

# 深层地下水 SPD 人工补给系统

贺 屹, 彭翠华, 刘 燕

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 提出了一种新的深层地下水回灌方法——SPD 人工补给系统, 并通过室内沙槽模拟试验, 对该系统和常规的直接井回灌法作了比较。研究表明, 利用该系统补给深层地下水, 具有回灌水质要求低、补给速度快、补给量多、不易淤堵等特点, 是深层地下水人工补给的一条有效的新途径。

[关键词] 地下水人工补给; 深层地下水; SPD 人工补给系统; 回灌井

[中图分类号] P641.25 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0047-04

## SPD Artificial Recharge System of Deep Groundwater

HE Yi, PENG Cui hua, LIU Yan

(School of Environment Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** The method of recharge groundwater by deep well is used widely. Because the well is adapt to be clogged, this method usually has high requirement for water quality. This made the efficiency of the recharge be ing low, and corresponding cost increased greatly. A new method, SPD artificial recharge system, is put forward. Through simulation experiment in lab, the new method is compared with direct well recharge. Study showed that the new method is an effective way to recharge deep groundwater. It has the advantage of low requirement for water quality, high speed of recharging, larger amount of recharge and anti clogging etc.

**Key words:** artificial recharge of groundwater; deep groundwater; SPD artificial recharge system; recharging well

## 0 引言

地下水人工补给又被称作“地下水人工回灌”, 是运用三水转化思想而开展的水资源调蓄工程<sup>[1-2]</sup>。

开展地下水人工补给不仅可以有效地增加和恢复地下水资源, 而且具有防治地面沉降和地裂缝等地质灾害的作用。深层地下水的人工补给一般只能采用深井回灌法, 由于回灌井容易造成淤堵, 因而对回灌水的水质要求较高, 这就大大降低了补给效率且提高了补给成本。

## 1 补给深层地下水存在的问题

这里所说的深层地下水是指埋藏在浅层地下

水(潜水)不透水底板以下含水层中的地下水(图1)<sup>[3]</sup>。许多情况下, 深层地下水是承压的, 但因长期过量开采, 含水层由降压发展到部分或全部疏干, 进而诱发一系列水环境或地质灾害。例如, 西安市由于长期过量开采深层承压水, 导致地下水位大幅度下降, 承压水降落漏斗不断扩大和加深, 处于疏干状态, 从而引发水源趋枯、水质恶化、地面沉降、地裂缝加剧等一系列环境地质问题<sup>[3-4]</sup>。据调查<sup>[3-5]</sup>, 过量开采深层地下水形成的地面沉降地裂缝给西安市的国计民生带来严重损害, 使市区2000多座建筑物遭到不同程度的损害, 造成排水管道和煤气管道断裂, 引发水、火灾害, 井泵管冒顶, 直接经济损失2000多万元。因此, 补给深层地下水显得

[收稿日期] 2005 03 10

[基金项目] 陕西省水利厅项目(SF200240)

[作者简介] 贺屹(1977-), 男, 湖南邵阳人, 博士研究生, 从事水文水资源教学与研究。

日益重要和迫切。

由于深层地下水埋藏较深,上部受到隔水层或弱透水层的隔离,与外部的水力联系较差,因而,补给深层地下水只能采用回灌井注水法<sup>[6-11]</sup>,其中存在以下问题:

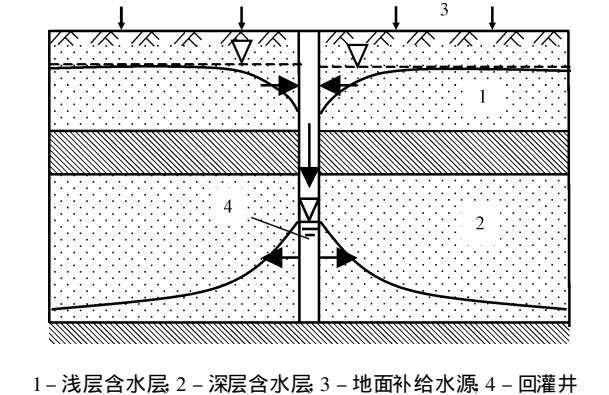
(1)回灌井容易产生淤堵<sup>[12-13]</sup>。在回灌过程中,由于各种物理、化学或生物方面的原因,回灌井内经常出现淤堵,降低了回灌效率。

(2)水质要求较高。与地表水相比,深层地下水一旦污染,存在着水质恢复费用昂贵、技术难度大、恢复周期漫长的突出特点,采用回灌井补给,补给水是直接注入到深层含水层中,因而,它要求补给水源要有较好的水质。

(3)要求廉价的水源。受地下水补给工程经济效益的限制,一般是利用地表水、大气降水等作为其廉价的补给水源,但为了符合回灌的水质要求,又必须建造净化装置,对这些水源经过预处理,提高了其成本,造成了“廉价”水源反而不廉价的矛盾。

## 2 SPD 人工补给系统的构想

SPD ( Suffer Water Phreatic Water Deep Ground Water) 补给系统就是在人工补给深层地下水的过程中,不是将回灌的地面水直接通过回灌井灌入到深部含水层中,而是首先利用地面水补给浅层含水层,再把经过潜水含水层净化过滤了的浅层地下水补入深部含水层的一种方法(图 1)。



1- 浅层含水层 2- 深层含水层 3- 地面补给水源 4- 回灌井

图 1 SPD 补给系统

Fig. 1 Sketch Map for SPD Recharge System

## 3 SPD 系统人工补给法和直接井回灌法室内比较试验

直接将补给水注入井孔,由井孔补给深层地下

水时,很容易造成回灌井的淤堵,大大降低补给效率。设想采用 SPD 补给系统进行回灌,使回灌水源通过浅层含水层过滤,再进入井孔补给深层含水层,以便解决淤堵这一技术难题。为验证这一点,在室内作了 SPD 补给系统法和直接井回灌的比较试验。

### 3.1 试验设计

试验是在半径 38 cm,高 50 cm 的半月槽中进行,试验砂料装填时首先装填 30 cm 高的砂料,模拟深层含水层;其上用不透水的塑料布覆盖,沿四周用万能胶及玻璃胶密封形成隔水层;再装填 20 cm 的砂料模拟浅层水,深层水和浅层水用一半径 8 mm 的模拟井连接。砂槽上部架设一模拟降雨槽,通过水管与水源连接,试验过程中,模拟天然降雨,均匀对浅层砂料进行补给。试验水源使用含沙量为 5% 的浑水,采用定水头注水,分别对 SPD 系统补给法和直接井灌法进行试验(表 1,表 2)。

表 1 SPD 补给系统法试验数据  
Tab. 1 Test Data for SPD Recharging System

<i>t</i> / min	1 号管水位 / cm	2 号管水位 / cm	3 号管水位 / cm	井水位 / cm	补给量 / ( mL · min <sup>-1</sup> )
1	2.0	2.0	3.9	4.4	1 200
2	3.6	4.3	5.5	6.8	1 105
3	4.9	6.1	7.8	8.7	1 005
5	7.4	8.6	9.9	11.2	970
7	11.4	12.3	13.6	14.8	830
9	14.2	15.1	16.7	17.3	820
11	15.5	16.5	17.9	18.4	775
15	19.9	20.7	21.2	22.2	725
18	23.7	24.5	24.7	25.8	715

表 2 直接井回灌法试验数据  
Tab. 2 Test Data for Direct EII Recharging

<i>t</i> / min	1 号管水位 / cm	2 号管水位 / cm	3 号管水位 / cm	井水位 / cm	补给量 / ( mL · min <sup>-1</sup> )
1	2.0	4.0	5.5	9.5	1 400
2	4.7	5.8	9.4	11.2	1 210
3	5.2	6.0	10.9	13.7	1 050
5	5.9	6.8	13.4	17.5	747
7	6.8	7.7	16.9	21.3	625
9	7.4	8.5	18.1	23.3	530
12	8.8	9.8	20.3	25.5	450
15	10.3	11.5	23.8	30.4	430
18	11.8	12.9	27.3	35.1	405
22	12.7	13.1	29.1	42.3	370

### 3.2 试验现象

直接井回灌法试验中,井水位在很短的时间内

突然升高, 而各测压管水位却上升缓慢, 甚至到了试验后期, 井水位已经达到井口, 测压管水位仍然很低, 说明井周围已遭受淤堵。停止补给后, 井水位和测压管水位经过 15 min 才达到一致。试验过程中, 在不长的时间内, 井周围就出现了淤层, 试验停止时, 可明显观察到受到淤堵的含水层, 淤层厚度已经达到 3 cm 左右。

作 SPD 补给系统法试验时, 井及各测压管水位都是均匀且缓慢上升, 浑水只在潜水层表面形成浅浅的淤泥层, 进入回灌井中的水仍比较澄清, 试验过程中, 井管及周围未出现明显的淤层。

### 3.3 试验比较分析

#### 3.3.1 水丘变化过程对比分析

比较这两种试验方案的水丘变化过程图(图 2, 图 3), 可以看出, 采用 SPD 补给系统法进行回灌, 井中水位和测压管水位是平稳上升的, 除了前期因干扰较大而稍有区别外, 其他时期的形状是很类似的; 而采用直接井回灌法, 井中水位变化比较剧烈, 在很短时间内迅速上升, 而其测压管水位却变化很缓慢。

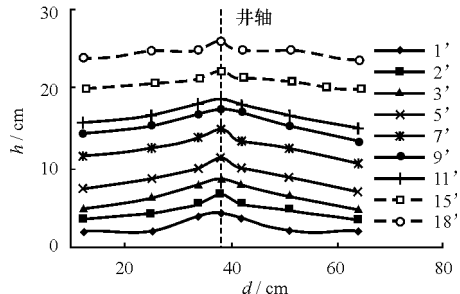


图 2 SPD 补给系统的水丘变化

Fig. 2 Peak of Water Changes of SPD Recharge System

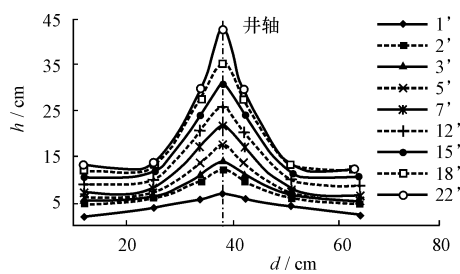


图 3 直接井回灌法水丘变化

Fig. 3 Peak of Water Changes of SPD Recharge with Well

这个现象清楚说明, SPD 补给系统法中, 浑水由于经过浅层含水层过滤, 有效地避免了在回灌井内产生淤堵; 而直接井回灌法中, 由于浑水是直接灌入井中, 因而在不长的时间内, 井内就出现了淤堵现象。

#### 3.3.2 补给量对比分析

根据试验数据, 作出两种方案的  $Qt$  曲线图,

并同时加上了 SPD 补给系统法清水补给时的  $Qt$  曲线图(图 4), 以方便比较。

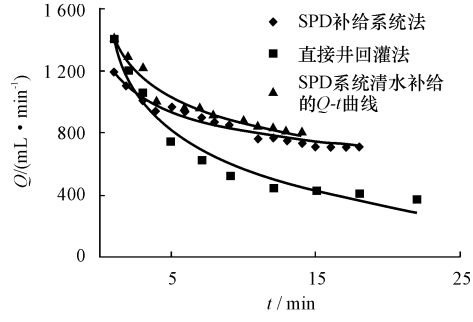


图 4 两种试验方法的  $Qt$  曲线

Fig. 4 Graph of  $Qt$  for Two Test Plan

从图 4 可以看出, SPD 补给系统法的  $Qt$  曲线变化比较平缓, 补给速度比较快, 并且和清水补给时的  $Qt$  曲线相差较小; 而直接井回灌法, 虽然在最初时补给速度比 SPD 补给系统法的补给量要大, 但随着时间的增加, 其补给速度迅速下降, 这就进一步说明了 SPD 补给系统法在防止回灌井淤堵上比直接井灌法优越。

通过对两种试验方法对比分析发现, SPD 补给系统法能够有效地解决人工补给过程中, 由于回灌井淤堵而使得补给效果受到很大影响这一难题, 这不仅表现在它比直接井回灌法补给速度快, 而且补给总量也比直接井回灌法多。因此, 利用 SPD 补给系统进行地下水人工补给, 是一个比较可行的办法。

## 4 SPD 补给系统初步设计

### 4.1 补给浅层地下水的设计

比较起来, 浅层地下水的补给要比深层地下水的补给相对容易, 因此, 设计中将利用引渗池、湖塘或者直接利用田面、地面入渗的方法, 对浅层地下水进行补给。其中的补给来水, 将视具体情况而定。如果补给地段位于傍河水源地下降漏斗区, 可以直接采用地表水, 即有计划的将河水(或其他可补水)引至补给区, 进行湖塘下渗, 或直接输入引渗池中, 对浅层水进行补给。在城区, 则可以利用排水管道中经过简单处理的工业、生活废水、冷却弃水<sup>[13]</sup>(指用于冷冻机组、冷凝器等冷却水, 经过一次循环或一次喷淋后的洁净水, 如各种冷库、宾馆等冷却弃水等)或者结合城市防洪、截取大气降水和地表径流等。将这些水源通过引渗池或直接面渗回灌到浅层地下水中, 然后再利用注水深井补给深层地下水。

### 4.2 回灌深井设计

设计中注水深井可采用正在使用的或报废的机井,也可重新建造新的机井。根据实际情况,补给深层地下水的井孔井深一般为 100 ~300 m<sup>[14]</sup>。

## 5 结论

利用 SPD 补给系统来补给深层地下水,弥补了过去常用的直接井回灌法的一些缺陷,具有如下几个优点:

- (1)利用浅层含水层净化了水质,特别是悬浮物,能够减少或防止回灌深井的堵塞。
- (2)浅层含水层易于获得补给,补给方式多样,一旦产生淤堵,也容易清除。
- (3)充分利用了地层的净化能力,不用再建造专门的净水设施,大大降低了工程费用。
- (4)增加了补给来源,同时由于隔水层被开了“天窗”<sup>[15]</sup>,缩短了地表水、大气降水自然入渗补给深层地下水的的时间和途径,同时,也增大了补给量。
- (5)能够防止出现土壤盐渍化、沼泽化。

### [ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 贺屹. 地面水-潜水-深层水(SPD)人工补给系统试验研究[ D]. 西安: 长安大学环境科学与工程学院, 2003.

[ 2 ] 李佩成, 刘俊民. 黄土塬灌区三水转化机理及水资源最佳调控模式研究[ M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998.

[ 3 ] 李佩成, 张学真. 西安市利用旧井人工补给地下水试验与研究报告[ R]. 西安: 长安大学, 2002.

[ 4 ] 李佩成, 沈冰. 西安市供水水资源系统优化调配研究报告[ R]. 西安: 长安大学, 2002.

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

[ 6 ] 郑书彦, 李云峰, 王文科. 地下水人工回灌淤积的室内试验研究[ J]. 西安地质学院学报, 1993, 15( 增刊): 46 -49.

[ 7 ] 丁昆仑. 人工回灌地下水的有效途径和方法探讨[ J]. 中国农村水利水电, 1996( 3): 24 -26.

[ 8 ] 郭金敏, 田长勋, 刘书芳. 地下水回灌与再利用[ J]. 资源节约与综合利用, 2000( 2): 38 -39.

[ 9 ] 田园. 人工补给地下水工程规划与补给措施[ J]. 地下水, 1990( 6): 13 -14.

[ 10 ] 孙颖, 苗礼文. 北京市深井人工回灌现状调查与前景分析[ J]. 水文地质工程地质, 2001, 28( 1): 21 -24.

[ 11 ] 张尚武. 山东省人工补给地下水的任务、现状及存在问题[ J]. 地下水开发利用与管理, 1998( 5): 213 -217.

[ 12 ] 姚彬, 冯绍元. 利用回灌井回补地下水的田间试验研究[ J]. 灌溉排水, 1998( 2): 29 -31.

[ 13 ] 武晓峰, 唐杰. 地下水人工回灌与再利用[ J]. 工程勘察, 1998( 4): 37 -42.

[ 14 ] 张在林, 丁跃元. 人工回补地下水试验研究[ J]. 地下水开发利用与管理, 2000( 1): 229 -235.

[ 15 ] David G. Pyne. Groundwater recharge and wells a guide to aquifer storage recovery[ M]. Lewis Publishers CRC Press, 1995.

## 欢迎赐稿 欢迎订阅 《地球科学与环境学报》

《地球科学与环境学报》(1979 年创刊, 刊名先后为《西安地质学院学报》、《西安工程学院学报》、《长安大学学报(地球科学版)》、《地球科学与环境学报》)是教育部主管、长安大学主办的地学综合类学术期刊, 系中国科技核心期刊。20 世纪 80 年代以来, 她先后被《美国化学文摘》、《美国地质学题录与索引》、《俄罗斯文摘杂志》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国地质文摘》、《中国石油文摘》等国内外十余家著名权威文摘或数据库固定收录。

《地球科学与环境学报》编委会由 40 多名专家学者组成, 其中包括 17 名中国科学院与中国工程院院士、2 名长江学者。本刊以发展地球科学以及与之相交叉的环境科学的理论与创新为己任, 并将为此而作出不懈地努力。

本刊刊登内容主要有基础地质与矿产地质、水文地质与工程地质、环境地质与生态地质、地球物理、地球信息科学等, 她重点报道地学前缘及交叉学科的高水平科技成果, 突出西部大开发中资源勘查、干旱与半干旱地区地质与生态环境保护以及国家重要基础工程建设中重大地质科技问题的研究特色, 将我国尤其是西部地区的地学与生态环境方面的高水平科技成果推向世界。

在此, 热诚欢迎广大地学科技工作者为本刊撰写论文, 对高质量特别是国家各种基金项目或重大科技攻关项目产出的论文将优先发表。

本刊现为季刊, 每季末月出版, 112 页, 每册定价 8 元, 邮发代号 52 - 280, 国外代号 Q4115, 邮局漏订者亦可直接同本刊编辑部联系。

本刊地址: 西安市雁塔路南段 126 号 长安大学雁塔校区; 邮政编码: 710054; 电话: (029)82339978; E mail: dkyhxb@chd.edu.cn