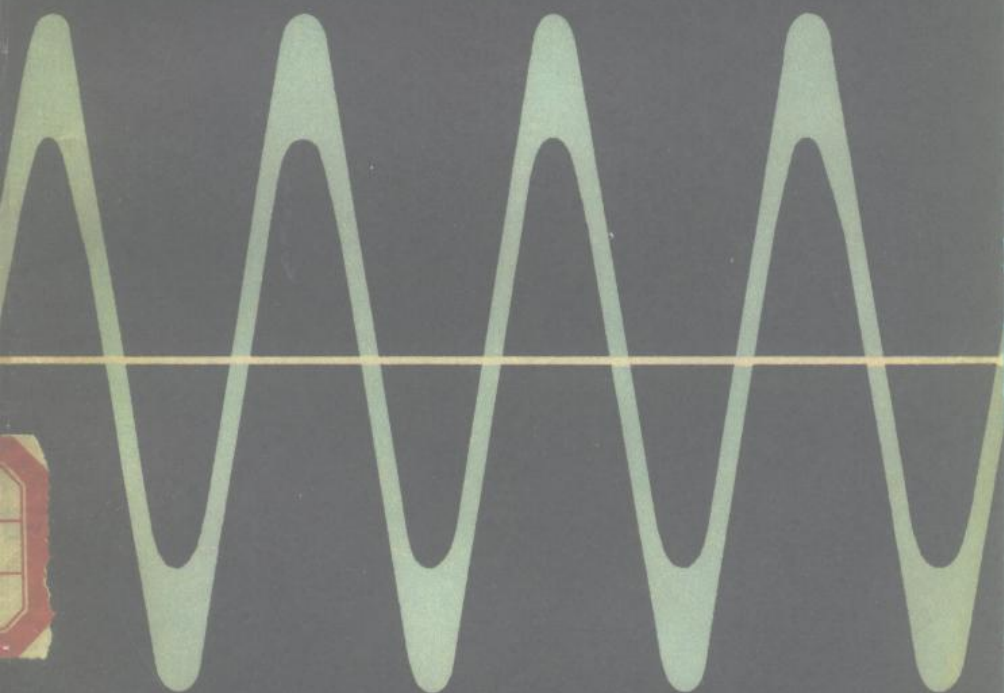


噪声与振动的控制

陈绎勤 编著



71.5-0
609
55

噪声与振动的控制

陈绎勤 编著

中国铁道出版社

1981年·北京

4011657

内 容 提 要

本书较详细地叙述了国内外噪声和振动的容许标准、降低噪声与振动的原理及具体的处理方法，并列举了一些计算例和解决噪声与振动问题的实例，可供从事噪声与振动控制工作的工程技术人员参考和应用。

噪声与振动的控制

陈绎勤 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 苏国镇

封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092₃₂ 印张：15 字数：336千

1981年7月 第1版 1981年7月 第1次印刷

印数：0001—7,000册 定价：1.55元

前 言

我国自解放以来，在党的领导下，工业企业得到了迅速的发展。同时，在生产上也带来了新的课题，这就是噪声和振动的控制问题。

为了保护工人身体健康不受噪声和振动的损害，提高劳动生产率和降低产品的废品率，关于工业企业包括铁路运输企业在内的噪声与振动的控制工作，急需迅速展开。这与我国社会主义四个现代化的早日实现有着极为密切的关系。

在噪声与振动的发作点加以控制，虽然是最为积极的措施，但实践表明，这并不是完全可能的。购置新的、噪声小的机组或机器进行生产，虽然比较理想，但更重要的是改造现有的机组或机器，因为这在经济上更为合算，也更为符合客观现实的需要。

噪声与振动的控制，其目的主要是适应生产和卫生方面的需要。对于控制的措施如何选择，几乎永远是依靠不断摸索和反复试验的手段，来求得生产率、减噪和减振的效果、以及所需费用这三者之间的平衡，而总结出最佳的折衷方案。

本书的编写，主要取材于国外文献中的先进技术，着重在解决噪声与振动中的实际问题，避免用很多篇幅作公式的数学推导，较多地介绍了一些计算例和噪声与振动控制的实例，以便从事这方面实际工作的科技人员参考引用。在某种程度上，也可以说这本书具有手册的性质。

这本书得以编写完成，首先是得到了中国科学院副院

4011657

长、铁道部科学研究院院长茅以升先生的大力支持,并承有关单位的同志向我提供了有益的资料,我谨表示衷心的感谢!

陈绎勤

1981年2月于太原工学院

目 录

第一章 噪声及其容许标准	1
§ 1. 概 述	1
§ 2. 噪声的传播和对于人体的影响	3
§ 3. 噪声的测量和分析	7
一、噪声的特性	7
二、人对于噪声干扰的主观感觉	12
三、响度级与响度的计算	13
四、对响度起决定性作用的倍频带的迅速校核法	16
五、声功率, 声功率级与声压级的计算	17
六、常用的噪声测量仪器	19
§ 4. 总噪声级的计算	22
§ 5. 噪声容许标准	24
一、制订噪声容许标准的基本原则	24
二、国际关于限制噪声的建议	28
三、国外制订噪声容许标准的实例	31
(一) 居住与公共建筑的噪声容许标准	31
(二) 在固定工作位置上的噪声容许标准	31
(三) 铁路机车车辆噪声容许标准	36
四、各国噪声容许标准的比较	37
§ 6. 等效声级的计算	40
第二章 降低噪声的基本方法	43
§ 1. 在声源处降低噪声	43
§ 2. 用隔声方法降低噪声	47
一、噪声的传播路径	47
二、空气声的隔绝	48
(一) 围护结构隔绝空气声的标准	48
(二) 单层围护结构的隔声计算	50
(三) 双层围护结构的隔声计算	63
(四) 多层围护结构的隔声能力频率特性	71
(五) 轻质隔墙的设计	72
(六) 利用柔性墙板提高隔墙的隔声能力	75

(七)抹灰对于轻质隔墙隔声能力的重要作用	77
(八)玻璃隔墙或单层砖隔墙改建为双层隔墙的做法	78
(九)门的设计	79
(十)窗的设计	85
(十一)带有门窗的围护结构总隔声能力的计算	91
(十二)整个房间实际隔声能力的计算	93
(十三)隔声罩的设计	95
(十四)隔声间的设计	105
(十五)隔声幕的设计	107
(十六)缝隙或孔隙对于围护结构隔声能力的影响	107
三、撞击声的隔绝	108
(一)围护结构隔绝撞击声的标准	108
(二)楼板隔绝撞击声的计算	110
(三)浮筑地面的设计	110
(四)结构传声的计算	118
(五)房屋框架传声的隔绝	119
(六)基础对于声振动的隔绝	121
(七)管道传声的隔绝	123
(八)布置振动的机器或设备时应注意事项	124
§ 3. 用吸声方法降低噪声	125
一、吸声材料、吸声饰面和吸声结构	125
(一)房间容积与围护结构对于吸声效果的影响	127
(二)布置吸声材料时应注意事项	129
二、吸声材料的厚度和容重对于吸声的影响	133
三、吸声抹灰的做法	134
(一)矿渣-水泥吸声抹灰; 浮石-水泥吸声抹灰	134
(二)锯末-水泥-石灰吸声抹灰	135
(三)锯末-石灰吸声抹灰	136
四、吸声饰面的设计	137
五、采用多孔性材料做吸声饰面时应注意事项	149
六、空间吸声体的设计	151
七、共振吸声体的设计	158
八、吸声屏的设计	165
§ 4. 用消声器降低噪声	173
一、阻性消声器	173
(一)管式消声器设计用表	180
(二)片式消声器设计用表	184
(三)消声器消声效果的计算法	189

(四)通风系统中的弯管或转弯处的减噪效果	194
(五)吹出口消声器	195
(六)地下铁道局部通风设备的消声器	195
二、抗性消声器	199
(一)扩张室式消声器	199
(二)共振式消声器	201
三、组合式消声器	204
四、微穿孔板消声器	206
五、障板式消声器	208
§ 5. 个人防护用具	209
第三章 防止工厂及其他部门噪声的措施	210
§ 1. 概 述	210
§ 2. 空气压缩机房的噪声及其防止方法	210
§ 3. 锅炉设备的噪声及其防止方法	219
§ 4. 锻造车间的噪声及其防止方法	221
§ 5. 铸造车间的噪声及其防止方法	223
§ 6. 通风设备的噪声及其防止方法	227
§ 7. 发电机、减速器、双机机组、喷油器、燃料泵与 发动机试验台的噪声及其防止方法	231
§ 8. 球磨机的噪声及其防止方法	235
§ 9. 用压缩空气吹洗零件和机器时的噪声及其防止方法	239
§ 10. 金属机械加工的噪声及其防止方法	240
§ 11. 内燃机车柴油机、牵引电动机、电动空气压缩机 和电动通风机的试验台的噪声及其防止方法	248
§ 12. 电机与变压器的噪声及其防止方法	250
一、电机的噪声源与振动源及其特性	251
二、电机的噪声源与振动源的划分	254
三、电机消声器	256
四、机器外壳上的很小孔口削弱隔声量的计算法	260
§ 13. 内燃机车与电力机车的定期修理车间的噪声 及其防止方法	261
§ 14. 锅炉修理车间的噪声及其防止方法	263
§ 15. 车辆修理装配车间的噪声及其防止方法	265
一、液压机与风压机和自动线	266
二、自动车钩与制动梁的修理间	267
三、风动工具	268

四、风动磨削机	269
五、风动螺母扳手	273
六、风动钻孔机	276
七、风铲与风镐	277
§ 16. 木工车间的噪声及其防止方法	279
§ 17. 石碴厂的噪声及其防止方法	287
§ 18. 钢筋混凝土结构厂和轨枕厂的噪声及其防止方法	289
§ 19. 电报、电话、计算机等用房与调度室的噪声 及其防止方法	298
§ 20. 各类车站的噪声及其防止方法	299
§ 21. 线路养护维修工作的噪声及其防止方法	310
第四章 防止铁路机车车辆噪声的措施	312
§ 1. 防止客车噪声的措施	312
§ 2. 降低电气摩托车辆与电力机车噪声的措施	319
§ 3. 降低内燃机车噪声的措施	320
§ 4. 减少列车运行时外部噪声的措施	325
一、列车运行与机车运转时的噪声	325
二、防止车轮尖锐噪声的新技术	327
§ 5. 内燃机车变阻器试验时噪声的防止	330
§ 6. 绿地带的减噪效果与计算	331
§ 7. 障壁的布置	332
§ 8. 障壁减噪效果的计算	335
一、考虑地面反射声的计算法	335
二、不考虑地面反射声的计算法	338
(一)速算法	338
(二)作图法	340
三、采用障壁时的注意事项	343
§ 9. 机车的声信号及因空气吸收所造成的声衰减	346
第五章 隔振与减振	350
§ 1. 振动源和振动测量单位	350
§ 2. 振动对于人体的影响	352
§ 3. 振动容许标准	354
一、制定振动容许标准的基本原则	354
二、国外制定振动容许标准的实例	356
(一)局部振动的容许标准	355
(二)全身振动的容许标准	355

(三)铁路车辆振动的容许标准	357
三、国际振动容许标准的比较	359
§ 4. 振动的测量	361
一、振动参数的测量	361
二、振动传感器固定在所测物体上的正确方法	362
§ 5. 隔振设计	363
一、积极隔振和消极隔振	363
二、隔振材料的静态与动态弹性模量	365
三、隔振材料与隔振器的选择	366
(一)钢弹簧	368
(二)橡皮	372
(三)软木	382
(四)毛毡	383
(五)玻璃纤维和矿棉	384
(六)微孔泡沫塑料	387
(七)铁回丝	387
四、隔振器及管道固定方法的选择	389
五、弹性垫的计算	392
六、弹簧隔振器的计算	402
七、机械与设备的隔振设计具体方案	407
八、机器振动对于建筑物的影响	412
§ 6. 减振设计	416
一、减振材料与结构的选择	416
(一)沥青减振膏	416
(二)沥青毡	418
二、减振材料所需覆盖的面积	421
§ 7. 减少铁路工厂和车辆中振动的主要方法	422
一、对于振动的预防措施	424
(一)技术方面的措施	424
(二)卫生方面的措施	424
二、防止手持机械化工具振动的措施	426
(一)冲击动作的手持工具	426
(二)旋转动作的手持工具	428
(三)手持风动捣砂锤	429
(四)轨枕捣固器	429
三、防止金属切削机床振动的措施	430
四、防止钢筋混凝土结构工厂和碎石厂内振动的措施	431

(一)碎石机	432
(二)离心机	433
(三)混凝土浇灌机	433
(四)混凝土搅拌站	433
(五)振动筛	433
(六)振捣器	433
五、防止铁路车辆振动的措施	436

附 录

一、吸声系数表(附:驻波管法与混响室法的吸声系数换算表)	439
二、空间吸声体的等效吸声面积(吸声值)表	452
三、声压级与响度指数、响度、响度级的换算表	455
四、噪声控制措施选择须知	462
五、典型的声学问题及其合理的解决方法	464

参考文献	466
------------	-----

第一章 噪声及其容许标准

§ 1. 概 述

一切不需要的、感到干扰的声音，都可以称为噪声。噪声是由各种频率和不同强度的声音组合而成。

在任何物体的机械振动作用下，无论是固体、液体或气体的介质，都能在其中产生声波。这种机械振动，能够导致介质出现交替的压缩和稀疏，并传播于振动的物体周围的空气中，于是被人们感觉到是声音。这种压缩和稀疏，可由振动的源按一定的速度进行传播。在声波传播方向中离开振动的源的距离相同的各点上，其压缩或稀疏的程度也相同。

振动的物体相对于其某种位置（例如相对于平衡位置）的运动状态，称为振动的相位；这种位置可以当作相位读数的起点。该物体在振动时的任何其他位置，相对于所选定的读数起点，都会有一定的运动阶段或相位。振动相位相同的两点之间的距离，为声波的波长。

振动的周期，是经过一次完全振动的时间。振动的频率，是单位时间内振动的次数，其单位为赫兹（简称为赫）。1赫——表示在1秒以内振动1次。声波的传播速度，在不同的介质中是不同的；同时，也决定于介质的温度。例如，在气温为 20°C 时，声音在空气中的传播速度为343米/秒，但在 250°C 时，则增长到460米/秒。

声波可能是纵波，也可能是横波。在纵波中，介质质点的振动方向与声波传播的方向一致；在横波中，质点的振动是发生在垂直于声波传播的方向中。

声波根据其性质的不同，可以分为平面波、球面波、柱面波和其他波。平面波是垂直于振动传播方向的平面形的波；在这种波中，通过振动相位相同的各点的面是个平面。当振动面的尺寸大于其本身所辐射的波长时，即可发生平面波。球面波是向各方面均匀传播的声波，而由几何尺寸比所辐射的波小得多的点振源或波动介质所形成。柱面波是波阵面的形状呈圆柱面形。

传播声波的空间称为声场。在介质质点振动时，声场中发生的交变压强称为声压。

人耳能感觉到声音的频率范围，大约为20~20,000赫。但是，这个范围随人而异，视每人的年龄和听觉器官的情况而定。20赫以下的振动称为次声；20,000赫以上的振动称为超声。次声和超声，都是人耳所不能听到的。大多数生产噪声的频率，是在50~10,000赫的范围。近年来的声学研究表明：有许多生产过程能够辐射出次声和超声的振动。

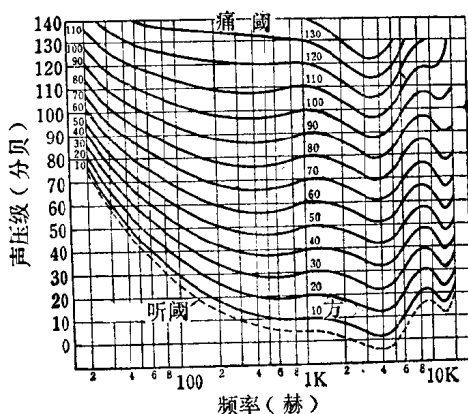


图1.1.1 在自由声场，对于纯音双耳听闻的正常等响曲线
(国际标准化组织的建议)

人们能听到声音，其条件不仅限于频率，而且与声音的强度有关。在完全寂静的环境中，勉强能听到最小的声音的强度，称为听阈；而使人耳开始感觉到疼痛的声音的强度，称为痛阈（图1.1.1）。在听阈到痛阈的范围内，声压比的变化在100万倍以上。

由图1.1.1可以看出：听阈决定于频率，而且人耳的最大灵敏度是在800~4,000赫的频率范围。对于比这个范围更低或更高的频率，人的听觉灵敏度就会小得多。

§ 2. 噪声的传播和对于人体的影响

噪声的强度，随着远离噪声源而逐渐衰减。在露天中，其衰减后的实际噪声级可用下面的公式计算：

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{r_2}{r_1} - 6 \times 10^{-6} f r_2 - 8 \text{ (分贝)}, \quad (1.2.1)$$

式中 L_1 ——距离噪声源 r_1 米处已知的噪声级，分贝；
 L_2 ——需要计算距离噪声源 r_2 米处（听点）的噪声级（ $r_2 > r_1$ ），分贝；
 f ——声振动的倍频带几何平均频率（中心频率），赫；

$6 \times 10^{-6} f r_2$ ——由于空气吸声所造成的附加衰减值，分贝。

噪声在空气中每公里的衰减值如表1.2.1所示。

①此公式适用于点声源。所谓点声源，即在自由声场中向各个方向均匀辐射声音的声源。

如果在 $r_1 = 1$ 米处已经测得噪声级 L_1 的分贝数，同时测得噪声的频率 < 1000 赫（空气吸声可以忽略不计），则公式(1.2.1)可以简化为： $L_2 = L_1 - 20 \lg r_2 - 8$ ，以便计算距离噪声源 r_2 米处（听点）的噪声级 L_2 ，分贝。

对于点声源说来，在自由声场或接近于自由声场的条件下，通常按听点离开噪声的距离加倍，噪声级衰减 6 分贝进行大致的估计。

噪声在空气中的衰减

表1.2.1

倍频带几何平均 频率 (赫)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
噪声级衰减值 (分贝/公里)	0	0.7	1.5	3	6	12	24	48

计算例。已知距离空气压缩机进气管 1 米处的噪声声压级如表 1.2.2 所示。要求计算距离空气压缩机房 100 米处的列车乘务员休息室的声压级。

在距离空气压缩机进气管1米处的噪声声压级 表1.2.2

倍频带几何平均 频率 (赫)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
声压级 (分贝)	109	110	104	98	84	80	79	76

解：将以上已知数据代入公式 (1.2.1) 中，可以求得频率为 63 赫的声压级：

$$L_2 = 109 - 20 \lg 100 - 6 \times 10^{-6} \times 63 \times 100 - 8 = 61 \text{ 分贝。}$$

对于其他各频率，也按此法进行计算，计算的结果如表 1.2.3 所示。

空气压缩机房外部噪声的计算结果 表1.2.3

公式中的项目	倍频带几何平均频率 (赫)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	声 压 级 (分贝)							
L_1	109	110	104	98	84	80	79	76
$20 \lg(r_1/r_2)$	40	40	40	40	40	40	40	40
$6 \times 10^{-8} f r_2$	0	0.07	0.15	0.3	0.6	1.2	2.4	4.8
修正值 8 分贝	8	8	8	8	8	8	8	8
L_2	61	62	56	50	35	31	29	23

注： L 值的计算，按四舍五入，取整数。

对于容积大的房间，其中噪声的传播情况与在露天中相

近似。但在容积小的房间中,噪声的传播情况却视房间常数^①而定。

噪声对于人的健康危害甚大。关于噪声引起职业性耳聋的研究,迄今已有 120 多年的历史。经常在强烈噪声环境中从事工作,最普遍的自觉症状是健忘、乏力、耳鸣和耳聋。根据统计,这些症状以工龄五年左右者开始较为突出。近年来的研究表明,在强烈的噪声长期对人的影响下,人的整个机体都会受到损害:例如,血压和颅内压升高,呼吸与脉搏加快,减少胃液含酸量,消化过程减慢,破坏脑皮层细胞的工作能力等。在神经系统方面,则出现注意力减弱、失眠、头昏、头痛、易怒、神经紧张、情绪抑制和工作能力下降等症状。不但如此,还表现有视觉敏感性下降、破坏正常的色

$$\textcircled{1} \text{ 房间常数 } R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \text{ (米}^2\text{)},$$

其中 S ——房间内表面的总面积, 米²; $\bar{\alpha}$ ——房间内表面的平均吸声系数。

最近, Angevine Jr. 证明: 关于 R 值的计算, 应视吸声材料面积的大小而定——对于小面积的吸声材料, 应用公式

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}},$$

而对于大面积的吸声材料, 则须用 $R = S\bar{\alpha}$ 。Embleton 建议: 在实际工作中, 最好采用计算公式 $R = S\bar{\alpha}_{\text{实}}$,

$$\text{其中 } \bar{\alpha}_{\text{实}} = \frac{S_1(\alpha_{\text{实}})_1 + S_2(\alpha_{\text{实}})_2 + \dots + S_i(\alpha_{\text{实}})_i + \dots + S_q(\alpha_{\text{实}})_q}{S}, \quad (1.2.2)$$

和

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots + S_q \text{ (米}^2\text{)}, \quad (1.2.3)$$

而 $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_q$ ——房间内各个表面的面积 (米²),

$(\alpha_{\text{实}})_1, (\alpha_{\text{实}})_2, \dots, (\alpha_{\text{实}})_i, \dots, (\alpha_{\text{实}})_q$ ——相对应的各个表面的吸声系数 $\alpha_{\text{实}}$ 。

觉（对于绿色和天蓝色特别敏感，而对于红色感觉减弱）。

在声波传播的过程中如果遇到障碍物，它有绕过障碍物继续向前传播的能力，这种现象称为绕射现象。当声波穿过缝隙或孔隙时，能够传播到整个房间或空间。易于绕过障碍物或穿过缝隙、孔隙的声波是低频声波，高频声波则易于由障碍物反射回去，而在该障碍物的后面形成声影。在隔声工程中，可以利用这一现象借助于障壁进行遮声的设计（详见第四章，§7和§8）。

两个或几个声波彼此重叠，称为声波的干涉。如果两个声振动在一个相位中叠加，则会出现声振动加强的现象；如果相位相反，则声振动即可完全抵消或部分地削弱。

对于人体最为有害的噪声，是高频（800赫以上）噪声，

对于一个房间，如果计算每一频率的平均声压级和平均混响时间，则对于该房间必须作为一个整体来看，而采用平均吸声系数 $\bar{\alpha}$ 或 $\bar{\alpha}_{\text{实}}$ 进行计算。

在采用 $\bar{\alpha}_{\text{实}}$ 进行计算时，必须首先明确房间以内各个部分都是吸声很轻，而没有一部分吸声很重。

在计算 $\alpha_{\text{实}}$ 时，应将房间内的人和桌椅家具等吸声物体包括在内。所有人和物体的吸声值，应该加入到公式（1.2.2）的分子中。对于总面积 S （应包括墙壁、顶棚和地面的表面积，而不包括人和物体的表面积），则不作任何修改。

关于吸声系数 α 和 $\alpha_{\text{实}}$ 的数值的差别，声学工作者已讨论多年。 α ——称为“统计（声能）的吸声系数”〔也称为“无规反射（乱反射）吸声系数”〕，是范围无限大的吸声面所吸收的声能与入射在该吸声面上的声能的比值（当时入射声场完全扩散）。而 $\alpha_{\text{实}}$ ——称为“实验室测得的吸声系数”，所测试的吸声材料是放在混响室的地面上，呈补丁式。这些需要测试的补丁式（近于正方形）的吸声材料，其面积在欧洲通常采取 $10 \sim 12 \text{ m}^2$ ，而在北美则采用大补丁式吸声材料（面积约为 6.7 m^2 ，即 $2.44 \times 2.74 \text{ m}^2$ ）安放在混响室地面的中央。

α 和 $\alpha_{\text{实}}$ 的差别，主要由于入射在一块尺寸有限的补丁式吸声材料上的声场的绕射所引起。对于吸声高的材料， $\alpha_{\text{实}}$ 的数值可能 > 1 ，有时达到 1.2 或 1.3。（ $\alpha_{\text{实}} - \alpha$ ）的差数，在低频时最大，而在高频时最小。