



同濟大學

TONGJI UNIVERSITY

硕士学位论文

供水管线接口变形试验  
与抗震可靠度研究

(国家科技支撑计划课题 编号: 2011BAK02B04)

姓名: 傅俊

学号: 1020020040

所在院系: 建筑工程系

学科门类: 工学

学科专业: 结构工程

指导教师: 李杰 教授

刘威 副教授

二〇一三年六月





同濟大學  
TONGJI UNIVERSITY

A dissertation submitted to  
Tongji University in conformity with the requirements for  
the degree of Master of Science

**Displacement Experiment and Seismic Reliability**  
**Study of Water Supply Pipeline Joint**

(Projects in the National Science & Technology Pillar Program  
Grant No. 2011BAK02B04)

Candidate: Jun Fu  
Student Number: 1020020040  
School/Department: Department of Building  
Engineering  
Discipline: Engineering  
Major: Structural Engineering  
Supervisor: Prof. Jie Li  
Associate Prof. Wei Liu

June, 2013



## 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；学校有权保留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





## 摘要

城市供水管线作为生命线工程系统的重要组成部分,维系着现代城市的基本功能。大量震害经验表明,管线接口作为管线系统的薄弱环节,在地震中极易遭到破坏。因此,有必要研究供水管线接口的地震反应。本文从供水管线接口试验出发,探讨了管线接口的地震反应,并进行了供水管线接口可靠性的研究。

首先,针对球墨铸铁管 T 型接口,进行了埋土的三管段两接口变形试验,试验采用拟静力的类正弦加载方式,明确了管线接口不均匀变形的情况,分析了管土相对滑移的信息。之后,设计研发了智能防渗漏供水管线接口,在此基础上对该接口进行不埋土渗漏试验研究,验证了该接口的防渗漏性能,试验同时获得了供水管线的接口极限变形数据。

其次,根据应用共同变位法和反应位移法的中国、日本和美国管线抗震规范分别计算了典型埋地管线的地震反应,通过工程算例比较了三国规范的异同,对照试验结果进行了简要分析。

再次,研究了供水管线接口抗震可靠度计算方法,分别采用验算点法和随机模拟方法计算管线接口的抗震可靠度,对比了中国、日本和美国三国规范的管线接口变形可靠度,深入讨论了影响接口抗震可靠性的因素,在此基础上给出了基于可靠性的管线接口设计方法。

最后,关于进一步工作的方向进行了简要的讨论。

**关键词:** 埋地供水管线, 接口变形试验, 接口不均匀变形, 智能防渗漏供水管线接口, 地震反应, 规范对比, 抗震可靠性



## ABSTRACT

Being a fundamental component of lifeline engineering system, urban water supply pipeline sustains the basic function of a modern city. Many historical earthquake experiences indicate that, as weak links of pipeline system, pipeline joints can be easily destroyed in the earthquakes. Therefore, it is necessary to study the seismic response of water supply pipeline joints. In this paper, based on the water supply pipeline joint experiments, seismic response of pipeline joints is discussed, and seismic reliability of pipeline joints is studied.

Firstly, buried T-joint ductile iron pipelines with three segments, two joints are tested in the displacement experiment. The experiment has been done under quasi-static loading, using displacement loading similar to sinusoidal wave. The inhomogeneous displacement of multi-joints has been made clear, and the information of pipe-soil interaction has been analyzed. Then an intelligent anti-leakage water pipeline joint is designed. The function of the joint has been studied in the not-buried leakage experiment, the result of which proves the anti-leakage performance of the newly-designed joint. Also, ultimate displacement data is acquired in the experiment.

Secondly, based on equivalent static method and response displacement method, which has been applied in China, Japan and the United States pipeline seismic design codes, seismic response of typical buried pipeline has been calculated, and similarities and differences of these three codes are compared through engineering examples. A brief analysis of the experiments above has also been achieved.

Thirdly, the seismic reliability calculation methods of water supply pipeline joints are discussed. Both the JC method and the Monte-Carlo method have been applied separately in the joint seismic reliability calculation. The contrast of joint seismic reliability based on China, Japan and the United States pipeline seismic design codes are clarified. Seismic reliability factors of pipeline joint are further discussed, and the reliability-based pipeline joint design method is approached.

In the finality, the problems requiring further studies are discussed.

**Key Words:** buried water supply pipeline, joint displacement experiment, joint inhomogeneous displacement, intelligent anti-leakage water pipeline joint, seismic response, code comparison, seismic reliability

## 目录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 地震中供水管线的破坏情况 .....	2
1.3 供水管线试验研究 .....	3
1.3.1 管线接口性能试验研究 .....	3
1.3.2 管土相互作用试验研究 .....	7
1.4 埋地管线地震反应研究 .....	9
1.4.1 影响埋地管线震害的因素 .....	9
1.4.2 埋地管线地震反应简化算法 .....	10
1.4.3 埋地管线地震反应理论研究 .....	11
1.5 埋地管线抗震可靠性研究 .....	13
1.6 本文主要研究工作 .....	14
第 2 章 供水管线接口变形试验研究 .....	15
2.1 引言 .....	15
2.2 试验设计 .....	18
2.2.1 试验目的 .....	18
2.2.2 试验材料 .....	18
2.2.2.1 球墨铸铁管 .....	18
2.2.2.2 平承 .....	20
2.2.2.3 弹簧反力端 .....	21
2.2.2.4 压缩弹簧 .....	22
2.2.2.5 土箱 .....	23
2.2.2.6 粉质粘土 .....	24
2.2.2.7 测量仪器 .....	25
2.2.3 试验方案 .....	27
2.2.3.1 加载方案 .....	27
2.2.3.2 试验布置图 .....	28
2.3 试验现象与数据分析 .....	29
2.3.1 试验现象 .....	29
2.3.2 试验数据分析 .....	30
2.3.2.1 时程曲线 .....	30
2.3.2.2 输入位移和接口位移 .....	35
2.3.2.3 输入位移和管线滑移 .....	36

2.3.2.4 力和位移关系 .....	38
2.4 本章小节 .....	40
第 3 章 智能防渗漏供水管线接口试验研究 .....	41
3.1 引言 .....	41
3.2 智能防渗漏接口设计 .....	41
3.3 试验设计 .....	43
3.3.1 试验目的 .....	43
3.3.2 试验材料 .....	44
3.3.2.1 球墨铸铁管 .....	44
3.3.2.2 平承 .....	45
3.3.2.3 盲板 .....	45
3.3.2.4 反力架 .....	46
3.3.2.5 测量仪器 .....	46
3.3.3 试验方案 .....	47
3.3.3.1 加载方案 .....	47
3.3.3.2 量测方案 .....	47
3.3.4 试验工况 .....	48
3.4 试验现象与数据分析 .....	49
3.4.1 工况一与工况二 .....	49
3.4.1.1 试验现象 .....	49
3.4.1.2 试验数据分析 .....	51
3.4.2 工况三至工况六 .....	52
3.4.2.1 试验现象 .....	52
3.4.2.2 试验数据分析 .....	53
3.5 本章小结 .....	57
第 4 章 埋地管线地震反应分析 .....	59
4.1 引言 .....	59
4.2 埋地管线地震反应简化算法 .....	59
4.2.1 共同变位法 .....	59
4.2.2 反应位移法 .....	61
4.2.3 弹塑性修正法（王琴，2008） .....	65
4.3 规范法计算埋地管线接口变形 .....	67
4.3.1 中国规范 .....	67
4.3.2 日本规范 .....	69
4.3.3 美国规范 .....	71
4.3.4 中、日、美规范对比分析 .....	74

4.4 试验数据对比 .....	77
4.5 本章小结 .....	78
第 5 章 基于可靠性的管线接口设计 .....	79
5.1 引言 .....	79
5.2 管线接口抗震可靠度计算 .....	79
5.2.1 验算点法 (JC 法) .....	79
5.2.2 随机模拟方法 .....	83
5.3 影响管线接口抗震可靠性的因素 .....	87
5.3.1 接口变形限值 .....	87
5.3.2 位移传递系数 .....	88
5.3.3 管材弹性模量 .....	89
5.3.4 管线直径和管线壁厚 .....	90
5.3.5 管线埋深 .....	91
5.3.6 土体剪切波速和场地卓越周期 .....	92
5.4 基于可靠性的管线接口设计 .....	94
5.4.1 概率极限状态设计方法 .....	94
5.4.2 基于抗震可靠性的管线接口设计方法 .....	95
5.4.3 基于抗震可靠性的管线接口设计算例 .....	96
5.5 本章小结 .....	100
第 6 章 结论与展望 .....	101
6.1 主要研究工作及成果 .....	101
6.2 工作展望 .....	102
致谢 .....	103
参考文献 .....	104
附录 A 压缩弹簧标定 .....	109
附录 B 土力学实验数据记录与处理 .....	109
附录 C 智能防渗漏供水管线接口试验水压记录表 .....	111
附录 D 智能防渗漏供水管线接口试验渗漏量记录表 .....	112
个人简历、在读期间发表的学术论文与研究成果 .....	119