



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28046.3—2011

## 道路车辆 电气及电子设备的环境条件 和试验 第3部分：机械负荷

Road vehicles—Environmental conditions and testing for electrical  
and electronic equipment—Part 3: Mechanical loads

(ISO 16750-3:2007, MOD)

2011-10-31 发布

2012-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 前 言

GB/T 28046《道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验》包括五个部分：

- 第1部分：一般规定；
- 第2部分：电气负荷；
- 第3部分：机械负荷；
- 第4部分：气候负荷；
- 第5部分：化学负荷。

本部分为 GB/T 28046 的第3部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 16750-3:2007《道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷》进行制定。

本部分与 ISO 16750-3:2007 的技术性差异及原因如下：

- 因原标准中第6章的说明没有指导意义，本部分予以删除；
- 为保持上下文和理解的统一，4.5 补充一句：试验和要求由供需双方协商；
- 原文图1的-40和表1的-40属于原文的明显错误，为保持系列标准的相互对应和协调关系，将图1的-40删除，将表1的-40替换为 $T_{\min}$ 。同时给表1的 $T_{\min}$ 补加了角注： $T_{\min}$ 见 GB/T 28046.4；
- 原文4.1.2.9.2 试验，未给出采用的试验标准。参照其他试验方法，补加了采用 GB/T 2423.10 进行试验。

本部分相对 ISO 16750-3:2007 编辑性修改如下：

- 删除国际标准的前言。

本部分由国家发展和改革委员会提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

本部分起草单位：上海市质量监督检验技术研究院、中国汽车技术研究中心、北京中元公司、长沙汽车电器研究所、深圳市航盛电子股份有限公司、东风商用车技术中心、苏州泰思特电子科技有限公司、上海科世达华阳汽车电器有限公司、郑州跃博汽车电器有限公司。

本部分起草人：卢兆明、许秀香、张越、胡梦蛟、汪锡斌、何玉军、孙成明、高志彪、张勇英。

# 道路车辆 电气及电子设备的环境条件 和试验 第3部分:机械负荷

## 1 范围

本部分描述了安装在车辆上/内特定位置的系统/组件可能的机械环境负荷,且规定了试验及要求。本部分适用于汽车电气电子系统/组件。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2423.6 电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 试验 Eb 和导则:碰撞(GB/T 2423.6—1995,IEC 60068-2-29:1987,IDT)

GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 试验 Ed:自由跌落(GB/T 2423.8—1995,IEC 60068-2-32:1995,IDT)

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)(GB/T 2423.10—2008,IEC 60068-2-6:1995, IDT)

GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 N:温度变化(GB/T 2423.22—2002,IEC 60068-2-14:1984,IDT)

GB/T 2423.56 电工电子产品环境试验 第2部分 试验方法 试验 Fh:宽带随机振动(数字控制)和导则(GB/T 2423.56—2006,IEC 60068-2-64:1993, IDT)

GB/T 2423.58 电工电子产品环境试验 第2-80部分:试验方法 试验 Fi:振动 混合模式(GB/T 2423.58—2008,IEC 60068-2-80:2005, IDT)

GB/T 28046.1 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第1部分:一般规定(GB/T 28046.1—2011,ISO 16750-1:2006,MOD)

GB/T 28046.4 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分:气候负荷(GB/T 28046.4—2011,ISO 16750-4:2006,MOD)

## 3 术语和定义

GB/T 28046.1 给出的术语和定义适用于本文件。

## 4 试验和要求

### 4.1 振动

#### 4.1.1 一般规定

按电气和电子设备在车上应用情况规定了不同振动严酷度的试验方法。车辆生产商和供应商可根据特定的安装位置选择试验方法、环境温度和振动参数。

规定的量级用于直接安装在所定义的位置。使用支架安装会提高或降低负荷,如果受试装置(DUT)在车上使用支架,在振动和机械冲击试验时应带支架进行。

对 DUT 进行振动试验时应将样品安装在振动台面上,将安装方法记录在报告中。正弦振动和正弦加随机的正弦部分扫频速率为 0.5 oct/min。推荐的振动试验用于避免在使用过程中因疲劳引起的失效和损坏,本部分不包括特殊的磨损试验要求。

在规定频率范围外的负荷应单独考虑。

注:对大而重的 DUT,因刚性安装和动态响应,按本部分进行的振动试验负荷的偏差可能导致在振动台上的激励不同于实车,用平均控制方法可以将偏差最小化(见附录 A)。

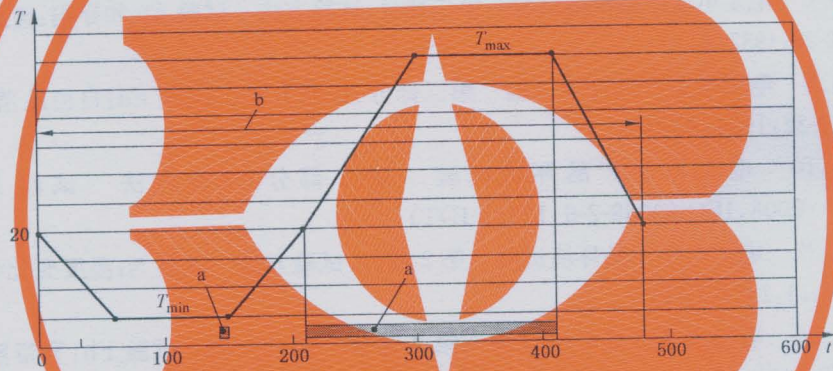
经协商可按 GB/T 2423.56 采用加权平均值控制方法。

DUT 在振动试验期间的温度循环按 GB/T 2423.22,并按图 1 通电运行。经协商可在恒温条件下进行试验。

如图 1 所示在整个装置达到  $T_{min}$  后使 DUT 通电运行,用尽可能短的时间检查装置的功能(使 DUT 的自产热量最小),DUT 的附加通电运行在循环的第 210 min 和第 410 min 间进行。

对试验箱不允许进行辅助烘干。

车辆振动应力可能在最低温度或最高温度下出现,在试验中应模拟机械应力和温度变化应力同时作用,失效机理为:例如系统/组件的塑料件经高温变软且不能承受加速度。



其中:

$t$ ——时间, min;

$T$ ——温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

a——工作模式 3.2;

b——一个周期。

图 1 振动试验温度曲线

表 1 振动试验温度与时间的对应关系

时间 min	温度 $^{\circ}\text{C}$
0	20
60	$T_{min}^a$
150	$T_{min}^a$
210	20
300	$T_{max}^a$
410	$T_{max}^a$
480	20

<sup>a</sup>  $T_{min}$ 、 $T_{max}$  见 GB/T 28046.4。

## 4.1.2 试验

### 4.1.2.1 试验 I ——乘用车发动机

#### 4.1.2.1.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

活塞发动机的振动可以分为两种类型：

- 由气缸不平衡质量作用于连杆上产生的正弦振动；
- 由发动机其他振动源产生的随机噪声，如阀门的关闭。

本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏，路面粗糙产生的影响在 10 Hz~100 Hz 的最低频段。

注：发动机悬架系统可有效隔离冲击影响。对安装在发动机上的部件，路面产生的冲击通常可以忽略。

下述条款(4.1.2.1.2~4.1.2.1.3)中规定的试验描述适用于四冲程往复发动机。

建议采用 GB/T 2423.58 规定的混合振动试验替代上述试验。

#### 4.1.2.1.2 试验

##### 4.1.2.1.2.1 正弦振动

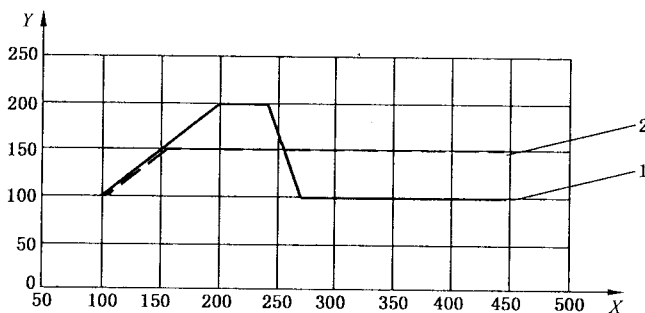
按 GB/T 2423.10 进行试验，不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h，加速度幅值和频率按图 2 和表 2 规定。

注：试验持续时间基于附录 A 中 A.4，当试验结束时(2.75 温度循环)，试验箱的温度高于室温。

使用图 2 和表 2 中曲线 1 的 DUT 装在五缸或少于五缸的发动机上。

使用图 2 和表 2 中曲线 2 的 DUT 装在六缸或多于六缸的发动机上。

两条曲线组合可以覆盖所有类型的发动机。



其中：

X——频率，Hz；

Y——最大加速度， $m/s^2$ ；

1——曲线 1(≤5 缸的发动机)；

2——曲线 2(>5 缸的发动机)。

图 2 振动严酷度曲线

表 2 最大加速度与频率

曲线 1(见图 2)		曲线 2(见图 2)		二者组合	
频率 Hz	最大加速度 m/s <sup>2</sup>	频率 Hz	最大加速度 m/s <sup>2</sup>	频率 Hz	最大加速度 m/s <sup>2</sup>
100	100	100	100	100	100
200	200	150	150	150	150
240	200	440	150	200	200
270	100			240	200
440	100			255	150
				440	150

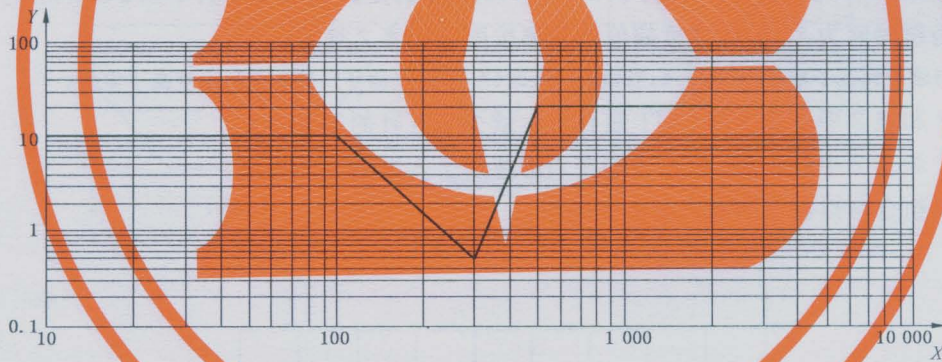
4.1.2.1.2.2 随机振动

按 GB/T 2423.56 进行试验, DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h。

注: 试验持续时间基于附录 A 中 A.4, 当试验结束时(2.75 温度循环), 试验箱的温度高于室温。

加速度均方根(r. m. s.)值应为 181 m/s<sup>2</sup>。加速度功率谱密度(PSD)与频率见图 3 和表 3 所示。

注: 在正弦振动频率范围内 PSD 值(随机振动)被降低。



其中:

X——频率, Hz;

Y——PSD, (m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz。

图 3 PSD 与频率

表 3 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz
10	10
100	10
300	0.51
500	20
2 000	20

4.1.2.1.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.2 试验 II——乘用车变速器

4.1.2.2.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的故障和损坏。

变速器的振动可以分为两种类型:由不平衡质量产生的频率范围在 100 Hz~440 Hz 的正弦振动和由齿轮摩擦产生的振动及其他随机振源。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏,路面粗糙产生的影响在 10 Hz~100 Hz 的最低频段。

下述条款中规定的试验描述用于变速器振动产生的负荷,换挡引起的机械冲击应单独考虑。

建议采用 GB/T 2423.58 规定的混合振动试验替代上述试验。

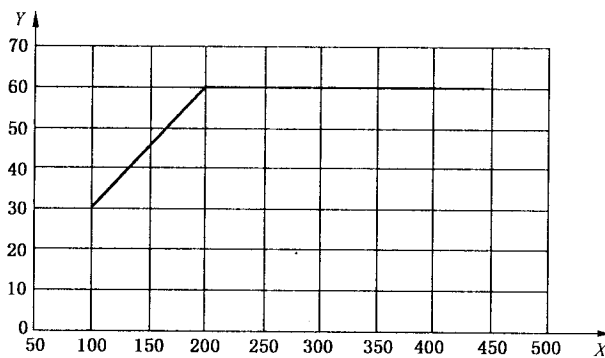
4.1.2.2.2 试验

4.1.2.2.2.1 正弦振动

按 GB/T 2423.10 进行试验,不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h。

注:试验持续时间基于附录 A 中 A.4,当试验结束时(2.75 温度循环),试验箱的温度高于室温。

加速度幅值和频率按图 4 和表 4 规定。



其中:

X——频率, Hz;

Y——最大加速度, m/s<sup>2</sup>。

图 4 最大加速度与频率

表 4 最大加速度与频率

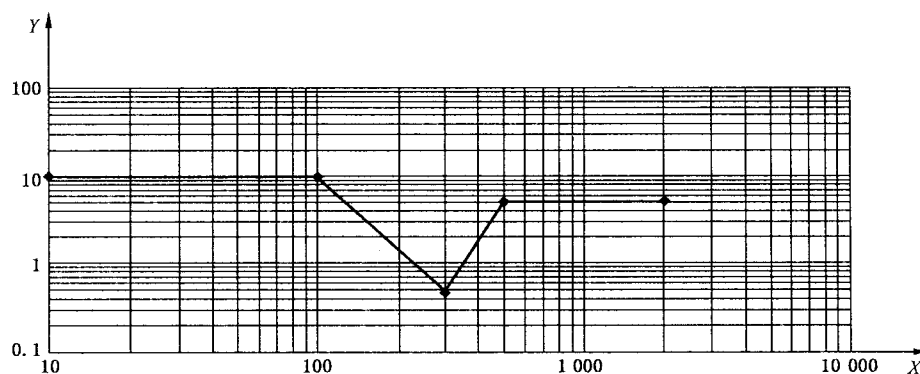
频率 Hz	最大加速度 m/s <sup>2</sup>
100	30
200	60
440	60

4.1.2.2.2.2 随机振动

按 GB/T 2423.56 进行试验, DUT 每个轴向的试验持续时间为 22 h, 加速度均方根(r. m. s.) 值应为 96.6 m/s<sup>2</sup>。

注: 在正弦振动试验的频率范围内, PSD 值(随机振动)被降低。

PSD 与频率按图 5 和表 5 规定。



其中:

X——频率, Hz;

Y——PSD, (m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz。

图 5 PSD 与频率

表 5 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz
10	10
100	10
300	0.51
500	5
2 000	5

4.1.2.2.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A, 其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.3 试验Ⅲ——乘用车柔性气室

4.1.2.3.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

本试验适用于非刚性地安装在柔性气室上的设备。此位置的振动主要是由入口气体的颤动引起的正弦振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

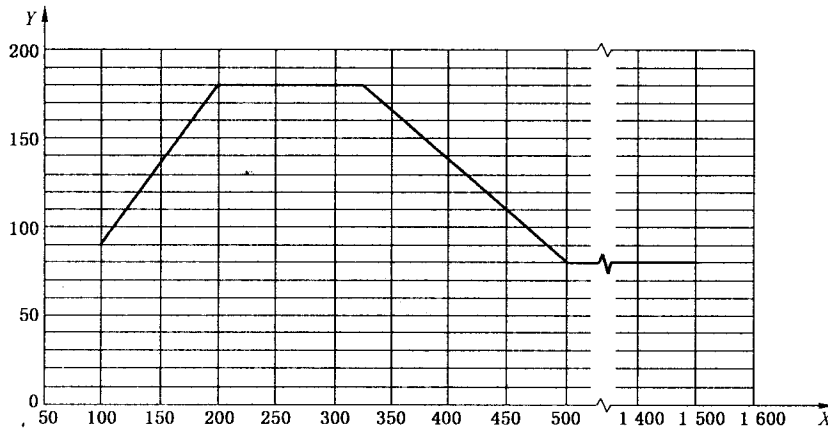


4.1.2.3.2 试验

按 GB/T 2423.10 进行试验,不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续 22 h。

注: 试验持续时间基于附录 A 中 A.4,当试验结束时(2.75 温度循环),试验箱的温度高于室温。

加速度幅值和频率按图 6 和表 6 规定。



其中:

X——频率, Hz;

Y——最大加速度, m/s<sup>2</sup>。

图 6 最大加速度与频率

表 6 最大加速度与频率

频率 Hz	最大加速度 m/s <sup>2</sup>
100	90
200	180
325	180
500	80
1 500	80

4.1.2.3.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.4 试验Ⅳ——乘用车弹性体(车身)

4.1.2.4.1 目的

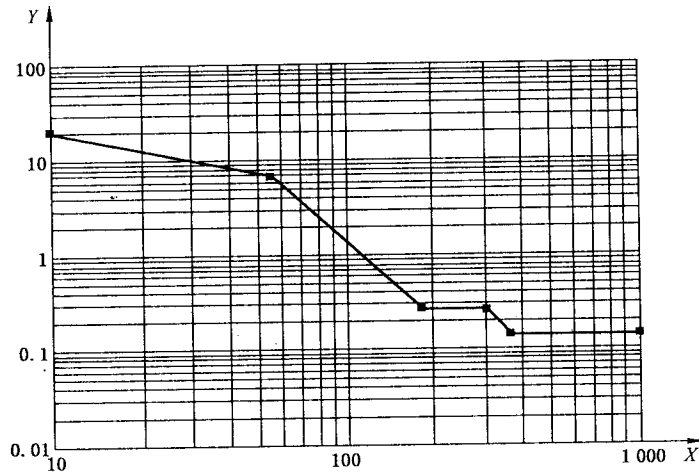
检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

车身的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.4.2 试验

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验, DUT 每个轴向的试验持续 8 h, 加速度均方根(r. m. s.) 值应为  $27.8 \text{ m/s}^2$ 。PSD 与频率按图 7 和表 7 规定。

注: 试验持续时间基于附录 A 中 A.5。



其中:

X——频率, Hz;

Y——PSD,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ 。

图 7 PSD 与频率

表 7 PSD 与频率

频率 Hz	PSD $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
10	20
55	6.5
180	0.25
300	0.25
360	0.14
1 000	0.14

4.1.2.4.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A, 其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.5 试验 V——乘用车非弹性体(车轮, 车轮悬挂)

4.1.2.5.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

非弹性体的振动是在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的。

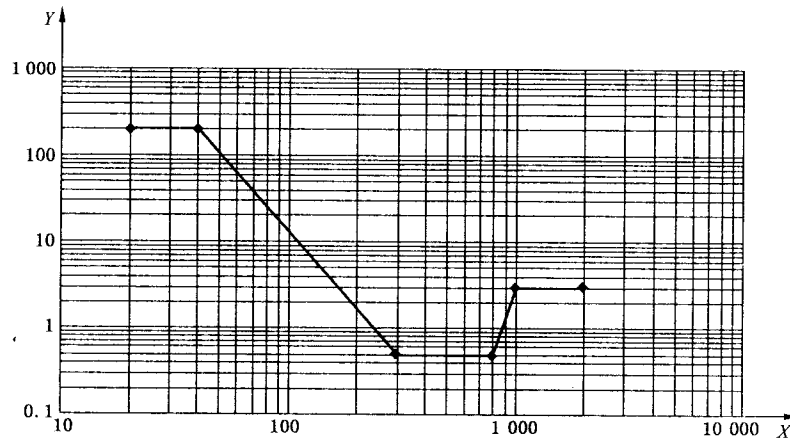
损坏。

本试验没有包括频率低于 20 Hz 的负荷。实际上大振幅可能发生在低于 20 Hz 频率段,在此频率范围对 DUT 作用的负荷应单独考虑。

4.1.2.5.2 试验

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验,DUT 每个轴向的试验持续 8 h,加速度均方根(r. m. s.)值应为 107.3 m/s<sup>2</sup>。PSD 与频率见图 8 和表 8 所示。

注:试验持续时间基于附录 A 中 A.5。



其中:

X——频率,Hz;

Y——PSD,(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz。

图 8 PSD 与频率

表 8 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz
20	200
40	200
300	0.5
800	0.5
1 000	3
2 000	3

4.1.2.5.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.6 试验 VI——商用车发动机、变速器

4.1.2.6.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

活塞发动机的振动可以分为两种类型：

——由气缸不平衡质量作用于连杆上产生的正弦振动；

——由发动机其他振动源产生的随机噪声，如阀门的关闭。

因变速器刚性地附于发动机上，安装在变速器上的系统/组件的试验可按本试验进行。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

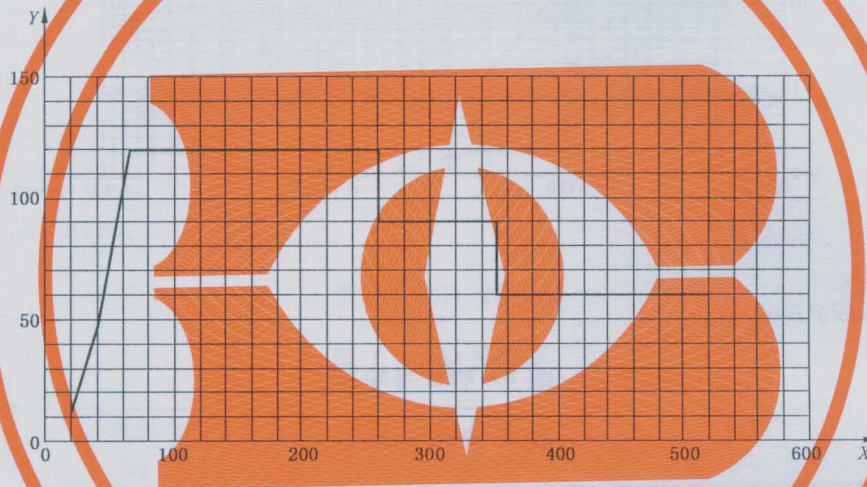
如下试验描述适于由四冲程往复发动机产生的负荷。建议采用 GB/T 2423.58 规定的混合振动试验替代上述试验。

如果 DUT 的固有频率低于 30 Hz，应对 DUT 所有关键轴向附加 32 h 的试验。

#### 4.1.2.6.2 试验

##### 4.1.2.6.2.1 正弦振动

按 GB/T 2423.10 进行试验，不同于 GB/T 2423.10 的是扫频速率不大于 0.5 oct/min。DUT 每个轴向的试验持续 94 h(约 20 h/oct)。加速度幅值和频率按图 9 和表 9 规定。



其中：

X——频率，Hz；

Y——最大加速度， $m/s^2$ 。

图 9 最大加速度与频率

表 9 最大加速度与频率

频率 Hz	位移幅值 mm	最大加速度 $m/s^2$
20	0.72	(11.4)
65	0.72	120
260		120
260		90
350		90
350		60
520		60

4.1.2.6.2.2 随机振动

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验。

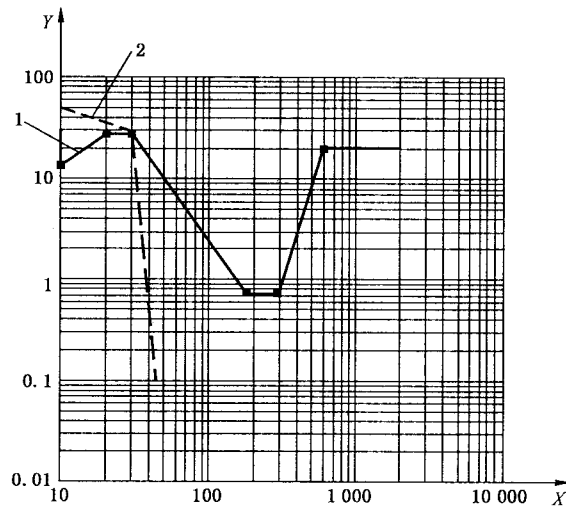
试验持续时间为：

——一般情况：DUT 每个轴向的试验持续时间为 94 h(见图 10 和表 10)；

——固有频率( $f_n$ )低于 30 Hz 时：DUT 的每个关键轴向附加 32 h(见表 11)。

注：在正弦振动试验的频率范围内，PSD 值(随机振动)被降低。

PSD 和频率见图 10 和表 10、表 11。



其中：

X——频率, Hz ;

Y——PSD,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;

1——一般情况下的随机试验曲线；

2—— $f_n < 30$  Hz 的附加曲线。

图 10 PSD 与频率

表 10 PSD 与频率

频率 Hz	PSD $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$
10	14
20	28
30	28
180	0.75
300	0.75
600	20
2 000	20

注：加速度均方根(r. m. s.)值为 177  $\text{m/s}^2$ 。

表 11 PSD 与频率( $f_n < 30$  Hz 的附加试验)

频率 Hz	PSD ( $\text{m/s}^2$ ) <sup>2</sup> /Hz
10	50
30	30
45	0.1

注：加速度均方根(r. m. s.)值为 28.6  $\text{m/s}^2$ 。

4.1.2.6.3 要求

不应出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

4.1.2.7 试验Ⅶ——商用车弹性体

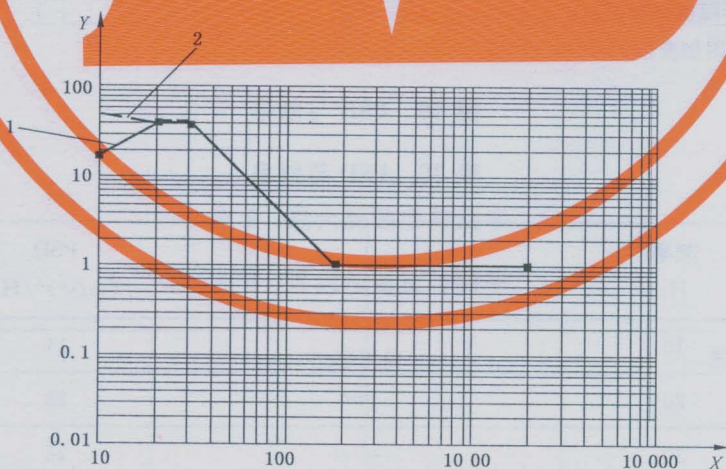
4.1.2.7.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

弹性体的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

4.1.2.7.2 试验

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验,DUT 每个轴向的试验持续时间为 32 h。PSD 与频率按图 11 和表 12、表 13 规定。



其中:

X——频率, Hz;

Y——PSD, ( $\text{m/s}^2$ )<sup>2</sup>/Hz;

1——一般情况下的随机试验曲线;

2—— $f_n < 30$  Hz 的附加试验曲线。

图 11 PSD 与频率

表 12 PSD 与频率

频率 Hz	PSD (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz
10	18
20	36
30	36
180	1
2 000	1

注：加速度均方根(r. m. s.)值为 57.9 m/s<sup>2</sup>。

表 13 PSD 与频率( $f_n < 30$  Hz 的附加试验)

频率 Hz	PSD (m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz
10	50
20	36
30	36
45	16

注：加速度均方根(r. m. s.)值为 33.7 m/s<sup>2</sup>。

#### 4.1.2.7.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

#### 4.1.2.8 试验Ⅷ——商用车分体式驾驶室

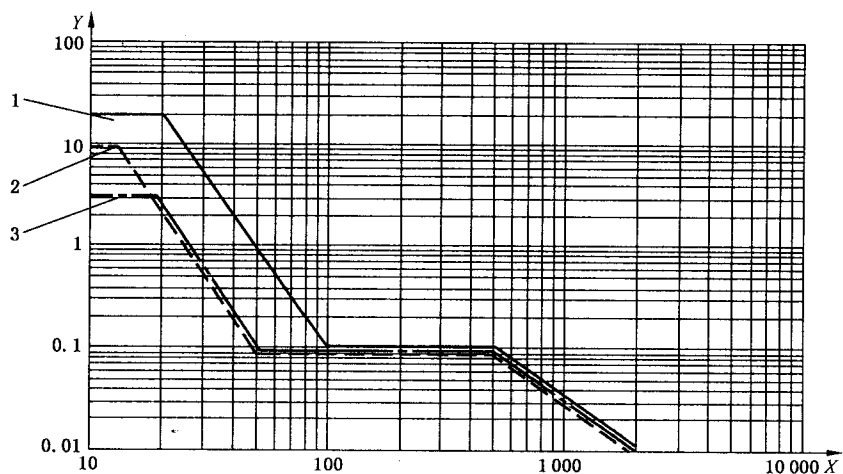
##### 4.1.2.8.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

商用车分离驾驶室的振动是由在粗糙路面行驶引起的随机振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

##### 4.1.2.8.2 试验

按 GB/T 2423.56 进行随机振动试验,DUT 每个轴向的试验持续 32 h。PSD 与频率按图 12 和表 14 规定。



其中：

X——频率, Hz;

Y——PSD,  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;

1——垂直;

2——横向;

3——纵向。

图 12 PSD 与频率

表 14 PSD 与频率

频率 Hz	PSD $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$		
	垂直	纵向	横向
10	20	3	10
13	—	—	10
19	—	3	—
20	20	—	—
50	—	0.1	0.1
100	0.1	—	—
500	0.1	0.1	0.1
2 000	0.01	0.01	0.01
加速度均方根(r. m. s.)值	21.3 $\text{m/s}^2$	11.8 $\text{m/s}^2$	13.1 $\text{m/s}^2$

#### 4.1.2.8.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。



## 4.1.2.9 试验区——商用车非弹性体

## 4.1.2.9.1 目的

检验 DUT 因受振动导致的失效和损坏。

非弹性体上的振动是由在粗糙路面行驶引起的振动。本试验引起的主要失效是由疲劳造成的损坏。

## 4.1.2.9.2 试验

按 4.1.2.7 试验Ⅶ进行随机振动试验,按如下规定进行正弦振动试验。正弦振动试验按 GB/T 2423.10 在室温下进行。

装在车轮和车轮悬挂上的 DUT 按表 15 ( $f_n < 40$  Hz)规定的最大加速度幅值及相应频率进行试验。如果  $f_n$  大于或等于 40 Hz,试验按表 16 进行。

表 15 最大加速度和频率( $f_n < 40$  Hz)

车辆平面方向	频率 Hz	最大加速度 $m/s^2$	持续时间 min	循环数(近似值)
纵向,横向	8~16	150	4	2 800
	8~16	120	10	7 000
	8~32	100	20	21 000
垂直	8~16	300	4	2 800
	8~16	250	10	7 000
	8~32	200	20	21 000

表 16 最大加速度和频率( $f_n \geq 40$  Hz)

车辆平面方向	频率 Hz	最大加速度 $m/s^2$	循环数(近似值)
纵向,横向	35	150	2 800
	35	120	7 000
	35	100	21 000
垂直	35	300	2 800
	35	250	7 000
	35	200	21 000

## 4.1.2.9.3 要求

不允许出现损坏。在 GB/T 28046.1 定义的工作模式 3.2 下达到功能状态 A,其他工作模式下达到功能状态 C。

## 4.2 机械冲击

### 4.2.1 装在门和盖板内/上

#### 4.2.1.1 目的

检验 DUT 受类似门的冲击导致的失效和损坏。

当门被关闭撞击时出现机械冲击。失效模式为机械损坏(例如门撞击产生的高加速度使电子控制模块壳内的电容器分离)。

#### 4.2.1.2 试验

按表 17 选择一种严酷度且按 GB/T 2423.6 进行试验。采用下列试验参数:

——DUT 工作模式:1.2(见 GB/T 28046.1);

——冲击脉冲型式:半正弦波。

DUT 应固定在冲击试验台上,加速度作用方向与 DUT 装车使用发生冲击加速度的方向相同。

表 17 冲击次数

安装位置	冲击严酷度 1 500 m/s <sup>2</sup> , 11 ms	冲击严酷度 2 300 m/s <sup>2</sup> , 6 ms
驾驶员门, 货舱门	13 000	100 000
乘客门	6 000	50 000
箱盖, 挡板	2 400	30 000
发动机罩	720	3 000

#### 4.2.1.3 要求

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 C 级。

### 4.2.2 装在车身和车架刚性点上

#### 4.2.2.1 目的

检验 DUT 因受车身或车架冲击导致的失效和损坏。

负荷发生在高速驾驶越过路边石头的情况下。失效模式为机械损坏(例如由于高加速度冲击使电子控制模块壳内的电容器分离)。

#### 4.2.2.2 试验

按 GB/T 2423.6, 采用下列参数进行试验:

——DUT 工作模式:3.2(见 GB/T 28046.1);

——冲击脉冲型式:半正弦波;

——加速度:500 m/s<sup>2</sup>;

——持续时间:6 ms;

——冲击次数:每个试验方向 10 次。

冲击试验的加速度方向应与车辆发生冲击实际产生的加速度方向相同。如果实际方向未知, DUT 应在 6 个方向上进行试验。

#### 4.2.2.3 要求

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

#### 4.2.3 在变速器内/上

##### 4.2.3.1 目的

检验 DUT 因受换挡冲击导致的失效和损坏,适用于专门装在变速器内/上的 DUT。

负荷发生在气动助力换挡操作中。失效模式为机械损坏(例如,由气动助力换挡操作产生的高加速度冲击使电子控制模块壳内的电容器分离)。

##### 4.2.3.2 试验

按 GB/T 2423.6,采用下列参数进行试验:

- DUT 工作模式:3.2(见 GB/T 28046.1);
- 冲击脉冲型式:半正弦波;
- 典型最大加速度:商用车为  $3\,000\text{ m/s}^2\sim 50\,000\text{ m/s}^2$ ,乘用车由供需双方协商;
- 持续时间: $<1\text{ ms}$ ;
- 冲击次数:由供需双方协商;
- 温度:由供需双方协商。

对商用车,上述参数主要用于气动助力换挡操作(如果安装了选挡系统,150 000 次换挡操作是有代表性的)。

实际冲击应力由变速器的安装位置和设计特点决定,有个别情况是由相应的测量手段决定(推荐取样频率至少为 25 kHz)。试验须由生产商和用户合作进行。

试验时冲击加速度应与在车上实际工作时所受的冲击加速度方向一致。如果实际方向未知,DUT 应在所有 6 个方向上进行试验。

##### 4.2.3.3 要求

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 A 级。

#### 4.3 自由跌落

##### 4.3.1 目的

检验 DUT 因自由跌落导致的失效和损坏。

系统/组件在加工处理过程中可能跌落到地面(如在汽车生产线上)。如果跌落后系统/组件有明显的损坏要被更换,如损坏不明显,就会被装上车,然后按正常的产品要求工作。失效模式为机械损坏(例如,DUT 落到地面产生的高加速度使电子控制模块壳内的电容器分离)。

##### 4.3.2 试验

能耐受跌落冲击而无明显损坏的部件应按 GB/T 2423.8 进行试验,跌落后会明显损坏的部件(如前照灯)不予试验。

采用如下参数进行试验:

- DUT 数量:3;
- 每个 DUT 跌落次数:2;
- 落差:1 m 自由跌落或按协议高度;

- 撞击面:混凝土地面或钢板;
  - DUT 方向:每个 DUT 的第 1 次跌落应在不同的空间轴向,第 2 次跌落与第 1 次的空间轴向相同,但方向相反;
  - DUT 工作模式:1.1(见 GB/T 28046.1);
  - 温度:由供需双方协商。
- 跌落试验后目视检查 DUT。

#### 4.3.3 要求

不允许有隐性损坏,在不影响 DUT 性能的情况下允许外壳有微小损坏,正常性能将在试验后证实。

功能状态应达到 GB/T 28046.1 定义的 C 级。

#### 4.4 外表强度/划痕和耐磨性能

试验和要求由供需双方协商(例如控制部件和钥匙上的标记和商标应保持清晰可见)。

#### 4.5 砂石轰击

检验 DUT 耐砂石轰击能力(安装在暴露的位置上,如车身的前部和后部)。试验和要求由供需双方协商。

### 5 机械负荷代码字母

见表 18。

表 18 试验和要求代码

代 码 字 母	对应要求条款														
	4.1.2.1.2.1 试验 I 正弦	4.1.2.1.2.1 试验 I 随机	4.1.2.2.2 试验 II	4.1.2.3.2 试验 III	4.1.2.4.2 试验 IV	4.1.2.5.2 试验 V	4.1.2.6.2.1 试验 VI 正弦	4.1.2.6.2.2 试验 VI 随机	4.1.2.7.2 试验 VII	4.1.2.8.2 试验 VIII	4.1.2.9.2 试验 IX	4.2.1.2 机械冲击 严酷度 1	4.2.2.2 机械冲击 严酷度 2	4.2.3.2 机械 冲击	4.3.2 自由 跌落
A	曲线 1	√													√
B	曲线 2	√													√
C															√
D			√												√
E				√											√
F				√										√	√
G				√											√
H															√
I															√
J															√
K															√
L															√
M															√
N															√
O															√
P															√
Q															√
R															√
S															√
T															√
U															√
V															√
Z															√

按协议

附 录 A  
(资料性附录)  
振动试验曲线建立指南

## A.1 目的

有助于本部分的使用者根据振动测量结果按照可再现的方法建立试验曲线,从而消除误差。

## A.2 概述

建立试验曲线的过程应采用所推荐的文件加以描述。

建立试验曲线的过程在表 A.1 中描述。

## A.3 平均控制方法

通常安装在车辆上与安装在振动台面上的 DUT 的频率响应有所不同。这是由于两种情况下的安装刚度和动态反馈不同。

为能在实验室中再现振动试验,振动夹具应具有尽可能大的刚度,通常比装车条件大得多。应考虑到 DUT 在振动夹具上的各个安装点的运动是同向的,而其在汽车里安装点的运动在特定的频率上可能不是同向的。这是因振动试验夹具比在车辆上的安装部位有更高的刚度。

此外,在振动试验期间 DUT 的动态反馈(激励衰减)通过振动控制单元被最小化。

至少对于大/重的 DUT 在共振状态下,在振动台试验时类似的激励会比在汽车里产生更大的响应峰值。

为避免过试验,可以采用 GB/T 2423.56 中相关的平均控制方法。

额外推荐:平均控制信号 = (3×激励) + (1×DUT 响应)。

表 A.1 振动试验曲线建立

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据(即:功率、最大转速、标称速度、 体积、发动机种类、汽缸数)	注 解
发动机安装	边界条件	测力计和/或道路	满负荷
车身安装		试验场地/试验轨迹描述	
		路面(即:比利时石块、搓板、减速坎)	
		驾驶速度	
车辆数据采集	采样速率	$\geq f_{\max}$ 的 2.5 倍	$Df = 1/(f_{\text{sample}} \times b)$
	数据块长度, $b$	$\geq 2k$	
	分辨率	LSB < 最大值的 0.1%	LSB = 最小的有效位
	滤波技术和方法	在 $f_{\max}$ 抗混淆滤波衰减率 > 48 dB/oct 高通滤波 ( $f_{\text{filter}} < f_{\min}$ ) 消除支流偏置	

表 A.1 (续)

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据(即:功率、最大转速、标称速度、 体积、发动机种类、汽缸数)	注 解
数据分析	峰值保持 FFT	峰值保持	参照建立正弦试验或正 弦加随机试验的正弦部分
	加窗	对稳态信号(不含瞬态信号)加 Hanning 窗 对瞬态信号不加窗(峰值因子>6)	
	关于速度/时间的 r. m. s.		
	信号特征(信号的 正弦/随机部分)	具有最大 r. m. s. 值的窗函数计算平均 PSD	参照建立随机试验或正 弦加随机试验的随机部分
		瀑布图	
		稳态信号的自相关	
试验曲线建立	用于建立试验曲线的 方法与过程	如:描述包括数据压缩(平均或取包络)在 内的所有关键点	
	用于确定试验持续 时间的方法和过程	说明将试验应力和试验时间用于相关场 合的应力和工作寿命的假设和模型。正如 在 MIL810 标准中采用的基于最严酷材料的 M 值。	M 值 = S/N 曲线的梯度 (应力对应的数字)
	发动机上安装的部件	考虑 r/min 的分布	
	车身上安装的部件	考虑劣质路面条件的里程数	
	过程和工程评价 方法的基本原理		
	试验参数	例如:在 4.1.2 中的试验	

#### A.4 发动机转速分布

发动机转速(r/min)与振动量级的一般关系,振动量级随着发动机转速的提高而增加(见图 A.1 和表 A.2)。

疲劳试验中,最大加速度量级需要充分考虑发动机转速的范围。通常的范围在  $0.9n_{\text{nominal}}$  与  $n_{\text{max}}$  之间。 $n_{\text{nominal}}$  为发动机最大功率时的转速, $n_{\text{max}}$  为发动机最大安全转速。

评估试验持续时间,应考虑不同的转速分布和车辆寿命。所有可利用的转速分布表明,转速范围从  $0.9n_{\text{nominal}}$  到  $n_{\text{max}}$  之间一般是不常使用的。

本部分选择三种分布:

- a) SAE 出版物(可参考 SAE 2005-01-1071)的转速分布。其中调查了 55 辆车(70 000 km,10 000 次往返)。
- b) 在温度测量期间记录下来的达到很高温度的“最不利情况”的转速分布,这时车辆工作的转速非常高。
- c) 一种有利的分布,组成如下:

表 A.1 (续)

术语	文件 车辆描述	推荐的文件/参数 技术数据 (即:功率、最大转速、标称速度、 体积、发动机种类、汽缸数)	注 解
数据分析	峰值保持 FFT	峰值保持	参照建立正弦试验或正 弦加随机试验的正弦部分
	加窗	对稳态信号(不含瞬态信号)加 Hanning 窗 对瞬态信号不加窗(峰值因子>6)	
	关于速度/时间的 r. m. s.		
	信号特征(信号的 正弦/随机部分)	具有最大 r. m. s. 值的窗函数计算平均 PSD	参照建立随机试验或正 弦加随机试验的随机部分
		瀑布图	
		稳态信号的自相关	
试验曲线建立	用于建立试验曲线的 方法与过程	如:描述包括数据压缩(平均或取包络)在 内的所有关键点	
	用于确定试验持续 时间的方法和过程	说明将试验应力和试验时间用于相关场 合的应力和工作寿命的假设和模型。正如 在 MIL810 标准中采用的基于最严酷材料的 M 值。	M 值 = S/N 曲线的梯度 (应力对应的数字)
	发动机上安装的部件	考虑 r/min 的分布	
	车身上安装的部件	考虑劣质路面条件的里程数	
	过程和工程评价 方法的基本原理		
	试验参数	例如:在 4.1.2 中的试验	

#### A.4 发动机转速分布

发动机转速(r/min)与振动量级的一般关系,振动量级随着发动机转速的提高而增加(见图 A.1 和表 A.2)。

疲劳试验中,最大加速度量级需要充分考虑发动机转速的范围。通常的范围在  $0.9n_{\text{nominal}}$  与  $n_{\text{max}}$  之间。 $n_{\text{nominal}}$  为发动机最大功率时的转速, $n_{\text{max}}$  为发动机最大安全转速。

评估试验持续时间,应考虑不同的转速分布和车辆寿命。所有可利用的转速分布表明,转速范围从  $0.9n_{\text{nominal}}$  到  $n_{\text{max}}$  之间一般是不常使用的。

本部分选择三种分布:

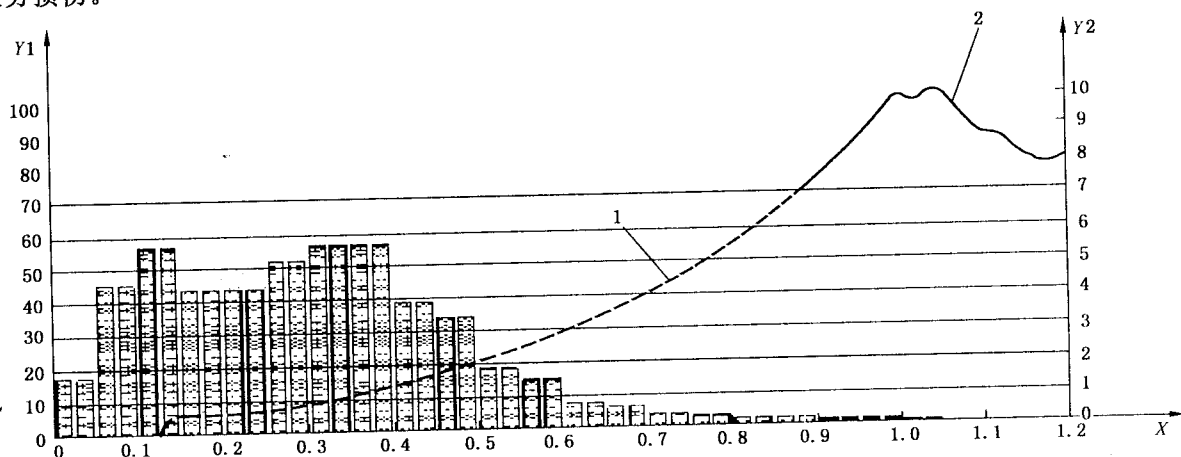
- a) SAE 出版物(可参考 SAE 2005-01-1071)的转速分布。其中调查了 55 辆车(70 000 km,10 000 次往返)。
- b) 在温度测量期间记录下来的达到很高温度的“最不利情况”的转速分布,这时车辆工作的转速非常高。
- c) 一种有利的分布,组成如下:



- 1) SAE 出版物=80%;
- 2) “最不利情况”=20%。

这就导出转速范围从  $0.9n_{\text{nominal}}$  到  $n_{\text{max}}$  之间的 0.5% 相对分布。每个轴向试验 22 h, 相当于车辆 4 400 h 的寿命, 若平均时速为 40 km/h, 则表示 176 000 km 里程。考虑到其他寿命, 里程和转速分布情况, 允许试验工程师适当地改变试验持续时间。

根据实际情况建议每个轴向最长的试验时间为 100 h。这段时间对于多数振动环境容易达到等效疲劳损伤。



其中:

X——r/min— $n_{\text{nominal}}$ ;

Y1——r. m. s. —%;

Y2——r/min—概率(有利分布), %;

1——对应转速  $n \leq 0.9n_{\text{nominal}}$  的 r. m. s. 量级;

2——对应转速  $n > 0.9n_{\text{nominal}}$  的 r. m. s. 量级。

图 A.1 加速度量级 r. m. s. 和 r/min 分布与发动机转速的对应

表 A.2 加速度量级 r. m. s. 和 r/min 分布与发动机转速的对应

$n/n_{\text{nominal}}$	r. m. s. 量级对应 r/min %	r/min 概率 <sup>a</sup> ( $p_x$ ) %	r/min 概率 <sup>b</sup> ( $p'_x$ ) %	有利的 r/min 分布 <sup>c</sup> ( $20p_x + 80p'_x$ )/100
0.050	—	0.56	2.14	1.82
0.075	—	0.56	2.14	1.82
0.100	—	0.02	5.69	4.56
0.125	—	0.02	5.69	4.56
0.150	7.0	8.00	5.09	5.67
0.175	6.3	8.00	5.09	5.67
0.200	6.1	5.75	4.04	4.38
0.225	7.2	5.75	4.04	4.38
0.250	7.4	3.06	4.73	4.40
0.275	8.4	3.06	4.73	4.40

表 A.2 (续)

$n/n_{\text{nominal}}$	r. m. s. 量级对应 r/min %	r/min 概率 <sup>a</sup> ( $p_x$ ) %	r/min 概率 <sup>b</sup> ( $p'_x$ ) %	有利的 r/min 分布 <sup>c</sup> ( $20p_x + 80p'_x$ )/100
0.300	10	4.70	5.31	5.19
0.325	11	4.70	5.31	5.19
0.350	12	5.69	5.61	5.62
0.375	13	5.69	5.61	5.62
0.400	14	5.06	5.72	5.59
0.425	15	5.06	5.72	5.59
0.450	17	3.95	3.85	3.87
0.475	18	3.95	3.85	3.87
0.500	20	3.23	3.48	3.43
0.525	22	3.23	3.48	3.43
0.550	24	2.26	1.71	1.82
0.575	26	2.26	1.71	1.82
0.600	29	1.56	1.39	1.42
0.625	31	1.56	1.39	1.42
0.650	34	1.34	0.55	0.71
0.675	36	1.34	0.55	0.71
0.700	39	1.20	0.39	0.55
0.725	42	1.20	0.39	0.55
0.750	46	1.00	0.19	0.35
0.775	50	1.00	0.19	0.35
0.800	54	0.79	0.09	0.23
0.825	59	0.79	0.09	0.23
0.850	63	0.57	0.03	0.14
0.875	67	0.57	0.03	0.14
0.900	72	0.40	0.01	0.08
0.925	77	0.40	0.01	0.08
0.950	84	0.31	0.00	0.06
0.975	90	0.31	0.00	0.06
1.000	98	0.22	0.00	0.04
1.025	96	0.22	0.00	0.04
1.050	100	0.19	0.00	0.04
1.075	92	0.19	0.00	0.04

表 A.2 (续)

$n/n_{\text{nominal}}$	r. m. s. 量级对应 r/min %	r/min 概率 <sup>a</sup> ( $p_x$ ) %	r/min 概率 <sup>b</sup> ( $p'_x$ ) %	有利的 r/min 分布 <sup>c</sup> ( $20p_x + 80p'_x$ )/100
1.100	86	0.06	0.00	0.01
1.125	85	0.06	0.00	0.01
1.150	79	0.04	0.00	0.01
1.175	77	0.04	0.00	0.01
1.200	79	0.02	0.00	0.00
1.225	79	0.02	0.00	0.00

<sup>a</sup> “最不利情况”分布；  
<sup>b</sup> SAE 出版物；  
<sup>c</sup> 累加有利的 r/min 分布 ( $n > 0.9n_{\text{nominal}}$ ) 是 0.5%；22 h 的试验持续时间相当于在车辆上 4 400 h。

## A.5 疲劳计算

### A.5.1 乘用车、车身安装(弹性体)示例

验证 8 h 的随机振动试验是否足以覆盖该车寿命期间的应力。

注：测量和计算在一个 ECU 上进行。目的是给出一个例子，所提供的方法对 ECU 和车身安装部件均无限制。

### A.5.2 步骤

A.5.2.1 在进行道路行驶试验(道路颠簸)的车辆上做振动测量。对 ECU 进行随机振动试验时，至少设置 2 个测量点。一个点在 ECU 的安装位置(输入或者激励)，一个点测量印刷电路板(PCB)的响应。

A.5.2.2 在测量期间通过周期计算方法确定在 PCB 上的负荷分布(见 A.5.5、A.5.6 和图 A.2)。

A.5.2.3 选择汽车寿命周期和“劣质道路百分数”(二者均为选择的参数)。

A.5.2.4 将下列因子与计数结果相乘计算预期的 PCB 负荷的分布：

——试验时持续时间/测量次数；

——车辆寿命×劣质道路百分数/车辆上测量时间。

A.5.2.5 这种新的负荷分布用于计算疲劳极限，该计算是基于出现 1 个损坏：

——Woehler 假定和 Haibach 修正。和

——线性损害累积的 Palmgren—Miner 假设”(详见 A.5.7 和图 A.3)。

——表 A.5 所示的疲劳计算简略结果作为应力不同模式对应的负荷循环数(S/N 模式)。

### A.5.3 结论

#### A.5.3.1 概述

选择示例的结果显示：8 h 试验持续时间试验结果的应力(疲劳极限)比车辆 5 400 h 道路行驶试验应力高大约 1.7(1.37~2.06)倍。这样的测量和计算已经在许多方面应用了 20 年以上，结果始终是相近的，8 h 的试验持续时间确认是足够的。

表 A.2 (续)

$n/n_{\text{nominal}}$	r. m. s. 量级对应 r/min %	r/min 概率 <sup>a</sup> ( $p_x$ ) %	r/min 概率 <sup>b</sup> ( $p'_x$ ) %	有利的 r/min 分布 <sup>c</sup> ( $20p_x + 80p'_x$ )/100
1.100	86	0.06	0.00	0.01
1.125	85	0.06	0.00	0.01
1.150	79	0.04	0.00	0.01
1.175	77	0.04	0.00	0.01
1.200	79	0.02	0.00	0.00
1.225	79	0.02	0.00	0.00

<sup>a</sup> “最不利情况”分布；  
<sup>b</sup> SAE 出版物；  
<sup>c</sup> 累加有利的 r/min 分布 ( $n > 0.9n_{\text{nominal}}$ ) 是 0.5%；22 h 的试验持续时间相当于在车辆上 4 400 h。

## A.5 疲劳计算

### A.5.1 乘用车、车身安装(弹性体)示例

验证 8 h 的随机振动试验是否足以覆盖该车寿命期间的应力。

注：测量和计算在一个 ECU 上进行。目的是给出一个例子，所提供的方法对 ECU 和车身安装部件均无限制。

### A.5.2 步骤

A.5.2.1 在进行道路行驶试验(道路颠簸)的车辆上做振动测量。对 ECU 进行随机振动试验时，至少设置 2 个测量点。一个点在 ECU 的安装位置(输入或者激励)，一个点测量印刷电路板(PCB)的响应。

A.5.2.2 在测量期间通过周期计算方法确定在 PCB 上的负荷分布(见 A.5.5、A.5.6 和图 A.2)。

A.5.2.3 选择汽车寿命周期和“劣质道路百分数”(二者均为选择的参数)。

A.5.2.4 将下列因子与计数结果相乘计算预期的 PCB 负荷的分布：

——试验时持续时间/测量次数；

——车辆寿命×劣质道路百分数/车辆上测量时间。

A.5.2.5 这种新的负荷分布用于计算疲劳极限，该计算是基于出现 1 个损坏：

——Woehler 假定和 Haibach 修正。和

——线性损害累积的 Palmgren—Miner 假设”(详见 A.5.7 和图 A.3)。

——表 A.5 所示的疲劳计算简略结果作为应力不同模式对应的负荷循环数(S/N 模式)。

### A.5.3 结论

#### A.5.3.1 概述

选择示例的结果显示：8 h 试验持续时间试验结果的应力(疲劳极限)比车辆 5 400 h 道路行驶试验应力高大约 1.7(1.37~2.06)倍。这样的测量和计算已经在许多方面应用了 20 年以上，结果始终是相近的，8 h 的试验持续时间确认是足够的。

## A.5.3.2 附加证明

根据野外场地经验,在 20 多年时间内还没有经历因为振动而引起的失效。选择试验场和劣质的公共道路测量之间进行比较,证明试验场比劣质的公共道路严酷得多。

选择的参数(6 000 h 的车辆寿命,90%的劣质道路部分)绝对是最坏的情况。通常采用小于劣质道路 50%的部分进行计算。

## A.5.4 试验参数

试验参数如下:

- 试验设备: 电动振动台;
- 安装: ECU 牢固地固定在振动台面上;
- 控制点: 在振动台面上;
- 方向: C,垂直于 PCB 方向;
- 加速度 r. m. s. 值:  $33 \text{ m/s}^2$ ;
- 试验谱: 见表 A.3。

表 A.3 随机振动试验(示例)参数

频率 Hz	PSD <sup>a</sup> ( $\text{m/s}^2$ ) <sup>2</sup> /Hz
10	20
30	20
200	0.5
1 000	0.1

<sup>a</sup> 选择的谱密度与 4.1.2.4.2 中有些细微的不同,在 ECU 的共振点上(大约 600 Hz)差异是可以忽略的。

## A.5.5 结果

表 A.4 显示的试验结果基于下列参数:

- 负荷分布通过 19.91 s 的测量,对 8 h 试验的计算。
- 负荷分布通过用 3.69 s 在粗糙路面(道路颠簸,50 km/h)的测量,对 5 400 h 试验的计算(车辆寿命 6 000 h,粗糙道路占 90%)。

表 A.4 试验结果

8 h 随机振动试验		5 400 h 劣质道路行驶	
加速度量级 $a_i$ $\text{m/s}^2$	每个量级周期数 $n_i$	加速度量级 $a_i$ $\text{m/s}^2$	每个量级周期数 $n_i$
403.4	6 509	129.4	2 636 719
377.4	9 402	112.7	2 636 719
351.3	18 082	104.4	7 910 156
325.3	43 396	96.04	5 273 438
299.3	104 150	87.69	7 910 156
273.3	203 237	79.34	7 910 156
247.2	434 680	70.99	7 910 156

表 A.4 (续)

8 h 随机振动试验		5 400 h 劣质道路行驶	
加速度量级 $a_i$ m/s <sup>2</sup>	每个量级周期数 $n_i$	加速度量级 $a_i$ m/s <sup>2</sup>	每个量级周期数 $n_i$
221.2	721 815	62.64	18 457 031
195.2	1 160 835	54.28	10 546 875
169.2	1 595 516	45.93	47 460 938
143.1	2 104 692	37.58	84 375 000
117.1	2 438 116	29.23	152 929 688
91.09	2 606 636	20.88	271 582 031
65.06	2 345 538	12.53	690 820 313

表 A.5 不同 S/N 模式疲劳计算的简单结果

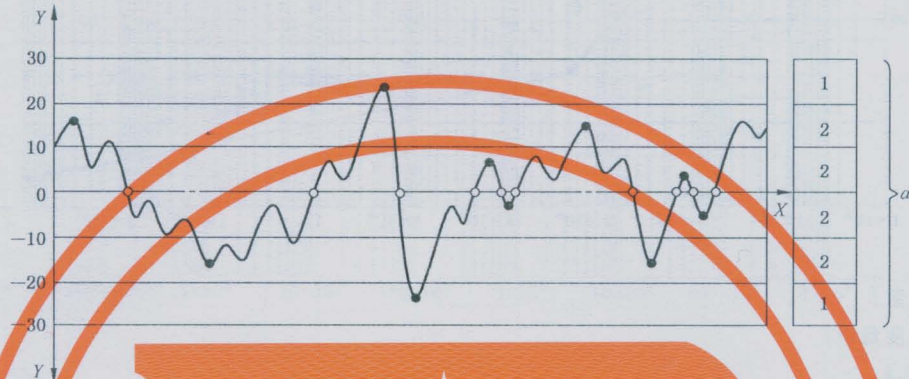
S/N 模式疲劳周期	S/N 模式曲线的斜率 $k$	假设	随机振动试验计算的疲劳水平 (24“S/N 模式”) m/s <sup>2</sup>	5 400 h 劣质道路行驶必需的疲劳水平 (24“S/N 模式”) m/s <sup>2</sup>	比较
2 000 000	3.5	Haibach	250	165	OK
		Miner	229	133	OK
	5	Haibach	246	144	OK
		Miner	236	131	OK
	7	Haibach	252	136	OK
		Miner	249	130	OK
10	Haibach	267	132	OK	
	Miner	266	130	OK	
10 000 000	3.5	Haibach	173	126	OK
		Miner	169	112	OK
	5	Haibach	187	118	OK
		Miner	184	112	OK
	7	Haibach	205	116	OK
		Miner	203	113	OK
10	Haibach	229	117	OK	
	Miner	229	115	OK	
50 000 000	3.5	Haibach	112	91	OK
		Miner	112	87	OK
	5	Haibach	137	93	OK
		Miner	137	91	OK
	7	Haibach	164	97	OK
		Miner	164	96	OK
10	Haibach	196	102	OK	
	Miner	196	101	OK	

A.5.6 通过时间历史记录的测量确定负荷分布

在2个过零点之间有一个最大值。在每个加速度量级对测量时间内最大值的个数进行计数。这种计算方法的结果给出各个级别半个周期数,或者说,根据时间历史记录确定负荷分布。

通过每个量级的(试验时间/测量时间)因子获得试验期间的负荷分布,即 $(8h \times 3600 s/h) / 19.9 s = 1477$ 。

通过每个量级的(汽车寿命×劣质路面的百分数/测量时间)因子获得试验期间的负荷分布,即 $(6000 h \times 0.9 \times 3600 s/h) / 3.69 s = 5268293$ 。



其中:  
 X——时间;  
 Y——量级,  $m/s^2$ ;  
 a——各振级半周期数。

图 A.2 负荷分布的计算方法

A.5.7 疲劳极限的计算

为确定疲劳极限  $a_D$ , 选择 S/N 模式。S/N 模式通过斜率  $k$  和疲劳数  $N_D$  描述。然后选择任意值为  $a_D$  的初始值。

选择 S/N 模式, 可以计算出对应每个振级  $a_i$  的失效循环数  $N_i$  及相应的循环数  $n_i$ 。

符合 Palmgren—Miner 假设, 在每一振级  $a_i$ , 局部损坏  $s_i$ , 由下述公式确定:

$$s_i = \frac{n_i}{N_i}$$

整体损坏 S, 由下述公式确定:

$$S = \sum s_i$$

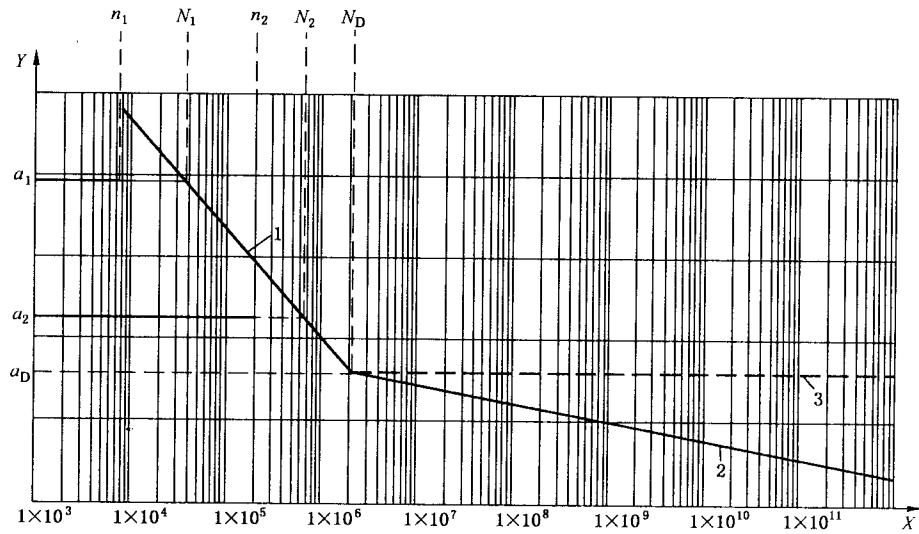
$S \geq 1$  定义为损坏发生。

任意选择  $a_D$  的初始值, 损坏(S)将小于1或大于1。反复选择  $a_D$ , 直到有1个损坏发生,  $a_D$  值就被确定。

没有非常广泛地调查和试验, 不可能知道选择的 S/N 模式是否实际。因此, 覆盖宽范围的 S/N 参数是有意义的。常用的有24种模式(“2种不同的假设”、“4种斜率  $k$ ”、“3种疲劳极限周期  $N_D$ ”)。

即使其中的一些模式是不实际的, 还会有其他的模式。24模式中希望至少有一种模式是贴近实际的。无论如何, 只要对两种情况(车辆和试验)采用同样的模式或者假设, 尽管不尽合理, 比较的实质不会产生太大影响, 因为在比较中, 有些错误的假设会被补偿。

如果所有24个试验获得的  $a_D$  值均高于车辆需要值, 则该应力是被允许的。所选择示例的负荷分布和对应 S/N 图(1个模式)如表 A.6 和图 A.3 所示。



其中：

X——周期数；

Y——加速度量级；

1——斜率,  $k$ ；

2——Haibach 修正斜率  $2k-1$ ；

3——Palmgren—Miner。

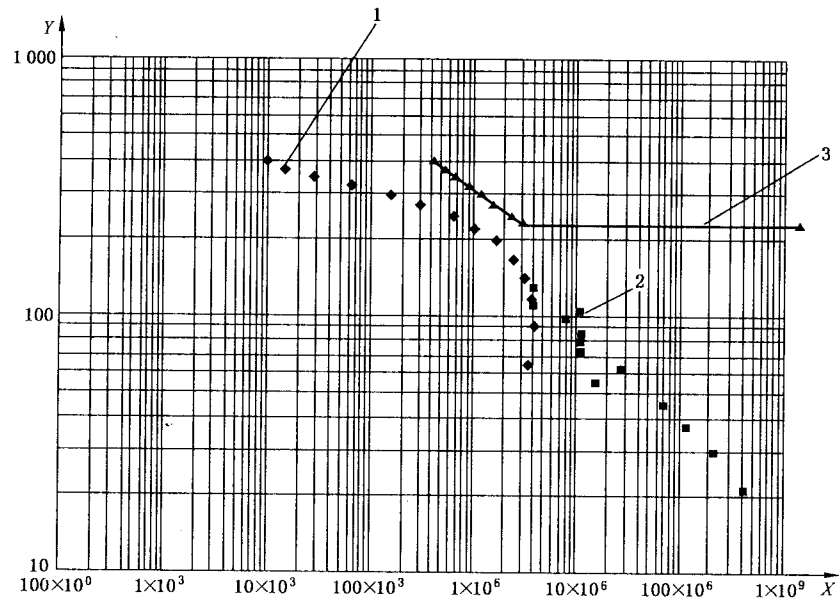
$$S = \sum \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1$$

图 A.3 Palmgren—Miner 假设—线性损坏累积 S

表 A.6 随机振动试验和试验场测量负荷分布的比较

随机振动试验 (8 h)		对应 S/N 模式曲线图 ( $2 \times 10^6, k=5, a_D=229 \text{ m/s}^2$ )		车辆测量, 颠簸道路 (5 400 h)	
加速度 $\text{m/s}^2$	周期数 $n$	加速度 $\text{m/s}^2$	S/N 周期数 $n$	加速度 $\text{m/s}^2$	S/N 周期数 $n$
403.40	6 509	403.4	276 718	129.40	2 636 719
377.40	9 402	377.4	349 387	112.70	2 636 719
351.30	18 082	351.3	448 993	1 004.4	7 910 156
325.30	43 396	325.30	587 650	96.04	5 273 438
299.30	104 150	299.3	786 574	87.69	7 910 156
273.30	203 237	273.3	1 081 121	79.34	7 910 156
247.20	434 680	247.2	1 536 185	70.99	7 910 156
221.20	721 815	229.0	2 000 000	62.64	18 457 031
195.20	1 160 835	229.0	1 000 000 000	54.28	10 546 875
169.20	1 595 516	—	—	45.93	47 460 938
143.10	2 104 692	—	—	37.58	84 375 000
117.10	2 438 116	—	—	29.23	152 929 688
91.09	2 606 636	—	—	20.88	271 582 031
65.06	2 345 538	—	—	12.53	690 820 313
39.04	1 823 343	—	—	4.176	3 158 789 063





其中:

X——周期数;

Y——加速度,  $\text{m/s}^2$ ;

1——随机振动试验(8 h);

2——车辆测量;

3——随机振动试验对应的沃勒(Woehler)曲线图( $2 \times 10^6$ 、 $k=5$ 、 $a_D=229\text{m/s}^2$ )。

图 A.4 负荷分布和 S/N 曲线(一种模式)

## 附录 B

(资料性附录)

## 按设备安装位置推荐的机械要求

表 B.1 给出了根据设备安装位置推荐的机械要求。

表 B.1 安装位置

安装位置		推荐的试验和要求代码		
		乘用车	商用车	
发动机舱	车身	D,K		
	车架	K,L		
	非刚性连接的柔性进气管上	C		
	非刚性连接的柔性进气管内	C		
	在发动机上	A,B,J		
	在发动机内	A,B,J		
	变速器/减速器上	U,V		
	变速器/减速器内	U,V		
乘客舱	无特殊要求	D,E,K,L		
	太阳直射处	D,E,K,L		
	热辐射处	D,E,K,L		
行李舱/货舱	舱内	D,E,K,L		
装在外部	车身	D,E,K,L		
	车架	K		
	底盘/轮毂	簧上	D,E,K,L	
		簧下	H,I,O,T	
	乘客舱车门内/上	F,G,R,S		
	发动机舱盖	F,G,R,S		
	行李舱盖/门	F,G,R,S		
	箱体盖/门	F,G,R,S		
	腔体内	朝外	D,E,K,L	
		朝内	D,E,K,L	
	专用舱内	D,E,K,L		