

DUANXIANPENDI BANGHEQUSHUI

SHUIWENDIZHI KANCHAJISHU YU HUANJING YINGXIANG PINGJIA

断陷盆地傍河取水 水文地质勘查技术与环境影响评价

王现国 李永超 雷 励 肖书超 赵全顺 王晨旭 等著



黄河水利出版社

断陷盆地傍河取水水文地质 勘查技术与环境影响评价

王现国 李永超 雷 励 等著
肖书超 赵全顺 王晨旭

黄 河 水 利 出 版 社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书在全面、系统收集区内水文地质资料,特别是 20 世纪 50 年代初以来地下水调查、勘查、监测、水质等方面研究成果的基础上,论述了研究区水文地质特征,对区域地下水系统演化和人类活动条件下地下水系统的演化进行了定量预测,以纸庄水源地为例,系统地进行了水文地质勘查技术研究,对地下水资源量进行评价,为水资源开发利用、保护提供了可靠依据。

本书可供从事水文地质、水资源管理的专业人员及高等院校地下水科学与工程等有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

断陷盆地傍河取水水文地质勘查技术与环境影响评价/
王现国等著. —郑州:黄河水利出版社,2014.4
ISBN 978-7-5509-0772-0

I. ①断… II. ①王… III. ①断陷盆地-地下取水-
水文地质勘探-研究 ②断陷盆地-地下取水-环境影响-
评价 IV. ①TU991.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 069753 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:11.25

字数:260 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 4 月第 1 版

印次:2014 年 4 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

前 言

地下水是一种有限的宝贵自然资源,又是生态环境体系中的活跃因素,地下水环境是人类环境的重要组成部分,与人类生存密切相关,世界范围内的地下水环境均表现出不断恶化的趋势,其中最为突出的是地下水水量衰竭和地下水污染。不断恶化的地下水环境又反作用于人类本身,严重制约了经济的发展,甚至危及人类的健康和生命。地下水的开发利用曾经作为古代文明的标志,代表着人类发展的技术水平,但是在现代,地下水资源已成为制约国民经济发展的基础条件之一。展望地下水开发的历史,凡是科学合理地开发利用地下水,往往会产生良好的经济、社会和环境效益;相反,无序持续超量开采地下水,往往导致地下水位区域性下降、地下水水质恶化以及地面变形、地面沉降、地面塌陷等环境问题。大量事实表明,地下水环境所提供的条件,并不能供人类随意开发,而要求人类有意识地与其保持平衡。当前,整个世界范围内频繁出现的一系列环境水文地质问题,正是人类打破了这种平衡的必然后果。因此,保护和改善地下水环境,以地下水资源永久持续利用,经济、社会和环境协调发展为原则,实现地下水资源科学有序的开发利用和管理,是 21 世纪我国面临的重要任务。

洛阳盆地位于河南省西部黄河南岸,西起延秋,东至黑石关,呈北东—北东东向延伸近百千米,南北宽约 10 余千米,伊、洛河贯流其间。行政区划包括洛阳市市区及辖区偃师、孟津、新安、宜阳、伊川等县(市)及郑州市辖巩义市部分地区。洛阳是举世闻名的历史文化名城,素有九朝古都之称,在中华民族 5 000 年文明史上,曾几度繁荣,占有重要的历史地位。洛阳作为国家重点建设城市,是一座以机械、电力、冶金、纺织、建材、橡胶、化工、玻璃、电子等多种工业为主导产业的工业城市,具有较强的工业经济基础和雄厚的科技实力。“九五”期间,洛阳市抢抓机遇,加速发展洛南新城建设,经济发展水平和社会面貌发生了重大变化。偃师是洛阳的卫星城市,社会经济发展水平位居全省先进行列。目前,这两座城市生活及工业用水多以开采洛阳盆地内浅层地下水为主,盆地内现有 11 个傍河水源地,日开采量达 88.83 万 m^3 。

随着国民经济的飞速发展,城市规模的日益扩大,人口的不断增多,地下水开采量的日益增加,盆地内区域性地下水位不断下降。同时,伊、洛河相继修建了水利工程并投入使用,1963 年伊河陆浑水库建成投入使用,1993 年洛河故县水库建成投入使用,1999 年洛阳市规划在洛河洛阳市区段建立五期水面工程,目前已有三期水面工程建成蓄水。陆浑水库、故县水库的兴建利用及洛河水面工程的拦水运用使本区水文地质条件发生了重大变化。重新计算和评价洛阳盆地地下水资源,可为盆地内地下水资源的合理开发利用提供依据。

洛阳盆地是豫西山系中的一个大型山间盆地。洛阳位于盆地西部,是河南省和国家的主要重工业基地,也是我国历史文化名城。20 世纪 50 年代以来,洛河两岸工农业用水量逐年增加,并且主要依靠地下水源,致使洛河水量逐年减少,两岸地下水位下降,水源并

出水量减少,河水位与地下水位脱开,形成了地下水降落漏斗,同时产生了地下水位持续下降、地面沉降等环境问题。自 50 年代末以来,地矿、水利、城建等部门进行了一系列水文地质、环境水文地质、环境地质勘察、评价和检测工作。

人工大量地开采地下水资源使洛阳盆地内地下水环境条件发生了明显改变,主要表现为地下水补给条件发生了显著变化,区内地下水位普遍下降。为防止地下水位持续下降,在 1984 ~ 1996 年间相继开展了地下水人工回灌试验,又从 1999 年开始建设人工补给调蓄工程,自 2000 年 4 月开始,随着人工调蓄工程的运行,对地下水的补给量有所增加,地下水位抬升,同时也出现了地下水污染、地下人防工程被淹没、建筑物变形、土地浸没等灾害。

地表水及地下水污染是研究区的又一个严重环境问题。随着区内城市规模的不断扩大,地表水和地下水均已受到不同程度的污染,洛河水质已达 V 类;由于城市工业废水及生活废水的随意排放,第四系孔隙地下水遭受严重污染。20 世纪 70 年代以来第四系孔隙地下水常量组分 TDS、硬度、 NO_3^- 等含量逐年升高,地下水总硬度年均上升 7.3 mg/L (以 CaCO_3 计),局部地下水总硬度、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、六价铬、氰化物等超过现行生活饮用水标准。

洛阳盆地水环境的恶化主要是由水资源利用不合理、水资源管理不力、地下水资源量不清等因素所导致的。地下水系统已不能实现水资源可持续利用,为了保护地下水资源,实现经济、社会的持续发展,以上这些问题都是亟待解决的水环境问题。本书是依托洛阳市偃师纸庄水源地供水水文地质勘探、洛阳市地下水资源保护研究、洛阳市地下水人工回灌机制研究等项目支撑完成的,其中洛阳市偃师纸庄水源地供水水文地质勘探项目曾获建设部 2002 年度优秀工程勘察设计二等奖,洛阳市地下水资源保护研究项目曾获河南省国土资源科技成果一等奖;主要研究了盆地区 40 年来地下水环境演化规律,揭示了地下水环境演化与人类活动、水文地质条件等因素的相互关系;运用数学模型对研究区的浅层孔隙地下水系统进行仿真刻画,结合研究区的社会经济发展,优化已有水源地开采方案,对人工调蓄工程运行模式进行研究,综合考虑地表水资源条件,采用地下水数值模拟模型对盆地的地下水资源开采方案进行优化,保证水资源可持续利用,从而为合理开发利用洛阳盆地水资源、保护洛阳盆地生态环境提供科学依据。

在研究过程中,得到了水利部水资源管理中心、河南省水利厅、洛阳市水务局、洛阳市自来水公司、洛阳市环境保护局、洛阳市节约用水办公室、偃师市水利局、偃师市自来水公司、偃师市节水办公室等单位的大力支持,同时研究过程中也引用了大量同行在此方面的研究成果和资料,在此表示衷心的感谢!

本书可供水文水资源、地下水科学与工程等专业技术人员及高等院校相关专业的师生参考。

作 者
2014 年 2 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 目的、任务和位置交通	(1)
1.2 城市供水现状及发展规划	(2)
1.3 水文地质研究程度及水利化现状	(3)
1.4 勘察工作技术路线及工作方法	(4)
1.5 地表水-地下水相互转换及其联合调度的研究进展	(7)
1.6 水资源可持续利用的研究进展	(13)
1.7 水资源优化配置的研究进展	(14)
第2章 地下水形成的自然条件	(20)
2.1 气象水文	(20)
2.2 洛河河床特征及冲淤特点	(21)
2.3 地形地貌条件	(22)
2.4 地层与主要地质构造	(23)
第3章 区域水文地质条件	(29)
3.1 地下水的赋存条件与主要含水层的分布规律	(30)
3.2 地下水的补给、径流和排泄条件	(32)
3.3 地下水的动态特征	(34)
3.4 地下水的化学特征	(36)
3.5 已建水源地分布及开发动态概述	(38)
3.6 洛河水与岸边地带地下水的关系	(39)
3.7 盆地区地下水同位素特征	(41)
第4章 水文地质勘查技术方法	(47)
4.1 勘查区含水层组的空间分布与富水性	(47)
4.2 浅层地下水的补给、径流、排泄条件及动态特征	(48)
4.3 中深层地下水补给、径流、排泄条件及动态特征	(52)
4.4 干扰抽水试验概述	(53)
4.5 群孔抽水试验资料分析	(54)
第5章 地下水资源量计算和评价	(61)
5.1 计算参数的确定	(61)
5.2 用有限单元法评价浅层地下水资源量	(66)
5.3 水量均衡法计算浅层地下水允许开采量	(91)
5.4 浅层地下水允许开采量保证程度评价	(106)

5.5	中深层地下水资源评价	(107)
第6章	区域地下水化学场演化特征	(110)
6.1	浅层孔隙地下水化学特征	(110)
6.2	浅层孔隙地下水化学场时空变化特征	(112)
6.3	地下水化学环境演化原因分析	(116)
6.4	地下水水质演化预测	(138)
第7章	勘查区地下水环境质量评价	(147)
7.1	地面水环境质量评价	(147)
7.2	浅层地下水化学特征	(151)
7.3	浅层地下水水质评价	(153)
7.4	中深层地下水化学特征	(156)
7.5	地下水水质演变特征	(158)
7.6	地下水环境质量评价	(160)
第8章	勘查区地下水开采技术条件与环境保护	(162)
8.1	水源地开采方案的确定	(162)
8.2	水源地开采与农业用水的关系	(164)
8.3	地下水资源保护	(164)
第9章	结论和建议	(166)
9.1	区域地下水环境演化结论	(166)
9.2	勘查结论	(167)
9.3	建 议	(168)
参考文献		(169)

第1章 绪论

河南省偃师市第二水厂纸庄水源地位于洛阳盆地东部北岸一级阶地,是傍河型大型水源地。随着偃师市国民经济的飞速发展和城市规模的不断扩大,地下水开采量亦逐年加大,在规划区内洛河傍河地段建立新的水源地对缓解偃师市供水紧张状况,合理开发利用地下水资源,提高水资源利用的社会、经济和环境效益,保证城市供水安全有极其重要的现实意义和长远意义。

1.1 目的、任务和位置交通

1.1.1 目的、任务

偃师市是洛阳市的重要卫星城市。随着经济体制改革的不断深化、国民经济的飞速发展、城市规模的不断扩大,用水量与日俱增。目前,地区地下水日开采量 3.5 万 m^3 ,其中自备井日开采量约 2.5 万 m^3 。存在的问题是:市区超量开采地下水,现状条件下城区已形成地下水开采降落漏斗,漏斗中心水位标高 93.65 m ,漏斗面积已达 25.6 km^2 。从多年动态资料看,降落漏斗有逐年增大的趋势(1989年漏斗中心水位标高 96.0 m ,漏斗面积 1.9 km^2)。因此,寻找和开发具有调蓄能力、经济效益和社会效益较佳的新水源地,提高城市供水安全保证程度,是偃师市亟待解决的问题。

为改变偃师市供水紧张状况,偃师市自来水公司在洛河北岸杜楼村至南蔡庄村以南地带投资兴建了偃师市第二供水水源地,日开采量 5 万 m^3 (省计委设计计[1996]1033号文批准)。

本次勘察工作以评价 100 m 以上浅层地下水资源为主,并对 $100 \sim 350 \text{ m}$ 的中深层地下水进行初步评价,为建立日开采量 5 万 m^3 水源地编制技术设计提供依据。主要任务是在 100 km^2 范围以内:

(1)进一步查明区内水文地质条件。查明区内浅层(100 m 以上)含水层组的分布埋藏条件、岩性岩相组合特征、富水性及其地下水补给、径流、排泄条件;

(2)建立并初步论证地下水渗流模型,计算和评价区内地下水的可开采量,为水厂建设提供施工设计依据;

(3)通过钻探、试验等手段,对地下水开采技术条件、长期开采的保证程度作出可靠评价;

(4)预测开采期内地下水资源变化趋势,开采后对邻近水源地的影响(主要是第一水厂水源地及首阳山电厂水源地),以及对区内工农业用水开采条件的影响作出初步论证。

1.1.2 位置交通

偃师市第二水厂纸庄水源地位于偃师市洛河北岸杜楼村至南蔡庄村以南地带,勘探区南部以洛河为界,东起偃师老城村,西至 207 国道,北部边界确定在邙岭脚下(以首阳山断裂为界)。地理坐标为东经 $112^{\circ}41' \sim 112^{\circ}46'$,北纬 $34^{\circ}42' \sim 34^{\circ}43'$,面积约 16.9 km^2 。测绘范围为东经 $112^{\circ}34' \sim 112^{\circ}50'$,北纬 $34^{\circ}40' \sim 34^{\circ}45'$,面积 198 km^2 。

勘探区西距洛阳市 25 km,区内交通便利,陇海铁路、310 国家级公路、开洛高速公路在区北侧通过,207 国道在西部与 310 国道垂直相交,交通十分便利(见图 1-1)。

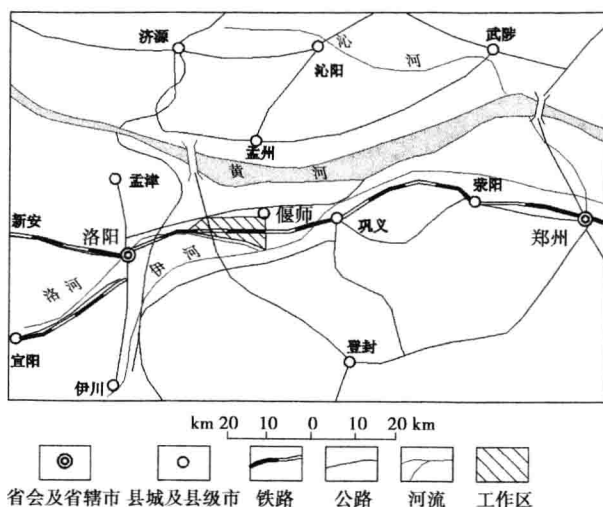


图 1-1 交通位置图

1.2 城市供水现状及发展规划

1.2.1 城市供水现状

1994 年,经国务院批准,偃师撤县设市,城区总面积 47.2 km^2 。目前,市区供水水源以地下水源为主,市第一水厂水源地位有供水井 6 眼,供水能力约 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。此外,各厂矿企业多为自备井供水,供水量约为 $2.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ (其中化肥厂 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$),市区总供水量 $3.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。

1.2.2 城市供水规划

1995 年 7 月,偃师市人民政府在偃师县城总体规划(1981 ~ 2000 年)和偃师县城总体规划调整规划(1986 ~ 2000 年)的基础上,完成了新的总体规划(1994 ~ 2010 年)。

根据新的总体规划,城区近期总用水量为 $11.6997 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,远期需水量将达 $16.6107 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。可见,近期缺口为 $8.1997 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,远期缺口为 $13.1107 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,届时供需矛

盾将更加突出,城区地下水可开采资源的数量及其能否满足日益增长的需求、开采过程中出现的环境地质问题及其应采取的对策等,都是亟待解决的问题。

1.3 水文地质研究程度及水利化现状

1.3.1 水文地质研究程度

研究区水文地质研究程度较高,自20世纪60年代以来,先后在市内作过不同比例尺的地质、水文地质工作,积累的丰富的地质、水文地质资料主要有:

- (1)1961年豫01队提交了《1:5万水文地质测绘报告》;
- (2)1975年河南省地质局水文地质队编有1:5万《河南省偃师县农田供水水文地质勘察报告》;
- (3)1985年河南省地矿厅水文地质二队提交了1:20万《洛阳临汝幅综合水文地质普查报告》;
- (4)1986年河南省煤田地质二队提交了1:5万《偃龙煤田水文地质汇编》;
- (5)1980年电力工业部西南电力设计院提交了《洛阳市首阳山电厂一期水源地水文地质勘测报告》;
- (6)1989年河南省工程水文地质勘察院提交了《偃师县供排水公司水源地钻孔施工及水量评价简报》;
- (7)1990年中国地质大学(北京)编有《洛阳市偃师县城关供水水文地质调查报告》;
- (8)1996年河南省地矿厅第二水文地质工程地质队提交了1:5万《偃师市水资源开发利用规划报告》;
- (9)1998年河南省郑州市地质工程勘察院提交了《偃师市城区地下水资源评价报告》;
- (10)1998年河南电力设计院提交了《首阳山电厂扩建 2×400 MW工程水源地勘探报告》。

除以上成果外,近几年来,各用水单位施工了不少的供水井,都给本次工作积累了宝贵的水文地质资料。

1.3.2 水利化现状

勘探区内偃师市城关镇、首阳山镇等2个行政镇的农业用水情况,因水利设施条件、自然条件等的差异,其用水量不尽相同。城关镇农业用水均采用地下水源,主要为井灌,水井设施配套齐全,农灌效益最好。首阳山镇农业用水是引用中州渠污水或抽取地下水。中州渠位于洛河北岸,1959年兴建引洛河水,渠首在洛阳市区涧河口上游,经洛阳市区、郊区、孟津县平乐镇后,进入偃师市,途经首阳山镇、山化乡,东延穿过本区,全长50 km。引水能力可达 $6 \text{ m}^3/\text{s}$,总设计灌溉面积7万亩($1 \text{ 亩} = 1/15 \text{ hm}^2$,下同)。目前,偃师市仅首阳山镇可受益,年引水量约100万 m^3 ,灌溉面积5220亩。中州渠现基本上成为洛阳市的排污渠,中州渠1997年引水量变化曲线见图1-2。

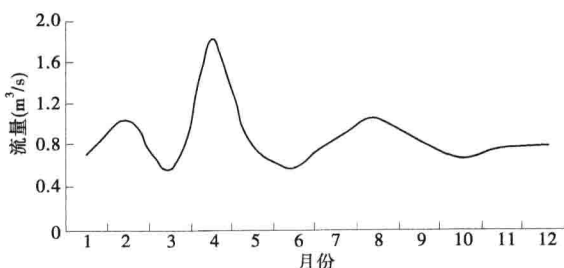


图 1-2 中州渠 1997 年引水量变化曲线

1.4 勘察工作技术路线及工作方法

1.4.1 勘察工作简述

1.4.1.1 水源地勘探类型的确定

偃师市第二水厂纸庄水源地的主要含水层是埋藏在 100 m 以上的浅层孔隙含水层。水源地分布在具有常水头河流(洛河)傍河冲积平原区,故该水源地属孔隙水类傍河型水源地。

第二水厂纸庄水源地浅层含水层组埋藏浅,具二元结构,岩性、厚度比较稳定,补给条件好,以洛河水入渗为主,水质类型简单,主要为 HCO_3^- 型水,故该水源地勘察难易程度属孔隙水类简单型。

1.4.1.2 工作部署原则及重点查明的水文地质问题

为了加快水源地开发建设进度,提高经济效益,本次勘探采用“探采结合,以探促采”的方法,在充分收集前人工作成果的基础上,结合本区水文地质条件,按工作需要布置水文地质测绘、物探、钻探、试验、地下水动态长期观测、井孔高程坐标测量及综合研究工作。

重点查明的水文地质问题有以下几种:

- (1)水源地各含水层分布、埋藏条件及水平、垂向渗透能力;
- (2)河流补给地下水途径、补给带宽度、河床及岸边地层结构;
- (3)洛河水文地质特征及上游水利工程对洛河的影响,洛河不同时期对地下水的补给能力;
- (4)水源地运行期间可能产生的环境水文地质问题。

1.4.1.3 水源地勘探范围的确定

根据水源地所在的水文地质单元,按照地下水系统进行地下水资源评价的原则,勘探区南部以洛河为界,测绘范围南部考虑到首阳山电厂水源地,开采扩大至伊河南岸一级阶地后缘;东部考虑开采后与第一水厂水源地的干扰,测绘范围东至市区东侧老城附近;考虑到西部第三水源地(城市建设规划),西部边界划定在南蔡庄附近,测绘范围扩大至偃师市边界附近,按照地下水资源计算的原则,北部边界确定在邙岭脚下(以首阳山断裂为界)。

1.4.1.4 完成的主要工作量

勘探区以往地质、水文地质研究程度较高,积累了大量资料。本次工作在研究以往资

料的基础上,布设了水文地质测绘、水文地质物探、水文地质钻探、水文地质试验,地下水动态观测、水质化验等工作。完成的主要工作量见表 1-1。

表 1-1 完成主要工作量一览

收集资料	偃师市土地利用调查与研究		水文地质调查	补充测绘面积(km ²)		198
	偃师市土地利用总体规划			水位统调(点/次)		223/2
	偃师市统计年鉴(1997)			开采现状调查(km ²)		198
	1985~1998年气象水文资料			渗水试验(组)		10
	中州渠灌资料			长观	本次(点/月)	28/18
	洛阳市首阳山电厂一、二期水源地勘察报告				收集(点/月)	25/24
	洛阳市偃师县城关供水水文地质调查报告			地表测流(断面/次)		8/2
	偃师县农田供水水文地质勘察报告			洛阳铲孔(个)		32
	偃师市水资源开发利用规划报告		水文地质物探	剖面	本次(条)	6
	偃师市城区地下水资源评价报告				收集(条)	1
	1:20万洛阳临汝幅综合水文地质普查报告			对称四级测深点(个)		
	洛河水质监测资料(1998年)			水文测井(m/眼)		1300/9
抽水试验	简易抽水(组)	16	测量	坐标点(个)		26
	单孔抽水(组)	4		高程点(个)		26
	多孔抽水(组)	6	水文地质钻探	勘探孔	本次(m/个)	362/1
	两孔干扰抽水(组)	1			收集(m/个)	198715/114
	大型群孔抽水(五孔)	1		探采结合孔(m/个)		938/8
	收集(组)	20	水质分析	污染分析(个)		25
水质分析	简分析(个)	12		细菌分析(个)		46
	全分析(个)	8		收集(个)		46

1.4.2 勘察技术路线与工作方法

偃师市第二水厂纸庄水源地供水水文地质勘察工作组于1998年5月编写了《勘探设计》,1998年6月开展野外工作,1999年6月底野外工作结束,转入室内资料整理。

1.4.2.1 水文地质测绘

本次测绘采用编测结合的方法,合理布置观测点线,着重查明河床、漫滩、洛河冲积平原的分布及各种沉积物的叠置关系,河流水文特征及河水不同时期与地下水的补给关系。

测绘采用新编1:1万地形图作野外底图,测绘面积198 km²,水文地质统调两次共223点,洛阳铲孔382个、5个剖面,流速仪地表水测流(包括污水渠)8个断面,丰水期、枯水期各一次。在不同的地貌单元进行了双环渗水试验10组,机民井简易抽水16组,抽水稳定时间2~4 h。同时进行了工农业开采现状调查,其中市区逐井调查工作,各项工作均满

足勘探设计和规范要求。

为了查明伊河、洛河现状条件下与地下水之间的关系,进行了历时 2 个月的水位、流量观测,观测断面 4 个。

1.4.2.2 水文地质钻探

根据“探采结合,以探促采”的原则,大型抽水试验等主要钻探工程布置在未来的傍河开采地段,按开采初步设计方案确定布孔间距,布设井位,并按开采井技术要求成井。大型抽水试验观测孔尽可能利用资料齐全的机民井,分别布成平行河边线和垂直洛河两个方向的“十”字形剖面,在没有机民井的位置施工观测孔。

勘探深度根据现有资料,浅层含水层钻探揭露深度定为 100 m 左右,中深层含水层定为 350 m。为了取得较大的单井出水量,本次勘探采用了在井内安装桥式滤水管的成井新工艺,取得了良好的效果。本次勘察施工各类钻孔 9 个,总进尺 1 300 m,其中浅层孔 7 个、中深孔 1 个、地质孔 1 个,探采结合孔 8 个,进尺 938 m,占钻探工作量的 78.2%,不同钻孔的各项技术指标均达到规范要求。经甲、乙双方现场共同验收优质孔率在 100%。

1.4.2.3 抽水试验

本次勘探抽水试验共进行了 12 组。其中,单孔稳定流抽水 4 组,稳定时间大于 8 h;多孔非稳定流抽水 6 组,稳定时间大于 48 h;两孔干扰抽水 1 组,抽水历时 96 h;大型群孔抽水试验 1 组,抽水历时半个月。各种抽水试验结束后均进行恢复水位观测,抽水试验工作均按设计和规范要求进行,质量可靠。此外,还收集了 20 组抽水试验成果资料,包括首阳山电厂水源地大型开采抽水试验成果。

1.4.2.4 地下水动态监测

为了查明区内地下水动态变化规律,确定地下水动态类型、洛河水与地下水的水力联系,计算水文地质参数,进行地下水动态趋势预报等,建立了地下水动态观测网,开展了地下水长期监测工作,同时对洛河水也进行了同步观测,共布设长期观测点 28 个;地表水观测点 2 个;收集地下水观测点资料 7 个,地表水观测点资料 1 个,观测频率为 10 日一次;长期观测时间为 1 年零 6 个月;中深层水观测点 1 个,观测历时半年。观测项目按现行规范进行。

1.4.2.5 水质分析

水质分析工作主要由郑州地质工程勘察院实验室承担,外检分析由洛阳市自来水公司水质测试中心承担,此外还收集了偃师市卫生防疫站、洛阳市环境保护局等部门的水质监测资料。各项工作均符合工作纲要和水质分析流程要求。

1.4.2.6 地球物理勘探

水文地质物探工作采用对称四极电测深、激发极化测深等方法进行,测井工作选择了视电阻率梯度、视电阻率电位、天然 γ 、自然电位四条曲线三种参数测量。野外工作严格按《城市勘察物探规范》(CJJ 7—85)进行,对部分异常点均进行了野外复测,在全区均匀布置了检查点,占总测点数的 10%,其精度大于规范规定的 5%,全区相对均方差为 0.63%~1.06%。测井资料采用单井重复测量 20%,结果表明,误差极小,资料可靠,精度较高。

1.4.2.7 坐标高程测量

对本次施工的探采结合孔、长期观测孔、抽水观测孔、地表水监测点等进行了坐标、高程测量,技术要求按现行《城市测量规范》(CJJT 8—2011)和《工程测量规范》(GB 50026—2007)要求执行,质量可靠。

本次工作对区内已有钻孔进行充分收集,共收集钻孔资料114个,总进尺198 715 m,其中近两年施工钻孔16个,进尺3 270.25 m;基本上查明了含水层的分布、地层结构、边界条件。在工作过程中,对所取得资料采用边工作、边整理、边总结的原则,取全取准野外第一手资料,并且把综合研究工作贯穿于勘察工作的始终,避免了综合研究与野外工作脱节的现象,缩短了报告编写周期,保证了报告编写质量。

该研究的创新点有以下几点:

(1)首次研究了水源地所在的盆地区地下水水化学环境演化特征;

(2)综合多种水文地质手段,解释了水源地的边界条件及水文地质问题,提出了适合傍河水源地水文地质勘查的技术方法;

(3)在地下水资源评价方面,采用了从区域到局部(勘查区)、区域(大)模型嵌套局部(小)模型的数值模拟方法,计算了水源地地下水可开采量。

1.5 地表水—地下水相互转换及其联合调度的研究进展

地表水—地下水之间的相互转换是水循环的主要组成部分之一,是水资源评价的主要工作之一。地表水与地下水之间的转换主要包括河流与地下水之间的相互转换以及灌溉水—土壤水—地下水之间的相互转换,尤其是在干旱内陆盆地,由于农业离不开灌溉,灌溉回渗补给是地下水的主要补给来源之一。水资源是一种基础的自然资源,是社会经济发展的基础,要实现社会经济的可持续发展,必须将地表水和地下水联合调度,优化配置水资源,从而实现水资源的可持续利用。本书根据研究课题的需要,对河流—地下水交互作用、灌溉水—土壤水—地下水之间的相互转换和水资源优化配置方面的研究进展进行了评述。

1.5.1 河流—地下水交互作用的研究进展

河流(包括渠系)与地下水通常有着密切的水力联系,河水往往是地下水的主要补给来源或排泄去处。傍河水井开采往往能够获得河流补给的增量或排泄量的减少量,容易形成稳定井流,增大允许开采量。此外,河流的存在还对矿坑突水、基坑降水等存在重要的影响。因此,正确的刻画和处理河流与地下水的补排关系及其交换量对水资源的正确评价具有重要的意义。

河流与地下水交互作用的研究主要有以下几个方面:

(1)傍河水井开采或矿坑降水量的确定;

(2)河流与地下水的污染物交换;

(3)计算灌渠入渗;

(4)计算地下水对河流的补给量(即基流量);

(5) 河流对地下水的补给量。

1.5.1.1 河流 - 地下水系统的类型划分

从地下水动力学的角度出发,根据河流切割含水层的情况,可以将河流分为完整河和非完整河(陈崇希,1999),前者是指河流完全切穿含水层,地表水和地下水沟通,二者进行水量交换不受任何阻力;后者是指河流与含水层有一定的水力联系,河流未切穿含水层,地表水与地下水水力交换受到渗透阻力,倘若河流是多泥沙河流,河床底部沉积一薄层淤泥,水量交换阻力更大(蒋业放,1994)。含水层有承压含水层和潜水含水层,由于河流大多直接与潜水含水层相联系,因此此处仅以潜水含水层为例对河流 - 地下水系统进行类型划分。结合河流与地下水位的关系,河流 - 地下水系统可以分为如图 1-3 所示的 5 种情况。其中(a)、(b)为完整河,前者为河流排泄地下水,后者为河流补给地下水,河流与含水层之间为饱和流;(c)、(d)、(e)为非完整河,(c)为河流排泄地下水,(d)为河流补给地下水,河流与含水层之间为饱和流,(e)为河流补给地下水,地下水位低于河床底部,二者之间为非饱和流,随着地下水位的下降,河流对地下水的补给量不再随深度而变化,因此(e)类又可以分为河流补给地下水量随深度变化和不随深度变化两种类型。由于河水与地下水直接联系,因此前 4 种类型可以称为水力连续型河流,而(e)类河流与地下水没有直接接触,可以称为非连续型河流。

1.5.1.2 河流补给地下水量的计算

目前,常见的确定河(渠)渗漏补给量的方法有水文学法、地下水动力学法和同位素示踪法以及数值模拟法等。

1. 水文学法

水文学法是通过测定河流某段上、下游断面的流量过程来建立该河段上的渗漏量与河床岩性、河流流量以及河水位与地下水位之差等参数之间的关系。此法不仅花费大,工作量大,而且得到的公式都是经验性的。

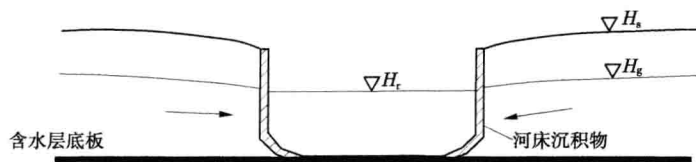
2. 测量法

近年来,研究地下水、地表水相互作用的方法有很多,Silliman 等(1995)通过测量水体和河床沉积物的温度序列确定通过河床沉积物的流量;Cey 等(1998)讨论了大尺度测量地下水补给河流相对于点测量的优点,结合同位素方法和地球物理技术估算水体之间的交互作用;Lyons 等(1995)利用铈同位素研究一干盐湖泉域的地下水混合及盐水圈划;Criss 等(1996)利用氢氧同位素和地球物理分析方法确定了地下水的补给源,并计算了地下水的运移速率;Yehdegho 等(1997)利用同位素平衡方法研究了疏浚湖与邻近地下水流场的相互作用;Cook 等(2003)利用氦同位素研究了澳大利亚北部地下水向某热带河流的排泄量;Beyerle 等(1999)利用 $^3\text{H}/^3\text{He}$ 、惰性气体和 CFCs 研究了河流向浅部含水层的入渗规律。

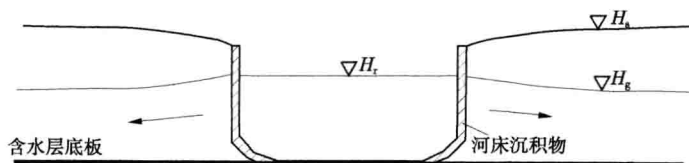
3. 地下水动力学法

地下水动力学法是根据地下水动力学理论来计算河流的渗流量的,目前常用的是基于裘布依(Dupuit)假定的布西涅斯克(Boussinesq)微分方程来求解:

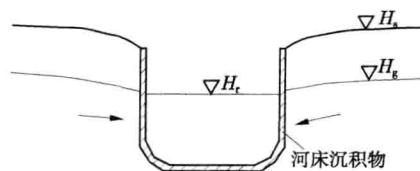
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + W = \mu_d \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1-1)$$



(a) 河流排泄地下水(完整河)

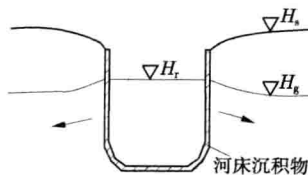


(b) 河流补给地下水(完整河)



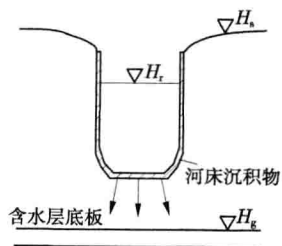
含水层底板

(c) 河流排泄地下水(非完整河)



含水层底板

(d) 河流补给地下水(非完整河、饱和流)



(e) 河流补给地下水(非完整河、非饱和流)

图 1-3 河流 - 地下水关系图

在地下水动力学中通常对式(1-1)进行线性化,然后分离变量进行求解(陈崇希,地下水动力学)。苏联学者柯琴娜、威立根、阿威梁诺夫,德国学者傅希海门以及我国学者张蔚榛、李文渊等,先后基于裘布依假设的布西涅斯克方程,讨论了河渠水位突然上升、均匀上升、按正弦变化、按折线变化以及呈阶梯状变化时,一维及二维非稳定顶托渗漏量计算问题。苏联学者柯琴娜和阿威梁诺夫曾用保角变换方法,分别推出了自由渗漏情况下梯形断面河渠的渗漏公式和稳定顶托渗漏情况下的宽浅型河流的渗漏公式。近年来,随着新的数学方法及计算工具的发展,许多学者利用新的理论对布西涅斯克方程进行求解,如 Workman 等(1997)利用解析半群(Analytic Semigroups)的理论对线性布西涅斯克方程进行求解。在河流水位波动不大的情况下,线性布西涅斯克方程的解与地下水位观测值比较符合。但是,当河水位变化很大时,河流附近含水层的导水系数是水头的函数,布西涅斯克线性方程的解就不能符合实际了,而应该用非线性方程。Serrano 等(1998)利用 Adomian 等于 1994 年提出的分离变量的改进方法对非线性布西涅斯克方程进行了求解,计算结果则比较准确。P. G. Grebenyukov (2001)对影响地表水和潜水含水层之间水力联系的因素进行了野外试验研究,指出在河水位变动的情况下,河水与地下水之间的相互作用不能简单地用线性地下水运动方程和含水层介质的弹性储存量来反映,在考虑静水压力和地下水流水平及垂向分量的基础上,给出了河水波动情况下的静水压力的垂向和水平向传导速率公式及地下水水位计算公式,并获得了比较好的效果。

4. 数值模拟法

地表水与地下水转化量的模拟预测一直是区域水资源评价和管理中的一个棘手问题,尤其是在有人工补给和开采影响的条件下,河流-地下水系统中的地表水与地下水转化量计算精度直接影响区域水资源评价的准确性。对于完整河,数值模拟比较简单,可以作为已知水头边界进行刻画。但是,对于非完整河,河流与地下水相互转化的机制比较复杂,转换量的大小,除与河床岩性结构有关外,还与二者的水位差有关,不能直接概化为已知水头边界。

在傍河地区建立地下水资源评价和管理的数学模型,对非完整河的处理一直引起众多专家的关注。J. Bear (1979)在讨论傍河地区地下水数学模型时,把非完整河当作三类边界,该方法不能反映河流补给地下水由压力式向淋滤式转变的全过程,特别是当河流径流量与水位受地下水开采影响较大时,该法不适用。Morel - Seytoux 等早在 20 世纪 70 年代就开始了河流-含水层系统的研究,其做法是用系统分析的方法分别建立河流子系统和含水层子系统的状态方程,然后将二者耦合构造河流-含水层离散核函数模型,但是该模型无法反映地表水与地下水之间不存在连续浸润面时淋滤补给情形,而且不适用于自然界广泛存在的河床底部有淤泥层的多沙河流。张福生(1991)在分析非完整河地表水与地下水相互作用机理的前提下,提出了非完整河地表水与地下水转换近似计算式。赵耀东(1991)在室内做了傍河水源地诱发补给试验,证明在河水位固定的情况下,地下水开采量增加,不管是粗砂含水层还是中砂含水层,均可出现淋滤补给现象,并且给出了河流补给地下水由压力式向淋滤式转变的判别式。

目前,常见对河流-地下水系统模拟的研究主要有以下几种:

蒋业放等(1999)运用动态水量交换机制,将河水模型和二维地下水模型进行耦合,