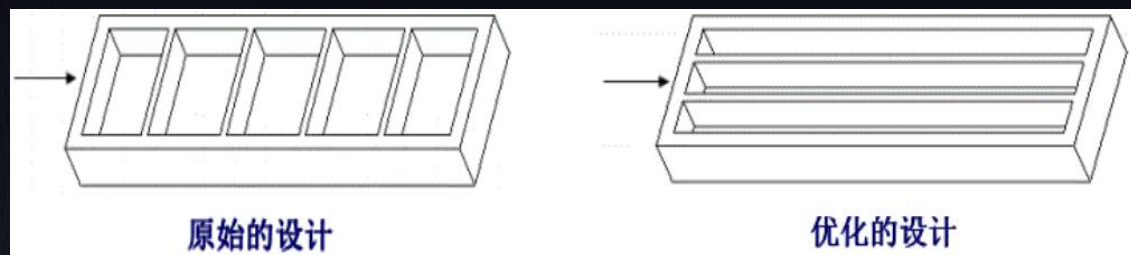
- 筋的厚度: **不应该超过塑胶零件厚度的50%~60%**
- 筋的高度: **不能超过塑胶零件厚度的3倍**
- 筋的根部圆角: **为塑胶零件厚度的0.25~0.5倍**
- 筋的脱模斜度: **一般为 0.5° ~ 1.5°**
- 筋与筋的间距: **至少为塑胶零件厚度的2倍**

➤ 加强筋的设计原则:

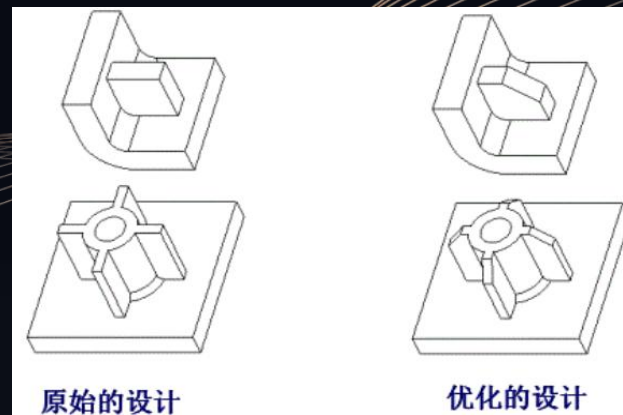
- 壁厚均匀:



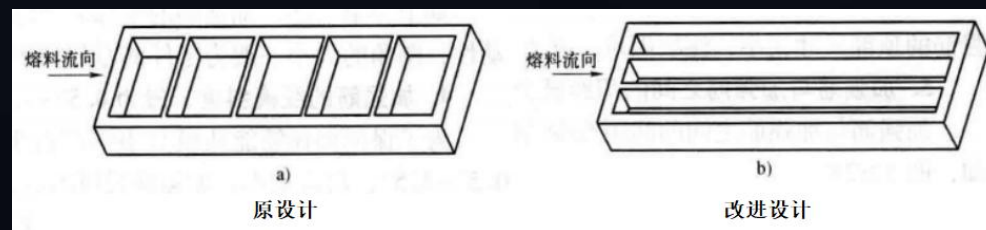
- 筋的方向与塑胶熔料方向一致:



- 顶端增加斜角, 避免困气:

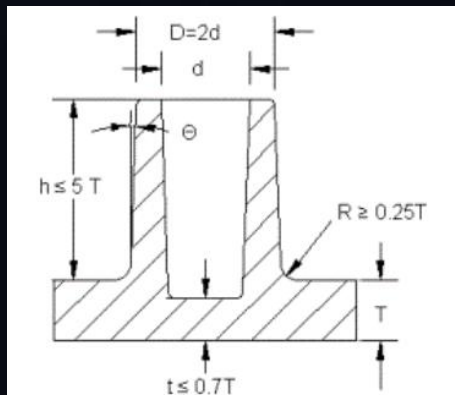


- 与塑胶容量的流向一致:



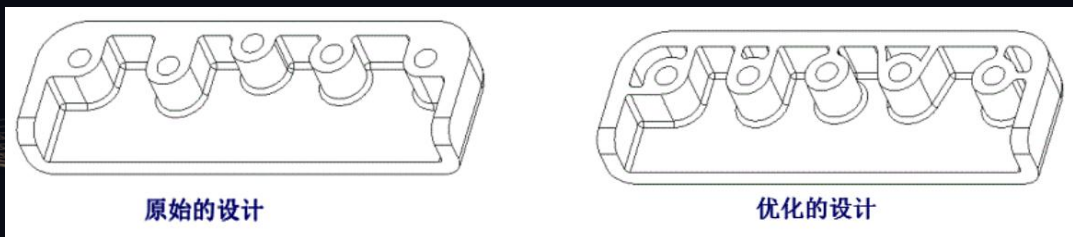
➤ 支柱的尺寸:

- 外径与内径: 外径为内径的2倍
- 厚度: 不超过零件厚度的0.6倍
- 高度: 不超过零件厚度的5倍
- 根部圆角: 为零件壁厚的0.25~0.5倍
- 根部厚度: 为零件壁厚的0.7倍
- 脱模斜度: 一般内径 0.25° , 外径 0.5°

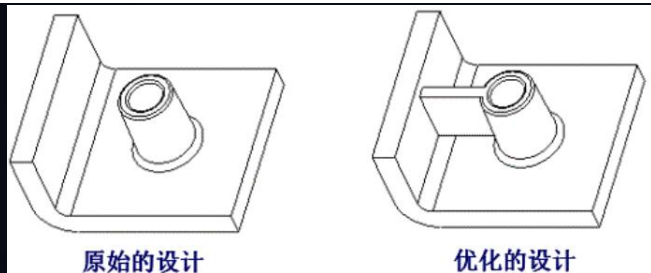


➤ 支柱的设计原则:

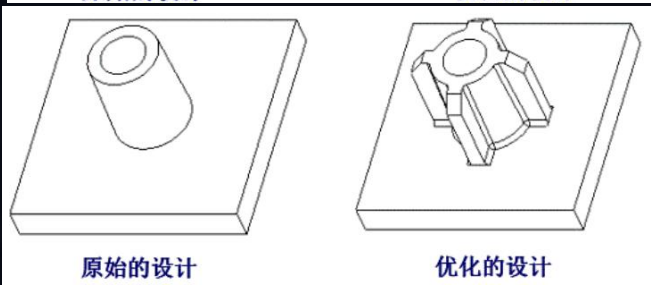
➤ 壁厚均匀:



➤ 保持与零件壁的连接:



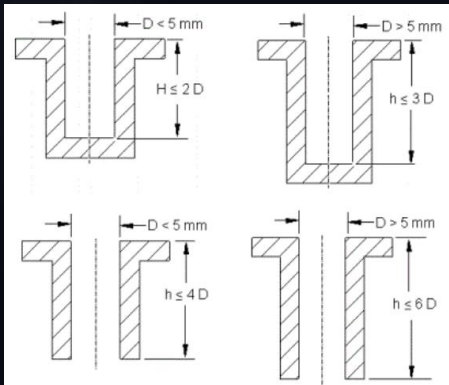
➤ 单独支柱四周增加加强筋补强:



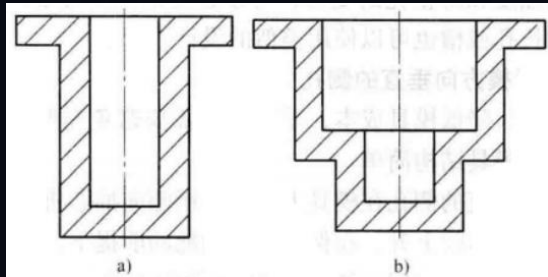
➤ 孔的深度尺寸：不能太深(若太深，采用阶梯孔成型)

塑胶件上常见的孔大致可以分为不通孔、通孔和阶梯孔3种：

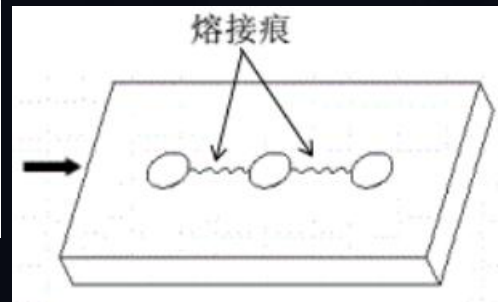
- ◆ 当不通孔的直径小于5mm时，孔的深度不应该超过孔直径的2倍；当不通孔的直径大于5mm时，孔的深度不应超过孔直径的3倍。
- ◆ 通孔比不通孔更容易制造，因为型芯可以分布在凸、凹模两侧，通孔的深度可以适当加大。当通孔的直径小于5mm时，孔的深度不应该超过孔直径的4倍；当通孔的直径大于5mm时，孔的深度不超过孔直径的6倍。



➤ 零件上的孔尽量远离受载荷部位：

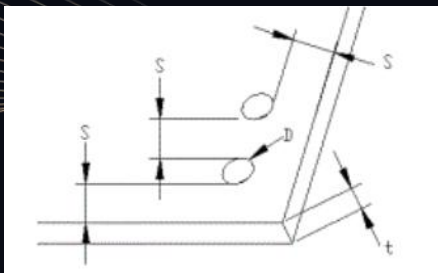


阶梯孔

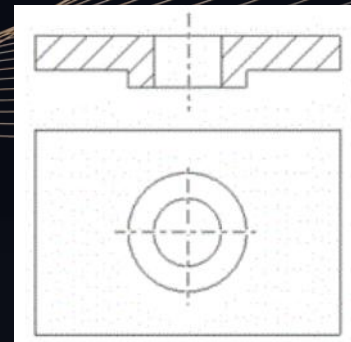


➤ 孔与孔的间距及孔与零件边缘的尺寸：

- ◆ 应至少大于孔径或零件壁厚的1.5倍以上，即 $S \geq 1.5t$ 或 $1.5d$ ，取二者的最大值

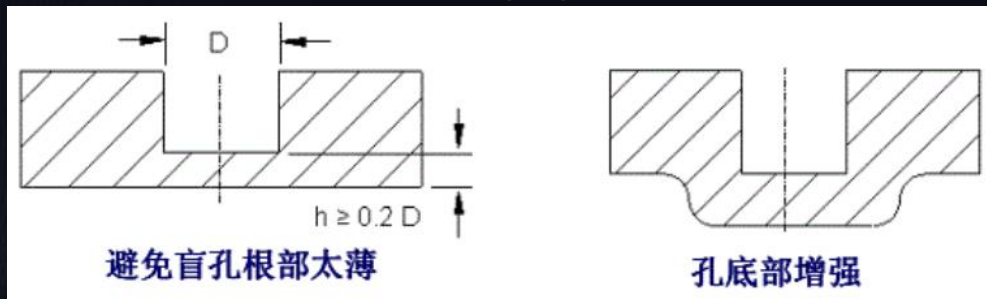


➤ 孔的边缘增加凸缘以增加强度：增加强度、防止变形

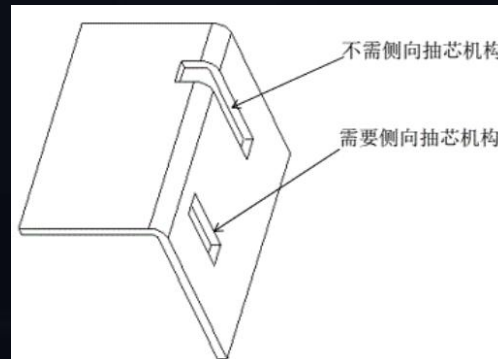


➤ 避免盲孔根部太薄：

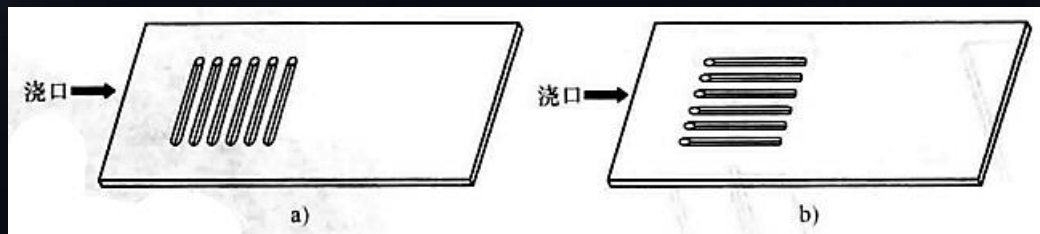
- ◆ 不通孔底部厚度至少应当大于不通孔直径的0.2倍，底部太薄，不通孔强度低，同时背面容易产生外观缺陷。
- ◆ 如果底部太薄，则可以考虑采用底部增强结构（如下）。



➤ 避免与零件脱模方向垂直的侧孔：简化模具结构

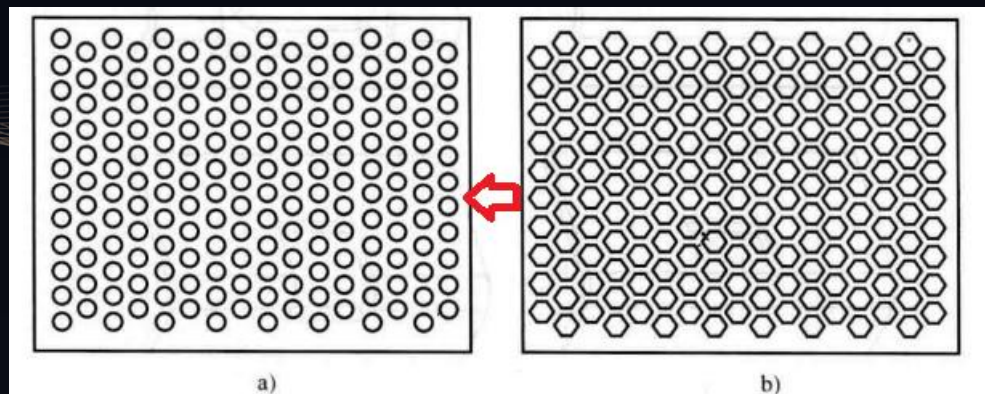


- 长孔的设计：应该与塑胶熔料的流动方向一致，避免垂直于流动方向，以免阻碍塑胶熔料的流动。



- 风孔的设计：

- ◆ 一般情况下，风孔为圆孔时模具型芯为圆柱形，加工容易，模具成本低。
- ◆ 过多的风孔设计会造成零件强度降低，可以通过增加加强筋或凸缘等方法来增加风孔处零件的强度。

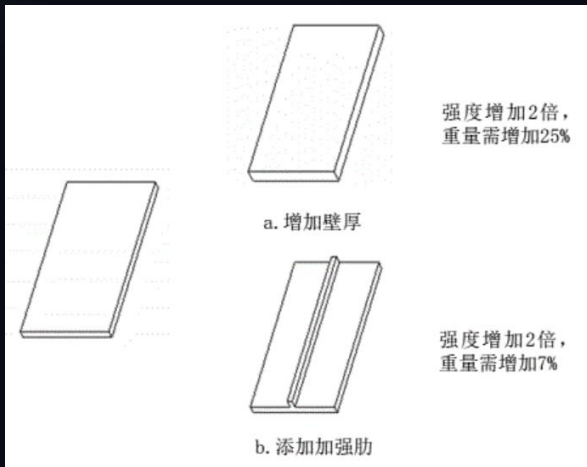


圆形风孔

六边形风孔

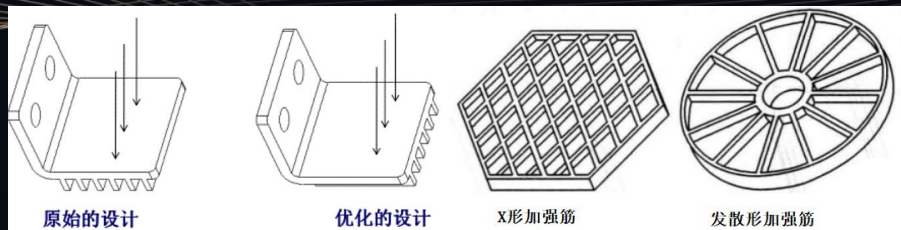
➤ 通过添加加强筋而不是增加壁厚来提高零件强度：

- ◆ 零件壁厚增加不仅会增加塑胶件重量，而且容易使零件产生缩水、气泡等缺陷，同时增加注射生产时间，降低生产效率。为提高零件的强度，正确的方法是增加加强筋、而不是增加零件壁厚。



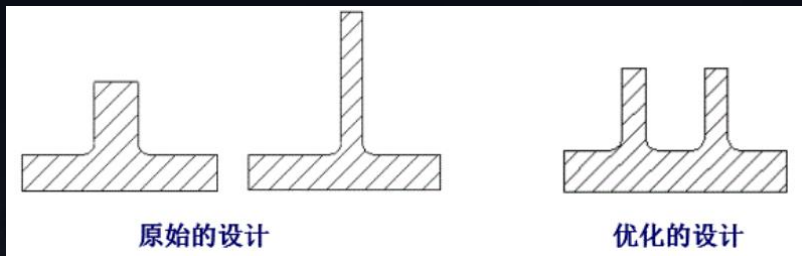
➤ 加强筋的方向要考虑载荷的方向：

- ◆ 加强筋只能加强塑胶件一个方向的强度。加强筋方向需要考虑载荷方向，否则加强筋不能增加零件抵抗载荷的能力；
- ◆ 如果零件承受的载荷是多个方向的载荷或者扭曲载荷，可以考虑增加X形加强筋或者发散形加强筋来提高零件强度。



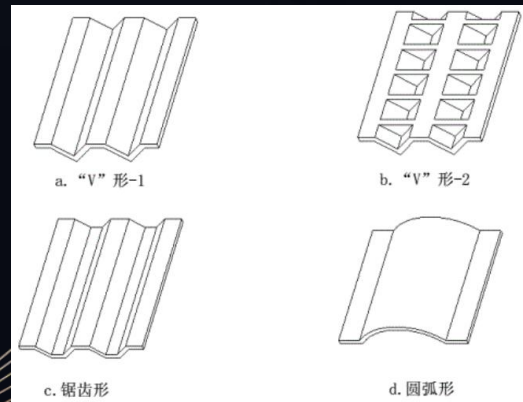
➤ 多个加强筋比单个较厚或较高的加强筋好：

- ◆ 当单个加强筋的高度太高或者厚度太厚时，可以用两个较小的不高不厚的加强筋来替代。



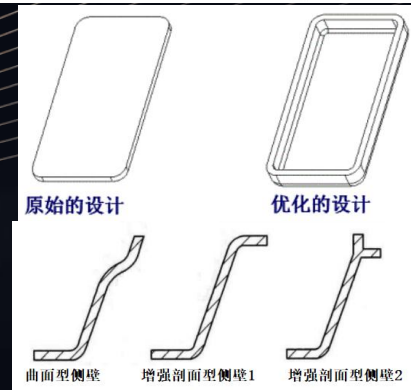
➤ 设计零件增强剖面：

- ◆ 通过设计零件增强剖面形状可以提高塑胶件的强度，常见的零件增强剖面包括形、锯齿形和圆弧形。



➤ 增加侧壁：

- ◆ 避免平面型塑胶件设计，平面型的塑胶件强度非常低，可以通过四周增加侧壁来提高零件的强度；
- ◆ 侧壁的形状可以是单纯的直壁，在条件允许时，曲面式侧壁或者带增强剖面式侧壁更能提高零件的强度。

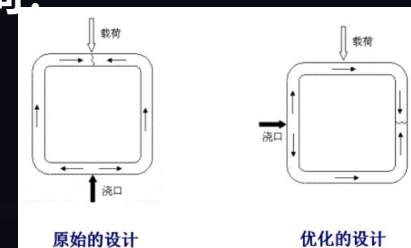


➤ 避免零件应力集中：

- ◆ 应力集中常发生于零件尖角处、零件壁厚剧烈变化处、零件孔、槽及金属嵌件处。零件应力集中会大幅降低零件的强度，使得零件在冲击载荷作用下发生失效。

➤ 避免零件在熔接痕区域承受载荷：

- ◆ 零件熔接痕区域是零件强度最低的区域之一，是最容易发生失效的区域之一。因此必须合理设置浇口的位置和数量，以避免零件在熔接痕区域承受载荷。



➤ 其他方法:

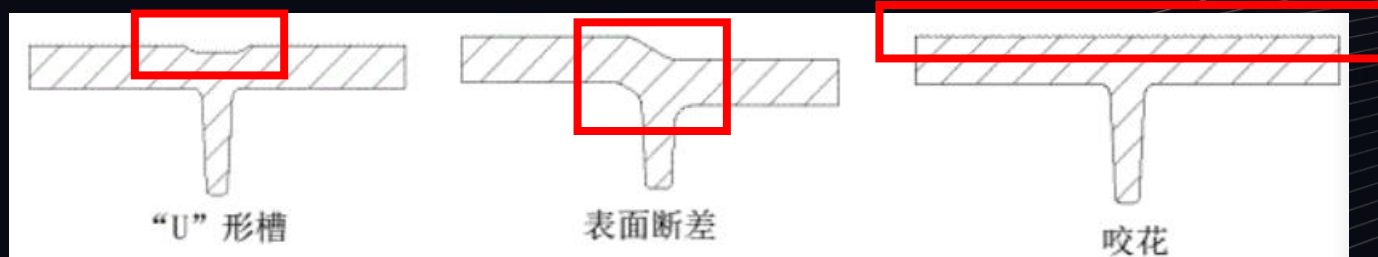
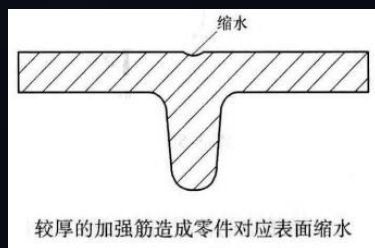
- 玻纤增强塑料常用来代替普通塑胶材料来提高塑胶件强度，需要注意的是玻纤增强塑胶只在玻纤的方向上提高零件的强度；
- 塑胶件承受压缩载荷的能力比承受拉伸载荷的能力强；
- 避免零件承受圆周载荷。零件承受圆周载荷时，例如金属镶件处，很容易发生破裂而失效；
- 在承受冲击载荷时，保持零件剖面的完整性，避免在冲击载荷方向上零件剖面出现缺口和应力集中。

➤ 选择合适的塑胶材料:

◆ 塑胶材料的选取对产品的外观起着重要的作用，不同的塑胶材料有着不同的外观质量表现。例如，相对于非玻璃纤维增强的材料，玻璃纤维增强的材料注射成型后一般外观质量比较低，而且容易翘曲。

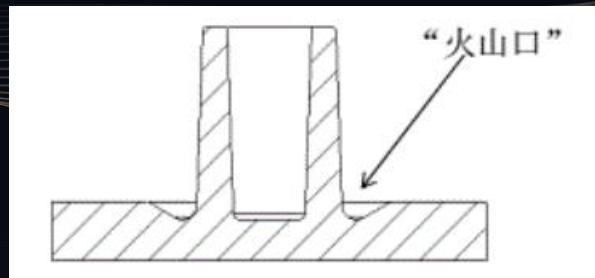
- 合适的零件壁厚：在零件壁厚较厚处所对应的零件外表面一般会发生缩水。
- 通过设计掩盖缩水：

◆ 在允许的情况下，可以通过U形槽、零件表面断差的设计以及表面咬花等方式来掩盖塑胶件表面缩水



- “火山口”设计:

- ◆ 支柱壁厚处或加强筋壁厚处局部去除材料(我国台湾地区称之为“火山口”), 可以大幅降低零件外观缩水的可能性,
- ◆ “火山口”设计会在一定程度上降低支柱或加强筋的强度。



➤ 合理设置浇口位置:

- ◆ 离浇口越远处，越容易产生表面缩水。对于零件重要外观表面对表面缩水要求高的区域，可以合理设计浇口的位置使其靠近该区域，减小缩水。同时，浇口的位置应使得塑胶熔料从壁厚处流向壁厚处。
- ◆ 若熔料从壁厚处流向壁厚处，壁厚处首先冷却凝固，壁厚处表面很容易产生缩水，内部则容易产生气泡。



➤ 预测零件变形，设计减少变形。零件发生变形的原因很多，主要包括4个方面：

- 1) 零件在塑胶熔料流向方向和横截面方向上不同的收缩比。
- 2) 零件不均匀地冷却。
- 3) 零件不均匀的壁厚造成变形。
- 4) 零件不对称的几何形状造成零件变形。

◆ 为此，可通过加强筋、对称设计等方式减小零件变形。

➤ 在外观零件之间设计美工沟：

◆ 两个外观塑胶件之间配合时，因为零件制造误差和装配误差的存在，两个零件之间的间隙和断差（指一个零件的表面高于另外一个零件的表面）的存在（间隙永远存在），会影响产品外观；

◆ 通过美工沟的设计可以掩盖两个外观塑胶件之间的间隙，从而提高产品的外观质量。常用的美工沟的设计有两种。

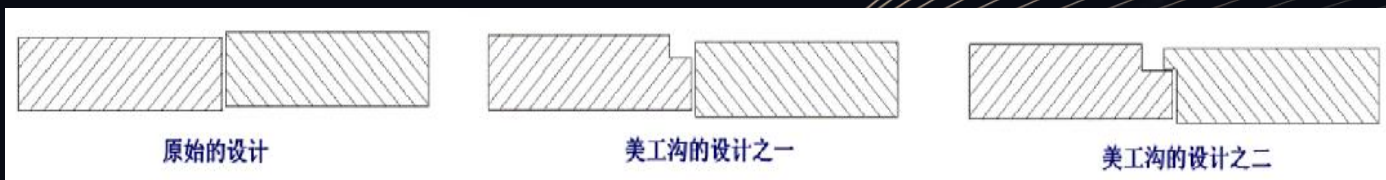
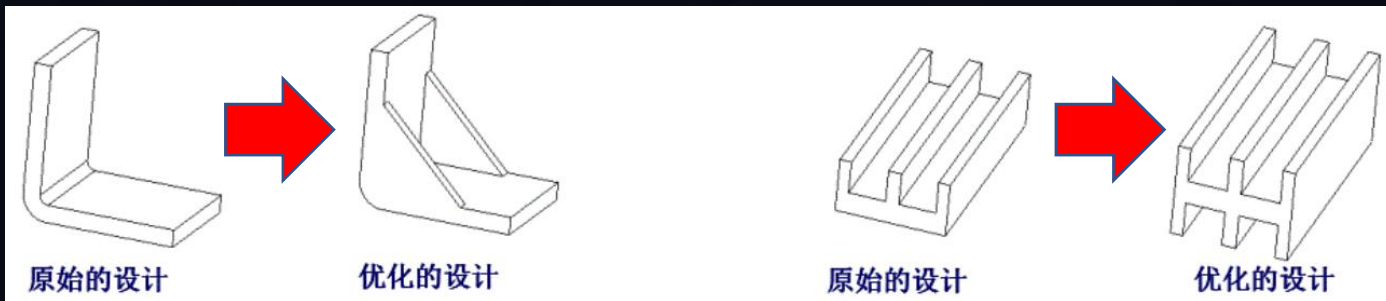
➤ 避免外观零件表面出现熔接痕：

- ◆ 塑胶件表面咬花可以部分掩盖熔接痕，但并不能完全掩盖；
- ◆ 喷漆可以掩盖熔接痕；
- ◆ 合理设置浇口的位置和数量，避免零件重要外观表面产生熔接痕；
- ◆ 保证模具通风顺畅。

➤ 合理选择分模线，避免零件重要外观面出现断差或者毛边：

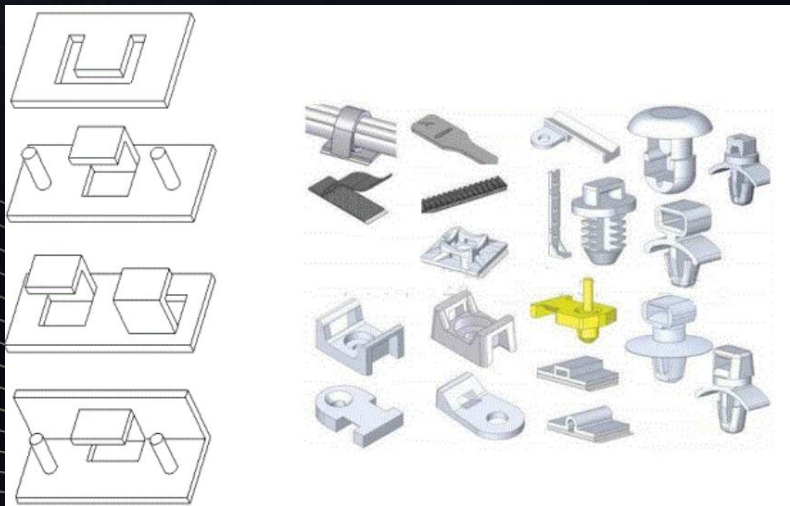
◆ 模具凸、凹模交汇处、型芯与型芯交汇处、型芯与凸、凹模交汇等处容易出现断差或飞边。因此，应当仔细检查模具的分型面位置，避免在零件重要外观面出现断差或飞边。

➤ 避免将顶针设计在零件重要外观面。



➤ 设计多功能零件：

- ◆ 注射模具通常比较昂贵，设计多功能的塑胶件，能够分担模具成本，从而降低零件开发成本；同时，由于塑胶件可以具有复杂形状和内部结构，一个塑胶件往往可以替代两个甚至多个传统工艺方法加工的零件，而多个塑胶件在有些时候也可以合并成一个塑胶件以节省成本。



设计多功能塑胶件代替束线带或线夹

注射加工尺寸公差等级		普通级	技术级	高精级
成本指数		100	170	300
注射加工要求	模具精度	普通模具加工技术	模具加工尺寸有较高精度要求	高精度模具加工技术
	模具穴数	一模多穴	有些情况可以一模多穴	一模一穴
	注射成型工艺参数	参数要求不严格	参数要求较严格	工艺参数严密监控
	废料使用	可再次使用	一定范围内可再次使用	不可使用废料
	检验	偶尔检验	统计质量管控	统计工艺管控

塑胶件尺寸公差三种等级

➤ 降低零件材料成本：

- ◆ 通过加强筋而不是增加壁厚的方法提高零件强度；
- ◆ 零件较厚的部分去除材料；

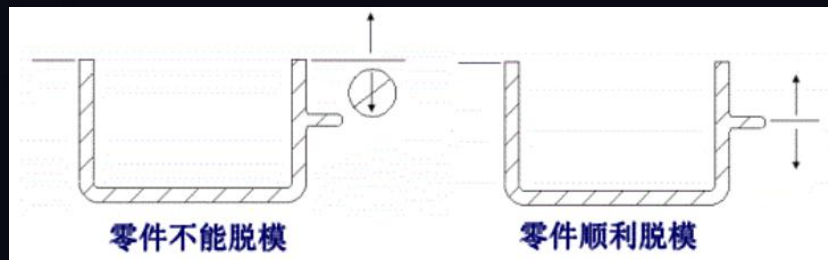
➤ 简化零件设计，降低模具成本：

- ◆ KISS原则 (keep it simple, stupid) ，简单就是么。零件中的每个特征必须有存在的理由，否则，该特征应该去除。
- ◆ 复杂的塑胶件形状和结构会增加模具结构的复杂性，导致模具成本增高，也会影响零件的质量和性能。
- ◆ 塑胶件应尽可能地设计成多功能的零件，但多功能的零件并不意味着复杂的零件。如果多功能塑胶件的设计造成了产品整体成本的上升，则违反了塑胶件多功能的目的，因为塑胶件多功能的目的之一就是降低产品成本。

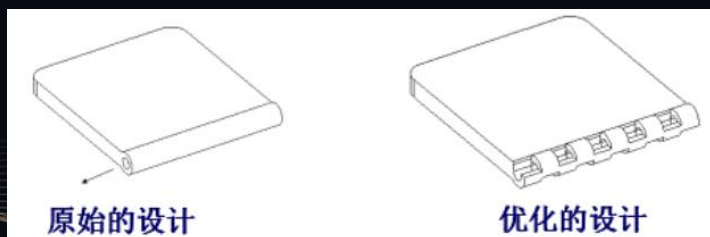
➤ 避免零件严格的公差：公差越严格，零件制造成本越高。

- **避免倒扣：**倒扣是指零件无法正常脱模的特征，例如位于模具开模方向上侧的开口和侧面的凸台等。在模具中，倒扣是通过侧向分型与抽芯机构来实现的，而侧向分型与抽芯机构是模具中比较复杂的结构之一，同时也是增加模具成本的一个重要因素。常用的侧向分型与抽芯机构包括斜销和滑块。

- 有些外侧倒扣可以通过重新设计分模线而避免：



- 重新设计零件特征避免倒扣：如，减少使用侧向抽芯机构

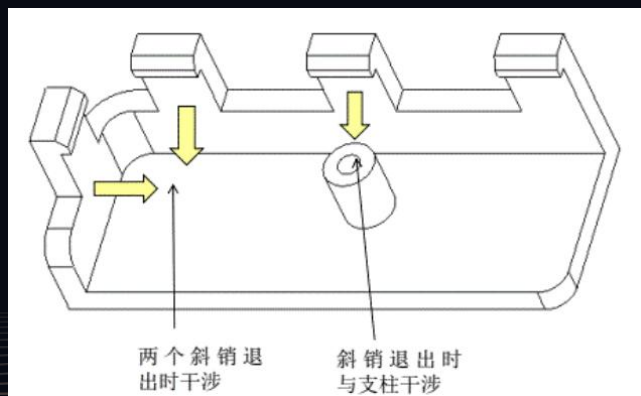


- **降低模具修改成本：**

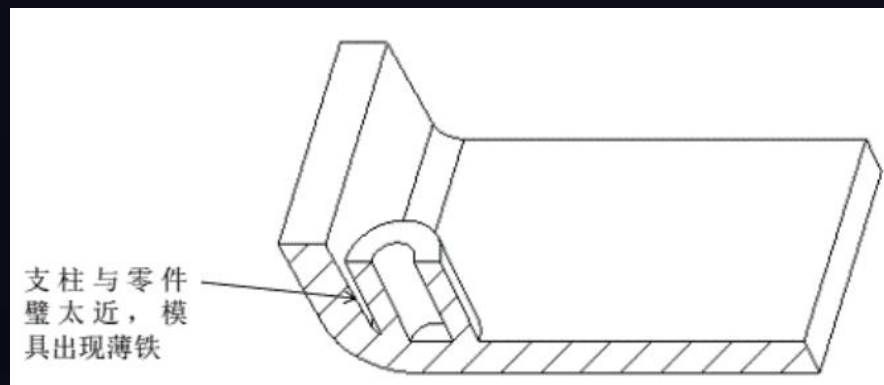
- **零件的可注塑性设计：**应充分考虑零件的可注射性。零件可注射性好，零件注射成型后质量高，模具修改次数就少，模具修改费低。如果塑胶件设计不考虑零件的可注射性，零件可注射性差，零件注射成型后质量低，模具修改次数多，模具修改费用就高。
- **减少产品设计修改次数：**通过CAE分析和运动仿真、样品制作等手段来完善和优化零件设计，确保零件设计万无一失后，再进行模具的设计和开发，从而减少模具制造完成后的产品设计修改。
- **避免添加材料的模具修改：**模具去除材料比较容易，修改费用低；模具添加材料比较复杂，修改费用高。因此，塑胶件的设计修改最好是使得模具去除材料而不是添加材料，那么塑胶件的设计修改就应当是添加材料，而不是去除材料。在零件设计时，如果对零件的设计没有把握，则可以对零件尺寸保留一定的余量，然后通过去除材料来验证零件的设计。

- **使用卡扣代替螺钉等固定结构：**塑胶件的固定方式包括卡扣、螺钉、热熔和超声波焊接等，卡扣能够快速装配和快速拆卸，同时卡扣的成本最低，在满足产品装配以及功能的前提下，使用卡扣能够降低零件的成本。

- 产品设计需要考虑注射模具结构的可行性和模具寿命：**不能用做机械加工的思路去做塑胶件，也不要故意挑战注塑工艺的极限，去搞做不出来的零件。**
- 卡扣等结构应为斜销（或滑块）预留足够的退出空间：**卡扣等结构是塑胶件常用的一种装配方式，通过模具中的斜销(或滑块)侧向抽芯结构成型而成。斜销(或滑块)在零件脱模时需要一段从卡扣中退出的行程，设计需要为斜销(或滑块)的退出提够足够的运动空间，否则会出现斜销(或滑块)无法退出或者斜销(或滑块)在退出过程中与零件上其他特征(如支柱等)发生干涉。**



- 避免模具出现薄铁以及强度太低的设计：**在塑胶件中，如果两个特征距离非常近，那么在模具上相对应的部位就是一块薄铁，易导致模具强度低、寿命短，因此，需要避免模具上出现薄铁的设计。**



➤ 各种装配方式的优缺点:

装配方式	优点	缺点
卡扣	<ol style="list-style-type: none"> 1、成本低 2、可以拆卸 3、设计灵活 4、快速装配和拆卸 	<ol style="list-style-type: none"> 1、卡扣配合间隙的存在使得固定不牢固和产生噪音 2、不可用于有预紧力的装配，长期受力会发生蠕变失效 3、不适用于需要经常拆卸的应用场合
机械紧固件	<ol style="list-style-type: none"> 1、稳健的设计 2、可反复拆卸 	<ol style="list-style-type: none"> 1、塑胶支柱在扭力作用下容易破裂 2、滑牙（自攻螺钉） 3、成本中等
热熔	<ol style="list-style-type: none"> 1、强度较高 2、无需外零部件 3、适合大批量、低成本生产 	<ol style="list-style-type: none"> 1、不可拆卸 2、零件热膨胀系数不同可能会造成连接松动 3、有些热熔方式外观不美观
焊接	<ol style="list-style-type: none"> 1、强度高 2、没有蠕变问题 	<ol style="list-style-type: none"> 1、二次加工，成本会上升 2、不可拆卸 3、有些塑胶材料之间的焊接性能差

➤ 卡扣的分类:



直壁卡扣



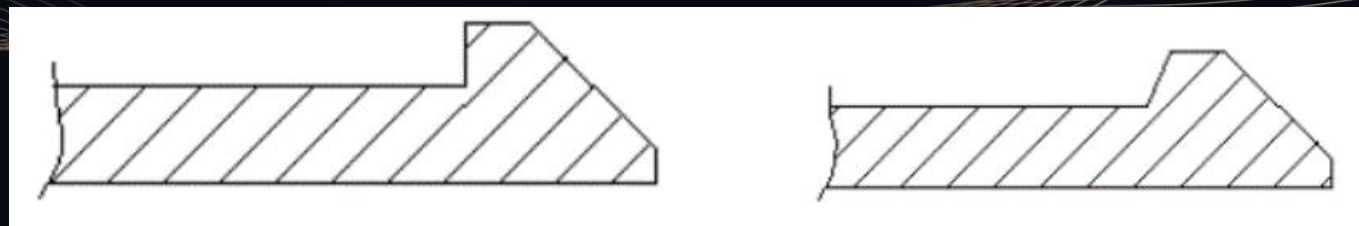
圆周卡扣



L型卡扣



U型卡扣

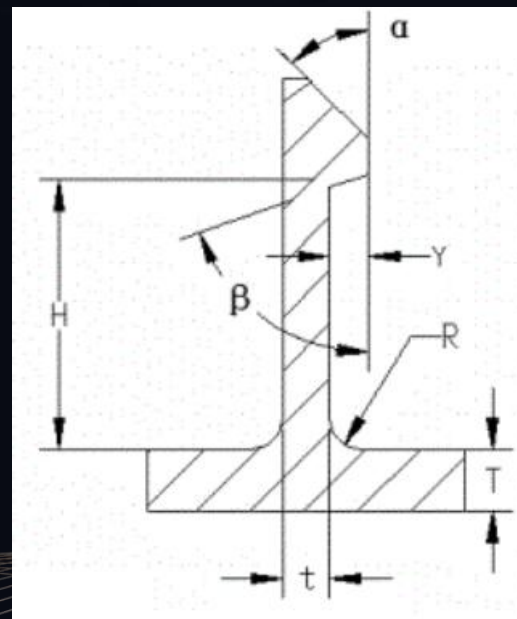


不可拆卸卡扣

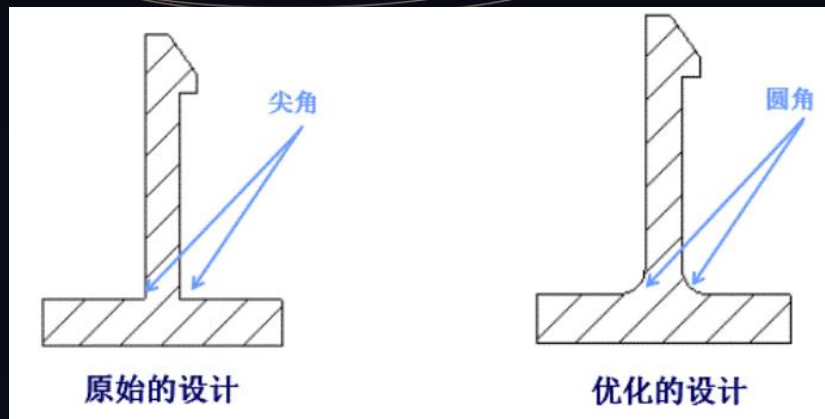
可拆卸卡扣

卡扣的尺寸:

- 卡扣厚度 $t=0.5\sim 0.6T$
- 卡扣根部圆角 $R_{\min}=0.5t$
- 卡扣的高度 $H=5\sim 10t$
- 卡扣的装配导入角 $\alpha=25^\circ\sim 35^\circ$
- 卡扣的拆卸角度 β :
 - $\beta\approx 35^\circ$ 用于不需要外力的可拆卸装配
 - $\beta\approx 45^\circ$ 用于需较小外力的可拆卸装配
 - $\beta\approx 80^\circ\sim 90^\circ$ 用于需要很大外力的不可拆卸装配
 - 卡扣的顶端厚度 $Y\leq t$



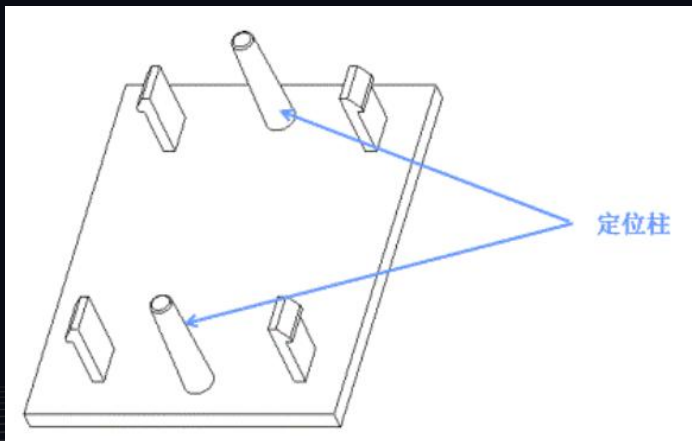
卡扣根部增加圆角:



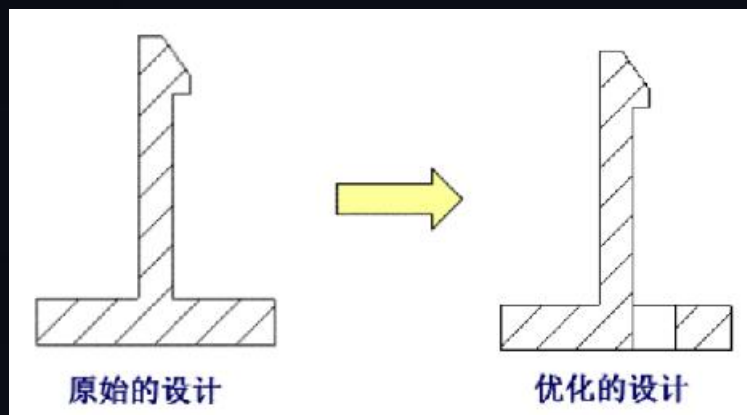
卡扣均匀分布：

- 均匀设置在零件的四周，已均匀承受载荷
- 靠近零件容易变形的地方

使用定位柱辅助卡扣装配、提高装配精度：

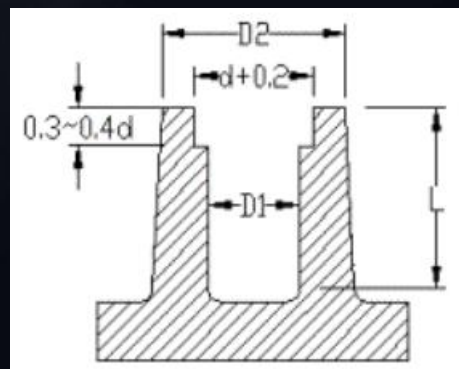
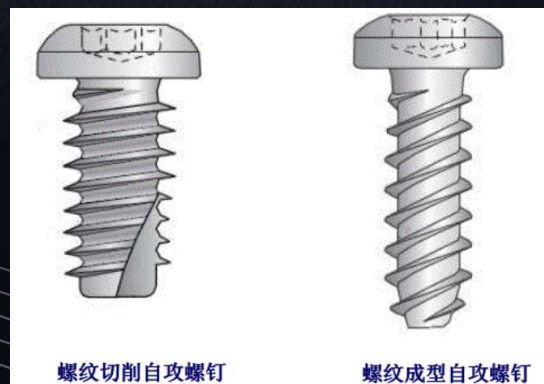


优化卡扣设计、简化模具结构：



模具修改便利性：卡扣尺寸一般会经过多次修改，可先做小，以保证修模的方便性。

自攻螺钉的种类



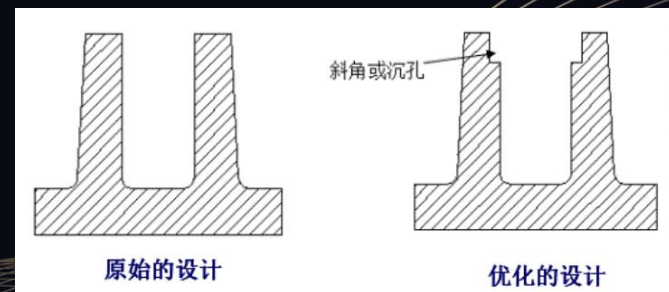
螺钉支柱

自攻螺钉支柱设计注意事项:

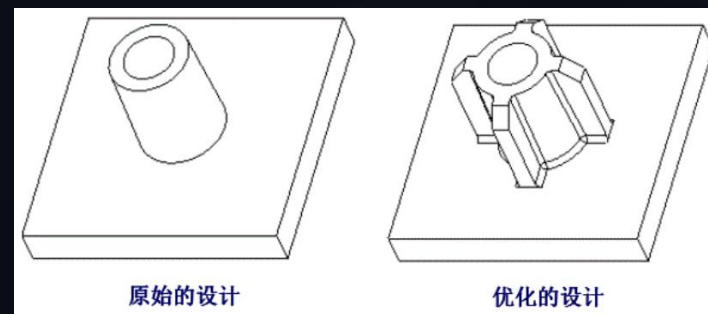
- 装配次数: 一般不超过3次
- 支柱的内径和外径:

材料	支柱的内径 D1			支柱的外径 D2	最小螺牙咬合长度 L
	Plastite®45	PT®	Dieta PT®		
ABS	0.80 x d	0.80 x d	0.86 x d	2.00 x d	2.00 x d
PA6	0.75 x d	0.75 x d	0.81 x d	1.85 x d	1.70 x d
PA-GF30	0.80 x d	0.80 x d	0.86 x d	2.00 x d	1.90 x d
PBT	0.75 x d	0.75 x d	0.81 x d	1.85 x d	1.70 x d
PBT-GF30	0.80 x d	0.80 x d	0.86 x d	1.80 x d	1.70 x d
PC	0.85 x d	0.85 x d	0.89 x d	2.50 x d	2.00 x d
PC-GF30	0.85 x d	0.85 x d	0.89 x d	2.20 x d	2.00 x d
PET	0.75 x d	0.75 x d	0.81 x d	1.85 x d	1.70 x d
PET-GF30	0.80 x d	0.80 x d	0.86 x d	1.80 x d	1.70 x d
POM	0.75 x d	0.75 x d	0.81 x d	1.95 x d	2.00 x d
PP	0.70 x d	0.70 x d	0.76 x d	2.00 x d	2.00 x d
PS	0.80 x d	0.80 x d	0.86 x d	2.00 x d	2.00 x d

- 螺牙咬合长度不少于2倍螺钉公称直径
- 支柱的深度至少比螺钉长度高0.5mm
- 支柱顶部增加斜角或沉孔:
 - 导向作用
 - 为塑胶屑提供空间



- 支柱四周增加加强筋、根部添加圆角:
 - 支柱最常见的失效是破裂



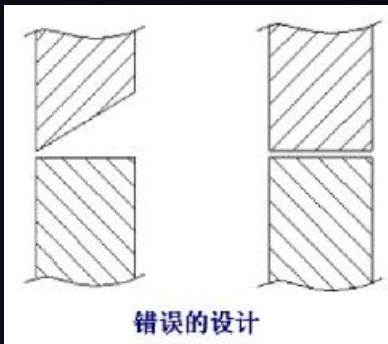
- 合理的驱动扭矩:
 - 驱动扭矩过大会造成支柱破裂

➤ 导熔线设计:

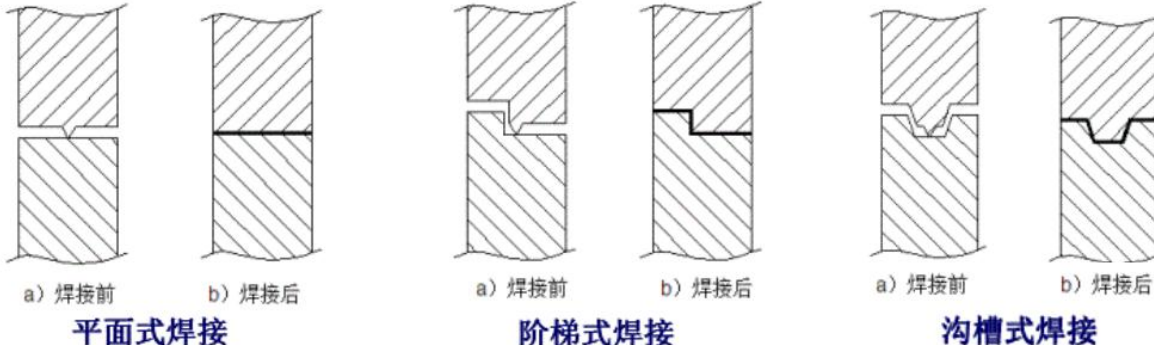


典型导熔线设计 (单位: mm)

尺寸	无定形塑料		半结晶塑料	
	小零件	大零件	小零件	大零件
H	0.3~0.4	0.5~0.6	0.5~0.7	0.7~1.0
θ	60° ~ 90°		90°	



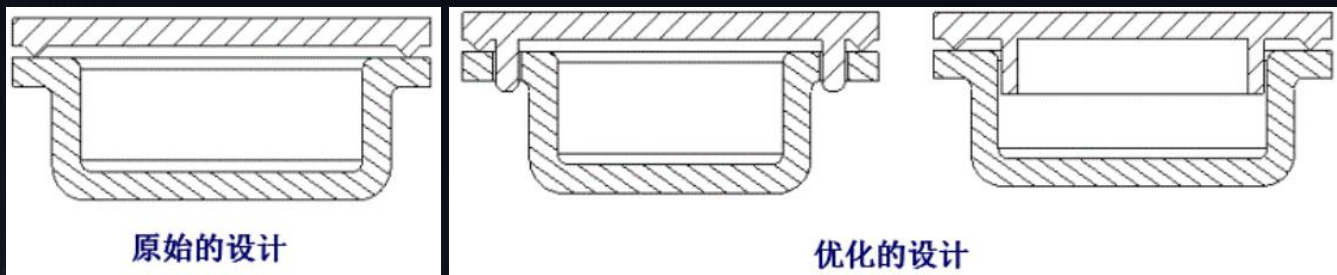
➤ 焊接面设计:



a) 焊接前 b) 焊接后 a) 焊接前 b) 焊接后 a) 焊接前 b) 焊接后

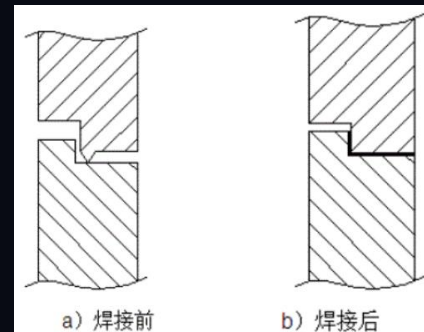
平面式焊接 阶梯式焊接 沟槽式焊接

➤ 设计定位特征:

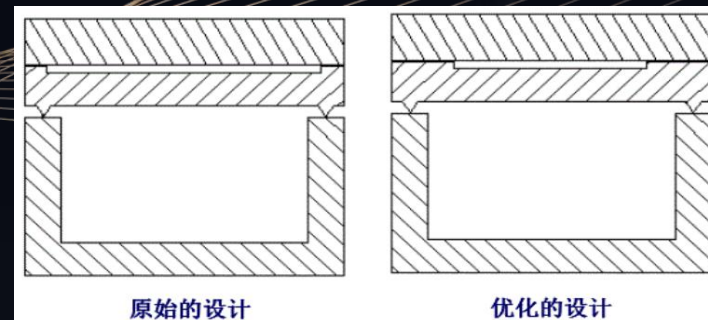


➤ 焊接面在同一平面上:

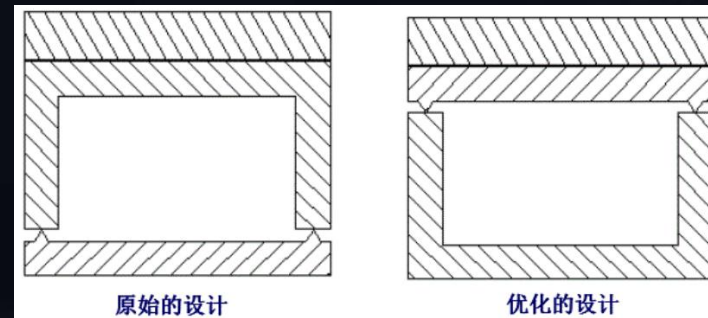
➤ 美工沟设计:



➤ 增加塑胶焊接面与焊接头的面积:



➤ 把近程焊接作为第一选择



五、塑胶件设计--DFMA检查表

注塑件设计检查		
注塑件设计指南	注塑件	底壳
1. 注塑模具可行性设计	1. 理解注塑的原理, 设计符合注塑工艺的零件 2. 卡扣等结构应为斜销 (或滑块) 预留足够的退出空间 3. 避免模具出现薄壁以及强度太低的设计	
2. 零件壁厚	1. 零件壁厚必须适中 2. 尽可能选择较小的壁厚 3. 壁厚均匀 (过渡区长度为厚度3倍) 4. 软件壁厚分析功能	
3. 避免尖角	1. 避免在零件外部尖角 (分模线处例外) 1.1 如为分型面, 可增加一段1.5mm的平面 (一般不用) 2. 避免在塑胶流动方向产生尖角 3. 避免在壁连接处产生尖角 (内圆角 $0.3T < R < 0.8T$, 一般 $0.5T$) 4. 建模中打圆角的步骤	
4. 加强筋	1. 加强筋的厚度不应该超过塑胶零件厚度的50%~60% 2. 加强筋的高度不能超过塑胶零件厚度的3倍 3. 加强筋根部圆角为塑胶零件厚度的 $0.25 \sim 0.5$ 倍 4. 加强筋的脱模斜度一般为 $0.5^\circ \sim 1.5^\circ$ 5. 加强筋与加强筋之间的距离至少为塑胶零件厚度的2倍 6. 加强筋的设计需要遵守均匀壁厚原则 7. 加强筋的顶端增加斜角避免困气 8. 加强筋的方向与塑胶溶料的流向一致	
5. 支柱	1. 支柱的外径为内径的2倍 2. 支柱的厚度不超过零件厚度的0.6倍 3. 支柱的高度不超过零件厚度的5倍 4. 支柱的根部圆角为零件壁厚的 $0.25 \sim 0.5$ 倍 5. 支柱根部厚度为零件壁厚的 0.7 倍 6. 支柱的脱模斜度 (一般内径 0.25° , 外径 0.5°) 7. 保证支柱与零件壁连接 8. 单独的支柱四周增加加强筋补强 9. 支柱的设计需要遵守均匀壁厚原则 10. 螺钉支柱的标准结构	0 1 2 3 4 0 1 2 3 4
6. 孔	1. 孔的深度不能太深 (若太深, 采用阶梯孔成型) 2. 避免盲孔 (不通孔) 底面太薄 3. 孔与孔的间距及孔与零件边缘尺寸避免太小 4. 零件上的孔尽量远离零件受载部位 5. 可以在孔的边缘增加凸缘增加孔的强度 6. 避免与零件脱模方向垂直的侧孔 7. 长孔的设计避免阻碍塑胶溶料的流动 8. 风孔的设计	
	7. 雕刻文字, 符号及花纹	
	8. 提高零件强度	
	9. 提高零件外观	
	10. 降低零件成本的设计	

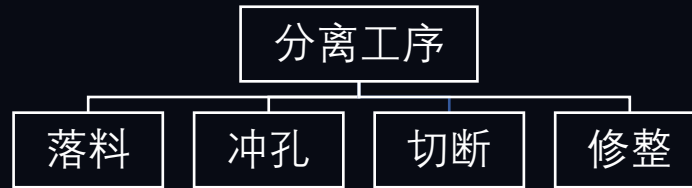
塑胶件装配方式设计检查		
塑胶件设计指南	塑胶件	
1. 卡扣	1. 卡扣的尺寸 2. 卡扣根部增加圆角避免应力集中 3. 卡扣均匀分布 4. 使用定位柱辅助卡扣装配和提高装配精度 5. 卡扣设计避免增加模具复杂度 6. 考虑模具修改方便性 7. 卡扣设计指南 (如手机上下盖)	
2. 紧固件装配	1. 避免使用过大的扭矩进行装配 (扭力螺钉旋具或扭力扳手) 2. 避免使用较小头型的螺栓 (螺钉), 使用大头型螺栓、有肩螺栓或使用螺垫 3. 避免使用沉头或半沉头螺栓 (或螺钉) 4. 可以通过塑胶件的设计优化来避免塑胶件承受较大的应力 (如孔增加凸缘)	
3. 自攻螺钉	1. 装配次数: 装配次数一般不超过3次 2. 支柱的内径和外径 3. 螺牙咬合长度不少于2倍螺钉公称直径 4. 支柱的深度至少比螺钉长度高 0.5 毫米 5. 支柱顶部增加斜角或沉孔 6. 支柱四周增加加强筋、根部添加圆角 7. 合理的驱动扭矩	
4. 埋入螺母	1. 埋入螺母的安装方式 (多次拆卸) 2. 安装方式对比 (超声波>热熔>压入>模内镶嵌) 3. 螺母支柱的设计指南 4a. 模内镶嵌螺母: 螺母在使用时应当预热 4b. 模内镶嵌螺母: 支柱的四周增加加强筋以提高强度 4c. 模内镶嵌螺母: 螺母应当避免具有尖角 (如滚花等特征很容易造成支柱破裂, 对PC等缺口敏感材料尤其如此)	
5. 热熔	热熔柱设计指南 热熔的其余设计指南	

	设计前考虑: 1) 使用塑料的种类: 热固or热塑, 无定形or半结晶; 设计前考虑: 2) 塑料特性: 吸水性、脱模剂、润滑剂、填充剂、回料、色素、塑料等级 设计前考虑: 3) 产品尺寸和内部结构 (尺寸参考 $250\text{mm} \times 300\text{mm}$) 设计前考虑: 4) 产品受力 设计前考虑: 5) 水气密要求 设计前考虑: 6) 外观要求 设计前考虑: 7) 是否有其他特殊要求
6. 超声波焊接	设计前考虑: 1) 导熔线设计 2. 超声波焊接结构 (①基本型②阶梯型③沟槽型④剪切型⑤特殊形状) 3. 超声波焊接零件需要导向和预定位 4. 避免尖角 5. 避免超声波零件结构较弱而发生断裂 6. 把近场焊接作为第一选择 7. 增加塑胶件焊接面与焊接头的接触面积 8. 焊接面与焊头面平行, 且为单一平面 9. 超声波传导区避免孔或缺口 10. 避免薄而弯曲的结构 11. 避免薄膜效应
7. PCB板固定	基准样品研究/参考机型 定位柱尺寸 RUBBER 孔 (若有) PCB 孔 PCB 禁布区域 壁厚 PCB板固定设计指导
其它	
	总分
	设计更改建议

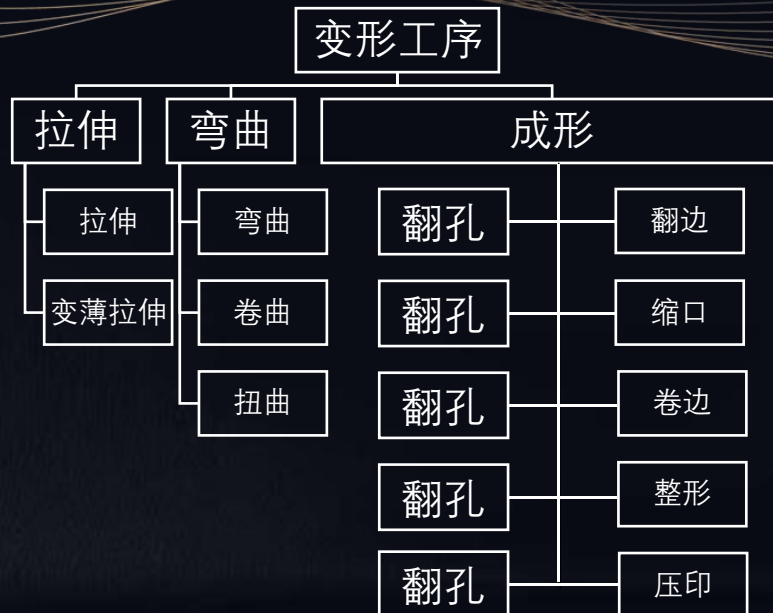
第三部分 钣金件的设计

- 钣金概念
- 钣金材料类型
- 钣金设计
 - ◆ 冲裁
 - ◆ 折弯
 - ◆ 拉深
 - ◆ 凸包
 - ◆ 止裂槽
 - ◆ 飞边
 - ◆ 提高强度
 - ◆ 降低成本
 - ◆ 装配及对比

- **钣金概念：**钣金件最常用的就是用冲压工艺制成的，依据钣金件复杂程度的不同，通常需要一副到多副模具。
- **冲压：**是利用冲压模具安装在压力机(例如冲床)等设备上，对板材、带材、管材和型材等施加外力，使之产生塑性变形或分离，从而获得所需形状和尺寸的钣金件的一种成形加工方法。
 - 冲压可以粗略分为冲裁和成形两大类。
 - 冲裁又叫做分离工序，是使坯料的一部分与另一部分沿一定的轮廓线相互分离的工序。



- **成形也叫变形工艺，**是使坯料的一部分相对于另一部分产生位移而不破裂的工序。



工程模、复合模、连续冲压模具对比

模具类型	优点	缺点
工程模	1、模具简单，容易制作 2、制作费用低，周期短 3、各道工序没有加工方向限制	1、一个零件模具数量多 2、一个模具使用一个压力机 3、生产效率较低 4、有半成品
复合模	1、零件同轴度较好，表面平直，尺寸精度高 2、生产效率高，且不受条料外形尺寸的进度限制 3、可以充分利用短料和边角余料	1、模具零件加工制造比较困难，成本较高 2、凸凹模容易受到最小壁厚的限制，而使得一些内控间距、内控与边缘间距较小的零件不宜采用
连续模	1、易于实现自动化，生产效率高 2、减少压力机的使用和零件半成品的运输和储存	模具结构复杂，制作精度要求高，周期长，成本高

- **普通冷轧板SPCC**: 钢锭经冷轧机连续轧制成的钢板卷料或板料。表面无防护, 在空气中易氧化, 出现暗红色铁锈。实际使用时表面需要喷漆、电镀或采取其他防护措施。
- **镀锌钢板SECC**: 底料一般是冷轧钢卷, 在连续电镀生产线经过脱脂、酸洗、电镀及各种后处理后即成为电镀锌产品。具有一般冷轧钢板的力学性能及近似的加工性, 且具有优越的耐蚀性和装饰性。
- **热浸镀锌钢板SGCC**: 将热轧酸洗或冷轧半成品, 经清洗、退火、进入约460°C的熔融锌槽中, 以使钢片镀上锌层。SGCC比SECC硬, 延展性差(应避免深抽设计), 锌层较厚, 焊接性差。
- **不锈钢SUS301**: Cr的含量较SUS304低, 耐蚀性能较差, 经冷加工后能获得很好的拉伸性能和硬度, 弹性较好, 多用于弹片弹簧及防电磁干扰。
- **不锈钢SUS304**: 含Ni, 比含Cr的钢具有更好的耐蚀性、耐热性, 拥有非常好的力学性能, 无热处理硬化现象, 无弹性。

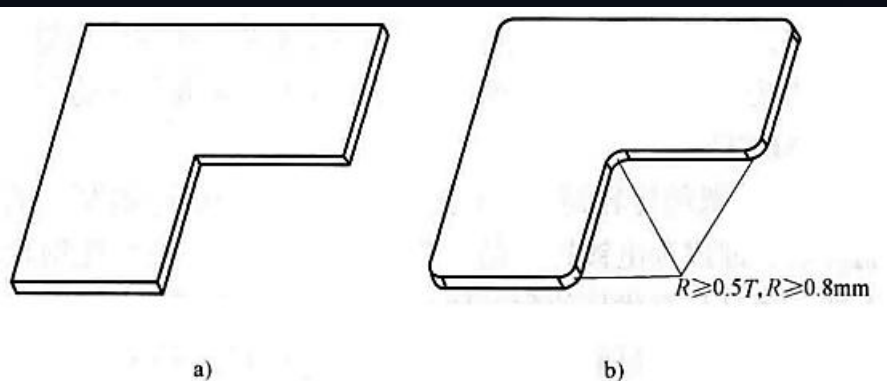
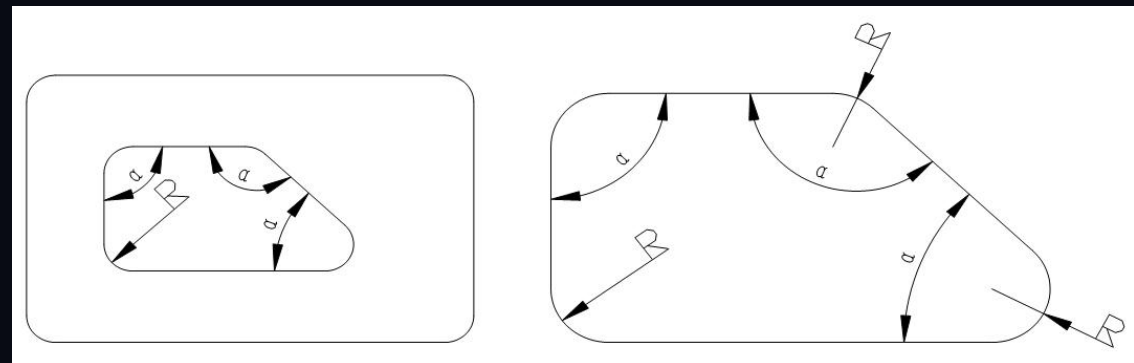
➤ **冲裁**：利用冲裁模，在压力机的作用下使板料分离的一种冲压工艺方法。冲裁是冲孔、落料、切断、切口、割切等多种分离工序的总称。冲裁是冷冲压加工方法中的基础工序，它可以直接冲制出所需的成品零件，也可以为其他冷冲压工序制备毛坯。

➤ **避免钣金外部、内部尖角**： $R \geq 0.5T$ ， $R \geq 0.8\text{mm}$ 。

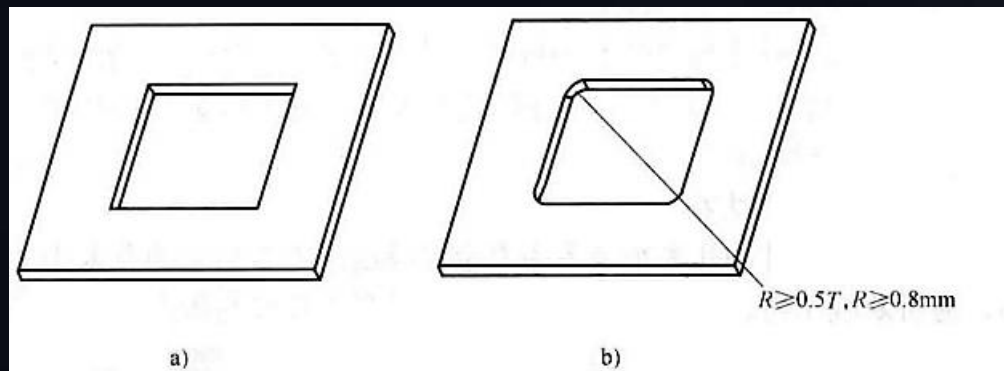
◆ 用模具一次冲制完成时，一把圆角半径 R 应大于或等于板厚 t 的一般，即 $R \geq 0.5t$ 。
JB/T 4378.1-1999

➤ **原因**：

- ◆ 一是安全因素，钣金件的外部尖角很锋利，容易造成操作人员在制造和装配产品的时候刮伤手指，同时也可能使得消费者在使用或者维修产品的过程中刮伤手指，造成人身伤害；
- ◆ 二是冲压模具因素，钣金件的尖角对应模具上也是尖角，模具凹模上的尖角加工困难，同时热处理时易开裂，而且在冲裁时模具凸模的尖角处易崩刃和过快磨损，模具寿命显著降低。

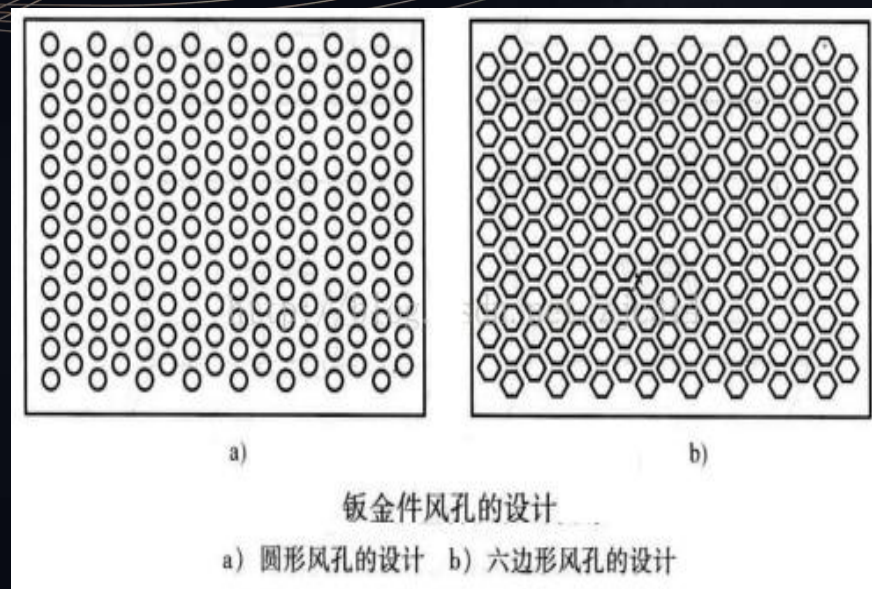
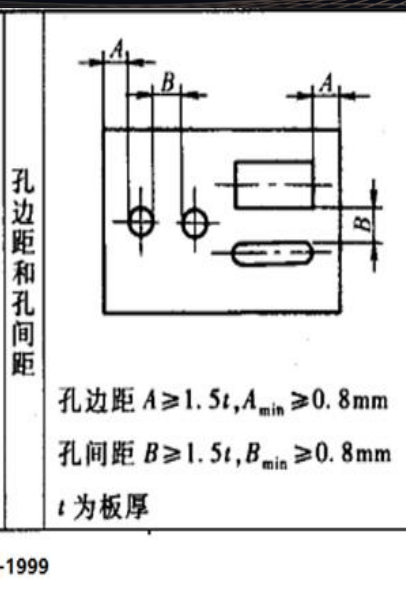
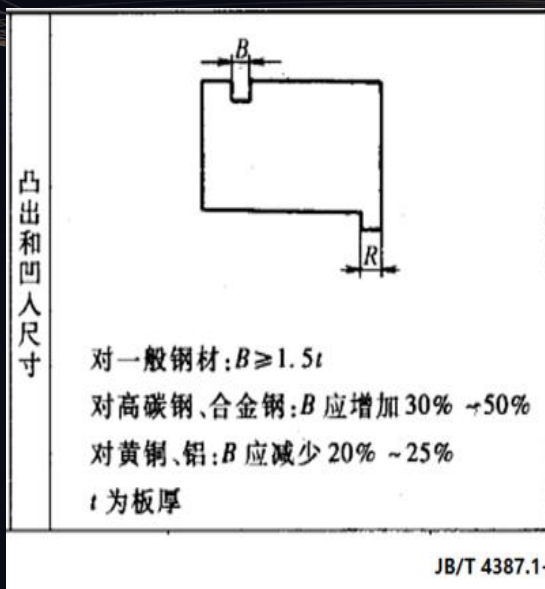
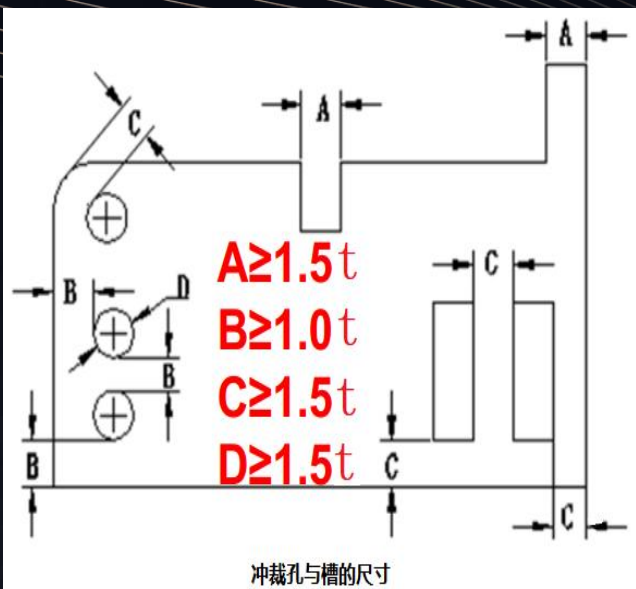


钣金件外部圆角的设计
a) 原始的设计 b) 改进的设计

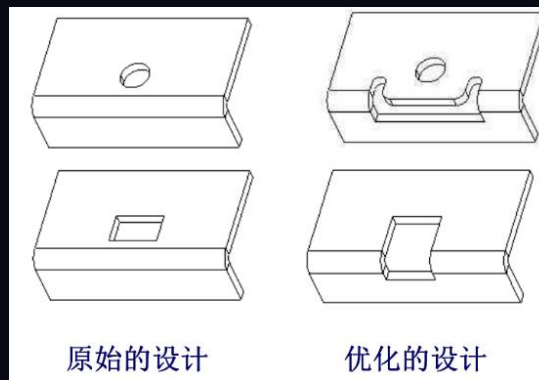
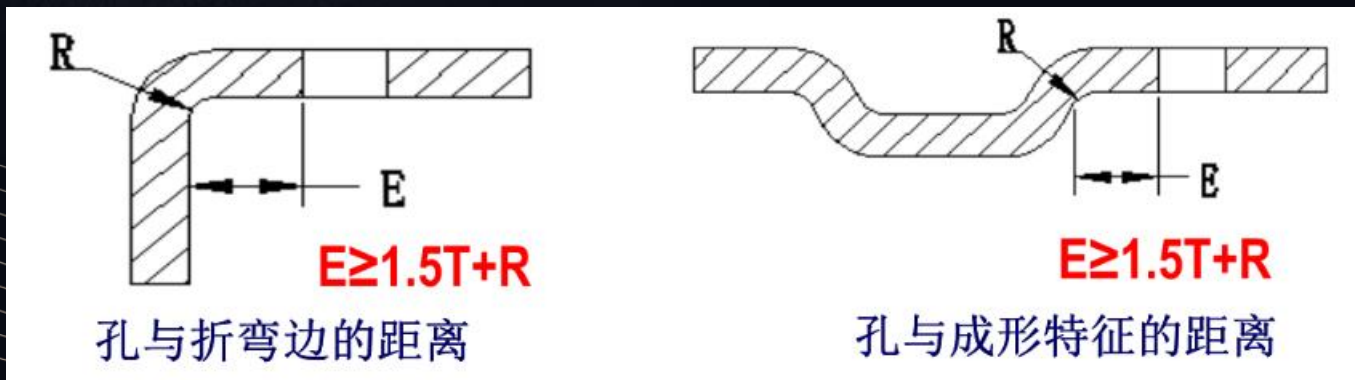


钣金件内部圆角的设计
a) 原始的设计 b) 改进的设计

- **避免过长的悬臂和狭槽**：钣金件上避免过长的悬臂和狭槽，否则冲压模具上相对应的凸模尺寸小，强度低，模具寿命短。一般来说，过长的悬臂和狭槽的尺寸宽度不应小于零件壁厚的1.5倍，即 $A \geq 1.5T$
- **钣金冲裁孔间距与孔边距**：当钣金冲裁孔与孔或与边缘不平行时，孔间距或孔边距至少为钣金件厚度，即 $B \geq 1T$ ；平行时，孔间距或孔边距至少为钣金件厚度的1.5倍，即 $C \geq 1.5T$
- **钣金冲裁孔的大小**：冲孔太小，模具凸模尺寸小，易折断或压弯，使用寿命低。较硬材料(如不锈钢等)冲孔最小尺寸不应小于钣金厚度的1.5倍，即 $D \geq 1.5T$
- **冲孔优先选用圆形孔**：钣金件冲孔优先选用圆孔，模具加工较容易。圆孔的开孔率较低，散热效果较差；六边形风孔开孔率较高，散热效果较好，但六边形风孔模具加工较复杂；正方形风孔开孔率最高，但因为边角是直角，模具容易磨损。因此在设计风孔时需要综合考虑模具加工容易性和系统散热效果，在满足系统散热要求的前提下，优先选用圆孔。

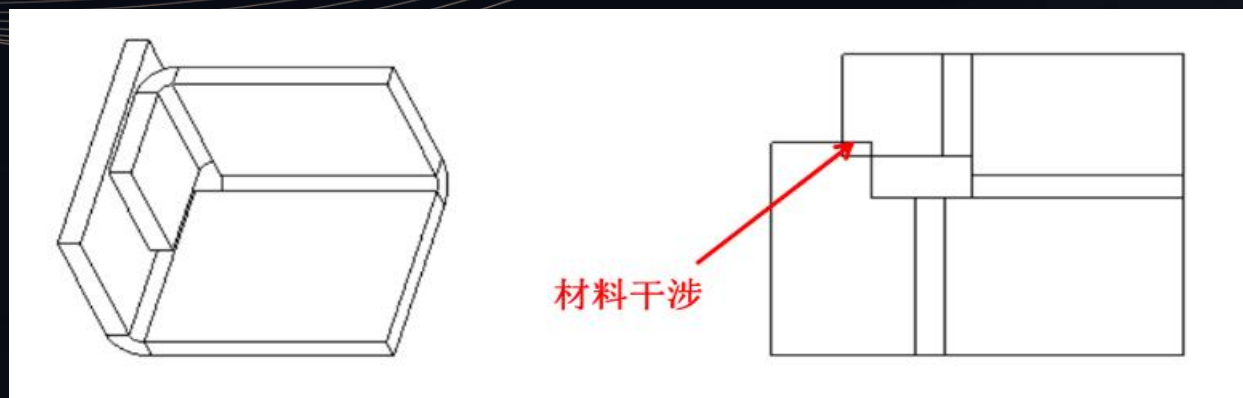
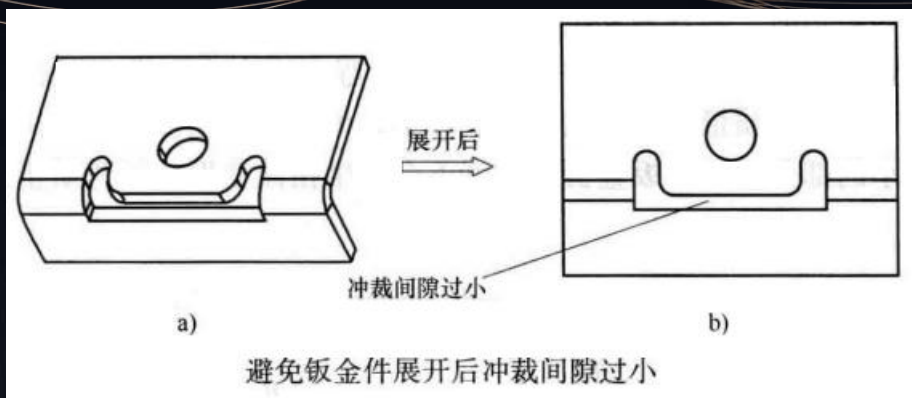


- **避免孔距离钣金折弯边或成形特征距离太近：** 钣金件冲裁孔距离钣金件折弯边或成形特征的距离最小为钣金件厚度的1.5倍加上折弯半径或成形半径，即 $E \geq 1.5T + R$ 。否则冲裁孔极易在折弯或成形时发生扭曲变形。

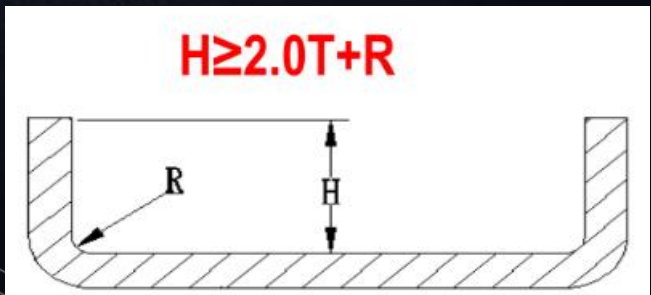


- ◆ 1)当钣金件冲孔距离折弯边或成形边特征太近时，可以考虑先折弯或成形，然后再冲孔，但这会增加模具的复杂度，增加模具成本；
- ◆ 2)在钣金件折弯或成形处增加工艺切口，用于吸收钣金件折弯或成形时的变形，从而保证钣金件冲孔的质量；
- ◆ 3)还可以加大冲孔的尺寸

- **避免冲裁间隙过小或材料干涉：**



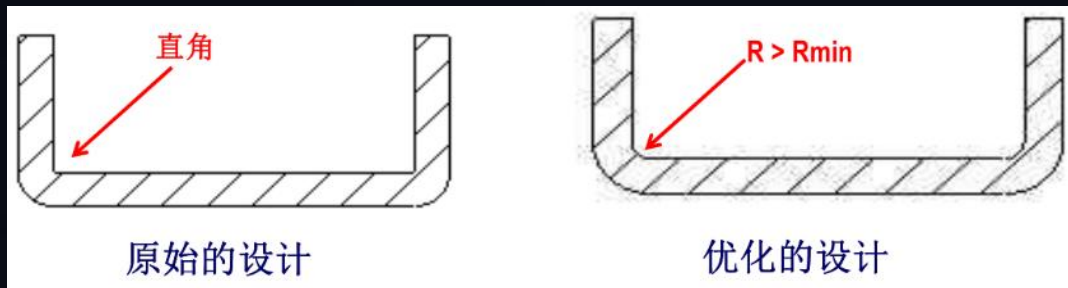
- **折弯高度：**至少应为钣金厚度的2倍加上折弯半径，即 $H \geq 2t + R$ ；折弯高度太低，钣金折弯时容易变形扭曲，不容易得到理想的零件形状和理想的尺寸精度。



- **折弯半径：**折弯半径应大于材料最小折弯半径。

各种材料的最小折弯半径

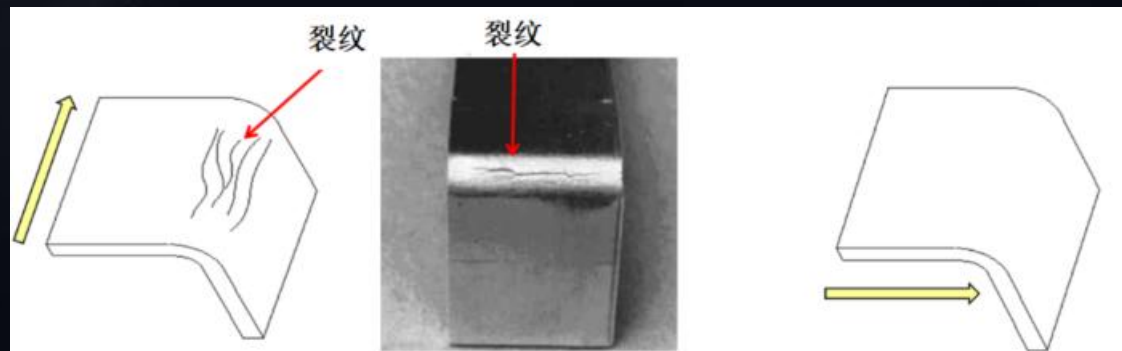
材料	材料条件		
	软	硬	
铝合金	0	6t	
铍青铜	0	4t	
黄铜	0	2t	
镁合金	5t	13t	
铁	不锈钢	0.5t	6t
	低碳钢、低合金	0.5t	4t
钛	0.7t	3t	
钛合金	2.6t	4t	



- ◆ 折弯半径也不是越大越好，折弯半径越大，折弯反弹越大，折弯角度和折弯高度越不容易控制，因此钣金折弯半径需要合理的取值。

➤ 折弯方向:

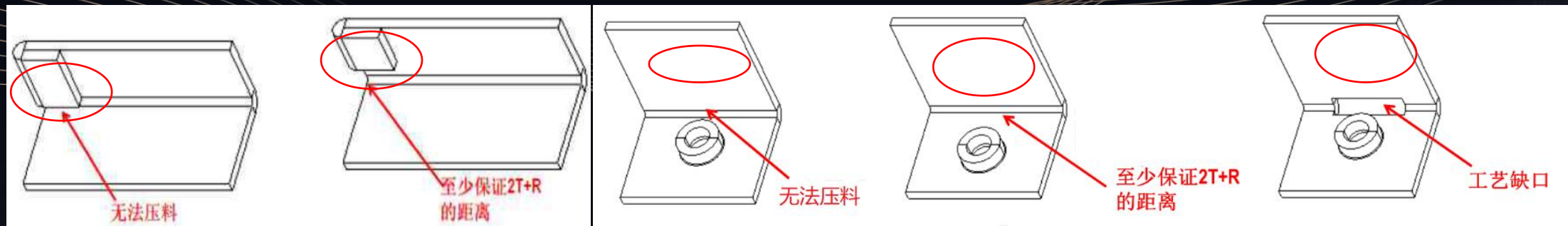
- ◆ 钣金折弯时应尽量垂直于金属材料纤维方向;
- ◆ 当钣金折弯平行于金属材料纤维方向时, 在金属折弯处很容易产生裂纹, 折弯强度较低, 易破裂。



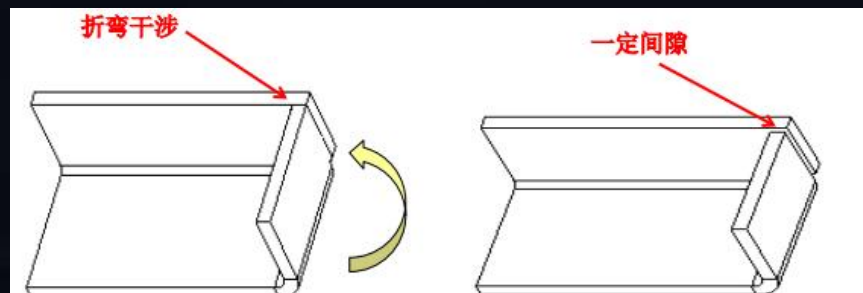
折弯与纤维方向不垂直

折弯与纤维方向垂直

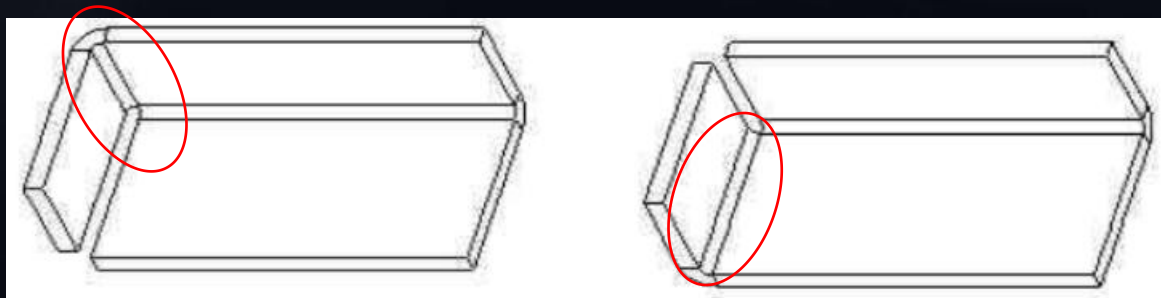
- **避免因折弯根部不能压料而造成折弯失败:** 在钣金折弯根部上方至少需要保证2倍钣金厚度加上折弯半径的距离上没有其他特征阻挡钣金折弯时的压料。



- **避免折弯干涉:** 在钣金折弯的运动方向上, 预留折弯间隙, 以防干涉而造成折弯失败。

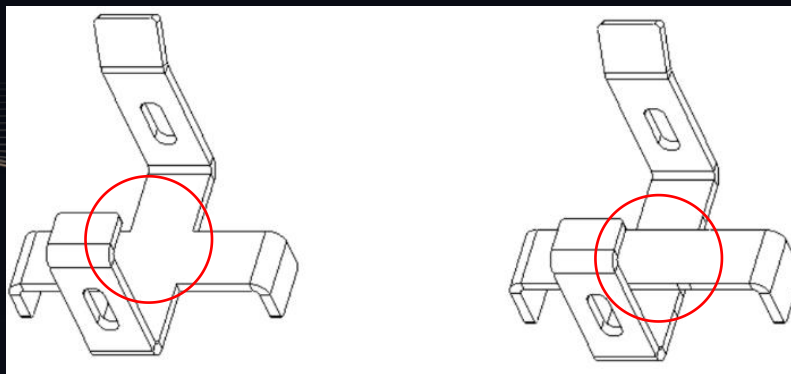


➤ **保证折弯强度：**折弯附着在较长的边上



➤ **减少折弯工序：**工序越多，模具成本越高，折弯精度越低

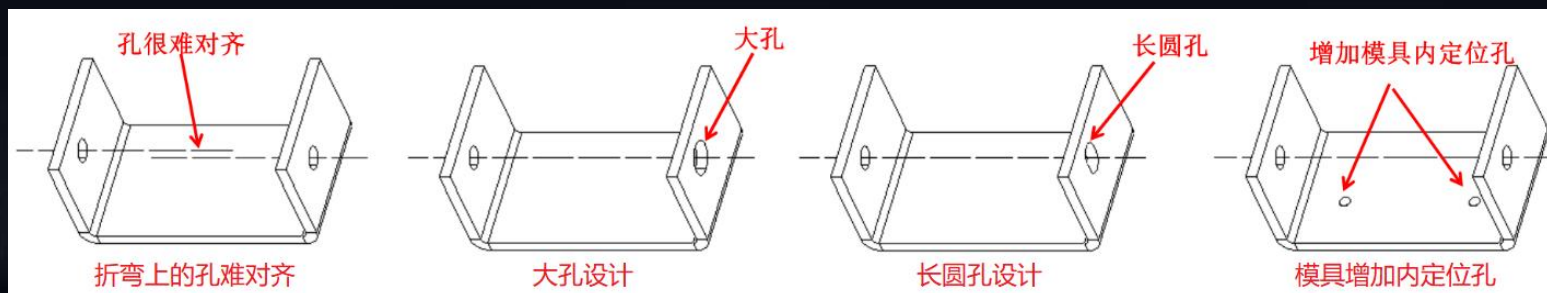
➤ **避免复杂折弯：**工序越复杂，模具成本越高，折弯精度越低



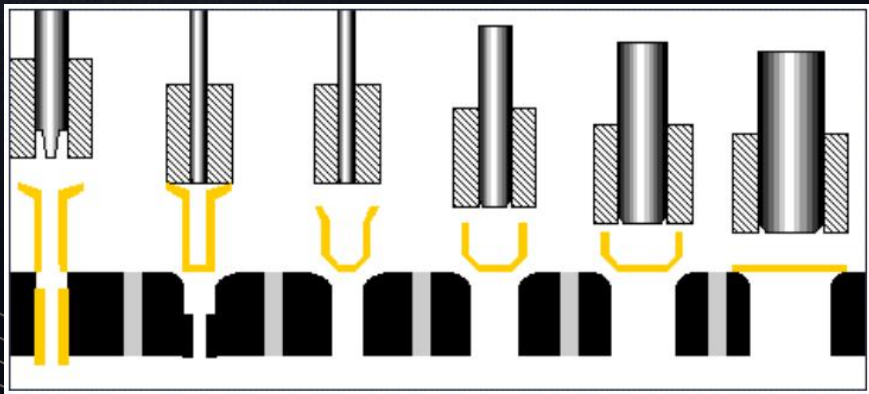
钣金折弯公差

特征	公差/mm
一个折弯	±0.15
两重折弯	±0.25
三重折弯	±0.36
四个折弯	±0.44
五重折弯	±0.51
六重折弯	±0.59

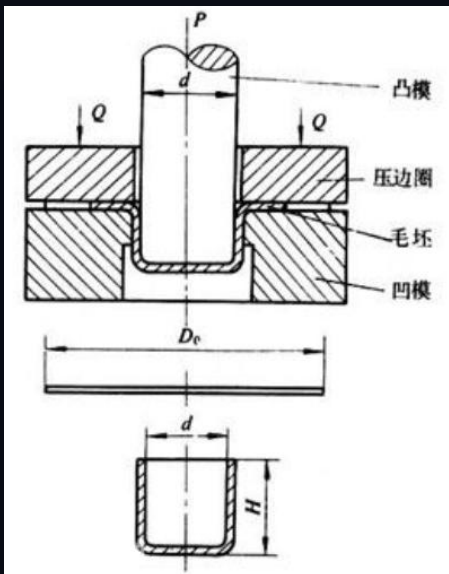
➤ **多重折弯，孔难对齐：**多重折弯，公差较大



➤ 拉深：浅拉深可以一次成型；深拉深需要多次冲压



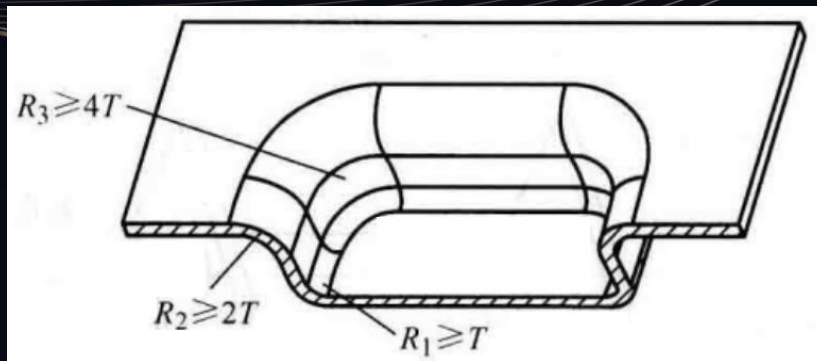
浅拉深



深拉深

➤ 拉深形状：尽量简单，对称，避免急剧的轮廓变化

➤ 拉深转角：相邻转角预留适当圆弧过渡，防止模具磨损和应力集中



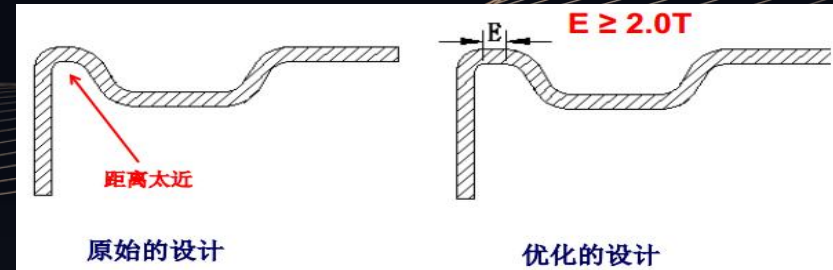
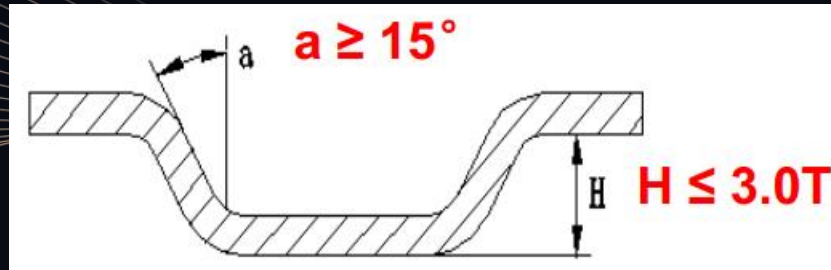
常用材料最大拉深

简图	材料	最大深度
	软钢	$\leq (0.15 \sim 0.20) d$
	铝	$\leq (0.10 \sim 0.15) d$
	黄铜	$\leq (0.15 \sim 0.22) d$

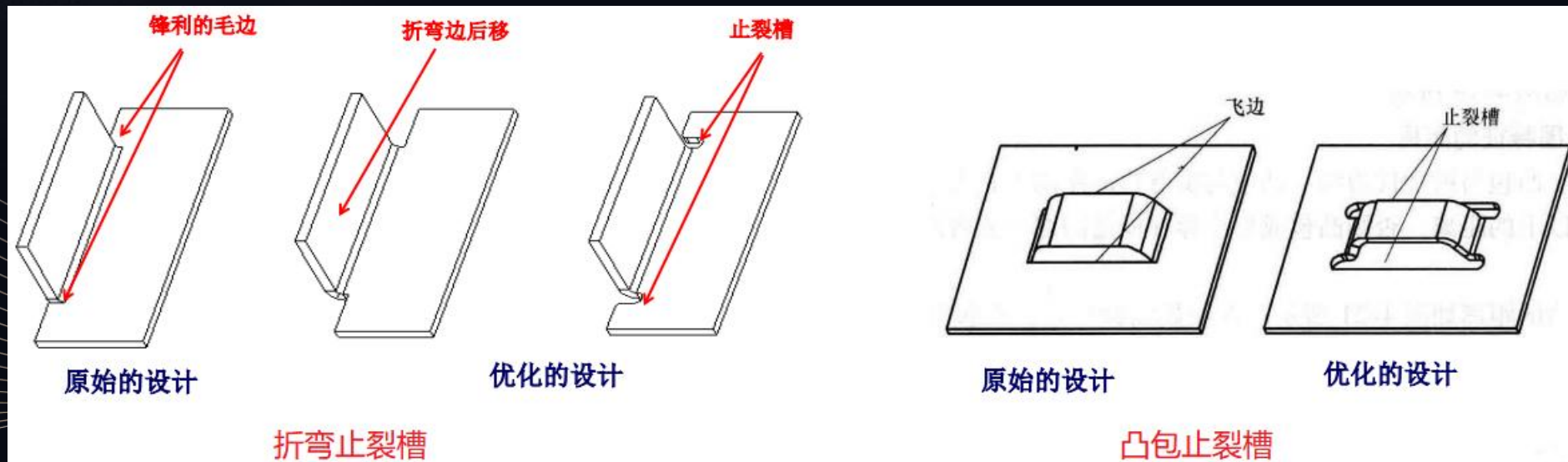
➤ 拉深精度：不宜过高。

六、钣金件设计--凸包

- **凸包深度**: 不超过钣金厚度的3倍, 即 $\leq 3t$
- **凸包斜度**: 一般不小于 15° , 即 $\alpha \geq 15^\circ$
- **凸包转角**: 应以圆角过渡
- **凸包与周围特征的距离**: 至少保证2个钣金厚度以上距离, 即 $E \geq 2t$



- **宽度：**应大于钣金厚度的1.5倍
- **长度：**应超过变形区



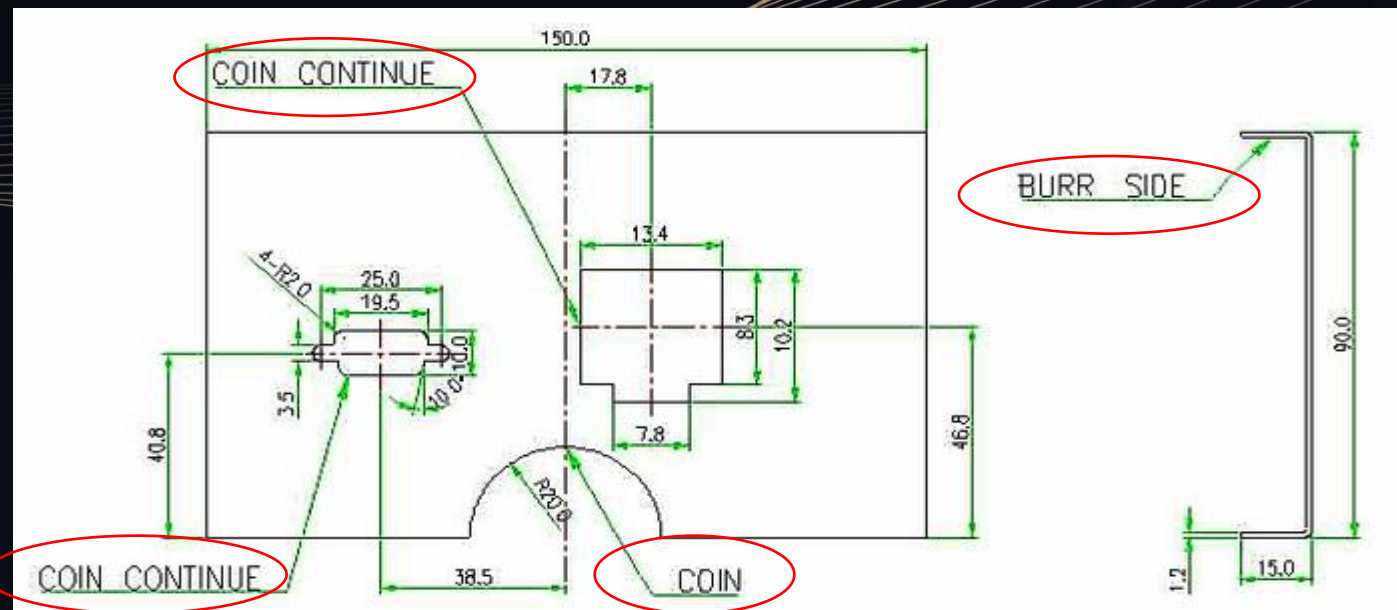
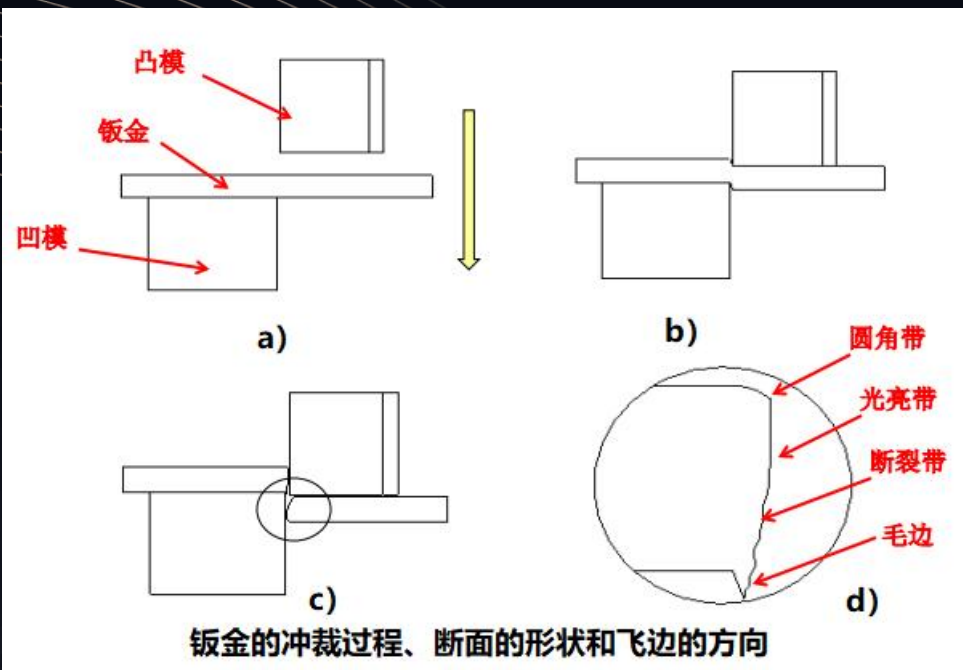
➤ **飞边的高度: $\leq 0.1t$**

各种材料的最小折弯半径

壁厚	材料抗拉强度 (N/mm ²)											
	> 100~250			> 250~400			> 400~630					
	f	m	g	f	m	g	f	m	g	f	m	g
> 0.7~1.0	0.12	0.17	0.23	0.09	0.13	0.17	0.05	0.07	0.1	0.03	0.04	0.05
> 1.~1.6	0.17	0.25	0.34	0.12	0.18	0.24	0.07	0.11	0.15	0.04	0.06	0.08
> 1.6~2.5	0.25	0.37	0.5	0.18	0.26	0.35	0.11	0.16	0.22	0.09	0.09	0.12
> 2.5~4.0	0.36	0.54	0.72	0.25	0.37	0.5	0.2	0.3	0.3	0.13	0.13	0.18

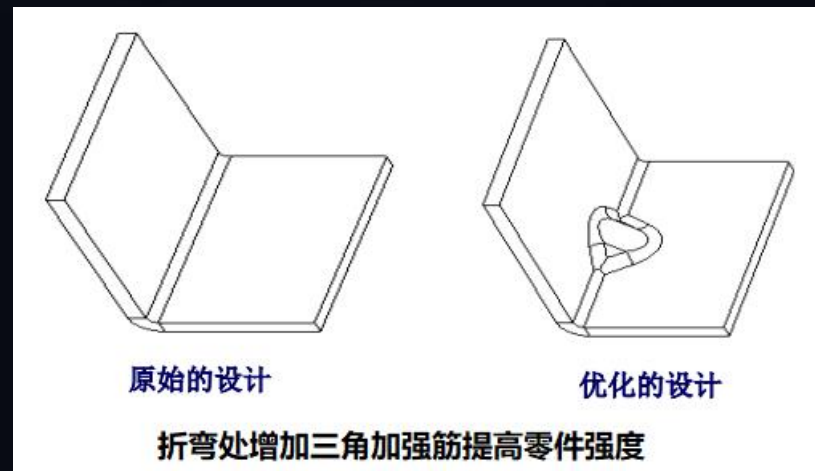
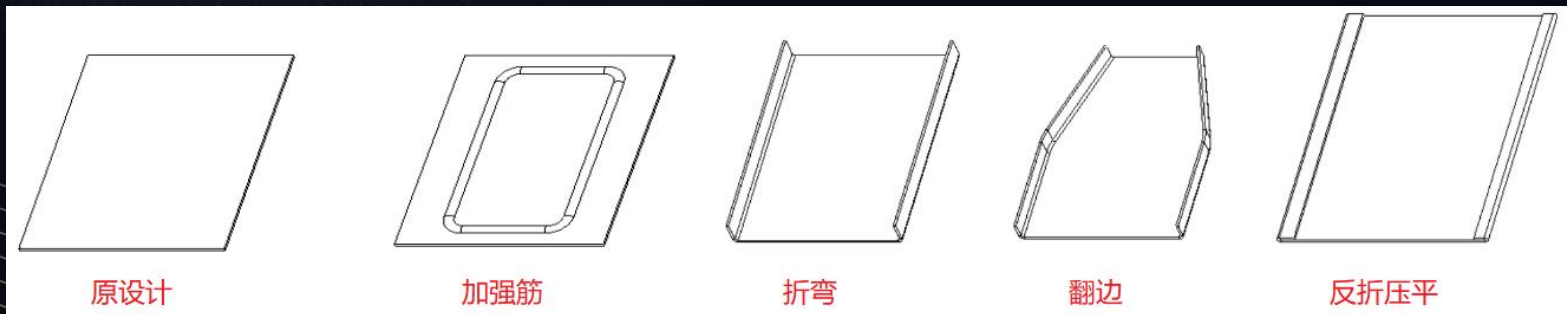
- ◆ **f: 精密级, 适用于较高要求的零件;**
- ◆ **m: 中等级, 适用于中等要求的零件;**
- ◆ **g: 粗糙级, 适用于一般要求的零件.**

➤ **飞边方向机需要压分边的边: 暴露在外面的断口; 人手经常触摸到的锐边; 需要过线缆的孔或槽; 有相对滑动的部位。**

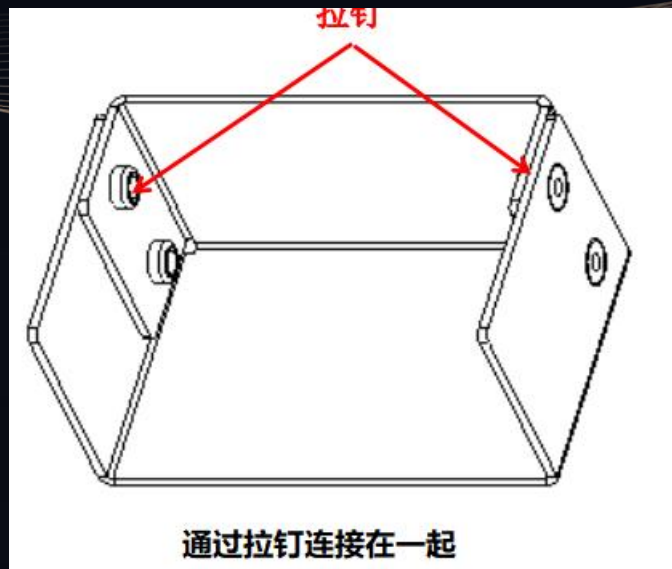


* 毛边方向: BURR SIDE; * 需要压毛边的部位: COIN或COIN CONTINUE。

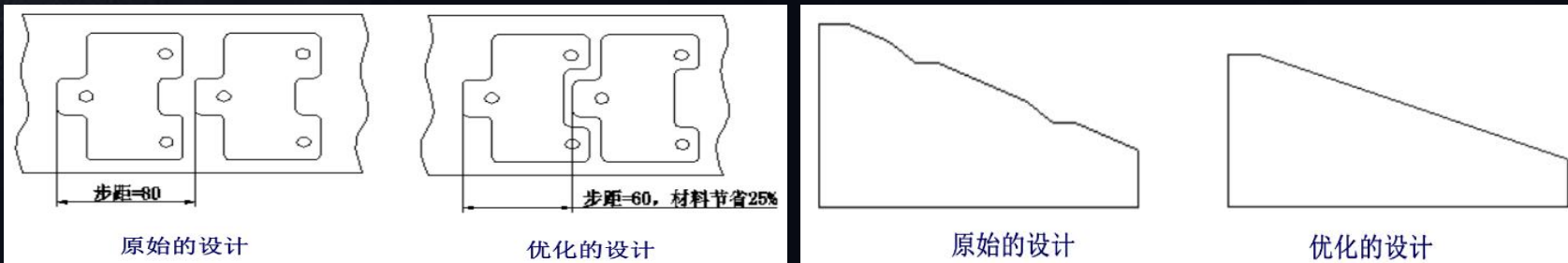
➤ **避免平板：**通过加强筋、折弯、翻边反折压平，增加起伏成形的凸包等，提高强度。



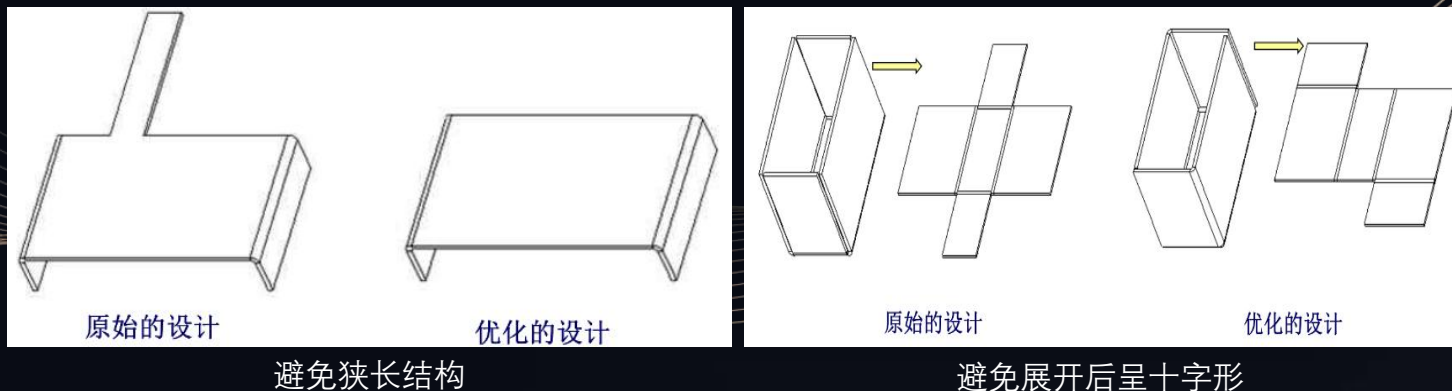
➤ **折弯边自铆或者通过拉钉等方式连接成一体：**



➤ 形状：利于排样，尽量减少废料，提高材料使用率



➤ 尺寸：避免狭长结构、避免展开后呈十字形



➤ 工序：

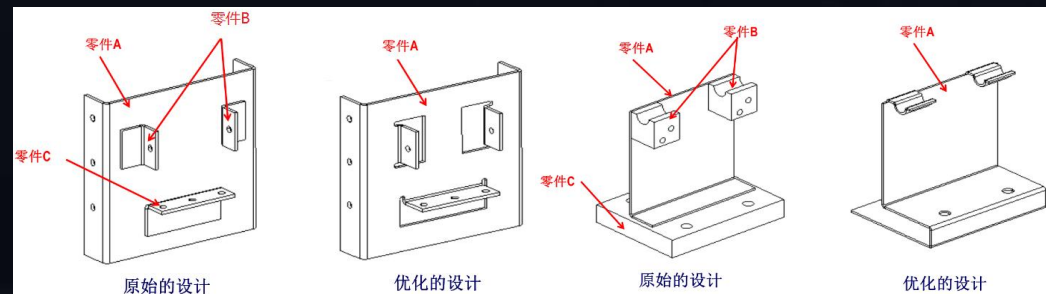
- ◆ 合理定义折弯的附着边，否则，易增加折弯工序；
- ◆ 尽量避免复杂折弯，复杂折弯需要2套甚至多折弯模，是工序数增加的主要原因；
- ◆ 尽量避免反折压平，反折压平至少需要2个工序；
- ◆ 压飞边一般需要单独的压飞边工序模，对于产品内部零件尽量不压飞边。

➤ 合理选择装配方式：

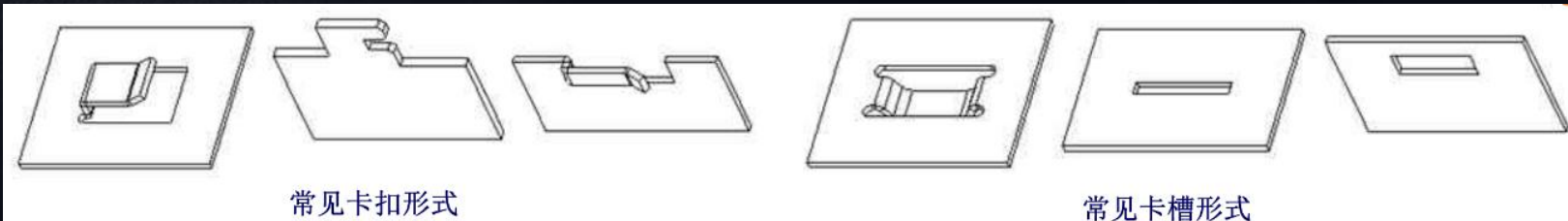
- ◆ 成本:卡扣 ≤ 拉钉 ≤ 自铆 ≤ 点焊 ≤ 普通螺钉 ≤ 手动螺钉

➤ 结构：合理利用钣金结构，减少零件数量

➤ 标准化：尽量使用标准孔、槽等特征，选用标准厚度的材料

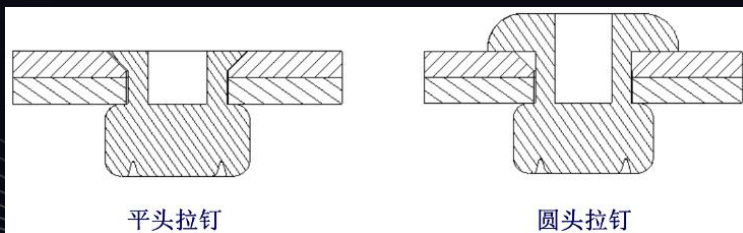


➤ 卡扣:

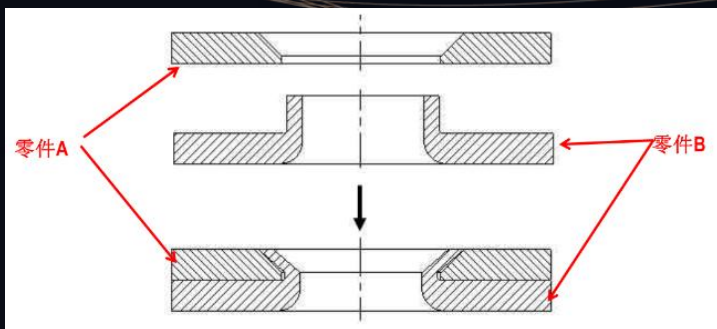


➤ 拉铆:

- ◆ 避免拉钉尾部与其他零件干涉
- ◆ 平头拉钉表面需低于钣金表面
- ◆ 避免拉钉枪干涉

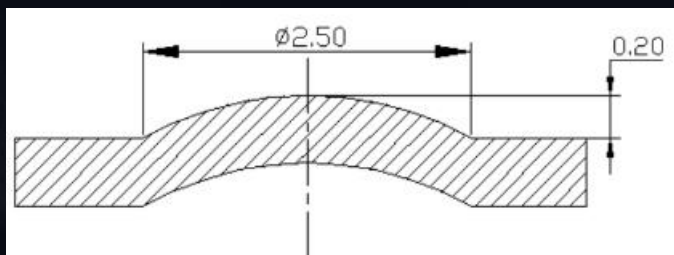


➤ 自铆:

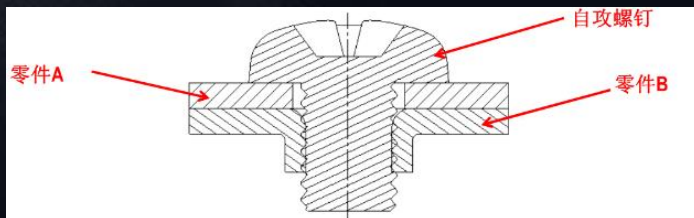


➤ 点焊:

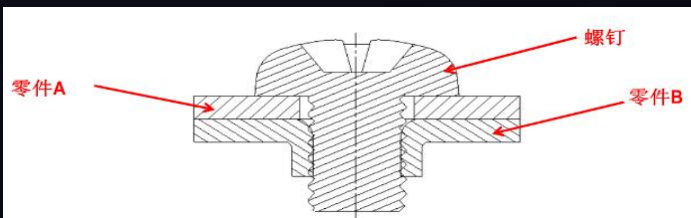
- ◆ 点焊凸点设计
- ◆ 焊点间距不超过35mm
- ◆ 使用定位特征



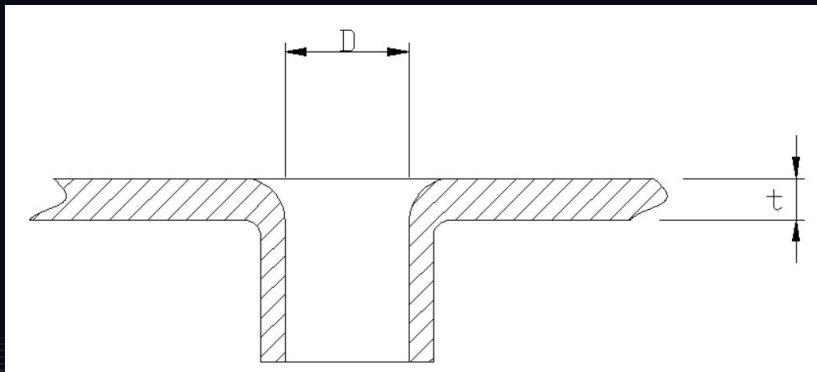
螺钉:



抽芽孔+自攻螺钉



抽芽孔+攻螺纹+螺钉



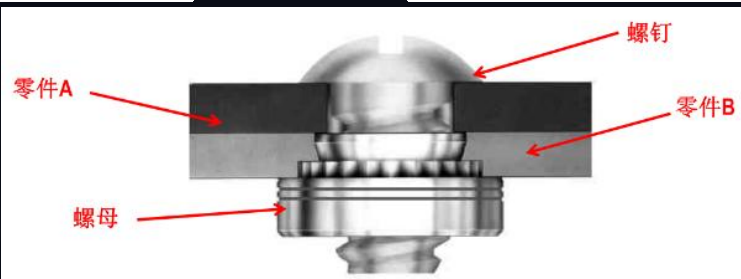
自攻螺钉对应钣金件抽芽孔尺寸

钣金壁厚t	0.5~0.69	0.7~0.99	1.0~1.49	1.5~2.49	2.5~3.0
螺钉种类	钣金件抽芽孔直径				
M2.5x0.45	2.22	2.23	2.24	--	--
M3x0.5	2.70	2.71	2.72	--	--
M4x0.7	3.57	3.59	3.61	3.64	--
M5x0.8	--	4.53	4.56	4.59	--

攻螺纹前抽芽孔内径

螺纹规格	M3	M3.5	M4	M5	4#-40	6#-32	8#-32
抽牙高度	1.5	1.8	2.1	2.4	1.9	2.4	2.4
抽牙内径	2.6	3.2	3.6	4.6	2.4	3.2	3.6

铆合螺母+螺钉:



六、钣金件设计--装配方式对比

装配放肆	使用设备	优点	缺点	要求
卡扣	无	1、成本低 2、快速装配和拆卸	不能完全固定，常需要和其它装配方式配合	/
拉钉	拉钉枪	1、操作方便，流动性好 2、可自动定位 3、可返工	1、产品上需要沉孔，增加冲模工序 2、拉钉尾部会突出零件，影响其他零件 3、拉钉不能在有限空间使用，拉钉枪被阻挡，可使拉钉拉偏	拉钉尾部须8mm左右的空间避位，头部须有直径20mm左右空间避让拉钉枪
自铆	自铆	1、可自动定位 2、小批量生产可手工制作	1、产品上须做沉孔或抽芽孔，增加冲压模具 2、不可拆卸，一旦实效，则配件报废，增加成本 3、质量不易保障，不良高	自铆孔距边不小于6m，自铆孔顶部空间须一定避让空间
自攻螺钉	电批	可拆卸，成本低	1、拆卸次数有限 2、抽芽滑扣，配件报废	螺钉顶部需一定避让空间
攻螺纹+螺钉	电批	装配较可靠，可反复拆卸	1增加攻螺纹工序，成本增加	螺钉顶部
螺母+螺钉	电批	1、最安全、最可靠 2、可反复拆卸	成本很高	螺钉顶部
点焊	电焊机	1、无须前加工，工艺简单 2、无法自动为，需要定位特征	1、需要焊接治具 2、焊接结合力小，易脱焊 3、不可拆卸，一旦实效，则配件报废，增加成本 4、使用范围有限，不是钣金均适合点焊	焊点中心距边不小于6mm，焊点中心距折边不小于8mm

第四部分 压铸件的设计

- 压铸件概念及优缺点
- 材料类型
- 压铸件设计
 - ◆ 零件壁厚
 - ◆ 最小孔
 - ◆ 加强筋
 - ◆ 脱模斜度和圆角
 - ◆ 支柱
 - ◆ 字符
 - ◆ 螺纹
 - ◆ 飞边和浇口
 - ◆ 公差
 - ◆ 简化设计
 - ◆ 机械加工
 - ◆ 简化产品结构, 降低产品成本

- **概念：** 在高压作用下，使液态金属或半液态金属以极高的速度充填到压铸型腔内，并在压力下成形和凝固。
- **特点：** 高压、高速、高温
- **优点：**
 - ◆ 效率高，易于实现机械化、自动化
 - ◆ 尺寸精度高，表面质量高
 - ◆ 力学性能较高
 - ◆ 可压铸复杂薄壁零件
 - ◆ 压铸件中可嵌塑其他材料的零件
- **独特优势：**
 - ◆ 相比塑胶件：强度高，具有导电性、热传导性和防电磁辐射型
 - ◆ 相比板件件：零件形状更加复杂，壁厚可以变化，一个压铸件可以代替几个钣金件，可简化产品结构
 - ◆ 相比机加工件：压铸件质量轻、加工成本低
 - ◆ 相比其他铸造件：尺寸精度高、表面质量好、生产效率高
- **缺点：**
 - ◆ 压铸件中易产生气孔
 - ◆ 不适宜小批量生产
 - ◆ 压铸高熔点合金时，模具寿命较低

常用压铸材料：铝合金、锌合金、镁合金

铝合金的应用	
产品种类	应用
汽车、摩托车	汽车发动机缸体、缸盖、化油器壳体、齿轮泵、轮毂、汽车底盘、制动器踏板等
电工工具配件	电钻外壳、电机转子、保护罩、机头等
电子电器配件	微型马达座、手机外壳、电脑外壳、散热器、光驱架、电视接线盒等
其他	铝锅、机械连接件、电梯、装饰品

锌合金的应用	
产品种类	应用
结构用途：作为结构零件，用于对机械强度、尺寸精度、铸件内部质量等要求较高的场合	汽车化油器、支柱、门铰链、齿轮、框架和锁具等
装饰用途：作为装饰零件，用于铸件表面质量要求高、表面光洁和造型美观的场合	玩具、灯饰、金属扣、浴室配件、照相器材等

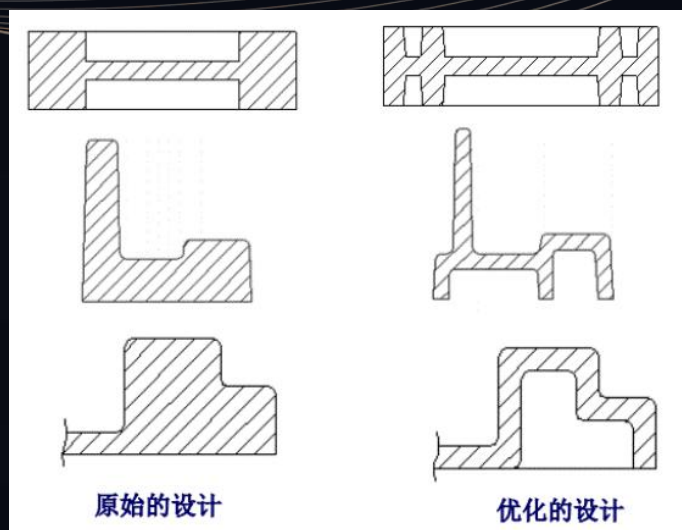
镁合金的应用	
产品种类	应用
汽车	引擎盖、避震器、齿轮
笔记本电脑	机壳、散热组件、机构件
手机	外壳、支架
数码相机	机壳

➤ 合适的零件壁厚:

- 太薄: 填充困难, 容易出现充填不良
 - 太厚: 内部晶粒粗大, 产生缩孔、气孔等缺陷; 外表面缺陷, 机械性能下降; 增加重量, 成本高
- 铝合金、锌合金、镁合金的最小壁厚和合适壁厚

壁面积/cm ²	铝、镁合金		锌合金	
	最小	推荐(合适)	最小	推荐(合适)
≤25	0.8	2.0	0.5	1.5
25~100	1.2	2.5	1.0	1.8
100~500	1.8	3.0	1.5	2.2
> 500	2.5	3.5	2.0	2.5

➤ 均匀壁厚设计, 壁厚变化处做过渡



避免零件局部太厚

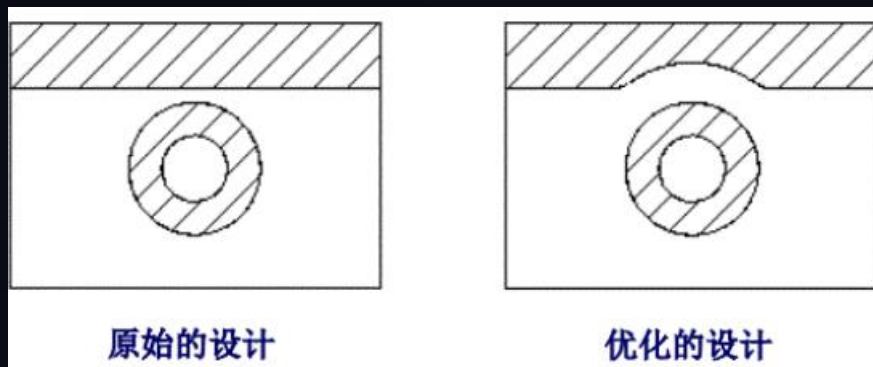
➤ 压铸件最小孔:

◆ 孔太小, 型芯易受冲击而变形或折断, 缩短模具寿命

合金类型	最小孔径d		孔深为孔径d倍数			
	经济上合理的	技术上可行的	盲孔		通孔	
			d > 5	d < 5	d > 5	d < 5
铝合金	2.5	2.0	4d	3d	8d	6d
镁合金	2.0	1.5	5d	4d	10d	8d
锌合金		0.8	6d	4d	12d	8d

➤ 避免局部过薄:

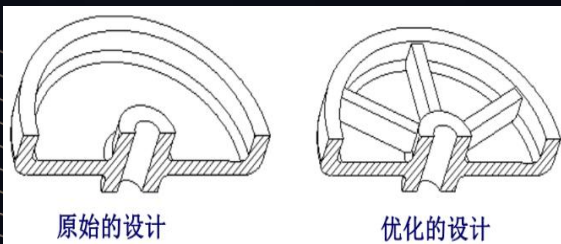
◆ 局部过薄, 模具强度低, 高温下易变形、折断, 缩短模具寿命



➤ 加强筋的尺寸:

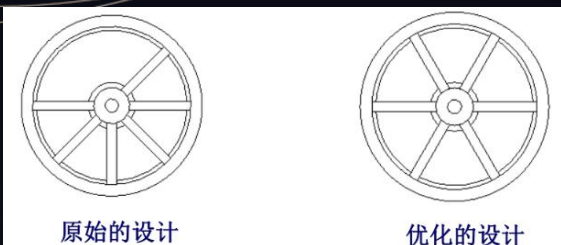
- 根部厚度 t : $t = (0.6 \sim 1) T$, 一般不大于此处壁的厚度
- 脱模斜度 θ : $1^\circ \sim 3^\circ$
- 根部圆角 R : $t \leq R \leq 1.25t$, 避免截面急剧变化, 辅助流动, 减少应力集中, 提高零件强度
- 高度 H : $H \leq 5T$, 不超过加强筋厚度的5倍

➤ 避免平板式设计, 易变形, 增加加强筋提高零件强度

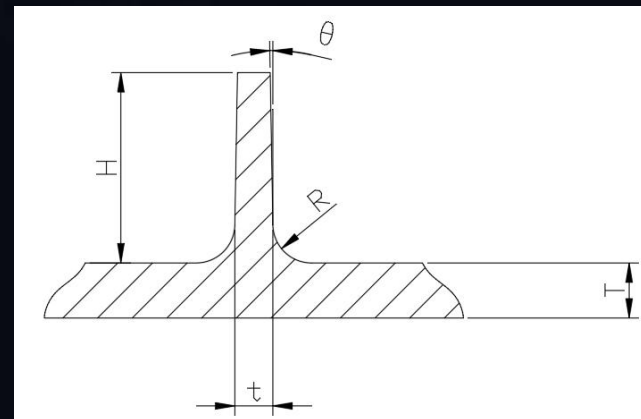
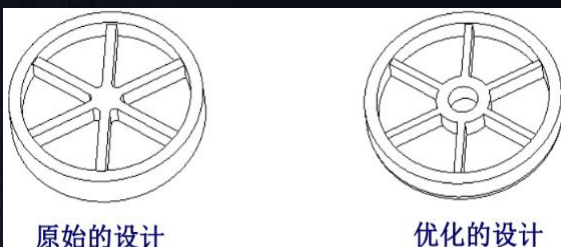


➤ 增加加强筋辅助熔化金属的流动, 加强筋的方向与熔化金属的流向一致, 提高充填性能

➤ 加强筋的分布位置合理, 尽量对称、均匀



➤ 加强筋连接处避免局部太厚

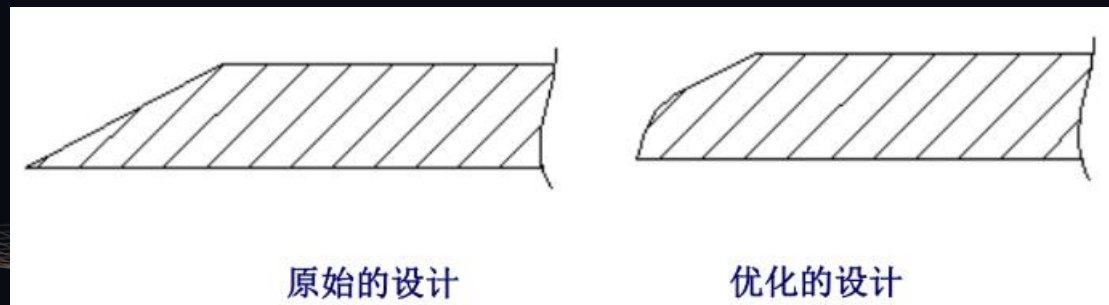
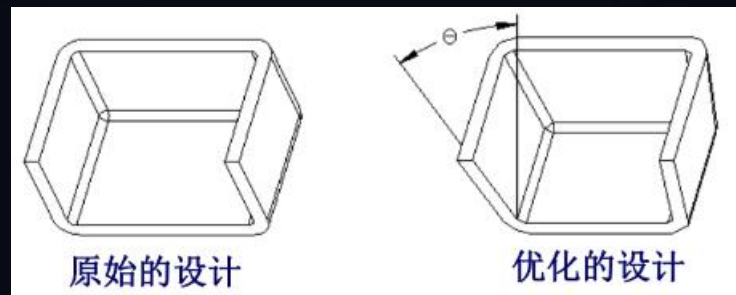


➤ 脱模斜度：铝合金、锌合金、镁合金因为与压铸模不同的黏着度，具有不同的脱模斜度：

- ◆ 铝合金与压铸模的黏着度较大，内表面脱模斜度一般取 1° ；
- ◆ 镁合金与压铸模的黏着度略小于铝合金，内表面脱模斜度一般取 0.75° ；
- ◆ 锌合金与压铸模的黏着度最小，内表面脱模斜度一般取 0.5° ；
- ◆ 压铸件外表面的脱模斜度可以取内表面脱模斜度的2倍，以保证零件脱模时留在公模侧。

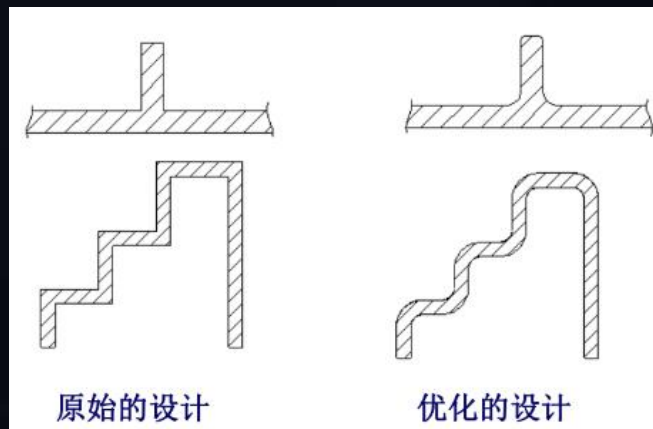
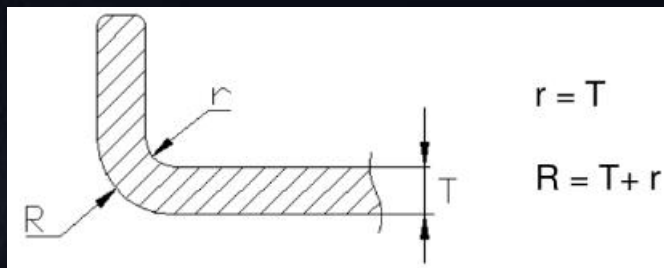
➤ 避免外部尖角：

- ◆ 外部尖角太薄，易发生充填不良，金属组织不致密，强度低；
- ◆ 外部尖角易带来安全问题



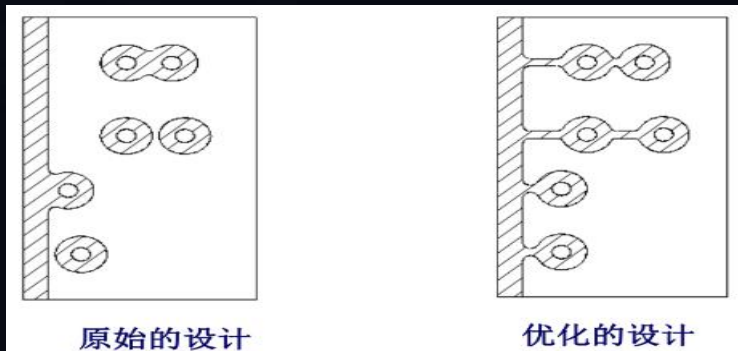
➤ 内部圆角设计：圆角对零件的性能和质量、模具寿命有非常大作用

- ◆ 辅助熔化金属的流动，改成充填，利于气体排出；
- ◆ 避免产生应力集中，提高压铸件强度；
- ◆ 提高压铸模具寿命；
- ◆ 当压铸件需要电镀时，圆角可获得均匀镀层，防止尖角处沉积



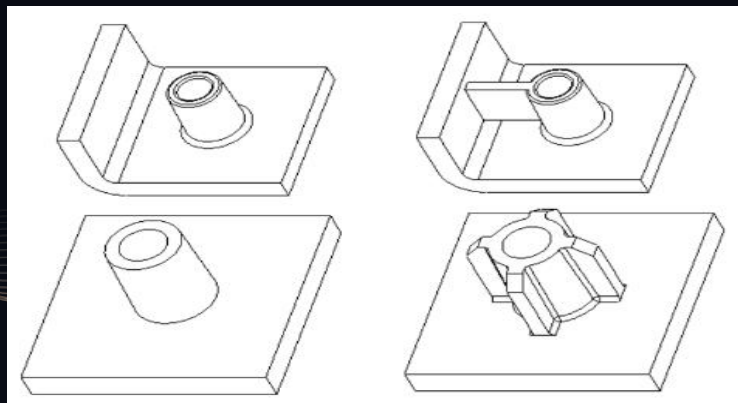
➤ 避免支柱离壁太近或柱之间距离太近:

- ◆ 太近, 易造成壁厚太大, 零件产生凹陷、气孔、缩孔等缺陷
- ◆ 使模具局部太薄、强度低、寿命短

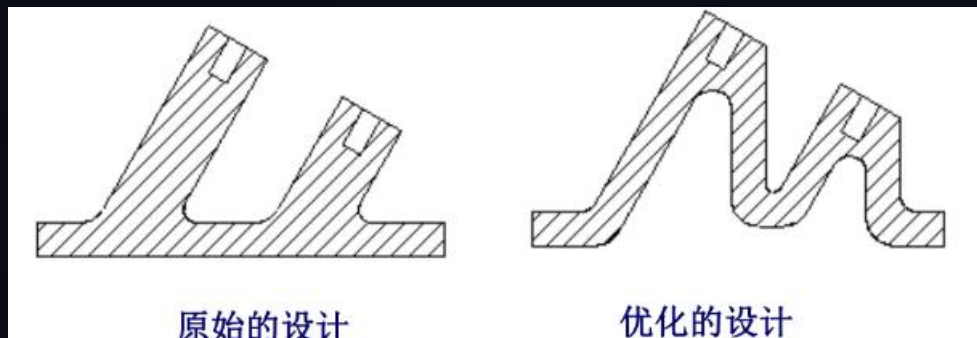


➤ 尽量降低支柱的高度: 太高, 强度低、不易充填

➤ 支柱四周增加加强筋:



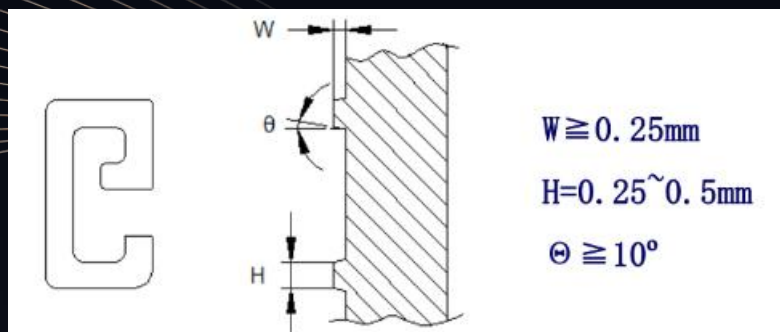
➤ 重新设计支柱以简化模具结构: 当支柱是倾斜的时候, 合理的设计可以简化模具结构, 节省模具成本



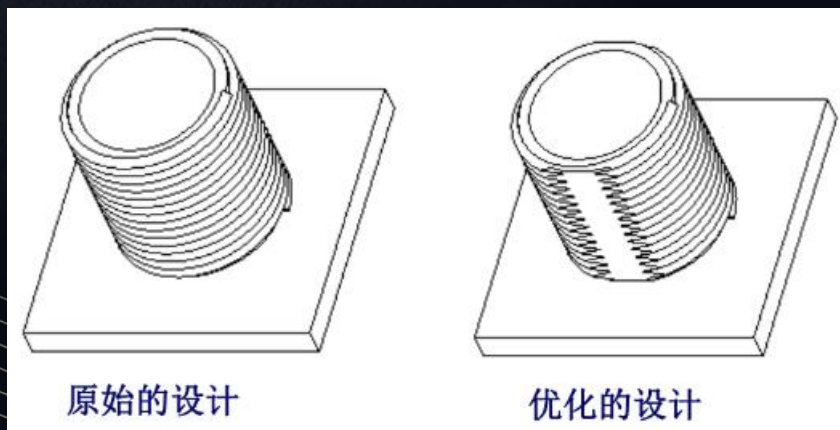
➤ 字符凸出与零件的表面较优:



➤ 字符的相关尺寸:



- **外螺纹避免全螺纹设计：**全螺纹设计，分模线处很难对齐

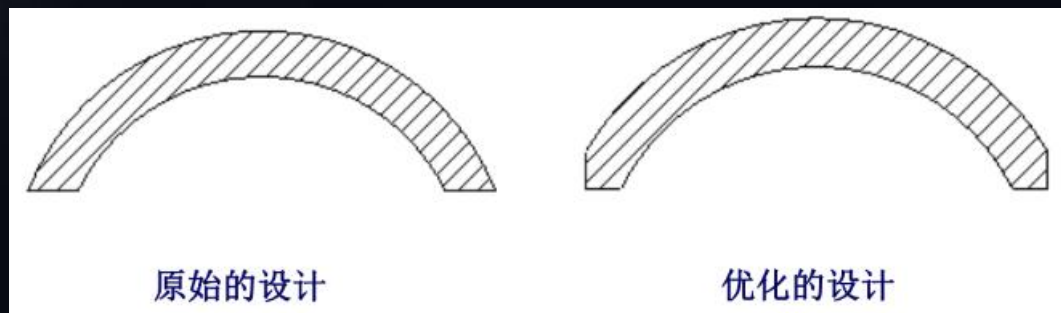


- **内螺纹不宜直接铸出：**

- ◆ 直接铸出特殊结构，模具费用高
- ◆ 内螺纹一般使用机加工

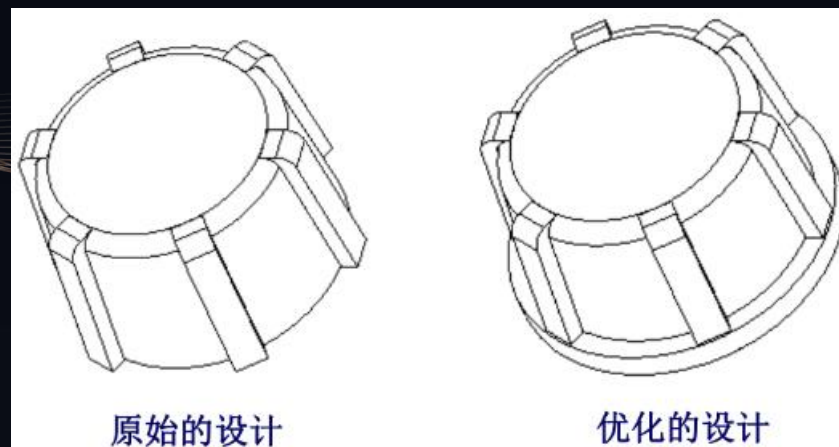
➤ 避免零件壁与分型面呈锐角：

- ◆ 零件壁与分模线呈锐角，分别难去除
- ◆ 增加一段1.5mm的平面，飞边和浇口易去除



➤ 简化零件，避免复杂的分型面形状：

- ◆ 分边产生于分模线附近，复杂的分模线会造成飞边难去除，零件成本增加
- ◆ 通过简化零件形状、避免复杂的分模线形状，可使零件的飞边易去除



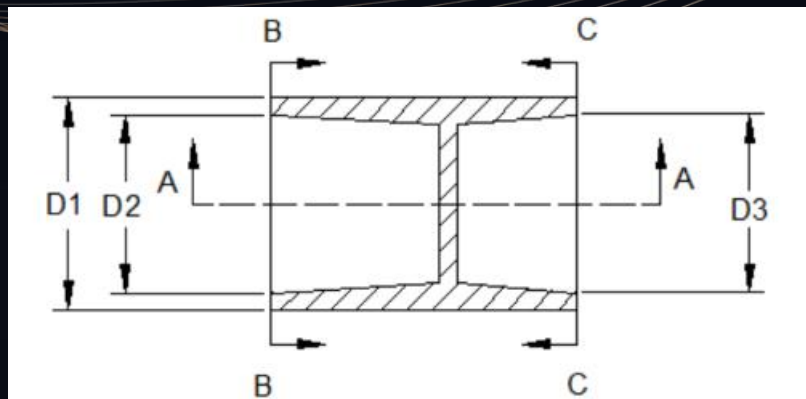
➤ 避免严格的飞边和浇口的去除要求：减少工序，降低成本

➤ 压铸件公差:

- 在满足零件使用性能的情况下, 尽量使用宽松的公差, 严格的公差会增加零件成本
- 过高的公差, 会缩短压铸模寿命
- 为维持严格的零件公差, 压铸模须经常性维护、替换
- 使用更多的压铸模零件合高频率的压铸模尺寸检验, 会增加零件成本
- 过高的公差, 压铸件不良率高

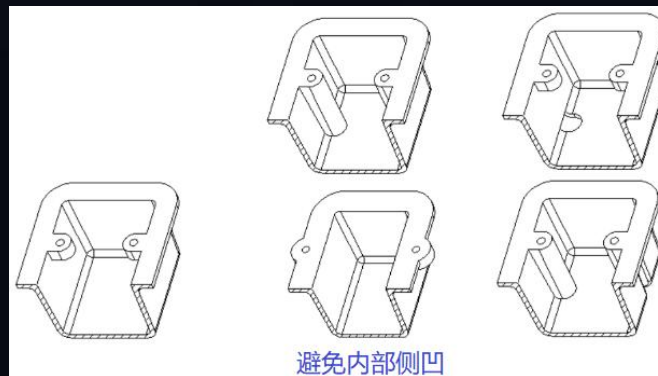
➤ 合理选择分模线, 提高重要零件尺寸的精度:

- 如D1、D2的同心度很重要, 则选择C-C为分模线
- 如D1、D3的同心度很重要, 则选择B-B为分模线
- 如需要保证D1在左端或右端直径的一直, 则选择A-A为分模线



➤ 避免零件内部凹陷:

- ◆ 内部侧凹需要通过抽芯机构或二次加工来获得, 增加模具或零件成本
- ◆ 合理的零件内部侧凹, 可以降低模具或零件成本



➤ 避免零件外部凹陷:

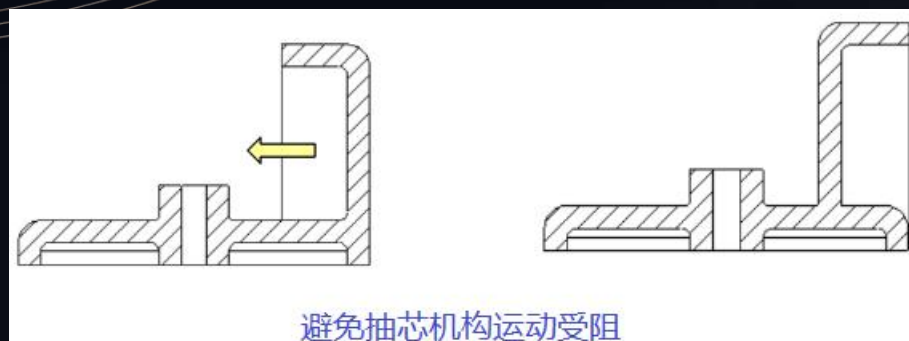
- ◆ 内部侧凹也需要通过抽芯机构或二次加工来获得, 增加模具或零件成本
- ◆ 合理的零件外部侧凹, 可以降低模具或零件成本



➤ 避免抽芯机构受阻:

- ◆ 分型面带圆角, 压铸模较复杂, 模具加工难, 圆角处模具强度低、寿命下降

➤ 避免压铸分型面带圆角:



➤ 合理选择分型面:

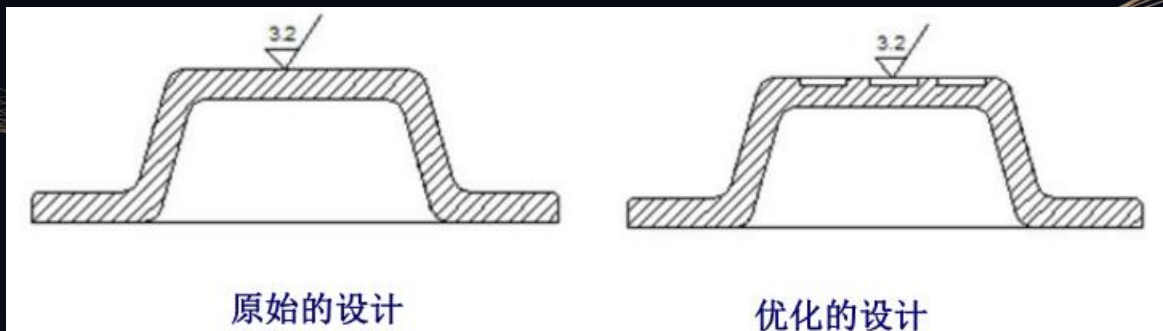


➤ **避免机械加工：**

- ◆ 压铸件能够达到较高的尺寸精度和外观表面质量，在设计时，可通过对压铸件提出宽松的尺寸和表面质量要求，从而避免机加工
- ◆ 压铸件表面坚实致密，具有较高的机械性能，机加工可能会破坏压铸件的表面致密层
- ◆ 压铸件内部有时会有气孔存在，机械加工后气孔外露，会影响零件的应用
- ◆ 机械加工会大幅增加零件成本

➤ **压铸件设计便于机械加工和减少机械加工面积：**

- ◆ 应当设计压铸件使其便于机械加工和减少机械加工面积，从而减少加工成本



➤ **机械加工余量越小越好：**

➤ 压铸件的表面是致密层，而呢不则相对比较疏松，同时存在气孔和针孔，故压铸件的机械加工余量越少越好，防止破坏致密层

表面机械加工余量

加工面最大尺寸	≤50	50~120	120~260	260~400	400~630
单面加工余量	0.3~0.5	0.4~0.7	0.6~1.0	0.8~1.4	1.2~1.8

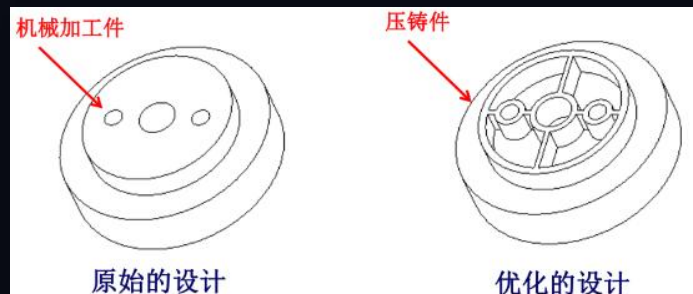
表面机械加工余量

孔径	≤6	6~10	10~18	18~30	30~50	50~80
加工余量	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

七、压铸件设计--使用压铸件简化产品结构，降低产品成本

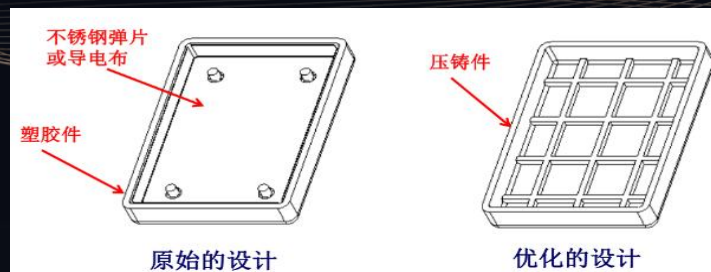
➤ 使用压铸件代替机械加工零件：

- ◆ 利用压铸工艺成本低于机加工工艺成本低特点，在满足零件强度及尺寸精度等前提下，使用压铸件代替机械加工零件，可大幅降低零件成本



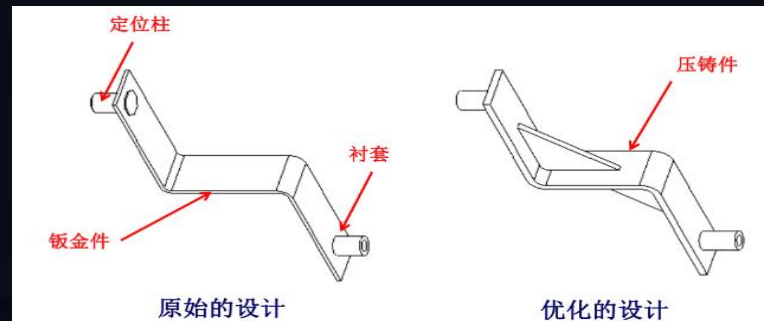
➤ 使用压铸件减少零件数量，简化产品结构：

- ◆ 利用压铸件的防电磁辐射性能



➤ 使用压铸件代替钣金件：

- ◆ 利用压铸件的复杂结构性

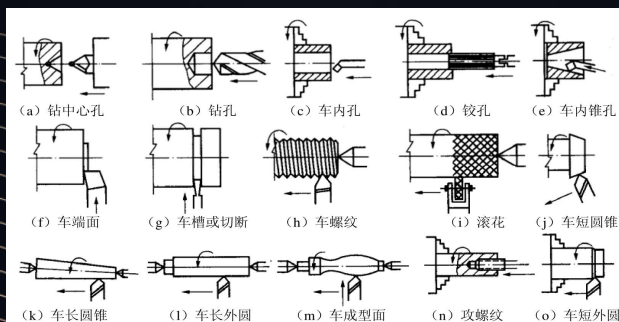


第五部分 机械加工件的设计

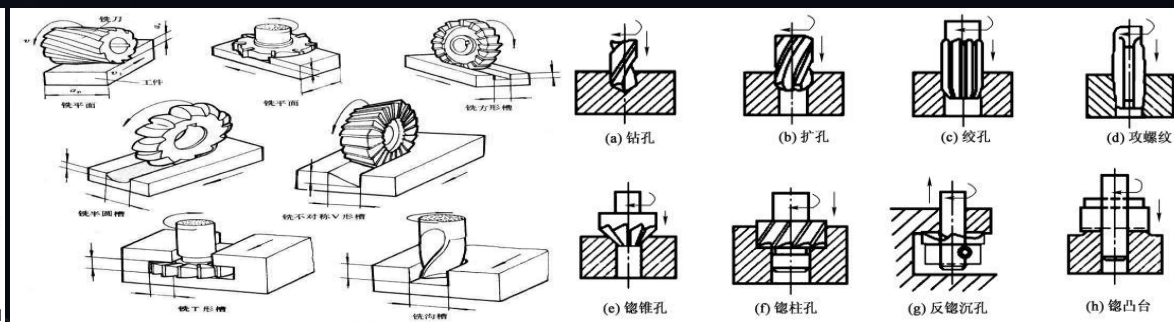
- 通用机械加工件的设计
- 车削件的设计
- 钻削件的设计
- 铣削件的设计
- 机械加工DFMA核查表

七、通用机械加工件的设计--机械加工的概念及优缺点

- **广义上：机械加工是指一种用加工机械对工件的外形尺寸或性能进行改变的过程。**锻造、冲压、焊接等所有制造方法都可以属于机械加工。
- **狭义上：是指采用不同的机床(如车床、铣床、刨床、磨床、钻床等)对工件进行切削加工。**切削加工利用刀具和工件的相对运动，从毛坯或型材上切除多余的材料，以便获得精度和表面粗糙度均符合要求的零件。

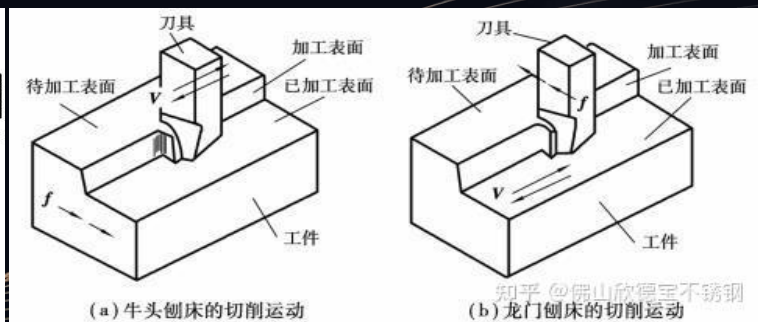


车削



铣削

钻削



刨削

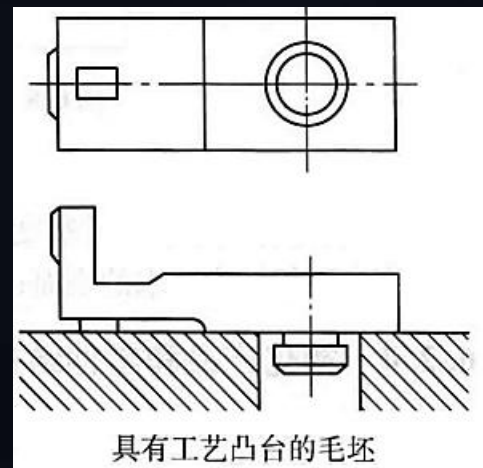
➤ 机械加工的优缺点：

优点	缺点
<ul style="list-style-type: none"> ①加工精度高：在不考虑成本的情况下，机械加工可以达到的精度远高于注射加工等其他加工方式。 ②表面质量高。 ③不需要额外的模具。 ④小批量生产时，具有成本优势。 ⑤可加工重量大的金属件。 	<ul style="list-style-type: none"> ①机械加工需要熟练的技术人员，同时加工时间长、效率低，因此机械加工成本高。 ②机械加工是材料切除的加工，材料浪费严重。 ③有可能影响工件表面和整体的完整性。 ④生产效率低，不适合大批量生产。 ⑤适合加工具有简单形状的零件，不能加工复杂形状的零件。因此，由机械加工件组成的产品有可能零部件众多，装配复杂，产品成本高。 ⑥加工过程会产生振动、噪声和切削废料。 ⑦加工刀具存在磨损。

- **尽量避免使用机械加工**：成本高、加工效率低、不能加工复杂形状零件，用其他加工方式来替代机械加工，如：注射加工、冲压加工、压铸加工等；
- **毛坯的选择**：铸件、锻件、型材、焊接件
 - ◆ **功能性**：保证使用功能要求
 - ◆ **毛坯形状和尺寸应尽量接近零件的形状和尺寸**：精化毛坯，形状和尺寸与零件接近，减少切削加工，降低材料和加工成本
 - ◆ **尽量采用标准型材**：性能好，可减少切削加工工时、节省材料
 - ◆ **考虑批量和生产周期**：单件小批量--常用材料、通用设备和工具、低精度、低产率毛坯生产发；大批量--专用设备和工具、高产量生产法，如精密铸件、精密模锻件
 - ◆ **考虑将多个零件的毛坯合并成一个整体毛坯**：确保加工质量、便于装夹、提高机械加工效率
 - ◆ **毛坯形状需要考虑到工件在机械加工时装夹稳定**：铸出工艺凸台，以保证在机械加工时装夹稳定，工艺凸台在零件加工完成后再切除。



车床开合螺母，毛坯加工到一定程度后再分割



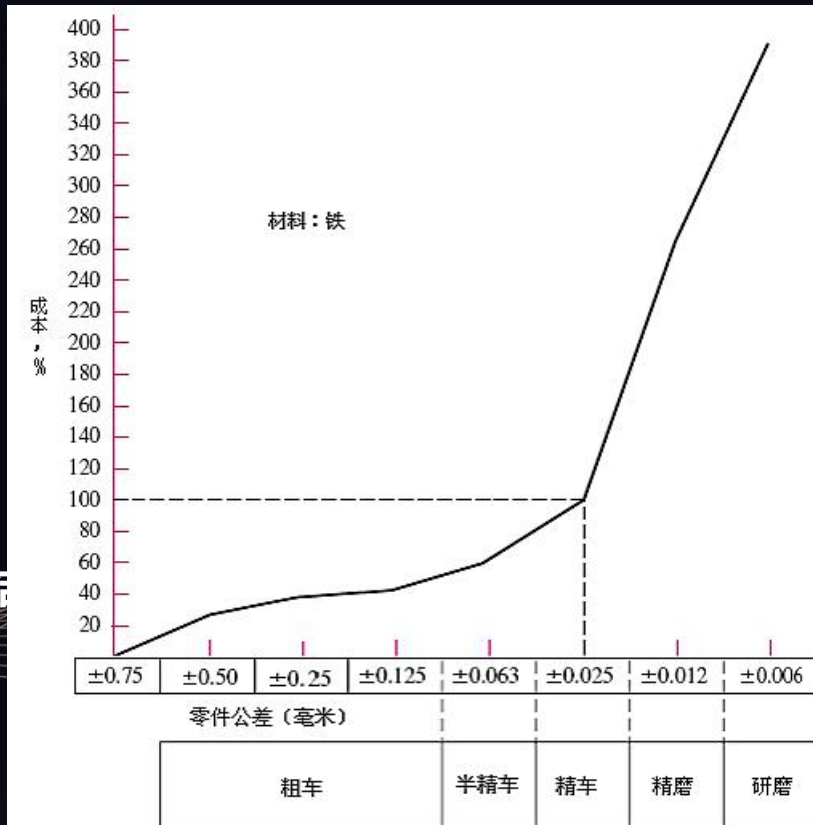
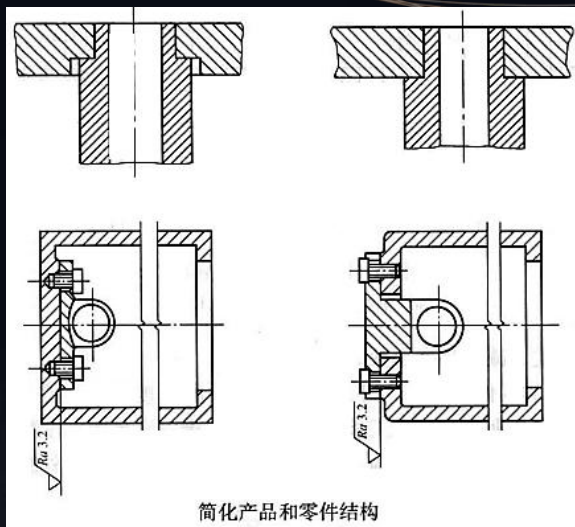
具有工艺凸台的毛坯

➤ **宽松的零件公差：**随着零件的精度要求的增加，则需要更精密的加工工序，同时伴随着加工效率的降低，因此加工成本大幅上升。

1) **从产品整体结构入手：**通过设计合理间隙、简化产品装配关系、使用定位特征、使用点或线与平面配合代替平面与平面配合等方法，来避免零件严格的尺寸公差要求。

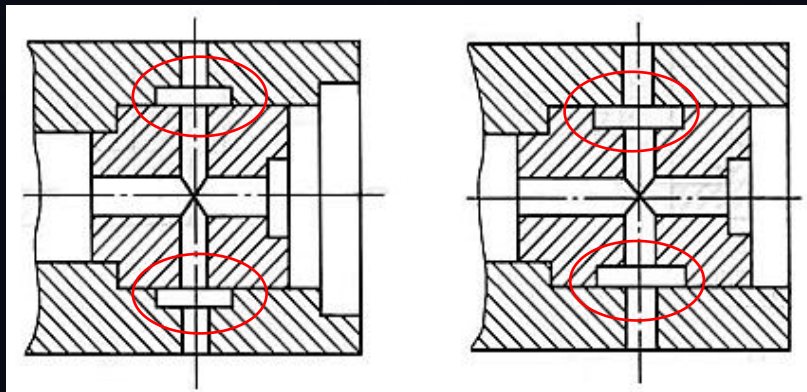
2) **从零件入手：**尺寸精度要求和表面质量要求不高的表面，不应设计为高精度和高表面粗糙度要求的表面；另外，不需要加工的表面，不要设计成加工面。

➤ **简化产品和零件结构：**从产品整体和全局的角度，综合考虑各个零件机械加工的可行性、加工效率和加工成本等，通过对产品进行合理的拆分和组合，简化产品和零件结构，使得产品整体易于机械加工、加工质量高、加工成本低。



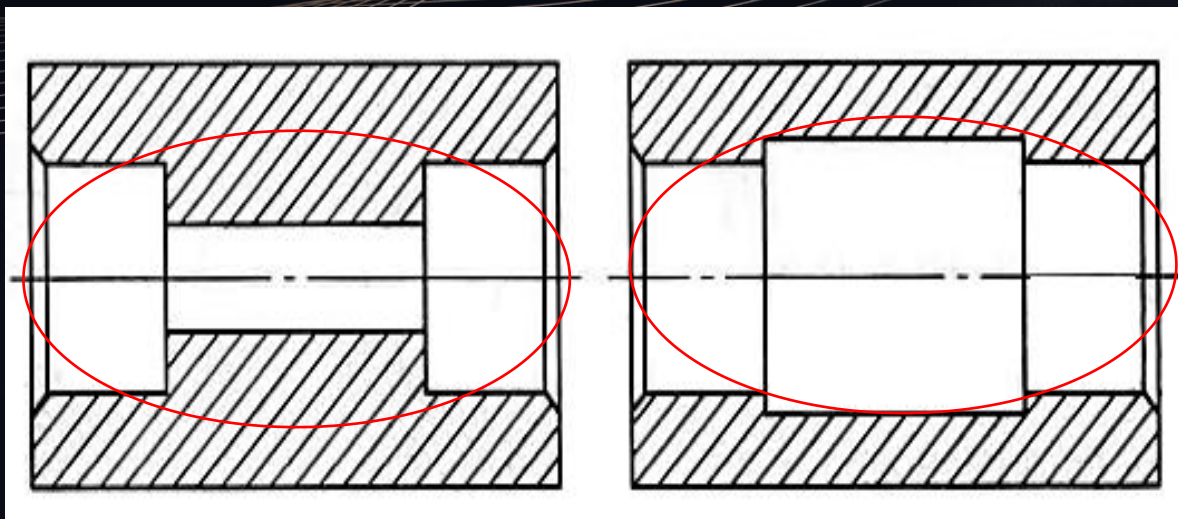
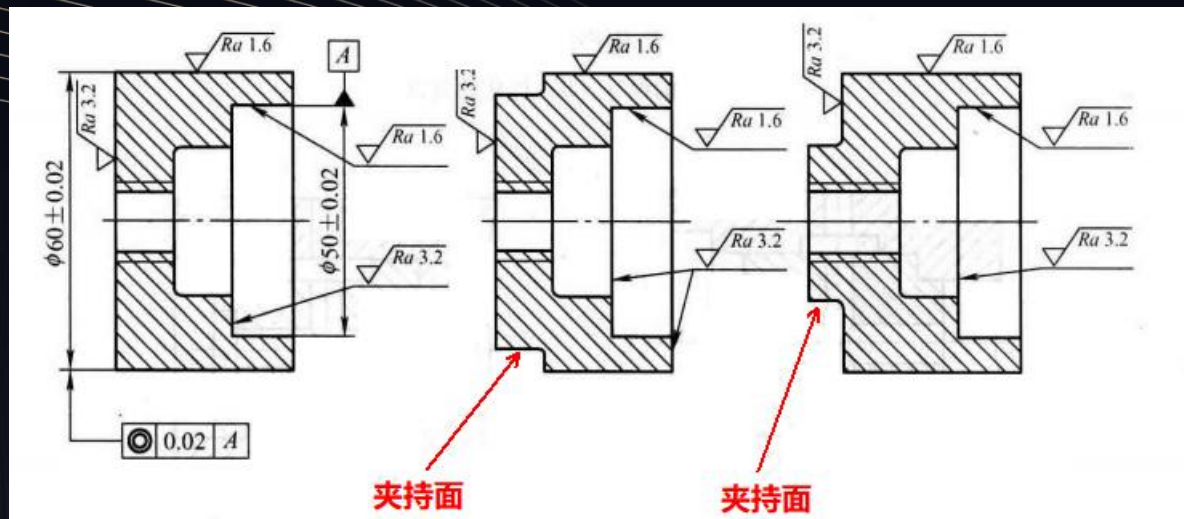
机械加工件公差和成本的关系

➤ 降低加工难度：合理设计，降低加工难度



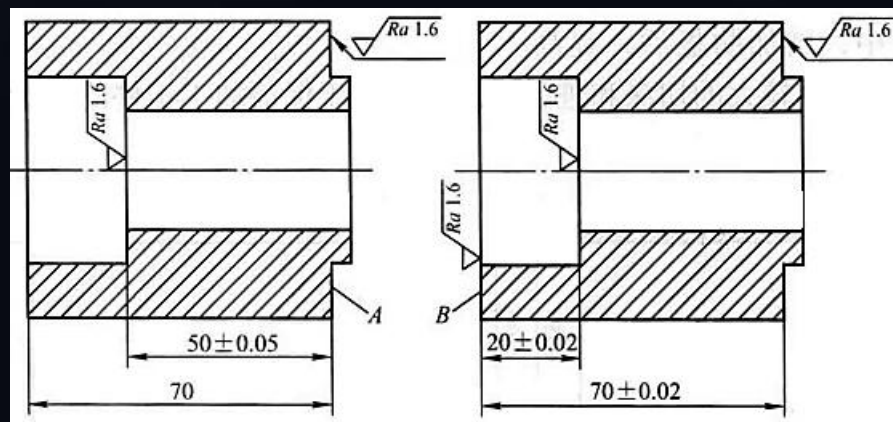
内表面加工比外表面加工难度大

➤ 保证位置精度：有相互位置精度要求的表面，最好能在一次装夹中加工，减少装夹次数，保证加工表面间的位置精度



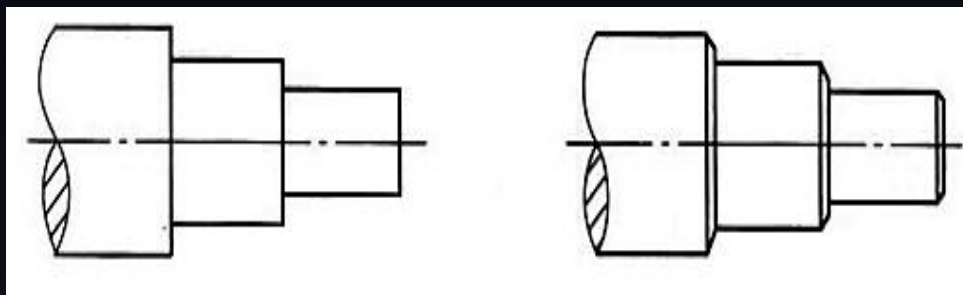
两次装夹调整为一次装夹，确保同轴度

➤ 尺寸标注便于测量：合理选择标注基准

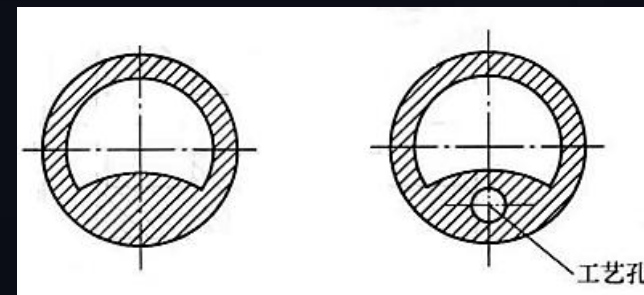


以B面为基准优于以A面做基准

➤ 保证零件热处理后的质量：零件锋利的边和尖角，在淬火时容易产生应力集中，造成开裂。因此在淬火前重型阶梯轴的轴肩根部应设计成圆角，轴端及轴肩上要有倒角；

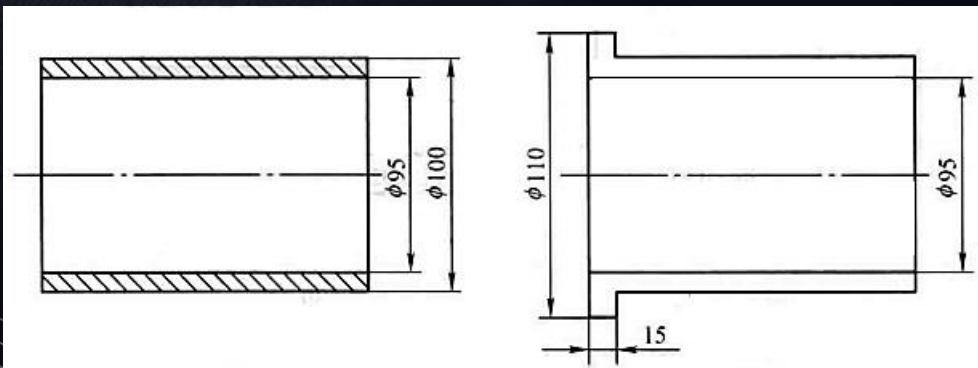


增加倒角，减小热处理应力

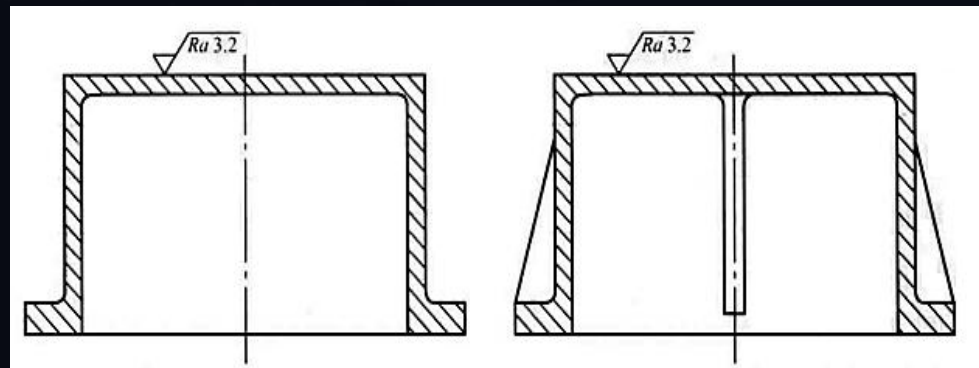


均匀壁厚，减轻热处理变形

➤ **零件结构要有足够的刚度：** 零件结构要有足够的刚度，以减小其在夹紧力或切削力作用下的变形，保证加工精度和加工质量；

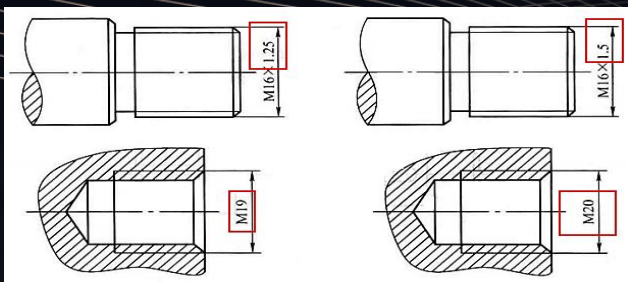


增加凸台提高刚度

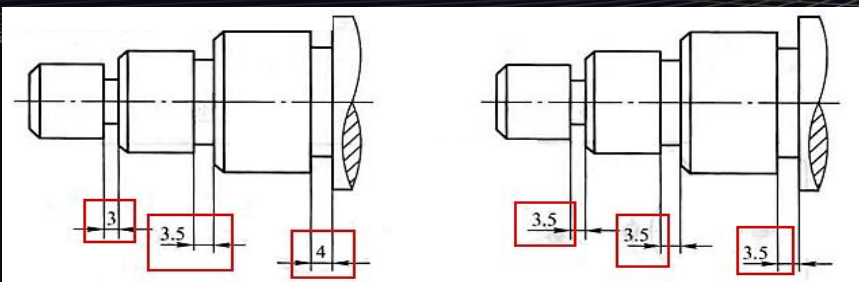


增加肋条提高刚度

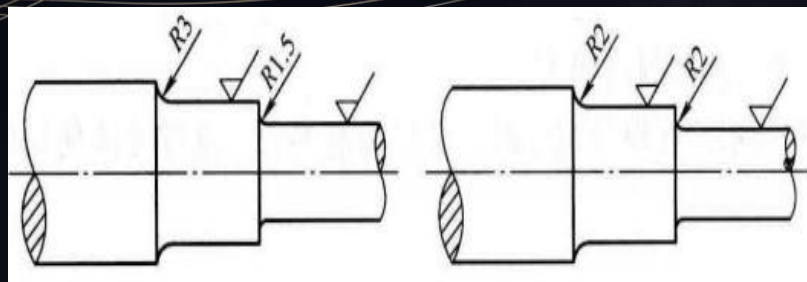
➤ **采用标准化参数：** 采用标准化参数，同类参数尽量一致。零件的孔径、锥度、螺纹孔径和螺距、齿轮模数和压力角、圆弧半径、沟槽等参数尽量选用相关标准推荐的数值，这样可使用标准的刀、夹、量具，减少专用工装的设计、制造周期和制造费用。



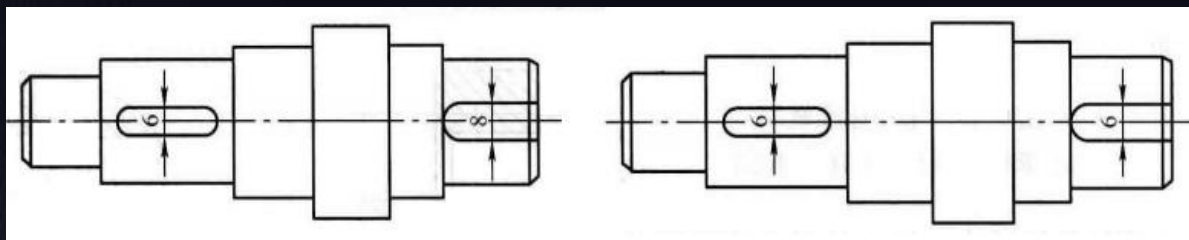
改用标准螺纹



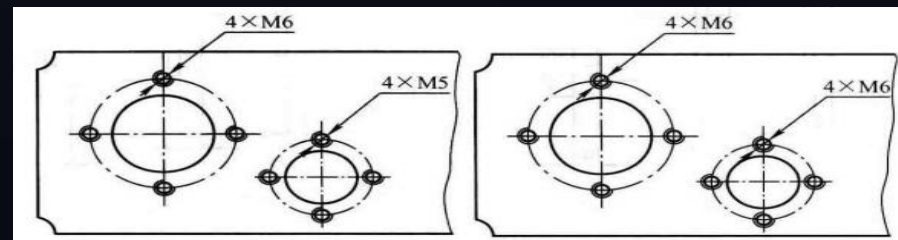
退刀槽宽度一致



圆角一致

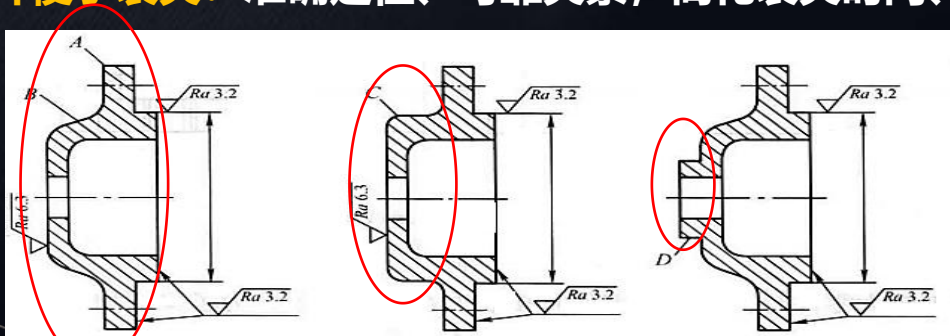


键槽一致

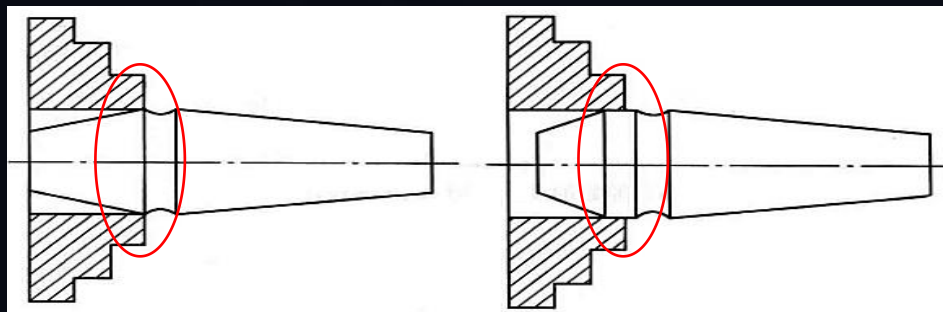


螺纹孔一致

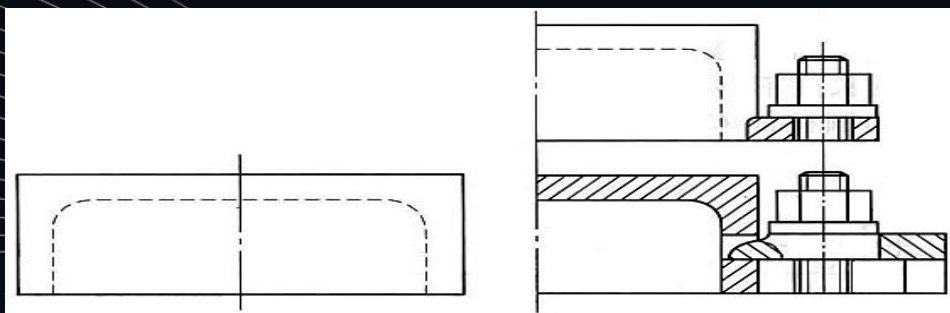
零件便于装夹：准确定位、可靠夹紧，简化装夹时间、提高加工效率、确保加工质量



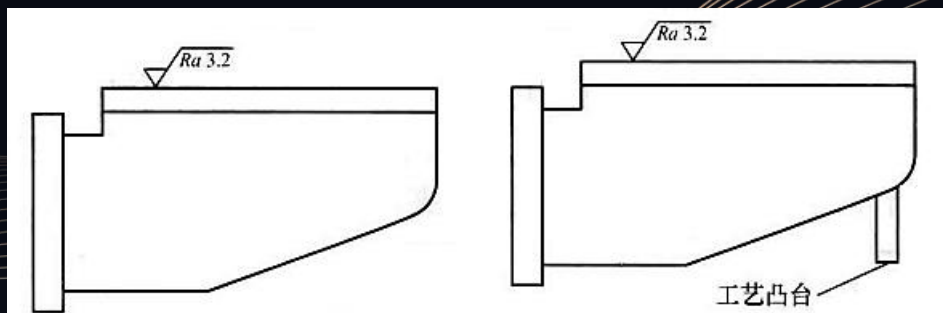
A面加装过大，B面加装不可靠，C、D面加装方便稳固



点/线接触优化为面接触

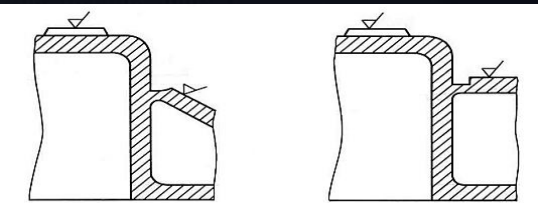


增加夹紧工艺凸缘/孔

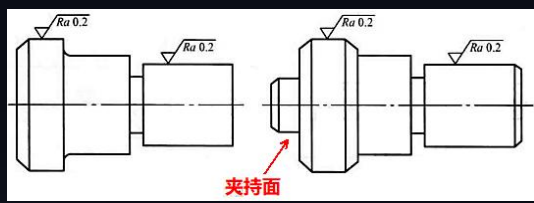


增加凸台，准确装夹

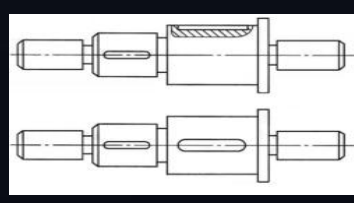
减少装夹次数：降低装夹误差，减少辅助工时，提高切削效率，保证精度



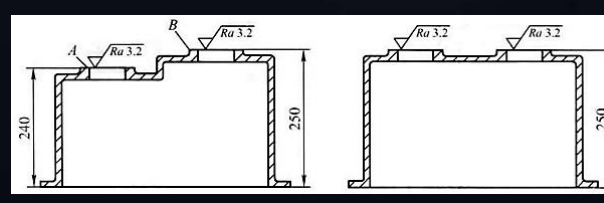
倾斜面改为水平面，减少装夹次数



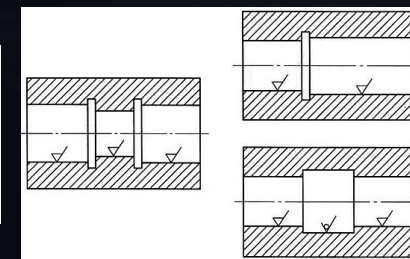
一次装夹切削多个面



键槽同一方向

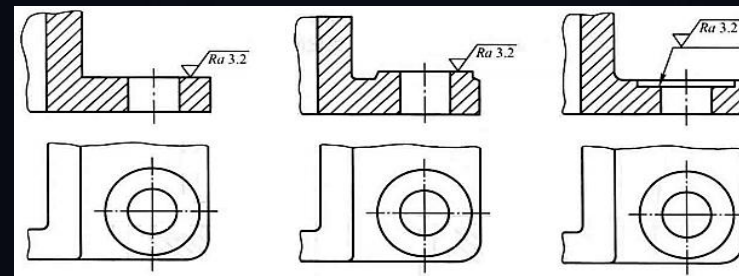
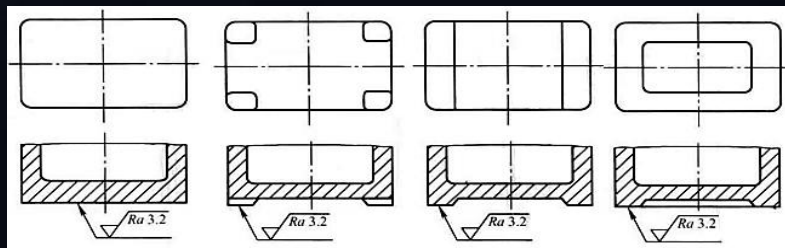
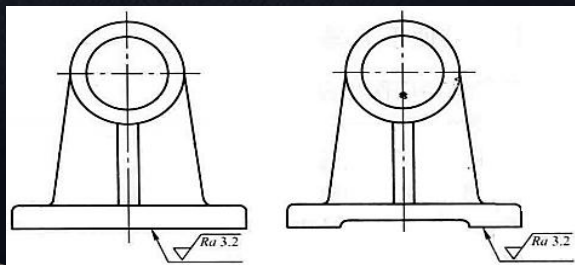


加工面高度一致，一次加工

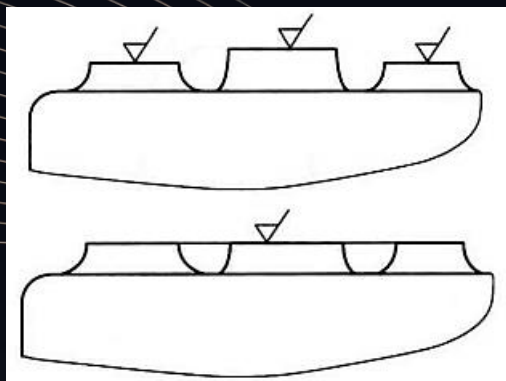


一次加工两个内表面

- **减小机械加工面积：**减少加工工时，降低机械加工成本。

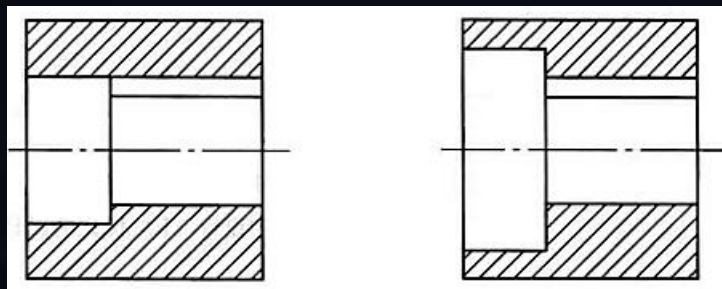


- **减少走刀次数：**

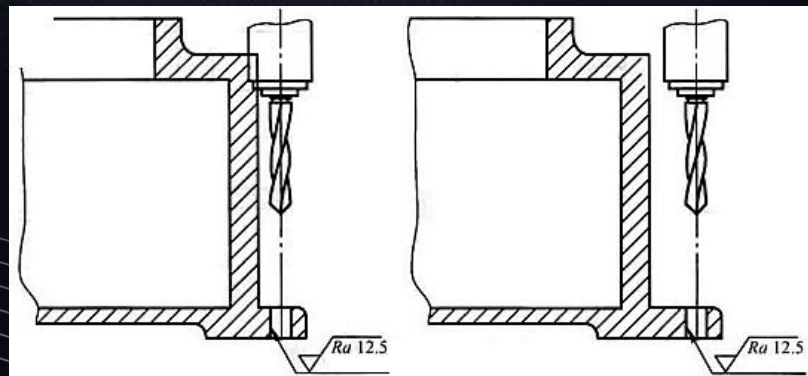


等高平台

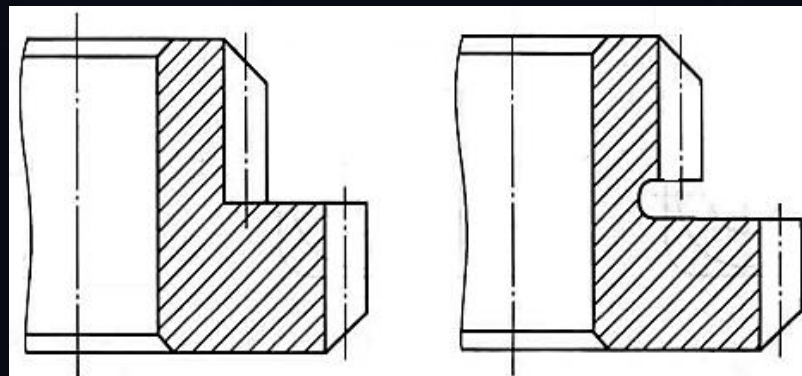
- **不同要求的表面明显分开：**用以改善刀具的工作条件。如下：沟槽底面不与其他加工面重合，便于加工，避免损伤其他面



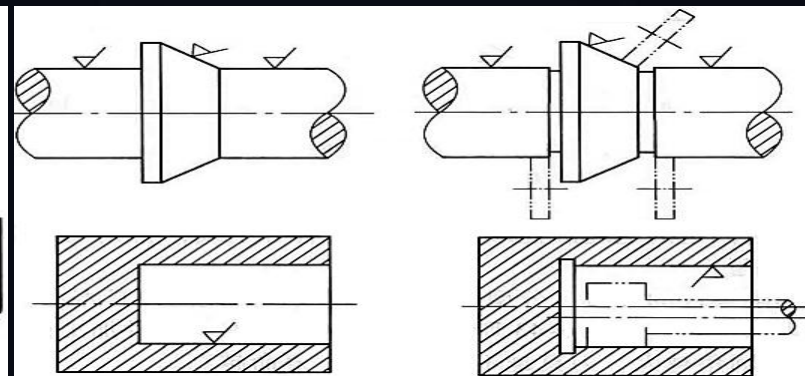
➤ **零件结构应便于刀具工作：** 加工部位的结构应便于刀具正确地切入及退出。



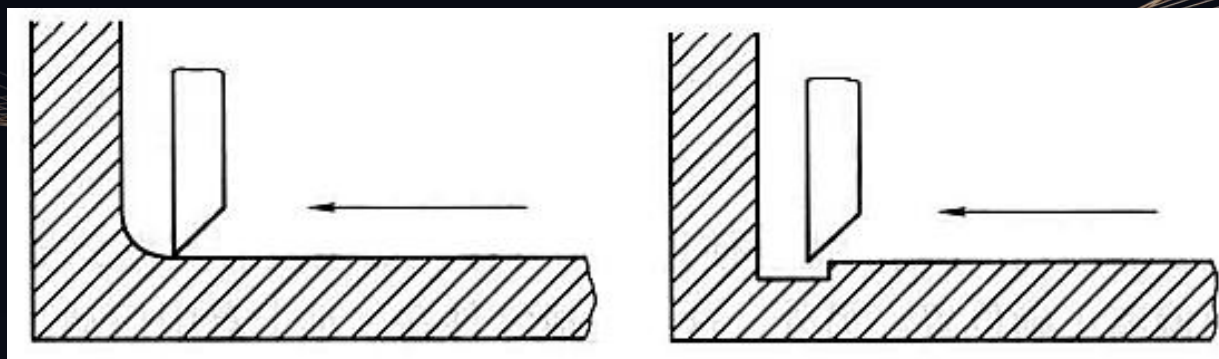
为刀具留出足够空间



插齿退刀槽



磨削越程刀

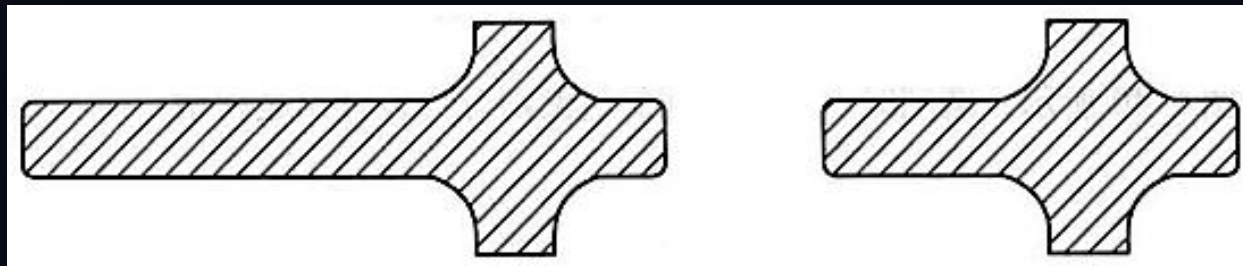


刨削退让刀

➤ 车削件设计准则:

➤ 车削怕细长, 应避免细长件(长径比 ≤ 8)

- ◆ 细长型的零件在车削时需要使用尾架支撑。如果没有支撑, 零件可能会变弯, 在夹具中偏离正确位置。另外, 这会造成零件在三爪卡盘中松动, 造成伤害或事故。车削件应当避免细长形的设计, 车削件应当短而粗, 零件长度与最小直径比应不大于8



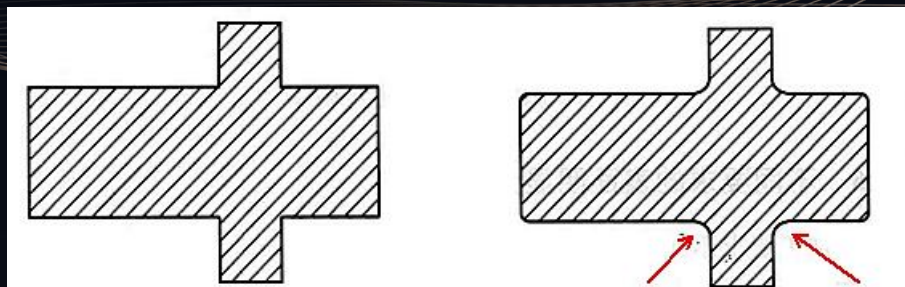
避免细长设计

➤ 使用卡盘固定的毛坯圆柱形表面应当没有分型线, 否则飞边会带来夹紧不稳和加工精度问题

➤ 避免车削零件的焊接、分型线和飞边区域, 以提高刀具寿命

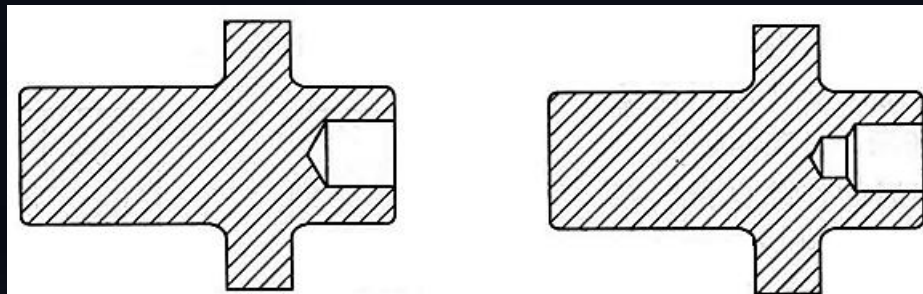
➤ 避免车削加工处尖角:

- ◆ 圆角越大越好, 零件加工处的圆角应与刀具的圆角一致, 圆角越大, 刀具越不容易折断, 寿命越高



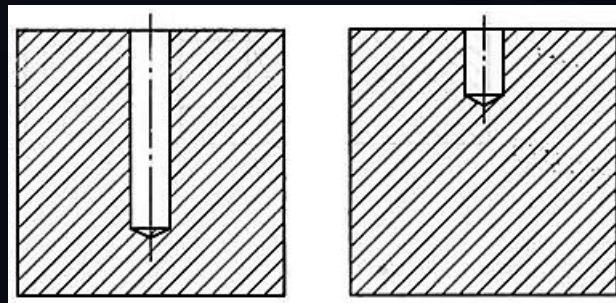
➤ 盲孔底部增加预制钻孔:

- ◆ 如果孔很大的情况下, 就需要使用小的钻头钻个孔做个引导, 也是为了减小大钻头的阻力;
- ◆ 若是精度要求严, 也需要先用钻头钻个小孔, 然后再铣刀进去干;
- ◆ 预制钻孔会简化后续工序, 例如镗孔、铰孔和研磨, 降低成本。

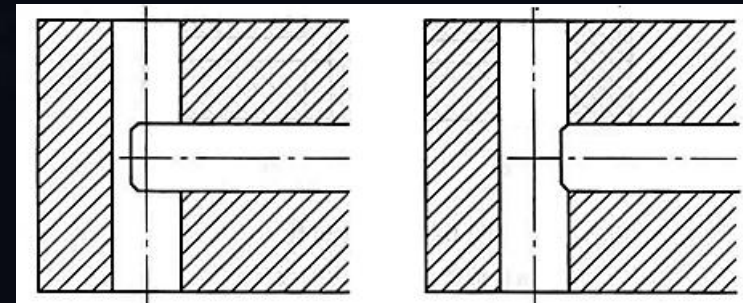


➤ 钻削件设计准则：

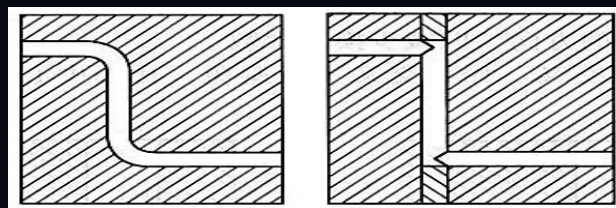
- 转削成本太高，可以考虑一级工艺直接成形
- 对于大孔，可预铸孔
- 钻削孔应当是标准孔
- 减少零件中各种孔的种类
- 通孔比不通孔好
- 孔的直径应大于3mm
- 小而深的孔应当避免：长径比 ≤ 3 ，或使用阶梯孔
- 减少零件中孔的方向
- 避免孔与型腔交叉
- 零件图标注时，平面上的多个孔应该有共同的基准
- 零件边缘钻孔，确保零件75%的孔在零件边缘内
- 避免弯曲的孔：
 - 弯曲的孔无法加工。**
- 孔的轴线应与进口和出口的端面垂直：
 - 孔的轴线不垂直于孔的进口或出口的端面时，钻头容易产生偏斜或弯曲，甚至折断，应尽量避免在曲面或斜壁上钻孔，提高生产率，保证精度。**



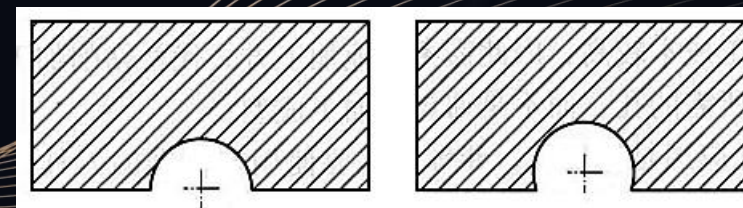
避免小而深的孔



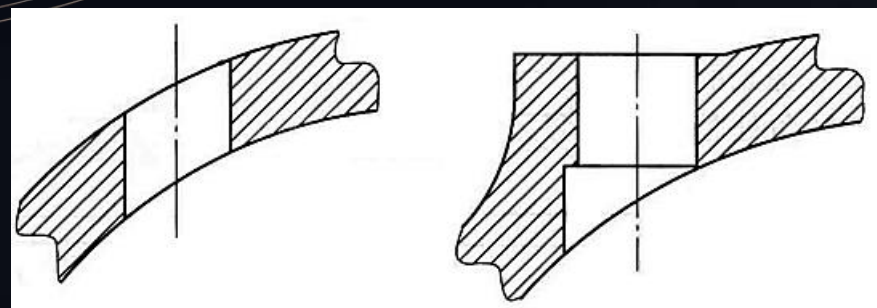
避免孔与型腔交叉



避免弯曲的孔



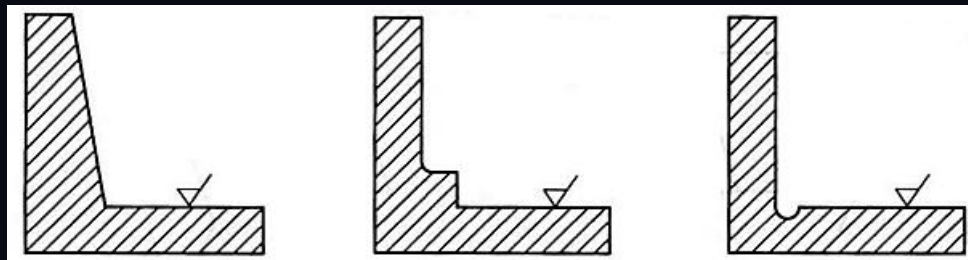
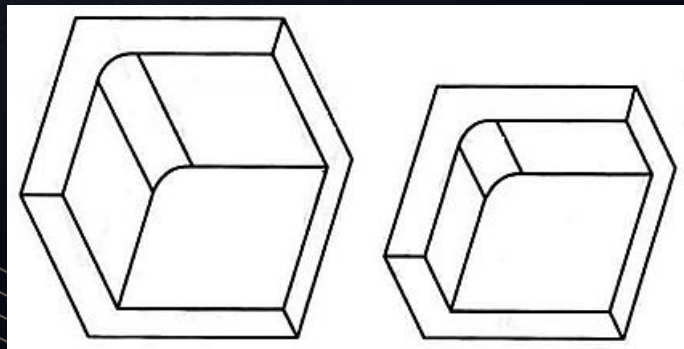
确保零件75%的孔在零件边缘内



孔的轴线应与断面垂直

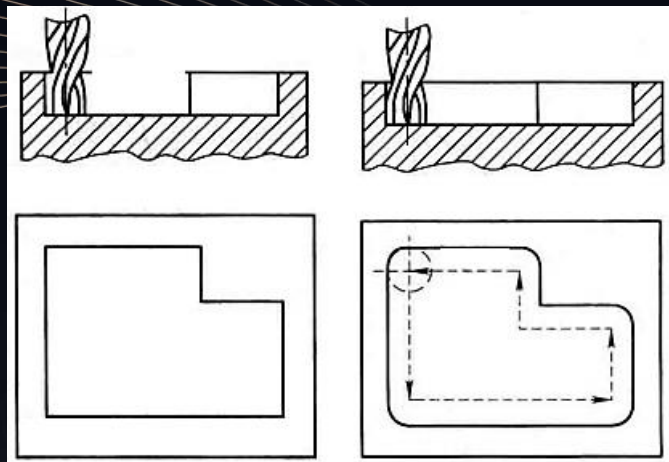
➤ 铣削件设计准则:

- 铣削的加工区域不宜过深，深宽比不应过3:1，否则铣刀较长容易折断



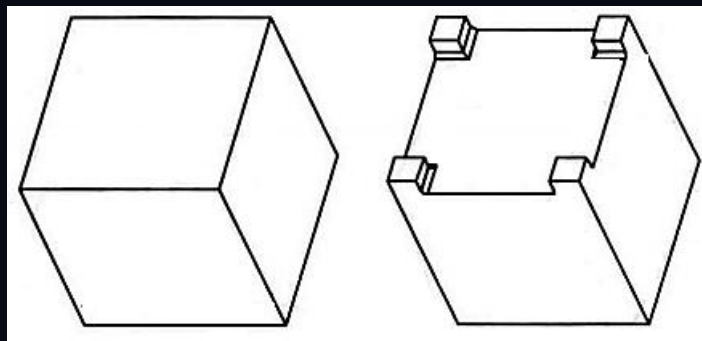
优化设计结构，提高铣刀寿命

- 铣削沉凹结构的转角应留有最小的转角半径：应与标准铣刀直径一致



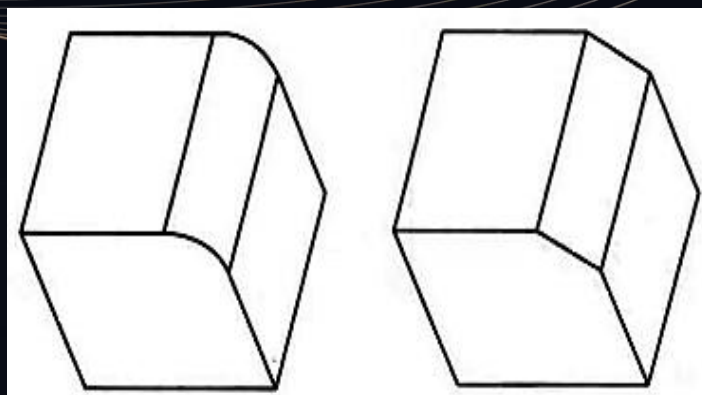
➤ 铣削件设计准则：

- 减少铣削加工面积：当零件整个平面的平面度要求较高时，可使用凸台的设计。



使用凸台代替整面加工

- 铣削加工零件外部用斜角而不是倒角：零件的外部棱角，在铣削加工时，应当采用斜角而不是圆角的方式。圆角需要使用铲齿铣刀，装夹较麻烦，加工成本高。



七、机械加工件的设计--机械加工DFMA核查表

➤ 机械加工DFMA表格:

机械加工件设计指南1		
机械加工件设计指南		机加工件
1. 尽量避免使用机械加工	尽量避免使用机械加工	0
2. 毛坯的选择	1. 功能性原则	1
	2. 毛坯形状和尺寸应尽量接近零件的形状和尺寸	2
	3. 尽量采用标准型材	3
	4. 考虑到批量和生产周期	4
	5. 考虑将多个零件的毛坯合并成一个整体毛坯	
	6. 毛坯形状需要考虑到工件在机械加工时装夹稳定	
3. 宽松的零件公差要求	从产品整体结构入手 从零件入手	
4. 简化产品和零件结构	简化产品和零件结构	
5. 降低加工难度	如可能, 将内表面加工改为外表面加工	
6. 保证位置精度	有相互位置精度的表面, 最好能在一次装夹中加工	
7. 尺寸标注便于测量	如基准面的选择	
8. 保证零件热处理后的质量	零件加倒角 保证零件壁厚均匀; 增加工艺孔	
9. 零件结构要有足够的刚度	如回转件增加凸缘 增加肋条, 提高刚度 其他	
10. 采用标准化参数	尽量采用标准化参数 同类参数尽量一致	
11. 零件应便于装夹		
12. 减少装夹次数		
13. 减少机械加工面积		
14. 减少走刀次数		
15. 零件结构应便于刀具工作		
16. 不同要求的表面明显分开		

17. 车削件的设计指南	1. 车削怕细长, 应避免细长件(长径比 ≤ 8) 2. 使用卡盘固定的毛坯圆柱形表面应当没有分型线 3. 避免车削件的焊接、分型线和飞边区域, 以提高刀具寿命 4. 避免车削加工处尖角 5. 盲孔底部增加预制钻孔	
18. 钻削件设计指南	1. 转削成本太高, 可以考虑一级工艺直接成形 2. 对于大孔, 可预铸孔 3. 钻削孔应当是标准孔 4. 减少零件中各种孔的种类 5. 通孔比不通孔好 6. 孔的直径应大于3mm 7. 小而深的孔应当避免: 长径比 ≤ 3 , 或使用阶梯孔 8. 减少零件中孔的方向 9. 避免孔与型腔交叉 10. 零件图标注时, 平面上的多个孔应该有共同的基准 11. 零件边缘钻孔, 确保零件75%的孔在零件边缘内? 12. 避免弯曲的孔 13. 孔的轴线应与进口和出口的端面垂直	
19. 铣削件设计指南	1. 铣削的加工区域不宜过深, 深宽比不应过3:1 2. 铣削沉凹结构的转角应留有最小的转角半径 3. 当零件整个平面的平面度要求较高时, 需使用凸台设计 4. 铣削加工零件外部用斜角而不是倒角	
20. 其它		
总分		10

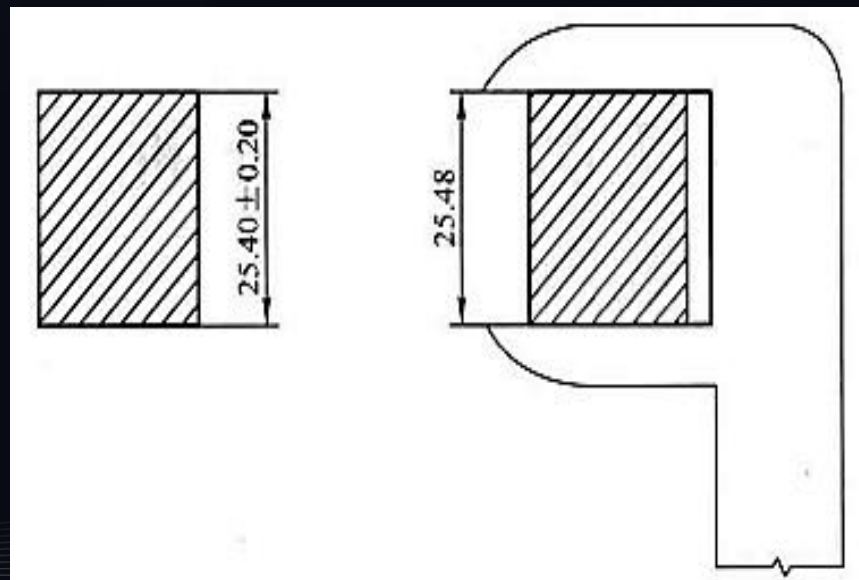
机械加工件设计指南2	
机加工件	
机加工设计指南	
1. 标准化	1. 尽量使用标准零件 2. 如果合适的话, 尽量采用的铸造、锻造和焊接等工艺对工件进行预成形 3. 尽可能使用标准预成型工件 4. 只要有可能就利用标准的加工特征 5. 选用能使零件成本(包括生产成本和原材料成本)最低的原材料 6. 选用以标准形式供应的原材料
2. 零件设计	1. 尽可能使用一台机床加工即可 2. 尽可能使零件固定在加持装置中时, 同时不需要加工未暴露的工件表面 3. 避免采用公司不具处理条件的加工特征 4. 保证工件固定在加持装置中时能有足够的强度经受加工力的作用 5. 注意检查特征在加工时, 刀具、刀架、工件及工件加持装置相互不会发生干涉 6. 保证辅助孔或者主孔是圆柱形, 并且具有适当的L/D比, 这样可以用标准的钻头或镗刀对他们进行加工 7. 保证辅助孔与工件的参考面平行或者垂直, 并且各钻孔分布具有一种模式 8. 保证盲孔以锥面结束, 在需要对盲孔进行公私时, 螺纹离底孔有一定距离 9. 避免弯孔或者之形孔

3. 回转零件	1. 尽量保证各圆柱面同心, 各平面与零件轴垂直 2. 尽量保证外部特征的直径从工件外露面依次增加 3. 尽量保证内部特征的直径从工件外露面依次减少 4. 规定零件上的内角半径和标准刀具的圆角半径相等 5. 避免长零件中增加内部特征 6. 避免零件L/D过大或过小
4. 非回转零件	1. 提供基础面用于工件加持或参考面 2. 如有可能, 保证零件表面是由一系列相互垂直的平面组成 3. 保证零件上与基础面垂直的内角半径与标准刀具半径相等。保证在加工凹坑时, 与基础面垂直的内角半径尽可能大。 4. 如果可能的话, 把平面加工(开槽、开沟等)限定在一个平面上 5. 避免长零件中增加深孔 6. 避免长零件中增加表面, 采用所需截面形状预成型的工作材料 7. 避免太长或太薄的零件 8. 避免扁平或者方块的零件中, 主孔与基础面垂直, 它的圆柱面直径从工件外露面开始依次减少 9. 避免大型方块中增加盲孔 10. 避免在方块箱状的零件中增加内部的加工特征
5. 精度和表面粗糙度	1. 满足要求前提下, 选取最宽松的公差和表面粗糙度 2. 保证要进行精密磨削的表面是凸起的, 且不相互形成内角(如槽与地面)
6. 装配	1. 确保装配的可能 2. 确保相互装配的零件有对应的机加工表面 3. 确保每一个内角不与之配合的零件上的与相应的外圆倒角干涉
其它	
总分	
设计更改建议	

第六部分 公差分析

- 公差的定义及产生
- 公差的本质
- 公差和成本
- 公差分析的常见错误方法
- 公差分析的步骤
- 极值法与均方根法的差异
- 公差设计的三大原则

- **公差的定义：**公差就是零件尺寸所允许的偏差值，设定零件的公差即设定零件制造时尺寸允许的偏差范围。



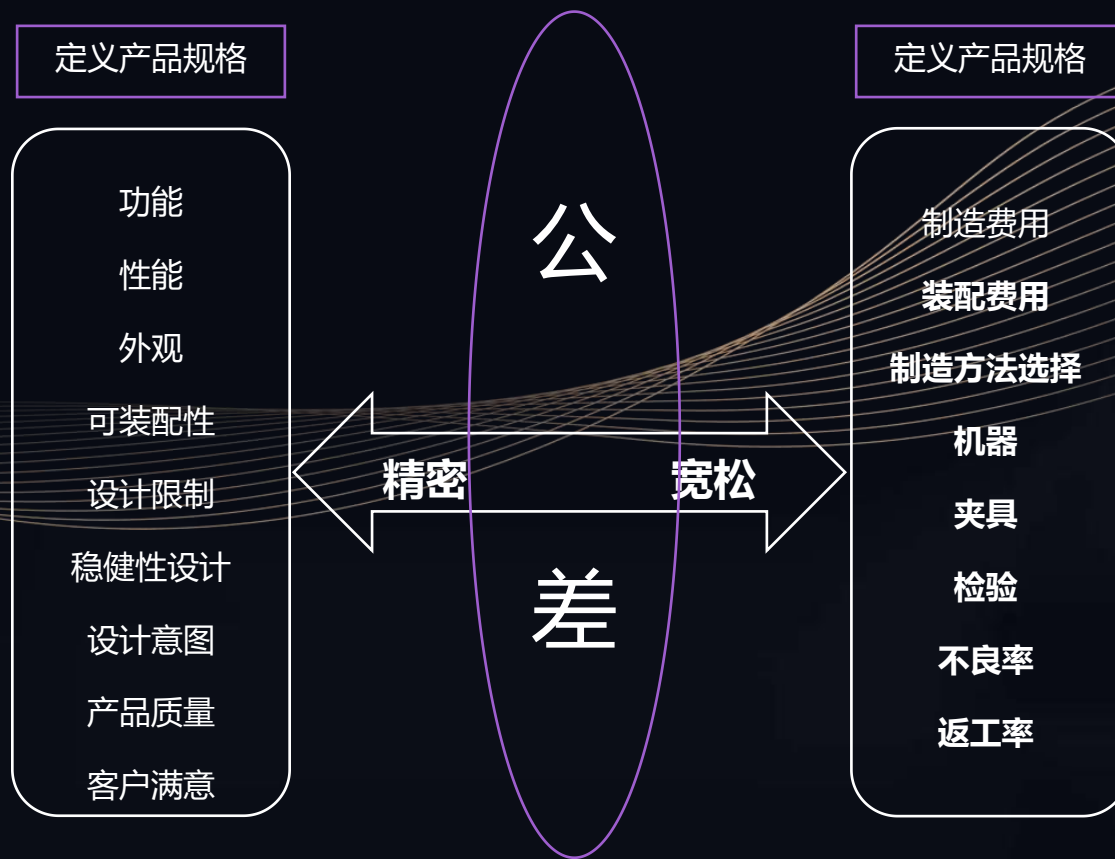
设计值与实测值

- **公差的生产：**

公差是如何产生的	
加工制程的差异： 设备/模具本身存在精度 不同批次的材料特性不同 加工条件的不同 操作员的熟练程度 模具的磨损	装配制程的差异： 装备设备本身存在精度 工具、夹具的制造精度

- **公差的本質：**公差是产品设计工程师和制造工程师沟通的桥梁和纽带，是保证产品以优异的质量、优良的性能和较低的成本进行制造的关键。

- 在产品设计中，应当合理选择和设定零件和产品的公差；
- 公差的设计既要满足产品的功能和质量要求，又要满足产品制造成本的要求。

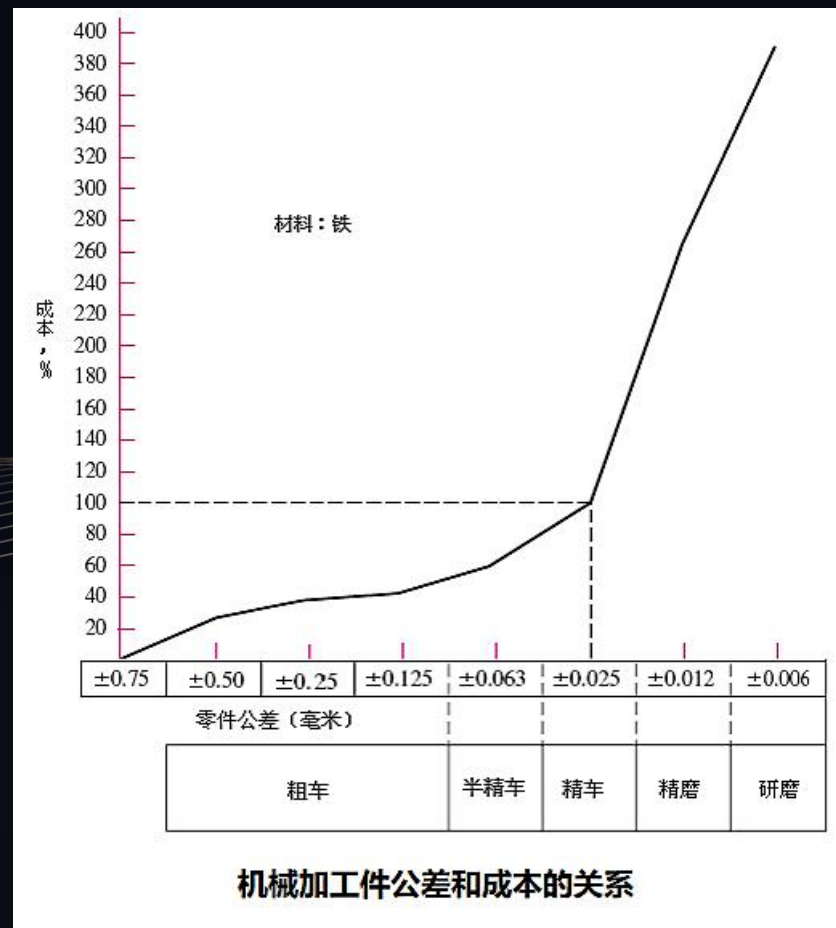


公差是机械设计和制造之间的博弈和纽带

➤ **公差与成本：**零件公差越严格，零件制造成本就越高；但并不是公差越严格，产品的质量越高。

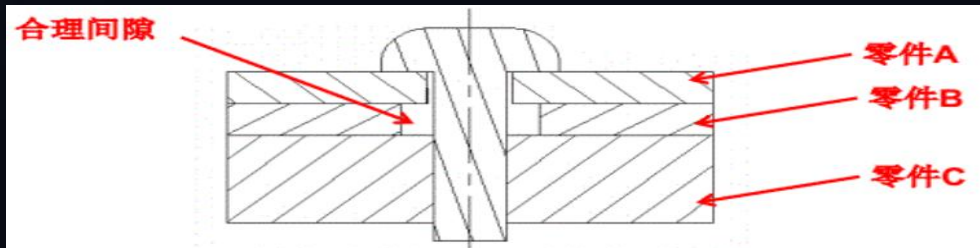
➤ 严格的零件公差要求意味着：

- ◆ ①更高的模具费用；
- ◆ ②更精密的设备和仪器；
- ◆ ③额外的加工程序；
- ◆ ④更长的生产周期；
- ◆ ⑤更高的不良率和返工率；
- ◆ ⑥要求更熟练的操作员和对操作员更多的培训；
- ◆ ⑦更高的原材料质量要求及其产生的费用。



➤ 设计合理的间隙：

- ◆ 防止零件过约束，避免对零件尺寸的不必要的公差要求，不合理的零件间隙设计会带来对零件不合理的公差要求



➤ 简化产品装配关系，缩短装配尺寸链：

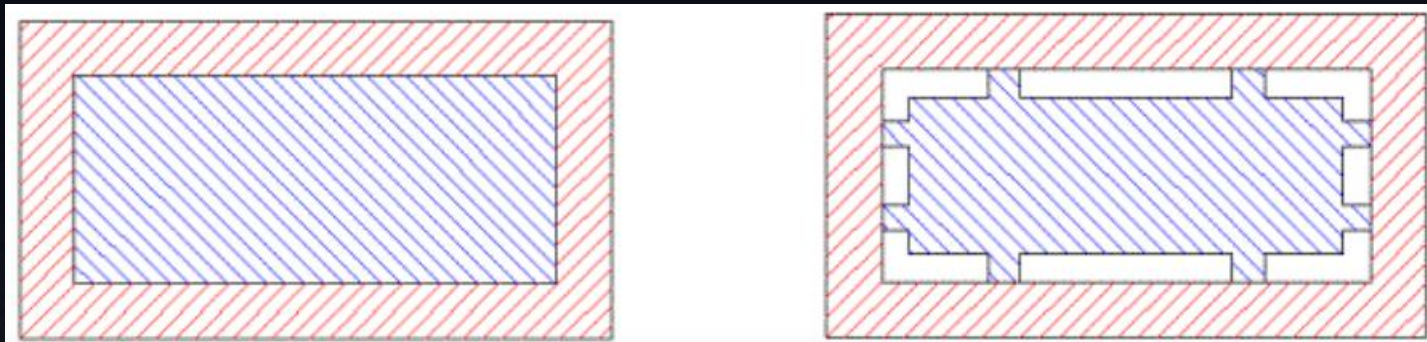
- ◆ 对于重要的装配尺寸，在产品最初设计阶段就要重点加以关注，简化产品的装配关系，避免重要装配尺寸涉及更多的零件，从而减少尺寸链中尺寸的数目，达到减少累积公差的目的，产品设计于是能够允许零件宽松的公差要求

➤ 使用定位特征：

- ◆ 在零件的装配关系中增加可以定位的特征，例如定位柱等，定位特征能够使得零件准确的装配在产品之中，产品设计只需要对定位特征相关的尺寸公差进行制程管控，对其他尺寸就可以允许宽松的公差要求

➤ 使用点或线或小平面与平面配合代替平面与平面配合：

- ◆ 使用点或线与平面配合的方式代替平面与平面的配合方式，避免平面的变形或者平面较高的粗糙度阻碍零件的顺利运动，从而可以对零件的平面度和粗糙度允许宽松的公差



- **公差分析：**是指在满足产品功能、性能、外观和可装配性等要求的前提下，合理定义和分配零件和产品的公差，优化产品设计，以最小的成本和最高的质量制造产品。
- **公差分析的目的：**
 - ◆ 合理设定零件和产品的公差，以降低产品制造和装配成本。
 - ◆ 判断零件的可装配性，判断零件是否会在装配过程中发生干涉。
 - ◆ 判断零件装配后产品关键尺寸是否满足外观、质量以及功能等要求。
 - ◆ 预测产品不良率。
 - ◆ 当产品的装配尺寸不符合要求时，可以通过公差分析来分析制造和装配过程中出现的问题，寻找问题的根本原因。
 - ◆ 优化产品的设计。

公差分析的错误方法：最常见的是遇见可靠性问题就降低公差。典型公差分析的错误做法示例：

公差分析					公差分析										
项目	名称	设计者	日期	版本	序号	零件	描述	尺寸	正负	公差	注释				
接线盒	O型圈的压缩率	mdmodule		s1	B	O型圈	O型圈直径	1.70	+	0.05					
目标尺寸:	23.50%	最小值: 15.00%	最大值:		A	底座	底座O型圈内部配合腔体宽度	49.40	-	0.15					
判断标准描述	依据标准GBXXXX, O型圈的压缩率必须大于15%, 否则会发生防水失效。														
					装配偏移										
					序号	描述	尺寸	公差	尺寸	公差	装配偏移公差				
					公差分析结果							O型圈最小压缩率			
					极值法	名义值	公差	最小值	最大值	率					
					均方根法										
结论					极值法算出的O型圈压缩率: $0.3/2/1.65=9.09\%$, 小于15%, 不满足设计要求, 存在着防水失效的可能性。										
设计优化					调整尺寸链尺寸公差										



公差分析					公差分析										
项目	名称	设计者	日期	版本	序号	零件	描述	尺寸	正负	公差	注释				
接线盒	O型圈的压缩率	mdmodule	2018.11.17	s1	B	O型圈	O型圈直径	1.70	+	0.03					
目标尺寸:	23.50%	最小值: 15.00%	最大值:		A	底座	底座O型圈内部配合腔体宽度	49.40	-	0.10					
判断标准描述	依据标准GBXXXX, O型圈的压缩率必须大于15%, 否则会发生防水失效。														
					装配偏移										
					序号	描述	尺寸	公差	尺寸	公差	装配偏移公差				
					公差分析结果							O型圈最小压缩率			
					极值法	名义值	公差	最小值	最大值	率					
					均方根法										
结论					极值法算出的O型圈压缩率: $0.48/2/1.67=14.37\%$, 小于15%, 不满足设计要求, 存在着防水失效的可能性。										
设计优化					调整尺寸链尺寸公差										



公差分析					公差分析										
项目	名称	设计者	日期	版本	序号	零件	描述	尺寸	正负	公差	注释				
接线盒	O型圈的压缩率	mdmodule	2018.11.17	s1	B	O型圈	O型圈直径	1.70	+	0.02					
目标尺寸:	23.50%	最小值: 15.00%	最大值:		A	底座	底座O型圈内部配合腔体宽度	49.40	-	0.10					
判断标准描述	依据标准GBXXXX, O型圈的压缩率必须大于15%, 否则会发生防水失效。														
					装配偏移										
					序号	描述	尺寸	公差	尺寸	公差	装配偏移公差				
					公差分析结果							O型圈最小压缩率			
					极值法	名义值	公差	最小值	最大值	率					
					均方根法										
结论					极值法算出的O型圈压缩率: $0.48/2/1.68=15.18\%$, 大于15%, 满足设计要求。										
设计优化															

第一步, 定义O型圈压缩量的尺寸链, 并把各个尺寸的正负、名义值和公差输入到公差分析 Excel表格中(O型圈的压缩比为压缩量与直径的比值, 通过公差分析计算出压缩量, 再转化为表格中的压缩比;此处采用极值法模型进行计算和判断)

第二步, 由第一步的公差分析结果显示, 按照极值法计算的O型圈的最小压缩量为9.09%, 小于15%, 说明产品存在防水失败的可能性, 因此, 将尺寸链中的各个尺寸公差做如下调整:尺寸A:从 ± 0.15 调整为 ± 0.10 ;B:从 ± 0.05 调整为 ± 0.03 ;C:从 ± 0.05 调整为 ± 0.03 ;D:从 ± 0.15 调整为 ± 0.10 ; E:从 ± 0.05 调整为 ± 0.03 ;F:从 ± 0.05 调整为 ± 0.03 。将调整后的尺寸公差输入到公差分析 Excel计算表格

计算出的O型圈的最小压缩量为14.37%, 依然小于15%, 继续调整各尺寸公差: 尺寸A:从 ± 0.10 保持为 ± 0.10 ;B:从 ± 0.03 调整为 ± 0.02 ;C:从 ± 0.03 调整为 ± 0.02 ;D:从 ± 0.10 保持为 ± 0.10 ;E:从 ± 0.03 保持为 ± 0.03 ;F:从 ± 0.03 调整为 ± 0.02 。将调整后的尺寸公差输入到公差分析 Excel计算表格, 计算出的O型圈的最小压缩量为15.18%, 大于15%, 产品设计符合要求, 公差分析顺利完成。

➤ **典型公差分析的错误做法示例：**前述公差分析的计算过程是正确的，但该公差分析的思路大部分是错误的，其错误之处包括：

- **在产品详细设计完成后才开始进行公差分析：**公差分析应该从产品概念设计阶段就开始，在产品概念设计阶段就应当根据产品的功能、外观和可靠性等要求判断出哪些装配尺寸是关键尺寸，并通过优化的设计方法，例如缩短尺寸链、使用定位特征等来确保关键尺寸符合要求。在产品详细设计完成之后才开始进行公差分析为时已晚，此时如果发现产品设计有不符合要求之处需要修改，但产品详细设计已经完成，再来修改设计则会浪费大量的时间和精力。
- **没有缩短尺寸链的长度：**尺寸链越长，公差累积越多，公差分析的结果越不容易满足要求。实例中的尺寸链不是最优的尺寸链，可将尺寸C、D、E合并成一个尺寸。
- **公差的设定没有考虑零件制程能力：**在公差分析中，零件尺寸的公差并不是可以随意设定和修改的，它们取决于零件制程能力。例如对于尺寸49.40，其公差 ± 0.15 比较合理，普通的注射工艺即可达到该级别；但将公差调整为 ± 0.10 、甚至 ± 0.05 ，普通的注射工艺就很难满足该级别。如果公差设定超过了零件制程能力，零件实际制造尺寸满足不了公差设定的要求，那么即使公差分析的结果满足要求，产品还是会发生失效。

AS568A		JIS B2401(P系列)		公制	
1.78	± 0.08	1.9	± 0.07	1	± 0.07
2.62	± 0.08	2.7	± 0.07	1.5, 2	± 0.08
3.53	± 0.10	3.5	± 0.10	2.5, 3	± 0.09
5.33	± 0.13	5.7	± 0.15	4	± 0.10
6.99	± 0.15	8.4	± 0.15	5	± 0.13

➤ **计算模型采用极值法：**极值法存在很多缺陷，一方面是极值法与产品真实制造状况并不符合；另一方面是极值法对零部件的公差要求比较严格，产品成本高。因此，在进行公差分析时，极值法并不是一个最好的计算模型，除非在对产品品质要求非常高、零缺陷的场合。

➤ **典型公差分析的错误做法示例：**该示例公差分析的计算过程是正确的，但该公差分析的思路大部分是错误的，其错误之处包括：

- **公差的设定没有考虑到成本：**即使设定的公差在零件制程能力之内，但严格的公差要求高精度的设备和治具、要求严格的制程管控，同时会造成零件不良率上升，继而造成产品成本增加。从产品成本角度来说，公差的设定必须考虑到产品成本，越宽松越好。
- **当公差分析结果不满足要求时，没有通过优化设计的方法，而是通过提高零件尺寸精度要求的方法：**如缩短尺寸链、使用定位特征、调整尺寸值等。
- **对尺寸公差没有进行二维图标注：**尺寸链中的各个尺寸公差都需要进行管控，必须在二维图中进行标注。

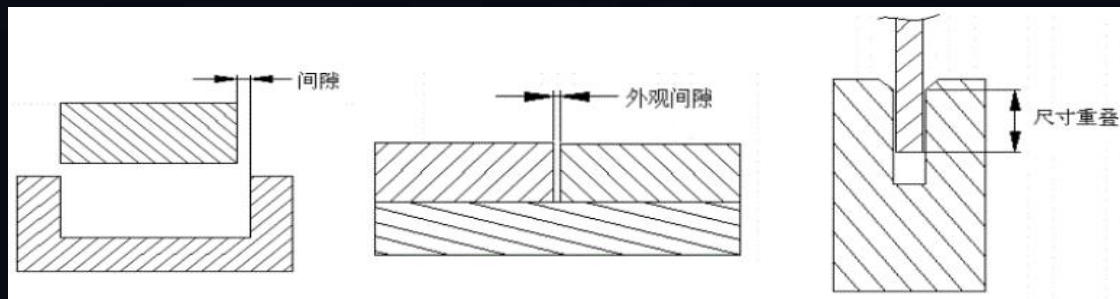


- **对尺寸公差没有进行制程管控：**尺寸链中的公差设定是假设零件制造时的尺寸差异，只有当零件实际制造情况与公差设定一致时，公差分析的结果才可能与真实产品装配后的情况一致，所以必须对尺寸链中的每一个尺寸公差进行制程管控。如果不进行制程管控，零件实际制造时的公差大于尺寸链中的设定公差，则可能会导致产品在以后的测试或使用过程中出现功能、质量和可靠性等问题。
- **零件制造后，没有利用真实的零件制程能力来验证设计阶段的公差分析：**公差分析的过程是一个模拟和假设的过程，当零件制造后，需要通过真实的零件制程能力来进行验证，确保公差分析的结果与实际一致。



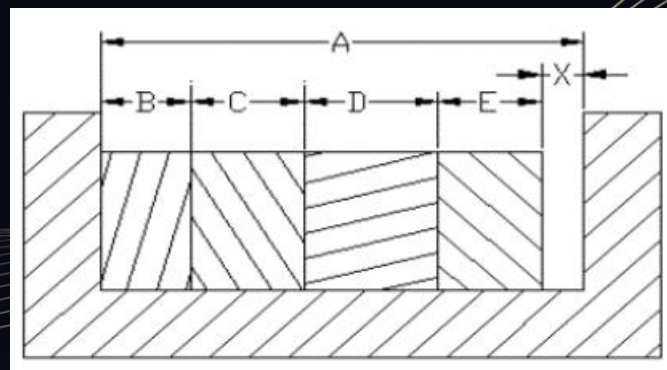
➤ 定义公差分析的管夹尺寸及其公差:

- ◆ 零件的装配间隙
- ◆ 外观零件的配合间隙
- ◆ 零件之间的功能、性能和可靠性等配合尺寸



➤ 定义尺寸链:

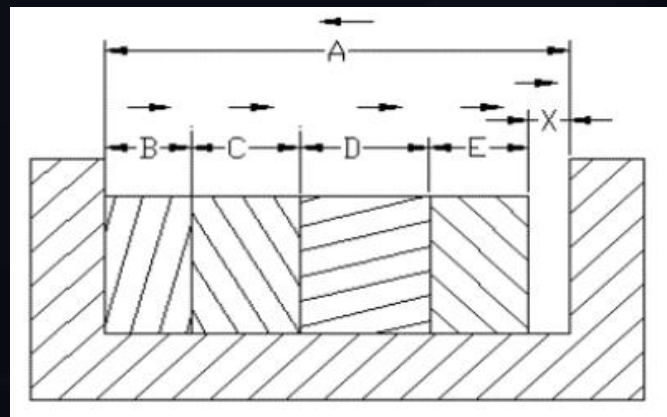
- ◆ 尺寸链, 是指在产品的装配关系中, 由互相联系的尺寸按一定顺序首尾相接排列而成的封闭尺寸组;
- ◆ 尺寸链两大特点: 一是封闭性, 尺寸链是由多个尺寸首尾相连的; 二是关联性, 组成尺寸链的每个尺寸都与目标尺寸有关联, 尺寸链中每个尺寸的精度会影响到目标尺寸的精度;
- ◆ 如果公差分析计算出的目标尺寸名义值与设计值不相等, 则说明尺寸定义错误



X是目标尺寸, A、B、C、D、E和X组成目标尺寸的尺寸链

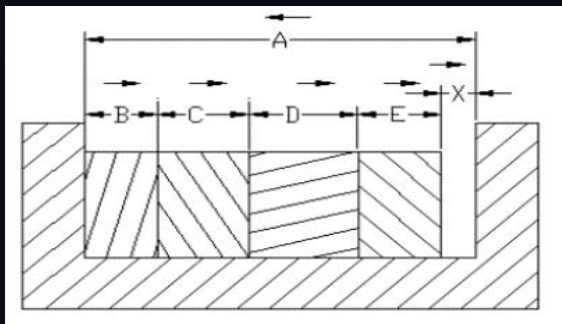
➤ 判断尺寸链中尺寸的正负:

- ◆ X是目标尺寸, A、B、C、D、E和X组成目标尺寸的尺寸链;
- ◆ 使用“箭头法”确定尺寸的正负: 从目标尺寸的任一端开始起画单向箭头, 顺着整个尺寸链一直画下去, 包括目标尺寸, 直到最后一个形成闭合回路, 然后按照箭头方向进行判断, 凡是箭头方向与目标尺寸箭头同向的尺寸为负(-), 反的为正(+);
- ◆ 如右图所示, 从目标尺寸X的一端开始画单向箭头, B、C、D、E与X同向, 为“-”; A与X相反, 为“+”。



➤ 将非双向对称公差转换为双向对称公差:

$$100 \begin{matrix} +0.20 \\ -0 \end{matrix} \rightarrow 100.10 \begin{matrix} +0.10 \\ -0.10 \end{matrix}$$



➤ 公差分析的计算:

◆ 极值法: $D_{asm} = \sum D_i$ $T_{asm} = \sum T_i$

X的名义值 $D_X = D_A + D_B + D_C + D_E$
 $= 54.00 + (-12.00) + (-13.00) + (-16.00) + (-12.50)$
 $= 0.50$

X的公差 $T_X = T_A + T_B + T_C + T_D + T_E$
 $= 0.20 + 0.10 + 0.10 + 0.15 + 0.10$
 $= 0.65$

◆ 均方根法: $D_{asm} = \sum D_i$ $T_{asm} = \sqrt{\sum T_i^2}$

X的名义值 $D_X = D_A + D_B + D_C + D_E$
 $= 54.00 + (-12.00) + (-13.00) + (-16.00) + (-12.50)$
 $= 0.50$

X的公差 $T_X = \sqrt{T_A^2 + T_B^2 + T_C^2 + T_D^2 + T_E^2}$
 $= \sqrt{0.20^2 + 0.10^2 + 0.10^2 + 0.15^2 + 0.10^2}$
 $= 0.30$

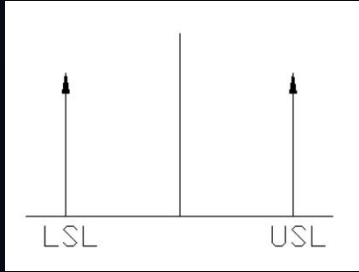
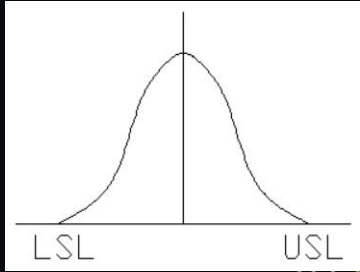
极值法示例, 计算目标尺寸X的名义值和公差

尺寸	尺寸和公差	X的尺寸和公差
A	54.00±0.20	X=0.50±0.65
B	12.00±0.10	
C	13.00±0.10	
D	16.00±0.15	
E	12.50±0.10	

均方根法示例, 计算目标尺寸X的名义值和公差

尺寸	尺寸和公差	X的尺寸和公差
A	54.00±0.20	X=0.50±0.30
B	12.00±0.10	
C	13.00±0.10	
D	16.00±0.15	
E	12.50±0.10	

极值法与均方根法的差异:

计算方法		极值法	均方根法
模型			
差异	对计算模型的假设不同	所有尺寸都在公差范围内	
	计算结果不同	针对相同的目标尺寸，极值法计算的结果大于均方根法的计算结果；尺寸链中尺寸的数量越多，差异越大	
	对设计要求不同	在相同的目标尺寸公差要求下，极值法要求严格的尺寸公差，故采用极值法的产品成本更高	
	局部与全局的差异	<ol style="list-style-type: none"> 是从产品设计局部性进行考虑的计算方法； 满足某一方面的设计要求时，可能造成另一方面的要求很难达到 	<ol style="list-style-type: none"> 是产品设计全局性考虑的计算方法； 更容易实现两个对立的设计要求
	适用范围的差异	<ol style="list-style-type: none"> 对零件制造工艺不了解的场合 批量较小的场合 对品质要求很高、不允许出现缺陷的场合 	<ol style="list-style-type: none"> 对零件制造工艺充分了解的场合 大批量生产的场合 允许出现缺陷的场合
风险		<ol style="list-style-type: none"> 要求较小的公差，不良率高 成本高 	如果尺寸或公差的平方根假设是无效的，可靠性会降低

➤ 宽松的零件公差要求:

- ◆ 公差越严格, 成本越高
- ◆ 避免对零件尺寸提出严格的公差要求

➤ 公差的一致性:

- ◆ 零件的制造工艺能力决定了公差分析中的公差设定, 不是随意设定的
- ◆ 二维图纸中公差标注与公差分析中的公差一致
- ◆ 对公差分析中的尺寸进行制程管控

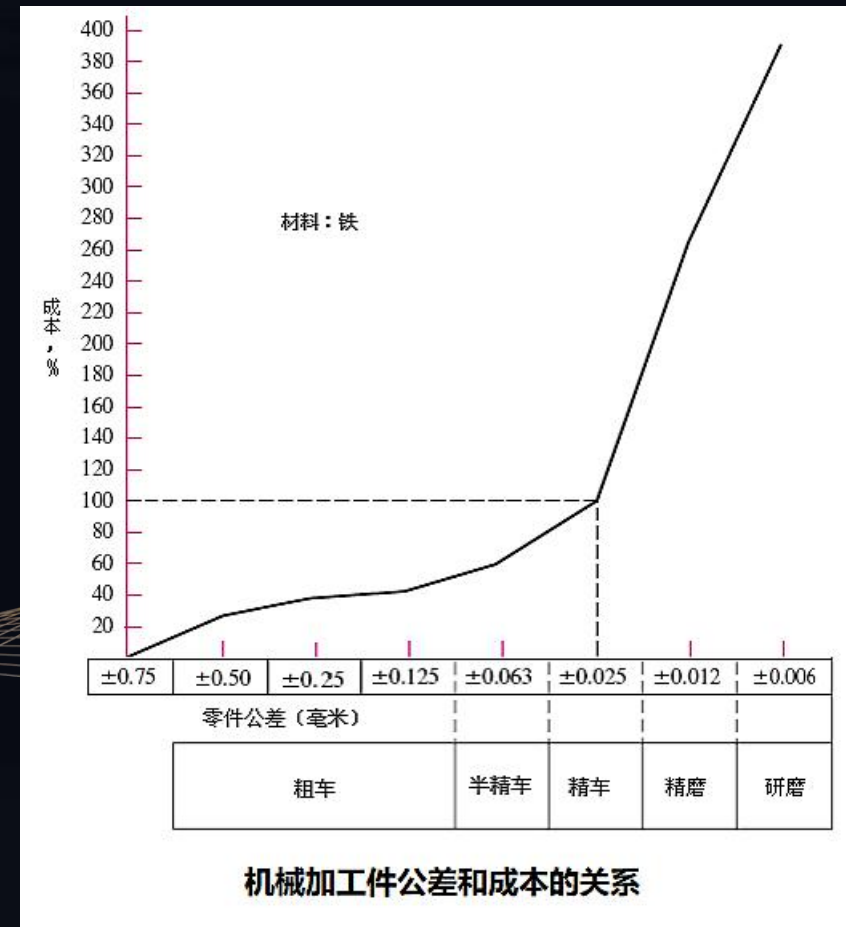
➤ 当公差设计的结果不满足要求时:

◆ 不推荐的做法:

- 调整尺寸链中的尺寸公差大小
- 增加关键尺寸的公差

◆ 推荐的做法:

- 调整尺寸链中尺寸的大小
- 较少尺寸链的长度
- 使用定位特征



谢谢