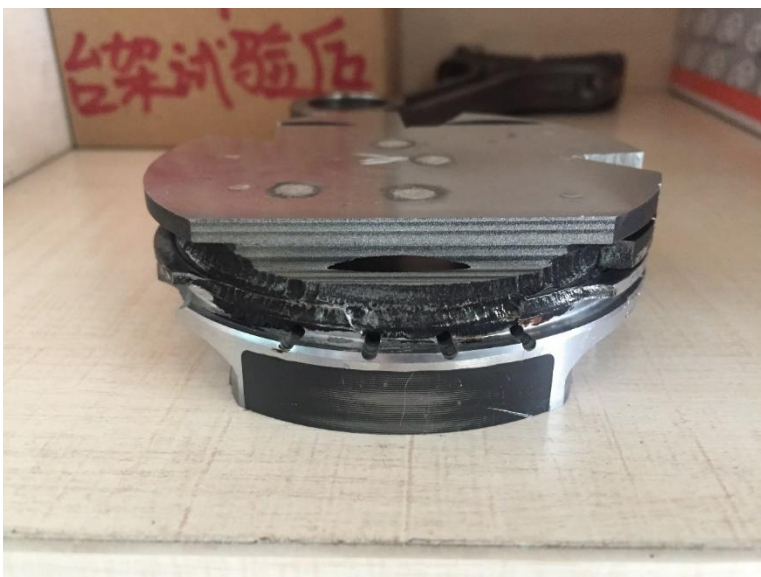


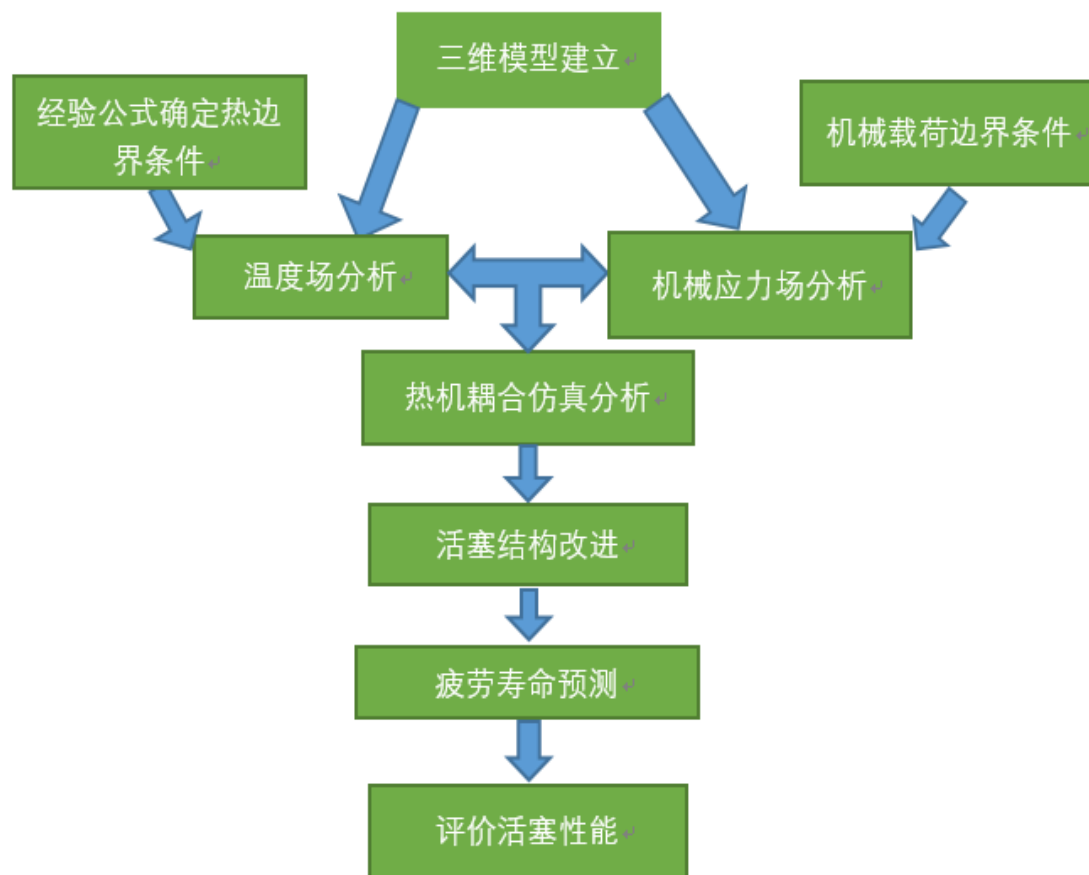
一、课题背景

双港活塞股份有限公司的4G18T型汽油机活塞出现顶面裂纹、环岸断裂等失效现象；

毕设课题要求：针对活塞的疲劳失效问题，探讨活塞疲劳的主要影响因素，并开展抗疲劳设计研究，对活塞进行结构改进，提高其疲劳寿命满足使用要求。



二、研究路线



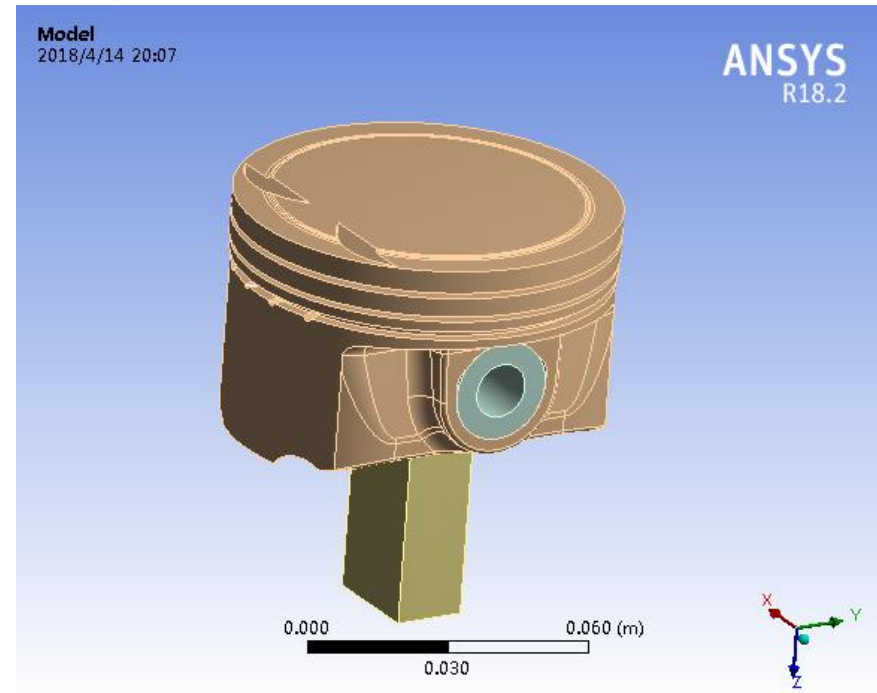
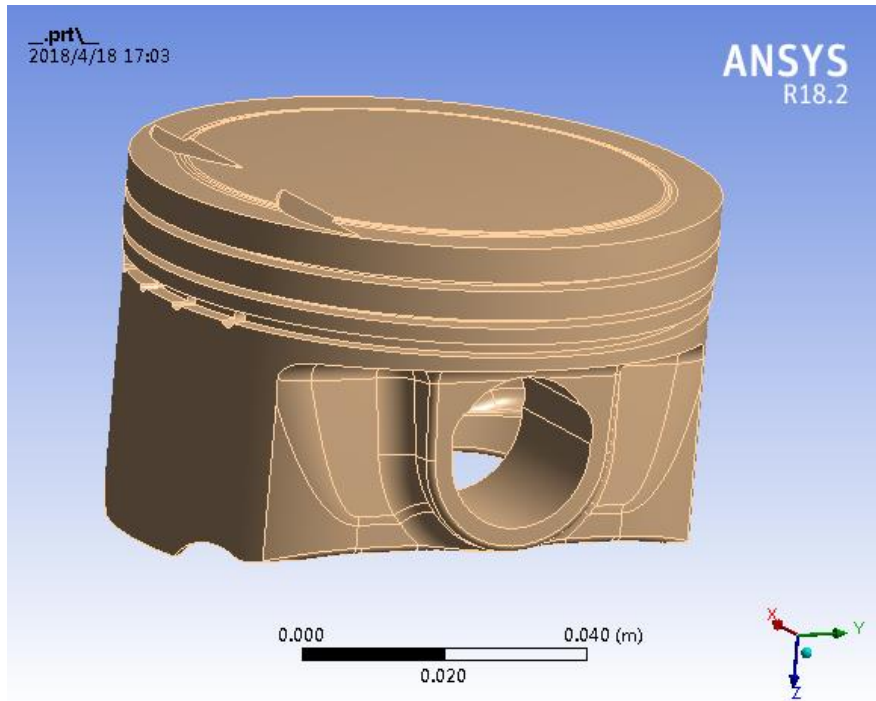
软件：
CREO
ANSYS

理论知识：

- 发动机原理的相关知识；
- 活塞设计的相关知识；
- 温度场理论和传热学原理；
- 力学理论基础；
- 疲劳理论等等

三、有限元建模

活塞组三维建模——定义材料属性——网格划分等——有限元模型建立



材料ZL109铝合金

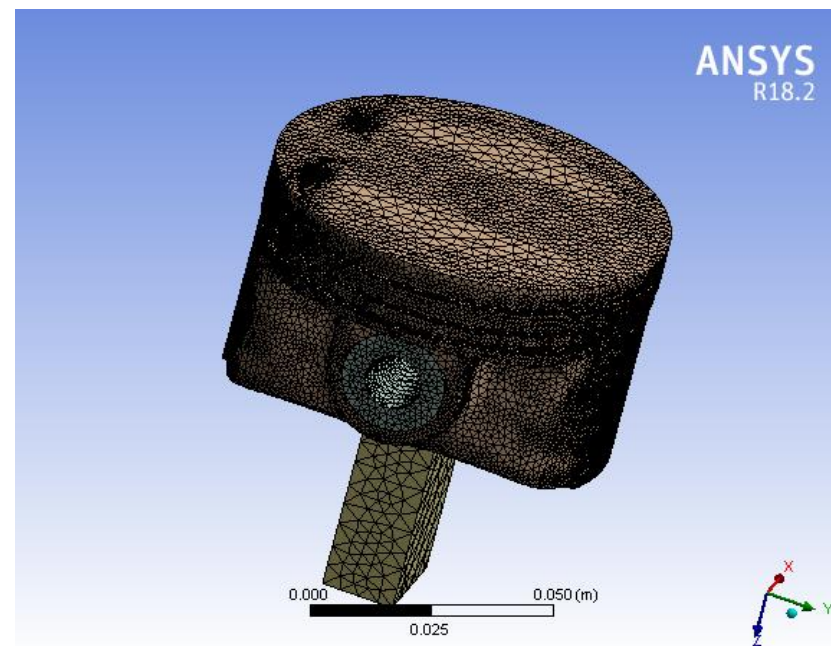
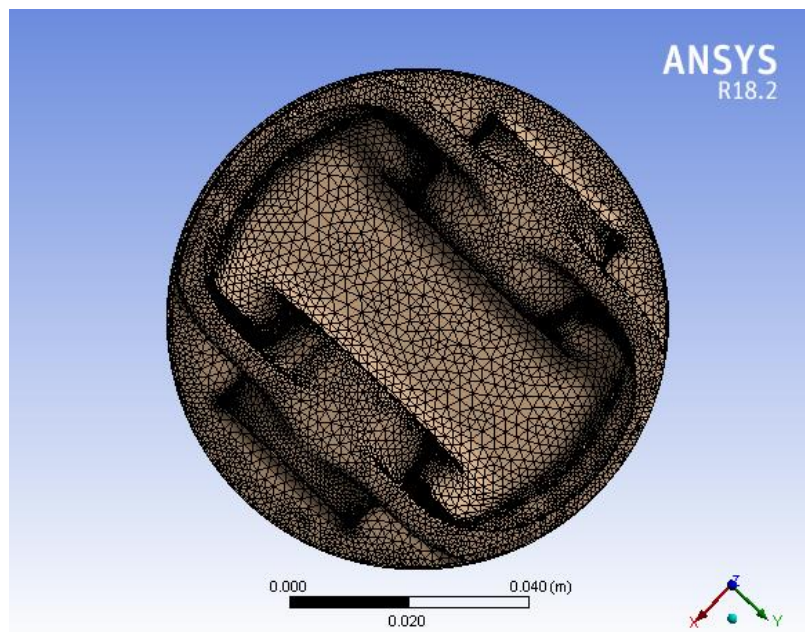
网格划分

网格划分方式：四面体网格划分

优点：适应不规则结构以避免网格单元畸形进而提高仿真计算的准确性

网格划分运算方式：独立式网格运算

优点：忽略圆角的网格运算方式，可以增加计算速度



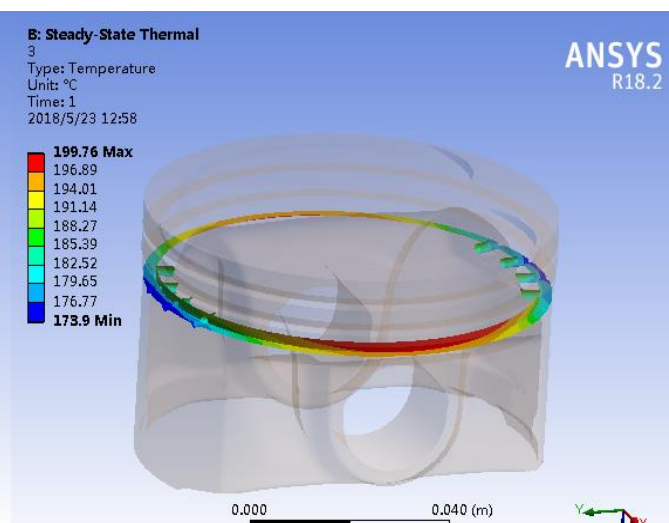
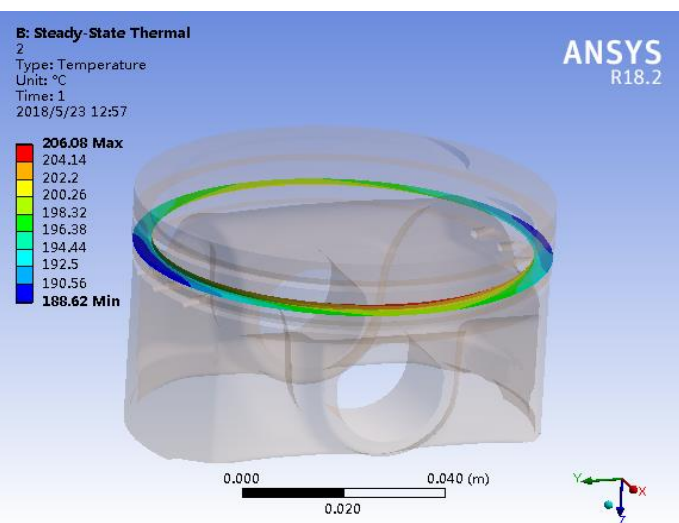
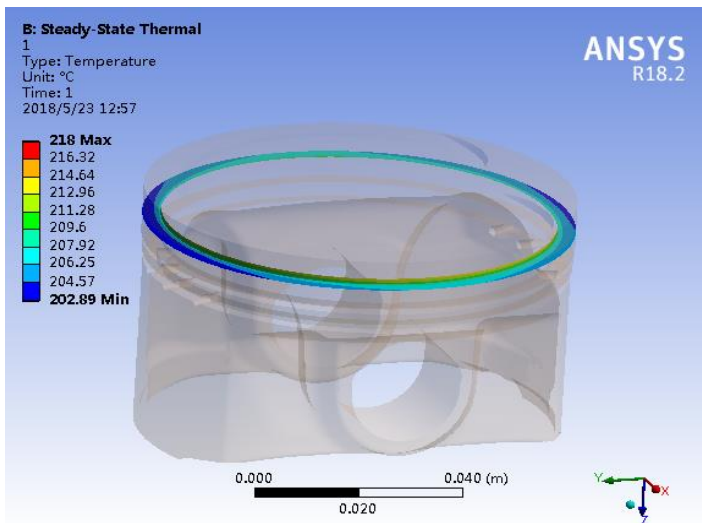
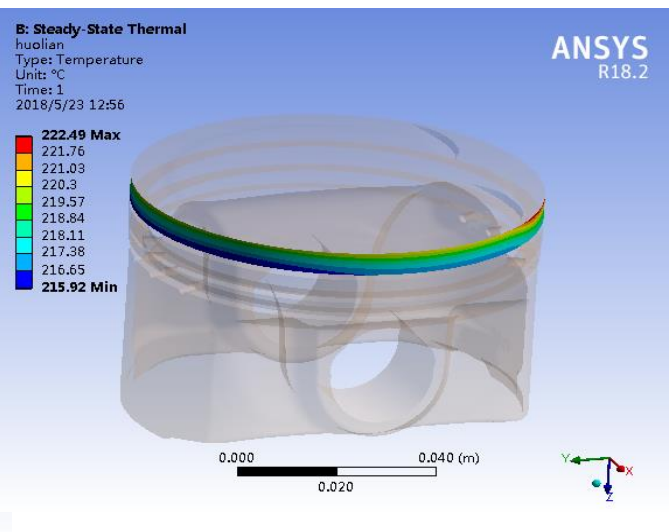
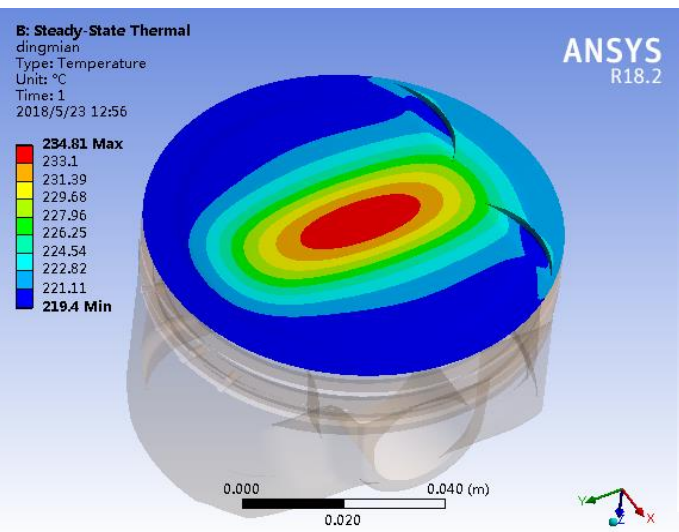
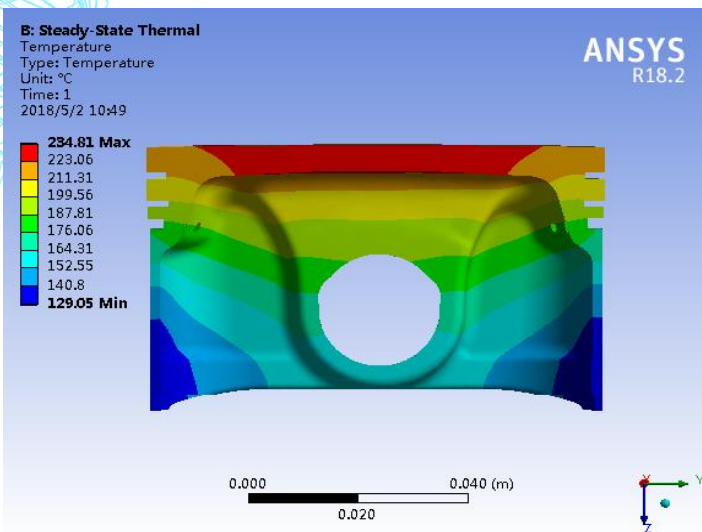
网格质量检查——网格平均质量、长宽比、网格总数等等

四、温度场分析

稳态温度场分析需要活塞各部位的平均温度和对应的对流换热系数，通过经验和半经验公式得出。

活塞的部位	对流换热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)	环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)
活塞顶部	450	700
活塞火力岸	480	185
第一环槽 上下侧面	1000	171
内环面	300	168
第一环下环岸	450	160
第二环槽 上下侧面	900	155
内环面	300	152
第二环下环岸	450	148
第三环槽 上下侧面	850	142
内环面	200	145
活塞裙部	450	100
活塞销	430	98
活塞内腔上部	600	95
活塞内腔下部	590	93

温度场分析结果



温度场仿真结果分析

温度场分析结果

部位	计算结果 (°C)
顶面	235
火力岸	222
第一环槽	218
第二环槽	206
第三环槽	199
裙部	129

- 活塞顶面最高温度235 °C，位于顶面中心位置。
- 第一环槽温度218°C，接近机油结焦的温度220°C，长时间工作下可能会导致润滑油发生变质甚至碳化，造成活塞环结焦。
- 活塞整体温度没有超过300 °C，对机械性能的影响不是很大。

五、热机耦合仿真分析

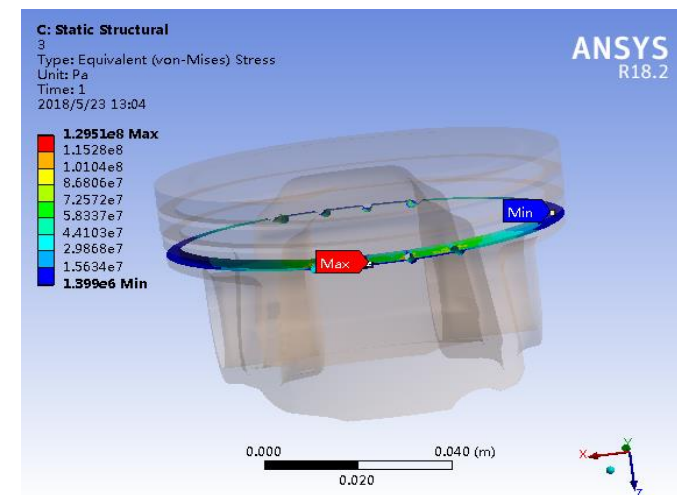
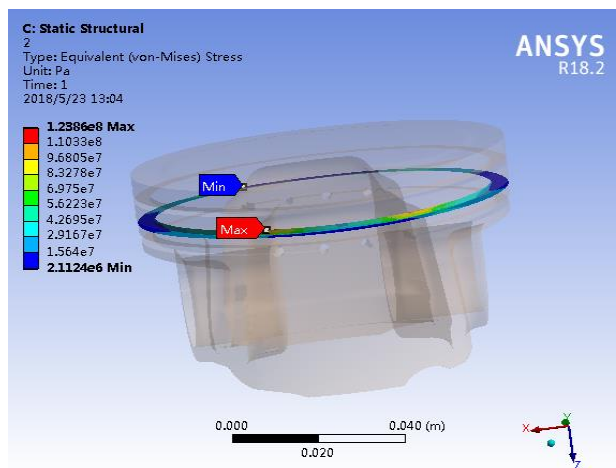
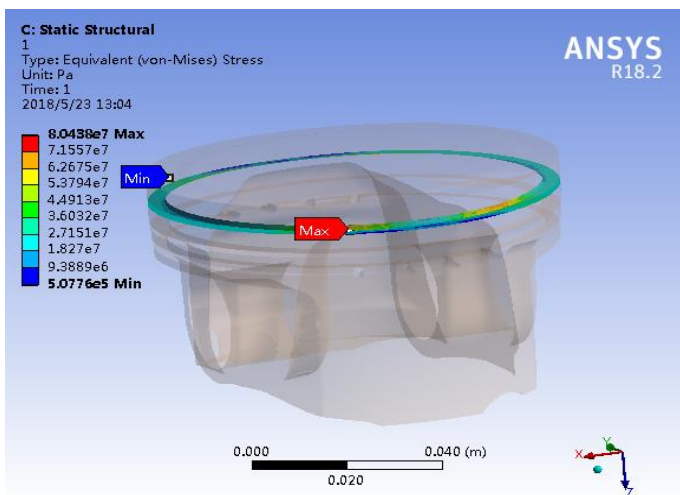
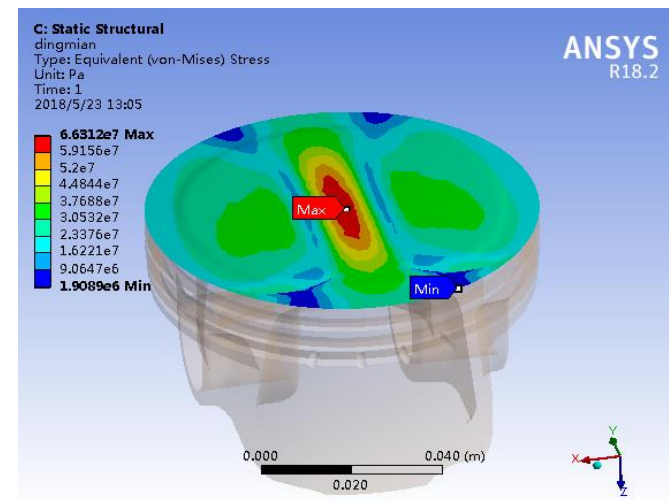
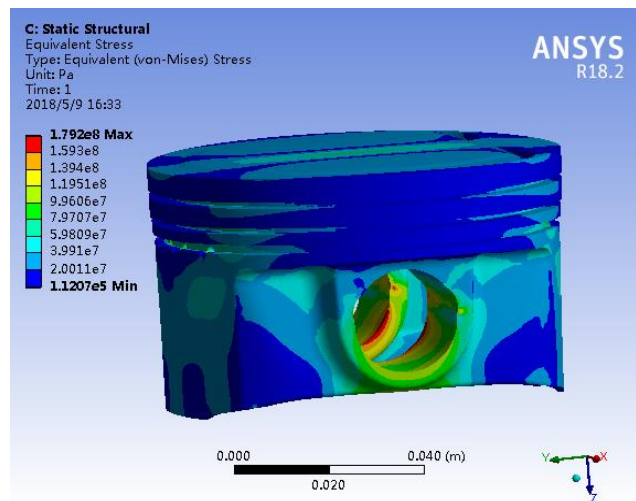
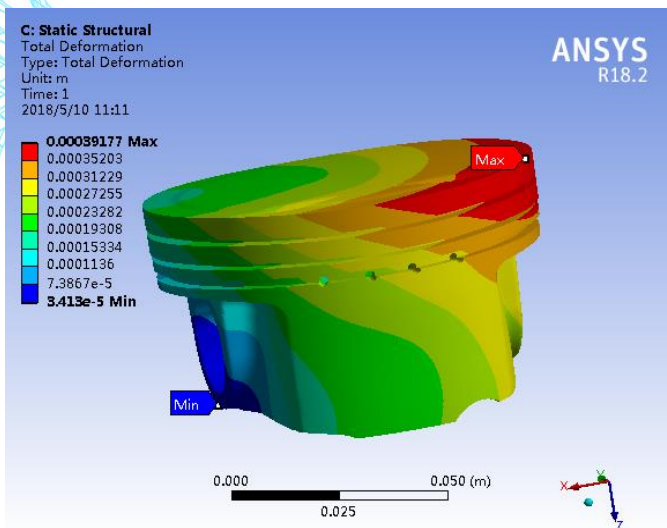
机械载荷边界条件

载荷位置及名称:	大小:
最高爆发压力 (P)	10MPa
活塞顶部燃气压力	54835.7N
活塞往复惯性力	691.3N
活塞侧推力	4737.0N
火力岸的气体压力	0.9P
第一环槽的气体压力	0.86P
第二环槽及环岸的气体压力	0.22P
第三环槽及环岸的气体压力	0.076P

约束条件总结

约束项目	约束内容
活塞顶面	10MPa
连杆底部	固定约束
活塞整体加速度	2331.33m/s ²
接触刚度因子 (FKN)	0.05
摩擦系数	0.1

热机耦合仿真分析结果



热机耦合仿真结果分析

热机耦合分析结果总结

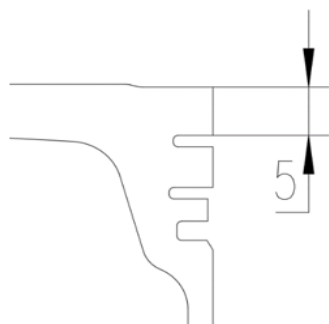
部位	最大应力值 (MPa)
销座处 (最大应力点)	179
第一环槽	80
第二环槽	123
第三环槽	129
顶面	66

- 活塞的最大应力为179MPa，位于活塞销座位置处；
- 顶面最高压力为66MPa，位于顶面中心位置处；
- 环槽位置的最大应力为129MPa，位于第三环槽的漏油孔处。
- 分析认为，活塞的设计满足抗疲劳设计要求。
- 顶面裂纹的主要原因是铸造缺陷和顶面应力稍大；
- 环槽断裂的原因较为复杂，第一环槽温度偏高；漏油孔处应力集中；环槽位置应力偏大；断裂面存在裂纹源、贝壳纹和瞬断区等疲劳断裂的特征，由此判定环槽断裂属于高周疲劳断裂。

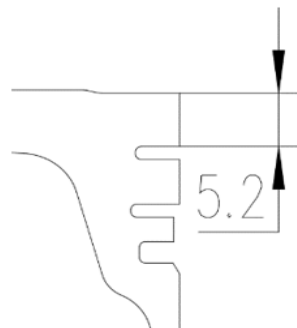
六、改进措施

措施一：

改进前：

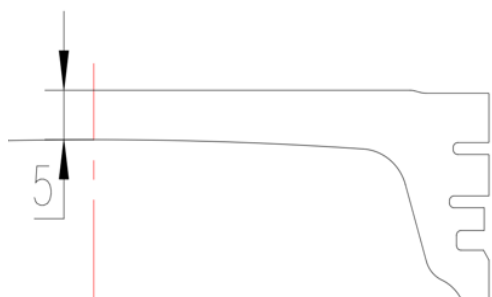


改进后：

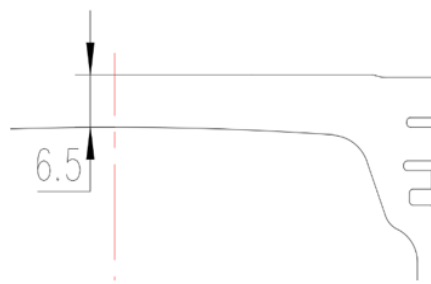


措施二：

改进前：



改进后：

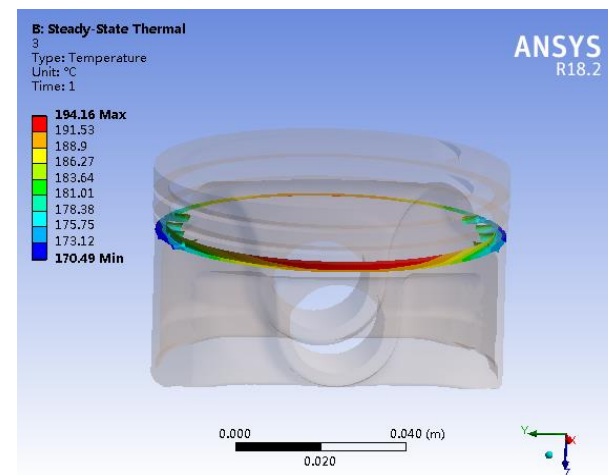
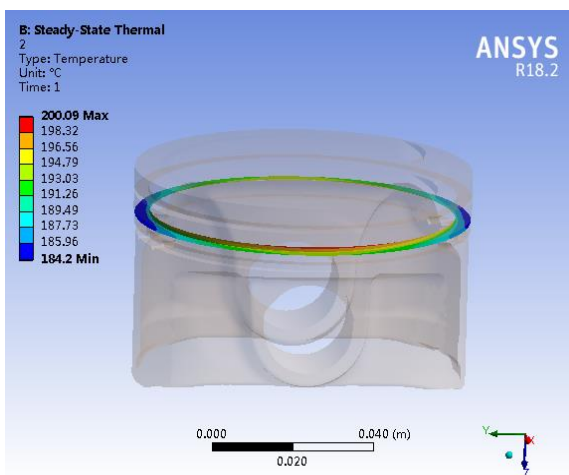
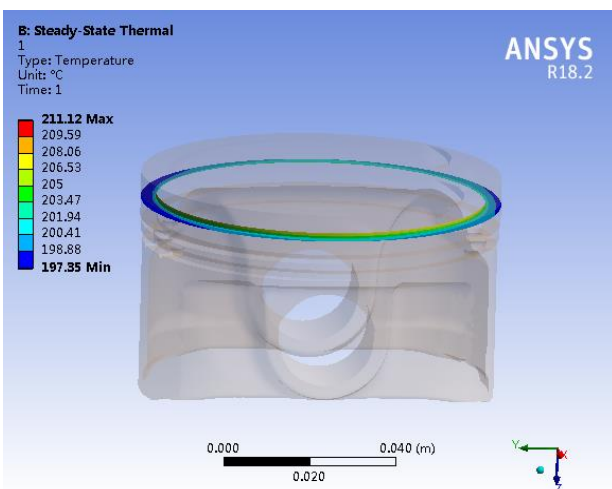
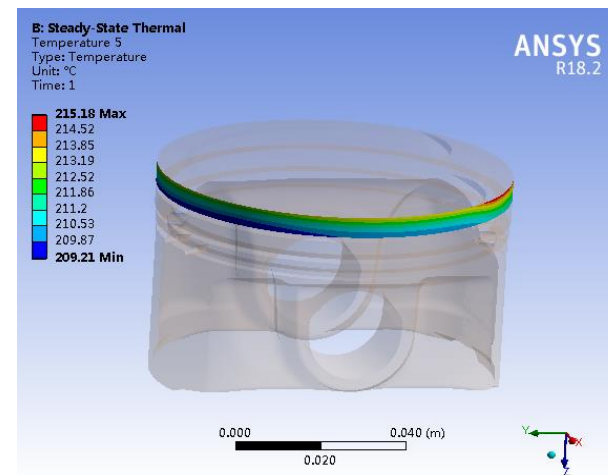
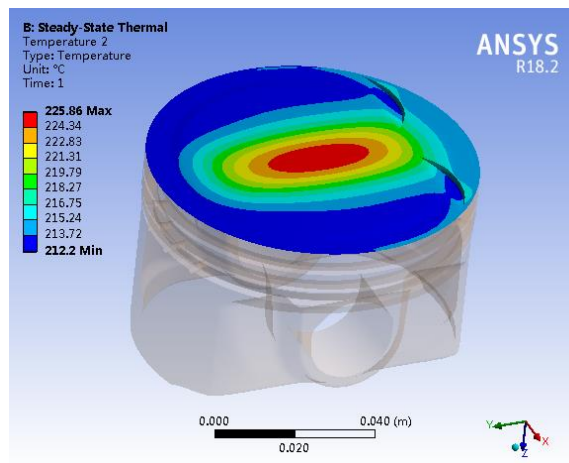
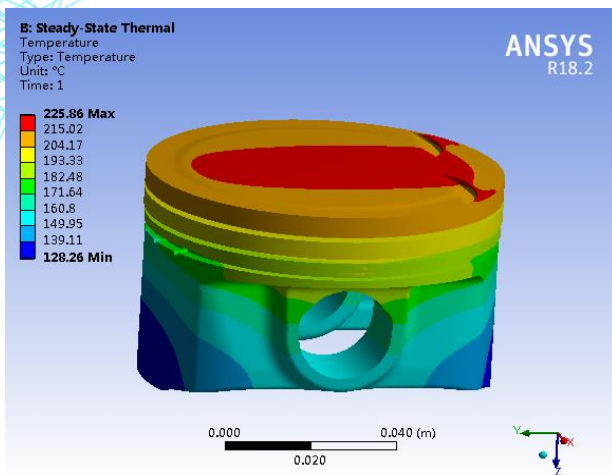


其他建议：

- 提高顶面阳极氧化工艺；
- 加强铸造的过程检验；
- 从模具设计、铸造方式等方面进行改进，克服顶面缺陷；
- 漏油孔改进为漏油槽等等。

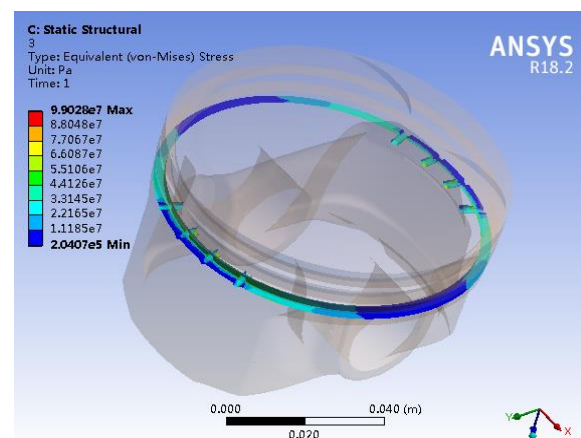
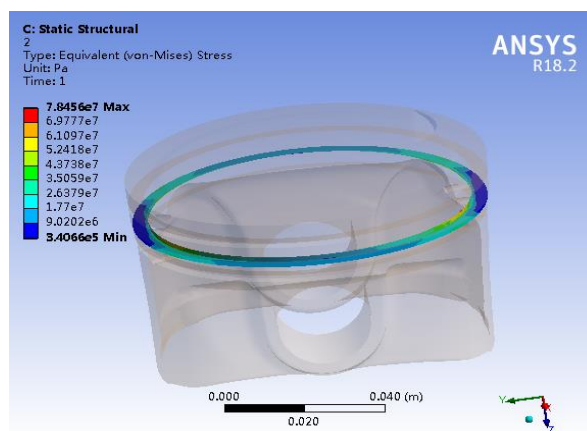
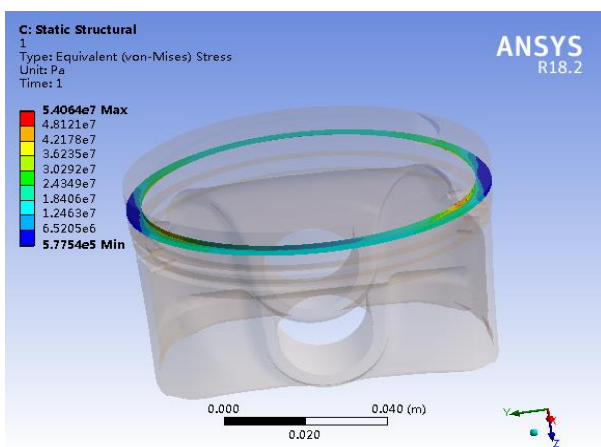
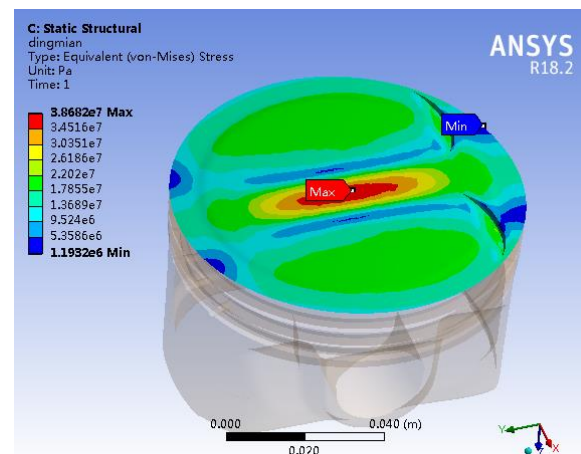
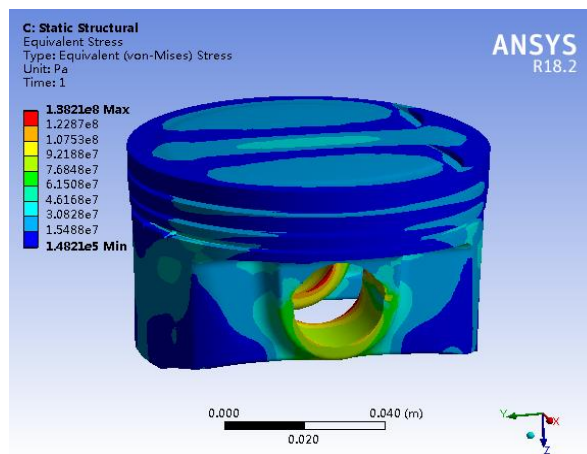
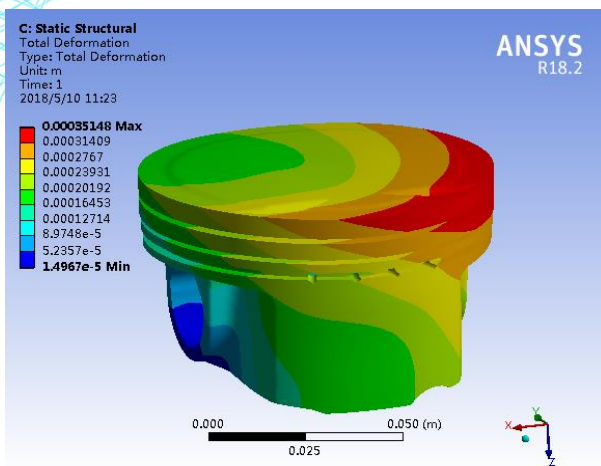
改进后的仿真分析

温度场仿真结果:



改进后的仿真分析

热机耦合仿真结果:



仿真结果分析

改进前后温度场仿真结果对比

部位	改进前温度 (°C)	改进后温度 (°C)
顶面温度	235	225
第一环槽	218	211
第二环槽	206	200
第三环槽	200	194

活塞整体温度下降10°C左右；
第一环槽的温度为211°C，已经
远离机油结焦的温度。

改进前后热机耦合仿真结果对比

部位	改进前最大应力 (MPa)	改进后最大应力 (MPa)
销座处（最大应力）	179	138
第一环槽	80	54
第二环槽	123	78
第三环槽	129	99
顶面	66	38
最大形变量（mm）	0.39	0.35

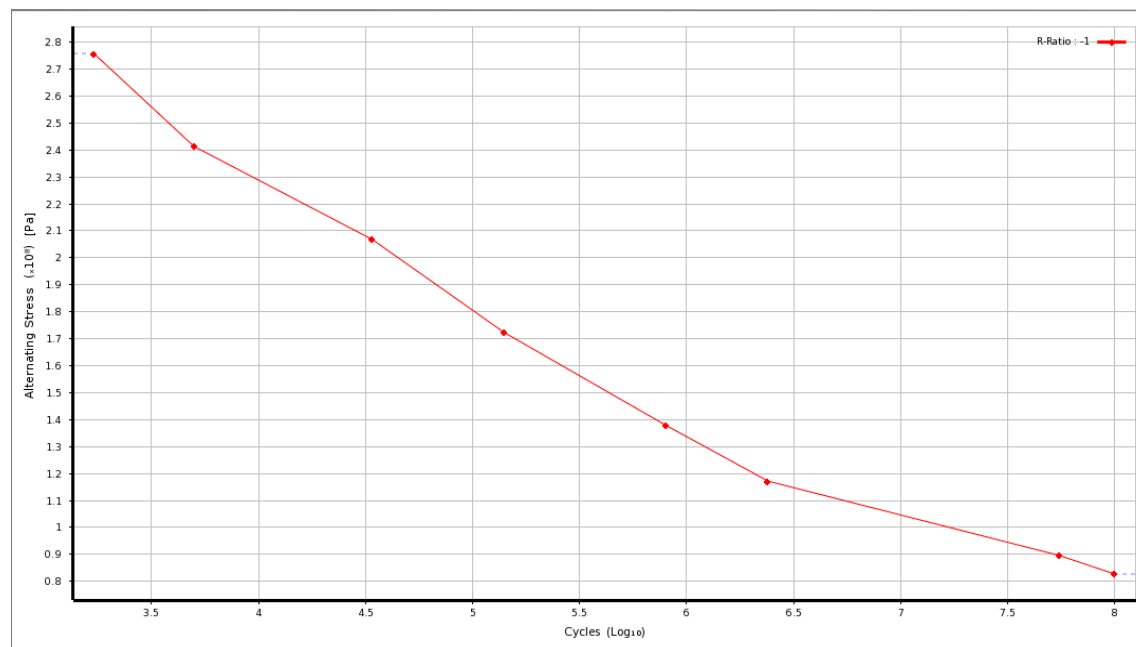
- 顶面最大应力降低了26MPa；
- 环槽位置的最大应力仍在漏油孔处，但整体应力下降明显，第三环槽漏油孔位置的应力集中现象有所减轻；
- 结构改进后活塞的耐久性和可靠性有所提高。

七、疲劳寿命预测

活塞环槽断裂问题属于高周疲劳损伤，因此本课题通过学习疲劳分析的理论基础并借助ANSYS内置的疲劳计算模块对活塞进行疲劳寿命预测。

疲劳预测主要步骤：材料疲劳特性的设置——绘制载荷谱——疲劳寿命预测

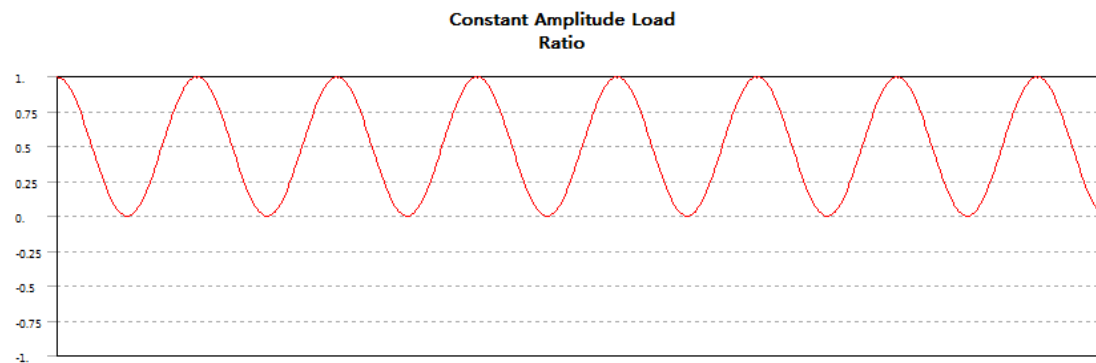
S-N曲线：



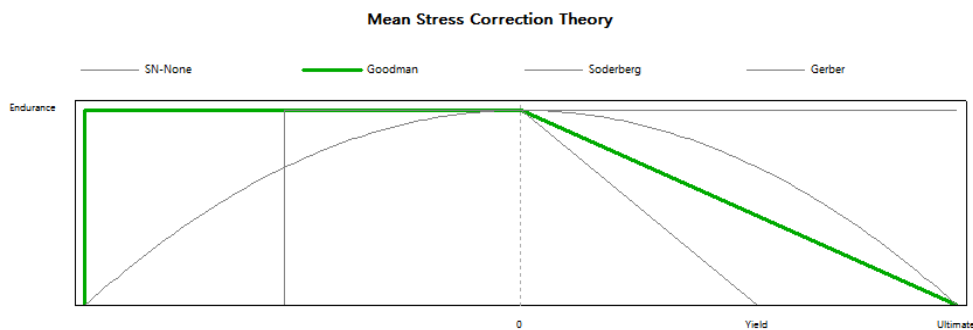
疲劳寿命预测

载荷谱： 气体压力表征活塞的受力随时间的变化关系

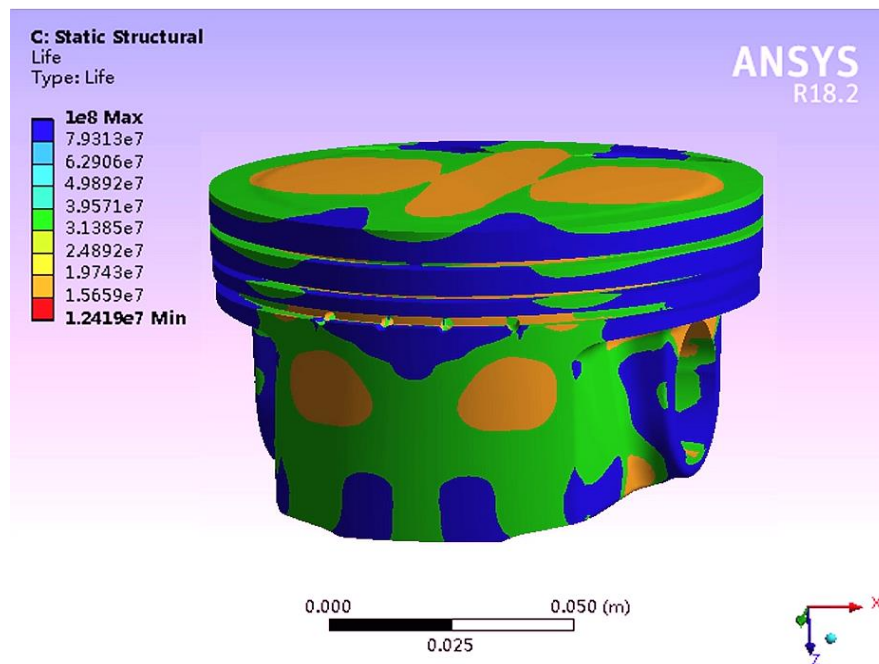
该型活塞用于众泰1.8T增压型汽油发动机，其缸内气压始终大于一个大气压，气体压强可近似为正弦的脉冲形式加载于活塞顶部。



应力修正：



疲劳寿命预测结果



活塞最低的疲劳寿命为 1.2×10^7 次，活塞销座内侧大约中部位置处；
活塞顶面的最低疲劳寿命为 1.7×10^7 次，位于顶面中心点；
活塞环槽部位的最低寿命 1.5×10^7 次，位于第三环槽的漏油孔位置处。
结论：改进后的活塞满足无限寿命设计要求。

八、总结和不足

总结：本课题针对活塞的失效问题主要做了：仿真分析-结构改进-疲劳寿命预测三项工作。

通过仿真分析认为活塞的设计满足疲劳设计要求，顶面裂纹主要是由于铸造缺陷和顶面稍薄；环槽断裂原因复杂，第一环槽温度偏高，漏油孔处应力集中，环槽位置应力偏大，实际工作过程中也可能导致环槽断裂。经过分析判断认为环槽断裂属于高周疲劳损伤。随后对活塞进行结构改进，对改进后的活塞进行仿真分析和寿命预测后，认为改进后的活塞满足发动机使用要求。

不足：内腔对流换热系数；接触刚度因子；摩擦因子；改进措施单一，没考虑轻量化设计；材料S-N曲线等等。