基于 TRIZ 理论的轮毂壳接触面密封性能优化

撰文 / 安徽叉车集团有限责任公司 梁长佳 王永国 常方坡

叉车驱动桥行星轮架和轮毂壳通过螺栓传递较大扭矩，在长时间工作中，接触面的密封性能下降导致齿轮油渗出。TRIZ 创新方法可以帮助工程师迅速找到薄弱点，再利用 TRIZ 中的多种创新工具来得出具体解决方案。

一、引言

在大吨位叉车行驶过程中，驱动桥半轴通过齿轮传动将扭矩传递给行星轮架，行星轮架再通过紧固螺栓把扭矩传递到轮毂上来驱动车轮行驶。叉车长时间在重载、转向频繁的工况下工作，轮毂壳和行星轮架接触面容易出现渗油的现象，尤其在螺栓孔附近渗漏现象较多。分析其直接原因是由于接触面上的密封件可靠性下降。常规解决方法是更换密封件，重新打上密封胶，但渗油现象在以后使用中可能还会再次出现。

二、TRIZ 应用实例

1. 技术系统和功能描述

本技术系统（图 1）主要是由轮毂壳、行星轮架与端盖总成通过螺栓连接成一个密闭的容腔，在该容腔中加入适量齿轮油，行星轮架 3 通过紧固螺栓 2 来固定在轮毂壳 1 面上，通过加密封胶和密封垫来加强两者接触面的密封性，半轴 5 通过太阳轮 7 和行星齿轮 8 带动行星轮架 3 转动，行星轮架 3 通过紧固螺栓 2 传递扭力来带动轮毂壳 1 转动。这里要解决的是密封问题，所以上述技术系统的功能是密封齿轮油。

2. 描述当前系统存在的问题

以上轮毂结构是目前我公司大吨位车桥常用的结构形式，在使用过程中发现有齿轮油从行星架、轮毂壳接触面和

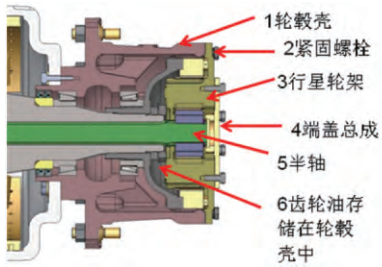

图 1 技术系统

螺栓孔附近处渗漏出的情况。经过调查发现以上问题主要在下述 2 种工况下容易出现：（1）重载时间较长、行驶路面不平整的叉车出现渗漏的概率较大；（2）转向工况较为频繁的叉车出现泄漏的频率较大。

3. 现有解决思路及对新系统的要求

目前对于该渗漏问题的解决办法是增加行星架和轮毂壳之间螺栓预紧力和螺栓个数，还有更换质量更好、价格较高的密封垫。但个别车经长时间工作后，螺栓孔附近还是存在少许渗漏问题，无法彻底解决。

通过对系统存在问题和功能的分析，可以明确要解决的问题是提高轮毂壳和行星轮架接触面的密封性能，防止齿轮油渗漏。今后系统需设计为密封结构简单可靠、油液无渗漏且成本增加少。

4. 建立组件模型和裁剪法应用

建立组件模型，通过对组件模型功能分析，可以得知系

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

统中的所有组件成分、功能以及它们之间的相互关系（图 2），从中可以得出导致系统出现功能失效问题的所有可能因素，譬如从本组件分析中，可以得到可能导致齿轮油渗漏的以下几点因素：（1）轮毂壳和行星轮架对密封胶的挤压力不足；（2）密封胶密封性能不足；（3）行星轮对行星轮架的振动冲击有害；（4）齿轮油对密封胶浸泡有害。

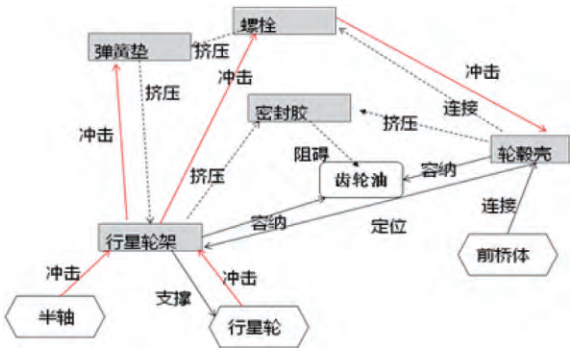

图 2　组件分析模型

TRIZ 中的系统裁剪法就是对技术系统进行组件功能分析后，按照分析结果进行组件价值分析，尝试裁剪对组件价值最低的、容易给系统功能造成有害影响的组件，同时要考虑裁剪掉的组件功能是否可以重新分配或者舍去。

根据 TRIZ 裁剪思路，裁剪掉行星轮架和轮毂接触面上容易导致系统功能失效的组件如密封胶、螺栓孔、螺栓和弹簧垫圈。裁剪掉以上组件以后，把轮毂壳结构和行星轮架做成一体式结构，用一体式体结构来密封齿轮油（图 3），替代之前密封件的功能，可以解决因原结构密封件原因导致的渗漏。这种方案为系统裁剪后得到的一种创新方案，可以通过在以后的方案评价中对此种方案的优缺点进行综合评价从而确定方案是否为最优方案。

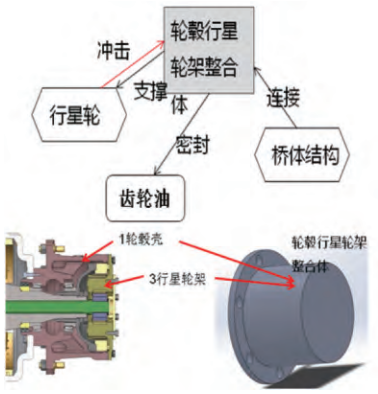

图 3 裁剪后的组件分析模型和方案图示

5. 因果分析、矛盾分析与创新工具的应用

对系统组件功能分析之后，接下来展开该问题点因果分析，从因果链上，可以找到问题产生的根本原因，发现问题发展链中的“薄弱点”，找到解决问题的入手点。本文从一个“薄弱点”——涂胶面积（宽度）不足来做深入分析（图 4）。

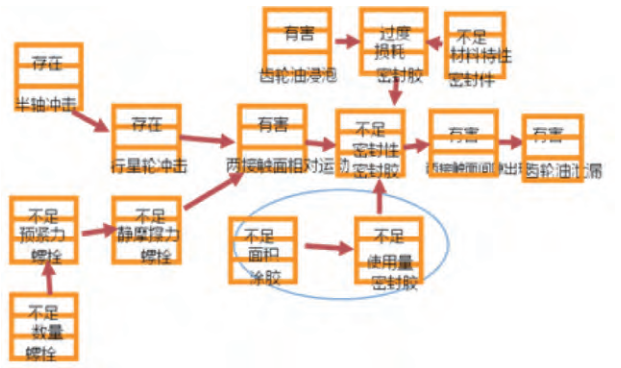

图 4　因果分析

该轮毂壳接触面上有直径 14mm 的螺栓孔，重点涂胶区域为接触面上内侧部分（以接触面上螺栓孔轴线为中心来区分接触面内侧与外侧）。由于螺栓孔和定位槽的存在，内侧涂胶最小宽度径向只 2mm，如果为了加大涂胶宽度直接增加轮毂壳的径向宽度，必将导致轮毂壳、行星轮和轮辋等一系列零部件径向尺寸的变化，影响范围较大，由此就产生了一组技术矛盾：改善静止物体的面积（宽度），恶化适用性和通用性。

通过矛盾矩阵表，查找对应解决方案的创新原理有 15 号动态特性原理和 16 号未达到或过度作用原理。

根据 15 号动态特性原理中的分割原则：分割物体，使其各个部分可以改变相对位置。为了使抽象的创新原理转化为具体方案，结合轮毂壳结构特点，把占用接触面内侧涂胶面积（宽度）的环形定位槽从轮毂壳内环移到外环，这样轮毂壳接触面内侧最小径向宽度从初始 2mm 增加到了 4.5mm，大幅增加了接触面内侧的涂胶最小径向宽度，如图 5 所示。

由以上分割方案衍生出来的另外一种方案是：当轮毂接触面内侧最小径向宽度增加至 4.5mm 时，可以在接触面内侧位置开出环形沟槽，放置 O 型圈来实现密封功能，这样与之前用密封胶密封相比，接触面的密封性大大提升。

除了对定位槽位置进行改变，笔者认为还可以利用分割物体方法把原先 10 个均匀分布的直径为 14mm 螺栓孔分

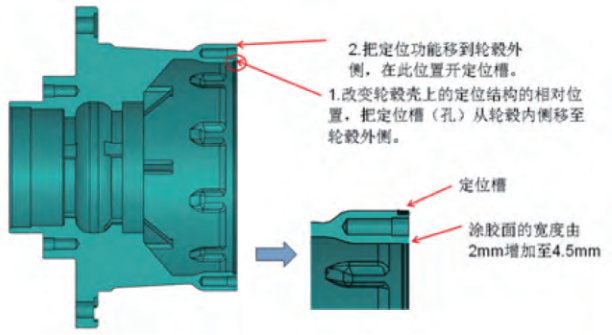

图 5 分割方案一

割成 20 个均匀分布的直径为 12mm 螺栓孔，既能增加螺栓孔内侧涂胶面积（宽度），也增加了预紧力。

16 号创新原理未达到或过度作用原理中的思路之一：接受存在“更多”的事实，选择性地使用自己需要的部分，并寻找一种方式来将多余的转移或者分散到另一系统或者环境中。由此思路，我们具体出来的方案是：重新设计轮毂壳，即增加现有轮毂壳体螺栓孔位置附近的尺寸，把螺栓孔由原来位置同时向外侧移动，这样的话接触面内侧径向涂胶宽度相比之前也相应增大，但为了保证轮胎正常装配，轮辋对应位置的尺寸相应减小，以满足安装条件，这种方法对整个驱动桥装配体尺寸链的影响也较小，如图 6 所示。

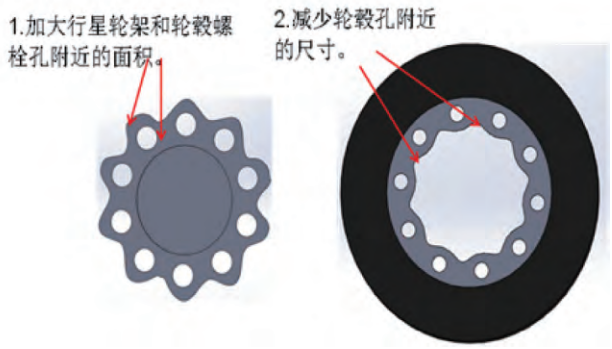

图 6 分割方案二

在 TRIZ 理论中，除了根据技术矛盾分析找到相应创新原理来生成创新方案以外，也可以利用物理矛盾分析得出优质创新方案的途径。下面介绍根据轮毂壳接触面上定位槽的径向宽度来展开物理矛盾分析的方法。

（1）定义物理矛盾。参数：定位槽宽度。要求 1：大。要求 2：小。

（2）设定不同参数实现技术系统的理想状态的空间。空间 1：轮毂壳和行星架接触面部分。空间 2：螺栓孔附近。

（3）判断两个空间段是否交叉。是，则尝试其他分离方法。否，则应用空间分离。

根据以上思路和提示，笔者认为可以把环形定位槽在螺栓孔附近隔断开来，如图 7 所示，既能满足定位要求，又不占用螺栓孔附近的涂胶面积。实际加工过程中考虑加工精度控制，可以只保留 2 ～ 3 个定位槽隔断来实现定位功能。

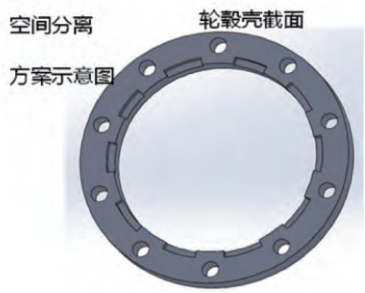

图 7 物理分析方案一

以上主要是通过系统裁剪法、技术矛盾分析和物理矛盾分析得出了几种创新方案。这些方案实际应用性强，成本增加也较少。通过资源分析、物场分析和技术发展路线得出的方案就不再一一赘述。

三、结语

TRIZ 创新理论是一种有效的工程问题解决工具，它从系统功能失效表层现象入手，层层分析，寻找出最根本的问题和薄弱点。它使工程师能在复杂原因中，较为迅速地找到问题的入手点，再利用 TRIZ 创新工具，结合多方资源，把抽象的创新原理具化成可实施的创新方案，在本次解决轮毂壳接触面渗油问题的过程中，TRIZ 创新方法的作用得到了充分的体现。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn