

水与水技术

(第3辑)

中国水利学会 辽宁省水利学会 编



辽宁科学技术出版社

水与水技术

(第3辑)

中国水利学会 辽宁省水利学会 编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

主 编 仲 刚 李赞堂 邹广岐
副 主 编 李广波 王保泽 王殿武 陈柯明 张淑华
评审专家 (按姓名首字笔画为序)
于新宏 王文举 王 才 王希友 王希尧
牛永田 刘玉珍 许海军 陈永彰 张继先
张淑祥 唐继业 韩义超
统 稿 张 云
编 辑 陈媛媛

图书在版编目(CIP)数据

水与水技术. 第3辑 / 中国水利学会, 辽宁省水利学会编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013.6

ISBN 978-7-5381-8087-9

I. ①水… II. ①中… ②辽… III. ①水利建设—辽宁省—文集 IV. ①F426.9-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第115979号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

幅面尺寸: 210mm×285mm

印 张: 26

字 数: 750千字

印 数: 1~1000

出版时间: 2013年6月第1版

印刷时间: 2013年6月第1次印刷

责任编辑: 李伟民 乔志雄

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘 唐 彤

责任校对: 青 青

书 号: ISBN 978-7-5381-8087-9

定 价: 130.00元

内容提要

本书收集了近期各地水利技术应用和实践中积累的经验 and 研究成果，主要内容包括水资源与水环境、防汛抗旱与水利信息化、水工程建设与管理、农田水利与水土保持、新技术研究与应用等5个方面。本书展示了水利工作者的各类技术应用和实践经验，可为广大科技人员拓宽水利建设与管理思路提供参考。

目 录

一、水资源与水环境

2012年辽宁大伙房流域暴雨洪水分析	徐 冰 / 002
GMS地下水数值模拟软件在地下水污染预测中的应用	张 洵 周 浩 / 006
本溪水洞水文动态综合考察方法的探讨	张莉莉 王 红 辛冬梅 / 011
大伙房水库上游水体污染治理现状调查分析	王光杰 徐运成 / 013
大连市遥测雨量数据传输整合系统的实现与探讨	李 博 / 017
大凌河流域朝阳地区水资源工程开发利用方案优化分析	路广平 / 022
老虎山河流域水文特性分析	杨志刚 / 026
辽河干流水环境整治清淤疏浚工程的技术要点	白云飞 / 028
辽宁沿海经济带的水资源困扰与对策	高 荃 / 031
辽阳市二道河子站综合水位流量关系曲线分析方法探讨	侯铁铮 / 034
柳河流域水沙变化趋势分析	王 磊 王 垚 / 037
平原型水库生态建设与保护初探	李颖卓 / 041
浅谈辽河干流生态水利建设	吕晓慧 / 044
浅谈如何减少水文断面测量误差	汪 晶 / 047
浅析三座店水库引水工程的紧迫性	韩靓靓 / 050
浅析水文缆道的利与弊	徐运成 / 053
如何使用Excel VBA解决水文计算中“有效数字”与“四舍六入”问题	赵显冲 / 055
沙丘坨甸区水库入库流量和径流深的分析	董殿武 / 058
沈阳市东陵区(浑南新区)水资源问题及对策研究	樊慧静 郑银林 齐 英 / 061
沈阳市平原区地下水位时空变化动态分析	冯夏清 / 064
沈阳市区域经济可持续发展水资源配置研究	林 冰 / 068
生态环境综合治理在浑河流域中的应用及探讨	李 虹 / 071
铁岭市农村饮水工程水质调查及建议	朱 辉 程玉亮 李晓玲 / 074
卧龙湖湿地生态水量研究	杨庆国 / 077
细河流域2012年8月3—5日暴雨洪水分析	王宏伟 / 079
彰武县地下水资源开发利用现状及对策	孟宪茹 / 082

二、防汛抗旱与水利信息化

关于瓦房店市河道生态工程建设实施方案的探讨	王 华 李 力 / 086
2010年大伙房水库淤积分析	于卫东 / 089
八尺沟拦河闸除险加固工程设计方案优化分析	王志伟 / 094
大连市山洪灾害预警系统研究与应用	李学辉 赵启明 陈 爽 / 098
多沙河流水库水沙调控浅析	李 阳 / 101
基于峰值识别理论的模糊优选BP模型的洪水预报方法	王 妍 于 玲 王 猛 / 104
近年辽宁洪涝灾害统计工作实践及思考	穆连萍 / 109
浅谈河流治理保护的发展方向	李桂金 / 112
浅谈辽河干流大张橡胶坝的运行管理	崔洪升 / 114
浅谈小型蓄水工程险情与处理措施	冯竞祥 / 118
青山水库建设对六股河泥沙及河口形态影响分析	李钊成 丛日义 钟 卓 张志斌 姚庆宇 / 120
山洪灾害防御系统预警指标的确立方法探讨	吴学生 / 124
蓁窝水库泥沙淤积的危害及对策	田延军 于俊厚 / 126
岫岩满族自治县山洪灾害防治对策	王添翼 房国良 / 130
彰武县小型水库大坝病险分析及除险加固措施	贾玉萍 / 133

三、水工程建设与管理

变频恒压供水在TBM法隧道施工中的应用	孔祥政 / 138
钢坝闸与液压升降坝在河道水环境治理中的应用比较	马宗正 张 焱 李晓玲 / 141
基于ANSYS的混凝土重力坝有限元法结构分析	舒 铁 / 144
TBM施工物料运输管理	刘 钢 徐 博 王海峰 李新功 / 148
长距离顶管施工测量及纠偏控制	王艺翔 伞小雨 / 150
大伙房水电站运行分析	孙本胜 / 153
大伙房水库输水洞消能塘混凝土表面缺陷及处理分析	王秀红 胡桂云 / 155
大伙房水库输水工程监控数据的存储与发布设计	宋 放 / 160
大盈江水电站(四级)隧洞工程安全生产控制	裴立斌 / 163
对不良地质段施工方案的研究	金 刚 / 165
高压喷射灌浆在法库县牛其堡水库除险加固工程坝基防渗工程中的应用	徐 岩 / 170
格宾网在二潮沟回水堤工程中的应用	黄 举 荣金升 / 173
混凝土中砌石护坡技术的研究与应用	金 鑫 / 176
关于大中型水利水电工程征地需缴纳有关税费问题的探讨	李 芳 / 179
观音阁水库防护堤水毁修复设计	杨金宝 / 183
后楼水库溢洪道混凝土缺陷修补研究与工程实践	张永先 / 185
加强本溪市水利工程质量监督工作的探讨	王英敏 / 190
勘察设计单位加强实施质量管理体系的对策	张 建 / 193
加强水库管理单位安全文化建设的几点思考	吴 斌 吴红梅 / 196
建平县小型净水厂工艺设计体会	周庆春 / 199
锦凌水库底孔设计	郭 锋 / 202

锦凌水库工程地质条件评价	王福振 / 205
拉古河河道整治工程河口至青台子桥段堤防断面方案选择	马学红 / 208
乐甲泵站副厂房冬季施工经验探讨	马 也 / 212
辽河石佛寺段水域生态工程设计	马降龙 / 215
大坝混凝土裂缝的防治与处理	张巍伟 佟艳辉 / 218
模袋混凝土施工中应该注意的几点问题	戴 晶 / 221
南城子水电站增容工程效益分析	范志远 / 224
南水北调东线台儿庄泵站混凝土裂缝控制	尚俊伟 孙 勇 朱 旋 / 228
澎内传401, 872聚氨酯密封胶及SPC砂浆在溢流面的防渗应用	师晓东 / 231
浅谈PCCP冬季施工各工序控制要点和有效措施	刘芄呈 孙本胜 郭芳全 / 233
浅谈浑北灌区水闸下游护坦混凝土裂缝产生的原因及处理措施	李 敬 / 236
浅谈开敞式TBM施工安全管理	苑晓倩 / 238
浅谈小型水利工程的设计概(估)算审查	余尚合 / 241
浅析TBM施工期环境保护措施	王省山 / 246
浅析围模井及沉圈井施工	张怀生 / 249
清河水库除险加固工程综合自动化系统设计	刘少松 王丽敏 / 251
石佛寺水库枢纽一期工程建设程序与管理	孙 敬 / 255
石佛寺水库生态工程管护分析及对策	赵 鑫 / 259
水利工程的人工预算单价研究	吴 瑜 / 262
水位骤降对边坡稳定的影响	张国刚 / 265
隧道开挖TBM施工供电技术	房本才 / 269
隧洞衬砌混凝土施工质量通病的防治措施及处理方案	黄 兵 / 272
隧洞施工中涌水问题的预防与处理	邵正权 罗 毅 / 277
橡胶坝在河道治理工程中的应用	宋福君 / 280
小型水库除险加固探讨	邢 传 / 283
正确选用水利工程概预算定额的探讨	高 榕 / 286
主楼与裙房基础之间不均匀沉降的控制	刘 睿 / 289
自动化安全监测技术在超大规模输配水工程中的应用研究	周 红 / 292
TBM上的变压器和PLC的作用与维护	孙继会 贾淑华 / 296

四、农田水利与水土保持

基于熵权法对辽河口湿地的水质评价	解中辉 / 302
丹东市农村饮水工程建设与管理的思考	宋 扬 于正兵 / 305
白石水库消落区土地资源的合理利用初探	张 效 / 308
报恩寺小流域综合治理效益分析	于德龙 / 310
对供水调度问题的几点探讨	李元培 何 萍 乔 爽 / 312
环刀法率定土壤公式分析	杨 威 / 316
锦州市水土保持状况存在问题及对策研究	孟 丹 / 319
喀喇沁左翼蒙古族自治县农村饮水安全工程运行管理模式	杨明会 / 322
离心式排水泵故障检修方法及保养	姜宏伟 / 324
宽甸满族自治县加强基层水利服务体系建设的几点经验	曲宝玺 / 327

辽宁西部山区农村供水建设问题思考	赵凤伟 / 329
辽宁省农田水利基本建设组织管理模式及评价	刘树春 / 331
基于主成分分析与聚类法的农田水利基本建设区划	刘永鹏 刘树春 褚丽妹 杜毅斌 / 335
两种干旱指标在彰武地区的应用对比分析	那 利 / 340
农村饮水工程设计施工与管理运用	何伟才 / 345
浅谈盘山闸扩建的必要性	冯田超 / 348
浅析水利工程档案管理现状及改进措施	贺 杰 / 351
浅析义县农村人畜饮水供水安全与饮水工程管理	吴爱民 / 353
水利投融资渠道的探讨	王兴义 / 355
谈谈水利工程质量检测实验室的样品管理	苏炜煊 / 357
新型微润灌溉技术在大棚蔬菜中的应用设计	王海兵 杨 磊 刘树春 窦超银 / 361
做好水资源现状调查 全面推进节水灌溉工作	金福一 / 366

五、新技术研究与应用

北方河流生态治理模式研究	董 军 / 370
城市景观河道拦河闸坝应用探讨	李真佳 张桂芬 / 373
倒虹吸管施工期温度场和应力场仿真	刘 涛 / 376
高喷灌浆技术在龙屯水库绕坝渗流处理中的应用	李玉军 赵 平 陶景艳 / 381
关于辽河干流泥沙应用的探讨	张 帅 / 385
关于水库及库群调度系统探讨	郭宇波 胡雨泽 郭嘉丽 / 389
基于PLC及组态系统的充气式橡胶坝自动控制实现	张兴华 / 392
基于Skyline的水资源三维地理信息系统的设计与实现	雷 明 张 巍 陈利娟 / 396
开发建设项目水土保持绿化设计与园林绿化设计关系的初探	吕子超 周国刚 刘永鹏 王海兵 张立坤 / 400
气囊式压气罐在输水工程中的应用	孙小平 / 402
石佛寺水库电力节能措施	任中琪 / 406
铁岭市封闭地下水取水工程实施方案优化分析	赵丽丽 / 408

一、水资源与水环境

2012年辽宁大伙房流域暴雨洪水分析

徐 冰

(辽宁省大伙房水库管理局, 辽宁抚顺 113007)

摘 要: 2012年8月3—5日, 辽宁省浑河中上游普降大到暴雨, 辽东地区山洪泛滥, 大伙房水库入库洪峰达 $2\,490\text{ m}^3/\text{s}$, 洪水总量达 4.13 亿 m^3 , 水库拦洪削峰。对这次暴雨洪水的特性及水库洪水预报、调度进行了分析, 可供水利、水文和防汛部门参考。

关键词: 暴雨; 洪水; 分析; 大伙房流域

1 引言

2012年进入主汛期以来, 辽宁省东部地区并无较大的降雨过程, 各地土壤含水量较低。8月3—5日受第10号台风“达维”外围云系影响, 浑河大伙房水库以上流域普降大到暴雨, 流域平均降雨量 134 mm 。这次暴雨的特点是历时长、强度大, 且时空分布不均。水库虽将洪水拦洪削峰, 但暴雨引发的洪水和泥石流使部分地区房屋、道路、农田出现了较为严重的洪涝灾害。本次分析就是为了更好地研究大伙房流域暴雨洪水的特性, 不断完善水库洪水预报精度, 以利于今后水库防汛调度工作的更好开展。

2 暴雨分析

2.1 暴雨成因

2012年第10号台风“达维”8月2日21时30分前后在江苏省响水县陈家港镇沿海登陆。登陆后, “达维”穿山东越河北, 4日在渤海北部消失。“达维”是1949年以后登陆我国长江以北地区最强的台风, 但由于它生成时纬度较高, 且一路向西北方向移动, 因此携带的热带能量和水汽就相对较小。到了高纬度地区海温较低, 又受到陆地摩擦的作用, 因此强度减弱得较快。受其外围云系影响, 大伙房水库流域遭遇入汛以来最强一场暴雨袭击。

2.2 暴雨时空分布

本次降雨区遍及水库上游清原、新宾、抚顺3县, 暴雨中心位于浑河支流苏子河流域上的木奇站, 次降雨量为 197 mm , 浑河干流流域降雨量 132 mm , 苏子河流域降雨量 129 mm , 社河流域降雨量 167 mm , 库区降雨量 109 mm ; 整个雨区呈东南—西北向分布, 空间分布不均。大伙房水库水情测报自动化系统在流域内共设有19个自动测报雨量站, 测站分布如图1所示。



图1 大伙房水库水情测报自动化系统测站分布

2.3 暴雨特点

本次降雨过程具有覆盖面广、持续时间长、局部降雨强度大的特点。降雨总历时为45 h，流域平均降水量为134 mm，超过1 d降雨量为大暴雨量级的雨量站有4站，最大雨强发生在苏子河流域上的穆家站（57 mm/3 h），流域最大点雨量发生在苏子河流域的木奇站（197 mm）。本次降雨使流域土壤含水量达到饱和。

3 洪水

3.1 洪水特点

本次洪水是入汛以来最大的入库洪水过程，由于7月流域降雨较少，造成洪水的前期影响雨量偏小，8月3日8时土壤含水量54.0 mm。洪水从3日23时起涨，基流量87.0 m³/s，水位123.92 m，相应库容8.28亿 m³，5日8时出现洪峰流量2 490 m³/s，相应水位126.01 m。其中4日水位日最大上涨1.98 m，日最大入库水量1.39亿 m³，次洪水过程径流量达4.13亿 m³（表1）。

表1 实际入库洪水特征值

推求方法	降雨起迄时间	降雨历时/h	流域平均降雨量/mm	降雨前土含水量/mm	起涨流量/(m ³ ·s ⁻¹)	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	洪水总量/(10 ⁶ m ³)	径流深/mm	径流系数
实测资料反推	8月3日8时至5日5时	45	134	54.0	87.0	2 490	4.13	76	0.57

3.2 洪水组成

水库入库洪水由浑河干流、苏子河、社河及库周区汇流组成，形成最大入库洪峰的本次降雨主要集中在社河和苏子河下游流域，苏子河入库站占贝站5日6时流量为769 m³/s，占入库洪峰的30.9%，干流入库站北口前站5日4时36分，流量为741 m³/s，占入库洪峰的29.8%，社河南章党站5日8时流量为166 m³/s（其最大洪峰流量出现在4日10时24分，为479 m³/s），占入库洪峰的6.7%；3个入库站合计占入库洪峰的67.4%，其余32.6%为库周区汇流。

3.3 洪水频率分析

将本次洪水要素特征值加入到水库坝址历史洪水系列中，进行频率分析，8月5日8时洪峰2 490 m³/s，排在建库以来第14位，洪水洪峰重现期接近5年一遇洪水标准，次洪水总量4.13亿 m³，洪量重现期接近3年一遇洪水标准。同时，我们将水库入库洪水组成的3个入库站的洪水要素也进行了相应的频率分析，苏子河入库站占贝站5日6时洪峰769 m³/s，洪水洪峰重现期接近5年一遇洪水标准，干流入库站北口前站5日4时36分洪峰741 m³/s，洪水洪峰重现期为5年一遇洪水标准，社河南章党站4日10时24分洪峰479 m³/s，洪水洪峰重现期接近10年一遇洪水标准。本次洪水等级划分为一般洪水。

4 洪水调度

为确保水库防汛安全，结合为下游河道生态供水，大伙房水库7月上旬至中旬一直在用水电厂结合支洞进行放水，以增大防洪库容，迎接未来可能发生的较大汛情。由于水库提前预泄，在本次洪水发生前，水库水位一直在低汛限水位状态运行。降雨结束后，8月5日8时出现洪峰2 490 m³/s，水库全部拦蓄；至8月5日12时水库水位达到汛限水位以上126.44 m，根据主汛期水库防洪限制水位控制，报经水库上级主管部门批准，水库于8月5日17时开启水电厂双机进行发电泄水，水库最大下泄河道流量控制在140 m³/s以内，减轻了下游河道的防洪压力，发挥了显著的水库防洪效益。

5 洪水预报及误差分析

5.1 洪水预报

本次洪水预报的降雨采用大伙房水库水情测报自动化系统 14 个雨量站采集的雨量值, 具体预报洪水和实际洪水过程线对比情况见图 2。

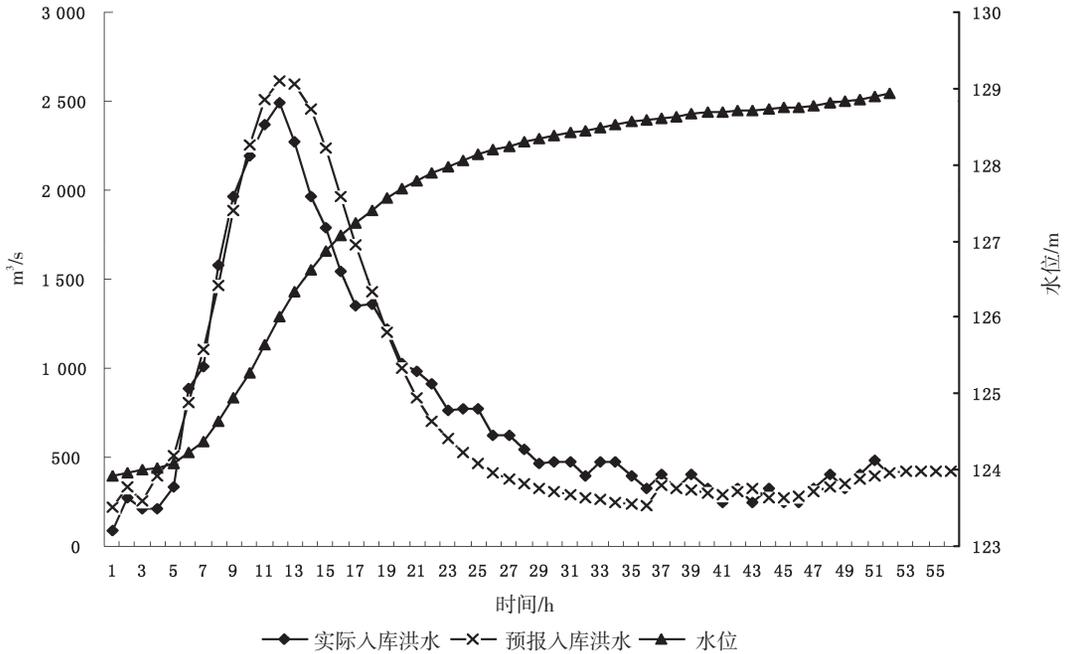


图2 预报洪水与实际洪水过程线对比

5.2 影响预报的误差分析

本次洪水预报中, 峰现时间吻合。误差主要体现为预报洪峰偏大, 而预报净雨偏小。分析洪峰预报误差, 主要是由于水库上游姚家山、木家电站及红升水库等水利工程对入库洪水的削峰调节, 而造成预报净雨误差较大, 则具有以下 3 方面的原因:

(1) 自动化采集雨量数据偏小, 预报采用的流域内雨量站较少。

(2) 流域平均降雨量计算误差, 大伙房流域降雨径流模型中流域平均降雨量的计算, 是用流域内 14 个雨量站的点雨量算术平均值求得面雨量, 但由于本次降雨空间分布不均, 所以此种计算方法的计算误差较大。

(3) 水库上游水利工程等人类活动的影响。

具体预报结果及误差分析见表 2。

表 2 洪水预报误差分析表

洪号	项目	流域平均降雨量/mm	净雨/mm	洪峰/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	峰现时间
12803	实际	无 (人工)	76	2 490	8月5日8时
	预报	134 (自动化)	70	2 610	8月5日8时
	误差/ (%)		-7.9	4.8	吻合

6 结语

这次“12803”洪水划分为一般洪水, 但在汛期水库实时防洪调度中也决不可掉以轻心, 我们必

须加强暴雨洪水区域发生规律和雨洪关系的分析，加快建立突发暴雨天气系统的监测预报，提高洪水预报实时修正的精度。研究解决以下几方面的问题：

- (1) 调查分析水库上游水利工程等人类活动对入库洪峰和洪量的影响程度。
- (2) 研究降雨时空分布不均情况下的分方案洪水预报，解决点、面雨量一致性的影响。
- (3) 分析水库水情测报自动化系统雨量数据采集的对比性、可靠性，进行系统的及时调试、修正，确保数据源准确可靠。

GMS地下水数值模拟软件在地下水污染预测中的应用

张 洵¹ 周 浩²

(1. 辽宁省水文水资源勘测局, 辽宁沈阳 110003; 2. 辽宁省水文水资源勘测局, 辽宁沈阳 110003)

摘 要: 阐述了通过地下水数值模拟软件GMS搭建研究区地下水数值模型, 并对特征污染物运移途径进行长期预测, 掌握污染物在时间和空间上的变化规律。

关键词: GMS; 地下水、污染物运移; 模拟计算

1 引言

项目区位于辽阳市文圣区太子河北岸, 上边界为低山丘陵所包围, 下边界以太子河为界, 为一个相对封闭的水文地质单元, 面积5 km²。

地下水污染物运移数值模拟采用了当前国际上利用较广的模拟GMS软件中的MODFLOW与MT3DMS软件包。GMS中的MODFLOW软件包, 是用于孔隙介质中地下水流动的三维有限差分地下水数值模拟软件; MT3DMS是模拟地下水系统中对流、弥散和化学反应的三维溶质运移模型。

2 区域地质构造概况

辽阳市位于阴山东西向复杂构造带的东延部分, 属新华夏第二巨型隆起—辽东半岛与第二巨型沉降带—下辽河断陷盆地的交接地带。有著名的营口—佟二堡断裂通过, 该断裂呈北东—北北东走向, 以它为界, 东部属下辽河盆地东部斜坡带, 西部属田庄台拗陷。辽阳莲花状构造第三旋回面近于与哈大铁路平行, 在北起灯塔南至张台子、首山一带消失, 现所见到裸露的寒武、奥陶系及掩埋的石炭—二叠系地层均受此构造控制。

3 区域水文地质条件

项目区所在地貌单元为下辽河冲积平原东缘, 丘陵区边缘, 地层由细沙(层底深度2.3~5.2 m)、含砾中沙(层厚1.5~2.5 m, 层底深度4~5 m)、卵石层组成; 项目区址地势平坦, 属中软场地土, 覆盖厚度2.3~5.2 m, 无液化土层, 无不良地质作用, 场地稳定。

项目区地下水的形成以垂向补给为主, 包括降水渗入补给, 稻田、渠道和回归渗入补给, 河流的渗入补给及下覆早古生代碳酸盐岩夹裂隙岩溶水的顶托补给, 另外还包括含水层的侧向径流补给作用。在垂向渗入补给中, 稻田和渠道的回归渗入补给作用又占据了主导地位。区域地下水的径流方向主要有两个: 一个是南部平行于上游太子河河谷, 地下水由东向西流向首山水源漏斗, 水力梯度较大, 可达1/500~1/750; 另一个是由东北水田形成的高水位区向西南径流, 构成区域主要的地下径流场方向, 其水力梯度在1/1 000左右。

地下水的主要排泄方式为土壤蒸发和人工开采。

3.1 水文地质概念模型

水文地质概念模型是根据建模的目的, 简化实际水文地质条件并组织相关数据, 以便能够分析地下水系统, 为建立地下水运移数学模型提供依据。通过对研究区水文地质条件的概化, 确定模型的范围和边界条件、水文地质结构、地下水流场、水文地质参数与源汇项, 为建立地下水数学模型奠定基础。

3.2 含水层结构概化

根据区内水文地质调查情况，第四系含水层为研究对象。地下水在多孔介质中的流动符合质量守恒定律和达西定律；本次模拟只考虑上层第四系含水层，忽略垂向水量交换，故将该区地下水运动概化为平面二维非均质、各向同性稳定流地下水模型。

3.3 边界概化

AB为第四系地层与山区基岩交界处，概化为零流量边界；BC边界概化为入流边界，接受区外地下水侧向径流补给；CA为太子河为界，概化为RIVER边界（表1、图1）。

表1 研究区边界条件说明

边界性质	说明
AB 隔水边界（二类边界）	第四系地层与山区基岩交界处
BC 补给边界（二类边界）	天然状态下补给地下水
CA RIVER边界（三类边界）	以太子河为界



图1 模型边界概化图

4 地下水流运移数学模型及计算

4.1 地下水流运移数学模型的建立

根据研究区域的概念化分析的结果，本文建立如下数学模型：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}[K(h-B)\frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[K(h-B)\frac{\partial h}{\partial y}] + \varepsilon_1(x,y,t) - \varepsilon_2(x,y,t) = \mu \frac{\partial h}{\partial t}(x,y) \in D, t \geq 0 \\ h(x,y,0) = h_0(x,y) & (x,y) \in D \\ h(x,y,t)|_{\Gamma_1} = h_1(x,y,t) & (x,y) \in \Gamma_1, t \geq 0 \\ K(h-B)\frac{\partial h}{\partial n}|_{\Gamma_2} = q(x,y,t) & (x,y) \in \Gamma_2, t \geq 0 \end{cases}$$

式中， μ 为潜水含水层储水系数（给水度）； $\varepsilon_1(x,y,t)$ ， $\varepsilon_2(x,y,t)$ 分别为含水层的补给强度和排泄强度（m/d）； h, B 分别为含水层水位和底板标高（m）； $h_0(x,y)$ 为初始水位（m）； $h_1(x,y,t)$ 为第一类边界点水位（m）； $q(x,y,t)$ 为第二类边界单宽流量（m³/d）； K 为渗透系数。

4.2 地下水污染物运移数学模型

描述三维非稳定地下水流系统中 k 组分的存在和运移的偏微分方程为：

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n$$

式中， C^k 为 k 组分的溶解相浓度； θ 为地层介质的孔隙度，无量纲； t 为时间； x_i 为沿直角坐标系轴向的距离； D_{ij} 为水动力弥散系数张量； v_i 为孔隙水平均实际流速，它与单位流量存在如下关系： $v_i = q_i / \theta$ ； q_s 为单位体积含水层流量，它代表源（正值）和汇（负值）； C_s^k 为源和汇水流中 k 组分的浓度； $\sum R_n$ 为化学反应项。

4.3 空间离散

计算区面积为 5 km²，利用 GMS 的 3D GRID 模块实现网格剖分。共剖分矩形网格单元 1 909 个，每个单元面积 45.3 × 57.9（m²）（图2、图3）。

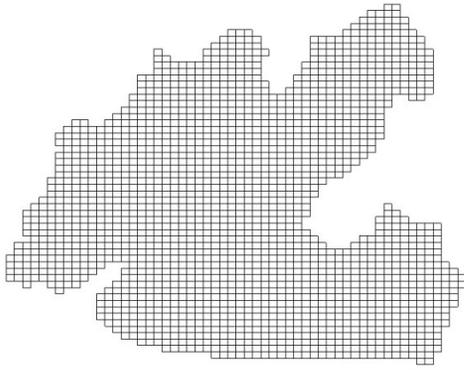


图2 模拟区网格剖分图

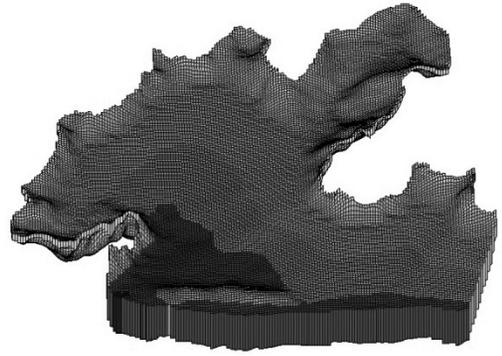


图3 研究区网格剖分立体图

4.4 模型参数的识别

根据查阅大量相关研究资料以及由细致的调参拟合,模型识别取得了较好的结果,参数识别结果见表2、表3。

表2 渗透系数与给水度率定结果

分区名	渗透系数/($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	给水度
1	15	0.10
2	25	0.12
3	36	0.13
4	48	0.18
5	65	0.19
6	78	0.22

表3 降水入渗系数率定结果

分区名	降水入渗系数
1	0.15
2	0.20
3	0.22

通过对地下水计算流场和污染物的运移拟合结果可看出,本文的地质条件概化、边界条件的确定和参数的选取是合理的,所建立的地下水数值模型和污染物运移模型较为准确地刻画了研究区地下水流系统的特征,具有良好的仿真性,能够进行地下水流系统的预测。

5 地下水污染变化预测

此次模拟预测主要为非正常工况污染物渗漏预测,主要是指装置区硬化面或防渗层出现破损、管线因腐蚀原因出现漏洞等情景。

假定项目区出现非正常工况条件下地下水污染事故,泄漏的主要污染物质为COD。经分析,区域污染物初始浓度为 $6\,000\text{ mg/L}$,假定预测期间污染物浓度保持不变。对项目区污染物进行为期5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 a的预测。预测污染物运移范围见表4和图4~图11。

表4 地下水污染物运移范围

时间/a	超标范围/ km^2	影响范围/ km^2	影响范围纵向 距离/m	影响范围横向 距离/m	超标范围纵向 距离/m	超标范围横向 距离/m
1	0.01	0.02	136	185	91	145
5	0.02	0.04	226	231	159	156
10	0.03	0.06	362	231	226	156
15	0.04	0.09	498	231	272	162
20	0.04	0.14	815	231	340	174

续表

时间/a	超标范围/km ²	影响范围/km ²	影响范围纵向 距离/m	影响范围横向 距离/m	超标范围纵向 距离/m	超标范围横向 距离/m
30	0.05	0.18	1 042	231	385	174
40	0.05	0.18	1 087	231	385	174
50	0.05	0.18	1 087	231	385	174

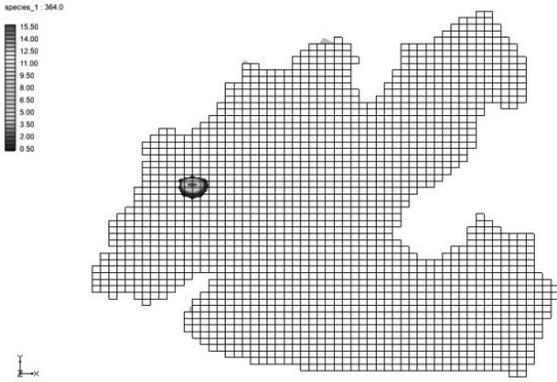


图4 1a后污染物范围预测

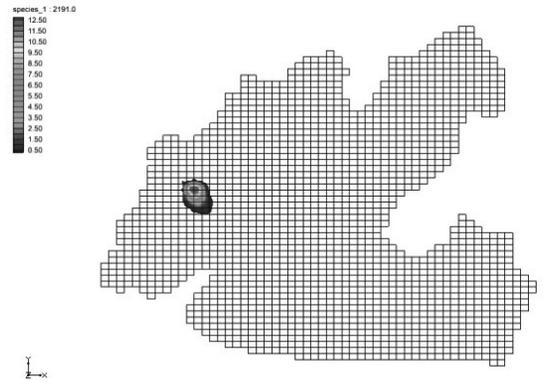


图5 5a后污染物范围预测

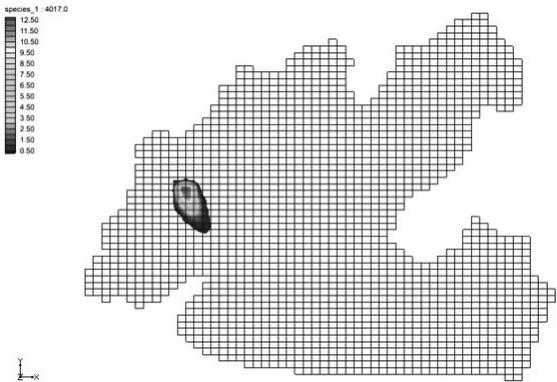


图6 10a后污染物范围预测

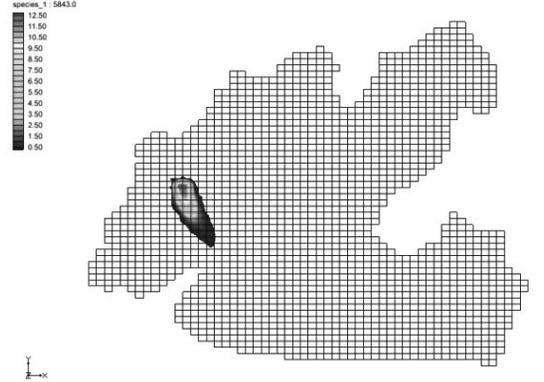


图7 15a后污染物范围预测

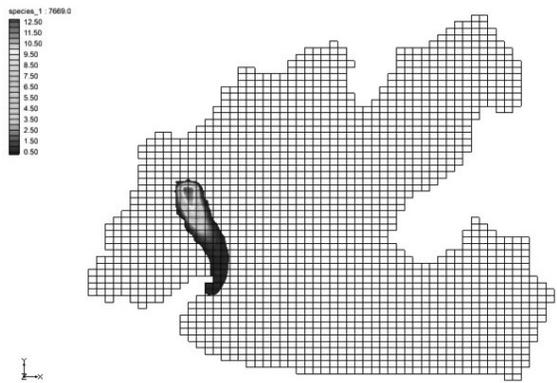


图8 20a后污染物范围预测

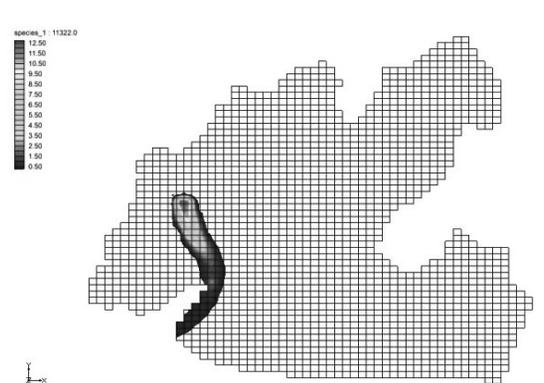


图9 30a后污染物范围预测