

Optimization of Structure of Auto Instrument Panel Glove Box Knob Based on Taguchi Method

Xinxing Shi¹, Dongbo Guan^{2*}, Lianli Jia¹, Guang Mu¹

¹Changchun Faway Adient Automotive System Co. Ltd., Changchun Jilin

²Jilin University Material Science and Engineering Institute, Changchun Jilin

Email: xinxing.shi@adient.com, *guandongbo@jlu.edu.cn

Received: Jun. 9th, 2017; accepted: Jun. 24th, 2017; published: Jun. 28th, 2017

Abstract

In order to study the optimal structure of glove box knob for meeting heavy load test, with Taguchi Method and finite model software HYPERMESH 13.0 and LS-DYNA, the ideal function, noise factors and control factors are defined, inside/outside orthogonal array and static stress finite model are established. By analyzing signal-to-noise ratio (S/N, which is the ratio of useful function/harmful function to knob heavy load test) and property value(y, which is the maximal force value that knob can bear), the key factors and optimal combination are found. The analyzing result is 364N which is bigger than 245N. The heavy load stress increases by 62%. The robustness of structure of knob increases by 79%.

Keywords

Taguchi Method, Glove Box Knob, Robust Design, Heavy Load Strength, Simulation

基于田口方法的汽车仪表板杂物箱把手结构优化

史新星¹, 管东波^{2*}, 贾鲢莉¹, 穆光¹

¹长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司, 吉林 长春

²吉林大学材料科学与工程学院, 吉林 长春

Email: xinxing.shi@adient.com, *guandongbo@jlu.edu.cn

收稿日期: 2017年6月9日; 录用日期: 2017年6月24日; 发布日期: 2017年6月28日

*通讯作者。

摘要

为了研究汽车仪表板杂物箱把手满足重载荷强度的最优结构, 本文以田口方法为分析思路, 仿真软件 HYPERMESH 13.0和LS-DYNA为主要研究工具, 确定理想功能、噪音因素和可控因素, 建立内/外正交表和静态受力有限元模型。通过对信噪比(S/N, 即对把手重载荷强度起到的有用作用/有害作用)和特性值(y, 即把手能够承载的最大力值)的分析, 找出影响杂物箱把手重载荷强度的关键因素和最优化组合, 优化后的模拟结果为364N, 大于标准值245N。把手重载荷强度提升了62%, 把手结构的稳健性提升了79%。

关键词

田口方法, 杂物箱把手, 稳健性设计, 重载荷强度, 仿真模拟

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汽车仪表板杂物箱把手起到开启杂物箱的功能。客户对把手的滥用力要求较高, 通常为 $(245 \pm 4.9 \text{ N})$ 的载荷下持续 10 ± 1.0 秒钟时, 把手不能断裂[1]。汽车仪表板杂物箱把手造型多变, 强度影响因素多, 结构复杂, 一次性通过实验很困难, 而且经过多轮整改才能满足标准要求, 浪费了大量时间和费用。

田口方法是田口玄一博士在 20 世纪 50 年代至 70 年代, 参考英国统计学家费希尔首创的实验设计方法和印度统计学家马哈拉诺皮斯提出的矩阵统计分析法, 创立的稳健性质量方法体系[2]。目前已应用在汽车板料包边设计、汽车底盘设计、机械、电子、医疗等领域[3]-[9], 但是针对汽车仪表板杂物箱把手的研究几乎是空白。

本文以田口方法中的参数设计为分析思路, 用仿真软件 HYPERMESH 13.0 和 LS-DYNA 为主要研究工具, 确定理想功能、噪音因素和可控因素, 建立内/外正交表和静态受力有限元模型。通过对信噪比(S/N, 即对把手重载荷强度起到的有用作用/有害作用)和特性值(y, 即把手能够承载的最大力值)的分析, 找出了影响杂物箱把手重载荷强度的关键因素和最优化组合。

2. 设计方法

2.1. 设计程序

田口参数设计程序[10]见图 1。

2.2. 设计目标

打开杂物箱盖的把手, 在如图 2 所示的位置沿操作方向施加一大大小为 $245 \pm 4.9 \text{ N}$ 的载荷 10 ± 1.0 秒钟。增压件的形状应为 $15 \times 40 \text{ mm}$ 的长方形。施力过程中, 把手不能断裂。

2.3. 研究范围

杂物箱把手总成相关零部件见图 3。

物理领域和功能领域见表 1。

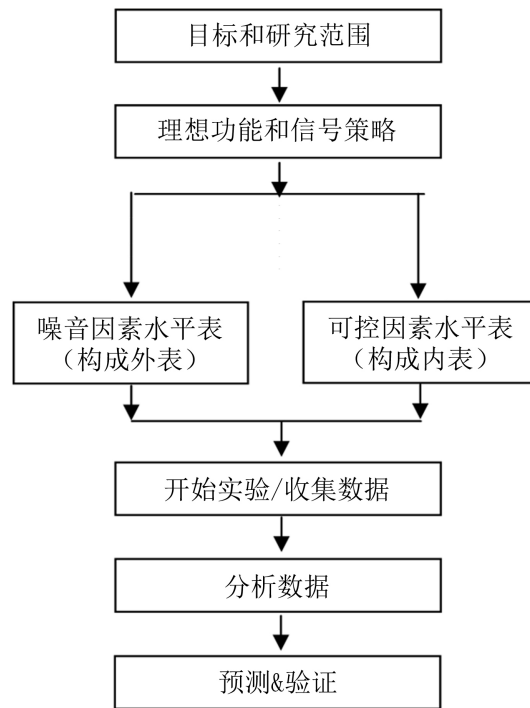


Figure 1. Procedure of Taguchi parameter design
图 1. 田口参数设计程序

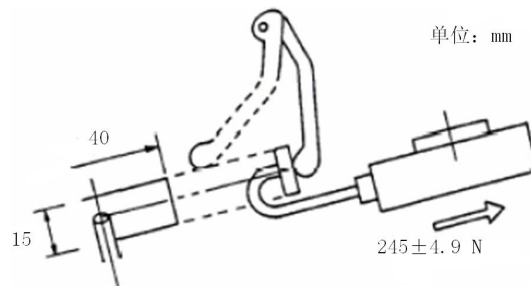


Figure 2. Procedure of Taguchi parameter design
图 2. 田口参数设计程序

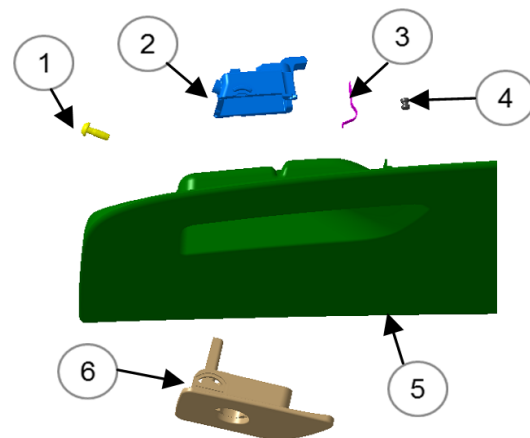


Figure 3. Parts of Glove box knob assembly
图 3. 杂物箱把手总成相关零部件

通过识别物理领域和功能领域，结合以往设计经验，确定影响杂物箱把手重载荷强度的零部件是把手支座和把手。

2.4. 理想功能和信号策略

第一步，希望各零件之间的波动小，从正态分布图来看，数据集中，分散性小，即方差 σ^2 越小越好；第二步，希望杂物箱把手能够承受的力无限大，即特性值 y 越大越好，见图 4。

使用如下信噪比(S/N)公式来对杂物箱把手重载荷强度进行评价。

$$S/N = \frac{\text{信号功率}}{\text{噪音功率}} = \frac{\text{有用作用}}{\text{有害作用}} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right) \quad (1)$$

信噪比(S/N)是用来描述产品抵抗内/外干扰因素所引起的质量波动的能力，信噪比越大表示产品越稳健。公式中方差 σ^2 越小，S/N 越大；特性值 y 越大，S/N 越大。

2.5. 噪音因素水平表

噪音因素是质量特性值波动的原因，是不能被设计者所控制的因素或者花大量费用才能控制的因素，分为外噪音、内噪音和产品间噪音：

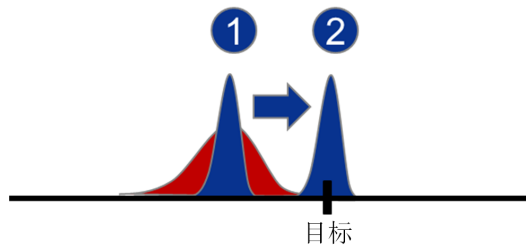
- 1) 外噪音，由于环境因素和使用条件的波动或变化，引起特性值的波动。例如，温度、湿度、位置等。
- 2) 内噪音，由于在储存或使用过程中，随着时间的推移，发生材料变质、劣化现象而引起特性值的波动。例如，电器产品绝缘材料的老化等。
- 3) 产品间噪音，在相同生产条件下，生产制造出来的一批产品，由于人、机、料、法、环的变化，引起质量特性值的波动。

对于杂物箱把手重载荷，噪音因素见表 2。N1 为使质量特性值减小的组合，N2 为使质量特性值增大的组合。

Table 1. Physical and functional domain of glove box knob

表 1. 杂物箱把手的物理领域和功能领域

序号	物理领域	功能领域
①	自攻螺钉	固定把手总成
②	把手支座	固定把手
③	弹簧	保持把手处于关闭状态
④	缓冲钮	防止噪音
⑤	杂物箱外板	把手总成固定件
⑥	把手	通过旋转打开杂物箱外板



特性值 y ：当把手发生断裂或者脱出时的力

Figure 4. Diagram of ideal function

图 4. 理想功能示意图

噪音因素示意图 5。

2.6. 可控因素水平表

杂物箱把手所要研究的可控因素水平见表 3。

将可控因素表作为内表，噪音因素表作为外表，建立 L18(2¹3⁷)田口正交表，见表 4。

2.7. 开始实验/收集数据

对每一组数据创建有限元模型并进行分析，提取位移与力的关系曲线，在曲线中选取 N1 和 N2 情况下，曲线的顶点值，见图 6。

实验数据见表 5，单位为 N。

2.8. 数据结果及分析

以第 1 组数据为例，进行计算。

特性值：

Table 2. Noise factors

表 2. 噪音因素表

N1	噪音因素	N2
平行于ZX平面	棱边造型	与ZX平面夹角30°
-0.2 mm (搭接量变短)	转轴与孔搭接量的制造误差	+0.2 mm (搭接量变长)

Table 3. Control factors

表 3. 可控因素表

序号	水平 1	水平 2	水平 3	示意图
A.后部间隙	1	2		
B.转轴部位间隙	1	2	3	
C.配合面宽度	1	2	3	
D.把手长度	1	2	3	
E.把手刚度	1	2	3	
F.转轴部位刚度	1	2	3	
G.转轴位置搭接量	1	2	3	
H.转轴圆角	1	2	3	

$$\bar{y} = \frac{y_{N1} + y_{N2}}{2} = \frac{303.5 + 255.3}{2} = 279.4 \text{ N} \quad (2)$$

方差:

$$\sigma^2 = \frac{(y_{N1} - \bar{y})^2 + (y_{N2} - \bar{y})^2}{2} = \frac{(303.5 - 279.4)^2 + (255.3 - 279.4)^2}{2} = 580.8 \quad (3)$$

信噪比:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right) = 10 \log \left(\frac{279.4^2}{580.8} \right) = 21.3 \text{ dB} \quad (4)$$

同理求解其余 17 种组合的特性值(\bar{y})和信噪比(S/N), 见表 6。

2.9. 预测及验证

根据表 6 的数据, 分别计算可控因素 A-H 在不同水平下的特性值(\bar{y})和信噪比($\overline{S/N}$), 以 A 为例进行计算。

可控因素 A 在水平 1 时的特性值:

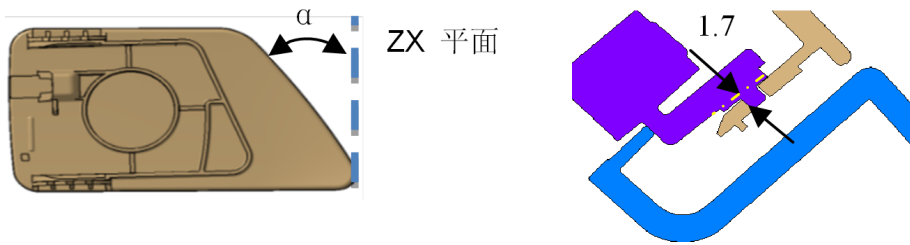


Figure 5. Diagram of noise factors
图 5. 噪音因素示意图

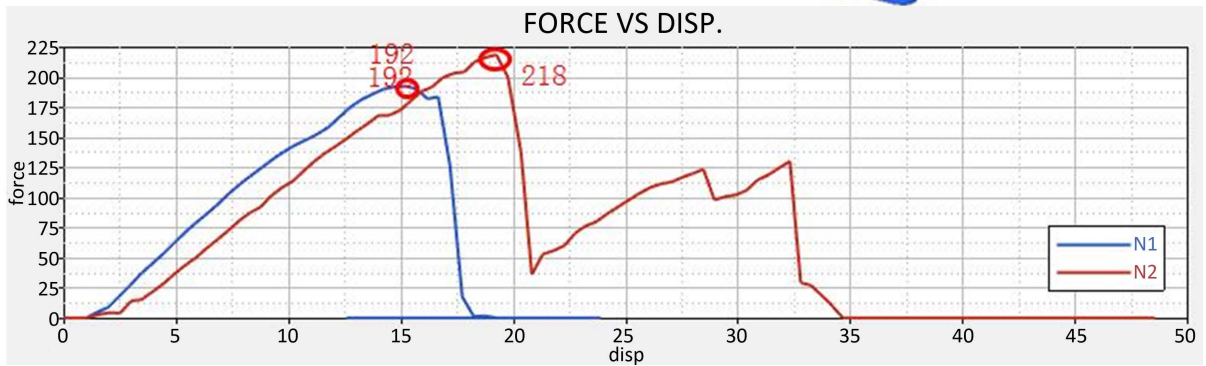


Figure 6. FEA model and result
图 6. 有限元模型和结果

Table 4. Taguchi orthogonal table
表 4. 田口正交表

L18	内表								外表	
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	2	2	2	2	2	2		
3	1	1	3	3	3	3	3	3		
4	1	2	1	1	2	2	3	3		
5	1	2	2	2	3	3	1	1		
6	1	2	3	3	1	1	2	2		
7	1	3	1	2	1	3	2	3		
8	1	3	2	3	2	1	3	1		
9	1	3	3	1	3	2	1	2		
10	2	1	1	3	3	2	2	1		
11	2	1	2	1	1	3	3	2		
12	2	1	3	2	2	1	1	3		
13	2	2	1	2	3	1	3	2		
14	2	2	2	3	1	2	1	3		
15	2	2	3	1	2	3	2	1		
16	2	3	1	3	2	3	1	2		
17	2	3	2	1	3	1	2	3		
18	2	3	3	2	1	2	3	1		

Table 5. Test results
表 5. 实验数据

L18	内表								外表	
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1	N2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	303.5	255.3
2	1	1	2	2	2	2	2	2	269.0	235.0
3	1	1	3	3	3	3	3	3	244.2	257.5
4	1	2	1	1	2	2	3	3	281.3	271.4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	249.9	227.2
6	1	2	3	3	1	1	2	2	202.6	197.6
7	1	3	1	2	1	3	2	3	199.4	208.7
8	1	3	2	3	2	1	3	1	209.7	218.7
9	1	3	3	1	3	2	1	2	224.7	222.2
10	2	1	1	3	3	2	2	1	257.7	208.6
11	2	1	2	1	1	3	3	2	357.3	343.2
12	2	1	3	2	2	1	1	3	192.3	218.7
13	2	2	1	2	3	1	3	2	350.6	298.3
14	2	2	2	3	1	2	1	3	135.8	130.3
15	2	2	3	1	2	3	2	1	360.1	367.9
16	2	3	1	3	2	3	1	2	203.9	165.7
17	2	3	2	1	3	1	2	3	214.4	236.5
18	2	3	3	2	1	2	3	1	269.7	248.0

Table 6. Characteristic value and S/N
表 6. 特性值和信噪比

L18	内表								外表		计算值	
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1	N2	\bar{y}	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	303.5	255.3	279.4	21.3
2	1	1	2	2	2	2	2	2	269.0	235.0	252.0	23.4
3	1	1	3	3	3	3	3	3	244.2	257.5	250.9	31.6
4	1	2	1	1	2	2	3	3	281.3	271.4	276.4	34.9
5	1	2	2	2	3	3	1	1	249.9	227.2	238.6	26.5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	202.6	197.6	200.1	38.1
7	1	3	1	2	1	3	2	3	199.4	208.7	204.1	32.8
8	1	3	2	3	2	1	3	1	209.7	218.7	214.2	33.6
9	1	3	3	1	3	2	1	2	224.7	222.2	223.5	45.0
10	2	1	1	3	3	2	2	1	257.7	208.6	233.2	19.6
11	2	1	2	1	1	3	3	2	357.3	343.2	350.3	33.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	192.3	218.7	205.5	23.8
13	2	2	1	2	3	1	3	2	350.6	298.3	324.5	21.9
14	2	2	2	3	1	2	1	3	135.8	130.3	133.1	33.7
15	2	2	3	1	2	3	2	1	360.1	367.9	364.0	39.4
16	2	3	1	3	2	3	1	2	203.9	165.7	184.8	19.7
17	2	3	2	1	3	1	2	3	214.4	236.5	225.5	26.2
18	2	3	3	2	1	2	3	1	269.7	248.0	258.9	27.6
平均值(\bar{y}) ($\overline{S/N}$)											245.5	29.6

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9}{9} \\ &= \frac{279.4 + 252 + 250.9 + 276.4 + 238.6 + 200.1 + 204.1 + 214.2 + 223.5}{9} = 238 \text{ N} \end{aligned} \tag{5}$$

可控因素 A 在水平 2 时的特性值:

$$\begin{aligned} \bar{y}_2 &= \frac{A_{10} + A_{11} + A_{12} + A_{13} + A_{14} + A_{15} + A_{16} + A_{17} + A_{18}}{9} \\ &= \frac{233.2 + 350.3 + 205.5 + 324.5 + 133.1 + 364 + 184.8 + 225.5 + 258.9}{9} = 253 \text{ N} \end{aligned} \tag{6}$$

可控因素 A 在水平 1 时的信噪比:

$$\begin{aligned} \overline{S/N}_1 &= \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9}{9} \\ &= \frac{21.3 + 23.4 + 31.5 + 34.9 + 26.5 + 38.1 + 32.8 + 33.6 + 45}{9} = 32 \text{ dB} \end{aligned} \tag{7}$$

可控因素 A 在水平 2 时的信噪比:

$$\begin{aligned}\overline{S/N}_2 &= \frac{A_{10} + A_{11} + A_{12} + A_{13} + A_{14} + A_{15} + A_{16} + A_{17} + A_{18}}{9} \\ &= \frac{19.6 + 33.9 + 23.8 + 21.9 + 33.7 + 39.4 + 19.7 + 26.2 + 27.6}{9} = 27 \text{ dB}\end{aligned}\quad (8)$$

同理求解可控因素 B-H 在不同水平下的特性值(\bar{y})和信噪比($\overline{S/N}$), 见表 7 和表 8。

分别将表 7 和表 8 的数据生成响应图, 增加直观性, 以便于判断。表 7 的响应图见图 7, 表 8 的响应图见图 8。

从特性值(y)方面进行判断, 结合表 7 的排序和图 8 各因素不同水平点的分散情况, 可以看出因素 D、G、H、B 影响最大, 最优化组合为 A2, B1, C1, D1, E2, F3, G3, H1。

从信噪比(S/N)方面进行判断, 结合表 8 的排序和图 9 各因素不同水平点的分散情况, 可以看出因素 C、B、D、A 影响最大, 最优化组合为 A1, B2, C3, D1, E1, F3, G3, H2。

Table 7. Control factors characteristic value

表 7. 可控因素的特性值

\bar{y}	A	B	C	D	E	F	G	H
1	238	261	250	286	238	242	211	264
2	253	257	235	248	250	229	246	257
3		218	250	202	249	265	280	216
极差	16	43	15	84	12	37	69	48
排序	6	4	7	1	8	5	2	3

Table 8. Control factors S/N

表 8. 可控因素信噪比

\bar{y}	A	B	C	D	E	F	G	H
1	32	25	25	33	31	28	28	28
2	27	33	30	26	29	31	30	31
3		31	34	29	29	31	31	31
极差	5	7	9	7	3	3	3	3
排序	4	2	1	3	6	7	8	5

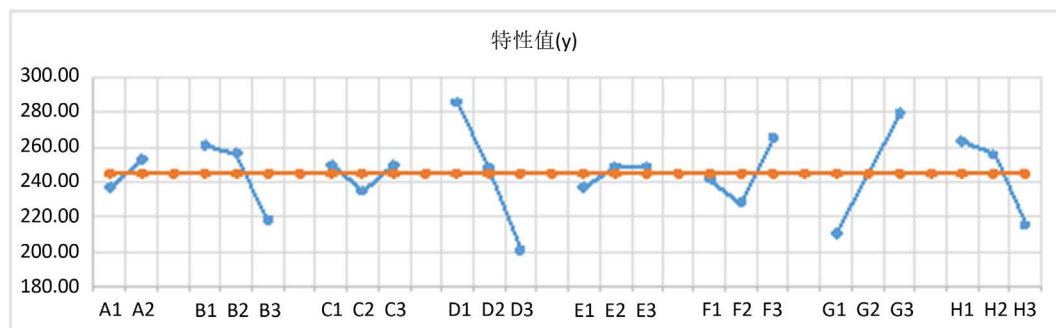


Figure 7. Response plot of control factors characteristic value

图 7. 可控因素特性值响应图

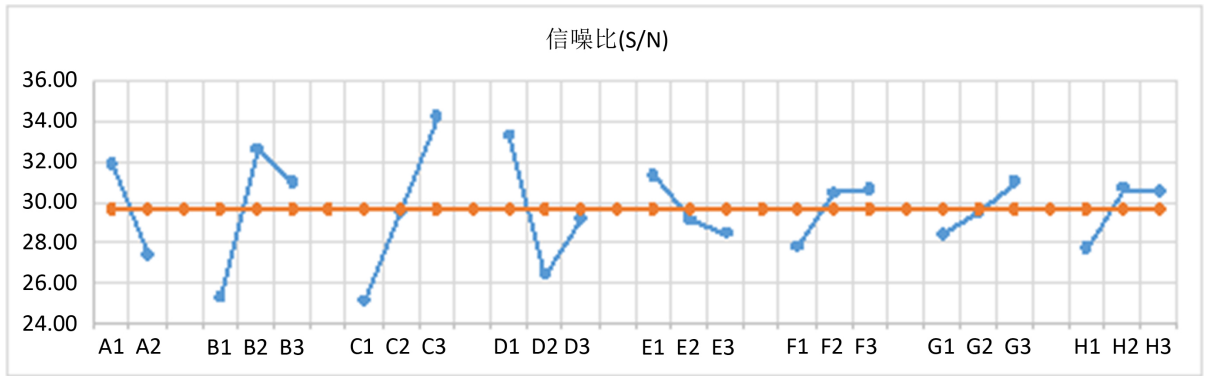


Figure 8. Response plot of control factors S/N value
图 8. 可控因素信噪比响应图

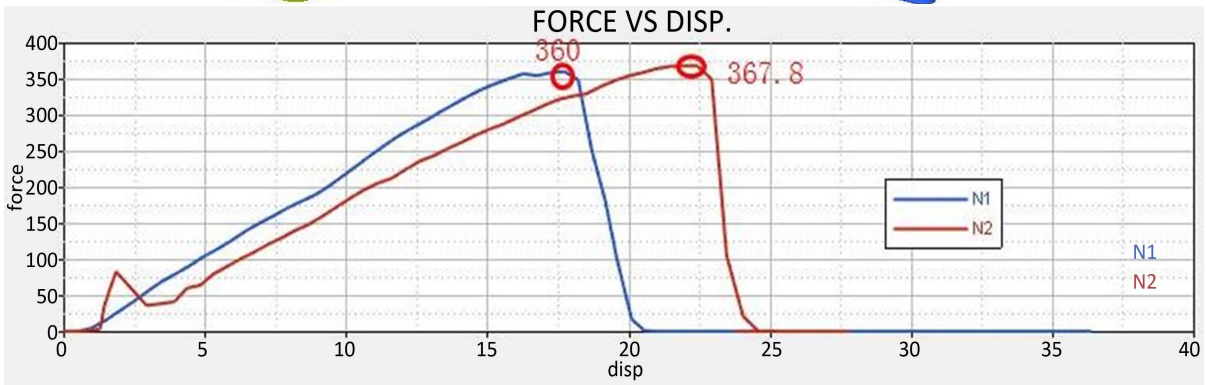


Figure 9. Optimal combination FEA model and result
图 9. 优化组合的有限元模型和结果

综合考虑信噪比和特性值的最优组合以及结合杂物箱把手实际生产制造和装配经验，最终确定的优化组合为 A1, B2, C3, D1, E2, F3, G3, H2。

预测优化组合的特性值($y_{优}$)和信噪比($S/N_{优}$)，计算公式如下：

根据表 7 中的数据 and 表 6 中特性值的平均值，预测优化组合的特性值($y_{优}$)：

$$\begin{aligned}
 y_{优} &= \bar{y} + (A1 - \bar{y}) + (B2 - \bar{y}) + (C3 - \bar{y}) + (D1 - \bar{y}) \\
 &\quad + (E2 - \bar{y}) + (F3 - \bar{y}) + (G3 - \bar{y}) + (H2 - \bar{y}) \\
 &= 245.5 + (238 - 245.5) + (257 - 245.5) + (250 - 245.5) \\
 &\quad + (286 - 245.5) + (250 - 245.5) + (265 - 245.5) \\
 &\quad + (280 - 245.5) + (257 - 245.5) \\
 &= 365 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{9}$$

根据表 8 中的数据 and 表 6 中信噪比的平均值，预测优化组合的信噪比($S/N_{优}$)：

$$\begin{aligned}
S/N_{\text{优}} &= \overline{S/N} + (A1 - \overline{S/N}) + (B2 - \overline{S/N}) + (C3 - \overline{S/N}) + (D1 - \overline{S/N}) \\
&\quad + (E2 - \overline{S/N}) + (F3 - \overline{S/N}) + (G3 - \overline{S/N}) + (H2 - \overline{S/N}) \\
&= 29.6 + (32 - 29.6) + (33 - 29.6) + (34 - 29.6) + (33 - 29.6) \\
&\quad + (29 - 29.6) + (31 - 29.6) + (31 - 29.6) + (31 - 29.6) \\
&= 47 \text{ dB}
\end{aligned} \tag{10}$$

根据优化的组合，重新设计杂物箱把手，并进行模拟分析，将模拟值与预测值作对比，以确认预测值的准确性。优化组合 A1, B2, C3, D1, E1, F3, G3, H2 有限元模型和结果见图 9。

模拟结果 $y_{N1} = 360 \text{ N}$, $y_{N2} = 367.8 \text{ N}$ 。

特性值:

$$\bar{y} = \frac{y_{N1} + y_{N2}}{2} = 364 \text{ N} \tag{11}$$

方差:

$$\sigma^2 = \frac{(y_{N1} - \bar{y})^2 + (y_{N2} - \bar{y})^2}{2} = 15 \tag{12}$$

信噪比:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma^2} \right) = 39.5 \text{ dB} \tag{13}$$

对比模拟结果和预测结果可以看到，特性值 y 相差 1 N，信噪比相差 7.5 dB，两者非常接近，预测结果可信。

原设计与优化设计对比见表 9，从表中可以看到，优化设计的杂物箱把手的重载荷强度达到 364 N，大于 245 N，较原设计强度提升了 62%。信噪比提升了 13.5 dB，将其带入公式 14，计算得出杂物箱把手结构的稳健性提升了 79%。

$$\% \text{系统稳健性提升} = 100\% - \left(\frac{1}{2} \right)^{\left(\frac{\text{增加}}{6} \right)} = 79\% \tag{14}$$

3. 结论

(1) 通过田口方法对影响杂物箱把手重载荷强度的因素水平进行仿真实验设计与求解，量化地建立了不同因素水平与重载荷强度的关系。

(2) 找出汽车仪表板杂物箱把手优化设计的关键影响因素和优化组合 A1 (把手打开时，把手与把手支座的后部间隙 0 mm)，B2 (把手打开时，转轴部位间隙 1.5 mm)，C3 (把手限位杆与把手支座的配合面宽度 7 mm)，D1 (把手长度 42 mm)，E2 (把手 B 面设计十字交叉筋)，F3 (转轴部位壁厚 2.7 mm)，G3 (转

Table 9. Comparison original design and optimization design

表 9. 原设计与优化设计对比

	y	S/N
原设计	225	26
优化设计	364	39.5
差值	139	13.5

轴位置搭接量 2.2 mm), H2 (转轴圆角 R0.3 mm), 为杂物箱把手的稳健性设计提供了工程解决方案。

(3) 通过对预测的验证, 确认预测结果准确可信, 因此可以使用本文的数据和插值方法, 对不同造型的把手结构进行快速的强度计算, 以快速判断新的设计能否满足重载荷强度要求。

基金项目

吉林省“双十工程”重大科技成果转化项目(20150301002GX)。

参考文献 (References)

- [1] Q/CAF01 0300 P-M6-0551-2-2006 [S]. 一汽轿车股份有限公司企业标准, 2006: 4-13.
- [2] 李九灵, 吴德旭, 蒋雪文. 田口方法在汽车底盘设计领域应用[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(3): 428-431.
- [3] 朱武, 候淑娟, 刘桂萍, 等. 基于田口方法与有限元方法的汽车板料包边稳健性设计[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(8): 1366-1369.
- [4] EunChae, J., Jooseung, P. and Dongil, K. (2003) Statistical Analysis of Experimental Parameters in Continuous Indentation Tests Using Taguchi Method. *Journal of Engineering Materials and Technology*, **125**, 406-411. <https://doi.org/10.1115/1.1605115>
- [5] 胡彪, 张启文, 赵新, 等. 基于田口方法的CRT热爆切割设备优化设计研究[J]. 机械设计与制造, 2010(5): 15-17.
- [6] 林梅, 曾敏, 王秋旺. 基于田口方法的波纹内翅片管参数优化研究[J]. 工程热物理学报, 2008, 29(10): 1752-1754.
- [7] Sahin, Y. (2005) Optimization of Testing Parameters on the Wear Behavior of Metal Matrix Composites Based on the Taguchi Method. *Materials Science and Engineering A*, **408**, 1-8.
- [8] 王安麟, 傅英超, 刘瑜华, 等. 基于田口方法的电子连接器微颤振磨损自组织模型的优化[J]. 机械工程学报, 2010, 46(21): 118-123.
- [9] Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y. (2004) Taguchi's Quality Engineering Handbook. John Wiley & Sons, Wiley-Interscience, 1238-1287. <https://doi.org/10.1002/9780470258354>
- [10] 张军. 基于田口方法的多质量特性稳健设计研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2005: 27-28.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org