

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: 22620081151572

廈門大學

硕士学位论文

九龙江流域水资源脆弱性研究

Study on the Water Resource Vulnerability of

Jiulong River Watershed

蒋文志

指导教师姓名: 曹文志 教授

专业名称: 环境管理

论文提交日期: 2011年05月

论文答辩时间: 2011年06月

2011年06月

---

## 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 日

---

## 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 日

## 摘要

九龙江流域水资源脆弱性深受全球气候变化与人类经济社会活动的双重影响。由于全球气候变化，九龙江流域年流量呈稍微上升趋势。按照季节分析，春季流量呈现减少趋势，而夏季、秋季、冬季流量则呈现增加趋势，其中春季、夏季流量变化较为显著。

九龙江流域流量还受到 ENSO 等大气环流事件的影响。根据对九龙江流域 5 个主要水文站 1967 年~2008 年的流量数据分析，在厄尔尼诺发生后，九龙江流域春季流量较常年平均流量偏低，而冬季与次年春季流量则偏高；拉尼娜事件期间，则存在着相反的流量变化趋势。此外，流量变化还与 ENSO 事件存在 2~5 个月不等正相关滞后响应关系。

基于 DPSIR 概念模型，本研究中筛选确定了与九龙江流域水资源脆弱性关系较为密切的 17 个指标项，建立了九龙江流域水资源脆弱性评价指标体系，并设定了脆弱性等级、指标权重。经过分析，九龙江流域 9 个主要县（市、区）的水资源脆弱性程度由高至低依次为新罗区、长泰县、平和县、芗城区、龙海市、漳平市、龙文区和华安县。

针对以上九龙江流域水资源脆弱性分析结果，本文初步探讨了九龙江流域水资源保护的适应性措施，主要包括：严格控制高耗水和高污染行业发展、积极提高污染物处理水平、加强饮用水源保护工作、科学管理水电开发、推动流域生态修复工程、实行用水定额制度、建立应对气候变化和突发水污染事件的预警机制、完善流域水资源保护管理机制等九项工作。

关键词：九龙江；水资源脆弱性；气候变化；评价指标体系；适应性措施

## Abstract

The vulnerability of surface water resource of Jiulong River Watershed (JRW), which in Fujian Province, Southeast China, was affected by both global climate change and regional development. Results show that, the streamflow has a growing tendency in the context of climate change, although it is nonsignificant statistically. Besides, according to the season analysis, there is one decreasing trend in spring and growing trend in the rest three seasons, and especially the variation trends in spring and summer are significant.

This paper also presents an overview of the relationship between the ENSO and mean-monthly streamflows (1967~2008) of five hydrological stations in the Jiulong River. Results show that in the 24-month life cycle of warm phase of ENSO (El Niño), it tends to have lower streamflows in the first spring (from March through May), and higher streamflows in the first winter (from December through February) and the second spring. During the period of cold phase of ENSO (La Niña), it tends to have lower streamflows in the first winter and the second spring. Meanwhile, a lag correlation with 2~5 months between the mean-monthly streamflows and surface sea temperature anomalies is also examined, at the 99% confidence level.

Based on the DPSIR (*Drives-Pressures-States-Impacts-Responses*) conceptual model, one indicator framework for water resource vulnerability of Jiulong River Watershed is established with 17 indexes. After calculating the index weights and grade criteria, this paper sets up a Vulnerability Ranking for 9 main counties in Jiulong River Watershed and the ranking order is Xinluo, Changtai, Pinghe, Xiangcheng, Longhair, Zhangping, Longwen and Huaan according to the Vulnerability Index from high to low. Many adaptive measures also be analysed to respond to water resource vulnerability of Jiulong River Watershed in this paper.

**Key Words:** Jiulong River; vulnerability of surface water resource; climate change; indicator framework; adaptive measures

目 录

摘要.....	I
目录.....	III
图形索引 .....	VII
表格索引 .....	XI
<b>第一章 研究综述 .....</b>	<b>1</b>
1.1 选题背景及意义 .....	1
1.2 研究目标 .....	1
1.3 研究内容 .....	1
1.4 国内外研究概况综述 .....	3
1.4.1 脆弱性定义及基本内涵 .....	3
1.4.2 水资源脆弱性研究进展 .....	5
1.4.3 气候变化对水资源影响 .....	7
1.4.4 全球 ENSO 事件与河流流量关系 .....	9
1.4.5 水资源脆弱性评价指标体系 .....	10
<b>第二章 研究内容概述 .....</b>	<b>11</b>
2.1 技术路线 .....	11
2.2 数据来源 .....	11
2.3 分析方法 .....	15
2.4 研究区域概况 .....	16
2.4.1 社会与自然现状 .....	16
2.4.2 水环境质量现状 .....	20
2.4.3 水电开发现状 .....	24
<b>第三章 气候变化对九龙江流域水资源的影响 .....</b>	<b>27</b>
3.1 流量的变化趋势分析 .....	27
3.1.1 流量分配趋势分析 .....	27
3.1.2 流量变化趋势分析 .....	29
3.2 ENSO 事件与流量的相关性分析 .....	32
3.2.1 超出率分析 .....	32
3.2.2 相关性分析 .....	33
3.2.3 小结 .....	35

<b>第四章 九龙江流域水资源脆弱性评价指标体系</b> .....	<b>37</b>
4.1 评价指标体系的确定 .....	37
4.1.1 评价基础指标设置原则 .....	37
4.1.2 评价指标的初选 .....	37
4.1.3 评价指标的筛选 .....	38
4.2 九龙江水资源脆弱性评价指标体系的确立 .....	39
4.2.1 各评价指标项的说明 .....	39
4.2.2 指标赋权方法 .....	47
4.2.3 水资源脆弱性评价方法 .....	47
4.3 结果与分析 .....	52
4.3.1 各主题层脆弱性分析 .....	52
4.3.2 总脆弱性分析 .....	55
<b>第五章 九龙江流域水资源适应性措施研究</b> .....	<b>57</b>
<b>第六章 论文总结</b> .....	<b>61</b>
6.1 研究结论 .....	61
6.2 不足与展望 .....	61
<b>参考文献</b> .....	<b>63</b>
<b>附录：研究生阶段科研成果</b> .....	<b>67</b>
<b>附图：指标权重确定的专家打分原始调查表</b> .....	<b>68</b>
<b>致 谢</b> .....	<b>75</b>

## Contents

<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Contents</b> .....	<b>III</b>
<b>Figure Index</b> .....	<b>VII</b>
<b>Table Index</b> .....	<b>XI</b>
<b>Chapter 1 Background and Significance</b> .....	<b>1</b>
1.1 Research Background.....	1
1.2 Research Objectives .....	1
1.3 Research Content.....	1
1.4 Contents.....	3
1.4.1 Advances in Vulnerability Research.....	3
1.4.2 Advances in Water Resource Vulnerability Research .....	5
1.4.3 Advances in the Influence of Climate Change on Water Resources Research .....	7
1.4.4 Advances in the Correlation between ENSO and Streamflow Research .....	9
1.4.5 Advances in Water Resources Vulnerability Evaluation Research....	10
<b>Chapter 2 Literature Review</b> .....	<b>10</b>
2.1 Technical Framework.....	11
2.2 Data .....	11
2.3 Method.....	15
2.4 Regional Situation .....	16
2.4.1 Social and Natural Situation.....	16
2.4.2 Water Quality Situation .....	20
2.4.3 Hydroelectric Development Situation .....	24
<b>Chapter 3 The Influence of Climate Change on Water Resources</b> ..	<b>27</b>
3.1 The Changing Trends of Streamflow .....	27
3.1.1 The Seasonal Proportions .....	27
3.1.2 The Interannual Variabilities .....	29
3.2 The Correlation Analysis between ENSO and Streamflow .....	32
3.2.1 Results .....	32



3.2.2 Correlation Analysis .....	33
3.2.3 Summary.....	35
<b>Chapter 4 The Indexes System of Water Resources Vulnerability</b>	
<b>Evaluation of Jiulong River Watershed.....</b>	<b>37</b>
4.1 Method.....	37
4.1.1 The Setting Principles of Indexes .....	37
4.1.2 The Primary Election of Indexes .....	37
4.1.3 The Determination of Indexes .....	38
4.2 The Determination of the Evaluation System .....	39
4.2.1 Introduction of the Indexes .....	39
4.2.2 Method of the Determination to the Index Weight.....	47
4.2.3 Method of the Water Resources Vulnerability Evaluation .....	47
4.3 Results .....	52
4.3.1 The Results Analysis by Topic Layer .....	52
4.3.2 The Results Analysis of Evaluation System.....	55
<b>Chapter 5 Adaptive Measures of Water Resources Vulnerability of</b>	
<b>Jiulong River Watershed .....</b>	<b>57</b>
<b>Chapter 6 Conclusion .....</b>	<b>61</b>
6.1 Research Conclusions.....	61
6.2 Prospects For Future Research .....	61
<b>References.....</b>	<b>63</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>67</b>
<b>Accompanying Figure.....</b>	<b>68</b>
<b>Acknowledgments .....</b>	<b>75</b>

## 图形索引

图 1-1 脆弱性的嵌入式层次模型示意图 (Smit and Wandel, 2006) .....	5
图 2-1 九龙江流域水资源脆弱性评价技术路线 .....	11
图 2-2 九龙江流域代表水文站分布 .....	12
图 2-3 1950 年~2010 年的 ENSO 指数列表 (NOAA, 2011) .....	13
图 2-4 九龙江流域行政区划与水系图 .....	17
图 2-5 九龙江流域年均气温及年降雨量分布图 .....	19
图 2-6 九龙江浦南水文站月平均流量 (1971 年~2000 年) .....	20
图 2-7 2001~2009 年度九龙江水功能达标率变化图 .....	21
图 2-8 九龙江流域各行政区域 COD <sub>Cr</sub> 入河量 (t/a) .....	21
图 2-9 九龙江流域各行政区域氨氮入河量 (t/a) .....	22
图 2-10 九龙江流域水电工程分布示意图 (资料来源: 福建省水利规划院) .....	25
图 3-1 九龙江流域代表水文站 1971 年~2000 年各月平均流量 .....	27
图 3-2 浦南水文站年均流量变化趋势 .....	29
图 3-3 浦南水文站春季流量变化趋势 .....	30
图 3-4 浦南水文站夏季流量变化趋势 .....	30
图 3-5 浦南水文站秋季流量变化趋势 .....	31
图 3-6 浦南水文站冬季流量变化趋势 .....	31
图 3-7 厄尔尼诺事件期间各月流量的超出率 .....	33
图 3-8 拉尼娜事件期间各月流量的超出率 .....	33
图 3-9 厄尔尼诺事件期间九龙江流量对 SSTA 的滞后响应关系 .....	34
图 3-10 拉尼娜事件期间九龙江流量对 SSTA 的滞后响应关系 .....	35
图 3-11 2009 年~2011 年的 ENSO 事件 (NOAA, 2011) .....	36
图 4-1 九龙江水资源脆弱性评价模型框架 .....	38
图 4-2 九龙江流域水资源脆弱性评价指标体系 .....	39
图 4-3 中国城市化水平与城市人口数量 (1950 年~2050 年) .....	45
图 4-4 各县 (市、区) 自然气候主题层脆弱性水平 .....	52
图 4-5 各县 (市、区) 生态环境主题层相对脆弱性水平 .....	53
图 4-6 各县 (市、区) 社会经济主题层相对脆弱性水平 .....	53

---

图 4-7 九龙江流域各行政区水资源脆弱性分析结果 .....	55
附图 1 专家打分原始调查表 (1 号) .....	68
附图 2 专家打分原始调查表 (2 号) .....	69
附图 3 专家打分原始调查表 (3 号) .....	70
附图 4 专家打分原始调查表 (4 号) .....	71
附图 5 专家打分原始调查表 (5 号) .....	72
附图 6 专家打分原始调查表 (6 号) .....	73
附图 7 专家打分原始调查表 (7 号) .....	74

厦门大学博硕士论文摘要库

## Figure Index

<b>Fig. 1-1 Nested hierarchy model of vulnerability (Smit and Wandel, 2006) .....</b>	<b>5</b>
<b>Fig. 2-1 Technique route of water resources vulnerability evaluation of JRW.....</b>	<b>11</b>
<b>Fig. 2-2 The distribution map of 5 representative hydrometric stations in JRW .....</b>	<b>12</b>
<b>Fig. 2-3 The ENSO index from 1950 to 2010 (NOAA, 2011) .....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. 2-4 Administrative and channel network map of JRW .....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 2-5 Annual temperature and rainfall distribution of JRW .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 2-6 Monthly average streamflow of Punan Hydrometric Station in JRW (1971~2000).....</b>	<b>20</b>
<b>Fig. 2-7 Water quality compliance rates from 2001 to 2009 of JRW .....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. 2-8 Quantity of the COD<sub>Cr</sub> into the river of JRW by region .....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. 2-9 Quantity of the NH<sub>4</sub>-N into the river of JRW by region.....</b>	<b>22</b>
<b>Fig. 2-10 Hydropower engineering distribution of JRW (Fujian Academy for Water Conservancy Planning) .....</b>	<b>25</b>
<b>Fig. 3-1 Monthly mean streamflows of 5 Hydrological Stations from 1971 to 2000 in the JRW. ....</b>	<b>27</b>
<b>Fig. 3-2 Mean Annual Streamflow changing trend of Punan Hydrological Station ...</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 3-3 Mean Spring Streamflow changing trend of Punan Hydrological Station....</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 3-4 Mean Summer Streamflow changing trend of Punan Hydrological Station .</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 3-5 Mean Autumn Streamflow changing trend of Punan Hydrological Station .</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 3-6 Mean Winter Streamflow changing trend of Punan Hydrological Station ...</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 3-7 Exceedence probabilities of streamflows for El Niño events .....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 3-8 Exceedence probabilities of streamflows for La Niña events .....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 3-9 Lag correlations between streamflow anomalies and SSTA during El Niño events .....</b>	<b>34</b>
<b>Fig. 3-10 Lag correlations between streamflow anomalies and SSTA during La Niña events .....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 3-11 The ENSO events from 2009 to 2011(NOAA, 2011).....</b>	<b>36</b>
<b>Fig. 4-1 The model framework of water resources vulnerability evaluation of JRW</b>	<b>38</b>

<b>Fig. 4-2 The Indexes System of water resources vulnerability evaluation of JRW ....</b>	<b>39</b>
<b>Fig. 4-3 The urbanization level and population of China from 1950 to 2050 .....</b>	<b>45</b>
<b>Fig. 4-4 The vulnerability levels of “physioclimate” topic layer by region .....</b>	<b>52</b>
<b>Fig. 4-5 The vulnerability levels of “ecological environment” topic layer by region .</b>	<b>53</b>
<b>Fig. 4-6 The vulnerability levels of “Social Economy” topic layer by region.....</b>	<b>53</b>
<b>Fig. 4-7 The water resource vulnerability levels of JRW by region .....</b>	<b>55</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 1).....</b>	<b>68</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 2).....</b>	<b>69</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 3).....</b>	<b>70</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 4).....</b>	<b>71</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 5).....</b>	<b>72</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 6).....</b>	<b>73</b>
<b>Accompanying Figure 1 Expert Scoring Questionnaire (No. 7).....</b>	<b>74</b>

## 表格索引

表 1-1 九龙江流域各行政区的流域面积与行政面积 .....	2
表 1-2 2009 年福建省及九龙江流域各市水资源总量 ( $10^8 \text{ m}^3$ ) .....	6
表 2-1 九龙江流域代表水文站情况.....	12
表 2-2 1965 年~2008 年的 ENSO 事件.....	13
表 2-3 九龙江流域主要河流水文特性表 .....	17
表 2-4 各县(市、区)的污染源分布分析 .....	22
表 3-1 九龙江流域代表水文站 1971 年~2000 年各季径流总量占全年比例 .....	28
表 3-2 九龙江流域代表水文站径流量年际变化统计 .....	29
表 3-3 九龙江流域 5 个水文站 1967 年~2008 流量变化趋势 .....	32
表 4-1 九龙江流域监测断面水质超标率统计(%, 2004 年~2008 年) .....	41
表 4-2 我国部分城市居民生活用水定额 .....	46
表 4-3 九龙江流域水资源脆弱性各指标权重 .....	49
表 4-4 九龙江流域水资源脆弱性评价指标等级划分 .....	50
表 4-5 九龙江流域水资源脆弱性评价指标体系原始值 .....	51
表 4-6 九龙江流域水资源脆弱性指标评价分析结果 .....	54

## Table Index

<b>Table 1-1 Counties Drainage Areas and Administrative Areas in JRW .....</b>	<b>2</b>
<b>Table 1-2 Municipal water quantity of JRW in 2009 (10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>).....</b>	<b>6</b>
<b>Table 2-1 The informations of 5 representative hydrometric stations in JRW.....</b>	<b>12</b>
<b>Table 2-2 ENSO events from 1965 to 2008 .....</b>	<b>13</b>
<b>Table 2-3 Main rivers hydrological characteristics of JRW .....</b>	<b>17</b>
<b>Table 2-4 Pollution source analysis of JRW by region .....</b>	<b>22</b>
<b>Table 3-1 The seasonal proportions of streamflows of 5 hydrological stations in JRW .....</b>	<b>28</b>
<b>Table 3-2 Interannual variabilities of streamflow of 5 hydrological stations in JRW</b>	<b>29</b>
<b>Table 3-3 Mean Streamflow changing trends of 5 Hydrological Stations in JRW (1967~2008) .....</b>	<b>32</b>
<b>Table 4-1 The exceedings of water quality monitoring sections in JRW (% , 2004~ 2008) .....</b>	<b>41</b>
<b>Table 4-2 Domestic water use quota of some cities in China .....</b>	<b>46</b>
<b>Table 4-3 The Weight level standard of water resources vulnerability evaluation of JRW .....</b>	<b>49</b>
<b>Table 4-4 The indexs standard of water resources vulnerability evaluation of JRW.</b>	<b>50</b>
<b>Table 4-5 The primitive index values of water resources vulnerability evaluation of JRW .....</b>	<b>51</b>
<b>Table 4-6 The analysis result of water resources vulnerability evaluation of JRW ...</b>	<b>54</b>

## 第一章 研究综述

### 1.1 选题背景及意义

水资源作为人类社会发展的基础性自然资源、战略性经济资源和公共性社会资源，是实现社会发展目标的重要支撑。流域水资源的分布变化受全球气候变化、区域经济社会发展的双重影响，充满不确定性，因此对于流域水资源变化的评估和预测要综合两者的关系，才能提出有效的适应性措施、提高流域水资源管理水平与水资源利用效率，改善流域生态环境，增强可持续发展能力，实现人水和谐，为流域内人与自然和谐发展提供有力的技术支持。

九龙江流域位于我国福建省南部地区，水资源丰富，且毗邻西太平洋，海洋性气候特征明显，对气候变化的响应强烈，同时也受到 ENSO、台风等气候事件的影响，并且随着气候变化的加剧，水资源年际间变化以及年内的分配情况将会产生更大的波动性。此外，九龙江流域内工农业发达、人口密集，用水量巨大，并且水电开发强度较大，密集的人类活动已经严重影响自然的水文规律，并与气候变化因素相叠加，成为近几年部分河段出现水质下降、水华爆发等的原因之一，对流域水安全造成了巨大的危害。

水资源脆弱性评估是对水资源系统的综合评估，主要包括水资源供给与需求平衡之间矛盾的评估，并且主要是针对人类生产生活所依赖的可利用淡水资源而开展的。九龙江流域水资源脆弱性深受气候变化以及人类经济社会发展所带来的水质、水量的变化影响，因此，如何通过对九龙江流域水资源在时间和空间上的变化趋势评估和预测，并结合流域内社会发展现状及趋势，综合分析其水资源脆弱性，并提出相应的适应性措施，对于促进流域经济社会发展、减少气象灾害所造成的损失、保障供水安全等有重要的指导和参考价值。

### 1.2 研究目标

通过定性评价与定量评价相结合的方法，分析九龙江流域目前的水资源现状，建立水资源脆弱性指标体系，综合评价并提出适应性措施。

### 1.3 研究内容

本文的主要研究内容包括以下两部分：



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库