

如何在SOLIDWORKS SIMULATION中完成低周疲劳仿真

撰文 / Dassault Systems SolidWorks 刘红政

一、概述

在户外家居行业，凡是要出口到欧洲的座椅都必须通过欧盟的 EN1728:2000 6.15 标准。该标准明确规定在经受 10 次 M 公斤重物从落差为 h 米处自由落体冲击，拿开重物后，座椅的最大变形量不超过 10mm，如图 1 所示。

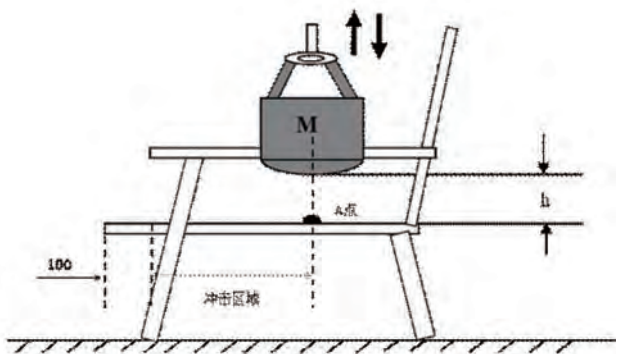


图 1 冲击示意图

欧盟的这个标准表明，座椅在经受冲击后允许存在一定的永久变形量。生产企业在出口欧洲的座椅产品中，并没有充分利用该标准的这项条款来进行结构设计。一般情况下，座椅在 10 次冲击后都不会产生永久变形。换句话说，座椅的强度余量太大。由于原材料成本持续增加，外贸企业的利润越来越薄，企业也迫切地想利用这个规则，将座椅的强度设计为刚好够用。

二、SOLIDWORKS SIMULATION 的方案寻求

在 SOLIDWORKS SIMULATION 的分析模块中，我们可以闪现出很多相关的想法，主要归结为下面几个方面。

(1) 跌落测试。虽然冲击测试包含重物自由落体的动

作，但是我们的研究对象不是重物，而是与之接触的座椅。因此我们不能使用跌落测试模块来求解此类问题。

(2) 疲劳测试。SOLIDWORKS SIMULATION 的疲劳模块仿真的对象是高周疲劳事件，而对于 10 次冲击这样的低周疲劳事件而言，无法满足分析的要求。

(3) 冲击测试。SOLIDWORKS SIMULATION 可以使用非线性模块求解单次冲击后座椅变形的结果，但是对于多次冲击则没有相应的解决方案。

(4) 变形叠加。我们保存单次冲击后座椅的变形结果，然后将其导入到新的分析算例，以作为下一次冲击的初始形状。然而，第二次冲击时的材料特性已经发生改变，无法给出第二次冲击时座椅的材料属性，因此该方法也不行。

上面列出的几种方法，要么思路错误，要么只能得到部分结果，给工程师造成 SOLIDWORKS SIMULATION 无法满足这样的分析需求的感觉。但是仔细回顾一下，发现我们还是能够得到一些关键的数据。我们需要思考的是，能否将这些关键数据串起来，通过多个步骤来实现最终的目的？

首先，通过单次非线性动态仿真，我们可以计算出冲击时重物与座椅的接触时间，同时还可以得到接触面的压力分布。然后，我们可以基于单次冲击接触时间，创建基于曲线的外加载荷，并完成 10 次冲击的位移趋势分析。接下来，我们用一个简化模型进行可行性研究。

三、可行性分析

图 2 是一个简化的分析模型。其中椅面用一张平面表

示，而重物以一个圆柱体表示。

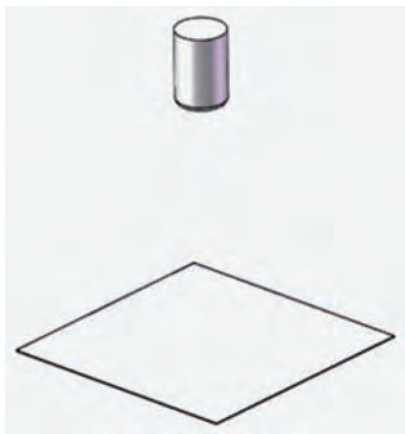


图 2 简化冲击模型

利用 SOLIDWORKS SIMULATION 的非线性模块，我们可以很快地得出冲击响应曲线，如图 3 所示。从图中可以看到，冲击时的接触时间为 0.012 秒。图 4 给出了冲击时最大的应力分布云图，我们可以使用探测工具很容易得到接触面的平均压力为 $5e7 \text{ N/m}^2$ 。

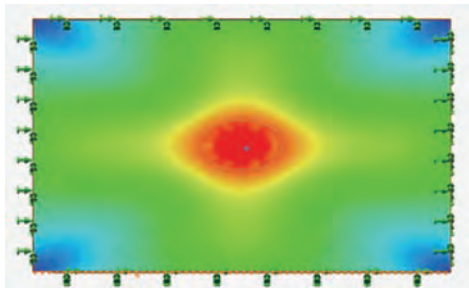


图 3 响应曲线

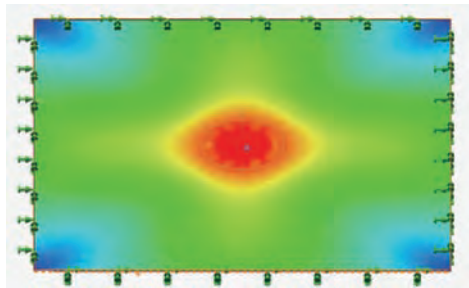


图 4 应力分布云图

通过上面得到的两个重要数据，便可以不用考虑重物（对应简化模型中的圆柱体），只需要将压强及随时间变化的分布情况加载到平面中的接触部分，然后再进行逐一验证。以分割线分割出相应的接触圆面积，如图 5 所示。然后在分割圆上加法向的压力，给定 $5e7 \text{ N/m}^2$ 的数值，并在“随时间变化”的区域中选择“曲线”，如图 6 所示。

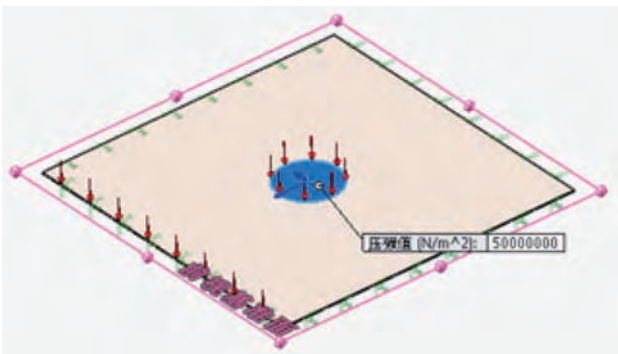


图 5 加载压强



图 6 设定曲线

单击图 6 中的编辑按钮，便可以设定相应的加载曲线，如图 7 所示进行曲线设定。之前我们已经得到冲击的接触时间为 0.012 秒，因此在图 7 中，我们将冲击之间的间隔设定为 0.012 秒，之后保持卸载的状态，保持到 0.1 秒。

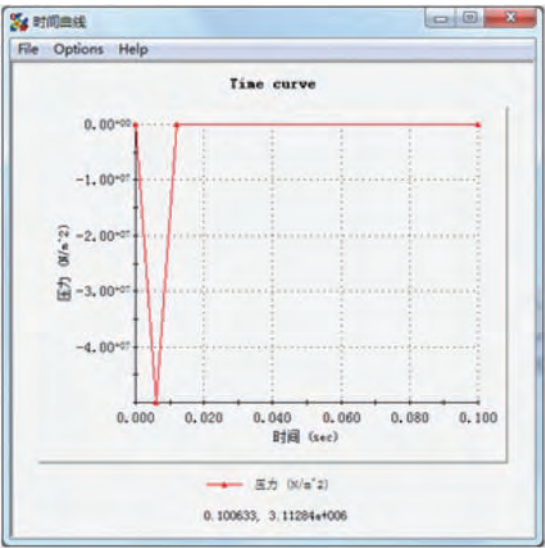


图 7 一次冲击曲线

通过计算，我们可以得到第一次冲击后的结果，如图 8 和图 9 所示。

从图 8 可以看出，计算所得永久变形量为 59.17mm。从图 9 的时间响应曲线可见，在冲击发生时刻（0.012 秒），

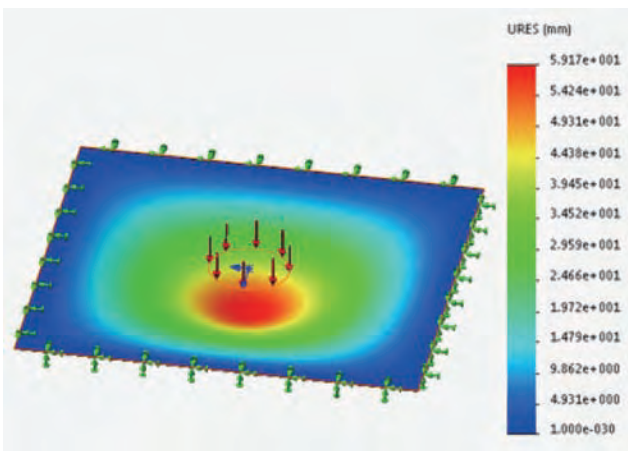


图 8 第一次冲击后变形量

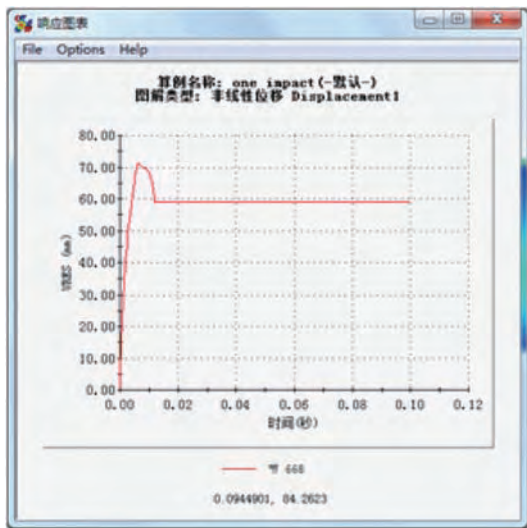


图 9 第一次冲击后的响应

最大变形量为 70mm 左右，当重物卸载后，永久变形量维持在 59.17mm。

重复上面的步骤，我们再来检测一下第二次冲击后的结果。从计算结果来看，可以发现第二次冲击后的永久变形量上升到 61.31mm，比第一次冲击后的变形量增大了 2mm 左右 (61.31mm ~ 59.17mm)。

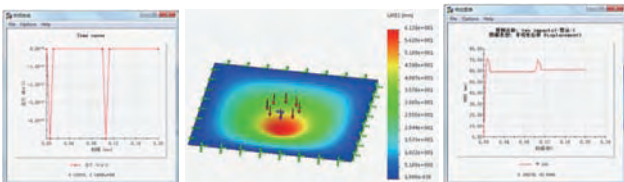


图 10 第二次冲击后的结果

现在我们直接来检测第十次冲击后的结果，计算结果如图 11 所示。可以发现第十次冲击后的永久变形量上升

到 63.94mm，比第一次冲击后的变形量增大了 5mm 左右 (63.94mm ~ 59.17mm)。

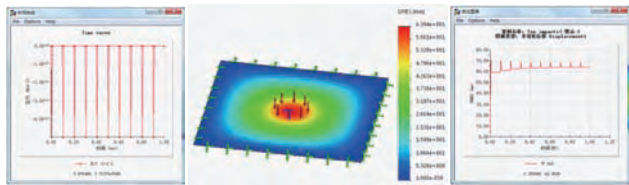


图 11 第十次冲击后的结果

从分析结果来看，每次冲击之后，增加的变形量越来越小。考虑到材料在进入塑性变形后会出现应力硬化现象，因此这个结果是符合预期的。最后几次冲击得到的永久变形量很小，这也从侧面验证了欧盟标准的合理性。即在经过 10 次冲击后，材料几乎不再会增加永久变形量。我们通过这个简化模型，论证了这个方法的可行性，可以将此方法带入到座椅模型中进行仿真。

四、结语

虽然在 SOLIDWORKS SIMULATION 中无法直接求解低周疲劳的问题，但是我们可以通过将问题拆分为两个步骤，使用现有的分析模块完成最终的仿真需求。通过使用简化模型验证了方法的可行性，最终我们可以得到用户关心的座椅 10 次冲击后的永久变形，如图 12 所示。

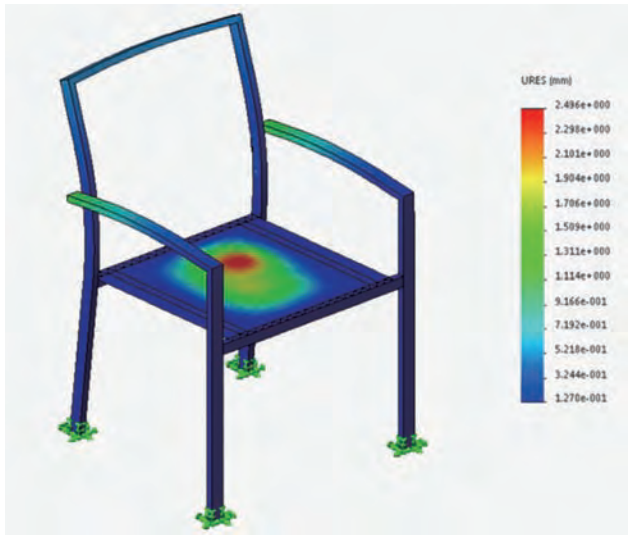


图 12 第十次冲击后座椅的最终变形

通过 SOLIDWORKS SIMULATION 的优化模块，我们可以尝试不同的座椅管材厚度，来找到满足欧盟要求的最薄厚度的钢管，从而节约制造的材料成本。