



官方微信号:Jcaae-com
官方QQ群:7234594
官方网址:www.jcaae.com

中华人民共和国国家标准

UDC 625.711.3

车辆振动输入 路面平度表示方法

.03: 656.1

Vehicle vibration—Describing method GB 7031—86

For road surface irregularity

本标准规定了车辆道路纵断面平度测量数据的表示方法和路面分级标准。使以各种不同的测量设备在各种不同路面上的测量及分析结果有一个可以比较的统一标准。

本标准不规定测量时使用的设备和测量方法。

本标准规定的是基本方法，不限制其他的表示方法。

1 应用范围

本标准适用于车辆（不含轨道车辆）行驶的各种路面和越野地面。

2 符号

n_0 : 参考空间频率, $n_0 = 0.1\text{m}^{-1}$

n_c : 各倍频带的中心频率, m^{-1}

B_c : 频率分辨率, m^{-1}

$\lambda = \frac{1}{n}$: 波长, m

$G_{d,i}(n)$: 第 i 道位移功率谱密度, m^2/m^{-1}

$G_{v,i}(n)$: 第 i 道速度功率谱密度, m

$G_{a,i}(n)$: 第 i 道加速度功率谱密度, m^{-1}

$G_{d,j,i}(n)$: 第 i 道与第 j 道之间的位移互谱密度, m^2/m^{-1}

$G_{v,j,i}(n)$: 第 i 道与第 j 道之间的速度互谱密度, m

$G_{a,j,i}(n)$: 第 i 道与第 j 道之间的加速度互谱密度, m^{-1}

$r_{j,i}^2(n)$: 相干函数

$i, j = 1, 2, 3, \dots$

当仅测一道时, 下标 i 不标

$G_i(n_0)$: 路面平度系数



官方微信号:Jcaae-com
 官方QQ群:7234594
 官方网址:www.jcaae.com

3 路面功率谱密度

本标准主要采用路面功率谱密度描述路面平度的统计特性。

3.1 单道数据

3.1.1 位移功率谱密度, $G_d(n)$

单道路面平度的统计特性建议采用垂直位移单边功率谱密度 $G_d(n)$ 描述,其图形的纵坐标 $G_d(n)$ 和横坐标 n ,均以对数表示。

可采用速度功率谱密度 $G_v(n)$ 和加速度功率谱密度 $G_a(n)$ 作为补充描述。它们与位移功率

谱密度 $G_d(n)$ 的关系如下:

$$G_v(n) = (2\pi n)^2 G_d(n) \dots\dots\dots (1)$$

$$G_a(n) = (2\pi n)^4 G_d(n) \dots\dots\dots (2)$$

3.1.2 功率谱密度的光滑

功率谱密度应进行光滑计算,建议采用总体平均和不同倍频带的光滑计算(见附录A)。

3.2 多道数据

多道路面平度的统计特性,以各单道的功率谱密度函数和他们之间的互功率谱密度函数或相干函数来描述。相干函数公式为:

$$r_{j,k}^2(n) = \frac{|G_{j,k}(n)|^2}{G_j(n) \cdot G_k(n)} \dots\dots\dots (3)$$

4 功率谱密度曲线拟合

为得到功率谱密度的表达式,需要进行曲线拟合。

4.1 位移功率谱密度的拟合表达式建议采用下式:

$$G_d(n) = G_d(n_c) \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-W} \quad n > 0 \dots\dots\dots (4)$$

可以多段拟和,但不应超过4段。

4.2 拟合曲线和功率谱密度曲线应画在同一张图上,并说明拟合的区间,拟合



官方微信号:Jcaae-com
 官方QQ群:7234594
 官方网址:www.jcaae.com

的方程，拟合的剩余标准差。

5 路面分级标准

按功率谱密度把路面分为八级。

表 1 规定了各种路面的平度系数值范围及其几何平均值。

表 2 说明了各种倍频中心频率下各种路面的平度系数范围及其几何平均值。

图 1 为路面平度分级图。

表 1

路面等级	路面平度系数 $G_d(n_0) \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{m}^{-1} \quad n_0 = 0.1 \text{m}^{-1}$		
	下限	几何平均	上限
A	8	16	32
B	32	64	128
C	128	256	512
D	512	1 024	2 048
E	2 048	4 096	8 192
F	8 192	16 384	32 768
G	32 768	65 536	131 072
H	131 072	262 144	524 288



官方微信号:Jcaae-com
官方QQ群:7234594
官方网址:www.jcaae.com

表 2

路面等级	Gd(nc) 10 ⁻⁶ m ² / m ⁻¹	各倍频中心频率, nc (m ⁻¹)									
		0.0078	0.0156	0.0312	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000
A	几何平均	2621	655	164	41.0	10.2	2.56	0.64	0.16	0.04	0.010
	上限	5243	1311	328	81.9	20.5	5.12	1.28	0.32	0.08	0.020
B	下限	5243	1311	328	81.9	20.0	5.12	1.28	0.32	0.08	0.020
	几何平均	10486	2621	655	163.8	41.0	10.24	2.56	0.64	0.16	0.040
C	上限	20972	5243	1311	327.7	81.9	20.48	5.12	1.28	0.32	0.080
	下限	20972	5243	1311	327.7	81.9	20.48	5.12	1.28	0.32	0.080
D	几何平均	41943	10486	2621	655.4	163.8	40.96	10.24	2.56	0.64	0.160
	上限	83886	20972	5243	1310.7	327.7	81.92	20.48	5.12	1.28	0.320
E	下限	83886	20972	5243	1310.7	327.7	81.92	20.48	5.12	1.28	0.320
	几何平均	167772	41943	10486	2621.4	655.4	163.84	40.96	10.24	2.56	0.640
F	上限	335544	83886	20972	5242.9	1310.7	327.68	81.92	20.48	5.12	1.280
	下限	335544	83886	20972	5242.9	1310.7	327.68	81.92	20.48	5.12	1.280
G	几何平均	671089	167772	41943	10485.8	2621.4	655.36	163.84	40.96	10.24	2.560
	上限	1342177	335544	83886	20917.5	5242.9	1310.72	327.68	81.92	20.48	5.120
H	下限	1342177	335544	83886	20917.5	5242.9	1310.72	327.68	81.92	20.48	5.120
	几何平均	2684354	671089	167772	41943.0	10485.8	2621.44	655.36	163.84	40.96	10.240
I	上限	5368709	1342177	335544	83886.1	20971.5	5242.88	1310.72	327.68	81.92	20.480
	下限	5368719	1342177	335544	83886.1	20971.5	5242.88	1310.72	327.68	81.92	20.480
J	几何平均	10737417	2684354	671089	16772.1	41943.0	10485.76	2621.44	655.36	163.84	40.960
	上限	21474834	5368709	1342177	335544.3	83886.1	20971.52	5242.88	1310.72	327.68	81.920
K	下限	21474834	5368709	1342177	335544.3	83886.1	20971.52	5242.88	1310.72	327.68	81.920
	几何平均	42949668	10737417	2684354	671088.6	167772.1	41943.04	10485.76	2621.44	655.36	163.840



官方微信号:jcaae-com
官方QQ群:7234594
官方网址:www.jcaae.com

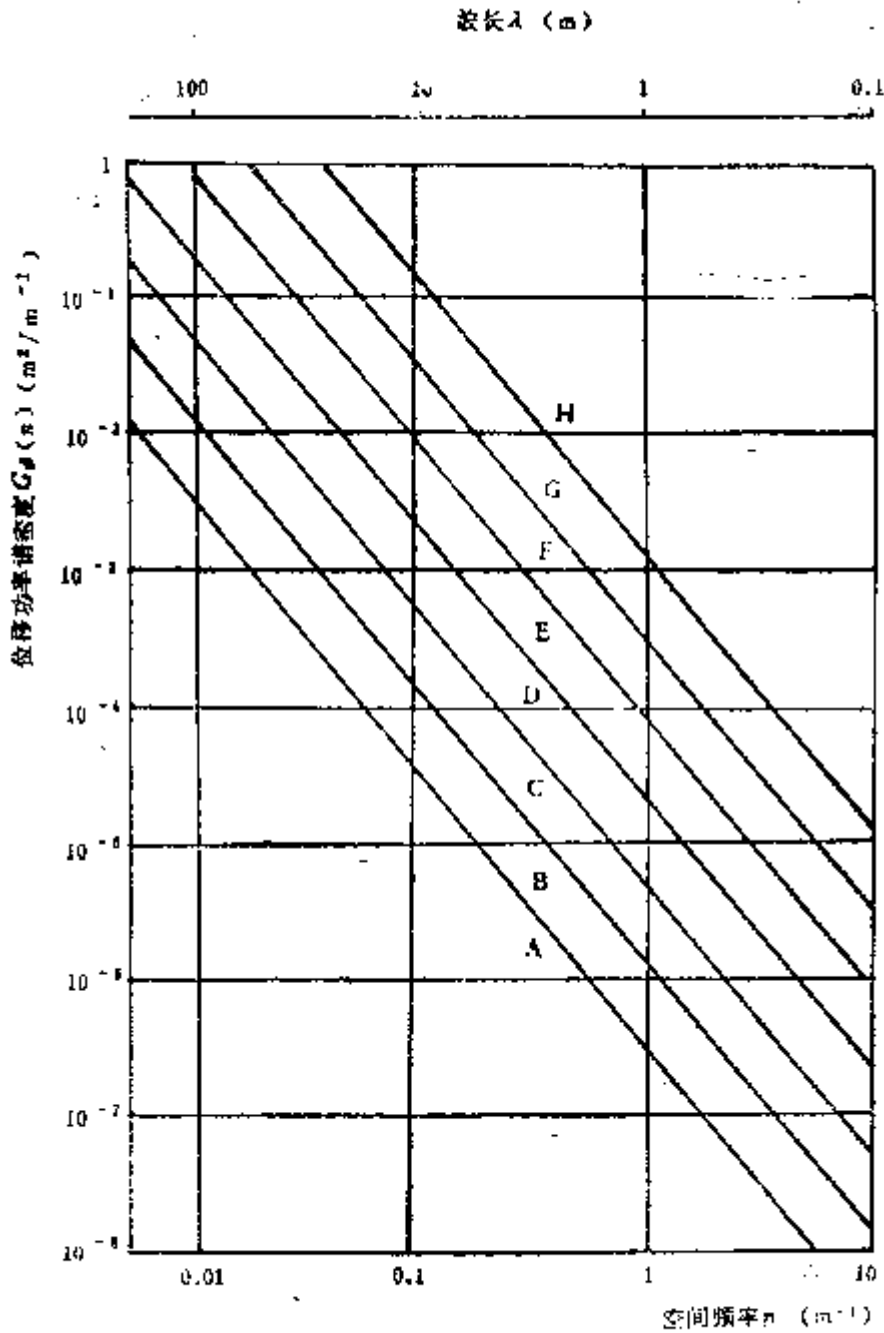


图1 路面平整度分级图

6 路面平整度的测量与分析报告

报告应包括以下内容。

6.1 测量说明

6.1.1 测量日期

6.1.2 测量仪器说明



官方微信号:Jcaae-com
官方QQ群:7234594
官方网址:www.jcaae.com

由于测量设备与方法将影响测量结果，所以要求说明测量方法和测量设备的某些特性。

6. 1. 2. 1 测量系统的简介（测量机构、传感器）。

6. 1. 2. 2 测量系统的流程。

6. 1. 2. 3 与数据记录有关滤波器的截止频率及倍频衰减率。

6. 1. 3 路面和地形的说明

6. 1. 3. 1 测量路面的地点和路线、路段、方向。

6. 1. 3. 2 路面面层的类型：沥青路面、水泥混凝土路面、石料路面、土路面等。

6. 1. 3. 3 路面状况

a. 一般情况：如修筑年份，形成过程，养护情况，坚实程度、以及弯道半径等。

b. 路拱变形：完整、中等变形，严重变形。

c. 裂缝：横向与纵向裂缝、网裂、龟裂。

d. 车辙、推移或松散、剥落。

6. 1. 3. 4 路面照片

6. 1. 3. 5 测量迹道的数目、位置和间距。

6. 2 数据处理的有关参数说明

6. 2. 1 采用模拟分析方法还是数字分析方法。

6. 2. 2 预处理滤波器的截止频率和倍频衰减率。

6. 2. 3 计算的分辩带宽

当处理过程中带宽改变时（例如频率光滑）需另加说明。

6. 2. 4 分析的实际路长，m。

6. 2. 5 功率谱密度估计的精度（见附录 B）。



官方微信号:Jcaae-com
官方QQ群:7234594
官方网址:www.jcaae.com

-
- 6. 2. 6 给出谱估计前的时域总方差和频域总方差。
 - 6. 2. 7 谱分析的具体方法（例如快速富里哀变换，连续数字滤波等）。
 - 6. 2. 8 采样间距
 - 6. 2. 9 窗函数和相应的参数。
 - 6. 3 功率谱密度曲线图
 - 6. 3. 1 单道功率谱密度曲线图

单道功率谱密度曲线应是经过平滑处理的曲线图。

- 6. 3. 2 多道功率谱密度曲线图

多道数据的各单道功率谱密度曲线图按 6. 3. 1 规定，同时绘制相干函数或互功率谱密度曲线图，并注明双迹间距。

附 录 A

功率谱密度的光滑（附倍频程特性）

（参考件）

A. 1 功率谱密度的光滑

双对数坐标表示的不变带宽的非光滑功率谱密度在高频部分出现强烈的波动。在三种倍频带内作功率的光滑计算，可以得到光滑功率谱密度函数。

光滑计算时的频带划分区间：

倍频带（表 A1）：从最低频（零频除外）到中心频率 0.0312^{-1} ；

1/3 倍频带（表 A2）：从倍频带的末尾值到中心频率 0.25m^{-1} ；

1/12 倍频带（表 A3）；从 0.2726m^{-1} 到最高计算频率。



官方微信号:Jcaae-com
 官方QQ群:7234594
 官方网址:www.jcaae.com

注：在1/12倍频带的最低频和1/3倍频带的最高频之间有少许重叠，目的是使在1/12倍频带中的 n_c 出现0.5, 1, 2, 4的值，这样为计算频率特性提供了方便。

表 A1

EXP	倍 频 带 宽		
	n_1 m^{-1}	n_c m^{-1}	n_h m^{-1}
-9,000	0,0011	0,0020	0,0028
-8,000	0,0028	0,0039	0,0055
-7,000	0,0055	0,0078	0,0110
-6,000	0,0110	0,0156	0,0221
-5,000	0,0221	0,0312	0,0442

表 A2

EXP	1/3 倍 频 带 宽		
	n_1 m^{-1}	n_c m^{-1}	n_h m^{-1}
-4,333	0,0442	0,0496	0,0557
-4,000	0,0557	0,0625	0,0702
-3,667	0,0702	0,0787	0,0884
-3,333	0,0884	0,0992	0,1114
-3,000	0,1114	0,1250	0,1403
-2,667	0,1403	0,1575	0,1768
-2,333	0,1768	0,1981	0,2227
-2,000	0,2227	0,2500	0,2806



官方微信号:jcaae-com

官方QQ群:7234594

官方网址:www.jcaae.com

表 A3

EXP	1/12 倍 频 带 宽		
	n_1 m^{-1}	n_c m^{-1}	n_b m^{-1}
-1.833	0.2726	0.2806	0.2888
-1.750	0.2888	0.2973	0.3060
-1.667	0.3060	0.3150	0.3242
-1.583	0.3242	0.3337	0.3435
-1.500	0.3435	0.3536	0.3639
-1.417	0.3639	0.3746	0.3856
-1.333	0.3856	0.3969	0.4085
-1.250	0.4085	0.4204	0.4328
-1.167	0.4328	0.4454	0.4585
-1.083	0.4585	0.4719	0.4858
-1.000	0.4858	0.5000	0.5147
-0.917	0.5147	0.5297	0.5453
-0.833	0.5453	0.5612	0.5777
-0.750	0.5777	0.5946	0.6120
-0.667	0.6120	0.6300	0.6484
-0.583	0.6484	0.6674	0.6870
-0.500	0.6870	0.7071	0.7278
-0.417	0.7278	0.7492	0.7711
-0.333	0.7711	0.7937	0.8170
-0.250	0.8170	0.8409	0.8655
-0.167	0.8655	0.8909	0.9170
-0.083	0.9170	0.9439	0.9715
0.000	0.9715	1.0000	1.0293
0.083	1.0293	1.0595	1.0905
0.167	1.0905	1.1225	1.1554
0.250	1.1554	1.1892	1.2241
0.333	1.2241	1.2599	1.2968
0.417	1.2968	1.3348	1.3740
0.500	1.3740	1.4142	1.4557
0.583	1.4557	1.4983	1.5422



官方微信号:Jcaae-com

官方QQ群:7234594

官方网址:www.jcaae.com

续表 A3

1/12 倍 频 带 宽			
EXP	n_1 m^{-1}	n_c m^{-1}	n_h m^{-1}
0.667	1.5422	1.5874	1.6339
0.750	1.6339	1.6818	1.7311
0.833	1.7311	1.7818	1.8340
0.917	1.8340	1.8877	1.9431
1.000	1.9431	2.0000	2.0586
1.083	2.0586	2.1189	2.1810
1.167	2.1810	2.2449	2.3167
1.250	2.3167	2.3784	2.4481
1.333	2.4481	2.5198	2.5937
1.417	2.5937	2.6697	2.7479
1.500	2.7479	2.8284	2.9113
1.583	2.9113	2.9966	3.0844
1.667	3.0844	3.1748	3.2678
1.750	3.2678	3.3636	3.4621
1.833	3.4621	3.5636	3.6680
1.917	3.6680	3.7755	3.8861
2.000	3.8861	4.0000	4.1172
2.083	4.1172	4.2379	4.3260
2.167	4.3620	4.4898	4.6214
2.250	4.6214	4.7568	4.8962
2.333	4.8962	5.0397	5.1874
2.417	5.1874	5.3394	5.4958
2.500	5.4958	5.6569	5.8226
2.583	5.8226	5.9932	6.1688
2.667	6.1688	6.3496	6.5357
2.750	6.5357	6.7272	6.9243
2.833	6.9243	7.1272	7.3360
2.917	7.3360	7.5510	7.7723
3.000	7.7723	8.0000	8.2344



官方微信号:Jcaae-com
 官方QQ群:7234594
 官方网址:www.jcaae.com

A. 2 光滑计算公式为:

$$G_S(i) = \frac{[(n_L + 0.5) \cdot B_c - n_1(i)] \cdot G(n_1) + \sum_{j=n_{L-1}}^{n_{H-1}} G(j) \cdot B_c + [(n_k(i) - (n_H - 0.5) \cdot B_c) \cdot G(n_H)]}{n_k(i) - n_1(i)} \dots\dots\dots (A1)$$

式中: $G_S(i)$ ——在第 i 个带内的光滑功率谱密度;

$$n_H = \text{INT} \left(\frac{n_k(i)}{B_c} + 0.5 \right)$$

$$n_L = \text{INT} \left(-\frac{n_1(i)}{B_c} + 0.5 \right)$$

光滑计算用的中心频率和截止频率以空间频率 n 表示。

n_{1i} 下限频率;

n_{ci} 中心频率;

n_{ki} 上限频率;

$$n_0 = 2 \text{EXP}_0$$

附: 倍频特性 $G_d(n_c)$ 及其均方根值 $\text{RMS}n_c$ 。

把整个频带按倍频划分, 按附录A算出倍频程特性 $G_d(n_c)$ 。

各倍频带中心频率 n_c 处的均方根值 $\text{RMS}n_c$ 按下式计算:

$$\text{RMS}n_c = [G_d(n_c) \cdot (n_k - n_1)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (A2)$$

附录 B

功率谱密度估计的误差

(参考件)



B.1 标准化均方误差 ε^2

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \frac{E \{ (\hat{G}_d(n) - G_d(n))^2 \}}{G_d^2(n)} \\ &= \frac{1}{B_s L'} + \frac{B_s^4}{(24)^2} \left(\frac{G_d''(n)}{G_d(n)} \right)^2 \dots\dots\dots (B1) \\ &= \varepsilon_r^2 + \varepsilon_b^2 \end{aligned}$$

式中: $E \{ \quad \}$ —— $\{ \quad \}$ 的期望值;
 $G_d(n)$ —— 功率谱密度的真值;
 $G_d''(n)$ —— 功率谱密度真值的二阶导数;
 $\hat{G}_d(n)$ —— 功率谱密度的估计值;
 L' —— 功率谱估计时数据长度(m);

$\varepsilon_r^2 = \frac{1}{B_s L'}$ —— 标准化随机误差的方差;

$\varepsilon_b^2 = \frac{B_s^4}{(24)^2} \left(\frac{G_d''(n)}{G_d(n)} \right)^2$ —— 标准化偏度误差的平方。

(B1)式的平方根即为标准化均方根误差 ε 。

误差表达式有两个重要性质: 第一对分辨率 B_s 的要求是矛盾的。为了抑制偏度项 ε_b , 希望 B_s 的值小, 但为了减少随机误差 ε_r , 又希望加大 B_s 。第二随机误差 ε_r , 只牵涉到 B_s , 可以作为分析参数, 预先确定误差, 而偏度误差 ε_b , 除了 B_s 参数外, 还牵涉到未知因子 $G_d''(n)$, 需要根据数据性质的先验知识和判断。

B.2 标准化随机误差 ε_r

$$\varepsilon_r = \frac{1}{\sqrt{B_s \cdot L'}} \dots\dots\dots (B2)$$

当采用下述方法进行光滑处理时, 标准化随机误差以 ε_r' 表示,

a. 整体平均法:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r' &= \varepsilon_r \cdot (1/q)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (B3) \\ q &= L/L' \end{aligned}$$

式中: q —— 整体平均的块数;
 L —— 处理数据的总长度(m)。

b. 频率光滑法:

$$\varepsilon_r' = \varepsilon_r \cdot (1/r)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (B4)$$

式中: r —— 平均计算的频率分量的个数



官方微信号:Jcaae-com
 官方QQ群:7234594
 官方网址:www.jcaae.com

c. 组合光滑法:

$$\varepsilon_r' = \varepsilon_r \left(1 / (r \cdot q) \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (B5)$$

B.3 标准化偏度误差 ε_b

数据中的周期分量，在功率谱中表现为尖锐的峰值，使 $G_d''(n)$ 值增大。当存在偏度误差时，谱的估计值将低于真谱的峰值。

根据二阶系统的峰值特性，导出了计算公式：

$$\varepsilon_b = (1 - D) / D \dots\dots\dots (B6)$$

式中： $D = \hat{G}(n) / G(n) = \text{tg}^{-1} (B_1 / B_0) (B_0 / B_1)$

B_1 —— 功率谱实际峰值的半功率点带宽。

当不存在明显的周期分量时， ε_b 可以忽略。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械工业部提出，由中国汽车技术研究中心归口。

本标准由长春汽车研究所负责起草。