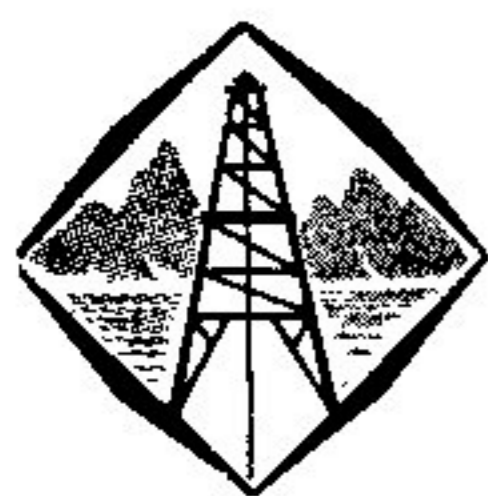


# 水文地质技术方法

第六辑

河北省地质局水文地质四大队 主编

(限国内发行)



地质出版社

1577/03

# 水文地质技术方法

第六辑

河北省地质局水文地质四大队主编

(限国内发行)



北林图 A00069910



219056

地质出版社



**水文地质技术方法  
第六辑**

河北省地质局水文地质四大队主编

**(限国内发行)**

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

1978年3月北京第一版·1978年3月北京第一次印刷

统一书号：15038·新267·定价0.55元

# 目 录

河北省吴桥县杨家寺公社咸水淡化的水文地质分析	水文地质工程地质研究所 龚自珍 (1)
矿坑涌水量预测的数值方法与召口矿区的计算实例	山东大学数学系 (13) 山东省冶金局JL铁矿地测科
用定降深井流试验确定均质各向同性含水层水文地质参数的方法	煤炭工业部西安煤田地质研究所水文科研队 (42) 武汉地质学院水文地质系科研组
超声成象测井的野外试验地质效果	镇江煤田地质机械厂 (51)
SPJ-300型钻机拖车化	黑龙江省地质局水文地质队 (62)
压缩式胶塞止水器	煤炭工业部一二九勘探队水文组 (65)

## 译文

赞比亚地下水勘探电阻率填图资料的表示和解释方法	(68)
关于横波的若干试验	(77)
地下水流的电模拟	(90)
坑状井非稳定流分析的简化方法	(94)

# 河北省吴桥县杨家寺公社咸水淡化的水文地质分析

水文地质工程地质研究所 龚自珍

吴桥县杨家寺公社位于河北与山东交界的漳卫新河和岔河之间的河间地块上，面积23平方公里，耕地27000亩。区内地势平坦，四周略高，中部稍低，高程在19.5—20.8米之间。漳卫新河及岔河深8米，五里河纵贯全区深约4米。年平均降水量为528.2毫米，降水多集中于7、8月份，占全年降水量的50—60%，年平均蒸发度在2000毫米以上。历来是一个低洼盐碱、旱涝多灾的地方，严重地阻碍农业发展。

解放以来，特别是经过无产阶级文化大革命，杨家寺公社以大寨为榜样，以阶级斗争为纲，抓革命促生产，大搞农田基本建设。自1972年以来，全公社共开挖排灌两用渠道31条，长120多华里；建扬水站三座、排灌站一座；改造坑塘24个，填平废道沟63条，平整土地7000多亩，造地还田810亩，打浅机井217眼。使全公社初步形成一个河、渠、坑、塘、机井有机配合，降水、地表水、地下水合理利用，能蓄能排的水利系统（图1）。群众在改造自然的斗争实践中，逐步总结出一条“河井坑渠并用，排灌蓄滞结合”综合治理旱涝碱咸的经验。其具体做法是：每年汛末的丰水季节，利用坑渠引蓄河水，并结合秋灌冬灌进行人工引灌；来年春灌夏灌时，用存蓄的坑渠水及浅机井抽水浇地；雨季就地拦蓄雨水，并将沥水引入坑渠回补地下水。其中人工引灌和拦蓄雨水称为浅层回灌。通过上述

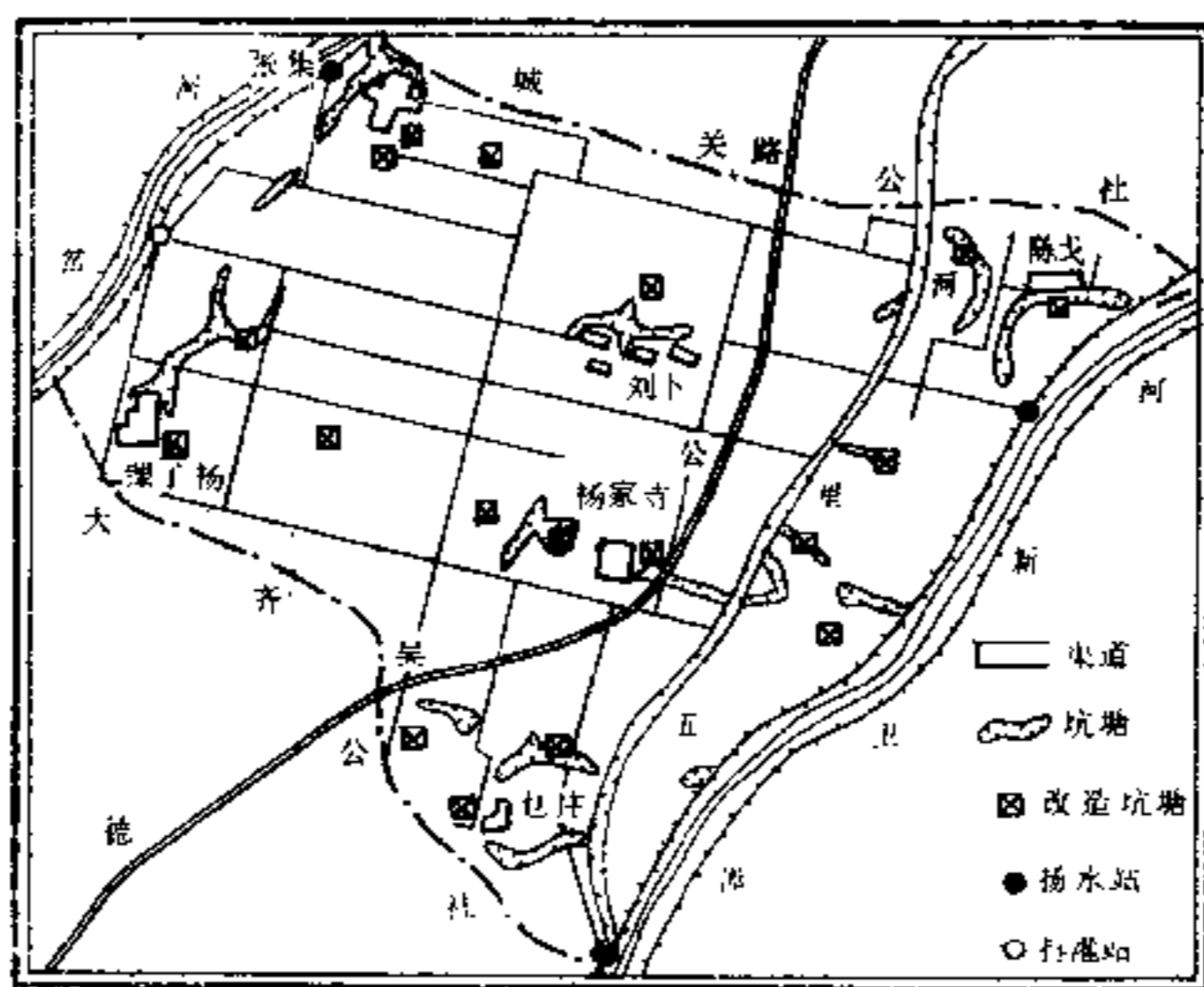


图1 杨家寺公社水系渠道坑塘分布图

措施建立了人工调节的“地下水库”，改变了浅层地下水的运动条件，淡化了咸水，扩大了地下水资源。仅奋战三年粮食单产就上了纲要，对国家作出了贡献。

## 一、水文地质条件及其改造后的变化

本区浅部为平原河流泛滥相沉积，具二元结构特征（图2）。0—20米为河间洼地相的粘性土沉积；表层为厚3—12米的粉土，其下为厚2—6米的粘砂，底部为厚2—9米的淤泥质土。砂层极不发育。砂粘和粘土多呈透镜状分布，粘土多具裂隙，在浅部特别发育。在垂向上和水平方向上岩性变化较显著。20—60米以古河道带的砂质沉积为主，在20—40米深度内砂层发育，以粉细砂为主，间有泥质粉砂，单层厚度2—10米不等，一般5米左右。在砂层中及其顶部有粘砂、砂粘呈透镜状分布，砂层之下为5—20米的粘砂与其下的另一砂层相隔。

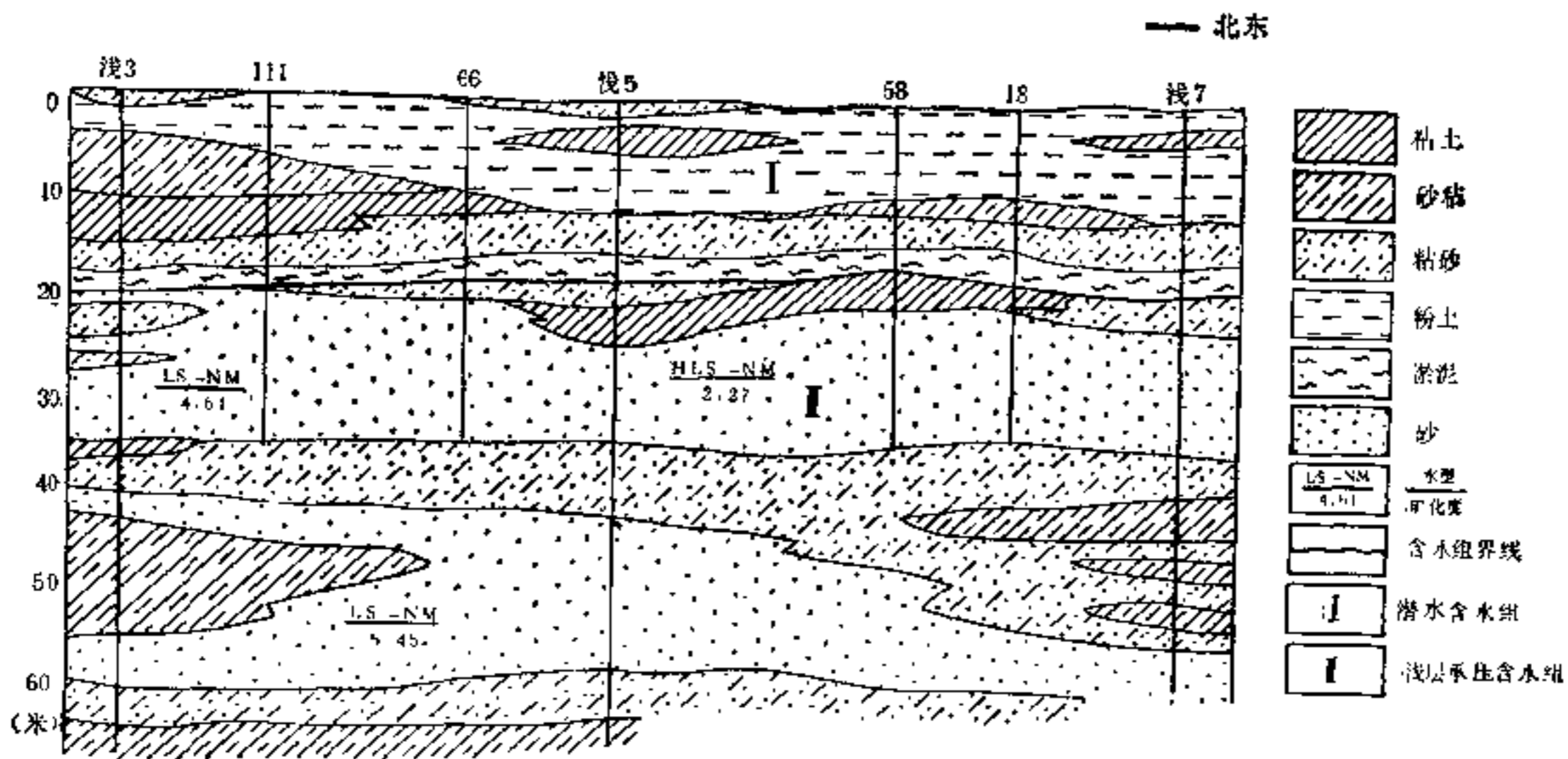


图2 杨家寺公社水文地质剖面示意图

根据地质结构，结合水动力和水化学特征，将淤泥层以上（0—20米）划为潜水含水组，其下（20—40米）为浅层承压含水组。

（1）潜水含水组：粉土、粘砂及裂隙粘土含水，砂粘、粘土相对隔水，淤泥质土为隔水底板。据砖井抽水试验，单位涌水量 $q=3.04-3.56$ 米<sup>3</sup>/小时·米，渗透系数 $k=2.0$ 米/昼夜，给水度 $\mu=0.065$ ，单井影响范围约50米。

改造前潜水除受当地降水补给外，还接受地表水补给，地下水流向由南向北略偏西。潜水埋深浅者5—6米；深者6—7米。水力坡降平缓，平均0.4‰，全区400多眼深度在10米以内的砖井大部分是矿化度1—2克/升的淡水。咸水区主要有四片，约占全区面积的40%左右，矿化度一般2—4克/升，最高达6克/升左右（图3）。

1972年改造以来，使潜水发生显著变化，不同时期潜水面均呈凸丘状（图4），形成补给反漏斗，径流方向由中部指向四周，主要向两条主要河流排泄。水力坡降比以前增大了2—10倍，顺河方向为0.8—1‰，垂直主要河流方向达2—4.5‰。潜水位埋深比以前抬高2—3米，丰水期中部地区为1—2米，近河地带为3—4米；枯水期中部地区为2—3米，近河

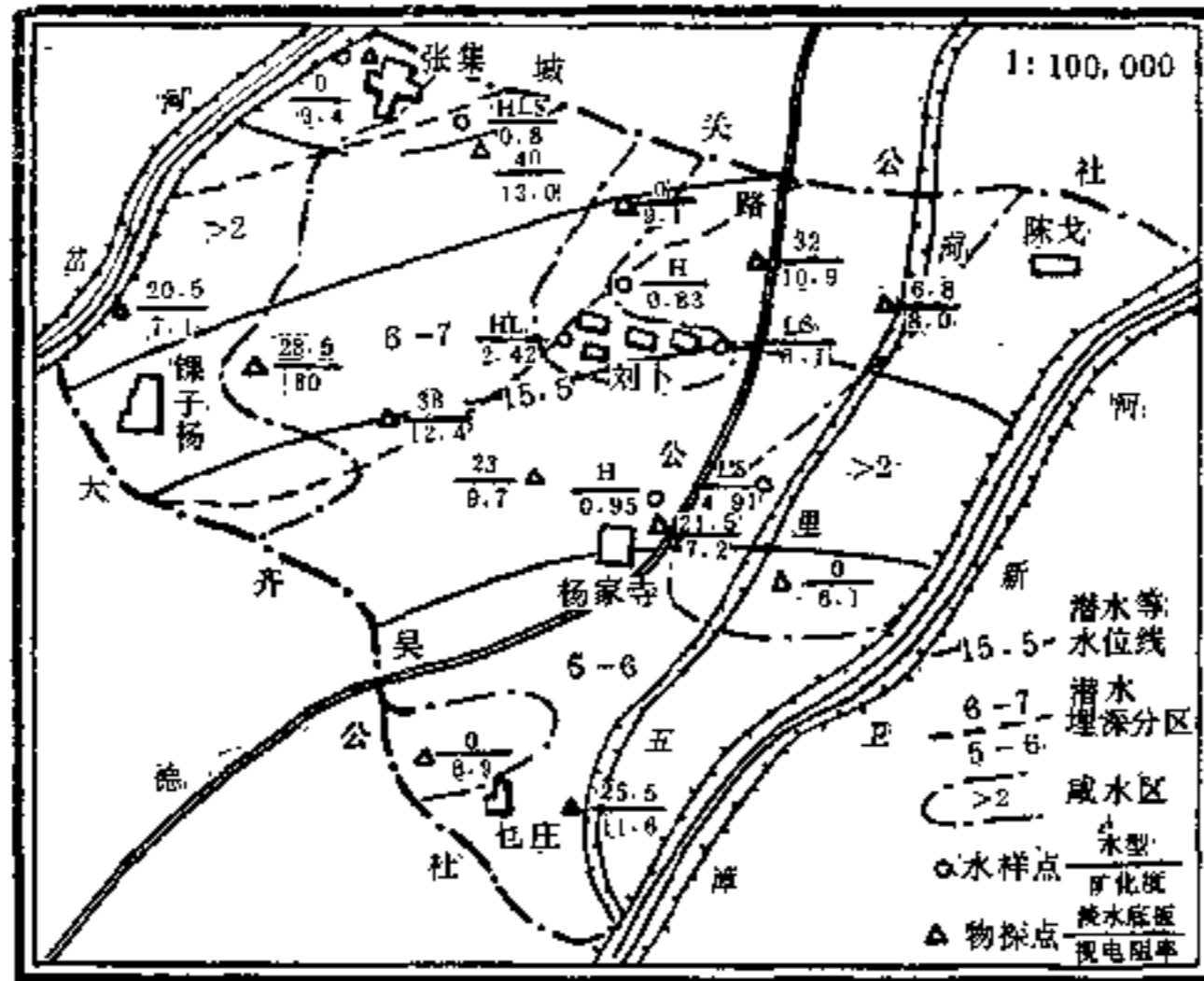


图 3 杨家寺公社改造前潜水等水位线及咸水区分布图

地带为4—6米。1974年汛前汛后潜水位变幅1—3米，全区平均为2.1米。潜水水质已基本淡化，矿化度一般小于1克/升，原来的咸水区也大都淡化到1—2克/升（图5），仅局部残留有小片的咸水。

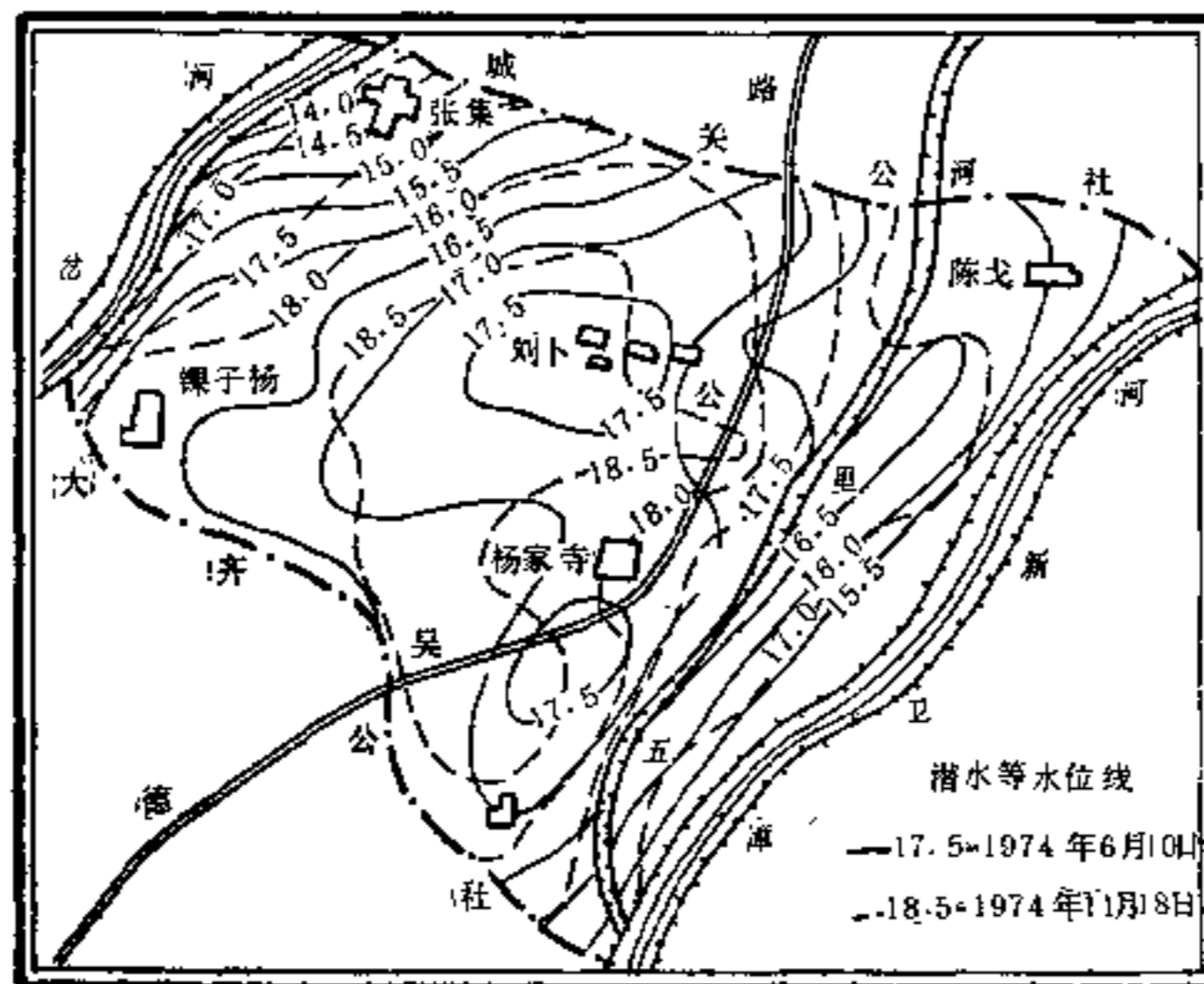


图 4 杨家寺公社不同时期潜水等水位线图

由于地质结构的不同，潜水特征有明显的差异，如裸子杨一带潜水含水组中，砂粘、粘土夹层发育，因而径流滞缓，水力坡降由缓变陡潜水动态变幅可达到3米左右，因受夹层含盐量较高（0.274—0.305%）的影响，水质淡化最差，残留咸水体的矿化度达2—4克/升。

（2）浅层承压含水组：含水的粉细砂层集中分布在20—35米的深度内，西北部砂层较厚约15—20米，东南部较薄为10—15米，隔水顶板为淤泥质土，底部为粘砂层与另一含水砂层相隔。经浅机井抽水试验： $q = 1.93—5.69$ 米<sup>3</sup>/小时·米， $k = 8.5$ 米/日，释水系数

$\mu^* = 10^{-3}$ ，单井影响范围约300米。改造前水质均为咸水，打的48眼浅机井都因浇地返碱而废弃。

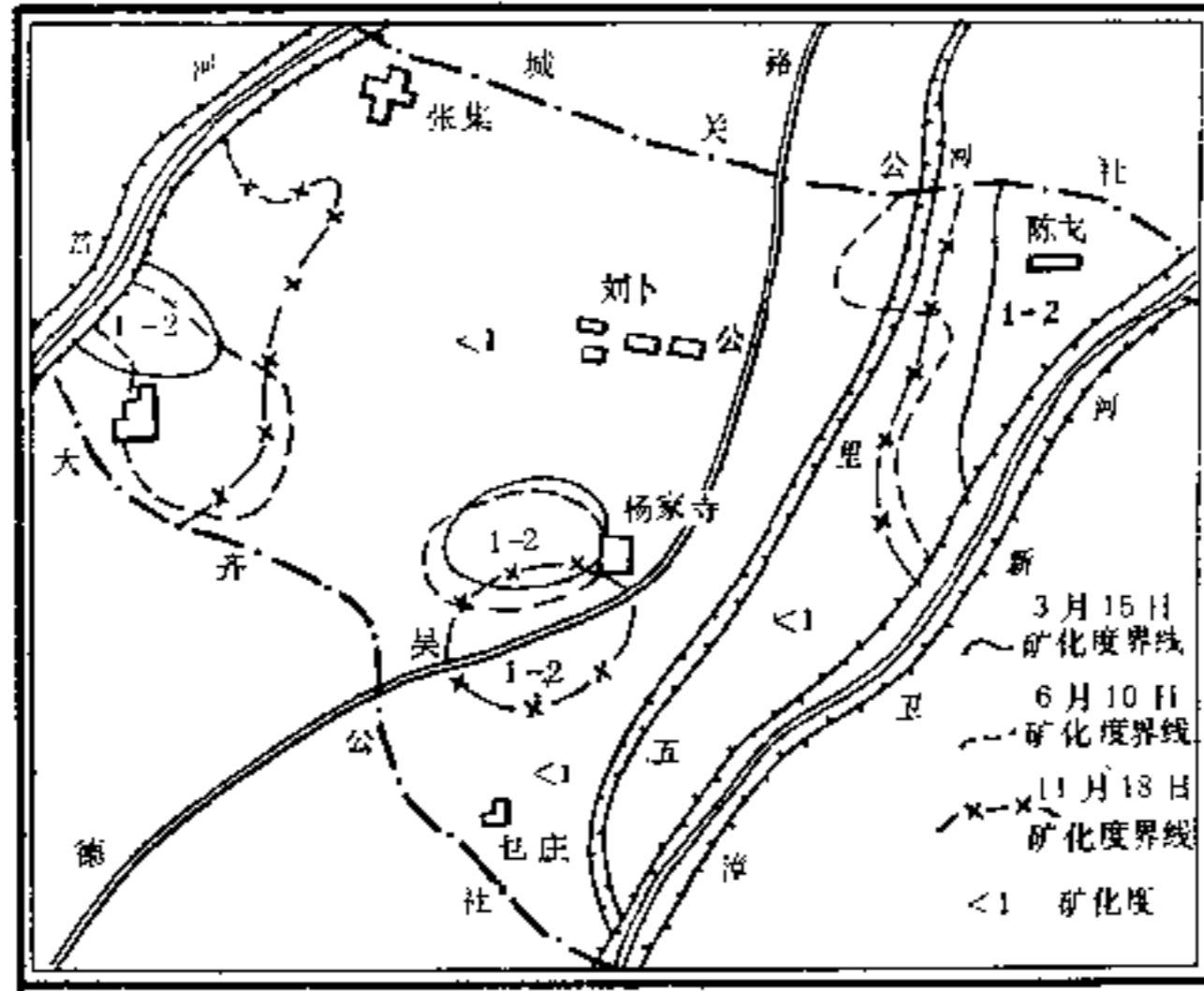


图 5 杨家寺公社不同时期潜水矿化度图

自改造以来，浅层承压水也发生了很大变化。据观测及调查了解：承压水位在汛前枯水期和潜水位基本相平，汛期低于潜水位0.5—0.8米左右，汛后与潜水位逐渐接近平衡，其动态变幅与潜水位相近，反映出承压水位具有和潜水位相似的变化规律。浅层承压水的水化学类型及矿化度由中部向两侧主要河流有规律的变化（图6），显示出具有和潜水相似

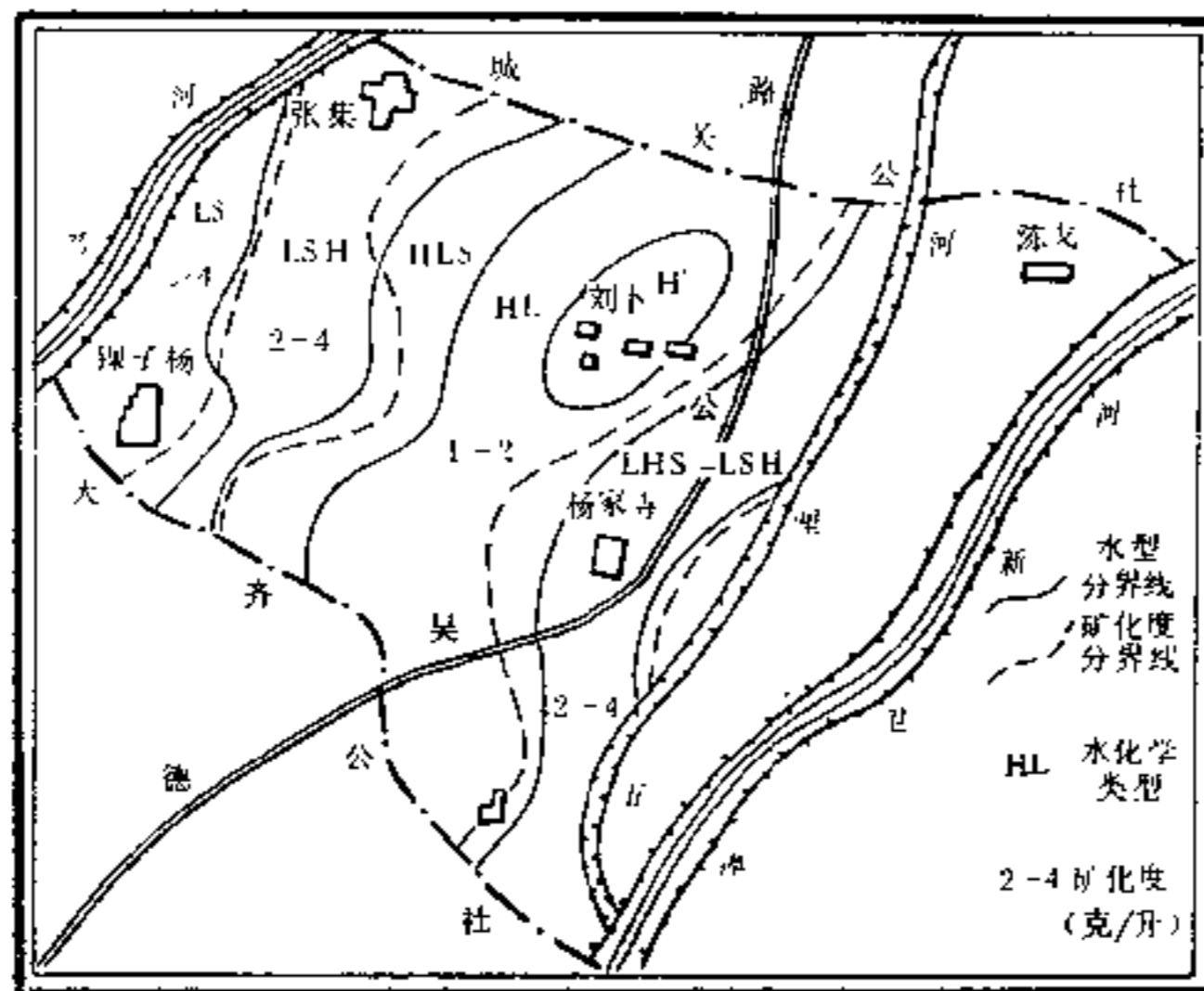


图 6 杨家寺公社浅层承压水水化学图

的流向。此外，1974年汛前对杨家寺公社及周围地区的水位统测资料，也表明区内水位高于区外，中部地区水位高于周围地区1.5—2.5米。因此，可以肯定，改造过程中的人工补给作用，不仅抬高潜水位，改变潜水流向，形成区域补给反漏斗，同时也影响浅层承压水，使其产生类似的变化。

本层咸水已受到不同程度的淡化：中部地区淡化最好，为1—2克/升的 $\text{HCO}_3$ 和 $\text{HCO}_3$ -Cl型水；向两侧主要河流淡化程度渐差，依次为2—4克/升的 $\text{HCO}_3$ -Cl- $\text{SO}_4$ 和Cl- $\text{SO}_4$ - $\text{HCO}_3$ 型水及大于4克/升的Cl- $\text{SO}_4$ 型水。据调查原48眼咸水井中已有38眼复活，但在抽水过程中水质多有由淡变咸的现象，说明淡化程度仍然不高。

由水化学图所显示的水平分带现象表明，由于浅层回灌和主要河流加深的影响，导致浅层承压水在沿河地带高于潜水位或河水位，且其水头差增大而使其向上顶托的越流作用加强，因而两条主要河流便成了减压排泄带，成为浅层承压水的固定边界。

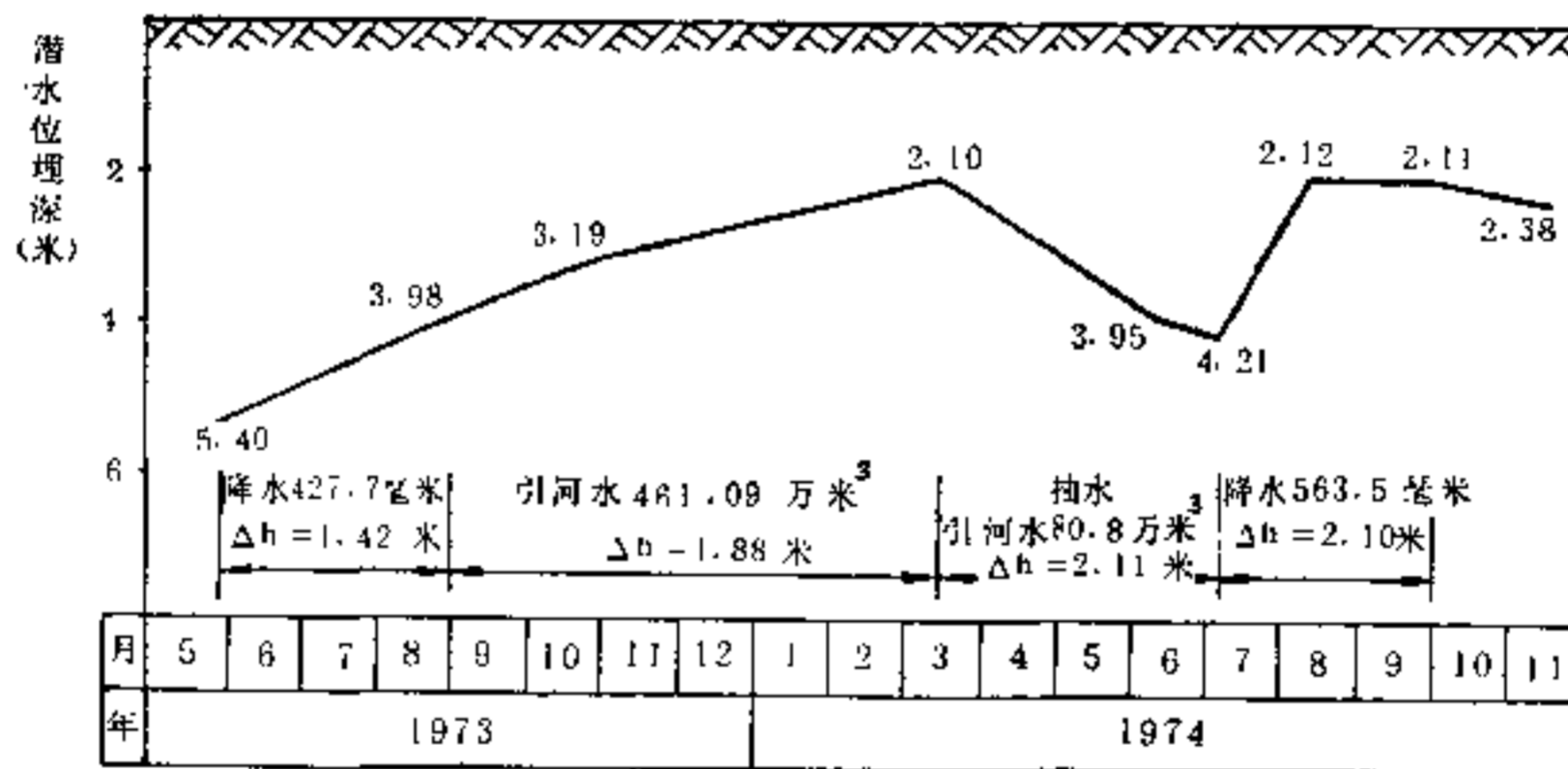
## 二、浅层地下水的动态与均衡分析

在改造前的自然条件下，本区潜水动态主要受降水支配，浅层承压水在本区呈径流通过，与潜水联系微弱，故仅考虑潜水的均衡如下：

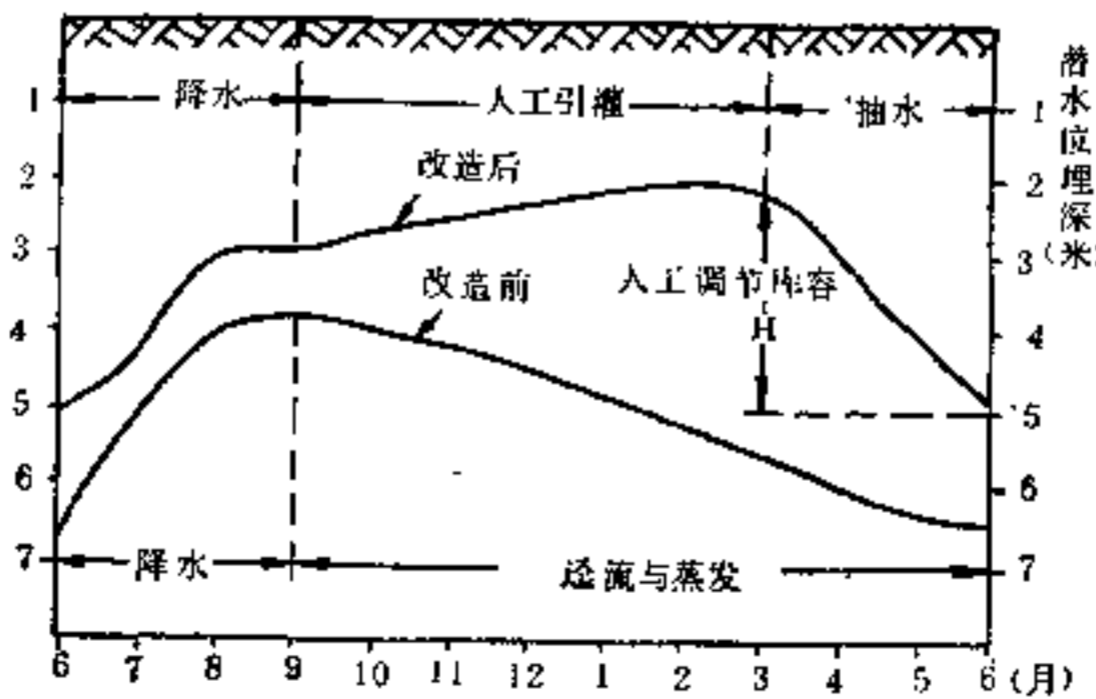
$$\mu \Delta h = P_r + Q - Q'_1 - Q''_1 - Z$$

式中  $\mu$ ——给水度；  
 $\Delta h$ ——潜水位变幅；  
 $P_r$ ——降水入渗补给量；  
 $Q$ ——上游径流来水量；  
 $Q'_1$ ——顺河径流排出量；  
 $Q''_1$ ——向河径流排出量；  
 $Z$ ——潜水蒸发蒸腾量。

在天然平衡状态下， $\mu \Delta h = 0$ ，同时 $Q = Q'_1$ ，因此 $P_r = Q''_1 + Z$ ，即降水补给消耗于向



浅层回灌与抽水影响下潜水动态特征曲线



改造前后潜水动态特征对比示意图

图 7 潜水动态特征图

河径流的排泄和潜水的蒸发蒸腾上。

改造以来浅层地下水的动态和均衡发生了极大的变化，在浅层回灌影响下形成了补给反漏斗，而以径流向四周主要向本区两侧河流排泄。潜水动态受浅层回灌及抽水等人为因素的控制（图7）。浅层承压水是浅机井的主要开采层位，由于大量开采与潜水发生了密切的联系，接受潜水的补给，在潜水影响下其动态过程与潜水相似。故潜水和浅层承压水成为一个均衡系统，其均衡方程为：

$$\mu \Delta h = P_s + A_s - Q_k - Q_1 - Q_2 - Z$$

式中  $A_s$ ——人工引灌入渗补给量；

$Q_k$ ——开采量；

$Q_1$ ——潜水侧向径流排泄量；

$Q_2$ ——浅层承压水侧向径流排泄量；

其余符号同前。

在保持年平衡的条件下， $\mu \Delta h = 0$ ，即：

$$P_s + A_s = Q_k + Q_1 + Q_2 + Z$$

式中的开采量 $Q_k$ 取决于“地下水库”的人工调节库容。据观测本区盐碱化的地下水临

表 1 改造后浅层地下水均衡要素计算成果表

均衡要素	计算公式	计算参数	计算成果		说明
			米/年	万米 <sup>3</sup> /年	
$Q_k$ 可采量	$Q_k = (\mu + \mu^*)H$	$H = 3.0$ 米 $\mu = 0.065$ $\mu^* = 10^{-3}$	0.198	455.4	$H$ —人工调节库容； $\mu$ —潜水含水层给水度； $\mu^*$ —浅层承压含水层释水系数；
$Q_1$ 潜水侧向 径流量	$Q_1 = Q_1' + Q_1''$ $= b_1' q_1' + b_1'' q_1''$ $q_1' = k_1 \frac{H_1^2 - h^2}{2L}$ $q_1'' = k_1 H_2 I_1$	$q_1' = 0.305$ 米 <sup>3</sup> /日·米 $q_1'' = 0.048$ 米 <sup>3</sup> /日·米 $b_1' = 10000$ 米 $b_1'' = 6000$ 米 $k_1 = 2.0$ 米/日 $I_1 = 0.002$ $H_2 = 12.0$ 米	0.053	121.8	$q_1'$ —潜水向河径流单宽流量； $q_1''$ —潜水顺河径流单宽流量； $q_2$ —浅层承压水侧向径流单宽流量； $b_1', b_1'', b_2$ —过水断面长度； $H_1$ —潜水观测井的含水层厚度； $h$ —河水边的潜水含水层厚度； $H_2$ —潜水含水层的平均厚度； $L$ —潜水观测井到河水边的距离；
$Q_2$ 浅层承压 水侧向 径流量	$Q_2 = b_2 q_2$ $q_2 = k_2 M I_2$	$q_2 = 0.2$ 米 <sup>3</sup> /日·米 $b_2 = 10000$ 米 $k_2 = 8.5$ 米/日 $M = 12.5$ 米 $I_2 = 0.002$	0.032	73.0	$M$ —浅层承压水的含水层平均厚度； $k_1, k_2$ —潜水和浅层承压水含水层渗透系数； $I_1, I_2$ —潜水和浅层承压水的平均水力坡降；
$P_s$ 降水入渗 补给量	$P_s = P \lambda_p$	$P = 528.2$ 毫米 $\lambda_p = 0.3$	0.1585	364.5	$P$ —年平均降水量； $\lambda_p$ —降水入渗系数，按一次及一个时期降水入渗观测资料并参考石津灌区资料求得；
$Z$ 潜水蒸发 蒸腾量	$Z = P_s - \mu \Delta h$ $- (Q_k + Q_2)$		0.0408	93.8	$Z$ —据各时期观测资料推算求得； 均衡区面积为23公里 <sup>2</sup>
$A_s$ 引灌入渗 补给量	$A_s = Q_k + Q_1 + Q_2$ $+ Z - P_s$		0.1653	379.5	

界深度为1.0—1.5米，以此作为控制浅层回灌的最高水位极限，这样全区潜水位平均埋深为2.0米左右；为有利于自然排咸和促进咸水淡化，开采的最低水位极限应保持补给反漏斗，这样全区潜水位的平均埋深为5米左右，其差值3米即为“地下水库”的人工调节库容。各均衡要素的计算结果列于表1。由表1可见：

(1) 人工调节库容为3米时浅层地下水的调节可采量为455.4万立方米，加上地表坑渠蓄水156.6万立方米，占全年作物需水量1080万立方米（每亩400立方米）的56.7%，可保证春灌夏灌用水，平常年份能基本满足作物正常生长的需要。按浅机井单井平均出水量为20吨/小时、一天使用10小时、一年使用60天计，则全公社共需浅机井380眼，单井控制面积约71亩，梅花形布井平均井距约250米。但在干旱缺水年份如全部依靠浅层地下水，水量不能满足抗旱需要，必需开发利用深层淡水作为后备水源。

(2) 人工调节库容3米时，需引灌入渗补给379.5万立方米。按1973年两次引水资料（表2）计算在不同引灌方式下所需的引灌水量 $(A = \frac{A_r}{\lambda_A})$ ；坑渠引灌为463.9万立方米；结合灌溉的引灌为563.9万立方米。

表2 不同引灌方式下引灌参数计算表

引灌方式	引水日期	引水天数	引灌水量 $A$ (万米 <sup>3</sup> )	引灌面积 $F$ (公里 <sup>2</sup> )	潜水位上升幅度 $\Delta h$ (米)	蓄水量 $A_n = \mu \Delta h F$ (万米 <sup>3</sup> )	潜水径流量 $Q_1$ (万米 <sup>3</sup> )	浅层承压水径流量 $Q_2$ (万米 <sup>3</sup> )	潜水蒸发蒸腾量 $Z$ (万米 <sup>3</sup> )	引灌入渗补给量 $A_s$ (万米 <sup>3</sup> )	引灌入渗系数 $\lambda_A$	引灌蓄水系数 $n_A$
一次连续坑渠引灌	1973.9.1   1973.10.10	40	137.24	16.17	0.79	83.0	13.47	8.0	7.8	112.27	0.818	0.605
结合灌溉分次引灌	1973.11.26   1974.3.15	110	300.00	20.25	1.09	143.5	36.49	21.8	0	201.86	0.673	0.479

注： $\lambda_A = A_s/A = (\mu \Delta h F + Q_1 + Q_2 + Z)/A_s$ ； $n_A = A_n/A = (\mu \Delta h F)/A_s$

在引灌水量中能存蓄开采的部分叫引灌蓄水量 ( $A_r = A \cdot n_A$ ) 为275.3万立方米，在3米库容中占60.4%（相当于1.812米库容），故降水形成的库容占39.6%（1.188米库容），雨水的蓄水系数为0.15。

### 三、浅层地下水的补给途径

#### 1. 潜水

在浅层回灌影响下本区潜水只接受当地降水及人工引灌淡水的补给，有侧渗补给和面渗补给两种途径。

(1) 侧渗补给：即坑渠蓄水对潜水的侧渗补给作用。本区有排灌两用渠道31条，总长约6万米，渠道断面深约2米，底宽1.5—2米，上宽4—6米；原有坑塘54个，已改造24个，总面积约0.6平方公里，总周长约2万米。坑渠单位长度的侧渗量经计算（表3），渠道为0.311立方米/日·米，坑塘为0.155立方米/日·米，全部坑渠的侧渗能力为每日2.18万立方米。

表 3 坑渠单位长度侧渗量计算表

资 料	计 算 参 数	计 算 公 式 及 结 果	说 明
1973.9.1—10.10 坑渠引灌	引灌入渗量 $A_s = 112.27$ 万米 <sup>3</sup> 引灌蓄水量 $A_n = 83.0$ 万米 <sup>3</sup> 引灌天数 $T = 40$ 天 渠道总长度 $L_1 = 60000$ 米 坑塘总周长 $L_2 = 20000$ 米	$q_1 = \frac{A_s}{T(L_1 + L_2/2)}$ $= 0.4$ 米 <sup>3</sup> /日·米 $q_1' = \frac{A_n}{T(L_1 + L_2/2)}$ $= 0.296$ 米 <sup>3</sup> /日·米	1. $q_1$ 有降水影响, 结果偏大; $q_1'$ 、 $q_2$ 未包括蒸发与径流损失, 结果偏小。 2. 秋冬季引水条件示意图:
1974.4.22—5.11 渠道引水 观测断面	潜水位平均上升值 $\Delta h = 0.359$ 米 一侧影响范围 $R = 100$ 米 引水天数 $T = 20$ 天 给水度 $\mu = 0.065$	$q_2 = \frac{2\mu\Delta h R}{T}$ $= 0.233$ 米 <sup>3</sup> /日·米	
按秋冬季引水 条件近似计算	渠中水深 $h = 1.25$ 米 渠水位与潜水位差值 $\Delta h = 1.75$ 米 潜水含水层厚度 $H = 12$ 米 引水时间 $T = 40$ 天 渗透系数 $k = 2.0$ 米/日	$q_3 = \frac{2}{3} \alpha h \sqrt{\frac{2k\mu\Delta h}{T}}$ $= 0.311$ 米 <sup>3</sup> /日·米 $\alpha = f\left(\frac{H}{\Delta h}\right) = 3.5$	

由结合灌溉的引灌资料分析 (表 4), 坑渠侧渗量占总入渗量的 44.6%; 引灌水量的分配坑渠占 36.7%, 面灌占 63.3%。因此在人工调节的 3 米库容中, 如采用坑渠引灌方式, 以坑塘蓄水 240 天计, 则渠道需蓄水 164 天; 如采用结合灌溉的引灌方式, 以坑塘蓄水 240 天计, 渠道需引水 51 天。按地表水源条件前者难以满足, 后者现实可行。

表 4 结合灌溉的引灌中坑渠侧渗作用分析表

引水日期	引灌水量 (万米 <sup>3</sup> )	入 渗 补给量 (万米 <sup>3</sup> )	坑渠侧渗量 (万米 <sup>3</sup> )				引 灌 水 量 分 配				注
			渠道	坑塘	总侧渗量	占入渗量 比例 (%)	坑 渠		灌 溉		
							水量	%	水量	%	
1973.11.26— 1974.3.15	300	201.86	55.98	34.11	90.09	44.6	110 (万米 <sup>3</sup> )	36.7	190 (万米 <sup>3</sup> )	63.3	渠道引水 30 天, 坑塘蓄水 110 天

据观测渠道行水 20 天, 其一侧影响范围为 100 米, 可见坑渠侧渗的影响仅限于沿坑渠的环状和带状狭窄地带内。在影响带内潜水位上升至 1 米以上时, 引起表土强烈积盐, 积盐带范围可达 60 米以上 (表 5)。

(2) 面渗补给: 即降水和面灌水的垂直入渗补给作用。当人工调节库容为 3 米时, 在全部入渗补给量中降水占 49%, 人工引灌水占 51% (见表 1)。据观测资料计算 (表 6), 年降水量中坑渠集水量占 11%, 面渗水量占 89%; 降水入渗补给量中坑渠侧渗补给占 30%, 面渗补给占 70%。人工引灌水中结合灌溉的侧渗补给占 44.6%, 面渗补给的占 55.4%。因此在潜水的全部入渗补给量中平均面渗占 62.55%, 侧渗占 37.45%。

由此可见, 面渗补给是潜水接受补给的主要途径, 而且又能达到灌溉与回灌的双重目的, 既简便效益也高, 宜结合生产尽量采用。此外, 平整土地就地拦蓄雨水, 提高入渗能力, 对潜水的补给具有重要的意义。

表 5 胜利渠引水侧渗影响观测表

行水起止日期	渠水位埋深 (米)	观测孔		潜水位埋深(米)		0—10厘米土壤含盐量(%)			注
		孔号	距离(米)	行水前	行水后	行水前	行水后	增长率(%)	
1974.4.22—1974.5.11	0.3	1	10	1.27	0.70	0.096	0.21	120	潜水位平 均上升 0.359米
		2	30	1.27	0.78	0.14	0.27	93	
		3	60	1.27	1.00	0.076	0.146	90	
		4	100	1.27	1.23	0.133	0.071		

表 6 降水中坑渠侧渗与面渗水量分配计算表

1974年4—9月降水			降水产沥情况观测							全年降水量分配比例(%)			
降水量 (毫米)	产·沥 降水量 (毫米)	所占 比例 (%)	日期	降水量		坑渠 集水量 (万米 <sup>3</sup> )	面渗水量 (万米 <sup>3</sup> )	坑渠集水量所 占比例(%)		坑渠		面渗	
				毫米	万米 <sup>3</sup>					集水量	侧渗补给	水量	入渗补给
668.5	299	15	1974.7.15	99.7	229.31	62.64	166.67	27.3	24.5	11	30	89	70
			1974.8.9	130	299.0	66.9	232.1	22.4					

## 2. 浅层承压水

如前所述,改造后在浅层回灌影响下,浅层承压水只接受潜水补给,其补给途径是:

(1) 井灌井作用:即在承压水位低于潜水位的情况下,潜水通过浅机井(通天井)的井管自动回灌补给浅层承压水的作用。本区浅机井在抽水过程中一般有随着抽水时间的延长而矿化度增高的现象,先抽的是淡水,过一定时间就变成咸水,停抽后过一段时间又变成淡水。因此,可以认为,开始抽的和抽后井中的那部分淡水主要是通过井灌井作用灌下去的。

根据试验及观测资料对汛期汛后由于水位差而产生的井灌井的自动回灌量估算结果(表7),可近似代表在浅层回灌影响下潜水对浅层承压水的井灌井全年自动回灌量。这些水量一方面恢复浅层承压水由于开采而消耗的弹性储量,另一方面主要是弥补浅层承压水流向区外的径流损耗。

在开采期间,抽水也产生井灌井作用,每次抽水之后,由于抽水造成的水位差使浅层承压水接受潜水补给而恢复,直到回灌水头消失为止。因此每次抽水都是一次抽咸补淡的交替过程,抽的主要是浅层承压水,而表现为潜水受到消耗。虽然每次抽后回灌水头不高,回灌时间不长,井灌井的回灌量有限,但由于抽水间歇次数多,故其总量也是可观的。

(2) 越流补给作用:相邻含水层之间由于存在水头差,可以通过相对隔水层渗透补给。从地质结构分析,作为浅层承压水隔水顶板的淤泥层其厚度变化较大,有的地方仅1—2米,且岩性也不稳定,有的以粘砂为主,隔水性较差,因此在这些地方具有越流补给的条件。据浅机井抽水试验,抽水经一定时间后主孔和观测孔的降深都趋于稳定,也表明在抽水过程中有潜水对浅层承压水的越流补给作用。初步计算越流系数 $\frac{k'}{M}$ 平均为 $4.14 \times 10^{-4}$ ,以此估算汛期汛后由于浅层回灌产生的水位差引起的潜水对浅层承压水的越流补给量为28.3万立方米。在开采过程中的越流补给量也很可观。

表 7 汛期汛后井灌井自动回灌量计算表

计 算 公 式	计 算 参 数	回灌量 (万米 <sup>3</sup> )		说 明
		单 井	全 区	
单井: $Q = \sum q s_i T_i$ 全区: $Q_n = nQ$	$s_1 = 0.25$ 米, $s_2 = 0.12$ 米 $T_1 = 90$ 天, $T_2 = 60$ 天; $q = 3.3$ 米 <sup>3</sup> /小时·米, $n = 217$ 眼	0.2352	51.0	1. $q$ 取砖井单位涌水量; 2. $s_1$ 取雨季最大水位差的一半; 3. $s_2$ 取1974.11.29实测资料。

从抽水试验资料分析, 浅机井的抽水量中浅层承压水约占2/3。当开采量为455.4万立方米时, 抽水的抽咸补淡量约300万立方米, 汛期汛后天然的补给量约80万立方米。因此在井灌井和越流补给作用下对浅层承压水的总补给量每年约380万立方米。

#### 四、浅层咸水的淡化原因与影响因素

##### 1. 浅层咸水的淡化原因

(1) 主要河流的排咸引淡作用: 本区两条主要河流自1969年加深后就具有较强的自然排咸作用。在改造前的自然状态下潜水受到一定程度的淡化。改造以来在浅层回灌影响下, 浅层地下水水位抬高, 水力坡降增大, 侧向径流增强, 排盐量也随之增加, 除加速潜水淡化外, 浅层承压水由于就地得到淡水补给, 也处于排咸补淡的淡化过程中。由浅层地下水均衡分析, 当人工调节库容为3米时, 潜水侧向年径流量为121.8万立方米, 每年可排盐2436吨, 浅层承压水年径流量约73万立方米, 每年可排盐3285吨。两者合计主要河流每年可排盐5721吨。

主要河流的另一作用是引进淡水, 为人工引灌提供充足的淡水水源。因此充分利用主要河流的排咸与引淡作用, 是本区咸水淡化的基本措施之一。

(2) 人工补给反漏斗的补淡排咸作用: 在主要河流排泄出路的控制下, 浅层回灌形成的补给反漏斗改变了浅层地下水的补给排泄条件, 使其只接受当地降水和人工引灌的淡水补给, 并且截断了原来侧向径流的咸水补给而改变为侧向排咸。由浅层地下水均衡分析, 淡水的补给量比改造前的自然状态下增加了一倍多, 侧向径流排泄量也增加了2—5倍以上, 加强了咸淡水的水平交替, 加速了咸水淡化。

(3) 人工抽水的咸淡水垂直交替作用: 汛前大量抽水浇地降低了浅层地下水的水位, 为淡水的入渗补给腾出了“库容”, 并提高了淡水的入渗能力, 防止了土壤积盐。浅机井主要抽汲浅层承压水, 即利用咸水浇地, 并通过入渗淋洗将盐分转移到潜水中去, 由潜水径流排出区外。据潜水水质动态观测, 在浅层承压水淡化较好的地区, 潜水矿化度变幅较小; 在浅层承压水淡化较差的地区, 潜水矿化度变幅较大, 可达0.5—0.9克/升, 变幅对低值的相对变化率达51—77%, 与自然条件下的正常规律相反, 其低值出现于汛前, 高值出现于汛期或汛后。这种现象就是上述盐分转移的表现。抽水还造成潜水对浅层承压水的井灌井和越流补给作用, 加强了咸淡水的垂直交替, 加速了浅层承压水的淡化过程。

综上所述, 杨家寺公社在充分利用主要河流自然排咸的有利条件下, 采取浅层回灌和抽水利用相结合的措施, 改变了浅层地下水的补给排泄条件和盐分的运移过程, 加强了咸淡水的水平和垂直交替, 使浅层咸水处于补淡排咸的状态。浅层承压水由中部向两侧形成

淡化程度依次降低的淡化带，表明其淡化是由于垂直补给的淡水在水头差的作用下将咸水向两侧主要河流“驱赶”、顶托排泄的过程。因此本区浅层咸水的淡化过程是在“人工补淡、自然排咸”的作用下进行的（图8）。

根据浅层地下水的均衡分析，对盐均衡概算（表8）结果表明，当引灌水质为0.8克/升时，每年净排盐量为1210吨。引灌水质对于浅层地下水的淡化速度影响很大，如保持区内盐量平衡，则引灌水质应为1.0克/升，因此本区引灌水的矿化度要求在1.0克/升以下。

### 2. 浅层咸水淡化的影响因素

区内浅层地下水的淡化是不平衡的，淡化较好的潜水内还有残留的咸水体分布，浅层承压水的淡化也呈现水平分带现象。这些现象与以下几个因素有关，

(1) 水文地质结构和土层含盐量的影响，粘性土较发育且土层含盐量较高的地区，地下水径流排泄不畅，致使土层脱盐和咸水淡化缓慢，前述的裸子杨地区就是明显的例子。

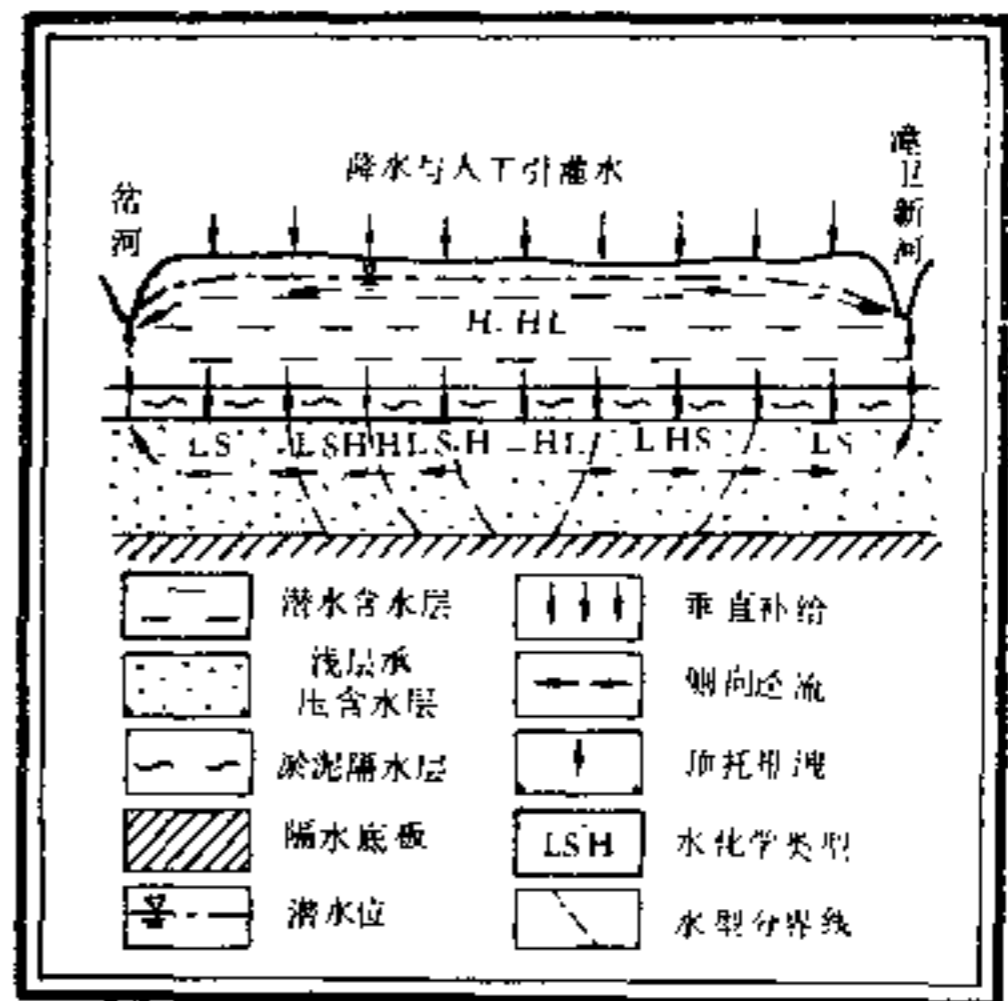


图8 浅层承压水淡化过程示意图

表8 浅层地下水盐均衡概算表

均衡要素	水量 (万米 <sup>3</sup> )	矿化度 (克/升)	含盐量 S(吨)	盐分年变化 量ΔS(吨)	注
引灌水量 (A)	563.9	0.8	+4511.2	-1209.8	$\Delta S = S_A - S_{Q_1} - S_{Q_2}$ $S_A$ —引灌水含盐量 $S_{Q_1}$ —潜水径流排盐量 $S_{Q_2}$ —浅层承压水径流排盐量
潜水侧向径流量 (Q <sub>1</sub> )	121.8	2.0	-2436.0		
浅层承压水侧向径流量 (Q <sub>2</sub> )	73.0	4.5	-3285.0		

(2) 微地貌的影响，微地貌能影响淡水的下渗补给，因而影响地下水的淡化。如中部吕家洼一带地势较低洼，接受降水人渗及人工补给量较大，因而淡化较好。

(3) 浅层承压水的淡化受潜水水质的影响，本区有的地方潜水水质较差，浅层承压水淡化也较差。

(4) 抽水的影响，抽水加强了咸淡水的垂直交替，因此浅层承压水的淡化与浅机井的利用率有关，如张集、刘卜、林场一带浅机井利用率高，浅层承压水的淡化也较好。在潜水是淡水的地方，浅机井越用越淡。

(5) 浅层承压水分布部位的影响，由前述可知，浅层承压水的淡化是由于垂直补给的淡水在中部地区的高水头作用下，将咸水向两侧主要河流的低水头区“驱赶”的过程，因此在河间地段的中部比其边缘部位淡化程度要高。

以上因素在不同地区占有不同的地位，需结合具体情况作具体分析。

## 五、几点认识

1. 旱涝碱咸四大灾害是干旱、半干旱平原地区特定水文地质条件下产生的农田水文地质问题，杨家寺公社提供了进行农田水文地质改造综合治理旱涝碱咸的经验。杨家寺公社农田水文地质改造的方法和途径是：充分发挥河井坑渠的各自作用并使之有机结合，改变浅层地下水的补给、径流、排泄条件，促进地表水和地下水之间的转化。在咸水区建立“地下水库”，对浅层地下水的水盐动态和均衡过程进行人工的调节与控制，作为管理水资源的有效手段。从而控制地下水位、调节地下水量、改造地下水水质，达到综合治理旱涝碱咸的目的。

2. 杨家寺公社咸水改造利用的方法是：“人工补淡，自然排咸”，即浅层回灌补淡、深河自然排咸与抽水利用加强咸淡水交替相结合，促进咸水向淡水的转化。不仅能淡化潜水，而且能淡化浅层承压水。咸水改造利用最基本的条件是要有排咸出路，在有河道的地方应尽量发挥河道的自然排咸能力，必要时加深河床，在无河道的地方如有条件可开挖深渠。

杨家寺公社的经验证明在有排咸出路的条件下，咸水可以灌溉，既利用了咸水，又促进了咸淡水的交替。因此“人工补淡，自然排咸”的方法是在利用中改造咸水，不但对于浅层咸水的改造利用具有重要意义，而且也指出了深层咸水改造利用的途径。

3. 浅层回灌不但能补给潜水，而且通过井灌井的自动回灌作用可以补给承压水。因此在主要开采深层地下水形成区域性降落漏斗的地区，可以进行深浅层回灌结合的试验，以浅层地下水库作为深井回灌水源，以井灌井方式对深井进行自动回灌，简便经济，不存在机械淤填和化学淤填的问题。适合农田回灌的需要。

# 矿坑涌水量预测的数值方法与 召口矿区的计算实例

山东大学数学系  
山东省冶金局 JL 铁矿地测科

## 一、引言

采用数字电子计算机预测矿坑涌水量，为放水疏干工程提供可靠的设计依据，是一种很有前途的新方法。

自1976年4月开始，山东JL铁矿与山东大学数学系协作进行召口矿区涌水量预测计算，预期达到的目的是：

1. 根据召口矿区放水试验的资料，确定水文地质参数，弄清该矿区水从哪里来，来多少的问题，并进一步预测矿坑涌水量，为放水疏干工程的设计提供依据。
2. 通过该矿区的放水实践，对计算结果进行验证。
3. 总结出对不同矿区普遍适用的计算方法，编制出通用程序。

该矿区自1975年10月份开始每天坑内放水 32000 立方米，并一直持续进行。我们依据放水试验前十天的资料，算出全部水文地质参数和天窗水量；并以此为依据，预测了1976年6月1日的水位分布。结果与实测水位分布很接近，初步证实了数值计算结果的可靠性。在此基础上进行了疏干时间、稳定漏斗的形状以及稳定流量的预测计算。计算工作于1976年7月份完成。该矿区自8月份开始加大水量放水，到11月初为止，矿区中心的钻孔水位下降了约56米，水位与水量基本稳定。这一水平的稳定流量与原来的预测计算基本相符，这就进一步证实了数值计算结果的可靠性。

本文对有限元方法和最优化方法在水文地质计算中的应用只作简单介绍，着重叙述召口矿区计算的全部过程。对于水文地质条件的分析、计算方案的选定、数据整理、参数的选取与修正都作了详细地介绍；对参数计算的可靠性也进行了讨论。最后，根据放水试验对数值计算的结果进行了评价。

以ALGOL-60算法语言写的计算程序附在本文的后面，这一程序具有较大的通用性，对于不同矿区的计算只需相应地更换数据纸带。对于同一个矿区，这一程序既能用于反求参数的计算也能用于疏干的模拟计算。为此，也只需对数据纸带进行各别的修改。这就为水文计算人员提供了较大的方便。当然，这一程序还需要使用者进一步修改，使之逐步完善。

## 二、地下水计算中的数值方法

### 1. 地下水流动的基本方程

描述在非均质、各向同性孔隙介质中地下水二维不稳定流动的基本方程是：