

分类号_____

密级_____

U D C_____

编号_____

厦 门 大 学

博 士 后 研 究 工 作 报 告

遥感与 GIS 技术在九龙江流域水环境管理中的应用

孙芹芹

工作完成日期 2011-4-21

报告提交日期 2011-5-21

厦门大学

2011 年 6 月

遥感与 GIS 技术在九龙江流域水环境管理中的应用

The application of remote sensing and GIS in the Jiulong River
Watershed management

博 士 后 姓 名 孙芹芹

流动站（一级学科）名称 厦门大学环境科学与工程

专 业（二级学科）名称 环境管理

研究工作起始时间 2009 年 7 月

研究工作期满时间 2011 年 6 月

厦 门 大 学

2011 年 6 月

厦门大学博士后研究工作报告著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用博士后研究工作报告的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交该报告的纸质版和电子版，有权将该报告用于非赢利目的的少量复制并允许该报告进入学校图书馆被查阅，有权将该报告的内容编入有关数据库进行检索，有权将博士后研究工作报告的标题和摘要汇编出版。保密的博士后研究工作报告在解密后适用本规定。

本研究报告属于： 1、保密（）， 2、不保密（）

纸本在 _____ 年解密后适用本授权书；

电子版在 _____ 年解密后适用本授权书。

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

导师签名： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

内 容 摘 要

遥感与GIS技术是水环境管理领域的重要技术手段，本研究综合运用定量遥感、GIS、景观生态学、数学统计等方法，对九龙江流域的水质变化进行遥感动态监测，并对该流域土地利用引起的非点源污染与水质关系进行研究，对流域—海洋水环境信息综合管理系统进行了研究和设计。

利用 Landsat 遥感卫星对九龙江下游河段的叶绿素a和悬浮颗粒物浓度进行了年际变化分析及季节变化分析，发现较高的叶绿素a浓度主要出现在北溪浦南段（北8—北9）以及石龟头至北11段，叶绿素a在枯水期呈现浓度增大的趋势。高悬浮颗粒物浓度较易出现在龙津溪入口（北9—郭坑公路桥）河段，高悬浮颗粒物浓度季节主要发生在丰水季节。

九龙江流域不同坡度类型的农业用地景观与高锰酸盐指数(COD_{Mn})、NH₄⁺-N、TP 关系的研究结果显示，坡度小于 15 度和大于 25 度的农业用地占总农业用地的面积比例与各水质指标呈较强的正相关。景观聚集度指数 (CONTAG) 与水体中 TP 浓度呈显著正相关，相关系数为 0.565，香农多样性指数 (SHDI) 与水体中 TP 浓度呈显著负相关，相关系数为-0.527。受径流量影响，丰水期和枯水期均是九龙江流域水质富营养化的敏感时期。对河流近岸 100m 范围内的农业用地类型组成进行统计发现，坡度<15 度的农业用地面积平均比例为 74.3%，说明河岸缓冲区和陡坡农业用地数量及分布是控制该地区农业非点源污染的关键。

流域内城镇建设用地的面积百分比与 COD_{Mn}、NH₄⁺-N、TP 呈现显著正相关 ($r = 0.701、0.695、0.789$)，城镇建设用地的最大斑块指数 (LPI) 与 COD_{Mn}、NH₄⁺-N、TP 浓度呈现显著正相关 ($r = 0.555、0.643、0.722$)，城镇建设用地的景观形状指数 (LSI) 与 COD_{Mn}、TP 浓度呈现正相关 ($r = 0.564、0.553$)，说明城镇建设用地对水质的影响不仅与其在流域内的面积比例有关，而且与其空间格局关系密切。季节性关联分析发现，随着城镇建设用地的增多，在丰水期和枯水期的水质恶化过程较快，是水华易发的敏感时期；各小流域的水环境质量处于受影响状态，位于九龙江源头的龙门溪、苏溪、小溪流域城镇建设用地比例较高 (9%~16%)，需及时进行城市化进程的调整和控制。

基于水文模型技术、计算机网络技术、3S 技术 (遥感、地理信息系统、GPS)、数据库技术等，研究并设计流域—海洋水环境信息共享与应用工程系统，可以实

现流域—海洋水环境信息资源的交换和共享，以及基于该数据共享平台的交界断面污染物通量计算、污染物溯源分析以及水环境动态预警预报等功能。

关键词：遥感，GIS，土地利用，坡度，景观指数，水质

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Remote sensing and GIS technology are the important tools for the water environment management. In this study, quantitative remote sense, GIS, landscape ecology, statistics methods were combined to study the water quality monitoring, non-point source pollutions from land use and integrated management system of basin-marine water environmental information.

Based on Landsat TM retrieval results, high Chla conration appeared in Punan reach (station N8-N9), Shiguitou and Jiangdong reservoir. The concentrations of Chla were higher in low water season. In the same way, the concentrations of Tsp were analyzed. The result indicated that high Tsp contractions often appeared in Longjin entrance (Station N9-Guokeng) and in flood seasons.

Correlation analysis between farm lands and water quality showed that, the total proportion of farm lands located in the slopes less than 15 degrees and greater than 25 degrees were positively correlated with COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP concentrations in the water. Contagion (CONTAG) index of farm land was positively correlated with TP concentrations, and diversity index (SHDI) of farm land was negatively correlated with TP concentrations. The correlation coefficients were 0.565 and -0.527, respectively. Water eutrophication was susceptible to farm land pollutions in flood season and dry season. The farm lands located in the slopes less than 15 degrees took up 74.3% within the 100m-width riparian buffer. The farm lands located in the riparian buffer and in the deep slopes play a crucial role in water quality management, especially the non-point source pollution control in JRW.

The proportion of urban built-up land was found to be strong positively correlated to COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP ($r = 0.701, 0.695, 0.789$). It indicates the proportion of urban built-up land areas in the sub-watershed could be used as an effective indicator of water quality. The largest patch index (LPI) was positively correlated to COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP concentrations in the water ($r = 0.555, 0.643, 0.722$), and landscape shape index (LSI) was positively correlated to COD_{Mn} and TP concentrations in the water ($r = 0.564, 0.553$). That means the impacts of urban built-up land on water quality are influenced by not only urban built-up land areas but also its spatial patterns. The seasonally linear correlation results show that water quality deteriorated quickly with urban built-up land increased in flood season and dry season, and the water was

susceptible to eutrophication in both flood and dry seasons. The water quality in most sub-watersheds were impacted by urban built-up land, while the urban built-up land areas of longmen stream, su stream and xiao stream located in headstreams are high relatively, which need to be adjusted and controlled to protect the water quality.

Based on hydrologic model, computer network, 3S technology (RS/GIS/GPS), and database technology, basin-marine water environmental information sharing platform and application system was designed. The system can realize the exchange of water information and resources from different departments, and provides the functions of water pollution flux calculation, water pollution-source trace and water pollution warning and forecast. The system can provide data base for basin-marine sustainable development and water environmental management, and support the basin-marine integrated management mechanism and government decision with technical tool.

Keywords: Remote sensing, GIS, land use, slope, landscape, water quality

目 录

1 研究背景及国内外进展	1
1.1 选题背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 河流水质的定量遥感反演.....	2
1.2.2 农业用地与河流水质变化之间的关系.....	3
1.2.3 城镇建设用地与河流水质变化之间的关系.....	3
1.2.4 基于 GIS 的水环境信息系统研究.....	4
2 区域概况与研究目标	6
2.1 区域概况.....	6
2.2 数据来源.....	7
2.3 研究方法与研究目标.....	10
2.3.1 研究方法.....	10
2.3.2 研究目标.....	11
3 九龙江下游河段的水质遥感反演及时空变化分析	12
3.1 研究方法.....	12
3.1.1 水体遥感监测原理.....	12
3.1.2 基于 Landsat 的水质反演比值法.....	13
3.2 九龙江下游水质年际变化分析.....	15
3.2.1 叶绿素 a 分布特点.....	15
3.2.2 悬浮颗粒物分布特点.....	17
3.3 九龙江下游水质季节变化分析.....	19
3.4 结论.....	19
4 九龙江农业用地与河流水质关系研究	22
4.1 研究方法.....	22
4.2 各小流域土地利用与水质的时空分布.....	23
4.2.1 各小流域土地利用结构.....	23
4.2.2 各小流域水质特征.....	25

4.3 流域农业用地景观-水质的关联分析.....	26
4.3.1 土地利用面积百分比与水质关系.....	26
4.3.2 农业用地面积百分比与水质关系.....	27
4.3.3 农业用地景观指数与水质的关联分析.....	28
4.4 农业用地与水质关系的季节性关联分析.....	29
4.5 结论.....	31
5 城镇建设用地与河流水质关系研究.....	32
5.1 研究方法.....	32
5.1.1 各小流域城镇建设用地的提取.....	32
5.1.2 景观指数选取与统计分析.....	32
5.2 各小流域城镇建设用地比例与水质.....	33
5.3 城镇建设用地与水质的关系.....	34
5.3.1 城镇建设用地景观与水质的相关性分析.....	34
5.3.2 城镇建设用地面积百分比与水质的季节性关联分析.....	35
5.4 各小流域城镇建设用地与水质状态评估.....	37
5.5 结论.....	39
6 流域-海洋水环境信息共享与应用系统的研究设计.....	40
6.1 建设目标与内容.....	40
6.1.1 建设目标.....	40
6.1.2 建设内容.....	40
6.2 系统建设方案.....	41
6.2.1 总体架构.....	42
6.2.2 总体拓扑结构.....	43
6.2.3 数据库建设.....	45
6.2.4 网络系统建设.....	47
6.3 系统设计.....	51
6.3.1 基础综合数据库设计.....	51
6.3.2 业务基础服务子系统设计.....	55
6.4 系统功能实现.....	62
6.4.1 交界面污染物通量计算子系统.....	62
6.4.2 水环境动态变化及污染物溯源分析子系统.....	64
6.4.3 水环境安全突发事件预警及跟踪预报子系统.....	66

6.5 结论	72
7 总结	74
参考文献	76
致 谢	81
博士生期间发表的学术论文、专著	82
博士后期间发表的学术论文、专著	83
个人简历	84
联系地址	86

厦门大学博硕士学位论文摘要库

1 研究背景及国内外进展

1.1 选题背景

九龙江流域位于我国经济较为发达的东南沿海福建省南部地区，流域地势自西北向东南倾斜。流域内主要支流北溪和西溪通过厦门港注入台湾海峡，其下游库区是厦门、龙海、龙文、漳州各地区群众的主要饮用水源（图 1.1）。随着（台湾）海峡西岸经济区建设步伐的加快，高强度的人类活动与全球气候变化的共同作用对九龙江下游的饮用水安全构成严重威胁。流域内部分河流库区水体营养盐负荷趋近饱和，水华现象已有不同程度的发生。九龙江水质的日益恶化，不仅对河流自身的水生生态系统造成破坏，而且危及到该地区的居民健康与经济发展，并对其汇入的台湾海峡及近海海域水质产生一定威胁（洪华生等，2008）。从 1999 年开始，福建省政府在九龙江流域实施了“九龙江流域水污染防治和生态保护”等项目，建立了流域综合管理机构、协调机制（如联席会议制度）、约束机制（如环境目标责任制度、流域限批制度）及激励机制（如流域生态补偿机制），对控制流域水环境质量及生态系统进一步恶化起到了积极的作用。但从实施的效果看，流域综合管理并没有达到项目所设定的全部目标。2009 年 2 月九龙江流域水华事件以及流域长期监测的水质变化趋势都显示出，流域综合管理还没有从根本上解决流域水环境质量下降和生态系统退化的问题。流域水环境质量和生态系统恶化已经危及到流域饮用水安全和流域的可持续发展。

遥感和 GIS 技术的发展为水环境管理研究提供了崭新的数据获取与分析方式（朱华，2005）。利用卫星遥感对水质的时空分布及变化进行定性乃至定量的监测，具有监测范围广、速度快、成本低的特点（Hellweger et al., 2004）。遥感与 GIS 技术的结合应用可通过卫星图片获取大面积流域的空间信息及其变化，为 GIS 分析提供精确的定性和定量数据，并能对各种信息进行统计分析、动态监测及空间制图等。水环境管理 GIS 系统的开发，可实现水环境信息的综合管理、水质动态监测、水质评价等功能，并可将各种水环境信息及模型运算成果以可视化的方式表达，提高流域水环境的信息化建设水平及流域综合管理能力。

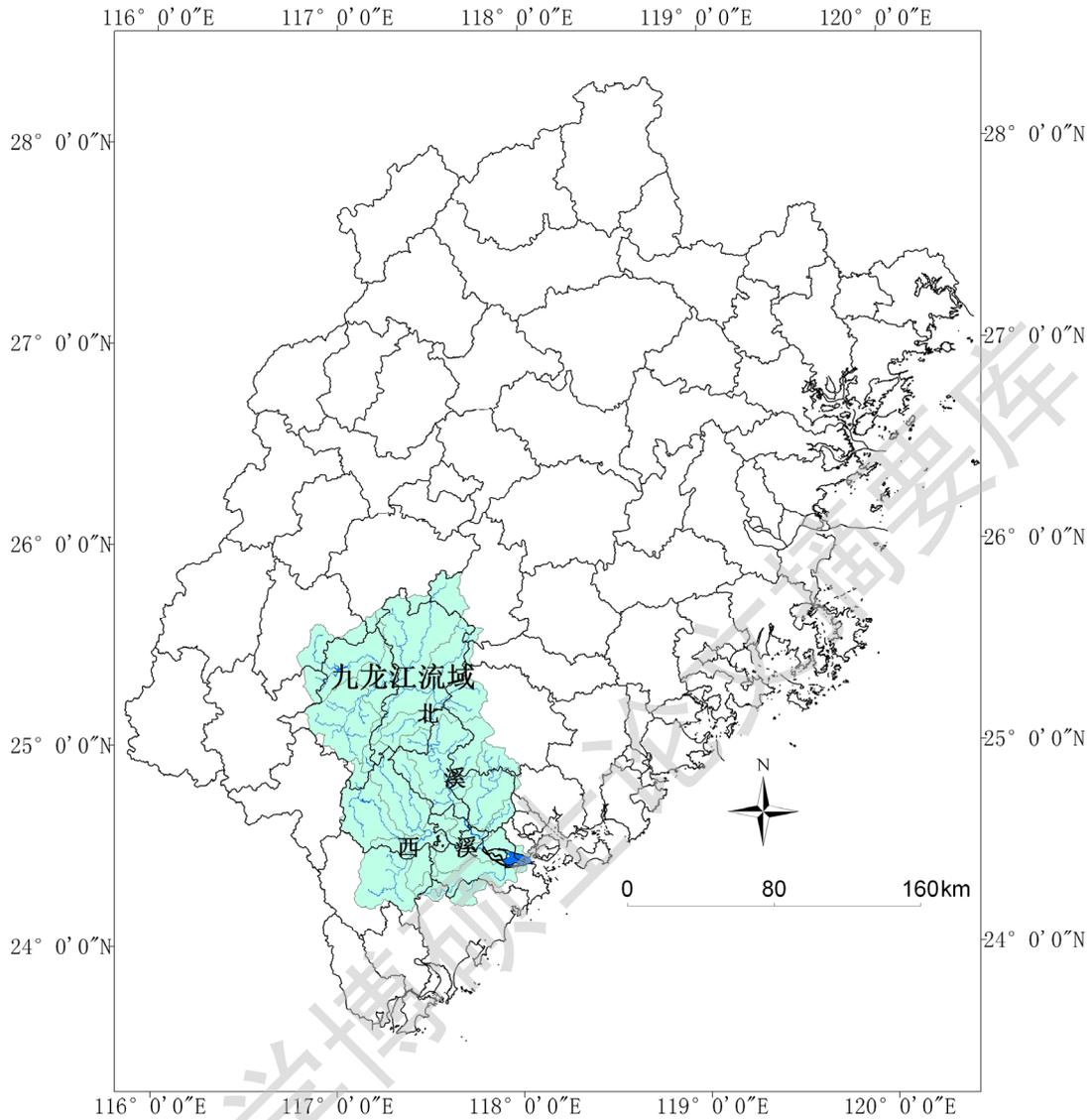


图 1.1 九龙江流域位置图

1.2 国内外研究现状

1.2.1 河流水质的定量遥感反演

随着社会经济的发展和工业化进程的加快，河流水体污染已成为全球关注的热点问题之一（Falkenmark, 1990；谢家泽和陈志恺, 1990）。传统的水质监测方法主要采用水质采样分析的方法，采样点空间分布密度有限，无法客观全面地反映所监测流域的真实情况，且监测过程耗时、耗资、效率较低（徐涵秋, 2006）。而利用遥感卫星对水质的时空分布及变化进行定性乃至定量的监测，具有监测范围广、速度快、成本低的特点（Hellweger et al., 2004）。目前国内应用遥感技术

开展了监测长江（周华林，2008）、黄浦江（童小华等，2006）、闽江（叶琳和徐涵秋，2006；温小乐和徐涵秋，2009）等内陆水域的尝试，对九龙江下游区域水环境质量进行遥感技术监测分析的研究较少，且对遥感反演结果同时进行年际变化和季节变化分析的成果尚不多见。因此，有必要对该河段进行水体悬浮物和叶绿素浓度的反演，开展九龙江流域基于遥感技术的水环境监测及时空变化的探索性分析。

1.2.2 农业用地与河流水质变化之间的关系

河流水质的变化受人类土地利用活动影响较大（Roberts and Prince, 2010），对水质与土地利用关联的研究有助于利用土地利用/覆被来评估非点源污染对河流水质的影响。农业用地的化肥、农药等引起的水体非点源污染物管理较为困难（贺缠生等，1998），却是水环境污染的重要来源。尤其是在工业与城市生活污水等点源污染问题逐渐得到控制之后，流域水环境管理则主要集中在非点源污染控制方面（Baker, 2003）。目前基于遥感影像的流域非点源污染与水质响应的研究主要集中在土地利用结构（Herlihy et al., 1998；刘瑞民等，2006；王秀娟等，2009）、景观格局（Johnson et al., 1997；Wear et al., 1998；Sliva and Williams, 2001）与水质指标的统计分析方面，其中大多数的研究将农业用地作为整体与水质指标进行相关性分析，对农业用地由于所处位置、地形等的差异而对水质变化可能造成的影响差异研究较少，且对水质的季节性变化与土地利用的关联研究也较为少见。农业非点源污染不仅受农业用地耕作方式的影响，而且与农田水土流失的强弱程度有关（陈利顶和傅伯杰，2000；李俊然等，2000；Loen et al., 2001；卜红梅等，2009）。九龙江流域属东南丘陵地貌，坡度对农业用地水土流失影响较大（黄金良等，2004；程琳琳等，2009）。因此有必要引入坡度因子对农业用地类型进行分类，对农业用地类型与水质指标进行分析，以明确流域不同农业用地类型对水质时空变化的功能差异，为流域农业非点源污染控制提供依据。

1.2.3 城镇建设用地与河流水质变化之间的关系

城市的扩张使得原来以植被为主的自然景观被城市不透水面所取代（杨柳等，2004），城市化过程中建设用地面积的增加，阻碍了地表水的截留与下渗，城市地表沉积的废弃物、灰尘颗粒以及病原性物质等在径流冲刷过程中部分或全

部汇入受纳水体，对水质造成污染（Booth and Jackson, 1997; Conway, 2007）。国内外对城市化与水环境质量的研究主要从社会经济水平（刘伟等, 2008; 史培军等, 2001）、城镇用地面积和不透水面比例（Schueler, 1994; Arnold and Gibbons, 1996; Paul and Meyer, 2001; Morse et al., 2003）等方面展开。流域内的城镇建设用地和不透水面的面积百分比对一个地区的水环境质量有较强的指示作用，但是城市化的生态效应往往无法仅从城镇建设用地的数量上反映，而与其空间分布有一定的关系（陈利顶等, 2003; 高超等, 2003; 陈利顶等, 2006），因此在研究城市土地利用与水质相关性时，需要同时考虑城市用地类型的空间格局特征。目前对全流域土地利用格局与水质关系的研究已经开展（Uuemaa et al., 2007; Guo et al., 2010; 李兆富等, 2010; 黄金良等, 2011），国内外对流域土地利用景观与水质之间的关系也进行了一定的研究，但是对城镇空间格局与水质变化之间关系的研究较少（Alberti et al., 2007）。

1.2.4 基于 GIS 的水环境信息系统研究

水环境信息具有明显的空间属性和层次属性，GIS 的强大功能是它对空间数据的采集、管理、展示功能及其空间分析能力。利用 GIS 技术可以通过揭示不同区域的污染源、排污口、监测断面等环境要素的空间分布及变化，反映水体环境质量在空间上的变化趋势。基于数据库的 GIS 系统可对水环境信息进行综合管理，方便各级管理部门对数据的快速查询、统计分析和决策，辅助水环境治理措施的制定与治理措施效果的评价，及时对治理措施做出相应地调整。

20 世纪 90 年代期间，美国 EPA 建设的国家水文数据库(National Hydrography Dataset, NHD) 以流域界限对自然、社会、经济信息进行组织，建立流域综合平台。目前这一信息平台已经在流域模拟、水质管理等方面发挥出巨大的作用。国内在 GIS 水环境管理系统方面的研究起步较晚（魏文秋和于建营, 1997）。刘真等（2002）进行了黄河水环境地理信息系统的研制与开发。黄诗峰等（2003）进行了基于 WebGIS 的全国水环境信息系统的研究。与发达国家相比，我国流域信息化水平仍存在较大的差距，由于不同流域信息如水质监测、气象、植被等分别属于环保、气象和农林等不同部门，部门之间缺乏统一的规范，且这些部门没有相关的信息发布管理机制和义务，为流域-河口-近海环境综合管理的实施造成了很大的障碍。因此很有必要利用现代科学管理手段，结合当前迅猛发展的水文

水力技术、计算机技术、3S 技术（RS、GIS、GPS）、流域监测示踪技术等，为流域-海洋的水环境信息建立综合管理系统，以便能够为流域-海洋水环境的综合治理提供科学依据和决策支撑，为水环境安全提供保障，也为流域今后的发展规划提供依据。

厦门大学博硕士论文摘要库

2 区域概况与研究目标

2.1 区域概况

九龙江流域位于我国东南沿海经济发展迅速的福建省内，流域面积约 14700 平方千米，流域内水系发达、地形起伏，属于典型的亚热带中小流域。流域内主要支流北溪和西溪通过厦门港注入台湾海峡，位于九龙江下游的江东库区是厦门、龙海、龙文、漳州各地区群众生活用水及饮用水的主要来源。随着台湾海峡西岸经济区建设步伐的加快，流域内城市化进程加快，部分小流域城镇建设用地增长速度较快，尤其是位于九龙江源头的苏溪、龙门溪、小溪等小流域的城镇建设用地面积近年来不断扩大。高强度的人类活动与全球气候变化的共同作用对九龙江水环境安全构成严重威胁 (Huang et al., 2009)。流域内部分河流库区水体营养盐负荷趋近饱和，水华现象已有不同程度的发生。2009 年 1 月底，九龙江北溪多数库区爆发大规模的拟多甲藻水华，对该地区的饮用水安全造成威胁，引起各级政府部门及相关研究人员的高度重视。九龙江水质的日益恶化，不仅对河流自身的水生生态系统造成破坏，而且危及到该地区的居民健康与经济发展，并对其汇入的台湾海峡及近海海域水质产生一定影响。

九龙江北溪流域面积（北溪江东桥监测站以上汇水区域）为 9562.28 平方千米，西溪流域面积（西溪水头监测站以上汇水区域）为 3932.05 平方千米。其中北溪和西溪流域的土地利用类型均以林地和农业用地为主（图 2.1），土地利用类型分布特征大致相似，但是北溪的林地面积百分比高于西溪，而西溪流域的农业用地面积百分比高于北溪流域，说明西溪流域的农业活动较北溪流域发达。

北溪流域大于 400m 的地形面积占 70%以上，小于 200m 的地形面积不到 10%，说明北溪地形起伏，以中高山为主；而西溪大于 400m 的地形面积占 40%以上，小于 200m 的地形面积占 30%以上（图 2.2），说明西溪流域既分布有大面积的中高山丘陵，又分布有一定数量的平坦地形，与该地区下游位于地势较为平坦的漳州平原有关。

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.

厦门大学博硕士论文摘要库