

绿化带对交通噪音衰减效果的研究进展

王玮璐, 郭小平*, 汪明勇, 张 平

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要:介绍了交通噪音的来源、危害和治理方法以及利用绿化带消减交通噪音的优势,从植物的自身特点和绿化带结构两方面将绿化带对交通噪音衰减效果的研究现状进行了综述,并结合目前的研究现状提出了3点意见:1)由叶片更宽且表面被毛、枝叶繁茂、分枝点低的乔灌木树种隔行栽植所组成的30~70 m宽且靠近道路的乔灌木复层结构绿化带可以更好地消减交通噪音;2)对植物降噪机理和绿化带降噪因子开展更多研究;3)构建包含植物特点和结构特征等多种降噪因子的绿化带衰减交通噪声预测模型。

关键词: 交通噪音; 噪音衰减效果; 综述; 绿化带

中图分类号: S731.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2013)01-0240-05

Research Progress of Traffic Noise Attenuation by Green Belts

WANG Wei-lu, GUO Xiao-ping*, WANG Ming-yong, ZHANG Ping

(Key Laboratory for Soil and Water Conservation Desertification Combating of Ministry of Education,
College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The sources, harms, management methods to the traffic noise and advantages of eliminating the noise by green belts were introduced. Research status of traffic noise attenuation by green belts was reviewed from the views of the plant characteristics and the structure of green belts. Three suggestions were put forward: 1) green belts with the width of 30-70 m, which consisted of interlaced planted arbors and shrubs with wider and hairy leaves, more branches, low branching-point near the road could reduce traffic noise more efficiently; 2) more attenuation should be paid to the researches of mechanism and factors related to traffic noise by green belts; 3) predictive models for traffic noise attenuation by green belts which included plant characteristics and green belt structures should be established.

Key words: traffic noise; noise attenuation; overview; green belt

近年来,随着经济快速发展和城镇化进程加快,城市规模正在急剧扩大。道路作为城市发展的“骨架”,不仅支撑起了城市的框架,还为城市和城市之间的物资与信息的顺畅交流提供了便捷的通道,为国民经济和社会发展做出了巨大贡献。但是随着道路车流量剧增而产生的交通噪音污染也成为现代城市噪音污染的主要来源,给沿线环境和人们的工作、生活带来了许多不利影响。因此对交通噪音污染的治理就愈显重要。

交通噪音污染主要由汽车发动机噪音、轮胎与路面摩擦噪音和车体与空气摩擦产生的噪音组成。同时,低频率交通噪声的污染较为严重^[1]。如果长期受到噪音的刺激,人们的听觉敏感性会显著降低,甚至造成暂时或永久性的听力损伤^[2]。目前,对交通噪音的治理主要从噪音源防治、传播途径切断和受声点防护3个方面入手^[3],主要有改进和提高汽车的降噪性能,合理规划设计城市路网,修建低噪音路面;建造声屏障、防噪堤和绿化带;临街建筑安装

收稿日期:2012-02-23 修回日期:2012-03-30
作者简介:王玮璐,男,硕士研究生,研究方向:水土保持与工程绿化。E-mail:wangweiluwwl@hotmail.com
通信作者:郭小平,男,博士,副教授,研究方向:水土保持与荒漠化防治、工程绿化。E-mail:guoxp@bjfu.edu.cn

双层窗户等措施。其中在切断噪音传播途径方面,由于修建声屏障的成本较高,只适用于降噪目标范围小的区域,而防噪堤一般只适用于路堑边坡路段,因此利用绿化带消减交通噪音则成为一种简便、易行的方法。以乔木和灌木为主并且成行列栽植于道路两旁的绿化带不仅能够有效地吸收和反射声能从而降低道路沿线的噪音污染,还可以扩大城市的绿化面积、增加绿量、滞尘释氧、改善城市的生态环境,具有其他降噪设施所无法比拟的生态功能。同时,绿化带还可以利用道路的网状特点,将其与城市中其他绿地连接起来,形成城市绿色生态防护体系,改善人居环境条件。本文从用于建植绿化带的植物自身特点和绿化带结构出发,综述了植物和绿化带消减交通噪音效果的研究现状,以期为我国道路绿化和交通噪音治理工作提供技术参考。

1 植物对交通噪音衰减效果的影响

1.1 植物器官在消减交通噪音中的作用

作为道路绿化带构成者的各种植物,其显微结构和枝叶所具有的特点对消减交通噪音起到了非常重要的作用。从微观角度看,在噪音经传播进入到植物体内部时,植物显微结构上的特点能够有效地降低声能,达到消减噪音的作用。以木本植物为例,其茎的木质部中聚集排列的导管就具有微穿孔板谐振腔吸声结构的特征;叶片细胞间隙可以看作是由很多近似平行的毛细管组成,声波在毛细管中传播时,声波受到黏滞力的作用引起噪音传播过程中的热损耗,而且根据毛细管吸声系数公式,毛细管愈细,噪音频率愈高,吸声系数就愈大^[4]。从目前的研究进展来看,有关植物显微结构的降噪机理研究还较少,研究结果尚未形成完整的理论,还有待进一步的深入研究。从宏观角度来看,植物对噪音的衰减是由植物枝叶的散射作用引起的^[5]。一般认为高频噪音环境下,叶型较大、叶表面被毛、枝叶相对繁茂的植物,其隔声效果较好^[6]。枝叶对噪音的消减作用是其对声波吸收和反射共同作用的结果,当声波入射到枝叶表面时,一部分声能在低频范围内转变为枝叶的固有频率,另一部分声能被树叶和树皮吸收^[7],还有一部分声波被枝叶所反射。植物器官之间对于不同频率交通噪音的衰减效果是有一定差异的。周敬宣^[8]等的研究表明,树干对高频噪音的衰减效果优于低频,但枝叶和覆盖腐殖质的地面对中低频率的噪音衰减效果较好。但是,刘佳妮^[9]的研究认为叶片形状特征只对高频噪音的衰减有显著影响,其中叶片面积与宽度的影响较为显著,叶面积和宽度越大,降噪效果越好且叶片宽度对降噪效果影

响的显著性较叶面积更大。另外,王慧^[10]等人通过对山西省 6 个类型的 58 条典型路段的公路绿化带进行噪音衰减测试后发现,绿化带的噪音衰减与其胸高断面面积呈极显著的正相关关系。同时,植物的分枝点高度也是影响降噪效果的一项重要因素。灌木一般具有较低的分枝点高度,其稠密的枝叶能够产生散射作用,从而较好地消减噪音。在实际应用中,在乔木下种植灌木可填补乔木在较高的分枝高度以下由于较少的枝和叶所产生的空隙,使得林带产生更好的降噪效果。从以上研究结果可以看出,枝叶在植物消减交通噪音的过程中起到了非常重要的作用,具有较低分枝点高度且枝叶繁茂的植物通常具有较强的降噪能力。

1.2 不同树种在消减交通噪音效果上的差别

虽然针、阔叶树都有着良好的减噪效果,但哪一种树降噪效果好的问题,很多研究还有不同的看法。姚成^[11]研究认为树种的吸声量与树木的单位吸声量有关,浓密的枝叶有助于提高树木的单位吸声量,因此认为阔叶树比针叶树的吸声效果好。进而,明雷^[12]通过试验也发现阔叶类的石楠相比针叶类的雪松能够更好地降低交通噪音。但吴淑杰^[13]认为,松类树木的降噪效果比阔叶树木更好。同时,张明丽^[14]也发现针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿灌木和落叶灌木的降噪效果依次减弱。在不同噪音频率下,针叶树和阔叶树的降噪效果也是各有差别。刘佳妮^[9]研究发现,阔叶树仅对 2 kHz 以上的高频噪音的衰减能力很强,但针叶树的降噪效果则恰好与阔叶树相反。进而,袁玲^[15]得出的对于频率为 500 Hz~2 kHz 的噪音,树木吸声量与其叶片数量成正比;对于频率大于 2 kHz 的噪音,阔叶树木的降噪效果要好于针叶树木以及明雷^[12]得出的阔叶类植物对高频噪声有很好的衰减效果;中等叶子类植物对中频噪声有很好的衰减效果;针叶类植物对低频噪声有很好的衰减效果的这两项研究结果也印证了上述结论。总之,阔叶树和针叶树的降噪效果比较还存在一定的差异,目前很难一概而论,这需要排除因林带特征差异而导致的对单株树木降噪效果的影响,分噪音频率和树种,以单株植物作为研究对象进行深入研究。同时鉴于针阔叶树在不同噪音频率下的减噪特点和交通噪声中高频噪音增加的频谱特性,在实际应用中将针阔叶树搭配使用且多配置阔叶树会取得更好的噪音治理效果。近几年来,经过研究发现,除了乔木林带具有良好的降噪效果外,绿篱和草坪同样在衰减交通噪音上具有不可忽视的作用。陈振兴^[16]研究认为宽度越大,高度越高,通视率越小(即密集度越大)和层次越多的绿篱,其减

噪效果越好,其中以“小花木+高灌木+高桩乔木”型绿篱的降噪效果最佳。同时,王春梅^[17]研究发现,密植 2 a 的草坪对高频率噪音具有良好的阻隔效果且当草坪高度为 0.3 m 时,其降噪效果最好。从以上研究结果中可以看出,目前对绿篱和草坪降噪效果的研究虽还处于初步阶段,但在城市未来的交通噪音治理中,绿篱和草坪也必将起到一定的作用。

2 绿化带结构在衰减交通噪音中的作用

有规则栽植植物所形成的绿化带作为一个有机整体,能够起到良好的减噪作用。对绿化带的高度、长度和宽度以及密度与排列形式等进行研究曾被认为要比研究植物的形态特征更为有效,因为前者对声波的扩散作用要优于后者对声波的吸收作用^[18]。

2.1 绿化带高度、长度和宽度对减噪效果的影响

当声源和接收器高度与林带高度比值减小,声源和接收器距离与林带高度比值减小并且林带宽度与能见度比值增大时,林带的噪音衰减效果更好^[19]。绿化带高度对减噪效果的影响与声源和绿化带间的距离也有一定关系。当林带距声源点距离<4 m 时,高度为 3.8 m 的林带降噪效果最好;当林带距声源点距离>4 m 时,高度>7 m 的林带降噪效果好^[20]。同时,为避免噪音绕射,绿化带应该沿噪音敏感目标两侧延伸到长度为绿化带到受声点距离的 3 倍以上距离^[20]。绿化带宽度是重要的降噪因子。殷爱华^[21]等在珠三角地区选取了具有代表性的 16 个树种的纯林进行降噪效果试验,结果表明,珊瑚树(*Viburnum odoratissimum*)和竹节树(*Carallia brachiata*)在 10、20 m 宽度下的降噪效果比较好。经研究,能够有效减噪的绿化带最小宽度应为 16 m^[22],最大宽度应为 70 m^[7]。在 30 m 宽林带内随着林带宽度的增加,林带的降噪效果越明显,但是在 30 m 宽度内随林带宽度的增加,噪音的降低速度有所下降^[23]。随着近年来研究的不断深入,绿化带宽度与降噪效果之间的关系也更加明确了。以乔木林带为例,其降噪效果随宽度增加而增大,满足线性回归方程: $y = 0.363x + 0.354$,决定系数为 0.990^[23]。综上所述,绿化带的高度、长度和宽度均对消减交通噪音起到了重要作用。作为重要的降噪因子,绿化带高度、长度和宽度仍将继续在今后的研究中备受关注。

2.2 绿化带的密度和排列形式对减噪效果的影响

绿化带的能见度是指一个物体变得模糊不清的绿化带距离,有时作为绿化带密度的表征。郭小

平^[23]的研究表明:乔木林带的降噪效果随能见度增大而降低且水平能见度受乔木林带密度、枝下高度、枝叶密度等因素影响;密度越大,枝下高度越低,枝叶密度越大的林带,其能见度越小。同时,袁秀湘^[24]研究发现乔木林带的噪音平均衰减系数 k 与能见度 n 具有良好的负相关性,可得到 $k = 0.126 - 0.002n$ 的关系式。但由于能见度在测量时比较繁琐,而且主观性较强,因此采用郁闭度来表征林带密度也成为一种方法。郁闭度是指森林中乔木树冠遮蔽地面的程度,以林地树冠垂直投影面积与林地面积之比表示。杜振宇^[7]的研究发现:噪音衰减和林带宽度与郁闭度的乘积存在线性关系,其线性回归方程为 $y = -0.215 + 0.112x_1x_2$,其中, x_1 为林带宽度, x_2 为郁闭度。绿化带密度是和宽度一样重要的降噪因素,但目前只有能见度、郁闭度等部分表征绿化带密度的指标建立了与噪音衰减的关系,绿化带密度与噪音衰减建立直接关系还有待进一步研究。

将声子晶体概念引入到植物降噪的试验中来,将植物材料作为声子晶体研究中的散射体,在研究不同类型、不同排列形式的植物材料对噪音衰减的作用后发现在低频范围内($f < 500$ Hz),植物材料的周期性排列能够获得明显的噪音衰减^[25]。进而刘佳妮^[9]经过研究表明,当绿化带为单一树种并且排列密度相同而排列方式不同时,在排列密度较高的情况下,交错式的排列方法噪音衰减效果最好,对齐式次之,散点式最差;在排列密度较低的情况下,散点式的噪音减弱效果要优于其他两种形式,且对齐式排列时减噪效果最差。但绿化带常常是由不同树种的乔灌木混栽组成,因此乔灌木的排列形式不同,其降噪效果也会存在差异。一般来说,乔灌结合的复层结构群落降噪效果优于一般灌木林或没有下木层的乔木林,且各层次紧实结合的群落降噪效果较优^[6]。乔灌隔行混合种植形式的减噪效果也要好于前灌后乔混合种植形式,并且靠近噪音源栽植绿化带比靠近防护对象栽植绿化带的降噪效果要好^[22]。在绿化带的具体树种搭配上,“乔木+小乔木+灌木/绿篱”型绿化带结构的降噪效果最好^[26]。另外,由攀援植物所构成的绿墙(廊)也有较好的减噪效果且不占地^[27]。在设置绿化分隔带的一板二带式、一板四带式和二板五带式 3 种绿化类型的道路上,二板五带式道路绿化类型的降噪效果最佳^[28]。从上述研究结果中可以看出,绿化带植物的排列设计方法尚无更加明确的解决方案。乔灌木搭配且排列合理的绿化带能够获得更好的降噪效果,但目前针对具体能够产生良好减噪效果的乔灌木搭配组合的筛选和优化设计研究开展的还较少,这些都需要今后对此进行更为深

人、细致的探索。

3 绿化带对不同频率交通噪音的衰减效果

绿化带对不同频率的交通噪音存在不同的衰减效果。早在 1978 年,Borthwick 就运用模拟的线声源代替实际交通车流的噪音源进行了现场测试,通过频谱分析表明,绿化带对交通车流较高频率噪音的阻挡效果比低频率噪音好^[29]。同时,T. Vikrant^[30]等的研究结果也表明了相似的结论:绿化林带的噪音衰减效果随噪音频率的增大而愈显著。但是,郭小平^[23]等也提出了不同的观点,认为绿化林带对 2 kHz 以下的中低频率噪音的平均衰减作用高于对高频噪音的衰减。进而,袁玲^[31]等研究认为当噪音频率<250 Hz 时,树木主茎数量和胸径大小与降噪效果成正相关性;当噪音频率在 500 Hz~2 kHz 之间时,降噪效果取决于叶片数量;当噪音频率>2 kHz 时,林带高度、树冠形状决定着降噪效果。总之,绿化带对不同频率交通噪音的衰减效果比较尚不能定论,研究结果的差异可能与树种、树龄及绿化带结构不同有关。

4 结论与讨论

从植物显微结构特点来阐明植物的降噪机理非常重要。但目前对此方面的研究还不够全面深入,因此应该加强相关研究从而完善植物降噪理论。阔叶树和针叶树的降噪效果比较是研究中的热点之一,但目前仍无统一结论。目前对绿篱和草坪的降噪效果研究还处于初步阶段,同时不同植物随季节变化的噪音衰减效果研究也较少,今后应当加强在这些方面的研究工作。

在设计并栽植绿化带时,应坚持“针阔叶树结合,阔叶树较多”的原则,尽量选择叶片更宽且表面被毛,枝叶繁茂,分枝点低的乔灌木树种隔行栽植成宽度为 30~70 m 并且尽量靠近道路的乔灌木复层结构绿化带,这样可以更好地消减交通噪音。

绿化带密度是和宽度等一样重要的降噪因子,但其与噪音衰减之间尚未找到直接明确的关系,应进一步加强此方面的研究。绿化带对交通噪音的衰减效果是包括植物特点和绿化带结构在内的多种因素共同作用的结果,其影响过程较为复杂,因此预测绿化带衰减交通噪音效果的模型应该很可能是多元且非统一模型。这也是今后的研究方向之一,具有很好的应用前景。乔灌木搭配且排列合理的绿化带具有更好的降噪效果,但在实际应用中尚缺乏更为具体的设计依据。因此,今后应当继续加强可作为基本

参数的小单元多植物种类和多植物组合对噪音衰减效果的研究。为了使绿化带能够随交通噪音的频率分布情况而更有针对性地消减噪音,今后应当进一步加强绿化带对不同频率噪音衰减效果的研究。

总之,绿化带消减交通噪音效果研究是噪音控制和环境保护领域的一个新兴研究方向,当前已取得了一定的研究进展。随着研究的不断深入,必定会为我国城市道路绿化建设和交通噪音治理提供更多的设计参考和技术支持。

参考文献:

[1] 冯秀绒,张广军,丁惠萍. 杨凌区交通干道噪声污染分析研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(4):203-205.
FENG X R,ZHANG G J,DING H P. An analysis on noise pollution of traffic artery in Yangling Areas[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(4):203-205. (in Chinese)

[2] 谢浩. 减噪消声的绿化带[J]. 建筑安全,1999,14(10):31.

[3] 丁亚超,周敬宣,李恒,等. 绿化带对公路交通噪音衰减的效果研究[J]. 公路,2004(12):204-208.
DING Y C,ZHOU J X,LI H, *et al.* Investigation of traffic noise attenuation provided by tree belts[J]. Highway, 2004 (12):204-208. (in Chinese)

[4] 袁玲,王选仓,鲁亚义,等. 高速公路林带声衰减量计算方法[J]. 中国公路学报,2009,22(3):107-112.
YUAN L,WANG X C,LU Y Y, *et al.* Calculated method of noise attenuation of tree belts at expressway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2009,22(3):107-112. (in Chinese)

[5] ALOR D E. Noise reduction by vegetation and ground[J]. J. Acoust. Soc. Am.,1972(51):197-205.

[6] 郑思俊,夏福,张庆费. 城市绿地群落降噪效应研究[J]. 上海建设科技,2006(4):33-34.
ZHENG S J,XIA L,ZHANG Q F. Study of city noise reduction with greenland's plant community[J]. Shanghai Construction Science and Technology,2006(4):33-34. (in Chinese)

[7] 杜振宇,邢尚军,宋玉民,等. 高速公路绿化带对交通噪音的衰减效果研究[J]. 生态环境,2007,16(1):31-35.
DU Z Y,XING S J,SONG Y M, *et al.* Study on traffic noise attenuation by green belts along expressway[J]. Ecology and Environment,2007,16(1):31-35. (in Chinese)

[8] 周敬宣,丁亚超,李恒,等. 林带对交通噪音衰减的效果研究及公路防噪林带设计[J]. 环境工程,2005,23(2):48-51.
ZHOU J X,DING Y C,LI H, *et al.* Investigation of traffic noise attenuation provided by green belts[J]. Environmental Engineering,2005,23(2):48-51. (in Chinese)

[9] 刘佳妮. 园林植物降噪功能研究[D]. 杭州:浙江大学,2007:39-47.

[10] 王慧,郭晋平,张芸香,等. 公路绿化带降噪效应及其影响因素研究[J]. 生态环境学报,2010,19(6):1403-1408.
WANG H,GUO J P,ZHANG Y X, *et al.* Study on noise attenuation impact of roadside tree-belts and related influence factors[J]. Ecology and Environmental Sciences,2010,19(6):1403-1408. (in Chinese)

- [11] 姚成,许志鸿. 沪杭高速公路上海段降噪绿化带的设计和应用[J]. 华东公路,1999(5):70-72.
- [12] 明雷,郑洁,程浩,等. 常青道路景观配置对交通噪声的衰减效果[J]. 环境污染与防治,2012,34(1):15-18.
MING L,ZHENG J,CHENG H,*et al.* The traffic noise attenuation provided by the collocation of the evergreen road landscape plants[J]. Environmental Pollution and Control, 2012,34(1):15-18. (in Chinese)
- [13] 吴淑杰,韩喜林. 林冠降噪机理的探讨[J]. 中国林业,2003(7A):34-35.
- [14] 张明丽,胡永红,秦俊. 城市植物群落的减噪效果分析[J]. 植物资源与环境学报,2006,15(2): 25-28.
ZHANG M L,HU Y H,QIN J. Analysis on noise reduction effect of urban plant community[J]. Journal of Plant Resources and Environment,2006,15(2): 25-28. (in Chinese)
- [15] 袁玲. 植物结构对交通噪音衰减频谱特性的影响[J]. 噪音与振动控制,2008(5):154-167.
YUAN L. Influence of plant tissue structure on the spectrum characteristics of traffic noise attenuation[J]. Noise and Vibration Control,2008(5):154-167. (in Chinese)
- [16] 陈振兴,王喜平,叶渭贤. 绿篱的减噪效果分析[J]. 广东林业科技,2003,19(2):41-43.
CHEN Z X,WANG X P,YE W X. Analysis on noise reduction effect of plant hedge[J]. Guangdong Forestry Science and Technology,2003,19(2):41-43. (in Chinese)
- [17] 王春梅,张广军. 草坪降低噪音规律的初步研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(6):81-83.
WANG C M,ZHANG G J. Preliminary studies on the regularity of noise reduction by sod[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(6):81-83. (in Chinese)
- [18] COOL D L,HAVERBEKE D F V. Trees and shrubs for noise abatement[R]. University of Nebraska College of Agricultural Experimental Station Bulletin,1974.
- [19] CHIH F F,DER L L. Guidance for noise reduction provided by tree belts[J]. Landscape and Urban Planning,2005,71:29-34.
- [20] 张宏昆. 高速公路林带降噪参数设计研究[J]. 公路与汽运,2009(4):156-159.
- [21] 殷爱华,胡羡聪,吴小英,等. 珠三角地区优良降噪树种的初步选择[J]. 广东林业科技,2006,22(4):79-82.
YIN A H,HU X C,WU X Y,*et al.* The primary selecting of superior anti-noise tree species in Zhujiang Delta[J]. Guangdong Forestry Science and Technology,2006,22(4):79-82. (in Chinese)
- [22] 王春梅. 交通噪音特性分析与绿化带降噪效果研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2007:66-68.
- [23] 郭小平,彭海燕,王亮. 绿化林带对交通噪音的衰减效果[J]. 环境科学学报,2009,29(12):2567-2571.
GUO X P,PENG H Y,WANG L. The effects of traffic noise attenuation by green belts[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009,29(12):2567-2571. (in Chinese)
- [24] 袁秀湘. 公路绿化林带对交通噪音的衰减效应分析[J]. 公路与汽运,2009(2):114-116.
- [25] ROSA M S,CONSTANZA R,LUIS M,*et al.* Control of noise by trees arranged like sonic crystals[J]. Journal of Sound and Vibration,2006,291(1-2):100-106.
- [26] 张万旗,刘俊伟,胡宏友,等. 厦门市交通主干道绿化带结构及其减噪效果研究[J]. 亚热带植物科学,2009,38(4):74-78.
ZHANG W Q,LIU J W,HU H Y,*et al.* Effect of the construction of green belts on the attenuation of traffic noise along the urban trunk roads in Xiamen City[J]. Subtropical Plant Science,2009,38(4):74-78. (in Chinese)
- [27] 郁东宁,王秀梅,马晓程. 银川市市区绿化减噪声效果的初步观察[J]. 宁夏农学院学报,1998,19(1):75-78.
- [28] 陈秀龙,李希娟,陈秋波. 海口市街道绿化类型减噪效应的测定与分析[J]. 华南热带农业大学学报,2007,13(1):43-46.
CHEN X L,LI X J,CHEN Q B. Noise abatement effects of street green area and belts in haikou[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture,2007,13(1):43-46. (in Chinese)
- [29] HARRIS R A,徐之江. 绿化屏障—高速公路减噪的一种措施[J]. 噪音与振动控制,1991,6(3):44-48.
- [30] VIKRANT T,KRISHAN K,VINOD K J. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi[J]. Applied Acoustics,2006(67):926-935.
- [31] 袁玲,王选仓,武彦林,等. 夏冬季公路林带降噪效果研究[J]. 公路,2009(7):355-358.
YUAN L,WANG X C,WU Y L,*et al.* A study on traffic noise attenuation effect by tree belts in summer and winter[J]. Highway,2009(7):355-358. (in Chinese)