

## 序言

许多国际、国家和地方组织都认识到，通过增强补给来提高缺水地区供水的安全性和水质存在巨大的潜力。但是，如果这些项目要取得成功，他们就需要良好的规划、设计和运作，并应该作为集水区/流域性水管理策略的一个主要部分。

联合国教科文组织代表机构于 2002 年 4 月 25-26 日在巴黎召开了一次会议，一致同意制定相关的计划和活动。该文件成为这一倡议的一部分，我们希望这将引发一些个人和组织为将来的联合倡议作出贡献，以使所有新的增强补给的项目具有可持续性。

在联合国教科文组织国际水文计划和英国国际发展部的支持下，国家水文地质学家协会委员会已经编制了关于可管理的含水层补给的文件。Ian Gale（英国地质调查局）和 Peter Dillon（澳大利亚联邦科学与工业研究组织）一起汇集了来自各地的投稿，并对他们的投稿表示诚挚的感谢。

该文件的目的是总结 MAR 在半干旱地区的应用经验，以便在世界范围内提供指导和最佳实践的范例。作为更广泛的水管理战略的一部分，它提供了对实施和管理含水层补给的深刻理解，并联合其他联合国教科文组织-国家水文地质学家协会机构一起，将有助于推动网络化、信息共享、增强理解和实施可持续的 MAR 计划。

已完成的和计划好的活动包括：

- 信息宣传——2002 年 9 月
- 京都的简介，2003 年
- 可管理的含水层补给策略——本文
- 在干旱和半干旱地区增加回灌的评估研讨会——2002 年 9 月 20-22 日在阿德莱德
- 一份关于用再生水增加补给的报告——2003 年世界卫生组织
- 关于“含水层补给管理和地下储存”的会议报告，2003 年国际水文地质学家协会、NHV、联合国教科文组织
- 与再生水补给相关的风险管理专题讨论会——国际水文科学协会/世界卫生组织/国际水文地质学家协会，2003 年 7 月 7-8 日在札幌
- 出版更多的刊物；实施区域培训方案，正在进行中
- 使数据收集更容易；监测和评价项目，正在进行中
- 促进网络化和信息的传播（[www.iah.org/recharge](http://www.iah.org/recharge)）
- 促成关于“含水层补给管理和集水”的区域研讨会——联合国教科文组织-国际水文计划/伊斯兰教科文组织 2004 年 11 月 27 日-12 月 1 日在伊朗亚兹德
- ——联合国教科文组织-国际水文计划/巴基斯坦水资源研究委员会 2005 年 4 月 25-5 月 2 日在巴基斯坦拉合尔
- ——联合国教科文组织/国际水文地质学家协会 2004 年 12 月 15-17 在越南河内
- 在发展中国家开展 MAR 的研讨会，2005 年 6 月 11 日在柏林
- 联合国教科文组织-全球环境基金会/科学和技术咨询小组关于 MAR 研讨会，2005 年 9 月在联合国教科文组织新德里办事处

## MAR 的目标

可管理的含水层补给（MAR）有可能成为联合国千年发展目标的一个主要贡献成果，针对供水尤其是为干旱和半干旱地区村庄供水。

使用地下水的好处已经明确地被证实，储存水资源的含水层，如果能加以有效的利用和

管理，能在以下几个方面起到重要的作用：

- 减少贫困/稳定生计
- 减少风险；在经济和健康两个方面
- 通过可靠的灌溉保证，增加的农业产量
- 增长经济效益
- 分配公平（高水位意味着每个人有更多的使用机会）
- 降低脆弱性（对于干旱时期，降水的变化）

可管理的含水层补给（MAR）和雨水收集有助于维持上述利益，尤其是作为一种较广泛的方法应用到水资源管理实践中，而其水资源管理是强调需求、水质及供水方面。

MAR 往往以最廉价形式为城镇和小社区提供了新的安全水供应。由于缺乏对水文地质学 and/or MAR 知识的理解，其领会吸收得到限制。通过培训和示范项目，MAR 有可能为联合国千年发展目标的水资源供应目标作出重要贡献，尤其是为干旱和半干旱地区村庄供水。

MAR 描述了含水层中水的有目的储存和处理，“人工回灌”一词也被用来说明这点，但在一个社区参与水资源管理变的越来越普遍的社会，“人工的”这一含义，在一个很多社区参与水资源管理的社会中越来越普遍，表明是时候换个新名称了。可管理的补给是有目的的，正与垦荒、灌溉和安装水管等带来偶然补给相反。MAR 也被称为增加补给、蓄水和可持续的地下储存。

MAR 作为地下水管理者工具的一部分，有可能有利于对受到产量下降、盐水入侵或地面沉降的含水层重新加压。其本身并不能治理过度开发的含水层，仅仅能提高抽水速率。然而它作为一系列措施的一部分，可能对控制开采和恢复地下水平衡起着重要的作用。MAR 在雨水集蓄和重新利用方面也发挥着核心作用。许多城市通过渗盆、集水坑和井将雨水排到含水层里，随后再将水重新用于饮用水或灌溉水供应。

消息灵通的社区、城镇规划者、开发者、水公用事业和监管机构能更好的研究创新方法，来减少城市地区的水资源覆盖面积和创建更多可持续的和有吸引力的城市。水文地质学家们在他们的地质环境中，担任创造一种 MAR 能发挥作用的意识；并引导社区寻求最佳方案。

可管理的含水层补给和雨水收集通过使用一系列技术已经在世界干旱和半干旱地区进行了几百年。采用的方法和这些干预效力不仅被自然动力也被社会和经济动力所控制。通过经验获得的知识包括不成功的方案，经常不被传播，并且计划的有效性往往也得不到评估。本文试图汇集当前的知识并提供一些来自于世界各地的最佳实践的范例。

当评价作为水管理战略一部分的 MAR 适用性或现有方案的有效性时，下述清单汇集了应该被考虑的问题。文中给出了详情和指南，并在文件结尾的最佳实践实例和参考资料中给出，更多信息在 [www.iah.org/recharge](http://www.iah.org/recharge) 和 [www.unesco.org/water/](http://www.unesco.org/water/) 的检索数据库中找到。

## MAR 的目标和益处是什么？\

- 在含水层中蓄水以供将来使用
- 平复供水和需水的波动性
- 作为一个综合的水资源管理政策的一部分
- 在过度开采的地方稳定和提高地下水位
- 在没有合适的可用地表水贮存的地方适用

- 减少通过蒸发和径流的损失
- 阻止暴雨径流和土壤侵蚀
- 改善水质并减少水质波动
- 保持溪流/河流的环境流量
- 管理盐水入侵或地面沉降
- 污水/雨水的处理/再利用

## 水的来源是什么？

- 常年溪流/河流/运河
- 间歇溪流/河道/洪水流
- 储水坝
- 城市雨水
- 处理过的饮用水
- 屋顶收集的雨水
- 污水/再生水

## 如何对一个地点进行评估？

- 制定一个水文地质概念模型（理解）
- 掌握水文学（包括气象学）
- 评估储存额外水的含水层的空间
- 量化水平衡的组成部分
- 评估地下水和水源的水质
- 使用数学模型评估方案
- 评估下游构造的影响

## 如何进行地下含水层的补给？

- 扩散，渗透池/沙丘间的池塘
- 河床的改造
- 开井，竖井和深沟
- 洞井补给

- 促使河岸过滤
- 来自屋顶集水区的污水渗透坑

### **水质的含义是什么？**

- 去除水源中的悬浮固体，病原体，重金属，有机物质，硝酸盐等
- 稀释劣质地下水
- 优质地下水可能受到的污染
- 通过混合和溶解增加溶解物
- 有害的地球化学反应（砷，氟，铁，锰）

### **需要考虑哪些制度和管理方面的内容？**

- 水权
- 土地所有权
- 法律和监管问题
- 谁支付和谁受益？
- 谁管理？
- 社区/非政府组织？
- 地方/中央政府/国有企业？
- 市政部门/公司？—私人的/家庭的/私营部门机构？
- 综合管理（用户/非政府组织的/政府）
- 联合使用
- 需求管理

### **如何进行效益评估？**

- 稳定/上升的测压管水位
- 增加河流的基流量（环境的）
- 消除盐水入侵
- 减少地面沉降

- 可持续的地下水源
- 可持续的灌溉区域
- 稳定土壤侵蚀
- 实际的成本/效益分析
- 改善生计

## 可能遇到的常见问题

- 堵塞的管理
- 地质学和水文学的误解
- 渗透结构或洞井的设计差
- 运行条件下洞井结构的稳定性
- 计划的运行或管理
- 劣质地下水（扩散混合）
- 保护地下水水质
- 渗透或注入水的流失
- 从试验到实际操作转变
- 政策，社会和宗教的可接受性
- 信息/知识的可用性和传播
- 技术的可用性和人的能力

含水层补给管理因为各种各样原因在全世界范围内得到实施，在它的最简化式中包括限制的地面径流和鼓励通过建造土地堤岸向含水层的渗透。提出了大量的计划来蓄水，以备将来用于饮用水供应和农业。可管理的含水层补给的其他原因包括控制海水侵入，增加低河道的流量，减少径流和土壤侵蚀，吸收洪水以减少洪水的破坏能力以及控制沉降。

含水层补给管理不仅提供了一个有效贮水的手段和更好管理可用资源的方法，而且它也通常以一个有益的方式影响水质。水源水和地下水水质的变化都是由以下因素造成的：颗粒物质的去除及病原体和有机物质的微生物去除，稀释或移除劣质地下水以及本地地下水和含水层物质的地球化学反应。

含水层补给管理应作为一种方法与广泛的其他水源的方法协力一起管理水资源，包括地表储存，地下水的开采，需求管理，水的回用等。

## 印度村级计划中的含水层补给管理

水的保护和补给可以追溯到公元前3000年以上。自那时以来印度农村的干旱和半干旱地区已经建造了渗滤池，淤地坝和蓄水池来蓄水，这也间接地补给了地下水。

无节制的地下水开发，尤其是干旱和半干旱地区坚硬的岩石含水层，已造成大约34万平方千米以上面积水位的持续下降。在印度总的 $4000 \times 10^9$ 立方米年降水量中，大约 $1240 \times 10^9$ 立方米的降水以地表径流的形式损失。据估计， $870 \times 10^9$ 立方米的水仍然可用于补给地下水，并且储存 $200 \times 10^9$ 立方米的地下水是可行的。作为总可行性的一部分，印度计划拥有 $36 \times 10^9$ 立方米的地下水储存量，通过建造约23万小型且简单的补给结构，如渗滤池，淤地坝，地下堤坝等。

REFERENCE: Chadha, D K. 2003. From Chapter 3 of "Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage." NCC-IAHPublication. No. 4.

## 水质问题和回灌水源

地下水（包括天然保有的和由于人类活动改变的部分）的水质，以及地下水和回灌水的相互作用是需要我们了解和管理的。地下水可管理的含水层回灌的一个必备条件是一个具备适合水质和充足数量的水源。一些水源可被考虑用作回灌水，如地表水、雨水、处理后的污水或饮用供应水。

地下水的天然水质会随着其周围岩石类型的改变而不同，在含水层中的地下水通道中也是如此。没有受到人类行为影响的地下水，从化学、混浊度和微生物方面分析，被认为具有极好的水质。然而，地下水中会天然地发生铁、锰、砷、氯化物、盐度、硼等的富集，这会使得地下水不能满足饮用水或其他用途用水的水质要求。地下水的高水质方面是由于雨水和河流水渗滤过土壤区进入含水层的工程中发生的天然过滤和微生物处理过程造成的。在这个过程中，多层覆盖的岩层保护了地下水免遭人类污染的危害。

地下水的天然水质在一系列广泛的人类活动影响下会发生改变，最显著的人类活动有：地下水抽取、回灌增强、灌溉、土地使用的改变、农林业、城市规划、采矿和液体及固体废物排放。

地下水受到的最大威胁是由咸水侵入沿海地区导致的盐化或是由于灌溉用水和废水经深层渗滤作用进入深层含水层。在研究回灌对某一特定水文地质环境的影响时，首先了解地下水的天然水质、人类活动的影响以及用以控制由此引发的水质问题的处理过程是非常重要的。在这个基础上，回灌对原有地下水和回灌水的可能影响就能被预测和监测，用以避免不合理的影响。

一般来说，在潜水含水层已经被过度开采的地区，水位的下降最终将伴随水质恶化现象的出现。通过地表渗透构造进行的剩余雨水的回灌常常能够提供高质量的水，因为这一过程不仅能够补充水资源，而且能够通过稀释提高水质，或者通过形成一个水力栅栏用以阻隔来自侧面的咸水入侵（如荷兰的沿海沙丘回灌体系）。

在通过回灌井将处理后的饮用水或暴雨水注入含盐承压含水层的过程中,由于矿物质的混合和溶解,回收水的水质会逐渐恶化,不过这一问题可以通过脱营养物过程和一些有机混合物的衰减过程得到改善。

总的来说,想要从水质的角度来评估可管理的含水层补给的效力,首先了解原有地下水水质、人类活动的影响以及涉及到的地球化学处理过程是非常重要的。一个合理的概念模型可以通过一项地下水水质抽样方案以及对有关水文地质学和该地区人类活动的认识建立起来。这样,适当回灌体系的可能影响就能被预测,并通过监测进行检验。

## 地表水(案例B、H、I和J)\*

基于气候情况,地表水可以作为一项重要的回灌水源。在潮湿的情况下可以预期河水水流的平稳变化,这时,长期持水的河流占主导地位。而在干旱或者半干旱的情况下,短期持水的河流占主导。长期持水河流中的水可以被引入附近的回灌设施,或是修改河道将其引入较远处的回灌设施处。尽管回灌的主导因素是水质的改善而不是存储,直接通过河岸渗滤是一项常被采用的方法。

河水的悬浮液可以携带相当数量的泥沙,其所携带泥沙的数量取决于地表覆盖情况和水体涡流以及河流的“能量”。低地、缓慢流动的河流中一般携带有每立方米数十克的泥沙,而在山体河流中这个含量可能为每立方米数百克,在洪流中这种情况将翻好几番。如果将河流水直接用于回灌设施中,这种河水的悬浮物将会引起阻塞。因此在河水进入渗透池之前应先用沉淀池对其进行处理。

在湖中,水流流动不显著,湖水一般较清澈,含有少量甚至没有悬浮物质。在没有污水排泄和农业用水流入污染,且只有少量海藻生长的情况下,湖水可用于直接回灌,无需任何预处理过程(Huisman and Olsthoorn,1983)。来源于受污染的河流和湖泊,尤其是那些含有工业废弃排放物的水,在回灌之前,应先对其进行预处理过程。在某些情况下,可以使用渗滤池,通过其中的物理和生化处理过程对回灌地下水进行处理,以提高水质。

## 雨洪水径流(案例A、C、D和G)

城市地区能够产生大量的雨洪水径流。由于大雨过后带来的排泄高峰,这些径流在数量方面具有较大的可变性。为了获得较连贯的供应,推荐径流地区建造渗透和雨洪水保留池、植草带、有孔路面和潮湿的土壤(Murray and Tredoux,1998)。

在农村地区,密集的降雨能够产生地表径流,提供给农业用地和未耕地。在一些地区(如印度的Saurashtra),这些径流被引入人工挖掘的有大直径井口的井中,直接回灌入含水层中。在一些时候,人们建造支撑堤来减少水中含有的悬浮沉淀物,而不是已溶解的污染物。基于这个原因,由于可以通过渗滤、化学以及微生物的处理过程,可管理地去除一些溶解的成分,如氮类和病原体,因此通过土壤或沙层进行的渗透方法优于通过开放井进行的直接回灌被鼓励采用。

雨洪水径流在水质方面具有较高的可变性。其中包含的污染物包括沉降于径流表面的大气污染物、公路表面堆积物、建筑活动、工业废弃物排放、动物粪便、腐烂植被、用于绿地和花园的化学物、化粪池渗漏和废弃物垃圾。最高的污染物含量可以在最初产生的雨洪水径

流中观测到，为提高水质，这部分的径流应被废弃掉。城市地区水质最佳的雨洪水径流来自于屋顶，而且一些地方（如印度的政府建筑）正在提出越来越多的倡议，用以将这些水通过渗透设施、井和地上凿洞直接用于地下水回灌。这一举措不仅将补给常被超采的城市地下水含水层，还能将水质较高的水资源引入常被污染的地下水中。

在农村，来自农业用地的雨洪水径流中所含有的污染物包括残留的杀虫剂和化肥以及来源于家畜、人类和其他来源的废弃物。一旦这些径流被直接回灌入含水层，土壤区的渗滤效力将丧失，含水层的污染物风险增加，可能将需要其他形式的处理来进行补偿，如缓慢的沙粒渗滤。

## 再生水（举例）

再生水作为一种水源，由于其流速和组成在时间上具有高度的一致性，其数量是可以预测的，但其质量较差（Murray and Tredoux, 1998）。污水必须经过严格的处理，然后才能考虑用作含水层补给，以使地下水水质退化程度最小。相关的污染物取决于污水的来源，也就是工业污水或家庭污水。污水能够为所有非饮用水提供重要的潜在水源。然而，通过适当的预处理，后处理或与当地地下水稀释，它也可以作为饮用水(Bouwer, 1996)。

由于不容易得到公众的认可及管道和抽水站费用等相关问题，限制了再生污水的利用率，如将再生水从污水处理厂运输到需要的地方等。渗透池在改善污水水质方面有一定的优势，污水可以经过土壤含水层处理或可以经过当地地下水得到稀释。补给和回采也能对污水进行自然处理，它是水能够再利用的基本要素。将开采水灌溉饲料作物比灌溉人类直接食用的作物，或用于饮用水供应更容易被公众接受。当再生水将要被直接利用时，需要更高水平的处理和更安全性的操作。

再生水水质主要取决于来水水源的水质情况，及排入的工业污水情况和预处理过程。城市污水的水质是最稳定的。相关的潜在污染物包括氯化物，有机物，氮化物，磷，病原生物以及悬浮颗粒（地下水补给委员会，1994）。有毒污染物主要是由工业污水的作用造成的。灌溉下渗的水进入地表排水系统后，其中的悬浮颗粒物、营养物、农药残留物、增加的含盐量、及其硒、铀、硼、砷等微量元素都会对水质产生影响（地下水补给委员会，1994）。

## 饮用水（举例）

饮用水是含水层存储和回采（ASR）的主要水源。将处理过的高质量水注入井中，通常注入承压含水层形成气泡。将不利于饮用的含水层中的自然水移除，也能形成这种流动，并且是一种划算的，环境可持续的解决大范围问题的方法(Pyne, 1995)。这个计划通常建立在水处理设施附近或补给水的源头，以节省成本，利用剩余的处理容积。

在干旱地区比如中东的海湾地区，需水量超过了可从更新水中得到的水，利用淡化工厂的淡水以减小这一差距。必须提高淡水存储能力，以确保在紧急情况下有可利用的水，如遇到淡化工厂停止运行时。我们已经实施了野外实验，评估将淡化水注入含水层，建立淡水存储的可行性(Mukhopadhyay and Al-Sulaimi, 1998)。由于淡化水的高质量，由于将水处理到使其与含水层物质的反应最小化的程度，主要的地球化学兼容性问题没有出现，例如，pH 可以调整到非侵蚀性的范围。



## 水文地质背景和补给的控制

可管理含水层补给物理实验的成功，很大程度上取决于当地的水文地质条件。这些决定了补给水通过非饱和区过滤的能力，以及含水层存储补给水的能力。

需要考虑的主要因素如下：

- 含水层物理及水利边界和承压度
- 含水层及上覆岩层的水文地质特征
- 含水层的水力坡度
- 含水层的厚度/表面压力
- 地下水水质
- 含水层矿化度

地表和非饱和区的水文地质条件对使用渗水法起着重要的作用，在水到达含水层前，通过这些区域向下流动。渗透速率依赖于土壤和非饱和带的垂直渗透率。一旦补给水达到了潜水面，含水层存储的水量取决于它的水利特征（导水系数，储水度等），厚度和氧气度。存储水的岩层其渗透率和厚度必须满足在指定条件下回灌补给的速率。另一方面，具有高水力传导系数的含水层能够使补给水很快的扩散，结果限制了能开采的水量。如果回灌的目的是补充地下水，或增加区域内河流基流量，这可能不是问题。

储存能力低的含水层限制了储存额外水资源的能力，且高水位可能导致水快速地向河流的排泄点运动，延长了季节性河流流动的期限。然而，在地下水过度开采和地下水位下降的地方，就不大可能产生这样的问题。事实上，储水容量可以通过自然和人工补给得到补充。虽然，水文地质环境的变化范围很大；从可管理含水层补给的角度，这些可以大体分为四类，分别是：

### 冲积层（例如 B 和 E）

冲积层是由河流的沉积，海洋的沉积，湖泊的沉积组成的，它的厚度可以从数十米到数十千米。通常，主要的沉积物可以在河流下游形成的冲击平原上发现。这种地貌通常情况下是很低的，就像自然的水力坡度。沉积物的范围从高透水性的粗颗粒到不透水的细颗粒泥沙和泥土。自然情况下，非季节性河流附近的地下水位很浅，但在干旱地区或因抽水使水位降低的区域，地下水位可能很深。在前种情况下，含水层中基本没有可利用的储存空间及能开发的资源，这就导致河水侵入含水层中。

### 裂隙硬岩

这种类型的含水层通常由裂隙基岩组成，这种裂隙基岩包括火成岩，变质岩和火山岩。人们发现这些含水层在半干旱地区大面积的存在，尽管它们具有低的储存能力和传导能力，

但它们可能是唯一的地下水源,因此需要谨慎的管理。风化区对地下水的储存具有重要作用,就像是现存的冲击区一样,它们提供一个用来收集和储存间歇性降雨的机械装置,这些降雨然后过滤到下面的含水层。在很多地方,风化区是主要的含水层。同含水层补给一样,地下水开采的成功取决于查找这些风化区和裂隙区的饱和带。从打到硬岩含水层中的井中抽水,可以使上覆的淤积层和风化区季节性地干枯。适当的补给方法取决于要补给含水层的位置。如果补给松散的淤积层,那么渗盆和渗渠可能是最有效的;然而,如果是更深的区域,硬岩含水层是要补给的目标,那么钻孔注水可能是唯一的方法。

## 综合砂岩含水层

对于具有良好的存储能力和传导特性的孔隙/裂隙含水层。表面层决定了补给的方式-包括天然的和人工补给。如果土层是从砂岩发育来的,那么补给能力就会很高,但是如果在它上面覆盖细颗粒的冲积物那么补给能力就会降低。如果含水层的渗透性很高,那么补给水能够很快地消散,可能补给到河流的基流中。对含水层水力学的最好的认识就是需要确保补给的最终结果是有利的。可以通过年度超采来管理含水层,这样是为了“创造”储存量,这个储存量可以通过在雨季的增加补给来实现。

## 碳酸盐岩含水层

除了在溶解产生的裂隙中主要的储存量和流量之外,同砂岩含水层一样,类似的观点也适用于碳酸盐含水层。裂隙中的流量同粒间的流量的比例有相当大的不同,在多孔性石灰石中比较低,在喀斯特石灰石中比较高。根据补给水和污染物快速的扩散来说,喀斯特含水层的反应是最强烈的。在地下水流通不畅的情况下,喀斯特含水层能够提供可用的储存量,例如在承压含水层中。再次,如果它们要被有效管理的话,需要对含水层的水文地质学及其中的水资源有较好理解。

## 可管理的含水层补给的方法

可管理的含水层补给技术已应用了数千年来管理可利用的水资源。这些方法具有复杂性,应用范围从简单的雨水收集到再生水通过深井灌注到盐土层。实用的方法应该满足特定的目的,即最基本的水平是能够进行水的储存和处理。需要认识到堵塞是一个关键的问题,这样就能使影响最小化及可管理化。

存在许多计划来加强补给地下水,它们同建设和操作的独创性一样多种多样。设计这些计划的主要目标是加强补给(有意地补给),但是当有其他活动(例如,灌溉)的同时含水层也可以无意地被补给(偶然地补给)。有意的的方法主要是为了加强地下水供应,但是也可能达到其他一些目的,例如减轻洪涝灾害、减少土壤侵蚀和改变土地使用价值。在这里我们侧重于有意地补给,被广泛应用的方法分为以下几种类型,其中大部分如图所示:

### 渗水法

- 渗池和渗盆
- 土壤含水层处理(SAT)
- 控制洪水
- 灌溉附带的补给

- 非水道修正
  - 检查大坝、沙坝等后面的渗滤池
  - 储砂水坝
  - 地下坝
  - 漏水坝和补给释放
- 井、轴和钻孔补给
  - 开放的井和竖井
  - 含水层的存储和回采（ASR）
- 诱发河岸渗透
  - 河岸过滤
  - 丘间过滤
- 雨水集蓄
  - 野外的池塘等
  - 屋顶雨水收集

许多计划需要低水平的技术，并且可以用少量的工程知识实施（已运行数百年）。这将包括为了提高补给的雨水收集技术、穿越季节性溪流的野外池塘和小池塘。挖井技术已经开发好几代了，地表径流转移到这里（尽管存在潜在的污染问题），以及并发的大部分悬浮固体的沉淀，在印度的一些地方已经变得更加普遍了。储砂大坝、河岸边的泄洪道和终年运行的大坝都需要更多的工程设计和知识，当利用钻孔井、洞井注水和含水层存储和回采时需要更加深层的知识。尽管原理简单，但分布的渗透池计划需要关于物理、水文、地质化学和微生物作用过程以及如何管理使之达到最佳性能的很多知识。类似的问题在屋顶雨水收集也需要解决。

## 渗水方法

渗水法是在地表或接近于地表的潜水含水层的情况下进行补给的。补给是通过在地表具有渗透性的物质的渗透实现的，这可以有效保持渗透率。在有一个优质水的可靠来源的情况下，及扩散渗透在全年中都能运行，典型的水力负荷就可以为好的质地土壤如砂质壤土而获得，每年 100 米是对壤质土壤来说的，每年 300 米是对洁净中粒砂来说的，每年 500 米是对洁净粗粒砂来说的。开阔水面的蒸发速率的范围大约是从凉爽潮湿气候的 0.4 米每年到温暖干燥气候的 2.4 米每年，这样就形成了一个水平衡的微量组分。

在来自于季节性流动，包含有高负荷的悬浮固体的偶发水源的地方，补给设施的管理变得越来越重要，以最大限度的减少堵塞维持渗透速率及将出露水的蒸发保持在最低限度。相对于水面蒸发评估效率的沉积速率与渗透速率的基本监测将在运行管理决策中给予一定帮助。

## 池塘或盆地的渗透或补给

渗透盆地或者是在地面上挖掘出来的，或者是由河岸围成的一块区域，水通过盆地底部渗透的进行补给（如雨水）。如果含水层物质较好，则很快会发生堵塞。在这种情况下，用一层 0.5 米厚的中粒砂将底部和侧面覆盖，可以延缓堵塞进程，延长设施补给周期。在裂隙岩含水层中也应当使用相同的技术，以防止由悬浮固体或藻类的深度穿透导致的不可逆转的堵塞。盆地的深度应当尽量浅，以允许在有必要通过干燥与刮除使盆地净化的地方有较快

的排泄。水位应当能够进行管理以阻止植被的生长或水藻的堆积，这些会阻挡水的流动。可用于渗透盆地的土地面积及渗透速率决定了可获得的补给量。

盆地底部的堵塞是补给期间最主要的问题，它在可延展盆地的底部及侧面产生了一个过滤层。为了抵消这一影响，可考虑以下方法：

1 设置一个散水、干燥和随后清除的转动装置。干燥可控制水藻的生长，它与盆地底部的清除相结合可恢复渗透速率。

2 在盆地的底部构造山脊，控制水位以分选出沉降在水槽的细粒，这可以保持山脊周边的渗透速率（Peyton,2002）。

3 对补给水通过机械处理可出去主要的沉淀作用，以去除悬浮物。通过化学絮凝化可增加沉降速率。

4 对补给水进行氯化，以抑制微生物活性。

5 对土壤的机械处理可通过耕作以增加渗透率。

6 用一层中粒砂覆盖盆地，充过滤器的作用以去除悬浮固体。

## 土壤含水层处理

由于用户和环境的需求，计划水的重复使用已变得越来越重要，这使得来自于污水处理厂的废水被看作是一种资源而不是一个要处理的问题。过去几十年的调查了土壤含水层处理已经开始研究与废水的补给与恢复相关的水力，可操作的生物地球化学过程。在再利用过程中，这个循环有一些优点，包括存储以缓解不断变化的供需要求，通过含水层及土壤通道的改善水质，提高经济，使公众更易接受水的再次利用。通过渗透盆地补给之前污水通常要达到二级标准，并且要前进行氯化。去除所有悬浮固体和微小有机物的首要目标是提高水质。通过脱氮作用去除含氮物质是一个关键措施，正如通过生物过程使可溶解有机碳的浓度降低一样。磷酸盐和金属也可以被去除，但它们却被保留在土壤中。

补给水能够完全被恢复以防止天然地下水的污染，当中无病原体时就可以应用于作物，城市和休养灌溉。然而饮用水的使用要受到残余的有机碳成分和许多合成的有机化学品的限制。这需要在土壤含水层处理之前通过反渗透作用进行污水的处理或碳滤，或者是在开采期间通过天然地下水的稀释来解决。

## 可控漫灌

在地貌相对平坦的地区上，来自于河流的水在运河的作用下可能会分流，甚至在一个很广阔的表面上进行扩散。以最小速度流动的一薄层水避免了扰动土壤。我们观测发现最高的渗透速率是在未被扰动的植被和土壤覆盖的地区。为了时刻控制漫灌过程，堤坝或沟渠应环绕整个平原。一般对土地准备很小，漫灌相对于其它扩散方法来说是非常符合成本效益的。然而，广大的土地表面来进行补给。高泥沙量会在表面沉积，降低补给速率，因此得采取补救方法以保持我们所需求的速率。适用于漫灌补给的农业用地有利于泥沙的去除，但这需要与减少的补给速率进行权衡。

## 偶然回灌（例如 H）

来自于沟渠和田间的多余的灌溉用水引起了水涝和盐碱化问题。然而，一个满足水量且可管理的偶然回灌，能够带来一定效益。例如，在印度恒河平原地下水水位十年间上升 6 米，除利用地表水的灌溉季节外，越来越多的是开采地下水进行灌溉。国际水管理研究所（IWMI，2002）估计，每年大概有 60% 的地下水作为稻田用水，多余的水可任意渗透到地下水中。近期的研究表明，大运河灌溉系统可进行改良以增加地下水补给。

当城市污水用于灌溉发生偶然回灌时，地下水水质就会出现。例如，在墨西哥，城市污水被广泛的用于农业灌溉用水，在莱昂和墨西哥城开采地下水（超过补给量）以满足迅速增长的人口要求，造成城市周围地下水水位迅速下降。然而，在用污水灌溉的地区，地下水水位接近地表。工业废水中含有多种污染物，在莱昂，制革业污水是该地区污水的重要组成部分。在灌溉区，影响地下水水质主要是存在于上游水深为 50 至 100 米中氯化物浓度为 800 至 1000 毫克/升的劣质水体。污水中的许多其他污染物，在分配系统和土壤中被去除或降解。这有助于防止污染物如有机碳、营养物、重金属和病原体进入地下水体。在该地区对地下水主要威胁是增加了城市供水井中氯化物的浓度(Chilton, 1998)。

在城市地区采取偶然回灌也是同样重要的，因为它是流域水量平衡的重要组成部分。在城市地区，渗透水、处理后的废水和雨水系统的渗漏都有助于地下水补给，在某些情况下会引起地下水水位上升和溢流。

## 河道内修建

### 淤地坝后的渗池（例如 A）

以河底冲积层为施工材料建设跨越河床的淤地坝，是回灌地下水的一种廉价的方式。为了避免每年侵蚀与破坏这种结构，通常建设混凝土的泄洪道；以截留容纳和通过地表径流，堤岸内也同样建设为混凝土结构。堤岸的相关结构使进入河流的水流减速，从而为水流入渗地下以及减少土壤侵蚀创造了机会。

一系列的排水结构将减少强径流的破坏性(e.g. from monsoon rainfall)，从而减少了水土流失和泥沙运输。由于水仅仅通过这些结构，而且时间很短，为了利用土壤水，可以立即进行耕种，这将会增加农作物年产量。翻耕土地也可以保持土壤的渗透能力，为下一阶段的渗透做准备。

在肯尼亚和印度的许多地区的地表堰及台湾的充气坝，被用来延长储水期，增加了在季节性溪流中冲积层的受湿面积。

### 储水沙坝（例如 G）

沙坝的最好位于干旱气候条件下的地形起伏地区，在那里径流往往被认为是突发性洪水。水坝通常建设在沙地上，而季节性河床通常在山谷中。大坝建在岩床上，跨越河床，以减缓突发性洪水或延长季节性河流的时间。这使得大颗粒物沉淀下来，并且堆积在坝墙的后面。在每次突发性洪水后，坝墙会升高加固，而大坝的高度就能确定洪水量和沉淀物总量。然而，溢流可以带走细小颗粒物（Murray 和 Tredoux，1998 年）。理想的情况下，在该地

区主导岩层会风化成大颗粒的沙质沉积物，如花岗岩，砂岩，石英岩。随着时间的推移，在突发性洪水区建立一个人工含水层，使水下渗，而不是流到下游。这些储存水可开采使用，然而，储沙坝也可建造在可透水的基岩上，从而补给潜水含水层。

## 地下坝

冲积含水层地下坝可用于滞留水流。在基岩很高限制水流的季节性河流上，沟渠建造在跨越河床的地下岩层中，并且用低渗透材料回填来限制地下水水流。地下水通过井或钻孔来开采。

## 渗漏坝和补给释放

在流速很快，并且含有大量的悬浮固体的地方，在渗透补充含水层之前，水可能在流域或大海中消失。在这些季节性河流中建设大坝可以通过促进沉淀来解决这一问题。水通过管道被释放到河流下游，在那里地下水得到了补给。在纳米比亚，OMDEL大坝方案是一个很好的例子（Zeelie，2002年）。这一主题的变化是漏坝的建设，该漏坝中含有一个贯穿大坝的填满岩石的管道（Kahlown，2004年）。这些结构储存洪水；通过渗漏渗入下游河床促进悬浮物的沉淀和水的释放。

## 井，竖井和钻孔

### 开放式井和竖井

在地表岩层渗透性低的地方，这种结构是用来补给浅层潜水含水层，渗水法没有成效。由于过度开采的增加导致地下水位不断下降，从而使井干涸。

在进行补给之前，尤其当补给水源是雨水时，需要先去除水中的悬浮物，以减少孔隙的堵塞。随后，抽水可以把孔隙中的小颗粒冲掉，并且在一定程度上有助于恢复补给能力。也可能需要沉积物的物理去除和喷射。

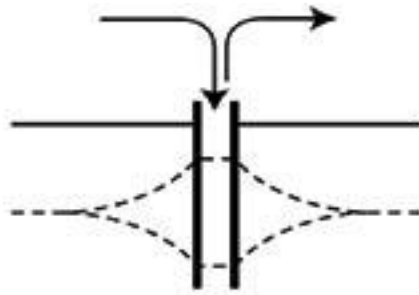
使用井回灌含水层，不仅悬浮固体直接进入含水层，而且还有化学物质（硝酸盐，农药等）和细菌（包括粪便）污染物。相比于开放经前面所述的渗水设施有其自身的优势，水从地表通过土壤和冲积层下渗，成为有效的过滤器或处理机制。粗颗粒物有时用来填补坑或渠沟，可作为过滤器使用，如果堵塞严重，可能需要进行更换。

深坑和沟渠的补给使用在低渗透材料覆盖含水层的松散岩层中，沟渠的深度约5至15米（Bouwer，1996年）。为了能直接进入含水层，这种结构要挖足够的深度以透过低渗透层。深坑和沟渠把侧壁表面积建成最大，而底部面积建成最小，以促进补给水的水平运移进入含水层（Murray和Tredoux，1998年）。沟渠可以用粗砂或细砂砾回填，水通过填充层而下渗。这种设施可隔离阳光、动物和人。

一般情况下，深坑和沟渠建设费用高，补给水量少，因此，除了在被遗弃的采石场、砂石坑等中应用外，大多数情况下它们的应用受到了限制。

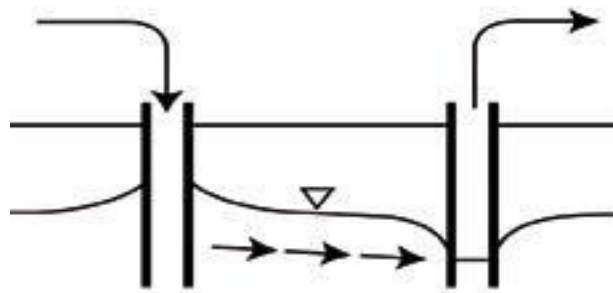
### 钻井和钻孔（如D,F和J）

井或者回灌井位于目标含水层较厚且低渗透性岩层上，水直接补给到含水层中。当土地匮乏时补给井很占优势。然而，钻孔回灌对补给水水质的要求通常比以扩散方式补给地下水的水质要求明显要高。这种方法的详细描述超出了本篇论文的范围，但是可以在 Pyne 中找到（1995, 2005）。在回灌和开采的井/钻孔（含水层存储与开采：ASR）的地方，成本缩减到最小以及在恢复周期内清除堵塞。水可注入井中以及从其他井中开采，这样有一段距离以增加运动时间，并得到含水层的过滤（从含水层的水处理能力中受益）。这就是含水层的储存运移和开采（ASTR）



ASR

建造这些体系结构的技术相当复杂，需要一定的工程技能。结构设计中可能会有很大的不同，其中包括在基础井中的钻井施工和分级过滤材料填充该井；（a）限制会迅速堵塞系统的悬浮固体的进入（b）限制有可能污染地下水体的污染物流入。



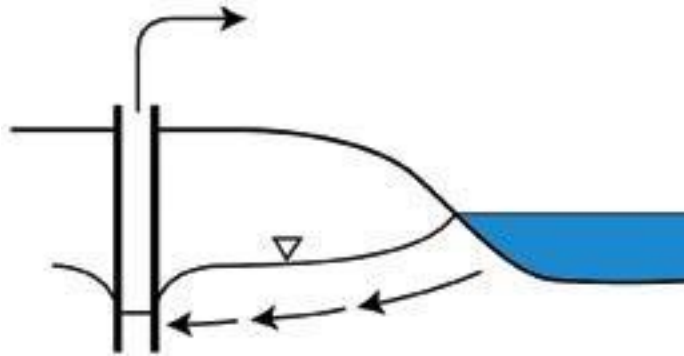
ASTR

由悬浮物、补给水过程中夹带的空气、微生物生长或化学沉淀引起的含水层材料或含水层的钻孔滤网堵塞是一种经常遇到的问题，导致回灌井中水位过高。这些堵塞过程可以通过补给水的机械处理以及通过沉淀或过滤的方法去除悬浮固体。注入水要通过一个真空管，以确保一个连续柱面。水的某些化学预处理能够防止铁的絮凝体和碳酸钙等，加氯或其他消毒能够阻止微生物生长。在使用期间内堵塞的井需要定期恢复，通过反冲洗和抽水去除细小堵塞物和自然生长的细菌，在空气堵塞井中使用润湿剂去除空气。如果观察周期回冲的过程，碳酸盐岩含水层会出现少量堵塞，这是因为略带酸性水的注入使方解石逐渐溶解。

## 诱导堤岸渗透

## 堤岸过滤（例如 E 和 I）

河床渗透方案通常包括一个廊道或在短距离内的一排钻孔，并且与地表水体的堤岸平行。井的抽水降低了附近的河流或湖泊的地下水位，把河水引入含水层系统。为了保证得到令人满意的净化地表水，运移时间应当超过 30 至 60 天（Huisman 和 Olsthoorn，1983），因此，地下水运行的距离应确保这种情况的发生。



BANK FILTRATION

控制诱导渗透方案成功的因素有：一个可靠的地表水水源、可接受的水质、河流或湖床沉淀物以及附近的地表水体的岩层的渗透性（O'Hare et al., 1982）。假如河流或湖床和含水层的渗透性很高，含水层具有足够的厚度，从井或廊道中提取大量的地下水不会对地下水位进一步下降产生更严重的不良影响（Huisman 和 Olsthoorn，1983）。

河流和湖泊水往往携带了大量的悬浮物，因此，如果水进入含水层，被细小的底质过滤，并在河流/湖泊底部留下了一层过滤膜。这为渗透水提供了有效的处理，但如果在低水位期间，过度的堵塞表面可能会报废。

## 丘间过滤

用在沿海地带的一个特别的变种方法称为丘间过滤。在沿海沙丘间的山谷充满着从河流渗透到下面沉积物的水形成了一个补给丘。除了提供进一步向内陆引入的水源外，在阻止盐水入侵方面，沙丘也起了重要作用。这种技术已用了几个世纪，并且在河流是补给水源的荷兰沿海地区这种技术得到了高度发展。在其他方案中还包括把雨洪水和城市处理过的污水作为水源。



丘间过滤



这些方案的一个重要目标是提高水源经常劣质的水质,为了了解和完善悬浮固体以及堵塞和溶解固体衰减的管理,进行了大量研究,包括有机化合物、应用物理、化学和生物过程。

## 雨水收集

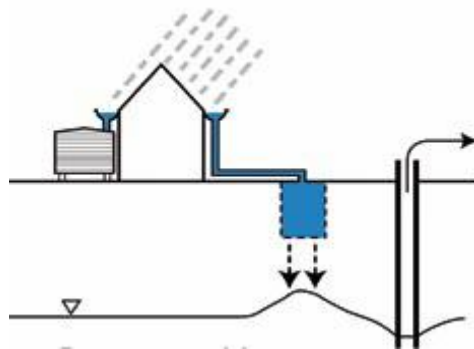
雨水收集的最广泛的意义是对径流进行收集用于生产。这通常涉及到更大的范围的降雨集中,用在一个较小的地区内如土壤水分或为了补给地下水。屋顶雨水收集是一个特殊的情况,越来越多地用于城市地区的罐储存、城市灌溉和地下水补给。

### 干旱地区耕作(Example G)

半干旱和干旱地区的耕作系统利用降雨的 15%到 30%,大部分蒸发掉(30 - 50%),其余的将会从表面流失(10 - 25%)和补给地下水(10 - 30%)(van Leeuwen and Beernaerts, 2002)。影响范围从田丘、犁形和排水渠的岩石堰到洪水改道进入种植区,所有这些旨在减少径流并集中将水储存在土壤剖面或更深含水层中。无论是使用哪种系统,其目的是大幅度减少地表径流和蒸发,以提高农业生产,并且经常可无意识地增加地下水的补给。

### 屋面雨水集蓄

收集房顶雨水可以储存雨水用来直接利用或补给地下水。这个方法需要一个有檐沟的房顶连接排水管把雨水分流到现存的井中或其他补给设施中或储存箱中。排水管,房顶表面和储存箱应该是一种惰性化学物质来构建,像塑料,铝合金,镀锌铁,或玻璃纤维,这样可以避免污染雨水。在直接使用水的方面,暴雨中开始的雨水经常白白流掉,冲刷了汇水区和檐沟的累积物质。污染物的主要来源是空气,小鸟和动物的粪便以及昆虫等。通过保持屋顶表面和排水洁净而使细菌污染最小化,但不会被完全去除。城市中收集和储存雨水的优点是减少对供水系统的需求,还减少雨水径流量和雨水泛滥。



## 堵塞问题

对大多数上述的方案,细颗粒的沉淀以及引起的含水层的堵塞是遇到的主要问题。可能由悬浮物,微生物生长,化学沉淀引起 ASR 类型注入井堵塞,同时夹带空气泡也会堵塞孔隙。对运作结构和堵塞机制的完全理解需要成功的管理。如果入渗率同开放的水的蒸发量相同,则补给结构的价值应该有问题。这种情况可以通过在入渗之前减少潜在的堵塞来解决,通过

废料，抽水或其他物理或化学方面对入渗面进行周期的去除。方法有：

- 1) 在低流量的季节，水可以通过沙坝墙上的开孔流过，这样可以使水有足够的速率来保持细颗粒悬浮，允许泥沙自由通过沙坝。
- 2) 管理流域的结构来降低坡面径流和土壤侵蚀，例如通过等高耕作法，沟溪堵塞，防止过度放牧，利用种植来保持土壤等。
- 3) 在回灌水适用于大坝，扩散结构，或大口井之前，淤积池上游结构设备使细颗粒沉积。这包括泄水坝和补给坝释放。
- 4) 因为注入井中入渗面积很小，所以对水质要求特别高，并且如果解决堵塞问题可能需要沙滤，脱气和消毒。
- 5) 含有高营养负荷的废水必须处理去除悬浮沉积物和氮形态的污染物，可以通过干湿交替循环来解决。参考土壤含水层处理 SAT (Bouwer,2000)
- 6) 通过刮削周期性去除沉积物的方法可避免细颗粒渗入浸润面过深。

这些管理和维护项目的费用必须满足和调整补给的效益。如果回灌部门是公共的投资企业，那么获益最多的一方需要承担最主要的费用。

## MAR 计划的体制问题

即使回灌计划的水文和水文地质参数很令人满意，如果它没有被有效管理和运行，则还不能确定计划的成功。主要的体制问题涉及到计划和目标的设定，以及被授权的回灌行动的执行和管理。

随着地方政府，开发部门，个人公司，非盈利组织和当地人们的责任（在不同程度上），有多种途径用来执行自然资源的管理活动，例如 MAR。在这一段时间我们关注分权，经常通过洲/政府-非盈利组织等关系来组织低成本的回灌活动。

在过去的二十多年，一个形成的主要制度体系被分权，往往是努力配合推动建立一个“更加自下而上的”的权力，来参与计划的进程。这种情况已经在印度出现，例如 MAR 经常重点关注的流域开发方案，越来越强调共同参与的需要，决策权力被分权。随着穷人不同比例地依赖于普通池塘资源例如水，所以争论产生了，分权管理改善是否成功应该看权力和责任的平等，资源产量或可持续。

分权和共同参与管理明显的区分开。参与管理被定义为一个过程：“在一个工程中有合法权益，既影响了他们决定，这个决定影响了他们，又获得了一定比例的好处”。现在人们普遍认为，加强和保持自然资源的生产率，从事管理资源必须参与规划其恢复和管理，并且受到其影响。如 Farrington et al 指出的，这揭示了从商的新方法：输送资金，管理工程，做出决定等，对各种利益相关者参与建立新的联盟。它还意味着决策权和获取资源轨迹的改变。

尽管它的“感觉良好”暗示参与不是一个中性概念：既得了利益又挑战现实的权力，从商的新方法经常进行激烈的竞争。

对 MAR 关注的重点在于是否进行了单独的实施，在于是否把它作为更广泛的资源管理措施的一部分，是为了确定一种方法，这个方法确保农村人们之间的相互关系，地方组织和国家的之间的相互关系能提高效率，效力和责任性的方式被管理。具体观察下这个工程循环的进程发展，借鉴印度在流域项目范围内的关于 MAR 的经验，以下的问题值得我们重视。

规划目标设定这个阶段的关键问题涉及到需要明确的 MAR 目标，以及如何（被谁）定义目标。特别令人关注的是不同群体的意见和利益，包括在流域的下游部分，以及没有土地和私人水源的群体，还有已经被局部定义和认可的目标。经验表明，较好的项目是优先考虑当地人民的问题和权力（例如可靠的饮用水供应，增加灌溉），讨论了不同群体最重视什么，并采取通融的办法改善生计问题和身体状况。

代表当地人们关心的相关问题：

- 1) 地域/群落选择或资格
- 2) 共同参与的责任（例如建筑，成本分担）
- 3) 技术的选择（例如设计和结构位置）

此外，经验表明灵活性和共同决策是非常关键的：咨询和组织当地群众为投入项目的时间和资源提供意见，并明确规定不同小组的义务和责任（如周围环境的保护）的项目具有长期的较好的表现。

在计划阶段，围绕着含水层补给管理的一个重要事情就是考虑公平分配的问题。在没有稳定的水进入形式及水权的前提下，同等的分配补给工作带来的利益的设想是不可能的。以此，一个工程需要考虑怎样分配大概的花费及带来的效益：

## 印度流域发展方案及含水层补给管理

在印度，含水层补给管理在农村地区作为有代表性的方案的一部分实施目的是发展或恢复河流域。这些流域发展方案包括土地开发、保护、水土保持、植树造林，草原开发以及园艺展览工作，也有明确详细的水资源保持、增加方案。

在印度独立前，有许多形式的流域发展工程已经实施。但，对政府影响最大的事情发生在二十世纪七、八十年代，在此期间，经过长期的野外实验表明，人为的以及植被对土壤及水流的阻拦能够有效增加资源生产力。这些实验是在政府部门的指导下，进行了大量的控制工程，计划及方案，以支持小型流域的发展。

早期的流域发展方案是以生态问题为出发点的。解决生态问题，通过设立物理目标，限定流域工程的规模和范围，并且将工程作为公共事业进行管理，但地方参与却很有限。回顾早期工程可发现，在管理环境以承担人民生活收入问题上只取得了有限的成功，这其中只有很少工程由NGOS及其它地方代理管理。

在二十世纪九十年代，这些方式改变很明显，反应在水利部门政策的广泛改变上。其目的是促进发展多数人关心的计划问题，尤其是从物理目标到综合方式恢复和发展环境资源的改变，从而发展经济资源及减少贫困。在战略方面，强调参与方式，其中包括地方团体对计划及实施的干预。许多改变是由方针设置的进步促进产生的。(常被称作大众方针)，这些流域发展方针是在1994年由当时的农村就业部提出的。这些方针在几个重要方面取得了重要的改变：

- 鼓励发展政府与非政府组织作为工程实施代理之间的合作关系，包括NGOS。
- 在可能的地方将方案管理权力下放给地方政府及PIAS。
- 使地方人员能够容易地参与流域恢复工作的设计及实施，包括含水层补给管理，尤其是通过流域委员会指导。
- 通过农村发展行政区代理，允许地方政府支配中央财政对流域恢复的拨款。

近年来，小流域管理每年吸收5亿美金，这其中主要来源于政府拨款。相当多的捐赠者的兴趣在于流域发展而不是最少，因为流域发展提供了将综合水资源管理原理用于实施的潜力，包括水的保持以及供给的增加，以支持农村的人民生活。尽管如此，大部分的流域发展方案都强调含水层补给管理的重要性，没有“快速装置”应对过度开采的威胁及急需用水的事情。

- 不同的社会及财富群体，例如，谁应为花费做贡献？谁是工程的未来收益者？
- 不同的地区，例如，如果现在将地表水过度补给给上游，这将对下游用户造成怎样的影响？补给工作的影响既有积极的方面又有消极的方面，没有明确的分界线。
- 不同时期，难道有永远的胜利者和失败者吗？

围绕实施及管理的关键问题以及设计及经费的安排问题与管理组织的组成和能力有关。在管理组织方面，围绕着补给结构或流域发展工作建立的用户委员会是工程援助的前提。社区管理往往意味着社区应将资源用于工程实施及基础建设布置。在此期间，通过当局者的运营及系统管理的控制获得利益。用户对补给工程和工作的承诺可以体现在很多不同的方式。例如，契约合同、提前付款，以及劳动力或建筑材料的提供都可用于批准为用户对系统的要

求，也可用于指示工程工作或政府。这些计划工作与用户的期望一致。花费时间进行社区动员以及用户群组建立，并明确指出他们的权利和义务，这样的工程才有可能更具有可持续性。

在资金的花费安排方面，关注财产所有权，系统运行、维护及恢复花费的规则应在计划阶段建立并通过所有股东的同意。规则必须是透明的，并且要有明确的制定、汇报以及不断评定的程序。此外，工程对较贫穷的住户影响应通过另一个工程解决，这应在捐助系统实施以及补助安排的一致同意下进行。随机应变是重要的。例如，在补给计划的重要花费上，可让较贫穷的住户提供较多劳动力贡献以减少他们的付款。

像上面所说的那样，问题围绕着谁付款以及补给工作中的利益也需要清楚的考虑。像这本小册子上所说的技术摘要那样，含水层补给管理对一个确定的地区，地下水条件及人们用水权利的影响是不容易预料的。

## 结束语

含水层补给管理（MAR）正日益被广泛的用于管理和存储水。根据来源和水的可利用性，需求，地质和社会经济结构的不同，数百年来已开发出了许多方法。在当前先进技术的基础上，这些方法得到了广泛的再开发利用和发展，但是在对其有效性量化评估方面的示例是有限的。

- 更好地了解在实际工作中如何补给结构和它们对水的可利用率，水质，社会和经济可持续性以及对当地和下游的环境的影响，需要积累和传播，以促进广泛的有效成本的实施。

- 含水层补给管理必须被视为水资源整体和集水管理战略的一部分，与地表水和土壤管理，水土流失和污染控制以及需求和环境管理和废水回用一样。它的作用将越来越重要，因为需求增加和气候变化的影响和变化越来越明显。

- 促进含水层补给管理的重点应放在通过网络和良好示范项目的共享知识，支持一系列的培训活动，包括网上资源，课程，研讨会和讲习班。

### 含水层补给管理系统实例

为了解释说明在本报告中讨论的一些问题，列举了从一系列水文背景和使用各种水源中选择一个示例系统。下面给出的摘要提供了进一步的证据，源文件被引用。此外，在报告的末尾列出主要相关文献，更多的信息和例子上可以从 [www.iah.org/recharge](http://www.iah.org/recharge) 网站的检索的数据库中找到。

## 印度拉贾斯坦邦地区流域管理

1985 年，由于地下水的过度抽取，自然植被的砍伐和土壤流失，再加上严重的旱灾，Arvari 流域（与其他集水地区一样）处于在一个高度退化状态。就业岗位，甚至是最不体面的岗位的缺乏，造成了该地区大量移民。非政府组织，塔伦印地协会公司（TBS）提出一个建造月牙形土水坝的集水方案以解决缺水问题，水坝主要是收集从附近山坡上流下来的短

暂而强烈的暴雨径流。在以后的 20 年里，雨水收集与由当地人设计和执行的土壤-水分-森林养护方案相结合。在 Rajendra Singh 的领导下，TBS 提供了经济上和咨询上的服务。取得的进步得到普遍的认同。例如，为建造 Johad 提供土地的农民将主要受益于邻近的补给水。然而，更大的社区也将受益。

通过该地区的示例，该地区越来越多的村庄参与了该计划的实施，已经导致超过 70 个村庄正在参与该计划，建设了成千上万的 Johads 和其他集水设施。人们以共同的目的所形成“Arvari 河国会”，目前正在开展的集水区管理。结合其他流域管理的措施增加的补给已导致地下水位上升，并自 1995 年以来，Arvari 河出现常年流水。

参考：Arvari，科学与环境光盘信息中心，印度。[www.cseindia.org](http://www.cseindia.org)

## B. 用于扩展系统的含水层补给，KAFTARI，伊朗

由于地下水过度开采，造成了位于一百十五公里的伊朗 Larestan 东南部的 Dorz-Sayban 平原地下水位显著降低（1.5 米/年）和地下水水质的恶化。在这一平原，有 3500 公顷的土地以地下水作为灌溉水源。为降低地下水水位的下降速率，该地区在 1983 年和 2001 年之间先后设计和建造了 5 个用于补给地下水的洪水传播系统。

目前，从 Atlantis 含水层回采水严格限制于两井地区。两个大型补给盆地，面积约 500000 平方米，具有 500 米梯度补给含水层。3 个水源可用于补给，即雨洪水径流，地下水和处理过的废水。

雨水收集于滞留盆地中。这个系统将工业区的劣质雨水转移至处理水的沿海补给区。地下水与城市雨水径流流经两井间的沙质含水层，与能够软化水的植物进行离子交换，分配，利用，收集，处理和补给。

为了能够将用废水作为补给水源，已经实施了排污网状系统，这要求将生活区污水和工业区污水分离开来。在排入补给区之前，生活污水和当地雨水一起用活性污泥法处理。处理过的工业废水和收集于工业区雨水不能被回用于城镇供水，可通过一系列的沿海渗透区处理。这提供了一个环境可接受的方式来处置质量较差的水，也在淡水区和可能遭受海水入侵的地区之间形成了一个屏障。

粘土含量低的冲积含水层的分离纯化过程的约束渗透和溶质钾可以追溯到遥远的补给盆地。需要提高的补给水的质量以严格控制排入补给盆地的水的水质。然而，这是在补给水的水质方面唯一可能的让步。如果将可得水全部用于补给，地下水水质将会严重恶化。如果只将最优质的用于补给，虽然数量大大降低，但地下水水质会有所改善。不同的管理战略产生不同的补给水水质特征，这种特征可以在地下水中检测到。因此，由于取决于水的质量需求和供应的需求。灵活性已被纳入该计划的建立，使管理包含或排除各种补给水的成分。

过度开采地下水明显地造成位于伊朗 Larestan 东南约 115km Dorz - Sayban 平原地区的地下水位下降（1.5m/year）和地下水水质恶化。在这个平原上 3500 公顷的土地使用地下水灌溉。为了减慢地下水水位下降的速度，该地区从 1983 年到 2001 年之间设计和建造了用于补给地下水的五个洪水扩散系统。

从 2002-2003 年利用长方形的渠道测量了 9 次洪水中 Kaftari 洪水扩散系统的入流和出流速率。系统的最大的入流和出流率分别是 20.3 和  $7.26\text{m}^3/\text{s}$ 。这 9 次洪水中该系统入流和出流的水的总流量约有 886,000 和 146,000  $\text{m}^3$ 。因此，系统的入流 83.5% 的水补给了含水层，只有少量的蒸发丧失。这表明了洪水扩散系统在地下水补给中具有较高的性能。

70% 以上的悬浮物留在了该系统。这将不可避免地导致堵塞及降低系统的效率，但却改善了用于农业的土壤。此外，含水层补给管理提高了地下水水质，因为洪水的 EC 远远低于地下水的 EC ( 0.3-0.4: 2.0-9.0 dS/m)。

参考: Esfandiari-Baiat, 男, Rahbar, 女. 2004。伊朗东南部 dorz-sayban 平原地区的 Kaftari 人工地下水补给系统的入流率和出流率的监测。

### 3 巴基斯坦漏坝对消耗的含水层的补给

在俾路支省，地下水是唯一可利用的淡水来源。在过去二十年里由于农业发展、人口的迅速增长和工业的发展，对地下水的使用增加了许多倍。由于对地下水含水层的抽水量远远超过补给量，导致许多井、泉水和坎儿井枯竭; 该省最近的长期干旱 (1998-2002 年) 使得局势进一步恶化。

巴基斯坦水资源研究理事会 (PCRWR) 根据其研究和发展项目介绍了在俾路支省建设和运行漏水坝的意义。第一座漏水坝于 2002 年在离奎达约 35km 的 Margat 建成。安装了由 7 测压系统组成的地下水监测网络来监测大坝的影响。

漏水大坝作为屏障通过降低水的径流速度并蓄存水以获得足够的时间解决泥沙负荷问题以减少下游河床毛孔的堵塞。这促使雨水运移和储存到地面以下的含水层中以供将来使用，从而减少了巴基斯坦较为干旱的地区的蒸发损失。

低成本漏水坝和用于防止堤坝渗漏的拦水坝用取自河流及其附近的大块石块、鹅卵石、石块和大尺寸砾石建成。大坝材料分 5 部分被固定到丝质的网中，总高度达到 4.9m。在第 2 部分的顶部和第 4 部分放置着管道以向下游排泄多余的水。大坝顶端是泄洪道及上游和下游的防止水土流失的挡板。大坝的集水区为  $1.79\text{km}^2$  储容量约为 11000  $\text{m}^3$ 。

虽然，漏坝作用的大小只能随着时间的推移来决定，采用这一理论已得到专业人士和农民的赞赏和认可。这种技术将被评估、完善和实施以增加地下水补给。

尽管大坝的设计已得到改进，但仍需要在坝体的上游一侧设置由小的砾石组成的可调节的薄层。这是为了使在雨水进入水库蓄存较长的时间之前通过缓慢排泄一部分到河床以补给地下水。

实施这项技术时必须辅之以其他措施。这些措施包括在集水区实行严格的保护措施和全面的控制放牧措施以及广泛的流域管理措施，这是为了减少水库的泥沙淤积以及提高自然降水补给。在这种情况下这些措施包括在集水区种植 600 棵属于 3 类旱生植物的灌木。通过提供替代能源即对使用液化石油气、天然气和燃料木材进行补贴以阻止对陆生灌木、草原和树木的乱砍滥伐。将农村连入电力网络并统一电费的补贴形式应与以通过以调整补给结构以及流域管理办法。

参考 Kahlow n ， 男， 2004 年。俾路支省的漏坝蓄水层的

#### 4 澳大利亚利用钻孔注射将暴雨径流储存在咸水含水层中以促进灌溉用水供应

世界上的一些地区已经实行将暴雨径流注入咸水含水层以促进灌溉用水供应,但这可能具有更广泛的应用,特别是在半干旱地区。来自南澳大利亚州的例子表明利用人工补给和雨水回收来满足郊区灌溉用水供应在技术和经济上具有可行性以及环境的可持续性。

通过含水层对水重复利用的一个主要动力是为了保护海洋和对暴雨雨水经过常规处理就进入淡水生态系统。更为严格的负荷或排放浓度限制意味着更先进的集水区管理和先进的治理方法更有利于含水层存储和恢复。

适合注入地下蓄水层再利用的水质要满足以下三个条件:

- 避免不可治理的注水井的堵塞。
- 需要保护对地下水现有的和潜在的有益使用。
- 回收的水的水质要满足预期用途的要求。

澳大利亚最近已制定了关于注入地下含水层水质的新准则,这些准则考虑了上述的要求。这些准则不同于在其他国家使用的准则主要有两个原因:(1)他们考虑了除了人类消费的有益用途,以及(2)考虑到含水层的可持续的治理

在澳大利亚,有关含水层注入水水质的新准则已经考虑到上述目的了。这些准则不同于其他国家正在使用的准则,原因有两个方面:(1)准则除了考虑人类消费外,还考虑了其他有益利用的方面;(2)还考虑了如何长效处理发生在含水层中的问题。该准则符合澳大利亚国家水质管理战略原则,并参考了相关的水质标准以确定每种有益的使用的适合程度(或环境价值)。

在有粘土土壤的城市如阿德莱德这样的大城市,直到最近才开始截留少部分的城市径流,但城市排水计划却加速其向海洋排泄。含水层位于灰岩区的城市,由于其地表粘土渗透率较低,雨水不能有效的通过滞留池和低洼处渗入地下。

然而,当钻孔打到 100 多米穿透下覆的石灰岩含水层后,就会产生水力联系通道,这样冬天的径流量可以存储到地下含水层里供夏天开发利用。滞留池和湿地可以收集和收集到的城市径流,还可以减少城市洪水风险和改善降雨和收集到的水的质量。滞留的水经过滤等水处理系统处理后在重力或泵的作用下进入注射井。恢复的水被用来灌溉时一般情况下不需要处理。

研究区位于一个叫作安德鲁农场的发展区,在 Adelaide 市居民区北部的边上。用来向地下注入的水来源于城市边缘的地表水集水区(居民区或放牧区)的降雨径流,该集水区面积为 55km<sup>2</sup>。位于地下 105m 的 19m 厚的第三纪含水层适合注射存水。在距离注射井 25m、65m、325m 的地方设置了三个观测井。含水层由容易发生变化的细碳酸钙胶结物和沙质材料组成,经抽水实验得其渗透率为 180m<sup>2</sup>/d,存水系数为 5×10<sup>-4</sup>(Gerges 等,1996)。

短暂的降雨径流集中到滞留区,经泵抽送后注入到含水层中。从 1993 年 8 月至 1997 年 3 月这段期间内有五个主要注射季节。第一次利用的是水管水,其余的是雨水。共约 24000m<sup>3</sup>的水被注入地下。补给速度各不相同,从 15 L/s 到 20L/s。



注水后只有粪大肠杆菌含量可能会超过灌溉用水标准。后注射的水中大肠杆菌的含量会超过饮用水标准（国家水环境质量管理战略，1992），尽管大肠杆菌四周的死亡量已经达到标准中的要求(Pavelic 等，1996)。目前的研究正在评估水中比大肠杆菌寿命更长的病原体的存活率(Toze, 2005)。

其他参数对地下水水质影响很小或根本没有不利影响，而且通常还是有益的影响（如 TDS）。应当注意的是在进行注射前，地下水在固体溶解总量和铁含量方面没有达到饮用水标准。在被监测的有机化合物中，只有莠去津（常见的除草剂）和五氯苯酚钠（通常用作森林的防腐剂）会在降雨和观测井中被监测到，且其含量远低于饮用水标准。

雨水被注入地下时会遇到各种各样堵塞的情况。最早而且容易识别出的堵塞物是浮游动物，是唯一可以导致注射停止的物质。这种情况可以通过在抽水设施处增加过滤网而得到减轻(Gerges 等，1995)。一些悬浮的沉淀物质可以在注水井和含水层间较大连接区处积累。这是因为注入物中颗粒物的大小（中等-4mm）要小于含水层中的颗粒物的大小（中等-120mm），很多穿过含水层的注入物中的颗粒其直径可能很大，但是这点还尚未确认。Hekmeijer(1997)调查显示物理性堵塞高度可以在井内不断加高，但这点却未与得到足够的重视。通过对注射井进行有效的回扬处理，堵塞问题可以被解决（Pavelic 等，1998）。早期浮游动物的问题要求注射井经常性清理，却可以从积累经验并且可以将回扬次数扩展到每年一到两次。悬吊的沉淀物的监测装置，随对沉淀物起作用的颗粒物一起在空气抽水过程被取出，监测显示沉淀物中只有一小部分(~1%)是来自降雨中。提取出的沉淀物大部分来自含水层基质中由于方解石等被溶解而产生的沙层(Rattray 等，1996)。井壁周围被过滤出的有机质可以使细菌大量生长，这可以短期内导致堵塞问题的出现。

这次试点研究显示，滞水区的降水经先进设备和ASR监测设备处理后，在澳大利亚是可以用于灌溉用水的。在具有处理能力的含水层中，饮用水供应可最终得到发展。同其他许多试点实验一样，在实验过程中也会遇到许多技术难题，但都已经克服了。参考：Martin, R.R., Gerges, N.Z. 和 Dillon, P.J. (2000)经含水层存储和恢复的水源的灌溉标准。第30届水文地质协会大会，南非开普敦。

#### E. 南非亚特兰蒂斯沙丘区补给

亚特兰蒂斯，一个位于南非西海岸的小镇，距南部开普敦大约50km，其生活饮用需水量约为 $5.5 \times 10^6/a$ ，其全部由浅层砂岩含水层补给管理获得。该区气候为地中海气候，多年平均最高气温为 $23.3^{\circ}C$ ，最低气温为 $11.8^{\circ}C$ 。平均年降水量约为450mm，且其65%的降雨发生在冬季5月至9月间。该区地下存在广泛的新生代沉积物，并构成了无砂含水层。在中部地区，砂层覆盖厚度达到了60m。平均厚度为25m。这些沉积物中下伏为页岩和灰色玄武岩，而含水层上部由可移动的沙丘或草木砂所覆盖。由于短距离内的快速岩相变化，含水层为非均质、各向异性的半潜水含水层，水力传导系数介于50-1300m<sup>2</sup>/d之间。

水质的管理，尤其是盐度，一直是亚特兰蒂斯水计划的最大挑战之一。亚特兰蒂斯含水层中的盐度有好几个来源，如，来自大西洋风盐气溶胶，页岩基岩露头的淋溶，这些沉积物是海洋的起源物质。这个系统的部分循环水来自于城镇的经过处理的污水，这些水渗透到含水层中是造成盐度问题的原因之一。最近汇入的数量有限的水质较好的地表水，表明一种重要的低盐度的淡水进入了这个系统。家庭和工业废水在两个子系统中进行单独处理，最终只有来自于处理过的家庭污水用于补给。

生产井的堵塞是一个复杂现象，由各种物理，化学和生物因素单一作用或混合作用造成的。井的开采量的减少使我们发现堵塞问题普遍性。这种普遍性的问题和地下水中存在的铁、硫酸表明这是一种与生物过程的有关的堵塞问题，而不是个别钻孔的物理堵塞。我们怀疑产生这种问题的根源是由于过量开采井水，致使氧气渗入到含水层中。

加强地下水补给能够保障特兰蒂斯持续性的供水超过 20 年，并且继续发挥其重要作用。该方案极具成本效益，并能保证持续扩大的城市很好的进入 21 世纪。该方案可使供水费用节约 80%，如果早期阶段提议的用管道输送地表水得以通过的话。特兰蒂斯可以作为一个模型，来为非洲南部的干旱地区的进一步发展服务。

#### F. 纳米比亚温得尔克裂隙石英岩的补给

温得尔克位于半干旱的纳米比亚高地中部。直到 1970 年，在完成一个主要供水水库后，温得尔克的含水层才作为这座城市的主要供水水源。现在，含水层是一个备用含水层，用于储存地表水，以作为在干旱期间的应急水源。但是自从 19 世纪中期以来，大规模的抽水使这一水源的可靠性受到挑战。

城市起初主要依赖地表水，但是由于降雨的不确定性，使供给水库中储存的水量减少。地下水目前只能满足 10% 的城市需水，但是有了这个大型的地下水的补给管理，可以大大增加供水量，是这一含水层地区在干旱时节成为城市的主要水源。

温得尔克含水层主要由石英岩和片岩组成。地质环境极为复杂，由于几次的折叠和断层，包括逆冲和裂谷。强烈的断裂伴随着对比的物理和矿物学特征的片岩和石英岩导致了高度的各向异性裂缝的含水层系统。

通过实施钻孔测试能够证实含水层蓄水能力在一个很高的效率，并有较高的经济效益。最长的一次测验持续了 195 天，渗透率最高达到了 59.4 升/秒 (214m<sup>3</sup>/hr)。虽然处理过的饮用水来自于供水水库，但是回灌水还需要进一步经过活性炭和氯化处理，这是用来确保只有高水质的水才可以运移到含水层，并使长期存在的堵塞风险降到最低。

温得尔克采取了三个阶段的步骤实施大范围的人工补给。第一阶段，利用现有的钻孔，已经建好的。其回灌能力达到 370 万立方米每年。第二阶段（也利用现有的钻孔）使回灌能力提升到 810 万立方米每年；第三阶段（在含水层的外层增加新的钻孔）提供基础设施使回灌能力达到 1650 万立方米每年，或能满足目前城市用水需求的 90%。长期目标是，在经过长期过量的抽水后，能够尽快的恢复含水层。

#### G. 肯尼亚的地下蓄水

在干旱和半干旱地区降雨量不稳定，而且由于地表径流致使降水大部分损失致使在肯尼亚对土地的压力越来越大。这一地区收集的地表径流水被用于农作物灌溉和牲畜用水。随着干旱频次的增多，以及在 20 世纪 70 年代和 80 年代的几次干旱，在肯尼亚人们收集雨水的意识越来越来强。（托马斯， 1997 年）

有几种收集降水以用于补给的技术，这些技术包括：

回收线：这是由农作物秸秆做成的，简单、容易。它们对于降低梯度很有效。牧草和杂草沿着这些线生长并能够使其固定大约两年，土壤结实困然后又加固了这些线；

牧草带：这些是由没有经过耕种的土地带或是没有播种的牧草带发展成的。正如上面所提到的一样，降水和土壤被保存；

微集水：这些都是几种不同类型的收集坑组成的，这些水是用来植树和种植有价值的农作物的，如香蕉和果树；

等高垄和堤岸：就是把土壤扔到建在等高线上的沟里。他们可以有土和石头建成。他们在挖掘区蓄水。农作物在这个系统有更高的产量，尤其是在低于正常降雨量的季节；

保留脊：这些大沟渠的设计是为了收集和保留汇入的，直到这些水渗透到地下（托马斯，1997:98）。这些保留脊是建在径流从路上转到耕种地的地方。

梯田：这些梯田是由挖掘壕沟时形成的，将土壤堆在远处形成了一道屏障。这道屏障能够保留水和土壤。它们被用来改善保水和控制对耕地的冲蚀以提高农作物产量；

土坝：用以提高泥土的压实度，建于河流的下游和洼地的末端，如果集水区不能保存或是由于牲畜而使地表裸露，那么就有加速淤塞的倾向。很多例子就存在于基础设施失去作用的地方，在这 10 年里。此外，由于高强度的蒸发，使大量的水丢失。

沙坝：就是穿越河床建造的水坝，用于截留水。由于蒸发量小，所以损失的水分最低，使用寿命也很长。它们具有很高的横向和纵向补给，并且具有很大潜力能够创造浅层人工蓄水区。建造一个 60m<sup>3</sup>，最低设计寿命 50 年，最小产量 2000 m<sup>3</sup> 的水坝，需要花费 6000 欧元。这相当于六个 46 m<sup>3</sup> 的，每个花费 1000 欧元的存储罐。很显然建造一个沙坝更便宜，花费 6 个存储罐的钱可以供给 50 个家庭，而这六个存储罐只能供给六个家庭。

## H. 西班牙内华达州南塞拉利昂的灌溉渠道补给含水层

在西班牙南部，每年 3 月至 6 月，由于冰雪的融化产生了多余的水，河水通过大范围的灌溉渠道网络转移到井中和渗透率高的地区。

该地区是在坚硬的岩石之下，主要是片岩，石英岩和岩石下层的石灰岩。人工补给通过灌溉渠道网络实施的，随着等高线的斜率而慢慢减少。在土壤中挖掘的渠道不是直线的而且延伸了有 15 公里长。

水渗透到具有较高渗透性的地区，这些地区或者是过重风化或者是母岩中的断裂区。特别是用于灌溉渠道的沟渠连接了一些通透性好的母岩裂缝。这些渗入的裂缝开口度达 10 厘米。由于该地区补给作用，产生了两种类型的温泉。形成的间歇泉，在这里能观察到地下水循环过程。这种流动形态与灌溉过程直接相关并且一旦灌溉渠道干涸，它也会干涸。进入断裂的母岩石中的水，在该地区的永久泉水也能进行排放。虽然这种流动能维持全年，但是在长时间没有补给时可能会大大减弱。通过示踪试验建立在渗入点和不同的泉水之间的运输时间并且在较浅和间歇泉排放水循环的运输时间大约是 5 天，然而在断裂基岩中水循环的时间保持在两倍。不同的停留时间在供应优质水的永久泉时对水的质量有显著影响。因此，这

些永久温泉是用来供应村庄的饮用水，而间歇泉水仅仅用于灌溉。

从泉中回收的水仅仅占补给水的一部分。大一部分的水是为了保持能够灌溉渠道的上坡中土壤水分含量而消耗掉。随着建立的密集性植被的覆盖，这对该地区有持久的影响。该系统无需尖端的基础设施并且被认为是适用于世界各地其他的坚硬岩石地区。

#### I 在匈牙利地区依靠河岸渗入增强地下水的补给从而供给饮用水

河堤过滤水能满足公众对水需求的三分之一，在匈牙利这对饮用水供应极其重要。在 **Budapest** 饮水供应完全依赖于多瑙河堤岸的过滤水。排泄水量仅仅受限于河堤的渗透量；河流的排泄量比河堤的渗透量多一个数量级。实际上在资源方面几乎不会有任何限制，使这一资源具有较高的安全性，特别是在考虑对其他地下水资源气候变化的敏感性时。与直接对地表水吸收相比的优势是减少了对水的处理要求。被开采的天然河流的自然渗透能力是非常有用的，在吸收的水中没有发现微量污染物。虽然这种优势对于需要高质量公共饮用水的用户和一些工业用途是有价值的，但是不能用于灌溉。用于开采河堤渗入水的井域主要是沿多瑙河，在其他河流仅仅可以找到两个（一个在国家的西南部，一个在北部地区）。实际使用量是每天 90 万立方米（75 % 用于公共用途），潜在开采量大约是 4 百万立方米/天，在这以外每天 30 万立方米的开采量是作为未来指定水资源来保护

#### 在墨西哥通过注射井补给含水层

由于领土的一半以上的区域主要是干旱和半干旱的气候条件，地下水就构成了墨西哥一个重要的发展资源。总的地下水抽取量估计为每年 280 亿立方米：农业使用总量占总量的 71 %，而城市和工业领域的消耗占 26 %。城市人口占墨西哥的居民的 65 %（1 亿）。例如，2100 万人生活在首都墨西哥城。墨西哥城市每年消费 76 亿立方米而地下水供应占了其中的三分之二。在过去 40 年间 100 多个当地含水层过度开发，来自于储存中的每年抽取量为 54 亿立方米/a 并且引起的环境后果。含水层补给的试点项目在墨西哥北部 **Comarca Laguner** 地区开始实施，这个地区是一个主要的农业区。供水是根据河流流入该地区的排泄量而控制的，**Nazas** 和 **Aguanaval** 河来用于灌溉，以及约 3500 钻井在 **Comarca Lagunera** 含水层中抽取地下水来供给农业，家庭和工业使用。目前，据估计抽象量至少是补给量的 3 倍，从而引起测压液面处明显下降以及地下水水质的恶化。主要问题是地下水中砷浓度远远高于世卫组织为家庭而规定使用的 0.05 毫克/升的标准，现在降低到 0.01 毫克/升

试验计划使用了一个合适补给盆地，在托雷翁市的 **Nazas** 河床的附近，面积 13 公顷，容量约 197,000 立方米。将来自于 **Zarco** 大坝的地表水通过 **sacramento** 灌溉渠道运输到补给盆地来实现供水系统。两个钻探的监测井观察在补给水的期间当地地下水位的变化，并在 12 个目前已有水井的条件下额外增加地下水水位监测。在 2000 年 5 月到 8 月的试验期间，总量为 5.2 百万立方米的水通过 **sacramento** 渠道运送到补给盆地。在这些水量中，20 万立方米水被蒸发和 5000 万立方米渗入到地下。由于堵塞，水的渗透能力从 2.4 米/天减少到 0.116 米/天。来自于试验计划的建议包括建设新的设备来控制到达盆地的水的输送，为避免盆地泄漏增加到 0.5 Mm<sup>3</sup>/周，构建并行沉淀池以减少堵塞和建设 20 米深，直径大于 0.3 的吸附水井以避免低传导性限度。