

铁路环境噪声控制

康大化 编著

齐元康 主审



中国铁道出版社

71.56
693
1

D66/05

铁路环境噪声控制

铁道部劳动卫生研究所

焦大化 钱德生 等编

铁道部基本建设总局

齐元康 主审



中国铁道出版社

1990年·北京

704431

内 容 提 要

本书着重介绍与铁路环境噪声有关的评价方法、标准和各种控制噪声的技术,内容包括:铁路噪声评价、城市铁路规划、铁路站场及线路和桥梁噪声控制、建筑物防噪声措施、声屏障的种类、设计、计算及应用实例等。该书图文并茂,可供铁路、城市建设规划、设计、施工及环境保护工作人员、大专院校有关专业师生参考使用。

铁 路 环 境 噪 声 控 制

焦大化 钱德生 等编

齐元康 主审

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 冯秉明 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

北京东华印刷厂印

开本: 850×1168毫米 印张: 8.75 字数: 225千

1990年8月第1版 第1次印刷

印数: (平装) 1—1000册

印数: (精装) 1—500册

(平装) ISBN7-113-00744-5/X·2 定价: 4.60元

(精装) ISBN7-113-00824-0/X·3 定价: 6.65元

登记证号: (京) 063号

前 言

随着全社会环境意识水平的提高和国家有关环境保护法律的陆续颁布,铁路噪声的污染和治理在城市环境问题中已作为一个重要问题受到重视。铁路噪声控制在我国还是一门新兴的学科,无论在理论和实践上都比较薄弱。为适应我国铁路基本建设突飞猛进发展的需要,本书系根据铁道部基建总局的计划要求,由铁道部劳动卫生研究所主持,在广泛收集国内外有关资料的基础上,结合编者从事多年铁路噪声控制工作的经验,编写了此书,供有关铁路工程技术人员、研究人员和城市、铁路系统环境管理人员使用和参考。

本书着重介绍与铁路环境噪声有关的评价方法、标准和各种控制技术,力求实用,尽量避免和减少有关理论方面的阐述和公式推导。由于目前国内已出版了许多关于噪声控制基本原理和方法的书籍,因此本书不再重复这些内容。另外有关铁路噪声引起的劳动卫生和劳动保护方面的问题,因超出本书编写范围,故也没有涉及,读者可参考有关书籍。

我们期望,通过本书能有助于推动铁路和城建部门进一步重视合理规划和综合治理,推动铁路噪声控制学科的发展,并为消除铁路环境噪声的危害,为人们创造舒适、安静、优美的生活环境作出一点奉献。

本书各章的撰写者为:第一、三、四、六章(焦大化),第二章(焦大化、钱德生、周鼎),第五章(马筠、王四德),第七章(钱德生、周鼎、焦大化),第八章(张春华、辜小安)。本书承蒙铁道部基建总局齐元康、林子希、邹希丹和铁道部技术鉴定委员会庄宝瑞等高级工程师审查了有关章节,北京劳动保护科学研究所孙家其高级工程师从声学方面审查了全书,铁道部劳

动卫生研究所李天恩副所长对全书进行了审查，在此深表谢意。

鉴于本书系我国第一次比较系统地总结和阐述了有关城市铁路环境噪声的控制问题，加之写作经验、专业水平有限，故难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八八年八月

目 录

第一章 铁路噪声评价.....	(1)
第一节 基本评价量.....	(1)
第二节 声源评价.....	(5)
第三节 环境噪声评价.....	(7)
第四节 室内噪声评价.....	(13)
第二章 铁路噪声标准.....	(19)
第一节 概 述.....	(19)
第二节 环境噪声标准.....	(20)
第三节 室内噪声标准.....	(28)
第四节 铁路设备噪声标准.....	(35)
第五节 建筑隔声标准.....	(43)
第三章 城市铁路规划.....	(48)
第一节 概 述.....	(48)
第二节 城市铁路规划的原则.....	(49)
第三节 站场规划.....	(51)
第四节 铁路枢纽规划.....	(57)
第五节 城市铁路的改造.....	(63)
第四章 站场噪声控制.....	(66)
第一节 客运站噪声控制.....	(66)
第二节 场段噪声控制.....	(79)
第五章 铁路线路噪声控制.....	(88)
第一节 概 述.....	(88)
第二节 轮轨噪声机理.....	(89)
第三节 轮轨噪声控制方法简述.....	(91)
第四节 车辆下部噪声控制.....	(97)

第五节 线路噪声控制.....	(98)
第六章 铁路桥梁噪声控制.....	(126)
第一节 概 述.....	(126)
第二节 铁路桥梁噪声的特性.....	(127)
第三节 铁路桥梁噪声预测.....	(138)
第四节 铁路桥梁噪声的影响与评价.....	(144)
第五节 铁路桥梁噪声控制基本技术.....	(150)
第六节 铁路桥梁噪声控制措施.....	(153)
第七节 铁路桥梁噪声控制应注意的问题.....	(175)
第七章 铁路两侧建筑噪声防护措施.....	(179)
第一节 建筑区域的防噪布局.....	(179)
第二节 建筑物内部的防噪布局.....	(183)
第三节 提高建筑的户外隔声能力.....	(185)
第八章 铁路声屏障.....	(202)
第一节 概 述.....	(202)
第二节 声屏障降噪原理.....	(203)
第三节 声屏障的计算方法.....	(209)
第四节 声屏障的种类.....	(222)
第五节 防声墙.....	(227)
第六节 声屏障的设计.....	(249)
第七节 国外声屏障应用实例及效果.....	(262)
参考文献.....	(271)

第一章 铁路噪声评价

在铁路噪声的评价中，由于评价的目的不一样，采用的评价方法和评价量也不同。在一些有关噪声的评价标准中，对评价方法和评价量都作了明确的规定，因此在铁路噪声的评价中，一般应尽量根据有待研究和评价问题的性质和目的，采用相应标准规定的评价方法。通常遇到的铁路噪声问题中主要有以下几种：

(1) 铁路噪声源评价

为评定声源的噪声辐射强度，或比较不同声源噪声的大小等，其目的主要是着眼于声源本身的分析和研究。

(2) 铁路噪声对环境的影响评价

评价的目的不是研究声源，而主要是为了评价对周围环境的影响，如评定是否符合区域环境噪声标准或评定对环境的污染程度等。

(3) 室内噪声评价

评定铁路噪声对各种建筑物室内的影响，如是否符合室内噪声允许标准等。

第一节 基本评价量

各种评价方法常以等响曲线、A计权声压级为基本的评价量，这些量都属于主观评价方法，即考虑了主观对噪声的反应因素。

一、等响曲线

由于人耳对声音的感觉不仅和声压有关，而且也 和频率有关，因此在评定主观感觉的声音强弱时就需要同时考虑这两个因素，这就提出了等响曲线和响度级的概念。图1-1为鲁宾逊一达

德森 (Robinson-Dadson) 提出的等响曲线, 已为国际标准化组织 ISO 承认。这些等响曲线是根据对年龄在 18~20 岁的大量青年进行测试的结果, 图中所示为测试结果的平均值。每一条曲线相当于声压级和频率不同但主观感觉响度相同的声音。曲线上的数字是指 1000 Hz 纯音的声压级, 并用此数字来表示该曲线的响度级, 单位为方。如声压级为 85 dB 的 50 Hz 纯音, 65 dB 的 400 Hz 纯音, 62 dB 的 4000 Hz 纯音, 都与 70 dB 的 1000 Hz 的纯音响度相等, 响度级都等于 70 方。最下面的曲线是听阈曲线, 最上面的曲线是痛阈曲线。在听阈与痛阈之间为人耳正常可听到的声音范围, 声压相差达一百万倍, 也说明人耳对声压的反应范围相当广。从曲线可看出, 人耳对低频声音反应的灵敏度较低, 但在 400~5000 Hz 之间却很灵敏, 这对语言的易懂度和欣赏音乐很重要。不同响度的曲线比较还可以看出, 人耳只是在低频范围内对不太响的声音有较低的灵敏度, 但随着声压级的增高, 人耳对各种频率声音的灵敏度趋向接近。也就是说, 此时声音的响度只决定于声压级, 而与频率的关系不太大了。

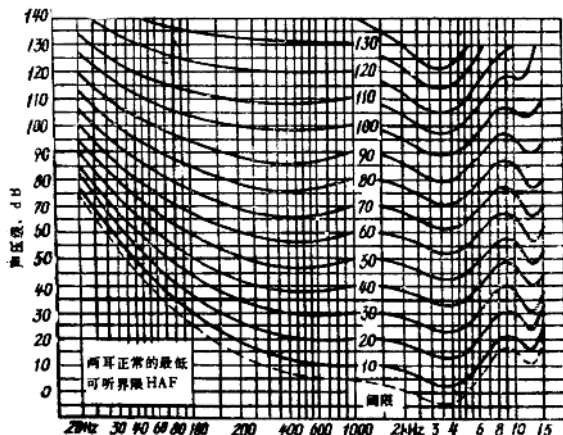


图1-1 等响曲线

二、A计权声压级

A计权声压级也简称为A声级，是近年来使用最多的噪声主观评价量。A计权声压级是几种考虑人耳对声音频率不同敏感程度的评价量之一。

虽然响度级是评价噪声对人影响的科学方法，但采用这种方法必须要对噪声进行频谱分析，然后还要进行计算才能得到结果，比较复杂和花费时间，因此人们进一步建立了比较简单的方法，这就是在声学测量仪器中采用频率计权网络，由仪器直接读出近似的响度级。较为通用的三种频率计权网络为A、B、C网络，如图1—2所示。这三种计权网络分别模拟了人耳对40方、70方、100方纯音的响应。如A网络与40方的等响曲线倒立后的形状相接近，它使500Hz以下的声音有较大的衰减。噪声测量中最常用的是A网络，所测得的声压级称为A声级，用dB_A表示。同样，使用C网络测得的声压级称为C声级，用dB_C表示。

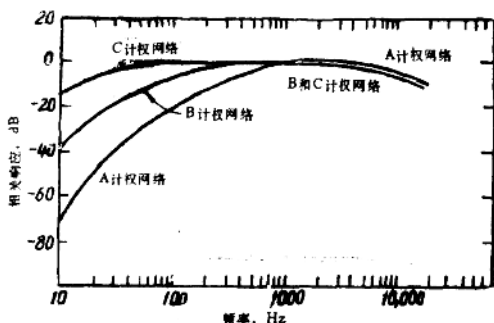


图1—2 计权网络

A、B、C计权网络的频率特性如表1—1所示。

早期设置计权网络的目的是模拟几种典型的等响曲线，便于不同声级范围的响度测量。如对低于55dB的声音用A声级计量，对于55~85dB的声音用B声级计量，对于85dB以上的声音用C声级计量。但近年来的研究发现，不管多大声级的声音，用A声级测

表1—1 A、B、C计权网络频率响应 (dB)

频 率 (Hz)	A 计权	B 计权	C 计权
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.4	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	+0.6	0	0
1600	+1.0	0	-0.1
2000	+1.2	-0.1	-0.2
2500	+1.3	-0.2	-0.3
3150	+1.2	-0.4	-0.5
4000	+1.0	-0.7	-0.8
5000	+0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2
16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000	-9.3	-11.1	-11.2

得的结果都与入耳对声音的响度感觉相近，因此，现在把A声级作为评价噪声的基本指标。

第二节 声源评价

在声源评价中,根据声源辐射噪声的不同特点,常采用不同的评价量来描述,用以反映噪声的特征或进行比较。常用的评价量有以下几种:

一、最大声级 L_{max}

一些铁路噪声源,如机车和列车的通过噪声,在通过某一位置的时间历程里,噪声呈现一个从小到大,然后又从大到小的变化。不同的机车和列车类型,不同的车速,噪声的变化情况会有所不同,为了反映噪声最大程度这一特点,常采用最大声级 L_{max} 来描述。对于其它非稳态噪声源,也可以用 L_{max} 来描述这一特征。 L_{max} 一般也用 A 声级来表示。

二、最小声级 L_{min}

有一些非稳态的声源,在噪声辐射过程中声压级时大时小,起伏不定,如机车的机能试验噪声。描述这一类声源,除用 L_{max} 反映噪声最大辐射状态之外,为了描述声级的变化范围,常采用最小声级 L_{min} , 一般也用 A 声级来表示。

三、平均声级 $L_{均}$

对于非稳态噪声,为了反映一个平均的声辐射水平,常用平均声级 $L_{均}$ 来描述。但当采用直读法估算平均值时,因声级的起伏变动范围在不同情况下差异较大,对平均值的准确性会有一定影响,因此常常采用仪器自动采样,并通过数据处理得到较为准确可靠的平均值。当声级变化范围较小时,一般为 5dB 以下,可读取指针或数字显示声级的中间值,误差较小。变动在 10dB 以上时,直读法误差较大。直读法读取的平均值可认为是声级的算术平均值。根据 L_{max} 和 L_{min} 可计算出能量平均值:

$$L_{均} = 10 \log (10^{0.1 L_{max}} + 10^{0.1 L_{min}}) - 3 \quad (1-1)$$

在一个时间历程里，根据间隔采样计算出的能量平均声级，一般称为等效连续声级 L_{eq} ，是平均声级的一种。

四、单次噪声暴露级 L_{SE}

L_{SE} 也简称声暴露级，定义为在一秒钟里作用的一个声级，其具有的声能与一个噪声作用期间内所具有的声能相等。 L_{SE} 可以表达为：

$$L_{SE} = 10 \log \int_0^T 10^{0.1 L_p(t)} dt \quad (1-2)$$

式中 T ——噪声作用时间，单位秒

$L_p(t)$ ——瞬时声级，单位dB

例如，当一列火车在120秒期间内的等效连续声级为70dB A时，则相应的 L_{SE} 为

$$\begin{aligned} L_{SE} &= L_{eq} + 10 \log T \\ &= 70 + 10 \log 120 = 91 \text{ dB A} \end{aligned}$$

即这列火车通过所产生的噪声相当于一个在1秒钟内作用的91dB A的噪声。

这样，便可以方便地利用 L_{SE} 对不同声源的噪声作用过程，从能量的角度规一化到1秒作用时间进行比较。现在，一些比较先进的声学测量仪器已设有 L_{SE} 的测量功能，可方便地测出。对于一般的情况，测量一个噪声的作用周期，可以取比最大声级低10dB的周期就能保证数据的准确性了。这是因为低于10dB的声能对噪声作用的总能量而言已可忽略不计了。

对于城市轨道交通车辆，美国Schultz建议可按下式计算 L_{SE} ：

$$L_{SE} = L_{max} + 10 \log T_s \quad \text{dB A}$$

式中 L_{max} ——通过期间的最大声级，dB A

T_s ——低于 $L_{max} - 5$ dB的通过时间，单位为秒

五、频谱特性

为了解声源噪声的频率特性，常进行频谱分析，一般对31.5~8000Hz作倍频程的频谱分析。为了进行噪声治理，通常还要作经过A计权的频谱分析，得到A计权谱，用以确定主要控制的噪声频率范围。

第三节 环境噪声评价

一、等效连续A声级 L_{eq}

评价噪声对环境的影响程度，不但要考虑噪声的大小，而且要考虑噪声的作用时间。有时候噪声的声级很高，但作用时间却较短；有时候噪声的声级虽然相对低一些，但作用时间却很长。为比较这二者对环境的影响程度，比较适当的评价量可采用等效连续声级 L_{eq} 。等效连续声级的定义是：在声场某一位置上，用某一段时间内能量平均的方法，将间歇暴露的几个不同声级的噪声或非稳态的噪声，以一个声级表示该段时间内的噪声大小。这个声级即为等效连续声级。用A声级表示，称为等效连续A声级，单位为dB A。

等效连续声级的表达式为：

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_p(t)} dt \right) \quad (1-3)$$

式中 $L_p(t)$ ——瞬时声压级 (dB)；

T ——测量时间。

等效声级是评价城市环境噪声的一个重要量。国际标准化组织 (ISO) 已采用这一方法，许多国家，包括我国在内，在环境噪声标准中也已采用等效声级作为评价量。

按照不同标准的规定或测量与评价的需要，测量时间和评价时间可以有所不同。如24小时等效连续声级，记为 $L_{eq}(24)$ ；

1 小时等效连续声级 $L_{eq}(1)$ ；白天等效连续声级，记为 L_{eq} （白）；夜间等效连续声级 L_{eq} （夜），等等。

等效声级也有其缺点，就是略去了噪声的变动特性。因而有时会低估噪声的效应，特别是包含有脉冲成分与纯音成分的噪声。如在铁路噪声评价中，等效连续声级没有考虑机车鸣笛这种突发性特殊噪声的干扰特点，是否会影响铁路噪声的评价仍是一个值得研究探讨的问题。

二、昼夜等效声级 L_{dn}

在国外以美国为代表的一些国家在环境噪声评价中主要采用昼夜等效声级 L_{dn} 。这是一种在等效连续声级基础上发展起来的评价方法，主要特点是考虑了夜间噪声对人的影响比白天更为严重这一因素。具体方法是对夜间噪声作了增加10dB的加权处理，计算式为

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(\sum_{i=1}^{15} 10^{0.1 L_{eq,i}} + \sum_{j=1}^9 10^{0.1 (L_{eq,j} + 10)} \right) \right] \quad (1-4)$$

式中 $L_{eq,i}$ ——白天第 i 个小时内的等效声级；
 $L_{eq,j}$ ——夜间第 j 个小时内的等效声级；
 i ——属于白天的15个小时，从早7点到晚22点；
 j ——属于夜间的9个小时，从晚22点到早7点；
 上式也可以简化为：

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} (15 \times 10^{0.1 L_d} + 9 \times 10^{0.1 (L_n + 10)}) \right] \quad (1-5)$$

式中 L_d ——白天的等效声级（7:00—22:00）；
 L_n ——夜间的等效声级（22:00—7:00）；
 L_{dn} 一般也用 A 声级来表示。白天、夜间的时间可酌情调整。
 国外的一些研究表明，昼夜等效声级与高烦恼人数的百分率

和对会话、睡眠、广播电视收听的干扰效应都有比较好相关性。美国对于城市区域铁路环境噪声的评价主要采用这一方法。

三、统计声级 L_N

评价交通噪声常用统计方法，以声级出现的概率或累积概率来表示，即以统计声级来表示。统计声级 L_N 表示测量时间的百分之 N 所超过的噪声级。例如超过某声级的概率是10%，则定义该声级为 L_{10} ，如 $L_{10} = 60\text{dB}$ ，就是表示测量期间内有10%的时间超过60dB，其它90%的时间噪声级低于60dB。 L_{10} 相当于交通噪声的峰值，一些国家，如美国、英国等采用 L_{10} 作为交通噪声的评价量。但也有些国家采用 L_{50} 和 L_{90} 作为交通噪声的评价量。 L_{50} 表示超过某声级的概率是50%，相当于噪声的平均值； L_{90} 表示超过某声级的概率是90%，相当于噪声的本底值。在交通噪声的研究中，也有采用 L_5 和 L_{95} 作为评价指标的。统计声级一般也用 A 声级来表示。

但是用统计声级评价也有一定的局限性。例如，对于评价量 L_{10} 而言，当某声源噪声级大于 L_{10} 时，无论声级多高，只要作用时间少于10%，都不会直接影响 L_{10} 的值，因此也就反映不出高噪声级的干扰特点。因此一般对于统计分布比较规律的噪声（如高斯分布噪声等）采用统计声级比较适合，而对于以单次噪声为主的环境噪声，如铁路列车通过噪声和航空噪声，国外一些学者对于是否采用统计声级评价持否定态度。因此在用统计声级评价铁路噪声时，应比较慎重，注意其局限性，并建议最好再辅以其它的评价方法。

统计声级的测量，现在已有环境噪声测量仪器可直接测出统计结果，比较方便。这种仪器国外和国内均有厂家生产。

四、声级计权人口 LWP

为了表示噪声污染对某区域内全部人口的危害大小，提出了声级计权人口 LWP 的评价量。该方法是对每一声级确定一个计

权因数，然后把这因数与该声级作用下的人口数相乘，乘积为 LWP 值。基本公式可表示为：

$$LWP = \sum W_i P_i \quad (1-6)$$

式中 W_i —— 为某一声级的计权因数，无因次量；

P_i —— 某一声级作用下的人口数。

具体作法是将评价区域内的声级 L_{dn} 按大小分成 n 个声级段，先分别求出每一声级段的 LWP ，然后再把所有声级段的 LWP 相加，求出总的声级计权人口数 LWP 。

美国在评价铁路噪声对环境的污染程度时，一般都采用 LWP ，其声级采用日夜等效声级 L_{dn} 。

计权因数 W_i 与声级 L_{dn} 有关。声级越高，计权因数也越大。计权因数反映了人群对噪声的反应程度（包括烦恼、语言干扰和听力损失等）。美国在环境噪声评价中采用的计权因数数值 W_i 列于表 1—2。由于 LWP 中考虑了人口数量的因素，因而这一方法能比较合理地反映出噪声的影响程度。如在高声级下暴露的少数人口的污染程度会与在较低声级下暴露人口数多时的污染程度相同。

表1—2

计权因数 W_i

L_{dn}	$W(L_{dn})$	L_{dn}	$W(L_{dn})$	L_{dn}	$W(L_{dn})$
35.0	0.006	57.0	0.162	79.0	1.334
35.5	0.006	57.5	0.173	79.5	1.380
36.0	0.007	58.0	0.184	80.0	1.428
36.5	0.007	58.5	0.196	80.5	1.476
37.0	0.008	59.0	0.208	81.0	1.526
37.5	0.009	59.5	0.221	81.5	1.577
38.0	0.009	60.0	0.235	82.0	1.628
38.5	0.010	60.5	0.250	82.5	1.682
39.0	0.011	61.0	0.265	83.0	1.736
39.5	0.012	61.5	0.281	83.5	1.791
40.0	0.013	62.0	0.297	84.0	1.848