尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up

(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

二天课程课程系统地阐述了在产品设计和装配设计过程中如何正确地分析计算累积公差，详细解释了极限公差叠加和统计公差叠加的计算方法。包括：正负公差极限叠加、公差叠加步骤和分析、形状叠加、方向公差叠加、位置公差叠加、图纸基准和装配基准对叠加的影响、最大实体和最小实体对尺寸链叠加、延伸公差叠加、多零部件焊接和螺纹装配装配的叠加计算、统计公差叠加。通过大量的北美制造业案例，掌握如何解决在产品设计过程中有效分析并消除产品的机械设计问题，包括最小间隙、最大壁厚、最大干涉、最大和最小总体尺寸、有效分配零部件公差等。本课程形位公差(GD&T)分析计算根据美国 ASME Y14.5M-2009 和欧洲 ISO1101 的标准要求。

培训特色结合冰衡公司大量案例和客户现场问题解释在装配设计过程如何进行尺寸链和公差分析。

冰衡的观点：

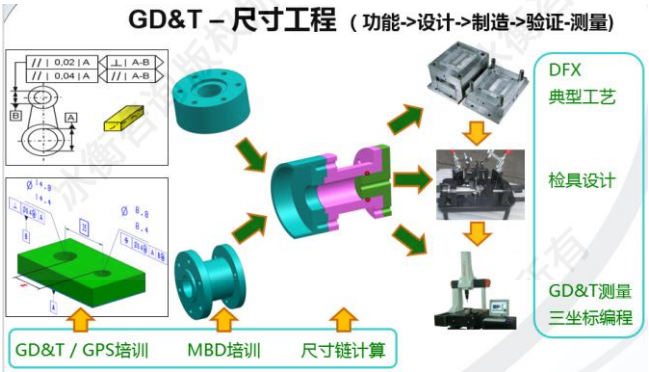
- ✓ 任何一个零件图纸都代表是合同或法律文件，存在未来潜在的法律风险，包括索赔和召回的风险，图纸的重要性应得到充分的重视。
- ✓ 不了解功能就不允许画图，不经过尺寸链计算不允许发布图纸。

培训特色本培训的特色在于结合客户的实际产品的特点，通过大量各个行业产品和工艺的特色并结合欧美制造业的案例练习，聚焦实战，重点在于培养学员能力的实际尺寸链和公差分析的理解和问题解决能力，通过大量的图纸案例和小组讨论练习，并结合课前调研和预评估、课中案例分析、课后考试和答疑，确保学员学到的知识能够落地并有效地应用。冰衡咨询团队提供了详细的并提供长期的图纸问题解答和支持。

学员背景要求：具备中等 GD&T 或 GPS 的理论和应用基础。

参加人员：建议参加培训人员应至少包括以下人员：设计工程师，产品设计和研发工程师或研发经理 R&D、质量工程师 SQE/QE/QA，工艺/制造工程师 PE、模具设计工程师、测量人员等。

培训教材：每位参加人员将获得一套冰衡版权所有的培训教材，小组练习及案例精选。通过培训评估和考试合格后颁发培训



尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up

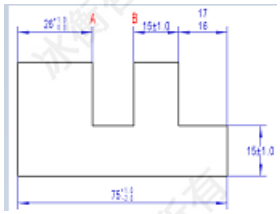
(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

■ **尺寸链和公差分析介绍** (Day 1)

- 什么是尺寸链计算
- 尺寸链叠加的应用场合和解决的问题
- 尺寸链叠加要达到的目标
- 尺寸变差来源
- 尺寸链叠加要考虑的四个因素:
  - 零部件几何特征
  - 基准和尺寸和公差标注形式
  - 装配要求
  - 尺寸链叠加的方向
- 尺寸链叠加计算方法和类型
  - 手工计算
  - 计算机模拟计算
  - 极限公差叠加(Limit Tolerance Stackup)
  - 统计公差叠加(Statistic Tolerance Stackup)
- 尺寸叠加计算的假设:
  - 未注公差假设
  - 温度假设
  - 静止状态假设
  - 叠加方向假设

■ **尺寸链叠加公差分析（正负公差，极限法）** (Day 1)

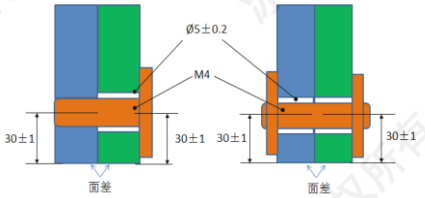
- 正负公差类型（线性和角度公差）
- 正负公差转换和中值偏移
- 正负极限公差叠加
- 尺寸环定义(增环、减环)
- 箭头方向方向法确定增环和减环



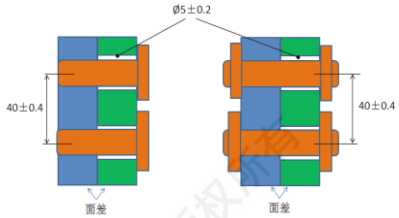
- 案例分析：焊接装配正负公差叠加

■ **尺寸链叠加公差分析（正负公差，极限法）续**

- 极限公差叠加基本步骤和计算
- 尺寸链叠加图和表格的应用
- 极限公差叠加需要注意的事项
- 装配偏移定义和计算
- 浮动螺栓和固定螺栓装配偏移计算 Floating Fastener, Fixed Fastener



- 光孔和螺纹孔装配偏移（Assembly Shift)
- 光孔和光孔装配偏移（Assembly Shift)
- 阵列孔轴装配装配偏移（Pattern Holes)



- 案例分析：螺纹装配装配偏移分析
- 公差叠加的应用：如何由总体公差分配计算部件公差：平均公差等级法和标准公差等级 IT 的应用

■ **尺寸公差配合** (Day 1)

- 孔轴配合公差计算：最大最小间隙计算
- 基孔制和基轴制的选择
- 包容原则和独立原则对孔轴板槽的影响
- 案例分析：孔轴配合公差和配合的计算

■ **几何公差叠加（形位公差叠加，极限法）** (Day 1)

- 几何公差（形位公差）的重点
- 几何公差（形位公差）和功能的关联
- 几何公差（形位公差）的约束关系对尺寸链的影响

■ **基准对尺寸链计算的影响** (Day 2)

- 基准和装配的关系
- 基准的误差是否会影响到尺寸链计算
- 基准和零件功能的关系
- 面基准的误差对尺寸链计算的影响

尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up

(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

- 轮廓度的尺寸链叠加
- 轮廓度和其它公差的相互关系对尺寸链的影响

⌓	1	A
//	0.5	A
▱	0.12	

- 轮廓度的基准误差对尺寸链的影响
- 轮廓度双边不对等对尺寸链计算影响

⌓	0.8 Ⓤ 0.6	A	B	C

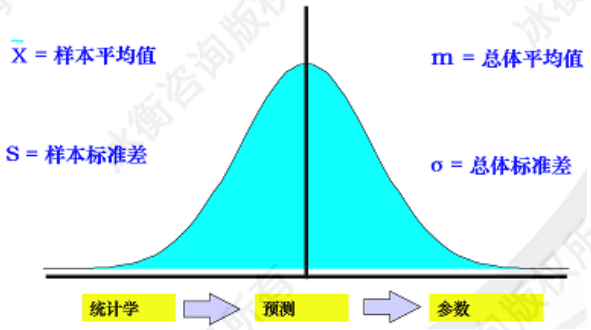
UF

⌓	2,5 UZ-0,5

- 轮廓度公差累积应用案例：间隙和面差的计算
- 位置度的计算和分析
- 位置度如何拆分到尺寸链
- 位置度带最大实体的尺寸链计算(bonus)
- 孔组位置度的装配可行性分析
- 固定螺栓装配尺寸链计算(Fixed Fastener)
- 浮动螺栓装配尺寸链计算(Floating Fastener)
- 方向公差（平行度、垂直度、倾斜度）公差叠加计算
  案例分析：方向公差对钣金和注塑外壳分析不均匀（缝隙极差）的影响
- 形状公差对尺寸链计算的影响（平面度）
- 形状公差对尺寸链计算的影响（直线度）
  对孔轴配合的影响
- 形状公差对尺寸链计算的影响（圆度和圆柱度）对孔轴配合的影响
- 跳动度对尺寸链计算影响
  跳动度和同轴度以及圆柱度的关系
- 案例练习：面基准误差尺寸链计算
- 孔组作为基准的理解
- 孔组基准的误差（相对位置误差）对尺寸链的影响。是否要计算?
- 一面两孔作为基准对尺寸链计算的影响
- 归纳：如何通过正确的基准选择来降低累积公差
- 基准转换的公差累积计算（针对各个零件的相互配合）
- 极限公差叠加基本步骤和计算
- 基准带最大实体对尺寸链计算的影响(Datum Shift)
- 同时要求原则对尺寸链就算的影响
- 不规则基准的公差累积计算

■ **统计公差** (Day 2)

- 统计过程控制的理解
- 正态分布和标准方差
- 统计公差在公差累积的影响
- 统计公差的应用条件、场合和利弊分析
- 案例练习：统计公差正负公差法在装配应用
- 案例练习：统计公差几何公差法在装配应用



■ **综合尺寸链案例分析计算** (Day 2)

培训目标：

- ■ 掌握通过尺寸链计算或公差叠加的方法保证产品设计的功能
- ■ 掌握通过尺寸链计算进行问题分析和解决
- ■ 掌握极限法和统计公差法的计算方法
- ■ 掌握把公差叠加的方法应用的到产品设计，包括：
- ✓ 计算装配最小和最大壁厚

冰衡咨询版权所有

尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up

(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

- ✓ 计算孔组和螺栓的装配干涉分析
- ✓ 计算薄壁件的间隙和面差分析
- ✓ 计算空间管类零件的装配干涉
- ■ 掌握合理选择零件基准来减少公差累积
- ■ 掌握通过统计公差方法来放宽零部件公差
- ■ 学会紧固和浮动螺纹装配公差叠加计算
- ■ 采用多基准计算装配的最小和最大间隙
- ■ 掌握把组装产品的累积公差分解到零部件公差

培训适用行业和产品：我们拥有丰富的美国、欧洲、中国和日韩等制造业丰富案例，结合不同行业的图纸特点，提供有针对性的定制化培训。行业包括：汽车制造业、**航空制造业、医疗器械制造、家电行业、设备制造、手机和通讯电子行业等。产品包括：整车和汽车零部件、飞机零部件和系统设计、手机结构、PCB 电路板、连接器、白色家电、小家电、电动工具、灯具、机床、机器人、工业自动化设备等。工艺类型包括：注塑、铸造、钣金冲压、机加工、焊接等。**

1. **内饰件和薄壁钣金冲压件特点：内饰注塑和车门钣金薄壁件一般为柔性零件，容易变形，而且形状不规则。本课程针对柔性零件，结合产品检测过程深入展开讲解下列关键重点和难点：**
   a. 薄壁件如何选择基准；
   b. 薄壁件如何通过正确的形位公差标注有效控制变形，保证装配后的缝隙和对齐要求等；
   c. 自由变形零件如何检测，如何设计并制作检测工装和检具；
   d. 检具和检测工装如何和整车坐标对应一致。
   e. 如何有效应用 RPS(德国大众采用的参考点系统)控制零件的累积误差
   f. 如何有效应用 Datum Target （美国汽车行业常用的基准目标系统）控制零部件误差

2. **发动机、底盘、起落架等零部件特点：零件一般为刚性，形状相对比较规则，存在鲜明的定位面和装配孔等，工艺为机加工、铸造、焊接和装配。本课程针对刚性零件，结合产品设计过程和检测过程深入展开讲解下列关键重点和难点：**
   a. 刚性零件的设计基准、检测基准和工艺基准的选择和相互关系
   b. 如何有效通过正确的形位公差标注保证零件的各个转配关系要求，尤其是孔组装配
   c. 如何正确的设计检具，验证零部件的装配要求
   d. 如何正确应用最大实体 MMC 要求来达到保证零部件装配同时放宽形位公差的目的
   e. 如何正确应用最小实体 LMC 要求来达到保证零部件最小材料同时放宽形位公差的目的

尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up
(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

f. 如何正确把最大实体/最小实体应用在基准上，保证零部件功能同时公差放宽；
g. 如何理解美国制造业的特殊复合公差（包括复合位置度和复合轮廓度）的要求。

3. **汽车玻璃和排气歧管、凸轮、汽车涡轮增压部件、航空涡轮叶片等零部件特点：零件是空间的自由形状的刚性零件，很难通过常规的形状表达，一般通过 3D 数模来控制其理想形状，再通过轮廓度约束（美国通用汽车常用的控制方法）或者通过定义关键测量点（德国大众常用的控制方法）等手段来控制其变形和公差范围。本课程针对自由的刚性零件，结合检测过程讲解：**
   a. 如何有效定义空间自由刚性零件的基准，比如汽车玻璃基准如何定义；
   b. 如何正确的标注形位公差来控制刚性自由形状的变形；
   c. 如何检测空间自由刚性零件（比如汽车玻璃或者排气管）
   d. 如何设计和制作检测工装和夹具实现自由形状零部件的检测（比如汽车玻璃）
4. **轴承、航空传动轴、电机、压缩机或孔轴配合要求的零部件特点：形状一般为圆柱或者圆孔，大量采用跳动度、圆度、圆柱度、直线度等要求。本课程针对轴类或者孔类零部件，结合产品设计过程和检测过程深入展开讲解下列关键重点和难点：**
   a. 如何有效通过正确的形位公差标注来控制孔轴零部件的形状；
   b. 如何区别形位公差的相互关系，比如跳动度、同轴度、圆度、圆柱度、直线度之间的关系；
   c. 如何正确应用包容原则(Envelop Principle)来保证孔轴的装配同时控制形状；
   e. 如何正确通过孔轴公差配合来保证间隙、过渡和过盈配合等要求；

电子行业接插件、医疗器械等部件特点：零部件小，要求很精密。本课程针对精密微小零部件，结合产品设计过程和检测过程深入展开讲解下列关键重点和难点：

a. 如何通过正确的形位公差标注保证零部件的精度；
b. 如何正确的实现微小精密零部件的检测；

培训方法：

- **小组练习**
  - 通过小组练习来提高对培训内容的了解，掌握尺寸链和公差分析的具体要求和应用。
- **培训评估：**
  - 培训评估考虑出勤率及课堂讨论的参与积极性，并包括以下方面：
    - 课堂上积极有意义的提问。
    - 知识的探讨和分享
    - 积极参与小组练习
- **评分练习**
  - 通过评分练习来了解培训的实际效果，形式为练习和测验。

尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up
(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

- **最终评估**

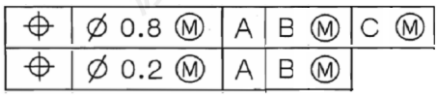
通过最终评估了解培训的整体效果，并策划改进方案

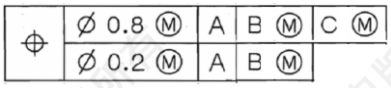
冰衡公司提供的 GD&T 课程系列：

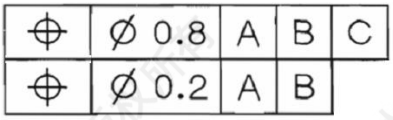
- 机械图纸理解（Blue Print Reading): 1 天
- 美国/欧洲几何尺寸和公差高级培训（GD&T Understanding & Implementation): 3 天
- 尺寸链计算和公差叠加（Tolerance Stack-up Analysis): 2 天（要求有 GD&T 基础）
- GD&T 检具设计（GD&T Gage Design): 2 天（要求有 GD&T 基础）

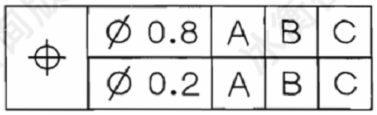
为什么需要培训 GD&T 以及相关课程（包括检具设计和尺寸链计算）？

1. 目前公差标注存在欧美两大体系，正负公差标注和 GD&T 公差标注。
   a. 中国和欧洲图纸倾向正负公差标注，即采用大量的正负公差来标注尺寸和位置。
   b. 北美图纸大量采用 GD&T 形位公差标注，尤其是位置度和轮廓度，例如：











冰衡 GD&T 系列课程培训将给以下问题提供解答：

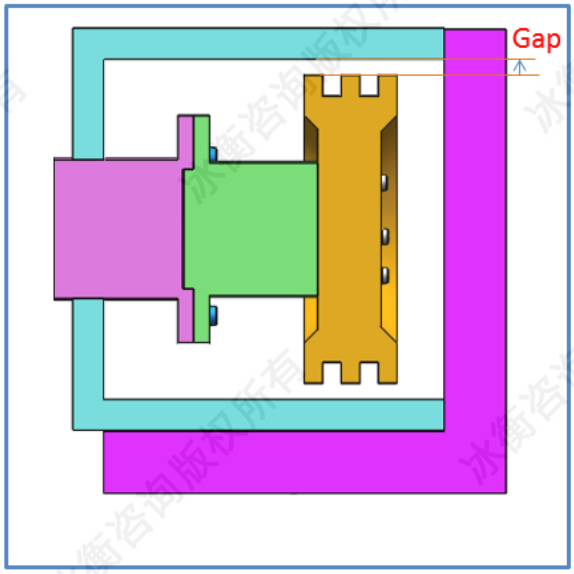
1. 14 个形位公差的理解（尤其是位置度和轮廓度）？
2. 独立组合位置度和复合位置度的区别？
3. 实体原则(MMC/LMC)对位置度和轮廓度的影响？
4. 实体原则应用在基准上对形位公差的影响？
5. 如何实现以上位置度和轮廓度的测量（传统测量仪器和三坐标）？
6. 如何设计功能性检具检测以上位置度和轮廓度？
7. 实体原则(MMC/LMC)对功能性检具的影响，加 MMC/LMC 和不加有何区别？

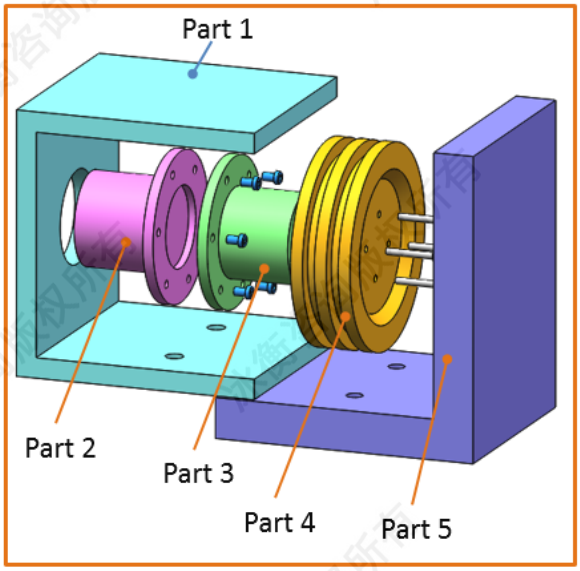
尺寸链和公差叠加分析 – Tolerance Stack-up

(美国 ASME 认证高级 GD&T 专家授课)

8. 正负公差在计算尺寸链时如何考虑?
9. 14 个形位公差在计算尺寸链时如何考虑?
10. 以上位置度和轮廓度在计算尺寸链的如何考虑?
11. 实体原则(MMC/LMC)对尺寸链计算的影响，加 MMC/LMC 和不加有何区别?
12. 实体原则(MMC/LMC)用于基准时对尺寸链计算的影响?
13. 如何考虑正确的基准（包括设计基准，装配基准，加工基准和检验基准）?
14. 如何合理建立坐标实现位置度和轮廓度的检测?
15. 如何理解理论尺寸、基准和位置度和轮廓度之间的关系?
16. 14 个形位公差相互关系和制约以及尺寸正负公差和形位公差之间的关系?

案例一：计算装配干涉、偏心、装配后最小分析等问题





案例二：计算孔组装配时基准的合理选择减少公差累积，并计算装配后的缝隙和面差

