

**摘要** 分析了城市轨道交通噪声的产生与传播过程。根据已有的研究成果整理出了城市轨道交通噪声影响的理论计算方法,得出城市轨道交通线路不同敷设方式噪声影响的范围和程度。在此基础上,借用成本效益理论,提出了城市轨道交通噪声影响的效益评价方法。

**关键词** 城市轨道交通;线路敷设方式;噪声影响;效益评价

在城市轨道交通比较发达的一些国家如美国、法国、日本、德国、英国、比利时、瑞士等,轨道交通引起的环境问题已被列为重要的科学研究课题。他们早已开始研究噪声的产生原因、传播路径、控制方法以及对人体的危害等,并把这些研究成果应用于城市轨道交通的规划与设计中,使噪声在线路投入使用前就得到有效控制[1-5]。

针对我国城市轨道交通噪声的环境影响问题,国内也已经开展了一系列的工作[6-9]。但是,我国关于城市轨道交通建设项目环境影响评价的工作起步较晚,目前尚无一整套统一完整的、可供线路规划设计阶段使用的噪声影响评价方法和模式;同时,与国外相比较,国内对城市轨道交通噪声的研究多数仅限于事后的环境影响研究,而很少有把这些研究成果与城市轨道交通规划结合起来,以优化城市轨道交通的规划与设计。鉴于此,本文根据已有的研究成果,就不同线路敷设方式的城市轨道交通噪声影响及其影响程度进行理论分析和计算,在此基础上提出关于城市轨道交通噪声影响的效益评价方法。

## 1 城市轨道交通噪声对沿线环境的影响

### 1.1 城市轨道交通噪声的产生与传播

从影响对象来看,轨道交通噪声可以分为车厢内噪声、车站内噪声和路边噪声。车厢内的噪声由乘坐该车的人承受,车站内的噪声由在车站内候车的人承受,而路边噪声影响着在轨道交通沿线区域居住或工作的人们。各种类型的噪声可能来自一个或多个噪声源,并且沿着各种各样的途径进行传播和扩散。本文主要从城市轨道交通规划与设计的角度研究轨道交通形成的噪声对沿线环境的影响,即路边噪声对环境的影响。

路边噪声的产生与传播是通过声源、传播路径及接收点这3个方面进行的(见图1[10]):轨道交通在运行过程中形成了噪声源;噪声源在传播过程中,由于发生扩散、吸收、屏蔽等作用而减弱;最后,噪声到达接收点,并结合其他因素影响接收者的活动。

### 1.2 城市轨道交通噪声影响理论计算方法

为了评价城市轨道交通噪声的影响,除了进行实际调查外,还需要对未来的噪声振动影响进行预测,这就必须有一个比较准确简单的计算模型。多少年来各国的研究者都结合具体交通情况,研究了一整套计算方法,目前还在研究之中。由于本文的工作着眼于城市轨道交通规划与设计这个大方向,是从效益角度去评价城市轨道交通的噪声影响,不是从声学的角度去研究问题,不是也不可能重新提出一套计算模型。至于在轨道交通环境影响评价中所需要的噪声计算模型,主要是借鉴目前已有的研究成果,并结合城市轨道交通线路不同敷设方式的特点,对模型进行适当的修正,初步提出一套适用于城市轨道交通线路规划设计阶段的噪声计算方法,为线路规划和设计时进行噪声影响评价提供依据。

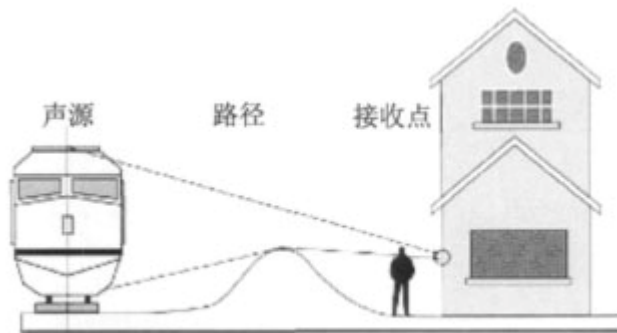


图 1 声源—路径—接收点示意图

#### 1.2.1 计算步骤

本文参照道路 EIA(Environment Impact Analysis)指标体系中声环境影响评价指标的评价方法和美国联邦公共交通运输管理局于 2006 年 5 月颁布的《交通噪声与环境评价手册》(以下简称《手册》)[10],并结合线路敷设方式对噪声影响的特点,采用的城市轨道交通噪声预测方法如图 2 所示。可以利用该方法对不同线路敷设方式的城市轨道交通线路进行噪声预测和评价,并对结果进行比较。

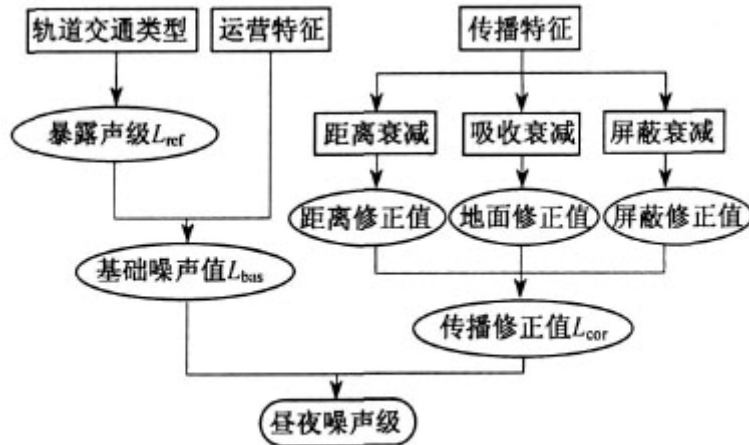


图 2 城市轨道交通噪声预测流程图

## 1.2.2 计算方法

### 1.2.2.1 参考暴露声级

参考暴露声级(Lref)是在特定运行条件下,线路上的某一点通过 1 列车的声级。不同的城市轨道交通类型(地铁、轻轨、通勤铁路等),噪声源的 Lref 有所不同,可按文献[10]确定 Lref。

### 1.2.2.2 基础噪声值

根据噪声源在计算点的 Lref,参考不同运营条件下的修正公式和线路敷设方式修正值,可以计算噪声源在参考点(距离轨道中心 15 m 处)的基础噪声值(Lbas)。具体运营特征包括车流量、运行速度。线路敷设方式分为地面线路和高架线路(由于地下线路噪声对沿线环境的干扰不大,所以不对其影响进行评价)。相关计算模型可以参考文献[11]。

### 1.2.2.3 传播过程的噪声修正值

根据轨道交通类型和运营特征,可以得到列车在轨道上行驶时产生的噪声强度。不仅应关心列车在轨道上噪声的大小,而且要取得离轨道交通线路不同距离和高度地点的噪声值。这就涉及到噪声扩散传播时由于距离、吸收和屏蔽等作用产生的衰减,来对基础噪声进行修正。关于这方面的修正方法已基本成熟。本文的几种修正模型或修正值是结合城市轨道交通地面和高架线路的特点,参考文献[12-14]的相关研究成果得来的。

### 1.2.2.4 噪声强度

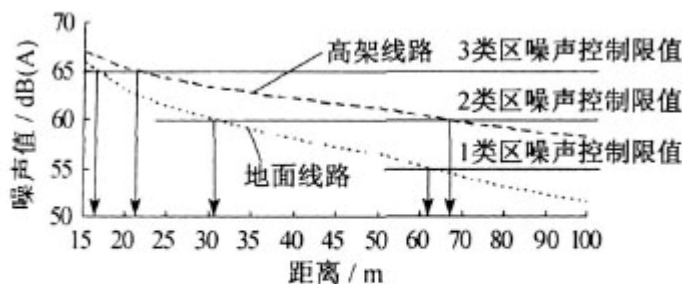
由不同轨道交通类型和运营特征计算得到的 Lbas 加上由于扩散和传播产生的修正值 Lcor,最终可得在计算点处产生的噪声强度  $Leq=Lbas+Lcor$ 。

## 1.3 不同线路敷设方式下噪声对沿线环境的影响

为了具体研究轨道交通线路不同敷设方式对噪声的影响程度,利用以上预测方法,对假定的轨道交通线路进行噪声影响预测和分析。为使研究成果具有一定的普遍性,假定的轨道交通线路在系统制式、运营特点、线路特征等方面与目前普遍采用的城市轨道交通线路一致。

通过理论分析和计算可知,不同的线路敷设方式对噪声的影响程度是不同的。一般来说,在其他条件都相同的情况下,高架线路噪声较地面线路噪声要高 1~6 dB(A),因此高架线路的噪声影响范围也要比地面线路大 5~40 m。如图 3 所示,如果线路设声屏障,那么高架线路在距离线路中心 20~25m 处能满足 3 类区的噪声控制要求,而地面线路在 15~20 m 左右就能满足 3 类区的要求;高架线路在 65~70 m 处能达到 2 类区噪声控制要求,而地面线路在 30~35 m 处就能达到 2 类区的要求;高架线路在 100 m 范围内无法达到 1 类区的噪声控制要求,而地面线路在距离线路中心 60~65 m 处就能达到 1 类区噪声控制要求。





注：1类区域是以居住、文教机关为主的区域；2类区域是居住、商业、工业的混合区；3类区域是工业区。

图 3 不同线路敷设方式的噪声影响范围 (设声屏障时)

## 2 城市轨道交通噪声影响效益评价

噪声影响会使周围的环境恶化,产生的后果有可能会使土地的商业价值下降。要控制噪声的影响就要采取各种措施,就必然要进行投入,这就带来了一个以什么样的标准进行投入才是最合理的问题,或者说要评价带来最大经济效益的投入水平。因此,在进行城市轨道交通线路噪声预测的基础上,现提出城市轨道交通噪声的效益评价方法。

### 2.1 城市轨道交通噪声影响效益评价原理

成本效益分析(Cost-benefit Analysis)是评价各种公共项目经济效率性的最基本方法[15]。它把项目实施费用和项目所产生的效益换算成货币后进行对比、评价,从而确定该项目实施的可行性。效益是指用货币单位表示出的因项目实施而产生的效果。费用是指因项目实施而丧失的财产或福利价值。如果可以把轨道交通产生的噪声影响换算成货币,就可以用成本效益分析方法对其进行效益评价。

从噪声构成的环境影响来分析,其经济成本可以分为直接损失、间接损失和降噪措施成本[16]。直接损失包括房产价格的下降。间接损失包括用于治疗相关疾病的费用和个人工作效率的下降。由于噪声形成的直接和间接损失随着噪声的影响程度的提高而增加,所以降噪措施的最终目的还是减少直接损失和间接损失。这就意味着增加对降噪措施的投入,即增加降噪措施成本,以降低噪声对沿线环境的影响,因而减少其间接和直接损失。因此,就存在一个投入多少的问题。总的原则自然是希望通过一定量的投入获得最佳的经济效益。这也正是噪声效益评价的思想和原理。

#### 2.1.1 噪声影响造成的损失

##### 2.1.1.1 直接损失

噪声影响造成的直接损失是降低了居住和工作环境的舒适度和安全性。虽然这种降低程度很难用经济来直接评价,但是可以通过一些相关的经济行为来间接估计其损失程度。

一个常用的方法是利用特征价格法研究房价受噪声和振动影响的程度,得到噪声敏感指数(Noise Depreciation Sensitivity Index) INDS 用以计算房价下降程度。例如,当 INDS 为 0.4%,噪声控制标准值为 55dB(A),则房产受噪声影响产生的价格降低百分比为(房产处噪声值-55)×0.4%。反过来说,如能将噪声降低 1 dB(A),那么相当于受影响房产的房价升值 0.4%。根据国外的研究成果[17],对于不同的交通方式以及噪声源的 INDS 取值范围在 0.2%~1.3%之间,其中由于轨道交通产生的 INDS 平均值为 0.9%。

##### 2.1.1.2 间接损失

间接损失中用于治疗相关疾病的费用是指由于噪声造成的心理和生理疾病的治疗费用,还包括因为噪声导致个人工作效率的降低。由于这些损失根据不同的影响个体其具体情况有很大的不同,根据市场经济的特点,可认为在直接损失的货币计算过程中,已把间接损失计算在内了。即房产价格已反映了由于噪声造成的个人损失。因此,在评价过程中可以用房产价格的下降代表噪声影响的损失。

#### 2.1.2 噪声控制成本

为降低列车运行噪声对沿线敏感点的影响,可以通过多种方法和途径来实现。宏观层面,可以通过合理的线路规划和城市规划避开噪声敏感点,比如采用对外界噪声影响小的线路敷设方式。而具体措施更是多种多样,包括:优先选用声学性能优良的城市轨道车型,采用重型轨,铺设无缝线路等;对噪声超标的敏感地段设置吸(隔)声屏障;在车辆段总体布局上,将



噪声源远离敏感区域,空压机等设备采取消音措施等。不同的方法和途径其成本也各有不同。因而,降噪措施成本与所采用的噪声控制方法和措施紧密相关。具体计算中,可以根据实际情况选择合适的降噪方法,统计其费用。

## 2.2 城市轨道交通噪声影响成本效益评价方法

成本效益分析中,费用和效益不是根据项目实施前后的变化来计算,而是进行有无比较,计算项目实施和不实施情况下的差异。在噪声超标的情况下,假如不采取降噪措施,将导致房产价格下降;如果采取了降噪措施,房产价格的下降程度将减少或者价格升高。因此,可以把房产价格的减少或者升高作为效益项,把降噪措施成本作为成本项进行评价。评价标准可以采用费用效益比(Cost Benefit Ratio)RCB,即用项目实施所产生的效益的总现值和费用的总现值之比来表示项目经济上的核算性,如果  $RCB > 1$ ,就可以判断项目的效益比较合理。具体方法如图 4 所示。

首先通过噪声预测方法得到评价区域的噪声值  $N_f$ ,根据区域环境的噪声控制标准  $N_s$  判断预测值是否超标。如果未超标说明该项目符合环境要求,不需要实施减振降噪控制;如果预测值超标,即  $N_f > N_s$ ,可以考虑采用各种降噪控制措施来降低噪声。通过实施控制措施后会得到新的噪声  $N_{fn}$ 。利用噪声敏感指数 INDS、噪声的降低量、房价(P)和受噪声影响的房子面积(S),可以得到采取控制措施得到的效益,即房地产的升值,表示为  $B = INDS \times (N_f - N_{fn})PS$ ;同时通过研究所采取的不同控制措施的成本  $C_i (i=1, \dots, n)$ ,可以得到整个项目进行环境控制所花费的成本,即  $C = \sum C_i$ 。最后计算费用效益比  $RCB = B/C$ 。如果  $RCB \geq 1$  表示所采取的控制措施是合理的,项目可行;如果  $RCB < 1$ ,表示采取的控制措施不合理,应通过调整控制措施最终使  $RCB \geq 1$ 。

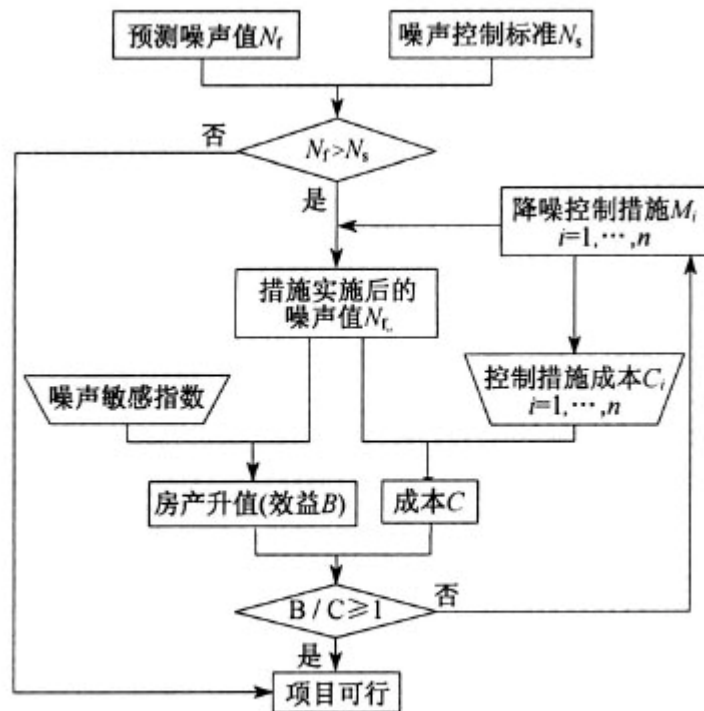


图 4 城市轨道交通噪声影响成本效益评价方法

## 3 结语

通过研究分析城市轨道交通噪声的评价方法,得到了不同的线路敷设方式噪声影响的范围和程度。在此基础上,借用成本效益理论,提出了城市轨道交通噪声影响的效益评价方法。在城市轨道交通的规划与设计过程中,可以利用该方法对线路的噪声影响进行分析和评价,以优化线路的设计。

## 参考文献

- [ 1 ]Wilson G P. Control of ground borne noise and vibration [J]. Journal of Sound and Vibration, 1983, 87(2): 339.
- [ 2 ]Kurzweil L G. Ground borne noise and vibration from underground rail systems [ J]. Journal of Sound and Vibration, 1979, 66(3): 363.



- [ 3 ]Fujikake TA.A prediction method for the propagation of groundvibration from railway trains[J]. Journal ofSound and Vibration,1986, 111(2): 289.
- [ 4 ]ZachA.Vibration insulation research results in switzerland[ J].Journal ofSound and Vibration, 2000, 231(3): 877.
- [ 5 ]Dawn TM, Stanworth C G. Ground vibrations from passing trains[J]. Journal ofSound and Vibration, 1979, 66(3): 355.
- [ 6 ]陈佐.城市轨道交通对生态环境的影响[J].中国铁道科学,2001(3): 126.
- [ 7 ]刘枫,高日.城市高架轨道交通体系振动与噪声控制[J].噪声与振动控制, 2000(4): 32.
- [ 8 ]罗锴,雷晓燕,仲志武.城市轨道交通噪声预测方法[J].城市轨道交通研究, 2007(11): 29.
- [ 9 ]宋晶,郝?.地铁车站对周围环境振动与噪声的影响分析及对策[J].城市轨道交通研究, 2008(3): 26.
- [10]Office ofPlanning and Environment. TransitNoise and VibrationImpactAssessment[G]. FederalTransitAdministration, 2006.
- [11]雷晓燕,圣小珍.铁路交通噪声与振动[M].北京:科学出版社, 2004.
- [12]Nelson P.TransportationNoiseReferenceBook[M].London: But-terworth& Co.,Ltd., 1987.
- [13]U.S.DepartmentofTranspor.t Calculation ofRoadTrafficNoise[M].Washington D.C.:StationeryOffice Books,1988.
- [14]任文堂.交通噪声及其控制[M ].北京:人民交通出版社, 1984.
- [15]青山吉隆.图说城市区域规划[M].王雷,蒋恩,罗敏,译.上海:同济大学出版社, 2005.
- [16]European Environment Agency. External cost of transport[R].Paris: InternationalUnion ofRainways, 2001.
- [17]BronsM,Nijkamp P, PelsE, eta.l Railroad noise: economic valu-ation and policy[J].TransportationResearch PartD 8, 2003(8):169.

