ICSC 2019

Core Competence Enhanced by MBD

IDAJ CAE Solution Conference

电机量产性分析及优化方法

IDAJ
张侃裕

目录

- 1.量产性问题介绍
- 2.电机量产性分析方法介绍
  - 2.1把握部件公差内的最差值
  - 2.2基于部件公差的公差范围分析
  - 2.3产品性能公差所允许的部件公差分析
- 3.量产性优化方法介绍
- 4.提升计算速度的方法
- 5.总结

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

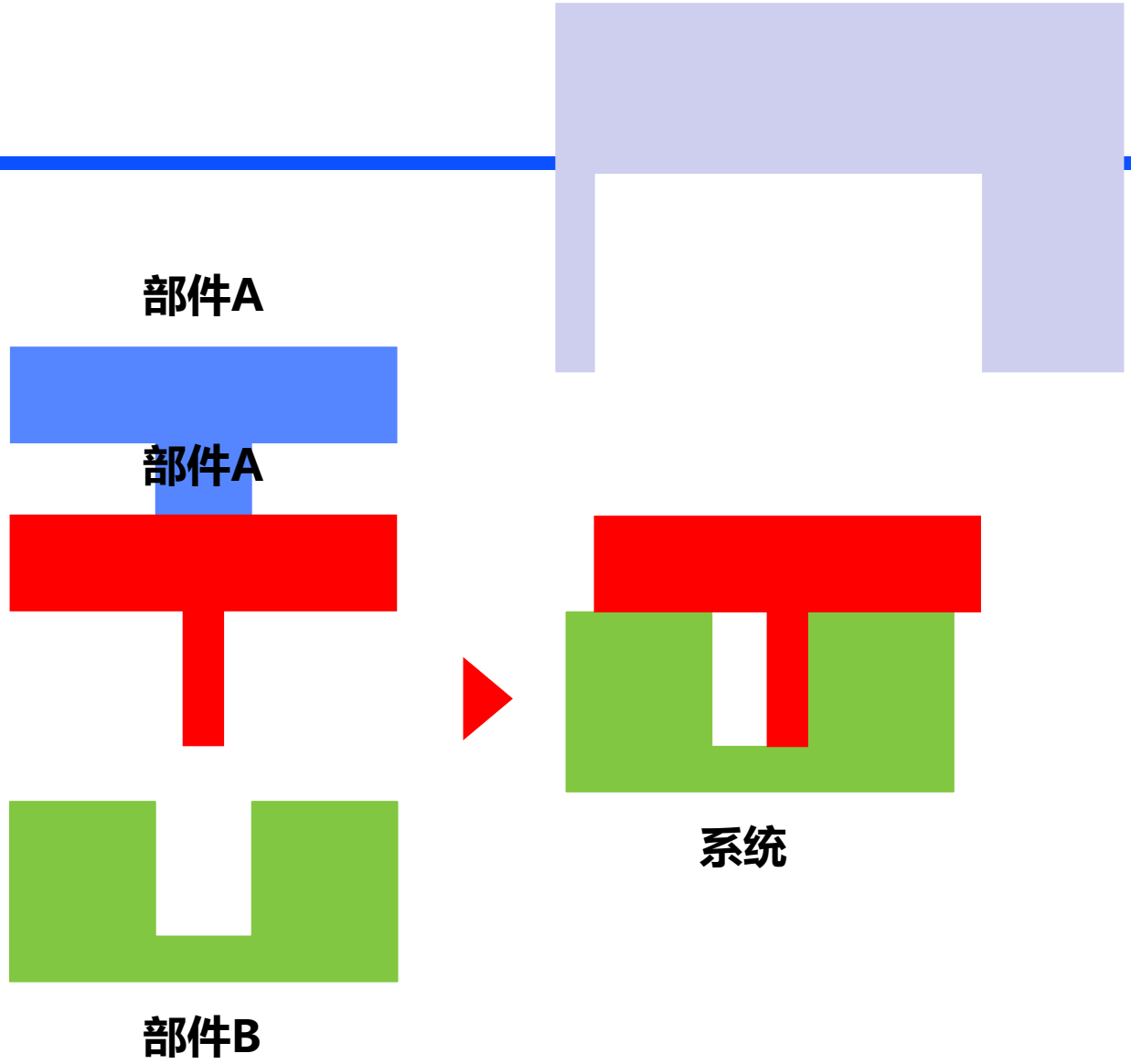
1.量产性问题介绍

什么是量产性问题

量产时部件存在公差

对整个产品的性能产生影响

对整个系统的性能产生影响



Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

1.量产性问题介绍

什么是量产性问题

部件的设计阶段 → **产品的量产** → **系统的量产**

- 部件・组装时的公差会导致产品性能的最差值是多少？
- 已知部件・组装的公差范围，如何得知产品性能的公差范围？
- 已知产品性能的公差范围，所允许的部件・组装公差的极限是多少？

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.电机量产性分析方法介绍

使用modeFRONTIER可以进行以下的分析

① 把握部件公差内的最差值
⇒部件・组装时的公差会导致产品性能的最差值是多少？

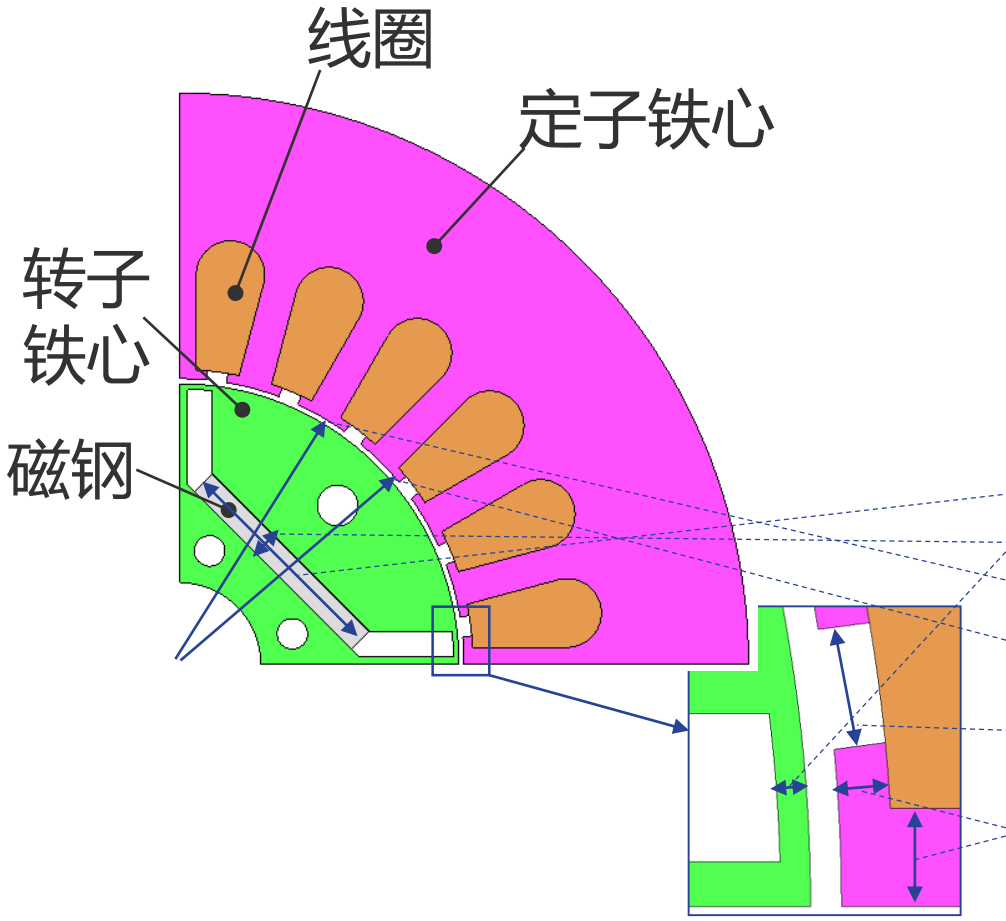
② 基于部件公差的公差范围分析
⇒已知部件・组装的公差范围，如何得知产品性能的公差范围？

③ 产品性能公差所允许的部件公差分析
⇒已知产品性能的公差范围，所允许的部件・组装公差的极限是多少？

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.1把握部件公差内的最差值

如何把握铁心形状尺寸公差引起的扭矩和转矩脉动最差值？



- Iq=4[A]，Id=0[A]
- 基于以下的尺寸，探索扭矩和转矩脉动的最差值。

尺寸部位	中心值	公差
隔磁磁桥	0.5	±0.05
磁钢长度	21.81	±0.1
磁钢厚度	2.45	±0.05
转子外径（半径）	21.7	±0.05
定子内径（半径）	21.8	±0.05
槽口宽度	2	±0.1
齿宽	3.2	±0.2
槽口高度	0.9	±0.1

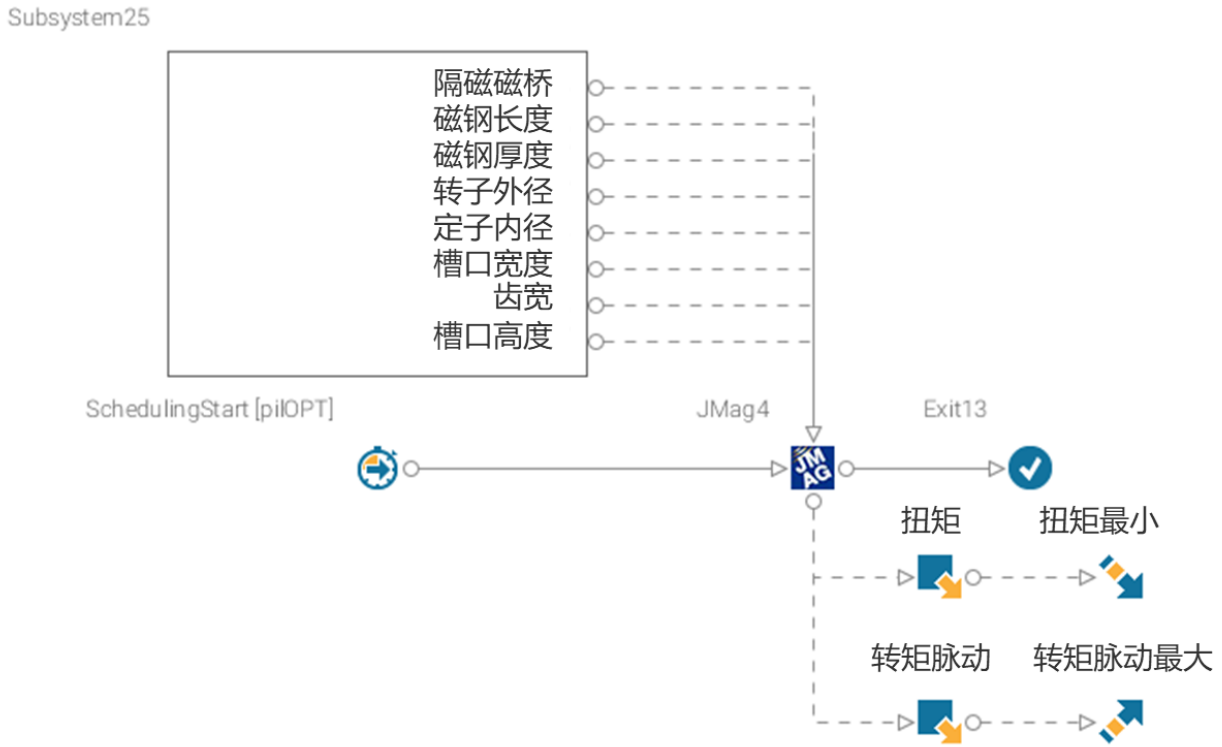
Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

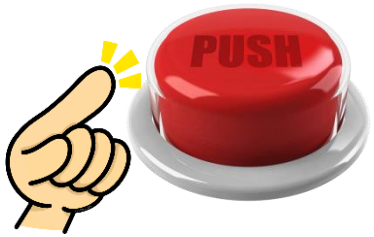
2.1把握部件公差内的最差值

modeFRONTIER的workflow如下。

条件

- 输入参数为各尺寸2水准。
- 输出参数为扭矩和转矩脉动。
- 目的函数为扭矩最小化，
  转矩脉动最大化
- 优化算法为pilOPT※，计算数为80。
  （全部为2^8=256)





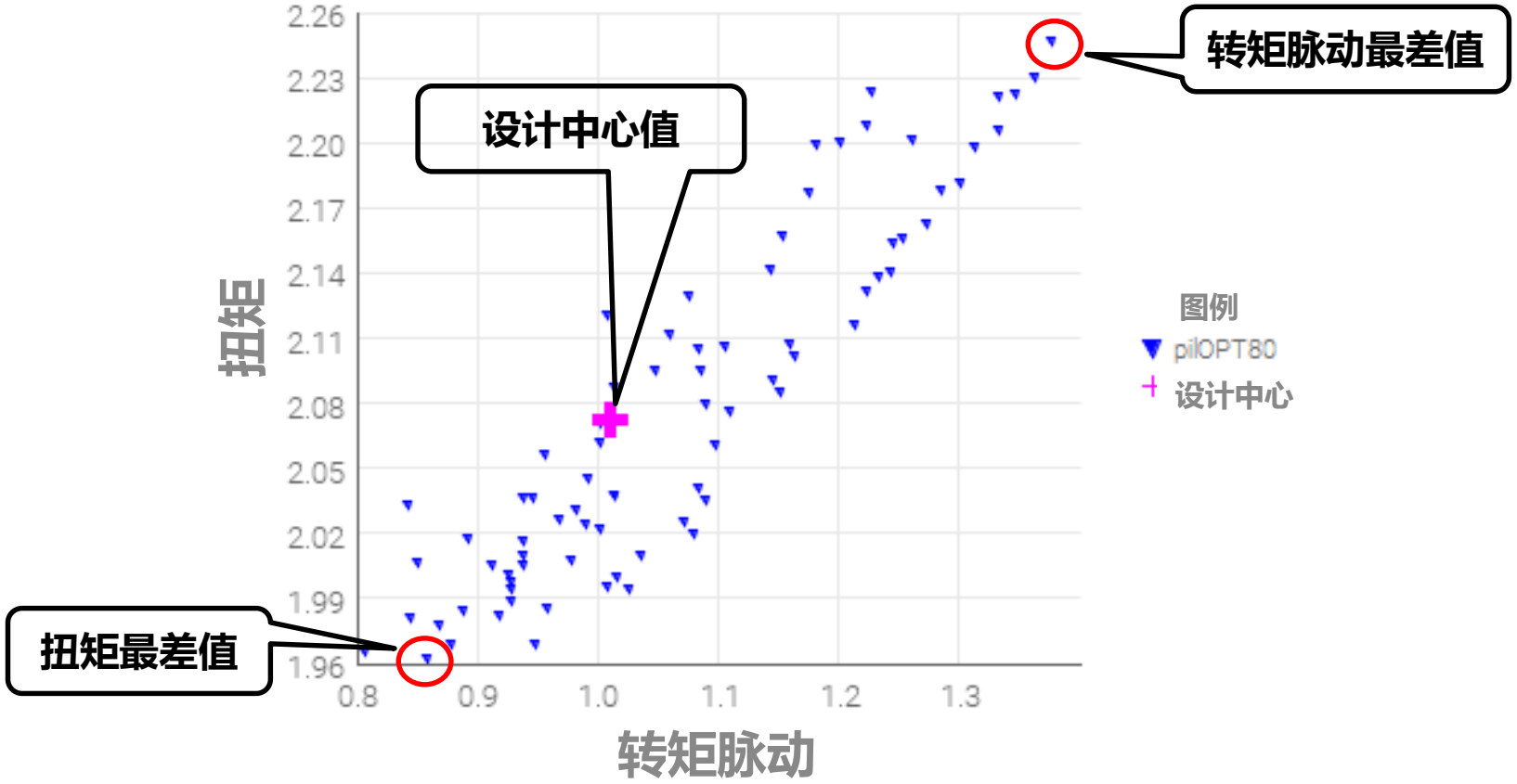
※:pilOPT算法是modeFRONTIER独有的自动算法

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.1把握部件公差内的最差值

结果如下。

扭矩为相对于中心2.07Nm的最差1.96Nm(-5.4%)，转矩脉动为相对于中心1.01Nm的最差1.38Nm(+37%)。



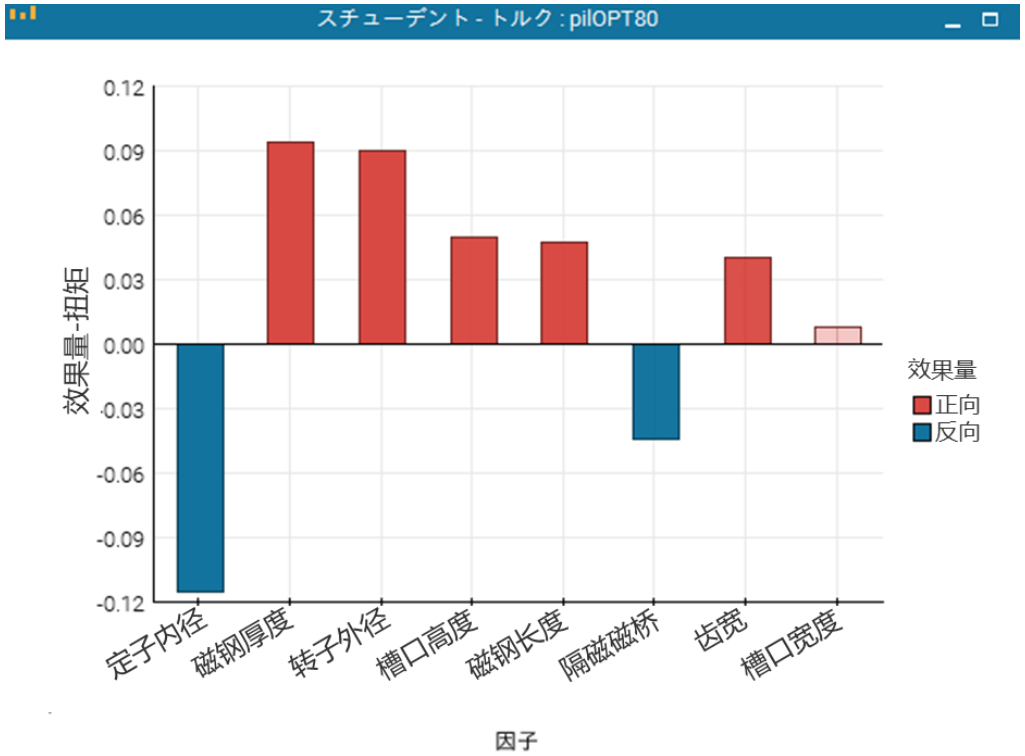
Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

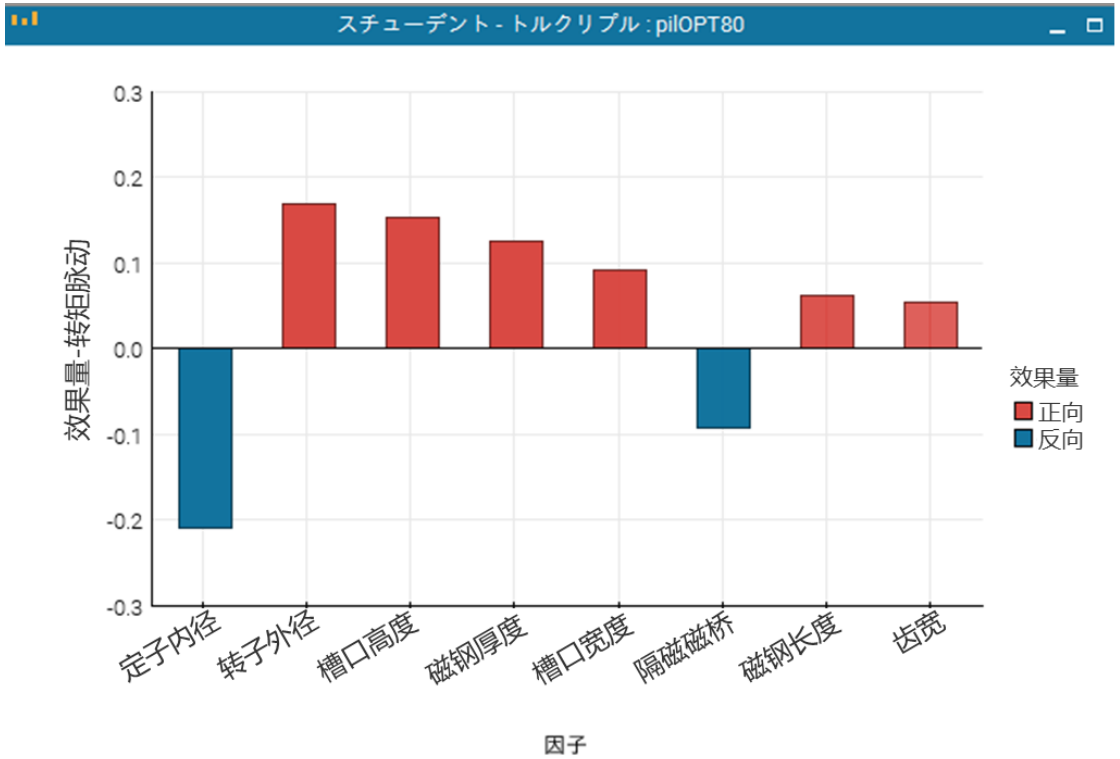
2.1把握部件公差内的最差值

各尺寸的影响度分析。

定子内径，转子外径，磁钢厚度，槽口高度对于扭矩和转矩脉动的影响程度很高

- 齿宽和磁钢长度对于扭矩和转矩脉动的影响程度不大。





Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

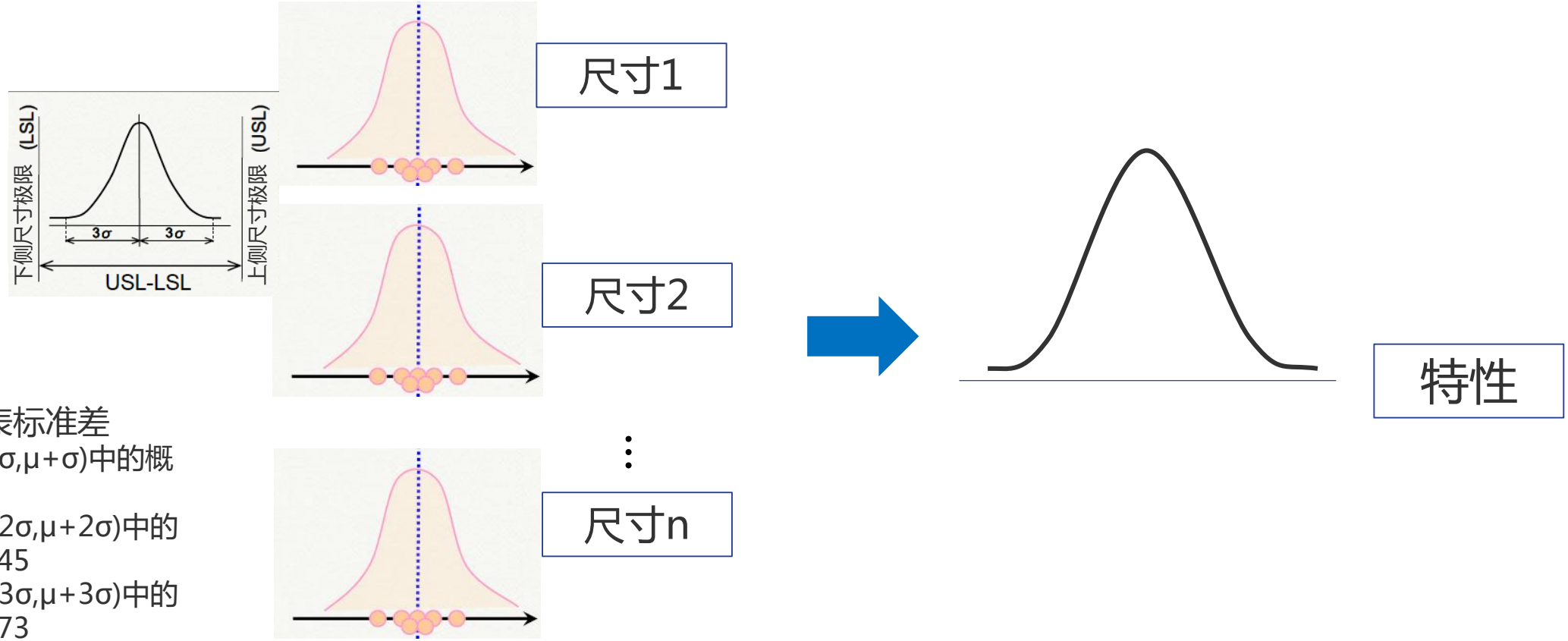
2.1把握部件公差内的最差值

- 通过使用modeFRONTIER的多目的自动探索，可以很容易的把握到设计公差内的产品特性的最差值。
- 以一般的IPM电机为对象，铁心形状的尺寸公差内，最差的扭矩和转矩脉动为目标进行探索。
  - 可以确认尺寸公差内扭矩为5.4%，转矩脉动为37%恶化。
  - 使用了pilOPT优化算法，只使用了全部的1/3的计算次数寻找到了各个尺寸的最差组合。
  - 根据影响程度分析，可以获得对于减少公差影响的经验。
- 尺寸公差内的产品性能最差值分析可以帮助我们了解哪个参数最影响我们的量产性。一方面使我们的设计有的放矢，另一方面也为后续的量产性优化打基础。

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.2基于部件公差的公差范围分析

modeFRONTIER可以对输入变量的公差进行定义，从而评价输出量的公差。
赋予尺寸参数以正态分布，可以评价出电机特性的公差分布。

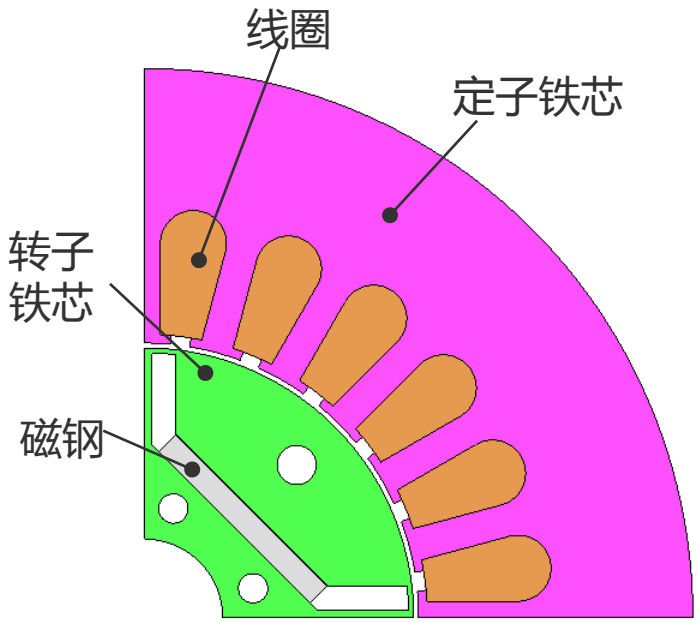


※3σ,σ代表标准差
分布在（μ-σ,μ+σ)中的概率为0.6827
分布在（μ-2σ,μ+2σ)中的概率为0.9545
分布在（μ-3σ,μ+3σ)中的概率为0.9973

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.2基于部件公差的公差范围分析

基本的尺寸与之前相同。
由前文已知齿宽和磁钢长度对于扭矩和转矩脉动的影响较小，所以这次将其排除在外。
假定各个尺寸在公差内的分布为3σ的正态分布，分析扭矩以及转矩脉动的公差范围。



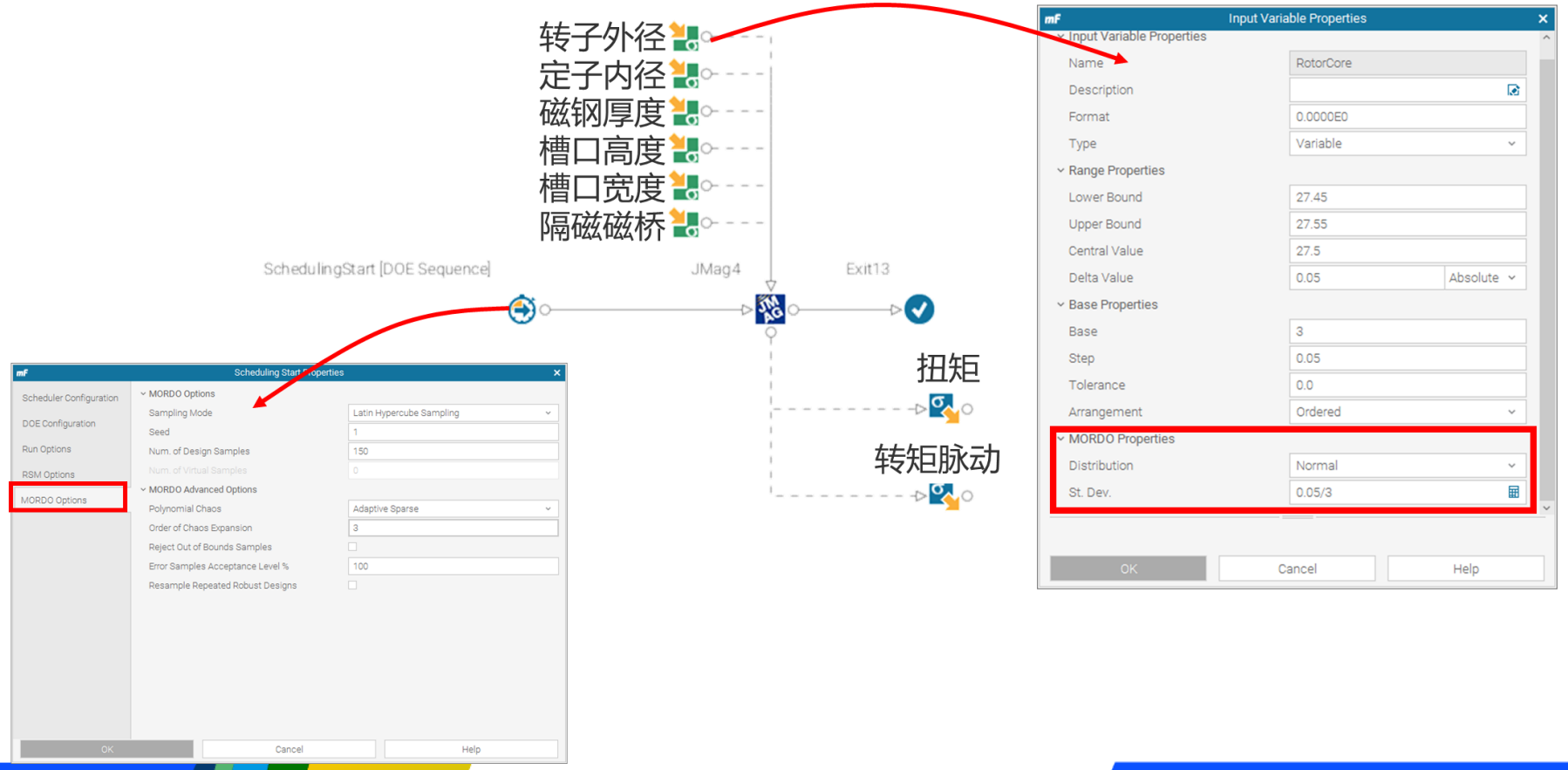
尺寸部位	中心值	公差
隔磁磁桥	0.5	±0.05
磁钢厚度	2.45	±0.05
转子外径（半径）	21.7	±0.05
定子内径（半径）	21.8	±0.05
槽口宽度	2	±0.1
槽口高度	0.9	±0.1

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.2基于部件公差的公差范围分析

modeFRONTIER的设的如下。

输入变量处设定分布概率，在SchedulingStart Node的「MORDO Options」进行公差用采样设定。

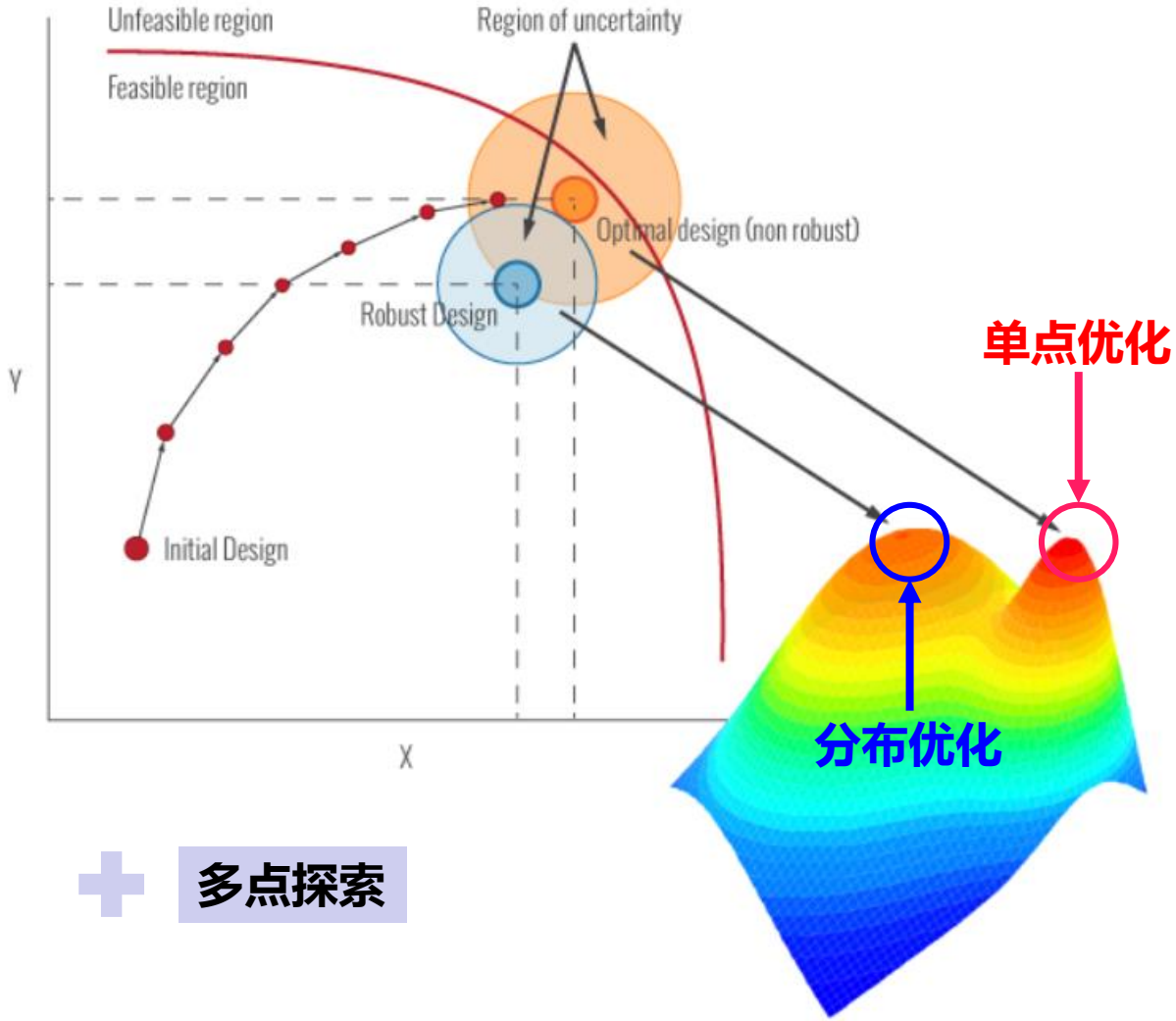


Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.2基于部件公差的公差范围分析

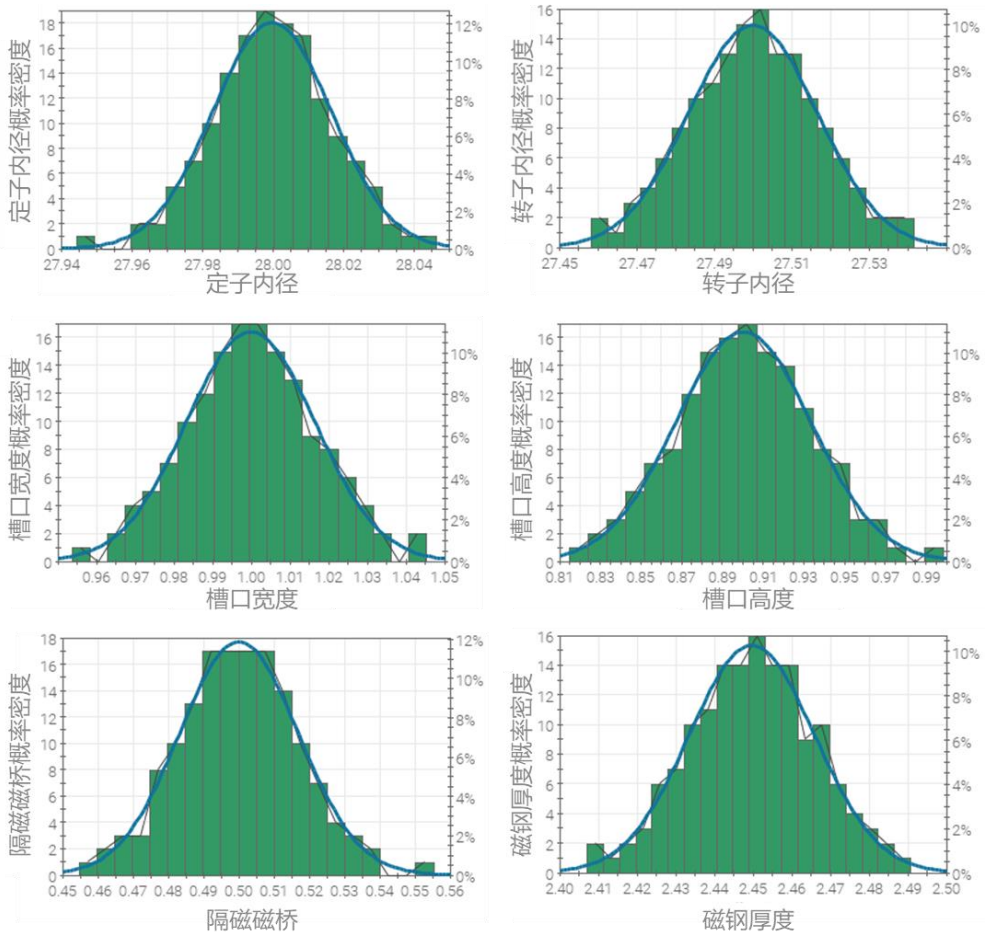
1.MORDO:
模拟实际的分布，不再以单个设计的性能为目标，而是以设计分布的性能为目标

2.输入变量处设定的分布概率:
输入数据设为分布，进行优化

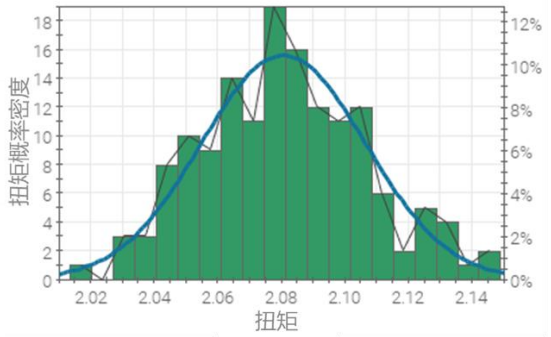


Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

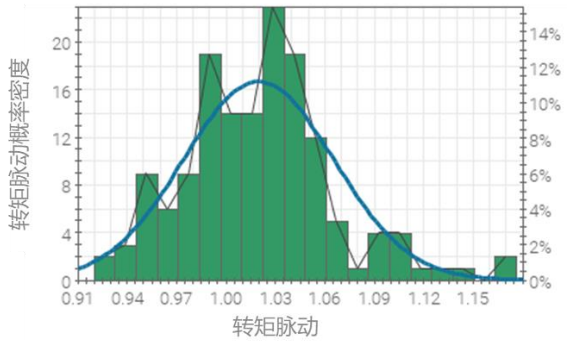
2.2基于部件公差的公差范围分析



输入：各个参数的公差



设计中心	2.07
最大值	2.15
平均值	2.08
最小值	2.01
标准偏差	0.02



设计中心	1.01
最大值	1.18
平均值	1.02
最小值	0.92
标准偏差	0.04

输出：整体性能的公差

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.2基于部件公差的公差范围分析

- 通过基于部件公差的分析，我们可以在设计初期、中期输入各个尺寸的公差，就能预测产品量产后的整体性能的公差范围。
  - modeFRONTIER可以给输入变量定义公差，从而输出性能的公差范围。
  - 作为减少公差的方法，modeFRONTIER装载了MORDO算法。
    能够以设计周围整体的特性为目标函数，进行优化设计。
  - MORDO的计算需要大量的样本数据。因此，推荐提前通过敏感性分析减少参数，或者使用响应面。

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

产品的性能公差要求

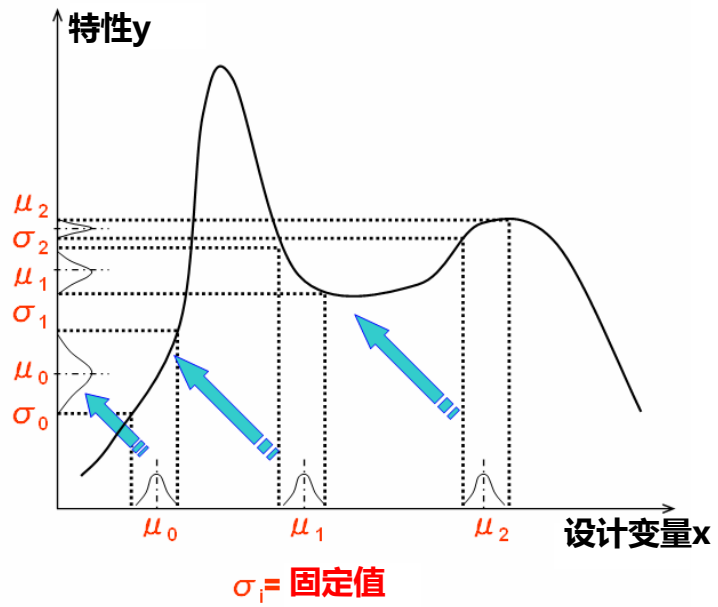
部件的公差

- 已知对产品性能的公差要求，如何判断部件公差的合理范围？

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

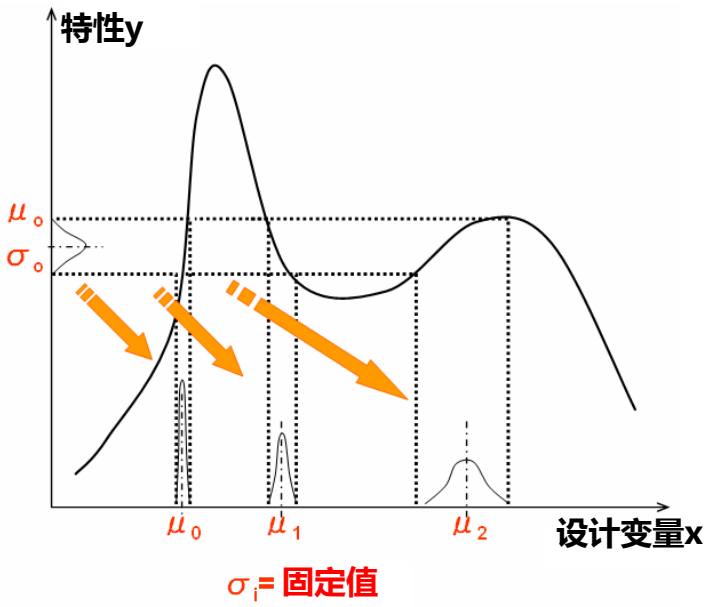
2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

多目标量产性设计优化 (MORDO)



已知各个部件参数的公差分布，求整体分布

多目标公差设计 (反MORDO)



已知整体分布，反推各个部件的参数公差分布

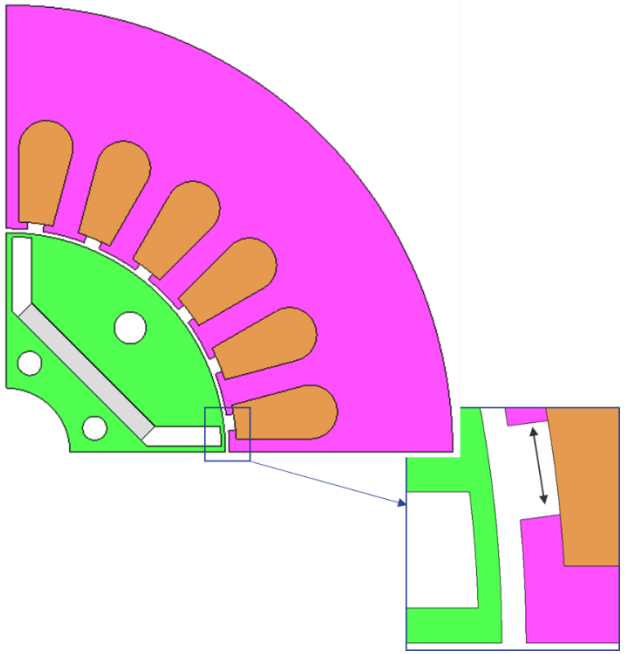
Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

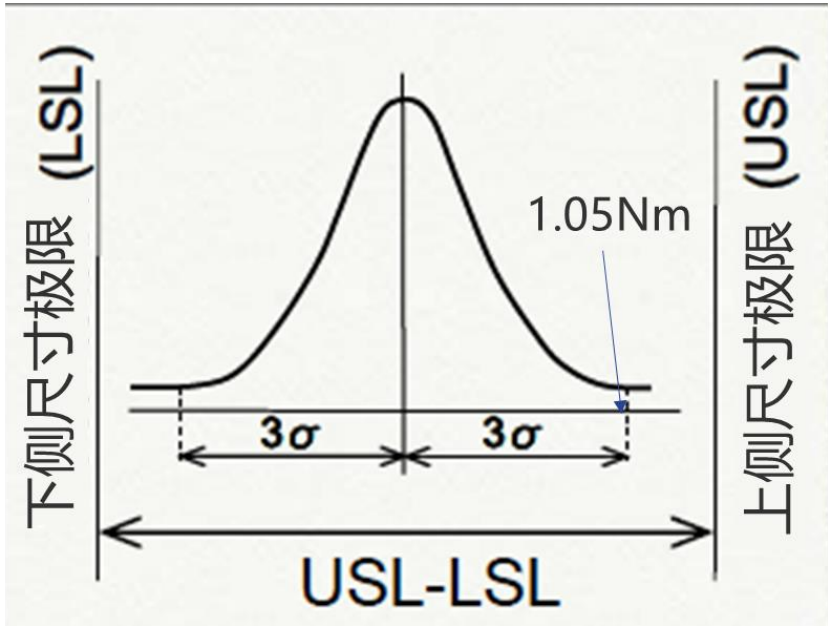
2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

基本的尺寸与之前相同。

转矩脉动的公差上限为1.05Nm以下为要求，求槽口宽度的公差。

⇒转矩脉动满足平均值+3σ＜1.05Nm。





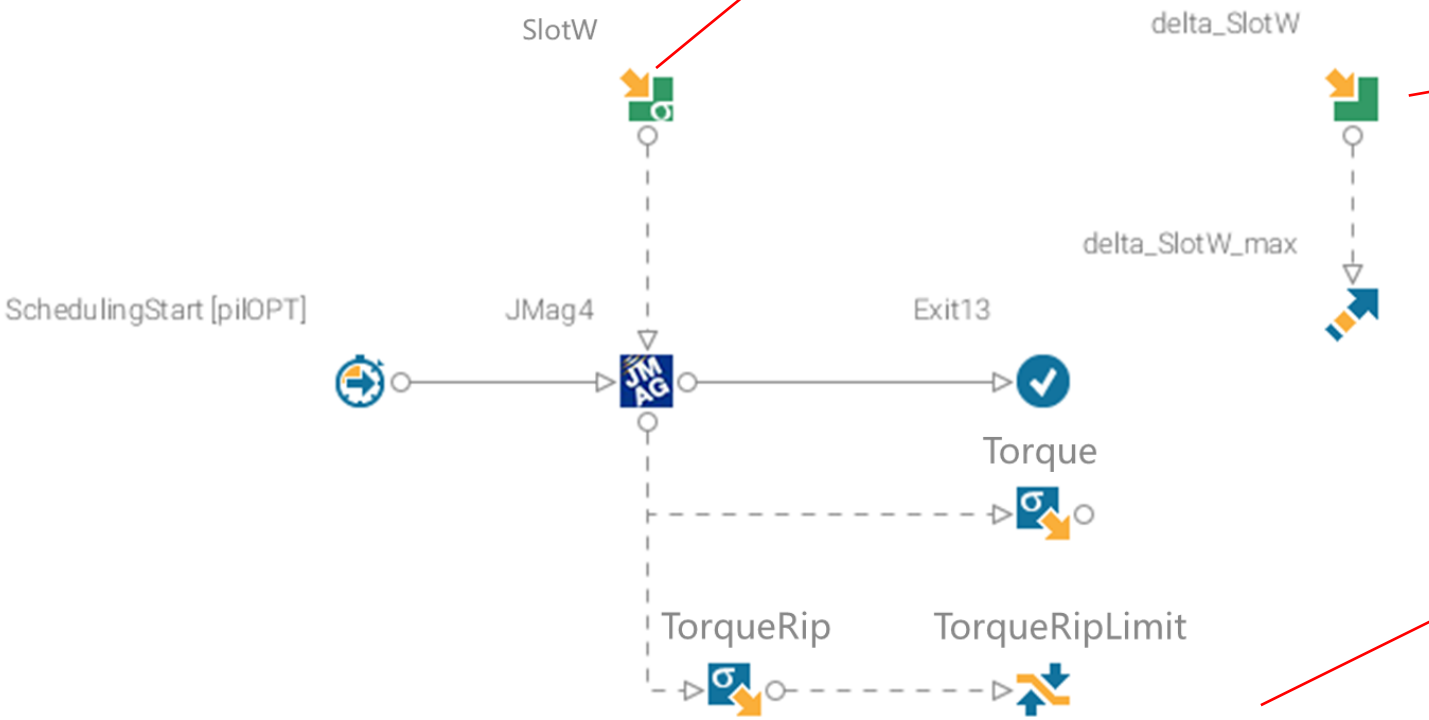
转矩脉动的分布

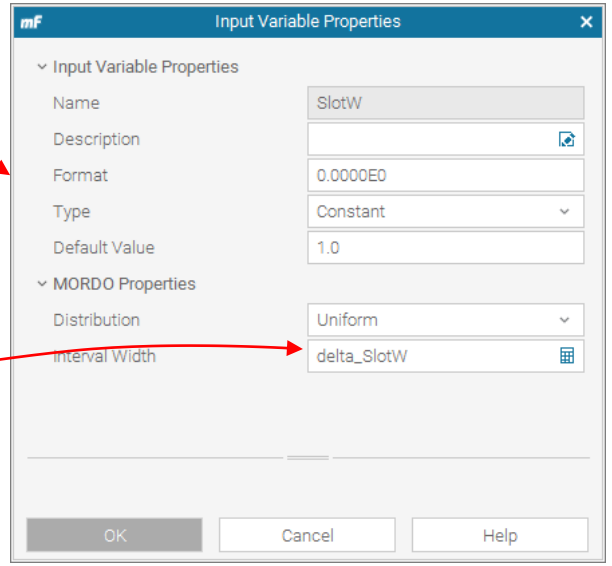
Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

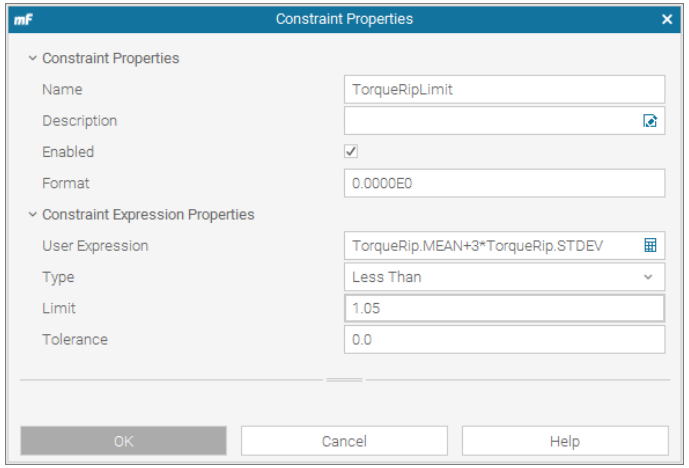
2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

WorkFlow如下：

- 槽口宽度的设定中，区间范围用单独的输入变量(delta_slotW)来定义。
- 目标函数为delta_SlotW最大。
- 对转矩脉动设定「平均值+3σ<1.05」的限制。



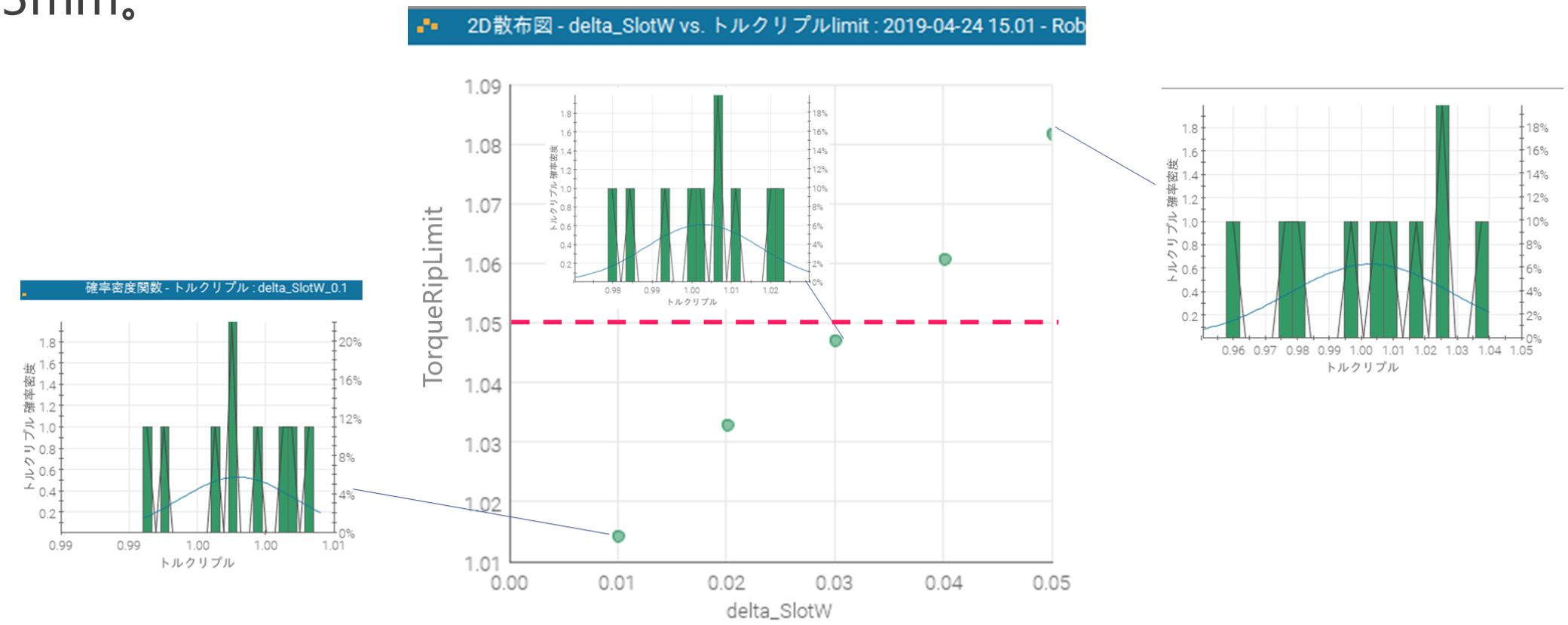




Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

由图可知，delta_SlotW为0.03mm的时候到达了这次的限制。
也就是说，要保证转矩脉动的上限为1.05Nm时，delta_slotW必须要小于等于0.03mm。



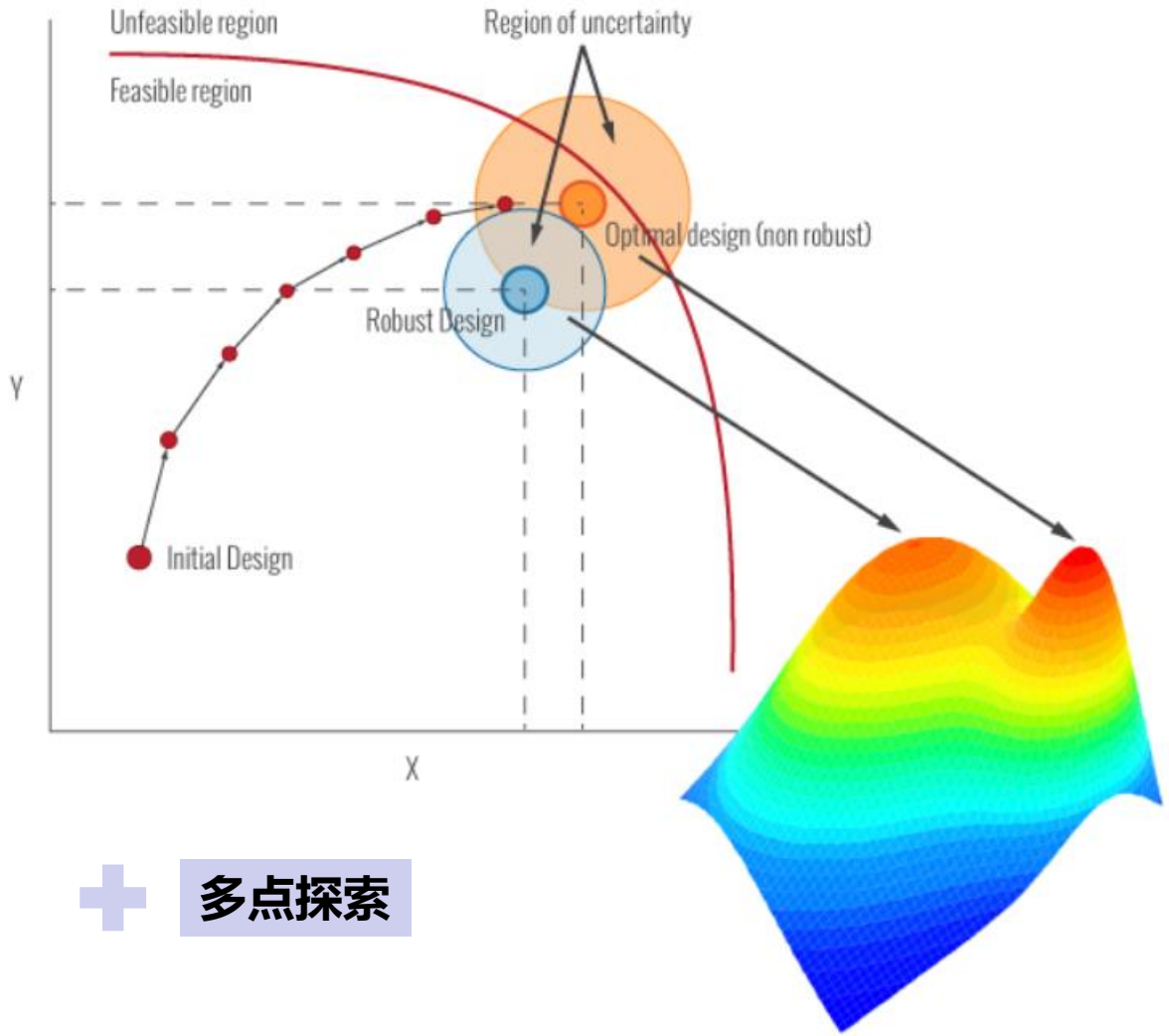
Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2.3产品性能公差所允许的部件公差分析

- 通过使用modeFRONTIER的反MORDO通过输出的公差反推输入的公差。
- 以一般的IPM电机为对象，已知转矩脉动的最大值范围，探索槽口宽度的公差范围。

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

3.提升计算速度的方法



多点探索

在量产性优化设计中，我们不再只关注一个点，而是一个区域

计算量急剧增多

寻找提升计算速度的方法

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

3.提升计算速度的方法

求解器(JMAG-Designer)	modeFRONTIER
1.并行计算 2.减少输入变量 3.减少模型大小（网格数、对称…）	1.使用响应面代替CAE计算 2.使用敏感性分析减少输入变量 3.选择合适的算法
加快单次计算的速度	减少计算的次数

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

4.总结

- 介绍了什么是量产性分析
- 以电机为例，介绍了电机中的量产性问题及分析方法
  - 问题1：部件・组装时的公差会导致产品性能的最差值是多少？
  - 问题2：已知部件・组装的公差范围，如何得知产品性能的公差范围？
  - 问题3：已知产品性能的公差范围，所允许的部件・组装公差的极限是多少？
- 对于工程上的应用，我们可以从客户或设计上游得到我们目标特性的公差范围。反推各个尺寸参数的公差范围，从而做到有的放矢，对于严格的部分精细加工、设计，对于公差范围可以很广的部分进行粗略加工、设计。这对于成本管控有着很重要的意义。

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

艾迪捷信息科技(上海)有限公司

联系我们

——软件试用/报价/技术培训/专题活动

- 网站: https://www.idaj.cn/
- 邮箱: idaj.marketing@idaj.cn
- 电话: 021-50588290；010-65881497

扫一扫，关注艾迪捷
第一时间获得更多产品介绍/成功案例/市场活动

Copyright © IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.