

学校代码： 10286

分类号：

密 级：

UDC：

学 号：

长三角富水乡村声环境规划与控制

-以某村为例

研究生姓名**：**

导师姓名**：**

|  |  |
| --- | --- |
| 申请学位类别 | 学位授予单位  **东 南 大 学** |
| 一级学科名称 | 论文答辩日期 **20 年 月 日** |
| 二级学科名称 | 学位授予日期 **20 年 月 日** |
| 答辩委员会主席 | 评 阅 人 |
|  |  |

20 年 月 日



**硕士学位论文**

长三角富水乡村声环境规划与控制

-以某村为例

**专业名称**： **市政工程**

**研究生姓名： 黄功俊**

**导师姓名**：  **傅大放**

本论文获国家863计划项目（2006AA04Z17）和国家杰出青年科学基金项目（60425210）资助。**（此处别忘了修改，如不需要该脚注，请连同上方的横线一起删去）**

English Title of Doctor Dissertation (Master THESIS)

A Dissertation（Thesis）Submitted to

Southeast University

For the Academic Degree of Doctor (or Master) of

Engineering(or Science etc)

BY

HUANG Gong-jun

Supervised by

Prof. FU Da-fang

and

Assitant Prof. MIN He-qun

School of Civil Engineering

Southeast University

Date of Submit (such as April 2002)

**东南大学学位论文独创性声明**



本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名： 日期：

**东南大学学位论文使用授权声明**

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括以电子信息形式刊登）论文的全部内容或中、英文摘要等部分内容。论文的公布（包括以电子信息形式刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名： 导师签名： 日期：

摘要

摘要内容

**关键词：**关键词一，关键词二，关键词三

Abstract

The content of abstract.

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3

目录

[摘要 I](#_Toc475370836)

[Abstract III](#_Toc475370837)

[目录 V](#_Toc475370838)

[第一章 绪论 1](#_Toc475370839)

[1.1 研究背景、意义与目的 1](#_Toc475370840)

[1.1.1 研究课题的背景和意义 1](#_Toc475370841)

[1.1.2 研究课题的目的 1](#_Toc475370842)

[1.2 相关研究综述 2](#_Toc475370843)

[1.2.1 国内外乡村声环境研究现状 2](#_Toc475370844)

[1.2.2 国内外声景观研究现状 4](#_Toc475370845)

[1.3 研究方法、思路和框架 4](#_Toc475370846)

[1.3.1 研究方法 4](#_Toc475370847)

[1.3.2 研究思路和框架 4](#_Toc475370848)

[1.4 论文组织结构 5](#_Toc475370849)

[第二章 富水乡村声环境评价方法与标准 7](#_Toc475370850)

[2.1 声环境的评价标准 7](#_Toc475370851)

[2.1.1 声环境相关理论 7](#_Toc475370852)

[2.1.2 乡村声环境质量的评价方法 8](#_Toc475370853)

[2.2 声环境评价方法 9](#_Toc475370854)

[2.2.1 算术平均值法 9](#_Toc475370855)

[2.2.2 噪声污染指数 9](#_Toc475370856)

[2.2.3 心理声学评价量 10](#_Toc475370857)

[2.2.4 声品质评价量 10](#_Toc475370858)

[2.3 声景观评价 10](#_Toc475370859)

[第三章 富水乡村声环境现场调查测量 12](#_Toc475370860)

[3.1 涧东村声环境现场调查测量 12](#_Toc475370861)

[3.1.1 测量条件及现场情况 12](#_Toc475370862)

[3.1.2 测量方案及结果 12](#_Toc475370863)

[3.1.3 测量结果的评价分析 17](#_Toc475370864)

[3.2 富阳黄公望村现场调查测量 18](#_Toc475370865)

[3.2.1 测量条件及现场情况 18](#_Toc475370866)

[3.2.2 测量方案及结果 18](#_Toc475370867)

[3.2.3 测量结果的评价分析 22](#_Toc475370868)

[第四章 富水乡村声环境模拟分析 24](#_Toc475370869)

[4.1 声学仿真平台介绍 24](#_Toc475370870)

[4.1.1 Raynoise声学仿真模拟的原理 24](#_Toc475370871)

[4.1.2 RAYNOISE声学仿真模拟的方法 24](#_Toc475370872)

[4.1.3 声学软件仿真模拟的优势 25](#_Toc475370873)

[4.2 乡村声环境声学仿真模型建立 26](#_Toc475370874)

[4.2.1 涧东村声学仿真模型建立 26](#_Toc475370875)

[4.2.2 黄公望村声学仿真模型建立 26](#_Toc475370876)

[4.3 声学仿真模型的校核 27](#_Toc475370877)

[4.3.1 声学仿真模型校核的原理 27](#_Toc475370878)

[4.3.2 村庄声学仿真模型的校核 29](#_Toc475370879)

[第五章 富水乡村声环境规划与控制策略 33](#_Toc475370880)

[5.1 乡村声环境规划控制策略 33](#_Toc475370881)

[5.1.1 动静分区 33](#_Toc475370882)

[5.1.2 用地选址 34](#_Toc475370883)

[5.1.3 村民居住区空间布局 34](#_Toc475370884)

[5.1.4 道路交通规划 34](#_Toc475370885)

[5.1.5 采用恰当的降噪措施 34](#_Toc475370886)

[5.2 水环境对声环境的影响 35](#_Toc475370887)

[5.2.1 水系改造前后的声学仿真模拟 37](#_Toc475370888)

[第六章 基于声景优化的途径与措施 41](#_Toc475370889)

[6.1 乡村声景观调查 42](#_Toc475370890)

[6.2 乡村水声景的营造 43](#_Toc475370891)

[6.3 乡村动植物声景的营造 46](#_Toc475370892)

[6.4 乡村室外设施声景营造 46](#_Toc475370893)

[致谢 49](#_Toc475370894)

[参考文献 51](#_Toc475370895)

[作者简介 53](#_Toc475370896)

1. 绪论
   1. 研究背景、意义与目的
      1. 研究课题的背景和意义

近年来，随着我国经济的快速发展，人民的生活水平日益提高，人们对居住环境质量的要求也越来越高。但是当前很多居住区在进行整体环境规划的时候大多忽略了对居住区声环境、光环境等环境的设计。

乡村地区人群居住分散，噪声污染源相对于城市地区少，其主要噪声源为社会生活噪声，噪声污染问题的严重性和受关注程度远低于城市地区。我国现行有限的乡村环境污染控制政策上还没有充分考虑到农民的需求和参与，有关乡村噪声方面的立法基本上是空白。近些年，由于我国大力推动发展城镇化建设，乡村人口的分布在趋势上是由分散到集中。由于各地经济发展的需要，交通运输、工业、采掘等噪声污染严重的工程项目由城市搬向乡村，在乡村地区不断扩张，噪声污染问题也随之从城市向乡村地区不断扩张[1]。随着物质文化和生活水平的不断提高，人们对居住舒适性提出了越来越高的要求，以往对噪声污染问题并不十分关注的乡村地区的居民，对噪声污染控制的需求也在不断的增加，近些年由于噪声污染扰民的投诉已不止发生在城市中心区，高速公路噪声扰民、高噪声企业噪声扰民等投诉案件也呈逐年递增态势。因此，乡村地区噪声污染问题应给与足够的重视，要制定有效的政策和措施预防、防治、乡村地区噪声污染的现状，对发展趋势进行预判，采取预防优先的原则，从规划和源头解决这一问题。

由于噪声的危害逐渐引起人们的重视，这便体现了声环境控制的重要性。由席欧等[1]的研究可知，我国乡村区域噪声的声源结构主要为铁路、公路等交通噪声以及位于乡村区域内的工业生产过程中产生的噪声。根据国家环保总局公布的2003年度全国城市声环境质量报告指出:影响范围最广的是社会生活噪声源，其次是交通噪声，影响强度最大的是交通噪声源。从以上数据不难看出，噪声污染不容乐观。道路交通噪声作为乡村环境的主要噪声源，强度大、覆盖面广，对区域声环境质量影响大；乡村区域内部，由于公共区域等配套设施所带来的社会噪声作为小区环境的主要噪声源持续时间长，对乡村区域声环境的影响也不可以忽视。道路交通噪声和乡村区域内社会噪声是困扰住宅建筑的居住声环境质量的重要因素，它广泛而频繁的污染着我们的环境，也可以想象它对我们的日常生活和学习会带来不小的影响，甚至对我们的身体、心理，对社会都可能产生危害：使人听力衰减引起多种疾病[2-5]、长期暴露在噪声环境中让人肥胖风险增加[6]、使人心理压抑降低人们工作学习效率、影响人们正常的生活秩序[7-10]等等。因此，如何控制噪声对居民居住区声环境的影响已经成为一个刻不容缓的问题，这也是提升居住整体质量以及提高人们生活舒适性的一个方面，具有一定的现实意义。

* + 1. 研究课题的目的

为了提高乡村环境的舒适性，探究如何建立比较好的乡村声环境，本论文将应用声学仿真平台，把江苏省南京市溧水区涧东村和浙江省富阳市黄公望村作为主要研究实例，进行分析研究。研究的主要目的是从声学角度出发，控制和改善富水乡村声环境，寻求一种适宜的模式，使得在乡村建设中能够对乡村声环境进行改善和优化，提高乡村居民的生活质量。

* 1. 相关研究综述
     1. 国内外乡村声环境研究现状

从2008年开始，中国老龄化进入快速发展阶段，老龄人口以年均800万人至900万人的速度增加。至2015年，全球老龄人口比例超过12%，中国老龄人口超过2亿，中国已经全面进入老龄化社会[11]。我国老龄化进程加快是从20世纪70年代末开始的，今后以每年3.2%的速度递增，65岁以上人口比例由7%增长到14%，并将很长时间保持很高的递增速度，属于老龄化最快的国家之列。

根据相关研究[11]，中国各地区老龄化发展不平衡，具有明显的由东向西的区域梯次特征，东部沿海经济发达地区明显快于西部经济欠发达地区。而且在很大程度上，中国老龄化状况长时间城乡倒置，由于我国城市化加速，乡村青壮年劳动力的转移，大量乡村劳动力迁移流动到城市，使乡村人口老龄化程度和速度都高于城市，乡村同样面临着老龄化的严重问题。综合我国人口老龄化趋势的特点，对于长三角地区群体老年化趋势严重的情况下，城乡结合部养生型宜居乡村的建设得到越来越多的关注和需求。

乡村居住区域的声环境，是一个逐渐被人们认识和重视的新概念。本文主要研究长三角富水乡村的声环境，一方面由于我国城镇经济建设的加速发展以及人口数量的日益增长，道路数量和车流量呈大幅度的增长趋势，乡村的道路网也逐渐密集，穿过乡村地区的高速公路逐渐增多，交通噪声给乡村地区所带来的污染加重。另外，由于长三角地区的富水乡村，一方面提供给乡村居民日常生活的需求，另一方面由于其拥有特殊的地理位置、便利的交通方式、具有特色的农村旅游产业等，因此这些乡村能够满足城市居民休闲养生的需求，在外来游客游玩过程中产生的噪声问题也是本文研究的重点之一。

乡村地区声环境的营造，一方面主要是指控制居住区域外，高速公路、城际快速路、高架等道路交通噪声以及村庄附近工业企业等产生的噪声对居民的生活学习造成的干扰影响。另一方面是指由于由外来游客游玩活动导致的一系列噪声问题对住户生活产生的不同程度影响。

从世界范围来看，科学技术的高速发展使人们面临着日益严重的环境问题，也带来了越来越多的噪声源和越来越高的噪声水平。世界卫生组织曾就全世界的噪声污染情况进行调查，结果显示，世界上大部分国家的噪声污染问题越来越严重。在美国，近20年来，受到85分贝以上噪声污染环境的居民人数上升了数倍；在欧盟国家，约有35%的居民几乎全天受到交通噪声的干扰，这些居民相当于每天长时间生活在55分贝的噪声环境中，其中约有20%的人受到的交通噪声污染超过65分贝[12]。日本的全国性住宅调查结果中显示，居民不喜欢住在集合住宅中，其主要原因之一就是噪声污染大。在中国香港，由于高层住宅的密度过大，住宅单位与道路地盘相邻，导致交通噪声和社会生活噪声干扰严重。因此，可以发现噪声的污染问题已经成为全球性的课题，控制和解决噪声污染的迫切性也就应运而生。

就我国的现在情况来看，随着经济的持续增长，乡村整体交通水平的提高，已经不是过去交通闭塞的情况，现今影响乡村居民居住区声环境的主要噪声源，有交通噪声和社会噪声两种长期存在又持续作用的噪声源。根据中国环境年鉴数据显示：2000年统计了40个重点城市道路交通流量，白天平均每小时流量超过2000辆的城市有18个，其中超过3000辆车的有3个城市。大部分城市监测道路车流量呈现上升趋势。在《住宅科技》2003年第四期中谈到，距公路交通15m处以80km/h的车速行驶的汽车声达70-80dB，繁忙的城市干道达90dB，距铁路、重型卡车15m处达90-100dB，汽车喇叭达110-120dB[13]。根据经验，道路车流量增加一倍交通噪声值增加3分贝。一般情况下，即使严格执行禁鸣，车流量达到一定水平后也可能会出现交通噪声超过国家标准70分贝（白天）、55分贝（夜间）的现象。也就是说，交通噪声的远远超标，使得靠近高速公路的乡村地区的声环境受到了很大的影响，交通噪声达到环境标准要求的状况，这增大了乡村地区声环境的控制难度。从全国城市道路交通噪声调查结果分析，目前全国有16%的居民住在道路两边，受影响的人群约3400万人；其中80%的人群，约2700万人，白天在平均噪声声压级超过70分贝，夜间超过55分贝的高噪声干扰下生活[12]。相关研究表明，全球大约有40%的人口受到交通噪声的影响[14]。而且，近些年随着我国城市建设的迅速发展，越来越多的高等级道路、高速道路系统在城市内外快速延伸和扩展，其形式有快速公路、高架道路、地铁、轻轨道路等等，并且已经向城市边缘城乡结合部地区蔓延，道路发展带来机动车数量急剧增加，使道路交通噪声污染日益严重。道路交通噪声所具有的强度大、影响范围广的特点，使其成为乡村区域环境噪声的主要污染源，其长期作用是环境噪声控制的难点。

另一方面，在乡村地区人为活动产生的社会生活噪声也需要得到有效控制。如今开展的如火如荼的新农村建设让乡村居民的物质文化生活水平有了很大的提高，摆脱了以前乡村没有社会文化生活的传统印象。乡村居民家中使用的空调、泵等设备产生的噪声，住宅等进行室内装修时的工作噪声等都会随着乡村地区公共设施的普及和居民使用家用电器或家庭娱乐活动的产生而迅速增加。因此，人们对乡村公共场所以及居民家庭噪声等对公众的影响越来越关注。根据声环境质量标准[15]，其中规定乡村区域一般不划分声环境功能区，参考城市区域环境噪声标准[16]，以居住为主的区域为一类，即白天不超过55dB，夜间不超过45dB；即使是居住与商业、工业混杂的二类区域白天也不超过60dB，夜间不超过50dB。而建设部目前已对某些城市的生态住宅小区制定了住宅小区声环境的专项指标：白天不超过45dB，夜间不超过40dB，即便是对于现在的乡村地区，达到标准的难度也非常大。从以上叙述可见，国内乡村地区声环境的现状堪忧，所以要追求良好的乡村地区声环境必须采取相应的控制策略。

在欧洲国家，为降低交通噪声而设立的隔声屏障随处可见，而且种类繁多、形式多变，广泛的将玻璃、混凝土、金属以及植物等适宜的材料结合在一起作为环境的一部分进行设计而不只是技术上的设计[17-18]。不仅仅运用在住宅小区，还应用于高速公路、交通干道等。国外十分重视住宅在修建前的环境质量评价工作，也就是通过环境噪声模拟软件系统，运用数字技术或边界元法（BEM）分析模式对噪声、插入损失等的估算，进行噪声的预测和评估，优化方案。目前在该领域比较著名的、成熟的软件有：比利时LMS公司开发的RAYNOISE，丹麦技术大学开发的ODEON软件，德国的SoundPLAN噪声预测评估软件，以及德国的CadnaA环境噪声模拟软件系统。因此，对控制噪声来优化乡村区域居住声环境，如果从声学角度为规划设计提出优化模式，并将计算机软件的仿真模拟运用到实际工程中，借助计算机模拟以及数据处理的方便性、快捷性，在降噪方案的前期规划设计时就从声学角度对乡村区域的功能分区、平面布置和空间组合等方面进行前瞻性优化改进，这对改善居住区区域声环境并进一步追求小区舒适性有着重要的作用。加上对建筑单体隔声墙体和隔声门窗的研究，这些研究方法所带来的经济效益和社会效益是可预见的。本论文研究内容，是基于RAYNOISE环境噪声模拟软件系统研究长三角富水乡村声环境的规划与控制，其中一项重要内容即是富水乡村周边声环境质量地图的绘制，该研究内容属于国内前沿领域，特别是在乡村区域环境保护领域目前还处于空白，因此本课题的研究具有一定的学术意义。在选取村落的后期改造中，还要进行大量河道的改造，由于水面和土壤对于噪声反射的边界条件有很大的差异，所以同时还要研究关于河道改造对于乡村声环境的影响。

* + 1. 国内外声景观研究现状

声景观是一门涉及物理声学、环境科学、建筑学和生态学等多个领域的交叉学科。声景观的研究主要运用物理学在声场分布、声的传播、声的反射等方面的理论，结合生态学研究成果，尤其是近年来刚兴起的景观设计学的有关理论和成果，并与环境心理学、环境影响评价等紧密结合。同时，它还从社会学、哲学、音乐学等一些全新的角度来看待和分析声音，声景观是多种学科相互渗透结果。

60年代末，加拿大作曲家R. Murray Schafer首次提出了 “声景观”(soundscape)的概念[19]，促使人们对传统的 “听觉”行为进行再认识。“ soundscape” 是 “ sound”(声音)和词根 “ -scape”(景观)的复合词，是相对于 “视觉的景观”（ 1andscape） 而言的“听觉的景观”(soundscape)，其意义为 “用双耳捕捉的景观”， “听觉的风景”。声景观在很多时候被称为声生态学，主要研究声音、自然和社会之间的相互关系。

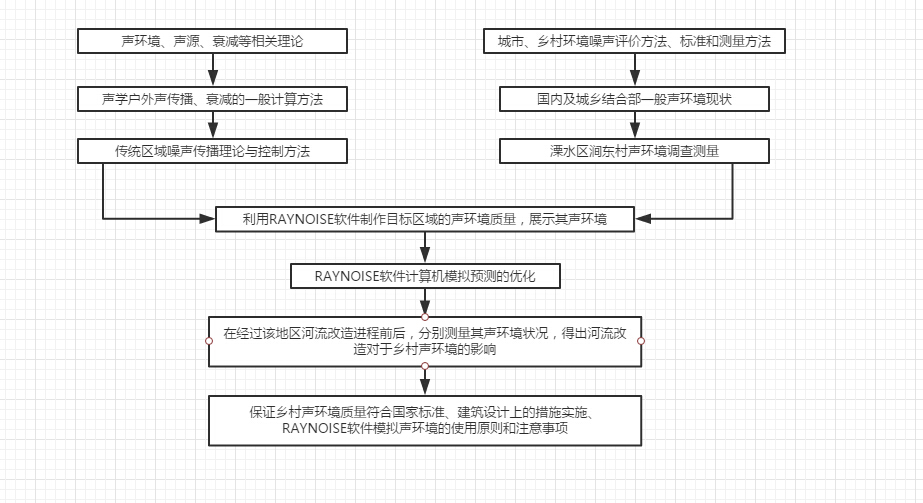
20世纪70年代初期，加拿大首先开始对声景观的研究工作。经过了大约20年的发展，到1993年，世界声景观大会正式召开，并在会议上成立了世界声景观研究学会。2000年，该学会出版了第一期的The Journal of Acoustic Ecology专业杂志。

* 1. 研究方法、思路和框架
     1. 研究方法

本论文通过理论研究、数据实测与计算机声学软件平台模拟预测相结合的方法，通过调研发现富水乡村声环境的现状与问题，以前期调研、实际测量、计算机模拟分析和对比和总结等过程进行系统、深入的研究。本论文从乡村居民的角度出发，发现富水乡村声环境的矛盾和问题，并结合专业内容，探讨如何利用水环境改善声环境，打造一种良好的、和谐的自然生态。

* + 1. 研究思路和框架

本论文的研究思路：富水乡村声环境研究方案及对象的确定-富水乡村声环境现状实测-富水乡村声环境规划与控制策略-计算机模拟对比分析。研究框架示意图如下图所示。



* 1. 论文组织结构

本文共分为6章，各章的主要内容具体如下：

第一章为绪论，介绍课题的研究背景，明确研究的目的与意义，界定研究内容和研究范围，综述该研究内容国内外研究现状和相关理论，从而提出研究的主要内容和方法。

第二章为富水乡村声环境评价方法与标准，详细探讨了关于富水乡村声环境如何评价的标准与评价方法，为乡村声环境的现场测量奠定了基础。

第三章为乡村声环境实地调研，首先对涧东村和黄公望村两个调研地点和调研方法进行了详细说明，然后对村庄内的声环境进行了布点测量，通过实地测量得到大量声环境的客观物理数值，充分了解了村庄声环境现状。

第四章为富水村庄声学模拟分析，先根据村庄实际情况建立村庄三维模拟型，结合实际测量结果，用RAYNOISE声学仿真软件进行声学仿真模拟，利用实测结果对声学仿真模型进行校验，验证模型的有效性。

第五章为富水乡村声环境规划与控制策略探讨，先给出富水乡村常见的噪声控制措施，并对富水乡村中的水环境对声环境的影响进行了声学仿真软件中的模拟分析，揭示了乡村中水环境对声环境的影响。

第六章从声景的方面提出满足乡村居民日常生活需求的乡村声环境优化与设计策略。

第七章为总结与展望。

1. 富水乡村声环境评价方法与标准
   1. 声环境的评价标准
      1. 声环境相关理论
         1. 声环境

声环境是环境物理学中的概念，人类通过耳朵来接收外界环境中的声音信息，人耳的听觉频率范围为20~2000Hz。人类通过人耳来感知周围环境的声音活动的情况，可以听到听觉频率范围内所有的声音，包括令人愉悦的声音，如音乐、鸟鸣等；同时也包括无意义的、令人烦恼的噪声，例如交通车辆声、撞击声等，这些各种各样的声音共同构成了人类生存的声环境。人们每天的工作生活和声环境无法割裂，一个良好的声环境能够让人们身心愉悦，有利身体健康，而一个嘈杂的声环境会对人们的健康产生不良的影响。因此，创造一个良好的声环境对于人们的身心健康有着十分重要的作用。本文研究的声环境主要针对长三角富水乡村内的声环境，一个良好的声环境对居民的身心健康有着很重要的影响。

* + - 1. 声波的衰减

声波的传播是声源向周围四面八方发散性传播，在传播过程中会受到许多复杂因素的影响[20]。一个孤立的声源在距离大于声源尺寸时服从球面波的发散规律；对于有限长或无限长的声源，其传播服从柱面波的发散规律。声源的特性、衰减快慢等与声源的类型有关，因此根据声源的形状、波长、大小和接收距离的关系等因素，将声源分为点声源、线声源和面声源三类。

点声源是指声源尺寸相对与声波的波长或传播距离而言较小的声源[21]。比如村庄中，某户装修施工过程中发出的噪声，在村庄声环境模拟的时候就可以作为点声源进行处理。在自由声场中，点声源是以球面波的方式向各个方向扩散。面声源是指有较大辐射面积的声源[22]，分为有限大面声源和无限大面声源，比如一个工厂或者车间等，在声环境模拟中可以简化为平面声源来讨论。线声源是指一个方向上的尺寸远远大于其它两个方向尺寸的声源，它发出的是柱面声波[21]。线声源分为有限长线声源和无限长线声源，它们的衰减程度是由线声源长度和衰减距离的关系而定。在本文中，把村庄附近道路上的交通噪声作为线声源进行处理。

声音从声源到接受点的传播过程中会因为各种因素引起不同的声波衰减特性，主要包括扩散衰减（Adiv）和空气吸收衰减（Aatm），同时还有地面吸收衰减（Agr）、加屏障引起的衰减（Abar）和各种气象条件引起的衰减（Cmet）等，还有其他多方面效应引起的衰减（Amisc），比如通过植物林带、房屋群落等引起的传播衰减，这些衰减共同组成了声波传播中的总衰减。声波本质上是一种机械波，其在传播过程中会发生反射、折射、衍射等物理现象，造成声能的衰减。村庄本身属于一个复杂的声场，存在诸如房屋院落、围墙、树木、棚屋等各种遮挡物，这些遮挡物的对于声波传播过程的阻碍会造成声能量的衰减。另外，空气自身也会引起声能量的衰减。根据以上所述，可以得出倍频带衰减A由下式给出：

式中： ——扩散衰减； ——空气吸收衰减；

——地面吸收衰减； ——屏障引起的衰减；

——其他多方面效应引起的衰减。

* + 1. 乡村声环境质量的评价方法

为了改善村庄居民的生活户那就，为村庄建设的优化选址、合理布局和规划提供科学的依据，我们需要对整体声环境质量进行评价与分析，其评价分析结果作为参考依据，以判断后期规划与控制方案的效果。如何表示声环境的好坏，这是声环境质量评价需要解决的问题。其中涉及的因素很多，包括噪声的强度、频率、持续时间、声源周围环境、人们对噪声的心理和生理反应以及噪声测量过程中是否标准等。下面针对论文中的实地测量和声学模拟所需要的一些评价方法进行介绍：

* + - 1. 噪声评价量

（1）A 声级 ():

A 声级是通过频率计权的网络由声级计直接读出的声级，是 A、 B、 C、 D 四个计权网络中最常用的一种，全称 A 计权声级，用 或者 表示，单位是 dB(A)，它是目前全世界使用最广泛的评价方法[26]。由于 A 声级能较好的反映人对噪声响度和吵闹的主观感觉，而且它能够很好的与人耳听力损伤程度对应，几乎所有的环境噪声标准均用 A 声级为基本评价量。根据 A 声级的响应特性，用以下公式将倍频带或 1/3 倍频带频谱转化为 A 声级[20]：

式中： ——倍频带或 1/3 倍频带声压级；

——倍频带或 1/3 倍频带 A 响应值（对应于 1000Hz=0）。

（2）等效连续声级 (Leq):

对于一个连续稳态噪声， A 声级是一种较好的评价方法，它比较好的反映了人耳对噪声的强度与频率的主观感觉。而对于一个起伏的或不连续的噪声，噪声级会随时间间歇性的变化，我们就需要用等效连续声级来反映人们实际接收的噪声能量大小，它是一段时间内能量平均的表示。通常环境噪声的测量均使用 A 声级，因此一般等效声级实际指的是等效 A 声级，用 Leq 或 LAeq 表示，单位是 dB(A)，等效声级的定义用下式表示[20]：

式中： 、 ——计算等效声级的起止时刻；

L——测量得到的 t 时刻的噪声级。

（3）累积分布声级 (LN):

像城市交通噪声一类的随机性、 起伏性较大的非稳态噪声除了用等效声级 Leq来评价，常常用统计学方法，用声级出现的概率或者累积概率来表示这类噪声的大小。累积分布声级用 LN 来表示，其意义为测量时间的百分之 N 所超过的噪声级。比如： L10=50dB(A)，表示有 10%的时间，噪声都超过了 50 分贝。常用的有 L5、L50、 L95（以前的标准常用 L10、 L50、 L90），分别直观地体现了在测量时间内等效声级的最大值、中间值以及最小值。累积分布声级被用于作为被测的噪声声级分布特性的分析。

L5——5%的时间所超过的噪声级；

L50——50%的时间所超过的噪声级；

L95——95%的时间所超过的噪声级。

* 1. 声环境评价方法

由于噪声的危害，我们需要用相关的法规标准来限定噪声的允许程度和控制范围。在众多环境噪声影响评价的规范中，与居住区域相关的评价标准主要有HJ/T2.4-1995《环境影响评价技术导则-声环境》[24]、 GB3096-1993《城市区域环境噪声标准》[16]，另外在实际测量与模拟分析中还会涉及到 GB/T3222-94《声学环境噪声测量方法》[28]、 GB/T15190-94《城市区域环境噪声适用区划分技术规范》[26]、 GB12523— 90《建筑施工场界噪声限值》[27]、 GB12524— 90《建筑施工场界噪声测量方法》[28]等多个环境保护行业标准。

* + 1. 算术平均值法

把区域内各监测点所测到的声级相加，求其算术平均值，即

式中，n为监测点个数，𝐿\_𝑖为第i个监测点监测到的声压级数值。

缺陷：每一个点的声压级值具有较大的偶然性，离开具体噪声源的评价，对改善声环境没有直接的意义。

当前，环保局中采用面积计权平均值，即

式中，𝐿𝑖为第i个监测点监测到的声压级数值，S𝑖为第i个监测点的覆盖面积，S为整个监测区域的总面积。

* + 1. 噪声污染指数

对区域声环境作综合评价时，常用到污染指数法，区域噪声污染指数由下式确定：

此处为区域平均等效A声级，为基准值，一般取室外高烦恼噪声级75dB为基准，计算出之后，可按下表查出声环境质量的等级：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 分级名称 | PN | Leq(dB) |
| 一 | 安静 | <0.60 | <45 |
| 二 | 较安静 | 0.60 - 0.67 | 45 - 50 |
| 三 | 一般 | 0.67 - 0.75 | 50 - 56 |
| 四 | 吵闹 | 0.75 - 1.0 | 56 - 75 |
| 五 | 很吵闹 | >1.0 | >75 |

在本文中，对于涧东村和黄公望村整体声环境质量的评价，将算术平均值法和噪声污染指数法结合起来对村庄声环境进行评价，将两个村庄的声环境以不同的等级来直观的表示出来。

* + 1. 心理声学评价量

响度是用来描述听觉感受的幅值的一个心理学词汇，是心理声学的一个主要评价量，也是人们对声音感知影响最大的一个参量。响度用来描述声音大小的主观感觉量，是对声音强度的一种感受。响度级被广泛用来衡量人们对响度的感受，它与声压级和频率有关，平均而言，大约响度级每改变10phon，响度感觉就增加一倍。

* + 1. 声品质评价量

声品质评价中一系列适宜于描述听觉事件的指标主要有：响度、锐度、粗糙度、音色和音色强度、抖晃度和音调等。

粗糙感是在调制频率为15-300Hz时产生的，影响粗糙度的因素主要有频率分辨率和时间分辨率。

声音的频谱包络对锐度的影响最大，此外，与锐度相关的量还有中心频率、声音的带宽、频谱细部结构等。在一个临界带宽内，带宽的变化与锐度无关[32]。

噪声的音调特征是指具有明显的单频成分的噪声，最大的音调度出现在700Hz。

感觉舒适度与粗糙度、锐度、音调以及响度有关，因此难以由基础感知量导出感觉舒适度，而只能由参考点进行幅值估计得到相对值。锐度的增大时，感觉舒适度相应减小。感觉舒适度几乎不受响度在20sone以下的声音的影响，而当响度大于20sone时，感觉舒适度下降。总体上说，感觉舒适度主要与锐度有关，粗糙度和音调度等对其影响较小，响度仅在两人安静交流的正常响度范围内对其有影响。

* 1. 声景观评价

在声环境评价方法的研究方面，目前还没有统一的标准和统一方法，各个领域的学者结合者自己的领域的研究需要和研究方法，进行着评价量、评价标准和方法方面的探索。

因为噪声是声景观的一部分，所以目前与噪声的相关的评价量，如烦恼度、声压级的评价都可以认为是声景观评价的一部分。但是，声景观整体并不局限于噪声，噪声仅仅是声景观的一部分，因此，研究整体声景观的评价标准是非常有必要的。最早关于声景观评价的方法是由R. Murray Schafer提出的。这个方法是被赋予了新含义的音乐学的一些术语在声景观中的应用。Schafer将区域声景观的声音分成了三个方面来研究:区域声景观的背景声定义为主音，主音是区域的基本音调；前景声音(即音乐学上的想获得吸引力的声音)被认为是信号音。在排除了主音和信号音基础上，能显著地被社区居民和来访者注意到的声音，被称为是该区域的标志音[29]。这个划分，有助于表述一个特定区域的声音(它的主音、信号音、标志音)，并在一定的程度上对不同地域的声景观进行区别。

更进一步的，对于声景观优劣的评价，可以用保真度来衡量。高保真度的声景观是声音重叠部分较少的环境，即前景音和背景音显得很清楚，也就是说主音和信号音能被很好的区别。保真度高的声音，其所有的频率都可以被清晰地听到，在声级、频谱和节奏上都保持着平衡。保真度越高，也就越清晰。反之，频率混杂、主音和信号音不能被很好地区别的声景观则为低保真度。低保真度的声音在声级、频谱或者节奏三者中至少有一个或多个失去了平衡，这种不平衡往往会引起人的烦恼，从而在心理声学上称为噪声。低保真度是噪声的一个重要特性。在多数情况下，低保真度的声音以恒定的、持续不变的声级为特征。概言之，根据主音和信号音区别的难易程度和频带的宽度，以及声级、频谱和节奏的平衡度可以大致确定声景观的保真度[30]，结合声音保真度的高低，可以初步确定其是否为噪声。

此外，声景观的优劣还可以结合听觉空间来考察[31]。在特定区域，能够听到某个声音的区域称为该声音在该区域的听觉空间。同一个声音，在交通繁忙的马路边，能清楚地听到它的范围很小，也就说，在马路这样的区域，该声音的听觉空间很小；而在乡村地区或者幽静的山谷里，在很远的距离处，该声音仍能被清楚地听见，即听觉空间相对要大。因此，可以通过测量同一个声音在不同区域的听觉空间的大小来衡量区域声景观的优劣。听觉空间的数值越大，说明该区域的声景观越好。

1. 富水乡村声环境现场调查测量
   1. 涧东村声环境现场调查测量
      1. 测量条件及现场情况

涧东村地处江苏省南京市溧水区洪蓝镇内傅家边现代农业园，属于长三角美丽乡村示范村庄之一，村中主要发展以草莓种植业为主的农业观光旅游产业，同时提供草莓采摘、农家乐、钓鱼等乡村旅游项目。全村总人口507人，农户113户。涧东村属于中低山丘陵地貌，地势大致北高南低，东高西低。村庄内没有河流经过，东西两侧各有一条排水沟渠，宽度约在5米左右。四周有大小池塘十几个，水面面积均不大。一条二级公路梅花大道从村庄中穿过，水泥路面，宽度9.5米，是村庄主要对外联系通道，也是整个村庄声环境中主要的交通噪声源。涧东村内部主要道路有3条，总长约1400米，均为柏油路面。整个村庄建设用地面积约3.25公顷，人均建设用地面积132平方米；村民住宅建筑面积8000平方米，人均住宅建筑面积48平方米。村内主要建筑物为村民自住房，住宅建筑以砖混结构为主，建筑层数均为1～2层。涧东村主要地理位置如图所示。



图 涧东村地理位置示意图

* + 1. 测量方案及结果

为了详细了解村庄的声环境，对整个村庄范围内进行了两次测量，考虑到村庄内噪声源主要是梅花大道带来的交通噪声和游客旅游过程中的游览噪声，所以测量内容着重是交通噪声和主要旅游线路上游览噪声的监测。第一次于2016年06月23日9：00-17:00进行，该天是工作日，村庄内游客较少，主要测量游客较少的情况下村庄内的背景噪声；第二次是2016年06月26日9：00-17:00进行，该天是休息日，村庄内游客较多，主要测量游客较多情况下村庄整体声环境状况。所有监测时间都选择在天气晴朗无风的情况下进行。测量中主要用到的设备如下表所示。涧东村平面示意图如图所示，图中红色区域为村中居民住宅，绿色区域为村庄南部主要道路江滨东大道，浅蓝色区域为村中池塘及小河流，浅灰色区域为村庄中主要道路，深灰色的是村中的草莓种植大棚。各测点相对位置如图中编号所示。

表 测量设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 编号 | 设备名称 | 数量 |
| 1 | Norsonic N118型声级计 | 3台 |
| 2 | B&K声级校准器（型号4230） | 1支 |



图3.2 涧东村测点布置图

* + - 1. 交通噪声测量方案及结果

第一次测量：2016年06月23日9：00-17:00

通过前期调查和现场踏勘发现，对于涧东村的声环境影响较大的外部因素就是村庄北部穿村而过的梅花大道上的交通噪声。梅花大道是涧东村通往洪蓝镇最主要的道路之一，其为双向两车道，由于附近有工地施工的原因，道路上渣土车等车辆较多，限速每小时60公里。在测量中为了正确把握梅花大道上的交通噪声，选取了测点17和测点18进行了交通噪声的监测，每次测量20分钟，第一次测量分别于早中晚对测点17和测点18进行了测量（ Nor118声级计话筒在高速路边缘离地面高 1.5 米）。噪声测量的同时记录靠近村庄一侧的各类车辆的单向车流向。测点17和测点18的测量结果如下表 所示，车流量数据如表 所示。

表1 第一次测量点17、18测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心频率 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | 16K | LZeq | LAeq | Lmax | Lmin |
| 17早 | 67.8 | 62.7 | 58.6 | 57.9 | 59.9 | 57.3 | 53.2 | 48.6 | 47.4 | 76.3 | 68.6 | 101.2 | 58.4 |
| 17中 | 67.7 | 59.8 | 54.7 | 45.1 | 42.4 | 39.8 | 40.4 | 34.4 | 23.1 | 56.9 | 75.9 | 80.3 | 71.8 |
| 17晚 | 73.9 | 68.6 | 61.2 | 52.9 | 50.9 | 48.1 | 42.8 | 37.3 | 36.5 | 90.6 | 63.5 | 91.5 | 45.9 |
| 18早 | 74.7 | 65.4 | 63.2 | 61.4 | 62 | 59.2 | 54.1 | 51 | 49.6 | 76.4 | 66.3 | 100.1 | 34.2 |
| 18中 | 57 | 53.1 | 41.9 | 39.4 | 35.6 | 34.4 | 34.6 | 35.3 | 35.9 | 73.7 | 43.9 | 73.7 | 33.2 |
| 18晚 | 67.6 | 63.7 | 60.9 | 58.2 | 56.5 | 55 | 52.4 | 52.7 | 46.1 | 75.1 | 62.6 | 92.2 | 45.5 |

表3 6月23日车流量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 轿车 | 货车 | 总计 | 等效小时车流量 | 重型车比例 |
| 17早 | 47 | 21 | 68 | 204 | 30.1% |
| 17中 | 28 | 10 | 38 | 114 | 26.3% |
| 17晚 | 46 | 10 | 56 | 168 | 17.9% |
| 18早 | 54 | 9 | 63 | 189 | 14.3% |
| 18中 | 53 | 12 | 65 | 195 | 18.5% |
| 18晚 | 59 | 15 | 74 | 222 | 20.3% |

第二次测量：2016年06月26日9：00-17:00

为了详细了解在游客较多的情况下村庄交通噪声情况，故选择休息日对村庄声环境进行了详细测量。同样选择了测点17和测点18进行监测，以便对工作日和休息日村庄整体声环境状况进行对比，了解其中的差异。每次测量20分钟，第二次测量分别于早晚对测点17和测点18进行了测量（ Nor118声级计话筒在高速路边缘离地面高 1.5 米）。噪声测量的同时记录靠近村庄一侧的各类车辆的单向车流向。测点17和测点18的测量结果如下表 所示，车流量数据如表 所示。

第二次测量，点17、点18测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心频率 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | 16K | LZeq | LAeq | Lmax | Lmin |
| 17早 | 71.9 | 62.2 | 60.8 | 61.1 | 61 | 57.5 | 54.1 | 51.4 | 46.6 | 80.3 | 70.1 | 105.2 | 56.2 |
| 17晚 | 69.5 | 65.2 | 63 | 61.5 | 58.6 | 55.5 | 51.3 | 47.6 | 40.5 | 81.3 | 63.9 | 102.8 | 55.4 |
| 18早 | 69.9 | 68.4 | 67.4 | 67.4 | 64.3 | 58.5 | 55.2 | 53.8 | 51.4 | 77.7 | 68.8 | 99.5 | 55.6 |
| 18晚 | 73.7 | 67.2 | 66.5 | 65.6 | 63.6 | 60.8 | 58 | 57.1 | 56.6 | 77.5 | 68.8 | 87.5 | 34.2 |

6月26日车流量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 轿车 | 货车 | 总计 | 等效小时车流量 | 重型车比例 |
| 17中 | 51 | 16 | 67 | 201 | 23.9% |
| 17晚 | 38 | 15 | 53 | 159 | 28.3% |
| 18中 | 33 | 12 | 55 | 165 | 21.8% |
| 18晚 | 60 | 18 | 78 | 234 | 23.1% |

两次测量结果表明，涧东村梅花大道上的交通噪声早上、中午和晚上基本稳定在60dBA以上，个别时段交通噪声超过70dBA。在第一次涧东村交通噪声测量过程中，于早上、中午、晚上分别对于梅花大道交通噪声进行了监测工作。根据实测数据可知，作为村镇公路的梅花大道高峰期间车流量最大可达234辆每小时。从车流量统计数据中可以看出，梅花大道上车流中占比重最大的是小轿车，货车和大型客车总体来说数量较少。但是从白天和晚上测量数据对比可以看出，虽然车流量总体数量有所减少，但是重型车比例在有些区域下降幅度并不大，由于重型车对交通噪声的影响相对于小轿车等车型来说更为严重，所以这在一定程度上对晚间声环境有不良的影响。

* + - 1. 村庄区域环境噪声测量方案及结果

第一次测量：2016年06月23日9：00-17:00

对于村庄内环境噪声的测量，主要针对村庄中主要的游览路线进行了游客较少情况下游览噪声的监测，同时对村中主要路口进行布点，测量村庄中以社会生活噪声为主的背景噪声。第一次进行村内环境噪声测量时，村庄中少数几处农居正在施工，村庄区域环境噪声测量的数据是村内梅花大道上的交通噪声、施工噪声和生活噪声共同作用的结果。考虑到施工噪声的影响是暂时的，因此在布置测量点位的时候，尽量避开了施工噪声的干扰，同时点位布置主要考虑到村庄中主要游览线路以及村中的道路交叉口等人流车辆相对较多的地方，对村内测点2至测点16和测点18进行了监测。

在测量中为了正确把握村中的声环境状况，在村庄所有测量点位处均用Nor118声级计自动连续测量，对每个测点均进行了时长20分钟的测量（Nor188声级计话筒距离地面1.2高处）。针对道路交通噪声的测量均记录了测量当时的车流量。

图 涧东村第一次测量现场图

表 第一次涧东村整体声环境测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | 16K | LZeq | LAeq |
| 1 | 54.4 | 48.8 | 41.3 | 40 | 33.7 | 33.1 | 33.7 | 28.5 | 47.4 | 72 | 47.4 |
| 2 | 53.1 | 45.5 | 43.4 | 39.5 | 38 | 35.4 | 37.2 | 31.5 | 28.2 | 70.4 | 48.9 |
| 3 | 52.5 | 45 | 40.2 | 43.2 | 37.7 | 33.4 | 37.3 | 32.1 | 29.6 | 67.4 | 49 |
| 4 | 57.1 | 48.9 | 42.8 | 36.8 | 34.2 | 32.6 | 37.2 | 43.1 | 25 | 74.9 | 48.8 |
| 5 | 60 | 53.2 | 44.4 | 34.4 | 27.7 | 30.4 | 45.2 | 36.9 | 26.6 | 80.5 | 53.2 |
| 6 | 67.4 | 61.7 | 51.8 | 39.9 | 29.9 | 30.8 | 37.3 | 38.4 | 27.6 | 84.4 | 54.3 |
| 7 | 59.2 | 53.8 | 46.1 | 41.3 | 35.2 | 42.4 | 42.3 | 35 | 33.1 | 65.5 | 48.3 |
| 8 | 56.6 | 49.1 | 42.5 | 35.8 | 31.9 | 35.2 | 38.4 | 35.6 | 28.5 | 68.4 | 43.9 |
| 9 | 74.8 | 64.7 | 62.4 | 61.8 | 61 | 58.9 | 54.6 | 51.5 | 48.7 | 76.7 | 65.9 |
| 10 | 62 | 51.3 | 45.7 | 42.6 | 40.2 | 42.9 | 51.4 | 51.5 | 43.1 | 77.8 | 55.4 |
| 11 | 62.2 | 55.8 | 50.7 | 65.2 | 65.1 | 58.7 | 47.2 | 43 | 33.9 | 74.2 | 67.5 |
| 12 | 55.1 | 53.6 | 56.8 | 53.9 | 43 | 42.2 | 41.3 | 34.6 | 26.6 | 65.9 | 53.7 |
| 13 | 59.7 | 57.5 | 52.2 | 46 | 43.3 | 48.7 | 44.2 | 38.7 | 31.1 | 67.2 | 53.3 |
| 14 | 63.7 | 58.8 | 57.9 | 56.6 | 55.3 | 52.9 | 50.3 | 42.6 | 36 | 73.8 | 60.3 |
| 15 | 52.6 | 46.4 | 42.5 | 38 | 33.2 | 34.1 | 43.4 | 33 | 21 | 65 | 46.1 |
| 16早 | 62.4 | 60.4 | 59.3 | 55.4 | 48.1 | 46.7 | 42.7 | 37.9 | 32.1 | 70.9 | 56.6 |
| 16晚 | 54.6 | 48.8 | 48.2 | 47.5 | 46.1 | 45.2 | 43.3 | 36.8 | 25.4 | 67.7 | 51.9 |

第二次测量：2016年06月26日9：00-17:00

为了详细了解在游客较多的情况下村庄声环境现状，故选择休息日对村庄声环境进行了详细测量。测量点位和第一次测量点位相同，以便对工作日和休息日村庄整体声环境状况进行对比，了解其中的差异。测量时用Nor118声级计主要在测点1至测点16村庄声环境进行监测，每个测点测量20分钟。

涧东村第二次测量现场图

第二次涧东村整体声环境测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | 16K | LZeq | LAeq |
| 1 | 69.5 | 65.2 | 63 | 61.5 | 58.6 | 55.5 | 51.3 | 47.6 | 40.5 | 81.3 | 63.9 |
| 2 | 51.7 | 45.4 | 43.6 | 42.8 | 43.7 | 39.3 | 37.4 | 33 | 27.6 | 71.2 | 52.4 |
| 3 | 44 | 39.9 | 39.2 | 43 | 37.1 | 34.6 | 34 | 31.6 | 25.5 | 62.6 | 47.6 |
| 4 | 49.1 | 41.6 | 37.4 | 38.7 | 32.6 | 33.4 | 40.4 | 45.9 | 32 | 71.4 | 50.6 |
| 5 | 50.1 | 42.4 | 44.9 | 41 | 30.8 | 32.2 | 40.1 | 38 | 25.3 | 76.6 | 50.6 |
| 6 | 52.8 | 47.2 | 47.5 | 45.1 | 42 | 41.2 | 40.6 | 35.5 | 25.9 | 67.1 | 48.8 |
| 7 | 53.1 | 47.2 | 44.1 | 42.4 | 39.8 | 40.9 | 41.7 | 34.5 | 30.8 | 64.9 | 47.9 |
| 8 | 60 | 48.3 | 41 | 39.1 | 37.4 | 35.9 | 35.8 | 34.1 | 32.6 | 72.7 | 44.3 |
| 9 | 58.8 | 52.8 | 50.1 | 50.6 | 60.6 | 60.9 | 51.1 | 46.7 | 40.4 | 70.4 | 64.9 |
| 10 | 60.6 | 50.6 | 45.7 | 45.7 | 44.3 | 44.2 | 42.8 | 41.9 | 34.5 | 72 | 51 |
| 11 | 61.4 | 59.9 | 57.3 | 54.6 | 55.6 | 55.1 | 48.9 | 45.2 | 41.8 | 73 | 60.5 |
| 12 | 57.8 | 53 | 49.3 | 48.3 | 44.5 | 44.4 | 45.7 | 40.8 | 31.7 | 70.4 | 52.3 |
| 13 | 56.9 | 49.1 | 44.5 | 48.3 | 42.8 | 41.3 | 40 | 31.6 | 23 | 71.7 | 49.5 |
| 14 | 46 | 46.5 | 46.7 | 45.3 | 41 | 44.1 | 40.2 | 33.1 | 31.2 | 67.2 | 49.4 |
| 15 | 62.8 | 56.4 | 48.3 | 43 | 40.1 | 38.4 | 41.6 | 32.3 | 24.6 | 76.9 | 48.4 |
| 16早 | 71.4 | 66.6 | 64.2 | 60.5 | 52.2 | 49.8 | 47.5 | 41 | 33.1 | 83.6 | 61.3 |
| 16晚 | 58.3 | 50.1 | 45.4 | 46.9 | 45.6 | 46.1 | 43.3 | 36.4 | 28 | 67.5 | 51.9 |

* + 1. 测量结果的评价分析

以上两次测量数据中，第一次测量主要监测游客较少情况下乡村整体声环境状况，第二次测量主要是测量休息日时间段乡村声环境情况，根据测量情况分析乡村整体声环境。



涧东村声环境测量统计

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 零类标准（白天50分贝） | | | 一类标准（白天55分贝） | | |
|  | 等效声压级 | 达标率 | 超标数 | 等效声压级 | 达标率 | 超标数 |
| 6月23日 | 50dB | 44.40% | 10 | 55dB | 61.10% | 7 |
| 6月26日 | 38.90% | 11 | 72.20% | 3 |

从表中可以看出涧东村中大部分测点已经符合《声环境质量标准》中规定的一类区域昼间声环境标准的要求，但是距离零类标准还有一定的距离。根据算术平均值法，得出涧东村的平均声压级L=55.4dB，进而根据噪声指数法得出该区域PN=0.74，故涧东村的声环境等级为一般，有规划和控制的必要。由于昼间测量过程中，有部分测点受到村庄中村民住宅施工的影响，同时6月26日测量时，虽然为周末时间段，但是该时间段草莓尚未成熟，村中草莓采摘等活动还没有开始，且村庄中没有举行活动，所以测量结果和23日没有很大的差距。

1. 从上文中可以看出，涧东村测量中很多测点虽然达到了区域噪声环境的一类标准，但是声环境质量等级仍为一般，从现场踏勘和多次实测的过程中，发现涧东村的声环境存在的一些问题。
2. 从测点17和测点18可以看出，穿村而过的梅花大道对于整个乡村的声环境影响非常大，所以在乡村前期建设过程中，对于村庄附近道路的规划要考虑到其对村庄声环境的影响。
3. 从测点1到测点11的测量结果可以看出，主要游览路线对于游览路线两旁的声环境也存在影响。

3.1.4声环境控制措施评价以及存在问题分析

* 1. 富阳黄公望村现场调查测量
     1. 测量条件及现场情况

黄公望村属于浙江省杭州市富阳区东洲街道，位于富阳区城东7公里处，东接杭州，南傍富春江，西毗国际高尔夫球场，北靠黄公望森林公园，是美丽乡村示范乡村之一，地理位置十分优越，是富阳最宝贵、最核心的资源所在，是整个富阳“山水城市、运动城市”得以具体化、生动化最为优势的物质载体和最为优良的环境之一。由于黄公望村优越的地理位置和土地资源，该村积极发展休闲、餐饮、度假等第三产业，主要以农家乐特色，接待上海、杭州等附近地区的游客，全年接待游客达到35万次，通过第三产业解决农村剩余劳动力，提高村民生活水平。村庄南部有市一级公路江滨东大道横穿而过，村中有两条水泥路横穿南北，路宽为6米。村中有一个池塘，一条沟渠连接池塘从村中贯穿而过，村庄南面即为富春江。黄公望村地理位置如图所示。



图 黄公望村地理位置示意图

* + 1. 测量方案及结果

为了详细了解黄公望村的声环境，对村庄的整体声环境情况进行了声环境监测，考虑到村中的噪声源主要是村庄南部的江滨东大道上车流产生的交通噪声和村中居民的社会生活噪声以及游客游览带来的游览噪声，所以测量内容着重是交通噪声和主要旅游线路上游览噪声的监测。此次测量于2016年07月21日-07月22日进行，所有监测时间都选择在天气晴朗无风的情况下进行。测量中主要用到的设备如下表所示。黄公望村平面示意图如图所示，图中红色区域为村中居民住宅，绿色区域为村庄南部主要道路江滨东大道，浅蓝色区域为村中池塘及小河流，深蓝色区域为村庄中主要道路。

测量设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 编号 | 设备名称 | 数量 |
| 1 | Norsonic N118型声级计 | 2台 |
| 2 | B&K声级校准器（型号4230） | 1支 |
| 3 | 录音设备 | 2台 |



黄公望村村庄平面示意图

* + - 1. 交通噪声测量方案及结果

第一次测量时间：2016年07月21日16：00-18：00

通过前期调查和现场踏勘发现，对于黄公望村中的声环境影响最大的外部因素就是江滨东大道上的交通噪声。江滨东大道在钱塘江沿岸，是连接杭州市区和富阳市区最主要的道路之一，其为双向6车道，限速每小时80公里。在测量中为了正确把握江滨东大道的噪声状况，选取了5个点进行了测量，每次测量20分钟（ Nor118声级计话筒在高速路边缘离地面高 1.5 米）。噪声测量的同时记录靠近村庄一侧的各类车辆的单向车流向。

江滨东大道噪声测量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Leq | Laeq |
| C1 | 70.4 | 65 | 64.9 | 60.6 | 54.1 | 48.6 | 56.7 | 57.4 | 78.9 | 68.9 |
| C2 | 69.9 | 63 | 62.4 | 58.9 | 55 | 50.8 | 59.6 | 61.4 | 77.5 | 70.3 |
| C3 | 67.9 | 59.4 | 57.1 | 52.9 | 54.6 | 50.4 | 52.6 | 55.2 | 74.3 | 64.6 |
| C4 | 74.2 | 65.5 | 66.2 | 60.7 | 58.8 | 54.6 | 53.9 | 54.1 | 80.4 | 69.4 |
| C5 | 69 | 63.9 | 63.8 | 60.1 | 60.1 | 58.7 | 55.3 | 55.3 | 77.8 | 70.9 |

江滨东大道车流量

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 轿车 | 货车 | 大型客车 | 总计 | 等效小时车流量 | 重型车比例 |
| C1 | 61 | 5 | 15 | 81 | 405 | 24.2% |
| C2 | 109 | 7 | 14 | 130 | 650 | 16.2% |
| C3 | 71 | 4 | 13 | 88 | 440 | 19.7% |
| C4 | 92 | 9 | 11 | 112 | 560 | 17.9% |
| C5 | 178 | 11 | 15 | 204 | 1020 | 13% |

第二次测量：2016年07月21日20：00-22：00

第二次对于江滨东达到声环境的测量主要在夜间进行，探究在夜间情况下交通噪声对村庄声环境的影响。同样选择了点C1、C2、C3、C4和C5进行监测，用Nor118声级计进行测量，每个点位同样测量20分钟，然后测量下一个点，测量同时记录靠近村庄一侧的各类车辆的单向车流向，测量结果如下表所示。

江滨东大道噪声测量

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Leq | Laeq |
| C1 | 65 | 58 | 51.3 | 50.9 | 53.2 | 51.1 | 66.8 | 70.6 | 73.6 | 72 |
| C2 | 71.1 | 63.2 | 70 | 62.6 | 59.6 | 55.8 | 47.9 | 48.8 | 77.1 | 65.6 |
| C3 | 66.5 | 59.6 | 57.4 | 53.6 | 55.8 | 50 | 49.3 | 50.3 | 73.6 | 64.1 |
| C4 | 63.9 | 57.6 | 59.3 | 56.4 | 54.6 | 50 | 51.6 | 53 | 73.1 | 65 |
| C5 | 68.6 | 60.7 | 63.9 | 62.1 | 55.9 | 54.7 | 48.7 | 46.9 | 76.5 | 66.7 |

江滨东大道车流量

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 轿车 | 货车 | 大型客车 | 总计 | 等效小时车流量 | 重型车比例 |
| C1 | 31 | 2 | 5 | 38 | 185 | 19.4% |
| C2 | 67 | 2 | 3 | 72 | 310 | 6.9% |
| C3 | 54 | 3 | 5 | 62 | 310 | 13.5% |
| C4 | 61 | 3 | 5 | 69 | 345 | 11% |
| C5 | 68 | 4 | 8 | 80 | 400 | 14.8% |

* + - 1. 村庄区域环境噪声测量方案及结果

第一次测量：2016年07月21日16：00-18：00

进入黄公望村进行乡村环境噪声测量时，村内一部分区域进行民房改建施工，区域环境噪声测量的数据是交通噪声、施工噪声以及社会生活噪声共同作用的结果。考虑到施工噪声是暂时的，因此在尽力避开施工噪声的位置进行监测点位的布置，选择点位A1、点A2、点A3、点A4、点A5和点A6进行监测。用Nor118 声级计在话筒离地面1.2m处进行测量，每个点位测量持续20分钟，然后进行下一个点位的测量。

图 黄公望村现场测量图

表 环境噪声测量数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Leq | Laeq |
| A1 | 45.1 | 62 | 54.4 | 60.2 | 54.6 | 48.4 | 43.5 | 43.5 | 65.9 | 60.3 |
| A2 | 57.6 | 56.4 | 57.3 | 54.1 | 54 | 54.9 | 60.5 | 60.2 | 69.1 | 65 |
| A3 | 64.8 | 61.9 | 60.1 | 52.9 | 53.7 | 51.8 | 53 | 54.4 | 69.4 | 60.7 |
| A4 | 59.2 | 54 | 50.3 | 47.9 | 518 | 51.1 | 56 | 60.1 | 70.2 | 62.3 |
| A5 | 63.8 | 61.8 | 57.6 | 49.4 | 49.3 | 46.9 | 58.4 | 60.5 | 70.1 | 63.2 |
| A6 | 65.1 | 64.8 | 52.8 | 58.1 | 57 | 54.1 | 54.3 | 55.1 | 71.3 | 63.1 |

第二次测量：2016年07月22日08：00-10：00

第二次测量时，选择在工作日早上进行。沿着村子的主要道路选择点位A1、点A2、点A3、点A4、点A5和点A6进行监测。用Nor118 声级计在话筒离地面1.2m处进行测量，每个点位测量持续20分钟，然后进行下一个点位的测量。

图 黄公望村现场图

表 黄公望村环境噪声监测数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | Leq | Laeq |
| A1 | 54.9 | 54.7 | 53.8 | 46.6 | 45.5 | 45.2 | 62.2 | 63.4 | 67.6 | 66.1 |
| A2 | 60.1 | 51.5 | 50.6 | 48.5 | 46.6 | 46.3 | 63.6 | 65.4 | 69.7 | 67.8 |
| A3 | 57.8 | 53.1 | 49.8 | 45.1 | 45.2 | 44.8 | 60.7 | 61.7 | 68.1 | 64.5 |
| A4 | 55.6 | 52.2 | 57.5 | 58.4 | 61.8 | 52.8 | 61.2 | 61 | 73.6 | 71.5 |
| A5 | 53.3 | 51.7 | 51.4 | 53.1 | 63.4 | 49.5 | 71.9 | 74.6 | 82.5 | 82.2 |
| A6 | 61.9 | 52.4 | 49.3 | 42.7 | 36.4 | 37.3 | 69.7 | 72.8 | 80.3 | 79.8 |

* + 1. 测量结果的评价分析

两次的测量过程中，分别于傍晚下班晚高峰和夜间车流量相对较少的时间段针对江滨东大道的交通噪声进行了监测工作；在下午和早上两个时间段对于黄公望村的整体声环境进行了详细的测量工作，以这两次的测量数据作为主要的分析依据。



在测量过程中，于傍晚下班高峰中和夜间分别对于江滨东大道交通噪声进行了监测工作。根据实测数据可知，作为市一级公路的江滨东大道晚高峰期间车流量最大可达1020辆每小时，夜间最大车流量可达400辆每小时。从车流量统计数据中可以看出，江滨东大道上车流中占比重最大的是小轿车，货车和大型客车总体来说数量较少。但是从白天和晚上测量数据对比可以看出，虽然车流量总体数量有所减少，但是重型车比例在有些区域下降幅度并不大，由于重型车对交通噪声的影响相对于小轿车等车型来说更为严重，所以这在一定程度上对夜间声环境有不良的影响。

在黄公望村实地测量的过程中，在每个测点测量的同时都对测点附近的主要声景元素进行了记录，村庄区域主要声音要素如下表所示。

表 村庄区域主要声音要素

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 21日测量 | 22日测量 |
| A1 | 鸟鸣、蝉鸣、居民活动声 | 鸟鸣、蝉鸣 |
| A2 | 鸟鸣、蝉鸣、施工 | 蝉鸣、施工 |
| A3 | 鸟鸣、蝉鸣、施工、交通 | 鸟鸣、蝉鸣、居民活动声 |
| A4 | 鸟鸣、蝉鸣、交通 | 鸟鸣、蝉鸣、交通 |
| A5 | 鸟鸣、蝉鸣、施工、交通 | 蝉鸣、交通、居民交谈声 |
| A6 | 鸟鸣、蝉鸣、施工 | 蝉鸣、交通、施工 |

第一次于7月21日进行测量，发现村庄南部的江滨东大道上的交通噪声对村庄整体区域声环境存在一定程度上的影响，村中部分区域的施工噪声也对声环境产生不良影响。从上面实际测量数据中可以看出，第一次对黄公望村区域声环境进行测量时，发现所选测点等效A声级均超过了60分贝，22日测量期间A5点等效A声级超过了80dBA。由上表可以看出，由于村中植被覆盖面积比例非常大，并且测量时间为盛夏时节，蝉鸣是整个测量过程中声压级的主要构成，对村庄区域声环境产生很大的影响，后期的村庄整体规划中可以在声景设计中适当加入蝉鸣等声景设计，构建一个和谐的声环境。

1. 富水乡村声环境模拟分析
   1. 声学仿真平台介绍
      1. Raynoise声学仿真模拟的原理

RAYNOISE系列软件是比利时声学设计公司LMS开发的一种基于几何声学原理的结合声线追踪法、虚源法两者的大型通用计算平台，其界面如下图XX，该软件广泛应用于建筑声学与环境噪声的声场预测[33-34]。其主要功能是对封闭空间、半封闭空间及敞开空间的各种声学行为进行模拟，能够比较精确的模拟声传播的物理过程。RAYNOISE具有很强的计算模拟功能，可以同时预测各类噪声源（点声源、线声源、任意形状的面声源）的复合影响，对声源和预测点的设置数量没有限制，噪声源的辐射声压级和计算结果既可以用 A 计权值表示，也可以用不同频段的声压值表示，任意形状的建筑物群、绿化林带和地形均可作为声屏障予以考虑。RAYNOISE3.0软件广泛应用于厅堂音质设计、工业噪声预测和控制、机场和地铁等场所的语音系统设计，是声学领域非常专业的一款综合声学分析软件，为用户进行声学模拟和设计提供了值得信赖的分析结果。本论文将基于RAYNOISE3.0平台对噪声敏感区域声环境进行综合计算，并基于此预测分析不同降噪方案的降噪效果。



**RAYNOISE软件操作界面图**

* + 1. RAYNOISE声学仿真模拟的方法

RAYNOISE系统实质上也可以认为是一种音质可听化系统（关于“可听化”，详见参考文献［1］）。它主要以几何声学为理论基础。几何声学假定声学环境中声波以声线的方式向四周传播，声线在与介质或界面（如墙壁）碰撞后能量会损失一部分，这样，在声场中不同位置声波的能量累积方式也有所不同。如果把一个声学环境当作线性系统，则只需知道该系统的脉冲响应就可由声源特性获得声学环境中任意位置的声学效果。因此，脉冲响应的获得是整个系统的关键。以往多采用模拟方法，即利用缩尺模型来获得脉冲响应。80年代后期以来，随着计算机技术的高速发展，数字技术正逐渐占据主导地位。数字技术的核心就是利用多媒体计算机进行建模，并编程计算脉冲响应。该技术具有简便、快速以及精度可以不断改善的特点，这些是模拟技术所无法比拟的。计算脉冲响应有两种著名的方法：虚源法（Mirror Image Source Method，简称MISM）和声线跟踪法（Ray Tracing Method，简称RTM）。两种方法各有利弊［1］。后来，又产生了一些将它们相结合的方法，如圆锥束法（Conical Beam Mehtod，简称CBM）和三棱锥束法（Triangular Beam Method，简称TBM）。RAYNOISE将这两种方法混合使用作为其计算声场脉冲响应的核心技术。

RAYNOISE的模拟过程主要包括前期模型建立、模型属性的定义、预测计算和后期优化分析等四个主要部分。

1. 声学仿真模型的建立需要将AutoCAD的平面图根据现场实际情况中的建筑、地形、道路、标高等不同的部分建立3D模型，建模的过程中将道路、建筑、绿地、池塘等具有不同声学边界条件的部分放在不同的图层建立，模型中要包含地形高差、建筑高度等，要尽量与实际情况相一致。将建立好的模型保存为\*.dxf文件后导入RAYNOISE软件中。
2. 之后对导入的各个图层分别进行属性的定义，后期声学仿真模型的计算准确性等和模型定义的准确性有很大关系。主要确定的属性包括不同声源的定位及大小、不同材质的吸声系数、声传播反射次数等，模拟情况要尽量与实际情况相一致。
3. 在声学仿真模型计算过程中，要设置符合实际情况的网格尺寸，确定接收点的高度。
4. 进行预测分析后，可以针对不同的措施加入到模型当中之后在分别进行计算，得到其模拟结果。
   * 1. 声学软件仿真模拟的优势

声学仿真软件模拟的主要优势有以下几个方面：

1. 计算机仿真模拟功能强大。软件对乡村声环境的实际情况能够比较真实的模拟再现，能同时考虑多个点声源、线声源以及任意形状的面声源对区域环境的复合影响。对于传统方法中很难计算和预测的部分，软件模拟中也能较为方便的重现并进行模拟。
2. 计算简便、操作方便、速度快、效率高。传统方法都是在相关工程完成后根据实际测量与理论计算得到结果，而计算机辅助设计可以在设计方案阶段就开始进行模拟预测，并可以任意对现有方案的整体区域布局进行优化改善，简便快捷，大大提高了评价效率。软件建筑平面图的导入、参数设定、声源定义以及模拟计算结果的表述与评价过程全面完整，与人工计算相比，准确、省时，很大程度的简化了复杂计算的过程。
3. 计算结果的可视化，形象化。软件的计算结果可以用三维视觉效果、平面彩图、线条图形式直观的表示出预测结果，可以自动生成文本形式的数据结果，特别是三维视觉效果在传统计算中根本无法实现的。
   1. 乡村声环境声学仿真模型建立
      1. 涧东村声学仿真模型建立

根据涧东村实际布局总平面图，使用AutoCAD软件建立噪声敏感地带及其周边环境的三维模型，在原图的基础上对模型小于主要音频波长的所有细节进行了简略，以在不影响模型声学精度的基础上简化问题。声源、传播途径以及接收点是进行声学仿真模型建立的三个重要组成部分。涧东村中的声源主要包括乡村北部梅花大道上的交通噪声以及村庄中的主要游览线路上的游客噪声。传播途径主要考虑到整个村庄AutoCAD模型的建立，村庄中所有与仿真模拟相关的建筑、水面、林带、村庄中道路等都需要建立并准确定位。在RAYNOISE声学平台模拟中，接收点的建立主要有三种：独立的接收点和网格评估。分别包括单独接收点的高度、位置以及评价标准的确定，网格声线的网格大小、高度以及表现形式的选择。下图中，红色区域是村庄民居，洋红色的为村中水系，浅灰色的则为村中道路，深灰色的为村中草莓大棚。



图 涧东村总平面示意图



图 涧东村三维模型示意图

* + 1. 黄公望村声学仿真模型建立

根据黄公望村实际布局总平面图，使用AUTOCAD软件建立噪声敏感地带及其周边环境的三维模型，在原图的基础上对模型小于主要音频波长的所有细节进行了简略，以在不影响模型声学精度的基础上简化问题。黄公望村中的声源主要是村庄南面江滨东大道上面的交通噪声和村中居民的社会生活噪声。传播途径主要考虑到整个村庄AutoCAD模型的建立，村庄中所有与仿真模拟相关的建筑、水面、林带、村庄中道路等都需要建立并准确定位。下图中，红色区域为村中居民住宅，蓝色线条为村中主要道路，浅绿色线条为村中水路，深绿色为村庄南部江滨东大道。



图 黄公望村总平面示意图



图 黄公望村三维模型示意图

* 1. 声学仿真模型的校核
     1. 声学仿真模型校核的原理

声学仿真模型模拟过程中，由于现场测量难以测量到实际噪声源的声源源强值，故要对实际声源源强进行反演计算，以求得声源源强值，进而校核声学仿真模型。声源源强的校核方法，其理论核心是在边界条件一定，声源位置确定的条件下，对于边界声场来说，其任意两点的传递函数一定，这意味着两点间的声级差是一定的，所以能够根据两点间的声级差来反推实际声强。

一个测量点的测量声压级和预测声压级都会受到不同声源的综合效应的影响。如果某个声源对测量的声源贡献量最大，则可认为此声源为该测点的主要影响声源。在声源反演过程中，只对测量点的主要声源进行反演。

根据反演声源方法的条件，在反演声源过程中一般做如下定义：

定义1：噪声监测点集合P={p1, p2, p3, …, pn}，pi为第i个监测点，目标区域内一共有n个监测点。

定义2：作用于监测点pi的声源集合Si={ si1, si2, si3, …, sin,}，sij为作用于pi第j个噪声源，目标区域内作用于监测点pi的声源个数为n个。

定义3：声源对监测点pi的噪声贡献量集合Li={ SPLi1, SPLi2, SPLi3, …, SPLin }，SPLij为作用于监测点pi的声源sij的噪声贡献量。

定义4：每个噪声监测点在预测模型中声源源强预测值与实际值的差值的集合Xi={x1, x2, x3,…, xn}，其中xi为监测点pi预测值与实际值的差值。

定义5：根据监测点pi的预测声压级和实测声压级之间的关系可得

公式一

根据噪声地图中若干声源和监测点，其声源源强反演计算和修正的步骤如下：

步骤1 监测点预测声压级求解；

在指定区域内，对噪声监测点集合P内的元素依次通过计算仿真等手段进行噪声预测仿真求解。计算仿真的过程中，求出作用于监测点pi的声源集合Si以及pi的预测声压级。

步骤2 噪声监测点主要影响声源的确定；

针对作用于监测点pi的声源集合Si求出其中具有显著噪声贡献量的主要声源。

步骤3 确定声源传播途径及噪声贡献量。

对于已经确定有显著噪声贡献量的主要声源，要明确其声源传播途径以及声源的基本信息以及该声源对于目标点的噪声贡献量。

步骤4 获取噪声监测点pi实测数据。

通过现场测量等方式获取噪声监测点pi处实际测量声压级SPLi。

步骤5 利用噪声监测点pi处实际测量声压级SPLi对其主要声源进行反演计算，主要目的是求出声源源强，反演过程主要根据公式一进行计算。对经过声源源强反演后得到的声源源强需要进行再校核，将其带入到声源预测模型中进行模拟计算，得出其在预测模型中对监测点的影响值，并与监测点实际监测值比较，如果两者差值在误差允许的范围内，则认为该声源源强反演值精确。

步骤6利用声源源强反演结果进行局部修正更新计算；

利用声源源强的反演结果，得到准确的声源源强，进行整体的噪声地图更新求解，进而得到准确的计算结果。

采用了新的声源反演方法，在噪声地图制作过程中，对于如公路等不能准确测量声源源强的场合进行了有效的补充，提高了噪声地图制作的精度。该反演修正算法能够在计算过程中，利用原始计算的大部分数据，有效利用监测点的监测数据来反演声源源强以及其他声源特性，再通过修正声源进行噪声地图计算结果和监测结果的误差在误差允许的范围内，显著提高了噪声地图计算精度，同时噪声地图的求解过程也符合预测模型中的声传播衰减规律。

* + 1. 村庄声学仿真模型的校核

在本文中，用涧东村的测量数据对RAYNOISE声学仿真模型进行校验。

按现场勘查情况，涧东村声学仿真模型中为房屋、马路、草地等不同的材料定义的材料属性如下表：

声学模型选用材料属性

|  |  |
| --- | --- |
| 位置 | RAYNOISE中所选材料 |
| 围墙、地面 | Concrete Painted |
| 房屋、住宅 | Concrete |
| 草地 | Grass |
| 马路 | Pitch |
| 水面 | Water |

上表中每个材料对应的吸声系数频谱如下表4.2所示。

表3.2 材料倍频程中心频率对应的吸声系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 63Hz | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1KHz | 2KHz | 4KHz | 8KHz |
| Concrete | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0 |
| Grass | 0.23 | 0.34 | 0.55 | 0.6 | 0.42 | 0.55 | 0.56 | 0.5 |
| Concrete Painted | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0 |
| Pitch | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.31 | 0.31 |
| Water | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |

在涧东村声学仿真模型中，由于整个村庄模型的复杂性，根据整个村庄声环境的特点，在涧东村村庄原图的基础上简化了内部的细节，在村子中主要设置了一条交通噪声线声源和主要游览路线上的点声源。因为梅花大道穿村而过，因此将其设置为一条交通噪声线声源。对于沿着村中水塘岸边的主要游览路线，将其设置成一条线声源，以此模拟有游客游览的情况下村庄中的声环境。

* + - 1. 交通噪声源强校核

因为交通声源和游览噪声在现场难以准确测量，所以通过现场的测量数据进行校核。首先根据现场交通噪声测量结果得出声源的估计值，约为80dB，则交通声源的实际声源源强为80+x dB，其中x为估计值与实际值的差值。根据现场实际测量情况，由于测点1与交通声源距离较近，且中间没有明显遮挡物遮挡，故选择该测点作为校验参照点。选好参考点之后，通过声学仿真模型计算交通声源对测点1的影响值。计算后的结果如下表所示。

表 4.3 测点1模拟值和实测值的对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 31.4 | 51.7 |
| 125 | 39.9 | 45.4 |
| 250 | 43.7 | 43.6 |
| 500 | 54.4 | 42.8 |
| 1000 | 54.1 | 43.7 |
| 2000 | 52.5 | 39.3 |
| 4000 | 46.9 | 37.4 |
| 8000 | 54.7 | 33 |
| LAeq | 54.7 | 52.4 |

再校核的过程就是通过对比初步仿真结果和实测结果求出x，进而得出交通噪声声源源强的实际值。根据4.3.1节中的声源源强反演理论，在边界声场中，任意两点间的传递函数一定，所以两点间的声级差也是一定的，因此可以根据测点1上的声级差反推交通噪声源的声级差，进而可以反推梅花大道上的声源源强。具体的计算公式如下：

式中：

、----测点1处的噪声预测值和实测值，dB；

、----交通噪声的噪声预测值和实测值，dB；

经过上面方程计算，先通过测点1处的实测值与模拟值可以算出每个频率下的声级差x，进而可以计算出交通噪声声源的实际声压级。每个频率下的差值x的值如下表所示：

表 每个频率下的差值x

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K |
| 差值dB | 20.3 | 5.5 | -0.1 | -11.6 | -10.4 | -13.2 | -9.5 | -21.7 |

为了验证校核过后的声源的值是否准确，特选取另外两个测点位置考查实测值与仿真值之间的偏差，以验证计算模型的可靠性。选取的两个测点如图X中的测点11和测点12，经过声源模拟后的值和实际测量的值如下表所示：

测点11实测值和模拟值对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 38.7 | 61.4 |
| 125 | 48.7 | 59.9 |
| 250 | 56.8 | 57.3 |
| 500 | 60.8 | 54.6 |
| 1000 | 64.2 | 55.6 |
| 2000 | 65.8 | 55.1 |
| 4000 | 64.5 | 48.9 |
| 8000 | 61.2 | 45.2 |
| LAeq | 61.2 | 60.5 |

测点12实测值和模拟值对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 44 | 71.4 |
| 125 | 52.6 | 66.6 |
| 250 | 52.0 | 64.2 |
| 500 | 39.9 | 60.5 |
| 1000 | 53.7 | 52.2 |
| 2000 | 65.3 | 49.8 |
| 4000 | 63.5 | 47.5 |
| 8000 | 61.5 | 41 |
| LAeq | 61.5 | 61.3 |

* + - 1. 游览噪声源强的校核

涧东村中沿池塘边的主要游览路线上的游览噪声是由路旁的农家乐、池塘边钓鱼等活动和路上的游人等多种因素综合起来构成的声环境。因为游览噪声持续时间长、声压级比较稳定，所以可以参考交通噪声声源的设置，将村中的游览路线视为一条线声源。因为声源源强难以直接测量，所以通过测量数据对游览路线线声源源强进行校核。首先根据现场交通噪声测量结果得出声源的估计值，约为50dB，则游览噪声声源的实际声源源强为50+x dB，其中x为估计值与实际值的差值。根据现场实际测量情况，由于测点8与附近农家乐和钓鱼等地点距离均比较近，能够很好的反映出游览路线上噪声的声压级水平，且中间没有明显遮挡物遮挡，故选择该测点作为校验参照点。选好参考点之后，通过声学仿真模型计算交通声源对测点8的影响值。实测结果和计算后的结果如下表所示。

测点1模拟值和实测值的对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 31 | 59.2 |
| 125 | 31 | 53.8 |
| 250 | 44.3 | 46.1 |
| 500 | 47 | 41.3 |
| 1000 | 45.6 | 35.2 |
| 2000 | 43.6 | 42.4 |
| 4000 | 42.9 | 42.3 |
| 8000 | 42.7 | 35 |
| LAeq | 42.7 | 48.3 |

参考交通噪声校核过程，先通过测点8处的实测值与模拟值可以算出每个频率下的声级差x，进而可以计算出游览噪声的实际声压级。每个频率下的差值x的值如下表所示：

每个频率的差值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K |
| 差值dB | 28.2 | 22.8 | 1.8 | -5.7 | -10.4 | -1.2 | -0.6 | -7.7 |

为了验证校核过后的声源的值是否准确，特选取另外两个测点考查实测值与仿真值之间的偏差，以验证计算模型的可靠性。选取的两个测点如图X中的测点7和测点9，经过声源模拟后的值和实际测量的值如下表所示：

测点7实测值和模拟值对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 32.8 | 67.4 |
| 125 | 32.2 | 61.7 |
| 250 | 31.8 | 51.8 |
| 500 | 30.4 | 39.9 |
| 1000 | 30.2 | 29.9 |
| 2000 | 29.9 | 30.8 |
| 4000 | 29.6 | 37.3 |
| 8000 | 32.1 | 38.4 |
| LAeq | 32.1 | 54.3 |

表 4.5 测点9实测值和模拟值对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率Hz | 仿真结果（dB） | 实测结果（dB） |
| 63 | 45.4 | 56.6 |
| 125 | 48.5 | 49.1 |
| 250 | 47.2 | 42.5 |
| 500 | 53.5 | 35.8 |
| 1000 | 44 | 31.9 |
| 2000 | 42.1 | 35.2 |
| 4000 | 43.9 | 38.4 |
| 8000 | 40.9 | 35.6 |
| LAeq | 40.9 | 43.9 |

以上实测值和模拟值的对比结果表明，实测中测点11的噪声声压级60.5分贝，RAYNOISE模拟结果为61.2分贝；测点12的噪声声压级61.3分贝，RAYNOISE模拟结果为61.5分贝。对于测点11和测点12现场实测结果和计算机模拟的结果非常接近，说明对于设置精确的声源模拟结果非常准确。

实测中测点7的实测结果为54.3分贝，RAYNOISE模拟结果为32.1分贝；测点9的实测结果为43.9分贝，RAYNOISE模拟结果为40.9分贝。测点9的实测值与模拟结果较为接近，测点7的结果相差较大，因为各个测点监测时间段不相同，监测过程中居民家中施工、蝉鸣、狗吠等因素都会对监测结果产生一定的影响。由于此类噪声源分布没有规律，声压级不稳定，所以不能在RAYNOISE中体现出来，所以在测点7的实测结果与模拟结果存在较大的差距。综合前面实测结果和模拟结果的对比，建立的RAYNOISE声学仿真模型计算偏差值在3dB以内，考虑到类似的声学仿真计算软件本身几何声学计算方法有约3dB的固有误差，本次方案设计中建立并校核的声学仿真分析模型是可靠的，提供的分析结果是有效的。

//4.3.3 黄公望村声学仿真模型的校核

按现场勘查情况，黄公望村声学仿真模型中定义的材料属性如下表：

表3.1 声学模型选用材料属性

|  |  |
| --- | --- |
|  | Raynoise中所选材料 |
| 围墙、地面 | Concrete Painted |
| 房屋、住宅 | Concrete |
| 草地 | Grass |
| 马路 | Pitch |

表3.2 材料倍频程中心频率对应的吸声系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 63Hz | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1KHz | 2KHz | 4KHz | 8KHz |
| Concrete | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0 |
| Grass | 0.23 | 0.34 | 0.55 | 0.6 | 0.42 | 0.55 | 0.56 | 0.5 |
| Concrete Painted | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0 |
| Pitch | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.31 | 0.31 |

1. 富水乡村声环境规划与控制策略

通过前面两章对富水乡村声环境的实地调研与模拟分析，在掌握了富水乡村声环境基本特征的情况下，本章对富水乡村声环境的规划和控制方法进行了探讨。规划和控制方法的探讨主要分为两个部分：首先是对富水乡村声环境可行的规划和控制措施的探讨。乡村声环境的建设不仅与乡村规划层面上乡村的空间布局、道路设置有关，还与建筑层面上的建筑材质等有关。其次是对富水乡村声环境的声景设计方面的研究，通过引入富水乡村的水声景观、绿化等能够降低噪声烦恼度、增加居民对噪声好感度的声音元素，营造舒适多元的富水乡村声景观。

* 1. 乡村声环境规划控制策略

乡村村民居住区域内声环境的设计首先以声环境中噪声的降噪为基础。相关研究表明，目前我国城市中环境噪声主要为交通噪声和社会生活噪声，其中交通噪声所占比重已达60%以上，乡村中的交通噪声比例也逐年升高[李本纲, 陶澍. 城市道路交通噪声预测理论-统计模型[J]. 环境科学. 2000,21(6):1-5]。居住区域是乡村居民活动的最主要场所，由于本文研究的具有代表性的长三角富水乡村附近有交通干道，因此交通噪声对居民的生活不可避免会产生影响。降低和控制乡村干道上的交通噪声的影响是改善乡村声环境的前提。

降低乡村中噪声污染，改善优化富水乡村声环境，首先要从宏观方面的乡村居住区规划入手，对乡村建筑布局主要是居民居住区进行合理的选址和布局。在进行乡村规划时，考虑合理的功能分区，确定居住区域、交通干道等用地的相对位置的重要依据之一，就是防止噪声和振动的污染[柳孝图. 建筑物理[M]. 中国建筑工业出版社, 2000.311]。由涧东村的村庄分布可知，其存在着居住区、交通干道和商业游览路线的混杂。因此在乡村规划的过程中，必须根据噪声源的分布情况，调整噪声敏感地区的位置，必须加强乡村整体布局进行优化设计及采用合理的降噪措施。

根据声环境的质量与降噪经济成本等多方面协调考虑，应该在规划设计阶段考虑声环境的建设问题，有效的利用软件模拟的优势，在未进行施工的情况下探讨各种降噪措施的有效性，并把降噪效果以数值模拟的形式表现出来。如果在施工结束后用传统的方法进行降噪效果的测量，一方面对于噪声控制的效果难以准确的预判，另一方面增大了工程预算，如果效果不佳，经济成本更大。因此，需要研究探讨可行的、合理的、有效的富水乡村噪声污染控制方法。

* + 1. 动静分区

在典型的富水乡村中，核心区域大部分是村民居住区。乡村中居住区和公共区域一般均没有明确的界限，大多都是居住区和公共区域混合在一起，布局比较混乱，各个区域相互干扰。因此，在乡村规划的时候，应该根据乡村中各功能区进行动静分离，将村庄中公共活动区域和村民居住区分隔开来，村民居住区应该布置在安静的区域。提倡牺牲少数保护多数、牺牲动区房间保护静区房间的设计原则。任何一个区域住宅建筑设计都不可能面面俱到，在村庄动静区域规划中，为了大多数村民的利益，局部区域的某些房屋住宅会受到一定程度的噪声污染，但是大部分村民会有良好的声环境。

* + 1. 用地选址

村中居住区用地选址时，应该充分考虑到规划区域周边声环境，尽量原理村中主要道路以及高速公路等主要噪声污染源。同时，应该针对不同的道路等级和不同的区域设置不同的噪声上限标准，从宏观层面上控制噪声对村中居民居住区的干扰。在村庄前期规划时期就要注意道路与村庄的关系，尽量避免道路从村庄中间穿过。如果交通干道距离建筑用地太近，或者用地四围都被交通干道围绕，势必造成区域声环境先天性的欠缺，会对整体的规划和整个村庄的建设带来难以控制的噪声问题。如涧东村内就有梅花大道穿村而过，对马路两旁的区域声环境造成很大的影响。

* + 1. 村民居住区空间布局

进行富水乡村居住区空间布局时，对于村庄附近有流量较大的道路的村庄，例如涧东村和黄公望村等，应该在沿道路两旁布置对交通噪声不敏感的功能建筑，如村中公共建筑和商业店铺，与此同时将对噪声敏感的居住区布置在沿街公共建筑之后，利用外围的公共建筑作为声屏障，对交通噪声起到一定的遮挡作用。（此处应该放第四章的模拟结果并分析外围建筑对交通噪声的遮挡）。

* + 1. 合理的道路交通规划

对于村中整体声环境，除了在道路两旁布置公共建筑等，还应该尽量避免车流量的交通干道横穿村庄内部，降低交通干道上的交通噪声对村中声环境的影响。因此，在进行交通道路设计的阶段就应该将道路布置在村中居住区的外围，交通干道原理居住区域，合理规划交通干道的位置，减少直接从居住区通行的车流量，从而降低交通噪声污染。对于紧邻主干道的村中居住区域，应该在道路和居住区之间加设隔声屏障，如绿化带、行道树等，沿路可分布商业建筑、农家乐和村中公共活动区域，起到屏蔽道路噪声的作用。同时限制村庄中居住区附近的道路的车速，降低噪声干扰。

* + 1. 采用恰当的降噪措施

总体上说来，噪声治理一般是一方面降低噪声源声压级，另一方面在噪声源和噪声接收点之间加入降噪措施，以此降低接收点附近的声压级。对于富水乡村的噪声治理，一方面要在乡村设计布局阶段避开显著的噪声源，尽可能消除噪声对乡村的干扰；另一方面，在不可避免的情况下，采取一定的降噪措施，尽可能降低噪声源的声压级或者阻断噪声的传播路径来降低噪声影响。

声屏障就是在噪声的传播途径上插入障碍物，即在声源和接收点之间放入屏障，阻碍声波的传播，达到降低接收点声压级的功能。声屏障的材料多种多样，有金属、玻璃、复合材料等多种材料构成。声屏障的外形有直壁式、圆弧式、倾斜式、尖劈式等。一般来说，在乡村附近的国道、省道、高速公路等沿线均需设置声屏障，声屏障的有效降噪高度一般为3~5m，有效的降噪量在5~10dB左右，不同形式或不同高度的声屏障在降噪量上略有不同。

对于富水乡村等区域，以涧东村为例，对于村庄内部穿村而过的道路，如果在道路两旁设置声屏障，就会影响居民日常的生活。因此对于乡村居住区来说，可以利用村民住宅自带的院落围墙等作为声屏障，通过适宜的院墙高度和合适的院墙材料等，在道路和村民居住的室内之间形成一个声屏障，降低交通噪声的影响。也可以利用公共建筑，形成实体声屏障。村庄内的公共建筑诸如商店和农家乐等尽量沿路旁布置，一方面方便游客进行购物、消费等活动，另一方面作为实墙体的隔声屏障可以为内部住宅区域有效减小噪声污染，对于涧东村内的主要游览路线两旁应该尽量布置农家乐等不需要很安静的公共建筑。

* 1. 水环境对声环境的影响

对于富水乡村来说，其丰富的水环境是村中声环境建设不可忽视的一部分。涧东村在美丽乡村建设期间，除了对村庄内建筑物进行修缮之外，还进行了村庄内的河道改造工程。涧东村在进行河道改造之前，村庄内仅仅有几个池塘，池塘之间并不联通。河道改造工程之后，村中几个池塘之间都被打通，形成大面积的水系。水环境对声环境的影响不仅仅体现在水面面积对声音传播途径的影响上，更主要是体现在水边生态环境对声环境的影响。

涧东村村中原来只有几个互不相连的池塘，如图x所示。在后期美丽乡村的建设过程中，为了提升村庄整体的景观，涧东村将村中的几个池塘全部打通，并结合村庄河塘开发农家乐、钓鱼等旅游项目，并结合滨水环境设置岸边绿带，丰富了整个村庄的环境，将池塘及岸边绿带打造成村中主要的游览路线。



图 水系改造前的涧东村



图 水系改造后的涧东村

通过涧东村的现场调研了解到，在进行水系改造的过程中，在河道的两岸护坡也进行了诸如绿化、生态护坡方面的改造。河道两岸的大面积绿化、生态护坡等因素都会对村庄整体声环境产生影响。

在涧东村河道护坡改造中在河道两岸应用了生态袋护坡。生态袋护坡是将装满植物生长基质的生态袋，沿河道边坡表面层层堆叠，在边坡表面形成一层适宜植物生长的环境，同时利用专门的连接配件将袋与袋之间，层与层之间，生态袋与边坡之间紧密连接，起到护坡的作用。同时，随着其上植物的生长，进一步将边坡固定，然后在堆叠好的袋面上采用绿化手段播种或栽种植物，达到恢复植被的目的。

应用生态袋护坡具有以下几个优点：

1. 生态袋耐腐蚀，适用寿命长。生态袋原材料是一种无纺织的土工布料，它是由聚丙烯人造纤维针刺成网的高强度平面稳定材料，具有耐腐蚀性强、耐微生物分解、抗紫外线、透水性强、易于植被生长等特点。
2. 施工简单、方便快捷，对地基要求低。
3. 生态环保。选用植物多样化，有利于生态系统的快速恢复，有利于将边坡环境迅速还原成自然状态，与周围环境完美融合。
4. 结构面通过植物的发达根系与边坡结合成一个同质整体，人工边坡与自然边坡之间不会产生分离、坍塌现象，且随着时间的延续，植物根系日趋强壮，同边坡会形成一个有机整体。

除了河道两岸应用生态护坡外，实地踏勘中发现，涧东村在河道改造的过程中在河道两岸种植了大量绿化林带。对于富水乡村来说，通过绿化带来降噪是一件一举多得的好办法，绿化林带不仅可以起到降噪功能，还能净化空气、美化乡村环境、调节乡村微气候。根据相关研究，10m宽的绿化林带可以降低4~5dB的交通噪声[桂青,郑磊夫. 大型居住社区交通噪声污染影响分析与预防措施研究[J]. 绿色科技, 2012(05): 161-163]。不同宽度的绿化带降噪量如图所示。此外，绿化带中不同的植被种类对于绿化带的降噪能力也不相同。相关研究显示[张树龄,城市环境噪声对居住区声环境的影响及优化方法研究[D]. 吉林大学硕士论文, 2011, 12.]，同样10m宽的绿化带对1000Hz噪声的衰减量为：松树3dB、杉树2.8dB、槐树3.5dB、草地0.7dB（0.3m）。水系改造中，在两岸上种植的大量林带会对河道周边声环境产生积极的影响。

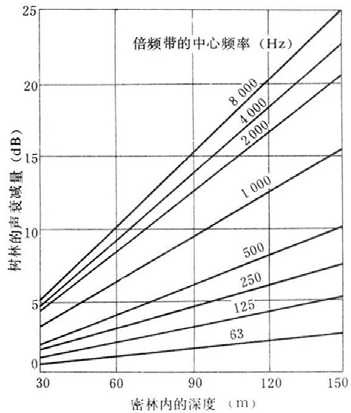


图 不同宽度林带降噪量

* + 1. 水系改造前后的声学仿真模拟



图 涧东村水系改造前声学模型



图 涧东村水系改造前三维模型

在上文已经校验过RAYNOISE声学仿真模型准确性的情况下，根据涧东村实测声环境数据建立好涧东村水系改造前后的三维声学仿真模型，在模型中布置了与实际测量点位坐标一致的噪声接受点。经过RAYNOISE声学仿真模型计算分析，将涧东村水系改造前后对涧东村声环境的影响以数据的方式进行对比。水系改造前后的声学仿真模拟图如下所示：



图 涧东村水系改造前声环境模拟图



图 涧东村水系改造后声环境模拟图

图x和图x分别为涧东村水系改造前后，在交通噪声和村中游览噪声、社会生活噪声共同作用下的声环境质量模拟图，其中接受面相对地面1.2m高度，计算网格为20mx20m。图中声场由红色区域向蓝色区域衰减，逐渐由声源向村庄内部和村庄南部离声源较远的地方衰减。由于将主要游览路线根据实际测量声压级设置为线声源，所以游览路线沿线也出现了噪声较大的红色区域。因为在实际测量中，所有的实测参考点都是在相对地面1.2m的高度上进行噪声监测的，所以在软件模拟中，将所有的接受点也设置1.2m的计算高度进行计算。

* + - 1. 村庄内接受点预测结果对比

在RAYNOISE声学模拟软件模型中设置了与实测位置相同的接受点进行模拟预测，因为测量时涧东村水系改造工作已经完成，无法进行实地测量，所以通过RAYNOISE声学模拟软件对涧东村水系改造前后的预测结果进行对比，软件中接受点的位置均设置为1.2m的高度。RAYNOISE对水系改造前后模拟结果如下列表格所示：

表X 水系改造前各测点模拟结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | LAeq |
| 1 | 26.6 | 59.7 | 58.8 | 65.6 | 59.7 | 71.3 | 70.1 | 64.6 | 64.7 |
| 2 | 31.8 | 39.3 | 44.9 | 56.6 | 55.6 | 53.7 | 47.5 | 54.8 | 54.8 |
| 3 | 22.3 | 37.4 | 39.4 | 47.6 | 42.7 | 42.6 | 42.8 | 38.6 | 40.2 |
| 4 | 23.1 | 26.4 | 43.5 | 44.6 | 41.3 | 50.9 | 39.7 | 48.1 | 48.3 |
| 5 | 40.1 | 36.7 | 48.6 | 45.2 | 41.7 | 41.1 | 41.1 | 34.1 | 38.1 |
| 6 | 35 | 34.9 | 34.7 | 31.2 | 31.6 | 34.4 | 34.6 | 34.3 | 38.6 |
| 7 | 32.8 | 32.2 | 31.8 | 30.4 | 30.2 | 29.9 | 29.6 | 32.1. | 38.4 |
| 8 | 31 | 31 | 44.3 | 47 | 45.6 | 43.6 | 42.9 | 42.7 | 42 |
| 9 | 23.3 | 36.3 | 51.8 | 48.9 | 48.5 | 49.4 | 48.5 | 48.1 | 46.1 |
| 10 | 62.7 | 46.8 | 54.4 | 58.9 | 62 | 63.5 | 62.2 | 62.4 | 59.2 |
| 11 | 46 | 53.6 | 52.3 | 47.1 | 48.4 | 48.1 | 43.5 | 48.2 | 46 |
| 12 | 40.7 | 48.5 | 57.8 | 60.9 | 62.9 | 65.7 | 63.9 | 64.2 | 61.2 |
| 13 | 51.7 | 51.2 | 58 | 47.9 | 48.6 | 54.4 | 41.5 | 51 | 48.4 |
| 14 | 32.3 | 39 | 35.2 | 32.9 | 38 | 39 | 32.9 | 27.1 | 38.1 |
| 15 | 33.7 | 33.4 | 33 | 32.3 | 32.2 | 31.9 | 31.4 | 32.6 | 38.2 |
| 16 | 21.1 | 18.9 | 26.8 | 21.6 | 28 | 23.6 | 21.8 | 17.4 | 38 |
| 17 | 48 | 576 | 62.2 | 46.5 | 692 | 74.5 | 66.6 | 62.5 | 62.5 |
| 18 | 44 | 52.5 | 54.1 | 59.2 | 52.9 | 60.4 | 61.8 | 63.9 | 60.7 |

表X 水系改造后各测点模拟结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测点 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1K | 2K | 4K | 8K | LAeq |
| 1 | 54.3 | 75.2 | 67.9 | 70 | 61.4 | 69.7 | 70.1 | 67.6 | 64.6 |
| 2 | 57 | 53.9 | 53.5 | 61.7 | 56.5 | 54.1 | 50.4 | 57.7 | 54.7 |
| 3 | 48.1 | 55.2 | 47.4 | 49.8 | 35.6 | 43.8 | 37.4 | 31.4 | 38.5 |
| 4 | 36.2 | 41.8 | 49.6 | 38.9 | 44.3 | 40.5 | 37.1 | 29.7 | 38.3 |
| 5 | 36.4 | 29.7 | 48.1 | 44.9 | 40.7 | 40.6 | 40.7 | 24.7 | 35.2 |
| 6 | 33.6 | 33.5 | 25.3 | 29.8 | 33 | 33.2 | 34.5 | 32.9 | 36.2 |
| 7 | 32.2 | 31.7 | 32 | 29.6 | 29.3 | 28.8 | 28.1 | 30.8 | 35.8 |
| 8 | 44.9 | 45.9 | 45 | 45.8 | 45.7 | 42.1 | 42.6 | 41.2 | 39.9 |
| 9 | 45.4 | 48.5 | 47.2 | 53.5 | 44 | 42.1 | 45.8 | 43.9 | 41.9 |
| 10 | 54.7 | 43.8 | 53.4 | 43.7 | 39 | 47.9 | 42.6 | 38.9 | 38.5 |
| 11 | 50.7 | 52.4 | 44.8 | 53.2 | 55.8 | 42.6 | 47.4 | 44.5 | 42.4 |
| 12 | 49.2 | 50.4 | 57.5 | 52.8 | 54.5 | 55.4 | 53.8 | 51.9 | 49.0 |
| 13 | 496 | 43.9 | 48.3 | 39.4 | 41.3 | 50 | 50.1 | 48.5 | 46.0 |
| 14 | 31.9 | 31 | 29.7 | 26.8 | 26.2 | 25.3 | 24.3 | 27.2 | 35.3 |
| 15 | 39.9 | 37.3 | 34.9 | 42.9 | 37.1 | 39.2 | 36 | 34.2 | 36.5 |
| 16 | 21.1 | 18.9 | 26.8 | 21.6 | 28 | 23.6 | 21.8 | 17.4 | 35 |
| 17 | 48.3 | 55.9 | 63 | 46.4 | 68.8 | 73.5 | 65.5 | 61.9 | 61.9 |
| 18 | 44.1 | 55.2 | 56.6 | 55.5 | 56.7 | 59.8 | 61.8 | 63.6 | 60.7 |

表x 水系改造前后模拟结果对比

对于涧东村水系改造前后声环境的模拟都是在村中主要声源为梅花大道上的交通噪声和主要游览路线上的游览噪声的情况下进行预测分析。从两次模拟分析的结果上来看，对于测点1、测点2、测点17和测点18，由于其距离交通声源非常近，主要受到交通噪声的影响，所以两次模拟之间的结果非常接近。对于测点3至测点11，可以看出随着测点距离交通噪声源的距离越来越远，距离水系越来越近，受到水系周边环境的影响，水系改造前后水系周围环境不同的声学边界条件导致两次模拟之间的结果非常显著。测点4在水系改造前后的预测值差值为10dB，测点5、测点6和测点7水系改造前后模拟差异也接近3dB。以上结果表明，水系改造过后的水塘周边大规模的绿地、植被等植物群落形成了不同的声学边界，对声音有着明显的衰减作用，能够在一定程度上改善水塘周边的声环境。

* + 1. 游览路线改变前后对声环境的影响

1. 基于声景优化的途径与措施

噪声控制的方法是通过降低声压级来客观地改善声环境，而声景观设计是从听着的角度来处理声景观的问题，偏向于听者的主观感受。根据Hildegard Westerkamp的研究，声景设计是为了实现听者与声音形成以及感觉与表现的平衡[Westerkamp, H. Listening and soundmaking: A study of music-as-environment. In D. Lander & M. Lexier(eds). Sound by Artisis. Banff, Alberta: Art Metropole & Walter Phillips Gallery: 1990]。由于是以听者为中心，所以与传统的噪声控制方法为主的声环境设计方法相比，声景设计更依赖于听者的主观感觉。声景设计的标准具体表述为Schafer所谓的“高保真”、平衡的声景，这样的声景能够对周边的声环境起到积极的促进作用。

相关研究表明，社会生活环境中声压级的高低直接影响到生活在其中人们的生活质量和工作效率【3柳孝图. 建筑物理[M]. 北京： 中国建筑工业出版社, 2000， 274-276】。但是，人们对声音的感觉舒适度与声压级的降低并不是呈线性关系的【7De Ruiter. Noise Control in the compact city[C]. Processing of the 7th Interational Congress on Sound and Vibration, 2421-2426.2000】；在相关研究中也表明，在声音响度和愉快度的关系中，对于具有较高响度的噪声，响度越高，愉悦度越低，然而对于中等响度的噪声，响度和愉悦度之间没有显著相关【8Zwicker, E. & Fastl, H. Psychoacoustics: facts and models, 2nd ed. Berlin: Springer, 1999】。人们渴望安静的生活环境，但是这种安静不是绝对的安静。从心理学的角度上来看，寂静的环境可能会带给人们焦虑的感觉，绝对的寂静是对人们听觉的剥夺，而声景观的设计就是在声环境中主动添加一些满足人们日常生活中需要的声音。仅仅降低声压级并非总能改善声舒适度，原因就是一味降低声压级导致背景声压级过低，原来受到声掩蔽的居民活动声音就会凸显出来，将居民个人生活的更多隐私暴露出去，引起居民生活的不舒适感。

在富水乡村的声环境控制中，以乡村噪声的声音能量的衰减和声压级的降低为主要目标，在声景观的设计中，是以听者为中心，主要考虑到听者的感觉，这两个方向一个偏向客观，一个偏于主观，都有它们各自的优势，因而如果将噪声控制和声景观设计结合在一起来研究、改善乡村声环境，对乡村声环境的规划与控制将大有裨益。

因此，富水乡村声环境的规划与控制也可以从村庄声景观的构建来进行。乡村声环境不仅仅涵盖乡村中各种各样的声音元素，也包含乡村中各式各样的声景观。声景观主要研究的是乡村中声音的整体，其中也包括了对噪声的研究。声景观作为一个整体，既包含好的、能产生积极影响的声音，即有正面影响的、能让人感受到愉悦的声音，也包含着不好的、对人体健康产生不良影响的声音，如交通噪声等。声景观相关概念的提出者Schafer认为：在当今充满噪声的现代社会，缺乏的是声景观的平衡。从这个观点出发，可以认为噪声是一种处在失衡状态的声景观，并不是完全的不好的声音。所以，基于声景观的优化主要是从两个方面来展开的：

1. 通消除负面的声景观元素

对声环境中与环境不协调的、不必要的和乡村居民不想听到的声音进行控制、降低和消除，在引入居民喜欢的声音元素，构建新的声环境之前，必须消除整个环境中的负面元素；

1. 积极的声景元素的创造

乡村声景观的设计考虑的主要是乡村居民和乡村声环境之间的关系，所以在乡村声景观的设计中，要对声音元素的组成的整体声环境与环境的其他要素进行协调，达到视觉、听觉等方面的协调，以此改善整体环境。

乡村声景观的设计不同于城市声景观设计，乡村居民习惯生活在安静、舒适的声环境中，所以不宜采用电声技术等来创造背景声，因此对声景观的设计应该以乡村中丰富的自然资源为主，代入到声景观的设计当中去。自然界中的声音如鸟鸣、虫鸣等具有明显时间特点以及季节变化的的特点，同时随着各种环境因素的变化而变化，声景元素丰富但是不稳定，属于动态变化的声景元素，因此要使得声音与环境协调，就必须了解自然声环境的变化特点以及影响因素。

* 1. 乡村声景观调查

人们所处的环境中存在着各种各样的声音元素，如自然声、人工声、交通声和社会生活声等等声元素。对于一个地区声景观的设计，在声景观设计的初期必须进行全面的声景观调查，掌握该区域当今声景观现状，全面了解和把握该区域的声景观元素的构成和特点。对于人们喜欢的声音要加以发扬，对于容易引起人们烦恼的声音要进行削弱。相关研究表明，引入令人愉悦的声音能够提高声舒适度，即便是在相对吵闹的声环境中，让人愉悦的声音可以掩蔽声压级较高的背景噪声，从而在一定程度上提高人们的主观声舒适【Yang W, Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces[J]. Applied Acoustics. 2005: 21-229】。因此，在对富水乡村进行声景设计之前，就必须对富水乡村的声景观有全面的了解。

在对涧东村和黄公望村进行声环境测量的同时，对两个村庄的声景观现状进行了记录，基本掌握了两个富水乡村的声景实际情况。现场实际测量表明（图表），涧东村主要的声元素有鸟叫声、蝉鸣声、风吹树叶声、动物叫声等，黄公望村主要的声元素有鸟叫声、蝉鸣声、流水声、风吹树叶声、小动物叫声，晚上还有虫鸣声等等。相关研究表明，在声舒适度的层面上，人们最喜欢听鸟鸣声，感觉鸟鸣声悦耳动听，其次喜欢音乐声，对流水声、风吹树叶声、动物叫声等也是感觉舒适的。因此，在富水乡村声景设计时应该增加令人们感觉舒适的声音。另外，由于富水乡村中缺乏休闲活动设施，且绿化等林木种植没有规律，比较杂乱，可以通过休闲设施的布置和绿化配置等手段引入人工声和自然声，丰富富水乡村的声景观。

经过对长三角多个富水乡村的对比，选择了浙江省杭州市黄公望村作为声景观研究的研究对象。经过对比分析，黄公望村作为声景研究对象，具有以下优势：

1. 声景观相关的自然资源丰富，作为以旅游业为主要项目的乡村，黄公望村具有得天独厚的自然资源；
2. 声源种类众多，存在着自然界和人工声音两个来源，声源种类丰富，有鸟叫声、蝉鸣声、流水声等自然声，也有汽车声、交通声、电器声等人工声，有利于对比研究；
3. 具有代表性和前瞻性，整个村庄景观良好，各项规划与设计都具有前瞻性，能代表未来乡村的建设和发展模式，可以看作未来乡村发展的典型。

在对黄公望村进行噪声测量的同时，我们对黄公望村进行声景观调查，详细了解了黄公望村声音的种类和属性。调查结果如下表所示。

表 黄公望村主要声音种类和属性

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 内容 | 区域 | 时间 |
| 1 | 交通噪声 |  | 靠近江滨东大道 | 早上、中午、晚上 |
| 2 | 施工噪声 |  | 村中居住区 | 施工期内 |
| 3 | 电器噪声 | 空调外机声 | 村中居住区 | 晚上 |
| 4 | 喧哗声 | 运动喧哗声 | 村中居住区 | 早上、中午 |
| 5 | 流水声 | 村中沟渠流水声 | 村中沟渠附近 | 早上、中午、晚上 |
| 6 | 鸟声 |  | 整个村庄 | 早上、中午 |
| 7 | 蝉鸣声 |  | 整个村庄 | 早上、中午 |
| 8 | 人交流声 |  | 村中居住区 | 早上、中午 |

* 1. 乡村水声景的营造

水是富水乡村中丰富的资源之一，也是乡村环境景观设计中的一个非常重要的自然设计因素。相关研究表明【论文】，人们对于流水的声音感觉很好，流水声是人们最希望听到的声音之一。因此，利用富水乡村丰富的水资源，在富水乡村中引入水景，对于整个乡村声环境的构建有着非常重要的作用。

乡村水声景的营造，不仅要注重水声景的视觉上的美感，更重要的是它所带来的听觉上的感受，由水声景给人们带来听觉上的舒适感。水声景观的设计要考虑到不同的水体形态产生的不同效果，以此选择合适的水声。乡村水景观可以分为自然水声景观和人工水声景观，自然水声景观有溪流、沟渠等，人工水声景观有水池、跌水、喷泉等，其中溪流、跌水、喷泉等水声景观属于动态的水体，在流动或喷洒的过程中会发出水流的声音，如哗哗声、滴答声、叮咚声等，在吸引人们注意力的同时，提高人们的听觉舒适感。水池等属于静态水体，偶尔的风吹水波的声音能够让人们感觉到心理上的宁静舒适。

水声景观用于乡村声景观的设计中，能够起到掩蔽噪声的作用，尤其对于以旅游业为主的涧东村中，由于草莓种植业带来大量的游客，对于游客等产生的嘈杂声可以用水声来掩蔽，利用流水声来减少外界噪声干扰，形成一个相对宁静的氛围，能够安抚人们的情绪。流水是能抽产生声响的水体，它是呗限制在有坡度的渠道中的、由于重力作用产生的自然流动的水。对于拥有丰富水资源的富水乡村，可以利用地形的高差，引入流水加入声景设计中。富水乡村实地踏勘中发现，黄公望村中有一个池塘，该村利用池塘中的水开拓了一条贯穿半个村庄的小溪流，潺潺的水声丰富整个村庄的声景。瀑布也是一种能够产生水声的声景观，瀑布是由于流动途径中的地势高低差产生的。喷泉也是水声声景观设计之一，其是利用压力使得水字喷嘴喷向天空，到一定高度后落到水面产生水生。这些水体设计均可以根据其各自的特点，结合景观设计加入到乡村声景的设计当中去。在水声景观的设计当中，对于静态的水景观如水池等，主要以视觉感受为主，而动态水景观如喷泉、流水等则应兼顾视觉和听觉的感受。

在涧东村的测量发现，村中有水处理设施，对于预处理过后的水可以采用跌水充氧的方式，一方面能够有利于水体充分接触氧气，为下一步的污水治理提供良好条件；另一方面，跌水设施产生的水流哗哗声也可以作为水声景的一部分，提高整体村庄环境的声舒适度。

（水声景图）



* 1. 乡村动植物声景的营造

绿色空间对于人和自然的生态平衡有着非常重要的作用。绿化林带能够起到净化空气、消除污染、吸滞粉尘，同时能够调节空气湿度，改善小气候，具有明显的生态效益。因此，生活在一个绿化良好的环境中，对居民的身心健康有着积极的作用。绿化对于声景的改善主要体现在三个方面：第一是乡村绿化形成绿树成荫、繁花似锦的绿色景观，能从视觉上给人以抚慰，从而在心理上降低周围环境的喧闹感；第二是由于树叶等对声波传播过程中起到一定的阻碍作用，衰减和吸收通过绿化带的声波；第三是绿色植物能够吸引诸如蝉、鸟之类的小动物栖息其中，丰富了动植物声景元素。

在富水乡村中，植物资源非常丰富。植物不仅能够作为天然的隔声屏障，根据相关研究，超过10m宽的绿化林带能够降低噪声达4-5dB左右【桂青,郑磊夫. 大型居住社区交通噪声污染影响分析与预防措施研究[J]. 绿色科技, 2012(05): 161-163】，其还可以掩蔽声音，起到降低噪声、转移听者的注意力、削弱对噪声的敏感度的功能。不同植被覆盖的绿化带对噪声的衰减能力也不相同，绿化带的吸声降噪性能与林带中植被种类、树种的混合搭配、林带的宽度、高度以及种植密度等有关，也受到季节和气候变化等因素的影响[28-29]。

林带等植物之所以能够起到降噪的功能，主要的原因是因为当声波传播到林带时，部分声能被反射，部分声能被吸收，其具体方式主要有三条途径：(1)当声波入射到树叶和树干表面时，一部分在低频范围内的声能被树叶和树干产生的共振吸收，一部分高频声能被树干反射；(2)由于地面或草皮的反射和吸声引起的声衰减；(3)由于树林形成的垂直温度梯度引起的声衍射。相关研究表明【柳孝图。城市物理环境与可持续发展[M].南京:东南大学出版社.1999.178-180】，在传播到林带中的声能中，反射、透射、吸收等各个部分所占的比例，和声波入射到树叶上的初始角度和树叶的密度有关。对树本不同部分的枝叶对声音产生的共振吸收研究表明，共振频率与树木生长的高度有关。针对绿化带降噪的特点，在靠近公路等噪声源的地方要留有足够宽度的绿化，合理的配置乔木、灌木、草地等形成的绿化带，空间上垂直分布，高矮搭配，乔木最好有浓密的枝叶，这样的绿化带降噪效果非常可观。

富水乡村区域内的绿化形式有绿岛、块状绿地、带状绿地等形式，从位置上可以分为道路绿地、宅旁绿地等。绿岛的形状主要有圆形、方形等各种组合体，它主要分布在宅间或路旁，如花坛、花池等，该类绿岛物理降噪效果不大，主要从心理上改善噪声对人的影响。块状绿地的降噪效果主要取决于绿地的面积和绿地的种植结构，其位置一般在宅前空地上，如村中宅前菜地、大面积草坪等，乡村中的宅间绿地一般植物结构比较单一，对噪声衰减的效果不大，但是对整个居住区而言，能够丰富居住区的绿化结构，增大绿化面积。带状绿地一般分布于乡村的水塘周围，如涧东村中的生态带，其丰富的植物结构能与周边的环境形成一个具有显著降噪效果的声学降噪带，能够有效的改善生态带周边的声环境。

在乡村居住区中，增大居住区的绿化率，改善绿化结构能够吸引鸟类和昆虫等各种小动物，从而丰富居住区的自然声音种类，改善乡村居住区的声景观。丰富的植被资源也各种小动物的栖息地，能够带来鸟叫、虫鸣等动物声音。“蝉噪林逾静，鸟鸣山更幽”、“今夜偏知春气暖，虫声新透绿窗纱”等古诗词则可以表现出自古以来鸟叫、虫鸣等自然声一直受到人们的喜爱。乡村对于鸟类、鸣虫的生存具有得天独厚的自然条件，在涧东村的晚上测量期间发现，道路两旁的绿化带中的虫鸣声非常清晰，在一定程度上能掩蔽道路交通噪声等背景噪声源。植物还可以借助风雨等自然因素也可以产生风吹树叶沙沙声，“雨打芭蕉叶带愁”等自然声景观。

* 1. 乡村室外设施声景营造

村庄作为人们居住生活的地方，人们的社会生活声也是村庄声环境不可或缺的一部分。邻里关系是乡村生活很重要的组成部分，人们习惯坐在门前或院子里聊天、活动。在村中公共区域设置休闲娱乐设施，既可以增添乡村生活的趣味性，满足乡村居民的休闲、娱乐、健身等各方面的需求，同时可以营造出丰富的人工声景，创建更为舒适健康的乡村居住环境。

乡村公共娱乐休闲设施应满足不同年龄段使用者的需求。少年儿童活泼好动，可以设置秋千、跷跷板等娱乐器械，营造娱乐欢快的气氛，活跃乡村声环境。年轻人爱好运动，可以设置单双杠等健身设施方便运动。对于老年人，可以设置棋牌桌等文娱设施满足老年人的兴趣爱好。同时，对于村中公共活动区域，也可以分时间段的放松一些音乐作为公共区域的背景声，提升活跃性。通过以上的各种方式，整个乡村的关于人的声音就活跃了起来，人工声和自然声融为一体，使得整个村庄的声环境更加和谐。

致谢

本人在原来的模板基础上，对部分细节加以改进。相对1.0版有所提高，但是所做的工作，还是1.0版的作者更多，在此向他表示感谢。

1.0版致谢如下：

本人在制作本模板的过程中，参考了《东南大学研究生学位论文的格式规定》，以及东南大学无线电工程系的杨久春师兄编写的《学位论文排版建议书》，在此表示感谢。

参考文献

1. 席欧.论我国乡村噪声污染现状与治理方向.噪声与振动控制. 2015(4)
2. Babisch W, Fromme H, Beyer A, Ising H. Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise: the role of stress hormones in noise research. Environ Int 2002;26:475–81
3. Thomas Munzel, Tommaso Gori. Cardivascular effects of environmental noise exposure. European Heart Journal(2014)35,829-836
4. 高菲 . 噪声对健康的影响. 生物学教学. 2007(2)
5. 吴婧. 噪声对人体健康影响分析. 环境与可持续发展. 2008(2)
6. Pyko A, Ericsson C, Oftedal B, et al. Exposure to traffic noise and markers of obesity . Occup Environ Med 2015;72:594-601
7. Selander J, Nilsson ME, Bluhm G, Rosenlund M, Lindqvist M, Nise G, et al. Longterm exposure to road traffic noise and myocardial infarction. Epidemiology 2009;20:272–9
8. Danielle Vienneau. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease : A meta-analysis. Environmental research 138(2015)372-380
9. Ohrstrom E, Skanberg A Sleep disturbances from road traffic and ventilation noise – laboratory and field experiments. J Sound Vib 2004;271:279–96
10. Thiessen GJ. Effect of traffic noise on the cyclical nature of sleep. J Acoust Soc Am 1988;84:1741–3.
11. 黄毅. 中国人口老龄化现状分析[M]. 中国老年学杂志: 2012(11)P32.
12. 姜秀清. 重视住宅小区的声环境设计. 住宅科技. 2003 (4). P20-22
13. EnvironmentaProtection.Http://www.environmentalprotection.org.uk/noise/environmentalnoise
14. European Commission Working Group Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise-annoyance, activity disturbances, and psycho-social well being.
15. 声环境质量标准(GB3096-2008).国家环境保护局.
16. 城市区域环境噪声标准.(GB3096-93). 国家环境保护局.
17. Chih-Fang Fang, Der-Lin Ling Investigation of the noise reduction provided by tree belts. Landscape and Urban Planning 63(2003) 187-195.
18. Greg Watts, Linda Chinn. The effects of vegetation on the perception of trace noise. Applied Acoustics 56(1999) 39-56.
19. Schafer R M. The tuning of the world[M]. New York: Knopf. 1977,173-175.
20. 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社. 2002:29.
21. 周新祥. 噪声控制及应用实例. 北京: 海洋出版社. 1990: 30.
22. 马大猷, 孙广荣. 噪声控制学. 北京: 科学出版社. 1987: 43.
23. 秦佑国, 王炳麟. 建筑声环境. 清华大学出版社. 1999: 129.
24. 环境影响评价技术导则-声环境(HJ/T2.4-1995). 国家环境保护局.
25. 声学环境噪声测量方法(GB/T3222-94). 国家环境保护局.
26. 城市区域环境噪声适用区划分技术规范(GB/T15190-94). 国家环境保护局.
27. 建筑施工场界噪声限值(GB12523-90). 国家环境保护局.
28. 建筑施工场界噪声测量方法(GB12524-90). 国家环境保护局.
29. Truax Barry. Handbook for Acoustic Ecology[M].Canada: ARC Publications，1978.68.
30. Schafer RM.The tuning of the world[M].New York: Knopf，1977.173- 175.
31. Kendall Wrightson. An Introduction to Acoustic Ecology[J]. Sound-scape，2000，1(1):10- 13.
32. Zwicker, E.Fastl, H.Psychoacoustics: facts and models. 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin Herdelberg New York, 1999.
33. BISTAFA S R, BRADLEY J S. Predicting reverberation times in a simulated classroom[J]. J Acoust Soc Am. 2000, 108(4): 1721-1731
34. BISTAFA S R, BRADLEY J S. Predicting speech metrics in a simulated classroom with varied sound absorption [J]. J Acoust Soc Am. 2001, 109(4): 1474-1482.

作者简介

张三（19xx—），男，汉族，江苏xx人，现为东南大学xx实验室硕士研究生，研究方向为xxxx。

* 攻读硕士学位期间发表的论文

1. 论文1（著录格式同参考文献，最好将自己的名字**加粗**）
2. 论文2

* 攻读硕士学位期间发表的专利

1. 专利1
2. 专利2