

钣金结构设计工艺手册

1.1 钣金材料的选材

钣金材料是通信产品结构设计中最常用的材料，了解材料的综合性能和正确的选材，对产品成本、产品性能、产品质量、加工工艺性都有重要的影响。

1.1.1 钣金材料的选材原则

- 1) 选用常见的金属材料，减少材料规格品种，尽可能控制在公司材料手册范围内；
- 2) 在同一产品中，尽可能的减少材料的品种和板材厚度规格；
- 3) 在保证零件的功能的前提下，尽量选用廉价的材料品种，并降低材料的消耗，降低材料成本；
- 4) 对于机柜和一些大的插箱，需要充分考虑降低整机的重量；
- 5) 除保证零件的功能的前提外，还必须考虑材料的冲压性能应满足加工工艺要求，以保证制品的加工的合理性和质量。

1.1.2 几种常用的板材介绍

1.1.2.1 钢板

1) 冷轧薄钢板

冷轧薄钢板是碳素结构钢冷轧板的简称，它是由碳素结构钢热轧钢带，经过进一步冷轧制成厚度小于 4mm 的钢板。由于在常温下轧制，不产生氧化铁皮，因此，冷板表面质量好，尺寸精度高，再加之退火处理，其机械性能和工艺性能都优于热轧薄钢板。常用的牌号为低碳钢 08F 和 10#钢，具有良好的落料、折弯性能。

2) 连续电镀锌冷轧薄钢板

连续电镀锌冷轧薄钢板，即“电解板”，指电镀锌作业线上在电场作用下，锌从锌盐的水溶液中连续沉积到预先准备好的钢带表面上得到表面镀锌层的过程，因为工艺所限，镀层较薄。

3) 连续热镀锌薄钢板

连续热镀锌薄钢板简称镀锌板或白铁皮，是厚度 0.25~2.5mm 的冷轧连续热镀锌薄钢板和钢带，钢带先通过火焰加热的预热炉，烧掉表面残油，同时在表面生成氧化铁膜，再进入含有 H₂、N₂ 混合气体的还原退火炉加热到 710~920℃，使氧化铁膜还原成海绵铁，表面活化和净化了的带钢冷却到稍高于熔锌的温度后，进入 450~460℃ 的锌锅，利用气刀控制锌层表面厚度。最后经铬酸盐溶液钝化处理，以提高耐白锈性。与电镀锌板表面相比，其镀层较厚，主要用于要求耐腐蚀性较强的钣金件。

4) 覆铝锌板

覆铝锌板的铝锌合金镀层是由 55%铝、43.4%锌与 1.6%硅在 600℃ 高温下固化而组成，

形成致密的四元结晶体保护层，具有优良的耐腐蚀性，正常使用寿命可达 25 年，比镀锌板长 3-6 倍，与不锈钢相当。覆铝锌板的耐腐蚀性来自铝的障碍层保护功能，和锌的牺牲性保护功能。当锌在切边、刮痕及镀层擦伤部分作牺牲保护时，铝便形成不能溶解的氧化物层，发挥屏障保护功能。

上述 2)、3)、4) 钢板统称为涂层钢板，在国内通讯设备上广泛采用，涂层钢板加工后可以不再电镀、油漆，切口不做特殊处理，便可直接使用，也可以进行特殊磷化处理，提高切口耐锈蚀的能力。从成本分析看，采用连续电镀锌薄钢板，加工厂不必将零件送去电镀，节省电镀时间和运输出费用，另外零件喷涂前也不用酸洗，提高了加工效率。

5) 不锈钢板

因为具有较强的耐腐蚀能力、良好的导电性能、强度较高等优点，使用非常广泛，但也要充分考虑它的缺点：材料价格很贵，是普通镀锌板的 4 倍；材料强度较高对数控冲床的刀具磨损较大一般不合适数控冲床上加工；**不锈钢板的压铆螺母要采用高强度的特种不锈钢材料的压铆螺母，价格很贵；压铆螺母铆接不牢固经常需要再点焊；表面喷涂的附着力不高、质量不宜控制；材料回弹较大折弯和冲压不易保证形状和尺寸精度。**

1.1.2.2 铝和铝合金板

通常使用的铝和铝合金板主要有以下三种材料：防锈铝 3A21、防锈铝 5A02 和硬铝 2A06。

防锈铝 3A21 即为老牌号 LF21，系 AL—Mn 合金，是应用最广的一种防锈铝。这种合金的强度不高（仅高于工业纯铝），不能热处理强化。故常用冷加工方法来提高它的力学性能，在退火状态下有高的塑性，在半冷作硬化时塑性尚好。冷作硬化时塑性低，耐蚀性好，焊接性良好。

防锈铝 5A02 即为老牌号 LF2 系 AL—Mg 防锈铝，与 3A21 相比，5A02 强度较高，特别是具有较高的疲劳强度、塑性与耐蚀性高。热处理不能强化，用接触焊和氢原子焊焊接性良好，氩弧焊时有形成结晶裂纹的倾向，合金在冷作硬化时有形成结晶裂纹的倾向。合金在冷作硬化和半冷作硬化状态下可切削性较好，退火状态下可切削性不良，可抛光。

硬铝 2A06 为老牌号的 LY6，是常用的硬铝牌号。硬铝和超硬铝比一般的铝合金具有更高的强度和硬度，可以作为一些面板类的材料，但是塑性较差，不能进行折弯，折弯会造成外圆角部位有裂缝或者开裂。

铝合金的牌号和状态已经有新的标准，牌号表示方法的标准代号为 GB/T16474-1996，状态代号 GB/T16475—1996，与老标准的对照表如下表 1-1 所示：

表 1-1 铝合金新旧牌号对照表

牌 号								状 态	
新	旧	新	旧	新	旧	新	旧	新	旧
1070A	L1	5A06	LF6	2A80	LD8	2A14	LD10	H12	R
1060	L2	5A12	LF12	2A90	LD9	2A50	LD5	O	M
1050A	L3	8A06	L6	4A11	LD11	6A02	LD2	T4	CZ
1035	L4	3A21	LF21	6063	LD31	7A04	LC4	T5	RCS
1200	L5	2A02	LY2	6061	LD30	7A09	LC9	T6	CS
5A02	LF2	2A06	LY6	2A11	LY11				
5A03	LF3	2A16	LY16	2A12	LY12				
5A05	LF5	2A70	LD7	2A13	LY13				

1.1.2.3 铜和铜合金板

常用的铜和铜合金板材主要有两种，紫铜 T2 和黄铜 H62，

紫铜 T2 是最常用的纯铜，外观呈紫色，又称紫铜，具有高的导电、导热性、良好的耐腐蚀性和成形性，但强度和硬度比黄铜低得多，价格也是非常昂贵，主要用作导电、导热和耐用消费品腐蚀元件，一般用于电源上需要承载大电流的零件。

黄铜 H62，属高锌黄铜，具有较高的强度和优良的冷、热加工性，易于进行各种形式的压力加工和切削加工。主要用于各种深拉伸和折弯的受力零件，其导电性不如紫铜，但有较好强度和硬度，价格也比较适中，在满足导电要求的情况下，尽可能选用黄铜 H62 代替紫铜，可以大大降低材料成本，如汇流排，目前绝大部分汇流排的导电片都是采用黄铜 H62，事实证明完全满足要求。

1.1.3 材料对钣金加工工艺的影响

钣金加工主要有三种：冲裁、弯曲、拉伸，不同的加工工艺对板材有不同要求，钣金的选材也应该根据产品的大致形状和加工工艺考虑板材的选择。

1.1.3.1 材料对冲裁加工的影响

冲裁要求板材应具有足够的塑性，以保证冲裁时板材不开裂。软材料（如纯铝、防锈铝、黄铜、紫铜、低碳钢等）具有良好的冲裁性能，冲裁后可获得断面光滑和倾斜度很小的制件；硬材料（如高碳钢、不锈钢、硬铝、超硬铝等）冲裁后质量不好，断面不平度大，对厚板料尤为严重。对于脆性材料，在冲裁后易产生撕裂现象，特别是宽度很小的情况下，容易产生撕裂。

1.1.3.2 材料对弯曲加工的影响

需要弯曲成形的板材，应有足够的塑性、较低的屈服极限。塑性高的板材，弯曲时不易开裂，较低屈服极限和较低弹性模量的板料，弯曲后回弹变形小，容易得到尺寸准确的弯曲形状。含碳量 $<0.2\%$ 的低碳钢、黄铜和铝等塑性好的材料容易弯曲成形；脆性较大的材料，如磷青铜（QSn6.5~2.5）、弹簧钢（65Mn）、硬铝、超硬铝等，弯曲时必须具有较大的相对弯曲半径（ r/t ），否则在弯曲过程中易发生开裂。特别要注意材料的硬软状态的选择，对弯曲性能有很大的影响，很多脆性材料，折弯会造成外圆角开裂甚至折弯断裂，还有一些含碳量较高的钢板，如果选择硬质状态，折弯也会造成外圆角开裂甚至折弯断裂，这些都应该尽量避免。

1.1.3.3 材料对拉伸加工的影响

板材的拉伸，特别是深拉伸，是钣金加工工艺中较难的一种，不仅要求拉伸的深度尽量小，形状尽可能简单、圆滑过渡，还要求材料有较好的塑性，否则，非常容易引起零件整体扭曲变形、局部打皱、甚至拉伸部位拉裂。屈服极限低和板厚方向性系数大，板料的屈强比 σ_s/σ_b 越小，冲压性能就越好，一次变形的极限程度越大。板厚方向性系数 >1 时，宽度方向上的变形比厚度方向上的变形容易。拉伸圆角 R 值越大，在拉伸过程中越不容易产生变薄和发生断裂，拉伸性能就越好。常见的拉伸性能较好的材料有：纯铝板、08Al，ST16、SPCD。

1.1.3.4 材料对刚度的影响

在钣金结构设计中，经常遇到钣金结构件的刚度不能满足要求，结构设计师往往会用高碳钢或不锈钢代替低碳钢，或者用强度硬度较高的硬铝合金代替普通铝合金，期望提高零件的刚度，实际上没有明显的效果。对于同一种基材的材料，通过热处理、合金化能大幅提高

材料的强度和硬度，但对刚度的改变很小，提高零件的刚度，只有通过变换材料、改变零件的形状，才能达到一定的效果，不同材料的弹性模量和剪切模量参见表 1-2。

表 1-2 常见材料的弹性模量和剪切模量

名称	弹性模量 E GPa	切变模量 G GPa	名称	弹性模量 E GPa	切变模量 G GPa
灰铸铁	118~126	44.3	轧制锌	82	31.4
球墨铸铁	173		铅	16	6.8
碳钢、 镍铬钢	206	79.4	玻璃	55	1.96
铸钢	202		有机玻璃	2.35~29.4	
轧制纯铜	108	39.2	橡胶	0.0078	
冷拔纯铜	127	48	电木	1.96~2.94	0.69~2.06
轧制磷锡青铜	113	41.2	夹布酚醛塑料	3.95~8.83	
冷拔黄铜	89~97	34.3~36.3	赛璐珞	1.71~1.89	0.69~0.98
轧制锰青铜	108	39.2	尼龙 1010	1.07	
轧制铝	68	25.5~26.5	硬四氯乙烯	3.14~3.92	
拔制铝线	69		聚四氯乙烯	1.14~1.42	
铸铝青铜	103	11.1	低压聚乙烯	0.54~0.75	
铸锡青铜	103		高压聚乙烯	0.147~0.24	
硬铝合金	70	26.5	混凝土	13.73~39.2	4.9~15.69

1.1.3.5 常用板材的性能比较

表1-3 几种常用板材的性能比较

材料	价格 系数	搭 接 电 阻 (mΩ)	数控冲 床加工 性能	激 光 加 工 性能	折 弯 性能	涨 铆 螺 母 工 艺 性	压 铆 螺 母 工 艺 性	表 面 喷涂	切口 防护 性能。
冷轧钢板镀蓝锌	1.0		好	好	好	好	好	一般	较好
冷轧钢板镀彩锌	1.2	27	好	好	好	好	好	一般	好
连续电镀锌钢板	1.7	26	好	好	好	好	好	一般	最差
热镀锌钢板	1.3	26	好	好	好	好	好	一般	较差
覆铝锌板	1.4	23	好	好	好	好	好	一般	差
不锈钢	6.5	60	差	好	一般	差	很差	差	好
防锈铝板	2.9	46	一般	极差	好	好	好	一般	好
硬铝、超硬铝板	3.0	46	一般	极差	极差	好	好	一般	好
T2 铜板	5.6		好	极差	好	好	好	一般	好
黄铜板	5.0		好	极差	好	好	好	一般	好

注: 1, 表中的数据与材料具体的牌号和厂家均有关系, 仅作为定性参考之用。

2, 铝合金、铜合金板材在激光切割上加工性极差, 一般不能采用激光加工。

1.2 冲孔和落料:

1.2.1 冲孔和落料的常用方式

1.2.1.1 数控冲冲孔和落料:

数控冲冲孔和落料,就是利用在数控冲床上的单片机预先输入对钣金零件的加工程序(尺寸,加工路径,加工工具等等信息),使数控冲床采用各种刀具,通过丰富的 NC 指令可以实现各种各样的冲孔、切边、成形等形式的加工。数控冲一般不能实现形状太复杂的冲孔和落料。特点:速度快,省模具。加工灵活,方便。基本上能够满足样品下料生产中的需要。

注意的问题及要求:薄材($t < 0.6$)不好加工,材料易变形;加工范围受刀具,夹爪等限制;适中的硬度和韧性有较好的冲裁加工性能;硬度太高会使冲裁力变大,对冲头和精度都有不好的影响;硬度太低,使冲裁时变形严重,精度受到很大的限制;高的塑性对成形加工有利,但不适合于蚕食、连续冲裁,对冲孔和切边也不太合适;适当的韧性对冲裁是有益的,它可以抑制冲孔时的变形程度;韧性太高则使冲裁后反弹严重,反而影响了精度。

数控冲一般适合冲裁 $T=3.5\sim 4\text{mm}$ 以下的低碳钢、电解板、覆铝锌板、铝板、铜板、 $T=3\text{mm}$ 以下的不锈钢板,推荐的数控冲床加工的板料厚度为:铝合金板和铜板为 $0.8\sim 4.0$,低碳钢板为 $0.8\sim 3.5\text{mm}$,不锈钢板 $0.8\sim 2.5\text{mm}$ 。对铜板加工变形较大,数控冲加工 PC 和 PVC 板,加工边毛刺大,精度低。

冲压时用的刀具直径和宽度必须大于料厚,比如 $\Phi 1.5$ 的刀具不能冲 1.6mm 的材料。

0.6mm 以下的材料一般不用 NCT 加工。

不锈钢材料一般不用 NCT 加工。(当然, $0.6\sim 1.5\text{mm}$ 的材料可以用 NCT 加工,但对刀具磨损大,现场加工出现的废品率的几率比其它 GI 等材料要高的多。)

其它形状的冲孔落料希望尽可能简单、统一。

数控冲的尺寸要规格化,如圆孔,六边形孔、工艺槽最小宽度为 1.2mm 。具体参考《钣金模具手册》。

1.2.1.2 冷冲模冲孔和落料:

对产量较大,尺寸不太大的零件进行冲孔落料,为提高生产效率,而专门开的钣金冲压模具。一般由凸模和凹模组成。凹模一般有:压入式,镶拼式等。凸模一般有:圆形,可更换;组合式;快装卸型等。最常见的冲模有:冲裁模(主要有:开式落料模,闭式落料模,冲孔落料复合模,开式冲孔落料连续模,闭式冲孔落料连续模),弯曲模,压延模。

特点:因为用冷冲模冲孔及落料基本可一次冲压完成,效率高,一致性好,成本低。所以对于年加工量在 5000 件以上,零件尺寸不是太大的结构件,加工厂一般开冷冲模加工,在结构设计时就要考虑按开冷冲模加工的工艺特点设计。比如零件不应出现尖角(除使用上必须外),需设计成圆角,可改善模具的质量和寿命,也使工件美观,安全,耐用;为满足功能要求,零件的结构形状可以设计得更复杂等。

1.2.1.3 密孔冲冲孔:

密孔冲可以视为数控冲的一种,对于有大量密孔的零件,为提高冲孔效率,精度等,

专门开可一次冲大量密孔的冲孔模对工件进行加工。如：通风网板，进出风挡板等。见图 1-1 所示。图中阴影部分为密孔模，零件的密孔靠密孔模可快速冲出。比一个一个的冲孔，大大的提高效率。

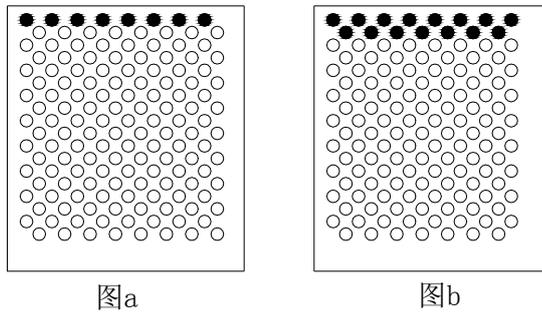


图 1-1 密孔冲示意图

密孔设计注意的问题及要求：

产品上密孔的设计应考虑密孔冲模具的加工特点是重复多次冲裁，这样在设计密孔的排布的时候应采用这样的原则：

- 1) 设计密孔排布时首先考虑借用《钣金模具手册》上规划的密孔模，以减少模具成本；
- 2) 同一类型的密孔排布时应统一，行间距规定一个不变的数值，列间距也规定一个不变的数值，这样同一类型的密孔模具可以通用，减少开模数量，降低了模具的成本；
- 3) 同一类型的孔的尺寸应一致，如六方孔可以统一为内切圆 $\Phi 5$ 的六方孔，此六方孔为公司六方孔的常用尺寸，占六方密孔的 90%以上。
- 4) 采用错位排布两行孔数不等时，必须满足两个要求，1，孔距较大，两孔的边缘距离大于 $2t$ (t 为材料厚度)；2，总排数应该为偶数排，如图 1-2 所示；

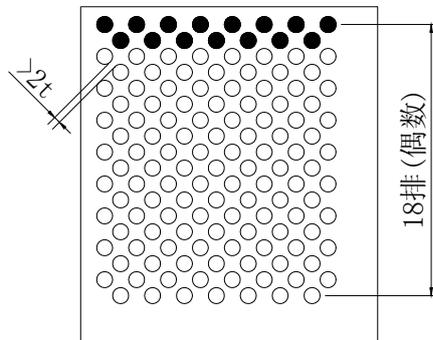


图 1-2 密孔错位排布示意图

5) 如果密孔的孔距很小，每排孔的数量必须为为偶数。如图 1-3 所示，两个密孔之间的距离 D 小于 $2t$ 时 (t 为材料厚度)，因为模具的强度问题，则密孔模要间隔设置，图中阴影部分为密孔模。可以看出，每排孔的数量必须为为偶数。如果图 1-2 中的孔距也是这样很小时，因为每排的孔数不等 (7 空、8 孔两种)，则无法用密孔模一次性冲出。

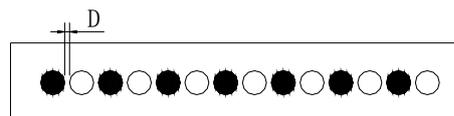


图 1-3 密孔模

图 1-1 a 的密孔模可设计成如图 1-4 所示。



图 1-4 密孔模

图 1-1 b 的密孔模只能设计成如图 1-5 所示。

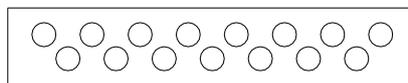


图 1-5 密孔模

设计密孔的排布时尽量按照上述要求设计，并且连续和有一定的规律性，便于开密孔模具，降低冲压成本，否则只能采用数冲或开很多套模具来完成加工。如图 1-6 所示，图 a，交错孔，行数不是偶数；图 b，中间缺孔；图 c，密孔距离太近，每行孔数和每列孔数都是奇数；图 d、e，密孔距离太近，密孔的每行孔数不相等，这些不能仅靠密孔模冲孔一次完成加工，还须用其它补加工方法才能完成。图 f，如果用密孔模加工，也需要用其它补加工方法才能完成，即使开落料模，也需要多副冲孔模完成，工艺性很差。

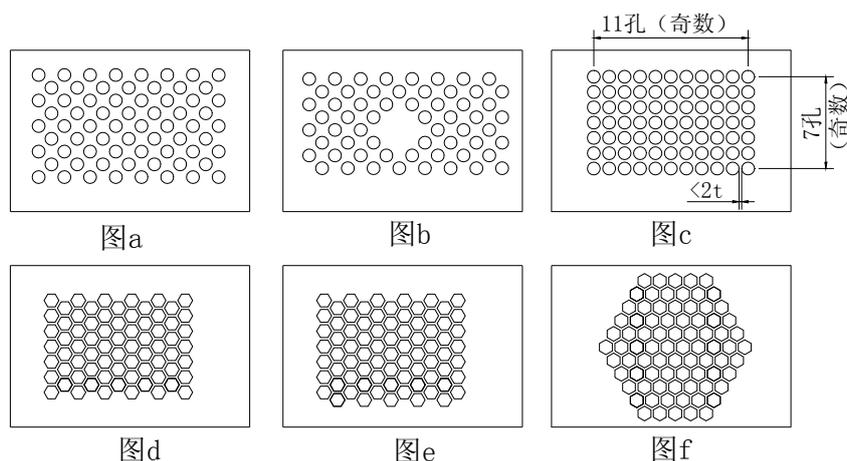


图 1-6 密孔排部示意图

1.2.1.4 激光切割：

激光切割是由电子放电作为供给能源，利用反射镜组聚焦产生激光光束作热源的一种无接触切割技术，利用这种高密度光能来实现对钣金件的打孔及落料。

特点：切割形状多样化，切割速度比线切割快，热影响区小，材料不会变形，切口细，精度及质量高，噪声小，无刀具磨损，无需考虑切割材料的硬度，可加工大型，形状复杂及其它方法难以加工的零件。但其成本较高，同时会损坏工件的支撑台，而且切割面易沉积氧化膜，难处理。一般只适合单件和小批量加工。

注意的问题及要求：一般只用于钢板。铝板及铜板一般不能用，因为材料传热太快，造成切口周围融化，不能保证加工精度及质量。激光切割端面有一层氧化皮，酸洗不掉，有特殊要求的切割端面要打磨；激光切割密孔变形较大，一般不用激光切割密孔。

1.2.1.5 线切割：

线切割是把工件和电极丝（钼丝，铜丝）各作为一极，并保持一定距离，在有足够高

的电压时形成火花隙，对工件进行电蚀切割的加工方法，切除的材料由工作液带走。

特点：加工精度高，但加工速度较低，成本较高，且会改变材料表面性质。一般用于模具加工，不用作加工生产用零件。有些单板型材面板的方孔没有圆角，无法铣削，又因为铝合金不能用激光切割，如果没有冲压空间不能冲压，只能采取线切割加工，速度很慢，效率非常低，无法适应批量生产，设计应该避免这种情况。

1.2.1.6 常用的三种落料和冲孔方法的特点对比

表 1-4 常见三种冲孔和落料加工特点比较 注：以下数据为冷轧钢板的数据。

	激光切割	数控冲(包括密孔冲)	冷冲模
可加工材质	钢板	钢板，铜板、铝板	钢板，铜板、铝板
可加工料厚	1mm ~ 8mm	0.6mm ~ 3mm	一般小于 4mm
加工最小尺寸（普通冷轧钢板）	最小细缝 0.2mm 最小圆 0.7mm	冲圆孔 $\phi \geq t$ 方孔小边 $W \geq t$ 长槽宽 $W \geq t$	冲圆孔 $\phi \geq t$ 方孔小边 $W \geq t$ 长槽宽 $W \geq 2t$
孔与孔，孔与边的边缘最小距离	$\geq t$	$\geq t$	$\geq 1t$
孔与孔，孔与边的边缘优选距离	$\geq 1.5t$	$\geq 1.5t$	$\geq 1.5t$
一般加工精度	$\pm 0.1\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$	$\pm 0.1\text{mm}$
加工范围	2000X1350	2000X1350	
外观效果	外缘光滑，切割端面有一层氧化皮	毛边大，且有带料毛边	少量毛边
曲线效果	光滑，形状多变	毛边大，形状规范；	光滑，形状多变
加工速度	切割外圆快	冲制密孔快	最快
加工文字	刻蚀，较浅，尺寸不受限制	冲压凹形文字，符号较深；尺寸受模具限制	冲压，凹形文字，符号，较深；尺寸受模具限制
成形	不能	凹点，沉(沉)孔，小型拉伸等均可	可实现较复杂的形状
加工费用	较高	低	低

1.2.2 冲孔落料的工艺性设计

1.2.2.1 排布的工艺性设计

大批量及中批量生产，零件的材料费用占较大的比重，对材料的充分和有效利用，是钣金生产的一项重要经济指标。所以在不影响使用要求的条件下，结构设计人员设计时，争取采用无废料或少废料的排布方法，如图 1-7 所示为无废料排布。

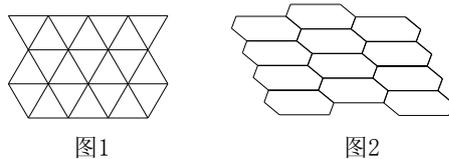


图 1-7 无废料排布

有些零件形状略加改变，就可以大大节约材料。如图 1-8 所示，图 2 比图 1 省料。

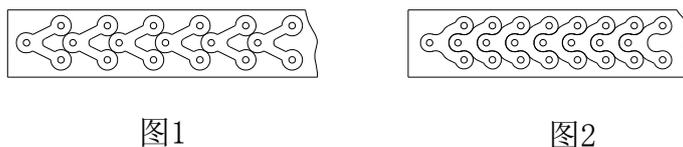


图 1-8 略改设计的省料排部

1.2.2.2 冲裁件的工艺性

对于数控冲床加工外圆角，需要专用的外圆刀具，为了减少外圆刀具，如图 1-9 所示本手册规范外圆角为：

- 1) 90 度直角外圆角系列半径为 r2.0, r3.0、r5.0, r10,
- 2) 135 度的斜角的外圆角半径统一为 R5.0, :

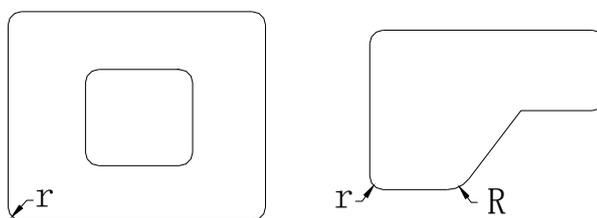


图 1-9 冲裁件的外圆角

冲孔优先选用圆形孔，圆孔应按照《钣金模具手册》中规定的系列圆孔选取，这样可以减少圆孔刀具的数量，减少数控冲床换刀时间。

由于受到冲孔凸模强度限制，孔径不能过小，其最小孔径与材料厚度有关。在设计时孔的最小直径不应小于下表 1-5 所示的数值。

表 1-5 用普通冲床冲孔的最小尺寸

材料	冲孔的最小直径或最小边长(t 为材料厚度)
----	-----------------------

	圆孔 D (D 为直径)	方孔 L (L 为边长)	腰圆孔、矩形孔 a (a 为最小边长)
高、中碳钢	$\geq 1.3t$	$\geq 1.2t$	$\geq 1t$
低碳钢及黄铜	$\geq 1t$	$\geq 0.8t$	$\geq 0.8t$
铝、锌	$\geq 0.8t$	$\geq 0.6t$	$\geq 0.6t$
布质胶木层压板	$\geq 0.4t$	$\geq 0.35t$	$\geq 0.3t$

冲裁件的孔与孔之间、孔与边缘之间的距离不应过小，其值见图 1-10：

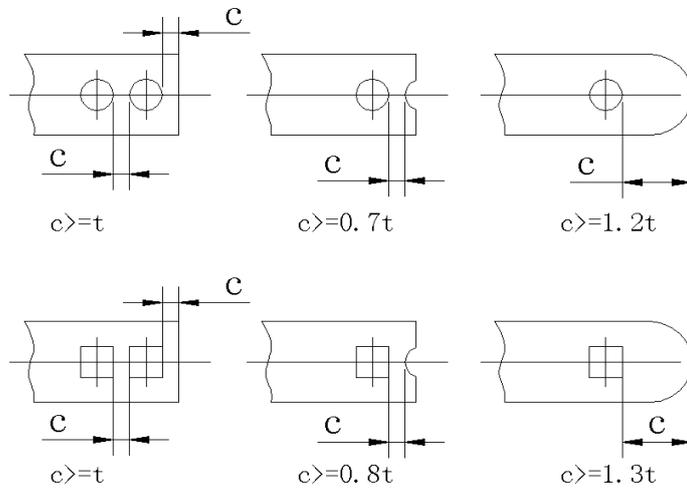


图 1-10 冲裁件的孔与孔、孔与边缘之间的距离

考虑到模具的冲压加工中，采用复合模加工的孔与外形、孔与孔之间的精度较易保证，加工效率较高，而且模具的维修成本，维修方便，考虑到以上原因，孔与孔之间，孔与外形之间的距离如果能满足复合模的最小壁厚要求，工艺性更好，如图 1-11 所示：

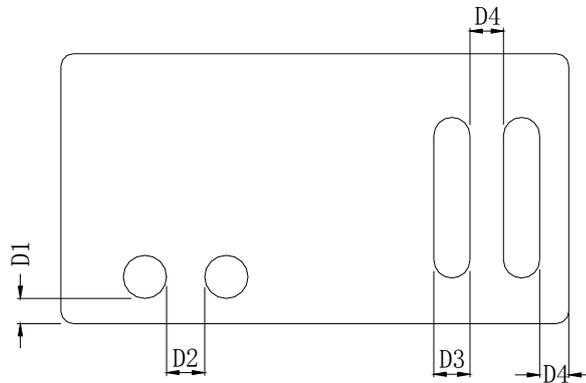


图 1-11 冲裁件的搭边要求

表 1-6 复合模加工冲裁件的搭边最小尺寸

	t (0.8 以下)	t (0.8~1.59)	t (1.59~3.18)	t (3.2 以上)
D1	3mm		2t	
D2	3mm		2t	
D3	1.6mm	2t		2.5t
D4	1.6mm	2t		2.5t

如图 1-12 所示，先冲孔后折弯，为保证孔不变形，孔与弯边的最小距离

$$X \geq 2t + R$$

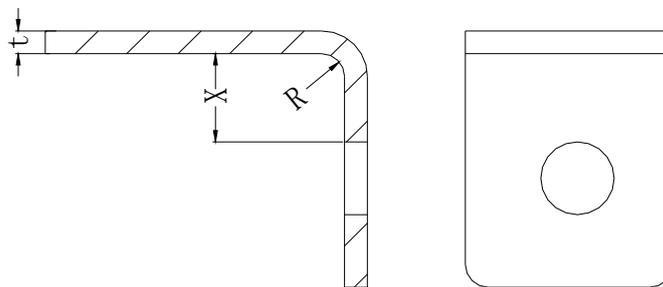


图 1-12 孔与弯边的最小距离

在拉深零件上冲孔时，见图 1-13，为了保证孔的形状及位置精度以及模具的强度，其孔壁与零件直壁之间应保持一定距离，即其距离 a1 及 a2 应满足下列要求：

$$a1 \geq R1 + 0.5t,$$

$$a2 \geq R2 + 0.5t.$$

式中 R1, R2—圆角半径；

t—板料厚度。

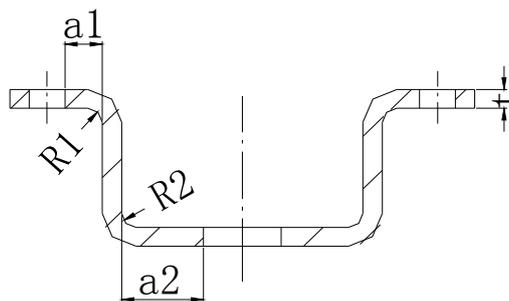


图 1-13 在拉深件上冲孔

1.2.2.3 冲裁件的加工精度

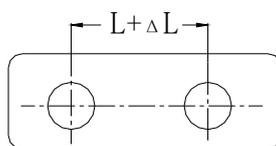


图 1-14 冲裁件孔中心距的公差

图 1-14 冲裁件孔中心距的公差：

表 1-7 孔中心距的公差表

单位：mm

材料厚度	普通冲孔精度			高级冲孔精度		
	公称尺寸 L			公称尺寸 L		
	<50	50~150	150~300	<50	50~150	150~300
<1	±0.1	±0.15	±0.20	±0.03	±0.05	±0.08
1~2	±0.12	±0.20	±0.30	±0.04	±0.06	±0.10
2~4	±0.15	±0.25	±0.35	±0.06	±0.08	±0.12
4~6	±0.20	±0.30	±0.40	±0.08	±0.10	±0.15

注：使用本表数值时所有孔应是一次冲出的。

图 1-15 孔中心距与边缘距离公差：

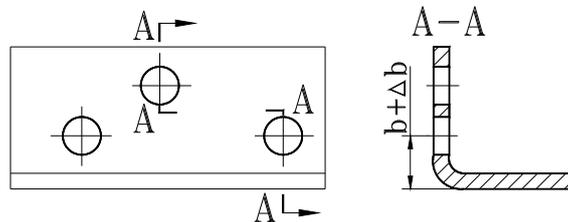


图 1-15 孔中心与边缘距离的公差

冲压件设计尺寸基准的选择原则

1) 冲压件的设计尺寸基准尽可能与制造的定位基准相重合，这样可以避免尺寸的制造误差。

2) 冲压件的孔位尺寸基准，应尽可能选择在冲压过程中自始至终不参加变形的面或线上，且不要与参加变形的部位联系起来。

3) 对于采用多工序在不同模具上分散冲压的零件，要尽可能采用同一个定位基准。

表 1-8 孔中心与边缘距离的公差表

材料厚度	尺寸 b			
	≤50	50<b≤120	120<b≤220	220<b≤360

<2	±0.2	±0.3	±0.5	±0.7
≥2~4	±0.3	±0.5	±0.6	±0.8
>4	±0.4	±0.5	±0.8	±1.0

注：本表适应于落料后才进行冲孔的情况。

1.2.2.4 二次切割

二次切割也叫二次下料，或者补割（工艺性极差，设计时应尽量避免）。二次切割就是拉伸特征对材料有挤料变形现象、折弯变形较大时，加大落料，先成型，再补割孔或外形轮廓，以达到去除预留材料，获得完整正确结构尺寸。

应用：拉伸凸台离边缘较近等，都必须补割。

以沉孔为例说明，如图 1-16 所示。

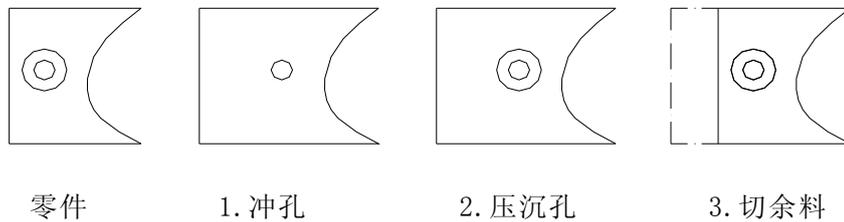


图 1-16 二次切割

1.3 钣金件的折弯

钣金的折弯，是指改变板材或板件角度的加工。如将板材弯成 V 形，U 形等。一般情况下，钣金折弯有两种方法：一种方法是模具折弯，用于结构比较复杂，体积较小、大批量加工的钣金结构；另一种是折弯机折弯，用于加工结构尺寸比较大的或产量不是太大的钣金结构。目前公司产品的折弯主要采用折弯机加工。

这两种折弯方式有各自的原理，特点以及适用性。

1.3.1 模具折弯：

对于年加工量在 5000 件以上，零件尺寸不是太大的结构件（一般为 300X300），加工厂家一般考虑开冲压模具加工。

1.3.1.1 常用折弯模具

常用折弯模具，如图 1-17 所示：为了延长模具的寿命，零件设计时，尽可能采用圆角。

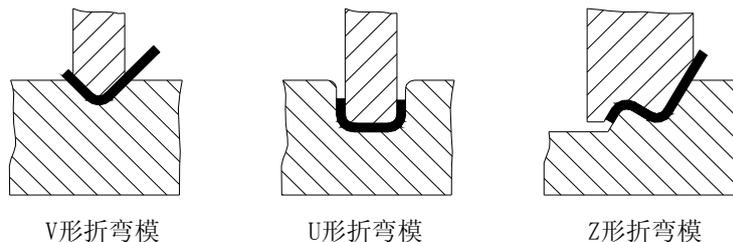


图 1-17 专用的成形模具

过小的弯边高度，即使用折弯模具也不利于成形，一般弯边高度 $L \geq 3t$ （包括壁厚）。

1.3.1.2 台阶的加工处理办法

一些高度较低的钣金 Z 形台阶折弯，加工厂家往往采用简易模具在冲床或者油压机上加工，批量不大也可在折弯机上用段差模加工，如图 1-18 所示。但是，其高度 H 不能太高，一般应该在 $(0\sim 1.0)t$ ，如果高度为 $(1.0\sim 4.0)t$ ，要根据实际情况考虑使用加卸料结构的模具形式。这种模具台阶高度可以通过加垫片进行调整，所以，高度 H 是任意调节的，但是，也有一个缺点，就是长度 L 尺寸不易保证，竖边的垂直度不易保证。如果高度 H 尺寸很大，就要考虑在折弯机上折弯。

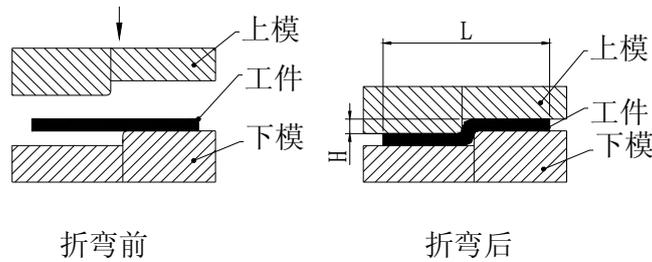


图 1-18 Z 形台阶折弯

1.3.2 折弯机折弯

折弯机分普通折弯机和数控折弯机两种。由于精度要求较高，折弯形状不规则，通信设备的钣金折弯一般用数控折弯机折弯，其基本原理就是利用折弯机的折弯刀(上模)、V 形槽(下模)，对钣金件进行折弯和成形。

优点:装夹方便，定位准确，加工速度快；

缺点:压力小，只能加工简单的成形，效率较低。

1.3.2.1 成形基本原理

成形基本原理如图 1-19 所示：

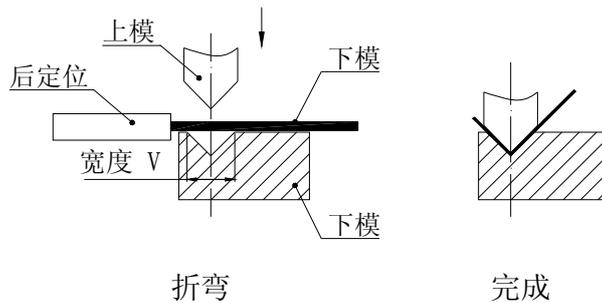


图 1-19 成形基本原理

1) 折弯刀（上模）

折弯刀的形式如图 1-20 所示，加工时主要是根据工件的形状需要选用，一般加工厂家的折弯刀形状较多，特别是专业化程度很高的厂家，为了加工各种复杂的折弯，定做很多形状、规格的折弯刀。

2) 下模一般用 $V=6t$ (t 为料厚) 模。

影响折弯加工的因素有许多，主要有上模圆弧半径、材质、料厚、下模强度、下模的模口尺寸等因素。为满足产品的需求，在保证折弯机使用安全的情况下，厂家已经把折弯刀模系列化了，我们在结构设计过程中需对现有折弯刀模有个大致的了解。见图 1-20 左边为上

模，右边为下模。

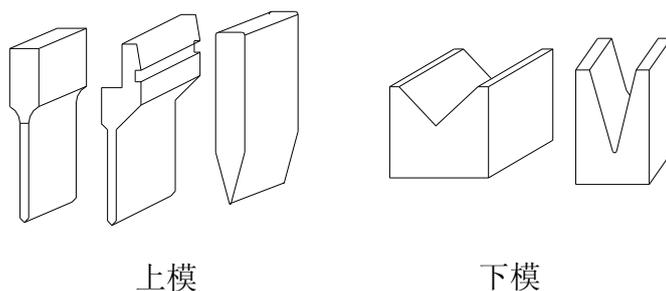


图 1-20 数孔折弯模示意图

折弯加工顺序的基本原则：

- 1) 由内到外进行折弯；
- 2) 由小到大进行折弯；
- 3) 先折弯特殊形状，再折弯一般形状；
- 4) 前工序成型后对后继工序不产生影响或干涉。

目前的外协厂见到的折弯形式一般都是如图 1-21 所示。

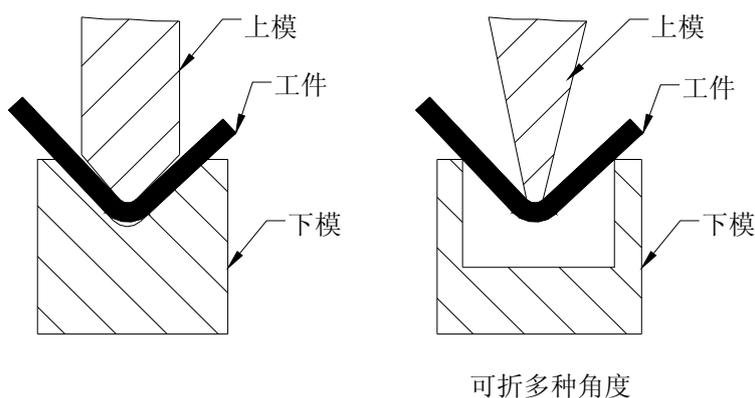


图 1-21 折弯机折弯形式

1.3.2.2 折弯半径

钣金折弯时，在折弯处需有折弯半径，折弯半径不宜过大或过小，应适当选择。折弯半径太小容易造成折弯处开裂，折弯半径太大又使折弯易反弹。

各种材料不同厚度的优选折弯半径（折弯内半径）见下表 1-9

表 1-9 最小弯曲半径数值 (mm)

材料	退火状态		冷作硬化状态	
	弯曲线方向与纤维方向的对应位置			
	垂直	平行	垂直	平行
08、10、	0.1t	0.4t	0.4t	0.8t
15、20、	0.1t	0.5t	0.5t	1.0t
25、30、	0.2t	0.6t	0.6t	1.2t
45、50	0.5t	1.0t	1.0t	1.7t
65Mn	1.0t	2.0t	2.0t	3.0t

铝	0.1 t	0.35 t	0.5 t	1.0 t
紫铜	0.1 t	0.35 t	1.0 t	2.0 t
软黄铜	0.1 t	0.35 t	0.35 t	0.8 t
半硬黄铜	0.1 t	0.35 t	0.5 t	1.2 t
磷青铜	—	—	1.0 t	3.0 t

注：表中 t 为板料厚度。

上表中的数据为优选的数据，仅供参考之用。实际上，厂家的折弯刀的圆角通常都是 0.3，少量的折弯刀的圆角为 0.5，所以，我们的钣金件的折弯内圆角基本上都是 0.2。对于普通的低碳钢钢板、防锈铝板、黄铜板、紫铜板等，内圆角 0.2 都是没有问题的，但对于一些高碳钢、硬铝、超硬铝，这种折弯圆角就会导致折弯断裂，或者外圆角开裂。

1.3.2.3 折弯回弹

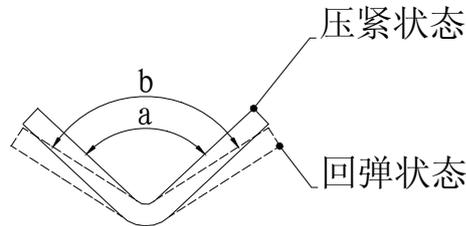


图 1-22 折弯回弹示意图

1) 回弹角 $\Delta \alpha = b - a$

式中 b ——回弹后制件的实际角度；

a ——模具的角度。

2) 回弹角的大小

单角 90° 自由弯曲时的回弹角见表 1-10。

表 1-10 单角 90° 自由弯曲时的回弹角

材料	r/t	材料厚度 t(mm)		
		<0.8	0.8~2	>2
低碳钢	<1	4°	2°	0°
黄铜 $\sigma_b=350\text{MPa}$	1~5	5°	3°	1°
铝、锌	>5	6°	4°	2°
中碳钢 $\sigma_b=400-500\text{MPa}$	<1	5°	2°	0°
硬黄铜 $\sigma_b=350-400\text{MPa}$	1~5	6°	3°	1°
硬青铜 $\sigma_b=350-400\text{MPa}$	>5	8°	5°	3°
高碳钢 $\sigma_b>550\text{MPa}$	<1	7°	4°	2°
	1~5	9°	5°	3°
	>5	12°	7°	6°

3) 影响回弹的因素和减少回弹的措施。

1, 材料的力学性能 回弹角的大小与材料的屈服点成正比，与弹性模量 E 成反比。

对于精度要求较高的钣金件，为了减少回弹，材料应该尽可能选择低碳钢，不选择高碳钢和不锈钢等。

- 2, 相对弯曲半径 r/t 越大，则表示变形程度越小，回弹角 $\Delta \alpha$ 就越大。这是一个比较重要的概念，钣金折弯的圆角，在材料性能允许的情况下，应该尽可能选择小的弯曲半径，有利于提高精度。特别是注意应该尽可能避免设计大圆弧，如图 1-23 所示，这样的大圆弧对生产和质量控制有较大的难度：

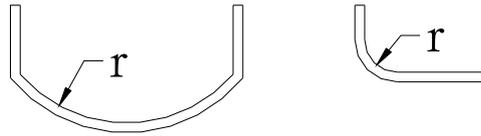


图 1-23 钣金的圆弧太大

1.3.2.4 一次折弯的最小折弯边的计算

L 形折弯的折弯时的起始状态如图 1-24 所示：

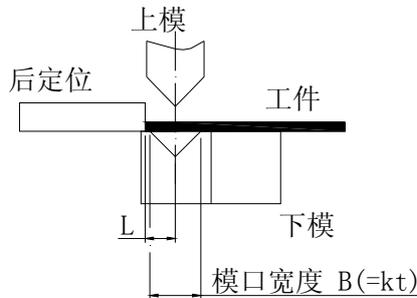


图 1-24 L 形折弯的折弯

这里很重要的一个参数是下模口的宽度 B 。由于考虑到折弯效果和模具强度，不同厚度的材料所需要的模口宽度存在一个最小值。小于该数值时，会出现折弯不到位或损坏模具的问题。经过实践证明，最小模口宽度和材料厚度的关系为。

$$B_{\min} = kT \quad \text{①}$$

B_{\min} 为最小模宽， T 为材料厚度，计算最小模口宽度时 $K=6$ 。目前厂家常用的折弯下模宽度的规格如下：

4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25

根据上面的关系式就可以确定不同的料厚在折弯时所需下模模口宽度的最小值。例如 1.5mm 厚的板材折弯时， $B=6*1.5=9$ 对照上面的模宽系列可以选择模口宽度为 10mm（或 8mm）的下模。从折弯的起始状态图可以看出折弯的边不能太短，结合上面的最小模口宽度，得到最短折弯边的计算公式为②：（见图 1-25 所示）

$$L_{\min} = \frac{1}{2}(B_{\min} + \Delta) + 0.5 \quad \text{（参考）} \quad \text{②}$$

L_{\min} 为最短折弯边， B_{\min} 为最小模口宽， Δ 为板材的折弯系数。

1.5mm 厚的板材折弯时，最短折弯边 $L_{\min} = (8+2.5) / 2 + 0.5 = 5.75\text{mm}$ (包括一个板厚)

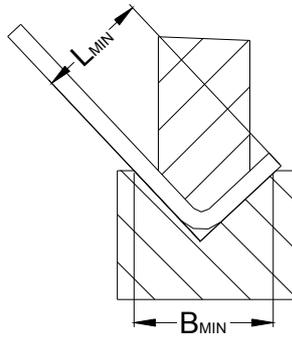


图 1-25 最小模口宽

表 1-11: 冷轧薄钢板材料折弯内 R 及最小折弯高度参考表

序号	材料厚度	凹模槽宽	凸模 R	最小折弯高度
1	0.5	4	0.2	3
2	0.6	4	0.2	3.2
3	0.8	5	0.8 或 0.2	3.7
4	1.0	6	1 或 0.2	4.4
5	1.2	8 (或 6)	1 或 0.2	5.5 (或 4.5)
6	1.5	10 (或 8)	1 或 0.2	6.8 (或 5.8)
7	2.0	12	1.5 或 0.5	8.3
8	2.5	16 (或 14)	1.5 或 0.5	10.7 (或 9.7)
9	3.0	18	2 或 0.5	12.1
10	3.5	20	2	13.5
11	4.0	25	3	16.5

注：1、最小折弯高度包含一个料厚。

2、当 V 形折弯是折弯锐角时，最短折弯边需加大 0.5。

3、当零件材料为铝板和不锈钢板时，最小折弯高度会有较小的变化，铝板会变小一点，不锈钢会大一点，参考上表即可。

1.3.2.5 Z 形折弯的最小折弯高度

Z 形折弯的折弯时的起始状态如图 1-26 所示：

Z 形折弯和 L 形折弯的工艺非常相似，也存在着最小折弯边问题，由于受下模的结构限制，Z 形折弯的最短边比 L 形折弯时还要大，Z 形折弯最小边的计算公式为：

$$L_{\min} = \frac{1}{2}(B_{\min} + \Delta) + D + 0.5 + T \quad (3)$$

L_{\min} 为最短折弯边， B_{\min} 为最小模宽， Δ 为板材的折弯系数， T 为料厚， D 为下模模口到边的结构尺寸，一般大于 5mm。

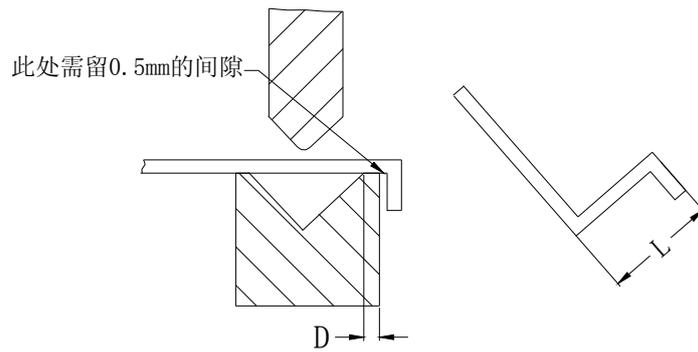


图 1-26 Z形折弯

不同材料厚度的钣金 Z 形折弯对应的最小折弯尺寸 L 如下表 1-12 所示：

表 1-12 Z形折弯的最小高度

序号	材料厚度	凹模槽宽	凸模 R	Z 形折弯高度 L
1	0.5	4	0.2	8.5
2	0.6	4	0.2	8.8
3	0.8	5	0.8 或 0.2	9.5
4	1.0	6	1 或 0.2	10.4
5	1.2	8 (或 6)	1 或 0.2	11.7 (或 10.7)
6	1.5	10 (或 8)	1 或 0.2	13.3 (或 12.3)
7	2.0	12	1.5 或 0.5	14.3
8	2.5	16 (或 14)	1.5 或 0.5	18.2 (或 17.2)
9	3.0	18	2 或 0.5	20.1
10	3.5	20	2	22
11	4.0	25	3	25.5

1.3.2.6 折弯时的干涉现象

对于二次或二次以上的折弯，经常出现折弯工件与刀具相碰出现干涉，如图 1-27 所示，黑色部分为干涉部分，这样就无法完成折弯，或者因为折弯干涉导致折弯变形。

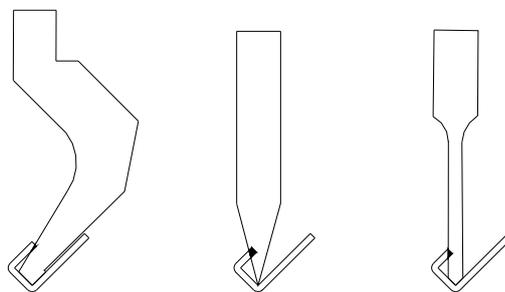


图 1-27 折弯的干涉

钣金折弯的干涉问题，不涉及到太多的技术，只要了解一下折弯模的形状和尺寸，在结构设计时注意避开折弯模就可以了。图 1-28 为常见的几种折弯刀的截面形状，在新修订的《钣金模具手册》都有介绍，并且在 intralink 库里也有对应的刀具实体，在设计没有把握的情况下，可以按照上图的原理，直接用刀具进行装配干涉检验。

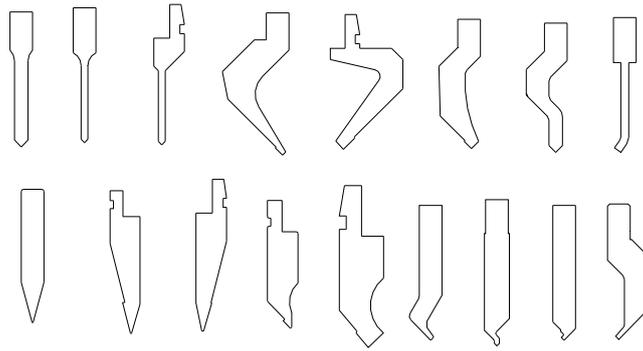


图 1-28 折弯刀

对于翻孔攻丝来说，如图 1-29 所示的 D 值不能设计得太小，最小 D 值可以根据材料厚度、翻孔外径、翻孔高度、所选折弯刀具等参数计算或作图得到。以 1.5mm 厚的折弯钢板上翻 M4 的翻孔攻丝为例， D 值应该大于 8mm，否则，折弯刀会碰伤翻边。

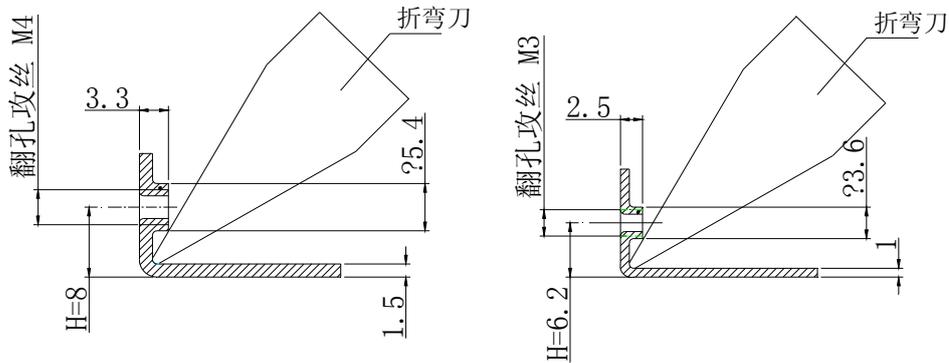


图 1-29 翻孔攻丝件的折弯

1.3.2.7 孔、长圆孔离折弯边最小距离

如图 1-30 所示折弯处孔边离折线太近，折弯时料无法带起，产生孔形状变形；因此，孔边与折弯线要求大于最小孔边距 $X \geq t+R$ 。

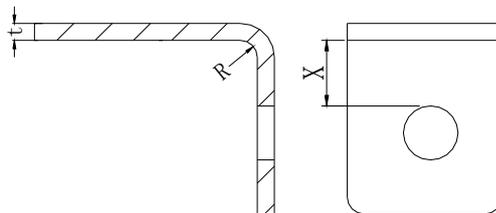


图 1-30 圆孔距折弯边最小距离

表 1-13 圆孔距折弯边最小距离

钣料厚度	0.6~0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5
最小距离 X	1.3	1.5	1.7	2.0	3	3.5

如图 1-31 所示长圆孔离折线太近，折弯时料无法带起，产生孔形状变形；因此，孔

边与折弯线要求大于最小孔边距按表 1-14，折弯半径参考表 1-9 折弯半径。

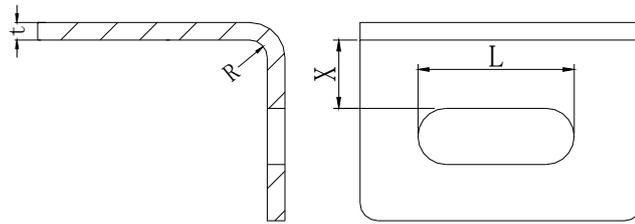


图 1-31 长圆孔距折弯边最小距离

表 1-14 长圆孔距折弯边最小距离

L	<26	26~50	>50
最小距离 X	2t+R	2.5t+R	3t+R

对不重要孔，可将孔扩大至折弯线，如图 1-32 所示，缺点：影响外观效果。

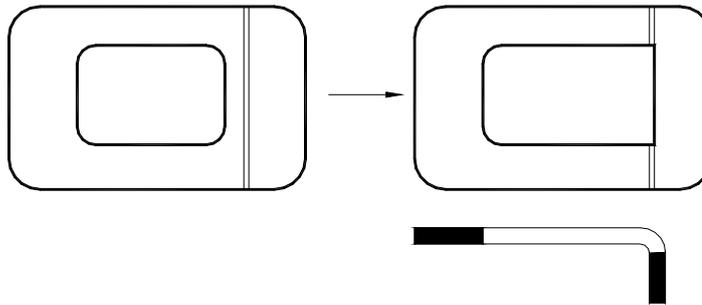


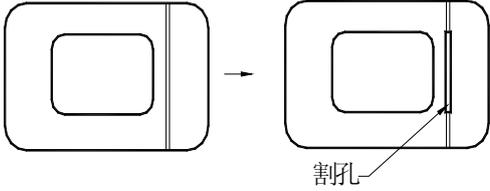
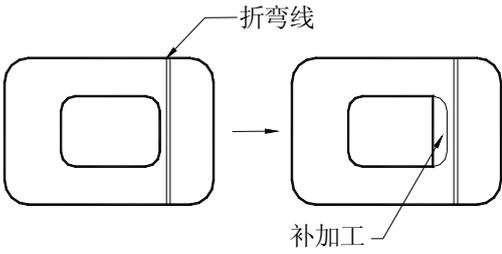
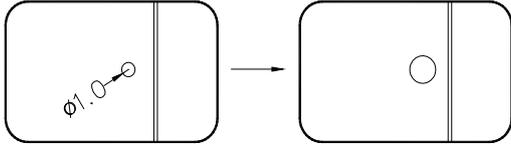
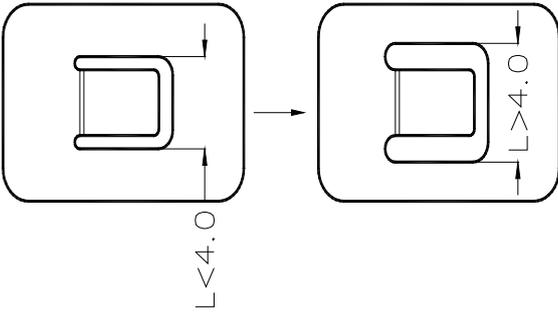
图 1-32 折弯改进设计

1.3.2.8 孔靠近折弯时的特殊加工处理

当靠近折弯线的孔距折弯线小于上述的最小距离时，折弯后会产生变形，此时可根据产品不同的要求，作如下表 1-15 方式来处理。但是，可以看到这些办法的工艺性较差，结构设计应该尽量避免。

表 1-15 孔靠近折弯时的特殊加工处理

<p>1) 折弯前压槽处理。在实际设计中，因为结构设计的需要，实际距离比上述距离还要小的情况，加工厂家往往采用折弯前压槽处理，如图 1-31 所示，其缺点是：折弯机压线处理，多一道工序，效率稍低，精度较低，原则上尽可能避免。</p>	
--	--

<p>2) 沿折弯线割孔或割线:</p> <p>当折弯线对工件外观无影响或可以接受时, 则以割孔改善其工艺性。</p> <p>缺点: 影响外观效果, 并且因为割线或者割窄槽时, 一般仔需要用激光机切割。</p>	
<p>3) 在靠近折弯线的孔边折弯后补加工至设计尺寸, 当要求保证孔边距时, 可按此方式处理。一般这种二次去料不能在冲床上完成, 只能在激光切割机上完成二次切割, 定位麻烦, 这种加工的成本很高。</p>	
<p>4) 折弯后扩孔处理</p> <p>只有一个或几个像素孔到折弯线的距离小于最小孔距, 产品外观要求严格时, 为了避免折弯时拉料, 此时可对像素进行缩孔处理, 即在折弯前先割出一小同心圆 (一般为$\Phi 1.0$), 折弯后扩孔至原尺寸。</p> <p>缺点: 工程数多, 效率低;</p>	
<p>5) 折弯机上模的最小宽度为4.0mm (目前), 受此限制, 工件内部的折弯加工部分孔口不得小于4.0mm, 否则须将孔口扩大或考虑用易模成形。</p> <p>缺点: 制作易模效率低, 易模生产效率低; 扩孔影响外观;</p>	

1.3.2.9 弯曲件的工艺孔、工艺槽和工艺缺口

在设计弯曲件时, 如果弯曲件须将弯边弯曲到毛坯内边时, 一般应事先在落料后加冲工艺孔、工艺槽或工艺缺口如图 1-33 所示。

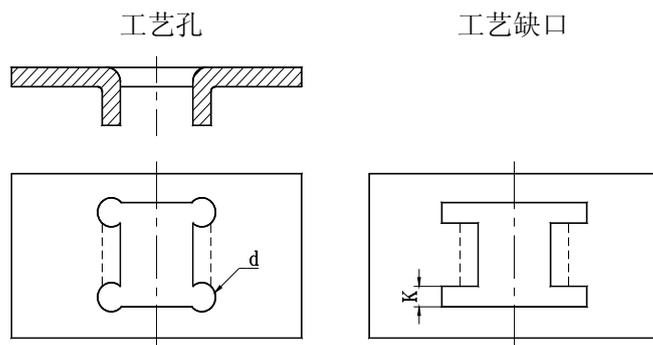


图 1-33 加冲工艺孔、工艺槽或工艺缺口

d—工艺孔的直径， $d \geq t$ ；

K—工艺缺口的宽度， $K \geq t$ 。

止裂槽或切口：一般情况下，对于一条边的一部分折弯，为了避免撕裂和畸变，**应开止裂槽或切口**。特别是对于**内弯角小于 60 度的弯曲**，更需要开止裂槽或切口。切口宽度一般大于板厚 t ，切口深度一般大于 $1.5t$ 。

1-34 中图 b 较图 a 折弯更合理。

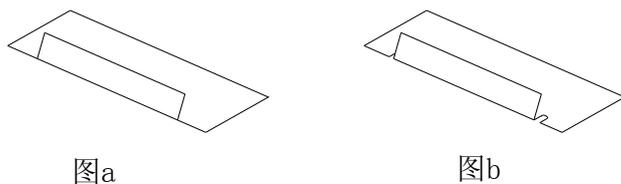


图 1-34 开止裂槽或切口的折弯

工艺槽、工艺孔要正确处理，面板及外观能看得到的工件可不加折弯拼角工艺孔（如面板在加工过程中，为保持统一风格，均不设工艺缺口），其它应加折弯拼角工艺孔。如图 1-35 所示。

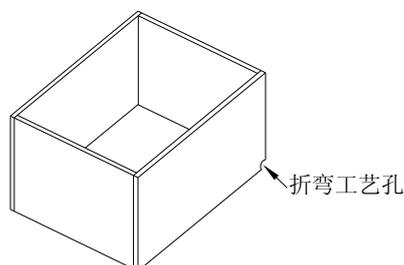


图 1-35 折弯拼角工艺孔

1.3.2.10 90 度方向的折弯搭接的间隙规定：

图纸设计时，对于没有特殊要求，不要标注 90 度方向的折弯搭接之间的间隙，一些不合理的间隙标注，反而影响加工厂家的工艺设计。加工厂家一般按照 $0.2 \sim 0.3$ 的间隙进行工艺设计。如图 1-36 所示：

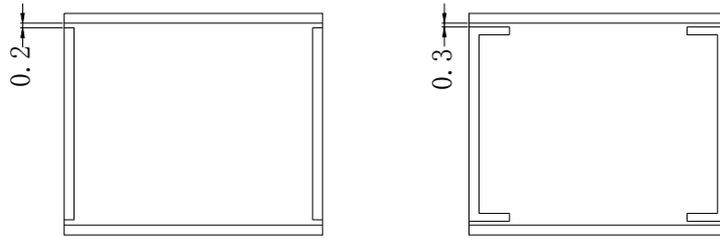


图 1-36 折弯搭碰的间隙

1.3.2.11 突变位置的折弯

折弯件的折弯区应避开零件突变的位置，折弯线离变形区的距离 L 应大于弯曲半径 r ，即 $L \geq r$ ，如图 1-37。

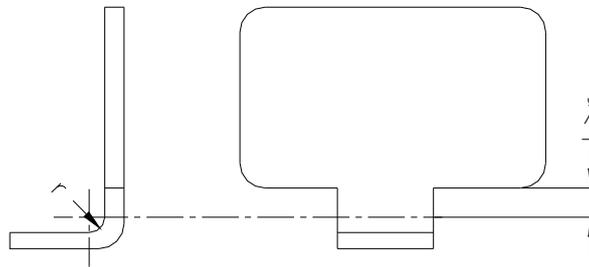


图 1-37 折弯区应避开零件突变的位置

1.3.2.12 一次压死边

一次压死边的方法：如图 1-38 所示，先用 30 度折弯刀将板材折成 30 度，再将折弯边压平。

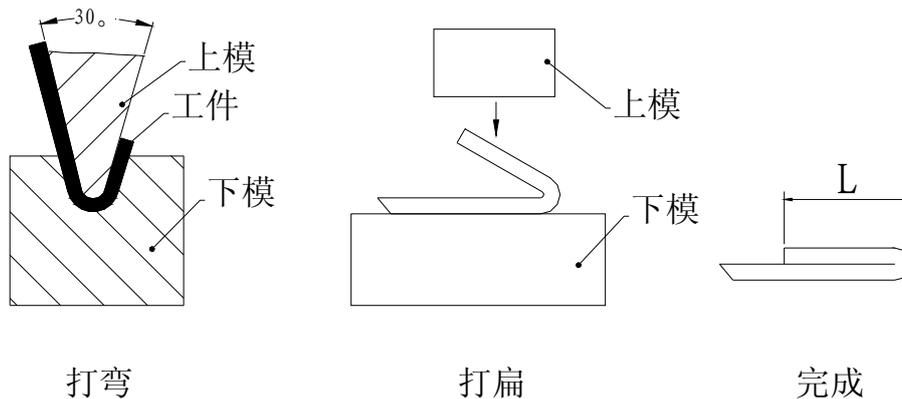


图 1-38 压死边的方法

图中的最小折弯边尺寸 L 按照 1.3.2.2 中描述的一次折弯边的最小折弯边尺寸加 $0.5t$ (t 为材料厚度)。压死边一般适用于板材为不锈钢、镀锌板、覆铝锌板等。电镀件不宜采用，因为压死边的地方会有夹酸液的现象。

1.3.2.13 180 度折弯：

180 度折弯的方法：如图 1-39 所示，先用 30 度折弯刀将板才折成 30 度，再将折

弯边压平，压平后抽出垫板。

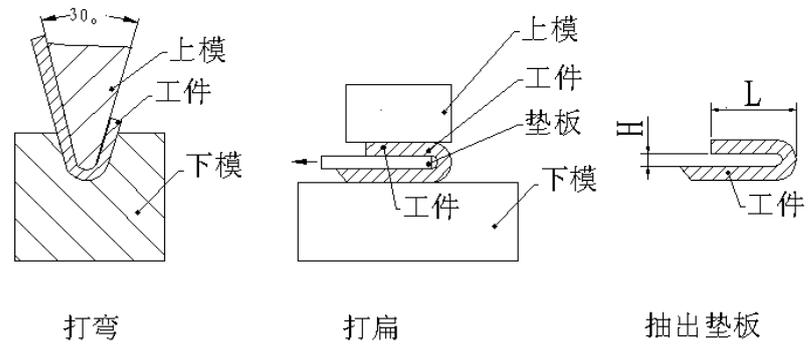


图 1-39 180 度折弯的方法

图中的最小折弯边尺寸L按照 1.3.2.2 中描述的一次折弯边的最小折弯边尺寸加 t (t 为材料厚度)，高度 H 应该选择常用的板材，如 0.5、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0，一般这个高度不宜选择更高的尺寸。

1.3.2.14 三重折叠压死边:

如图 1-40 所示，先折形，再折死边。设计时注意各部分尺寸，保证各加工步骤满足最小折弯尺寸，避免不必要的后期加工。

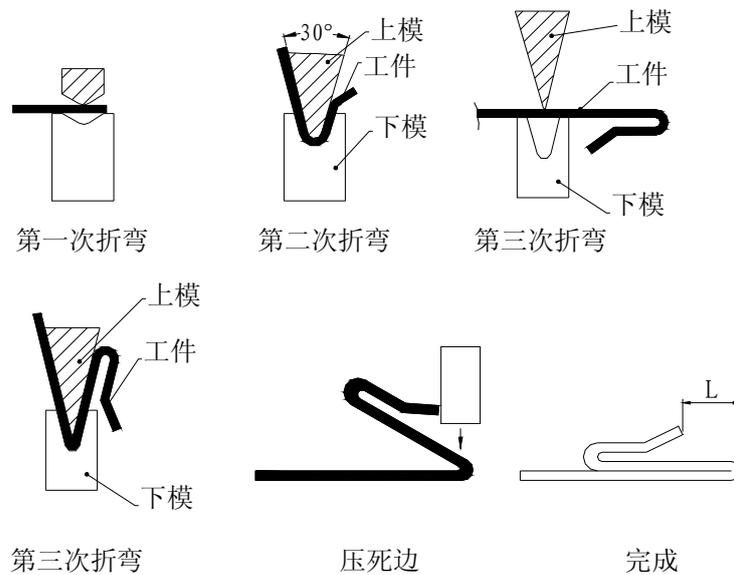


图 1-40 三重折叠压死边

表 1-16 最后折弯边压平所需最小承压边尺寸

料厚	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5
承压边尺寸 L	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0

1.4 钣金件上的螺母、螺钉的结构形式

1.4.1 铆接螺母

铆接螺母常见的形式有压铆螺母柱、压铆螺母、涨铆螺母、拉铆螺母、浮动压铆螺母

1.4.1.1 压铆螺母柱

压铆就是指在铆接过程中，在外界压力下，压铆件使基体材料发生塑性变形，而挤入铆装螺钉、螺母结构中特设的预制槽内，从而实现两个零件的可靠连接的方式，压铆的非标螺母有两种，一种是压铆螺母柱，一种是压铆螺母。采用此种铆接形式实现与基材的连接，此种铆接形式通常要求铆接零件的硬度要大于基材的硬度。普通低碳钢、铝合金板、铜板板材适合于压接压铆螺母柱，对于不锈钢和高碳钢板材因为材质较硬，需要特制的高强度的压铆螺母柱，不仅价格很高，而且压接困难，压接不牢靠，压接后容易脱落，厂家为了保证可靠性，常常需要在螺母柱的侧面加焊一下，工艺性不好，因此，有压铆螺母柱和压铆螺母的钣金零件尽可能不采用不锈钢。包括压铆螺钉、压铆螺母也是这种情况，不合适在不锈钢板材上使用。

压铆螺母柱的压接过程如图 1-41 所示：

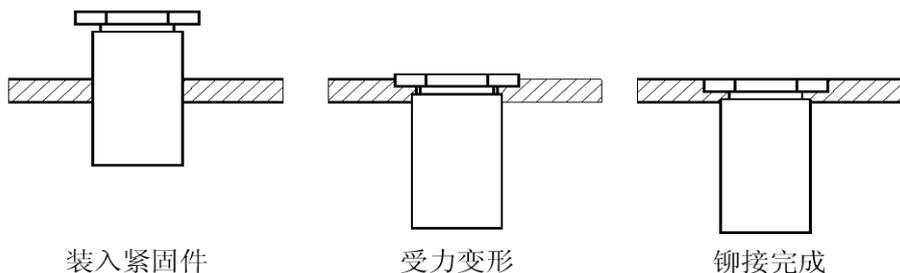


图 1-41 压铆过程示意图

1.4.1.2 压铆螺母

压铆螺母的压接过程如图 1-42 所示：

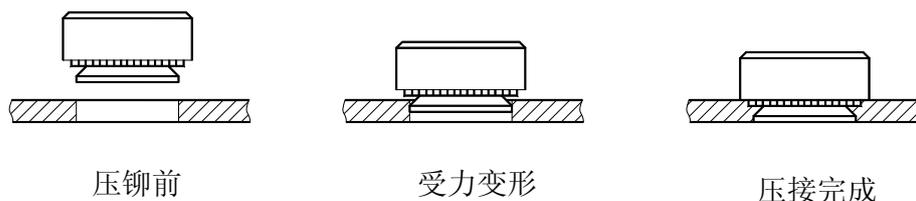


图 1-42 压铆过程示意图

1.4.1.3 涨铆螺母

涨铆就是指在铆接过程中，铆装螺钉或螺母的部分材料在外力作用下发生塑性变形，与基体材料形成紧配合，从而实现两个零件的可靠连接的方式。常用的 ZRS 等等就是采用此种铆接型式实现与基材的连接的。涨铆工艺比较简单，连接强度较低，通常用在对紧固件高度有限制，且承受扭距不大的情况。如图 1-43 所示：

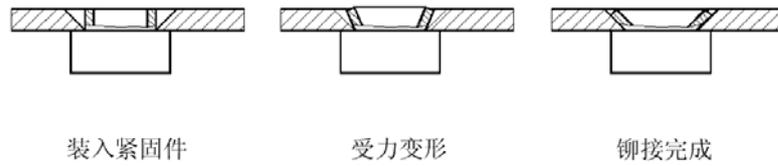


图 1-43 涨铆过程示意图

1.4.1.4 拉铆螺母

1) 拉铆是指在铆接过程中，铆接件在外界拉力的作用下，发生塑性变形，其变形的部位通常在专门设计的部位，靠变形部位夹紧基材来实现可靠的连接。常用的拉铆螺母就是采用此种铆接型式实现与基材的连接的。拉铆使用专用的铆枪进行铆接，多用在安装空间较小，无法使用通用铆接工装的情况，例如封闭的管材。如图 1-44 所示：

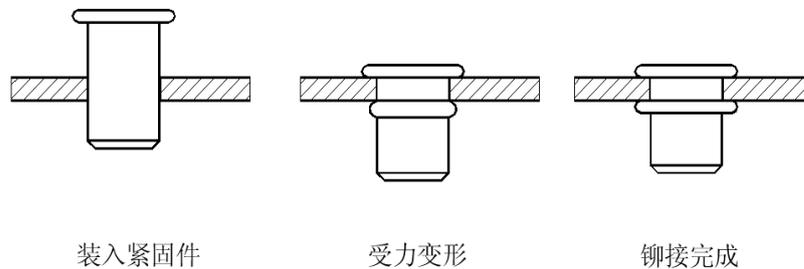


图 1-44 拉铆过程示意图

1.4.1.5 浮动压铆螺母

有些钣金结构上的铆装螺母，因为整体机箱结构复杂，结构的积累误差太大，以致这些铆装螺母的相对位置误差很大，造成其它零件装配困难，在相应的压铆螺母位置上采用压铆式浮动螺母后，很好的改善了这一情况。如图 1-45 所示：（注意事项：压铆位置一定要有足够空间）

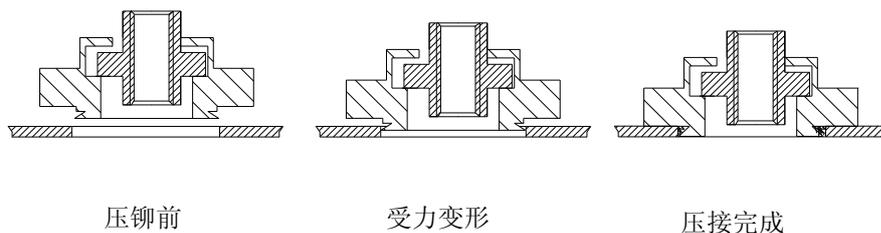


图 1-45 浮动压铆螺母压入过程示意图

1.4.1.6 涨铆螺母或压铆螺母到边距离

涨铆螺母或压铆螺母都是通过对板料的挤压使之与板料铆合在一起，涨铆或压铆时如到边的距离太近，则容易使此部分变形，无特殊要求时，铆装紧固件中心线与板边缘最小距离应该大于 L ，见图 1-46，否则必须使用专用夹具防止板的边缘受力变形。 L 的大小参见新的《非标紧固件》手册，每种非标紧固件的 L 值都有详细描述。

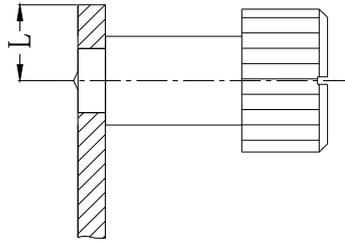


图 1-46 中心线与板边缘最小距离

1.4.1.7 影响铆接质量的因素

影响铆接质量的因素很多，总结下来，主要有以下几个：基材性能，底孔尺寸，铆接方式。

- 1) 基材性能。基材硬度适当时，铆接质量较好，铆接件的受力较好。
- 2) 底孔尺寸。底孔尺寸的大小直接影响铆接的质量，开大了，基材和铆接件的间隙大，对于压铆来讲，不能有足够的变形来填满铆接件上的沟槽，使剪切受力不足，直接影响压铆螺母（钉）的抗推力。对于涨铆螺钉来讲，底孔太大，铆接过程中由塑性变形而产生的挤压力变小，直接影响涨铆螺钉（母）的抗推力和抗扭力。对拉铆相同，底孔太大，使塑性变形后两件之间的有效摩擦力减小，影响铆接的质量。底孔尺寸小，虽然在一定程度上可以增加铆接的承力，但是容易造成铆接外观质量差，铆接力大，安装不便、易造成底板变形等缺点，影响铆接工作的生产效率和铆接的质量。
- 3) 铆接方式。在上一节中已经有所介绍。

铆装螺钉、螺母在使用的过程中要非常注意其所在的场合，不同的场合，不同的受力要求，就要采用不同的型式。如果采用的不合适，就会降低铆装螺钉、螺母的受力范围，造成连接的失效。下面举几个例子来说明正常情况下的正确使用方法。

- 1) 不要在铝板阳极氧化或表面处理之前安装钢或不锈钢铆装紧固件。
- 2) 同一直线上压铆过多，被挤压的材料没有地方可流动，会产生很大的应力，使工件弯曲成弧形
- 3) 尽量保证在板的表面镀覆处理后再安装铆装紧固件。
- 4) M5、M6、M8、M10 的螺母一般要点焊，太大的螺母一般要求强度较大，可采用弧焊，M4（含 M4）以下尽量选用涨铆螺母，如是电镀件，可选用未电镀的涨铆螺母。
- 5) 当在折弯边上铆压螺母时，为保证铆压螺母的铆接质量，需注意 1、铆孔边到折弯边的距离必须大于折弯的变形区。2、铆装螺母中心到折弯边内侧的距离 L 应大于铆装螺母外圆柱半径与折弯内半径之和。即 $L > D/2 + r$ 。

1.4.2 凸焊螺母

凸焊螺母（点焊螺母）在钣金件结构设计中应用非常广泛，在公司的结构设计中，也经常用到，但是，很多设计中，预孔的大小没有按照标准，是无法准确定位的。国家标准的凸

焊螺母有两种，一种是焊接六角螺母 GB13680-92，定位比较粗糙，定位尺寸不准确，焊接后经常需要对螺纹回丝；另外一种焊接六角螺母 GB13681-92，焊接时有自定位结构，推荐采用这种结构。其结构型式和尺寸按图 1-47 和图 1-48，焊接用钢板焊接前的孔径 D_0 与板厚 H 的推荐值按表 1-17 的规定。

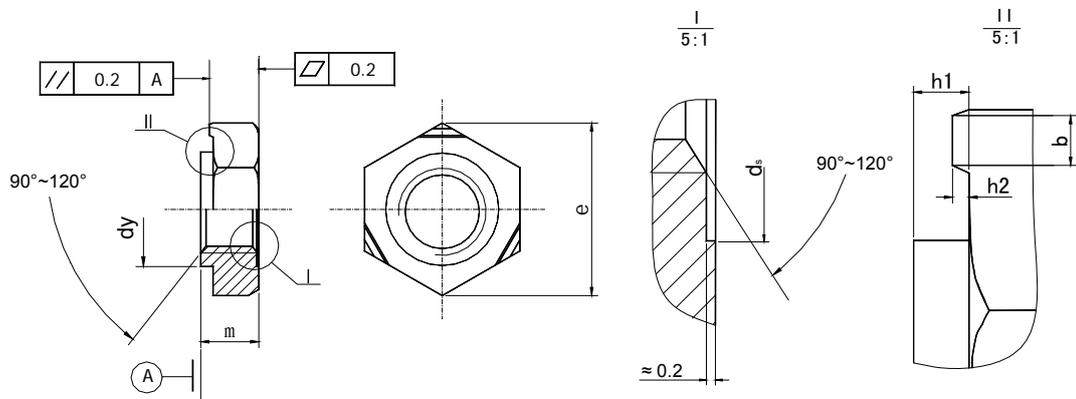


图 1-47 焊接六角螺母 GB13681-92 结构型式

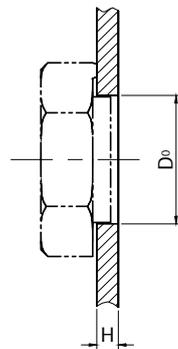


图 1-48 焊接六角螺母与钢板的焊接

表 1-17 焊接六角螺母 GB13681-92 尺寸和对应钢板的开孔厚度 (mm)

螺纹规格 (D 或 $D \times P$)		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
		—	—	—	M8×1	M10×1	M12×1.5	M16×1.5
		—	—	—	—	(M10×1.25)	(M12×1.25)	—
e	min	9.83	10.95	12.02	15.38	18.74	20.91	26.51
	max	5.97	6.96	7.96	10.45	12.45	14.75	18.735
dy	min	5.885	6.87	7.87	10.34	12.34	14.64	18.605
	max	0.65	0.70	0.75	0.90	1.15	1.40	1.80
h1	min	0.55	0.60	0.60	0.75	0.95	1.20	1.60
	max	0.35	0.40	0.40	0.50	0.65	0.80	1.0
h2	min	0.25	0.30	0.30	0.35	0.50	0.60	0.80
	max	3.5	4	5	6.5	8	10	13
m	min	3.2	3.7	4.7	6.14	7.64	9.64	12.3

D0	max	6.075	7.09	8.09	10.61	12.61	14.91	18.93
	min	6	7	8	10.5	12.5	14.8	18.8
H	max	3	3.5	4	4.5	5	5	6
	min	0.75	0.9	0.9	1	1.25	1.5	2

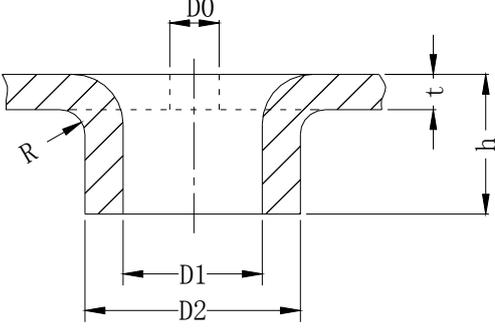
注：尽可能不采用括号内的规格。

1.4.3 翻孔攻丝

翻孔攻丝的预孔、外径、高度等列表：

1.4.3.1 常用粗牙螺纹翻孔尺寸

表 1-18 常用粗牙螺纹翻孔尺寸

						
螺纹直径 M	材料厚度 t	翻孔内径 D1	翻孔外径 D2	翻孔总高 h	预冲孔直径 D0	翻孔圆角半径
M2.5	0.6	2.1	2.8	1.2	1.4	0.3
	0.8		2.8	1.44	1.5	0.4
	1		2.9	1.8	1.2	0.5
	1.2		2.9	1.92	1.3	0.6
M3	1	2.55	3.5	2	1.4	0.5
	1.2		3.5	2.16	1.5	0.6
	1.5		3.5	2.4	1.7	0.75
M4	1	3.35	4.46	2	2.3	0.5
	1.2		4.5	2.16	2.3	0.6
	1.5		4.65	2.7	1.8	0.75
	2		4.56	3.2	2.4	1
M5	1.2	4.25	5.6	2.4	3	0.6
	1.5		5.75	3	2.5	0.75
	2		5.75	3.6	2.7	1
	2.5		5.75	4	3.1	1.25

1.4.3.2 翻孔攻丝到折弯边的最小距离

表 1-19 翻孔攻丝中心到折弯边距离 H 值对照表：

料厚度 螺纹直径	1.0	1.2	1.5	2.0
M3	6.2	6.6	-	-
M4		7.7	8	-
M5	-	7.6	8.4	-

1.4.4 涨铆螺母、压铆螺母、拉铆、翻孔攻丝的比较

表 1-20 涨铆螺母、压铆螺母、拉铆、翻孔攻丝的比较

连接方式	涨铆螺母	压铆螺母	拉铆	翻孔攻丝
特点				
加工性	好	好	好	一般
板材要求	不锈钢铆装易脱落	不锈钢铆装很差，要使用特制压铆螺母，且要点焊	无	薄板及铜、铝软材易滑牙
精度	好	好	好	一般
耐用性	好	好	好	铜、铝软材差，其它材料螺纹有 3~4 扣以上好
成本	高	高	一般	底
质量	好	好	好	一般

1.5 钣金拉伸

1.5.1 常见拉伸的形式和设计注意事项

钣金件的拉伸如图 1-50 所示，

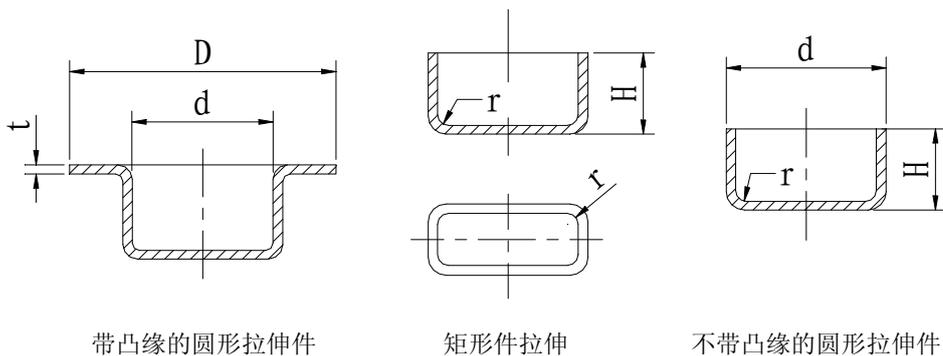


图 1-50 钣金拉伸设计

钣金件的拉伸注意事项：

- 1、拉伸件的底与壁之间的最小圆角半径应大于板厚，即 $r_1 > t$ ；为了使拉伸进行得更顺利，一般取 $r_1 = (3 \sim 5)t$ ，最大圆角半径应小于板厚的 8 倍，即 $r_1 < 8t$ 。
- 2、拉伸件凸缘与壁之间的最小圆角半径应大于板厚的 2 倍，即 $r_2 > 2t$ ；为了使拉伸进行得更顺利，一般取 $r_2 = 5t$ ，最大圆角半径应小于板厚的 8 倍，即 $r_1 < 8t$ 。

- 3、圆形拉伸件的内腔直径应取 $D \geq d + 12t$ ，以便在拉伸时压板压紧不致起皱。
- 4、矩形拉伸件相邻两壁间的最小圆角半径应取 $r_3 \geq 3t$ ，为了减少拉伸次数，尽可能取 $r_3 \geq 1/5H$ ，以便一次拉伸完成。
- 5、拉伸件由于各处所受应力不同，使拉伸后，材料厚度发生变化。一般，底部中央保持原来厚度，底部圆角处材料变薄，顶部靠近凸缘处材料变厚；矩形拉伸件四周圆角处材料变厚。在设计拉伸产品时，在图纸上明确注明必须保证外部尺寸或内外部尺寸，不能同时标注内外尺寸。
- 6、拉伸件之材料厚度，一般都考虑工艺变形中的上下壁厚不相等的规律（即上厚下薄）。
- 7、圆形无凸缘拉伸件一次成形时，高度 H 和直径 d 之比应小于或等于 0.4。

1.5.2 打凸的工艺尺寸

1.5.2.1 在钣金上打凸需参照以下数据：

在钣金上打凸的形状和尺寸，《钣金模具手册》上规定了几种系列尺寸，Intralink 库中有相应的 Form 模型，设计时应按照手册规定的尺寸选用，直接调用库里的 Form 模具。

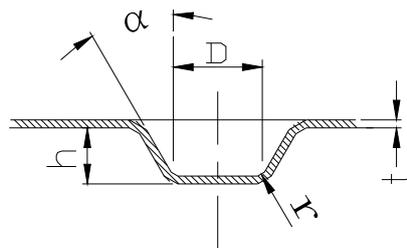


图 1-51 钣金上打凸

1.5.2.2 打凸间距和凸边距的极限尺寸

表 1-21 打凸间距和凸边距的极限尺寸

简图	L	B	D
	6.5	10	6
	8.5	13	7.5
	10.5	15	9
	13	18	11
	15	22	13
	18	26	16
	24	34	20
	31	44	26
	36	51	30
	43	60	35
	48	68	40
55	78	45	

1.5.3 局部沉凹与压线

如 1-52 所示，在钣金上冲 0.3 深的半切压凹，可作为标贴等的粘贴位，可以提高标贴的可靠性，《钣金模具手册》上规定了与铭牌对应的系列尺寸，Intralink 库中有相应的 Form 模型，设计时应按照手册规定的尺寸选用，直接调用库里的模具。此种半切压凹，变形比正常的拉伸要小的多，但是，对于四周没有折弯或者折弯高度较小的大面积盖板和底板等零件，还是有一定的变形。替代方法：可以在贴标贴范围冲压两直角线，可改善变形，但标贴粘贴的可靠性降低，此方法还可用于产品编码、生产日期、版本、甚至图案等加工。

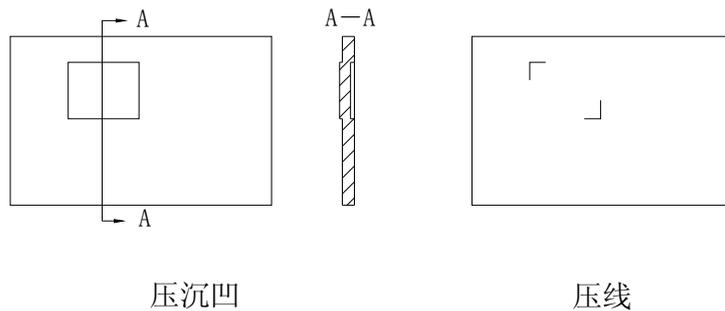


图 1-52 沉凹与压线

1.5.4 加强筋

在板状金属零件上压筋，见示意图 1-53，有助于增加结构刚性，加强筋形状及尺寸应按照《钣金模具手册》上规定的五种规格选用。

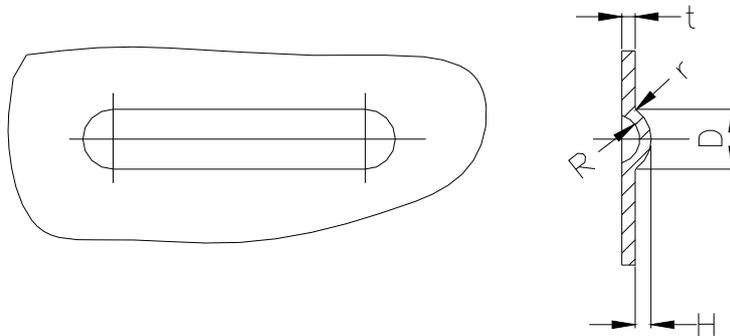


图 1-53 加强筋示意结构

1.5.5 标注弯曲件相关尺寸时，要考虑工艺性

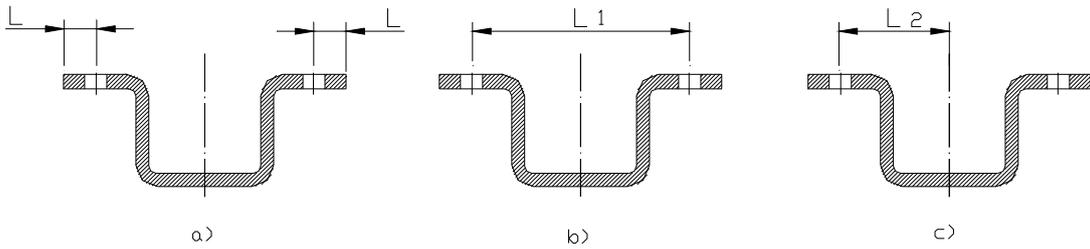


图 1-54 弯曲件标注示例

如图 1-54 所示， a) 先冲孔后折弯，L 尺寸精度容易保证，加工方便。b) 和 c) 如果尺寸 L 精度要求高，则需要先折弯后加工孔，加工非常麻烦，最好不采用。

1.6 其它工艺

1.6.1 抽孔铆接

抽孔铆接是钣金之间的铆接铆接方式，主要用于涂层钢板或者不锈钢板的连接，采用其中一个零件冲孔，另一个零件冲孔翻边，通过铆接使之成为不可拆卸的连接体。优点:翻边与直孔相配合，本身具有定位功能，铆接强度高，通过模具铆接效率也比较高，具体方式如图 1-55 所示:

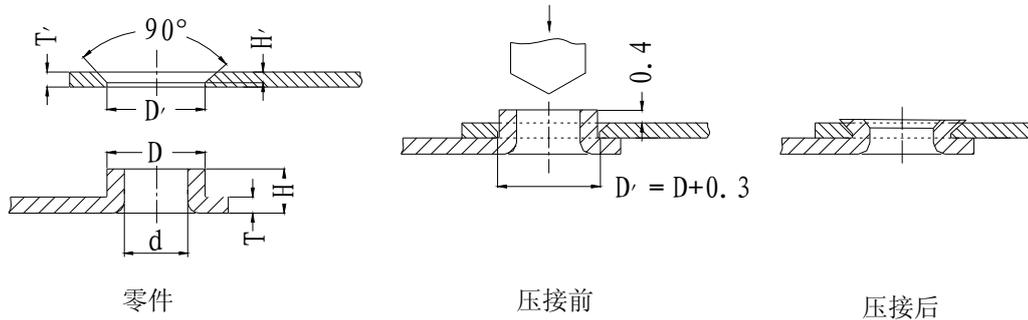


图 1-55 抽孔铆接

表 1-22 抽孔铆接尺寸

参数 序号	料厚 T (mm)	翻边 高 H (mm)	翻边外径 D(mm)											
			3.0		3.8		4.0		4.8		5.0		6.0	
			对应直孔内径 d 和预冲孔 d0											
			d	d0	d	d0	d	d0	d	d0	d	d0	d	d0
1	0.5	1.2	2.4	1.5	3.2	2.4	3.4	2.6	4.2	3.4				
2	0.8	2.0	2.3	0.7	3.1	1.8	3.3	2.1	4.1	2.9	4.3	3.2		
3	1.0	2.4					3.2	1.8	4.0	2.7	4.2	2.9	5.2	4.0

4	1.2	2.7					3.0	1.2	3.8	2.3	4.0	2.5	5.0	3.6
5	1.5	3.2					2.8	1.0	3.6	1.7	3.8	2.0	4.8	3.2

注：配合一般原则 $H=T+T'+(0.3\sim 0.4)$

$D=D'-0.3$ ；

$D-d=0.8T$

当 $T\geq 0.8\text{mm}$ 时，翻边孔壁厚取 $0.4T$ 。

当 $T<0.8\text{mm}$ 时，通常翻边孔壁厚取 0.3mm 。

H 通常取 0.46 ± 0.12

1.6.2 托克斯铆接

在钣金铆接方式中，还有一种铆接方式就是托克斯铆接，其原理就是两个板叠放在一起，如图 1-56 所示，利用模具进行冲压拉伸，主要用于涂层钢板或者不锈钢板的连接，它具有节省能源、环保、效率高等优点，以前通讯行业的机箱中采用这种铆接较多，但批量生产的质量控制较为困难，现在已经应用较少，不推荐采用。

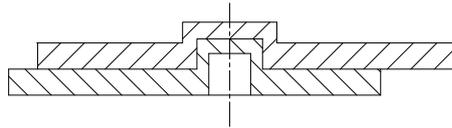


图 1-56 托克斯铆接

1.7 沉头的尺寸统一

1.7.1 螺钉沉头孔的尺寸

螺钉沉头孔的结构尺寸按下表选取。对于沉头螺钉的沉头座，如果板材太薄，难以同时保证过孔 d_2 和沉孔 D ，应优先保证过孔 d_2 。

用于沉头螺钉之沉头座及过孔：(选择的板材厚度 t 最好大于 h)

表 1-23 螺钉沉头孔的尺寸

	d1	M2	M2.5	M3	M4	M5
	d2	Φ2.2	Φ2.8	Φ3.5	Φ4.5	Φ5.5
	D	Φ4.0	Φ5.0	Φ6.0	Φ8.0	Φ9.5
	h	1.2	1.5	1.65	2.7	2.7
	优选最小板厚	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0
	α	90°				

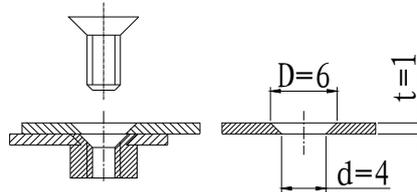
1.7.2 孔沉头铆钉的沉头孔的尺寸的统一

表 1-24 孔沉头铆钉的沉头孔的尺寸

	d1	Φ2	Φ2.5	Φ3	Φ4	Φ5
	d2	Φ2.2	Φ2.7	Φ3.3	Φ4.3	Φ5.3
	D	Φ4.0	Φ5.0	Φ5.5	Φ7.0	Φ9.0
	h	1	1.1	1.2	1.6	2
	α	120°				

1.7.3 沉头螺钉连接的薄板的特别处理

采用 M3 沉头螺钉完成钣金与钣金的连接，如果开沉孔的板厚的厚度尺寸为 1mm，按照常规的办法，是有问题的，但在实际设计中，大量遇到此类问题，下面采用涨铆螺母，沉孔的直径为 6mm，可以有效完成连接，如图所示，这种尺寸在箱体插箱中大量采用。特别需要注意的是，这种连接方式要求下面是涨铆螺母。压铆螺母和翻孔攻丝不能完成紧固连接。



安装示意图 沉孔尺寸

图 1-57 薄板的沉头螺钉连接

为了规范此类尺寸，d/D 应按照如下尺寸：

表 1-25 薄板沉头孔的统一

钢板厚度	1	1.2	1.5
M3	4/6	3.6/6.0	3.5/6
M4	---	---	5.8/8.8