

胡鹏,袁希平.考虑区域水资源地震破坏后的信息管理模型设计[J].地震工程学报,2018,40(5):1098-1104.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1098

HU Peng, YUAN Xiping. Design of an Information Management Model for Regional Water Resources Considering Pollution by Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5): 1098-1104. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1098

考虑区域水资源地震破坏后的信息管理模型设计

胡 鹏, 袁希平

(昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650051)

摘要:传统水资源信息管理模型采用GIS网络技术,对水资源信息进行优化配置,未对地震多发区域水资源管网进行综合规划,存在地震破坏后受污染水资源信息管理性能差的问题。设计考虑区域水资源地震破坏后污染的信息管理模型,模型包括受污染水资源信息规划设计模块、信息监测和采集模块、信息管理模块。3个模块分别实现对地震破坏后污染的水资源管网的合理规划、监测和采集以及污染信息的综合管理。实验结果表明,所设计模型对区域水资源地震破坏后污染的信息管理的平均时间达到1.38 s,且在管理过程中各项功能的评分都高于93.5分,具有较高的管理性能。

关键词:地震破坏;水资源;信息管理;覆盖集法;监测点;Geodatabase数据模型

中图分类号: F205

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-1098-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1098

Design of an Information Management Model for Regional Water Resources Considering Pollution by Earthquake

HU Peng¹, YUAN Xiping²

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, Yunnan, China)

Abstract: The traditional water resources information management model based on GIS adopts GIS network technology to optimize the allocation of water resources. However, the problem exists of poor information management of polluted water resources caused by earthquake damage, since the model can't produce a comprehensive plan for water resource networks in earthquake-prone areas. An information management model considering pollution of regional water resources from earthquake damage has been designed. The model includes modules for information planning and design of polluted water resources, information monitoring and acquisition of polluted water resources, and management of polluted water resource information. The information planning and design module of polluted water resources was used to optimize the water quality monitoring points of polluted water resource networks after earthquake damage. The monitoring and acqui-

收稿日期:2017-08-20

基金项目:云南省科技厅重点项目(KKSD201556002)

第一作者简介:胡 鹏(1979-),男,云南昆明人,硕士,副教授,主要研究方向为国土资源信息化管理。

sition module based on the Geodatabase data model was used to monitor and collect polluted water resources after earthquake damage. The information management module included the main and supporting modules, which could realize the comprehensive management of pollution information of regional water resources through different management functions. The experimental results showed that by using the proposed model, the average time of management of regional water resource information after earthquake damage was 1.38 s, and the score of each function of the model in the process of information management was higher than 93.5 points, with high management performance.

Keywords: earthquake damage; water resources; information management; cover set method; monitoring points; Geodatabase data model

0 引言

水资源表示可以被利用的水,具有可再生的特点,分为地表水、地下水、雨水、海水以及再生水等,水资源信息管理的实质为对一个动态的、多目标的系统实施管理^[1]。水资源信息管理是在水资源可再生特点的基础上,利用有效的管理手段开发利用水资源,实现水资源的资源效益、环境效益、经济效益和社会效益的最大化^[2]。然而我国处于地震多发区域,尤其是西南地区,频发的地震会造成水资源管网的区域性损毁,水资源遭受污染,威胁人民生命财产安全^[3]。所以,对于地震多发区域,利用科学有效的水资源信息管理方法保障水资源的安全性是十分重要的。

以往国内外相关研究人员设计的地震多发区域水资源信息管理模型存在较多的问题,徐斌等^[4]采用组件模型设计地表水资源配置系统,在对地表水资源配置实施分析过程中,仅分析了地表水资源配置问题,未对水资源的污染情况进行全面分析,存在局限性;孙栋元等^[5]采用 MIKE BASIN 构建的石羊河流域水资源管理模拟模型过程,具有复杂度高的弊端,实用性较差;董玲燕等^[6]通过 GIS 网络技术构建水资源优化配置系统过程,需要耗费大量的信息,存在耗时高和复杂度高的问题;严子奇等^[7]基于模糊聚类预报与序贯决策的水资源开发利用总量动态管理模式^[7],该方法利用模糊聚类技术对水资源信息实施管理,管理效果准确性较低。

针对以上问题,本文在考虑抗震防灾性能的基础上,设计考虑区域水资源地震破坏后污染的信息管理模型,在确保受污染水资源污染信息管理准确性的情况下,缩短受污染水资源污染信息管理用时,提升管理效率。

1 区域水资源地震破坏后污染的信息管理模型

1.1 模型架构设计

如图 1 所示,设计的区域水资源地震破坏后污染的信息管理模型分为 3 个模块:受污染水资源信息规划设计模块对地震破坏后污染的水资源管网水质监测点进行优部署,实现水资源管网的合理规划^[8];受污染水资源信息监测和采集模块对地震破坏后污染的水资源进行监测和采集;受污染水资源信息管理模块具有不同的管理功能,是地震破坏后污染的水资源信息管理模型中“管理的执行者”。

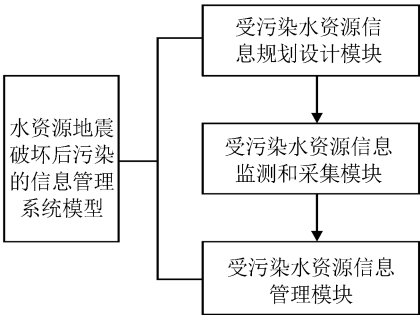


图 1 水资源地震破坏后污染的信息管理模型架构
Fig.1 Framework of information management model for polluted water resources induced by earthquake damage

1.2 受污染水资源信息规划设计模块

对区域水资源地震破坏后污染的水资源进行科学合理的监测是保障人民生命健康的重要手段。因此,受污染水资源信息规划设计模块在地震破坏后污染的城市水资源规划设计中,应对地震破坏后污染的水资源管网水质监测点进行优部署,详细过程为:

依照覆盖集法,以监测时间替代服务水平的设定,确保水资源监测设施能够及时、准确监测地震多发区域水资源管网遭到损毁,使得污染物进入水资

源管网内形成的水质改变情况,监测水平的高低通过水资源管网遭受损坏到监测设施检测到污染物之间的时间长短进行评判。水资源管理的规划设计的核心宗旨是将监测点检测到污染物的时间降到最短^[9],根据这一宗旨建立函数。由于地震灾害中不同区域的管网遭到损毁的概率各不相同,因此在建立函数时,计算出在地震中不同区域管网遭到损毁的概率,将这个概率作为不同区域管网传输时间的权系数。在指定监测时间内,将监测点数量的最小值作为水资源监测点数量,将与监测点数量相对应的最小函数值的方位设置为水资源监测点方位。

(1) 为对地震多发区域水资源管网遭到污染情况下的水力状态进行仿真,针对水资源管网实施水力平差,获取不同区域内 l_p 长的不同管段 $p = (1, 2, \dots, m)$ 在用水量最大状态下的流量 Q_p 及流速 v_p 等。

(2) 构建污染物最短传播时间矩阵。在管段 p 遭到损毁导致水资源受到污染的情况下,设污染物传播方向和传播速度与水流方向与速度一致。监测点方位为节点 $k(k = 1, 2, \dots, n)$,则 t_{pk} 表示 k 监测点检测到管段 p 遭到污染的最短时间,基于此构建最短传播时间矩阵 $T = \{t_{pk}\}$ 。

(3) 构建监测矩阵。在步骤(2)的基础上,构建监测矩阵 $C = \{C_{pk}\}$ 。若 $t_{pk} \neq \infty$,则 k 节点上的监测点可以对管段 p 的水质改变状态进行检测, $c_{pk} = 1$; 反之, $c_{pk} = 0$ 。

(4) 构建目标函数。指定监测点数量和监测等级,通过线性加权和法构建目标函数^[10],其主体和权系数分别为:表示监测点监测到水质改变的最短时间 t_p 和表示地震中不同管段遭到损毁引起的水资源污染的概率 R_p ,公式为:

$$f(t) = \min \sum_{p=1}^m (R_p t_p) \tag{1}$$

约束条件:

$$\sum_{p=1}^m (c_{pk} x_k) \geq 1 (p = 1, 2, \dots, m) \tag{2}$$

式中: x_k 表示监测点的方位向量,假设监测点设置在节点 k 处,那么 $x_k = 1$,反之 $x_k = 0$ 。通过式(2)能够保障不同污染源可以被 1 个或多个监测点监测。

(5) 获取管道的震损概率。根据法国数学家西莫恩·德尼·泊松的研究可知,一般情况下,水资源管网在地震过程中的易损度遵守泊松分布,公式为:

$$V_p = 1 - e^{-\lambda l_p} \tag{3}$$

式中: V_p 、 $e^{-\lambda l_p}$ 分别表示地震过程中管段 p 的易损度、长度为 l_p 的管段的平均震害率(每千米管道的

破坏次数)。其中,参数 λ 受管道的管径、材质、场地环境等影响。

每次发生地震的震级 X 服从参数 λ 的指数分布,指数分布函数为:

$$F(X) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda X}, & X > 0 \\ 0, & X \leq 0 \end{cases} \tag{4}$$

对不同震级造成水资源受到污染的概率 R_p 进行描述:

$$R_p = \frac{V_p}{\sum_{p=1}^m V_p} \cdot F(X) \tag{5}$$

通过以上公式获取的地震多发区域某管段损毁造成水资源受到污染的概率,对受污染水资源管网水质监测点进行优部署,实现地震破坏后的水资源管网的合理规划。

1.3 受污染水资源信息监测和采集模块

对地震破坏后污染的水资源监测点进行规划设计后,利用监测点对该区域的水资源信息进行检测和采集管理。受污染水资源信息监测和采集模块以 Geodatabase 数据模型为系统架构^[11],对地震多发区域的城市水资源空间及属性数据进行存储,同时选取 Microsoft Access 关系数据库管理系统对 Geodatabase 数据实施存储。受污染水资源信息监测和采集模块结构如图 2 所示。

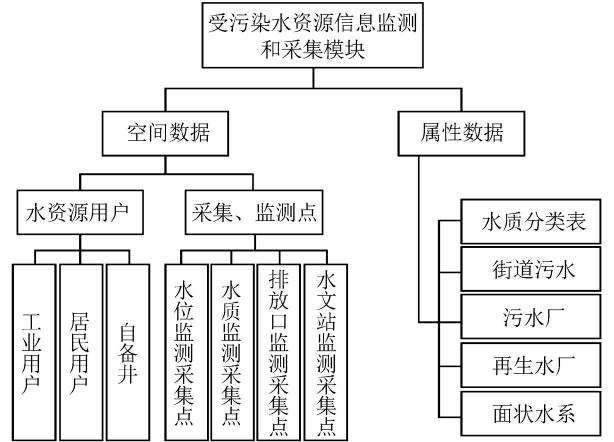


Fig.2 Structure chart of information monitoring and acquisition module for polluted water resources

通过该模块能够查询地震破坏后的城市水资源管理的属性数据,对水资源用户实施管理,对水质、水位数据实施检测,为水资源的保护和决策提供理论支持。

1.4 受污染水资源信息管理模式

受污染水资源信息管理模块,是基于受污染水资源信息监测、采集系统获取的结果,构建的以开放

性、可扩展性、统一性为特点的水资源信息管理系统^[12],是区域水资源地震破坏后污染的信息管理的“执行者”。

受污染水资源信息管理模块包括以公众服务、水资源供需管理、水资源保护和防汛抗灾为主的主要模块和以行政及人才管理为主的支持模块。

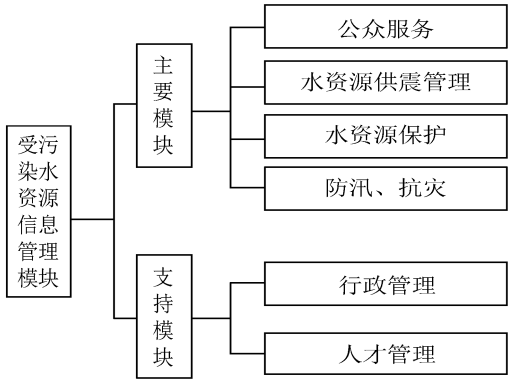


图 3 受污染水资源信息管理模块结构

Fig.3 Structure chart of information management module for polluted water resources

在受污染水资源信息管理模块中,通过公众服务能够实现社会各界对地震破坏后污染的水资源信息管理成效的监督,并得到相应的社会支持,使水资源信息管理持续健康发展;做好防汛、抗灾工作保护人民生命财产安全,是水资源信息管理的核心目标,作为地震多发区域的西南地区是抗灾、防汛任务较重的地区^[13];信息管理系统中提取时间快,则可以保障信息管理模块的高效运行,从而提升水资源信息的管理效率及服务水平,为区域水资源地震破坏后污染信息管理的战略性决策提供服务。

2 实验分析

实验通过测量区域水资源地震破坏后污染的水资源信息管理用时的方法来验证本文设计的区域水资源地震破坏后污染的水资源信息管理模型的管理效率。实验以处于地震多发区域的西南地区的 15 个代表城市为实验试点,这些城市的地震基本烈度为Ⅶ度^[14]。分别采用本文模型、基于 MIKE BASIN 的水资源信息管理模拟模型以及传统的基于 GIS 的水资源信息管理模型对这些城市进行水资源信息管理,通过表 1 对不同模型进行管理所需时间进行对比,用时情况如图 4 所示。

从表 1 数据可以看出,采用本文模型进行水资源信息管理所需的时间较短,均在 1.41 s 内完成,并且随着城市水资源信息管理数量的提升,模型管理

表 1 3 种模型进行水资源信息管理用时			
Table 1 Time for water resource information management of three models			
城市编号	本文模型/s	基于 MIKE BASIN 的水资源信息管理模拟模型/s	基于 GIS 的水资源信息管理模型/s
1	1.35	1.78	1.73
2	1.38	1.74	1.84
3	1.38	1.78	1.81
4	1.41	1.82	1.85
5	1.43	1.83	1.85
6	1.37	1.95	1.91
7	1.38	1.81	1.84
8	1.43	1.86	1.88
9	1.36	1.87	1.91
10	1.41	1.84	1.87
11	1.38	1.83	1.87
12	1.37	1.85	1.87
13	1.35	1.77	1.82
14	1.35	1.86	1.88
15	1.35	1.86	1.88
平均值	1.38	1.83	1.85

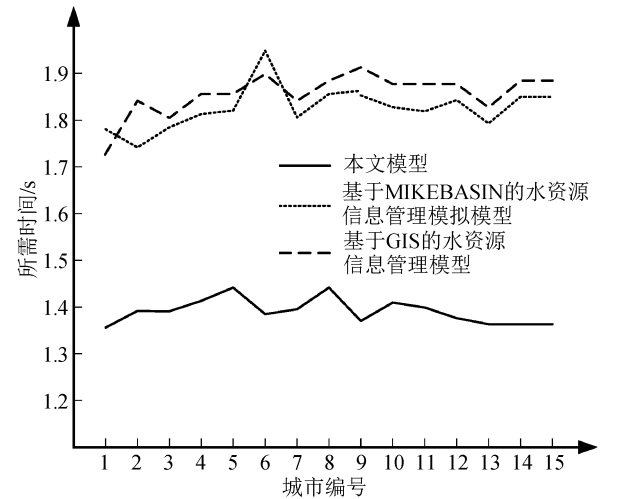


图 4 3 种模型进行水资源信息管理用时

Fig.4 Time for water resource information management of three models

所需的时间越来越稳定,维持在 1.35 s,平均时间 1.38 s;基于 MIKE BASIN 的水资源信息管理模拟模型进行水资源信息管理所需时间在 1.74~1.95 s 波动,平均时间 1.83 s;基于 GIS 的水资源信息管理模型进行水资源信息管理所需时间最长,平均时间 1.85 s。综合表 1 和图 4 可见,采用本文模型进行水资源信息管理所用时间最短。

实验利用专家评价法,从模型的鲁棒性、信息管理用时、信息管理内容的重要度^[15]、模型的延时性以及信息管理的准确性等 5 方面来评价本文模型、

基于 MIKE BASIN 的水资源信息管理模拟模型以及传统的基于 GIS 的水资源信息管理模型。实验

对表 1 中的 15 个试点城市实施管理效果评价,结果如表 2 所示。

表 2 三种模型的水资源信息管理评价得分

Table 2 Evaluation score of water resource information management by using three models						
方法	城市编号	模型的鲁棒性	信息管理用时	信息管理内容的重要度	模型的延时性	信息管理的准确性
本文方法	1	95.6	96.5	97.8	92.7	94.4
	2	96.2	98.4	93.9	93.6	95.5
	3	97.2	98.7	94.6	94.4	93.6
	4	94.5	96.6	92.7	92.4	92.7
	5	93.2	97.7	93.6	94.3	93.4
	6	95.6	97.8	91.7	93.7	92.5
	7	94.5	94.6	96.7	94.1	93.6
	8	95.6	96.9	95.4	92.5	93.7
	9	97.5	97.2	94.2	93.8	96.7
	10	93.6	94.4	92.5	94.6	93.1
	11	94.6	95.1	92.6	92.5	94.2
	12	97.6	98.7	94.1	95.8	92.3
	13	98.6	94.9	93.8	93.6	92.3
	14	96.5	96.3	94.7	94.9	94.5
	15	97.3	97.4	95.2	94.2	93.9
	平均得分	95.6	96.7	94.2	93.8	93.8
基于 MIKE BASIN	1	76.3	63.4	57.4	71.2	67.1
	2	72.1	65.7	56.9	77.3	75.0
	3	70.3	60.7	66.5	69.4	68.4
	4	74.2	63.4	71.2	71.2	71.3
	5	73.6	62.3	56.3	67.8	72.5
	6	72.3	66.4	63.7	66.6	74.1
	7	72.2	70.0	59.9	69.4	67.8
	8	77.5	67.2	58.4	73.2	70.6
	9	77.3	68.8	61.1	69.5	68.5
	10	72.4	66.9	57.6	66.7	71.4
	11	73.8	74.2	66.4	71.2	66.8
	12	76.8	66.1	57.9	64.7	71.5
	13	74.5	61.7	59.8	67.2	69.3
	14	73.8	67.5	63.4	63.5	67.4
	15	76.9	63.3	61.5	68.1	66.6
	平均得分	74.3	65.8	61.2	69.1	69.9
基于 GIS	1	67.4	65.8	68.4	60.7	59.4
	2	63.7	67.9	67.8	66.4	67.8
	3	69.4	66.1	70.1	68.1	62.4
	4	64.8	65.7	71.4	61.3	61.5
	5	71.5	61.0	67.8	62.7	60.8
	6	69.3	71.1	66.5	69.8	59.3
	7	70.4	71.3	62.4	70.3	61.7
	8	71.3	64.3	60.9	67.5	59.2
	9	70.1	62.7	61.1	66.4	68.5
	10	68.6	68.6	59.2	63.9	61.9
	11	69.2	70.7	59.9	69.8	63.4
	12	71.7	69.4	61.1	70.2	64.3
	13	70.5	67.1	63.4	70.1	65.1
	14	69.4	65.4	65.4	70.2	62.5
	15	69.9	64.8	66.2	68.9	60.7
	平均得分	69.1	66.8	64.8	67.1	62.6

由表 2 可见,采用本文模型进行地震破坏后污染的水资源信息管理获取的评价都优于其他两个模型,实验结果表明,采用本文模型进行区域水资源地震破坏后污染的信息管理效果更好。

3 结论

作为生活能源中必不可少的水资源,在一定程度上代表着区域经济发展情况。然而由于近年来地震的频发,水资源的安全受到严重的威胁,在这种情况下,需要采取科学有效的措施加强对地震破坏后污染的水资源信息的管理。针对传统水资源地震破坏后污染的信息管理模型存在的缺陷,结合水资源抗震防灾性能,设计包括受污染水资源信息规划设计模块、受污染水资源信息监测和采集模块和受污染水资源信息管理模块的区域水资源地震破坏后污染的信息管理模型,实现高效、准确的受污染水资源信息规划、监测、采集以及综合管理功能。本文模型对地震破坏后受污染水资源管网水质监测点进行优部署,实现水资源管网的合理规划,利用受污染水资源信息监测和采集模块实施地震破坏后污染的水资源的监测和采集;通过受污染水资源信息管理模块对地震破坏后污染的水资源信息进行综合管理。在保障区域水资源地震破坏后的污染信息管理准确性的前提下,缩短受污染水资源信息管理用时,提升受污染水资源管理效率。

参考文献(References)

- [1] 方海泉,薛惠锋,万毅,等.关于国控监测点的取用水量预测仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(10):437-440.
FANG Haiquan, XUE Huifeng, WAN Yi, et al. Simulation Study on Predicting of Water Intake Quantity of National Control Points[J]. Computer Simulation, 2016, 33(10): 437-440.
- [2] 毕宏伟,李鹏飞.水资源优化模型库系统构建方法探讨[J].人民长江,2014,45(2):49-52.
BI Hongwei, LI Pengfei. Establishment of a Model Base System for Water Resources Optimization[J]. Yangtze River, 2014, 45(2): 49-52.
- [3] 宋清华,陈建宏.地震灾害应急管理能力建设投资优化研究[J].中国安全科学学报,2014,24(11):146-151.
SONG Qinghua, CHEN Jianhong. Study on Investment Optimization for Earthquake Disaster Emergency Management Ability Construction[J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(11): 146-151.
- [4] 徐斌,何发智,刘攀,等.基于组件模型的地表水资源配置系统设计[J].南水北调与水利科技,2015,13(3):525-529.
XU Bin, HE Fazhi, LIU Pan, et al. Design of Component-based Surface Water Resources Allocation System [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(3): 525-529.
- [5] 孙栋元,卢书超,李元红,等.基于 MIKE BASIN 的石羊河流域水资源管理模拟模型[J].水文,2015,35(6):50-56.
SUN Dongyuan, LU Shuchao, LI Yuanhong, et al. Simulation Model of Water Resources Management Based on MIKE BASIN for Shiyanghe River Basin[J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(6): 50-56.
- [6] 董玲燕,许继军,马瑞,等.基于 GIS 网络模型的水资源优化配置系统设计与实现[J].水利水电技术,2016,47(12):7-11.
DONG Lingyan, XU Jijun, MA Rui, et al. Design and Realization of GIS Network Model-based Optimal Allocation System of Water Resources[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(12): 7-11.
- [7] 严子奇,王浩,桑学锋,等.基于模糊聚类预报与序贯决策的水资源开发利用总量动态管理模式[J].中国水利水电科学研究院学报,2017,15(3):161-169.
YAN Ziqi, WANG Hao, SANG Xuefeng, et al. Dynamical Management for Total Amount Control of Water Resources Utilization Based on Fuzzy Cluster Analysis and Sequential Decision [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017, 15(3): 161-169.
- [8] 陈义忠,卢宏伟,李晶,等.基于不确定性的水资源配置双层模型及其实证研究[J].环境科学学报,2016,36(6):2252-2261.
CHEN Yizhong, LU Hongwei, LI Jing, et al. Empirical Research on Bi-level Allocation Model of Water Resources under Uncertainty[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(6): 2252-2261.
- [9] 徐鸿.一种区域水资源管理绩效评价模型及实证研究[J].人民黄河,2016,38(9):42-45.
XU Hong. A Performance Evaluation Model and Empirical Study on Regional Water Resources Management [J]. Yellow River, 2016, 38(9): 42-45.
- [10] 周买春,肖红玉,胡月明,等.BTOPMC/SCAU 分布式流域水文模型原理和系统设计[J].农业工程学报,2015,31(20):132-139.
ZHOU Maichun, XIAO Hongyu, HU Yueming, et al. Principles of BTOPMC/SCAU Distributed Watershed Hydrological Model with System Design [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(20): 132-139.
- [11] 刘玘玘,汪妮,解建仓,等.基于综合集成平台的水资源严格管理的应用[J].水力发电学报,2014,33(6):91-96.
LIU Honghong, WANG Ni, XIE Jiancang, et al. Strict Management of Water Resources on Integrated Service Platform [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(6): 91-96.
- [12] 祝业青,傅高健,顾兴俊.脱硫废水处理装置运行现状及优化建议[J].电力工程技术,2014,33(1):72-75.
ZHU Yeqing, FU Gaojian, GU Xingjun. Operation Condition

and Optimization Measures of Treatment Equipment for Desulfurization Waste Water Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(1):72-75.

[13] 马平森,雷艳娇,卯昌书,等.基于用水总量与效率控制的云南省水资源配置[J].水利水电科技进展,2015,35(1):49-53.
MA Pingsen, LEI Yanjiao, MAO Changshu, et al. Water Resources Rational Allocation Based on Total Water Consumption and Water Efficiency Control in Yunnan Province[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(1):49-53.

[14] STEFANOVIC N, RADOJEVIC I, OSTOJIC A, et al. Composite Web Information System for Management of Water Resources[J]. Water Resources Management, 2015, 29(7):1-17.

[15] 张洪波,兰甜,王斌,等.基于 ET 控制的平原区县域水资源管理研究[J].水利学报,2016,47(2):127-138.
ZHANG Hongbo, LAN Tian, WANG Bin, et al. Regional Water Resources Allocation Oriented to ET Control in Plain Area[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(2):127-138.

(上接第 1072 页)

参考文献(References)

[1] 河北省 2017 年度地震趋势研究报告[R].石家庄:河北省地震局,2016.
Research Report on Annual Earthquake Tendency of Hebei Province in 2017[R]. Shijiazhuang: Earthquake Administration of Hebei Province, 2016.

[2] 吴庆鹏.重力学与固体潮[M].北京:地震出版社,1997.
WU Qingpeng. Gravimetry and Solid Tide[M]. Beijing: Seismological Press, 1997.

[3] 郗欽文,杨林章,黎凯武.地球对引潮力的响应及综合分析[J].中国地震,1994,9(增刊):83-89.
XI Qinwen, YANG Linzhang, LI Kaiwu. Earth's Response to Tidal Generating Force and Its Synthetic Analysis[J]. Earthquake Research in China, 1994, 9(Supp):83-89.

[4] 唐九安,常千军.甘肃省东部地区的潮汐测量结果及其地球动力学意义[J].地震,1995,15(3):252-259.
TANG Jiu'an, CHANG Qianjun, ZHANG Youmin, et al. Observational Result of Tidal Parameters in Eastern Gansu Province and Its Dynamic Significance[J]. Earthquake, 1995, 15(3):252-259.

[5] 张晶,张立.中强震前形变固体潮汐资料短期信息的提取[J].地震,2003,23(3):71-78.
ZHANG Jing, ZHANG Li. Short-term Anomaly Extracted from Tidal Deformation Data Before Moderately Strong Earthquake [J]. Earthquake, 2003, 23(3):71-78.