



同濟大學

TONGJI UNIVERSITY

硕士学位论文

城市供水管网系统的抗震拓扑
优化设计方法研究

(国家自然科学基金委青年科学基金资助项目 编号: 50808144)

姓名: 徐良

学号: 0720020081

所在院系: 土木工程学院建筑工程系

学科门类: 土木工程

学科专业: 结构工程

指导教师: 李杰

二〇一〇年六月



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

A dissertation submitted to

Tongji University in conformity with the requirements for
the degree of Master of Philosophy

**Research on Design Method for Seismic
Topology Optimization of Urban Water
Distribution Network System**

(Supported by the National Science Natural Foundation of China
for Young Scientists Fund, Grant No. 50808144)

Candidate: Xu Liang

Student Number: 0720010081

School/Department: Building Engineering

Discipline: Civil Engineering

Major: Structural Engineering

Supervisor: Professor Li Jie

June, 2010

学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供目录检索以及提供本学位论文全文或者部分的阅览服务；学校有权按有关规定向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以赢利为目的的前提下，学校可以适当复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签名：

年 月 日

同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：

年 月 日

城市供水管网系统的抗震拓扑优化设计方法研究

徐良

同济大学

摘要

生命线工程是维系现代城市功能与区域经济功能的基础性工程设施系统,它包括交通系统、城市供水、供燃气系统、电力系统等。随着城市的现代化发展,城市的生产、生活越来越依赖生命线工程系统。在强烈地震袭击下,生命线工程系统的破坏以及由此产生的次生灾害对城市生命财产危害严重。因此,对生命线工程进行抗震研究是地震工程研究领域的一个重要课题。

生命线工程系统的抗震性能和受强地震袭击后的运行功能,可以从系统可靠度的角度进行研究分析。从一般意义上考察,这一工作包括系统可靠度的分析和优化两部分,系统可靠度分析是系统优化的基础,系统优化是系统可靠度分析的最终目的。

在考虑埋地管线地震破坏特征的基础上,采用以管线接口变形为主要破坏模式的点式渗漏理论模型,同时以震后带渗漏供水管网的功能分析为基础,利用一次二阶矩方法来计算节点及系统的功能可靠度。对于供水管网系统而言,其抗震可靠度不仅取决于供水管线的抗震性能,而且很大程度上还取决于网络的拓扑结构。本文以管网年费用折算值为优化目标,管网拓扑结构与管段管径为优化参数,管网节点最低可靠度为约束条件,建立供水管网抗震优化设计模型,首次将微粒群算法应用到管网系统抗震优化问题中。结合供水管网系统的管线单元灵敏度分析,选择微粒群算法、遗传算法、蚁群算法、最大最小蚁群算法以及遗传-模拟退火混合算法,对典型供水管网进行了抗震优化设计,并对结果进行比较和分析。研究发现:遗传-模拟退火算法性能最好,采用这一方法对四川省绵竹市供水管网进行了优化设计。

既有的优化设计方法一般是在已有管网的基础上进行的,对于新建管网,这些方法尚需改进。本文首次将供水管网所在区域的道路信息引入管网优化设计中,提出了自动生成网络拓扑结构的方法,完成了生成供水管网拓扑结构方案的研究目标,使自动生成管网初始种群成为可能。将自动生成方法嵌入微粒群算法之中,提出了城市供水管网系统的智能化抗震设计方法,实现了对新建管网的优化设计。最后,利用此方法对四川省绵竹市供水管网进行了抗震优化设计。

一个优化的供水管网系统不仅要有较高的可靠度,而且应该具有较强的鲁棒性。鉴于此,本文首次提出了供水管网系统的鲁棒性概念,并在此基础上,对供水管网系统鲁棒性的分析方法进行了初步研究。针对研究过程中发现的问题,总结了下一步研究工作的内容。

关键词：抗震可靠度，管网拓扑结构与管段管径优化，灵敏度分析，自动生成，鲁棒性

Abstract

Lifeline systems including transportation systems, water and gas transmission networks, power supply systems and so on, are fundamental infrastructure systems to support modern cities' functions and maintain regional economic development. Also, the lifeline systems are essential for sustaining the life of community after a catastrophic event such as a destructive earthquake. Unfortunately, they are often frangible under seismic action, and second disaster thereof is quite severe. The seismic reliability of lifeline systems has become an important topic in earthquake engineering field.

The design of lifeline systems consists of seismic reliability analysis and optimization. Seismic reliability analysis of lifeline systems under earthquake load is the basic problem in the lifeline systems' design. Based on the failure characteristics of buried pipelines, a theoretical point-type leakage model is applied which takes the deformation of pipeline joints as the main damage mechanism to seismic reliability analysis. Based on the hydraulic analysis of leaked water distribution networks after earthquake, the reliability of nodes and systems are estimated by using the first-order second-moment method.

Seismic optimization is the ultimate objective of seismic reliability analysis. Taking network's annual reduced cost as optimization object and seismic reliability as optimization restriction, a network topology and pipe diameter optimization model is established firstly. Then, particle swarm optimization is applied to the seismic optimization problem of water distribution network successfully.

Combined with network elements sensitivity analysis, particle swarm optimization, genetic algorithms, ant colony algorithm, Max-Min ant colony algorithm, and simulated annealing genetic algorithm are used to solve the optimization problem of a typical water distribution network. Then, some results of comparison are presented. Finally, simulated annealing genetic algorithm which is the best one among all the algorithms is chosen to optimize Mianzhu city water distribution network.

The strategy of automatic network topology generation is proposed, which makes pipelines laid along roads. It makes the automatic generation of initial topology population possible and is the foundation of the intelligent design of lifeline network.

Based on the strategy of automatic network topology generation, particle swarm optimization is chosen to redesign Mianzhu city water distribution network.

An optimal water distribution network should not only have high reliability, but also good robustness. In the thesis, the notion of robustness in water distribution is first proposed, and preliminary study on analysis method for robustness is carried out. Finally, some suggestions for the future research are given according to problems found in the process of research.

Keywords: seismic reliability, network topology and pipe diameter optimization, sensitivity analysis, automatic network topology generation, robustness

目录

第一章 绪论	错误!未定义书签。
1.1 概述	错误!未定义书签。
1.2 城市供水管网系统抗震可靠性分析	错误!未定义书签。
1.3 城市供水管网系统抗震可靠性优化	错误!未定义书签。
1.4 管网系统自动生成策略	错误!未定义书签。
1.5 城市供水管网系统的鲁棒性分析	错误!未定义书签。
1.6 本文的工作	错误!未定义书签。
第二章 城市供水管网系统抗震可靠性分析	错误!未定义书签。
2.1 城市供水管网系统功能分析基础	错误!未定义书签。
2.2 地震后带渗漏管网的功能分析	错误!未定义书签。
2.3 供水管网抗震功能可靠度分析方法	错误!未定义书签。
2.4 本章小结	错误!未定义书签。
第三章 基于微粒群算法的城市供水管网系统抗震优化设计	错误!未定义书签。
3.1 城市供水管网优化模型的建立	错误!未定义书签。
3.2 微粒群算法	错误!未定义书签。
3.2.1 微粒群算法的起源	错误!未定义书签。
3.2.2 微粒群算法的发展	错误!未定义书签。
3.2.2 微粒群算法的优点与不足	错误!未定义书签。
3.2.3 微粒群算法的应用	错误!未定义书签。
3.2.4 微粒群算法基本原理	错误!未定义书签。
3.3 微粒群算法在供水管网抗震优化设计中的应用	错误!未定义书签。
3.3.1 算法解的构建	错误!未定义书签。
3.3.2 个体解的修补	错误!未定义书签。
3.3.3 个体解的适应值函数	错误!未定义书签。
3.3.4 算法参数设定及算法步骤	错误!未定义书签。
3.4 实例分析	错误!未定义书签。
3.5 本章小结	错误!未定义书签。
第四章 管网系统抗震优化中不同算法的比较研究	错误!未定义书签。
4.1 供水管网系统管线单元灵敏度分析	错误!未定义书签。
4.1.1 单元灵敏度分析方法	错误!未定义书签。

4.1.2 实例分析	错误!未定义书签。
4.2 遗传算法	错误!未定义书签。
4.2.1 遗传算法基本原理	错误!未定义书签。
4.2.2 遗传算法在管网优化设计中的应用	错误!未定义书签。
4.3 模拟退火算法	错误!未定义书签。
4.3.1 模拟退火算法基本原理	错误!未定义书签。
4.3.2 模拟退火算法在管网优化设计中的应用	错误!未定义书签。
4.4 遗传-模拟退火混合算法	错误!未定义书签。
4.5 蚁群算法及最大最小蚁群算法	错误!未定义书签。
4.5.1 蚁群算法基本原理	错误!未定义书签。
4.5.2 蚁群算法在管网优化设计中的应用	错误!未定义书签。
4.5.3 最大最小蚁群算法	错误!未定义书签。
4.6 改进的微粒群算法	错误!未定义书签。
4.7 几种组合优化算法特点分析	错误!未定义书签。
4.8 实例比较研究	错误!未定义书签。
4.9 绵竹市主干供水管网系统抗震可靠性分析与优化	错误!未定义书签。
4.9.1 绵竹市供水管网系统工程背景	错误!未定义书签。
4.9.2 绵竹市供水管网初步规划方案抗震可靠性分析	错误!未定义书签。
4.9.3 绵竹市供水管网初步规划方案抗震优化设计	错误!未定义书签。
第五章 城市供水管网系统的智能化抗震设计	错误!未定义书签。
5.1 管网拓扑结构分析的数学基础	错误!未定义书签。
5.1.1 图论的基本知识	错误!未定义书签。
5.1.2 图的连通性	错误!未定义书签。
5.1.3 深度优先搜索与广度优先搜索	错误!未定义书签。
5.1.4 最短路问题	错误!未定义书签。
5.2 生命线工程管网的自动生成策略	错误!未定义书签。
5.2.1 自动生成策略过程	错误!未定义书签。
5.2.2 自动生成策略的关键步骤	错误!未定义书签。
5.3 城市供水管网系统的智能化抗震设计	错误!未定义书签。
5.4 实例分析	错误!未定义书签。
5.5 绵竹市主干供水管网系统抗震设计	错误!未定义书签。
第六章 城市供水管网系统鲁棒性分析方法研究	错误!未定义书签。
6.1 城市供水管网系统鲁棒性分析方法	错误!未定义书签。
6.2 算例分析	错误!未定义书签。

6.2.1 算例 1.....	错误!未定义书签。
6.2.2 算例 2.....	错误!未定义书签。
6.3 供水管网系统鲁棒性分析方法讨论.....	错误!未定义书签。
第七章 结论与展望	错误!未定义书签。
7.1 研究结论.....	错误!未定义书签。
7.2 进一步研究工作建议.....	错误!未定义书签。
致谢	错误!未定义书签。
参考文献	错误!未定义书签。
附录 A 绵竹市供水管网优化分析结果	错误!未定义书签。
附录 B 绵竹市供水管网优化分析结果（智能化抗震设计） ..	错误!未定义书签。
个人简历、在读期间发表的学术论文与研究成果	错误!未定义书签。