

基于GIS的坝系规划系统研究

马海宽, 史明昌, 陈胜利, 汪福学, 李团宏
(北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: 在对坝系规划设计的理论和方法进行总结分析的基础上, 提出研究利用现有的小流域基础数据, 运用“3S”前沿技术、计算机图形技术、数据库技术、虚拟现实技术以及系统工程学的基本原理, 进行基于GIS的小流域水土保持坝系规划系统研究。为我国水土保持坝系规划提供一个技术平台, 对提高水土保持沟道治理方案的设计质量和速度、节省规划时间和投资, 具有重要的理论和实践生产意义。

关键词: 坝系; 地理信息系统; 坝系规划; 三维虚拟现实

中图分类号: S157.31; TP79 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)02-0025-04

Study on Planning of Dam System Based on GIS

MA Hai-kuan, SHI Ming-chang, CHEN Sheng-li, WANG Fu-xue, LI Tuan-hong
(College of Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on analyzing the planning theories and techniques of dam system, the systematic thought of soil and water conservation dam planning system was put forward based on GIS. The research is on the basis of summarizing and analyzing some theories and methods in the process of dam system planning by using present small watershed data, and the exerting basic theory of advanced technology including “3S”, computer graphics, database, virtual reality, system engineering. It is of great academic and practical significance in improving the design quality and speed in soil and water conservation gully control project, saving time and funds, and offering a technical support for national soil and water conservation dam system planning.

Key words: dam system; GIS; planning of dam system; 3D virtual reality

淤地坝是黄土高原地区人民长期同水土流失斗争实践中探索出的一种非常有效的治理措施, 具有拦泥、蓄水、淤地、灌溉和发展经济等多种功能, 能有效的防治水土流失、改善生态环境、减少入黄泥沙、解决黄土高原地区粮食问题, 受到了社会的广泛关注。经历50多年的发展, 坝系规划在理论上已经有了较大发展, 但在应用上仍未形成一个完整的坝系规划系统, 如何规范淤地坝规划设计这是摆在小流域坝系建设面前一个急需解决的任务。近年来, 随着地理信息系统等现代科技的快速发展, 淤地坝系规划设计的数字化模拟设计逐渐成为可能, 本文主要研究基于淤地坝信息系统的建设, 开发科学、实用的淤地坝规划系统。

1 基本理论

坝系规划的基础理论是坝系相对稳定原理。坝系相对稳定的含义, 一是在一定暴雨洪水频率下, 能保证坝系工程的安全; 二是在另一暴雨洪水频率下能保证坝地农作物不受损失或少受损失; 三是沟道流域的水沙资源得到充分利用, 泥沙基本不出沟; 四是盐碱危害小、与水工建筑相适应; 五是年

均淤积厚度较薄, 后期的坝体加高维修工程量小, 群众可以承担养护^[3]。坝系的平衡或稳定, 是一个基于全流域空间之上的综合性稳定^[4]。

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)。坝系规划应用GIS以下功能: ①采集、管理、分析和输出流域地理空间信息; ②区域空间分析、多种要素综合分析和动态预测, 产生高层次的地理空间信息; ③由计算机系统支持进行空间数据管理与分析, 并由计算机程序模拟常规或专门的分析方法, 作用于空间数据, 产生所需信息, 完成统称分析工作难以完成的任务。④结合遥感对区域进行监测、模拟和评价; ⑤结合空间定位系统进行精确定位, 为规划提供准确的信息支持。

2 系统分析

2.1 可行性分析

2003年, 水利部明确提出: 到2010年, 在黄土高原建设6万座淤地坝, 到2020年, 建设16万座淤地坝。传统的手工设计费时费力, 需要投入大量的人力和时间, 往往造成规划设计周期太长, 影响坝系建设进度; 同时容易出现计算错误, 带

① 收稿日期: 2004-05-21
作者简介: 马海宽(1977-), 男, 硕士, 主要研究方向: 地理信息系统在水土保持生态环境建设中的应用。

来不必要的损失,以计算机程序实现规划和设计就可以避免这些问题。同时根据规划业务流程研究开发界面简单友好的坝系规划系统来实现坝系规划,完全可以被基层设计人员所接受,并轻松掌握系统操作。通过初步估计,利用基于GIS的坝系规划系统进行坝系规划可以节省5~10倍的规划设计时间,将收到很大的间接经济效益。

2.2 需求分析

建立科学实用的坝系规划系统关键是要对用户的需求的了解程度。基于GIS的坝系规划系统应具有以下功能:①小流域数据的输入、分析;②建坝潜力分析;③水文计算与泥沙分析;④坝系布局方案的设计与选择;⑤建设目标的确定;⑥建坝进度安排;⑦布局方案的选择与设计;⑧工程管理;⑨投资估算与效益分析;10 综合分析;以上功能中包含坝系防洪保收能力的计算、坝系相对稳定的分析、考虑建坝时序的工程规模的计算、单坝的设计等子功能。此外,要求方案规划结果和设计结果能够自动输出(自动成图、自动生成报表等);系统要求简单实用,坝系的布置采用人与计算机交互的方式,尽量避免不必要的复杂数学模型。

2.3 数据流程分析

根据坝系相对稳定的原理,基于GIS的坝系规划布置的方法流程为:结合地形图,在野外实地勘测的基础上,在沟道三维虚拟现实选出可行性坝址,系统自动计算坝控面积、坝高一库容一面积曲线、坝址横断面数据。参照临近流域建坝密度经验,初拟建坝密度用以指导方案中布坝数量。根据坝系建设经验,规划不同的可行性方案,方案中要求确定建坝位置、数量、坝的类型(骨干坝、淤地坝、拦沙坝等)以及建坝时序。各方案中根据建坝时序分别进行水文泥沙分析,坝系调洪后确定规划中各坝的高度和最大下泄流量;确定了坝高和下泄流量即进行单坝设计(包括坝体设计、溢洪道设计、放水建筑物设计等),自动生成布置图和设计图。方案中建筑物设计结束后进行方案概预算、经济分析、灵敏度分析,将结果自动按行业规范输出。最后将各方案的投资、效益、经济分析指标、灵敏度分析结果等指标列出,自动生成线状图、柱状图等,并进行非线性分析,供设计人员参考,找出经济合理的坝系规划方案。具体流程见图1所示。

3 总体设计

3.1 结构设计

坝系规划系统采用三层构架,最底层即为数据存储层,根据坝系规划需求将数据库在逻辑上分为小流域基础地理数据库、小流域水文资料数据库、规划结果数据库、设计结果数据库、投资与经济定额库。为了便于维护和调用,将基础数据处理与管理模型、流域特征分析模型、水文泥沙分析模型、库区特征分析模型、单坝设计模型、投资估算模型、效益计算与经济分析模型放在中间层。对于用户层,根据规划的工作流程开发较直观、简单、符合常规业务流程的坝系应用系统。系统构架如图2所示。

3.2 功能设计

根据坝系规划业务和用户特点,本着系统的实用性、可扩充性、操作方便性,结合“3S”技术和三维模拟仿真技术等高新技术和手段的应用,水土保持小流域坝系规划系统主要分为坝系规划功能、基础数据处理与管理(GIS模块)、水文

计算及泥沙分析的功能、流域特征分析功能、库区特征分析功能、单坝设计功能、投资预算功能、效益与经济分析功能。其中坝系规划作为主控模块,主要完成整个系统的业务逻辑以及规划内容,包括坝体布置、建坝潜力分析、方案对比管理等功能。坝系规划系统功能如图3。

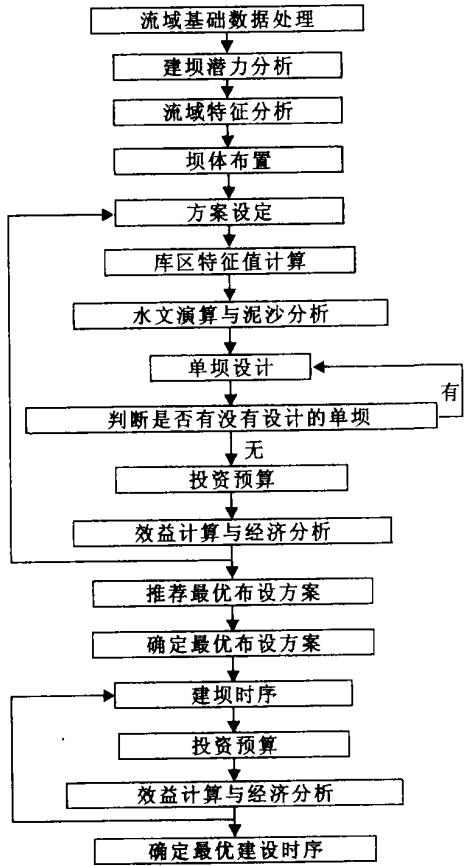


图1 坝系规划数据流程图

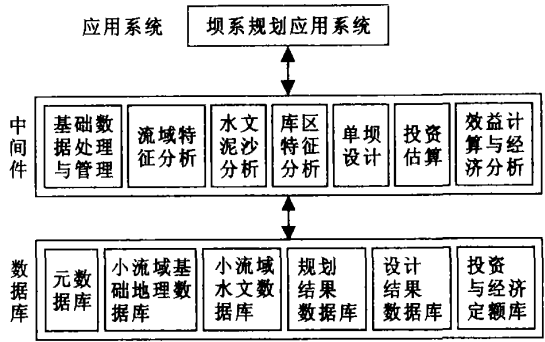


图2 小流域坝系规划系统构架图

3.2.1 坝系规划

(1)整体控制功能。通过调用其它功能模块来完成整个坝系规划,控制系统整体运作。具体流程为:首先,结合基础数据分析、流域特征分析、库区特征分析、水文泥沙分析进行沟道建坝潜力分析确定骨干坝和淤地坝的数量和配置比例,参照潜力分析结果在虚拟现实沟道中实人机交互式确定可建坝址位置;其次,在此基础上人机交互根据专家经验建立坝系布设方案,包括骨干坝、淤地坝、拦沙坝等沟道工程的位置、数量、坝系形成顺序等;第三,根据规划方案中建坝位置、

建坝顺序及坝系空间关系,通过坝系调洪演算确定建坝高度;第四,结合工程具体情况确定坝的功能,选择坝体规模、坝型、筑坝材料,进入单坝设计,结合三维地形可视化分析具体设计每座坝及其相关建筑(放水建筑物、溢洪道等);第五,根据设计结果进行方案的投资概算、效益计算以及经济分

析,计算并列出坝系方案比选指标;第六,对设计各方案统一管理,根据方案比选指标以人机交互的方式实现方案的选优。确定设计方案后,可对方案进行适当的调整,定出最终方案。

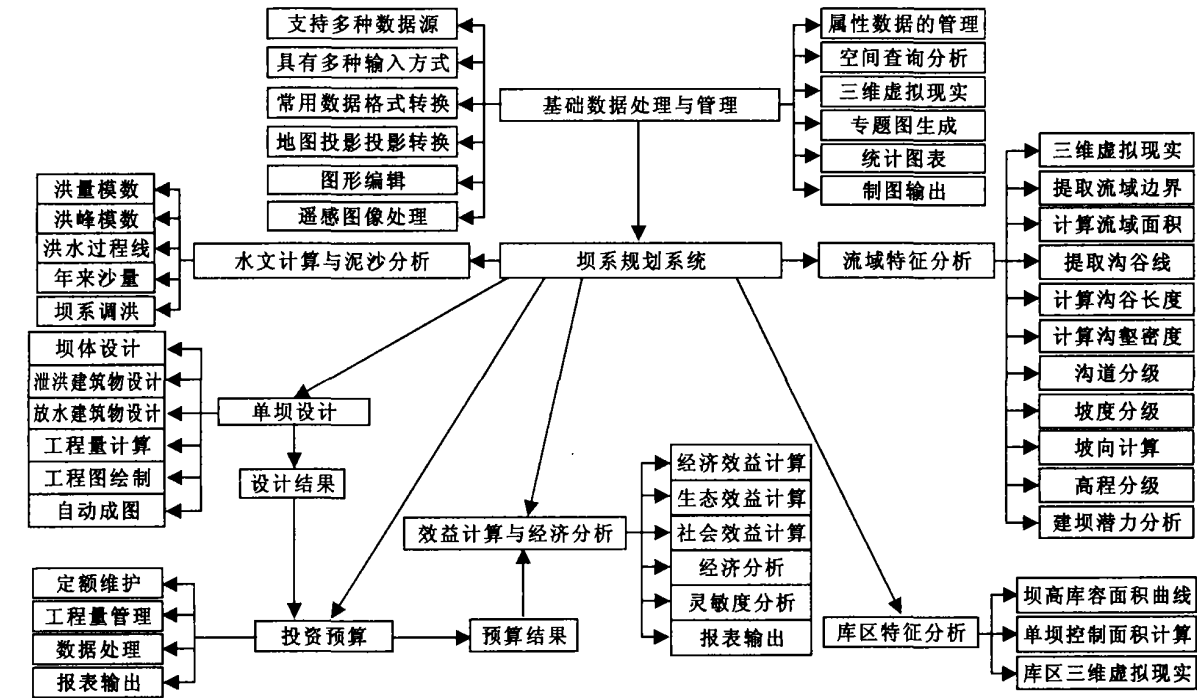


图3 坝系规划系统功能图

(2) 建坝潜力分析功能。小流域坝系规划应在所规划流域的建坝潜力分析的基础上进行,分析骨干坝和淤地坝的数量和配置比例,本模块完成骨干坝和淤地坝数量及配置比例,为坝系规划提供指导。

(3) 坝体布置功能。坝体布置是在数字地形模型(Digital Terrain Model, DTM)上实现的,一些相关的算法也是以DTM为基础的,对地形表面的描述采用较多的是不规则三角网模型(Triangulated Irregular Network, TIN)。一般水土保持工程所处的地表地形较为复杂,采用TIN模型建立工程地表DTM是合适的。由于水土流失地区沟道变化较大,利用原有地形图还需要有对DTM进行局部校正的功能,从而生成高精度DTM。坝体布置采用三维虚拟可视场景中完成,进行坝址合理性分析,在坝体设计完毕后自动计算工程量。

(4) 方案比选与管理功能。本系统方案数据采用统一管理,将不同规划方案的投入、效益、以及经济指标进行分析对比,以交互形式进行方案优选,避免内部暗箱处理,找出符合实际的最优方案。

3.2.2 基础数据处理与管理

系统的基础数据的处理与管理是在GIS软件Regionmanager中实现的,其基本功能见图3。其功能足以处理并提供坝系规划所需数据,主要完成采集、分析以及管理坝系规划所需的基础数据,比如流域地形、地貌、地块面积、坡度、坡向、利用现状、土壤类型、侵蚀强度、侵蚀模数、径流系数、岩石类型等。应用GIS存储的数据可以很灵活的解决坝系规划中变化的坝控范围内基础数据的处理、应用,同时规划的结果图也可以应用GIS软件输出。

3.2.3 水文计算与泥沙分析

利用水文模型和地学模型分析全流域或分级控制的坝系规划洪水、泥沙淤积情况,为坝系决策服务。具体功能分为水文计算、泥沙分析、调洪演算,分述如下:

(1) 水文计算。应分别计算不同频率下的洪量模数、洪峰模数和洪水过程线等内容。由于坝系应作为一个整体,其水文计算除了考虑单坝的洪水总量、洪峰流量、洪水过程线的计算,还需考虑组合洪水总量、组合洪峰流量的计算。

(2) 泥沙分析。要考虑坡面措施对径流泥沙的影响,分析时应用小流域基础数据库中各地块治理措施的拦沙率和侵蚀模数与地块面积确定径流泥沙量,为确定拦沙(泥)库容提供更合理的径流泥沙数据。

(3) 调洪演算。在水文计算及泥沙分析的基础上,根据建坝时序,考虑淤地与保收目标,进行坝系调洪演算。计算时先进行骨干坝的调洪,然后其它各坝,确定出坝系中各坝高,溢洪道、放水建筑物的相关参数以供单坝设计应用。

3.2.4 流域特征分析

流域特征分析包括流域边界、沟谷线的提取,流域面积、沟谷线长度、沟壑密度的计算,进行坡度、坡向、高程分析,并根据A·N·Strahler沟谷系统分类划分原则进行沟道分级,每级沟道都有惟一识别号,上、下级沟道,长度,能进行遍历查询。

3.2.5 库特征分析

坝系规划中要对库区的特征值进行计算以便于为以后的设计提供必要的数据故要有库区特征值分析功能。

(1) 库区三维模拟现实。能在可视三维模拟现实中由设

计人员进行坝址的选择,显示库区的淹没状况、淹没数据等情况。

(2) 单坝控制面积计算。能够根据坝址的不同动态计算出单坝控制面积,为坝控范围内水文泥沙计算提供准确的范围。

(3) 坝高——库容/面积曲线。依据库区地形确定坝高与库容/面积的关系,为调洪演算提供数据,同时能动态显示其关系并能打印出图。

3.2.6 单坝设计

包括坝体、泄洪建筑物、放水建筑物的设计及其工程量计算,并提供CAD制图功能,自动完成工程设计图的绘制。单坝设计在坝系规划系统中是很重要的一部分,其型式、材质的选取都会影响坝系工程的投资进而影响坝系规划决策方案的选择。在单坝的设计上严格按水利工程的标准进行设计,改变以往总依靠经验尺寸进行水土保持沟道工程设计的局面,为水土保持坝库设计提供更合理的设计方法。

3.2.7 投资预算

本模块主要完成坝系规划的投资概/预算,为坝系规划方案的比选提供投资指标,以及完成最终方案的投资,将预算结果按照规范的报表输出。

3.2.8 效益计算与经济分析

效益计算主要考虑生态效益(根据水土保持实际主要考虑拦沙/泥效益和防洪效益)、经济效益,社会效益在实际工作中定性描述较多,选取一些定量指标(如促进退耕还林面积)做讨论研究。经济分析主要计算经济评价中净现值、投资回收期、内部收益率等经济指标,并进行灵敏度分析。效益计算和经济分析结果均为坝系方案的比选提供重要的参考指标。

3.3 数据库设计

数据库是系统的一个重要组成部分。坝系规划数据库是极其复杂的,本系统设计一共有6个库,元数据库、小流域基础地理数据库、小流域水文资料数据库、规划结果数据库、设计结果数据库、投资与经济定额库。将每个库的属性及属性间的关系的描述存入数据库,通过各种条件的组合满足各应用模块的使用要求。各数据库存放内容如下:

①元数据库:流域代码、坝系方案代码、流域地块代码、沟道分级代码、坝库代码、土壤侵蚀分级代码、土地利用类型编码、地质类型代码、植被类型代码、植被覆盖度分级代码等;②小流域基础地理数据库:等高线、DEM、土壤类型、植被特征、地质、沟系、土壤侵蚀、土地利用现状、治理措施规划布局等;③小流域水文资料数据库:降雨、径流泥沙、水文计算结果等;④规划结果数据库:布局方案、规划结果数据、规划结果图等;⑤设计结果数据库:工程设计图、工程量;⑥投资与经济定额库:概预算定额、单价分析、概预算结果、效益分析定额、效益分析结果、经济分析指标、经济分析结果、灵

参考文献:

- [1] 曾茂林,朱小勇,康玲玲.水土流失区淤地坝的拦泥减蚀作用及发展前景[J].水土保持研究,1999,6(2):126-133.
- [2] 武永昌.淤地坝坝体体积的计算[J].中国水土保持,1996,(5):23-24.
- [3] 黄自强.关于黄土高原地区沟道坝系生态工程建设的实践与构想[J].中国水土保持,2000,(10):1-4.
- [4] 柏跃勤,宋静.淤地坝建设对科学技术的需求及科技发展思路[J].中国水利,2003,A刊:65-66.
- [5] 马力,杨新民,杨世伟.基于GIS小流域规划系统的研发[J].水土保持研究,2004,11(1):90-91.
- [6] 杨德生,陈伟豪,吕能辉,等.基于3S技术的深圳市水土保持管理信息系统研究[J].水土保持学报,2003,17(6):118-121.
- [7] 王英顺,马红.坝系相对稳定系数的研究与应用[J].中国水利,2003,(9):57-58.

敏度分析结果等。

3.4 输入与输出设计

3.4.1 输出设计

在系统设计中,输出设计是所开发的计算机系统将输入数据经过系统处理,转化成输出,提供给用户的处理结果。用户看到的是系统的输出。系统开发最后要满足用户要求,所以应首先设计输出,这是新系统最终要实现的目标。基本的输出方法有四种,即打印、显示和对话、导出。

(1)打印输出。坝系规划中涉及图、表的输出,包括GIS中制作规划图,CAD中自动生成的设计图;预算、效益分析、经济分析等的报表输出。输出时力求按行业制图、制表的规范输出。

(2)显示输出是利用显示器进行显示。它所涉及内容包括:地形地貌、建筑物的三维显示、查询结果、设计过程中的示意图、建议、警告、错误提示等一些基本信息。

(3)对话输出方式。人机对话主要是指在系统运行中,使用者与计算机系统之间通过终端屏幕或其他装置进行一系列交替的询问与回答。

(4)导出。该输出主要是报表的导出,把系统报表导出为EXCEL格式。

3.4.2 输入设计

输入设计是在输出要求的基础上,将数据变成计算机可以接受并进行处理的信息。保证输入的正确,才能保证系统输出正确。因此,输入设计虽然由输出决定,并在输出设计之后完成,但设计好输入系统,以保证输入正确,是系统设计的关键。

输入设计以正确录入数据为前提,录入方法应方便用户,录入速度也应考虑。输入设计的目标是:保证数据输入正确和满足输出需要的前提下,采用简单、方便的输入方法。本系统基础数据和地形数据的输入主要借助于GIS,直接导入GIS输入处理的数据;一些常用的参数值表比如皮III曲线表、定额表,固定在系统中,根据用户输入的要求自动查用;其它一些需要用户交互的输入通过界面对话输入。

4 结 论

基于GIS的坝系规划系统研究,其主要内容是利用对流域数据与坝系规划数据进行采集、处理、存贮、管理和分析的基础上进行坝系规划决策。可以说基于GIS的坝系规划是一种很有价值的坝系规划方法,流域坝系规划本身就是从地理或空间的角度进行设计的,GIS正是解决地理空间数据存储分析的先进技术,在GIS三维模拟现实中解决坝系规划问题,能更简单、快速和清晰的解决流域坝系规划的实质问题,提高坝系规划设计的效率和质量,使坝系规划更合理,为流域坝系规划设计提供更有指导意义的工具。