地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室（成都理工大学）
四川省杰出青年基金(06ZQ026-014)
联合资助

遥感和GIS技术支持的
水电开发生态环境影响评价实证研究

何政伟　许辉熙　吴柏清　仇文侠　著

科学出版社

地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学)
四川省杰出青年基金(06ZQ026-014)

遥感和GIS技术支持的水电开发生态环境影响评价实证研究

何政伟　许辉熙　吴柏清　仇文侠　著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书较为系统地论述了遥感和GIS技术支持下的水电开发生态环境影响评价的基本原理、模型和方法。全书共5章。第1章介绍了相关研究背景和研究进展；第2章介绍了空间分析基础；第3章阐述了典型研究区选取及分析；第4章利用遥感和GIS技术进行水电开发生态环境影响预测评价；第5章在遥感和GIS技术的支持下，进行水电开发生态环境影响回顾评价。

本书可供测绘、水利工程、资源环境、地球科学、空间信息等相关专业的高等院校师生，以及科研、管理和决策部门的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感和GIS技术支持的水电开发生态环境影响评价实证研究 / 何政伟等著. —北京：科学出版社, 2014.11

ISBN 978-7-03-042206-4

Ⅰ. ①遥… Ⅱ. ①何… Ⅲ. ①遥感技术-应用-水利水电工程-环境生态评价-研究②地理信息系统-应用-水利水电工程-环境生态评价-研究 Ⅳ. ①TV②X826

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第244743号

责任编辑：莫永国 / 责任校对：李 娟

责任印制：余少力 / 封面设计：墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年10月第 一 版 开本：787*1092 1/16

2014年10月第一次印刷 印张：11

字数：250千字

定价：69.00元

前　言

水能是清洁的、可再生的资源，发展水电在整体上有利于改善生态环境。但是，修建大坝水库在带来巨大经济效益和生态效益的同时，也给生态环境带来了巨大的不利影响。

目前，我国水电开发出现了“大、中、小、微”规模以及“国家、集体、私人”都在开发的现状。这些项目建成运行后，将会给生态环境带来何种影响，成为人们关注的焦点。因此，人们也在不断重新审视水电开发的影响。“十一五”规划纲要指出“在保护生态基础上有序开发水电”。这就需要以“科学发展观”为指导，在可持续发展的基础上开展水电开发对生态环境的影响评价工作，以实现在开发水电资源的同时，做好生态环境保护工作，使水电开发对生态环境的不利影响减到最小，并朝着有利于生态环境保护和改善的方向发展。

生态环境影响评价工作是工程环境管理措施的有益补充，有助于全面、准确地衡量工程的环境影响，为进一步加强工程环境管理提供科学依据，同时为其他工程的环保设计和环境影响评价提供借鉴。

本书以黄河上游某拟建水电站和位于雅砻江上已建的二滩水电站为研究原型，在遥感和GIS技术的支持下，分别进行了水电开发生态影响的预测评价和回顾评价。可为目前的水电开发提供决策支持，为类似的项目的生态环境影响评价提供类比案例。

本书由四川建筑职业技术学院副教授许辉熙博士拟定提纲并统稿和定稿。成都理工大学何政伟教授撰写第1章，许辉熙副教授撰写第2、4章，四川建筑职业技术学院仇文侠博士撰写第3章，成都理工大学吴柏清教授撰写第5章。参加相关研究工作的人员还有但尚铭、赵银兵、薛万蓉、陈俊华、谢韬、李喆、张新海、杨斌。另外，王君萍、刘严松、姜兰、袁明、张东辉、张俊峰、郭豫宾等人协助完成了许多基础性工作，在此一并表示感谢！

本书得到四川省杰出青年基金：“水电工程对干热河谷生态地质环境的影响及评价模型研究”（2006－2008，编号06ZQ026－014）和“黄河上游某拟建水电站水库区工程地质遥感解译研究”（2007－2008）以及地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室（成都理工大学）相关项目的资助，部分成果已经在国内外刊物和国际会议上发表。在本书撰写过程中参考了国内外大量参考文献并在书中列出并标注，但难免有疏漏之处，衷心希望各位专家学者谅解。

由于本书研究内容涉及多学科且都处于不断发展之中，加之作者知识面和学术水平有限，以及研究条件和研究时间的局限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2013年12月

目 录

第 1 章 绪论 …… 1

1.1 研究背景 …… 1

1.1.1 水电开发引发的激烈争论 …… 1

1.1.2 南水北调西线工程引发的质疑 …… 3

1.2 研究进展 …… 4

1.2.1 遥感和 GIS 技术发展概述 …… 4

1.2.2 水电开发生态环境影响及其评价 …… 6

1.2.3 遥感和 GIS 技术在生态环境影响预测评价中的应用进展 …… 8

1.2.4 遥感和 GIS 技术在生态环境影响回顾评价中的应用进展 …… 10

1.3 本书结构 …… 11

第 2 章 空间分析基础 …… 13

2.1 多源空间数据集成及其方法 …… 13

2.1.1 多源空间数据集成在地学空间分析中的重要性 …… 13

2.1.2 空间数据多源化的产生和表现形式 …… 13

2.1.3 多源空间数据集成的实现方法 …… 15

2.2 高精度 DEM 构建 …… 23

2.2.1 DEM 概述 …… 23

2.2.2 最优 DEM 生产方法的实验 …… 25

2.2.3 最佳 DEM 分辨率的确定 …… 28

第 3 章 典型研究区选取及分析 …… 34

3.1 黄河上游某拟建水电站研究区空间数据集成 …… 34

3.1.1 水电站概况 …… 34

3.1.2 研究区基础地理、地质数据集成 …… 34

3.1.3 研究区遥感影像集成 …… 39

3.2 雅砻江二滩水电站研究区空间数据集成 …… 51

3.2.1 雅砻江二滩水电站概况 …… 51

3.2.2 二滩水电站基础地理数据集成 …… 52

3.2.3 二滩水电站遥感影像集成 …… 54

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第 4 章　水电开发生态环境影响预测评价 …… 56
4.1　地质灾害危险性预测与评价 …… 56
4.1.1　地质灾害危险性预测评价的重要意义 …… 56
4.1.2　地质灾害危险性预测评价模型与方法 …… 56
4.1.3　地质灾害危险性预测评价的实施过程 …… 57
4.1.4　地质灾害危险性预测评价的结果分析 …… 66
4.2　水库淹没影响预测与评价 …… 67
4.2.1　水库淹没影响概述 …… 67
4.2.2　土地利用景观分类与制图 …… 68
4.2.3　土地利用景观空间分异规律分析 …… 70
4.2.4　水库淹没对景观格局的影响 …… 73
4.2.5　水库淹没的生态环境效应分析 …… 77
4.2.6　基于 VR-GIS 的水库淹没模拟分析 …… 78
4.3　水土流失调查与影响预测评价 …… 80
4.3.1　水库淤积与水土流失 …… 80
4.3.2　水土流失测算模型的选择与影响因子确定 …… 81
4.3.3　水土流失现状与生态效应分析 …… 89

第 5 章　水电开发生态环境影响回顾评价 …… 91
5.1　二滩水电站库区地质环境调查与评价 …… 91
5.1.1　泄洪雾化 …… 91
5.1.2　施工迹地恢复 …… 92
5.1.3　水质污染问题 …… 92
5.1.4　水库淤积问题 …… 92
5.1.5　地质灾害问题 …… 93
5.1.6　地质环境考查后的建议 …… 98
5.2　二滩水电站库区移民调查与评价 …… 99
5.2.1　二滩库区(攀枝花市)移民概况 …… 99
5.2.2　二滩库区(攀枝花市)移民现状调查 …… 99
5.2.3　二滩库区移民工作建议 …… 102
5.3　工程建成前后土地利用变化分析 …… 102
5.3.1　基于遥感影像的多时相土地利用专题信息提取 …… 102
5.3.2　基于景观生态学理论的土地利用景观格局动态变化分析 …… 104
5.4　工程建成前后土水土流失动态分析 …… 113
5.4.1　水土流失测算模型的选取 …… 113
5.4.2　水土流失评价因子信息提取 …… 113
5.4.3　水土流失量估算与动态特征分析 …… 118
5.5　工程建成前后生态环境质量变化综合评价 …… 122

5.5.1 基于GIS的图形叠置法的基本原理和实施步骤 …… 122
5.5.2 评价因子获取与分级量化 …… 123
5.5.3 评价因子权重确定 …… 125
5.5.4 生态环境质量动态变化分析 …… 126

主要参考文献 …… 131
索引 …… 139
彩色图版 …… 141

第1章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 水电开发引发的激烈争论

2003年以来，是否对怒江进行十三级水电开发引起了全国性争议(刘畅等，2004；刘江宜，2006；冯建昆等，2006)。2003年8月14日，由云南省怒江州完成的《怒江中下游流域水电规划报告》通过国家发展和改革委员会(国家发改委)评审。该报告规划了以松塔和马吉为龙头水库的两库十三级开发方案，全梯级总装机容量2132万千瓦，年发电量1029.6亿千瓦时。这意味着从源头到流出中国尚无一处工程的怒江，也被列入水电开发规划中。一石激起千层浪，怒江的命运引起广泛关注。

2003年9月3日，国家环保总局召开《怒江流域水电开发活动环境保护问题》专家座谈会，包括5位院士在内，共27位专家指出：怒江是我国仅存的两条未被大规模开发的大河之一，为我国乃至世界不可多得的物种基因库和世界自然遗产地，潜在的生态、科学和经济价值不可估量，为使怒江流域真正实现可持续发展，给子孙后代留下一条原始生态环境相对完整的河流，不宜在此开发水电。自此，反对和支持怒江水电开发的争论全面展开。从2003年8月国家发改委召开“规划”审查会以来，国家环保总局和云南环保局先后组织了4次专家座谈会。座谈会上，北京和云南的专家各执一词，针锋相对展开激辩，没有达成一致意见。反对派主要有两个核心论点：一是水电开发会破坏生态资源；二是开发水电不是怒江州脱贫的唯一选择，可以考虑保留好生态环境，开发旅游产业。支持派也有两个基本观点：一方面，怒江已不是什么原生态河流，保存价值并不大，水电开发生态环境影响较小，还能促进生态环境保护；另一方面，对怒江州来说，解决几十万人的脱贫问题，水电开发是最佳选择。2004年2月，温家宝总理做出批示“对这类引起社会高度关注，且环保方面有不同意见的大型水电工程应慎重研究，科学决策”，并退回了有关部门上报的《怒江十三级水电开发规划》。至此，引起社会广泛关注的怒江水坝论争，以国家领导人的决断暂告一段落。

而另一个水坝的规划也于2003年聚焦了各界的目光，这就是关于在都江堰前修建杨柳湖水库大坝的争论(刘畅等，2004)。四川都江堰是“世界上历史最悠久、设计最科学、保存最完整、至今发挥作用最好、以无坝引水为特征的大型水利生态工程”，2000年1月被联合国教科文组织列入世界文化遗产。2000年，在离都江堰6km的地方立项动工修

建了紫坪铺水利枢纽。2003年，紫坪铺的配套工程杨柳湖水坝将坝址选在距都江堰仅1310m的地方，引起强烈反响。专家们谈到要在这个举世闻名的、以无坝为特征的水利工程上游兴修大坝时，大有“无颜见先人贤哲”的痛心疾首。

然而，两个相同实质的争论，结局却截然不同。在各界的反对下，四川从长远利益考虑，宣布停止“杨柳湖工程”，这个结果使世界文化遗产得到了保护。

2004年11月中旬，国家发改委、国家环保总局在北京联合召开“怒江中下游水电规划环评审查会”。审查会有14个单位共78位代表，专家组包括4位院士共15人组成，中国工程院副院长沈国舫院士任组长。这份环境影响评价报告(分别由中科院生态环境影响中心、水生物所、动物所、植物所和遥感地面站编制)对怒江水能资源开发的总体认识是：怒江水能资源丰富，可开发容量居全国第六位，且开发条件较好，开发怒江水电资源是我国能源发展战略的需要，并符合国家优先开发国际河流的国策，是工程所在地区和受电地区社会经济发展的需要，有利于促进边疆少数民族地区尽快脱贫致富，有利于怒江中下游地区水资源综合利用，也有利于保障国家的淡水资源。近期开发方案保留天然河道约600km，占规划河道的80%，对环境影响很小。设计部门还征求了西藏方面的意见，西藏自治区政府表示，怒江水电开发不仅是云南的需要，也是西藏的需要。历时1年多的怒江“争”坝有了最终结果。在修改完善报告书并完成审查后，国家发改委正式批复怒江梯级电站的开发规划。

上述两场争论表明，我国科学技术界正开始对修建水坝和水电站进行反思。然而，客观的国情决定了大规模的水电开发将是大势所趋(王红卫，2005)。中国是一个能源并不富集的国家，常规能源资源占世界总量的10.7%，只有水能居世界第一位，其余能源如煤炭居世界第三位，石油居世界第十二位，天然气居世界第二十二位，但由于人口庞大，除人均水能可开发量接近世界平均水准外，其余皆低于世界平均水准。目前，中国能源需求急剧增长。经过一百多年的开采，由于煤炭资源生产增长潜力有限，开始出现“煤荒”。同时中国面临的石油资源短缺更是危急，一则石油储量远不及煤炭丰富；二则海外供给市场不稳，争夺日趋激烈，给中国能源供给带来严重影响。中国核能技术还不成熟，加之安全和原料等方面的因素，大规模投产的可能性不大，因此造成了近年来波及全国的“煤荒”、“油荒”和“电荒”。各种能源的短缺，尤其是电能的短缺，对整个中国产生了十分不利的影响。水能是中国现有能源中唯一可以大规模开发的可再生能源。中国水能理论蕴藏量6.89亿千瓦，技术可开发量4.93亿千瓦，最终可开发量3.95亿千瓦，均居世界第一位。水电资源总量在中国能源组成中也仅次于煤炭居第二位。中国的能源结构和发展趋势决定了15~20年内需要大力发展水电(高季章，2004)。目前国家规划的全国十三大水电基地(装机规模依次为金沙江、长江上游、雅砻江、澜沧江、大渡河、怒江、黄河上游、闽浙赣、西江上游、东北、乌江、湘西和黄河中游水电基地)共计划装机2.53亿千瓦，占全国最终可开发量的64%(王红卫，2005)。

从“十五”计划的“积极发展水电”到“十一五”规划的“在保护生态基础上有序开发水电”，措辞之间的变化其实与近年学术界、民间关于水电开发争论密切相关，也反映出国家发展战略指导思想的巨大转变。如今，水电开发建设面临的主要问题已由过去的技术和资金制约转为移民和环保制约(高季章，2004；赵小平，2007)。在水电开发中

切实保护生态环境，通过生态环境保护促进水电建设健康发展，特别是以科学发展观为指导，建立与生态环境和谐友好的水电工程建设体系，将是实现水电开发与生态环境保护协调发展的正确途径。

1.1.2 南水北调西线工程引发的质疑

2006年9月，以四川省社科院林凌教授为代表的社会学家、以中国地质学资深院士刘宝珺为代表的自然科学家自筹经费、自发编纂的《南水北调西线工程备忘录》的出版，使得民间对南水北调西线工程的质疑和反对达到了公开化和白热化(林凌等，2006)。《南水北调西线工程备忘录》出版以后，曾有媒体把四川学者们的行为称为“保水运动”。而在此之前的2004年和2005年，由于四川省社科院研究员鲁家果两度上书温家宝总理，加之其他民间人士的强烈反对，使得早在2001年通过并计划在2010年开工的南水北调西线工程被推迟。

南水北调是我国继三峡工程之后启动的又一项世界级巨大水利工程。主要目标是根据科学配置我国水资源的原则，将较为丰富的长江水，分东线、中线、西线调往严重缺水的华北和西北地区。西线工程位于四川省甘孜、阿坝两个藏族自治州境内，目标是要将境内大渡河、雅砻江、金沙江上游通天河之水调往黄河上游。调水区的主要特点是：地处青藏高原东南部，地质构造呈断裂活动性和地震活动性；由于全球气候变暖，冰川后退，河源流量减少，调水量将严重不足；地形北高南低，除建高坝蓄水、修渠输水外，还需开凿长达数百公里的隧洞把巴颜喀拉山打通，工程艰巨；调水区海拔3500m以上，生态环境脆弱，工程将淹没大量草原、农田，在江河下游形成干热河谷，造成新的环境破坏；地处少数民族藏族聚居区，居民笃信宗教，崇拜神山、圣水、喇嘛寺庙，有独特的文化习俗，移民、寺庙搬迁将遇到很大困难；调水区经济及社会发展十分落后，2004年人均GDP 3000多元。调水后，在经济、社会、环境等方面都需要有补偿措施，否则将出现新的贫困(林凌等，2006)。

四川的自然科学家和社会科学家以对国家、对社会高度负责的精神，表达了对西线工程的疑虑和隐忧，从多学科、多角度对上述问题进行了研究，形成了《南水北调西线工程备忘录》一书。该书共收入论文31篇，主要涉及西线工程的地质问题、调水量不足的问题、对青藏高原生态环境破坏的问题、对西电东送工程发电影响的问题、对调水区居民经济、社会、生态补偿的问题，对藏区宗教、文化、文物保护的问题，投资和运作模式问题，替代方案问题。其中，地质灾害是最大风险。该书作者多是长期工作和生活在四川的自然科学家、工程技术专家、经济学家、人文科学家。他们长期从事青藏高原的研究，最了解调水区地质构造、生态环境、人文社会等情况。大家的共同心愿是想通过科学缜密的研究和思考，使南水北调这一旷世工程能够万无一失。而西线工程是在很多基础现状和问题还没有调查清楚的情况下，就匆忙决策。

上述的水电开发与南水北调西线工程的争论和质疑，带来以下启示：

(1)争论反映了社会的进步，反映人们对生态环境的重视。

(2)争论的实质是可持续发展问题，是经济发展与生态环境保护的问题，无论是怒江

水电开发、都江堰杨柳湖水库项目，还是南水北调西线工程，争论的焦点都是工程对生态环境的影响。随着科学发展观的提出，坚持又好又快的发展理念，必将更加重视生态环境问题。

(3)工程与生态环境之间的矛盾客观存在。只要建坝，或多或少都会对生态环境造成影响和破坏，如何科学正确地处理工程与生态环境的矛盾，实现效益最大化，将是工程决策者和建设者面临的新挑战。要想很好地解决目前存在的许多实际问题，有赖于先进技术的使用，使决策更加合理，具有科学依据。

1.2 研究进展

1.2.1 遥感和GIS技术发展概述

1. 遥感技术发展趋势

遥感技术(remote sensing，RS)是指从不同高度的遥感平台(platform)，使用不同遥感传感器(sensor)接收来自地物的电磁波信息，再将其传输到地面并加以分析处理，从而对不同地物及其特征进行远距离探测与识别的综合技术(邓良基，2002)。

遥感技术具有强大的对地观测能力，能够进行大面积同步观测来获取常规观测手段无法获取的地面信息，具有经济性、宏观性、时效性、综合性、动态反演等优势(梅安新等，2001)。遥感技术广泛地应用到资源调查与监测、环境监测与评价、自然灾害监测与预防、区域分析与建设规划、农业、林业、旅游、考古、地质、测绘、军事国防等领域。

现代遥感起源于20世纪60年代。经过近50年的发展，遥感技术取得了很大进步，尤其是近10年的发展更加迅猛。用一句话概括现代遥感技术的发展现状和趋势，即“遥感平台越来越多、数据源越来越丰富、分辨率越来越高”。

从早期航空遥感飞机、NOAA卫星、陆地资源卫星(LandSat)到后来的SPOT(system probatoired observation dela tarre，SPOT)卫星，再到现在的中巴地球资源卫星(CBERS)、对地观测系列(earth observation system，EOS)卫星、IKONOS卫星、Quick Bird卫星、印度资源卫星(IRS)、日本先进陆地观测卫星(advanced land observation satellite，ALOS)等。遥感平台越来越多，遥感影像来源越来越丰富。如EOS卫星上装有ASTER、MODIS等传感器。ASTER数据有15m、30m和90m不同空间分辨率的数据15个波段，还有由3N和3B波段构成的立体像对，MODIS具有从250m、500m到1000m不等的36个波段。日本2006年1月24日发射的ALOS卫星载有三个传感器全色立体测绘仪(panchromatic remote-sensing instrument for stereo mapping，PRISM)，高性能可见光与近红外辐射计－2(advanced visible and near infrared radiometer type-2，AVNIR-2)，相控阵型L波段合成孔径雷达(phased array type L-band synthetic aperture radar，PALSAR)，能同时获取全色立体像对、多光谱及雷达数据。

遥感影像的分辨率包括空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

就空间分辨率而言，早期的 LandSat(美国 NASA 的陆地卫星计划) MSS(机载传感器)为 79m、TM(主题地图)为 30m，到 ETM+(增强型专题制图仪)时全色波段提高到 15m。2002 年 5 月发射的 SPOT5 的全色分辨率为 2.5m、多光谱分辨率为 10m。我国台湾福卫 2 号卫星(亦作福尔摩沙卫星二号)于 2004 年 5 月 20 日发射成功，可以获取 2m 全色、8m 多光谱影像。美国空间成像公司于 1999 年 9 月 24 日发射升空的世界第一颗高分辨率商用卫星的 IKONOS 卫星全色影像分辨率达到 1m、多光谱达到 4m。2001 年 10 月由美国 Digital Globe 公司发射的 Quick Bird 卫星，是世界上最早能提供亚米级分辨率的商业卫星，其全色影像分辨率达到 61cm(星下点)，多光谱影像达到 2.44m(星下点)。2007 年 9 月 18 日，美国 Digital Globe 公司成功发射 WorldView-1，其提供的全色数据空间分辨率达到了 50cm(星下点)，而该公司 2009 年 10 月 6 日发射的 WorldView-2，可提供 46cm 全色影像和 1.84m 多光谱影像。Digital Globe 公司的 Quick Bird、WorldView-1 和 WorldView-2 组成的高分辨率的对地观测“星群”，形成对地持续快速观测。运行在地球上空的不同遥感卫星，正源源不断地获取地表不同空间分辨率的影像数据。

就光谱分辨率而言，波段划分越来越细，光谱分辨率越来越高，出现纳米级的波谱分辨率，在可见光范围内可分出几十个等级。如 ASTER 有 15 个波段，中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer，MODIS)有 36 个波段。

就时间分辨率而言，影像重复时间可达到小时级。MODIS 可以在 24 小时内获取到四次影像；而高空间分辨率卫星的重访周期，由 Quick Bird 的 2.4 天缩短到了 WorldView-1 的 1.7 天；而 WorldView-2 的重访周期将缩短到 1.1 天。卫星重访周期缩短，表明获取数据能力增强，对实现地表快速动态监测非常有利。

2. GIS 技术发展趋势

地理信息系统(geographic information system，GIS)是计算机科学、地理学、测量学、地图学、数据库等多门学科综合的技术，而且其发展具有与时俱进的特点，因此要给出准确定义是困难的。目前，它的含义已从最初的“系统”扩展为“系统、工具箱、产业、学科”四位一体(毛政元等，2003)。虽然 GIS 是一门涉及多学科的新兴边缘学科，但其核心仍然是计算机科学，基本技术是地图可视化、数据库以及空间分析等。本书采用美国联邦数字地图协调委员会对 GIS 的定义(黄杏元等，2001)，即 GIS 是由计算机硬件、软件和不同方法组成的系统，该系统支持空间数据的采集、管理、处理分析、建模和显示，以便解决复杂的规划和管理问题。

GIS 始于 20 世纪 60 年代的加拿大与美国，尔后各国相继投入了大量的研究工作。自 20 世纪 80 年代末以来，特别是随着计算机技术的飞速发展，地理信息的处理、分析手段日趋成熟，GIS 技术得到了飞速发展。尤其是 1998 年 1 月 31 日，在加利福尼亚科学中心召开的“Open GIS Consortium”年会上，美国前副总统戈尔在发表题为“数字地球：二十一世纪认识地球的方式”(The Digital Earth：Understanding our planet in the 21st Century)的讲演中提出了数字地球的概念后，GIS 作为数字地球建设的支撑技术，得到了更广泛地应用、更快速地发展。近年来，GIS 出现了以下发展趋势(陆守一，2004)：①与遥感、全球定位系统(global positioning system，GPS)集成，即“3S”集成

技术，构成了建设数字地球的支撑技术；②基于面向对象技术和组件式软件，构建组件式GIS(COMGIS)；③基于Internet技术构建网络GIS(WEBGIS)；④基于网格计算技术，构建网格GIS(GridGIS)；⑤基于虚拟现实技术，构建虚拟GIS(Virtual GIS)；⑥GIS应用全面走向社会化，GIS在各行各业中发挥着重要作用。

如今，GIS已不再局限于早期的实验室应用，已被广泛地应用于环境、资源、石油、电力、土地、交通、公安、急救、航空、市政管理、城市规划、经济咨询、灾害损失预测、投资评价、政府管理和军事等与地理坐标相关的几乎所有领域。GIS作为现代空间信息技术的核心已经成为各种工程决策的重要支撑手段。

遥感与GIS作为地学分析的重要工具和手段，二者关系密不可分。遥感是GIS的重要信息源和数据更新手段，遥感的蓬勃发展促进了GIS的发展和产业化，同时GIS已经成为遥感影像处理和分析的重要技术手段(宁书年等，1995)。遥感与GIS的完美结合，可用于水电开发工程的许多方面，发挥各自的特点和优势，极大地拓宽了研究思路和研究方法。

1.2.2 水电开发生态环境影响及其评价

1949年以来，我国已经建成大、中、小型水库8600多座，这些水库在防洪、灌溉、发电、航运、养殖、供水及旅游等方面发挥了巨大效益，但有些水库也给环境带来了一些不利影响。因此，在水库规划与建设过程中，既要看到兴利除害的一面，也要考虑到对生态环境不利影响的一面。水库工程建设必须做到经济合理、技术先进，同时也必须考虑对生态环境的不利影响，采取积极措施防止或者减轻这种影响(李纪人等，2003)，进行生态环境影响评价就是重要措施之一。《水电工程预可行性研究报告编制规程(DL/T 5206-2005)》明确规定在水电工程预可研阶段必须进行生态环境影响评价，而由国家环保总局和水利部于2003年7月1日颁布实施的《环境影响评价技术导则. 水利水电工程(HJT88-2003)》做出了更为详细的规定，并将遥感与GIS技术的应用要求提升到很高地位(朱党生等，2006)。

如今，水电开发面临的主要问题已由过去的技术和资金制约转为移民和环保制约(高季章，2004)。目前，水利水电工程生态环境影响评价不仅是工程可研、立项阶段的必要工作，而且贯穿于工程建设的全过程。生态环境影响评价，是提高建设项目论证水平和决策科学化的重要步骤，对提高建设项目的经济效益、社会效益和环境效益都有重要意义。

1. 主要概念

借助叶守泽(1995)、朱党生(2006)等对环境影响评价等概念的定义，给出本书生态环境影响评价等概念的定义。

①生态环境影响评价，指建设项目区域开发及规划实施后，对可能造成的影响进行预测和估计，具体又分为生态环境现状评价、生态环境影响预测评价和生态环境影响回顾评价。

②生态环境现状评价，指依据一定的标准和方法，对一个区域内人类活动造成的生态环境质量变化进行评价，以便了解目前工程的环境状况，针对不利影响提出环保措施，为生态环境影响评价和区域环境提供科学依据。

③环境影响预测评价，指在对生态环境质量过去和现在调查的基础上，运用有关科学方法和手段，对工程兴建可能对生态环境造成的影响做出预测和评价，使有利影响得到合理利用，不利影响得到减免或改善，为工程方案论证和领导部门提供科学决策依据。生态环境影响预测评价是工程可行性论证的重要组成部分。如举世闻名的三峡水利枢纽工程就进行了全方位、深入地生态环境影响预测评价(陈国阶等，1993；长江水利委员会，1997；长江流域水资源保护局，2000)。

④生态环境影响回顾评价，指对工程建设项目运行一段时间后的生态环境影响进行再评价，以便了解工程兴建后实际的生态环境变化情况、生态环境影响的范围和深度，针对实际出现的不利情况，提出改善措施，保护生态环境质量，并为以后新建工程的生态环境影响评价提供参考依据。而今，水电工程生态环境影响回顾评价已进行较多，如三门峡水库、丹江口水利枢纽、新安江电站、狮子滩电站和漫湾水电站等(叶守泽，1995；张荣，2001)。

2. 水电开发生态环境的影响

水电开发生态环境影响主要包括两个方面，即有利的一面(即生态环境效益)和不利的一面。

水电开发的生态环境效益主要体现在以下六个方面(刘兰芬，2002)：①水电梯级开发可提高水资源的利用率，协调水资源综合利用之间的矛盾，获得梯级效益。②水电是清洁能源，不排放污染物，减少环境污染。③具有抵御自然水文灾害的功能。④水电站水库人工湿地作用，可提高局地生物多样性价值，可改善局地小气候条件。⑤水电站水库在功能上可增加景观美学和旅游价值。⑥水库的供水、灌溉功能可以改善生态环境。

水电开发对生态环境的不利影响主要反映在水库淹没与移民、水土流失、工程施工、水文情势、地质环境、水生生物方面(罗小勇，2004)。

①水库淹没与移民：水库的修建一方面淹没了大量土地，破坏了土地上原有的植被，从根本上改变了土地的自然状态；另一方面淹没了一些耕地和村庄，导致了移民问题。移民搬迁及安置，需要建立新的村镇，做好基本建设工作。而新开土地必然要破坏植被，甚至造成水土流失，改变局部自然条件，破坏生态平衡。

②水土流失：主要分布在施工区和移民安置区。施工区范围小，但分布集中，造成水土流失的原因主要有采石施工、取土施工和施工弃碴。这些活动大面积扰动地表，破坏原有的地貌植被，极易造成水土流失。移民安置区范围大，村镇的新建、企业的搬迁建立、基础设施的建设会造成地表植被大面积受损，存在大量的弃土弃碴，很容易引起严重的水土流失。

③工程施工：工程施工期的生产废水、生活污水向河里任意排放，对施工段的河流水质造成局部污染，产生的废气对工地的大气环境造成一定污染，机械运作及爆破声也会给当地造成噪声污染。施工产生的弃碴破坏了原地植被覆盖，扰动了地表，对当地的

生态环境造成了影响。

④水文情势：水电梯级开发对河段水文情势产生的影响，主要表现在河段径流特征、泥沙和水资源的利用变化(罗小勇，2004；刘守杰，2003)。梯级大坝阻隔了河道，使天然河流原有的径流过程发生了显著变化。蓄水初期，坝下游河段水位明显降低、流量减少；坝上游水位升高形成水库群，库区水深加大、流速减慢，河道的原有形态发生了改变；水库具有拦沙作用，使下游河段的含沙量发生较大变化，在相当长的年限内有效减少水库的入库泥沙量，延缓泥沙淤积进程，利于发挥水电工程的综合利用效益。另外，拦沙作用使得下泻水量中含沙量减少，对梯级水库下游河床进行冲刷，使得下游河段在相同流量下水位降低。随着河段冲刷趋于平衡，坝下游河段水位流量关系趋于稳定。

⑤地质环境：若水库库区内新构造运动强烈、断裂发育，水库蓄水就有可能诱发地震，导致灾害的发生。水库蓄水后，因其水文地质条件发生了改变，也可能在岸坡稳定性差的库段发生滑坡、崩塌、泥石流等工程地质灾害。

⑥水生生物：水库蓄水使部分陆地变为水域，浅水变成深水，流动水变成相对静止的水，电站运行及汛期泄水等(刘兰芬，2002)，改变了水生生物的生活条件及生活环境，进而对它们造成了很大的影响。

中国水利水电工程生态环境影响评价工作开始于20世纪80年代。1981年出台了《加强水电规划工作的几点意见》，指出在水电规划阶段开展环境和生态平衡影响的调查研究工作。1982年水利部颁发了《关于水利工程环境影响评价的若干规定》(草案)。1988年水利部和能源部颁发了《水利水电工程环境影响评价规范》(试行)，1992年颁发了《江河流域规划环境影响评价规范》，首次对评价范围、内容、方法和深度等都进行了明确规定。1995年电力工业部颁布了《河流水电规划编制规程》，要求对规划河流环境进行现状调查评价，并提出保护要求；对拟定的各梯级组合方案进行环境影响总体评价，分析各方案的差异，提出比选意见；对选定的河流梯级开发方案和拟建的工程可能造成的环境影响做出简要说明，并针对不利影响提出对策、措施和建议。2003年颁布了《中华人民共和国环境影响评价法》，增补了有关建设项目回顾性评价和跟踪监测的规定。

1.2.3 遥感和GIS技术在生态环境影响预测评价中的应用进展

20世纪80年代初，我国利用遥感技术对二滩电站地区的区域稳定性、库区滑坡和泥石流分布及淹没损失进行了调查，为二滩水电站的可行性论证提供了基础。20世纪80年代中后期，又先后在红水河龙滩、黄河龙羊滩、金沙江下游溪落渡、白鹤滩及乌东德电站、长江三峡水电站进行遥感调查，进行环境影响评价(王治华，1995)。

李春晖(2003)结合工程设计规划，利用遥感和GIS技术计算黄河拉西瓦水电站建设前后景观指数，并分析其变化趋势。结果表明，水电站建成前后，景观格局变化不大，区域生态系统的功能和性质不会改变。

郭乔羽(2003)将遥感和GIS技术应用到拉西瓦水电站生态影响分析中，在阐述该电站区域生态现状的基础上，度量了其所在区域的植物生产力和生物量，并以工程的初步设计为依据，重点分析了工程可能对区域植物生产力和植物生物量、景观格局和生物多

样性等产生的影响，并提出了相应的控制对策。结果表明，在采取一定的措施后，拉西瓦水电工程建设对区域生态产生的影响是可以接受的。

潘树林(2004)阐明了在GIS软件(MapGIS6.2)数字高程模型子系统下，根据不同情况制作坡度图的方式，即把栅格数据扫描并转变为矢量数据后，转为GRD格网数据生成坡度图，把外部高程数据直接转为MapGIS明码格式*.DET数据而生成坡度图的制作过程。将制作的坡度图作为锦屏一级水电站环境影响评价的基础图形数据。

何政伟等(2005、2006)将SPOT 2.5m全色影像与EMT+影像结合，进行了黄河班多一级水电站、新疆大石峡水电站库区遥感地质解译研究，尤其重点进行了地质构造遥感解译和地质灾害调查，为工程前期工作提供了客观基础资料。

廖迎芸(2006)利用遥感和GIS技术，从景观生态学角度出发，对澜沧江左岸的一级支流—威远江水电站景观空间格局进行分析，指出该工程建设将导致区域景观多样性降低，优势度升高，破碎度和分离度增加。

罗鹏(2007)以龙滩库区为研究对象，利用Quick Bird影像对库区土地利用类型进行人工区划和判读，建立库区土地利用类型数据库，并在此基础之上建立基于ArcGIS地理处理框架的空间数据分析模型，通过对库区空间数据的建模，实现统一空间数据库的建立与管理，对库区生态敏感性和生态区划的方法进行了深入研究，为库区的生态保护决策提供了切实可行的依据。

刘纪根(2007)选取乌东德水电站坝区一典型区为试验区，以通用土壤流失方程(universal soil loss equation，USLE)为评价模型，运用遥感和GIS对各指标因子赋值，对试验区土壤侵蚀量进行估算与分析。结果表明，试验区土壤侵蚀严重，泥沙来自侵蚀强烈区。

刘纪根(2008)以乌东德水电站坝区典型区域为例，详细介绍了土地利用现状及植被覆盖度的解译、坡度因子的提取、水土流失等级的划分及各专题数据库的生成，分析了试验区土地利用、植被覆盖度、坡度及土壤侵蚀强度的分布状况，为金沙江水库区域环境影响评价提供依据和参考。

李朝霞(2009)在构建水电开发对生态环境影响评价指标的基础上，采用两两比较法确定主要影响因子，并对主要影响因子建立了时序多级模糊综合评价模型，该模型首先在对单项工程单环境因素模糊综合评价的基础上，再对某小区域内总工程影响进行模糊综合评价，最后对其总体环境影响进行模糊综合评价，是在进行三层评价的基础上建立的模糊综合评价模型；将该模型应用于西藏尼洋河流域梯级水电开发评价。

闫业庆(2010)以白龙江流域2000年的遥感影像数据和土地利用二级分类数据为数据源，辅助以2007年实地调查GPS地面点和其他数据资料，利用ERDAS软件对白龙江干流沙川坝—苗家坝河段的遥感影像图和土地利用图进行解译校正，在ARCGIS系统软件的支持下，计算并分析了研究区生态环境质量指数及景观空间格局，得到白龙江水电梯级开发对生态环境的影响。结论为现状条件下生态环境属于良的范畴(EQI=55.82)，规划的实施将提高景观破碎度，使土地利用趋于多样化、均匀化。

陈敏(2011)以水能梯级开发为背景，从其对生态系统的影响与驱动本质出发，揭示了水能梯级开发对生态因子的影响特征与规律，构建了水能梯级开发生态影响评价指标

框架，建立了水能梯级开发生态影响评价阈值。在此基础上，以雅砻江下游梯级开发为评估对象，进行了生态影响评价的综合示范应用。

1.2.4 遥感和GIS技术在生态环境影响回顾评价中的应用进展

薛联青(2000，2001)提出了应用多时相遥感动态分析方法对流域梯级开发后全流域生态环境、社会环境及经济环境等多种环境因子的变化情况进行调查分析，应用GIS技术对流域水电梯级开发的环境影响进行动态评价，对流域的可持续发展具有重要意义。

甘淑(2002)选取澜沧江上已建成的第一座大型水电站——漫湾电站为案例，通过对该电站库区及周边遥感图像的技术处理，获得对库区周边山地植被覆盖状况的宏观、快速监测。研究表明，漫湾建库后，由于水位抬高，库区河道水域面积扩大，水流减缓，河谷区域植被声场所依赖的水、湿条件的改善，给库区周边植被的发展带来较好的影响；库区水域周边地表覆盖结构状况，以林地覆盖约50%占绝对优势，灌草丛覆盖次之，农地覆盖其次。遥感技术的应用解决了常规方法在澜沧江梯级电站群峡谷山地植被覆盖调查中客观存在的困难，弥补了在该区开展的有关大坝安全研究中对周边库区周边地表环境生态安全研究上的不足，为澜沧江上已建、在建和拟建的其他多个大型水利水电工程环境监测提供案例研究。

郭乔羽(2005)将黄河三门峡水利枢纽工程作为研究案例，利用“3S”技术分析该工程在建设运行40多年来，区域生态系统结构和功能的变化，对该工程所产生的生态环境影响进行了评估。结果表明，降水是限制区域植被净第一生产力值的瓶颈因素，受水库蓄水后土壤盐碱化、沼泽化影响，汾河、洛河及渭河与黄河干流交汇处是气候生产潜力实现率较低的区域；三门峡水库的建成蓄水对龙门至三门峡段以及三门峡以下黄河干流的水生态环境产生了明显影响，突出表现在径流量的年内分配趋平；水库蓄水后，库区泥沙淤积严重，河道形态改变；水库建成蓄水后，水体、湿地、滩涂面积显著增加，水流变缓泥沙沉积，栖息环境的改善使陆生鸟类的种类和数量明显增加，藻类、浮游动物等也有显著增加，但洄游性鱼类基本绝迹。同时，水生态环境的整体恶化使得鱼类种类和数量明显下降。三门峡水库枢纽工程的修建对于减缓区域致灾因子起到了积极作用。

赵峰(2005)利用1990年到2000年遥感影像资料，分析尼尔基水利枢纽评价区10年间的土地利用变化，找出社会驱动因子对环境的影响，并进一步准确分析了工程对环境的影响。

白世彪(2005)将GIS技术应用到三峡库区滑坡灾害研究中，对滑坡和各影响因子之间的相关性进行了统计分析。研究结果为滑坡易发性评价提供基础，为指导库区滑坡灾害管理、土地利用等提供帮助。

王庆(2005)利用增强型专题制图仪(enhanced thematic mapper，ETM+)影像解译了云南楚雄青山咀水库库区及周围，在水库建设前后的土地利用类型，对比分析了工程建设前后的陆地生态环境变化。

雷平(2007)将“3S”技术与常规手段结合，编制了龙滩水电站库区土地利用现状图。可为今后的环境影响评价提供数据基础。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com