

中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会五周年特辑

精准发力

助推城市轨道交通勘测创新发展

马海志 主编

JINGZHUN FALI
ZHUTUI CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
KANCE CHUANGXIN FAZHAN

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会五周年特辑

精准发力 助推城市轨道交通 勘测创新发展

马海志 主编

中国铁道出版社

2018年·北京

内 容 简 介

本书为中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会五周年特辑。全书收录了来自13家勘察与测量单位的48篇优秀论文。全书分为勘察技术篇、测量技术篇、测试技术篇、岩土技术篇等4篇。内容涵盖了轨道交通勘察与测量的多个方面的关键技术,对北京、上海、沈阳、石家庄等全国多个城市地铁工程勘测工程的技术进行了针对性的总结,为轨道交通工程勘测提供了丰富的参考价值。

本书可作为轨道交通工程技术人员和管理人员学习研究用书,也可作为大中专院校相关专业师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

精准发力:助推城市轨道交通勘测创新发展:中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会五周年特辑/马海志主编—北京:中国铁道出版社,2018.1

ISBN 978-7-113-23815-5

I. ①精… II. ①马… III. ①城市铁路—轨道交通—勘测—中国—文集 IV. ①U239.5—53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第226829号

书 名:精准发力 助推城市轨道交通勘测创新发展

作 者:马海志 主编

策 划:阚济存

责任编辑:阚济存 刘红梅 陈美玲 编辑部电话:51873133 电子信箱:td51873133@163.com

封面设计:王镜夷

责任校对:王 杰

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:虎彩印艺股份有限公司

版 次:2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

开 本:880mm×1230mm 1/16 印张:21.5 字数:650千

书 号:ISBN 978-7-113-23815-5

定 价:149.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

中国土木工程学会轨道交通分会 勘察与测量专业委员会委员名单

主任委员单位

马海志 北京城建勘测设计研究院有限责任公司董事长、党委书记/教授级高工

黄伏莲 北京城建勘测设计研究院有限责任公司副院长/教授级高工

副主任委员单位(排名不分先后)

顾国荣 上海岩土工程勘察设计研究院有限公司技术总监/勘察大师

周宏磊 北京市勘察设计研究院有限公司副总经理、总工程师/勘察大师

燕建龙 西北综合勘察设计研究院院长/教授级高工

朱世友 中铁隧道勘测设计院有限公司院长/教授级高工

郑胜昔 天津市勘察院常务副院长/教授级高工

许少辉 广州地铁设计研究院有限公司党委书记、副院长/高级工程师

张世荣 南宁轨道交通集团有限责任公司总工程师/高级工程师

委员单位(排名不分先后)

康 佐 西安市地下铁道有限责任公司技术处总工程师

段永强 无锡地铁集团有限公司经理

何运晏 北京市地质工程勘察院副院长/高级工程师

王笃礼 中航勘察设计研究院有限公司党委书记、总工程师/研究员级高工

唐祥达 中船勘察设计研究院有限公司副院长/研究员

王永国 中铁第五勘察设计院集团有限公司副总工程师/教授级高工

周传斌 中铁大桥勘测设计院集团有限公司副总经理/教授级高工

刘文连 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院总工程师/教授级高工

徐杨青 中煤国际工程集团武汉设计研究院副总工程师/教授级高工

王建军 中交公路规划设计院有限公司勘察公司总经理/高级工程师

项培林 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司总工程师/高级工程师

石长礼 上海市隧道工程轨道交通设计研究院分院院长、总工/教授级高工

李明生 天津市市政工程设计研究院副总工程师/教授级高工

郑依依 天津市地质工程勘察院院长/教授级高工

刘 伟 广州市城市规划勘测设计研究院所长

钟金宁 南京市测绘勘察研究院有限公司轨道交通测绘科技公司总经理/研究员

刘 成 铁道第三勘察设计院集团有限公司航遥测绘分院副院长/教授级高工

石飞荣 陕西省公路勘察设计院院长/教授级高工

王世彪 广东有色工程勘察设计院院长/高级工程师

- 武威 建设综合勘察研究设计院有限公司副院长/研究员
郑建国 机械工业勘察设计研究院副院长/教授级高工
蒋鹏 深圳市勘察研究院有限公司副总经理、副总经理/教授级高工
雷斌 深圳市工勘岩土工程有限公司常务副总经理/高级工程师
马春华 河北中核岩土工程有限责任公司副总经理/高级工程师
吴铭炳 福建省建筑设计研究院总工程师/教授级高工
蒋建良 浙江省工程勘察院总工程师/教授级高工
张敏静 西安中交公路岩土工程有限公司总工程师/教授级高工
谢征海 重庆市勘测院总工程师/教授级高工
陈鸿 深圳市市政设计研究院有限公司勘察院长/高级工程师
顾凤祥 江苏苏州地质工程勘察院总工程师
张道政 江苏中设工程咨询集团有限公司副总工程师
施木俊 武汉市勘察设计有限公司董事长
史晓忠 无锡市政设计研究院有限公司勘察工程所所长
王永峰 杭州市勘测设计研究院院长助理
饶猛 浙江华东建设工程有限公司副经理
马贵生 长江岩土工程总公司(武汉)副总工程师
王双龙 深圳市建设综合勘察设计院有限公司常务副总/教授级高工
宋仕兵 青岛地矿岩土工程有限公司总经理助理
刘文峰 江西飞尚科技有限公司总经理
王静 徐州中国矿大岩土工程新技术发展有限公司副总经理
连长江 广东省重工建筑设计院有限公司岩土分院院长
郑全明 山东正元建设工程有限责任公司技术处总工程师
周诚华 南昌轨道交通集团有限公司建设分公司总经理
杜道龙 中铁第六勘察设计院集团有限公司副院长/教授级高工
吕三和 青岛市勘察测绘研究院副院长/研究员
李丞鹏 北京中天路通工程勘测有限公司总经理

新入会单位(排名不分先后)

- 方新涛 天津市地下铁道集团有限公司副总工程师
徐红 乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司总工程师
谭志文 石家庄市轨道交通有限责任公司总工程师/高级工程师
曹成度 中铁第四勘察设计院集团有限公司工勘院总工
王鹏 济南市勘察测绘研究院副院长
郭密文 航天建筑设计研究院有限公司总工程师
周连成 青岛海洋地质工程勘察院院长
姜本军 黑龙江省水文地质工程地质勘察院院长/教授级高级工程师
刘俊岩 济南大学土木建筑学院教授
谢长岭 浙江华展工程研究设计院有限公司
郭希印 北京同创天成工程勘测有限公司总经理

编审委员会

主 编：马海志

副 主 编：施仲衡 李德仁 卢耀如 武 强 陈湘生

沈小克 顾国荣 徐张建 杨伯钢 周宏磊

王思锴 黄伏莲 燕建龙 朱世友 许少辉

张世荣 张健全 高文新 郑胜昔

编 委：陈大勇 付仲花 侯东利 辛 伟 杨石飞

陈晓丹 张 华 李连营 邢卫民 王昌洪

王永刚 何旭升 王炳华 周诚华 吴招锋

饶 猛 陈圣仟 刘兆茂 叶向前 方门福

蒋建良 刘永中 刘志方 罗小杰 王 静

吴圣林 李芳凝 张 勇 陈 晶

主办单位：中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

南京地铁集团有限公司

中铁隧道勘测设计院有限公司

序

中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会成立于2012年,是国内重要的专业性学术组织。成立五年来,在主任委员马海志同志的带领下,在全体委员单位的共同努力下,通过创办会刊、出版论文集、组织学术年会等方式构建交流平台,搭建沟通桥梁,开展了丰富多彩的学术活动,为整个行业的发展和技术进步做出了重要贡献。

目前,世界上有51个国家和地区的165个城市拥有城市轨道交通运营线路,中国运营的线路里程占全世界近四分之一。未来10年内,全球轨道交通约3/4的投资集中在中国。中国城市轨道交通走过了60年的发展历程,积累了丰富的建设经验,集聚了众多的优秀人才,工程建设、装备制造、运营管理技术水平不断提升,地铁建设从机械化、自动化、信息化逐渐进入智慧化时代。

近五年来,我国城市轨道交通客流量由2012年的87亿人次增加到2016年底的160.9亿人次,日均客流量由2448.2万人增加至4408万人,翻了近一倍;这五年,我国拥有地铁运营线路的城市由17座增加到27座,运营线路里程从1740 km增长到3169 km,到2020年将达到6000 km。城市轨道交通行业的快速发展离不开勘测技术的有力支撑。

勘测技术的发展对城市轨道交通行业的健康、平安、和谐发展起到了巨大的推动作用。勘测为工程建设提供地质、管线、周边建构筑环境等基础资料,是工程建设的基础;基础扎实,工程顺利。2009年济南市重新启动轨道交通线网规划,就曾委托北京城建勘测设计研究院对济南市的基础地质和泉水进行研究,分析泉水对轨道交通建设的影响,最终规划的线网避开了泉水保护敏感区,做到了既修建了地铁,又保护了泉水,还避开了风险,目前同时在建三条线路,开创了我国在轨道交通线网规划阶段即开展勘测工作和基础研究的先河,破解了济南市城市轨道交通建设的难题。

勘测是工程建设的重要技术保障,质量方面确保隧道精密贯通、限界合适、放样准确,安全上确保重大安全风险可控。这些年,随着勘测技术的不断进步,勘测专业在城市轨道交通工程建设中扮演着越来越重要的角色。勘测人用专业的技术素养和精湛的专业技艺,为工程规划设计提供精确的基础数据,为工程建设提供可靠的质量安全保障,为后期运营提供强大的技术支撑。勘测人用智慧和付出保驾护航地铁建设,护航城市发展,为中国城市轨道交通工程的持续健康发展做出了卓越贡献。

值此轨道交通大发展之际,中国土木工程学会轨道交通分会勘察与测量专业委员会组织编写《精准发力 助推城市轨道交通勘测创新发展》,是对行业技术的总结和交流,是对勘测技术的积累和创新,是对勘测人才的培养和历练。我期望勘测专业发扬工匠精神,在精准上下功夫。“精”就是测绘数据精度要高,“准”就是地质勘探资料要真实准确。我也期望,勘测技术人

员能够将大数据、云计算、人工智能等先进技术融入勘测专业,不断创新,做到智慧地铁勘测先行。唯有如此,我们的轨道交通事业才能安全、健康的发展,勘测工作才能真正为轨道交通建设和运营保驾护航。

愿大家抓住机遇共同努力,不断奋斗,勤奋创新,持续发展,共同迎接我国城市轨道交通事业发展的美好明天。



2017年9月于北京

目 录

勘察技术篇

- 石家庄市轨道交通工程抗浮设防水位分析计算研究 周玉凤, 龚选波, 朱国祥(3)
- 轨道交通采空区勘察及处理方法对比分析 程海陆, 张继伟, 张 勇(13)
- 地质雷达在轨道交通工程回填土密实情况检测中的应用 徐永亮, 谢峰, 黄溯航, 庞 炜, 马 伟(22)
- 城市轨道交通工程勘察常见问题分析与解决方案 李世民(30)
- 北京城市轨道交通穿越污染土的专项勘察研究及应用 校小娥, 周玉凤, 庞 炜, 黄溯航, 谢 峰(37)
- 地质雷达在贵阳轨道交通工程地质探测施工中的局限性探讨 智 刚, 杨志斌(46)
- 煤层瓦斯隧道中开展 TSP 探测工作的研究与探索 智 刚(51)
- 探地雷达在隧道超前地质预报中应用 张 杉(58)
- 回弹法及三维激光扫描技术在运营地铁结构现状调查中的应用分析与研究 陈 涛, 翟 超, 范鹏程, 张 敏, 王鑫森(62)
- 天津地区浅部承压含水层的标准化分层——以天津市区为例 李 超, 赵志峰, 刘晓磊(71)
- 天津市区古河道工程特性及对地铁工程的影响研究 赵志峰, 周玉明, 刘晓磊(80)
- 青岛地铁岩土工程勘察工作的难点及应对措施 崔继升, 王忠胜, 李克建, 顾朝杰(87)
- 地下隧道联络通道人工冻土物理力学性能研究 刘生财, 李高山(92)
- 上海地铁岩土工程技术管理与创新探索 马忠政, 苏 辉, 应伯宣, 杨石飞(96)
- 综合物探超前地质预报在广州地铁隧道中的应用研究 雷 凯, 李立功, 袁延斐(102)

测量技术篇

- 利用 DiNi03 水准仪进行水准主路线与支路线同步测量及数据自动处理的研究 刘卫国, 卢 硕(111)
- 现代城市轨道交通工程地面控制测量新需求 王 建(116)
- 城市轨道交通工程近距离上跨既有线项目测量技术总结 才 群(121)
- 城市轨道交通 GNSS 控制网测量起算基准研究 李 冠, 张庚涛(128)
- 轨道交通地面导线控制网距离改正精度分析研究 孙士通, 殷文彦(135)
- 测量测试技术在地铁隧道结构健康检测中综合应用及分析 贾志强, 邢卫民, 郑胜昔(141)
- 基于 SLAM 算法的室内移动测量技术在地下工程中的应用 岳仁宾, 黄承亮, 郑跃骏(149)
- 基于稳健估计的 CPⅢ 高程网粗差探测 林 飞(154)

测试技术篇

- 浅谈超长超大断面盾构隧道洞内监测实施方法 高 虎(165)
- 基于光纤光栅传感器的结构健康监测系统及应用 牟泳霓(169)
- 西安环球中心金花大楼爆破作用下周边地铁的安全性研究 周志强, 陈 燚(176)
- 地铁跨湖段高架桥沉降监测方案设计与分析 刘卫国, 张 猛, 朱 雷(185)
- 地铁 10 号线上穿既有地铁 2 号线的监测及分析 高俊鹏(191)
- 无棱镜自动化监测在机场跑道监测中的应用 陈 伟, 王昌洪(204)
- 光纤传感器在洞桩法车站监测中的应用 张子真, 陈昌彦, 王金明, 孙玉辉, 李璐璐(210)

北京城市轨道交通工程建设土建施工阶段安全风险预控方法

研究	陆永浩,罗文林,郑希,叶子剑(218)
论锚杆轴力监测对基坑桩锚支护体系稳定性的重要性	谭雪,张元元,孙雪鹏(226)
北京市城市轨道交通明挖工程的安全检查问题分析	王法,南文胜,罗文林(230)
天津软土地区运营地铁结构变形监测研究与分析	张敏,翟超,范鹏程,陈涛,耿司(235)
深基坑开挖对邻近地铁结构沉降变形的影响分析	黄创,阳安国,肖兵,李德平(243)
运营轨道交通自动化变形监测减小瞬时误差测量方法的探讨与应用	郭军强(248)
基于两种不同方法地铁换乘车站自动化监测与分析	廖振宇,何婧,王萍(255)

岩土技术篇

振冲碎石桩消除液化现场试验及效果分析	罗烈日,彭占良,宋克英,冯科明(265)
城市轨道交通地下水风险特性及防控措施研究与实践	刘永勤(273)
复杂环境条件下的某基坑风险控制设计	董慧超(283)
基于层次分析法综合超前地质预报及应用	陈素敏,袁真秀,王馨霆,左战旗,郁金龙(292)
基于点云数据的地铁车站模型构建方法研究	张小越,王羽(300)
高压旋喷桩在临近地铁深基坑支护结构中的应用	赵世斌(304)
大面积软基处理对地铁影响的有限元分析	陈梦鸥(307)
地面动荷载下隧道结构动力响应有限元分析	雷丹,苏辉(313)
近邻基坑开挖降水对地铁隧道变形的影响分析	沈奎(319)
特殊条件下地铁车站深基坑抽水试验及工程应用	刘志方,宋娱,刘伟(325)

勘察技术篇

- 石家庄市轨道交通工程抗浮设防水位分析计算研究
- 轨道交通采空区勘察及处理方法对比分析
- 地质雷达在轨道交通工程回填土密实情况检测中的应用
- 城市轨道交通工程勘察常见问题分析与解决方案
- 北京城市轨道交通穿越污染土的专项勘察研究及应用
- 地质雷达在贵阳轨道交通工程地质探测施工中的局限性探讨
- 煤层瓦斯隧道中开展 TSP 探测工作的研究与探索
- 探地雷达在隧道超前地质预报中应用
- 回弹法及三维激光扫描技术在运营地铁结构现状调查中的应用分析与研究
- 天津地区浅部承压含水层的标准化分层——以天津市区为例
- 天津市区古河道工程特性及对地铁工程的影响研究
- 青岛地铁岩土工程勘察工作的难点及应对措施
- 地下隧道联络通道人工冻土物理力学性能研究
- 上海地铁岩土工程技术管理与创新探索
- 综合物探超前地质预报在广州地铁隧道中的应用研究

石家庄市轨道交通工程抗浮设防水位分析计算研究

周玉凤, 龚选波, 朱国祥

(北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101)

摘要:本文综合利用统计回归分析法、动态曲线比拟法、频率分析法、水量均衡法、数值模拟法等方法,预测了石家庄轨道交通1号线、3号线一期工程沿线地下水位的变化趋势和今后百年的最高水位,根据工程结构埋深、土层分布条件对石家庄轨道交通1号线、3号线一期工程抗浮水位进行研究确定,形成了一套适合石家庄地区的抗浮水位研究方法体系及技术体系,为今后石家庄地区抗浮水位研究工作奠定了方法基础和技术基础。

关键词:轨道交通;地下水动态数值模拟;抗浮水位

石家庄市地质环境较特殊,渗透性较大的粗颗粒地层分布较广,地下水受地表径流补给的条件较好,同时受其他人为因素的影响,石家庄市未来地下水位上升的可能性较大。地铁工程埋深大,荷载小,抗浮水位的合理与否不仅直接关系到地铁建设投资和造价,同时也关系到地铁百年运营的安全,故确定科学合理安全的抗浮设防水位显得尤为必要。

1 工程地质条件

石家庄地区地势西高东低,西部为山地、中东部为平原。石家庄地铁1、3号线一期工程主要位于滹沱河冲洪积扇中部(图1),地势开阔,地面高程一般在60~90 m之间。

第四系在石家庄地区广泛发育,厚度由山区的几厘米至10余米到平原的几百米不等,以坡积、冲积、洪积、湖积为主。拟建地铁1号线和3号线一期工程位于侵蚀堆积平原区,涉及的地层以第四系的砂土和碎石类土为主,其间夹有粉土和黏性土(图2)。

2 水文地质条件

2.1 地表水系

石家庄市由北向南主要河流有磁河、滹沱河、洨河、槐河等自西向东、东南流经石家庄市;主要水利工程有岗南、黄壁庄、八一、横山岭、张河湾等大中型水库5座。此外,水利工程还主要有石津渠、引岗渠、南水北调中线引水渠等共7条渠。

2.2 地下水分类

石家庄地区第四系松散岩层孔隙水分为浅层孔隙水和深层孔隙水。浅层孔隙水主要含水层是上更新—全新统的砂卵石层(图2中I);该含水层区内均有分布,埋藏深度5~90 m;深层孔隙水 Q_{2-4} 含水层组以下为下更新统(Q_1)孔隙承压含水层组,此含水层组主要由 $Q_1^2-Q_1^3$

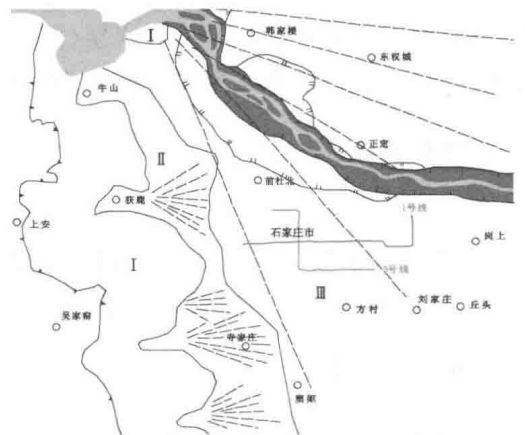


图1 石家庄区域地貌图

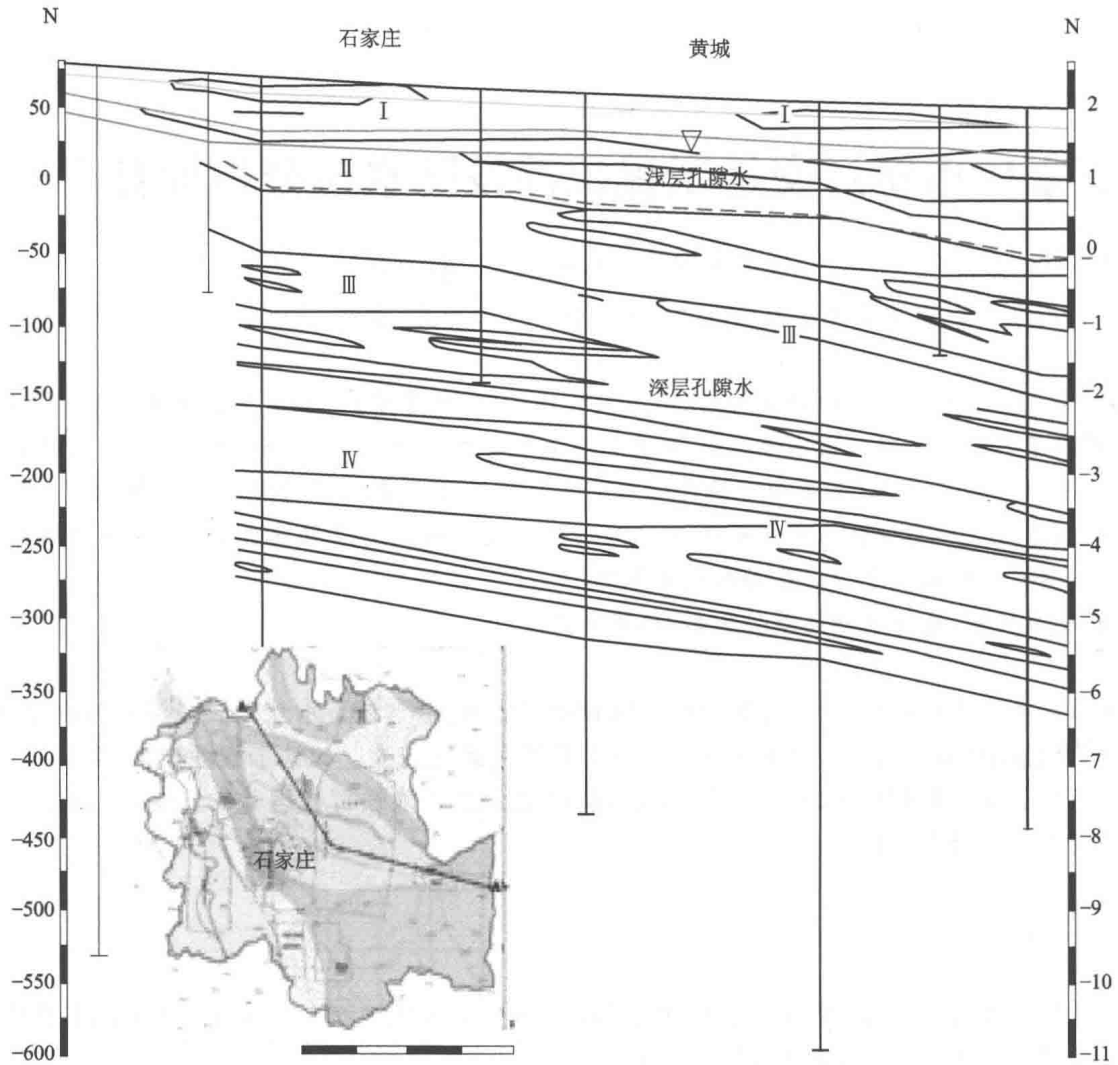


图2 石家庄典型地层剖面图

含水层(图2中的Ⅲ层)和 Q_1^1 含水层(图2中的Ⅳ层)组成。此含水层组主要分布于滹沱河大桥—谈固以东和滹沱河以北地区,含水层岩性主要为砂卵石、砂砾石、中粗砂和中细砂层。

2.3 地层渗透性

石家庄市地表以下分布有黄土状粉质黏土,其渗透系数一般在 $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{ m/d}$ 之间。研究区大部分区域含水层渗透系数在 40 m/d 以上,特别是滹沱河河道两侧含水层渗透系数在 100 m/d 以上,属强透水性地层。因此石家庄地区未来当出现外来水源补给或开采量急剧减少时,地下水位将会快速回升。

2.4 地下水动态

根据地下水位年内动态变化规律,可将石家庄地下水年内动态划分为降水入渗——农业开采型和径流补给——集中开采型两种类型;由于地下水开采量较大,多年来地下水呈现出以快速下降为主的特点(图3)。受水库放水和限采影响,地下水位开始缓慢回升。

2.5 地下水动力特征

1965年因地下水大量开采,在华北制药厂附近形成降落漏斗,1972年漏斗中心向东转移,移到印染厂附近。

2.6 近期地下水位分布特点

拟建地铁1号线、3号线一期所在场地2011年底地下水位埋深在25~45 m,其中西部地下水位埋深相对较浅,东部地下水位埋深较深,部分地段地下水位埋深甚至超过45 m。

地下水的重要补给来源,2003年底黄壁庄水库副坝防渗加固工程完成后,副坝渗漏量下降到 $3\ 646.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,对研究区地下水的补给仍有重要意义。

石家庄平原区由于地下水降落漏斗形成改变了地下水的天然径流状态,在东部出现了地下水的反向径流。研究区地下水位埋藏较深,地下水通过蒸发排泄已不复存在,区内地下水的排泄方式主要是人工开采,包括城市工业、生活的集中开采和市区外围的农业开采,此外研究区东部还存在侧向径流排泄。由于石家庄地区地下水一直处于超采状态,形成了地下水降落漏斗,漏斗东部出现了地下水的反向补给,因此地下水向研究区外的侧向排泄量减少。

3 影响地下水位变化的因素分析

石家庄地区影响地下水位升降的因素主要有大气降水、地下水开采、黄壁庄水库放水、灌溉回归水入渗等。

3.1 大气降水影响

石家庄地区大气降水是地下水的主要补给来源之一,统计分析表明,降雨量与地下水位升幅有较好的相关性(见图4),相关系数达0.95。当集中降雨量为100 mm时,地下水位上升约0.1 m;当集中降雨量达到500 mm时,地下水位升幅达1.7 m。

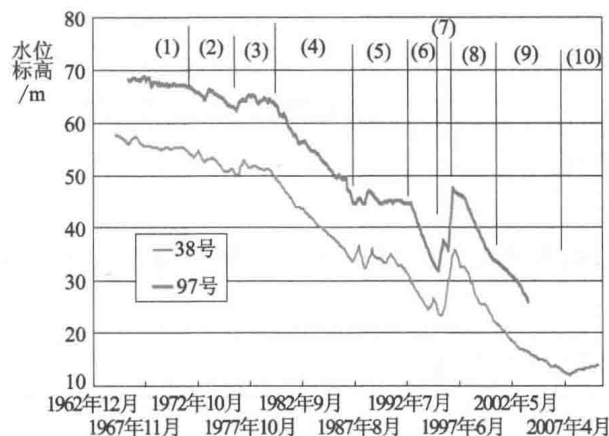


图3 石家庄市地下水位动态变化规律

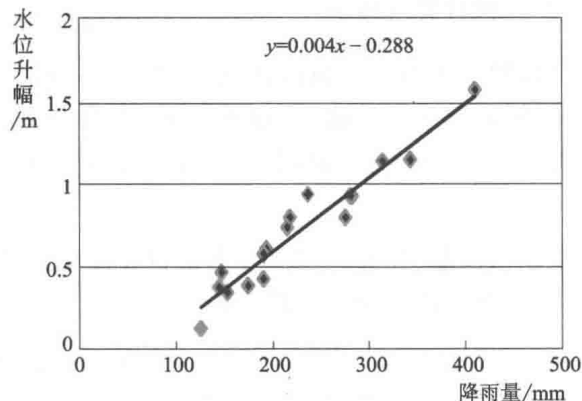


图4 大气降水与地下水位升幅统计关系

3.2 地下水开采影响

由于石家庄地区地下水位动态受多种因素影响,统计分析表明,地下水累计开采量与漏斗中心附近地下水位埋深有很好的相关性(见图5),相关系数达0.99。由此说明,在外来补给减弱的情况下,石家庄地区即使开采量每年递减,但由于累计开采量的增加,地下水位仍然逐年下降,但下降幅度逐年减少。

3.3 黄壁庄水库放水影响

石家庄市地下水位变化受黄壁庄水库放水影响较大(见图6),图中1977—1979年,受黄壁庄水库放水影响,地下水位明显上升;1988—1991年受黄壁庄水库放水影响,地下水位下降的趋势得到控制;1995—1996年,受黄壁

庄水库放水影响,地下水位出现大幅度回升。

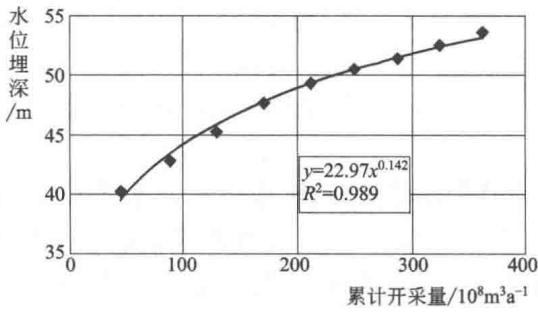


图5 地下水累计开采量与地下水位埋深关系

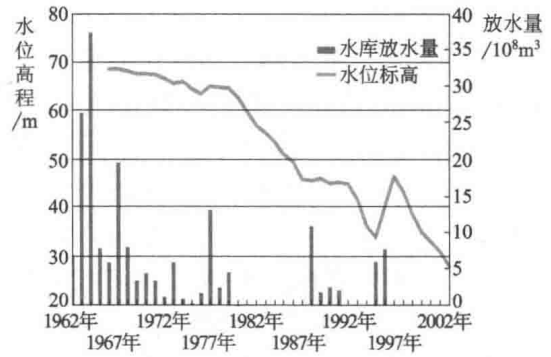


图6 黄壁庄水库放水和地下水动态变化的关系

3.4 灌溉回归水入渗影响

灌溉回归水入渗也是地下水的补给来源之一,石家庄市周边每年春灌和秋灌季节有大量农田得到灌溉,灌溉水除部分通过大气蒸发和农作物吸收外,大部分渗入到地下。

4 地下水流数值模拟

根据地铁设计,地铁埋深都在30 m以内。所以本次研究的含水层为底板埋深20~200 m的Q₂₋₄沙砾卵石含水岩组,即浅层孔隙水。

4.1 水均衡计算与分析

区内地下水均衡项包括:降水入渗补给、灌溉入渗补给、渠道渗漏补给、地下侧向流入、地下水开采和地下水侧向流出。

降水入渗补给量:根据降水入渗系数分区(图7)进行计算。

灌溉回归量:均衡区农业开采量包含行政区内(石家庄市、藁城市、正定县、栾城县、鹿泉市)和行政区外两部分,均衡区内农业开采量见表1。

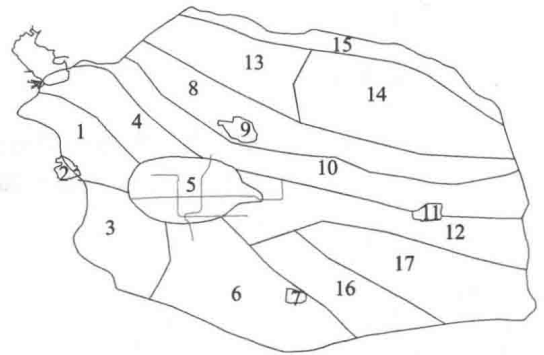


图7 工作区降水入渗系数分区图

表1 均衡区2004—2011年逐年农业开采量

10⁴ m³/a

年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	年均
农业开采量	79 593	79 846	72 574	66 719	62 266	59 298	59 387	62 597	67 785

渠道渗漏量:2004—2011年年均渠道渗漏量计算成果见表2。

表2 2004—2011年渠道渗漏补给量表

渠道	总引水量 / 10 ⁴ m ³ a ⁻¹	单位长度渠道损失系数 / km ⁻¹	渠道渗漏补给系数	渠道长度/km	渠道渗漏补给量 / [10 ⁴ m ³ · (8a) ⁻¹]
石津渠	34 204	0.002 53	0.45	69.22	2 695.53

侧向流入(出)量:根据地下水流场及含水厚度、渗透性的变化,将均衡区流入边界划分为8条计算断面进行计算,其中黄壁庄水库副坝南侧山前概化为3条;黄壁庄水库副坝、主坝概化为2条;黄壁庄水库主坝北侧山前概化为2条;均衡区北边界磁河概化为1条。均衡区流出边界划分为4条。侧向流入、流出量计算成果见表3。

表3 衡区侧向流入、流出量表

断面性质	位置	断面编号	断面长度/m	渗透系数/($m \cdot d^{-1}$)	含水层厚度/m	垂直断面的水力坡度	侧向量/($10^4 m^3 \cdot a^{-1}$)
流入	北部磁河侧向	1	27 846	90	40	0.000 51	1 866.07
	山前北侧向	2	13 857	120	12	0.001 88	1 369.25
		3	4 079	80	5	0.001 81	107.79
	主坝	4					275.04
	副坝	5					5 053.16
	山前南侧向	6	5 890	60	5	0.001 92	123.83
		7	28 671	80	10	0.005 61	4 700.03
	南部	8	17 390	50	13	0.000 60	247.55
合计						13 742.72	
流出	南部	9	27 524	60	80	0.000 94	4 541.75
	东南部	10	4 713	120	94	0.000 86	1 676.40
	东部	11	10 375	60	90	0.000 66	1 354.99
	东北部	12	14 215	100	88	0.000 49	2 256.14
	合计						9 829.28

地下水开采量:根据计算结果,均衡区 2004—2011 年年均农业开采量为 $67\ 785 \times 10^4 m^3/a$,生活开采量为 $15\ 180 \times 10^4 m^3/a$,工业开采量为 $15\ 901 \times 10^4 m^3/a$ 。

地下水储变量:地下水储变量根据 2004—2011 年地下水水位变差及变幅带给水度分区求取。

水均衡分析:均衡区 2004—2011 年地下水水均衡各计算数据见表 4。

表4 2004—2011 年均衡区地下水均衡计算成果表

均衡项		均衡量/[$10^4 m^3 \cdot (8 a)^{-1}$]
地下水补给量	降水入渗补给量	29 517.02
	渠道渗漏补给量	2 695.53
	井灌回归量	12 540.23
	水库坝下渗漏补给量	5 328.20
	山前侧向流入量	4 434.48
	其他侧向流入量	2 113.62
	合计	56 629.08
地下水排泄量	开采量	98 866.24
	侧向排泄量	9 829.29
	合计	10 8695.53
补排差		-52 066.45
地下水储变量		-51 866.41
均衡计算误差		200.04

4.2 水文地质概念模型的建立

由于研究区地下水系统边界条件难以控制,本次模拟实际区域圈定根据水文条件比较清楚且比较好控制为原则,预测采取局部加密的方法。模型的面积为 $2\ 884.27 km^2$ (包括石家庄都市区、鹿泉市、正定县、藁城市、栾城县)。

根据前述讨论可知, Q_{3-4} 和 Q_2 含水层组二者为具有密切水力联系的统一含水系统,因此,将其概化为