

## ANSYS 与中国铁路机车车辆制造业

[王惠玉 芮斌 郑长国]

[中国北车集团大连机车车辆有限公司 116022]

**【摘要】** 本文阐述了中国铁路机车车辆制造业统一引进 ANSYS 软件的好处，并以大量的应用实例，说明引进 ANSYS 软件在新的机车车辆产品的开发研制中所发挥的重要作用。

**【关键词】** 机车车辆 ANSYS 软件 计算分析

## ANSYS and Locomotive & Rolling Stock Manufacturing in China

[Wang Huiyu Rui Bin Zheng Changguo]

[Dalian locomotive & rolling stock Co., LTD.CNR Group .116022]

**【Abstract】** The article stated the advantages of importing ANSYS software in unified way in locomotive & rolling stock manufacturing industry in China railways and explained the vital functions the imported ANSYS software has brought into play in the new locomotive & rolling stock products' development by illustrating lots of examples of application.

**【Keyword】** locomotive & rolling stock ANSYS Analysis

### 1 前言

ANSYS 与中国铁路机车车辆制造业已有十几年的源缘，在十多年中，双方相互支持、配合，相互交流和相互理解，已经融合为一个虚拟的整体。特别是在“九五”期间，铁道部为适应国民经济飞速发展对铁路运力的要求，对铁路机车车辆提出了“提速、重载”的决策。为了快速提升机车车辆新产品的研发能力，铁道部对机车车辆制造业的产品研发信息化中的 CAD、CAE 软硬件系统，进行了重点投入。

为了选好适合机车车辆制造业的 CAE 软件，当时的中国机车车辆工业总公司对此非常重视，因为这关系到其下属的 30 多个研究所和主机制造工厂对 CAE 技术的应用和长远规划，为此，专门成立了软件引进工作组，经过充分的论证，最终选择了 ANSYS 软件。

自 ANSYS 软件引进后，总公司与 ANSYS 公司携手，对应用 ANSYS 软件，按低、中、高不同层次，先后培训了 200 多人，在各机车车辆研究所和制造厂中迅速形成了一支 CAE 技术应用的骨干力量，这对当时正在加速开发研制适应“提速、重载”机车车辆产品，提供了可靠的基础技术支持和保证，在全行业中，明显的缩短了新产品的研发试制周期，降低了研发试制的成本，取得了可观的经济效益和社会效益。实践证明，选择 ANSYS 是正确的。

## 2 行业统一选择 ANSYS 软件及其产生的良好效果

### 2.1 当时作为铁道部的机车车辆制造业统一选择 ANSYS，其主要依据是：

2.1.1 软件功能完全可以满足机车车辆制造业的产品研发需要，这在行业内部早先引进 ANSYS 软件的研究所和制造工厂的应用效果，已经得到证明。同时，国外相当多有名的机车车辆制造业也应用 ANSYS，如美国的 GE、GM、德国西门子公司等；

2.1.2 公司的稳定性和发展前景，ANSYS 公司从组织机构、人员组成、经营业绩到公司的远景，一直是逐年发展，不断扩大，坚定稳固，目标明确，这是用户可信赖和依靠的依据；

2.1.3 公司的文化内涵和团队精神，ANSYS 公司一直以“团结、尊重、创新和真诚服务”作为公司的文化，同时，公司内部团结一致，形成了一支坚强的团队，这是用户的可靠支柱；

2.1.4 公司的技术力量和服务，ANSYS 公司的技术部有一批业务精的骨干，同时还有在国内不同工程行业工作几十年的专家以及在国外分析行业工作多年的专家作技术支持，这是用户可靠的基础保证。

### 2.2 行业统一引进 ANSYS 软件后，其效果很快就显现出来：

2.2.1 便于统一组织培训；

2.2.2 便于行业内部的相互技术交流和学习；

2.2.3 便于行业内部项目专题的技术评审；

2.2.4 便于行业内部的技术评价。

同时，为了更好的推动行业内部的 CAE 技术的应用，在行业内部先后组成了 CAE 技术支持中心和 CAE 技术专家组。从而在 ANSYS 软件引进一年之内，行业内各研究所、制造工厂在“提速、重载”机车、车辆新产品开发研制中的应用效果就非常明显，并在总公司内部的应用成果中，选取了 23 篇有推广价值的论文，编辑成《ANSYS 在中国铁路机车车辆设计与分析中的应用（论文选集）》，有力的推动了 ANSYS 软件在本行业的应用。更重要的是使领导层、应用层对 CAE 技术的应用前景更加充满信心。

## 3 ANSYS 软件在机车车辆行业虚拟样机仿真分析系统中的应用实例

在 ANSYS 软件引进后，正赶上铁路几次大提速，为了适应“提速、重载”的要求，快速开发研制适应“提速、重载”需求的机车和车辆，是机车车辆工业系统下各研究所、制造工厂的当务之急。这期间，在新的提速、重载机车车辆产品的开发中，先后建立了机车车体钢结构数字化虚拟样机仿真系统；机车用高速转向架数字化虚拟样机仿真系统；柴油机机体的数字化虚拟样机仿真系统；转向架的强度、疲劳分析仿真系统；铁路货车虚拟样机仿真系统；电机电器虚拟样机仿真系统；机车车辆运动学虚拟样机仿真等系统，这其中，ANSYS 软件发挥了重要作用，为新产品的开发提供了可靠的论证依据，从根本上保证了提速机车车辆的开发质量。

### 3.1 机车车体的计算分析

机车车体是机车的主要承载体，其受力有：牵引力；冲击压缩力；车内各设备的运动惯性力；整车的自重力；空气阻力；过弯道时的横向惯性力和风的横向作用力；紧急制动惯性力等。特别是“提速、重载”机车的车体，对其强度、刚度和疲劳寿命都要求更高，为了保证车体具有良好的性能状态和合理的车体结构，在开发的过程中就必须对其整体结构进行仿真计算分析和评价。其计算模型图和应力图可见图1，图2。在对该车体的仿真计算分析中，曾对设计方案提出了多处改进。至今该车已安全运行了7年，车体未出现任何问题。

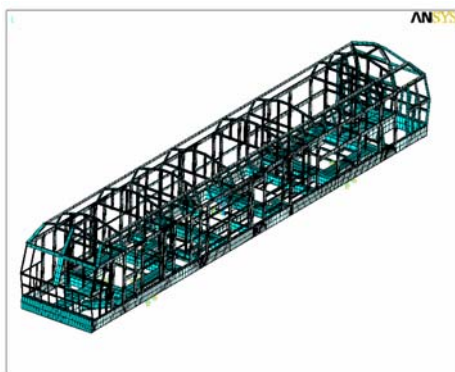


图1 车体整体计算模型图

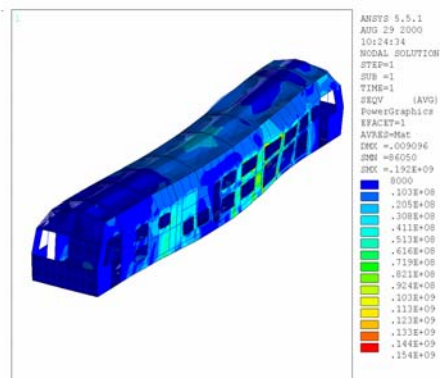


图2 车体整体应力分布图

### 3.2 机车轮、轴的弹性接触仿真计算分析

轮、轴是机车走行部分的重要部件，直接影响着机车的运行安全，在机车运行中曾发生过多起车轴裂纹。因此，在设计中必须经过仿真计算分析，选择适当的轮、轴配合间隙，以保证两者之间的良好配合，在该车的轮、轴设计中，应用弹性接触理论进行了计算分析，在分析计算结果时，发现轮、轴配合处的圆弧部位应力集中现象严重，故此及时对设计方案作了改进。其计算模型图和应力分布图可见图3、图4。

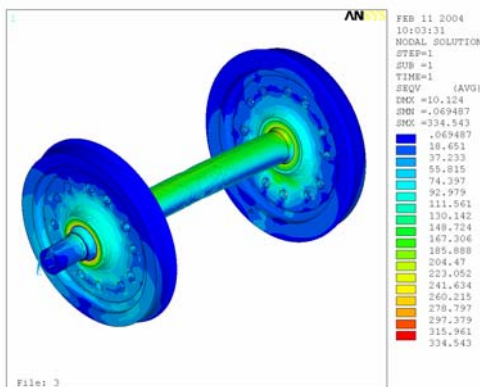


图3 轮轴计算模型图

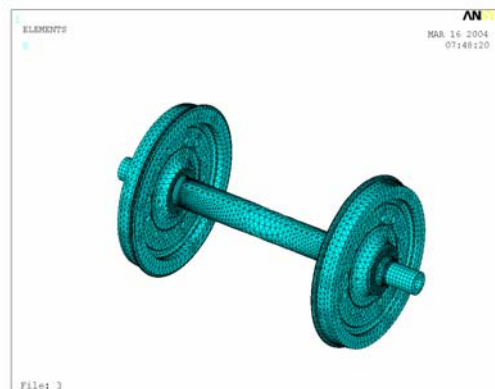


图4 轮轴应力分布图

### 3.3 机车转向架构架的仿真计算分析

构架是转向架中最主要的部件之一，其安全可靠是转向架成功的关键。在转向架总体方案的设计中，为保证所设计的构架能够满足在各种运行状态下，对可能出现的各种载荷的承载要求，为此确定出构架静强度的9个计算工况和焊缝疲劳强度计算的8个工况，对其进行了静强度和焊缝疲劳强度的仿真计算分析，在计算分析中，将焊材也作为结构的一体进行模拟。其计算模型图和考虑焊缝的应力分布结果图详见图5和图6。

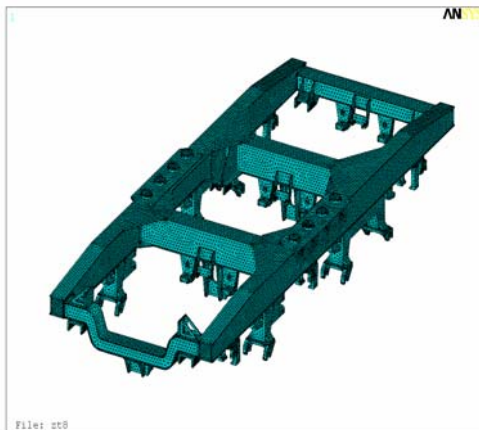


图5 构架计算模型图

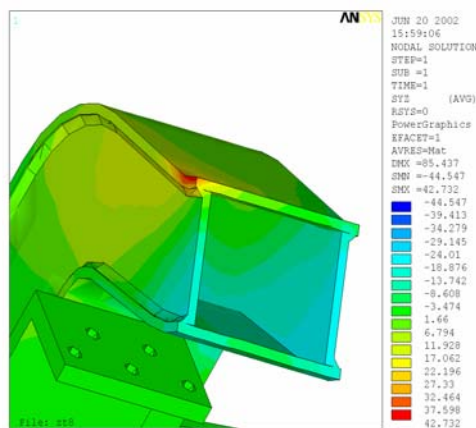


图6 模拟焊缝应力分布图

### 3.4 机车牵引电机吊座裂纹分析和优化设计

原方案的牵引电机吊座结构和应力分布详见图7，在加强筋的局部有较严重的应力集中现象，因而在应力集中部位曾出现裂纹，严重影响机车的运行安全。为了解决这一问题，应用ANSYS软件对其设计结构进行了优化设计，优化后的结构及其应力分布图详见图8，可见优化后的结构应力分布非常均匀。至此，该吊座经多年的运用考验，未出现任何问题。

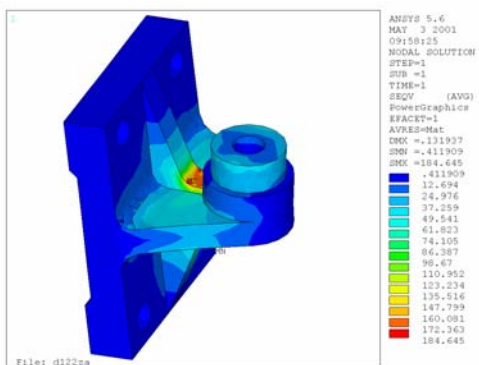


图7 原方案应力分布图

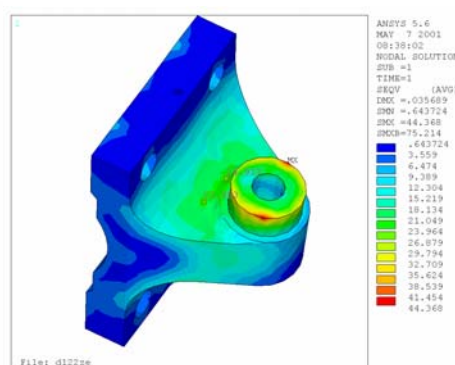


图8 优化设计方案应力分布图

### 3.5 机车牵引电机冷却风道的空气流体计算分析

由于机车车体底架的有限空间，使得机车牵引电机冷却风道的设计不可避免的出现多处弯曲、扭转，乃至截面的变化。这些变化对风道内的流场将产生什么影响，一直是设计师所关注的问题。因为从风机输送来的气体由一个总进口进入风道，经风道改变流动方向再分配给三个出口，并要求三个出口气体的压力、流量必须相等。在这种情况下，如果沿用常规的计算方法，已无法满足实际需求。为此，采用 ANSYS/FLOTRAN 对新设计的冷却风道内的流场进行了三维的计算分析。根据计算结果，在三个风道中的不同位置分别增加导流板，并调整了三个出口风道的不同弯度，使最后的结构在三个出口处的压力和流量均达到设计要求。其总进口和三个出口的压力分布详见图 9，管路中的流体的流线图详见图 10。

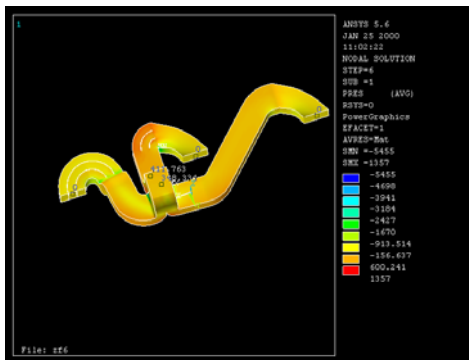


图 9 进口和三个出口的压力分布图

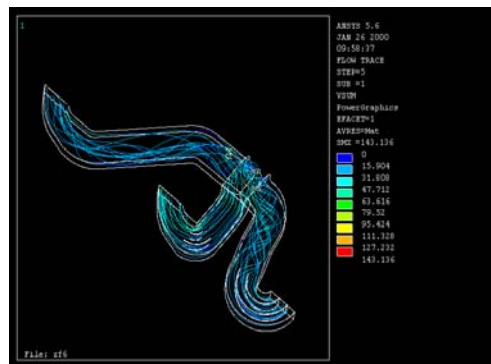


图 10 管路中流体的流线图

### 3.6 机车柴油机机体的仿真计算分析

机体是柴油机的骨架，机体承受着各种部件的装配预紧力和柴油机工作过程中的各种力，同时，机体上还设计有油、水、气等管道。为保证机体的可靠性、耐久性，在柴油机的设计开发中，必须对机体的强度、刚度和疲劳强度乃至模态进行计算分析。在模态分析中发现了机体的薄弱部位，并采取了措施。计算中所建立的集体三维计算模型图详见图 11，其一阶垂向弯曲模态详见图 12。

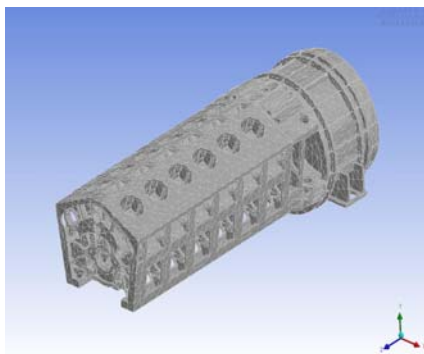


图 11 三维计算模型图

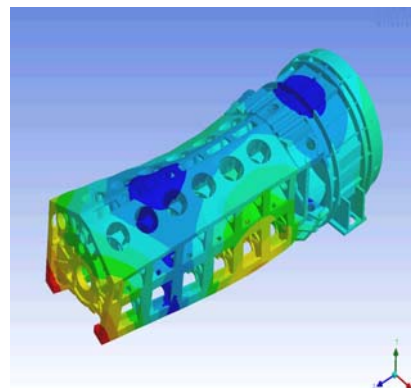


图 12 一阶垂向弯曲模态

### 3.7 柴油机连杆的弹性接触仿真计算分析

在连杆的仿真计算分析中, 考虑了连杆小端、轴瓦、活塞销之间; 连杆体、大端盖、分开面的牙齿啮合面、大端瓦、螺栓、曲轴之间的弹性接触关系, 从而使其仿真计算模型和各部位的受力状态, 与实际情况完全吻合。为研究牙齿啮合面、轴瓦与连杆大小端的接触状态和应力分布提供了依据。计算模型和变形图像见图 13 和图 14。

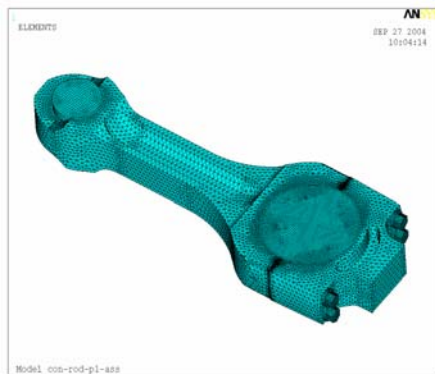


图 13 计算模型图

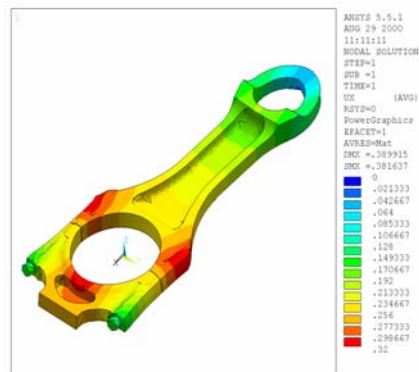


图 14 变形图

## 4 几点体会

ANSYS 公司的技术支持和服务是真诚、有效地。在十几年的合作中, 每当我们在应用中遇到困难或疑问, 只要拨通电话, 总可得到满意的解答。

企业建立产品开发的虚拟样机仿真分析系统, 充分用好 CAE 技术, 创新产品, 最好注意以下几点:

技术领导对 CAE 技术的应用要有高度的认识; 稳定 CAE 专业骨干人员队伍, 如: 在我们行业中有很多 CAE 专业的骨干, 先后走上了领导岗位, 或者担任其它重要工作, 结果使得有些企业的 CAE 工作, 一度时间内无人接班而陷于瘫痪; 由于 CAE 技术的分支很广, 所以对 CAE 人员应不断培养, 不断的给以学习和深造的机会, 这样才能和引进 CAE 软件的投入成比例。

### 【参考文献】

- [1] 刘树森等 编著 现代制造企业信息化 科学出版社
- [2] 芮斌等 高速转向架轮轴强度有限元计算分析 2005 内燃机车
- [3] ANSYS 在中国铁路机车车辆设计分析中的应用 中国机车车辆工业总公司