

北京西颐线快速轨道交通系统对沿线声学环境影响的估测及其噪声控制方案初探

刘 扬 徐 建 亮

(北京地下铁道科学技术研究所)

1989年6月21日收到

列车在高架结构上运行中产生的噪声是城市快速轨道交通系统所面临的最严重的环境问题。本文在对西颐线沿线本底噪声调查和测定的基础上,参考有关资料,对高架线路运行前后环境噪声的变化即高架噪声对沿线环境的影响程度进行了初步估算;并且重点论述了几种不同形式高架结构的噪声特性和控制方法,同时提出了对新型高架结构防止噪声危害的设计思想。

随着机动车辆给城市环境带来的交通堵塞、空气污染、噪声公害等弊病的不断暴露,自七十年代开始,许多国家的大城市纷纷开发和

兴建各种新型的快速轨道交通系统(Light Rail Transit),简称“轻轨交通”(LRT)。目前世界上已有很多国家和地区修建了轻轨交通系统,

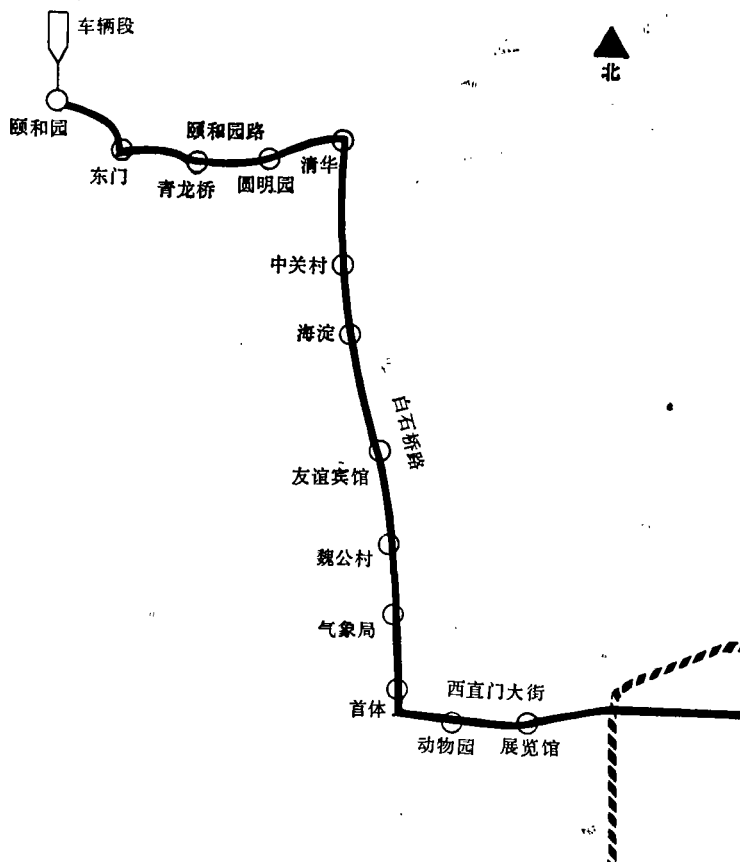


图1 西颐线线路图

如：美国、加拿大、西德、比利时、瑞典、日本、香港等等。世界各国的实践表明：快速轨道交通具有运量大、速度快、耗能低、使用寿命长、运行费用低、一次性投资小等优点，并可减少交通事故的发生，是解决城市交通的有效途径。

近几年我国一些大、中城市正在积极筹备开发轻轨交通线路，目前许多城市已经完成了线路的可行性研究，在表 1 中做一简要介绍。

表 1 我国拟开发轻轨交通线路一览表

城市名称	起 止 站	车站数 目	线路全长 (km)	设计年度
北京	西直门至颐和园	13	14.2	1990
北京	东四十条至酒仙桥	12	16.4	2000
天津	外环轻轨线		71	2000
津塘	二宫至河北路口	5	37.35	1990
津塘	二宫至开发区及新港	10	50.25	2000
津塘	南楼至开发区及新港	11	52.55	2000
津塘	天津站至新港	11	55.85	2000
大连	老虎滩至金南路	13	18.5	1990

北京西颐线以现有环线地铁西直门站为起点，经西外大街、沿 332 路的行车路线到中关村后穿越北京大学至颐和园北宫门，简称西颐线。该线路全程 14.2km，共 13 个车站，见图 1。

西颐线将采取地面、地铁和高架多种轨道形式配套结合，成为一条多层次、多平面的立体交通系统。

本系统为电力牵引高架轨道及地面轨道封闭线路，无废气排出、无空气污染、且不与地面其它交通发生干扰。但是，该线路基本从市区穿过，大部分线路为高架形式(大约 10km)，沿线两侧主要建筑设施以宾馆、医院、高等院校和居民区为主，因此轨道交通将给城市环境带来一些因素诸如：水质、占地、绿化、景观、日照和噪声振动等在这些因素中，噪声与振动的影响起着主导作用，如果不慎重考虑，将给城市环境带来较大危害。

本文在对西颐线沿线本底噪声调查和测定的基础上，参考有关资料，对高架噪声给沿线周围环境造成的影响进行了初步估算；并且重点论述了几种不同形式高架结构的噪声特性和控制方法。

一、西颐线沿线环境本底噪声的现状调查和测定

西颐线沿线两侧的环境本底噪声主要受交通道路机动车辆行驶噪声的影响。西颐线两侧为机关、院校、宾馆、医院和居民集中地区，具有人口密度大、交通流量大等特点。在对沿线两侧本底噪声进行调查和测定之前，首先选择了线路两侧噪声敏感建筑如：友谊宾馆、人大宿舍、北图等 13 个典型建筑为主要测点，测定时间和条件以及测定结果见表 2 和图 2。

通过对沿线本底噪声的调查和测定，可以看出影响线路两侧环境的声源以交通噪声为主。该线路目前昼间的车流量为 404—1648 辆/h，交通车辆对两侧辐射的噪声其等效声级为 50.4dBA—69.6dBA，因此该线路在目前交通状况和交通流量下，基本符合我国《城市区域环境噪声标准》(GB3096-82)中关于“交通干线道路两侧的噪声昼间应低于 70dBA”的要求。

二、轨道交通噪声对西颐线环境影响的估算

轨道交通噪声对城市环境的影响主要表现在高架轨道的噪声影响，其影响程度除与线路走向、线路位置、轨道形式、结构类型、车辆型号有关外，还与列车行驶速度、运行工况、列车长度以及钢轨长度等多种因素有关。预测高架轨道两侧的噪声分布时，对远场还要考虑声源的高度、距离、声波的传播途径、空气和地面吸收以及障碍物和声屏障的效应。

西颐线的线路走向基本沿 332 路方向，自西直门→白石桥→中关村→清华西门→颐和园东门→北宫门。该线路从地铁西直门下层站经地下至展览馆东侧出地面，沿西外大街南侧到白石桥，拐弯后沿 332 路道路东侧到清华西门，至清华西门后沿路南侧在西苑转为北侧，到颐和园东门，从东门经道路北侧到北宫门。全程有 10km 线路为高架轨道。假设：

表2 西颐线沿线道路两侧交通噪声现状的测定

测点 序号	测点名称	测定时间	测点位置(m)	至道路中心距离 (m)	主要噪声源	交通流量 (辆/h)			交通噪声 [dB(A)]				气象条件及其它
						总计	重型	轻型	L_{eq}	L_{10}	L_{50}	L_{90}	
1	中央党校	9:05—9:20	院内	33	生活噪声, 交通噪声	428	80	348	53.6	56.8	50.0	45.8	阴, 小雨 车辆由北向南单行
2	北大宿舍	9:35—9:50	墙外2m	55	以交通噪声为主, 伴有 对面汽车修理厂撞击声	404	180	224	64.1	67.3	62.5	55.5	
3	北大物理楼	10:05—10:20	院内	不在交通干线两侧	环境本底噪声	1144	952	192	50.4	54.8	49.3	46.8	阴
4	海淀居民楼	11:25—11:40	楼外5m	40	交通噪声	1648	268	1380	67.9	70.0	65.8	62.3	晴
5	海淀医院病房区	10:35—10:50	院内	79.5	交通噪声, 环境本 底及施工噪声	1148	240	908	63.6	65.0	59.0	55.5	阴
6	人大学生宿舍	11:00—11:15	楼外1m	36.5	交通噪声	1056	220	836	64.7	66.0	62.5	59.3	晴
7	友谊宾馆	14:02—14:17	院内	32.5	交通噪声	1212	300	912	65.9	68.8	63.3	59.5	晴
8	口腔医院	17:13—17:28	大门内	61	交通噪声	1260	176	1084	67.4	68.5	63.5	59.8	晴
9	北医报告厅	14:35—14:50	厅外平台1m	62.5	交通噪声	1192	260	932	65.3	67.5	63.3	59.8	晴, 3—4级风
10	首体西门	16:50—17:05	距楼馆18m	37	交通噪声	1764	496	1268	69.6	70.0	67.0	64.5	晴, 3—4级风
11	西苑饭店	15:00—15:15 (88.6.6.)	四层客房平 台处	93	交通噪声	1016	376	740	59.3	61.0	59.0	57.0	晴
12	天文馆报告厅	15:00—15:15	北侧外1m	76	交通噪声	1368	372	1056	64.2	65.5	62.0	59.5	晴
13	北展电影馆	15:30—15:45	南侧2m	83	交通噪声				65.6	64.3	57.3	54.3	晴

备注 1. 测定日期: 一九八八年五月二十六日;

2. 测定仪器: 丹麦 B&K 公司 4426 型噪声统计分布仪;

3. 采样间隔: 0.5s;

4. 采样时间: 15min.

表 3 西颐线沿线道路两侧交通噪声现状及其与高架噪声叠加总声级的对照

测点 序号	测点名称	测点位置	测点至高架距离 (m)		交通流量 (辆/h)	交通噪声现状		列车通过高架轨道噪声级			交通噪声 现状与高 架噪声叠 加总声级 $L_{eq}[\text{dB}(\text{A})]$	总声级 L_{eq} 与现状 $\bar{L}_d$ 的差值 [dB(A)]
			高架于路 中心	高架于路 一侧		$L_{10}[\text{dB}(\text{A})]$	$\bar{L}_d[\text{dB}(\text{A})]$	瞬时值 $L_p[\text{dB}(\text{A})]$		等效声级 (1 小时) $\bar{L}_p[\text{dB}(\text{A})]$		
								高架于路 中心	高架于路 一侧			
1	中央党校	道路东侧	33	25	428	56.8	53.6	80.0	82.5	74.0	74.0	20.4
2	北大宿舍	道路北侧	55	43	404	67.3	64.1	76.5	79.0	70.5	71.5	7.4
3	北大物理楼		20(估测)			54.8	50.4	86.5		80.5	80.5	30.1
4	海淀居民楼	道路东侧	40	29	1144	70.0	67.9	78.5	81.0	72.5	73.7	5.8
5	海淀医院病房区	道路西侧	79	90.5	1648	65.0	63.6	73.5	71.5	67.5	69.0	5.4
6	人大学生宿舍	道路西侧	36.5	47.5	1148	66.0	64.7	79.0	77.0	73.0	73.6	8.9
7	友谊宾馆	道路西侧	32.5	43.5	1056	68.8	65.9	79.5	77.5	73.5	74.2	8.3
8	口腔医院	道路东侧	61	50	1212	68.5	67.4	76.0	78.0	70.0	71.9	4.5
9	北图报告厅	道路西侧	62.5	73.5	1260	67.5	65.3	75.0	73.5	69.5	71.0	5.7
10	首体西门	道路东侧	37	25	1192	70.0	69.6	79.0	82.5	73.0	74.8	5.2
11	西苑饭店	道路南侧	93	81	1764	61.0	59.3	72.0	74.5	66.0	66.8	7.5
12	天文馆报告厅	道路南侧	76	64	1016	65.5	64.2	73.5	76.0	67.5	69.3	5.1
13	北展电影院	道路北侧	83	91	1368	64.3	65.6	72.5	71.5	66.5	69.0	3.4

备注 1.车辆为国产地铁客车;

2.车速: 100km/h;

3.交通噪声现状与高架噪声叠加总声级的计算公式为: $L_{eq} = 10 \log \frac{1}{2} [10^{0.1 \bar{L}_d} + 10^{0.1 \bar{L}_p}]$

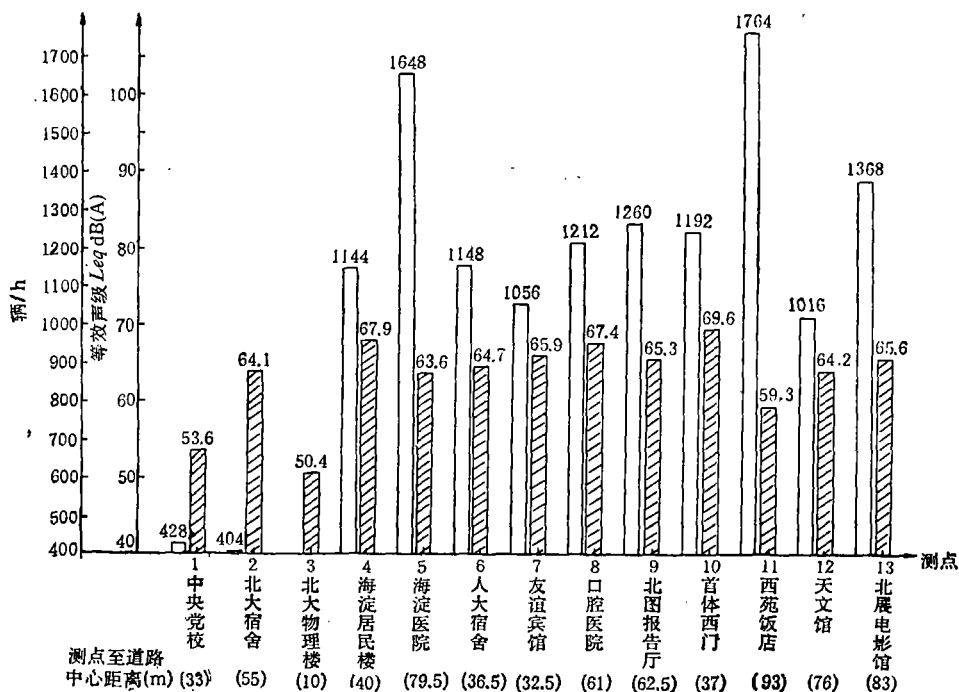


图2 西颐线沿线道路两侧交通噪声现状

■表示测点上的交通噪声现状的等效声级 □表示测点的交通流量

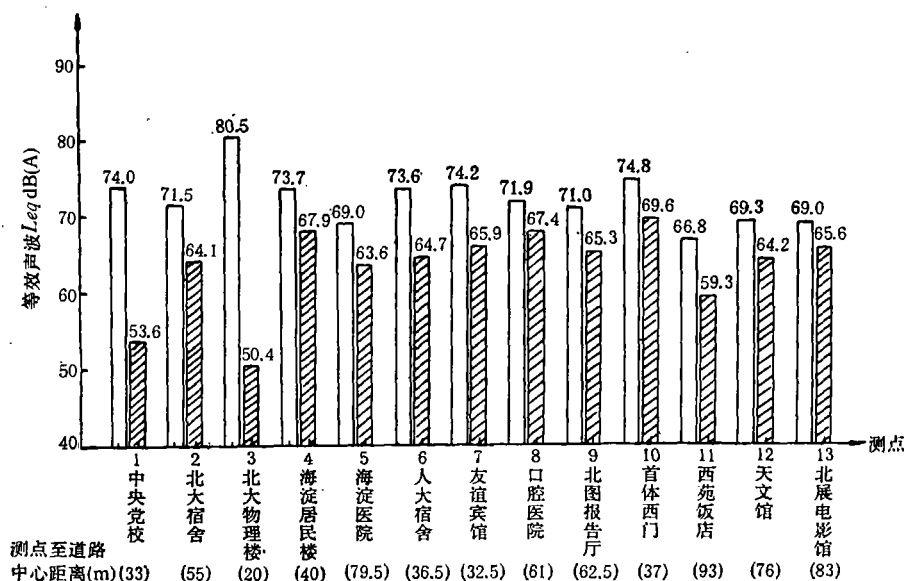


图3 西颐线沿线道路两侧交通噪声现状及其与高架噪声叠加总声级的对照

■表示测点的交通噪声现状的等效声级 □表示交通噪声现状与高架噪声叠加的总声级

① 西颐线采用国产地铁客车;

② 行驶速度为 100km/h;

则高架轨道噪声对沿线环境的影响其估算值见表3和图3。

从表3可以看出,西颐线的修建将使其线路周围的声学环境发生一定变化,线路运营后,部分区段两侧的噪声级比现有交通噪声明显提高, L_{10} 比现状增加 2.0dBA—25.7dBA, Leq 增

加 0.9dBA—30.1dBA, 某些地区的环境噪声还有可能超过国家标准, 如: 中央党校、北大物理楼、人大宿舍、友谊宾馆等。从表 3 中还可看出: 高架线路建在道路中央和道路一侧对沿线环境的影响也有所不同, 若在道路一侧将使每个测点的噪声级增加或减少 1.5dBA—2.5dBA。

在这里有必要做以下几点说明:

1. 表 3 是根据国产地铁电动客车以 100 km/h 的速度在高架轨道运行的辐射噪声随水平距离衰减的动态特性曲线作出, 而在西颐线可行性研究的车辆比选中, 拟推荐采用加拿大兰万灵公司的 3200 型线性电机车辆。因此对西颐线的噪声评价应根据 3200 车的噪声特性来进行。

2. 西颐线轨道交通车辆的最高运行速度为 80km/h, 最大旅行速度为 33km/h, 平均速度 35km/h—38km/h, 达不到 100km/h 的速度, 因此噪声影响的程度也不会如表 3 所估算的那样严重。

3. 对于轨道交通噪声的预测, 仅仅采用计算 A 声级随距离衰减的方法是很不科学的, 也很不准确。由于各种噪声源在传播过程中受到大气吸收、地面反射、屏障效应等因素的影响, 并且均与噪声的频率成份有关, 因此仅仅根据 A 声级衰减计算轨道交通噪声的分布情况与用各频带下噪声级衰减计算然后再合成 A 声级, 其结果可能大不相同, 采用 A 声级衰减法计算噪声分布其误差可能在 $\pm 10\text{dBA}$ 以上。

利用计算机预测噪声级如: 工业噪声、交通噪声等等, 国外做过大量研究, 基本已进入实用阶段, 对于轨道交通噪声的预测只是其中一个方面, 例如美国可对高架轨道噪声、地面线路噪声、轮轨噪声、车辆噪声、设备噪声以及地基噪声(除车轮尖叫声外)都能做出预测。而我国则起步较晚, 城市轨道交通线路及其噪声预测均属空白, 因此在规划新的轨道交通线路的同时, 及早在轨道交通噪声的评价和预测方面进行更多的研究, 科学地有效地采取控制措施以避免环境污染的发生, 使城市轨道交通系统的经济效益和社会效益得到充分发挥。

三、高架结构的噪声特性及其控制

城市快速轨道交通包括地面线路、高架轨道和地下铁道等多种形式, 不同形式的轨道结构具有各自不同的噪声辐射特性, 而且对沿线的影响范围宽度也不同, 表 4 为不同轨道结构的噪声覆盖范围即轨道中心线至建筑物的距离(列车速度 100km/h, 焊接长钢轨, 钢轨和车轮的表面条件良好)。

表 4 不同轨道结构的噪声覆盖范围

轨道结构类型	至轨道中心线的距离 (m)
1. 轻型高架钢结构	600(或更大)
2. 混凝土或钢/混凝土混合高架结构	200
3. 地面碎石枕木或路堤	130
4. 有声障的高架结构	60
5. 有声障的碎石枕木道床	30—35
6. 路堑(隔声林带)	30—35
7. 路堑(隔声墙)	25—35
8. 地铁	25—35
9. 有浮板的地铁	7—10

从表 4 可以看出: 噪声传播的距离与轨道形式有很大关系。在九种轨道结构中, 高架结构的噪声覆盖范围是最大的, 尤其是轻型高架钢结构。若轨道结构选择得合理, 对沿线环境的干扰范围和影响程度则小些。列车在轻型高架结构上运行时所产生的噪声影响是轨道交通系统所面临的最严重的环境问题。在此将重点讨论高架结构的噪声特性和降低高架噪声的方法。

高架结构一般被分为三类, 见图 4。

第一类是轻型高架钢结构, 轨枕直接固定在钢梁上。当列车通过时, 将产生共振作用, 对路旁的辐射噪声很大。

第二类是由钢梁或混凝土梁支承的高架混凝土板式结构, 与第一类有很大区别。它是采用弹性扣件直接将钢轨固定在混凝土板上, 高架混凝土板式结构的质量和内部阻尼使其声学特性比轻型高架钢结构更接近于地面轨道结构。

第三类高架结构即碎石道床板式结构,这种结构不论钢板还是混凝土板其噪声特性是相同的,与混凝土板式结构整体道床所产生的噪声级大致相等或稍低一些。碎石道床高架结构

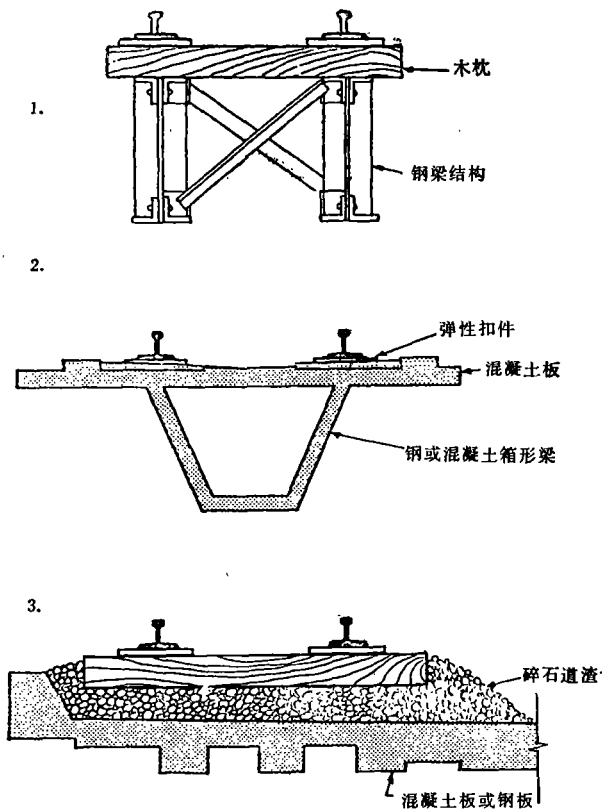


图4 高架结构的三种基本形式

1. 轻型高架钢结构 2. 高架混凝土板式结构
3. 碎石道床板式结构

和整体道床高架结构在噪声特性上相似,其噪声影响均低于轻型高架钢结构。

1. 影响高架结构噪声的因素

如图5所示,当列车在高架结构上运行时在公共区域产生的噪声来自四种基本声源,它们是:

- ① 车辆设备,如:牵引电机、压缩机和发电机等的辐射噪声。
- ② 由车轮和钢轨的相互作用而产生的噪声。轮轨噪声包括在轨道接缝处的冲击噪声、弯道处的啸叫噪声和有节奏的滚动噪声。
- ③ 由结构的振动成份辐射的噪声。
- ④ 通过承重柱体向临近建筑物传递的地

基噪声和地基振动以及由振动引起的二次辐射噪声。

2. 轻型高架钢结构的噪声控制

高架钢结构的噪声级高,影响面广,其噪声不仅影响路旁的公共区域,而且对车内乘客也有很大干扰。在路旁公共区域产生的噪声级可达100dBA以上,列车由地面碎石道床结构过渡到高架结构车辆内部的噪声级将提高12dBA—15dBA。

对于高架钢结构的噪声可从三个方面进行控制,第一,保证车轮和钢轨表面光滑;第二,将接缝钢轨改为焊接钢轨,若60—70%的接缝钢轨改用焊接方法,声学环境可得到很大改善。第三,用弹性直接固定扣件取代将轨道直接与结构连接的方法。

另外,声障是一种降低噪声的有效方法,在高架结构中必须阻隔所有主要声源的辐射传播途径,见图6。

第一步利用侧墙阻挡车轮、轨道和车辆直接辐射的噪声,降噪量为7dBA;第二步在梁和便道上进行阻尼处理,降噪量可提高2dBA;第三步经过最终处理——在声障墙即侧墙和隔墙上填充阻尼材料,结构下部加上高隔声量的弹性悬挂体,降噪量可达19dBA。因此轻型高架钢结构有效声屏障的要求是设置垂直侧墙和隔声系数高的结构底部保护层。

3. 高架混凝土板式结构的噪声控制

如果轨道线路无法避免要从安静的居民住宅区内穿过,可选用高架混凝土板式结构。高架混凝土板式结构的噪声特性以及降噪方法与地面轨道结构相同,如采用焊接钢轨、弹性固定扣件、混凝土梁和声障墙等。

高架混凝土板式结构噪声与钢/混凝土混合结构的低频噪声辐射有关,大量数据表明:噪声辐射传播是通过钢梁底部振动引起的,若钢/混凝土高架结构位于噪声敏感区,则控制低频噪声的辐射应采取阻尼处理的措施。高架结构虽使室内声级仅提高2dBA—3dBA,但高架结

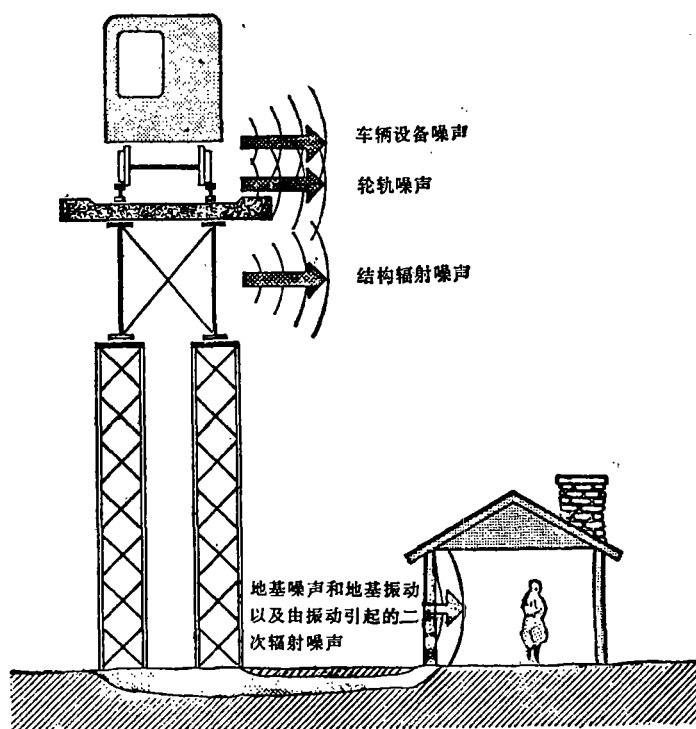


图5 高架结构噪声源

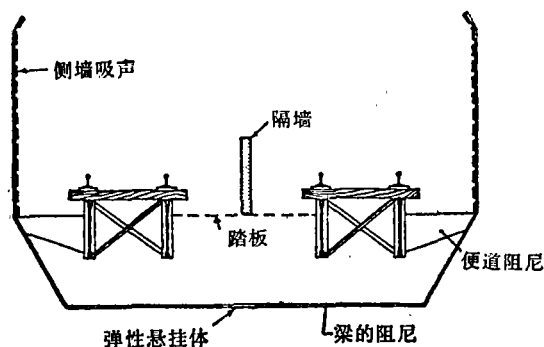


图6 轻型高架钢结构的消声处理

构所产生的低频噪声却将大大增加室内居民的烦恼和不安。

4. 碎石道床板式结构的噪声控制

在几种高架结构中，碎石道床板式结构的噪声辐射最低，因此通过附加的吸声处理进一步降低这种结构的噪声是有限度的。道碴本身具有阻尼特性无须考虑采用其它的阻尼减振手段来降低结构辐射噪声。道碴和承重支柱的质

量对降低结构辐射噪声也起着重要作用，但大幅度增加结构的质量降噪效果并不会有明显提高。降低碎石道床板式结构噪声的主要途径是利用道碴覆盖层和声障墙。

试验表明，道碴覆盖层不仅可以有效地降低结构辐射噪声，而且也可以提高道碴的耐久性。在相同的列车运行条件下，由于道碴的吸声系数比混凝土高，所以碎石道床结构的噪声级比混凝土道床低 3dBA—4dBA，同样，在高架混凝土板式结构上声障墙的内表面填充吸声材料可降低噪声级 2dBA—3dBA

参 考 文 献

- [1] Saurenman J. Hugh, Nelson T. James, Wilson P. George, Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, 1982. 2, 530—600.
- [2] Parsons, Brinkerhoff, Quade & Douglas. Inc: De Leuw, Cather & Company Kaiser Engineers, Subway Environmental Design Handbook. Volume I. 1976.