尺寸工程在汽车量产阶段新模式的探索应用研究

卢洪超

华人运通控股（上海）有限公司　上海　224001

摘要：通过亲身经历发现，多个新项目启动过程中，匹配质量可依靠尺寸工程理论快速提升至量产水平，但在量产后，匹配表现往往会有很大的下降，新问题频发。对此难点做了系统分析，并探索出适用于量产阶段的补充理论，优化了管控方法，提升了效率，更好地满足了生产、质量的要求。

关键词：尺寸工程；汽车量产阶段；外饰匹配；质量管控；优化改进

汽车作为现代生活出行工具，已广泛应用于全球各地。汽车匹配质量给客户带来直观感受，直接体现了一家主机厂的设计和制造能力。作为汽车生产主机厂，匹配类问题也是制造过程中最常见的缺陷，是日常质量管控的主要工作内容。经统计，在SORP后匹配类缺陷占一次通过损失率的50%以上，其次是表面类30%和其他（功能、异响、雨淋、电器等）类20%。匹配类问题的特点是包含众多零件，尺寸链复杂，以往管控方法各零部件按照各自的尺寸控制要求实施管控，当某个子系统发生变化，有时会引发整车的连锁反应，发生问题后需由众多工程技术人员梳理排查及问题解决，效率低下。

在多个新项目启动过程中，匹配质量可依靠现有的尺寸工程理论，快速提升至量产水平，但在量产后，随着要求逐步提升，匹配表现反而往往会有很大的下降，一些项目期间未曾发生过的问题频发，这对工厂制造带来了很大的困扰。究其原因，一是项目期间毕竟是小批量造车，一些失效模式无法充分验证，会在批量生产时逐步暴露，另外更主要的原因是尺寸工程理论存在局限性，在量产阶段无法充分适用。本文提出了一套更有效的理论—尺寸封样管理与互联管控智能预警系统，可充分指导量产阶段的尺寸工作开展，是基于现有尺寸工程体系基础上的补充和提升。

原系统（尺寸工程）简介

包括华人运通、上汽通用、上汽大众、比亚迪、

蔚来、理想及小鹏等国内主流汽车公司，其汽车尺寸工程基本按照“尺寸十步”活动开展，即：

1）尺寸管理计划：按项目制定尺寸相关计划，规定该项目尺寸活动内容及节点。

2）尺寸技术标准：客户的要求和项目要达成的目标，即DTS。

3）基准形成及一致性：是实现整车尺寸技术标准的基准和结构解决方案。

4）虚拟评估：方案虚拟认证。

5）形位图样及公差：方案记录、记录标准。

6）测点图样：规范零件及总成关键测量位置。

7）测量系统：规范相关测量设备及工具。

8）匹配评估：方案实际认证。

9）数据收集及分析：支持跟踪。

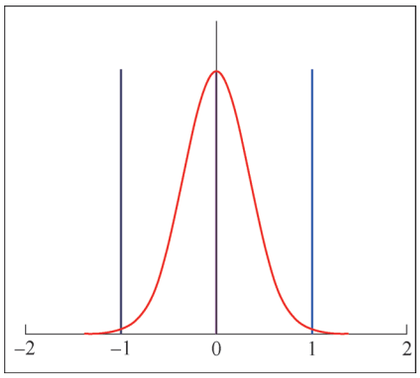
10）不断改进：经验总结并优化系统。

其中，虚拟评估是基于零部件尺寸正态分布，计算内外饰匹配的超差概率，来完成虚拟认证。例如某一匹配公差要求±0.75mm，存在3个影响因素，每个影响因素±0.5mm，如果每个影响因素都符合正态分布，那么该匹配的超差概率为2.44%，满足设计要求。再通过匹配评估验证零部件实际制造结果是否可以达到±0.5，并改进至正态分布状态，验证这段匹配是否可以满足±0.75mm的公差要求。这套理论的确可以将匹配表现在项目期间快速提升至量产水平，但在量产后，匹配表现往往会有很大下降。

量产阶段匹配表现下降原因分析

匹配类问题往往尺寸链较长，量产初期零部件尺寸波动较大，会导致匹配结果存在较大的波动。即便经过不断改进，零件符合正态分布，也会经常存在几个不利因素虽不超差，但偏差累积起来导致匹配超差，例如上段例子中3个影响因素，符合正态分布，也会存在每个不利0.3mm，匹配起来偏差0.9mm，超过±0.75mm的标准要求的情况。如果其中一个影响因素均值偏移，则超差概率成倍增加，例如某个3个影响因素的匹配，均处于正态分布的情况下，超差概率为2.91%（见图1），当其中一个影响因素均值偏移0.5mm，则系统超差概率增加至13.81%（见图2）。

根据难点，分析认为零件尺寸正态分布的理论在量产过程中很难有效贯彻，原因如下。

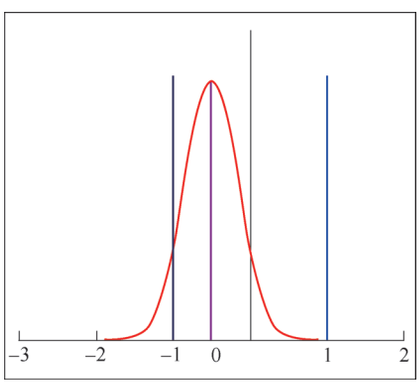


Results

Nominal Mean Shift =	
3σ RSS Variation Result =	±1.37
4σ RSS Variation Result =	±1.83
Limit Stack =	±2.30
% Out of Spec =	2.91%
Status =	Green
% In of Spec =	97.09%

Status Key:
Green = 0～5%
Red = ＞5%

图1 3个影响因素均处于正态分布的匹配超差概率



Results

Nominal Mean Shift =	−0.50
3σ RSS Variation Result =	±1.37
4σ RSS Variation Result =	±1.83
Limit Stack =	±2.30
% Out of Spec =	13.81%
Status =	Yellow
% In of Spec =	86.19%

Status Key:
Green = 0～5%
Red = ＞5%

图2 3个影响因素中1个均值偏差0.5mm的匹配超差概率

1.量产阶段尺寸输入来源多

量产阶段零部件尺寸控制输入大概有下列几项：零部件GD&T图样控制要求，项目生产启动期间匹配尺寸控制输入，专题质量会议纪要输入特殊控制要求，以及供应商或车间因工艺制约定义的控制要求。这存在几个薄弱点：各零件在各自基准值及公差内控制，但如有波动仍会对整车带来影响；多维度输入尺寸管控需求，系统协调难度大，对整车有风险。

2.量产阶段公差理论比正态分布理论应用更广泛

量产阶段更多应用的是公差理论，评判零部件尺寸符合上述的控制要求。如果零件的某一处尺寸100%合格却处于极限偏差状态（不符合正态分布），供应商很少会主动改进，且对零部件供应商没有稳定性和正态分布的指标要求。

3.量产阶段变化点多

量产阶段是一个漫长的过程，其中充斥着无数设备、工艺、人员的变化，均会导致尺寸变化。当某个子系统发生变化，有时会引发整车的连锁反应，发生问题后需由众多工程技术人员梳理排查和解决。当前的质量前馈原则基本停留在超差报警前馈，无法满足匹配稳定的高需求。

4.零部件复杂程度增加，零件管控难度大

目前汽车尤其是造车新势力，对造型的追求会更多，往往牺牲部分可制造性。单件的尺寸制造难度增大，匹配的复杂度增大。

量产阶段匹配管控的解决方案

通过对难点的解析及长期工作经验梳理后，笔者认为应采用封样管理，通过变化点，识别出不稳定的环节，提升其稳定性。

以上汽通用别克GL8车型为试点，具体工作如下。

1.定义了匹配状态目视化标准

整车匹配状态定义原则见表1，将整车匹配的状态按照相对名义值的偏差量划分为：

1）红色，最大偏差量超过3/4公差带。

2）黄色，最大偏差量在1/2到3/4公差带，或波动量超过1/2公差带。

3）绿色，最大偏差量稳定在1/2公差带以内。

表1 整车匹配状态定义原则

整车状态划分原则	整车IPQS符合状态
红色状态	最大偏差量超过3/4公差带
黄色状态	最大偏差量在1/2到3/4公差带，或波动量超过1/2公差带
绿色状态	最大偏差量稳定在1/2公差带以内

2.将每个匹配进行系统分析，列出子影响因素树

带领工程师团队利用1个月时间，梳理GL8匹配特征87个（即87个影响因素树，见图3），细分至子零件共计876个特征点。

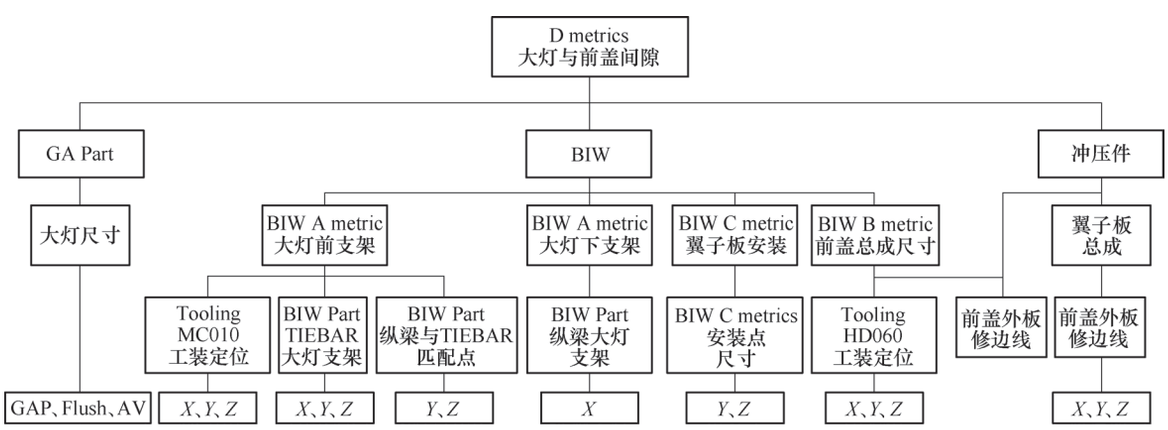


图3 匹配影响因素树

3.定义子零件特征点状态划分原则

从对整车配合影响量、零件是否符合图样、稳定性、长期措施及短期措施5个维度，将特征点分为3个状态（见表2）。

表2　子系统零件风险状态划分原则

零件状态划分原则	对整车配合影响	零件是否符合图纸	稳定性	长期措施	短期措施
紧急状态	零件偏差对问题贡献超过2/3	超差	极差波动超过1/2公差带	无长期措施或断点超过3个月	无短期措施或断点超过7天
受控改进状态	零件偏差对问题贡献超过1/2	偏差超过1/2公差	N/A	长期措施断点超过2个月	短期措施断点超过3天
封样状态	对问题有利	对问题有利符合图样	偏差小于1/2公差	N/A	N/A

1）紧急状态：零件偏差对问题偏差贡献超过2/3，或超过图样要求，或极差波动超过1/2公差带，或无长期措施或断点超过3个月，或无短期措施或断点超过7天。

2）受控改进状态：零件偏差对问题偏差贡献超过1/3，或偏差超过1/2图样要求、或极差波动小于1/2公差带，或长期措施断点超过2个月，或短期措施超过3天。

3）封样状态：零件偏差对问题偏差贡献小于1/3，或偏差小于1/2图样要求，或极差波动小于1/2公差带。

按此原则，利用3个月时间将876个特征点逐一排查，识别出紧急状态共计52项，受控改进状态146项，封样状态678项。

4.对紧急项和受控改进项，与SQE和供应商团队共同攻关，历时1年时间

经统计，产品不稳定的原因如下：

1）产品特性导致的制造波动性大，例如玻璃类。

2）材料特性导致的尺寸不稳定，例如亮饰条、PP材料的热胀冷缩等等。

3）结构不合理，零贴设计多、安装面易变形等。例如纵梁、轮罩、DASH及D柱等，需要预留设计间隙或优化设计。

4）工装、工艺不稳定等，这些问题比较常见，易解决。

5）定位不稳定，切边定位、定位孔大等，需要设计和安装改进。

6）结构刚度不足、受力变形，例如塑料翼子板、各种支架、气撑杆变形等。

其中大部分是工艺过程优化和质量管控有效性提升等方法解决，部分需要设计变更、材料变更、批次管控、季节配方、定位和安装优化等。

5.自循环报警原则

供应商监控数据需立即上传至系统内进行分析，例如某警报跟踪清单见表3。

1）紧急状态：向工厂报警，需要在工厂质量例会专题汇报直至状态改善。

2）受控改进状态：向部门报警，需制定出长期措施，长期断点到之前责任部门需采取短期控制频次，不允许有超出封样状态的零件流出。

3）封样状态：按照原公差带1/2内控，如子零件系统超差需要报警至封样管控小组。

表3　某报警跟踪清单

问题描述	状态划分	报警等级	措施简述
前盖与前保间隙超差 前盖尺寸不利1.5mm，稳定超差	紧急状态	工厂报警 质量例会汇报	车身模具修模，外板尺寸同步更改
侧围与扰流板阶差平整度 侧围外板阶差1mm，稳定超差	紧急状态	工厂报警 质量例会汇报	尝试修模改善
后保与后举门横缝间隙 后保不利1.25mm，稳定超差	紧急状态	工厂报警 质量例会汇报	偏修举门总成
前三角窗与后视镜A间隙 窗框A间隙-0.5~1.0mm，波动超标	紧急状态	工厂报警 质量例会汇报	三角窗重新开模
前后门窗饰板 直线度1.0mm，对比封样数据变化1.5mm	紧急状态	工厂报警 质量例会汇报	水切END CAP凸台减料 重新加工冲压模具
右前门GRC与三角板间隙小 GRC不利1.25mm，比封样恶化0.75mm	受控改进	部门报警 GCA晨会汇报	考虑综合因素，各因素封样，对GRC进行修模偏调
扰流板与车顶平整度 后举门烘烤变形从0.5mm变化至1.5mm	受控改进	部门报警 GCA晨会汇报	优化撑杆位置，重做烘烤变形实验

6.数据收集和整理工作

项目的难点之一是庞大的数据收集和整理，并在数据中进行分析和报警，这是靠人工无法完成的工作。

（1）开发系统平台　项目与沈阳理工大学共同开发“全业务链尺寸质量精准监控系统”，该系统主机厂和供应商数据共享，搭建大数据平台，整合利用现业务链中的监控检测数据，可减少大量文本整理工作。

平台可实现下列功能：

1）关键数据目视化精准监控，实现全零件按条件检索，查找零件全周期尺寸控制要求，关键数据的趋势跟踪、波动监控，零件历史问题记录并查找整改措施落实情况，设置报警条件，对风险点与变化点进行实时自动报警。

2）构建逻辑框架将底层数据与整车关联，实现数据间的匹配预警，子零件某一数据变化超过要求，会导致上级系统风险，系统会目视化报警。集中报警显示页面如图4～图6所示。

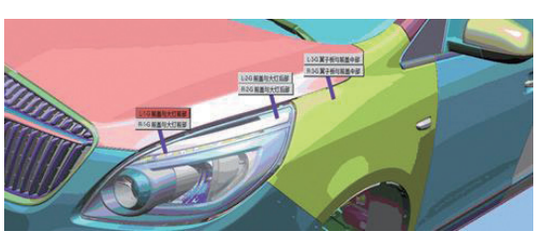


图4　整车匹配目视化监控报警显示页面

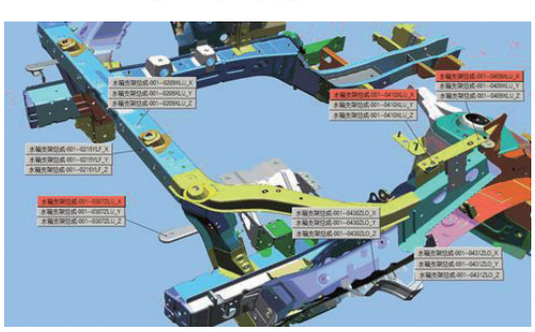


图5　车身级尺寸目视化监控报警显示页面

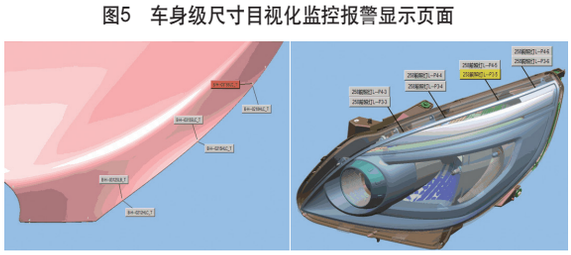


图6　零件级尺寸目视化监控报警显示页面

（2）报警条件设置　针对每处匹配区域状态进行专项分析，识别影响因素，定义报警规则。

1）封样件控制线。依据封样管控规则，定义线性正关联，取关联系数为强相关1，进行计算与预警。

2）仿真建模。基于主影响因素表，应用专业软件3DCS（三维尺寸控制系统分析，图形化的公差仿真软件）、Matlab（商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析及数值计算的高级计算语言和交互式环境）虚拟评估，搭建相关性与回归数学模型。每个配合特征建立一个线性回归方程，通过仿真运算确定方程中每个参与的主影响因素系数，用以预测未来趋势。并辅以Dmetric采集大样本数据，以修正数学模型。

结语

综上所述，通过对长期困扰量产车的匹配问题的痛点难点分析，找到了系统改进量产期间匹配管控的可行且高效的方法，经过1年半的跟踪验证，子系统“紧急状态”“受控改进状态”数量从198项降至25项，整车匹配“红色状态”和“黄色状态”下降了90%，整车匹配有了显著的改观，助推GL8在各项评审中保持领先地位，并赢得市场口碑。后续推广到上汽通用北盛汽车南厂所有车型。

项目实施和贯彻过程中，转变观念是困难之一，因为先期需要供应商的全力配合，投入部分人力和成本资源，这需要利用强大的主机厂地位保证。经过一段时间的工作，零部件质量不断提升才会看到收益，对供应商来说，后期缺陷减少、相关的返工减少、工程师资源节约及效率的提升，都是该项目的实际收益。全业务链数据互通，供应商知道重点零件重点尺寸的重点控制方向，如有变化（即使不超差）会提前向工厂前馈。对主机厂来说，工程师调查问题效率有了本质的提升，由问题追查转变为提前管控，由数据被动发现转变为数据变化管理。

参考文献：

[1] 胡敏. 轿车车身尺寸工程概述[J]. 上海汽车，2002（7）：15-18.

[2] 刘刚. 谈智能制造背景下的汽车质量管理创新[J]. 时代汽车，2020（5）：6-7.

[3] 刘杨，吕卓. 基于3DCS的车身前部偏差仿真分析[J]. 汽车工艺与材料，2015（8）：65-68.

[4] 李华伟，张福路. 汽车尺寸工程尺寸链分析方法及流程[J]. 机械工程师，2017（3）：132-134.