

1950 年代和 1990 年代西北江网河区水动力特征变化

谭超¹ 杨清书² 刘秋海² 徐治中²

(1. 广东省水利水电科学研究院 广东 广州 510610 ; 2. 中山大学河口海岸研究所 广东 广州 510275)

摘要 采用一维三级联解方法 ,对 20 世纪 50 年代和 90 年代珠江三角洲西、北江网河进行建模和验证 ,同时分析洪季、枯季时网河的水动力特征。研究结果表明 :模型较好地模拟了实际情况 ,可用于网河的水动力特征分析 ;50 年来西北江网河的主要汉点的分流比发生了较大改变 ,北江干流及其周边节点的分流比变化程度大于西江干流节点 ,20 世纪 90 年代的西江干流沿程水面线普遍比 50 年代降低 ,其中西江干流上段下降更剧烈 ,90 年代网河区潮汐动力明显增强 ,洪季高压区与低压区水位差减小 ,枯季潮汐动力控制范围增大。剧烈的人类活动引起的河道地形改变是 50 年来西北江网河水动力变化的主要原因。

关键词 西北江网河 地形演变 水动力特征

中图分类号 :TV131.2 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2009)S1-0028-05

河口区河流来水来沙变化以及河床地形的演化是陆海相互作用的重要研究内容。珠江三角洲网河区河床演变与水动力变化研究一直备受学者关注 ,并陆续取得了一系列成果^[1-3]。珠江三角洲是世界上最复杂的网河三角洲之一 ,近 50 年来 ,珠江三角洲地区经历了人类活动高强度的开发 ,其中 20 世纪 50~80 年代珠江三角洲经历了联围筑闸、口门抛石促淤、滩涂围垦和口门整治 ,80 年代又开始进行大规模的网河挖沙、航道疏浚等重大人类活动。在珠江三角洲这一巨系统中 ,剧烈的人类活动引起三角洲网河区河床地形的改变 ,进而引起网河区水动力格局的巨大变化。研究珠江三角洲的河床地形演变和水动力变化以及地形变化对水动力变化的影响 ,不仅有利于加深对网河地形动力机制的了解 ,而且为网河区防洪、航道建设等提供一定的参考。

笔者采用一维水动力数值模拟方法^[46] ,以思贤邨以上约 5km 为上界 ,各口门为下界 ,对西、北江网河 (不包括东江网河 ,见图 1) 进行建模和验证 ,同时对 20 世纪 50 年代和 90 年代网河水动力特征进行分析。

1 一维水动力数学模型

1.1 控制方程、边界条件和模型算法

河网区水流控制方程用一维圣维南方程来

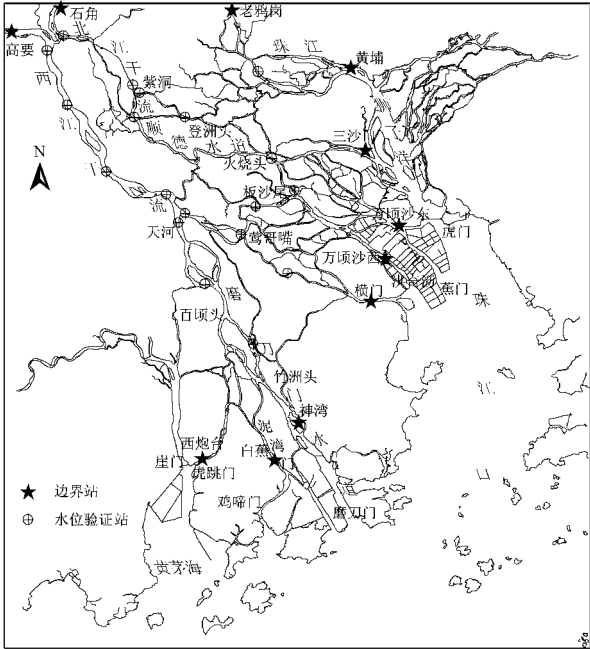


图 1 珠江三角洲网河水动力数学模型区域示意图描述 :

连续性方程 $\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = q_L$

动力学方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{u|u|}{C_s^2 R} = 0$$

基金项目 :国家重点基础研究发展计划(2002CB412407) ;国家自然科学基金重点基金(40331007)
作者简介 :谭超(1985—) ,男 ,湖南长沙人 ,硕士研究生 ,从事河口海岸动力、过程、沉积地貌研究。 E-mail :gdsjy_tanchao@foxmail.com

式中 : H 为断面水位 ; Q 为流量 ; u 为平均流速 , $u = Q/S$; S 为河道过水断面面积 ; g 为重力加速度 ; B 为不同水位下的水面宽度 ; q_L 为旁侧入流流量 ; R 为水力半径 ; C_S 为谢才系数 ; x, t 分别为位置和时间坐标。

模型的流量边界条件为西江高要和北江石角的流量过程 ,潮位边界条件为老鸦岗、黄埔、三沙口、万顷沙东、万顷沙西、横门、神湾、白蕉、西炮台的潮位过程。

模型算法采用一维隐式三级河网算法。

1.2 地形的概化

根据西、北江三角洲网河区的基本情况 ,将河道与河道之间的交叉点概化为节点 ,节点与节点之间的河道概化为河段。为了尽可能真实地模拟网河区的水动力特征 ,尽量按照河道地形及网河结构的原貌进行概化 ,将西、北江网河概化为 88 个节点 (70 个内点和 12 个外点) 142 个河段。

地形资料 :①20 世纪 50 年代采用 1956 年西北江网河区 1:5 000 航道图 ;②20 世纪 90 年代采用珠江水利委员会勘测设计研究院及广东省水利电力勘测设计研究院 1999 年在珠江三角洲网河联合测量的 1:5 000 河道地形资料。

1.3 模型率定与验证

选取 1956 年 6 月、12 月 ,1999 年 7 月及 2001 年 1 月西北江三角洲网河主要水文站位(水位站)水文资料进行模型的率定和验证 ,验证的结果表明 : 19 个验证站的计算值和实测值吻合较好 ,水位平均误差基本在 0.1 m 以内 ,水位验证的效果良好 ,表明数学模型中各概化断面基本代表河道的实际情况 ,其选取的糙率值 (0.015 ~ 0.036)能够反映现阶段河道的综合水流阻力 ,因而可用于 20 世纪 50 年代和 90 年代网河水动力特征的分析。

2 水动力特征分析

2.1 西北江网河主要汉点的分流比变化模拟

西北江三角洲网河区主要受径流与潮汐共同作用 ,在纵横交错的网河系统影响下 ,各河汉间的交互作用复杂多变 ,并对网河的区域水动力特性产生敏感影响。汉口分流比反映了连接于该河汉各河道的进出流条件 ,其变化将直接导致流量在网河区各汉道动力重新分配 ,导致各汉道动力特性分布上的改变 ,是网河动力特性的重要表征指标之一 ,反映了径潮作用的相对强弱。网河区各汉道分流比的改变 ,主要原因是网河区河道大规模的采沙活动引起河床下切所致 ,通过模型计算得到 20 世纪 50 年代和 90 年代西北江网河区主要控制节点的分流比变化

(表 1、表 2)。

表 1 20 世纪 50 年代洪枯季西北江三角洲网河区主要控制节点流量分流比变化

节点	1956-06 洪季		1956-12 枯季涨潮		1956-12 枯季落潮	
	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%
马 口	30 396	78.00	0	0	1 782	88.77
三 水	8 572	22.00	42	100.00	226	11.23
南 华	13 793	45.00	1 000	37.90	1 608	37.90
天 河	16 859	55.00	1 639	62.10	2 084	62.10
百顷头左	8 549	51.76	1 259	53.14	1 466	54.99
百顷头右	7 968	48.24	1 111	46.86	1 200	45.01
竹洲头左	12 261	88.45	1 998	82.32	2 734	86.36
竹洲头右	1 602	11.55	429	17.68	432	13.64
莺歌嘴左	11 585	83.81	1 072	82.91	1 368	81.67
莺歌嘴右	2 238	16.19	221	17.09	307	18.33
紫洞左	2 310	29.36	9	4.10	44	14.25
紫洞右	5 558	70.64	217	95.90	267	85.75
登洲头左	2 632	77.10	195	83.91	169	79.58
登洲头右	782	22.90	37	16.09	43	20.42

表 2 20 世纪 90 年代末洪季及 21 世纪初枯季西北江三角洲网河区主要控制节点流量分流比变化

节点	1999-07 洪季		2001-01 枯季涨潮		2001-01 枯季落潮	
	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	分流 比/%
马 口	23 639	75.3	1 386	76.7	3 212	77.1
三 水	7 743	24.7	421	23.3	955	22.9
南 华	10 749	49.3	1 307	56.8	1 845	48.9
天 河	11 046	50.7	995	43.2	1 929	51.1
百顷头左	6 413	62.2	1 016	59.3	1 657	60.8
百顷头右	3 892	37.8	696	40.7	1 067	39.2
竹洲头左	6 546	86.9	1 832	87.4	2 427	89.8
竹洲头右	985	13.1	264	12.6	277	10.2
莺歌嘴左	8 952	83.2	1 139	78.8	1 625	80.7
莺歌嘴右	1 804	16.8	307	21.2	388	19.3
紫洞左	2 611	33.7	182	40.2	327	35.9
紫反右	5 147	66.3	270	59.8	583	64.1
登洲头左	2 153	62.8	214	60.7	402	66.2
登洲头右	1 273	37.2	138	39.3	205	33.8

据表 1 和表 2 可以归纳出以下几点 :

从 20 世纪 50 年代的计算结果看 ,三水流量远小于马口流量 ,马口的分流比约占 75% ,其中马口分流比枯季大于洪季 ,天河流量略大于南华 ,分流比大约各占 50% ,洪枯季变化不明显 ,百顷头左流量大于百顷头右流量 ,百顷头左的分流比约为 61% ,其中百顷头左的分流比洪季大于枯季 ,竹洲头右的分流比远大于竹洲头左 ,且枯季比洪季更大 ,莺歌嘴左的分流比远大于莺歌嘴右的分流比 ,且洪季比枯季更大 ;紫洞左的分流比大于紫洞右 ,且枯季大于洪季 ,登洲头左分流比大于登洲头右 ,同样枯季大于洪季。

从 20 世纪 90 年代末的计算结果看 ,在网河河床因采沙导致大幅度下切之后 ,三角洲网河区一级

控制节点马口、三水的分流比发生了明显变化,马口的分流比下降显著,其中枯季下降更为明显。以下各级节点——天河、百顷头右、竹洲头左、紫洞右,登洲头左的分流比都有不同程度的减少,其中枯季变化更加明显。

2个年份的分流比变化的主要原因是河道地形的变化。河道地形变化主要是人类活动引起的,20世纪80年代以来高强度的人类采沙活动导致局部河段河床严重下切,此外沿水道建筑多处挑水及壅水坝群引起剧烈冲刷和水位变异。而北江干流人类活动的强度大于西江干流,从分流比变化的幅度来看,处于北江干流及周边的节点分流比变化程度大于西江干流节点,思贤膺、紫洞、登州头和莺歌嘴分流比变化幅度大于天河、百顷头和竹洲头,这表明北江网河区的采沙强度比西江网河区强。

2.2 西江干流水面线的变化

水面线对地形的变化非常敏感,河床大幅度下切后,水面线随之调整。应用一维水力模型,选取1956年的河道地形作为河床地形大幅度变化前的地形,以1999年河道地形作为河床地形大幅度变化后的地形。

图2是西江干流20世纪50年代和90年代洪枯季最高水位和最低水位的沿程变化。从洪季最高水位和最低水位对比来看,洪季西江干流沿程最高水位和最低水位变化比较一致,洪季西江干流是泄洪的主要通道,水位持续壅高,洪季的最高水位和最低水位变化不明显;从枯季最高水位和最低水位对比来看,枯季最高水位沿程比降比最低水位小,最低水位沿程比降相对较大,枯季西北江网河区主要受潮汐作用控制,最高水位主要受潮汐作用影响,最高

水位从马口到口门变化不大,但是最低水位主要受沿程地形地面坡降的影响,最低水位从马口到口门逐渐降低。

从2个年份对比来看,首先一个明显的趋势是20世纪90年代的西江干流沿程水面线普遍比50年代降低,其中西江干流上段下降更明显。从洪季看,最高水位在马口到天河段平均下降2m左右,天河以下最高水位下降逐渐减少(因潮汐动力向口门渐强)到口门区2个年份的最高水位基本相同;最低水位的下降幅度更大,在天河以上平均下降3m左右。从枯季看,20世纪50年代最高水位沿程逐渐降低,而90年代最高水位沿程水面比降很小;最低水位90年代比50年代下降,但下降幅度很小。

2个年份西江干流沿程水位变化主要是西江干流地形变化引起的,从20世纪80年代以来,大规模的人类活动,如河道过度采沙及航道疏浚等,导致河床严重下切,所以在洪季时,90年代西江干流沿程最高水位和最低水位都明显下降,主要是河床下切造成的,而河床下切导致网河区潮汐动力增强,在枯季时更为明显,所以在枯季时,90年代西江干流沿程水位变化没有洪季那么显著,这主要是枯季西江干流马口以下都受到潮汐控制,潮汐作用成为主导因素,水位变化随地形变化的幅度变小。

2.3 西北江网河区等水位线变化

现代珠江三角洲网河水道淤积发展的不平衡性及其衍生的“河道”与“潮道”共生的局面,造成了三角洲上水流动力空间分布的巨大反差(特别是在洪季)。根据模型计算得到西北江网河区20世纪50年代和90年代洪枯季主要断面的平均水位,用surfer绘制成2个年份洪枯季等水位图(图3、图4)。

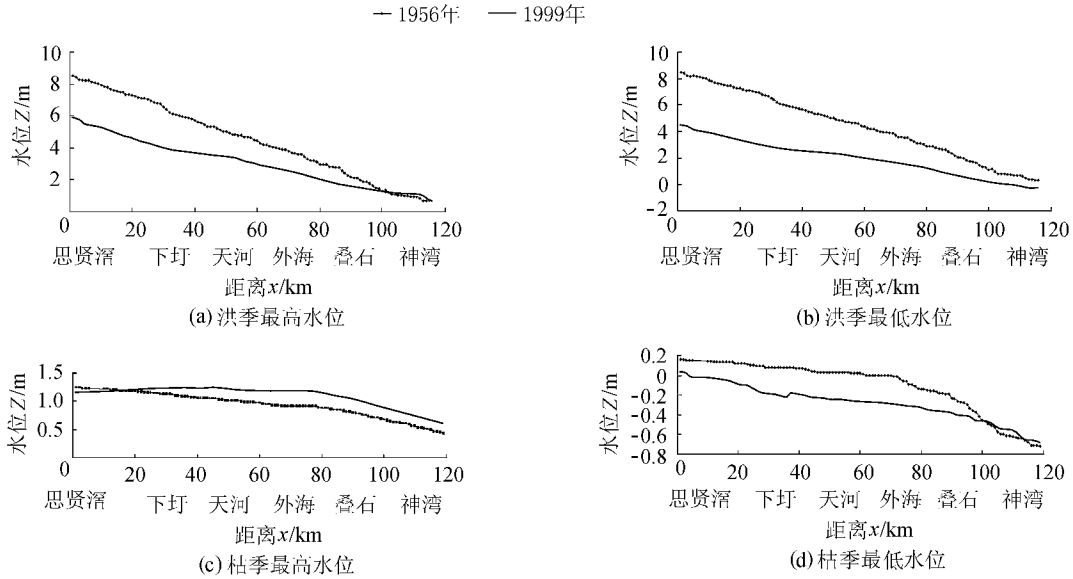
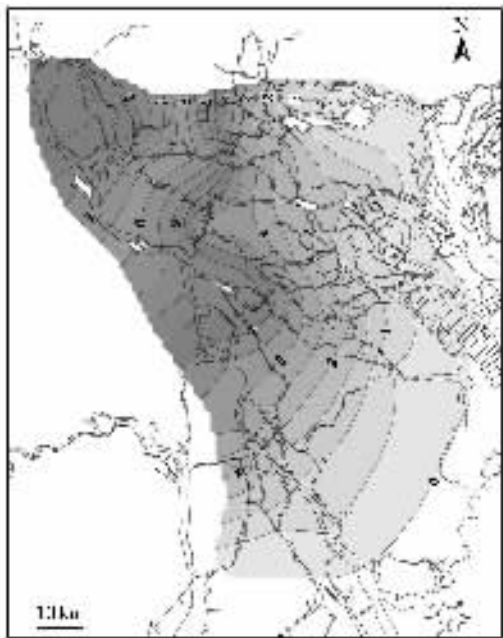


图2 西江干流20世纪50年代和90年代洪枯季最高水位和最低水位的沿程变化

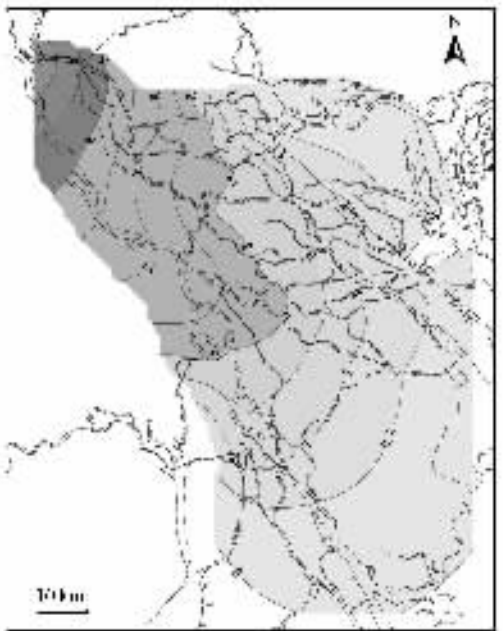


洪季

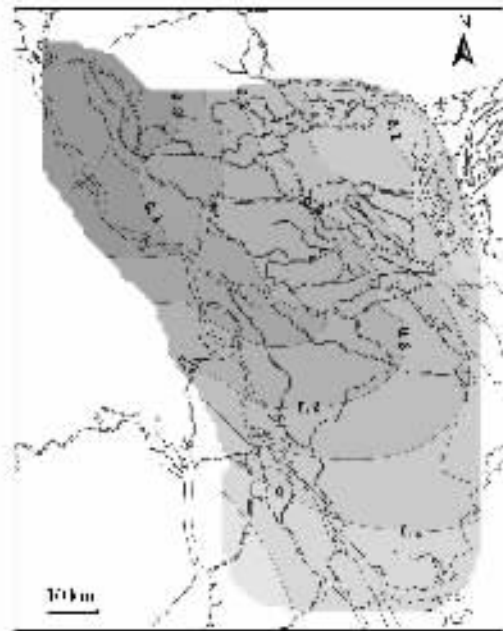


枯季

图3 20世纪50年代洪枯季西北江网河区等水位线变化



洪季



枯季

图4 1999年洪枯季西北江网河区等水位线变化

从总体来看,洪季西北江三角洲网河顶端由西江和北江干流“河道”控制的区域因径流量很大,水位很高,形成明显的水流“高压区”,其中西江为“水脊”,而主体三角洲两侧珠江正干和崖门水道属“潮道”,主要受潮流控制,水位低(接近海平面位置),形成明显的水流“低压区”,因此两者之间存在较大的横比降^[7]。

在枯季则由于上游来水量的减少,西北江网河的水位大幅度降低,河流动力减弱,其与两边珠江正干及崖门水道的水位差减小,潮汐动力增强,潮流动

力可以上溯到口门之内很远的河段,西北江的二级河道及其与潮汐水道连接的横向支汊多为潮汐动力所控制。这与洪季时网河区主要由径流动力所控制有很大区别。

从不同年份对比来看,洪季,1956年从网河区顶点马口、三水到口门区的水位差为8 m左右,1999年水位差为5 m左右,水面比降相对平缓,并且1999年整个网河区水位明显低于1956年水位,1999年的高压区与低压区对比相对1956年明显减弱,而在枯季,1956年网河区也存在一定的压力梯

度 网河区上段比口门区的水位高 1 ~ 2 m ,而 2001 年枯季整个网河区的水位都在潮汐动力控制下 ,从 马口三水到口门的水位差只有 0.5 m 左右。由此可见 ,由于几十年的地形变化 ,河床下切 ,口门延伸 ,网 河区的潮汐动力显著增强 ,在枯季尤为明显。

3 结 语

a. 利用一维水动力数学模型对珠江网河范围 的水动力进行建模和验证。从水位验证的结果可以 看出 ,分布在网河的 19 个固定水位站水位的计算值 和实测值吻合较好 ,表明数学模型可用于该网河水 动力特征的分析。

b. 由于 50 年来河道地形的剧烈变化 ,西北江 网河的主要汉点的分流比发生了较大改变 ,总体上 来看 ,处于北江干流及周边的节点分流比变化程度 大于西江干流节点 ,水面线对地形的变化非常敏感 , 河道地形变化 ,水面线随之而调整 ,20 世纪 90 年代 的西江干流沿程水面线普遍比 50 年代降低 ,其中西 江干流上段下降更明显 ,通过 50 年代和 90 年代西 北江网河区等水位线分析表明 ,90 年代网河区潮汐 动力明显增强 ,夏季时高压区与低压区水位差减小 , 枯季时潮汐动力控制范围增大。

c. 50 年来人类活动驱动的河道地形变化是导 致西北江网河区水动力变化的主要原因 ,但由于目 前地形资料的限制 ,从 50 年代到 90 年代的跨度较 大 ,其中对 50 年期间人类活动对水动力变化的时序 阶段性不能直接反映 ,所以在今后的研究中有必要进 一步讨论不同阶段人类活动对水动力变化的影响。

参考文献 :

[1] LUO Xian-lin , ZENG Y E , JI Rong-yao . Effects of in-channel sand excavation on the hydrology of the Pearl River Delta , China[J]. Journal of Hydrology , 2007 , 34(3) 230-239 .
[2] 杨清书 , 沈焕庭 . 西北江三角洲来水来沙的非线性分形特征[J]. 泥沙研究 2002(6) :15-18 .
[3] 陈晓宏 , 张蕾 , 钟时 . 珠江三角洲河网区水位特征空间变异性研究[J]. 水利学报 2004(10) 36-42 .
[4] 张二骏 , 张东生 , 李挺 . 河网非恒定流的三级联合解法 [J]. 河海大学学报 : 自然科学版 , 1982(1) :1-13 .
[5] 张蔚 , 严以新 , 诸裕良 , 等 . 人工采沙及航道整治对珠江三角洲水流动力条件的影响[J]. 2008 , 39(9) 99-104 .
[6] 刘秋海 , 吴超羽 . 东江博罗浅段航道整治工程数值模拟 [J]. 水运工程 2004(4) 57-59 .
[7] 李春初 . 中国南方河口过程与演变规律[M]. 北京 : 科技出版社 2004 32-40 .

(收稿日期 2008 -07 -07 编辑 : 高建群)

(上接第 23 页)

b. 亚黏土、亚砂土、中细砂等包气带介质对重 金属有很强的净化能力 ,尤其是对 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 的净 化能力最强 ;中细砂对 COD 有较强的去除能力 ,试 验初期 COD 降低量在 70% ~ 80% ;亚黏土、亚砂土 等包气带介质层对 Cl^{-} 和 Cr^{6+} 净化能力较弱 ,在短 时间内其在介质中就达到饱和而失去净化能力。

c. 天然介质层的吸附降解能力因性质不同而 异 ,黏性土吸附能力大于砂性土的吸附能力。

d. 在环境条件相近及水文地质条件基本相同 的情况下 ,包气带厚度控制了地下水的污染程度 ,包 气带厚度小则其吸附、溶解等水文地球化学作用过 程短 ,包气带的净化程度低 ,防污性能差 ,地下水水 质差 ;反之 ,包气带的净化程度高 ,防污性能好 ,地下 水水质好。

参考文献 :

[1] 河南省水利厅水政水资源处 ,郑州市地质工程勘察院 . 河南省洛阳市城市地下水超采区评价成果报告[R]. 郑 州 :郑州市地质工程勘察院 2005 .
[2] 王现国 . 河南洛阳盆地孔隙地下水系统演化及调控[D]. 中国地质大学 (武汉) 博士学位论文 2006 .

[3] 汪民 , 吴永峰 . 污水快速渗滤土地处理[M]. 北京 : 地质出 版社 ,1993 .
[4] 沈照理 , 朱宛华 , 钟左晃 , 等 . 水文地球化学基础[M]. 北 京 : 地质出版社 ,1993 .
[5] 王大纯 , 张人权 , 史毅虹 , 等 . 水文地质学基础[M]. 北京 : 地质出版社 ,1995 .
[6] 李广贺 , 张旭 , 黄巍 . 石油污染包气带中降解微生物的分 布特性[J]. 环境科学 2000 , 21(4) 61-64 .
[7] 王雪莲 , 席彩杰 , 杨琦 , 等 . 包气带中污染物的天然降解 作用[J]. 新疆环境保护 2005 , 27(3) 40-43 .

(收稿日期 2008 -12 -17 编辑 : 高建群)

