基于DMAIC方法研究改善某车型车门关闭力

张建波，季良，张宝东，刘英杰，王子晗，赵洪生
北京奔驰汽车有限公司　北京　100000

摘要：基于六西格玛方法，结合生产实际中的车门关闭力问题情况，从定义（D）、测量（M）、分析（A）、改进（I）及控制（C）五个阶段，深入研究各个因素对车门关闭力的影响，找到影响关门力的关键因素，针对性地制定改善措施，经过系列改善，车门关闭力显著优化，关门力问题得到有效的控制，为汽车制造企业优化车门关闭力问题提供了有效范例。

关键词：六西格玛；DMAIC；车门关闭力；密封胶条
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.04.011

汽车关门力，是汽车整车质量考核的一项重要指标，是一项顾客普遍关注的汽车产品特性。一个车型拥有较好的关门力能够让车的品质提升很高，也从而让客户具有很高的满意度。由于缺乏专业的知识和检测手段，顾客往往不能准确描述具体数据，但是却能直观地通过感知感官层面对关门力进行比较，直白分辨为好关还是难关，因此良好的关门感受能够提升客户的满意度，从而提升消费者对整车品质的印象。J.D.power调查结果显示，汽车车门关闭力问题是客户抱怨较多的质量问题之一，所以汽车关门力问题是整车制造厂非常重视的问题，也是所有整车厂亟待解决的重要课题。

关门力的测量

1.测量设备及使用

在梅赛德斯-奔驰全球工厂中，关门力大小使用BeDa设备进行测量，如图1所示。该设备由四部分组成：设备主体a、适配器b、操控手机c、吸盘d、充电器e及线材。

其中，适配器用于保证该设备主体能适用于不同车宽的关门力测量，测量设备的伸长长度，单位为mm；操控手机通过蓝牙与主体设备连接，操作设备进行测量动作并读数；主体设备通过吸盘连接到车窗上实现测量操作，如图2所示。

图1　BeDa设备组成

图2　设备连接方式

主体设备内部结构如图3所示。弹簧机构为关门力的动力来源，该设备伸长长度越大，弹簧拉伸量越大。锁止机构基于电磁铁原理用于固定主体设备伸长长度，当主体设备被伸长到设置长度后，电磁铁通电，此时设备不能回弹，点击手机上的“关门”按钮，电磁铁断电，设备在弹簧的作用下回弹到初始长度。

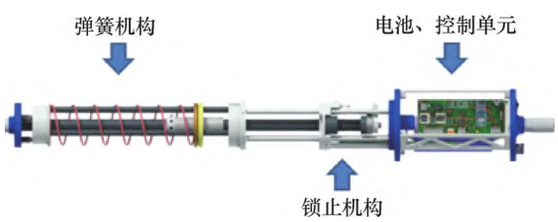

图3　BeDa设备主体内部结构

2.测量与评价标准

测量时，将主体设备通过吸盘吸附在车门把手正上方的车窗玻璃上，在操控手机上设置测量值（例如120mm），然后打开待测量车门到停止位，操控手机开始测量，如果车门正常关闭，则关门力小于设定值，之后减小设定值再次测量（例如减小10～110mm），重复上述步骤，直到车门没有关闭（例如80mm没关上），则以上一次能关闭的值（90mm）为初始值，再次逐步减小（例如每次减小2mm），直到车门再次关不上的时候，则上一次的测量值即为关门力大小的实际值（例如96mm关闭而94mm没关闭，则96mm即为关门力测量值）。

图4　BeDa设备测量过程示意

BeDa测量以关门距离作为判定标准，如图5所示，以H247车型为例，合格范围为30～110mm，警告范围（prio.4）为30～40mm 与 100～110mm，需返修范围（prio.2）为大于110mm或小于30mm。

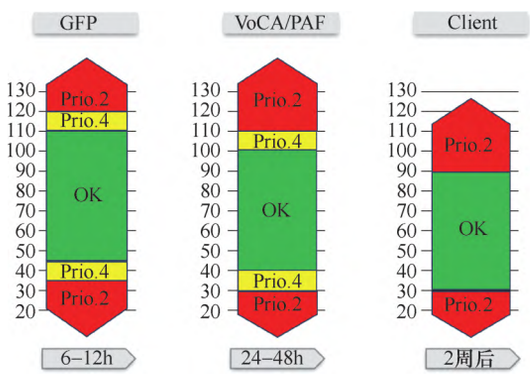

图5　关门力评价标准

影响关门力的因素分析

影响车门关闭力的因素有很多且复杂，供应商来件、装焊尺寸、总装装配及车身设计等方面均会对关门力造成影响。

1）来件方面，胶条、门限位器、门内饰板都是关门力的影响因素，胶条CLD值胶条排气孔的数量都会对胶条的压缩变形量产生影响；门限位器的摩擦力大小、限位器的挡位相对位移的距离也会对关门力大小产生影响；门内饰板会与门框密封胶条产生直接挤压，因此内饰板的厚度尺寸也会对关门力产生影响。

2）装焊尺寸方面，车门分总成安装门胶条的定位面*Y*向尺寸、窗框的*Y*向尺寸，白车身骨架门洞法兰边的*Y*向尺寸、与门胶条贴合面的*Y*向尺寸，白车身总成车门的装配姿态、*Y*向深度等，都会对车门关门力产生直接影响。

3）总装装配方面，胶条装配时与车门的贴合程度、锁体锁柱的安装位置与角度、车门平顺度偏外程度等，也对关门力的控制有影响。

4）车身设计方面，设计之初是否考虑了车门自重因素，车门关闭过程中重心坐标的变化，是否很好地

考虑了车门关闭过程中车内气压的排放，这些也都会对整个车门关闭过程有影响。

研究方法与实施——基于DMAIC方法

六西格玛DMAIC方法论是一种广泛应用于企业质量管理中的结构化改进流程，旨在通过一系列严谨的步骤，帮助企业识别、分析和解决质量问题，从而实现流程的持续优化和卓越绩效。DMAIC由五个关键阶段组成，分别是定义（Define）、测量（Measure）、分析（Analyze）、改进（Improve）和控制（Control）。

1.定义阶段

在定义阶段，明确问题的核心是改善车门关闭力。团队成员包括质量工程师、尺寸工程师、研发工程师和供应商代表。

项目目标为：

1）将车门关闭力控制在合格范围（40～110mm）。

2）确定影响车门关闭力的关键因素。

3）提供改善措施以确保车门关闭力符合客户需求。

2.测量阶段

在测量阶段，确保测量系统的准确性至关重要。为此，首先进行了MSA（Measurement System Analysis）测量系统分析，以验证使用的BeDa设备是否能够提供一致且可靠的测量数据。MSA包含重复性和再现性（R&R）分析，确保不同操作人员和设备能够得到一致的结果。首先需要进行MSA1的验证，来确保BeDa设备自身的测量能力，关门力公差设定为30mm，通过多人多次测量已经确定待测车辆关门力标准值为105mm，单个人对目标车辆15次的测量结果见表1。

计算15次测量均值=105.07mm。计算测量标准差

$$\sigma_{EV}=\sqrt{\frac{1}{15-1}\sum_{i=1}^{15}(x_i-\bar{x})^2}=0.704 \quad (1)$$

公差T=30mm，能力指数：C_g=0.2T/6σ_{EV}=1.42。计算公差上限与下限：公差上限=基准值+0.1T=108，公差下限=基准值−0.1T=102。则综合能力指数

$$\begin{aligned}C_{gk}&=min\left\{\frac{\text{公差上限}-\bar{X}}{3\,\sigma_{EV}},\ \frac{\bar{X}-\text{公差下限}}{3\,\sigma_{EV}}\right\}\\&=min\{1.389,\ 1.452\}\\&=1.389\end{aligned} \quad (2)$$

表1　单人多次测量结果

测量序号	测量值/mm
1	105
2	105
3	105
4	104
5	106
6	105
7	105
8	106
9	104
10	106
11	105
12	104
13	106
14	105
15	105

计算结果表明，C_g和C_{gk}都大于1.33，证明测量工具BeDa具备测量能力。在验证了测量工具的能力之后，还需要对整个测量系统进行能力确认。3个测量员分别对10辆车进行的3次重复测量测量数据见表2，利用这些测量数据来计算重复性和再现性以及测量系统变异（%GRR）。

1）重复性EV（Equipment Variance）。设备变异反映了在相同条件下，同一测量人员使用同一测量设备对同一待测物进行多次测量时，测量结果的一致性程度。重复性越好，说明测量系统的稳定性越高，测量结果越可靠。

2）再现性AV（Appraiser Variance）。人员差异反映了不同测量人员使用同一测量设备对同一待测物进行测量时，测量结果的一致性程度。再现性越好，说明测量系统的通用性和可重复性越高，不同测量人员之间的测量结果差异越小。

以下为具体计算结果，其中K_1、K_2、K_3均为MSA手册中定义的系数。

平均极差

$$\bar{\bar{R}}=\frac{\overline{R_A}+\overline{R_B}+\overline{R_C}}{3}=0.333 \quad (3)$$

设备变异EV

$$EV=\bar{\bar{R}}*K_1=0.333\times0.5908=0.1969 \quad (4)$$

表2　3个测量员分别对10辆车的测量数据　（单位：mm）

测量人员A												
重复次数/车号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		平均值
1	105	105	106	107	104	105	107	108	110	105		106.1
2	104	105	107	107	103	105	107	108	110	104		106
3	105	105	106	107	104	105	107	108	110	104		106.1
平均值	104.67	105.00	106.33	107.00	103.67	105.00	107.00	108.00	110.00	104.00	$\overline{X}_A$	106.1
极差	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	$\overline{R}_A$	0.4
测量人员B												
重复次数/车号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		平均值
1	105	105	106	107	104	105	107	108	110	104		106.1
2	104	105	107	107	103	105	107	108	110	104		106
3	105	105	106	107	103	105	107	108	110	104		106
平均值	104.67	105.00	106.33	107.00	103.33	105.00	107.00	108.00	110.00	104.00	$\overline{X}_B$	106.03
极差	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	$\overline{R}_B$	0.3
测量人员C												
重复次数/车号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		平均值
1	104	105	106	107	103	105	107	108	110	104		105.9
2	105	105	107	107	104	105	107	108	110	104		106.1
3	105	105	106	107	103	105	106	108	110	104		105.9
平均值	104.67	105.00	106.00	107.00	103.33	105.00	106.67	108.00	110.00	104.00	$\overline{X}_C$	105.97
极差	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	$\overline{R}_C$	0.3
平均值	104.67	105.00	106.22	107.00	103.44	105.00	106.89	108.00	110.00	104.11	$\overline{R}_P$	6.56

人员变异*AV*

$$\overline{X_{diff}} = \max\{\bar{X}\} - \min\{\bar{X}\} = 0.1333 \quad (5)$$

$$AV = \sqrt{\left(\overline{X_{diff}} * K_2\right)^2 - \left(\frac{EV^2}{n*m}\right)} = \sqrt{(0.1333 \times 0.5231)^2 - \left(\frac{0.1969^2}{10 \times 3}\right)} = 0.0597 \quad (6)$$

GRR（测量系统重复性和再现性）

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0.1969^2 + 0.0597^2} = 0.2058 \quad (7)$$

$$PV = R_p K_a = 6.56 \times 0.3146 = 2.0623 \quad (8)$$

TV（总变差）

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = \sqrt{0.2058^2 + 2.0623^2} = 2.0726 \quad (9)$$

$$\%GRR = GRR/TV = 9.93\% < 10\% \quad (10)$$

证明测量系统完全具备测量能力。

3.分析阶段

在确保测量系统具备测量能力之后，进入分析阶段，通过团队头脑风暴会议，确定了主要因素如图6所示。

最终通过团队投票，确定了相对可控且对关门力影响最大的三个因素：

1）胶皮条CLD：不同密度的胶皮条对车门关闭时的阻尼效果不同。

2）内间隙：车门与车体之间的间隙影响关门力的大小。

3）车门铰链*Y*向值：影响车门关闭过程中的运动轨迹和摩擦力。

4.改进阶段

在改进阶段，采用DOE设计试验法对影响车门关闭力的三个主要因素进行试验设计。通过对胶皮条密度、内间隙、车门铰链*Y*向值的不同组合进行试验，找

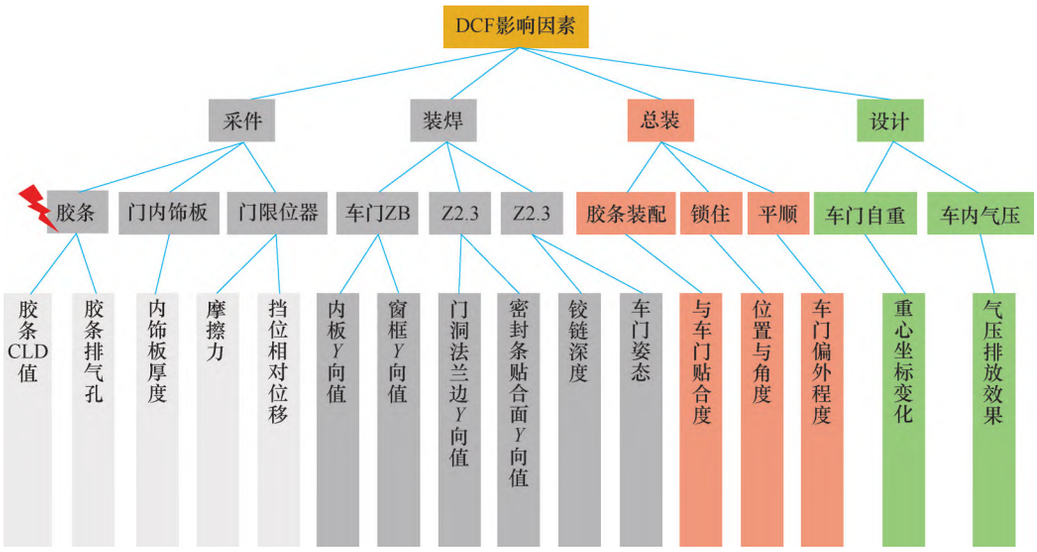

图6　关门力主要影响因素

出最优的因子组合以改善车门关闭力。

测量数据见表3，包括每个因素的正负号及对应的关门力测量值，正号代表高水平值，负号代表低水平值。

计算效果和交互作用共有3个步骤。

（1）步骤1，计算每个因素的主效应　计算依据为：主效应=高水平均值−低水平均值。

1）胶皮条CLD（A）：高水平均值为（107mm＋108mm＋109mm＋112mm）/4＝109mm，低水平均值为（101mm＋103mm＋105mm＋103mm）/4＝103mm，主效应：109－103＝6mm。

2）内间隙（B）：高水平均值为（107mm＋108mm＋101mm＋103mm）/4＝104.7mm，低水平均值为（109mm＋112mm＋105mm＋103mm）/4＝107.2mm，主效应：104.7－107.2＝－2.5mm。

3）车门铰链*Y*向值（C）：高水平均值为（107mm＋109mm＋101mm＋105mm）/4＝105.5mm，低水平均值为（108mm＋112mm＋103mm＋103mm）/4＝106.5mm，主效应：105.5－106.5＝－1mm。

（2）步骤2，计算交互作用　计算依据为：交互作用=高水平交互作用均值−低水平交互作用均值。

1）A*B交互作用：高水平交互作用均值为（107mm＋108mm＋105mm＋103mm）/4＝105.7mm，低水平交互作用均值为（109mm＋112mm＋101mm＋103mm）/4＝106.2mm，交互作用：105.7－106.2＝－0.5mm。

2）A*C交互作用：高水平交互作用均值为（107mm＋109mm＋103mm＋103mm）/4＝105.5mm，低水平交互作用均值为（108mm＋112mm＋101mm＋105mm）/4＝106.5mm，交互作用：105.5－106.5＝－1mm。

表3　试验测量数据　（单位：mm）

实验号	胶皮条CLD(A)	内间隙(B)	车门铰链*Y*向值(C)	A*B	A*C	B*C	A*B*C	关门力值
1	A+(8)	B+(14)	C+2	+	+	+	+	107
2	A+(8)	B+(14)	C–0	+	–	–	–	108
3	A+(8)	B–(12)	C+2	–	+	–	–	109
4	A+(8)	B–(12)	C–0	–	–	+	+	112
5	A–(4)	B+(14)	C+2	–	–	+	–	101
6	A–(4)	B+(14)	C–0	–	+	–	+	103
7	A–(4)	B–(12)	C+2	+	–	–	+	105
8	A–(4)	B–(12)	C–0	+	+	+	–	103

3）B*C交互作用：高水平交互作用均值为（107mm＋112mm＋101mm＋103mm）/4＝105.7mm，低水平交互作用均值为（108mm＋109mm＋103mm＋105mm）/4＝106.2mm，交互作用：105.7－106.2＝－0.5mm。

4）A*B*C交互作用：高水平交互作用均值为（107mm＋112mm＋103mm＋105mm）/4＝106.7mm，低水平交互作用均值为（108mm＋109mm＋101mm＋103mm）/4＝105.2mm，交互作用：106.7－105.2＝1.5mm。

（3）步骤3，结果总结 根据数据和计算结果，每个因素主效应和交互作用的总结建表4。

表4 各因素主效应和交互作用 （单位：mm）

实验号	胶皮条CLD(A)	内间隙(B)	车门铰链*Y*向值(C)	A＊B	A＊C	B＊C	A＊B＊C	关门力值
1	A+(8)	B+(14)	C+2	+	+	+	+	107
2	A+(8)	B+(14)	C–0	+	–	–	–	108
3	A+(8)	B–(12)	C+2	–	+	–	–	109
4	A+(8)	B–(12)	C–0	–	–	+	+	112
5	A–(4)	B+(14)	C+2	–	–	+	–	101
6	A–(4)	B+(14)	C–0	–	+	–	+	103
7	A–(4)	B–(12)	C+2	+	–	–	+	105
8	A–(4)	B–(12)	C–0	+	+	+	–	103
高水平–低水平	24	–10	–4	–2	–4	–2	6	
主效应	6	–2.5	–1	–0.5	–1	–0.5	1.5	

结论：根据计算结果，胶皮条CLD值的主效应最大（6mm），表明胶皮条CLD值对关门力影响显著，接下来可以考虑优化胶皮条CLD值，以显著改善关门力。

5.控制阶段

在控制阶段，建立了一系列控制计划以确保改善措施的持续有效性。对生产过程中使用的胶皮条CLD值进行定期检查，并使用控制图对关门力进行监控。

控制计划如下，通过VOCA、PAF 等部门反馈数据持续改进车门关闭力。

1）定期检查胶皮条的供应质量，确保其CLD值在规定范围内。

2）使用SPC（统计过程控制）图表监控生产过程中关门力的变异。

3）制定纠正措施流程，当监控图显示异常时，及时进行调整。

结语

本文以奔驰某车型为例，通过DMAIC方法，定义阶段，精准锚定车门关闭力大的问题，明确优化目标；测量阶段，运用专业设备Beda进行测量；分析阶段，锁定密封胶条CLD值、内间隙、铰链*Y*向深度等根源因素；改进阶段，采用DOE试验法确定密封胶条CLD值为最大影响因素，可通过优化胶皮条CLD以改善关门力；控制阶段，通过设立监测点与监测计划持续追踪，确保改善措施长期有效。在定义、测量、分析、改进和控制过程中，分析并梳理了影响车门关闭力各个环节，确定密封胶条CLD为关门力主要影响因素，然后确定了改进和优化方向。通过本文的研究，为汽车行业实现对车门关闭力的有效管控和优化提供了理论和技术支撑，从而更好地提升车辆品质和客户满意度。

参考文献：

[1] 刘亦晴.浅谈“六西格玛”在质量管理方面的应用[J].科技经济市场，2020（2）：89-90.

[2] 庞明君.基于六西格玛理论的白车身前车架尺寸合格率提升研究[J].企业科技与发展，2019（12）：50-52，55.

[3] 曾煜，杜南瑛.基于DMAIC的方法在车身侧翼板改进中的应用研究[J].汽车零部件，2023（11）：71-81.

[4] 许亚琦.基于DOE的风机箱体质量优化方案[J].内燃机与配件，2019（18）：38-39.