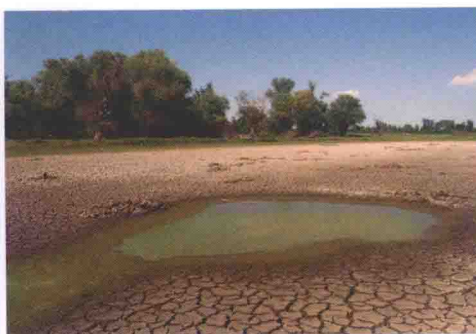
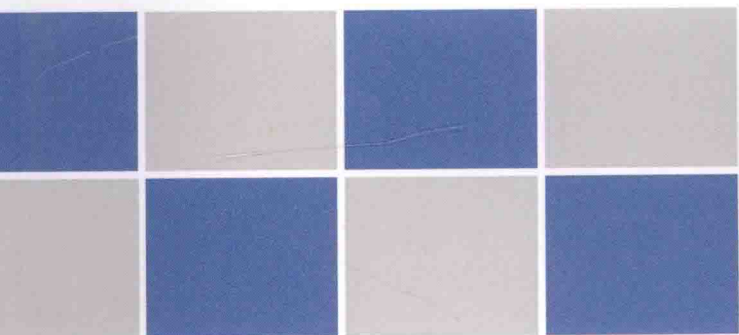


OPTIMAL DESIGN METHODS AND PRACTICES FOR
GROUNDWATER ENVIRONMENTAL MONITORING NETWORK



地下水环境 监测网优化方法与实践

仵彦卿 编著

中国环境出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

地下水环境监测网优化 方法与实践

仵彦卿 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

地下水环境监测网优化方法与实践 / 仵彦卿编
著. —北京: 中国环境出版社, 2015.6
ISBN 978-7-5111-2345-9

I. ①地… II. ①仵… III. ①地下水—环境监
测—监测网—最佳化—研究 IV. ①X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 069731 号

出版人 王新程
责任编辑 李卫民
责任校对 尹芳
封面设计 宋瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 6 月第 1 版
印 次 2015 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 11.75 彩插 24 面
字 数 314 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问 吴晓青

组 长 赵英民

副组长 刘志全

成 员 禹 军 陈 胜 刘海波

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制/修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构,支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动,“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署,环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题,立足环境管理中的科技需求,积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间,环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项,涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域,共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与,逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前,专项取得了重要研究成果,提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案,形成一批环境监测预警和监督管理技术体系,研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术,提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议,为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果,及时总结项目组织管理经验,环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果,具有较强的学术性和实用性,可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版,在科技管理上也是一次很好的尝试,我们希望通过这一尝试,能够进一步活跃环保科技的学术氛围,促进科技成果的转化与应用,为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

前 言

地下水是一种可再生的水资源,其既是一种常用的饮用水水源,又是战略水资源,还是生态系统的重要支撑和水文循环系统良性循环的重要保障。全球可利用的淡水资源中,地下水占 95% (河流、湖泊、水库等占 3.5%,土壤水分占 1.5%)。美国 50% 的人口利用地下水,加拿大 35% 的人口利用地下水,日本 13% 的人口利用地下水。我国地下水开采总量已占总供水量的 18%,华北、西北城市利用地下水的比例分别高达 72% 和 66%。地下水维持着中国近 70% 的人口饮用和 40% 的农田灌溉。地下水资源的合理利用和地下水环境的管理,对于我国社会经济发展、饮用水安全以及生态系统稳定有着十分重要的作用。

有关部门对 118 个城市 2~7 年的连续监测显示,中国约有 64% 的城市地下水遭受了严重污染,33% 的城市地下水受到轻度污染,基本清洁的城市地下水只有 3%。2013 年环境公报显示:大约 50% 的地下水遭受污染。华北地区地下水为超量开采,地下水位下降幅度大,其中石家庄地下水位下降 56.2 m;华北地区地下水硝酸盐类污染严重,东北地区地下水石油类和重金属污染严重,长三角和珠三角地区地下水重金属和有机物污染严重,城市场地土壤和地下水污染尤其严重。近年来,北京市地下水有机物污染也越来越严重,浅层地下水有机污染物主要有三氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯等。南京地质矿产研究所的调查表明:江苏省常州市城郊地下水中,四氯乙烯的检出率高达 100%。上海市部分场地地下水调查发现重金属和有机物污染严重(如浦东某地、南大和桃浦等地)。地下水污染已经引起中国政府的高度重视。

地下水环境监测是地下水环境评价、环境管理与污染修复的基础工作,而地下水环境监测网(监测孔的密度和监测频率)的质量优劣,也就是监测孔空间位置和密度、采样频率的代表性如何直接影响科学家对地下水环境变化规律的认识,管理人员对地下水污染状况的客观正确评判,以及管理者的科学决策,因此,研究地下水环境监测网的优化方法,对于指导地下水环境监测孔科学合理的布设具有重要的指导价值。

近 30 年中国经济社会的快速发展,为提升中国人民的生活水平和质量作出了重大贡献,同时,人类活动的规模和频度也极大地影响到地下水环境。中国对地下水环境问题十分重视,2011 年 8 月 24 日国务院常务会议讨论通过了《全国地下水污染防治规划(2011—2020 年)》。

要进行地下水污染防治,第一步要进行调查,而地下水环境监测网的设计是地下水污染研究、评价、管理最关键的一环。在 2010 年环保公益性行业科研专项重大项目“区域地下水污染监测系统与风险管理关键技术研究(201009009)”的第一课题“区域地下水污染监测系统构建技术方法和有效性评估(201009009-1)”的资助下,作者开展了地下水环境监测网优化方法和有效性评估的研究。在此基础上,结合作者近 20 年来开展的相关地区地下水环境监测网优化设计的实践,同时参考了作者 1993 年出版的《地下水动态观测

网的优化设计》，以及前人大量的理论研究成果，在此基础上，形成本书较为完整的学术体系。

本书的第1章绪论，介绍地下水环境监测和监测网优化的相关基本概念、国内外地下水环境监测和监测网优化方法研究进展；第2章地下水环境监测的基本概念，介绍有关地下水环境监测的目的、监测方法、监测网的分级、采样方法等；第3章地下水环境监测网优化基本理论，介绍地下水环境监测网质量评价准则、地下水环境监测网的优化原理、优化过程及优化设计步骤等；第4章地下水环境监测网优化的克立金（Kriging）方法，包括区域化变量、变差函数、地下水环境监测孔的优化方法以及克立金方法的适用条件；第5章地下水环境监测网优化的Kalman滤波方法，包括Kalman滤波递推算法、地下水环境系统状态的确定性和随机性成分、地下水环境系统状态的数学模型校正、地下水环境监测网优化分析以及Kalman滤波应用于地下水环境监测网优化的适用条件；第6章点源污染的地下水环境监测网优化方法，包括污染物迁移的基本理论、点源污染的地下水环境监测网优化方法以及应用实例；第7章地下水环境监测网优化的最优化模型方法，包括以克立金方法为基础的最优化模型、以地下水污染物迁移模型为基础的最优化模型以及多目标规划模型等；第8章地下水环境监测频率优化方法，包括地下水环境监测频率优化基本概念和优化方法（时间克立金方法、谱分析方法以及统计学方法）；第9章案例分析，包括黑龙江大庆西部地区地下水环境监测网优化分析、山东淄博大武水源地地下水环境监测网的优化分析、甘肃敦煌月牙泉区地下水环境监测网优化分析、辽宁下辽河区域地下水环境监测网优化分析；第10章地下水环境监测网优化方法评估，包括地下水环境监测的复杂性、地下水环境监测网优化检验方法以及不同类型含水层（孔隙型、裂隙型和岩溶型）地下水环境监测网优化设计等。

本书的部分成果还得到国家自然科学基金项目“非均质含水层中有机污染物迁移机理研究（41272261）”的资助，在此表示感谢。同时，感谢我的学生章荣高、申雅琪等在研究中所做的部分贡献。

感谢项目负责人滕彦国教授、王金生教授的建议和指导，感谢课题组李剑副教授和宋柳霆副教授的研究贡献，在项目执行过程中，左锐博士做了大量的联系和协调工作，使得该公益项目得以顺利进行和完成，在此表示深深谢意。

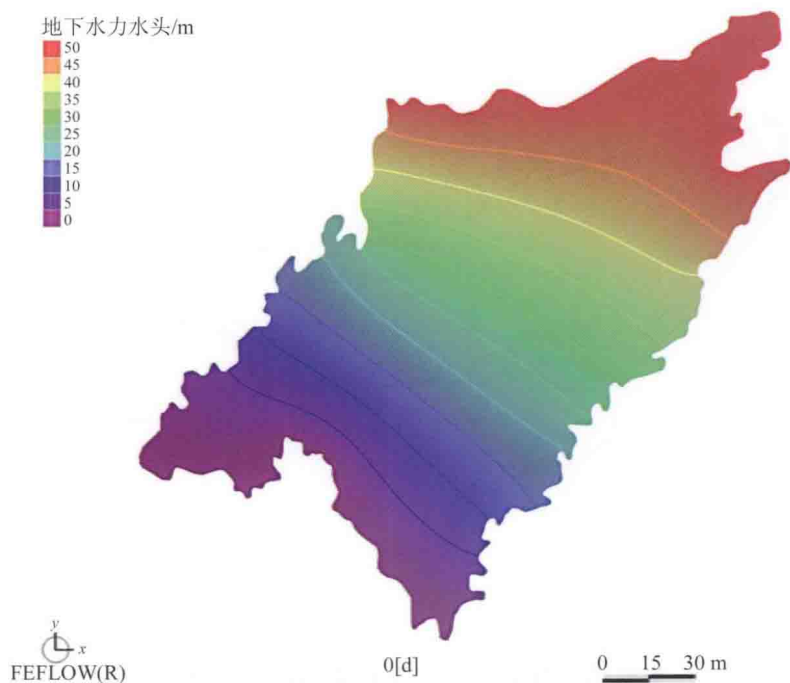
在实际应用研究中，相关地区有关单位在项目研究中给予了协助和帮助，作者在此表示衷心感谢。

本书的理论部分是在前人大量的研究成果的基础上，进行了扩展和体系化的研究，在此，对所有从事地下水环境监测网研究的学者表示衷心感谢，正是由于众多科学家的研究，地下水环境监测网的研究才得以不断发展，也希望有志于该研究领域的青年学者提出宝贵意见和建议，共同推动地下水环境监测网的研究不断深入。

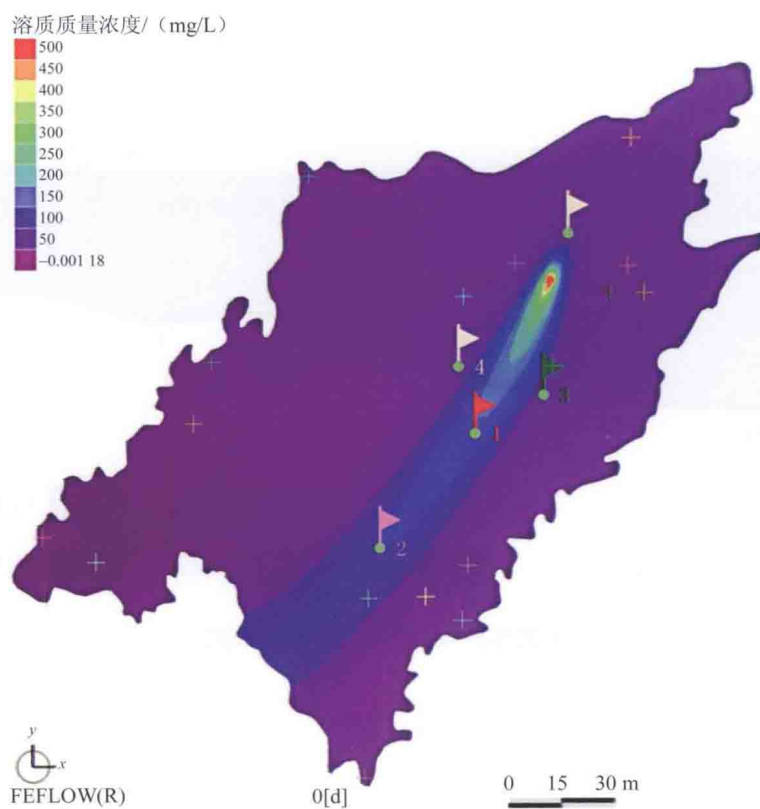
由于时间的限制和作者水平有限，书中难免出现错误，敬请读者提出批评和建议。

仵彦卿

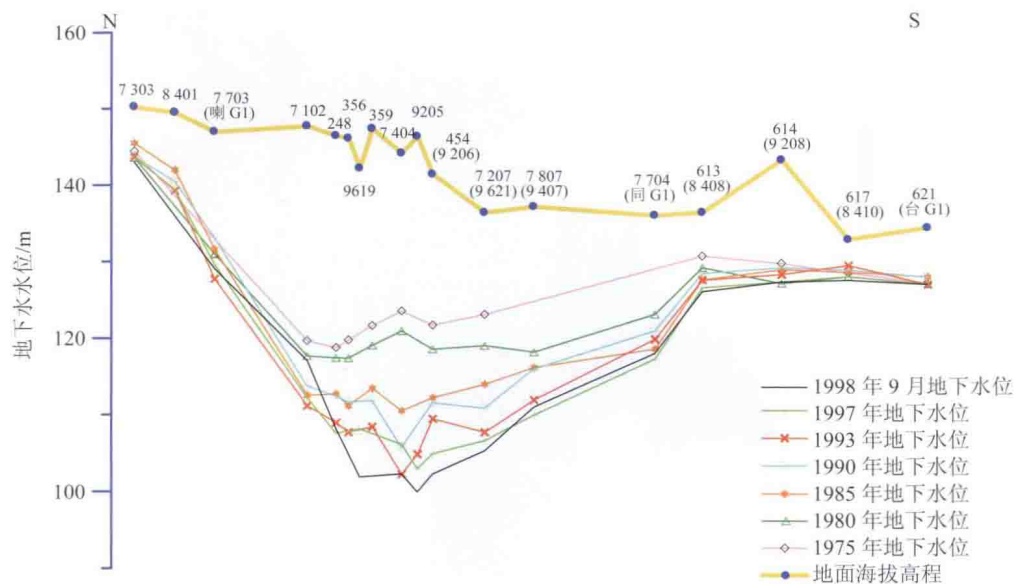
2014年12月28日于上海



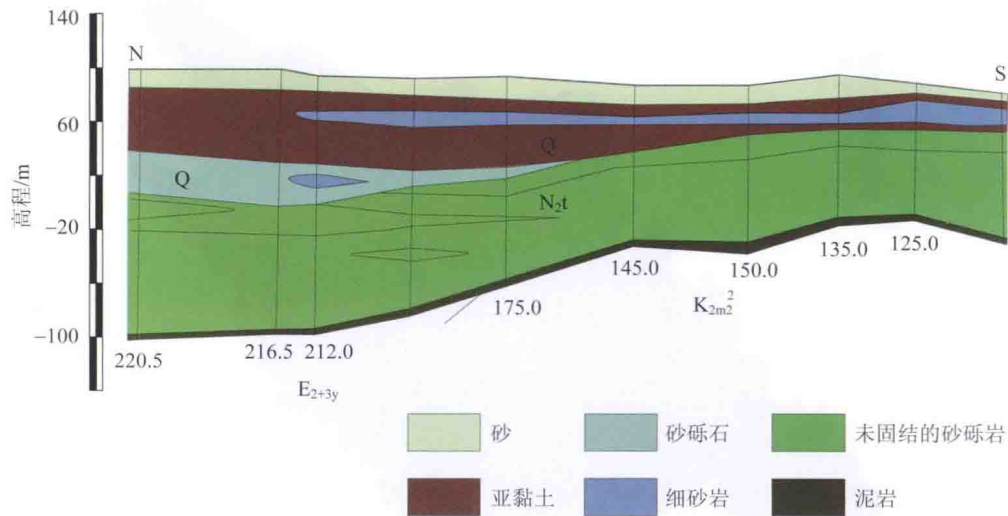
彩图 6-1 下辽河地区地下水稳定流场图



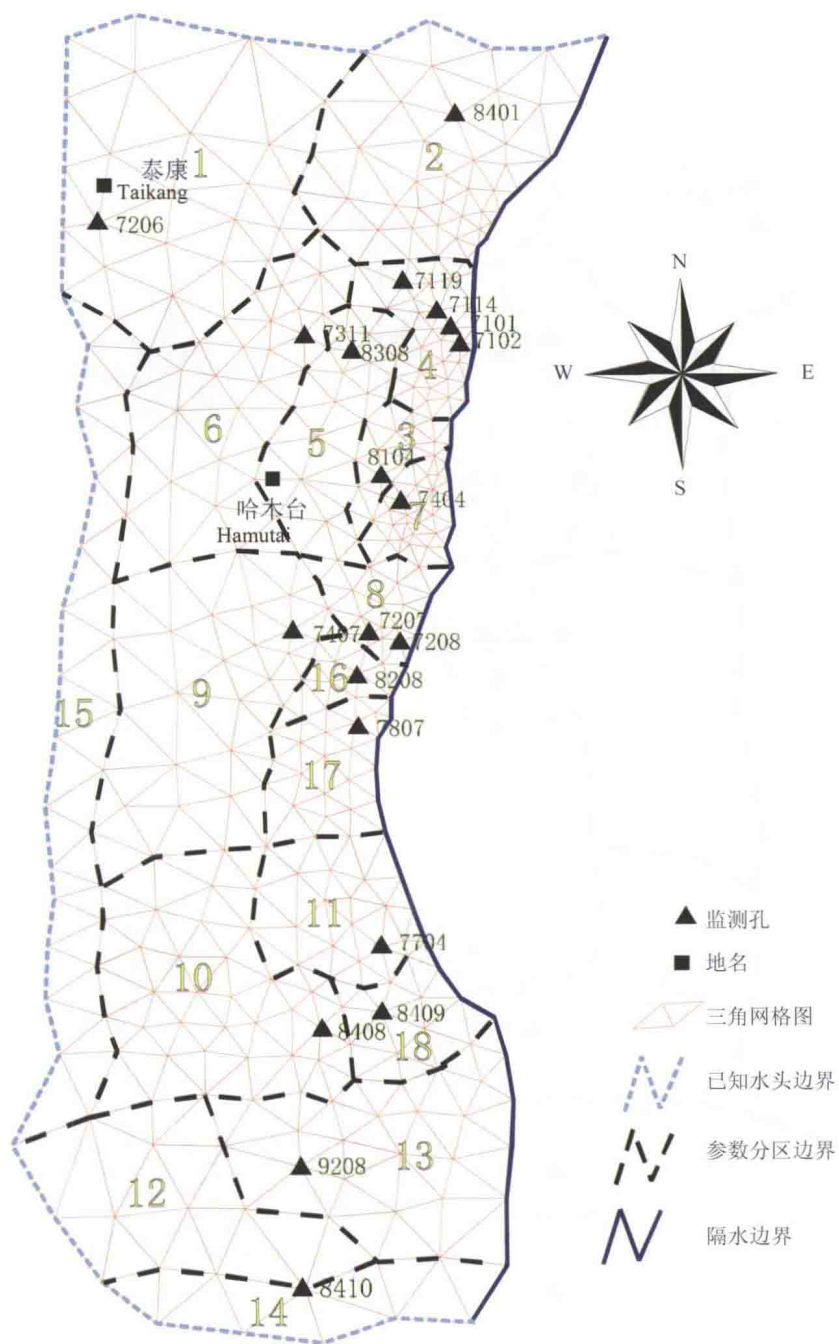
彩图 6-2 点源污染的地下水监测井最佳孔布设图



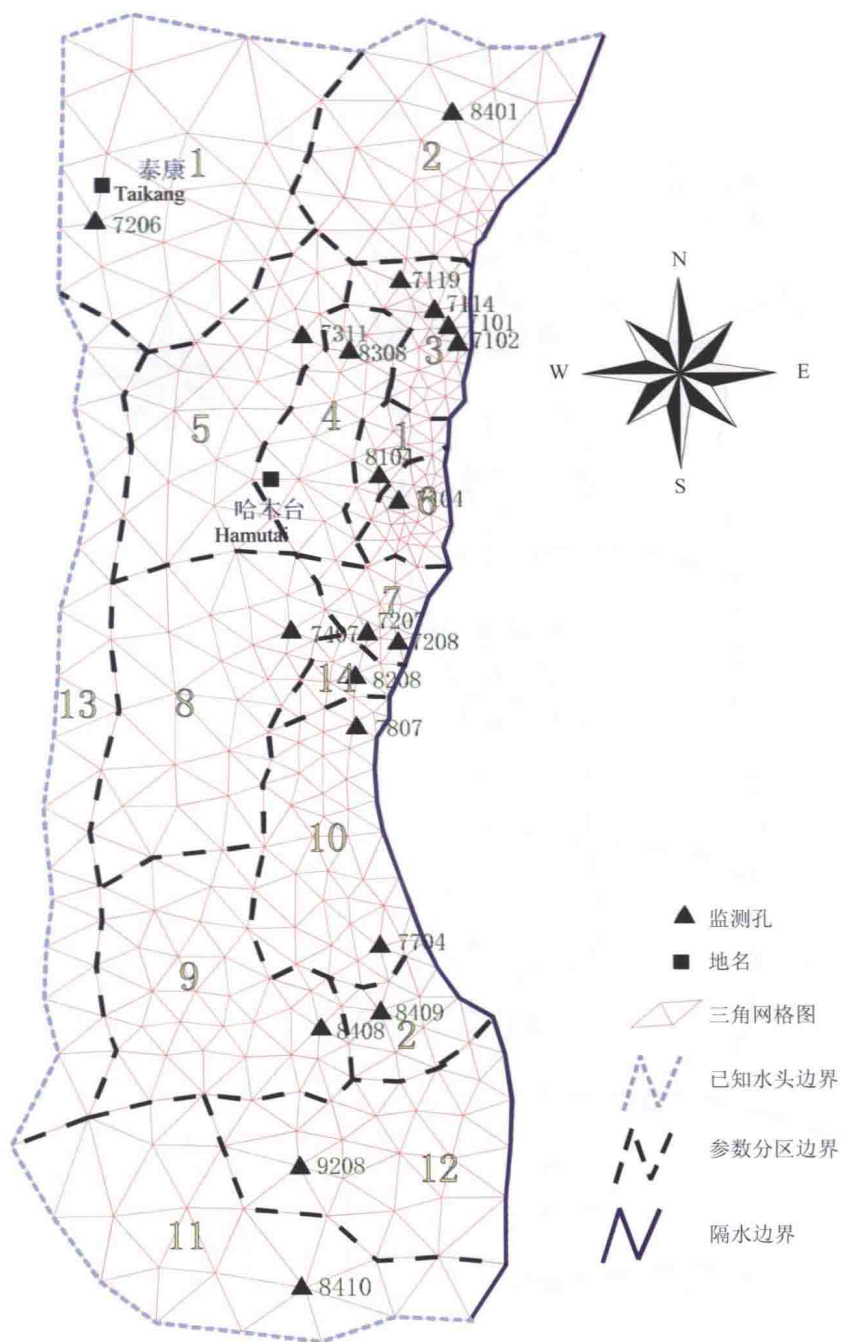
彩图 9-1 研究区地下水水位降落漏斗分布状况图



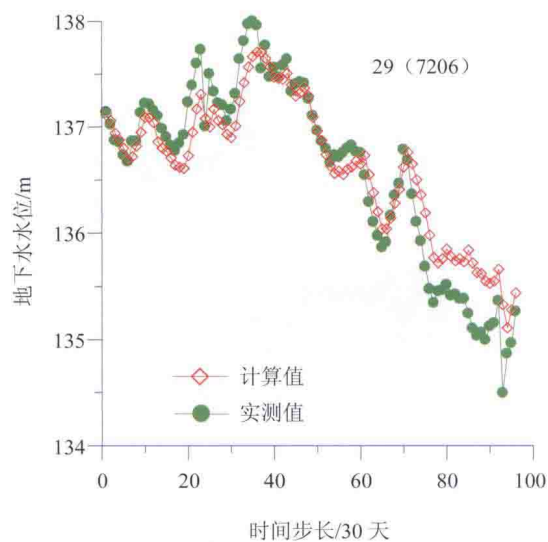
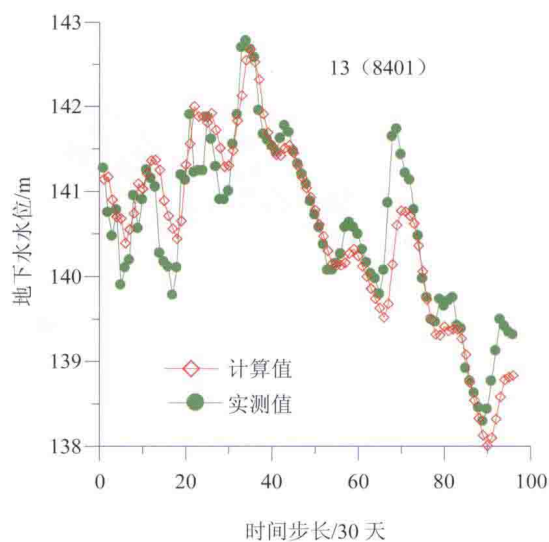
彩图 9-2 研究区水文地质剖面图



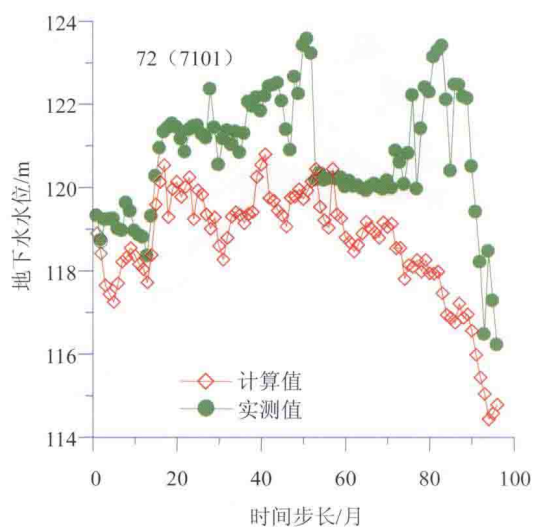
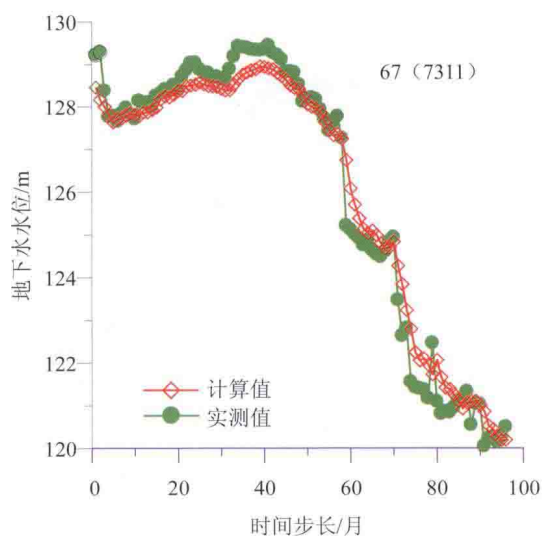
彩图 9-3 研究区单元剖分和确定性参数分区图



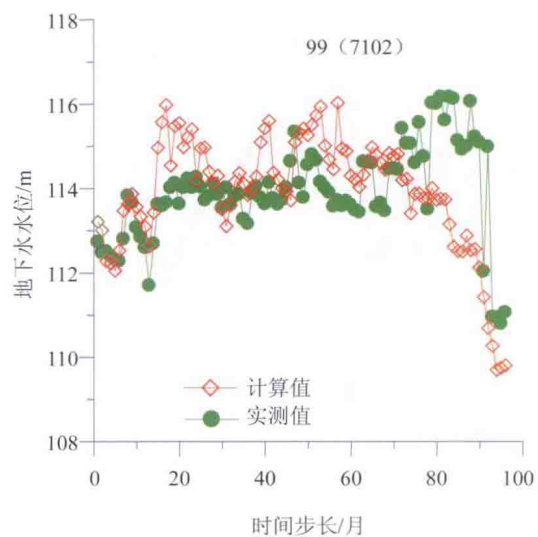
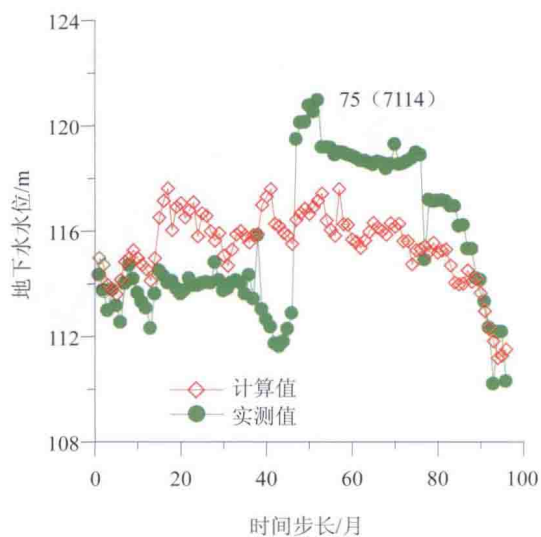
彩图 9-4 研究区单元剖分和随机性参数分区图



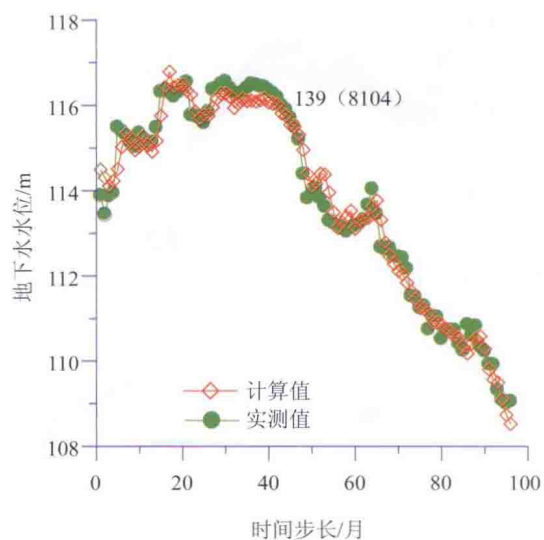
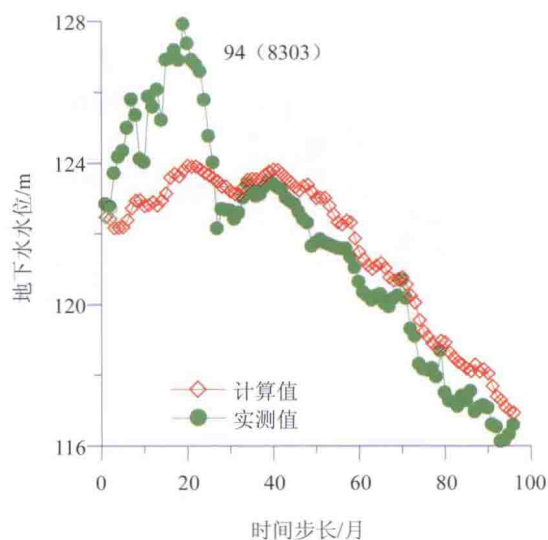
彩图 9-5 (a) 研究区 8401 孔和 7206 孔实测值与计算值比较图



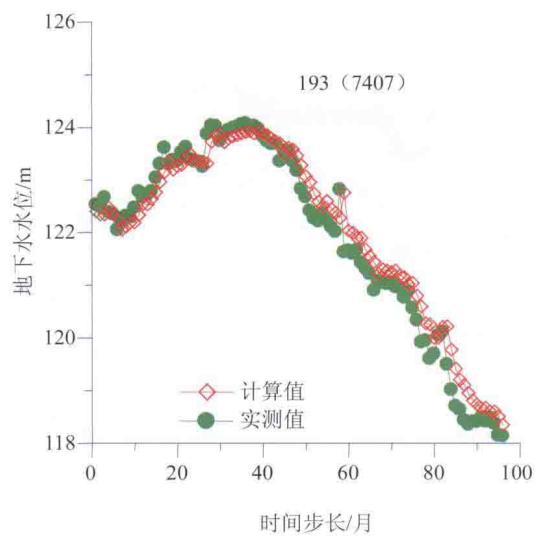
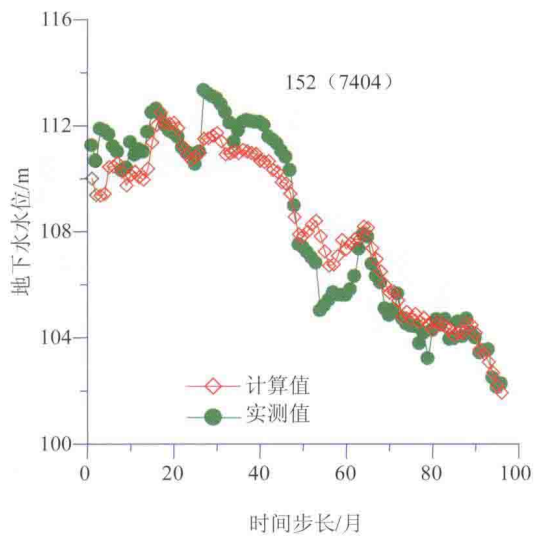
彩图 9-5 (b) 研究区 7311 孔和 7101 孔实测值与计算值比较图



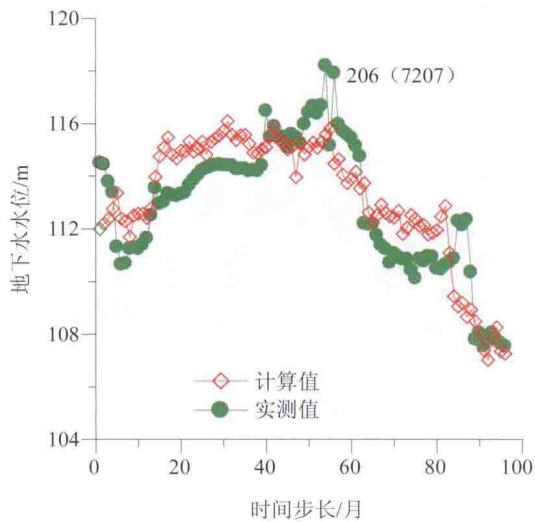
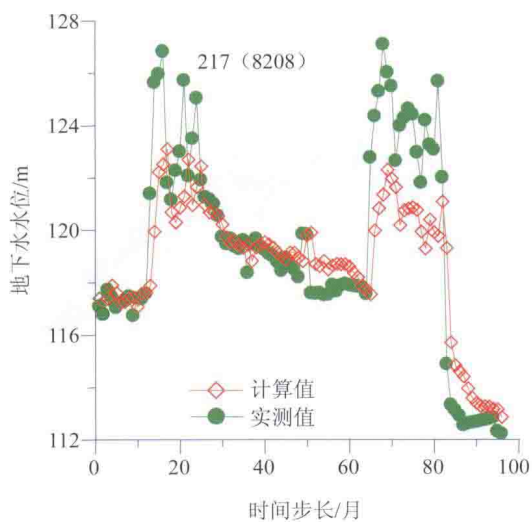
彩图 9-5 (c) 研究区 7114 孔和 7102 孔实测值与计算值比较图



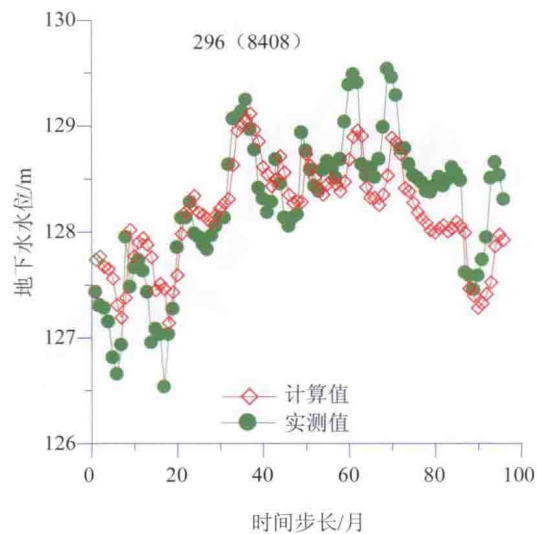
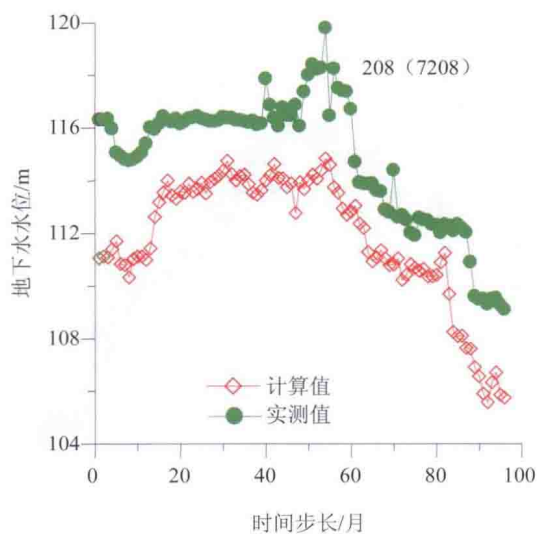
彩图 9-5 (d) 研究区 8303 孔和 8104 孔实测值与计算值比较图



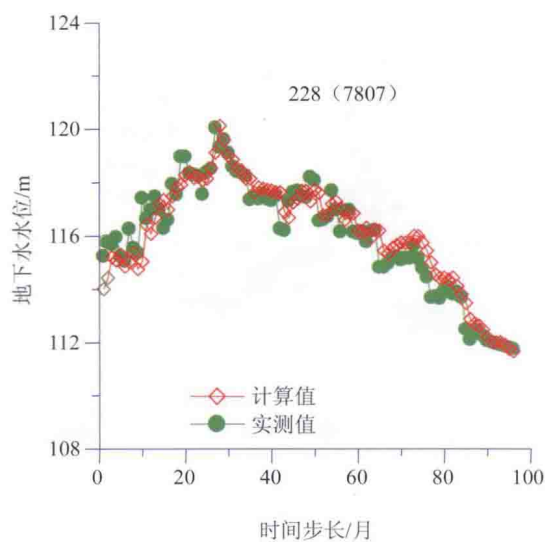
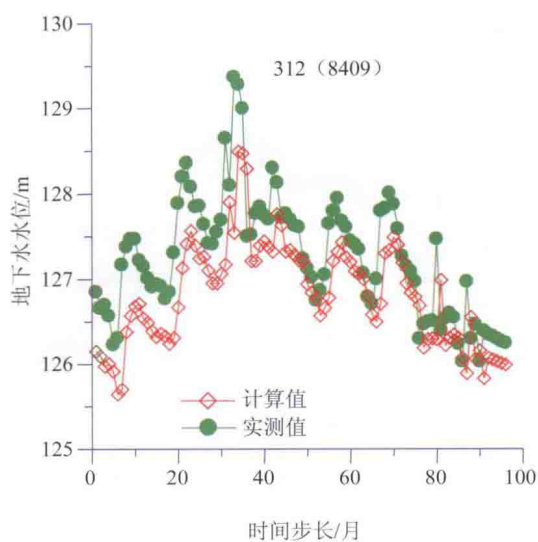
彩图 9-5 (e) 研究区 7404 孔和 7407 孔实测值与计算值比较图



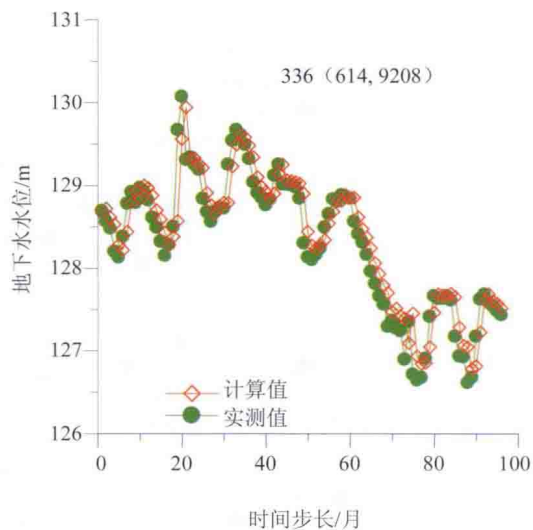
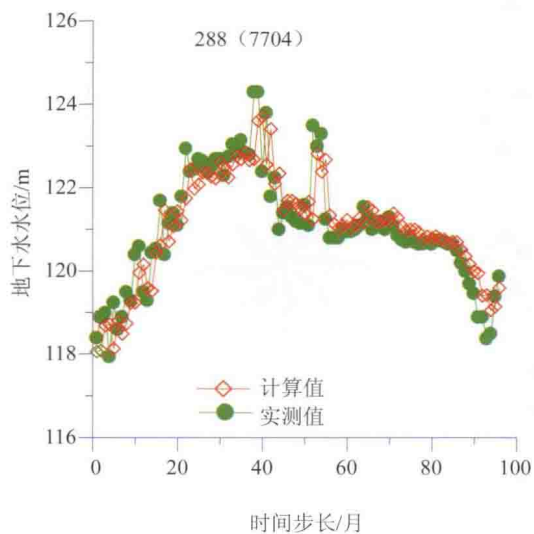
彩图 9-5 (f) 研究区 8208 孔和 7207 孔实测值与计算值比较图



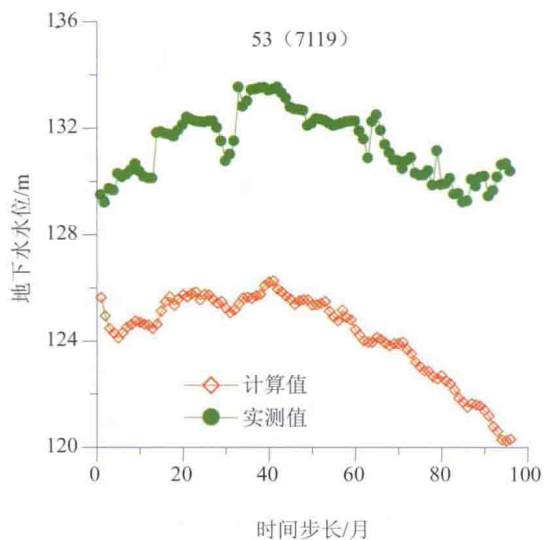
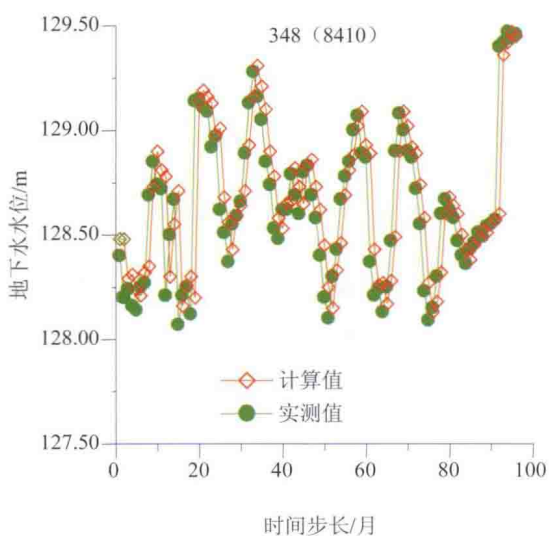
彩图 9-5 (g) 研究区 7208 孔和 8408 孔实测值与计算值比较图



彩图 9-5 (h) 研究区 8409 孔和 7807 孔实测值与计算值比较图



彩图 9-5 (i) 研究区 7704 孔和 9208 孔实测值与计算值比较图



彩图 9-5 (j) 研究区 8410 孔和 7119 孔实测值与计算值比较图