

ANSYS®



ANSYS中国技术大会
中国·上海

基于ANSYS的汽车发电机连接螺栓布局设计优化

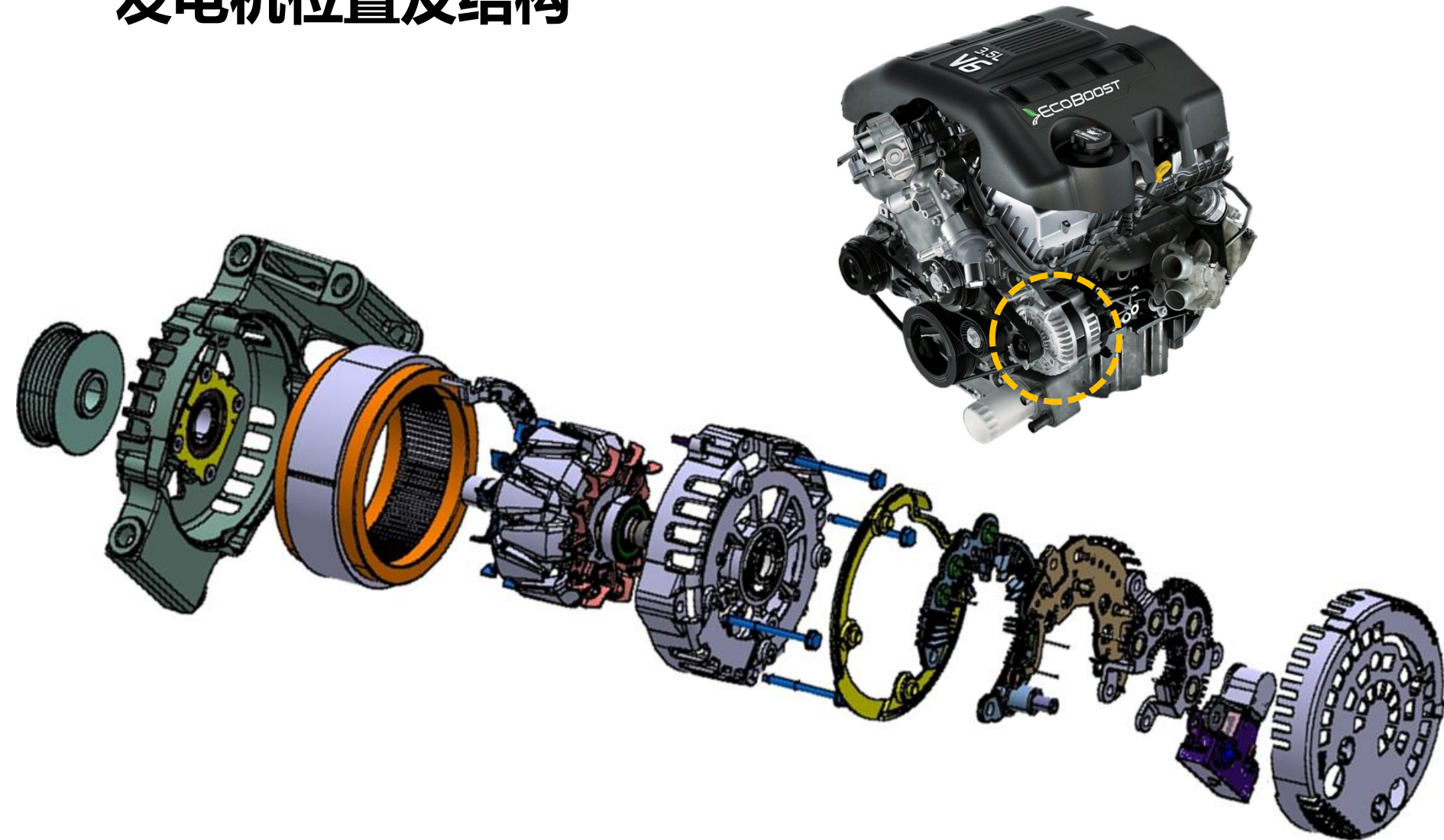
The layout optimization of automotive alternator connecting bolts based on ANSYS

孙罕/ CAE工程师

han.sun@valeo.com

上海法雷奥汽车电器系统有限公司

发电机位置及结构



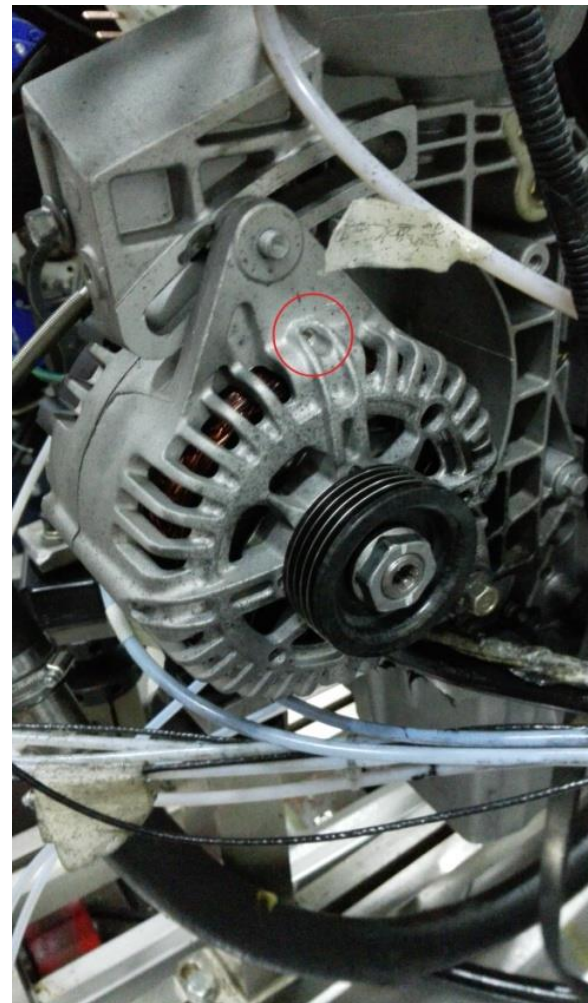
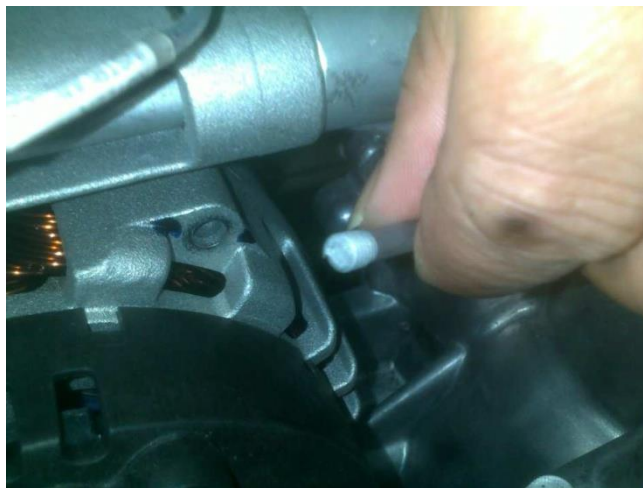
背景介绍 1

- 车用发电机是汽车供电的主要功能零件，在汽车怠速和运行时保证整车的供电需求并及时给汽车电池充电，位于发动机前端轮系中。
- 在发电机工作过程中，主要承受着来自发动机的振动激励，如果发电机设计不合理，前、后盖的连接螺栓会出现断裂事故，导致发动机前端轮系失效。
- 若采用直径更大的螺栓，将增加发电机设计空间，同时增加发电机成本，在生产线装配过程中也容易出现混料。
- 基于Ansys Workbench，本文针对I型发电机和II型发电机的设计进行对比，预测II型发电机连接螺栓存在设计风险，进而给出优化方案，在发电机设计前期优化设计降低螺栓应力。

背景介绍 2

- 某发动机原配I型发电机，后由于电器升级，采用II型发电机。
- II型发电机与I型发电机设计端盖和挂脚设计几乎一致，最大的区别在于II型发电机的发电量更大，定转子直径比I型略大，电机质量提高0.35Kg。
- I型发电机在N年前开发初期，曾经发生过连接螺栓断裂，几经修改满足试验要求。由于II型电机更重，存在螺栓再次断裂的风险。
- 由于安装螺栓存在预应力，其实际的疲劳强度不确定。另外，对于实际疲劳工况难以准确描述。无法直接计算II型发电机的螺栓实际所受疲劳应力。
- 本例采用同边界条件、同工况对比方式，评估II型螺栓断裂风险。进而给出改进意见

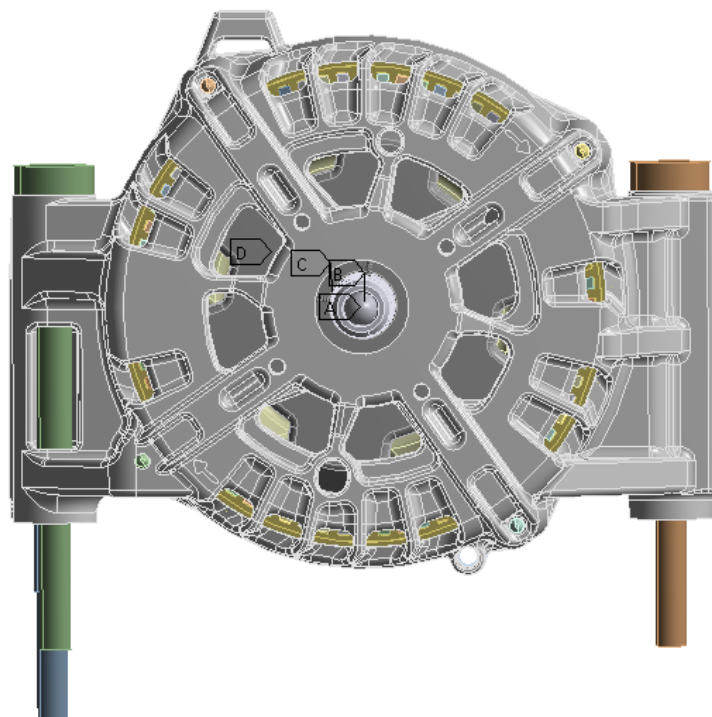
连接螺栓断裂案例



I型发电机与II型发电机设计对比图

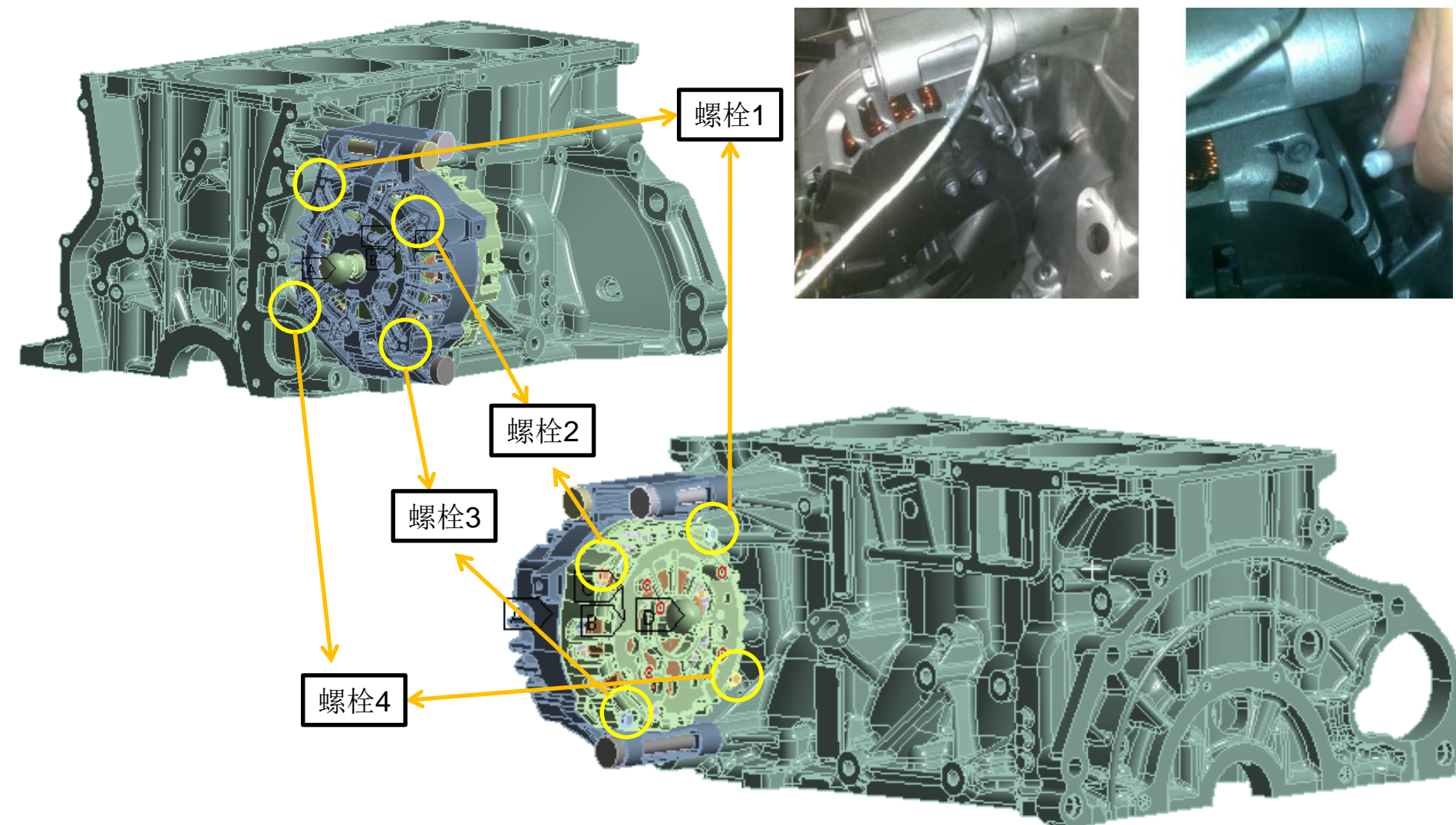


I型发电机



II型发电机

发电机悬挂方式及连接螺栓



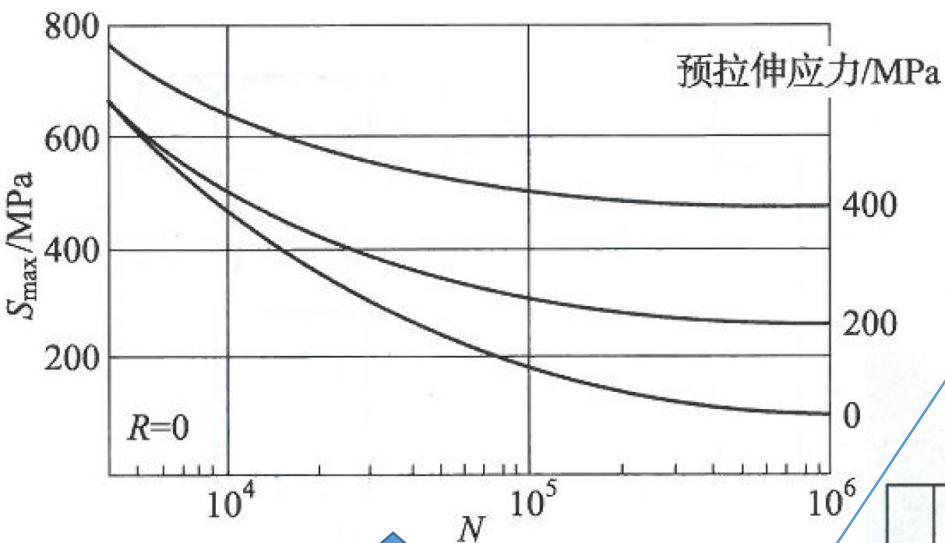
疲劳强度的获得

- 汽车发电机前后盖连接螺栓一般采用8.8级的M5螺栓。按照等级规格该螺栓的抗拉强度是800MPa，屈服强度是640MPa。承受拉压载荷的金属疲劳极限和屈服极限之间存在约如下转换关系。

$$S_f = 0.35S_u$$

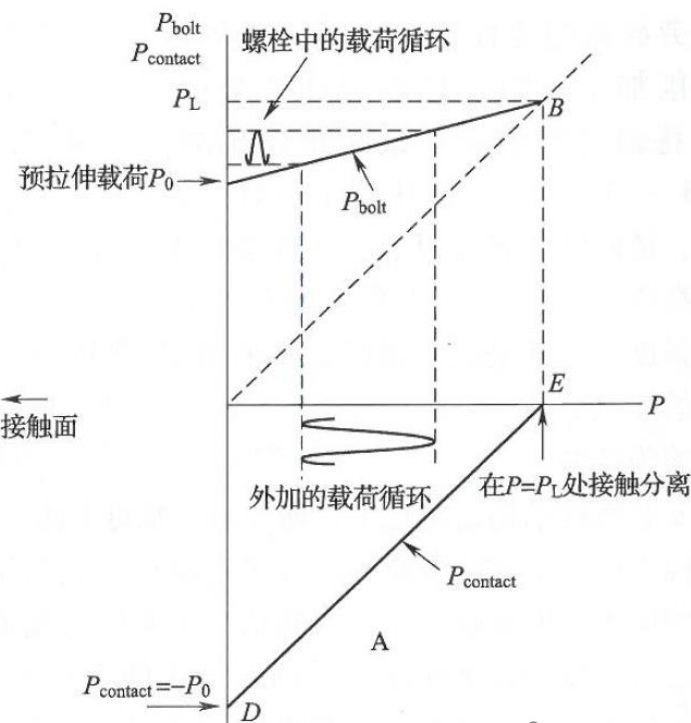
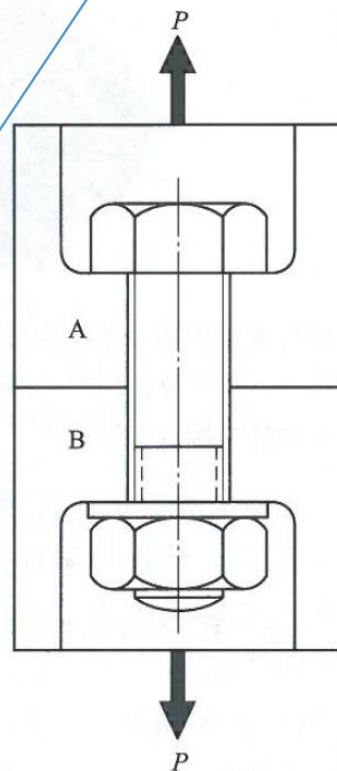
- 该螺栓的疲劳强度约为224MPa。由于连接螺栓存在预应力，相对于无预应力状态增加了平均应力，降低了应力幅，其实际的疲劳强度大于224MPa。由于预应力的存在以及对实际疲劳工况难以准确描述，无法直接计算发电机螺栓实际所受应力。故本文采用同平台不同外径的电机在相同边界条件、相同工况下对比的方法，评估螺栓断裂风险进而对该型号电机提出改进方案。

预紧力对螺栓疲劳寿命的影响



预拉伸对受拉钢螺栓疲劳
S-N曲线的影响(直径10mm)

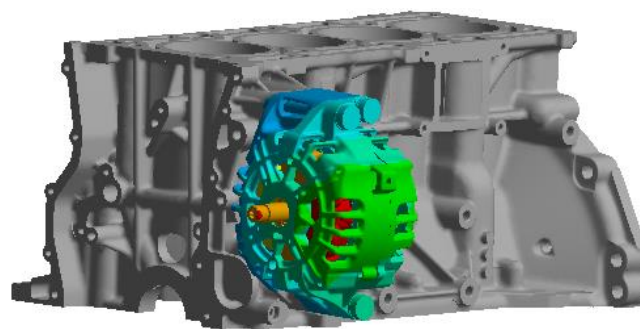
通过预紧螺栓，使平均载
荷增加而载荷幅值减小



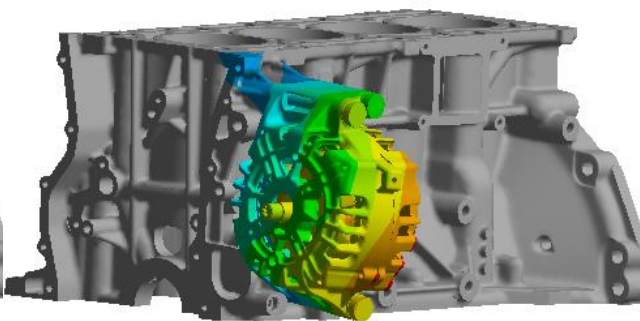
材料参数

	密度/(kg/mm3)	杨氏模量 (MPa)	泊松比
铝（缸体、电机端盖等）	2770	70000	0.3
结构钢（螺栓、转子、轴等）	7850	210000	0.3
定子总成	Valeo内部参数		

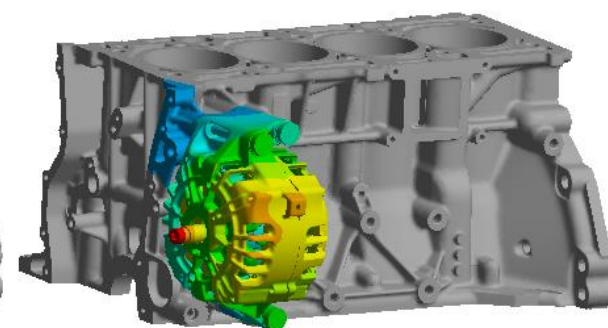
I型发电机模态分析



图a 一阶模态振型(181Hz)



图b 二阶模态振型(302Hz)



图c 三阶模态振型(350Hz)



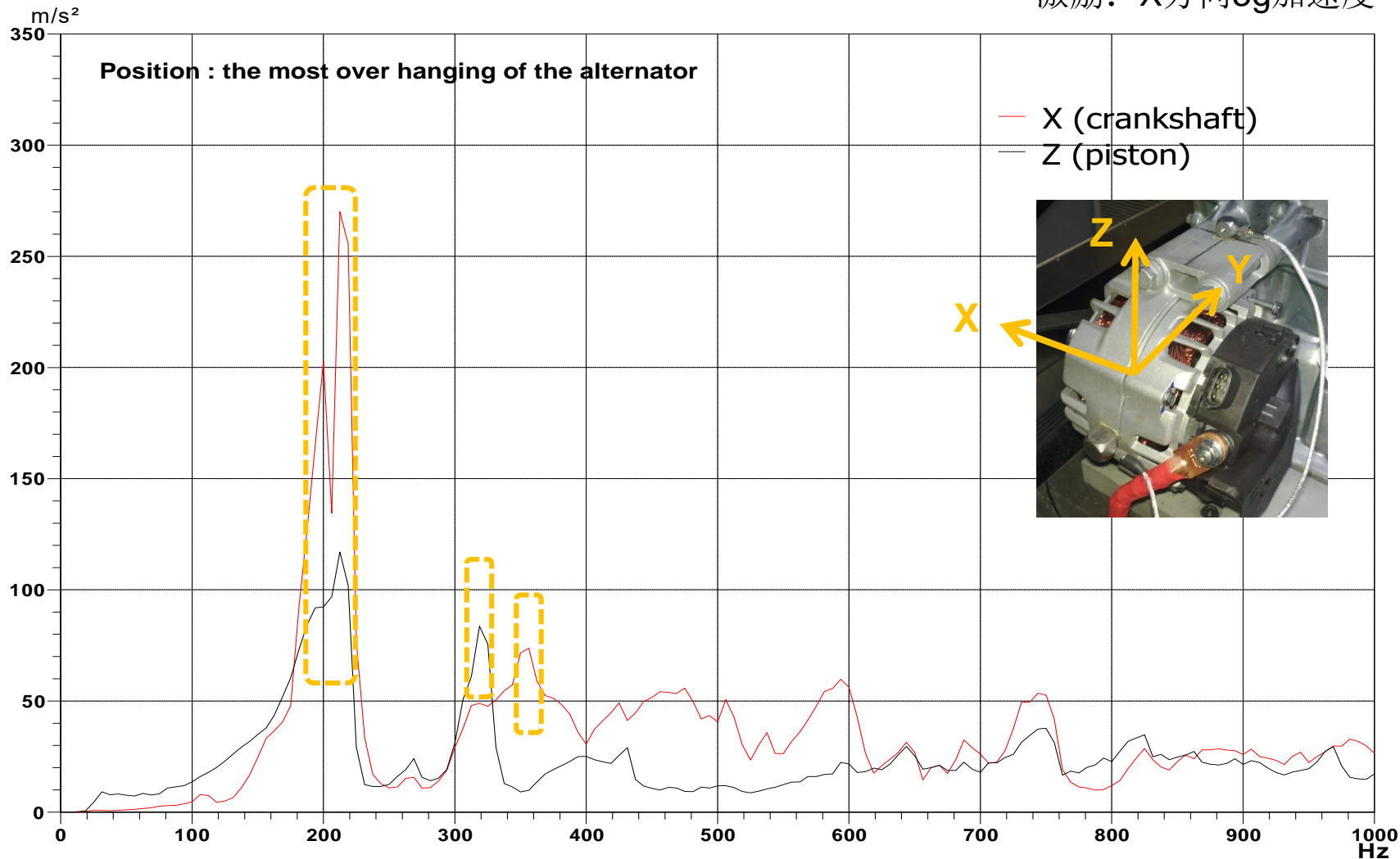
I型 二阶.



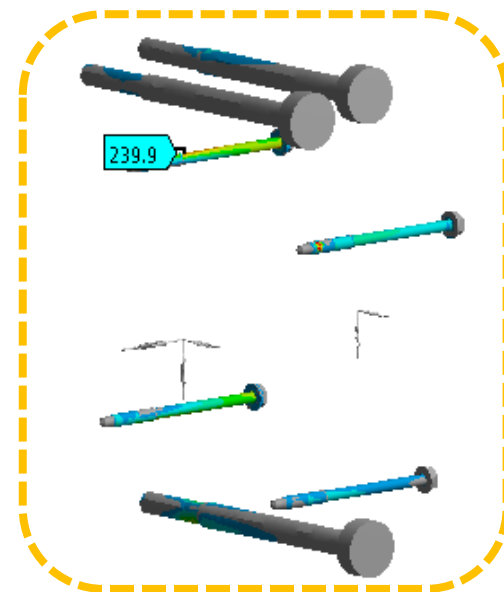
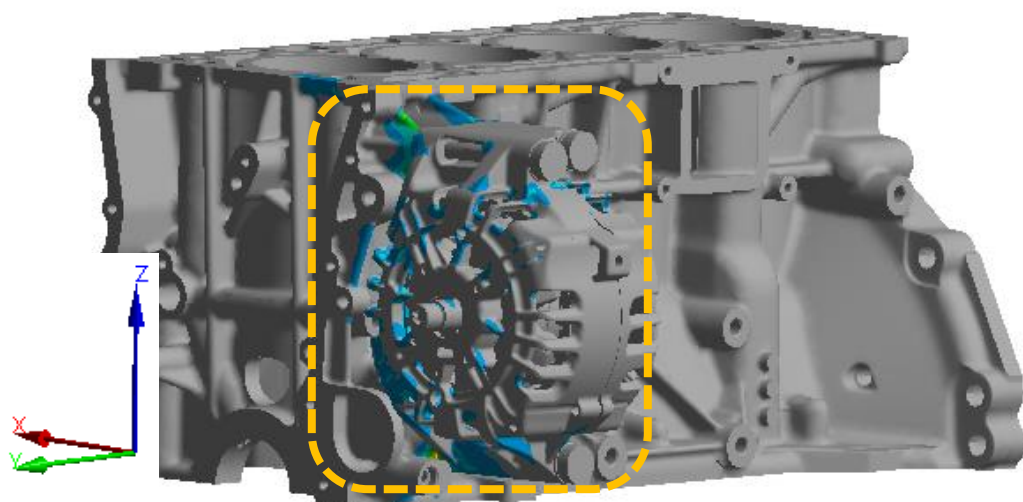
I型 二阶2.

I型发电机扫频试验结果

激励：X方向5g加速度



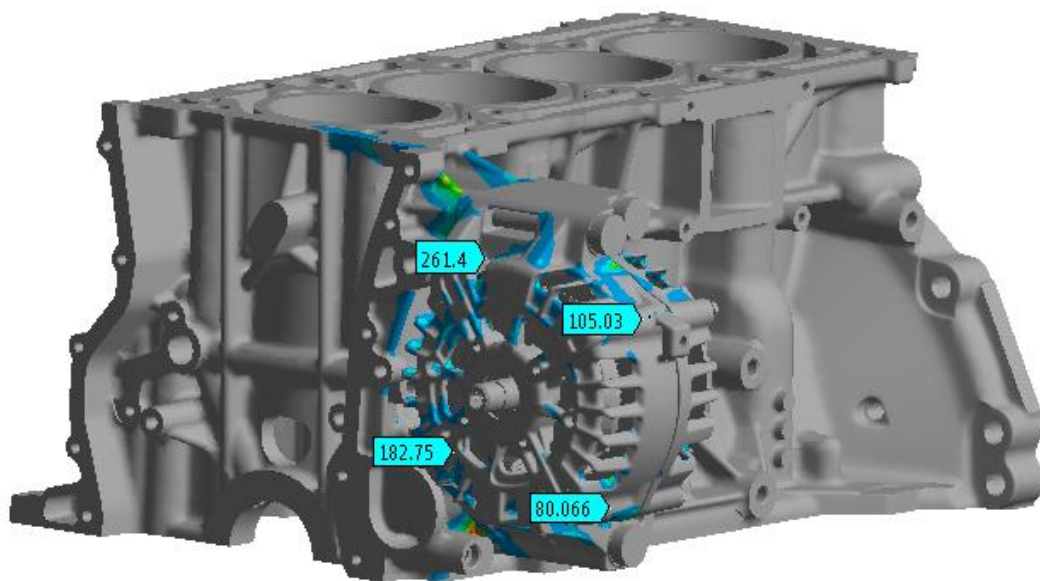
I型发电机谐响应分析



基于VDA 54h 10g标准，进行谐响应分析。通过分析仿真结果，最大应力发生在Z向（即活塞方向），302HZ时。即二阶振型引起了螺栓1的大应力。此时螺栓1上的最大应力为240MPa时。

所以后续采用同样的方法对II型发电机进行分析，可认为螺栓上的应力低于240MPa时是安全的。

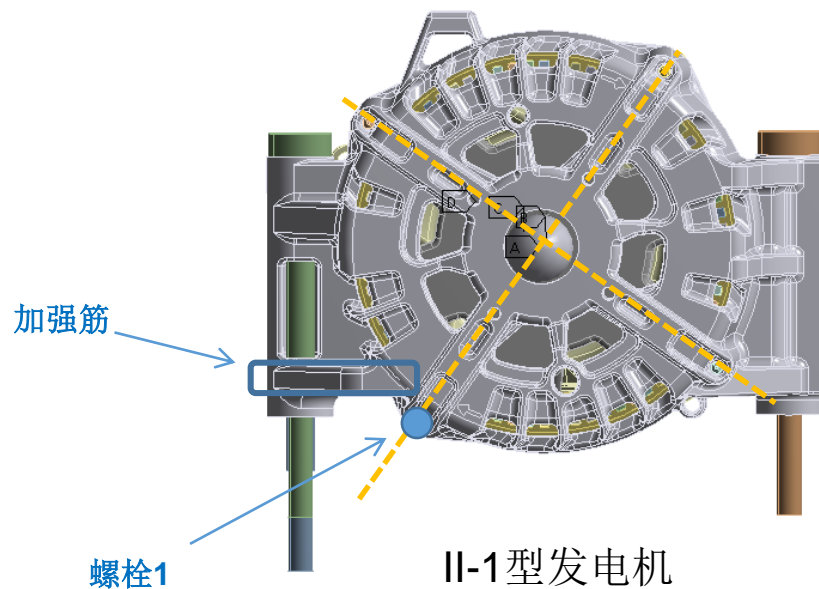
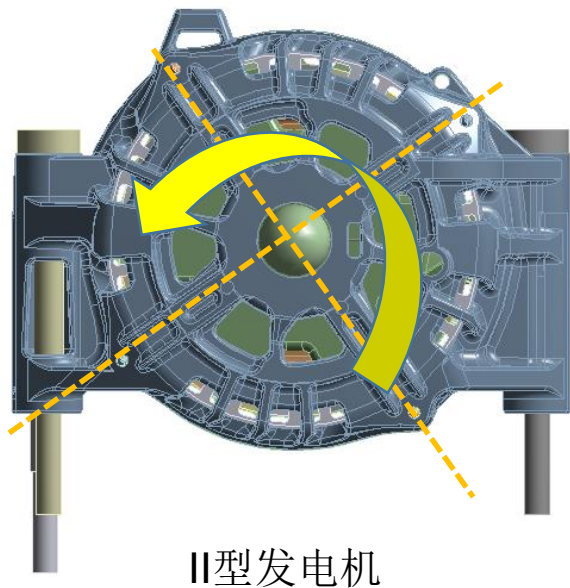
II型发电机的谐响应分析



II型发电机振动响应分析结果显示，4个螺栓里螺栓1的应力仍为最大，也是由二阶模态引起，最大应力为261MPa。四个螺栓应力大小排序与I型一致。

II型发电机的设计方案相较I型，螺栓断裂风险更大。

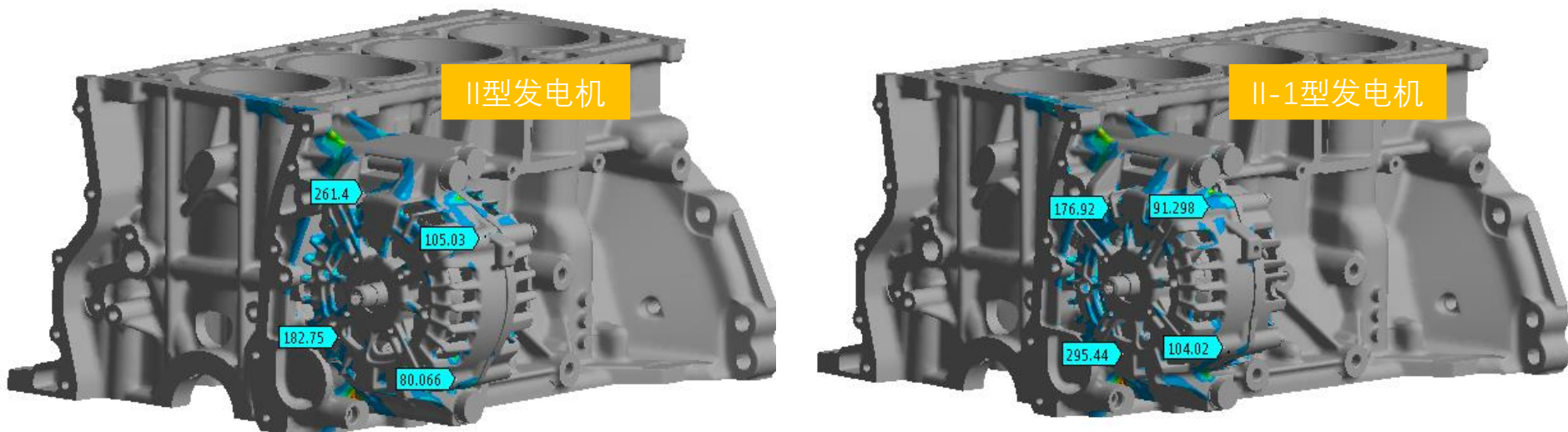
优化方案II-1



经分析，螺栓1的断裂的原因是螺栓1与支架的加强筋相连，导致螺栓与前盖连接处刚度过大，变形量太小。当发电机发生沿活塞方向的摆动时，由于后盖的甩尾效应，螺栓一承受剧烈的拉伸和剪切，进而发生断裂。

所以优化方向为降低螺栓连接处的刚度，尽量避免螺栓1与加强筋相连。将II型发电机中心部分逆时针旋转23度，得到II-1型发电机。

II-1型谐响应计算结果

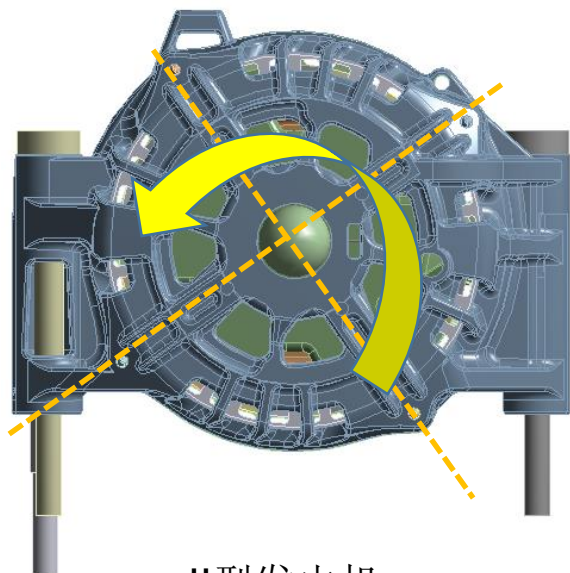


同样的方法对II-1型发电机进行分析，结果如上图。

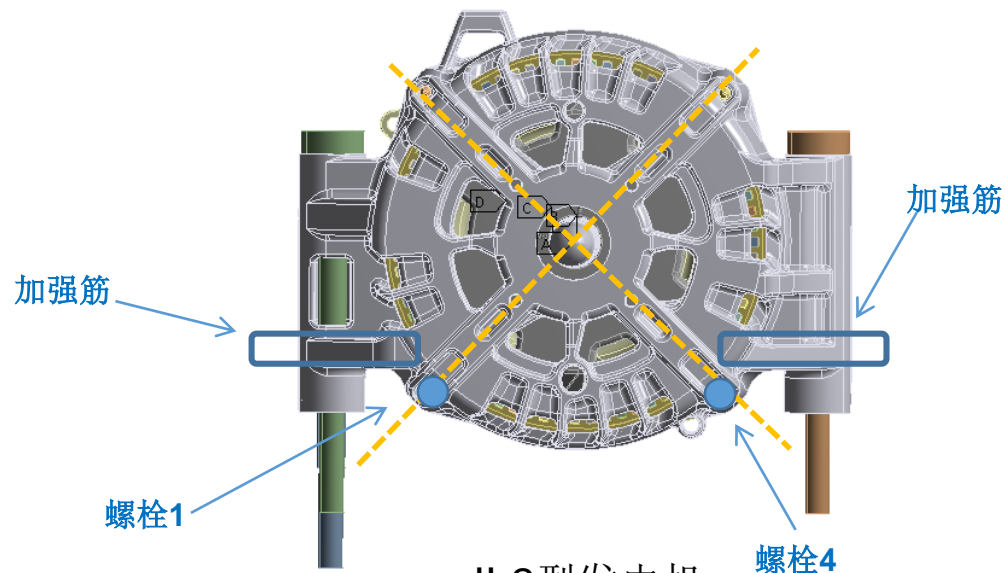
螺栓1的最大应力由261MPa下降到177MPa，可见II-1的优化方式对降低螺栓1的应力效果明显。但是，同时螺栓4的最大应力由180MPa上升至295MPa。原因是此时螺栓4与电机支架的加强筋相连（请见上一页）。

下一步优化方向，调整旋转角度，调整支架设计。

优化方案II-2



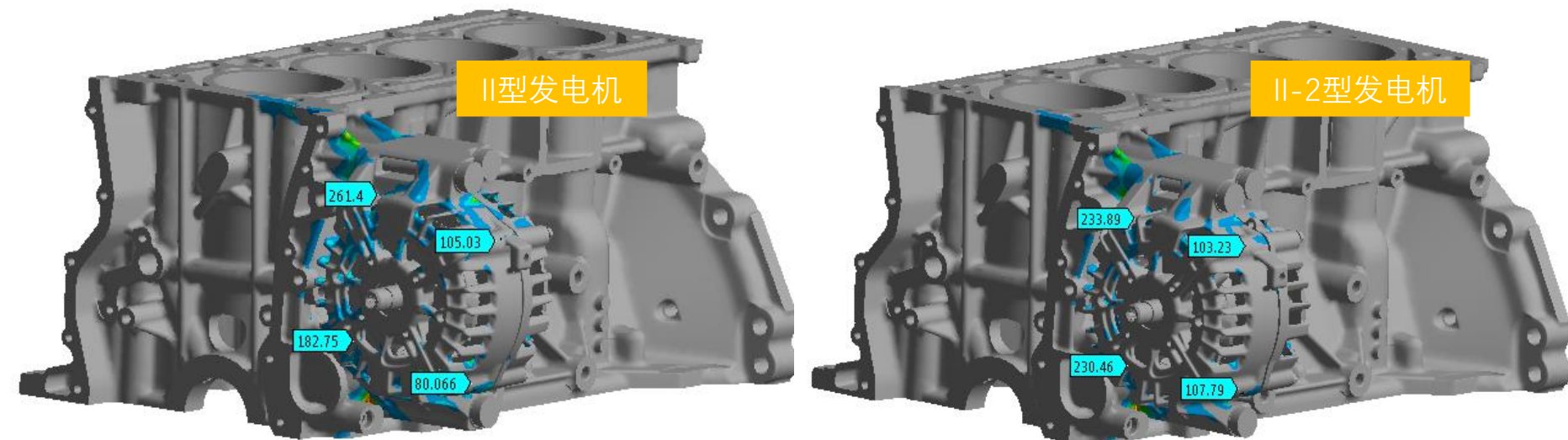
II型发电机



II-2型发电机

经调整旋转角度，调整支架设计，得到方案II-2。避免了螺栓1、螺栓4与加强筋相连。

II-2型谐响应计算结果



同样的方法对II-2型发电机进行分析，结果如上图。

螺栓1的最大应力由261MPa下降到233MPa，可见本设计对降低螺栓1的应力效果明显。

总结

- 基于Ansys Workbench，利用模态分析和谐响应分析，可由相似设计推导出连接螺栓的等效疲劳强度。
- 在项目虚拟模型阶段即可对发电机连接螺栓的断裂风险作出评估，进而给出优化方案。本例通过调整连接螺栓的分布位置，实现降低螺栓应力。
- Ansys Workbench是一个能够加速研发周期的工具。I型发电机设计期间为了解决螺栓断裂问题，与客户共同反复修改耗时半年多。II型发电机螺栓布局优化在虚拟阶段即介入，包含与客户的沟通确认时间，耗时仅1个月。

ANSYS®



ANSYS中国技术大会
中国·上海

感谢聆听