

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.06.038

基于 Arc GIS 的三维可视化水库库容计算系统开发

靳 晟¹, 李玉平², 朱海山²

(1. 新疆农业大学 计算机与信息工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆水利水电勘测设计研究院勘测分院, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 通过分析目前常用的方格网法、断面法、等高线求积法和三角网格法等库容计算方法, 研究了如何在 Visual studio. net 2010 和 Arc GIS engine SDK 10.0 环境下, 使用 C# 语言实现三维可视化水库库容计算系统的方法, 并设计了地形数据处理、视图处理等主要子功能模块。该系统可利用 Arc GIS 提供的接口及其算法优势直接处理原始地形数据, 快速建立三维地面模型 TIN, 提高了计算效率且避免了传统库容计算过程中产生的精度损失。

关键词: 三维可视化; 库容计算系统; Arc GIS; C# ; TIN

中图分类号: TP319 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1203-04

Development of 3D visualization of reservoir capacity calculation system based on Arc GIS

JIN Sheng¹, LI Yurping², ZHU Haishan²

(1. College of Computer and Information Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Investigation Branch, Xinjiang water conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Changji 831100, China)

Abstract: Through the analysis of reservoir capacity calculation methods such as grid method, section method, contour cubage method, and triangular mesh method, the use of C# language to realize the 3D visualization of reservoir capacity calculation system was investigated under the environment of Visual studio. net 2010 and Arc GIS engine SDK 10.0, and the main sub function modules such as terrain data processing and view processing were discussed. The 3D visualization of reservoir capacity calculation system based on Arc GIS can process the raw terrain data using the interface and algorithm advantage of Arc GIS, develop the 3D terrain model TIN rapidly, improve the computational efficiency, and avoid the precision loss in the traditional capacity calculation.

Key words: 3D visualization; reservoir capacity calculation system; Arc GIS; C# ; TIN

水库库容是水利枢纽设计和运营管理的重要参数,也是水库前期论证的主要成果,它直接影响到水库工程的建设规模、蓄水效果、调度运行和工程投资。库容计算是每个水库必不可少的工作,主要计算成果是水位-库容特性曲线,根据它可以了解每个水位对应的库容储量,作为水库优化调度的主要依据,使水库保持合理的防洪库容和兴利库容^[1-3]。由于库容计算直接影响到水库的防洪安全及运营管理,所以使用先进的计算机技术来精确、高效的实现库容计算并自动生成各种库容计算成果显得尤为重要。

1 库容计算方法分析比较

受测量手段和计算方法的制约,以往的库容计算以断面法、等高线求积法和方格网法为主。其中,断面法是一种常规的计算方法,但有一定的局限性,主要适用于典型的河槽式河

流;等高线求积法把水库的库体看成为梯田式结构,因此得到的是相对近似结果;方格网法的精度较高,但已不能满足当前库容计算的要求^[4-7]。由于这三种方法都将地形数据进行二次输入,加上人为操作中产生的精度损失,不但耗时耗力,精度也不高;且非整数水位的库容计算是通过整数水位的库容结果进行线性内插得到,但库容随地形的变化并非是线性的,所以得到的只是概略的结果,计算精度受到较大影响。

随着测绘手段不断进步,地形测绘成果都以数字化成果为主,如果还用以往的方式进行库容计算,就要将数字化地形数据进行模拟化的数据转换,即将三维数字地形数据转化为等高线数据,这个过程也存在一定程度的精度损失^[8-10]。目前,国际上精度最高的一种计算方法是采用三维数字地面模型计算方法,将库区地形测量的原始三维数据直接利用到库容计算中,这能在最大程度上保证数据精度没有损失。

收稿日期: 2015-01-15 修回日期: 2015-10-10 网络出版时间: 2015-11-30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151130.2008.010.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目“天山中段玛纳斯河流域融雪机理及其径流过程模拟研究”(U1178301)

作者简介: 靳 晟(1976-),男,天津人,副教授,主要从事为水文水资源信息化方面研究。E-mail: 199560637@qq.com

2 可视化水库库容计算系统需求分析和功能模块设计

2.1 库容计算系统软件需求分析

根据目前水利勘测单位库容测量工作需要,要解决传统计算方法效率较低和精度损失的问题,新系统应具备以下功能^[11-15]。(1)友好的可视化操作界面:系统操作符合库容计算的工作流程,界面直观易懂,操作简便,应具备较高的自动化程度。(2)开放多源的数据接口:针对不同的工作环境的需要,可以读入多种常用格式的原始地形数据,以提高库容计算软件的适用性。(3)三维立体数据模型的建立:库区地形数据量大,地形复杂,所以要求系统应具备高效率三维数据模型建立的能力。(4)库容计算及成果的导出:库容计算要求高效准确,并能够将计算成果导出为通用的格式,自动生成图表。(5)良好的软件运行平台适应性:软件系统应充分考虑实际使用者的软硬件平台和操作习惯,应能够适应复杂的应用环境,尽可能降低软件运行成本和升级成本。

2.2 系统功能模块设计

根据软件开发标准并结合用户现实需求情况,本系统的功能主要有:打开工程、添加数据、保存工程、图层窗口、鹰眼窗口、主窗口、显示控制命令、导入 CAD 数据、导入点数据、导入线数据、导入面数据、建立 TIN、特征线参与建模、库容计算、批量计算并输出到 Excel、自动生成各种图表、生成等高线、导出为图片格式、设置 TIN 的色彩渲染、动态视频输出等。据此,可视化水库库容计算系统主要被分成为如下三个功能模块:地形数据处理子系统模块、视图处理子系统模块、参数工具设置子系统模块,各功能模块关系见图 1。

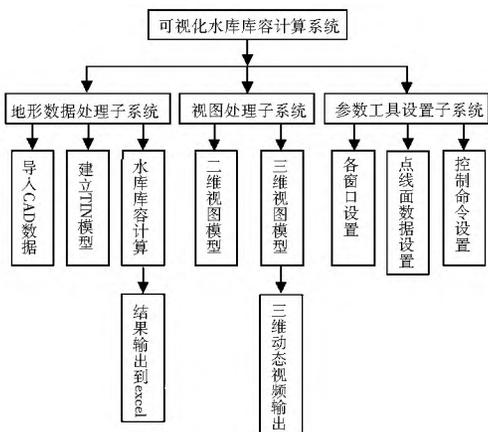


图 1 系统结构

Fig. 1 System structure

3 系统实现方法

3.1 开发平台及实现方法

为使系统具备良好的平台适应性,本系统采用 Visual studio .net 2010 开发环境及目前最通用的地理信息平台 arcGIS 的开发组件 Arc GIS engine SDK 10.0,使用面向对象的 C# 编程语言,应用 Arc GIS Engine 提供的接口技术,实现系统各模块的功能。Arc GIS Engine 为开发 GIS 应用软件提供了标准框架,是一套完备的嵌入式 GIS 组件库和工具库,它功能丰富,并且具有扩展性,能让软件开发人员集中精

力解决软件架构问题,而不用考虑 GIS 功能的细节。有效的 Licence 配置方案可以使 Arc GIS Engine 完全脱离 Arc Map 的软件平台,同时又具备了 GIS 的所有核心功能,大大节约了开发成本。Arc GIS Engine 及其所有相关对象与控件可用于多种平台,包括 Windows、Linux 和 UNIX。基于 Arc GIS Engine 开发的 GIS 应用软件将适用于标准计算环境,而不需要改变或添加运行环境。

3.2 系统运行的流程与界面

3.2.1 数据处理

(1)原始数据处理。建立地形模型最原始的数据是离散三维点数据,其精度决定了计算结果的可靠性,所以合理的组织原始数据是非常关键的一步。原始采集的地形点数据,在制成地形图的时候都经过编辑处理,得到地形图所要求的等高线数据。如果成图软件组成三角网算法没有考虑到地形特征,直接建立的三角网会出现比较大的失真。常规制作地形图的过程中,都对三角网或等高线进行了处理,以保证等高线的合理性。所以如果直接采用三维地形点建立模型,势必又会出现地面模型和等高线产生矛盾的问题,也必然影响库容计算结果的精度。这里采用一个相对简单的办法,在 CAD 平台的地形图软件中,将已经编辑过的等高线结点回写成三维点数据,和原始三维地形点数据共同建模,这样可以基本保证数据建模后的合理性;同时采用特征线参与建模的方法,对三角网生成进行约束,以便进一步严格保证建模的合理性。(2)确定计算范围,剔除不参与计算的地形数据。(3)导入地形数据。利用 Arc GIS Engine 提供的 Data Sources File 接口,实现了多种数据源的数据读取。不但可以读入测绘外业常用的南方 CASS 地形图软件的 DAT 格式地形数据,也可以直接读入 DWG 格式图形文件,并转换为 ARCGIS 标准的 shp 格式,作为原始数据层保存在项目文件中。读入图形文件时会根据需要分为点图层和线图层,并加入到程序数据图层内,见图 2 和图 3。



图 2 导入数据

Fig. 2 Import data

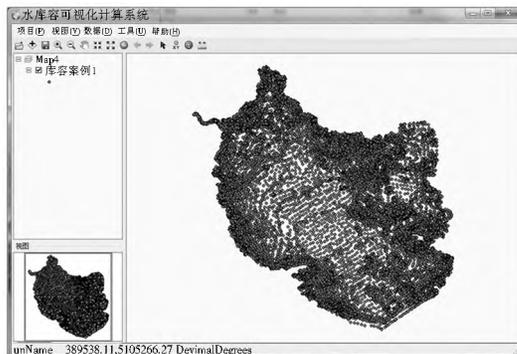


图 3 原始点数据图层

Fig. 3 The original point data layer

3.2.2 建立 TIN 模型

利用 Arc GIS Engine 提供的 Geodatabase 接口, 将读入的三维离散数据采用 Delaunay 三角测量方法建立不规则三角网模型 TIN, 以模拟真实的地形数据。TIN 是基于矢量的数字地理数据的一种形式, 通过将一系列折点(点)组成三角形来构建。TIN 模型具备数据冗余小、精度高、便于计算体积等特点, 因此选择用 TIN 模型作为三维地形数据组织方式。

(1) 在导入的原始点数据图层基础上建立 TIN 模型, 见图 4。



图 4 建立原始点数据图层 TIN 模型

Fig. 4 The establishment of TIN model based on the original point data layer

(2) 特征线数据参与原始点数据图层的建模, 以约束三角网的形成, 从而保证 TIN 地面模型更接近真实地表(等高线也可以作为特征线, 但是效果没有特征线好), 见图 5。



图 5 导入线数据

Fig. 5 Import line data

(3) 从图 6 中可以看出在特征线约束建模之前, 建立冲沟的模型因为数据点分布问题造成了模型的失真; 特征线约束后, 较好的解决了这个问题, 既保证了数据模型的精度, 同时也较少数据冗余。

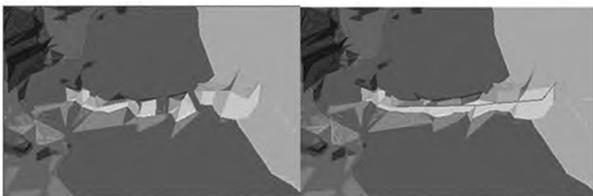


图 6 特征线约束建模前后比较

Fig. 6 Comparison of characteristic line constraint before and after model development

在的问题, 便于进一步完善数据, 确保 TIN 模型的精确性, 见图 7。

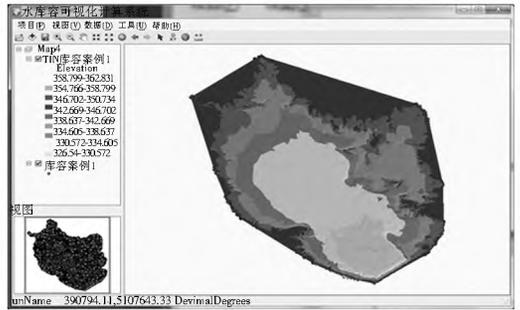


图 7 建立 TIN 的渲染

Fig. 7 The establishment of TIN rendering

3.2.3 库容计算及成果

库容计算窗口会自动找到 TIN 所以图层, 并自动找出最低水位和最高水位, 用户也可根据实际需要指定这两个水位。单击“批量计算并输出到 excel”按钮, 系统会自动计算库容并把各种结果输出到 excel 生成的表格和图表中, 见图 8 和图 9。



图 8 库容计算

Fig. 8 Reservoir capacity calculation

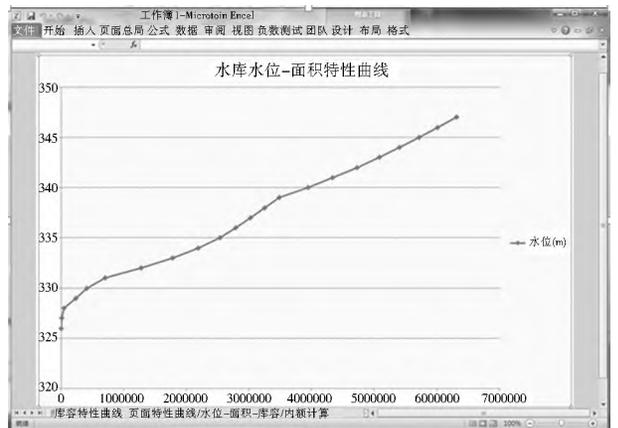


图 9 库容计算成果

Fig. 9 The results of calculation of reservoir capacity

3.2.4 库容三维浏览

利用 Arc GIS Engine 提供的 SceneControl 控件, 实现“视图”菜单中的“三维视图”功能, 可以根据需要设置导出图片格式、TIN 的色彩渲染和动态视频输出, 见图 10。

(4) 通过 TIN 的彩色渲染, 可以直观地发现一些数据存

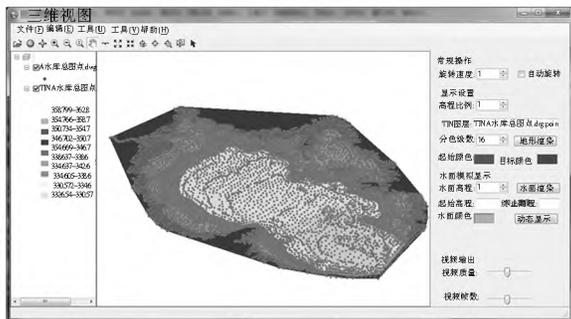


图 10 三维浏览
Fig. 10 T3D viewing

4 计算实例比较和验证

4.1 计算效率比较

以等高线面积法为例,传统方法计算库容一般要有四个步骤:(1)地形图准备工作。(2)等高线编辑工作。(3)等高线面积量取。(4)在 EXCEL 电子表格中根据数学公式计算两两等高线间的体积,并将两两等高线间的体积累加得到水库库容。使用本软件计算库容需三个步骤:(1)地形图准备工作。(2)利用本软件直接导入原始地形数据,自动建立 TIN 数字三维立体模型。(3)在本软件中设置库容计算的最大水位、最小水位,自动得到库容计算结果和 EXCEL 报表。

比较上述步骤可知:(1)两种方法计算库容都需要进行地形图准备工作,这一个步骤耗时较少,主要是删除不必要的地物符号。(2)传统方法计算库容为了避免手工操作出错,一般要求 2 名技术人员独立进行,完成最终成果需耗时 5 个工作日左右。(3)使用本软件计算库容,可基于 Arc GIS 直接利用原始地形数据,自动完成各项库容计算成果,耗时在 2 h 左右。(4)综上所述,使用本软件的计算效率远高于传统方法。

4.2 计算精度及正确性验证

为了验证本库容计算系统软件的精度及正确性,分别使用本软件和传统方法(以等高线求积法为例)对新疆某水库的库容进行实际计算,计算结果见表 1。

通过表 1 可知:(1)使用本软件进行库容计算的结果比用传统方法(等高线求积法)计算的结果,在精度上高出三个数量级。(2)当水库水位较低时,由于实测地形图测量的点密度较低,导致软件与传统方法的计算结果差异相对较大。(3)根据水利设计、水库管理及测量单位要求,库容计算差值需控制在 2.5% 以内;因此,本库容计算系统软件的计算结果完全符合实际的工程应用需求。

5 系统特点

5.1 计算方法严谨科学

直接利用原始数据,采用 Arc GIS Engine 提供的接口,凭借 Arc GIS 强大的算法优势,快速建立精确的三维立体模型,计算方法科学,避免了计算过程中的精度损失。

5.2 突出的实用性和标准化数据

系统充分考虑实际工作需要,针对不同数据获取方式提供了不同的数据读入接口,过程数据和成果数据都采用标准的 Arc GIS 数据格式,便于数据的再利用。建立的三维数据模型可用于进一步的数据分析和模拟,比如库区淤积情况分析等。

表 1 传统算法与软件算法结果比较

Tab. 1 Comparison of the results from the traditional algorithm and software algorithm

水位/m	本软件计算	等高线求积法计算	差值	差值比例
	库容/万 m ³	库容/万 m ³	库容/万 m ³	库容/(%)
414.0	0	0	0	
415.0	0.127582	0.128	0.000	-0.33
416.0	6.625583	6.578	0.048	0.72
417.0	31.904832	32.024	-0.119	-0.37
418.0	77.215984	77.635	-0.419	-0.54
419.0	141.145316	141.837	-0.692	-0.49
420.0	228.263927	228.216	0.048	0.02
421.0	337.033786	336.564	0.470	0.14
422.0	464.567153	463.939	0.628	0.14
423.0	611.730765	611.409	0.322	0.05
424.0	783.851171	783.438	0.413	0.05
425.0	984.547132	985.39	-0.843	-0.09
426.0	1215.285954	1216.579	-1.293	-0.11
427.0	1472.342489	1473.466	-1.124	-0.08
428.0	1751.927130	1753.209	-1.282	-0.07
429.0	2060.991318	2062.089	-1.098	-0.05
430.0	2404.547335	2406.009	-1.462	-0.06
431.0	2781.248881	2783.124	-1.875	-0.07
432.0	3203.506397	3204.696	-1.190	-0.04
433.0	3685.580531	3687.145	-1.564	-0.04

5.3 良好的可扩展性

系统采用面向对象的程序语言设计,具有良好的可扩展性,提供标准的程序接口,便于对系统功能进一步拓展。

6 结语

本项研究开发出的三维可视化水库库容计算系统可以精确、高效、直观的进行库容计算。目前,已处于用户测试阶段,根据用户测试的各项结果,还需要对系统进行及时地修改和完善。另外,本系统还需要简化数据准备工作,以便进一步减少用户的工作量,从而使本项研究成果不但能应用于水利水电设计单位,还能更好地应用于水库管理单位。

参考文献(References):

[1] 程剑刚, 蒯志永. GPS RTK 技术联合数字测深仪在湖泊库容测量中的应用探讨[J]. 北京测绘, 2013(5): 42-45. (CHENG Jiangan, LIN Zhiyong. Application and discussion of GRS RTK technique integrated with digital depth sounder in surveying capacity of the lake[J]. Beijing Institute of Surveying and Mapping, 2013(5): 42-45. (in Chinese))

[2] 杨延利. 基于 Arc GIS 计算水库库容的方法研究[J]. 现代测绘, 2013, 36(4): 51-52. (YANG Yanli. The methods of using Arc GIS to calculate the capacity of the reservoirs[J]. Modern Surveying and Mapping, 2013, 36(4): 51-52. (in Chinese))

[3] 曹振宇, 杨军, 甘泉, 等. 基于移动 Agent 的地理信息服务设计与实现[J]. 测绘通报, 2012(8): 18-20. (CAO Zhenyu, YANG Jun, GAN Quan, et al. Design and implementation of Mobile Agent based geographic information service[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012(8): 18-20. (in Chinese))

(下转第 1224 页)

- [53] Franczyk J, Chang H. The Effects of Climate Change and Urbanization on the Runoff of the Rock Creek Basin in the Portland Metropolitan Area, Oregon, USA [J]. Hydrological Processes, 2009, 23(6): 805-953.
- [54] Tu J. Combined Impact of Climate and Land Use Changes on Streamflow and Water Quality in Eastern Massachusetts, USA [J]. Journal of Hydrology, 2009, 379(3-4): 268-283.
- [55] Rosenberg M, Rice M. Global Environmental Change and Human Health: An Earth System Science Partnership Response [J]. Epidemiology, 2009, 20(S6): 252-253.
- [56] WCRP. Scientific Plan for the World Climate Research Programme, WCRP Public No. 2, WMO / TD • No. 6 [R]. Geneva: World Meteorology Organization, 1984.
- [57] IHDP. The IHDP Strategic Plan 2007-2015 (IHDP Update 1, 2008) [R]. Bonn: IHDP Secretariat, 2008.
- [58] 赵晓慎, 周海, 王文川. 气候变化对区域水循环系统影响的研究进展 [J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(2): 46-49. (ZHAO Xiaoshen, ZHOU Hai, WANG Wenchuan. Research progresses of impacts of the climate change on the regional hydrological cycle system [J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2012, 33(2): 46-49. (in Chinese))
- [59] 左其亭. 人水系统演变模拟的嵌入式系统动力学模型 [J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 268-273. (ZUO Qiting. The Embedded system dynamic model used to human water system modeling [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 268-273. (in Chinese))
- [60] 左其亭, 张云. 人水和谐量化研究方法及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (ZUO Qiting, ZHANG Yun. The Quantifying methods and applications for human water harmony [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2009. (in Chinese))

(上接第 1206 页)

- [4] 张俊, 闵要武, 陈新国. 三峡水库动库容特性分析 [J]. 人民长江, 2011, 42(6): 90-93. (ZHANG Jun, MIN Yaowu, CHEN Xinguo. Analysis of characteristics of dynamic reservoir capacity of Three Gorges Reservoir [J]. Yangtze River, 2011, 42(6): 90-93. (in Chinese))
- [5] 姚晓军, 刘时银, 魏俊锋. 喜马拉雅山北坡冰碛湖库容计算及变化 [J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1380-1390. (YAO Xiaojun, LIU Shiyin, WEI Junfeng. Reservoir capacity calculation and variation of Moraine dammed lakes in the North Himalayas [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(11): 1380-1390. (in Chinese))
- [6] 王建忠. 闹德海水库泥沙冲淤演变分析 [J]. 中国科技信息, 2010(15): 30-31. (WANG Jianzhong. Naodehai reservoir sediment scour and silting evolution analysis [J]. CHINA Science and Technology Information, 2010(15): 30-31. (in Chinese))
- [7] 芦云峰, 谭德宝, 杨中华. 基于空间信息技术的大型水库库容计算方法 [J]. 长江科学院院报, 2010, 127(1): 9-12. (LU Yunfeng, TAN Debao, YANG Zhonghua. Research of Great Type Reservoir Storage Calculation Method Based on Spatial Information Technology [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 127(1): 9-12. (in Chinese))
- [8] 冯雨, 余明辉, 侯龙潭, 等. 非黏性岸坡崩塌与河床冲淤的交互影响初步试验研究 [J]. 水力发电学报, 2013, 32(4): 120-125. (FENG Yu, YU Minghui, HOU Longtan, et al. Study on interaction between non-viscous bank collapse and river bed deformation [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(4): 120-125. (in Chinese))
- [9] 袁晶, 许全喜, 董炳江. 输沙量法与断面法差别原因及其适用性研究—以三峡水库为例 [J]. 水文, 2011, 31(1): 87-91. (YUAN Jing, XU Quanyi, DONG Bingjiang. Difference between sediment transport balance and topographic change methods and applicability in the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(1): 87-91. (in Chinese))
- [10] 周俊, 陈凯麒, 梁鹏, 等. ASR 技术模式在我国地下水工程应用中面临的问题与应用展望 [J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(6): 192-195. (ZHOU Jun, CHEN Kaiqi, LIANG Peng, et al. Problem and application prospect of ASR technology in the underground reservoir construction of China [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(6): 192-195. (in Chinese))
- [11] 张增勤, 冯创业. 河北省利用地下水水库实施水资源优化配置的可行性 [J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(6): 102-105. (ZHANG Zengqin, FENG Chuangye. Feasibility of the water resources optimization by underground reservoir in Hebei Province [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(6): 102-105. (in Chinese))
- [12] 张袁, 付强, 王斌. 基于自由搜索的水库入库含沙量预测模型 [J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 40-43. (ZHANG Yuan, FU Qiang, WANG Bin. Prediction model of reservoir inflow sediment concentration based on free search [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 40-43. (in Chinese))
- [13] 刘德波. 水库汛限水位设计与运用概率统计分析方法 [J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 161-164. (LIU Debo. Discussion of probability and statistical methods in the design and application of flood control level in reservoirs [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 161-164. (in Chinese))
- [14] 李慧, 黄强, 秦大庸. 水电站能量指标的影响因素分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 97-99. (LI Hui, HUANG Qiang, QIN Dayong. Analysis of influence factor on the energy index of hydropower station [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(6): 97-99. (in Chinese))
- [15] 乔光建, 梁韵, 王斌. 邢台百泉岩溶水库蓄水构造特征分析及功能评价 [J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 139-143. (QIAO Guangjian, LIANG Yun, WANG Bin. Structural features analysis and functional evaluation to water storage in Baiquan Karst underground reservoir in Xingtai [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 139-143. (in Chinese))