维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1001-1986(2006)04-0041-04

地下水人工补给研究现状与前瞻

张学真
(长安大学环境科学与工程学院,陕西 西安 710054)

摘要:关于地下水人工补给的研究现状,本文从理论研究、方法技术及工程应用等方面进行了全面的归纳和总结;比较了国内外研究工作的新进展。通过分析表明,地下水人工补给在理论及其定量计算方法上的缺陷制约了其工程应用。结合当前研究的新进展,指出了地下水人工补给研究和工程应用领域存在的其他重要问题,从理论和实践两方面提出了地下水人工补给今后需要进一步加强研究的方向和任务。

关 键 词:地下水人工补给;研究现状;前瞻
中图分类号:P641.25 **文献标识码**:A

Research situation and prospect of artificial supplement to groundwater

ZHANG Xue-zhen
(*Faculty of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: This paper discussed the current research situation of artificial supplement to groundwater, including the theory methods, test and engineering appliance. The study result indicated that the groundwater artificial replenishment is facing serious obstructs in theroy calculating and technical engineering application. Combined with the new research progress, the paper pointed out the problems existed in groundwater artificial replenishment studies and the engineering application, and suggested the direction and tasks of futher research work.

Key words: artificial supplement to groundwater; research situation; prospect

1 引言

地下水是一种宝贵的自然资源,是人类赖以生存和社会发展的重要物质基础。许多地区过量开采地下水,造成地下水位急剧下降、水资源逐渐枯竭、地面沉降等一系列水资源与环境问题。地下水人工补给(又称地下水回灌)的实质就是借助某些工程措施,人为地将地表水注入地下含水层中,以增加地下

收稿日期:2005-09-15
基金项目:西安市科委重点项目"西安市地下水人工补给回灌试验与研究"(项目编号 SF200240)资助
作者简介:张学真(1967—),男,陕西眉县人,长安大学讲师,博士,主要从事水文与水资源的教学与研究工作.

b. 裂隙溶蚀作用加速了岩石风化作用,不断向坡体内部岩体渗入风化,岩石结构变得疏松,强度逐渐降低。这类风化作用是受岩体结构面的控制,岩体被结构面切割成不规则块体,风化由外及里进行,影响深度较大。

c. T_2b^3 泥质灰岩的溶蚀过程最为复杂,溶蚀后岩层破碎、松散、变薄,不仅有大、中、小型滑坡发育,而且层间错动普遍存在,导致泥质灰岩产生密集劈理。在奉节三马山小区所见该套地层已全部发生滑动。层间泥化现象普遍,在裂隙面和层面切割成的块体内常见到核部为深灰色,周边为灰绿色的溶蚀现象。局部还发育有小型岩溶塌陷堆积体。

参考文献

[1] 张加桂. 三峡地区泥灰质岩石在岩溶和风化过程中力学性质的变化[J].岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1073-1077.
[2] 张年学, 盛祝平, 孙广忠, 等. 长江三峡工程库区顺倾岸坡研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
[3] 常中华, 伍法权, 刘海燕, 等. 三峡库区奉节新县城库岸边坡类型及其岩体结构特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(17): 3057-3063.
[4] 唐辉明, 邓清禄. 三峡库区巴东组斜坡变形特性及机理研究[R]. 武汉:中国地质大学,2005.
[5] 罗元华, 伍法权, 常中华. 三峡库区奉节县新城区 T_2b^3 泥质灰岩斜坡变形破坏模式的现象学研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(12): 2029-2034.

维普资讯 http://www.cqvip.com

水的补给量,调节和控制地下水位。在城镇供水、农田灌溉、盐碱化土壤改良、污染控制、环境保护以及石油开发等领域内,地下水人工补给都有广泛的应用。世界上许多国家先后进行了地下水人工补给的试验研究,并取得了许多研究成果。

2 地下水人工补给研究现状

地下水人工补给具有悠久的历史。特别是 20 世纪以来,随着生产力的迅速发展和环境污染问题的日趋严重,地下水人工补给在理论和方法上均有所突破,应用范围更加广泛。许多国家地下水人工补给已经跨出试验阶段,成为调节和控制地下水的主要方法。地下水人工补给理论与方法随着地下水科学的发展而发展。从基本理论到模型模拟研究,从定性研究到定量研究,再到成果展示的数字化,地下水人工补给研究不断取得新进展。野外探测和室内测试技术的提高,现代科学新理论与水文地质学的结合以及新技术、新方法在水文地质领域的应用,都极大地促进了地下水科学的发展,地下水人工补给研究与实践也迈上了新的台阶。

2.1 理论研究

传统的地下水科学对开采和补给地下水,虽在机理上有些不同,但对其在运用过程中的定量计算方面一般无严格区别。不过,也存在一些争议。鲍戈莫洛夫 Γ.B 等[1]总结了井孔、渗水区及线状地下水补给(取水)水源(渠道、排水沟、河流等)在不同条件下的运转特性的计算关系式,还可以用来设计取水(回灌)井孔、渗水区(取水区)及线状地下水取水(补水)的设计(或利用)。李佩成等[2]对回灌井的水量计算公式提出修正意见,并指出了回灌过程和抽水过程的本质区别。陈雨孙[3]提出:用传统的井流理论来计算人工补给中的井灌和坑灌两种情况下的水文地质参数。葛亮涛等[4]认为:多含水层混合井流理论适于具有垂向水流运动的井孔参数计算,其具有较广泛的适用范围。李云峰等[5]用非均质准三维流数学模型对引黄回灌试验进行了模型模拟研究,并用系统分析方法选择了人工回灌方案。为克服井点奇性给解算带来的困难,王文科[6]提出:把抽水量(或注水量)化为抽水井 4 个结点所控制面积上的抽水强度。张莲花[7]提出:回灌和抽水的机理是有区别的,井抽水过程会在井过滤器周围形成一个渗透性增高的地带,而回灌过程中的情况恰好相反。

由于问题本身的复杂性,渗流理论的研究大部分仅限于地下水开采的相关问题。到目前为止,实践中大多把地下水开采条件下的定量计算方法运用到人工补给过程的相关计算中。至于如何用于人工补给,至今尚未进行详细研究。

2.2 方法(式)技术应用研究

由于自然条件和人们认识上的差异,地下水人工补给的方式方法有所不同。美国地下水人工补给的水源通常采用洪水、地面斜坡径流、排水和剩余灌溉水。其补给方式为水池、活水犁沟、小渠道、高频灌溉和钻井等。所有渗入方法通常都对水进行澄清和处理。施鑫源等[8]将地下人工补给分为地面入渗补给、诱导补给和地下灌注补给。地面渗入补给可分为淹没或灌溉渗水补给、水盆地渗水补给、渠道渗水补给和河流渗水补给。地下灌注渗水补给又可分为无压、有压、加压和降温加压回灌。张莲花[7]将回灌方式大致分为两类:一是在工程设计阶段就考虑回灌方法,以控制由于降水造成的沉降,如在上海等城市的许多工程中,都有计划地设计了补给井;另一类是在施工过程中因降水引起环境问题时,为保护周围的已有建筑物而被动地采用回灌。从机理上讲,前者是一种防止措施,后者为治理措施。李云峰等[5]从实用观点出发,将地下水人工补给方法的类型分为 3 类,即面状人工补给、线状人工补给和点状人工补给。张焱等[9]将回灌方式主要分为:河道渗灌,坑塘、河渠拦蓄地上水补充地下水,地面淹没灌注,利用大口井、浅、深机井进行回灌,地下水库,大规模植树造林。不论如何进行方法的分类研究,常用方法的优点是相同的,即建造简单,造价低廉,效果显著,不受水源和水量限制。

最近几十 a 来,勘测、测试及计算机技术已广泛应用于地下水科学研究工作中,从而提高了科研效率和所获取资料的质量,地下水人工补给研究工作也获得了新的技术和手段[10]。例如,运用航空红外线成像和扫描技术对地下水补给编图进行研究,可以将地下水补给带和非补给带区别开来,并进一步能确定补给的水量(这种方法确定的补给带面积,误差在 ±0.9% 以内);根据地下水的同位素组分,结合水文地质条件和其他方法,可以确定地下水的径流补给和排泄关系等;利用中子水分计可以查明土壤中水的渗透状态;注入水中加入放射性同位素 I^{131},利用不同深度的闪烁计数器测定的计数率,可以确定渗透幅度,并计算沟渠每单位长度的渗透量;利用加玛射线谱探测,可以测出放射性的高异常带,即地下水赋存带。

2.3 地下水人工补给的试验研究现状

一般情况下,地下水人工补给的成功与否,取决于所补给的含水层是否具有足够的厚度和透水性,

维普资讯 http://www.cqvip.com

且含水层应当不含铁、锰、硫的化合物及腐植质。各国地下水人工补给的经验表明,人工补给基本上应用于河谷砂砾石层、洪积锥和海滨砂丘等地区。淤堵(塞或积)是当前地下水人工补给研究的热点问题。国内外对于淤堵问题都进行过一定程度的研究,主要内容包括淤层的形成过程、淤层对补给效率的影响及措施等。

前苏联 B.C 乌先科[11]在设计条件下提出沉淀悬浮物沉淀时间、渗透阻力和淤泥厚度存在以下关系:

a. 在沙层孔隙中沉淀悬浮物的过程时间:

$$T = \frac{G}{0.5(V_1 + V_2)M} \quad ;$$

b. 严重淤填沙层的渗透阻力:

$$\Phi = \frac{\delta}{K} \quad ;$$

c. 当供水量固定时,在池底形成淤泥薄膜厚度与时间的关系:

$$\delta = \frac{qMT}{r} \quad ,$$

式中 M 为水的浊度;G 为沙层污物容重;V_1、V_2 为时段始末的速度;δ 为严重淤填沙层厚度;K 为渗透系数;q 为单位入渗面积的给水量;r 为淤层薄膜骨架容重。

鲍戈莫洛夫 Γ.B 等[1]研究了渗水区垂直渗流条件下的渗流过程,导出了淤填层厚度计算公式:

$$h_t = h_0 + \frac{1}{r}\int_{t_0}^{t} q(t)\mathrm{d}t \quad ,$$

式中 h_t 表示随时间变化的沉淀物厚度;h_0 为初始时间的沉淀物厚度;r 为所有沉淀物骨架的容重;q 为进行储量补给的渗水强度。

另外,日本对回灌井的淤堵及其防治方法有较详细的研究,所涉及的范围是采用清水回灌方法(张文彦,1978);美国广泛采用薄层水淹没河床的补给方法;何岩[12]对回灌条件下地下水质模型的建立、弥散参数及模型的求解进行了研究;李云峰等[5]在引黄回灌研究中用浊度、粒级和水头做自变量,建立了多元回归方程。黄大英[13]通过试验,推导了定水头条件下人工引渗流量及淤层厚度的经验公式。地下水人工补给的水质要求,取决于当地地下水的用途、自然与卫生条件、回灌过程中含水层对水质的影响等。关于地下水人工补给用水的水质标准,国内外还未统一标准。

2.4 工程应用

正确设计人工补给方案,以取得最佳的经济效益和社会效益,是当前地下水人工补给中亟待解决的重要问题。倪红珍等[14]提出利用物元理论对地下水回灌工程方案进行综合经济评判,并为山东某一回灌工程提供了决策依据。在工程建设中,采用地下水回灌系统来消除基坑降水对周围环境的影响,已有不少成功的例子[15],但所采用的回灌系统设计方法多源于经验和摸索推测。俞建霖等[16]从流体力学的渗流基本方程出发,提出了一种回灌系统的设计方法及程序,并成功地应用于杭州市四保污水厂消化池基坑开挖的实践中,取得了很好的经济效益和社会效益。

地下水源热泵系统的运用,是地下水人工补给用于实践的另一项重要内容。地下水源热泵系统的热源是从水井或废弃的矿井中抽取的地下水,经过换热后排入地表水系统,或再回灌到原来的地下水层。近几年来,我国已经开始推广地源热泵技术,该技术研究是地热科学的前沿学科,属于高技术,是地热发展的未来。关于地下水人工补给的温度场的研究,目前尚不多见。在国外,由于对环保和使用地下水的规定以及立法越来越严格,地下水热泵的应用在一些地方受到限制。

雨水回灌是有效实施地下水人工补给的重要途径。目前,在国内外,利用雨水和处理后污水回灌地下的工程应用研究正在逐步开展[17]。

3 地下水人工补给研究存在的问题

地下水源的开发和利用不合理,将导致一系列生态环境问题,给人类生命和财产造成严重损害。尽管地下水人工补给在理论、方法技术、试验和工程应用研究等方面都进入了一个新的发展阶段,但和生产实践的需要相比,还存在一些问题。

a. 由于问题本身的复杂性,目前,国内外在地下水人工补给的理论研究上还没有实质性突破。广大科研人员的一些成果,理论性的少,经验性的多。尽管对地下水人工补给的机理认识基本清楚,但还没有一套公认的定量研究和计算方法。表现在工程应用中,基本上是凭经验实施地下水人工补给,无法预知补给效果。已有的文献中,也很少有对补给效果的理论评价。

b. 许多学者对地下水人工补给方法(方式)进行了系统的总结和创新性研究,但因专业知识的局限和地下水资源管理水平所限,对地下水人工补给方法(方式)的实用性、经济效益和管理办法缺乏深入系统研究,导致科研和生产在一定程度上脱离。地下水人工补给的大范围推广缺少推动力和吸引

维普资讯 http://www.cqvip.com

力,也对进一步深化机理研究极为不利。

c. 地下水人工补给的定量计算方法的完善,需要通过大量试验研究来支撑。因各种原因,大多数学者的研究内容仅局限在补给过程中的淤积(塞)试验、补给效率试验和岩土层的净水机理等方面,虽取得了一些认识,但实践中急需解决的一些针对理论研究的试验开展的很少。地下水人工补给试验实质进展缓慢,甚至停滞不前。

d. 最近几十 a,地下水科学研究领域广泛利用了先进的技术手段,也为地下水人工补给研究工作创造了提高科研效率和质量的条件。但是,地下水人工补给整体研究水平不高,研究涉及范围有限,实际工作中对新技术的采用不多,造成一些先进的技术手段不能在本领域转化为生产力。

4 地下水人工补给研究前瞻

随着应用数学和地下水动力学的相互渗透,现代科学技术,如系统论、系统工程和计算理论的引入,以及电算技术的广泛应用,使地下水人工补给整体研究水平必将跨上新的台阶。先进的测试技术和仪器设备,可为研究地下水人工补给提供更加精确的观测数据;研究手段从过去的单一化向着多样化、综合化的方向发展。地下水人工补给模拟软件得到进一步开发,操作更方便。地下水人工补给研究成果的展示方式也由过去的图示化发展到数字化,再发展到网络化,使研究成果很好地服务于社会。采用雨水、洪水和处理后污水等作为补给水源的研究刚刚起步,其经济和环境效益前景看好。大规模推广应用不同水源回补地下水,必须从工程技术、社会、经济和环境等多方面进行全面的分析与综合评价。地下水人工补给研究与应用领域比较广阔,内容丰富,服务的新领域越来越多。今后主要研究和应用方向可概括为以下几个方面:

a. 积极开发、合理使用在补给条件下地下水的动态观察仪器设备;

b. 进一步完善不同目的人工补给条件下的地下水勘察和评价方法研究;

c. 研究补给条件下地下水含水层的物理、化学净化机理和生物净化机理;

d. 研究使用雨水等人工补给对地下水环境修补、改善的方法技术;

e. 制定反映各类地区的地下水人工补给应用条件的大中比例尺编图的内容与方法;

f. 研究地下水人工补给的产业化模式。

参考文献

[1] 鲍戈莫洛夫 Γ.B,A.X 阿里特舒里. 人工补给地下水[M]. 赵抱力,穆仲义,吴金祥,译. 北京:水利出版社,1980.

[2] 西北农学院.在黄土地区利用辐射井的回灌试验[R].杨凌:西北农学院,1982.

[3] 陈雨孙.地下水运动与资源评价[M].中国建筑工业出版社,1986.

[4] 葛亮涛,顾谦隆,高洪烈.多含水层混合井流理论及流量测井法[M].北京:地质出版社,1984.

[5] 李云峰,郑书彦,田春声,等.引黄回灌研究[M].西安:陕西科技术出版社,1996.

[6] 王文科.地下水有限分析数值模拟的理论与方法[M].西安:陕西科技出版社,1996.

[7] 张莲花.基坑降水引起的沉降变形时空规律及降水控制研究[D].成都理工学院,2001.

[8] 供水水文地质手册(第三册):地下水资源评价[M].北京:地质出版社,1983.

[9] 张 焱,裴 青,孟令尧,等. 河北省地下水人工补给方式、成效及应用设想[J/OL]. 水信息网,2002-04-17.

[10] 张永波.水工环研究的现状与趋势[M].北京:地质出版社,2001.

[11] B.C 乌先科.生活饮用供水系统的地下水人工补给[M]//地下水人工补给译文集. 北京:地质出版社,1987.

[12] 何 岩.地下水质模型在人工回灌中的应用[J].水文地质工程地质,1988(4):33-35.

[13] 黄大英.淤堵对人工引渗效果影响的实验研究[D].西北农业大学,1990.

[14] 倪红珍,徐得潜,颜振元.地下水回灌工程设计方案评判[J].水利经济,2002(1):13-14.

[15] 马荣华.苏州伊莎中心大厦二级轻型井点回灌施工技术[J].施工技术,1997(1):3-4.

[16] 俞建霖,龚晓南.基坑工程地下水回灌系统的设计与应用技术研究[J].建筑结构学报,2001,22(5):11-13.

[17] 李怀正,白月华,邢绍文,等. 雨水回灌地下的必要性和可行性[J].中国给水排水,2002(4):13-14.