

上海交通大学

硕士学位论文

运用Red-X策略解决凯越车后轮外倾超差的问题

姓名：姚芾

申请学位级别：硕士

专业：工业工程

指导教师：潘尔顺;陈晓旭

20061001

运用 Red-X 策略解决凯越车后轮外倾超差的问题

摘 要

在当前汽车行业处于膨胀式发展，国家关于汽车行业相关法律法规逐步健全的情况下，如何提高产品质量，提升产品性价比，不断满足和超越客户的期望，是所有整车企业面临的重要课题和挑战。上海通用汽车作为国内最大的乘用车公司，从创建之初就注重于质量体系的建立和完善，通过运用先进质量管理方法和工具，提高产品问题解决的可靠性，本课题就来源于上海通用质量问题解决的实例。本论文主要是通过运用 GM Red-X 策略的分析系统和统计工程的有关方法，结合在生产现场的实践工作，系统地分析了影响凯越车后轮外倾超差的相关原因，并制定对策措施，有效地控制了缺陷情况，提高了产品质量水平。

通过外倾的问题定义、项目定义、策略分析、测量系统验证、问题解决树、组件分析、对策与改进以及效果确认等 8 个 Red-X 策略步骤的研究和分析，对影响外倾的减震器总成和车身安装尺寸进行量化分析，并采取针对措施，成功解决了外倾超差的质量问题，同时通过对潜在因素也进行了逐一的分析，从整车角度比较全面地解析了外倾产生的原因，对于今后此类问题的解决提供了一个系统方案。

关键词 Red-X，外倾，特征，问题解决树，组件分析

PROBLEM SOLVING FOR EXCELLE' S REAR CAMBER OF OUT SPEC BY USING RED-X STRATEGY

ABSTRACT

Currently China automobile industry development is at high tide. Meanwhile the national law focusing on auto trade is changing more and more perfectly. How to improve product quality and meet and exceed customer expectation is the critical task and challenge all domestic auto companies facing. Shanghai General Motors (SGM), which is the largest passenger-auto company in China, pay more attention to the establishment and improvement of quality system initially, and increase the problem solving reliability by implementing advanced method and tools of quality management. My thesis just comes from the example of problem in SGM. Making use of Red-X strategy and other statistical engineering methods, this paper systematically analyzes all related causes to rear camber out of spec. and develop the countermeasures to correct the defects effectively and improve quality level finally.

After implemented the camber project by eight phases of Red-X strategy, which include problem definition, project definition, feature strategy, measurement system validation, solution tree, component search, and countermeasure & improvement and confirmation testing, rear suspension and body installation hole dimension were investigated metrically. The defect was solved successfully by executing pertinent actions. Moreover, after one by one analyzed relevant potential causes, the paper resolved the camber out of spec from complete vehicle structure and provide a systematic proposal to solve similar problem in future.

KEY WORDS: Red-X, camber, feature, solution tree, component search

符号说明

BIW	白车身
DOE	试验设计
GMS	通用制造系统
JPH	每小时完成工序
PCM	工艺控制经理
PE	产品工程师
PPS	实际问题解决
PTR	产品试生产
QE	质量工程师
QEM	质量工程经理
SDP	七颗钻石流程
SMT	系统管理小组
SQE	供应商质量工程师

上海交通大学

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密，在1年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名：

姚 芾

指导教师签名：

潘尔顺

日期：2007年1月12日

日期：2007年1月12日

上海交通大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

姚 芾

日期： 2006 年 10 月 25 日

第一章 绪 论

1.1 背景

从上世纪 90 年代开始,我国的汽车市场进入了一个快速扩张的发展阶段,特别是近五六年来,特别是私家车的迅速普及,整个乘用车行业处于膨胀式发展的态势,2000 年以来平均每年的增幅超过 30%,各汽车制造厂商都加快了新产品开发的速度,技术的创新和生产规模的扩张。与此同时广大消费者也随着对汽车熟知程度的深入,逐渐从被动使用提升到主动感受的阶段;国家为保护社会和消费者的利益,推动产品技术水平提高,也推出了一系列的法规政策,涉及排放、碰撞、质量召回等方面。所有这些因素对汽车主机厂来说都提出全新的要求,尤其在质量管理,提高产品质量方面,如何从设计到零部件再到整车,质量能全方位的达到客户满意,同时企业内部改进质量成本,提高产品性价比,是摆在我们面前的一个很大的课题。

上海通用汽车有限公司成立于 1997 年 6 月 12 日,由上海汽车工业(集团)总公司、通用汽车公司各出资 50% 组建而成。产销量从 1998 年的不到 2 万辆,到 2005 年的 32 万辆,一举成为中国最大的乘用车公司,目前已经形成凯迪拉克、别克、雪佛兰三大品牌,十余个系列的产品矩阵。上海通用汽车一直坚持“以客户为中心、以市场为导向”的经营理念,并不断以高质量、全系列的产品和高效优质的服务,满足用户日益增长的需求。目前上海通用汽车拥有上海金桥、烟台东岳和沈阳北盛 3 大生产基地,共 6 个工厂。

上海通用汽车基于精益生产理念建立了一套完整的采购、物流、制造、销售与售后服务体系和质量管理体系,并在生产和管理中大量采用计算机控制技术。具有国际先进水平的国内第一条柔性化生产线,涵盖了冲压、车身、油漆、总装等整车制造环节以及发动机、变速箱等动力总成制造过程。随着上海通用汽车有限公司业务的超常规发展,产品系列的增加,生产规模的膨胀;与此同时全球各大汽车巨头纷涌进入国内市场,竞争日益加剧,面临中国汽车市场的现状和挑战,通过运用先进质量管理理念和分析工具,提高产品质量问题解决的有效性和时效性,是上海通用提高保持可持续、高效发展的必要选择。从 1998 年第一辆别克下线至今,短短七八年时间,在北美通用专家的指导下,针对整车结构可拆卸装配的特点,通过大量实践工作,我们也总结出了一些行之有效,经济可靠的质量工程分析方法,其核心就是在保证质量可靠,成本经济的前提下,运用统计工程的工具,发现问题产生的主要原因,从而制定对应措施加以解决。

本文就是运用质量工具 Red-X 策略,结合生产实际发生的具体质量问题—车辆外倾超差,通过原因的分析 and 识别,最终控制和解决问题的实例。

1.2 质量管理在通用和上海通用发展

现代质量管理是随着生产的发展和科学技术的进步而逐渐形成和发展起来的，它发展到今天大致经历了质量检验阶（事后检验阶段），统计质量管理阶段和全面质量管理阶段，质量管理的理论逐趋完善，更趋科学性，更趋实用性。^[1]

1.2.1 QS9000

美国通用从 1903 年开始，历经百年的不断发展，质量体系非常健全，由北美三大（通用、福特、克莱斯勒）在 1995 年共同建立的 QS9000 质量体系，是国际汽车行业最具影响力的质量体系标准，是汽车行业目前受广泛承认的质量体系标准，通过 QS-9000 认证已逐渐成为跨入汽车行业大厂家供应链的入门证。

QS9000 标准上的内容比 ISO9001 多，其目前的版本结构上分为两个部分：

第 I 部分：以 ISO9000 为基础的要求；包括 ISO9001 标准的第 4 部分和多个新条款。这些新增条款要求概述了三大汽车公司对 ISO9000 的解释以及汽车行业特殊要求（如生产件批准程序、持续改进、制造能力等要求）；

第 II 部分：顾客（既三大汽车公司和卡车制造商）的特殊要求；如各自的标识惯例、关键特性、评审、热处理、材料认定、标签和其它。

另外，QS9000 标准还包括 9 个附录。

QS9000 除质量体系标准要求外，它还提供更详细的顾客参考（配套）手册以支持标准要求的实施，具体如下：

- 质量体系评定指南（QSA）；
- 产品质量先期策划和控制计划（APQP）参考手册；
- 潜在的失效模式和效果分析（FMEA）手册；
- 生产件批准程序（PPAP）手册；
- 测量系统分析（MSA）参考手册；
- 基础统计过程控制（SPC）参考手册。

QS9000 实际上是一套而不是一个孤立的文件，除 QS9000 质量体系要求标准外，它还包括六本配套手册，它们均在 QS9000 标准内被相互引用，其中包括大量为供方使用的表格。其美妙之处在于要求所有的供方采用同样的方法，同样的表格和用同样的格式给出结果。对汽车工业来说，经验是非常重要的，象三大汽车公司这样将其最佳实践加以整理提高并上升为标准，对于确保满足该行业的特殊要求确实是一个很有效的方法。对许多需要加强管理而实际经验缺乏的供方企业来说，这也是走入目前质量管理前沿领域的一个捷径。^[2]

从 1995 年上海通用汽车公司的前身浦东轿车项目组，就开始以 QS9000 规划上海通用的质量管理体系，从 1997 年公司正式成立到 98 年第一辆别克轿车下线，整个公司从设计，采购，制造，质量，物流和营销各个业务关节都建立起了有效的质量运行体系，通过了上海质量体系审核中心(SAC)中心(SAC)和挪威船级社(DNV)的联合质量体系评审，成为中国汽车工业第一家获得 QS9000 质量体系认可的汽车制造公司。

1.2.2 质量工具和策略

在通用汽车的发展历程中，对于运用和发展先进质量工具非常重视，QS9000的6个配套手册内结合了大量行之有效的质量技术工具。

一、与意见整理有关的技术工具，包括检查表、亲和图、雷达图、流程图、关连图、网络图、帕累托图、散布图、因果图等等。这些技术工具侧重于对所收集质量信息进行逻辑归类，以便发现有关质量问题或现象之间的内在联系。

二、与数据整理与分析有关的技术工具，包括直方图、过程能力分析、显著性分析、方差分析、回归分析、统计抽样、时间序列分析等等。这些技术工具侧重于对那些能够精确测量的质量特性进行细致的统计特征分析与评价，以便深入揭示有关质量问题出现的内在本质，属于典型的定量分析技术。

三、与产品设计有关的技术工具，包括矩阵图、树形图、故障树分析、故障模式及影响分析、质量功能展开、实验设计等等。这些技术侧重于对那些定性或定量的质量特性的实现方法进行分析，以便避免那些可能妨碍产品预期功能正常发挥效用的设计缺陷。与第一、第二两类工具不同，第三类技术工具既涉及简单的定性分析技术，也涉及理论性较强的定量分析技术。

四、与过程控制有关的工具。运行图、统计控制图、层图、箱线图、位置图、群图、累积和图等等。这些技术侧重于对生产或服务过程的受控状况进行统计分析，属于实时统计监控技术。从理论上讲，第四类技术工具是第二类技术工具在统计过程控制方面的专门化，体现了统计理论与质量管理实践的更紧密的结合。

1.3 国内外研究现状

质量大师朱兰认为在现代生产工艺过程中，质量改进应理解为对改进机会系统化的寻求，而国际上普遍认为有三种质量改进的系统方法可以称为质量改进项目的里程碑，它们分别是Taguchi法，6Sigma和Shinain策略。^[3]

Shinain策略,也称Red-X策略由美国著名统计工程专家Dorian Shainin (1914~2000)在50年多前创立，它结合了工程学，统计学和逻辑学原理和方法，是一个能在较高置信度水平下（汽车行业的置信度通常为95%）解决技术问题方法。经过二十多年的发展，Dorian Shainin将创新的质量工具和已知的一些质量工具相结合，形成一套应用于制造领域的步进式分析策略，Shinain策略的特点主要在于识别问题的根本原因Red-X。Shinain项目开始于工艺问题的输入，策略的目标是在所有可能的原因中，确定导致差异的一个或多个显著因素（相应的称为Red-X，Pink-X和Pale Pink-X）。通过使用数理统计分析工具，对可能影响的因素进行重要性的排序，从而聚焦于Red-X，一旦确定Red-X，就采取针对性的整改措施，或严格Red-X的允差范围并进行控制。Shainin策略是建立和整合在一系列易于理解和应用的分析工具上，因此对有实际问题解决需求的工程背景人员来说很有吸引力。^[4]

从上世纪70年代开始，Shanain策略被北美主要是美国的理工类大学，如麻省理工大学等进行研究和深入分析，并不断完善，许多质量学家认为它是统计工程在质量管理方面应用的典范之作，与此同时一些大学和咨询公司相继开设Shanain方面的应用管理课程，教授相关原理、方法和案例，大量工程技术人员开始熟悉应用Shanain

策略, 美国的大型制造行业, 包括汽车、机械和电子行业, 得到了迅速的推广和应用, 从1995年开始, 每年有超过1000个Red-X策略在美国被开展。^[5]

在专业人员的资格评定中, 类似6Sigma的绿带、黑带和黑带大师, Red-X策略同样有规范的水平等级认定, 根据实施项目的情况, 分为Apprentice, Journeyman和Master等级别, 每年在各大咨询公司和企业都有相应的评定机构和组织。从上世纪80年代开始, Shanain策略被传播到其它西方国家和地区, 而应用比较出色的是台湾, 随着台湾制造业的迅速发展, 许多生产方面的技术难题通过运用Shanain策略得到了有效的解决, 因此大受欢迎, 如今在台湾的众多工科大学, Shanain策略已成为质量管理方面的重要课程。

而国内在这方面的研究目前尚属于空白, 实际的应用也仅仅限于一些外资制造型公司的内部, 通过技术管理的输入提高企业内部质量水平的提升, 但没有真正形成大规模的推广和应用。

通用汽车作为最大的国际汽车企业从1990年代开始加速对Shanain策略的研究和应用, 在通用大学(GMU)的质量学院设立研究机构, 开设专门的培训课程。经过10年的努力, 形成了有汽车行业特点的Red-X策略, 主要将统计工程的工具与生产线质量问题的解决相结合, 寻求一种可靠、快捷、有效的实践方法来改进质量, 满足客户需求。大量质量难题通过应用Red-X策略被解决, 目前整个GM系统已经培养了大约有1000名Apprentice, 500名Journeyman和70名Master。上海通用从2002年开始引进、通过3年的应用和推广, 目前已在公司范围内, 对于四大整车厂、两大动力总成厂和泛亚设计中心全面实施。通过运用Red-X分析工具, 来有效地解决了复杂综合性的产品质量问题。国内由于长期以来质量管理教育薄弱, 质量管理与国际先进水平相比有较大差距, 造成产品质量、服务质量在整体水平上较低, 可靠性较差。从上世纪90年代开始, 随着国家对质量工作的重视, 以及一系列行之有效的政策措施的实施, 特别是通过改革开放, 引入了先进的质量管理理念和系统方法, 总体质量水平有了一定的提高。上海通用的成立和发展, 也从一个侧面验证了这个发展过程。在体系建立的同时, 很多先进的质量改进方法和工具也被介绍进上海通用的制造系统, Seven-Diamond Process、Blue Card、PCR Process、PFMEA、2mm工程等等, 这些方法的运用, 有效加快了问题的分析解决周期, 提高了质量改进的效果, 对上海通用产品质量的保证和提升发挥了很大的作用。

在整车的设计开发过程中, 车轮定位领域的研究是一个重要复杂的过程, 涉及到底盘系统、车身结构和动力总成系统, 如何合理正确的设定车轮定位角, 关乎于整车的行驶操控性能和可靠性。

国外跨国汽车企业经过近百年的发展, 在整车方面已经形成了相当完备的研发体系, 特别是近二三十多年来随着全球化的进展, 越来越多的汽车公司投入开发全球平台产品, 整合现有多车身多底盘系统, 形成在同一底盘系统基础上开发多种车型, 对整车构架进行优化设计, 因此在包括车轮定位在内的底盘技术方面, 国外公司都有着深入的分析和应用。同时国外公司的试验测试要求和过程相对严格和完备, 往往需要不同路况数百万公里的检测, 这对于底盘系统的验证和优化有着重要的意义。另一方面国外的底盘件和轮胎供应商拥有很强的技术能力, 在零件开发过程中强调与整车的匹配, 对整车的性能提高和可靠行提升发挥了很大的作用。因此不论

从硬件还是软件国外公司都相当完备，但由于涉及整车开发的关键领域，都是汽车公司的核心技术，所以通常无法公开。

国内尽管 2000 年以来国产自主品牌发展迅速，诸如奇瑞、吉利等公司整车的开发制造水平提高很快，而由于国内汽车领域的技术相对国外尚有一定的差距，在乘用车设计开发方面技术相对落后，底盘系统的可靠性较差，在核心技术的研究方法和手段上有很多欠缺。目前国内在车轮定位方面的公开技术信息主要涉及一些车辆底盘系统的原理和车辆的底盘维修方面的技术，但缺少对影响车轮定位的真正原因的分析，没有系统的研究。国内汽车公司在遇到相关质量问题时，往往需要在公司内部组成工程设计、质量、采购和制造的综合团队来解决，解决过程一般较长，目前也没有系统的资料参考。

1.4 研究内容和研究方法

本课题的研究内容将主要从以下方面展开：

1、SGM 质量问题分析系统的发展过程。

上海通用从成立开始就建立了以北美汽车行业 QS9000 为标准的整套质量体系，并逐步加以完善和发展，同时通过密切加强同 GM 的联系，引进并运用与国际同步的先进质量管理理念和质量分析工具，如通用制造系统 GMS, Seven-Diamond Process, 统计工程的 Red-X 策略等。Red-X 策略的要点，包括问题定义树、定量测量系统、分析策略、置信确认和改进措施。

2、车轮外倾的技术分析和影响。

通过建立车轮外倾的物理模型，进行结构分析和受力分析，阐述车轮外倾的定义和设计要求，进行外倾角超差的原理分析，外倾角的设置和影响因素，以及解决外倾超差的现实意义。

3、运用 Red-X 策略分析凯越左后轮外倾超差的原因

通过运用 Red-X 策略和其它质量工具，建立问题定义过程、项目定义树、特征策略图、测量系统的验证、问题解决树和组件分析，以及原因程度分析的全析因法来分析产生外倾超差的主要原因和次要原因。

4、后轮外倾超差的问题改善

通过现场分析，对产生超差的各个原因进行调查研究，制定相应的整改措施，并进行批量验证，最终改善并解决问题。同时通过课题研究，归纳总结物理模型中各因素对外倾值的量化影响关系。

5、总结

总结本论文研究的结论和展望进一步研究工作。

在课题的研究方法上，首先借助于以通用汽车公司 Red-X 策略为核心分析方法，结合相应的质量工具，建立整车后轮外倾的物理模型，通过发现问题，分析问题，制定对策，解决问题和长效控制的过程，从根本上解决一个现实的产品质量问题。

其关键在于结合自己所在企业的特点和实际工作范围，运用融合先进质量管理方法，进行方法改进研究，以适应企业发展的要求，注重技术的实用性。^{[6] [7]}

设计试验方案的确定，主要包含以下几个步骤：失效问题的确定、分析样本的选定，测量系统的校验，根本原因寻求等。由于目标问题其本身就是一个长期困扰生产企业的问题，从根本上解决这个问题整个试验分析方案，是企业的当务之急，因此具有比较强的现实意义。

1.5 研究的意义

外倾是涉及车轮定位的重要参数之一，通过本课题的研究，分析相关影响因素，其主要的工程需求和意义在于：

车轮定位包括前束、外倾和主销后倾等参数，是整车的重要设计参数，直接影响车辆行驶性能和操控，底盘系统相关零件的设计以及总成的集成是确定车轮定位的重要因素，因此通过有效分析影响外倾的零件设计和制造控制要求，对于今后底盘系统的设计和供应商零件质量控制有很大的益处，同时底盘系统又是整车开发的关键部分，所以对公司新产品的工程开发有很大的参考作用。

白车身的尺寸控制是关乎整车质量的重要方面，但长期以来尺寸控制只涉及到车身内外饰的配合，对整车功能的影响一直属于空白区域。本课题对于车身尺寸和外倾的研究，可以量化的分析两者之间的联系程度，有利于完善车身尺寸控制系统，提高控制有效性。

总之，本课题研究的实质是运用相关质量工程原理，将质量问题改进的方法流程与具体的分析工具相结合，通过车轮外倾的实例分析研究，解决长期影响企业的重要质量问题，提高了产品质量水平，并且对上海通用提高设计水平、改进零件质量和制造质量有很大的参考作用。同时通过质量问题解决方法的介绍，对广大装配性的制造企业来说，提升问题解决的效率，降低了质量成本，也有很大的普遍适用性。

第二章 上海通用质量分析流程及 Red-X 策略

2.1 上海通用质量分析流程

现代汽车制造企业往往是典型的大规模流水线装配的生产模式，随着模块化供货，总成级别的提高、外包供应商的发展，在整车工厂范围内的制造零件数量已大为降低，但即便如此，一般的中级轿车还有两千多个零件需要装配。同时随着柔型生产线的应用，多产品共线，生产节拍也大为提高，例如上海通用各大工厂基本在40JPH以上。由制造、零部件和设计所导致的质量问题频繁发生，往往直接影响到正常生产，造成大量物力人力的浪费。因此快速响应问题，有效分析和控制是所有汽车制造企业保证生产效率和产品质量所必须达到的要求。

2.1.1 通用制造系统 GMS

1996年，通用前总裁 Jack Smith 挑战了传统的制造系统，他声明：“所有通用汽车的厂区都是同一家公司的一部分，必须运作具有通用要素的统一生产体系。”为此通用成立了 GMS 全球工艺领导小组，推出了统一的适用于全球范围的通用制造系统 GM-GMS，这是 GM 公司历史上第一次统一所有的制造体系。

制造系统通过关注安全、人员、质量、响应和成本这五大方面来达到通用汽车的最终目标——客户热忱。它涵盖五个支持制造目标的原则：员工参与、标准化、制造质量、缩短制造周期和持续改进。

在 GMS 的制造质量和持续改进中对质量分析和解决有专门的要求，即实际问题

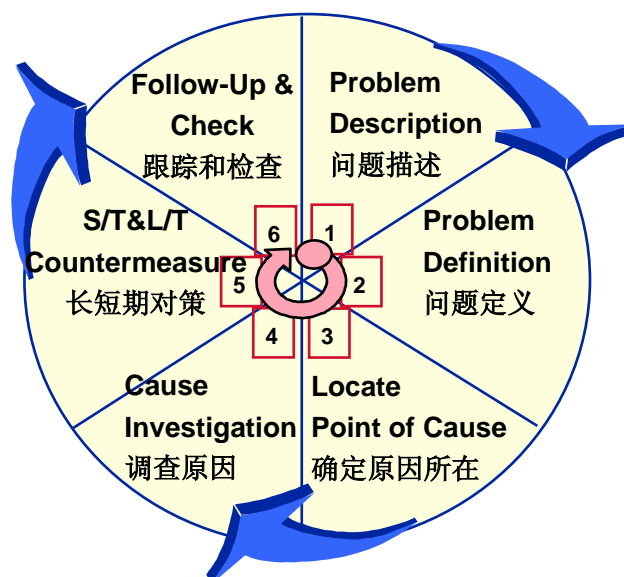


图 1 实际问题解决循环图

Fig1 Practical Problem Solving Circular Chart

解决 PPS，它是问题分析解决的一个过程和方法，如图 1 所示，从全面质量管理的戴

明循环 PDCA 法的角度理解，PPS 就是它在问题分析流程中的应用和具体化。

2.1.2 7 颗钻石流程 SDP

7 颗钻石流程 (Seven Diamond Process) 是通用在生产线质量问题解决方面广泛应用的方法，它反映了问题产生的一般规律，也体现了从简入繁，从易到难的对待问题分析的工作思路，它的特点是效率、质量和成本的有效结合，流程见图 2。

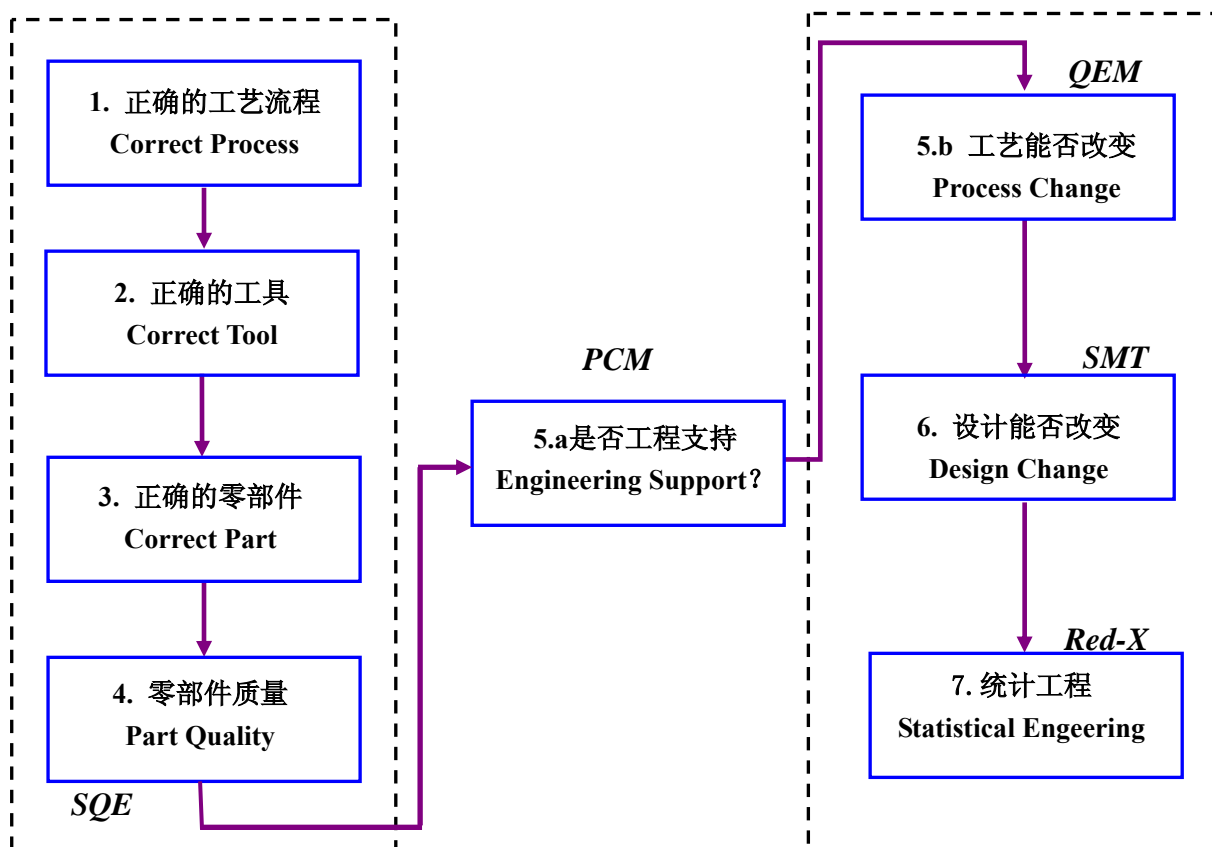


图 2 7 颗钻石流程图

Fig2 Seven Diamond Process Chart

1. 钻石 1&2&3 - 正确的工艺过程、工具和零件。

按照鱼骨图 4M1E 五大因素，前三颗钻石正是有关于人、机和法的因素分析。生产管理人员需要确认是否拥有了明确的标准化的工艺文件，是否操作人员接受了有效的培训，操作是否遵守了工艺规范，是否正确使用了工具，是否装配了正确的零件，需不需要防错，等等，都是用来确定生产组织是否正在按照设计意图去实施装配工艺，为生产提供了一种结构化的方法，它可以评估工艺过程，决定是否原设计能够生产出符合客户要求的高质量产品。通过反复的装配工艺验证和现场检查后，如果问题依然无法解决，则进入钻石 4。

2. 钻石 4 - 零件的质量。

它反映的是供应商提供的零部件的质量。供应商质量工程师(SQE)负责确认是否零件变化了和整个零件的质量。SQE 需要制定短期的问题遏制和零件筛选返修方法,并与生产协调验证对策。同时与供应商质量部门确认问题,如果零件质量(超出规范)被确认为问题的根本原因,针对产生偏差的根本原因进行控制修正,最终消除偏差。如果零件质量在规范之内,则进入钻石 5。

3. 钻石 5a - 质量工程过滤器。

它是在寻求质量工程支持前,滤除和解决掉不很复杂的问题。由生产的工艺控制经理(PCM)运用问题定义树、5个 Why、统计过程控制、零件互换等等分析工具和方法,来发现变化原因并加以解决。如果通过分析还是无法确定原因,则进入钻石 5b,由质量工程经理(QEM)负责处理。用流程图形式来表示如下,见图 3。

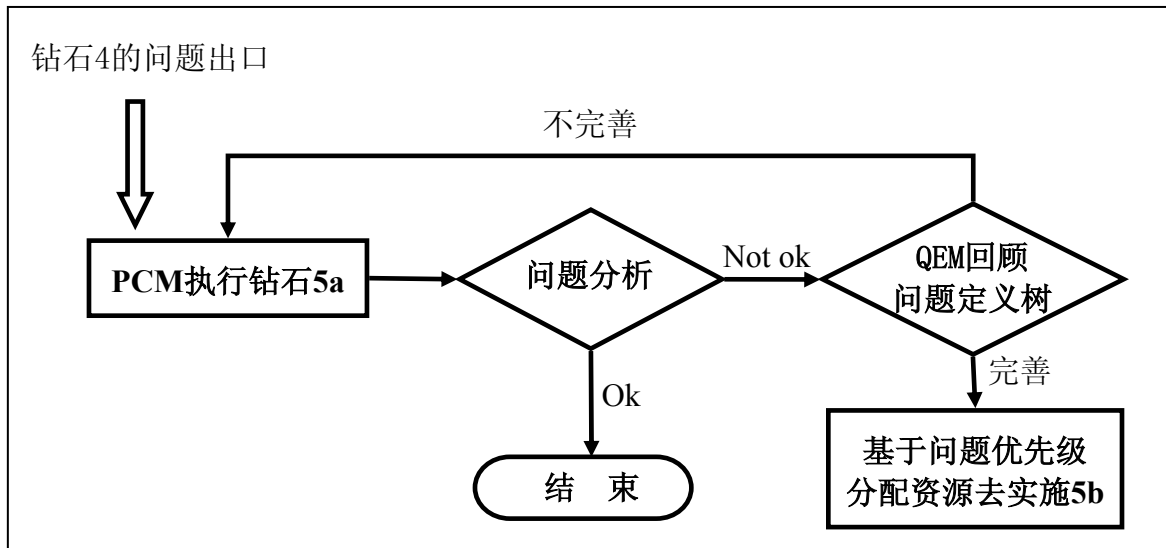


图 3 质量工程过滤器流程

Fig3 Quality Engineering Filter Process

4. 钻石 5b - 制造工艺的更改。

质量工程经理负责调动各方资源组成跨区域功能小组,包括工厂制造、质量和制造工程等,进行工艺更改分析,确定实施方案,其涉及工装模具修正,设备改造或更新,工艺和线平衡的调整等。如果问题无法,则进入钻石6。

5. 钻石6 - 产品设计的更改。

工程设计部门(泛亚)产品平台的SMT(System Management Team)负责通过产品设计的更改来解决问题。

6. 钻石7 - 复杂问题的统计工程。

对于上述1~6过程无法解决的问题往往是原因复杂,涉及的影响因素众多的

老大难问题，QEM必须应用统计工程Red-X策略加以综合分析解决。

总结 7 颗钻石流程，前 4 步是为了评估工艺过程的稳定性，后 3 步是需要系统改进的过程。

1、在实施的时间上，是从逐步递增的过程。大量实践证明：工艺操作的确认可以分钟小时计，零件质量的改进以天计，而工艺改进、产品更改往往要数月以上，而在整个产品寿命周期内少数综合性的复杂问题却始终无法得到彻底解决。

2、在问题发生的数量上，是一个呈金子塔式的几何数字递减的过程，越到后几颗钻石，所占的比例越低。

3、在消耗的质量成本上，则是一个明显递增的过程。员工的培训、工艺的标准化所花费的成本相对较低，而一旦涉及零件的更改，所产生的开发费用和库存报废是相当惊人的。以上海通用为例，一般供应商的库存和物流过程中的物料需要满足六周滚动的生产计划，以凯越目前的产量计算，整个零件报废数量可超过万件。

因此真正有效的按照钻石流程分析问题，对于加快生产效率、提高产品质量和降低产品成本具有很大意义的。

2.2 Red-X 策略

统计工程 (Statistical Engineering) Red-X 策略是目前通用汽车用于激励客户热忱的问题解决的技术策略，它的创始者是美国著名统计工程专家 Dorian Shainin(1914~2000)。Red-X 技术结合了工程学，统计学和逻辑学的原理和方法，在较高置信度水平 (汽车行业的置信度通常为 95%) 下解决技术问题，它与 Taguchi, Classical 并称为三大质量改进的系统方法。

Red-X 项目从问题定义开始，以确认问题被解决而终止，非常适用于制造类行业的质量问题解决。其实质是将统计学方法运用于生产线产品质量问题的分析和改进，将统计工程的分析工具与生产线质量问题的解决相结合，发现主要原因，寻求一种可靠、快捷、有效的实践方法来改进质量，满足客户需求。在整车质量方面，它适用的范围是相对复杂问题的解决，运用到可拆解互换的试验方法。

在西方汽车行业，经过百十年的发展，质量系统已经建设的非常完善，各类质量工具日臻强大。作为全球第一的通用公司，也有一整套成熟的质量工程体系，其中 Red-X 策略是一种先进的质量问题解决方法。Red-X 项目包括正确的人在正确的项目中，运用正确的策略来快速响应客户的质量关注。

Red-X策略并不是简单的寻找一种解决问题的方法，而是要了解问题究竟如何产生的，是寻求问题产生的根本原因或主要原因，因为在这个基础上的解决方法将会成为一个最经济的决定。^{[6] [7]}

2.2.1 运用的原则

Red-X策略主要运用于对综合复杂问题的分析，因此首先必须对分析对象所涉及的整个系统总成有全面的了解，熟知相关构成和影响关系。例如对车轮外倾的分析，需要了解悬架系统和车身结构，以及各个子零件。其次寻找差异和评估方法，Red-X

策略不适用于100%失效的情况，只有存在具有相似性或可比性的两件事情的区别或者是程度上的区别时，通过有效的评估方法来获得差异的来源。第三是不断的探索，以发散的思维开始并且不断的摒弃那些不符合线索的因素。

2.2.2 工作流程

Red-X 策略工作流程：关注客户的要求，观察失效状况，度量差异，聚焦于主要影响，确定主要影响和进行控制，最终获得对问题的一个简单理解，是一个化复为简的过程。

2.2.3 问题的类型

在实践中，一般有三类失效状态或问题：

1. 缺陷(Defect)

- 在发生不愉快定性时间后留下的证据；
- 一次不可再现的定性事件；
- 可以用其数量作为特征（好或者坏）。

如划伤、生锈、剥落、凹点等；

2. 定性事件(Event)

- 需要投入精力来体验；
- 具备发生的全过程，即开始、中间、结束；
- 可以用定性或者定量的度量系统来测量。

如车辆跑偏、异响、关门力大、振动等；

3. 特征(Feature)

- 会引起客户抱怨的物理特征；
- 利用定量度量系统来测量。

如间隙、直径、平整度、高度等。

Red-X 策略对这三类问题都有相应的分析流程，外倾是车辆参数特征之一，可以利用定量度量系统来测量。

2.2.4 分析步骤

1. 倾听客户 — 问题定义

Red-X 项目起源于客户的反馈。工程师必须首先理解客户抱怨什么，以确定所需要实施的项目，通过对收集的数据（客户反馈）进行整合而形成输入的信息，来定义 Red-X 项目。

- 确定目标；
- 将客户的反馈转化为基于目标的通用度量；
- 确定潜在的项目以及它们对目标的影响；
- 优化这些项目来形成实施的项目表。

2. 观察失效模式 — 项目定义

- 通常定义单一的 Red-X;
 - 在 Red-X 被受控前, 其它因素不考虑;
 - Red-X 策略是发现主要原因的规范方法。
Green Y 的概念
 - 它是客户所关注项目的实际分布, 来自于柏拉图的 Y 轴;
 - 它是 Red-X 项目所要努力改进的问题。
3. 观察最大差异 — 策略图
- 策略图是一种可以在 Red-X 项目中评估可能差异并证明的一种方法;
 - 策略图应该在观察失效之前完成;
 - 策略图包括缺陷、事件和特征三类。
4. 测量有效性 — 定量度量系统的检验
确认所使用的测量系统是否有足够能力来区别 BOB 和 WOW。
5. 测量对比 — 问题解决的线索生成
- 问题解决树是辨别 Red-X 的问题解决的路线图;
 - 选择一个合适的测量系统来识别比较极好 BOB 和极差 WOW, 这种比较不仅是车与车的差异, 还有工厂与工厂, 班次与班次, 甚至天与天的差异。
 - 消除不会导致差异的因素。
 - 关注于对问题的认识, 通过了解装配和零件影响并分析结果, 可以加深对互换试验的理解。
6. 确定主要影响因素 (Red-X) — 确认问题解决树
通过使用有效的方法确定被选的 Red-X 后, 在设定的置信度条件下使用数理统计的方法证明它就是真正的 Red-X。
7. 纠正 Red-X 的影响 — 对策和改进
针对已发现的主要影响因素, 制定整改方案, 并落实具体改进行动, 如果控制了 Red-X, 失效问题仍未满足客户期望, 则需要针对次主要因素 Pink-X 实施改进方案, 以此类推。
8. 实施对主要影响因素 (Red-X) 的长期监控 — 问题解决树的执行
从一开始对 Red-X 执行控制是对客户所关注的变量值进行长期的监控。
对 Red-X 波动范围或公差の設定, 依据项目初始为确保客户满意所制定的 Green Y 的需求控制值, 一旦项目定义树建立, 这个范围或公差就被定义了, 在整个 Red-X 项目完成后, 应该长期的监控以保证原来的 Red-X 不再死灰复燃, 或者产生新的 Red-X。如图 4 所示。

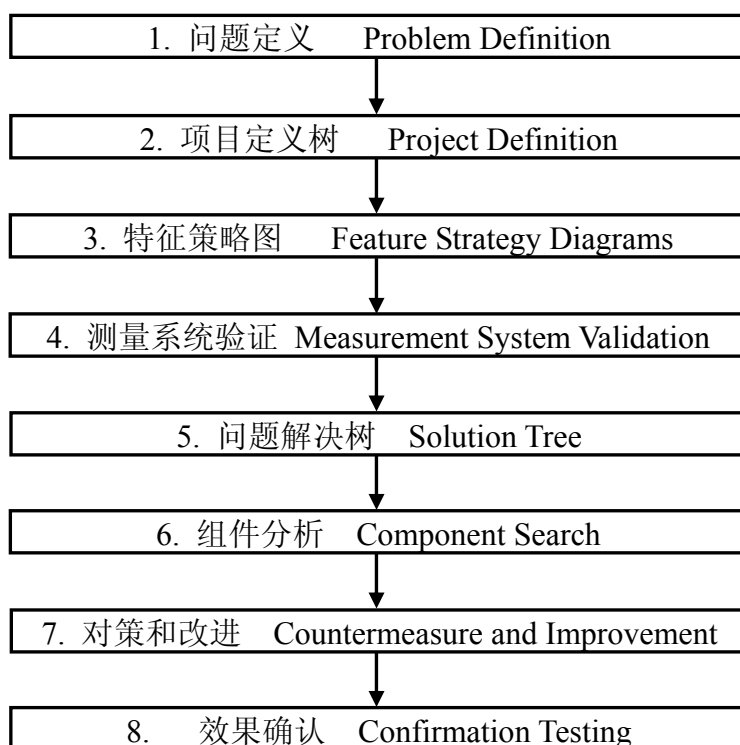


图 4 Red-X 策略工作流程图

Fig4 Red-X Strategy Working Process Chart

2.2.5 Red-X 工具

Red-X 策略是基于试验设计的质量改进方法，包含七个工具也称为舍宁 DOE (Shainin DOE 7 Tool)，它有利于我们系统地建立设计过程及解决长期困扰的复杂质量问题。

Red-X 7 种工具：

1. 多变差分析图 (Mutil-Vari Chart)

根据以往经验确定影响质量的可能要素，例如班次、机床、原材料、工艺变量等，每隔一段时间抽取连续生产的几件产品，按需观察的这些要素的几种情况分别测试质量特性，画成图表进行比较分析，以确定引起波动的原因。

- 多变差是将变量数据组织起来用于识别差异的工具。
- 多变差分析包含三个层面：时间面变动、空间面变动和重复面变动。

2. 配对对比 (Paired Comparisons)

随机选取五对以上的好的和坏的产品，用各种方法测试其各种参数并比较其不同之处，以确定影响产品质量的主要原因，适用于不可拆卸的产品。

- 单位元件或分总成无法分解或重新组装时，分析 BOB 和 WOW 的差异。
- 通过 BOB 和 WOW 的逻辑配对可以测量配对的特征和特性。
- 通过逻辑配对，排除模式不符的 Red-X 候选者，最终确定潜在的 Red-X。

3. 组件分析 (Components Search)

根据以往经验确定影响产品质量的可疑零件, 随机选取几个好的产品 and 坏的产品, 将坏产品上的可疑零件与好产品上的对应零件进行交换, 重新装配后进行质量特性参数的测量、比较、分析, 以找到影响产品质量的主要零件。

- 确认产生偏差的最大根源是装配还是零件。
- 适用于分析可拆解或重装的组件。

4. 变量分析 (Variable Search)

与零件搜索有许多相似之处, 都是逐个替换, 进行测试比较, 以搜索引起产品质量波动的主要原因, 但变量分析是针对变量的, 而组件分析则是针对零件的。

- 通过 BOB 和 WOW 的试验设计, 寻找失效模式产生的相关因素。
- 变量寻找包括四个步骤: 预估、消除、定案和全析因分析。

5. 全析因分析 (Full Factorials)

采用以上四项技术, 寻找出最多四个的主要因素, 这些因素按全部因素所有水平的一切组合逐次进行试验, 研究这些因素的主效应和相互之间的交互作用, 以确定最佳的因素水平匹配方案。

- 通过设计试验, 确定 Red-X 候选者的影响程度顺序。

6. B 与 C 比较 (B vs. C)

令 B 为改进后的工序, 而 C 为改进前的工序。为验证改进效果, 可以设定风险率 a (第 I 类风险) 和 b (第 II 类风险), 随机抽取 B 和 C 两种产品 (样本量由风险率决定), 进行假设检验, 以确定在规定的风险率下, B 产品是否优于 C 产品。

- B 表示 Better, C 表示 Current, 就是比较好条件与现有条件是否有差异。
- Shainin 提出了两种简易的统计计算方法: Lord Test 和 Tukey Quick Test。

7. 散步图—回归分析 (Scatter Chart)

对散步数据做出散步图, 应用回归理论, 诊断出对产品影响大和小的因素, 从而找出影响产品质量波动的主要原因, 并根据波动大小, 确定各因素的目标值和容差。

- 通过散步图, 确定 Red-X 项目控制的公差, 汽车行业通常采用 95%。^[8]

Red-X 方法系统地阐述了如何查明问题产生的根本原因, 上述工具可以用来揭示好和坏之间的差异, 一般根据实际项目的情况和特点, 进行有选择的使用这些工具。

第三章 后轮外倾超差的问题分析

3.1 外倾角的定义

外倾角是车轮定位的参数之一，定位是指前后桥、车轮、转向部件和悬架部件之间角度关系的一个综合性名词。车辆方向的稳定性、转向效果和轮胎的寿命都取决于这些部件之间适当的角度关系，包括外倾角、主销纵倾角和前束角等。

外倾角(Camber)是由车前方看轮胎中心线与垂直线所成的角度(图5)。当一个车轮的顶部向外倾斜时，外倾角为正；当一个车轮的顶部向内倾斜时，外倾角为负。

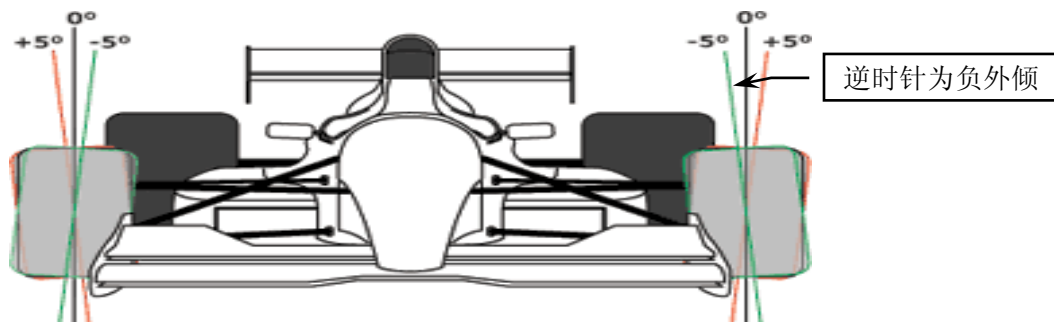


图5 外倾示意图

Fig5 Camber Sketch

3.2 外倾角的设置和影响因素

3.2.1 外倾角的设置

外倾角的设置可以影响车辆行驶方向的稳定性和轮胎的磨损：大部分车辆都在前轮上设置了较小的正外倾角。这种设置的角度通常为 $0.25^\circ \sim 0.5^\circ$ ，这种较小的正外倾角是被计算出来的，其目的是在车辆行驶的时候，能使外倾角保持在零度左右。在车辆行驶的时候，当车轮处于凸起处时车轮实际摆向负外倾角，当车轮处于凹陷处，车轮实际摆向正外倾角。各种悬挂和转向装置设计的目的是在车辆开动时，通过保持车轮垂直于地面和沿直线行驶来最大限度地减少轮胎胎面磨损和传递牵引力。不恰当的外倾角设置容易导致轮胎磨损过快或磨损不均。过大的正外倾角将引起胎面外侧磨损，而过大的负外倾角将引起胎面的内侧磨损。当胎面内侧的负荷高于外侧时，将引起磨损不均匀。

除了引起轮胎磨损过快之外，不恰当的外倾还会导致车辆向一侧跑偏。沿正外倾角轮胎胎面延伸出来的一条线形成了一个圆锥(图6)，任何一个锥体在滚动时，朝向锥体尖部滚动会形成一个圆。一个正外倾轮胎形成一个锥形，象其它锥形一样，轮胎将产生侧向力并且车轮滚动朝向锥形的尖部。因为这种原因，如果一个轮胎的正外倾角大于另一侧轮胎的正外倾角，车辆将向正外倾角较大的一侧跑偏。

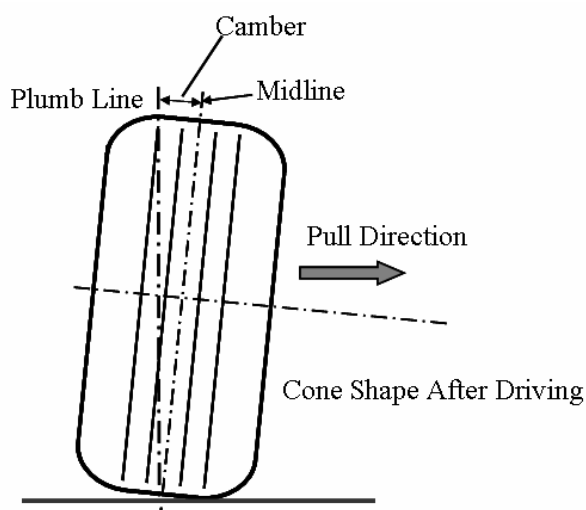


图6 跑偏示意图

Fig6 Driving Pull Sketch

以往的道路一般是路面中间(路拱)部分高于两边，目的是为了便于提高排除路面积水的速度。路拱产生了一种影响，即改变了车辆一侧的定位角，并且使车辆向一侧跑偏。因此一般乘用车和大多数乘用车和轻型卡车为对载荷进行补偿及路拱的情况都在左车轮上采用附加的 $1/4$ 度正外倾角，来抵消路拱的影响。现代很多的赛车和四轮独立悬挂的汽车考虑到高速行驶的稳定性则采用了一定的负外倾角。

3.2.2 影响因素

从整车的结构考虑，影响外倾角值的原因相对比较复杂，有很多因素会影响到外倾角，包括悬挂系统总成(后桥、减震器等)，车身机构(载荷分布、底盘安装尺寸等)，轮胎(胎面、胎压、安装面-制动盘等)，其它因素。同时这些因素的影响程度互不相同，根据整车设计的原则和车型特点，有很大的差别。本文中分析涉及的各项因素影响度也仅针对凯越车型。

3.3 后轮外倾的物理模型

根据凯越车后悬架系统的结构，可建立如图 7 所示的物理模型。

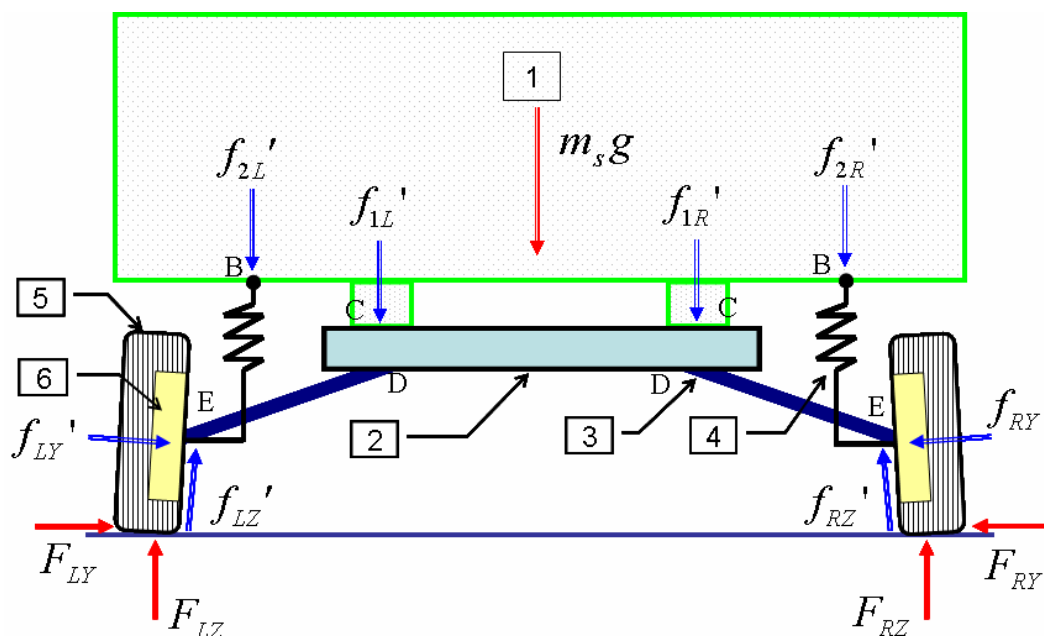


图 7 凯越外倾物理模型图

Fig7 Camber Physics Module Sketch

3.3.1 系统结构

1—车体 Body, 2—后横梁 Rear Cross Member, 3—横向杆 Lateral Link, 4—后减震器 Rear Suspension, 5—后轮 Tire, 6—轮毂 Hub。

整体后悬架系统大体包括除车体和车轮外的上述零件，左右后减震器和后横梁通过 B、C 点与车体紧固相连，横向杆通过 D、E 点将后横梁和轮毂紧固连接，减震器又将车体和轮毂弹性连接，轮胎紧固在轮毂上。

3.3.2 受力分析

将后悬架系统受到车体载荷 $m_s g$ 的压力，由于后横梁和减震器与车体相连，因此这部分压力分解成 f_{1L}' , f_{1R}' , f_{2L}' , f_{2R}' 四个分量。同时左右后轮受到地面的支撑力和侧向力 F_{LZ} , F_{RZ} 和 F_{LY} , F_{RY} ，由于外倾的原因，这四力又转化成对轮毂的轴向力和侧向剪切力 f_{LY}' , f_{RY}' , f_{LZ}' , f_{RZ}' 。假设左右外倾角分别为 θ_L , θ_R ，如果不考虑前轮和车体载荷不均的情况，它们之间的关系式：

$$m_s g = f_{1L}' + f_{1R}' + f_{2L}' + f_{2R}' = F_{LZ} + F_{RZ} \quad (1)$$

$$F_{LY} = f_{LY}' \cos \theta_L + f_{LZ}' \sin \theta_L = F_{RY} = f_{RY}' \cos \theta_R + f_{RZ}' \sin \theta_R \quad (2)$$

3.4 运用 Red-X 策略分析外倾超差的原因

3.4.1 问题定义

凯越车采用的是四轮独立悬挂，前悬为麦弗逊式，后悬为 Twin-Link 多连杆。左后轮外倾设计标准为 $-0.9^{\circ} \pm 0.6^{\circ}$ ，右后轮为 $-1.1^{\circ} \pm 0.6^{\circ}$ ，总外倾（左外倾值-右外倾值）为 $\pm 0.75^{\circ}$ 。凯越的外倾角为负外倾，其左右后轮的公差带均为 $\pm 0.6^{\circ}$ ，该公差带是由所有与之相关的底盘及车身零件共同的公差累计的结果。

2005年4月上海通用金桥南厂建成投产，开始生产三厢凯越车。从试生产开始就不间断的发生左后轮外倾超差的缺陷，工程设计标准为 $-0.3^{\circ} \sim -1.5^{\circ}$ ，缺陷车辆的外倾角度偏大，5%左右超过 -0.3° ，到零度左右，并导致总外倾同时超差。

3.4.2 项目定义树

针对每个运用 Red-X 策略进行分析解决的问题，都需要一个项目定义树，来明确工作的目的和要求。具体的项目定义树包括以下几个部分：

首先确定项目，明确要改善什么和改善多少；

第二，确定失效模式的类型，是事件、缺陷还是特性。事件是指需要进行体验的定性事件，具有时间过程的特点，如车辆异响，跑偏等。缺陷是指在发生不希望的定性事件后留下的证据，具有数量的特征，如划伤，生锈等。特性是指会引起客户抱怨的物理特征，具有可定量度量的性质，如间隙配合，强度等。

第三，明确失效模式特点，包括区域，集中程度，偏差趋势等。

最后，确定分析用的定量测量系统。

经过问题定义，本文研究的项目是凯越左后轮外倾超差问题。通过现场的调查和信息汇总，我们可以得到以下几个项目特征：

- 1、 外倾超差的失效模式属于特征类型，因此也确定了可以使用定量测量系统进行分析；
- 2、 问题发生在三厢凯越的所有车型上；
- 3、 超差的现象都发生在左后轮；
- 4、 所有的失效模式都是实际的外倾值超过范围的上公差。

基于以上的情况，可以建立如图 8 的项目定义树。



图 8 左后轮外倾超差的项目定义树

Fig8 Project Definition Tree Of LR Camber Out Of Spec

3.4.3 特征策略图

在汽车行业高度发达的北美，通用、福特和克莱斯勒这三大汽车公司的产品系列非常丰富，制造工厂的数量也非常多，同一产品会在不同工厂生产，同一零件也会使用在不同的车型上，因此一旦某一车型发生问题，影响的范围可能各异，同时其它工厂或其它车型的信息，对问题的分析解决也有相应的帮助。

策略图就可以被用来在相对复杂的客观条件下，针对目标的项目评估可能的差异并加以证明的一种方法，它帮助我们发现如何观测到最大的差异。由于外倾角超差是特征的失效模式，故采用特征策略图。

特征策略的次序是从小到大，从细节到整体逐次展开分析的。它主要的策略步骤包括：同一区域特征的比较，同一侧不同区域的比较，同一车两侧的比较，同一时间生产车辆间的比较，同一时间生产不同车型的比较，不同生产时间的比较，不同生产班次间的比较，不同工厂间的比较等。

根据上述分析步骤，对外倾角超差问题，形成如图 9 的特征策略图：

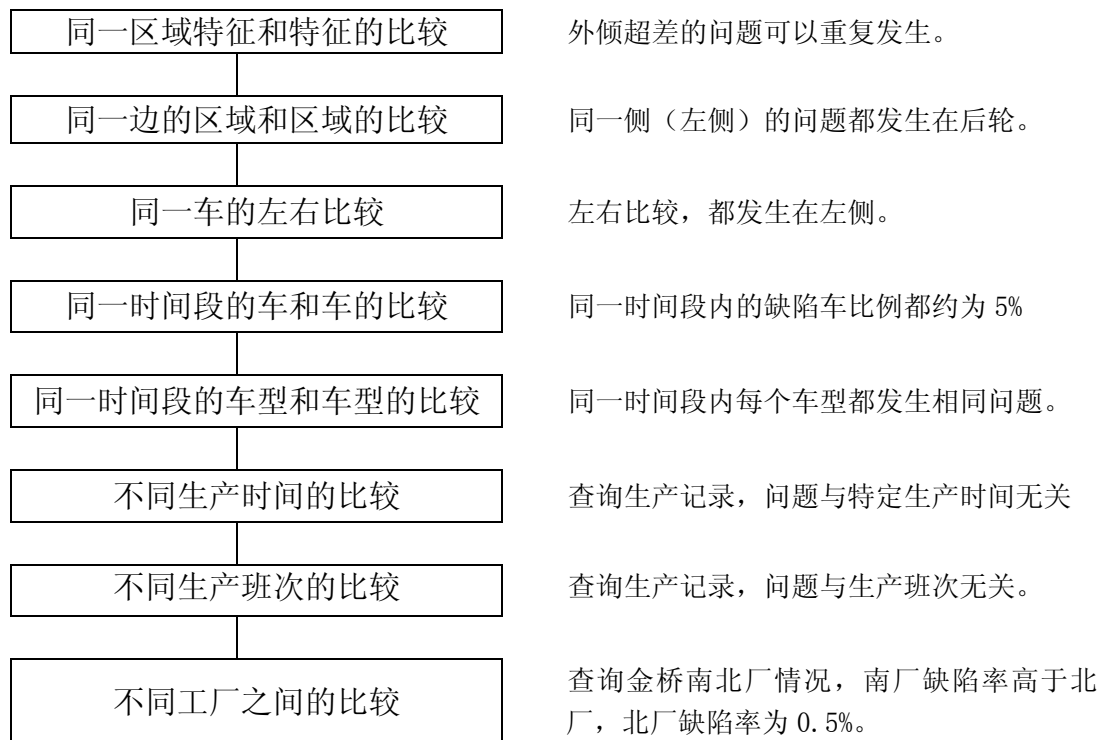


图 9 左后轮外倾超差的特征策略图

Fig9 Feature Strategy Chart Of LR Camber Out Of Spec

3.4.4 测量系统的验证

由于绝大部分整车零件具备可拆卸重复安装的特点，所以质量问题的分析常需要进行对比车辆间的零件互换，因此是否测量系统是否可识别差异车辆是 Red-X 策略应用的前提。

3.4.4.1 验证的目的

数据是通过测量获得的，其中测量是指“以确定实体或系统的量值大小为目的的一整套作业”。这“一整套作业”就是给具体事务（实体或系统）赋值的过程。

我们通常用偏倚（bias）和变差（variation）来表征测量数据质量的高低。对于可定量的问题分析，要求对利用的测量系统进行有效性的确定，是否具有足够的分辨力和敏感度，是否处于统计受控状态，测量系统的变差是否具有有效的解析度。

测量系统的分辨力是指测量系统检出并如实指示被测特性中极小变化的能力。每个测量系统都有自己的分辨力，在分辨力范围内，该测量系统能识别零件之间的差别。

一个测量系统被选用，它一定具有足够的分辨力，这里的“足够”是指：

- 1、测量系统的波动比制造过程的波动小，最多为后者的 1/10；
- 2、测量系统的波动小于公差限，最多为公差限的 1/10。

若波动大小用各自的标准差表示， σ 表示测量系统的标准差， σ_1 表示制造过程的

标准差，T表示公差限，则一个测量系统具有足够的分辨力是指：

$$6\sigma \leq \min(6\sigma_1/10, T/10) \quad (3)$$

如果测量系统没有足够的分辨力，就不能定量地表示单个零件的特性值，也不能识别制造过程所发生的波动，这时，应放弃使用该测量系统，而改用更好的测量系统，使它具有足够的分辨力。

3.4.4.2 验证的方法

对于测量系统分析的一个重要方法是检具R&R（重复性和再现性 Gauge Repeatability & Reproducibility），测量系统误差的标准差 σ 等于重复性方差 σ_e^2 和再现性方差 σ_0^2 的平方根，即：

$$\sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_0^2 \quad (4)$$

Gauge R&R，对测量系统的重复性和再现性进行评估，通常选取2名测量员，分别测量10个零件，每个零件测量两次，通过计算测量系统的R&R变差占总变差的百分比，来衡量该系统的可靠性。假如测量系统独立于测量者，例如在使用自动测量设备的情况下，测量系统的标准差主要来自于测量设备的误差，因此我们可以忽略再现性。

另一个方法是Isoplot法，根据Shainin理论，能采用Isoplot法对测量系统进行评估的前提是一组成对的观测测量，即使用两个测量系统，或者使用一个测量系统独立地测量两次。来评估系统的适用性，以确认该测量系统有足够的辨别力来区分过程差异。Isoplot法不考虑系统的再现性，在测量系统独立于操作人员，即系统差异不来源于人的差异时，特别是在适用自动化测量设备，如果仪器精度远高于系统其它参数时，我们可以不考虑测量设备所引起的变差，可以采用Isoplot法。在外倾角测量过程中，汽车行业普遍使用了全自动化的定位设备，其精度相较零件设计公差和制造精度而言，低于1/10，所以在本文中对测量系统的验证采用Isoplot法。

3.4.4.3 BOB和WOW

Red-X策略将正态分布图上相反的两个尾部定义为：BOB(Best of Best)和WOW(Worst of Worst)，但BOB和WOW并不一定是指好或者是坏的部分。根据统计原理，并结合汽车行业特点，我们选用5.15Sigma，即99%的样本在5.15Sigma内，因而理论上BOB和WOW应在控制线以外的1%样本。而本章节就是来确定测量系统是否能够辨别BOB和WOW，如图9所示。

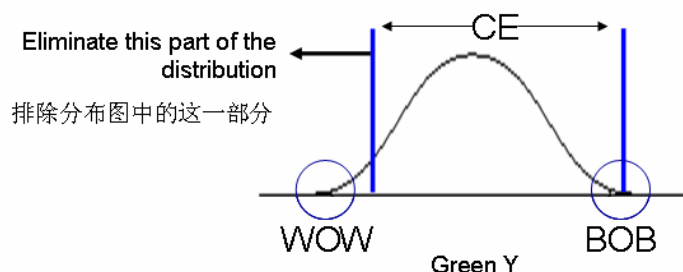


图 10 BOB 和 WOW 分布示意图
Fig10 BOB and WOW Distribution Sketch

3.4.4.4 Isoplot 方法

Ispolot 方法具体实施步骤如下：

- 1、利用测量系统确定 30 个单独的测量对象。
- 2、标识每一个测量对象。
- 3、依次测量这 30 个对象的一个，记录下来作为第一组测量数据。
- 4、随机的再对这 30 个对象进行一次测量，并且记录下来作为第二组测量数据。
- 5、每一个坐标轴用相同的比例尺，依比例建立 X, Y 坐标轴。
- 6、把在 30 个测量对象中所测量的的每一个数据（第一组，第二组）画上，图上就得到了 30 个点。
- 7、绘一条最恰当线。这条线应经过尽可能多的点。直线近似的将点均分两半（理想的直线是 45 度）。
- 8、找到离最恰当线倒数第二远的点。通过这个点画一条与最恰当线平行的直线。
- 9、在最适合线的另一面，做一条通过倒数第二远的点所做平行线对称的直线。
- 10、两端用半圆封闭，半圆应以最恰当线上的某一点为圆心，并且通过图上处于极端的几个
- 11、通过最恰当线和两端半圆的两个交点，向 X 轴引两条垂线。这两点之间的距离作为变量 ΔP 。
- 12、测量中心线两端平行线的宽度，将这个宽度转化到水平轴上来确定变量 ΔM 的尺寸。
- 13、计算 $\Delta P/\Delta M$ 值。

结论是：如果 $\Delta P/\Delta M \geq 6$ ，那么测量系统就是可信的，如图 11 所示。

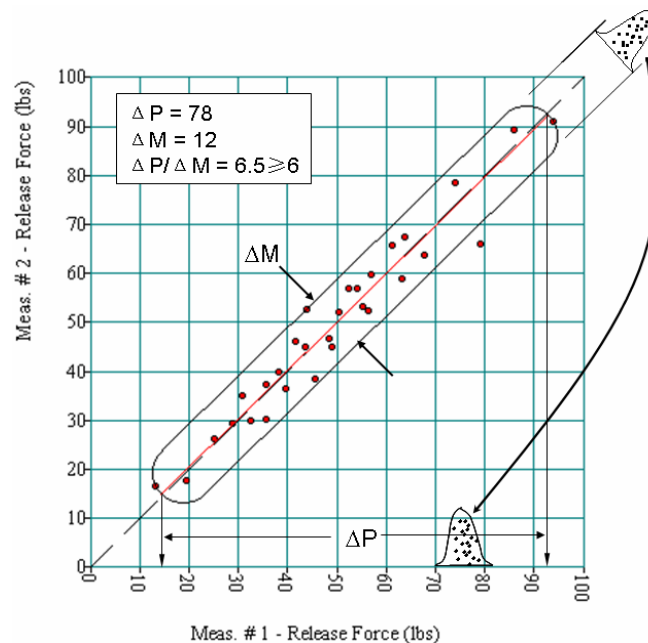


图 11 Isoplot 示意图

Fig11 Isoplot Sketch

3.4.4.5 外倾角测量系统的验证

外倾角是车轮定位角之一，需要通过专用的四轮定位测量仪进行数据测量。上海通用统一采用美国 Fori 设备，设备精度为 0.01° 。

取 30 辆凯越车，编号 1~30，每车测量一次左后轮外倾值，并记录；再随机测量第二次，并记录，得到下表，见表 1，外倾值最大和最小分别是第 9 号和第 24 号车。

表 1 30 组外倾测量数据（单位：度）

No	Measurement		Measurement		No	Measurement		Measurement
	#1		#2			#1		#2
1	-0.19		-0.24		16	-0.49		-0.45
2	-0.48		-0.50		17	-0.52		-0.57
3	-0.59		-0.55		18	-0.56		-0.51
4	-0.51		-0.56		19	-0.64		-0.69
5	-0.73		-0.71		20	-0.63		-0.60
6	-0.46		-0.45		21	-0.71		-0.70
7	-0.44		-0.41		22	-0.75		-0.74
8	-0.43		-0.42		23	-0.70		-0.73
9	-0.01	*High	-0.08		24	-0.75	*Low	-0.77
10	-0.58		-0.52		25	-0.24		-0.25
11	-0.57		-0.57		26	-0.63		-0.61
12	-0.58		-0.62		27	-0.60		-0.64
13	-0.52		-0.58		28	-0.36		-0.42
14	-0.71		-0.75		29	-0.62		-0.65
15	-0.56		-0.57		30	-0.55		-0.51

建立二维 X, Y 坐标轴，输入 30 点的数据，经过 3.3.4.4 Isoplot 方法，进行作图，得到图 12。

量得 $\Delta M=0.09$ ， $\Delta P=0.70$ ， $\Delta P/\Delta M=7.8 \geq 6$ ，所以用四轮定位设备作为测量系统可用来区别 BOB 和 WOW。

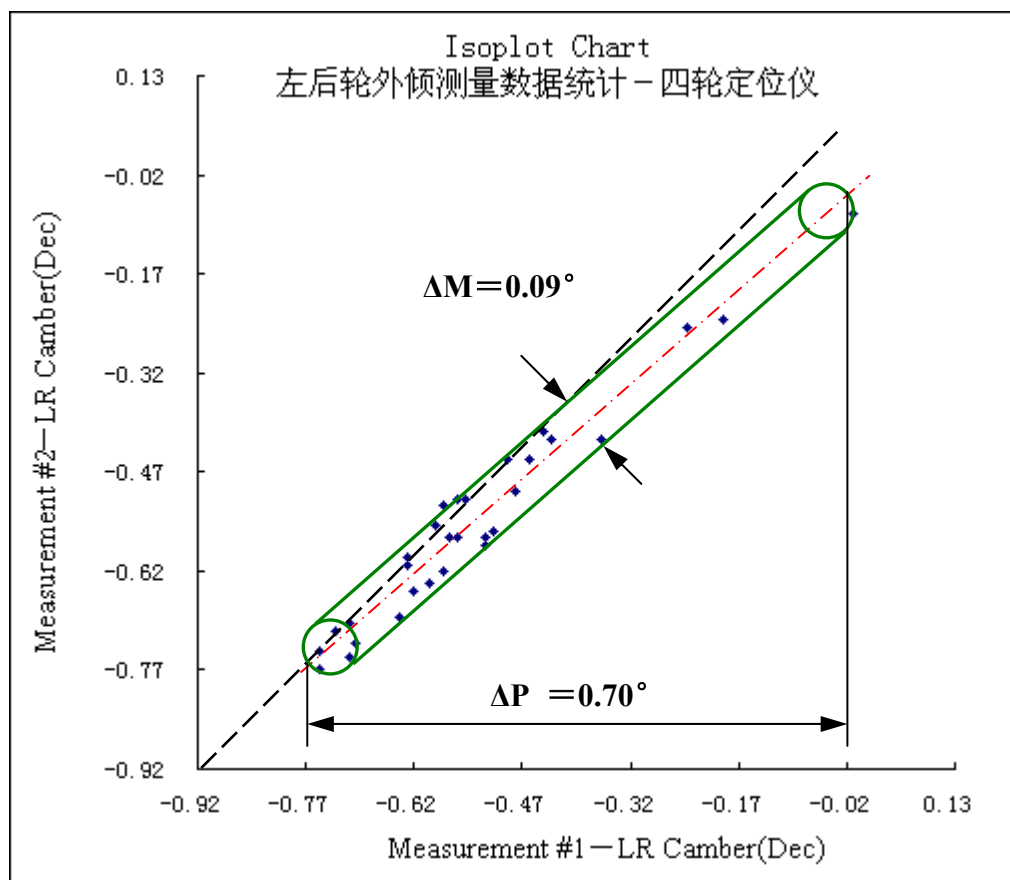


图 12 四轮定位测量系统的 Isoplot 图

Fig12 Wheel Alignment Machine Isoplot Sketch

3.4.5 问题解决树

问题解决树是基于测量系统，需求最大差异 (ΔP) 的来源是什么，即将问题集中于 Red-X 的分析过程，它开始于项目定义树，以已经证实的 Red-X 而结束。

问题解决树的建立是基于 7 颗钻石流程的分析步骤。由于在复杂问题的原因分析中，存在许多潜在原因，如何进行排查、鉴别是非常重要的，因此在这个过程中，可以运用 7 颗钻石流程，并结合人、机、料、法、环 4M1E 入手分析原因。

首先通过 3.4.3 的特征测量图，很容易的排除人员和环境影响因素，在此基础上建立外倾超差的问题解决树，考虑与问题相关其它影响因素，并全部体现在解决树中，如图 13 所示，然后可以对其余因素采用 7 颗钻石流程继续分析，在后续的重复拆装和零件的互换试验过程中，逐步辨析各个因素，加以排除，最终获得外倾角超差的最主要原因。

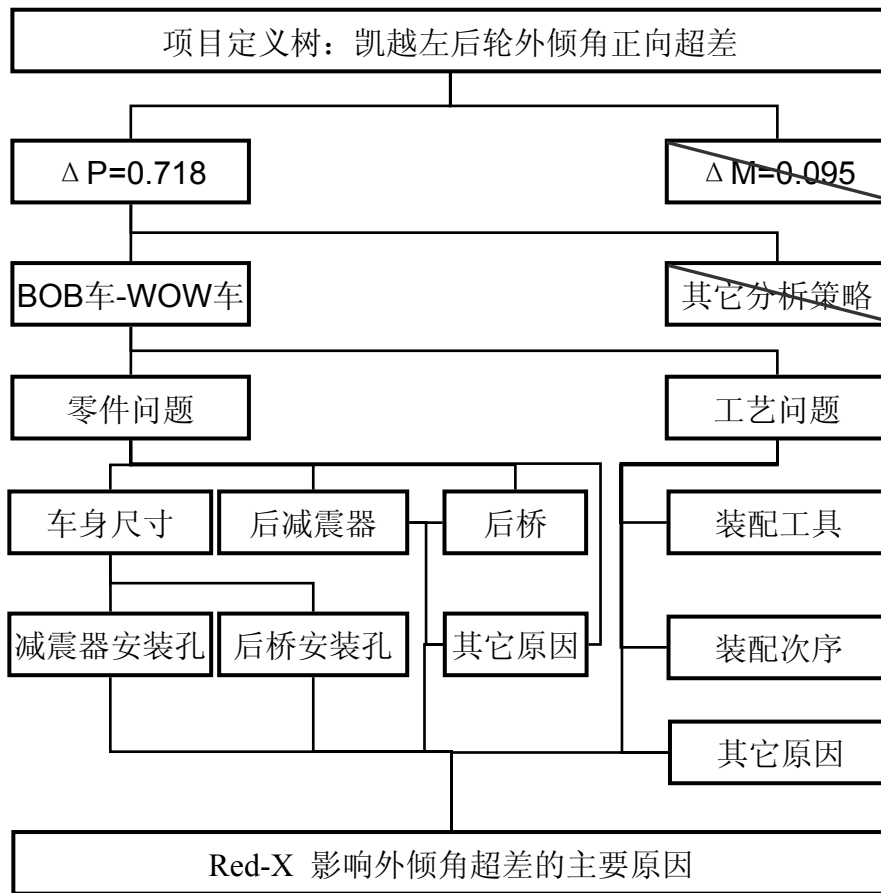


图 13 外倾超差的问题解决树图

Fig13 Camber Out Of Spec. Solution Tree Sketch

3.4.6 组件分析

互换试验是一种线索产生工具，用来确认产生差异的最大根源是由零件本身引起的还是由装配零件的过程引起的，它适用于分析可拆解和重新装配的装配单元。

组件分析通常分两个阶段：阶段一用以确定装配过程的影响程度；阶段二用以确定哪个组件是主要影响因素，即 **Red-X**。

3.4.6.1 阶段一

在第一阶段中试图找出装配过程的影响，装配单元被拆分并被重新组装。它的输入是在最边界处的 **BOB** 和 **WOW** 装配单元，它们越靠近边界，就越容易评估暴露出 **Red X**；它的输出是 **Red-X** 是否存在于装配过程中，**Red-X** 是否在组装这个单元的组件上，测量系统是否足够好。

分析过程：

拆解并重新组装每个装配单元各三次，并检查以下各个规则是否满足。

规则 1. **BOB** 和 **WOW** 取值必须完全分离（没有接触及重叠）；

规则 2. 两者的中位数之差 D_M 必须大于平均值域与风险系数的乘积。

$$D_M = |M_{BOB} - M_{WOW}| \geq V_I \bar{R} \quad (5)$$

其中 M_{BOB} 、 M_{WOW} 分别为BOB和WOW样本多次拆装测量值的中位数， V_I 为阶段一的风险系数。如图 14 所示：

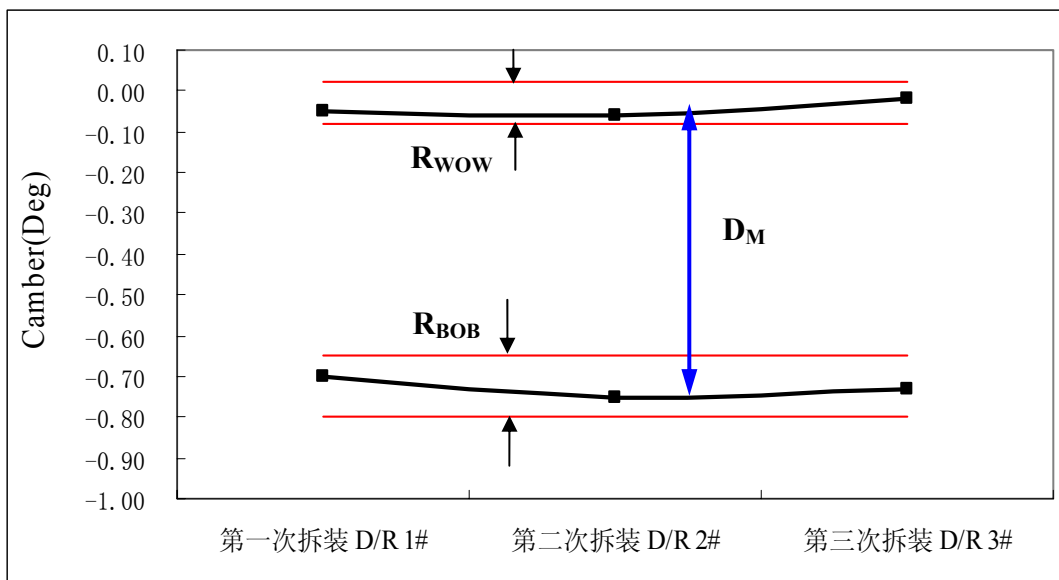


图 14 组件分析的阶段一示意图

Fig14 Component Search Phase 1 Sketch

V_I 的取值与拆装的次数有关，次数越多，越精确，风险越小，通常推荐 4 次， $V_I=0.89$ ，见表 2。

表 2 组件分析的风险系数

成组的大小 (包含初始值)	V_I	V_{II}
3, 3	1.49	1.89
4, 4	0.89	1.31
5, 5	0.74	1.10

3.4.6.2 阶段二

如果第一阶段没有问题，则进行第二阶段，如果第一阶段没有通过，问题就出在装配过程中。在阶段二中，需要计算 BOB 和 WOW 试验的控制线，它主要用于衡量变量影响的程度，辨别哪个变量重要，哪个次要。

以 $\alpha=95\%$ 的置信水平，可得置信区间，即上下控制线为：

$$CL_{BOB} = M_{BOB} \pm t_{1-1/2\alpha}(n-2) \times \bar{R}/d_2 \quad (6)$$

$$CL_{WOW} = M_{WOW} \pm t_{1-1/2\alpha}(n-2) \times \bar{R} / d_2 \quad (7)$$

其中经查表, $t_{1-1/2\alpha}(n-2) = t_{0.975}(6-2) = 2.776$, $d_2 = 1.693$,

所以式 3-1 和 3-2 可转化为:

$$CL_{BOB} = M_{BOB} \pm t_{1-1/2\alpha}(n-2) \times \bar{R} / d_2 = M_{BOB} \pm 1.64 \bar{R} \quad (8)$$

$$CL_{WOW} = M_{WOW} \pm t_{1-1/2\alpha}(n-2) \times \bar{R} / d_2 = M_{WOW} \pm 1.64 \bar{R} \quad (9)$$

设定控制线后,按照潜在影响的零件,依次在 BOB 和 WOW 之间做镜像的互换零件,每一次零件交换引起的决策值越界,都说明这个零件对于交换的装配单元的差异有影响。如果找到了两个或以上对系统影响较大的零件,则进行整体式交换,即将可疑部件一起交换。如果交换前后结果完全不同,那么整体式交换试验即认为有效。最后所有零件恢复在初始状态。通常互换试验首先从可能性最大的部件开始,这个可能性的排序可以由制造、质量、设计的工程师经过头脑风暴法根据技术经验来确定。

3.4.6.3 组件分析在外倾分析过程中的应用

阶段-1: 选取 WOW 车第 9 辆和 BOB 车第 24 辆,重新拆装后桥和减震器总成三次,每次记录外倾数值,得到表 3。

表 3 阶段一的拆装数据(单位:度)

	BOB	WOW
初始值 Original	-0.75	-0.01
第一次拆装 D/R 1#	-0.70	-0.05
第二次拆装 D/R 2#	-0.75	-0.06
第三次拆装 D/R 3#	-0.73	-0.02
R=Max-Min	0.05	0.04
M	-0.725	-0.04

根据式(5), $D_M = |M_{BOB} - M_{WOW}| = |(-0.72) - (-0.04)| = 0.68$,

$$\bar{R} = (R_{BOB} + R_{WOW}) / 2 = (0.05 + 0.04) = 0.045,$$

$$D_M = 0.68 \geq V_i \bar{R} = 0.89 \times 0.045 = 0.04,$$

因此阶段-1 可以通过。

阶段-2: 根据式(8)和(9),求 BOB 和 WOW 的控制界限

$$CL_{BOB} = M_{BOB} \pm 1.64 \bar{R} = -0.725 \pm 0.074$$

$$CL_{WOW} = M_{WOW} \pm 1.64 \bar{R} = -0.04 \pm 0.074$$

所以： $Upper CL_{BOB} = -0.65$ ， $Lower CL_{BOB} = -0.8$ ；
 $Upper CL_{WOW} = 0.02$ ， $Lower CL_{WOW} = -0.11$ ；

互换试验过程：

- 1、将 BOB 车和 WOW 车的后桥拆卸下后互换，并测量外倾，记录数据；
- 2、将后桥换回，并测量外倾，记录数据；
- 3、将 BOB 车和 WOW 车的左后避震拆卸下后互换，并测量外倾，记录数据；
- 4、将左后避震换回，并测量外倾，记录数据；
- 5、将 BOB 车和 WOW 车的后桥和左后避震一齐拆卸下后互换，并测量外倾，记录数据；
- 6、将后桥和左后避震换回，并测量外倾，记录数据。

通过 Swap 试验得到如下数据表 4。

表 4 互换试验数据表（单位：度）

	BOB	WOW
Original	-0.75	-0.01
D/R No1	-0.70	-0.05
D/R No2	-0.75	-0.06
D/R No3	-0.73	-0.02
Rear Axle Only	-0.68	-0.03
Original	-0.74	-0.04
LR Suspension Only	-0.07	-0.60
Suspention&Axle	-0.04	-0.58
Original	-0.75	0.00

将阶段一和二的试验数据作图如下所示，见图 14。发现互换后桥之后，原 BOB 车和 WOW 车的外倾角不发生越界，因此外倾角的差异应与后桥无关。互换左后减震器后，原 BOB 车和 WOW 车的外倾角发生越界，但原 WOW 车的外倾角没有完全进入 BOB 的控制线。这说明除了左后减震器影响外倾角以外，还存在另外的影响因素，即除了存在 Red-X 以外，还存在 Pink-X。最后我们将后悬挂所有的相关零件，包括后桥、轮胎、后减震器、稳定杆等作为一个系统总成拆卸下后，进行互换，结果总体情况类似于互换左后减震器，故认为车身结构也是影响因素之一。总结上述互换试验可以得出一下结论：

- 1、互换后桥不发生越界，故 BOB 车和 WOW 车的外倾差异与后桥总成无关；
- 2、互换左后减震器和后悬挂系统都发生部分越界，且波动状态很类似，故 BOB 车和 WOW 车的外倾差异与左后减震器和车身状态相关；

3、根据 Swap 试验，我们需要进一步分析后减震器总成和车身安装尺寸哪一个 是主要原因 Red-X，哪个是次要原因 Pink-X。

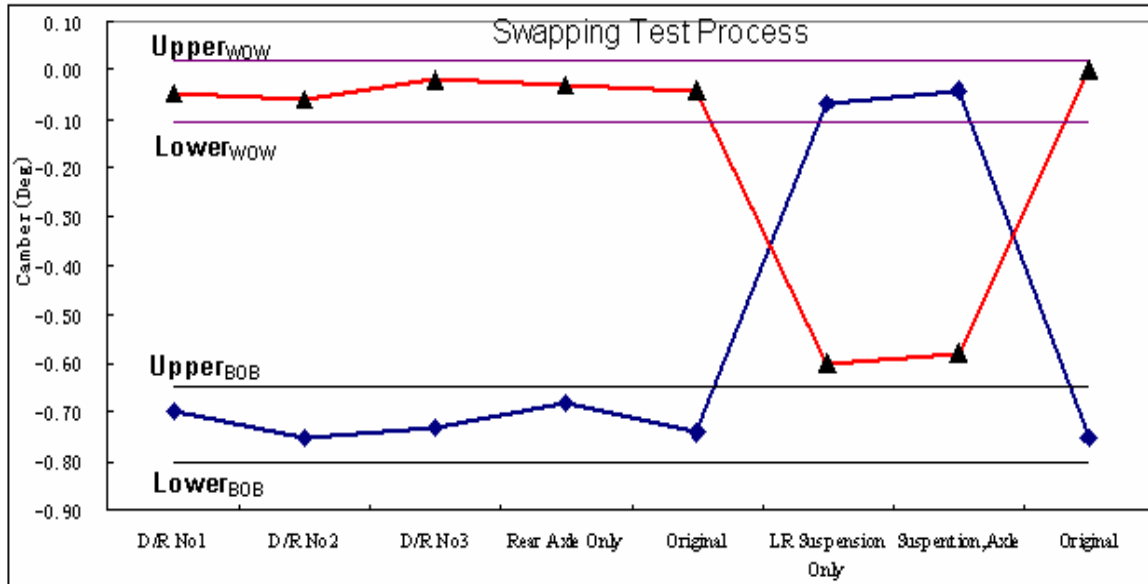


图 15 组件分析的零件互换图

Fig15 Component Search Swap Test Sketch

3.4.7 原因程度分析 - 全析因法

在存在多个影响因子的情况下，需要辨识哪个为主，哪个为次，或者相互作用产生的影响大。我们采用全因子（Full Factorials）分析的方法，来解决这个问题。

3.4.7.1 全因子分析法（全析因法）

全析因法是当存在多个影响因子的情况下，用于识别各个因子影响程度的差异，及因子间相互作用产生的影响的分析方法。因子是指由已知的输入可以预测到的输出的结果，全因子是指包含了在分布两端（BOB 和 WOW，即同一因子的两个水平）所观测到的由已知的输入（可能的 Red-X 项）而演化出来的试验或设计的全部的因子，当在线索产生过程中确定了 2 个或更多的可能项是，全因子分析法用来确定主要影响原因。

由于汽车行业批量生产的特点，其过程特征量往往呈正态分布，在统计工程 Shainin 策略里将正态分布两端称为 BOB（Best of Best）和 WOW（Worst of Worst），因此在问题分析中，每一因子通常被认为存在两个水平。而全析因法就是通过分析包含 BOB 和 WOW 的由已知输入（影响因素）而演化出来的试验或设计的全部因子，当在线索产生过程中确定了 2 个或更多的可能项时，对 2 或更多因子的问题，需要建立 2×2 或更高的析因矩阵，然后通过矩阵代数的计算，来确定主要影响因素的方法。对于因子数为 n 的情况下，通常建立如式 10 的析因矩阵：

$$2 \times 2^{n-1} \tag{10}$$

如图 16 所示为 2 因子和 3 因子的析因矩阵。

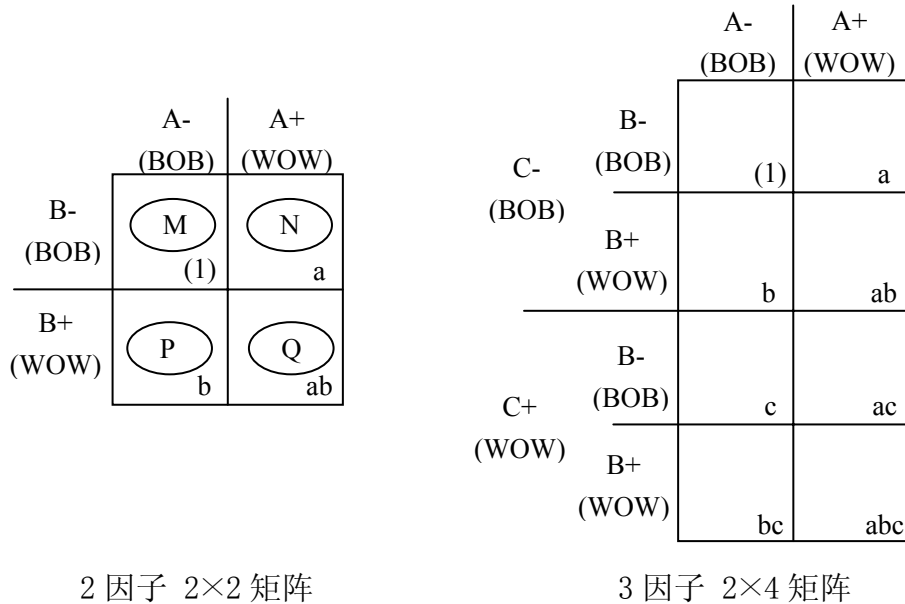


图 16 析因矩阵图

Fig16 Full Factorial Matrix Chart

将涉及所有影响因素的 BOB 和 WOW 的试验结果填入上述矩阵，并计算每个单元内的中值，然后按照图 17 的 Yate's 算法计算各因素的影响程度（如 M，N，X 和 Y），最终确定程度的大小。

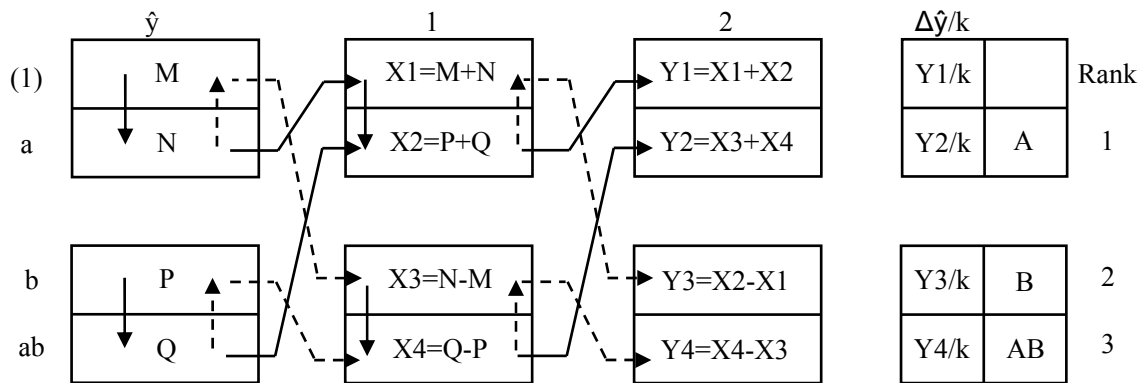


图 17 Yate's 算法流程图

Fig17 Yate's Arithmetic Process Chart

3.4.7.2 用全因子法分析外倾超差的主要原因

假设：左后减震器为因子 A，车身尺寸为因子 B，两者相互作用为 AB。

一、将 3.4.6.3 中互换试验的外倾数据转换成两因子两水平试验的数据输入，可得表 5。

表 5 试验数据表 (单位: 度)

BOB Vehicle		WOW Vehicle	
Original	-0.75	Original	-0.01
1st Disassembly&Reassembly	-0.70	1st Disassembly&Reassembly	-0.05
2nd Disassembly&Reassembly	-0.75	2nd Disassembly&Reassembly	-0.06
3rd Disassembly&Reassembly	-0.73	3rd Disassembly&Reassembly	-0.02
$A_{WOW}Rest_{BOB}$	-0.03	$A_{BOB}Rest_{WOW}$	-0.60
$B_{WOW}Rest_{BOB}$	-0.58	$B_{BOB}Rest_{WOW}$	-0.04
$A_{WOW}B_{WOW}Rest_{BOB}$	-0.03	$A_{BOB}B_{BOB}Rest_{WOW}$	-0.68
Original	-0.75		0.00

A = LR Suspension

B = Body

二、将数据填入 2×2 矩阵中, 如图 18

	A- (BOB)	A+ (WOW)
B- (BOB)	-0.75 -0.73 -0.70 -0.75 -0.75 -0.68 -0.74 (1)	-0.03 -0.04 -0.035 a
B+ (WOW)	-0.60 -0.58 -0.59 b	-0.01 -0.02 -0.05 0.00 -0.06 -0.03 -0.025 ab

图 18 A、B 因子的析因矩阵

Fig18 Factor A&B Factorial Matrix

三、在矩阵的每一单元内计算中值:

		A- (BOB)	A+ (WOW)
B- (BOB)		-0.75 -0.73	-0.03
		-0.70 -0.75	-0.04
		-0.75 -0.68	
		(-0.74) (1)	(-0.035) a
B+ (WOW)		-0.60	-0.01 -0.02
		-0.58	-0.05 0.00
			-0.06 -0.03
		(-0.59) b	(-0.025) ab

四、利用矩阵代数分析每一个可能因子的重要度

		A- (BOB)	A+ (WOW)
B- (BOB)		-0.75 -0.73	-0.03
		-0.70 -0.75	-0.04
		-0.75 -0.68	
		(-0.74) (1)	(-0.035) a
B+ (WOW)		-0.60	-0.01 -0.02
		-0.58	-0.05 0.00
			-0.06 -0.03
		(-0.59) b	(-0.025) ab

-0.765 (top-left arrow)
 -0.775 (right arrow from top-right cell)
 -0.615 (right arrow from bottom-right cell)
 -0.625 (bottom-left arrow)
 -1.33 (down arrow from bottom-left cell)
 -0.06 (down arrow from bottom-right cell)

$$\begin{aligned} \Delta Y_A &= (-0.06 - (-1.33)) / 2 = 0.635; \\ \Delta Y_B &= (-0.615 - (-0.775)) / 2 = 0.08; \\ \Delta Y_{AB} &= (-0.765 - (-0.625)) / 2 = -0.07. \end{aligned}$$

五、运用 Yate's 算法进行矩阵分析

将上述试验的数据分别填入 2×2 的矩阵中，并计算矩阵中每个单元内的中值，如图 19，可得：

$$M = -0.74, N = -0.035, P = -0.59, Q = -0.025.$$

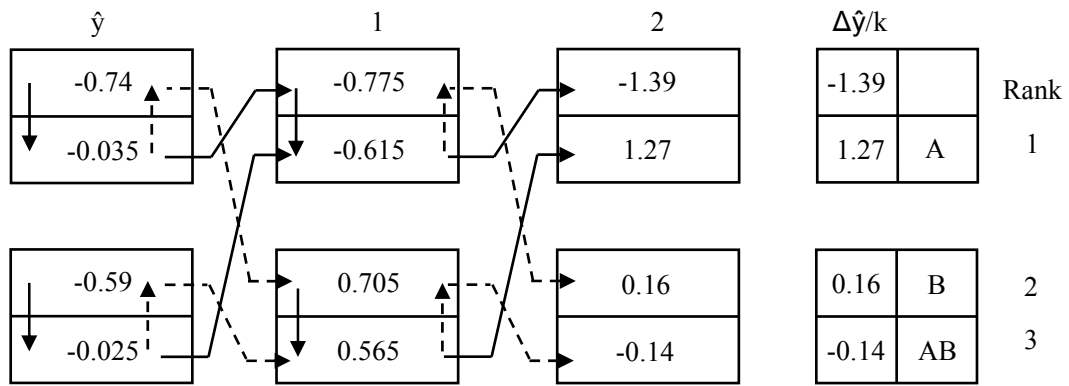


图 19 A, B 因子影响程度的 Yate's 算法结果图

Fig19 Yate's Arithmetic Result Chart For Factor A&B

通过上述计算，因素 A 即左后减震器的影响程度最大，是 Red-X；因素 B 即车身安装尺寸的影响程度其次，是 Pink-X。

将互换试验的结果，以及各因素影响程度的分析，更新问题解决树，可以依次排除工艺问题，后桥及轮胎等零件问题，确定真正的 Red-X 和 Pink-X，如图 20。

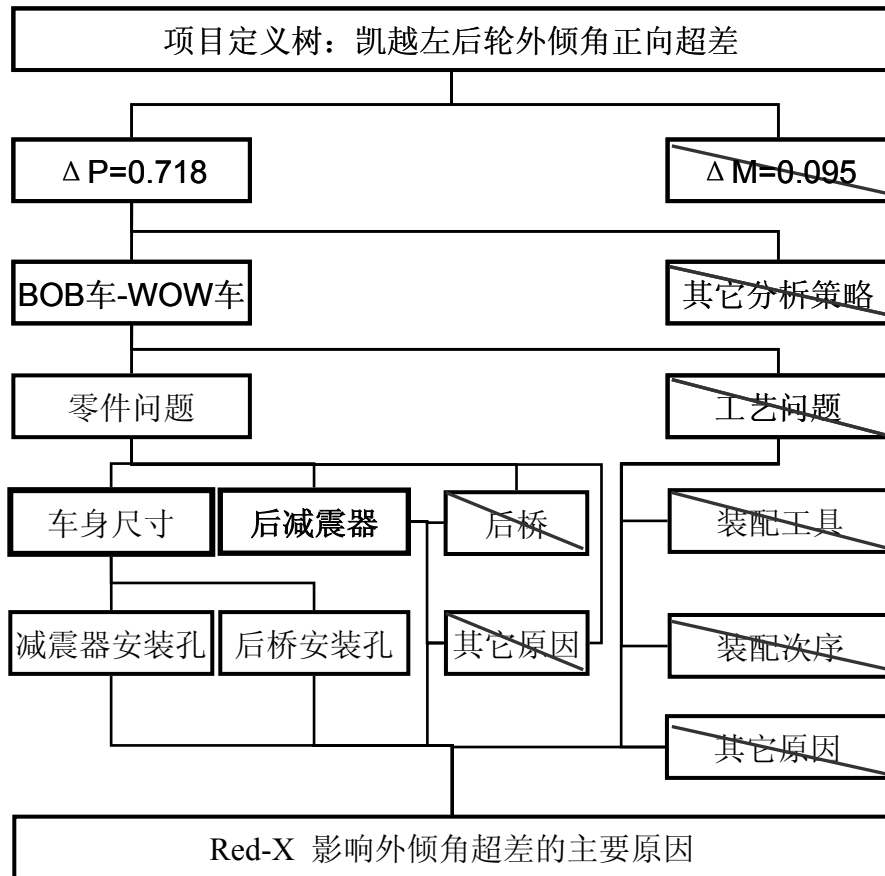


图 20 确定 Red-X 的外倾超差的问题解决树图

Fig20 Confirmed Red-X of Camber Out Of Spec. Solution Tree Sketch

第四章 后轮外倾超差的改善策略

4.1 外倾超差的对策和改进

通过第三章中运用 Red-X 策略的原因分析方法，发现真正影响凯越左后轮外倾超差的主要原因是后减震器总成零件，次要原因是车身安装孔位。通过锁定这两个因素，质量工程师团队对供应商质量工艺和车身生产过程进行了深入的现场调查，实施了针对性的改进措施，从试验样本到批量验证，对该问题的改进取得了很大的成果。

4.1.1 凯越后减震器的改进过程

L-Car 的减震器总成是由上海汇众汽车提供的，针对后轮外倾超差的 Red-X 后减震器，上海通用整车质量工程师 QE、供应商质量工程师 SQE 和产品工程师 PE 组成了专门工作小组，从 2005 年 11 月开始深入供应商生产一线，对产品的制造工艺、装配工艺和总成尺寸等进行了充分的调查研究，与供应商技术人员就问题深入地进行了交流研究，历时数个月。

4.1.1.1 零件基本结构

后减震器总成主要有顶座、减震支柱、减震弹簧、吊耳和轮毂组成，顶座与减震支柱、轮毂和吊耳都是螺栓紧固的装配关系，吊耳焊接在减震支柱上，后减震器支柱上部顶座通过紧固螺栓与车身后轮罩避震安装孔相连接，如图 21 所示。

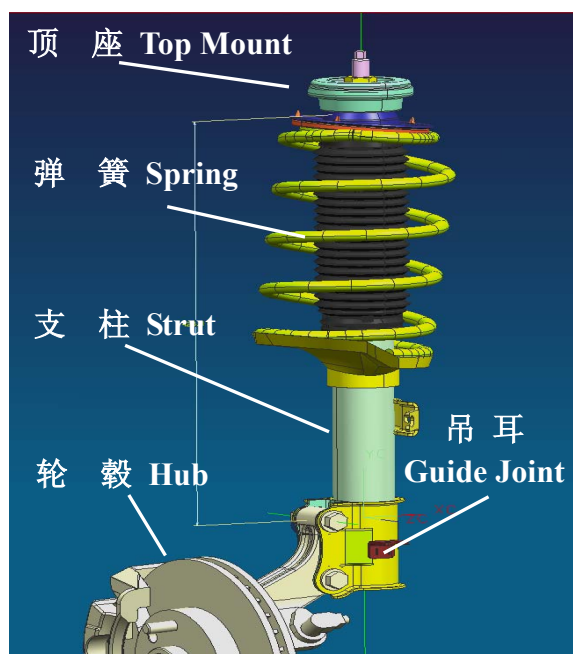


图 21 凯越 (L-Car) 后减震器总成的结构示意图
Fig21 L-Car Rear Suspension Sub-Assembly Structure Sketch

4.1.1.2 减震支柱的制造工艺以及相关尺寸的影响

通过技术分析，单个未与轮毂连接的减震支柱对于外倾角度的影响，主要是减震支柱与轮毂连接两个孔的位置度的大小。更进一步说是两个孔中心的连线相对于减震支柱中轴线的平行度，从理论上应该是完全平行的，如图 22。该处对外倾值影响程度非常大，通过数据模拟分析，平行度偏移 1mm，外倾角将变化 1° 左右。

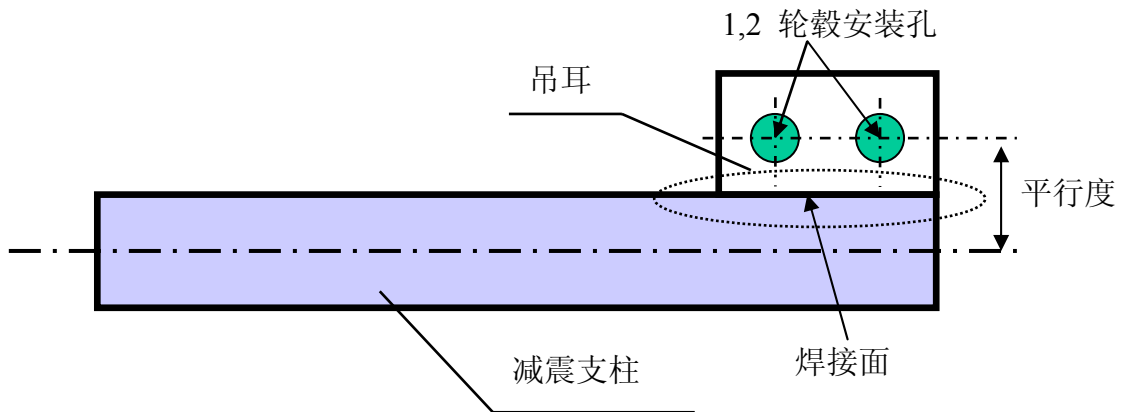


图 22 减震支柱制造工艺示意图

Fig22 Strut Manufacturing Process Sketch

从减震支柱的制造工艺来看，吊耳上的前后四个孔是先在工装上冲裁而成，然后与支柱焊接在一起的。由此焊接可能会导致零件受热变形，影响两孔的直线度，从而到与支柱中轴线的平行度。经过供应商处的现场测量，目前由制造工艺影响的直线度大约为 0.1mm 左右，因此对外倾角贡献大约为 0.1° 。在减震支柱的供应商处，该平行度为质量控制点之一，厂方对此每天进行一定频次的抽检。从近阶段检测数据来看，该处的偏差情况在 0.1mm 的控制范围之内。虽然从支柱的制造工艺来看，存在不合理性（即先冲孔后焊接）会造成一定量的平行度偏差，但零件的整体尺寸基本还是在标准范围之内的。因此可基本排除减震支柱制造工艺的影响因素。

4.1.1.3 减震支柱与轮毂装对外倾的影响

像前段所分析的，轮毂安装孔的位置对外倾影响很大。因此，我们研究了轮毂与减震支柱连接的工艺，该处紧固孔的装配是由上海汇众负责的。

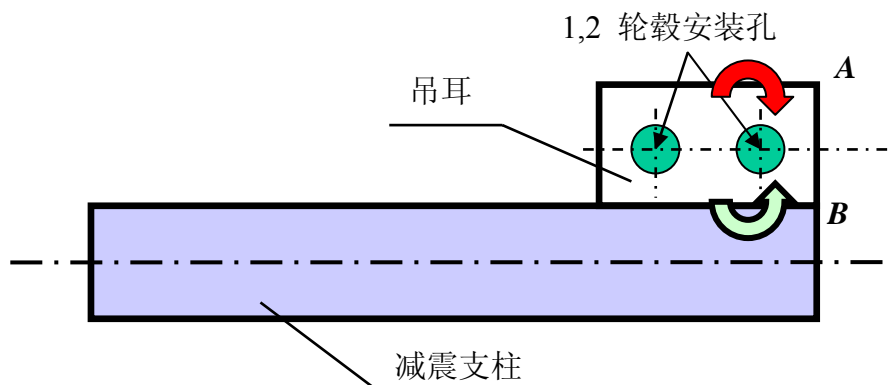


图 23 减震支柱与轮毂装配示意图

Fig23 Strut & Hub Assembly Sketch

从装配历史来看，从南厂试生产开始到投入正式生产的 3 月时间内，后减震器总成使用的是 CKD 进口件，该处的孔和螺栓为紧配合，无法进行调整，因此对左右外倾角超差的失效车辆只能通过更换减震器进行返修。正式生产后该零件实施了国产化，该处在装配时为松配合，存在 25 丝的间隙，但汇众在紧固此处螺栓时，没有定位要求，不做任何调整，因此我们对这 0.25mm 间隙对外倾的影响，进行了试验分析。

抽取一辆 L-Car 测量外倾值，将左右避震拆下，拧松轮毂紧固螺栓，然后按图 23 的箭头 A 方向重新紧固，安装减震器，测量外倾值；重复上述操作，但紧固螺栓按箭头 B 方向。比较三次测量的外倾值可以发现，避震安装可调的范围大约在 0.5-0.6 度之间，测试数据见表 6。

表 6 不同装配方式的外倾数据（单位：度）

	左后轮外倾	右后轮外倾	说 明
初始状态	-1.31	-1.08	
情况-A	-1.02	-0.48	按箭头 A 旋转进行紧固
情况-B	-1.56	-1.09	按箭头 B 旋转进行紧固
差异	0.54	0.61	

根据上面的试验，我们研究了汇众支柱与轮毂的装配方法，希望通过增加定位工装的方法，来尽可能减少装配带来的波动。最初汇众装配时，没有任何的工装来限制零件，装配关系是轮毂在下，支柱在上，操作工只是随意地紧固两个螺栓至规定扭矩而已。支柱相对于轮毂总成转动的角度和外倾值的变化是相同的。基于这种情况，我们对工装进行了两次改进：第一次，增加了减震支柱的夹紧工装，改进了制动轮毂总成的夹紧工装；第二次，去除了减震支柱的支撑，改变了装配时整个零件的支点，由于重力作用，装配状态对外倾值更加优化，如图 24 所示。经过改进后

的工装，减震支柱没有了下支撑，在轮毂被夹头固定了的情况下，使支柱向顺时针转动的趋势减弱，从而优化左后轮的外倾值。

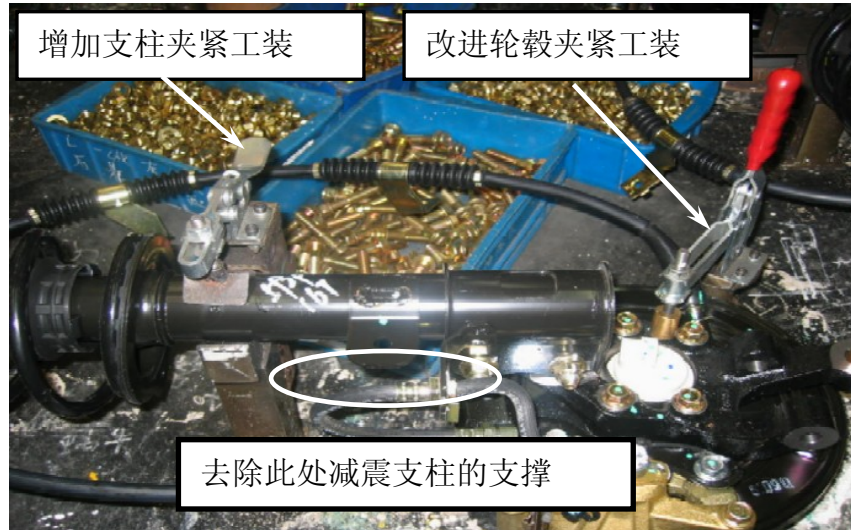


图 24 减震支柱装配工装改进的示意图

Fig24 Strut Assembly Process Improvement Sketch

由此来看，任何正常状态的减震器，在经过装配后，理论上来说，外倾值应该都会在 0.5° 左右的公差范围之内。国产化的设计和以往的 CKD 件设计之间还是有很大差异的。进口件使用相对紧配合，由于无法对装配位置进行调整，因此对相关所有的底盘零件的设计要求和制造工艺要求就会比较高，同时也会增加了轮毂与减震支柱之间的装配难度。使用国产设计的间隙配合，可以使装配容易，但是如果不对装配过程进行工艺控制，就会因为每次状态的差异而导致整车外倾值的不固定性。但同时也带来了一个优点也是如果一旦外倾超差，在一定范围内可以通过调整轮毂螺栓，调整外倾角，从而克服了可能的单一零件偏差的影响。因此从这一零件的国产化过程看，是典型的通过设计优化来解决制造工艺难度的例子

4.1.1.4 后减震器改进的验证

通过两次装配工装的调整，我们进行了 90 辆车的批量性状态跟踪。如图 25 所示，改进前后的左后轮外倾值从平均 -0.53 降至 -0.81 ，改善 $0.2\sim 0.3$ 。

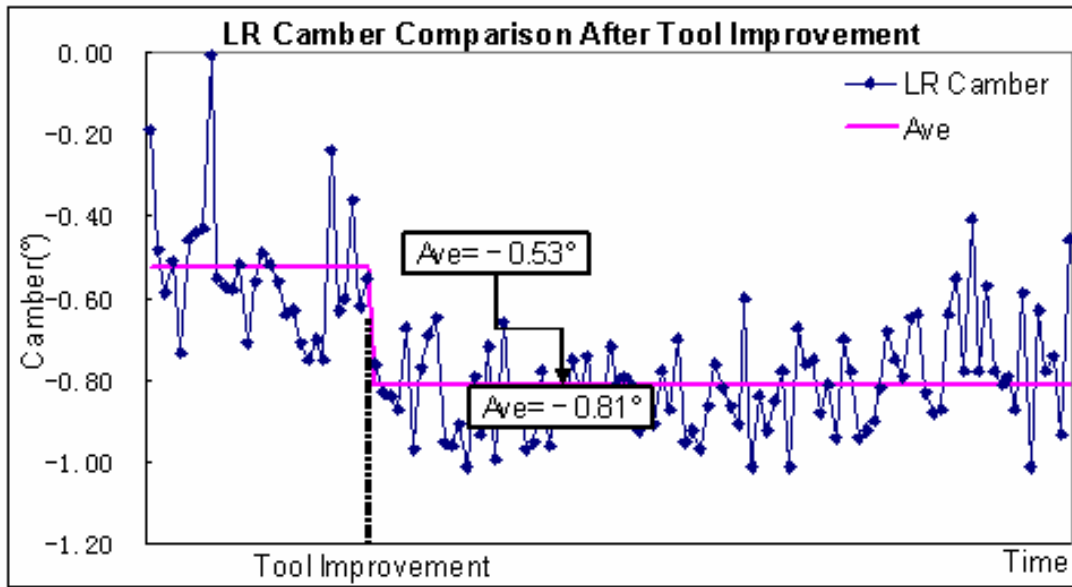


图 25 装配工装改进后的外倾效果跟踪图

Fig25 Assembly Tooling Process Improved Camber Effect Tracking Sketch

在外倾角的设定上，还有一个参数，即总外倾（Sum Camber），定义为左外倾角减去右外倾角的绝对值。如果左右差异超过设计规范，同样会产生对行驶性能和轮胎磨损不利的影响。设计部门对 L-CAR 的总外倾要求是 $0^{\circ} \sim 0.75^{\circ}$ ，通过对工装改进，同样消除了总外倾超差的情况，也降低了总外倾均值，从 90 辆车的跟踪结果看，降低了约 0.3° ，如图 26 所示。

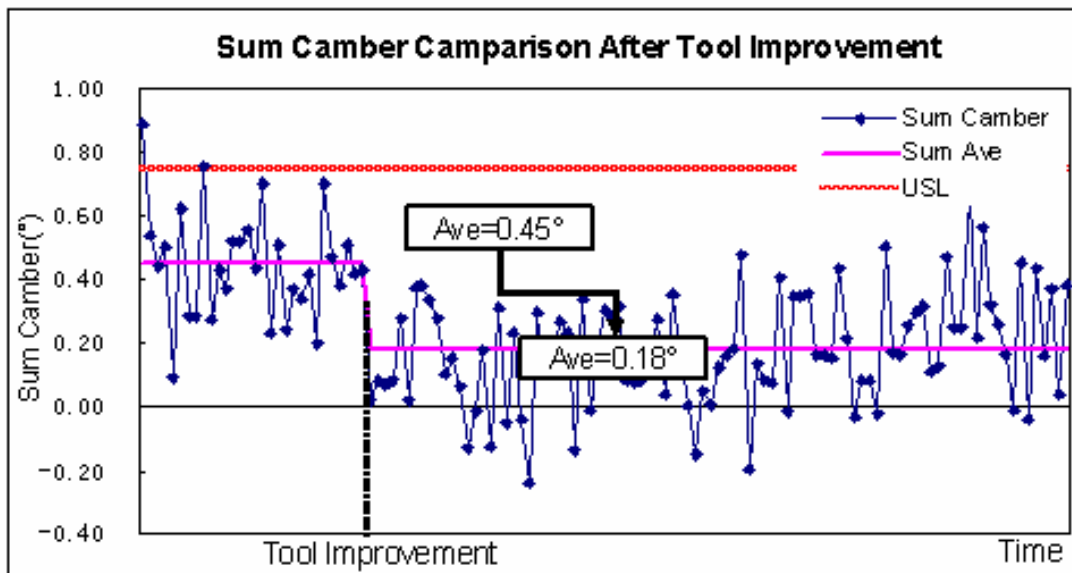


图 26 装配工装改进后的总外倾效果跟踪图

Fig26 Assembly Tooling Process Improved Sum Camber Effect Tracking Sketch

4.1.2 车身尺寸的改进过程

通过第三章的分析，车身尺寸是影响外倾超差的次要原因 Pink-X，车身尺寸的量化分析，主要借助于车身三坐标测量仪的测量数据，为此我们和车身尺寸工程师一起分析了南厂凯越启动开始的历史数据，并与北厂同期的车身数据情况进行对比。以往我们一直认为车身尺寸仅同整车外观配合相关，但通过一段时间的分析研究，发现了车身尺寸与外倾等车轮定位的影响关系，加深了车身尺寸全面性的认识。

4.1.2.1 车身基本结构

从后轮的物理模型中可知，车身上有两处孔位对外倾值有着一定的影响：1. 后减震器的安装孔；2. 后桥的安装孔。从上述分析的结果得知，具体图示见图 27。圈出编号的孔分别是 146、147 和 148 点为减震支柱在车身上的三个安装孔，191 和 193 为后桥的安装孔。

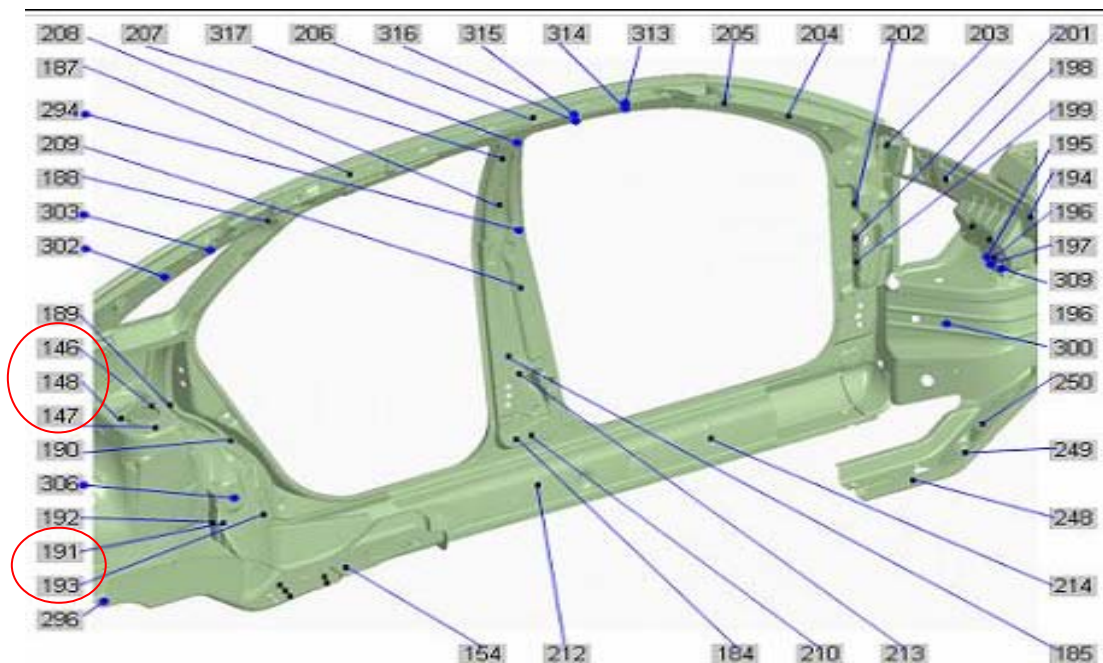


图 27 白车身有影响的安装孔位图

Fig27 BIW Related Installation Hole Position Sketch

三个减震器安装孔是左右对称的，由于单侧的三个孔是一次冲裁在后轮罩板上的因此相对位置固定，因此可假设为单个点。因为每个点都是三维方向（前后，左右，上下），但根据结构分析，左右方向的位置偏差对外倾角的影响显著，所以我们关注该处的 I/O 数值。

后桥安装孔左侧 191 点为定位孔，同时与避震孔一样也是左右方向的尺寸影响明显，所以 191 孔的 I/O 方向数据是关键尺寸。

4.1.2.2 车身尺寸对外倾影响的分析

由于 SGM 金桥南厂和北厂同时生产凯越，但北厂发生左后轮外倾超差的比例较低，相差 5~10 倍左右，因此首先比较了两厂的白车身尺寸数据。由于后桥的 191 孔为焊接工装的基准孔，因此尺寸上没有差异，而减震器安装孔 I/O 存在一定的差异，如图 28 所示。

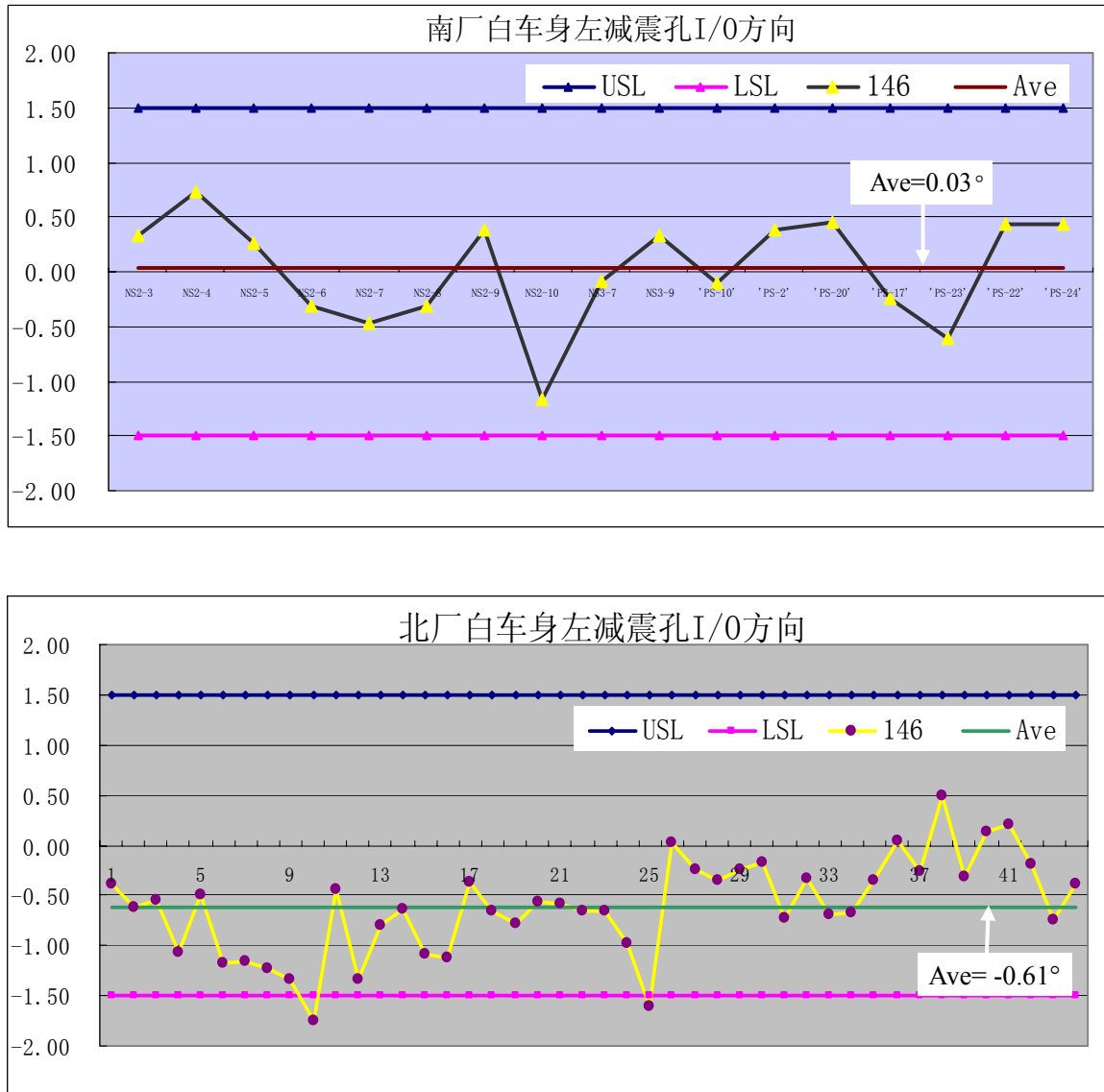


图 28 南北厂左减震孔尺寸比较图

Fig28 SP&NP BIW Suspension Hole Dim Comparison Chart

从尺寸比较图可以发现，I/O 方向的平均值北厂比南厂偏内 0.6~0.7mm，而通过数据积累，外倾的均值北厂比南厂偏负 0.1 左右。而从数据分布分析，南厂的尺寸更加接近名义值，但北厂数据偏向负差反而对外倾有利。基于上述的分析，同时考虑到车身调整存在的质量风险，继续保持南厂的尺寸状态，不对尺寸工装进行调

整，监控相关数据。

为了加深车身状态对外倾影响的认识，进一步了解减震孔和后桥安装孔的偏差对于外倾的作用，我们进行了量化的分析。通过孔位移动的试验方法，发现两者在左右方向（Y向）偏移1mm，将对外倾角存在0.1°左右的影响。

表7的数据为南厂做的一次后底盘的PTR的结果。该试验中，后桥定位孔平均向in方向移动了2mm。从结果看，PTR零件车辆的左后轮外倾均值比当日其它车辆的外倾均值小了0.24度，而右后RR外倾值比当日其它的外倾值大了0.23度。基本上，该试验反应的变化和我们预期的是一致的。试验可以从一定程度上说明了后桥定位孔的尺寸位置对外倾值的影响。

表7 后桥安装定位偏移对外倾角影响的试验结果（单位：度）

Vin	PVI	RL Camber	RR Camber	Sum Camber	Nominal
85H19677	569444	-0.98	-0.92	0.06	-0.9
X5H19678	569445	-0.86	-0.93	0.07	-0.9
55H19679	569446	-0.66	-0.89	0.23	-0.9
15H19680	569447	-0.76	-1.05	0.29	-0.9
55H19681	569448	-0.87	-0.71	0.16	-0.9
15H19682	569449	-0.82	-0.88	0.06	-0.9
75H19683	569450	-0.58	-1.01	0.43	-0.9
05H19684	569451	-0.89	-0.82	0.07	-0.9
25H19685	569452	-0.65	-0.84	0.19	-0.9
25H19686	569453	-0.74	-0.81	0.07	-0.9
	mean value	-0.78	-0.89	0.16	0

4.1.2.3 车身尺寸与外倾角的量化关系

由此我们可以初步总结出凯越车的车身相关尺寸与后轮外倾的量化关系，如表8所示。

表8 车身尺寸和外倾角相关影响数据的关系表

No	控制点	尺寸变化	影响度	
			RL Camber	RR Camber
A	减震与车身装配孔	in 方向 1mm	减少 0.1°	N/A
		out 方向 1mm	增加 0.1°	N/A
B	后桥定位孔	in 方向 1mm	增加 0.1°	减少 0.1°
		out 方向 1mm	减少 0.1°	增加 0.1°

4.1.3 其它潜在影响因素的分析

针对凯越后轮外倾超差的失效情况，通过对后减震器和车身安装尺寸的分析和改进，解决了问题，但从车轮系统的整体分析，其它的一些潜在因素也会影响这个问题。下面就对这些因素进行初步的分析。

4.1.3.1 后桥的影响

从设计角度分析，后桥的结构包括形状、质量、重心、连接方式等等对车轮定位的影响是非常重要的，在本文中只就物理模型中后桥空间位置的影响进行初步的分析，在 3.4.7.2 已经对后桥的安装位置进行了分析，另外两个因素分别是后桥连接制动盘的横拉杆长度，另外一个为后桥上横拉杆连接点的位置，即物理模型中点 D 和点 D 到点 E 的距离。

横拉杆和连接点的位置都可以从零件在检具上的尺寸测量进行确认，经对在供应商处的现场检查，都合格，说明点 D 和点 D、E 符合设计的要求。但如果点 D 超差，会有多大的影响？试验发现将点 D 偏离 Nominal 朝外移动 1mm，对应的外倾角逆时针转动 0.1 度；同样内移 1mm，外倾角顺时针增加 0.1 度，如图 29 所示。

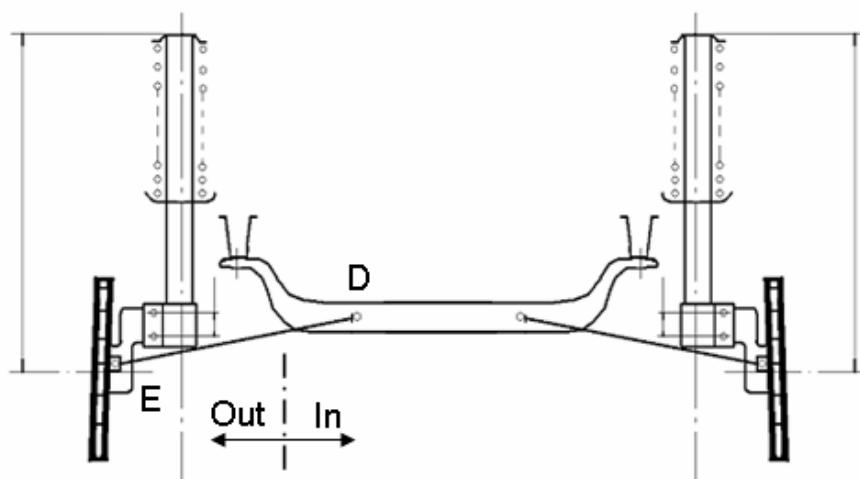


图 29 后桥尺寸对外倾影响的示意图

Fig29 Rear Axle Dimension Effect Sketch

4.1.3.2 制动轮毂的影响

制动轮毂对外倾的影响是十分明显的。主要影响的因素为制动角的加工精度和制动盘内部面的加工平行度。对失效车辆 GA27513 的分析，经过两个试验的分析测量，发现偏差的主要因素来自轮毂，经过对失效轮毂在供应商处的测量，证实了制动盘加工面的精度要求未达到设计规范。见表 9。

表 9 制动轮毂对外倾影响的分析

	Assembly Status	LR Camber(Deg)
WOW - GA:27513	Original	-0.03
BOB - GA: 27489		-1.58
First Test	Hub from WOW	-0.09
	Suspension from BOB	
Second Test	Hub from BOB	-0.92
	Suspension from WOW	
Result: Main discrepancy is the source of the hub.		

4.1.3.3 其它因素的影响

除了上面所描述说明的几个影响外倾的因素之外，以下还罗列了整车上可能影响外倾的因素。

1. 轮胎气压所带来的影响

轮胎气压过低，会导致后轮的左右外倾值偏小。

2. 车重

从外倾的物理模型可知，不同的重量会改变外倾值。同时车重在两个后轮上的分布也同样影响着外倾的数值。表 10 为测量的两辆 L-car 的重量及重心的分布

表 10 凯越的重量及重心的比较表

车号		2112		2114	
		左	右	左	右
轮荷(kg)	前	377	355.5	374	359
	后	225	234.5	229.5	230
Z-高度(mm)		228	229	231	234
胎压(bar)	前	2.1	2.1	2.1	2.1
	后	2.1	2.1	2.1	2.1

从上表可知，L-car 由于发动机的布置，为左重右轻。但至于车重对于外倾值的影响程度，由于没有试验条件完成，因此无法说明。

4.2 效果确认

运用 Red-X 策略，通过对影响左后轮外倾超差问题的分析，针对所发现的 Red-X 后减震器零件，制定相应的控制整改措施，为了确认措施的有效性和稳定性，以及监控其它相关因素的影响，我们跟踪了大量数据，如图 30 为整改措施落实后三个月 1300 个样本的跟踪情况，其中左后外倾均值为： -0.62° ，右后为 -0.92° ，其左后外倾值，这几个月来基本保持在 -0.6 与 -0.7 之间，缺陷比例也从 5%降到 0.1PPH 左右，这说明措施是有效的，整个系统状态还是较稳定的。

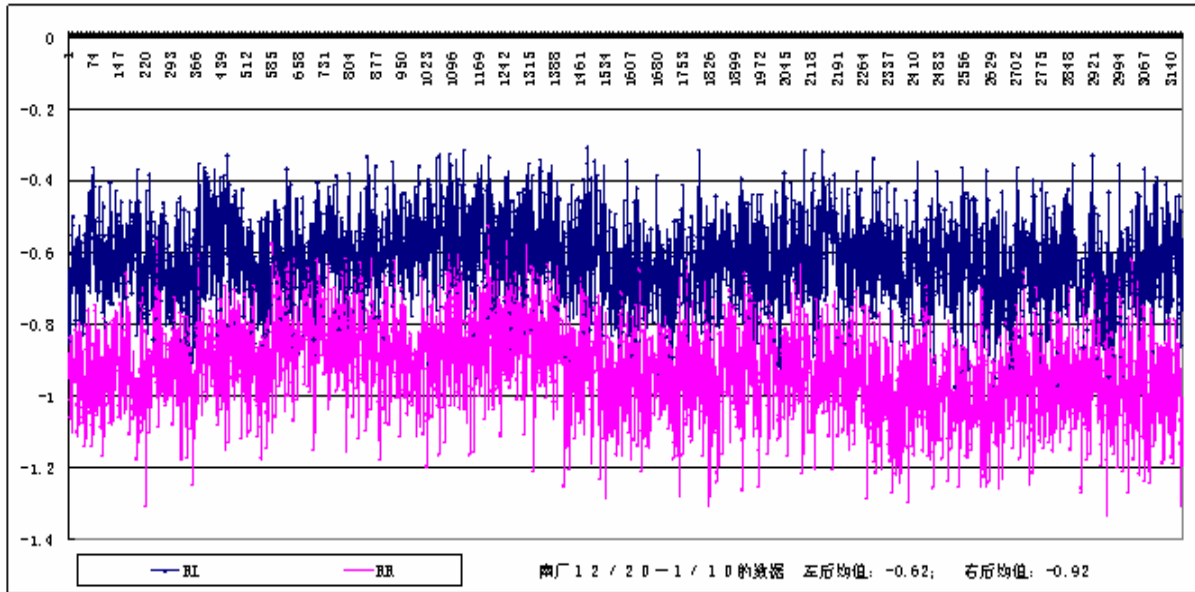


图 30 外倾改进的效果确认示意图

Fig30 Camber Improvement Effect Confirm Sketch

4.5 后轮外倾角影响因素的总结

从 2005 年 4 月开始对外倾超差这个问题，进行综合的分析，至今一年多时间。在此过程中，我们调查和研究了底盘零件减震器和后桥尺寸和制造工艺，车身安装孔位，以及其它相关因素，进行了上百次的装配试验，跟踪了大量测试数据，我们获得了那些控制要素对外倾值的影响度。表 11 中量化地总结了它们对外倾值的影响。

表 11 后轮外倾角的影响因素的程度量化表

No	控制因素	尺寸变化	影响度	
			RL Camber	RR Camber
A	避震与车身装配孔	in 方向 1mm	减少 0.1°	N/A
		out 方向 1mm	增加 0.1°	N/A
B	车身上的后桥定位孔	in 方向 1mm	增加 0.1°	减少 0.1°
		out 方向 1mm	减少 0.1°	增加 0.1°
C	后桥上的摆臂定位孔	in 方向 1mm	增加 0.1°	N/A
		out 方向 1mm	减少 0.1°	N/A
D	减震支柱与轮毂装配孔	支柱相对轮毂转动 1°	变化 1°	N/A
E	轮毂总成内部平行度	N/A	外倾值对平行度变化非常敏感，微小的尺寸超差会导致外倾值超差	N/A

第五章 总结

课题总结

本课题通过运用统计工程的 Red-X 策略，针对上海通用汽车生产线实际质量问题—凯越左后轮外倾超差的失效模式，全面论述了适合装配性生产流程中问题分析解决的完整过程，包括问题的定义定性，测量（特征策略、测量系统校验），分析（问题解决树、组件分析），改进和控制确认。整个质量分析过程也符合现代全面质量管理的要求和规律。通过课题的研究，以下两点可以借鉴：

1. 质量问题解决的方法

在实际的工作中，质量工程师们对于综合性复杂的问题束手无策，困惑于问题的分析和解决，Red-X 策略不失为一种有效的方法，对于我们理清思路，把握问题主要因素，有着很大的帮助。问题解决的关键不在最终解决的措施，而是对于问题根本原因即 Red-X 的识别上，有些质量问题最终可能无法完美的解决，但只要质量工程师掌握了失效模式的直接原因和潜在原因，对于问题的控制和长远的解决是非常有利的。

2. 车轮定位影响因素的分析

外倾角是车轮定位的参数之一，车轮定位的影响因素众多。通过本课题的研究，从质量工程的角度阐述了几种影响因素，并进行了量化的分析，这对于上海通用以及其它公司解决类似问题具有一定的参考作用，同时也提供了零部件和车身的改进方法，对于预防和控制此类问题，提高质量管理水平有着很大的意义。

需要深入研究的问题

在本课题的研究过程中，作者感到本项目的改进中，作为质量工作人员还需在关注以下问题：

外倾角只是车轮定位的参数之一，车轮定位是涉及到车辆行驶性能的重要特性，也是整车底盘设计和车身设计的重要系统，在 VOC 售后质量反馈和新产品质量评估中，跑偏一直是经常抱怨的问题，而跑偏产生的主要机理就是车轮定位影响，而且往往同时牵连零件、设计和制造多个因素的共同作用，因此必须继续加深在此方面的研究，这对于降低质量风险，提高客户满意，意义重大。

参考文献

1. 伍爱. 《质量管理学》，广州：暨南大学出版社，2001 版.
2. 赛宝认证中心 www.ceprei.org.cn QS9000 业务介绍
3. Jeroen de Mast. A Methodological Comparison of Three Strategies for Quality Improvement, International Journal of Quality and Reliability Management Vol.21 No.2, 2004. pp.198—213
4. Antony, J., Spotting the Key Variables Using Shainin's Variables Search Technique. Journal of Logistics and Information Management, Vol.12 No.4, 325-21, 1999
5. Jelani H. Ellington. The Optimization of General Motor's Warranty System by Reducing Mean Time to Discover Failure, Massachusetts Institute of Technology, June 2005
6. GMU Quality College, 《Red-X Journeyman Seminar》, Statistical Engineering Training © Participant Manual, 2004 版.
7. GMU Quality College, 《Statistical Engineering Introduction》, Statistical Engineering Training © Participant Manual, 2004 版.
8. Shainin D. The Statistically Designed Experiments, Harv. Business Rev, 1957.35(4), 67-73
9. General Motors China, Four Wheel Alignment, GM Training Center, 1991 版.
10. 美国三大汽车公司. 《测量系统分析》，品士股份有限公司，2002 年 3 月第三版
11. 唐晓芬. 《六西格玛核心教程》. 中国标准出版社，2002 年 11 月
12. 国家质量监督检验检疫总局质量司. 《质量专业理论与实务》，中国人事出版社，2001 年 6 月第一版
13. 陈魁编著. 应用概率统计. 清华大学出版社, 2003,1:304
14. 苏朝墩, 王鹏森. 元件搜索—以 Caliper 为例, 品质月刊, 第三六卷, 第五期, 56-57 页
15. 李丽女. 统计上的实验设计 (DOE) 在 6Sigma 的角色, Quality Engineering Volume 14, Number 4, 2002
16. 国际汽车工程师学会. 《ISO/TS 16949:2002 汽车零部件工业 品质管理系统推行指引》，香港生产力促进局，2005 年 3 月第一版
17. Jiju Antony, Alfred Ho Yuen Cheng. Training For Shainin's Approach To Experimental Design Using A Catapult, Journal of European Industrial Training, 27/8 2003. 405-412
18. Graeme Knowles, Gordon Vickers and Jiju Anthony. Implementing Evaluation of

the Measurement Process in An Automotive Manufacturer: a Case Study, *Quality and Reliability Engineering International*, 2003, 19:1-15

19. Vijay Nair. DOE and Robust Parameter Design: An Overview, University of Michigan Ann Arbor ynn@umich.edu, April 4, 2006

20. Karen A.F. Copeland, Peter R. Nelson, Latin Squares and Two-Level Fractional Factorial Designs, *Journal of Quality Technology* Vol.32, No.4, Oct. 2000

21. 姚芾. 全析因法在凯越左后轮外倾超差原因分析中的应用, *现代管理科学*, 2006 年增刊 CN32-1281/C, 160-161

致谢

在完成该篇论文之际，我首先要深深感谢上海交通大学机械和动力学院潘尔顺副教授和上海通用汽车的陈晓旭高级经济师，两位导师对该论文的构思和具体研究工作都提出了一些建设性的意见。同时，我也要感谢上海通用汽车南厂整车质量科石磊，张洋，车身车间冯维廉，他们参与了整个项目的分析工作，花费了大量的工作精力，推进了问题的最终解决，支持了我顺利地完成毕业论文。最后，我还要感谢我的家人对我在交大学习期间的大力支持。

攻读学位期间发表的论文

1. 姚芾, 潘尔顺. 全析因法在凯越左后轮外倾超差原因分析中的应用, 现代管理科学, 2006 年增刊 CN32-1281/C, 160-161

运用Red-X策略解决凯越车后轮外倾超差的问题

作者: [姚芾](#)
学位授予单位: [上海交通大学](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_D030000.aspx
授权使用: 上海海事大学(wf1shyxy), 授权号: 4790cb64-a421-4dec-9b1b-9dd900eaecd3

下载时间: 2010年8月21日