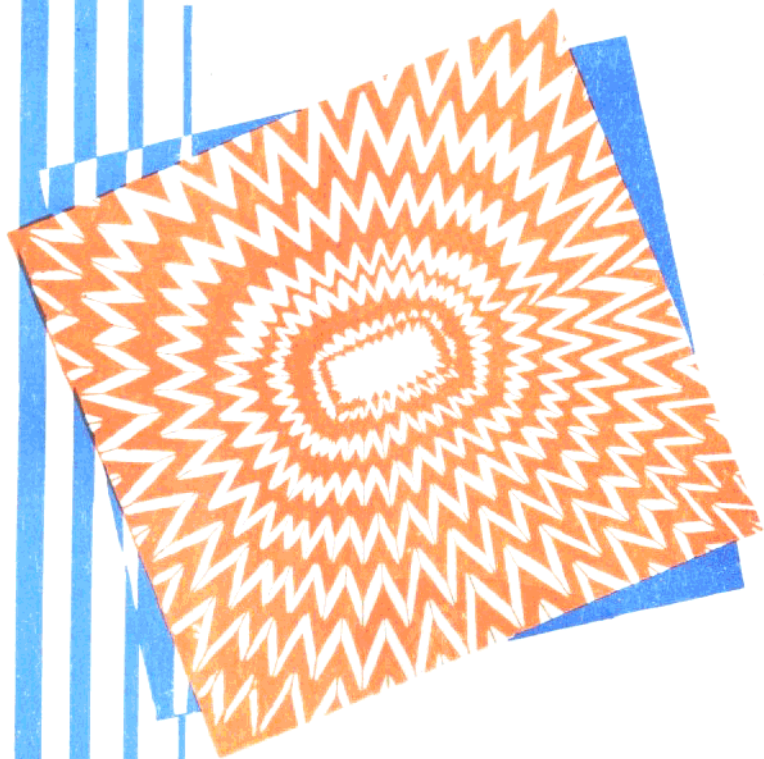




噪声

及其控制

周兆驹 隋广才 编著



石油大学出版社

前 言

噪声及噪声控制是一门较新的学科,有关这方面的知识,尚有许多读者不甚了解。奉献此书,目的在于抛砖引玉,促进噪声治理,为人们创造一个更为安静的工作、学习和休息的环境。

本书力求深入浅出,图文并茂,但因水平所限,不当之处在所难免,还望读者指正。

书中资料部分来自我们的科研、教学和工程实践,部分摘自有关书刊,在此,向这些书刊的作者致谢。

《山东环境》杂志社吴长征、孟凡模同志负责本书前期的编辑工作,范成春、张传铎、唐公平、陆奉刚等同志提供了帮助,向他们表示衷心感谢。

作者 1992 年 10 月 济南

目 录

第一章 噪声的危害	(1)
§ 1.1 噪声损伤人的身体	(2)
§ 1.2 噪声降低工作效率	(7)
§ 1.3 噪声影响社会安定	(9)
第二章 噪声的物理特性及计量	(13)
§ 2.1 噪声的产生与传播	(14)
§ 2.2 噪声的物理量度	(22)
§ 2.3 噪声的频谱	(32)
§ 2.4 噪声的主观评价量	(36)
第三章 噪声控制概论	(49)
§ 3.1 噪声标准	(49)
§ 3.2 交通噪声控制	(59)
§ 3.3 固定噪声源噪声控制	(72)
第四章 吸声减噪	(84)
§ 4.1 吸声系数和吸声量	(85)
§ 4.2 多孔吸声材料	(95)
§ 4.3 吸声结构	(101)
§ 4.4 吸声减噪计算	(116)
§ 4.5 吸声减噪设计	(122)
第五章 隔声减噪	(126)
§ 5.1 空气声的隔声评价	(127)
§ 5.2 单层匀质密实墙板的隔声	(132)
§ 5.3 双层匀质密实墙板的隔声	(136)

§ 5.4	组合墙板的隔声	(139)
§ 5.5	门、窗隔声	(144)
§ 5.6	隔声罩和隔声间	(149)
§ 5.7	楼板撞击声的隔绝	(158)

第六章 消声器..... (163)

§ 6.1	阻性消声器	(164)
§ 6.2	抗性消声器	(177)
§ 6.3	阻抗复合消声器	(184)
§ 6.4	微穿孔板消声器	(185)
§ 6.5	排气放空消声器	(187)

第七章 隔振..... (191)

§ 7.1	机械振动	(192)
§ 7.2	振动危害和控制标准	(197)
§ 7.3	隔振原理	(200)
§ 7.4	隔振器和隔振垫	(204)

第八章 噪声测量..... (213)

§ 8.1	声级计	(214)
§ 8.2	环境噪声测量	(225)
§ 8.3	生产环境的噪声测量	(231)
§ 8.4	机器设备的噪声测量	(234)

第一章 噪声的危害

在我们周围环境中充满了各种各样的声音：飒飒的风声、潺潺的流水声、喳喳的鸟鸣声，孩子们的嬉笑声、嘈杂的叫卖声、甜蜜的交谈声、悠扬的乐曲声、嘀嗒的钟表声、轰鸣的马达声、刺耳的电锯声、啸叫的排气声……。

声音，部分是大自然赋予的，但更多是人类生产和生活造成的。随着人类文明的发展，人类自己制造的声响也大大增强了。以交通为例，人从步行、骑牲畜发展到了乘汽车、火车、飞机。现代化交通工具的出现大大方便了旅行和货物运输，但同时又给世界增添了交通工具行驶的声音。以工业生产为例，人从手工生产到机器生产，劳动效率成倍提高，但同时也增添了机器运转的声音。

在上述诸多声音中，有些是人们需要的，有些则不需要。我们漫步在绿茵茵的草地、林间，鸟儿的清脆啼叫、树叶的沙沙细语，令我们心旷神怡，而建筑工地上咚咚的打桩机声则搅得人心烦意乱。鸟鸣、树叶响是人需要的声音，打桩机声是人不需要的声音。在车间里，工长指挥生产的吆喝声、哨声是需要的声音，而机器的轧轧声则是不需要的声音。我们把人类不喜欢或不需要的声音统称之为噪声。

噪声的危害是多方面的，在这一章里，我们从噪声损伤人的身体、降低工作效率、破坏社会安定三个方面加以阐述。

§ 1.1 噪声损伤人的身体

噪声作用于人体,对人体的影响是多方面的,它会干扰睡眠,引发神经系统、心血管系统、消化系统等疾病。强大的声音,或长时间遭受较大噪声侵害的人,可以导致耳聋——噪声性耳聋。

一、噪声对听力的损伤

在特别强的声音作用下,人的听觉会受到伤害,这是一般人所了解的。如近处有人燃放鞭炮、开山放炮、猛烈敲击钢板,我们会用手捂着耳朵,或者迅即跑离现场。因为我们知道,听这样的声音,轻则耳鸣、重则耳聋。在战场上,就常有战士因受炮弹猛烈爆炸声袭击而致聋的。这种耳聋一般伴有听觉器官的急性外伤,如鼓膜破裂流血、螺旋体细胞移位或部分脱离基底膜。这种耳聋叫爆震性耳聋。

长期在较高噪声下工作,同样可以导致耳聋。这种耳聋是慢性的病变过程。正常的人耳刚开始暴露在较高噪声环境时,往往有不舒适之感,经过一段时间后,这种不舒适的感觉可以消失,但听力已经下降。刚跨出驾驶室的拖拉机驾驶员,刚离开织布机的纺织女工,一般讲话声比较高,就是因为他们的听力下降、认为自己讲话声还不够响,抬高了嗓门。此时如果让他们听手表走动,则他们听不到,但在经过几十分钟、数小时后,他们若听到了手表走动的嘀嗒声,表明他们的听力已恢复正常。上述听力暂时下降现象叫听觉疲劳或叫做“暂时性听阈偏移”。人耳长期暴露在较高噪声环境中,由于持续不断地受

到噪声刺激,日积月累,听觉疲劳不仅不能消除,而且日益严重,直至内耳听觉器官发生器质性病变,发展成永久性听力损失,即使休息几周甚至更长时间,听力也不能恢复了。当对500、1000、2000赫三个频率听力损失的平均值超过25分贝时,就称为噪声性耳聋。已有轻度噪声性耳聋的人,仍继续在较高噪声环境下工作,会发展成重度噪声性耳聋,甚至全聋。

噪声会致听力损伤,人们很早就认识到了。早在1830年,英国物理学家法斯勃鲁克(Fasbrooke)就注意到了铁匠耳聋的问题。1886年,英国医生巴尔(Barle)在比较了轮船锅炉制造工、铸模工、邮递员三种不同职业人的听力后,发觉长期接触强噪声的锅炉制造工听力最差,而很少接触高噪声的邮递员听力最好。近几十年来,关于噪声对听力损伤研究有了很大进展。1971年国际标准化组织(ISO)公布了在不同噪声级下长期工作所造成耳聋发病率的统计资料,见表1-1。

由这个统

表 1-1 不同噪声级下长期工作耳聋发病率(%)

等效连续 A 声级(分贝)	工 龄			
	10 年	20 年	30 年	40 年
80	0	0	0	0
85	3	6	8	10
90	10	16	18	21
95	17	28	31	29
100	29	42	44	41

计资料可以看到,噪声愈高、工作年限愈长,患噪声性耳聋的可能性就愈大,反之愈小。在85分贝(A)条件下工作40年,耳聋发病率只有10%,因此许多国家将85分贝(A)定为八小时工作日的听力保护标准(卫生标准)。考虑到经济和实用等方面问题,更多国家将这个标准定在90分

二、噪声对睡眠的干扰

睡眠在人们生活中占有特殊地位,是消除工作疲劳,恢复旺盛体力的主要手段。威尔金森(Wilkinson)曾做过减少成年人睡眠时间的试验,发现随睡眠时间减少,受试人对给定实验信号的反应能力大为下降。科学家还对几天未曾睡眠的人做试验,结果发现,受试人变得疲惫不堪,心烦意乱,情绪急躁。继续延长无睡眠状态时,受试人就会患神经错乱症,严重时会展妄想狂症。有的暴君曾以剥夺人的睡眠作为折磨和逼供的手段,不少人受得了皮肉之苦,却难以忍受不睡觉的煎熬。

通过脑电图及其它生理分析,得知人的睡眠状态一般分为四个阶段:第一阶段是从清醒到昏沉欲睡状态,再到逐渐入睡;第二阶段为入睡深化;第三阶段为睡着;第四阶段为熟睡。正常的睡眠是从第一阶段到第四阶段逐步进行。各阶段持续时间不同。熟睡时间长时,睡眠质量好。

噪声对睡眠的干扰分为两种情况:(1)影响睡眠的深度。睡眠者在噪声干扰下,睡眠状态进不了第四阶段,总在前三个阶段循环,或即使进入第四阶段,时间也很短。处于此状态下睡眠的人会说“没睡好”。(2)噪声将睡眠者完全唤醒,人反映“被吵醒”。人在浅睡阶段比熟睡阶段容易惊醒,而黎明前往往正处在浅睡阶段,所以此时容易惊醒,惊醒后往往难于再入睡,故黎明前的噪声干扰尤为严重。

科学家用电子脑髓X射线照片研究了重型卡车噪声对人睡眠的影响,统计资料说明:(1)当噪声声级为40~45分贝(A)时,人从熟睡转向浅睡,其中10%的人从睡眠中被吵醒;

(2)当噪声声级为 50 分贝(A)时,所有的人睡眠深度都会减弱,其中被吵醒的比例增加到 50%;(3)当噪声声级增加到 70 分贝(A)时,睡眠的人几乎全被唤醒。

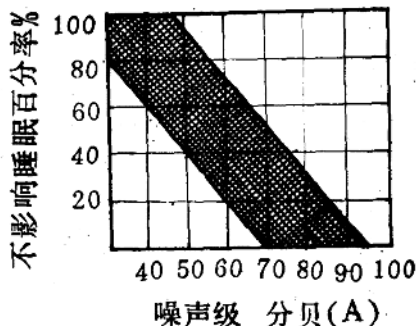


图 1-1 各类噪声在不同声级时对睡眠影响

图 1-1 为各类噪声在不同声级时对睡眠影响的统计结果。可以认为 35 分贝(A)是理想入睡噪声级,而 50 分贝(A)为允许上限值。

三、噪声对神经系统的影响

噪声作用于人的中枢神经系统,能使人的大脑皮层兴奋和抑制,平衡失调,导致条件反射异常,大脑功能受损。如果是早期接触噪声,在一段时间后可以恢复。但若长期接触噪声,形成牢固的兴奋灶,累及植物神经系统,以致产生头疼、头晕、耳鸣、多梦、失眠、心悸、记忆力减退、全身疲乏无力等症状。这些症状,医学上统称为神经衰弱症,或神经官能症。

我国有人曾对在不同强度稳态噪声下,职业性暴露十年以上的工人进行调查,调查结果见表 1-2。

由调查可见,神经性主诉症状的出现率随着噪声强度的增大而升高,当噪声强度超过 90 分贝(A)时,有剧烈上升的趋势。

表 1-2 不同强度噪声职业性暴露工人各种神经性症状出现率(%)

噪声强度 (分贝 A)	记忆力 减退	耳 鸣	多 梦	头 晕	失 眠	头 痛	心 悸	乏 力	恶 心	肢体 麻木
75	27	23	31	30	26	19	15	11	11	7
85	36	21	14	18	18	14	7	11	4	0
90	64	41	45	45	41	36	45	36	23	18
95	73	78	67	56	67	56	56	78	33	22
出现多少次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

四、噪声对心血管系统的影响

噪声对心血管系统的影响也有暂时性效应和持久性效应两类情况。暂时性效应一般表现为脉频和血压的波动,持久性效应则是心血管系统功能的损害。

济南市有关部门曾对 322 名交通值勤民警进行体检,心律失常检出率达 46.89%,明显高于未受交通噪声危害的农民对照组检出率 19.86%。

《工业噪声标准研究》协作组曾对长期在 80~100 分贝(A)稳态噪声下工作的 10021 名职工的血压、脉搏进行检查,并对其中 1700 名工作前无心血管病史,没有肾、肺等可能影响心血管系统疾病,不接触高温、粉尘、毒物的工人进行了常规心电图检查,发现心电图 ST—T 改变阳性率,随噪声强度增加而升高。心电图 ST—T 改变,是心肌供血不足的表现。此外,还发现心电图 QRS 间期延缓(>0.1 秒)的出现率,也有随噪声强度增加而升高的趋势,见表 1-3

动物试验发现,在高噪声条件下血胆固醇含量增高很多。因此,近年来一些医学家认为噪声可以导致冠心病和动脉硬

化。

除了上述的神经系统、心血管系统影响外,还有不少资料报道了噪声对消化系统、内分泌系统、视觉器官的影响,对于胎儿发育的影响,对于儿童智力发展的影响。目前,噪声对人身体的危害研究,还在继续深入。

表 1-3 不同强度噪声职业性暴露
工人心电图 QRS 间期
延缓(>0.1 秒)阳性率

噪声级(分贝 A)	工龄(年)	
	<10	>10
对 照 组	1.3	0.9
80	2.8	4.9
90	3.1	4.5
95~100	10.0	18.6

§ 1.2 噪声降低工作效率

科学家韦斯顿(Weston)与亚当斯(Adams)曾对纺织厂两组工人生产情况跟踪了整整一年。一组纺织工人戴有护耳器,以防止噪声的直接作用,另一组纺织工人不戴护耳器,耳朵暴露在高噪声下。结果发现戴有护耳器的那组工人比不戴护耳器的工人要增产 12%。

有人对打字、排字、速记、校对等工作进行过调查,发现随着噪声的增加,差错率有上升的趋势。相反,在一电话交换台,当噪声从 50 分贝降到 30 分贝时,差错率减少了 42%。

莱尔德(Laird)定量研究了噪声对人的心理运动神经的功能与心理潜能的影响。他给受试人分配了一些需要技巧的工作,这些工作是在各种不同声级的噪声环境中完成的。研究结果见图 1-2,由图可以看到,当声级超过 50~60 分贝(A),对工作有明显影响,且随声级升高,影响加大,生产能力下降。

噪声对脑力劳动的影响更为明显。在嘈杂的环境中,精力不易集中,难于进行深入的思维活动,心情烦躁工作效率低。

噪声除了降低工作效率外,还可能导致工伤事故的发生。

噪声对正常的语言信号起掩蔽干扰作用。假如一个人站在放水的水龙头旁,水流噪声大约为 74 分贝(A),此时离他 6 米的另一人,即使大声叫喊,通话也很困难。如果两人相距 1.5 米,周围环境噪声若是超过 65 分贝(A),就很难保持正常交谈。噪声对语言、通讯的干扰程度见表 1-4。

正是由于噪声的这种干扰作用,往往使人不易觉察一些报警信号,如机器的异常运转声、高速运动物体临近

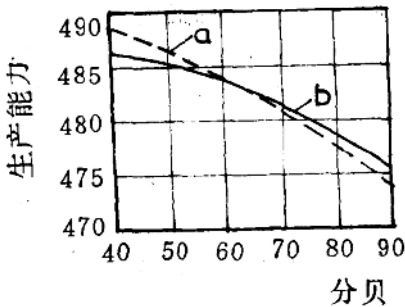


图 1-2 生产能力与采用听力计测出的感觉级间关系曲线
(a)实验开始阶段的
(b)经过 4 小时干扰后的

表 1-4 噪声对语言干扰的程度

噪声声级 (分贝 A)	交 谈 距 离 (米)		电话通讯
	普 通 声	大 声	
45	7	14	满 意
50	4	8	
55	2.2	4.5	稍困难
60	1.3	2.5	
65	0.7	1.4	困 难
75	0.22	0.45	
85	0.07	0.14	不 能

的声音,从而酿成工伤事故。

美国根据不同工种工人医疗和事故报告的研究发现,比较吵闹的工厂区域出的事故比安静的工厂区域出的事故要高得多。联邦铁路局对 22 个月发生的,引起 25 名铁路职工死亡的 19 起事故进行分析,认为主要原因是高噪声。

据世界卫生组织估计,仅工业噪声,每年由于低效率、工伤事故、听力损伤赔偿等就使美国损失 40 亿美元以上,经济损失巨大。

§ 1.3 噪声影响社会安定

噪声和污水、废气、粉尘并列为四大公害,但与污水、废气、粉尘相比,它有如下特点:

1. 噪声源多,污染范围广。在一个城市里,不仅工业生产、而且交通运输、建筑施工、商业活动甚至居民的日常生活都制造噪声,因此在城市的每一个角落都可能有噪声污染问题。

2. 噪声直接作用于人的感官,干扰正常工作、生活,引起人的烦恼。短时间噪声干扰,一般人能承受,但长时间噪声干扰,则不能忍受。

由于上述特点,城市居民对噪声污染的反映最为强烈。据我国几十个大城市的统计,在每年的环境污染诉讼件中,30%~50%是属于噪声的,列各种污染之首。最近,烟台市环境保护科学研究所调查了市区居民对环境的主观反映,调查统计结果见表 1-5。调查显示,对这样一个中等城市,居民感到影响最大的污染也是噪声。

表 1-5 烟台市区各种污染主观反映比例(%)

项 目 区 域	无污染	粉 尘	异 味	污 水	噪 声	振 动	其 它
芝罘区	19.3	18.3	6.6	9.9	43.7	2.2	0.0
福山区	26.6	18.3	8.8	6.4	37.0	0.0	1.4

采用写信、打电话向环境保护主管部门或其它政府部门投诉噪声污染是一种理智的方式,但在噪声污染得不到及时解决的情况下,矛盾常常激化,这方面事例举不胜数。

某城市有个铝制品厂,冲压车间与居民住宅相距不足 2 米,噪声与振动搅得居民坐不稳,睡不安,居民气愤地将车间一侧玻璃全都砸碎。玻璃没了,噪声更重,居民又冲进厂内,强行拉掉电闸,迫使工厂停产。

某城市有家食品厂,噪声扰民长期没解决,后来一位居民竟采用向厂内泼粪的手段进行报复。

因噪声扰民而导致殴斗的现象,时有发生,北京丰台区某饭店是其中一例。这个饭店离居民住宅仅 2~3 米,和面机、电冰箱开动时,居民窗下噪声高达 70~80 分贝。饭店多在凌晨 2~4 点就开始工作,机器的噪声加上操作人员的嘈杂声,严重影响居民睡眠,酿成一次殴斗,造成一人死亡的恶果。

不仅单位与居民间因噪声干扰闹了许多矛盾,就是邻居之间也因噪声干扰发生了许多冲突。

有家人家,座椅不稳,孩子坐在上面看书又不老实,因而咚咚作响。楼下的房间恰巧是孩子读书的地方,楼下的孩子忍受不了噪声干扰,用竹竿捣楼板,以提醒楼上注意。但楼上的孩子父母,认为这是对他们的不尊重,是一种污辱行为,导致了多次吵架。

还需要提到的是,我们注意到,在向环保局和政府有关部

门的投诉件中,几乎全部都是控告外单位的,很少有申诉本单位工作条件差,达不到噪声卫生标准的。北京市曾对109个工矿企业进行调查,涉及冶金、机器制造、石油化工、纺织、建材、印刷等行业。结果有50%的车间内环境噪声超过国家工业企业噪声卫生标准(试行)。不少工人甚至是在高达100分贝以上噪声条件下工作八小时的。造成上述状况的原因,是由于工厂领导只顾完成生产任务,而对工人身体健康关心不够所致。世界上许多国家,如美、法、日、荷兰等国皆有噪声控制法规,凡是超标准的,都是违法行为。在美国,由于噪声超过标准而导致工人听力损伤的,资方要赔偿损失,对于联邦雇员,这种赔偿可高达十万美元以上。我国目前还没有这方面法律约束,但厂领导应设身处地为工人着想,采取措施给予保护。

我国许多在高噪声条件下工作的工人,对噪声的危害认识不足,认为时间长了就习惯了;还有一些工人虽然知道噪声的危害,但认为干自己这行工作就得受这份罪,因而心安理得。随着人们环境意识提高,对噪声危害与治理的知识了解增多,安于现状的情况会改变,工人与厂领导之间因噪声而产生的矛盾就会出现,甚至激化。

噪声影响人和人的和睦关系,还会影响社会安定。对此应引起足够重视。

除了上面提到的噪声对于人体健康、工作效率、社会安定三方面的危害外,强大的噪声还会对动物、建筑物,甚至金属构件产生伤害。

60年代初,美国空军的F-104喷气机在俄克拉荷马市上空作超声速飞行试验,飞行高度一万米,飞了六个月,每天飞八次。结果,航线下方的一个农场的一万只鸡死了六千只。将死

掉的鸡送去化验,发现鸡脑的神经细胞中尼塞尔物质,比正常鸡大大减少了。上述物质的减少是由于飞机轰鸣声造成的。

飞机作超声速飞行时产生的轰声,能量大,不仅对人、动物产生伤害,而且可危及建筑物。1962年,三架美国军用飞机以超声速掠过日本藤泽市,许多民房玻璃被震碎,烟囱倒塌、日光灯掉下,造成很大损失。美国统计了三千件喷气式飞机使建筑物受损事件,其中抹灰开裂的占43%,窗破坏的占32%,墙开裂占15%,瓦损坏的占6%。

150分贝以上的强噪声,会使金属结构疲劳。如一块0.6毫米厚的不锈钢板,在168分贝无规噪声作用下,只要15分钟,就会断裂。由于声疲劳结果,可能造成飞机或导弹飞行事故。

第二章 噪声的物理特性及计量

前一章的介绍,给初学噪声知识的读者留下了许多问号。譬如,文中多次提到“分贝”,那么,什么是“分贝”?为什么又常常在分贝后面加个“(A)”?

在日常生活中,关于噪声,许多人也有一些问号。譬如,马路边的交通噪声显示牌,为什么有两个两位数?一个数不断在变,而在“Leq”下面的那个数却过一段时间才变一次?还有,为什么同样一台机器放在屋中

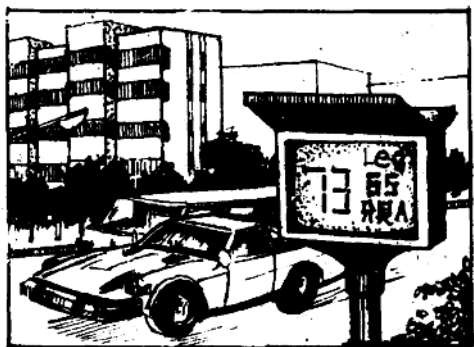


图 2-1 交通噪声显示牌

比在野外响?为什么电锯噪声比风机噪声更觉得刺耳?……

这一章就是来回答这些问题的。本章要讨论的基本问题有:噪声是如何产生的?它有哪些传播特性?怎样描述和量度噪声?怎样结合人的主观听觉特性对噪声进行评价。