

校编码: 10384
学 号: 25320141151786

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

基于吊杆破断的中承式拱桥
抗连续性倒塌分析

Study on Resistance to Progressive Collapse of Half-through
Arch Bridge Based on Suspender Breaking

白珂冰

指导教师姓名: 高婧 副教授

专 业 名 称: 建筑与土木工程

论文提交日期: 2017 年 04 月

论文答辩时间: 2017 年 05 月

学位授予时间: 2017 年 06 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017 年 06 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

连续性倒塌是指结构局部构件的破坏导致相邻构件失效,从而引发更多构件破坏,最后导致结构的整体破坏或出现和初始破坏不成比例的大面积倒塌连锁反应。国内外对于房屋建筑结构的抗连续性倒塌已经有相应地规范和设计流程,但桥梁结构的连续倒塌研究较少。虽然房屋建筑关于抗连续性倒塌的成果为桥梁结构的抗连续倒塌分析提供了很好的借鉴,但不同结构的设计标准、结构物的可靠指标、荷载取值等方面的要求并不相同。本文结合中承式拱桥的结构特点,对其由于吊杆破断所引起的抗连续性倒塌机理进行分析,为桥梁抗连续性倒塌性能评估和相关设计规范提供参考。主要工作包括以下三个方面:

首先,通过对由于吊杆破断产生的中承式拱桥垮塌事故进行总结与分析,结合结构连续性倒塌的相关研究进展及各国关于抗连续性倒塌的相关规范条文,分析了本研究的必要性。同时,总结分析了各类中承式拱桥的结构及构造特点,选取了三座不同桥道系结构形式的中承式拱桥作为桥例进行进一步分析。

其次,建立了三座不同桥道系结构形式的中承式拱桥有限元模型,分析了吊杆发生破断对结构静力特性的影响。结果表明,桥面系为漂浮体系时,吊杆破断后,相邻段桥面会发生落梁,其余部分不会产生较大影响,发生连续倒塌的可能性低。为固结体系时,吊杆发生破断后,会对主梁的受力性能产生影响,会有发生连续性倒塌的可能性。在此基础上,将建筑结构中基于鲁棒性的重要性系数分析方法运用到中承式拱桥的抗连续性倒塌分析中,讨论了不同位置吊杆的重要性系数。跨中及1/4跨处吊杆的重要性系数较大,靠近拱脚处的吊杆重要性系数一般较小,当该处吊杆发生损伤或破断后,会导致桥面系的连续性倒塌。

最后,以天圆大桥为研究对象,通过对桥面作用偶然荷载,模拟拱桥吊杆破断后的结构各部件的时程响应,讨论完好状态及损伤状态下主梁及拱肋应力及位移的变化情况,并运用简化模型法计算了桥面系抗连续性倒塌安全系数。结果表明,天圆大桥抗连续性倒塌安全系数较大,由于桥梁由主梁及拱肋共同承载,具备了一定的“备用荷载路径”。

关键词: 中承式拱桥; 重要性系数; 抗连续性倒塌; 吊杆破断;

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

The progressive collapse refer to the failure of the local members of the structure leads to the failure of adjacent components. Finally, it can lead the large scale collapse of the disproportionate with the initial small-scale destruction. In domestic and abroad, the resistance to progressive collapse of the building structure has been a corresponding codes and design process. However, there are few studies on resistance to progressive collapse of bridge structures. On the other hand, it makes the bridge engineering and researchers consider in many ways. Building structures on the resistance to progressive collapse have made a lot of achievements. So it provides a good reference for the resistance to progressive collapse analysis of bridge structures. But the design standards of different structures, the reliability index, the load values and so on are not the same. In summary, this paper analyzes the progressive collapse of half-through arch bridge which is based on the characteristics of bridge structure. It provides a practical reference for evaluating the performance of resistance to progressive collapse of bridges and related design codes. The main work of this paper includes the following three aspects:

First of all, this paper summarizes and analyzes the collapse accident of the half-through arch bridge. Meanwhile, the relevant codes of the countries and advances in research on structural resistance to progressive collapse are elaborated. Also summarizes the progressive characteristics of bridge structures, especially arch bridges. Then the three representative arch bridges structure are chosen as the analysis objects.

Secondly, the finite element model of three arch bridges with different bridge structures is established. The influence of the breaking of the suspenders on the static characteristics of the structure is analyzed. The floating system of arch bridge occurs lowering of beam on the adjacent deck .This system has low possibility of progressive collapse .When the arch bridge is a consolidation system, it will affect the mechanical performance of the main beam .And there will be a possibility of progressive collapse.

Based on the above analysis, the method of the importance coefficient analysis based on the robustness of the building structure is applied to the analysis of the collapse resistance of the half-through arch bridge. The suspender in the mid-span and the 1/4 span position is all important, and there will be greater displacement response under the accidental load.

Finally, the half through arch bridge is chosen as the object. Then simulate the time history load of arch bridge suspender breaking response. The stress and displacement of the main beam and the arch rib under the non-damage condition and damage condition are discussed. And the simplified model method is used to calculate the safety factor of resistance to progressive collapse of the bridge deck system. The results show that the Tianyuan bridge has high progressive collapse safety coefficient. Because the load of bridge is loaded by the main beam and the arch rib.

Keywords: Half-through Arch Bridge; Importance Coefficient; Resistance of Progressive Collapse; Suspender Breaking.

目录

摘要.....	I
ABSTRACT	III
第一章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 结构抗连续性倒塌相关研究进展	3
1.2.1 数值模拟.....	3
1.2.2 试验研究.....	5
1.2.3 理论分析.....	6
1.3 本文主要研究工作.....	8
第二章 拱桥的结构形式及特点.....	10
2.1 概要.....	10
2.2 上承式拱桥.....	11
2.2.1 桥型特点.....	12
2.2.2 构造特点.....	15
2.3 中承式拱桥.....	16
2.3.1 桥型特点.....	16
2.3.2 构造特点.....	18
2.4 下承式拱桥.....	21
2.4.1 桥型特点.....	21
2.4.2 构造特点.....	23
2.5 本论文桥例工程介绍	24
2.5.1 天圆大桥.....	24
2.5.2 武平大桥.....	26
2.5.3 某公路跨线桥.....	27
2.6 本章小结	27
第三章 中承式拱桥连续倒塌评价指标评估.....	29
3.1 各国抗连续性倒塌规范条文比较	29
3.2 桥梁连续性倒塌特性	32
3.3 连续性倒塌分析方法	34
3.3.1 鲁棒性指标	34
3.3.2 重要性系数	38
3.3.3 重要性系数分析流程.....	40
3.4 有限元模型.....	43

3.4.1 天圆大桥有限元模型	43
3.4.2 武平大桥有限元模型	44
3.4.3 某公路跨线桥有限元模型	45
3.5 结果分析	46
3.5.1 静力特性分析	46
3.5.2 吊杆及拱肋受力规律分析	54
3.5.3 中承式拱桥结构吊杆重要性系数	60
3.6 本章小结	63
第四章 中承式拱桥抗连续倒塌性能分析	65
4.1 概要	65
4.2 抗连续性倒塌时程分析	65
4.2.1 时程函数比选	65
4.2.2 时程函数作用时间经验公式	67
4.3 结果分析	67
4.3.1 有限元模型参数	67
4.3.2 完好状态下时程响应位移分析	68
4.3.3 损伤状态下时程响应位移分析	74
4.3.4 拱顶应力分析	81
4.3.5 主梁应力分析	83
4.4 中承式拱桥固结体系抗连续性倒塌能力简化计算	84
4.4.1 基本参数及计算方法	84
4.4.2 结构等效计算方法	85
4.4.3 天圆大桥抗连续性倒塌安全系数计算实例	87
4.5 本章小结	89
第五章 结论与展望	91
5.1 本文主要结论	91
5.2 研究展望	92
参考文献	93
致谢	96

CONTENTS

ABSRTACT in Chinese I

ABSTRACT in English..... III

Chapter 1 Introduction 1

1.1 Statement of Problem 1

1.2 Advances in Research on Structural Progressive Collapse 3

 1.2.1 Numerical Simulation 3

 1.2.2 Experimental Research 5

 1.2.3 Theoretical Analysis 6

1.3 The Main Research Content 8

Chapter 2 The Structure and Characteristics of Arch Bridge 10

2.1 Introduction 10

2.2 Deck Arch Bridge 11

 2.2.1 Characteristics of the Bridge Type 12

 2.2.2 Characteristics of the Bridge Structure 15

2.3 Half-through Arch Bridge 16

 2.3.1 Characteristics of the Bridge Type 16

 2.3.2 Characteristics of the Bridge Structure 18

2.4 Through Arch Bridge 21

 2.4.1 Characteristics of the Bridge Type 21

 2.4.2 Characteristics of the Bridge Structure 23

2.5 Introduction of Bridge Case 24

 2.5.1 Tianyuan Bridge 24

 2.5.2 Wuping Bridge 26

 2.5.3 The Highway Overpass Bridge 27

2.6 Brief Summary 27

Chapter 3 Evaluation of the progressive collapse index of the Half-through Arch Bridge 29

3.1 Comparison of Progressive Collapse Code in Different Countries 29

3.2 Progressive Collapse Characteristics of Bridge..... 32

3.3 Progressive Collapse Analysis Method 34

 3.3.1 Robustness Inex 34

 3.3.2 Importance Coefficient 38

3.3.3 Importance Coefficient Analysis Process	40
3.4 Finite Element Model.....	43
3.4.1 Finite Element Model of Tianyuan Bridge.....	43
3.4.2 Finite Element Model of the Wuping Bridge.....	44
3.4.3 Finite Element Model of The Highway Overpass Bridge	45
3.5 Result analysis.....	46
3.5.1 Analysis of Static Mechanical Propertie	46
3.5.2 Verification and Analysis on the law of the Force of the Suspender and Arch Rib.....	54
3.5.3 The Importance Coefficient of the Structure of the Half-through and Through Arch Bridge	60
3.6 Brief Summary	63
 Chapter 4 Analysis of Progressive Collapse Resistance to Half-through Arch Bridge	 65
4.1 Introduction	65
4.2 Time History Analysis of Resisting Progressive Collapse.....	65
4.2.1 Comparison of Time Function	65
4.2.2 Empirical Formula of Positive Pressure Time	67
4.3 Result analysis.....	67
4.3.1 Finite Element Model Parameter.....	67
4.3.2 Displacement Analysis of Time History Response in Non-damage Condition	68
4.3.3 Displacement Analysis of Time History Response in Damage Condition	74
4.3.4 Stress Analysis of Arch Rib	81
4.3.5 Stress Analysis of Main Beam	83
4.4 Simplified Calculation of Resistance to Progressive Collapse of Bridge of Consolidation System	84
4.4.1 Basic Parameters and Calculation Methods.....	84
4.4.2 Structural equivalent calculation method.....	85
4.4.3 An example of resistance to progressive collapse.....	87
4.5 Brief Summary	89
 Chapter 5 Conclusions and Prospects	 91
5.1 Main Conclusions.....	91
5.2 Research Prospects	92
 References.....	 93
 Acknowledgements.....	 96

第一章 绪论

1.1 问题的提出

拱桥是我国公路上常用的一种桥梁形式。特别是自 1991 年以来在国内钢管混凝土拱桥的推广应用,我国已经在建或建成多座中下承式拱桥。中下承式拱桥主要由主拱肋、横向联结系、吊杆及车道系构成。经过吊杆和立柱传递车道系上的荷载,主拱肋再把这些作用力传到拱座与地基上。因此,吊杆是其重要的传力构件,多采用钢绞线、平行钢丝束等材料,上下端分别锚固于拱肋及桥面横梁或纵梁。但是,由于吊杆在随机载荷环境与随机介质环境下的疲劳、应力腐蚀、机械疲劳等的共同和耦合作用下发生断裂,在国内已经发生多起行车道系部分或全部垮塌事故。其中小南门大桥、孔雀河大桥、武夷山公馆大桥是具有典型意义的桥例^[1]。

2001 年 11 月 7 日,宜宾小南门大桥共 8 根吊杆在与横梁相连部位突然发生断裂,致使两岸共 4 片横梁及相连的桥面板、人行道坠落江中,图 1-1 为该桥发生桥面系坍塌后的照片。该桥建成于 1990 年 6 月,其结构型式为 240 米中承式钢筋混凝土双肋拱桥,全桥共有 17 片横梁利用柔性吊杆与主拱肋相连。



图 1-1 宜宾南门大桥垮塌

2011 年 4 月,新疆库尔勒孔雀河大桥由于主跨第二根吊杆断裂,造成主跨第三、四、五道矮 T 梁掉入河中,致使大桥长约 10 米、宽约 12 米的桥面发生垮塌。该桥于 1998 年建成通车,是一座 150 米跨径的中承式钢管混凝土拱桥。



图 1-2 孔雀河大桥垮塌

2011 年 7 月，福建省武夷山公馆大桥北侧发生垮塌，造成 1 人死亡，22 人受伤。该桥于 1999 年竣工通车，为三跨中承式全长 300 米，是悬链线等截面钢筋混凝土中承式拱桥，跨径组合为(80+100+80)m。事故原因由于桥梁的个别吊杆突然断裂，剩余结构承载力不足，导致边跨桥面连续倒塌。



图 1-3 武夷山公馆大桥垮塌

以上的几座中承式拱桥的桥道系坍塌表明，中承式拱桥的吊杆在温度、车辆制动力、冲击力等荷载作用下，桥面飘浮体系存在较大的水平位移，而且和跨中长吊杆相比，短吊杆的刚性又较大、固有频率较高，因而受到的剪切力更大，其下端处于反复弯剪状态。久而久之汽车冲击荷载作用导致吊杆护筒和筒内砂浆断裂，使钢绞线或高强钢丝受到大气和雨水的直接侵蚀，发生严重腐蚀，进而会导致桥面系的坍塌。

针对中承式拱桥的结构构造特点来说，单根或少数几根吊杆的破断会不会引起该桥桥道系的连续性倒塌也是在此类桥中应重点关注的问题。如何提高此类结构的抗连续性垮塌能力，增强结构鲁棒性，才有利于缓和乃至避免因吊杆破断而

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库