

工业再设计实例： 混凝土泵车臂架优化设计

供稿 / 安世亚太

一、引言

2015年8月，安世亚太和苏氏集团为战略联盟，正式启动了工业品再设计战略，共同打造基于工程仿真和精密铸造工艺的工业品再设计体系。

再设计是一种全新的设计思想和方法，指的是让设计回归市场客户需求本源，重新审视原始设计，以最自然的方式来探索设计的本质。再设计包括对已知产品的改良和从无到有的创造，之所以能做到再设计，往往是由于突破性的新技术和新工艺的出现和成熟。

那么，再设计体系到底有什么不同于传统设计的神奇之处呢？是如何帮助和促进企业实现设计的跨越式创新？又会给企业带来什么样的经济效益？下面就让我们通过一个真实的工程案例，来感受一下再设计的作用和效果。

二、项目背景

臂架式混凝土泵车如图1所示（下简称泵车）是一种专门用于输送混凝土的特种工程车辆，一般由汽车底盘、混凝土泵送系统、布料臂架系统、液压系统、回转机构以及底盘等六大部分组成。



图1 臂架式混凝土泵车

泵车借助臂架系统将混凝土的水平输送和垂直输送结合在一起，其工作原理是：将混凝土泵和液压折叠式臂架都安装在汽车底盘上，沿着臂架架设输送的管道，通过最末端的软管，最终向一定距离之外或一定高度之上的施工作业现场输出混凝土。泵车性能优越，效率高，机动性好，在现代建筑施工等诸多领域有着不可替代的作用。

臂架系统是泵车中最重要核心部件之一，泵车臂架具备折叠、回转和变幅等功能，在臂架所能到达的区域内进行布料，实现了布料范围广、浇筑速度快、浇筑质量高、机动性好和工人工作强度低等目标。

三、面临挑战

臂架结构是否合理直接影响泵车的工作性能和作业稳定性。臂架系统不仅需要具备相当的整体刚度和强度，还必须具备出众的工作适应性和可靠性。因此，泵车臂架的设计和制造有严格的要求，对泵车臂架的研究是十分必要的。

传统机械设计一般认为臂架是一种细长的悬臂梁，非作业状态下，其主要载荷为自重。工作状态下，其主要载荷要加上混凝土的重量，因此为了确保臂架的机械性能，使其满足施工需要，特别是要实现强度大、刚度好和重量轻的要求，臂架结构一般为四块钢板搭接拼焊的箱型梁，材料多选择高强度合金钢。臂架改进前的原始模型和局部的细节如图2、3所示。

传统设计多采用等强度设计，由于必须满足稳定性和刚性等要求，同时满足经济性要求，因此臂架设计一般选用钢材料。

过早疲劳是臂架最常见的失效形式，这是因为钢的比

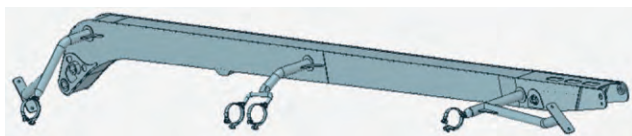


图2 改进前设计

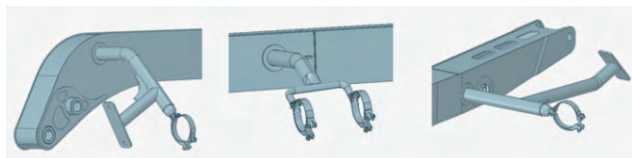


图3 改进前局部细节

重比较大，出于最大限度地提高材料利用率的考虑，传统设计会通过变截面、变材料厚度来减轻整体臂架的重量，会出现孔洞、沟槽和凹角等截面突变的结构，从而不可避免地出现钢材应力集中等问题。同时传统设计无法摆脱旧有工艺的限制，必须采用焊接等加工方法，导致结构可靠性进一步下降，也对结构形式提出了新的要求，即保证在相关部位不出现过高的应力集中的状况。

四、采取解决方案

再设计是如何做到这一点的呢？在本案例中，钢材之所以无法替换为其他材料，主要的原因是找不到同样机械性能的材料，或者找到的材料无法加工，或需要很复杂的结构才能实现，或者在旧有工艺条件下无法加工。而再设计所依赖的苏氏精密铸造技术历经二十余年的发展，在传统失蜡熔模精密铸造工艺基础上对所有工艺流程经过100多项微创新，最大限度地杜绝了传统铸造工艺容易产生的质量问题，尺寸精度和内部质量均全面超越国内外标准，实现了“无论产品结构怎样复杂皆可制造”这一目标。

臂架再设计后的模型如图4所示，铸造铝合金材料（ZL114A）替代原有的高强度焊接结构钢（Q690D），同时在壁板内壁增加了加强筋，采用苏氏精铸技术进行一体化制造成型。

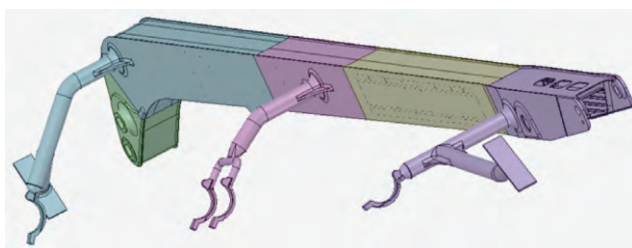


图4 改进后设计

改进后，一体化设计比原始设计减重54%，泵车举高可以从56米突破性地提升到80米。一体化成型避免了焊接，其强度更为可靠，有限元仿真结果也更加精确，能够更准确地预测结构的力学性能。同时仿真分析表明，新的臂架设计应力水平下降，强度储备提高。分析结果如图5所示。

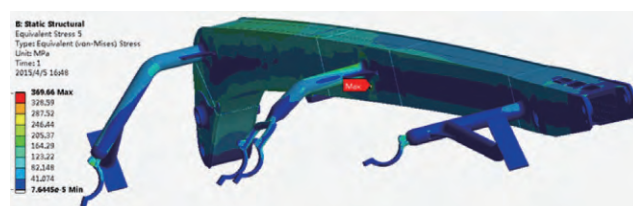


图5 臂架应力分析

即使在载荷变化的情况下，考虑到末端臂板改用铝合金材料，按同样的减重比例，变形分析结果如图6所示。

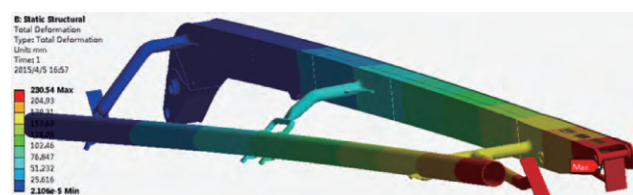


图6 臂架总变形结果

五、实际效益

悬臂结构采用减厚加筋结构，由钢结构变为铝合金，采用苏氏精密铸造技术整体成型，在不降低性能指标的前提下，主轴重量减少54%，泵车举高从56米提升到80米。

采用苏氏一体化制造工艺，省略了焊接环节及其他各种连接模式，提高了装备的整体可靠性，减少了污染。整体结构有精确的近净形尺寸精度与形位公差，减少了后续的机械加工甚至免加工，可实现使用过程中的高效率替换和维修。

六、结语

长期以来，工业产品的设计是基于已有工艺定型的。如果一件产品被设计出来，却由于工艺的局限而无法被制造或量产，那么设计创新就沦为空谈。制造约束产品创新在中国许多传统制造行业普遍存在。

安世亚太的精益研发、工程仿真技术与苏氏精密铸造工艺结合，启动工程仿真驱动的工业再设计过程，让设计突破工艺局限，敢于跨量级优化，并产生颠覆式创新。仿真驱动设计将真正变成现实，仿真技术也真正可以勇敢地对各类工业产品整机或其关键零部件进行大幅度改良设计。