

雨洪资源地下回灌促渗技术的实验研究

李胜涛^{1,2} 杜新强² 佟元清¹ 迟宝明³ 路莹² 王子佳²

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 保定 071051;

2. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130026; 3. 防灾科技学院, 北京 101601)

摘要: 针对雨洪资源地下回灌工程易堵塞、效率低、寿命短等问题, 以入渗池为例, 开展室内模拟实验。实验通过模拟雨洪资源地下回灌条件和过程、设定渗透介质的表面形态和回灌的工程工艺方法, 观测渗透速率随时间的变化规律, 分析堵塞层悬浮物的分布规律; 通过对比相同目标补给层、不同回灌工程工艺方法对入渗速率的影响, 分析促渗机理, 评价堵塞的形成机制和管理方法, 探索促渗关键技术。提出了局部高位入渗方法、垄沟池底方法、间歇回灌方法三种有效的促渗技术, 对雨洪资源地下回灌的工程实践具有一定的借鉴意义。

关键词: 雨洪资源; 地下回灌; 促渗; 入渗速率

中图分类号: TV139.16

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2011)05-0013-07

近年来, 地下水严重超采^[1]与城区雨洪问题突出^[2]并存。利用地下储水空间开展雨洪资源地下回灌, 因其成本低、风险小、储水周期长^[3], 逐渐受到社会和业界的广泛关注与认可。

但是, 雨洪资源具有短时性、高强度、突发性的特点, 过境雨洪水并不容易在短时间内进入地下储水空间^[3~4], 而且地下回灌工程的堵塞问题非常突出^[5], 严重制约了回灌工程的运行效率和寿命, 增加了维护成本^[6]。如何在有限的范围内尽可能地延长雨洪滞留时间、减缓堵塞的发展, 提高入渗效率, 达到增加回灌补给水量的目的, 是一个重要的关键技术问题, 也是国内外研究的热点^[5~12]。

地下水人工回灌过程中, 形成堵塞虽然是不可避免的^[5,7], 但是可以通过适当的工程结构进行缓解或控制^[8~9]。在诸多地下储水空间雨洪资源人工回灌工程中, 简单实用的地表回灌是最为常见的工程形式, 而地表回灌工程中又以入渗池(渗透池)最为典型^[10~11]。

本次研究以入渗池为例, 主要通过室内模拟实验的方法, 探索促渗关键技术问题, 并提出了局部高位入渗方法、垄沟池底方法、间歇回灌方法三种有效的促渗技术, 为雨洪资源地下回灌实践提供了科学依据, 具有一定的指导意义。

1 实验基础条件

1.1 实验设备

本次实验在透明的有机玻璃水槽中进行。水槽从左至右依次由供水区、渗水区、排水区三部分组成, 整体规格为 1350mm × 300mm × 400mm (长 × 宽 × 高), 其中中部渗水区 900mm × 300mm × 400mm, 渗水区侧壁均匀设有测压管。供水区、排水区有水头与流量控制装置, 可根据实验需要, 改变上下游水头和流量。实验另有 1m × 1m × 1m 供水水槽 1 个, 配置循环泵 2 台、潜水泵 2 台, 分别用于水体搅拌和供水(图 1)。

1.2 回灌水源配置

实验回灌水源采用悬浊水模拟雨洪水。悬浊水由一定量的悬浮物和自来水混合配置而成, 为了使悬浮物的性质尽可能地与野外条件相一致, 实验采用的悬浮物取自雨后沉积于野外低洼地段的细颗粒土, 并经过 180 目(约 66μm)标准筛剔除较粗颗粒和杂质(表 1)。为了较快地产生堵塞效应, 缩短实验周期, 设置

表 1 悬浮物粒径分配

Table 1 Distribution of suspended solids

粒径(μm)	< 15	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60	60 ~ 66
含量(%)	31.29	29.80	17.90	11.81	9.20

收稿日期: 2010-11-29; 修订日期: 2011-03-12

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAB14B04); 国土资源大调查项目(1212011121280); 国家自然科学基金(40902068, 41002077); 吉林大学科学前沿与交叉创新项目(200903149)

作者简介: 李胜涛(1982-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事地下水资源开发利用研究。

E-mail: list07@mails.jlu.edu.cn

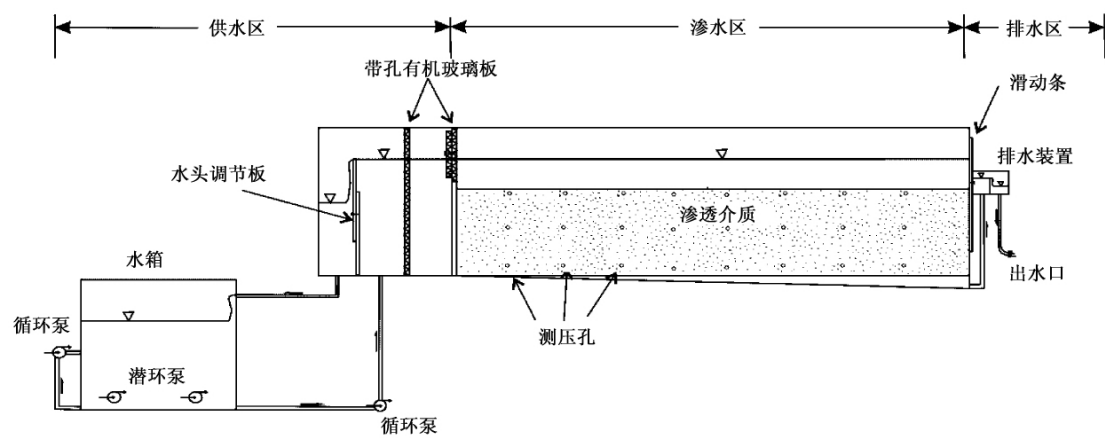


图 1 实验装置示意图
Fig. 1 Experimental apparatus

悬浮物含量为 500mg/L。

1.3 实验方法

实验通过设定回灌条件和回灌过程,观测过程中渗透速率随时间的变化,对比不同回灌工程工艺对入渗速率的影响,分析促渗机理,以达到探索促渗关键技术的目的。

实验中,悬浮物在介质中的积累是不均匀的,由表层向下,产生的堵塞程度依次减轻,因而引起介质在不同深度处具有不同的渗透系数。这种情形下,介质的渗透能力不宜采用单一渗透系数 K 简单表征,因此,本次研究采用渗透速率(q),即单位面积上的渗流量来表征介质的入渗效率:

$$q = \frac{Q}{A}$$

式中: q ——渗透速率(m/d);
 Q ——渗流量(m³/d);
 A ——入渗区面积(m²)。

2 局部高位入渗方法

自然条件下,很多地区的目标渗透层并不能直接出露地表,通常上覆相对弱透水层,该层往往成为制约回灌效率的关键层位。实践中常采用挖除表层弱透水层,填充卵砾石的方法增大渗透系数^[9,12],提高回灌效率。但是由于回灌水源中携带的悬浮物在渗透介质表层均匀沉积,极易形成堵塞。这种方法一般在回灌初期具有较高的渗透效率,但后期渗透效率明显降低。本文通过设计对比实验,探索了高位入渗方法,在一定程度上解决了上述问题。

2.1 实验设计

本次共设计了三组回灌实验:

实验 1,正常回灌(图 2):目标渗透介质采用中粗砂(表 2)、粉细砂(表 3)两个砂层,厚度分别为 13cm 和 10cm,粉细砂代表上覆弱透水层,中粗砂代表目标渗透层,设计回灌水位高于粉细砂表面约 10cm。

▽	
回灌水	10 cm
粉细砂	10 cm
中粗砂	13 cm

图 2 实验 1 – 正常回灌目标渗透介质结构图
Fig. 2 Structure map of objective infiltration media of Experiment 1

表 2 中粗砂粒级分配

Table 2 Distribution of sand with medium-coarse particulars					
粒径(mm)	< 0.1	0.1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.5	0.5 ~ 2	> 2
含量(%)	0.2	0.7	54.6	44.5	0

表 3 粉细砂粒级分配

Table 3 Distribution of sand with fine particulars					
粒径(mm)	< 0.1	0.1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.5	0.5 ~ 2	> 2
含量(%)	2.31	96.64	0.71	0.34	0

实验 2,局部高渗透入渗(图 3):在实验 1 的基础上,在粉细砂层中按 10cm 间隔均匀布设 4 根直径 10cm、高 13cm 的 PVC 管。管顶部与粉细砂层齐平,底部没入中粗砂层中,管内填充粗砂(表 4)代表回灌实践中采用的回填材料。本组实验模拟上覆弱透水层局部开挖并回填高渗透介质的情形。

实验 3,局部高渗透高位入渗(图 4):悬浮物在水

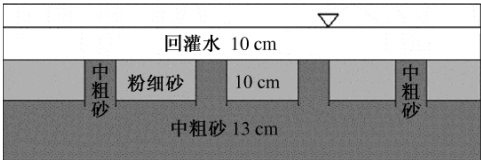


图 3 实验 2 – 局部高渗透目标渗透介质结构图
Fig. 3 Structure map of objective infiltration media of Experiment 2

中易发生沉降,浓度分布具有空间分异规律,浅部悬浮物浓度较低,有利于保持高速入渗。本次实验在实验 1 的基础上,按 10cm 间隔将 4 根直径 10cm、高 23cm 的 PVC 管均匀布设在粉细砂层中。管顶部与水面齐平,底部没入中砂层中。管上端的 5~7cm 范围内用小电钻均匀打孔,孔径 4mm,管内壁贴上 100 目铁质过滤筛网,用粗砂填充,粗砂粒级分配同实验 2。

表 4 管内回填粗砂粒级分配

Table 4 Distribution of sand with coarse particulars within the pipes

粒径(mm)	<0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~2	>2
含量(%)	0.07	0.3	0.4	99.23	0

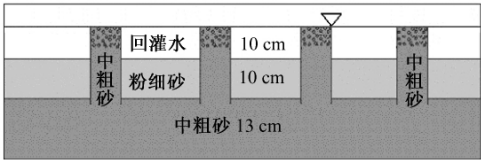


图 4 实验 3 – 局部高渗透高位入渗目标渗透介质结构图
Fig. 4 Structure map of objective infiltration media of Experiment 3

三组实验分别进行 48 小时,观测渗透速率(q)随累计时间 T 的变化(图 5)。

2.2 实验结果分析

分析 $q-T$ 关系曲线图(图 5),可以得出以下两个结论:

(1) 在实验 1 的条件下,由于粉细砂层的存在,介质渗透速率的起始值较低。经过 48h 连续回灌后,入渗速率降到初始值的 52%。经过实验 2、3 改造填充粗砂后,入渗介质局部地段的入渗能力明显提高,渗透速率的起始值增大到实验 1 条件下的两倍左右。这表明,在地下水人工回灌实践中经常采用的开挖表层弱透水层回填砂砾石的做法对地表渗透能力的提高是有效的。

(2) 比较实验 2 和实验 3 两个局部高渗透回灌的

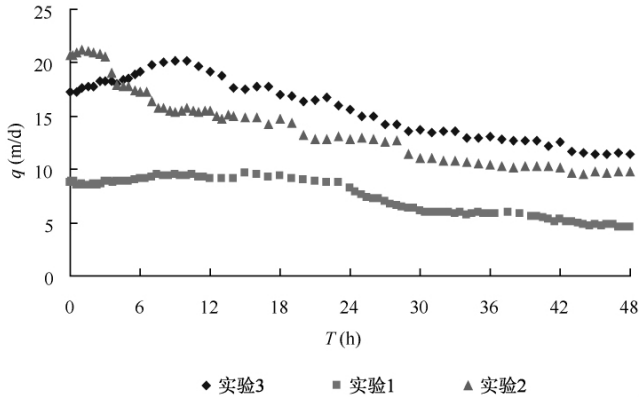


图 5 局部高位入渗实验 $q-T$ 关系曲线图
Fig. 5 Relationships between q and T in Local High-Level experiment

$q-T$ 关系曲线图:单纯的局部渗透方案经过 4h 高速率稳定回灌后,渗透速率陡然降低,出现明显拐点,之后进入稳定的下降阶段。回灌 48h,渗透速率下降了 55% 左右。高位入渗方案的 $q-T$ 关系曲线则出现了先增后减的形态。在回灌开始的前 10h 内,渗透系数逐渐增大,这是回灌中常见的现象,由于回灌初期渗透速率较大,回灌水冲走了介质中的细粒土,介质渗透性在短时间内小幅增强。10h 后随着细粒土全部冲走以及堵塞层的逐渐形成, $q-T$ 曲线出现拐点,之后的 38h 稳定下降,到回灌结束,相对于拐点值下降了约 43%。入渗速率累计下降了 33%。

从以上实验结果可以看出,高位入渗方案推迟了入渗速率下降拐点的出现时间,降低了入渗速率的衰减速度。

2.3 促渗机理分析

从颗粒粒级分配表(表 3、表 4)可以看出,粉细砂粒级集中在 0.1~0.25mm 之间(占总质量的 96.64%),而粗砂粒级集中在 0.5~2mm 之间(占总质量的 99.23%)。实验 2、3 通过挖出表层粉细砂并回填粗砂,提高了目标介质的渗透效率。

停止回灌后,分别取样分析实验 2 和实验 3 中介质管内外表层 5mm 厚度的悬浮物含量。从颗粒分析结果(表 5)看,实验 2 中介质管外表层 5mm 厚度悬浮物含量为 17.91%,管内表层 5mm 厚度悬浮物含量在 8.65%~12.50% 之间(平均含量 9.77%),管外含量略高,约为管内含量的 1.8 倍,表明管内外介质均发生了堵塞现象;实验 3 中介质管外表层 5mm 厚度悬浮物含量为 40.75%,管内表层 5mm 厚度悬浮物含量则在 0.18%~0.96% 之间(平均含量 0.42%),管外含量明显高于管内,约为管内含量的 97 倍,堵塞现象主要发

生在管外。

实验 2 局部高渗透的方法虽然能在初期显著地提高介质的入渗速率,但是,由于回灌水中的悬浮物在整个介质表层均匀沉积,并且管内粗砂层更易于悬浮物进入砂层内部,因此堵塞现象极易发生,在 $q-T$ 曲线中表现为渗透系数下降的拐点很快出现;实验 3 采用局部高渗透高位入渗后,由于重力沉降作用影响,悬浮物在水中的浓度呈上低下高的分布规律,回灌水上部悬浮物浓度较低,不易在管内发生沉积和堵塞,因而管内粗砂层得以保持较高的入渗速率,在 $q-T$ 曲线中表现为渗透系数下降的拐点出现较晚。

表 5 悬浮物含量统计表

Table 5 Content of splendid solids (%)					
	管外	管 1	管 2	管 3	管 4
实验 2	17.61	12.50	8.82	9.09	8.65
实验 3	40.75	0.96	0.32	0.18	0.23

3 垄沟池底方法

改变池底形态的实质是管理堵塞部位,该方法是缓解和控制堵塞形成和影响程度的重要措施之一。为反映池底形态变化对回灌入渗速率的直接影响,本文设计平坦和起伏两种池底形态相对照,观测相同回灌条件、不同池底形态时介质渗透速率的变化规律,探究通过改变池底形态提高入渗池回灌效率的技术方法。

3.1 实验设计

实验渗透介质采用中粒石英砂(粒径范围为 40 ~ 70 目)(表 2),渗水区渗透介质模拟入渗池底部,设计了平坦和垄沟起伏两种形态(图 6)。实验过程设置了相同的上下游水头、相同的回灌水源浓度和相同的回灌时间。

3.2 渗透速率(q) 随时间的变化规律

两种情况分别连续回灌 73h,观测两种底部形态情况下渗透速率的变化情况(图 7),渗透速率均随回灌时间的延长逐渐减小。这个现象显示了伴随着堵塞的形成,介质渗透能力逐渐减弱的规律。

平坦池底情况下,在 5h 内,介质渗透能力下降明显,渗透速率迅速下降到初始值的 80%。5h 后,下降平稳,整体上基本呈现线性关系。经过 73h 连续回灌,渗透速率逐渐降低,最终下降为初始值的 20%。渗透速率的变化规律可近似表示为: $q = -0.4528T + 39.707$ 。垄沟起伏池底情况下,介质同样显示出渗透速率随时间递减的规律,但是,与前者不同的是,渗透速率在开始近 10h,下降微弱。同样回灌 73h,渗透速

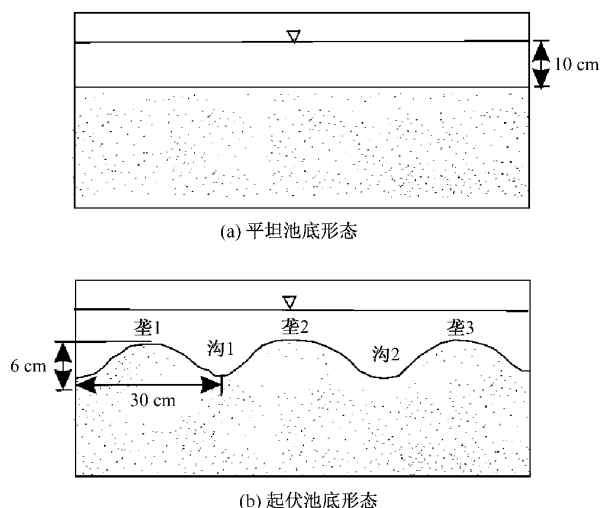


图 6 实验采用的池底形态设计

Fig. 6 Design maps of basin bottoms

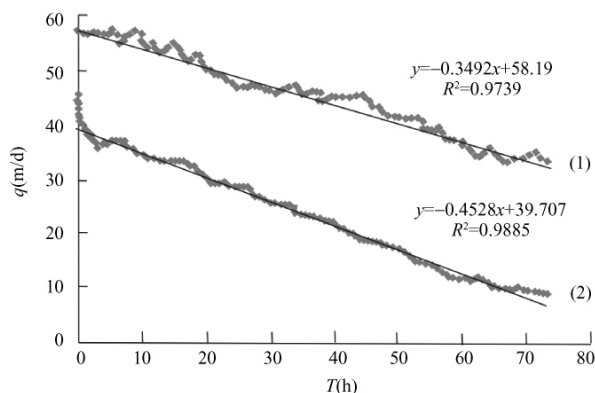


图 7 渗透速率随时间的变化

Fig. 7 Relationships between q and T

(1) 垄沟起伏池底; (2) 平坦池底

率下降为初始值的 57%,降幅远低于平坦池底情况下的下降幅度。用线性方程将 $q-T$ 关系可表示为: $q = -0.3492T + 58.19$ 。比较两条直线的斜率,在垄沟起伏池底的情况下,介质的渗透速率下降速率明显减小。以上结论表明,垄沟起伏的池底形态较平坦的池体形态有利于保持入渗池的渗透速率。

3.3 促渗机理分析

本次实验中,水中悬浮物的累积是介质渗透速率降低的主要原因。回灌过程中可以清晰地看到池底(渗透介质表层)堵塞层的形成和变化,73h 回灌后,堵塞层厚度约为 0.3 ~ 0.5mm。平坦池底形态回灌后,在渗透介质表层 5mm、5mm ~ 5cm、5 ~ 10cm、10 ~ 20cm 深度分别取样进行颗粒分析(表 6),对比介质颗粒分配表(表 1),回灌后渗透介质表层 5mm 中,粒径小于

0.1mm 的颗粒比例明显增大(由 0.1% 增大到 39.6%) ,而以下几层则增幅较小。这说明 ,堵塞主要发生在表层 5mm 范围内 ,且堵塞的形成主要是由于砂层的过滤作用使回灌水中的悬浮物在介质表层不断累积形成的。

表 6 回灌后渗透介质样品粒级分配含量

Table 6 Distribution of particulars in infiltration media after infiltration (%)						
编号	粒径	<0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~2	>2
1	表层 5mm	39.6	1.1	27.6	31.7	0
2	5mm~5cm	0.7	1.6	49.5	47.2	0
3	5~10cm	0.6	0.8	53.2	45.4	0
4	10~20cm	0.5	0.9	54.9	43.7	0

按照表 7 所列规则 ,取样分析垄沟形态回灌后悬浮物分布情况 ,绘制样品悬浮含量曲线图(图 8)。

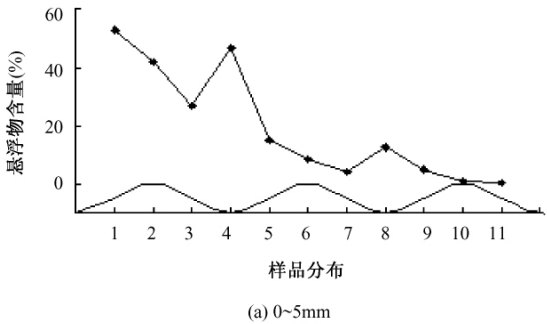


表 7 样品编号与取样位置对照表		
Table 7 Location of the samples		
	样品编号	取样位置
表 层 5mm 样 品	1	垄 1 迎水坡
	2	垄 1 顶部
	3	垄 1 背水坡
	4	沟 1
	5	垄 2 迎水坡
	6	垄 2 顶部
	7	垄 2 背水坡
	8	沟 2
	9	垄 3 迎水坡
	10	垄 3 顶部
	11	垄 3 背水坡
	12	垄 1 顶部
	13	沟 1
	14	垄 2 顶部
	15	沟 2
	16	垄 3 顶部

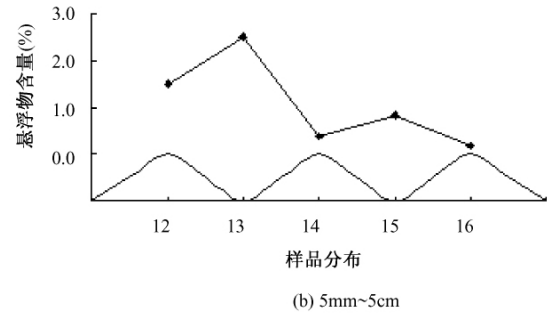


图 8 垄沟起伏形态回灌后样品悬浮物含量曲线图
Fig. 8 Content of splendid solids in RV experiment after infiltration

分析悬浮物含量分布图 ,可以得出以下几个结论:

(1) 三个垄沟上的悬浮物依次减少 ,堵塞程度依次减弱 ,悬浮物沉积和堵塞都主要发生在前两个垄沟上。这是由于悬浮物颗粒在水中发生沉降作用 ,悬浮物浓度在垂向上沿深度递增 ,在水平方向上沿水流递减 ,而实验中采用了走向与来水方向垂直的垄 ,实验证明 ,这种结构的垄对悬浮物起到了一定的拦截作用。

(2) 样品 2 与样品 4 的悬浮物含量分别为 42.09% 和 46.61% ,样品 6 和样品 8 的悬浮物含量分别为 4.08% 和 5.11% ,沟里悬浮物的含量普遍高于上游垄顶部悬浮物的含量 ,观察介质 5mm~5cm 深度悬浮物的含量(图 8b) ,同样有沟中的悬浮物含量高于垄顶部的规律。产生这种现象的原因是由于垄沟结构中重力作用影响使沉降到垄顶部及边壁上的悬浮物倾向于向沟中滑落 ,而易于在沟中发生沉积 ,从而保持了垄相对高的入渗效率;

(3) 比较每个垄迎水坡与背水坡的悬浮物含量可以发现 ,三个垄迎水坡与背水坡的悬浮物含量比分别为 1.98、5.37 和 2.57 ,迎水坡的含量均高于背水坡含量。悬浮物在流动过程中具有一定的冲量 ,在这个冲量的作用下 ,悬浮物颗粒在迎水坡上能够减小重力作用的影响 ,在背水坡则能够增大重力作用的影响(图 9) ,因此更易于在迎水坡上沉积。

4 间歇回灌方法

回灌工程连续运行一段时间后停止 ,可减小水力负荷 ,使堵塞层和砂砾石层骨架弹性恢复 ,防止持续回灌造成堵塞层和砂砾石层压实 ,有利于在一定程度上减轻连续回灌过程中的堵塞程度。本次研究通过实验证实了这一结论。

平坦形态池底情况下 ,连续回灌 73h 停止 10h ,然后继续回灌 ,当渗透速率值恢复到停止回灌之前的状

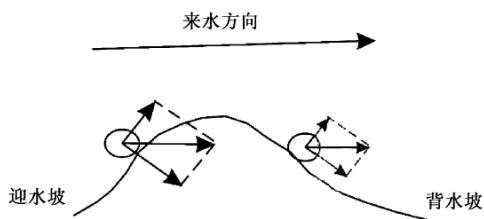
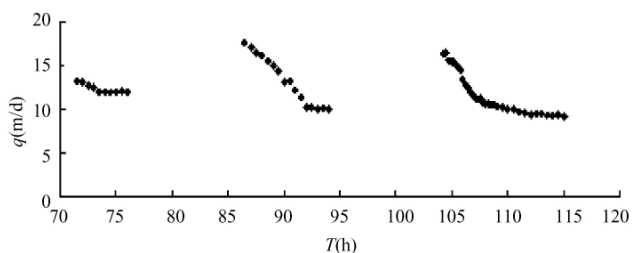


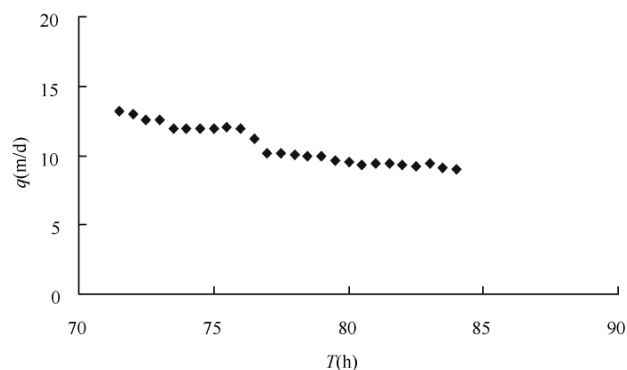
图 9 悬浮物颗粒冲量分解示意图

Fig. 9 Schematic diagram for particular momentum breaking up

态并稳定时,再次停灌 10h,然后继续回灌。经过停灌后,未被压实的介质砂砾石层骨架因负荷减小而弹性恢复,渗透速率具有明显的增大现象,恢复回灌时,渗透速率较每次停灌时分别增大 57% 和 64%,分别经过 5h 和 6h 下降到停灌时的渗透速率(图 10)。

图 10 停灌-恢复实验 $q-T$ 关系曲线图Fig. 10 Relationships between q and T in alternative infiltration experiment

将上述 5 个小时和 6 个小时的渗透速率下降过程去掉,同时将时间序列前移,剔除停灌过程对渗透效率的影响。则修订后的 $q-T$ 曲线可以显示连续回灌情况下的渗透速率变化规律(图 11)。

图 11 连续回灌渗 $q-T$ 关系曲线图Fig. 11 Relationships between q and T in continue infiltration experiment

观察两条 $q-T$ 曲线,图 10 中除去停灌时间,实际回灌了 24h,图 11 则相当于连续回灌了 13h。这就是

说,通过两次停灌,连续回灌 13h 所能形成的渗透速率下降幅度被延长至 24h。这说明,停灌过程虽然在较长时间内无法阻止堵塞的形成和渗透效率的衰减,但在较短时间内对渗透效率的恢复和维持具有一定的效果。

基于这一结论,雨洪回灌过程中,可以通过建设两个或两个以上入渗池,采用轮休和交替的间歇回灌方法,延长使用寿命,提高回灌效率。

5 结论与建议

本次研究以入渗池为例,开展了雨洪资源地下回灌的室内模拟实验,探讨了促进回灌效率的关键技术问题,提出了局部高位入渗方法、垄沟池底方法、间歇回灌方法三种促进入渗池回灌效率的工程工艺方法:

(1) 局部高位入渗方法适用于目标渗透层上覆有相对弱透水层的地区,能有效提高弱透水层的入渗效率,并缓解传统的局部高渗透方法易于被均匀沉积的悬浮物堵塞的问题;

(2) 垄沟池底方法可以有效管理堵塞部位,使悬浮物颗粒集中在沟中和迎水坡沉积,是缓解和控制堵塞形成和影响程度的有效措施;

(3) 间歇回灌方法作为一种工艺上的改进,虽然在较长时间内无法阻止堵塞的形成和渗透效率的衰减,但在较短时间内对渗透效率的恢复和维持具有一定的效果。

本次实验还存在一定的不足,建议进一步研究:

(1) 室内实验存在一定的尺度效应,如有条件可在更大尺度上开展实验或在野外开展原型试验;

(2) 建议增加同一实验的重复实验和平行实验数量,采集足够多的有效数据,建立数学模型定量描述或形成经验公式;

(3) 建议开展野外应用示范,使室内实验和理论研究成果在研究区地下储水空间雨洪回灌中的发挥具体作用,并为相似地区提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 李砚阁. 地下水库建设研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. [LI Y G. Study on groundwater reservoir construction [M]. Beijing: China Press for Environmental Science, 2007. (in Chinese)]
- [2] 丁莞歆. 中国水污染事件纪实[J]. 环境保护, 2007(14): 83-85. [DING W X. Record of water contamination events in China [J]. Environment Protection, 2007(14): 83-85. (in Chinese)]

- [3] 张欧阳, 许炯心, 张红武, 等. 洪水的灾害与资源效应及其转化模式[J]. 自然灾害学报, 2003(1): 25–30. [ZHANG O Y, XU J X, ZHANG H W, *et al.* Flood hazards and resources effects and their inter-transform mode [J]. Journal of Natural Disasters, 2003(1): 25–30. (in Chinese)]
- [4] 黄金林, 迟宝明, 路莹, 等. 地下储水空间雨洪资源调蓄技术的研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2008 27(2): 123–127. [HUANG J L, CHI B M, LU Y, *et al.* Advances on Rain-flood Regulation and Storage Technology by Groundwater Storage Space [J]. Journal of Irrigation and Drainage 2008 27(2): 123–127. (in Chinese)]
- [5] 杜新强, 冶雪艳, 路莹, 迟宝明, 等. 地下水人工回灌堵塞问题的研究进展[J]. 地球科学进展, 2009, 24(9): 973–980. [DU X Q, YE X Y, LU Y, CHI B M, *et al.* Advances in Clogging Research of Artificial Recharge [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(9): 973–980. (in Chinese)]
- [6] 李胜涛. 北京平谷盆地地下储水空间雨洪回灌促渗关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009. [LI S T. Study on Infiltration Promotion Techniques for Rain & Flood Water Harvesting through Underground Storage Space in Pinggu Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)]
- [7] Paricio. Integrated Modeling of Clogging Processes in Artificial Groundwater Recharge [D]. Technical University of Catalonia(UPC) 2001.
- [8] A K Rastogi, Pandey. 人工引渗池形状对潜水含水层之下水丘的影响研究[C]//第34届国际水文地质大会论文集, 2006. [A K Rastogi, Pandey. Impacts of Artificial Infiltration Basin Shapes for Phreatic Water Mound [C]// Papers in the 37th International Hydrogeology Conference, 2006. (in Chinese)]
- [9] Herman Bouwer. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering [J]. Hydrogeology Journal, 2002(10): 121–142.
- [10] 王增银. 供水水文地质学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1995. [WANG Z Y. Water supply of Hydrogeology [M]. Beijing: Press for China University of Geoscience, 1995. 10. (in Chinese)]
- [11] 刘兆昌, 李广贺, 朱琨. 供水水文地质[M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. [LIU Z C, LI G H, ZHU K. Water supply of Hydrogeology [M]. 3rd ed. Beijing: China Press for Architecture & Building. 1998. (in Chinese)]
- [12] Peters, J H. Artificial recharge of groundwater [J]. Editor of the Proc. Of the Third Int. Symp on Artificial Recharge of Groundwater (TISAR), 1998 (S): 21–25.

Experiment study on promotion techniques for rain & flood water harvesting through underground storage

LI Sheng-tao^{1,2}, DU Xin-qiang², TONG Yuan-qing¹, CHI Bao-ming³, LU Ying², WANG Zi-jia²

(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, China;

2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China;

3. Institute of Disaster and Prevention Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: Rain & flood water harvesting through underground storage space has been more and more recognized by the society. However, its practice is seriously limited by the special characteristics of rain & flood water, aquifer clogging, instruments' efficiency, longevity, as well as maintenance costs. This study takes an infiltration basin as an example, and examines the key techniques of infiltration promotion through indoors simulation experiments. In the experiments, infiltration conditions & process are particularly set to observe the dynamic variation of infiltration rate and to seek the clogging location & regulation. The core of the experiments is to simulate different engineering techniques and processes in each certain recharged aquifer and conditions, and through contrast, promotion mechanisms of different settings are discovered. Based on the mechanisms analysis, this paper puts forwards three kinds of promotion methods, such as Local High-level Infiltration Method, RV (ridge & vale) Bottom Method, and Alternate Method.

Key words: rain & flood water resources; groundwater infiltration; infiltration promotion; infiltration rate

责任编辑: 张若琳