

互换性公差设计应用例

文 | 陈铭德

企业公司经营产品皆以期望设计出高品质、制作加工、组立装配、售后维修均运作顺利无碍，才有机会享受获利之成果。因此设计要求零件最好能达到全互换性，组装产线才能顺畅，相对质量良率亦可完全掌控。

设计部门应以零件具互换性为目标，每个零件图均具有互换性元素，让后续制作加工有易制性之感受，组装产线可依公司规定之工时效率达成，多少零件就可组装出多少套部件与产品，不浪费一个零件。

气候天灾变异，无人可预测可避免，但如自身产品已有互换性设计考虑，经营者可借第二、三供货商化解临时性地区之地震、台风、火灾或工运罢工抗议等损失，维持稳定出货，甚至应付临时急单需求，不乱阵脚。假如零件只依赖一家供应，好处是遇到质量纠纷，只要找他解决就可以。坏处是细节怎样改，不清楚甚至不过问，只要承制商有改善就好。另外；如碰上天灾，生产供应就

挂了，但同业可能不受影响照样出货，只能干瞪眼，错失商机。唯一能救援的法宝只剩自己设计图是否有互换性，可借由找其他制作商紧急加工，一样可顺利组装成部件或产品，化解危机。因为不同承制商之零件仍可顺利组装，甚至连防锈表面处理之颜色、厚度亦均一致，零件价格亦较稳定不受单一供货商任意调价影响。

机制产业任何产品之零部件配合常见之三种情况

第一种情况，如已知轴孔配之间隙（模拟分析或实品量测结果），则可依 ISO 相关公差数学关系式计算，获得上、下偏差。如实品量测尺寸，不可当作设计尺寸，因已隐含制作加工误差，不知偏向上限或下限，只表示符合原始设计公差范围之内而已，建议应依间隙范围，计算轴孔件之尺寸与公差。

第二种情况，只知公称尺寸，以孔件为例，先选定基孔制，可得下偏差为

零，而上偏差依 ISO 级别与等别可获得，并配赋予正位度公差值，可依动态公差图可获得于 MMC 情况之几何公差正位度值，再依零公差 (Zero tolerance) 原则，获得正位度为零之制作尺寸范围，最后就可得到配合轴件之尺寸公差与几何公差，间隙不致过大，并可达到易制性及可互换性。

第三种情况已知最佳间隙范围，先依孔件 功能尺寸及几何公差 (正位度) 可依动态公差图，可获得于 MMC 情况之几何公差 (正位度) 值，再依零公差原则则得到配合轴件在最严苛组装情况之几何公差 (正位度)。

经由轴径公称尺寸与公差，设计配合孔件互换性公差之步骤

已知一轴径 $\psi 0.2500-0.0015$ ，其正位度为，需设计一孔径能 100% 被轴径工件顺利组配。假设两工件长度一样等长，暂设尺寸公差值与几何公差值皆相同，则孔径 应设计多少才能满足互

表 1 轴径尺寸与正位度变异关系

项次	轴径 ψ	正位度 ψ	红利公差 ψ	总公差 ψ
1	0.2500 MMC	0.001	0	0.001
2	0.2459	0.001	0.0005	0.0015
3	0.249	0.001	0.001	0.002
4	0.2485 LMC	0.001	0.015	0.0025

表 2 轴径尺寸与零正位度变异关系

项次	轴径 ψ	正位度 ψ	红利公差 ψ	总公差 ψ
1	0.2510 MMC	0	0	0
2	0.2505	0	0.0005	0.0005
3	0.2500	0	0.001	0.001
4	0.2495	0	0.0015	0.0015
5	0.2490	0	0.002	0.002
6	0.2485 LMC	0	0.0025	0.0025

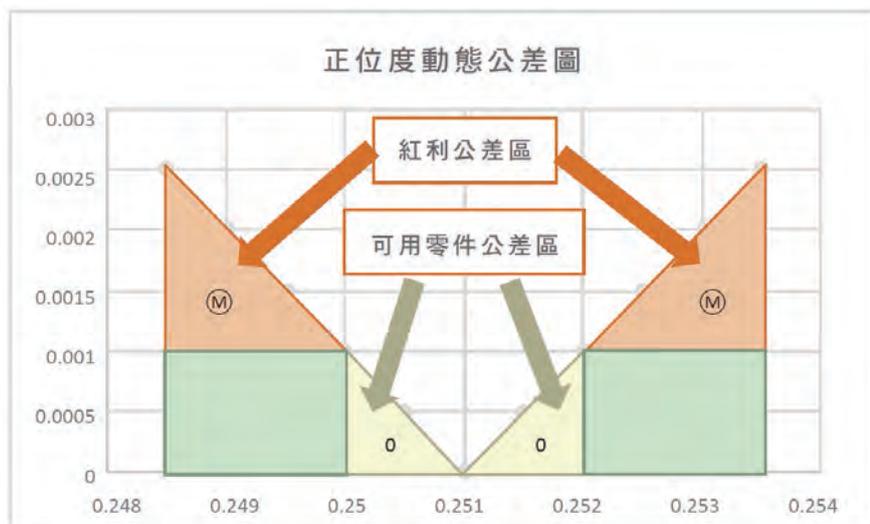


图 1 轴孔配合之尺寸与正位度动态公差图

换性? (单位 inch.)

第一步, 数学计算法说明, 于虚拟情况 (可达情况、实效情况 Virtual condition, VC) 下, 轴外径在 MMC = $\psi 0.2500 + 0.0010 = \psi 0.2510$ 。

同样 VC 情况下, 孔内径在 MMC = 公称尺寸 - 0.0010 = 0.2510 (轴外径在 MMC), 则孔内径在 MMC 之公称尺寸 = $\psi 0.2520$, 得孔径 $\psi 0.2520 + 0.0015$, 其正位度为 $\psi 0.001$ 。将轴径之外径尺寸与几何公差展开如表 1 (inch.)。

第二步将几何公差值降为 0, 即所谓之零公差, 并将等量数值移至尺寸公差上, 成为 $\psi 0.2510 \sim 0.0025$, 其正位度 $\psi 0$, 换言之: 展开后如表 2, 总公差维持 $\psi 0.0025$ 不变。

第三步即可轻松依照轴径斜率复制翻转至右侧, 如图 1 所示, 可得组配孔径之尺寸与几何公差数据。另外: 如在 CAD 软件先将 2D 坐标以 1:1 划好横轴与纵轴, 再于正位度为 0 点做一条垂直虚线, 最后点选轴件之动态公差线做镜射, 立可获得互换性配合零件之动态公差线, 轻松读出孔径尺寸与公差。

从图 1 横轴为轴外径 (或孔内径) 尺寸, 纵轴为几何公差正位度, 可读出孔径工件之内径为 $\psi 0.251 \sim \psi 0.2535$, 其正位度为 $0 \sim 0.0025$, 换成制图标示为 $\psi 0.2510 + 0.0025$, 正位度 $\psi 0$, 展开后如表 3。另外: 亦可标示为 $\psi 0.2520 + 0.0015$, 正位度 $\psi 0.001$, 尺寸公差与几何公差数值均与轴件相同形态 (轴径)。

至于其他如已知孔件公称尺寸与公

表 3 孔径尺寸与零正位度关系

项次	孔径 ψ	正位度 ψ	红利公差 ψ	总公差 ψ
1	0.2510	0	0	0
2	0.2515	0	0.0005	0.0005
3	0.2520	0	0.0010	0.0010
4	0.2525	0	0.0015	0.0015
5	0.2530	0	0.0020	0.0020
6	0.2535	0	0.0025	0.0025

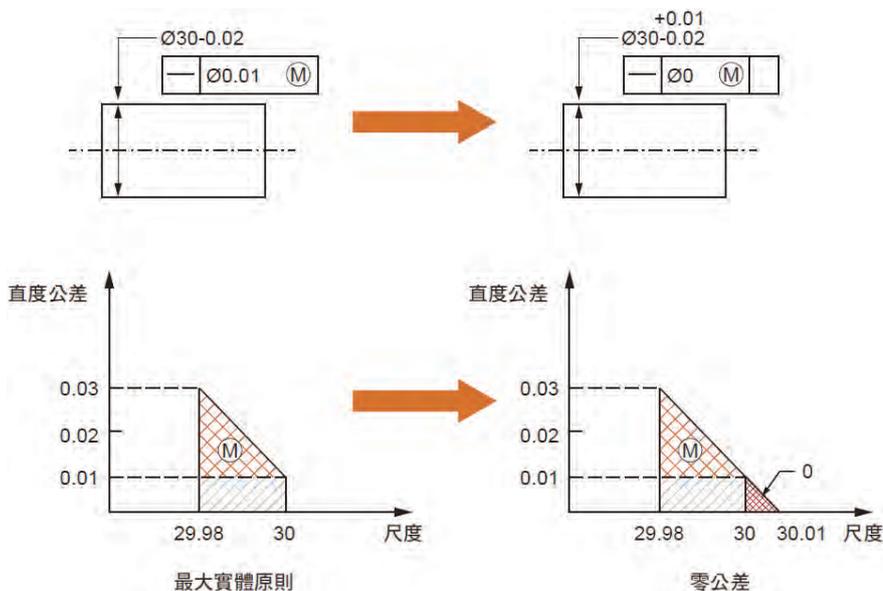


图 2 轴件零公差转换与检测判读例

差，可设计配合轴件互换性公差；已知公称尺寸与最佳间隙范围，亦能由轴件设计轴件互换性公差；已知公称尺寸与最佳间隙范围加上热效应涨缩尺寸因素，同样可设计轴孔件互换性公差；甚至设计便览欠缺之公差配合等级，仍可设计轴孔件互换性公差等等情况，均可参考本例步骤逐一计算，获得可 100%

互换性之配合件尺寸与公差。企业公司可检视产品零件之设计图，利用尺寸公差配合表，结合几何公差规范，稍作改进标示，即可达到互换性。

解析

如检测数据为 $\psi 29.977$ ，直度 $\psi 0.005$ ，应判拒收，因尺度已超出

公差，虽直度未达 $\psi 0.01$ ，却不可将剩余之 $\psi 0.005$ 移作尺度公差为 $\psi 29.975 < \psi 29.977$ 而误判合格。同理；如检测数据为 $\psi 30.013$ ，直度 $\psi 0.005$ ，应判拒收，因尺度已超出公差，虽直度未达 $\psi 0.01$ ，却不可将剩余之 $\psi 0.005$ 移作尺度公差为 $\psi 30.015 > \psi 30.013$ 而误判合格。

如检测数据为 $\psi 29.99$ ，直度 $\psi 0.025$ ，应判拒收，因直度公差最多只能容许 $\psi 0.02$ ，不可将尺度 0.01 移作直度公差增为 $\psi 0.03$ ，犹尚大于 $\psi 0.025$ 。

ASME 规范特别例外，仅能将几何公差量全数移至尺度公差，而几何公差标注为零。如同 ISO 之可逆要求意义 (Reciprocity)。

正确引用零公差可将原本几何公差合格而尺度公差却超出公差外之工件合理化判为允收，于不增加公差总量情况下，扩大制作尺度公差范围，立即骤降工具、模具制作费用，亦同时提高验收允收率与组装效率，减少浪费资源，达到客户与承商双赢局面。

ASME 图示直接标注公差范围，较容易沟通获得共识，而 ISO 可逆要求需客户与承商双方均有正确认知真实含意，才可避免争议。MFC