

doi: 10.3724/SP.J.1201.2014.01050

秦皇岛滨海地区地表径流及污染负荷估算

徐建新¹, 高彦君¹, 谷红梅¹, 陆建红¹, 陈伟²

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450045; 2. 河北省水利科学研究院, 石家庄 050057)

摘要: 基于土地利用、土壤类型等信息数据及研究区水文、气象资料, 在 ArcGIS 软件支撑下, 应用 SCS 径流曲线模型对秦皇岛滨海地区不同频率年径流深和年径流总量进行了计算, 提出适合该研究区域的 C_N 值, 得出秦皇岛滨海地区典型年丰、平、枯径流深分别为 199.13 mm、145.64 mm、126.08 mm, 经合理性分析, 认为模型结果能较精确地反映研究区实际降水-径流关系。同时利用径流研究结果, 对秦皇岛市滨海地区不同水平年径流污染物负荷进行了估算, 为秦皇岛市北戴河地区非点源污染时空分布特征模拟及环境治理效果评价研究提供参考。

关键词: SCS 模型; 地表径流; 非点源污染; 污染负荷

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0050-04

Estimation of Surface Runoff and Pollution Load in the Coastal Region of Qinghuangdao

XU Jianxin¹, GAO Yanyun¹, GU Hongmei¹, LU Jianhong¹, CHEN Wei²

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China;

2. Hebei Provincial Academy of Water Resources, Shijiazhuang 050057, China)

Abstract: Based on the land use, soil classification, and hydrological and meteorological data, the SCS model, developed by Soil Conservation Service (SCS), U. S. A., was applied to simulate the annual runoff depth and surface runoff under different frequencies in the platform of ArcGIS in the coastal region of Qinghuangdao and to determine the appropriate value of C_N in the area. The results showed that the runoff depths were 194.21 mm, 145.64 mm, and 126.08 mm during the wet, normal, and dry seasons, which can accurately reflect the actual rainfall-runoff relationship in the study area. Meanwhile, the surface runoff results were used to estimate the pollution loads under different runoff conditions in the coastal region of Qinghuangdao, which can provide reference for the simulation of spatial and temporal distribution of non-point source pollution and evaluation of environmental improvement in Beidaihe area of Qinghuangdao.

Key words: SCS model; surface runoff; non-point source pollution; pollution load

城市非点源污染是指城市降雨径流淋洗与冲刷大气和汇水面各种污染物引起的受纳水体的污染, 是城市水环境污染的重要因素^[1]。狭义上的城市非点源污染即指城市降雨径流污染^[2], 即雨水径流流经城镇地面, 如商业区、街道、停车场等, 聚集一系列的污染物如原油、盐分、氮、磷、有毒物质及杂物, 随之进入河流或湖泊, 污染地表水或地下水。美国环保署 (USEPA) 已把城市地表径流列为导致全美河流和湖泊污染的第三大污染源^[3]。Novotny^[4] 等的研究表明, 城市径流是仅次于农业非点源的第二大非点源污染。因此, 城市降雨径流污染负荷的定量化研究是城市非点源污染控制的重要环节之一^[5]。

秦皇岛北戴河近岸海域是著名的滨海旅游胜地, 近年来

出现了水质恶化和生态系统服务功能退化的现象。基于滨海地区污染因子识别与成因分析, 同时在点源污染基本得到控制的前提下, 可以确定非点源污染是近岸海域污染负荷的最主要来源。目前, 对秦皇岛市滨海地区的城市非点源污染研究以及文献资料极少。本文在 ArcGIS 软件的支持下, 将研究区地表分为不同用地类型如草地、林地、建设用地等, 分别选用不同的 C_N 值, 运用 SCS 模型估算不同用地类型径流量; 同时, 在有限资料的条件下, 结合秦皇岛滨海地区的实际情况, 对秦皇岛市滨海地区径流污染物负荷进行估算, 以期对北戴河近岸海域水环境综合治理提供基础数据, 为秦皇岛市北戴河地区非点源污染时空分布特征模拟及环境治理效果评价研究提供边界条件。

收稿日期: 2013-09-18 修回日期: 2013-11-18 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01054.html>

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“北戴河近岸海域环境污染成因分析及综合整治效果评价研究”(2011BAD25B01)

作者简介: 徐建新(1954-), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士, 从事区域水资源高效利用及灌排发展战略研究。E-mail: xujianxin@ncwe.edu.cn

通讯作者: 高彦君(1988-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事区域水资源高效利用及管理研究。E-mail: 874814602@qq.com

1 研究区概况

秦皇岛市位于河北省东北部,东经 $118^{\circ}33' - 119^{\circ}51'$,北纬 $39^{\circ}22' - 44^{\circ}37'$ 之间。秦皇岛市属暖温带半湿润季风气候,四季分明:春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季昼暖夜凉,冬季寒冷干燥。全市多年平均气温 10.1°C ,最低气温发生在1月份,月平均气温 -6.8°C ;最高气温发生在7月份,月平均气温 24.7°C 。全市平水年降水量($P=50\%$) 641.9 mm ,丰水年降水量($P=25\%$) 779.5 mm ,枯水年降水量($P=75\%$) 543.7 mm ,其中全年80%左右的雨量集中在汛期。本次研究的滨海地区为秦皇岛市的市区,包括山海关区、海港区、北戴河区,以及昌黎县、抚宁县部分滨海区域,见图1。

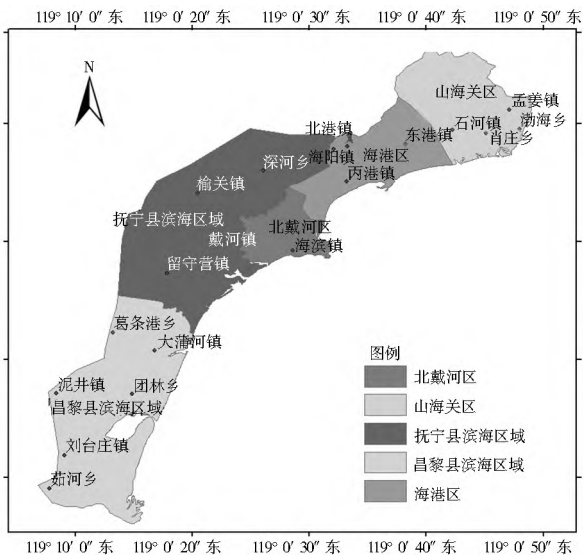


图1 秦皇岛市滨海区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the coastal areas in Qinhuangdao

2 SCS 径流曲线模型

SCS 径流曲线数值方程 (curve number equation) [6] 是美国水土保持局提出的一种小流域径流计算方法。该模型综合考虑了流域降雨、土壤类型、土地利用方式及管理水平、前期土壤湿润状况与径流间的关系,具有结构简单、所需参数较少、对观测数据要求不很严格的特点[78],可用于小流域工程规划、水土保持及防洪设计、城市水文及无资料区流域径流计算。目前,该模型在全球范围内得到了广泛应用,并取得了较好的效果[9]。SCS 径流曲线方程表达式为:

$$\begin{cases} R = (P - I_a)^2 / (P + S - I_a) & P \geq I_a \\ R = 0 & P < I_a \end{cases} \quad (1)$$

$$S = 25400 / C_N - 254 \quad (2)$$

式中: R 为1次降雨地表径流深度 (mm); S 为可能最大滞留量 (mm); p 为1次降水量 (mm); I_a 为初损量 (mm); C_N 为径流曲线数值,与土壤植被有关,是一个无量纲参数。

由于 I_a 不易准确测定,SCS 建立了经验公式: $I_a = 0.2S$,得到最常见的降雨-径流表达式:

$$\begin{cases} R = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) & P \geq I_a \\ R = 0 & P < I_a \end{cases} \quad (3)$$

C_N 值[10]是SCS模型的主要参数,与土壤湿润程度、土

壤类型、植被类型以及不透水层比例等因素有关,用于描述降雨-径流关系,反映研究区下垫面产流能力。在降雨一定的情况下, C_N 值越大,产流能力强,反之亦然[11]。

根据土壤特性,可以将土壤划分为: A类(透水)、B类(较透水)、C类(较不透水)、D类(接近不透水)[7]。利用 C_N 值表可查得不同土地利用情况下,不同土壤类型的 C_N 值,取值范围为 $0 \sim 100$ [12]。然后依照降雨发生前5日的降雨总量划分为湿润、中等湿润和干旱3种状态,并对 C_N 值进行换算[13,14],结果见表1。

表1 不同土地利用类型中等湿润条件下 C_N 值

Table 1 Different C_N values under moderately wet conditions for different land use types

不同土地利用类型	C_N			
	A类	B类	C类	D类
耕地	72	81	88	91
水域	98	98	98	98
未利用土地	78	87	82	95
建设 用地	77	85	90	92
农村居民用地	51	68	79	84
其他建设用地*	89	92	94	95
草 地	36	61	74	80
高覆盖度(覆盖度 > 75%)	72	82	86	89
中、低覆盖度(覆盖度 < 75%)	25	55	70	77
林 地	36	60	73	79
有林地、灌木林				
疏林地、墓地林地				

注: 其他建设用地,指除城镇和农村居民用地外的,铁路、道路、公共设施用地、采矿点等用地类型。

在计算得出某场降雨的径流深后,结合研究区域各不同土地利用情况及土壤类型对应的产流区面积,进行该次降雨的径流量估算,其具体计算表达式为:

$$V = 1000RA \quad (4)$$

式中: V 为该次降雨的径流量 (m^3); A 为产流面积 (km^2); R 为该次的径流深 (mm)。

3 地表径流量计算

3.1 土地利用类型划分

根据2010年秦皇岛市全区域土地利用类型图(图2)及土壤类型图(图3),通过ArcGIS解译[15]得到滨海不同土地利用类型不同土壤类型的面积,见表2。

3.2 径流量计算

3.2.1 秦皇岛市降水情况

本次研究选择 $P=25\%$ 、 $P=50\%$ 、 $P=75\%$ 的典型年为1998年、1983年、2007年,各典型年降水量分别为 791.4 mm 、 632.8 mm 、 532.7 mm 。资料显示[16],当次降水量达到 5 mm 时,仅能将地表完全湿润, $5 \sim 10\text{ mm}$ 时则可形成街道降水径流。1998年秦皇岛市有效降水34场,有效降水量为 748.1 mm ,占全年的94%;1983年秦皇岛市有效降水28场,有效降水量 588.7 mm ,占全年的93%;2007年有效降水27场,有效降水量 487.6 mm ,占全年91%。以2007年27场有效降水为例,列出各次降水情况,结果见表3。

3.2.2 典型年秦皇岛市地表径流量计算

根据表2所列不同土地利用方式对应的土壤类型,依照

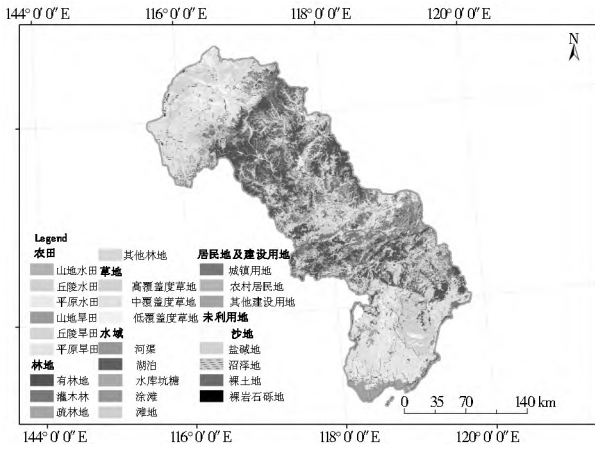


图 2 秦皇岛市土地利用方式

Fig. 2 Land use types in Qinhuangdao

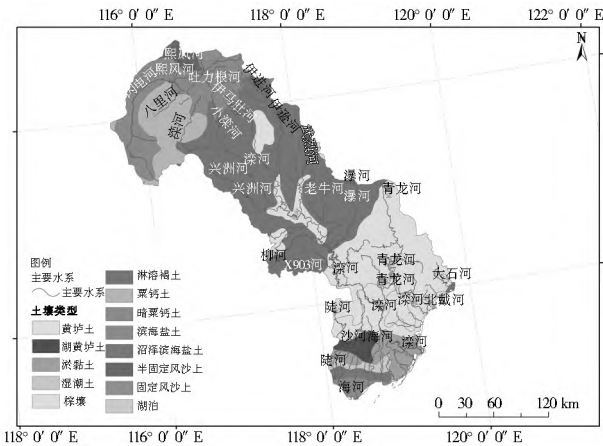


图 3 秦皇岛市土壤类型

Fig. 3 Soil types in Qinhuangdao

C_N 值的确定方法, 最终确定不同 AMC 等级条件下的 C_N 值, 见表 4。将各典型年秦皇岛市各次有效降水事件对应 AMC 等级, 得出对应 C_N 值。以 2007 年 4 月 12 日降雨为例, 计算其径流深及径流量, 依次计算出各场有效降水径流深及径流量, 见表 5。

经计算, 1998 年秦皇岛市滨海区域径流深为 194.21 mm, 年径流总量 20 136.86 万 m^3 ; 1983 年径流深为 145.64 mm, 年径流总量 14 630.31 万 m^3 ; 2007 年径流深为 126.08 mm, 年径流总量 13 022.11.08 万 m^3 。计算所得径流深对应径流系数分别为 0.245、0.230、0.235, 与秦皇岛市水文手册给出的多年平均径流系数 0.239^[7] 基本吻合。由模型输出结果径流深及径流系数可以认为, SCS 径流曲线模型较好地模拟了秦皇岛市各频率年降水-径流水文过程, 其数据能够表征研究区实际情况。

4 地表径流污染负荷估算

由于降雨径流过程中径流量与污染物浓度随降雨历时不断变化, 具有很强的随机性, 因此地表径流污染量可以采用下式计算:

$$W_T = 1000 \int_{t_0}^{t_e} C_T V_T dt \quad (5)$$

式中: C_T 为 t 时刻地表径流污染物浓度 (mg/L); V_T 为 t 时刻地表径流 (m^3); t_0 和 t_e 分别为时段初始时刻和结束时刻。

表 2 秦皇岛市滨海区域土地利用、土壤类型分类及面积

Table 2 The classification and area of land use and soil type in the coastal region of Qinhuangdao

土地利用类型	土壤类型	面积/ km^2	合计/ km^2
耕地	C	413.23	613.60
	D	200.37	
水域	C	23.17	55.39
	D	32.22	
未利用土地	D	14.98	14.98
城镇用地	C	75.10	84.15
	D	9.05	
建设 用地	C	53.83	80.78
	D	26.95	
其它建设用地	C	16.91	22.51
	D	5.60	
草地	C	11.27	142.97
	D	34.70	
林地	C	56.24	86.21
	D	40.76	
有林地、灌木林	C	13.78	86.21
	D	58.23	
疏林地、墓地林地	C	8.23	86.21
	D	5.97	
总计			1 100.59

表 3 2007 年秦皇岛市有效降水量及 AMC 等级

Table 3 Effective precipitation and AMC Rating of Qinhuangdao in 2007

日期	降水量/mm	AMC	日期	降水量/mm	AMC
03/01	6		07/04	22.6	III
03/04	16.9	I	07/08	5.2	I
03/19	6.6	I	07/18	81.3	I
04/12	15.9	I	07/31	8.9	I
05/11	6.6	I	08/07	11.7	I
05/16	13.9		08/08	7.3	I
05/22	9.6	I	08/16	10.2	I
05/23	18.7	I	08/26	9.9	I
05/31	9.5	I	09/14	22.3	I
06/01	7.2	I	10/01	21.3	I
06/27	8.7	I	10/05	18.1	I
06/28	6.1	I	10/06	40.5	III
06/30	46.1	I	10/27	12.9	I
07/01	43.6	III			

但由于缺乏研究区不同土地利用类型地表径流污染物浓度资料, 本次利用河北省水利科学研究院给出的秦皇岛地区地表径流污染物平均浓度: TN 2.4 mg/L、TP 0.42 mg/L、COD 70 mg/L、 NH_3-N 0.24 mg/L, 计算研究区域的污染物负荷量, 计算公式简化为:

$$W_T = 1000 C_M W_S \quad (6)$$

式中: C_M 为地表径流的平均浓度 (mg/L); W_S 为地表径流总量 (m^3)。

根据式(6)估算出不同水平年秦皇岛市滨海地区 TN、

TP、COD、NH₃-N 的污染负荷量:

表4 不同 AMC 等级条件下 C_N 值

Table 4 Different C_N values under different AMC ratings

土地利用类型	土壤类型 C			土壤类型 D		
	AMC _N	AMC _O	AMC ₀	AMC _N	AMC _O	AMC ₀
耕地	75	88	95	80	91	97
水域	94	98	99	94	98	99
未利用土地	66	82	92	66	82	92
城镇用地	78	90	96	81	92	97
农村居民用地	62	79	91	68	84	93
其它建设用地	85	94	98	87	95	98
高覆盖度草地	55	74	88	63	80	91
中、低覆盖度草地	72	86	94	76	89	96
有林地、灌木林	51	70	85	59	77	89
疏林地、墓地林地	54	73	87	62	79	91

表5 2007年4月12日降水径流计算

Table 5 Calculation of precipitation runoff on April 12, 2007

土地利用类型	土壤类型	降雨量/mm	C _N	径流深/mm	径流量/万 m ³
耕地	C	15.9	75	0.00	0.00
	D	15.9	80	0.15	3.08
水域	C	15.9	94	5.55	12.86
	D	15.9	99	13.19	42.49
未利用土地	D	15.9	66	0.00	0.00
城镇用地	C	15.9	78	0.03	0.25
	D	15.9	97	9.25	8.38
农村居民用地	C	15.9	62	0.00	0.00
	D	15.9	68	0.00	0.00
其它建设用地	C	15.9	85	0.93	1.57
	D	15.9	87	1.49	0.83
高覆盖度草地	C	15.9	55	0.00	0.00
	D	15.9	63	0.00	0.00
中、低覆盖度草地	C	15.9	72	0.00	0.00
	D	15.9	76	0.00	0.00
有林地、灌木林	C	15.9	51	0.00	0.00
	D	15.9	59	0.00	0.00
疏林地、墓地林地	C	15.9	54	0.00	0.00
	D	15.9	62	0.00	0.00

丰水年分别为 483.28 t、84.57 t、14 095.79 t、48.33 t;

平水年分别为 351.13 t、61.45 t、10 241.22 t、35.11 t;

枯水年分别为 312.53 t、54.69 t、9 115.48 t、31.25 t。

对应于研究区域的输出系数为:

丰水年分别为 83.99 kg/(hm²·a)、14.69 kg/(hm²·a)、2 449.82 kg/(hm²·a)、8.39 kg/(hm²·a);

平水年分别为 61.02 kg/(hm²·a)、10.68 kg/(hm²·a)、1 779.89 kg/(hm²·a)、6.10 kg/(hm²·a);

枯水年分别为 54.32 kg/(hm²·a)、9.51 kg/(hm²·a)、1 584.24 kg/(hm²·a)、5.43 kg/(hm²·a)。

5 结语

本文将秦皇岛滨海地区按照土地利用方式和土壤类型

情况进行组合,提出适合于研究区不同 AMC 等级的不同地类产流计算的 C_N 值,运用 SCS 径流曲线模型计算出丰、平、枯典型年径流深,并据此对径流污染负荷进行了初步估算。但是,SCS 模型未考虑降雨历时对 C_N 值的影响。同时,土壤前期湿润程度对研究区产流也有显著影响,而模型当中只是将前 5 日总雨量作为前期湿润程度(AMC),该参数带有一定的经验性与跳跃性,加之我国又缺乏 C_N 的相关数据库。这些因素在一定程度上降低了模型的精度。

另外,由于受污染物浓度数据的限制,此次污染负荷估算采用的是产流区域内平均污染浓度,未能对不同地类条件下地表径流污染负荷进行分块模拟,其结果精度偏低,只能作为污染负荷的粗略数据。因此未来的工作需要获得已有污染物浓度资料或对研究区域产流主要控制断面浓度值进行实地监测,同时精确率定各土地利用类型与土壤类型的 C_N 值,以提高污染负荷计算精度。

参考文献(References):

- [1] 林积泉,马俊杰,王伯铎,等.城市非点源污染及其防治研究[J].环境科学与技术,2004(27):63-65. (LIN Jiquan, MA Jurjie, WANG Bodo, et al. Study on Urban Nonpoint Source Pollution and Its Control[J]. Environmental Science and Technology, 2004(27): 63-65. (in Chinese))
- [2] 张瑜英,孙美云,李占斌.城市非点源污染研究进展与展望[J].人民黄河,2006,28(3):42-43. (ZHANG Yuying, SUN Meiyun, LI Zhanbin. Urban nonpoint Source Pollution Progress and Prospects[J]. Yellow River, 2006, 28(3):42-43. (in Chinese))
- [3] US EPA. National Water Quality Inventory. Report to Congress Executive Summary[R]. Washington D C: US EPA. 1995: 344.
- [4] Novotny V, Olem H. Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1993.
- [5] 李立青,尹澄清,何庆慈,等.武汉市城区降雨径流污染负荷对收纳水体的贡献[J].中国环境科学,2007,27(3):312-316. (LI Liqing, YIN Chengqing, HE Qingci, et al. Contribution of Pollution Load of Storm Runoff in Urban Areas of Hanyang, Wuhan City on the Receiving Water[J]. China Environmental Science, 2007, 27(3): 312-316. (in Chinese))
- [6] Budhendra B, Jon H, Bernie E, et al. Assessing Watershed scale, Longterm Hydrologic Impacts of Land use Change Using a GIS-NPS Model[J]. Environmental Management, 2000, (6): 643-658.
- [7] 刘兰岚.上海市中心城区土地利用变化对径流的影响及其水环境效应研究[D].华东师范大学,2007. (LIU Lanlan. Impacts of Land Use Change on Runoff of Shanghai Central City and Relevant Environmental Effects[D]. East China Normal University, 2007. (in Chinese))
- [8] 陶艳成,华瑾,卢远,等.长江流域土地利用变化对径流的影响[J].中国水土保持,2013,(6):34-38. (TAO Yancheng, HUA Cui, LU Yuan, et al. Land Use Change on Runoff of Chin River Watershed[J]. Soil and Water Conservation in China, 2013, (6): 34-38. (in Chinese))

(下转第 104 页)

- 界面下移[J]. 水文地质工程地质, 2007, (1): 44-46. (SONG Hai bo, ZHANG Zhaoji, FEI Yurong, et al. Down movement of Fresh saline Groundwater Interface in the Middle of the Hebei Plain under the Condition of Exploitation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, (1): 44-46. (in Chinese))
- [2] 张宗祜, 沈照理, 薛禹群, 等. 华北平原地下水环境演化[M]. 北京: 地质出版社, 2000. (ZHANG Zonghu, SHEN Zhao li, XUE Yurong, et al. Evolution of the Groundwater Environment in North China Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. (in Chinese))
- [3] 张宗祜, 施德鸿, 任福弘, 等. 论华北平原第四系地下水系统之演化[J]. 中国科学, 1997, 27(2): 168-173. (ZHANG Zong-hu, SHI De hong, REN Fu hong, et al. The Evolution of the Theory of the North China Plain Quaternary Groundwater System[J]. Science in China, 1997, 27(2): 168-173. (in Chinese))
- [4] 周炼, 刘存富, 姜山, 等. 河北沧州地区第四纪地下水³⁶Cl示踪[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 418-420. (ZHOU Lian, LIU Cufu, JIANG Shan, et al. The Tracing of ³⁶Cl in Quaternary Groundwater of the Cangzhou Area, Hebei Plain[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(4): 418-420. (in Chinese))
- [5] 王家兵. 华北平原深层淡水在开采条件下接受上覆咸水越流补给—以天津平原为例[J]. 水文地质工程地质, 2002, (6): 35-37. (WANG Jiabing. Leakage Recharge from Pores Saline Groundwater to Deep Fresh Groundwater on the Condition of Pumping in Huabei Plain A Case of Tianjing Plain[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2002(6): 35-37. (in Chinese))
- [6] Yousif K Kharaka, Frederick A F, Berry. Simultaneous Flow of Water and Solutes through Geological Membranes I[J]. Experimental Investigation. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1973 (37): 2577-2603.
- [7] J D Bredehoeft, C R Blyth, W A White, et al. Possible Mechanism For Concentration of Brines In Subsurface Formations[J]. Bulletin of The American Association of Petroleum Geologists, 1963, 47(2): 257-269.
- [8] Takeo Ebina, Rwaichi J A, Minja. Correlation of Hydraulic Conductivity of Clay - Sand Compacted Specimens with Clay Properties[J]. Applied Clay Science, 2004, (26): 3-12.
- [9] Michael A Malusis, Charles D Shackelford, Harold W Olsen. Flow and Transport through Clay Membrane Barriers[J]. Engineering Geology, 2003, (70): 235-248.
- [10] Li Liangxiang, T M Whitworth, R Lee. Construction of an Ultrathin, Compacted Clay Membrane for Use in Reverse Osmosis[J]. Applied Clay Science, 2003, (24): 59-68.
- [11] Michael A Malusis, Charles D Shackelford. Theory for Reactive Solute Transport through Clay Membrane Barriers[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2002, (59): 291-316.
- [12] Nikolai M Kocherginsky, Joseph W Stucki. Supported Clay Membrane: a New Way to Characterize Water and Ion Transport in Clays[J]. Advances in Environmental Research, 2001, (5): 197-201.
- [13] J D Sherwood, B Craster. Transport of Water and Ions Through a Clay Membrane[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, (230): 349-358.
- [14] N Foged, J Baumann. Clay Membrane Made of Natural High Plasticity Clay: Leachate Migration due to Advection and Diffusion[J]. Engineering Geology, 1999, (54): 129-137.
- [15] GB/T 50123-1999, 中华人民共和国国家标准 土工试验方法标准[S]. (GB/T 50123-1999, Standard for Soil Test Method [S]. (in Chinese))

(上接第53页)

- [9] 刘贤赵, 康绍忠, 刘德林, 等. 基于地理信息的SCS模型及其在黄土高原小流域降雨径流关系中的应用[J]. 农业水土工程, 2005, 21(5): 93-97. (LIU Xianzhao, KANG Shaoshong, LIU Delin, et al. SCS Model Based on Geographic Information and Its Application to Simulate Rainfall runoff Relationship at Typical Small Watershed Level in Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(5): 93-97. (in Chinese))
- [10] 王业雷. 南昌市城区降雨径流污染特征分析及防治措施研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008. (WANG Yelei. Study on the Rainfall Runoff Pollution Process and Prevention Measure in Nanchang Urban[D]. Nanchang: Nanchang University, 2008. (in Chinese))
- [11] Tsuyoshi Ishida. Acoustic Emission Monitoring of Hydraulic Fracturing in Laboratory and Field[J]. Construction and Building Materials, 2001, 15(5): 283-295.
- [12] Dean Sinder Hydrlic Engineer. Section 4 Hydrology Chapter 16 Hydrographs[M]. United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, Washington DC: Washington: Govt. Print. Off, 1972: 16. 1-16. 24.
- [13] 王红雷, 王秀茹, 王希, 等. 采用SCS-CN水文模型和GIS确定雨水集蓄工程的位置[J]. 农业工程学报, 2012, (22): 108-114. (WANG Hong lei, WANG Xiru, Wang Xi, et al. Identification of Potential Rainwater Harvesting sites Using SCS-CN and GIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, (22): 108-114. (in Chinese))
- [14] 王业耀, 汪太明, 香宝. SCS模型中城市地区土壤AMC确定方法的改进及应用研究[J]. 水文, 2011, 31(4): 23-27. (WANG Yeyao, WANG Tai ming, XIANG Bao. High Water Line Extension of Stage discharge Relationship Based on Multilevel Recursive and Regression Analysis[J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(4): 23-27. (in Chinese))
- [15] 张若琳, 万力, 张发旺, 等. 土地利用遥感分类方法研究进展[J]. 南水北调与水利科技, 2006, 4(2): 39-42. (ZHANG Ruolin, WAN Li, ZHANG Fawang, et al. Development of Research on Remote Sensing Classification Technology for Land Use and Cover[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2006, 4(2): 39-42. (in Chinese))
- [16] 郭琳, 曾光明, 程运林. 城市街道地表物特性分析[J]. 环境监测, 2003, 19(6): 40-42. (GUO Lin, ZENG Guangming, CHENG Yunlin. Identity Analysis of the Surface Sediment on Urban Streets[J]. Environment Monitoring in China, 2003, 19(6): 40-42. (in Chinese))
- [17] 秦皇岛市水务局. 秦皇岛市水文手册[K]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2012. (Qinhuangdao Water Supplies Bureau. Hydrologic Manual of Qinhuangdao[K]. Shijiazhuang: Science and Technology Press of Hebei, 2012. (in Chinese))