

水文地质工程地质选辑



地下水人工补给

地质出版社

地下水人工补给

第五七四号

水文地质工程地质选辑第十六辑

地质出版社

地下水人工补给

水文地质工程地质选辑第十六辑
北京市地质局水文地质工程地质大队等编著

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑：朱庆陞

地质出版社出版

(北京西四)

沧州地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂印张：6¹¹/₁₆ 插页一个 字数：177,000

1982年5月北京第一版·1982年5月北京第一次印刷

印数1—4,695册·定价1.10元

统一书号：15038·新719

目 录

我国人工补给地下水现状·····	(1)
北京市地下水人工回灌的试验研究·····	(9)
几种地下水人工回灌方法的初步试验·····	(31)
利用浅层淡水回灌深层淡水的几种方法·····	(46)
江西棉纺织印染厂地下水人工回灌中的冷水体储存运移规律 ·····	(67)
石家庄地区浅层地下水人工回灌试验报告·····	(87)
三江平原管井排灌改造沼泽的试验研究·····	(104)
河道建闸蓄水对浅层地下水补给的分析计算·····	(121)
北京西郊西黄村人工补给地下水试验的数值模拟·····	(139)
管井回灌中的堵塞问题及其处理方法·····	(156)
陕西省富平县石川河地下水水库水文地质勘察方法及体会·····	(180)
论海河流域供水的方法·····	(192)
从开源节流保护地下水水质谈北京地下水人工补给·····	(207)

我国人工补给地下水现状

费 瑾

(地质部水文地质工程地质研究所)

我国的人工补给地下水是在最近十几年内逐步发展起来的。最初,促进人工补给地下水发展的直接原因是控制地面沉降以及地下储冷等方面的需要。随后,由于开发利用地热资源、改造地下咸水、改造沼泽地等需要,进行了各种专门性人工补给地下水的试验。同时,由于许多地区在发展工农业生产过程中日感地下水天然资源不足,逐渐开展了以调蓄地面径流和增补地下水资源为目的的人工补给地下水的试验研究。

我国人工补给地下水开展得最早、取得成效最大的是上海市为控制地面沉降而进行的人工补给。

上海市开采地下水已有一百多年的历史,由于长期大量的开采,地下水水位不断下降,并因此造成了严重的地面沉降后果。到1965年为止,最严重的地区地面沉降了2.63米,对工业生产和城市建设造成了严重的威胁。为控制地面沉降,上海市水文地质大队和兄弟单位一起,从1963年到1965年进行了人工补给地下水试验。并从1966年起在全市七十多家工厂,通过一百三十四回灌井,开展了大规模的人工补给地下水和有计划的开采地下水、压缩地下水开采量、调整开采层次等活动。其结果,地下水水位连年大幅度上升。例如1965年至1971年期间,原来地下水水位最低的沪东区的年最高水位上升了17.22米,平均每年上升2.46米;年最低水位上升了24.62

米，平均每年上升3.51米。到1970年时，上海市原来的地下水降落漏斗已经消失。现在由于郊区大量开采地下水，市区的地下水水位已高于郊区，形成反漏斗。由于地下水位的迅速上升，到1974年上海市地面沉降首次得到基本控制。

通过大量的实践和研究，上海市水文地质大队在管井注水人工补给的理论、方法等方面积累了丰富的经验和资料。他们的经验不仅在需要控制地面沉降的各地区逐步得到推广，而且也是为其他各种目的而进行的人工补给地下水工作的重要借鉴。

为最终控制地面沉降当然还有许多问题需要解决研究。其中涉及到与人工补给地下水有关的问题，主要有管井补给条件下的地下水运动规律和动态预测、含水层及弱透水层在充水及释水条件下的物理化学变化规律、管井补给时井下堵塞形成的机理及其防治方法、补给水的净化问题、高压注水的理论和实践等等。

在我国运用较广、效益显著的另一人工补给地下水的工作是为了地下储冷（又称冬灌夏用）而开展起来的人工补给地下水活动。

所谓地下储冷是冬季把低温地面水注入地下，利用地层和地下水温度变化小和地下水流速很小等特性，在地下造成并储存低于原地下水温度的冷水，于夏季把这样储存于地下的冷水抽出来用于车间降温、空调、冷却等用途。地下储冷的经济价值很明显，例如，利用这个方法进行车间降温时，设备投资费用仅为其他制冷方法的20~30%，运行费用为其他方法的20%左右，耗电量则只有其他方法的3~10%左右等等。因此，这个方法很快在上海、北京、天津、西安等地的棉纺系统及其他工业系统中得到推广应用。

地下储热（或称夏灌冬用）的原理和方法与地下储冷几乎完全一样。它是在夏季把高于地下水温度的地面水注入地下，然后在冬季取出来加以利用。这个方法同样有着明显的经济价值，但目前推广使用的程度不如地下储冷。

近年来地下储冷、储热在其应用方法、使用效果等方面已经累

积了一些经验，对其机理问题也作了一定的研究。但有些问题还有待于进一步深入探讨，例如，向地下注入冷、热水后，地下水水体、含水层以及周围岩石的温度变化规律；地下储冷储热效益预测；地下储热方法在太阳能利用等其他方面的应用等：

除上述两种已在我国生产实践中得到一定推广的人工补给地下水工作之外，近年来又在扩大地下热水流量、改造沼泽地和改造地下咸水等工作中进行了人工补给地下水试验：

(一)为扩大地下热水流量而进行的人工补充地下水工作于一九七〇年起在江西、广东、湖南、广西和福建等省试验成功。试验表明：根据热水点的地质构造条件，采用适当方法向地下注入地表常温水，可提高地下热水的压力、流量甚至温度，从而证明这是一种加强开发利用地热资源的有效手段。在江西省宜春县温汤，人工补给地下水已作为一种产生手段使用至今，效果良好。

人工补给地下热水的机理是一个复杂问题，迄今为止进行过这方面试验研究的各省水文地质队对此作出了一定的分析，但还不能认为这个问题已经解决。显然，进一步阐明人工补给地下热水机理问题是自如地掌握这个方法，达到人为扩大地下热水压力和流量的目的，从而使之在地热利用工作中得到进一步推广的一个重要课题。

(二)在那些地面排水出路不良的沼泽地区，采用地表排水方法改造沼泽地是有困难的。但如该地区地下第一承压含水层埋藏不深，且又有能力容纳大量外来水时，便可利用人工补给地下水的方法把沼泽水排入到承压含水层中去，并在干旱季节再抽出来以供灌溉所需，从而达到改良沼泽地的目的。这类工作已由长春地理所于1974—1979年在黑龙江省建三江农管局前进农场初步试验成功，1976年又在一千多亩地的范围内进行了扩大试验。

为改良沼泽地而进行的人工补给地下水工作存在的一个主要问题是沼泽水的预处理方法和防止地下水污染问题。如果水质预处理问题得不到解决，地下水因此而有可能被污染时，这个方法就不能

推广应用。与之同时，沼泽水处理的成本高低又是这种方法能否得以迅速推广的一个关键性问题。

(三)我国华北平原的潜水和浅部微承压水很大一部分是高矿化水。这些高矿化水的存在,既不利于工农业供水,又是产生大片次生盐碱地的原因之一。因此,从长远利益着眼,迟早应该设法改造这些高矿化地下水。

一九七三年以来,河北省地质局、河北省水利局、河北省水利科学研究所等许多单位在黑龙港地区结合盐碱地改良对这些高矿化地下水进行了抽咸换淡试验,取得了一定的成效。试验的实质是在抽排或抽用地下高矿化水,借以降低其水位到临界深度以下,并在腾出一定可蓄水空间的前提下,用地面入渗或管井注水等方法对高矿化地下水所占据过的空间进行人工灌注,人为地在高矿化地下水之上制造或扩大淡水透镜体,并保证这种人工制造或扩大的淡水体的水位不高于临界深度,或者在返盐季节时能控制在临界深度以下。

抽咸换淡的好处很多,它既可以逐渐扩大地下水可利用水量,从而扩大灌溉农田的能力,又可逐步改造地下咸水,免除土壤盐碱化的威胁。同时,在抽咸换淡过程中,当采用地表入渗注补给地下水时,原有含盐份较高的土壤也处在脱盐过程之中,因而可收到迅速改造盐碱地的效益。

抽咸换淡工作需要进一步研究解决的主要问题是大规模实施这种方法时排咸的出路、方法和成本问题。即一方面长距离大规模的防渗排咸渠道工程过大,成本过高,至少近期不大可能实现;另一方面,如不彻底排咸,而仅仅是把咸水从甲地抽出送到乙地了事,则会造咸水转嫁,而使乙地受害,这种“以邻为壑”的办法,当然不会得到推广。此外,抽咸井型、抽水效率、人工补给的方式和效率等问题也都需要进一步研究改进。

除上述五个方面的人工补给地下水的工作外,就我国目前和未来的地下水开发利用、水利建设、环境保护等工作的需要而言,

极为重要的是为调节总水资源、增补地下水资源以及为处理污水、改善供水水质等目的而进行的人工补给地下水工作。

从地下水开发利用的角度来说，随着工农业的发展，各地地下水开采量普遍大幅度增加，导致许多地方出现了地下水资源逐渐枯竭现象。展望未来，由于地下水特有的一系列优点，它在国民经济各方面的应用将更广泛，对它的开采要求也必将日益增大。与此同时，许多地区，特别是干旱、半干旱地区的地下水资源有限，大量开采后地下水资源枯竭现象必将更为严重。因此，要想使这些地方的地下水能长期有效地服务于人类，防止由于地下水资源枯竭而造成的种种灾难，把必须考虑是否有可能对之进行人工补给。

从水圈资源的充分利用角度来说，传统的地表水资源调节方法是在地面上修建各种类型的水库。近年来则发展起另一种调节方法——地下蓄水(或称为地下水库)。地下蓄水有一系列重大优点，这些优点主要是：

1. 不占地或占地很少；
2. 没有蒸发消耗或蒸发消耗很少；
3. 不易受污染；
4. 方法运用正确时，没有次生盐渍化或沼泽化的威胁；
5. 没有防风防浪防冰凌问题，也不怕地震；
6. 造价低廉。

由于地下蓄水的优点较多，普遍认为它是今后调节地表水资源的一个重要方向。

人工补给地下水资源与地下蓄水这两个概念常常不大容易分清。这是因为凡是地下蓄水，就必然人为的增加了地下水的资源。反过来说，在那些有必要进行人工补充地下水资源的地区(也就是因开采而使其自然资源枯竭的地区)，只要是以保证继续开发利用地下水为目的，而且是利用地表有余的水资源进行补给，那么，这实际上所完成的工作就是地下蓄水。

此外，还应补充阐明一点，即这里所说的地下蓄水或地下水库的

含义是指通过一定措施，在地表水有余时期人为地把部分地表水转化为地下水，再在地表水不足时期抽取地下水以满足供水的需要这一整个过程，而不是狭义地指在地下修坝蓄水那种地下水库。事实上，后者也应该说只是前者的一种特定方式而已。

我国人工补给地下水资源和地下蓄水工作已在生产中得以实际运用的例子有山东省桓台县的地下调蓄、河北省获鹿县源泉灌区的地面入渗人工补给地下水以及河北省南宫县的地下水库等。

在松散岩层中调蓄地面水，同时增补地下水资源比较成功的一个例子是山东省桓台县。该县地表水在旱时断流，历年来旱季灌溉依靠地下水，全县有井三万多眼，由于长期大量抽用地下水，导致地下水水位严重下降，因此对该县农业生产形成威胁。一九七〇年至一九七一年，这个县修建了28座抽水电站，挖渠2800多公里，使全县河网相通，沟沟相连。在汛期地表水有余的时候，利用河渠以及地下洞井等种种手段，大量向地下渗水蓄水，借此形成一个一定规模的地下水库。据估计，全县每年人工补给地下水量可达9000万立方米，地下水水位因此普遍抬高2~3米。这些汛期人工补给到下的水资源又在旱季被抽出来用以灌溉，从而克服了旱季该县地表水断流，天然条件下地下水源不够用的困难，有力地保证了农业丰收。例如1972年3~6月全县平均降雨量只有16毫米，但40万亩小麦仍能及时得以利用地下水浇上7~8遍，战胜了干旱，取得了丰收。

河北省获鹿县源泉灌区的人工补给地下水的工作始于一九七二年。这个灌区人工补给地下水资源方法的特点是除去利用渠系和小型水库、水塘的入渗补给地下水外，还在每年冬季利用冶河有余的水源，以大面积大定额冬灌的方式对地下水进行人工补给。在实施人工补给之前，该灌区由于大量开采地下水而使大部分地区地下水水位埋深已降到10—15米以下。实施人工补给四年后，地下水水位上升了3—9米，大部分地区的地下水水位恢复到5—10米，从而使许多原已干枯的水井复活，保证了旱季灌溉需要，促进了农业生产。

南宫县地下水库实质上是一个建立在一段直接出露地表的古河道带上的集中采水水源地。旱季通过集中采水的方法，降低地下水水位。采出的水不仅保证采区附近的需要，还部分输送到该县西部缺水地区以满足农业供水要求。然后在雨季，利用水源地砂层直接出露地表和入渗补给条件良好的特点，除大量吸收当地降雨补给外，又计划输送当时有余的河水至该水源地附近，通过渠道入渗的途径，大量补给地下水。南宫地下水库于一九七六年开始试验，第二年就在抗旱中收到效益。这几年来，试验不断扩大，为解决当地水资源调节问题作出了贡献，也为其它条件类似地区提供了经验。

与上述三处已在生产实际中收到一定成效的同时，北京、陕西、河北、天津、山西、河南等地为增补地下水资源也做过不少试验，有些试验现在还在继续进行之中。这些试验中：除河北冀县、天津大瓦头两地的试验是人工补给深层承压地下水资源试验外，其余都为地面入渗法人工补给浅层地下水试验。其中尤以北京市水文地质大队的一系列试验最为完整，为山前冲洪积扇地区开展人工补给地下水资源探索了道路，取得了大量数据。

总的说来，我国人工补给地下水资源或地下蓄水工作近年来得到一定进展，取得一定成绩，但进展速度还不够快，研究的深度和广度也还都很有限。造成这种情况的主要原因在于人们对目前已出现的地下水天然资源不足，地下水水位大幅度下降等问题还没有引起足够重视，由此也就对作为解决这种问题的主要手段之一的人工补给地下水资源工作的重要意义认识不足。

人工补给地下水资源工作中需要进一步研究解决的问题主要有：

1. 地面入渗法补给浅层地下水资源时淤填的机制及其防治问题；
2. 管井注水法补给地下水资源时的补给水最经济最有效预处理技术，井下堵塞的原因及防治措施，扩大补给量的措施；
3. 各种方式人工补给地下水资源时地下水的运动规律和水质变

异规律、水温度场的变化规律等。

最后还应当指出：我国至今研究最少、处于空白状态的一种类型是为处理污水、改善供水水质等需要而进行的人工补给地下水。这种类型的人工补给地下水工作在国外已有了一百多年历史，而且又是当前为防止污染而正在重点研究发展的一种手段。在我国，北京市水文地质大队虽做了一些通过人工补给地下水方法改善原有地下水硬度的试验，取得了一定的成果，但也没有涉及，通过人工补给方法处理污水、改善供水水质方面。这种状况与我国工业城市水源污染日趋严重的情况很不相称，应该及早展开试验研究，为控制污染，作好环境保护工作而作出贡献。

综上所述，应该肯定在短短十几年中我国的人工补给地下水工作从无到有地发展起来，作了一系列试验研究，取得了一批数据和经验，在生产实践中得到一定推广应用，因此成绩是显著的。但是，另一方面又必须看到，我国人工补给地下水工作与我国经济建设的客观需要程度很不适应，与国外人工补给地下水工作水平相比，也有很大差距。总结经验，赶超先进，努力提高和发展我国人工补给地下水事业，为四个现代化作出应有的贡献——这是摆在我国水文地质工作者面前的又一个光荣而艰巨的任务！

北京市地下水人工回灌的试验研究

刘家祥 执笔

(北京市地质局水文地质工程地质大队)

北京是以地下水为主要供水水源的大城市之一。多年平均降雨量为635毫米,丰水年份雨量最大可达1000毫米以上,枯水年份小于400毫米,多集中在七、八月份。年雨量差异很大,分配极不平均。雨量的多寡直接控制着北京地下水资源的变化,干旱年城市供水就很紧张,我们总结了国内外城市供水的经验教训,逐步认识到:要保证北京长期、稳定、可靠地开采地下水,有必要开展引渗——人工回灌补充地下水工作,以适应现代化城市建设对水资源日益增长的需要。

人工回灌补充地下水,是借助某些工程设施将地面水体引入地下储存,其目的为:

1. 建立地下水库,增加可以利用地下水量,储水抗旱,以丰补欠。
2. 控制或改善地下水水质。
3. 储备冷源,调节水温。
4. 对水利资源进行人工调节以便合理开发利用。

自1965年来我们以雨季洪水、冬季河道基流、工业弃水为水源进行回灌试验。特别是在1976年以来,在市回灌领导小组的组织领导下,我们又利用砂石坑、井、河道进行回灌补给地下水的试验研究。现将有关情况归纳如下。

一、开展地下水人工回灌的必要性

北京地处华北大平原北端,三面环山,由山前向东南为一倾斜平原,西有永定河,西南有大石河、拒马河,北面有温榆河,东有

潮白河，多年平均地表水资源均有50多亿方。其中30亿方被26座大、中、小型水库蓄存。地表水供水占全市总用水量的40%，地表水在丰水时期有余，而枯水期不足。如1971—1973年连续三年的干旱，密云、官厅两大水库放水已到极限，难以保证北京工农业及城市供水，所以，只有依靠大量开采地下水。

随着首都工农业生产的飞速发展，以及生活用水的增大，地下水的开采量与日剧增。1950年北京有各种类型的深井约100多眼，1978年已发展到42000余眼，目前利用地下水为供水水源已占总用水量的60%左右。开采利用的地下水量已占农灌水的70%，占工业用水总量的51%，占居民生活用水的98%以上。在大量开采地下水的过程中，我们逐步认识到：地下水资源并不是“取之不尽，用之不竭”的，而是一种具有周期性补给的有限资源。不加限制随意开采不仅会引起地下水位逐年下降，甚至还会出现水源枯竭现象。

据多年地下水动态观测与均衡资料计算，全市地下水资源是个变量，枯水年约为丰水年份的 $\frac{1}{2}$ 。（图1）

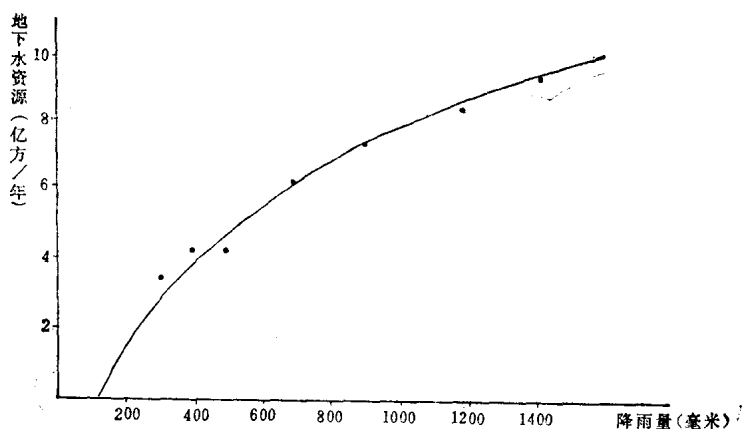


图1 研究区历年降雨量与地下水资源关系图

70年以来本市集中开采地段，地下水补给量与开采量相比，平均每年亏损约1~2亿方。其亏损量只能依靠消耗地下水储存量作为

补偿,这样便造成了部分地区的地下水水位逐年下降,单井出水量衰减,耗电量增大,水质恶化等不良现象,给首都工农业生产和城市人民生活带来不利影响,迫切要求补充和保护地下水资源。

二、人工回灌试验区的水文地质条件

根据人工回灌的技术方法要求,并结合北京的具体情况选择了永定河冲积、洪积扇作为多种回灌方法试验研究区(图2)

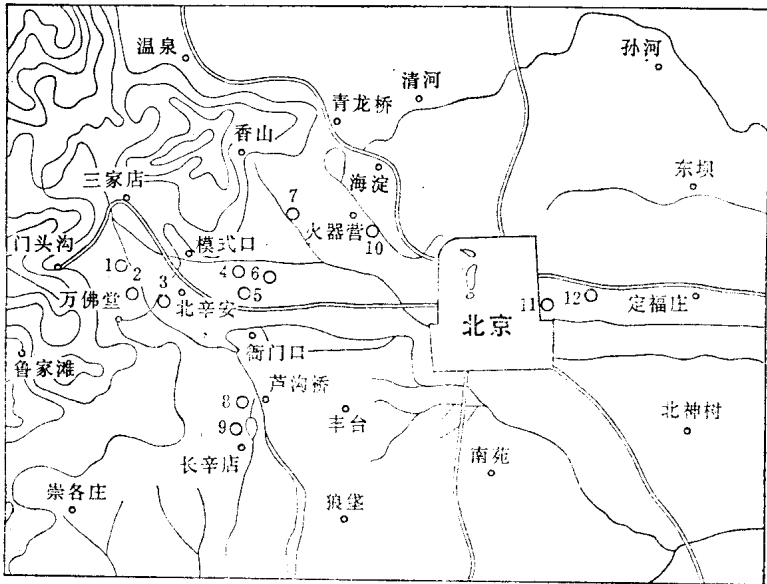


图2 北京市地下水人工回灌试验研究点分布图

- 1—城子化厂; 2—坝房子; 3—首钢; 4—西黄村; 5—八角村; 6—田村
7—南旱河; 8—胡庄子; 9—长辛店水厂; 10—车道沟; 11—日坛; 12—慈云寺

本区地形自西向东倾斜,地面平均坡度为1‰,西为丛山峻岭,出露地层系侏罗系的凝灰质砂岩和角砾岩。局部地区有奥陶系、震旦亚界灰岩出露。

第四纪沉积主要受古地形控制,由于新构造运动、冰川,河流等作用,因而第四纪沉积在成因、岩性及其沉积厚度等方面各处不

一。(图3)

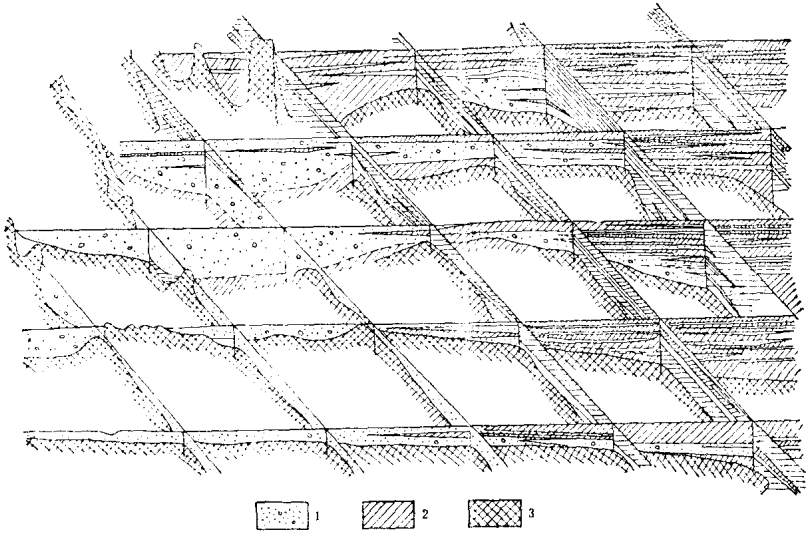


图3 人工回灌试验区水文地质透视图

1—砂砾卵石层；2—隔水层；3—基岩

地下水埋藏西部深，东部浅，流向基本是自西向东，西部为单一的卵石潜水含水层，透水性能良好，厚度约在50~150米，局部地区夹有粘性土透镜体，卵石直径一般在8~15厘米，大者可达30厘米以上，分选良好，渗透系数大于250米/日，导水系数在20000~80000米²/日。东部含水层自地面以下20米左右为潜水，再往下系承压水含水层，可达3~5层，由砾石、砂层组成。沉积物厚度由50米逐渐增至200米以上。导水系数为1000~2000米²/日。

本区水文地质条件表明：

1. 西部含水层分布空间大，渗透性能好，初步估算约有8.5亿方以上的蓄水库容。它的东界为砂性土与粘性土互层，透水性能较差，进入地下水库中的水能够贮存，全区可当作一个天然的地下水库。有利于开展地下水人工回灌和水资源多年调蓄。

2. 根据本区自然单元，含水层的性质，地面建筑以及水库，

河流渠道分布，水源地的位置等特点，在本区西部地表裸露的砾卵石地区，一般采用地面扩展法。而在粘性土和砂砾石互层的东部，采用大井或深井灌注法。

三、人工回灌的方法试验、效益对比及适用条件

地下水人工回灌的方式很多，可分地面引渗和地下灌注两大类：利用平原水库、入渗地、砂石坑、天然河道等地面设施进行试验，属于前一类。在京棉三厂、首钢等处，采用井、竖井试验属于后者。

(一) 利用平原水库进行回灌

长辛店地区，在1964年开始，地下水因开采量增加水位急剧下降。许多地区水井干涸，水源井出水量逐月减少，工农业及生活用水缺水严重，一年中约有一百天缺水，矛盾很突出。

地质资料表明，东北部小清河河谷中大宁水库的位置，正处地下水流的咽喉地带（图4），又是季节性农业用水的调节水库，非

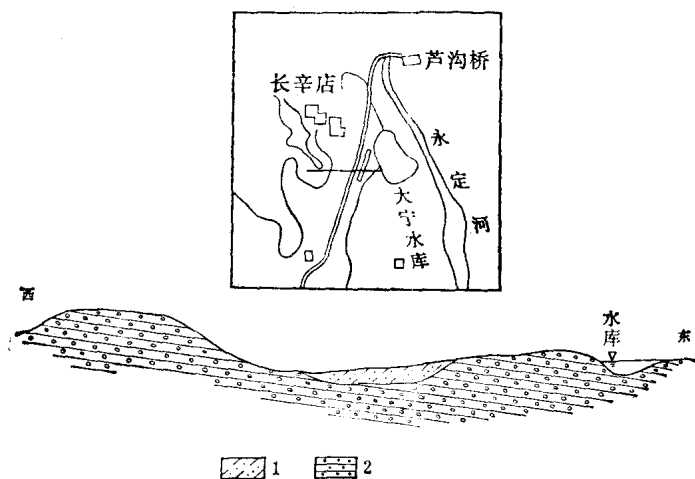


图4 长辛店地区平面位置示意及岩性剖面图

1—粘砂；2—第三纪砾岩