

王甫洲工程对老河口市城区浸没影响的研究*

李思慎 张 伟
(土工研究所)

摘 要 通过对老河口市城区现状调查、城区工程地质水文地质的勘察、地基土工程性质的试验,以及王甫洲电站蓄水后城区地下水的预测等项研究,指出王甫洲电站蓄水后将会对老河口市城区造成浸没影响。为此,提出了设置排水井列的排水方案,给出了排水井列的主要参数,经验算,所提排水方案可基本解决老河口市城区的浸没问题。

关键词 浸没;地下水;排水井;排水工程;王甫洲;老河口

0 前 言

湖北省老河口市(城区)位于汉江一级阶地上,地面高程一般为88~89m(黄海高程,下同),局部范围低于88m。汉江平均水位81.86m。

拟建的王甫洲水利枢纽位于老河口市下游3~7km处,工程建成后正常蓄水位86.23m,较之汉江天然江水位升高约4.37m。王甫洲水利枢纽兴建后,是否对老河口市城区造成浸没,影响程度如何,以及采取何种工程措施来消除或减小浸没的影响,这些问题曾受到各方面的关注。

关于城镇浸没问题,所见报道甚少。水利水电工程地质勘探规范(SDJ14-78)指出:“居民点和建筑物区的地下水临界深度(即浸没标准水深),应根据地基土在浸水饱和后的强度变化特点、建筑物规模、设防情况和其它有关要求确定。”可见,对浸没的评价尚缺乏量化标准。

本文从老河口市城区现状、工程地质水文地质条件、地基土的工程性质及王甫洲电站蓄水后城区地下水的预测等方面,综合分析并评价了老河口城区的浸没问题,提出了减小浸没影响的措施。

1 老河口市城区现状

老河口市城区面积11.2km²,人口约8万,城区布局见图1。城区工业与民用建筑可大致分为三

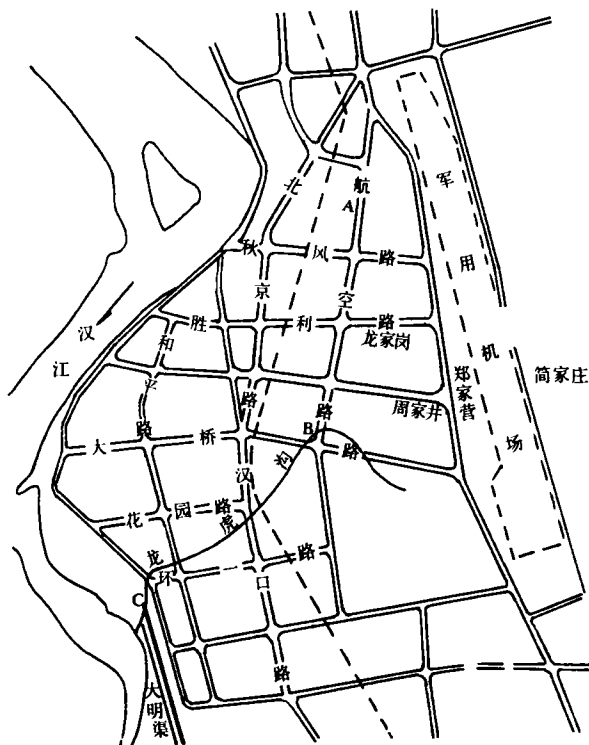


图1 老河口市城区图

类:①3层以下低矮房屋,这些房屋多为1982年前修建,标准低、基础浅,在城市规划中将被逐步淘汰,本研究不讨论这类建筑。②已有的10幢高层建筑的基础处理深度较大,措施也较可靠;重要工业厂房位于东区或南区,基础处理多用桩基且已在地下水位以下,这类建筑也不再讨论。③中层(4~7层)建筑为市区主要建筑,是本研究的主要对象。1988年前中层楼房地基处理的主要措施是换砂,

收稿日期:1995-05-20

* 参加研究工作的还有吴昌瑜、任大春、丁红顺、蒋顺清等。

换砂深度 1~3m; 1989 年后引进石灰桩加固技术, 处理深度 5~8m。文献[7]介绍, 石灰桩适用于有或无地下水情况下的粘土、粉土、淤泥等土类。城区建筑物绝大部分都对墙体作了防潮处理, 但地面的防潮处理仅少数建筑物得以实施。

市区已有的及规划的排水系统主要是排放雨水及污水, 王甫洲电站建成后规划了 5 条截流管渠集中汇入龙虎沟。在龙虎沟距汉江出口 120m 处开挖大明渠, 将污水排至电站下游。城区东侧军用机场四周均有排水沟, 并通过多条沟渠汇入大明渠。

2 工程地质水文地质条件

城区地基属典型二元结构, 上部为壤土、粘土(厚 3~15m)、下部为砂砾石(5~15m), 覆盖层总厚约 20m。基岩为粘土岩和砂岩, 顶板高程一般为 70m。典型地质剖面示于图 2。壤土位于阶地前缘, 自北向南逐渐变宽; 粘土则主要位于阶地后缘。壤土中还混有杂填土, 而粘土则常有淤泥夹层, 从而导致地基承载力的分布不均。

根据对大量民用水井的调查、工业与民用建筑基础的施工情况、及地下水的长期(半年)观测, 城区地下水有以下分布规律:

(1) 城区东侧(机场附近)地下水位有 88m, 高出汉江水位约 7m。该处水井多有百年历史, 深约 8~10m, 均达砂卵石层, 井水水质清甜、水量丰富、久旱不干。水位稳定, 夏冬仅差 1~2m。情况表明, 砂卵石层地下水是城区地下水的重要补给水源。

(2) 地下水自东向西近垂直流向汉江, 在滨临汉江的 300~500m 范围, 地下水水面坡降约

6‰~8‰, 而远离汉江的地下水水面坡降仅 1‰左右。

(3) 长期观测资料证实, 壤(粘)土层中地下水位与砂卵石层中地下水位基本一致。

(4) 城区地下水位较高, 铁路以东、大桥路以南(滨江 300~500m 范围除外)的地下水埋深仅 2m 左右; 老城区(铁路以西、大桥路以北及秋风路以南的地区)地下水埋深一般在 3~4m, 但靠近铁路也有埋深仅 2m 的局部范围; 滨江 300~500m 的沿江条带区埋深 5~6m。

3 地基土层的工程性质

3.1 物理特性及渗透性

试验得出, 粘土的粘粒含量大于 40%, 壤土的粘粒含量为 22%~30%; 土体的干密度为 1.44~1.62t/m³, 含水量普遍超过塑限 5%; 饱和度较高, 部分土体达 90%~95%, 已接近饱和; 土体孔隙比为 0.656~0.862。因土体中有腐烂植物根系及小动物孔洞, 渗透系数稍大, 为 10⁻⁴~10⁻⁶cm/s。对土样重塑, 用负压法测得的毛管上升高度, 粘土为 2.5m, 壤土为 2.3m。

3.2 土的含盐量及次生盐渍化问题

经对 9 个样品的测试可知, 仅少数土样含少量难溶盐(<4.32%), 可溶盐含量甚低(<0.14%), 中溶盐含量仅为痕量。而地下水又为 HCO₃-Ca 型, 矿化度仅 368.6mg/L。故王甫洲电站建成蓄水后, 虽会抬高城区地下水位, 但不会产生盐渍化。

3.3 力学特性

为评价浸没影响, 土体浸水后的变形特性是一

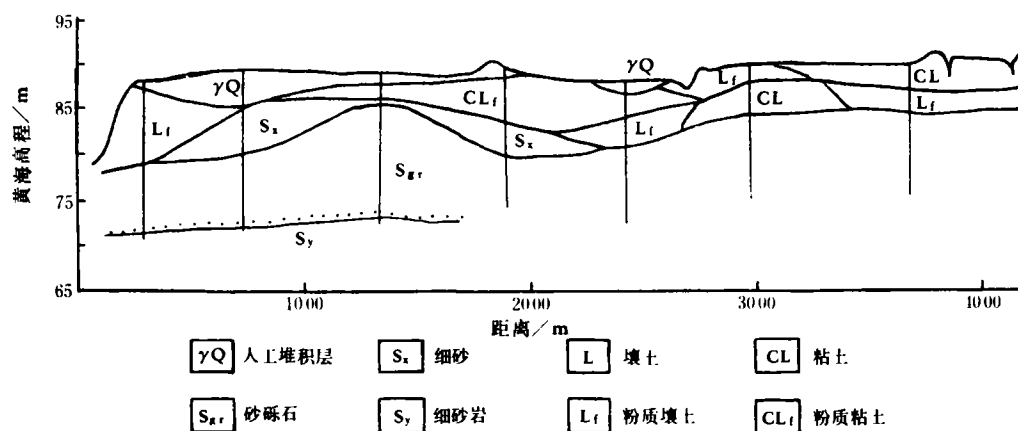


图 2 老河口市地质勘探剖面

表 1 土工试验(力学性)成果表

试样 编号	渗透系数 /cm · s ⁻¹	抗 剪 强 度				固 结 特 性				单位沉降量增量百分比(%) (在下列压力浸水饱和)			
		自然固结快剪		固结饱和快剪		常 规	非饱和	毛细饱和					
		C/kPa	φ/(°)	C/kPa	φ/(°)	a _{v1~v2} /MPa ⁻¹			50 kPa	100 kPa	200 kPa	400 kPa	
TK2	5.7×10 ⁻⁴	6	23.1	13	22.5	0.67	0.66	0.64	0.96	4.1	2.4	0.78	
TK4	1.86×10 ⁻⁵	18	17.0	31	16.5	0.49	0.57	0.5	1.7	2.4	0.57	0.79	

个重要指标。为此将原状土样在抽气饱和(常规方法)、毛细饱和及非饱和三种不同状态下进行压缩试验,得出粘土、壤土的压缩系数 $a_{v1 \sim 2}$ 均大于 0.5 MPa^{-1} , 为高压缩性土。

浸水下沉试验是将天然土样(非饱和)放在压缩仪上进行的,对不同土样分别在 50kPa , 100kPa , 200kPa 及 400kPa 时浸水(毛细饱和),测出该压力下的变形增量,并计算出各压力下单位变形量增量的百分比(见表 1)。可知壤土、粘土的最大单位变形增量分别为 4.1% 及 2.4% 。就一般情况而言这个值是不大的,对变形不是特别敏感建筑物不会带来严重危害。

4 王甫洲电站蓄水后城区地下水预测

4.1 计算域、边界条件及计算参数

4.1.1 计算域

老河口市城区东西向宽约 $1.5 \sim 4\text{km}$, 南北向长达 5km , 而垂直方向透水层厚仅 20m 左右。故此对所研究的范围只在水平方向将城区稍加扩大,东部边界选在机场东侧,北为李家沟,南为环三路,西为汉江。

4.1.2 边界条件

西部边界为汉江水位,王甫洲电站未建时取 81m ,建成后取 86.23m ;南北及底部边界均作不透水考虑;东部为地下水补给边界。根据观测,东部地下水位为 $88 \sim 89\text{m}$,受江水涨落影响较小,可作依据。

应该说,上部边界的降雨对地下水是有影响的,但在城区要确定降雨的入渗强度又是非常困难的。对于城镇,因房屋、道路密集,有良好的雨水集排系统,入渗量可能偏小;东部粘土层透水性弱,地表水向下补给量极少;又从老河口市气象资料知,最大年降雨量为 $1\,245.3\text{mm/a}$,而最大年蒸发

量为 $1\,327.9\text{mm/a}$,可见入渗量也会较一般情况小。由此可知,老河口市城区降雨补给量不会太大,计算中不直接考虑降雨补给,作为补偿拟将东部地下水位定为偏高的 89m 。

4.1.3 计算参数

根据已有勘探成果及试验资料,壤土渗透系数为 $1 \times 10^{-4}\text{cm/s}$,粘土渗透系数为 $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$,强透水砂卵石层为 $7.5 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ 。以上为基本计算参数,其中砂卵石的渗透性因试验工作太少,所提参数难以概括全貌。为此,还依据现有地下水的分布规律,对砂卵石的渗透性进行了反演拟合。拟合的结果是将南区临江局部范围的砂卵石渗透系数修正为 $1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 。

4.2 计算方案及结果

本计算主要是用三维有限元分析方法,共计算了 9 个方案。表 2 给出了 4 个主要方案有关控制点的计算结果。方案 L_3, L_6 中的砂卵石为均匀一层, L_5, L_7 则在南区临江部分的砂卵石采用了反演修正的渗透系数。 L_6, L_7 是对现状的分析,汉江水位取 81m ;而 L_3, L_5 是对库水位升至 86.23m 后城区地下水的预测,是评价浸没问题的主要依据。

计算指出,王甫洲电站蓄水后北京路及汉口路沿线的地下水埋深仅 $0.5 \sim 3\text{m}$,局部已接近地表,该线以东的广大地区埋深更小。而沿江的 $300 \sim 500\text{m}$ 条带的地下水埋深,除地表高程较高($>89.5\text{m}$)的部分有 $3 \sim 4\text{m}$,多数也只有 2m 左右。

5 老河口市城区浸没影响评价

5.1 浸没影响的评价标准

浸没的评价标准一般是指地下水的临界埋深。建筑物、道路、农作物及居住环境,对临界埋深的要求是不同的;另一方面,临界埋深还同当地的气象、地质条件及地理环境有关,有明显的地区差

别。可见临界埋深难有严格的标准量值,有的甚至需会同有关方面协商确定。对老河口市城区提出的评价标准如下。

表 2 地下水位预测成果表

位 置	地表 高程 /m	计 算 成 果			
		东 89m		东 89m	
		西 86.23m		西 81.00m	
		L3	L5	L6	L7
建新·北京	90.1	87.1	87.1	83.6	83.7
·航空		87.6	87.5	84.9	84.9
秋风·北京	89.3	86.6	86.8	82.4	82.9
·航空	89.2	87.5	87.7	85.1	85.5
胜利·和平	89.8				
·中山		87.0	87.4	83.6	84.5
·北京	88.5	87.2	87.5	84.5	85.1
·航空	88.3	88.1	88.2	86.7	87.0
东启·和平	90.6	86.4	87.5	81.6	84.7
·中山	88.3	86.7	87.6	83.0	84.9
·北京	88.6	86.8	87.6	83.2	85.0
·航空	88.1	87.5	88.0	85.4	86.2
大桥·化工	88.8	86.3	87.6	81.6	84.7
·北京	89.0	86.9	87.7	83.5	85.3
·航空	87.6	87.5	88.0	85.3	86.2
花园·化工	87.9	86.3	87.3	81.5	83.5
·汉口	88.3	87.0	87.8	83.9	85.5
环一·化工	88.5	86.6	87.7	82	85.1
·汉口	89.1	87.1	87.9	84.3	86.0
·铁路		87.3	88.0	84.8	86.3
环二·汉口		87	88.0	82.5	86.3
·铁路		87.3	88.1	83.9	86.7
环三·汉口		87.1	88.1	83.8	86.5

说明:大桥·北京即大桥路与北京路交叉口,余类推。

(1)“对于建筑物,浸没的地下水临界埋深一般取建筑物的砌置深度与土的毛细管上升最大高度之和”^[3],显然这一原则是对现有地下水埋深大于临界埋深而言的。如果目前地下水埋深已经小于这一临界埋深,就建筑物而言应不会有新的浸没问题。要确定地下水临界埋深,现已知城区土壤的毛细上升高度为2.3~2.5m,关键就在于如何确定基础的砌置深度。如前所述,中层建筑视不同地基,主要有换砂及石灰桩两种处理办法,其中换砂多为2~3m,石灰桩5~8m,已形成复合地基。建筑物再砌置在这种复合地基之上,其深度也各不相同,约1~2m。显然,浸没的临界水深难以用上述简单的加法得出一个确定的量值。下面以换砂为例作一简

单分析:若认为基础置于换砂的基础内,即砌置深度1~2m,基础下还有1m的砂或砂卵石,而砂或砂卵石的毛细上升高度一般均不大于1m,此时定出临界水深为2.5~3m是合理的,称其为Ⅰ类临界水深 H_1 ;但是换砂层下面是原地基土,原地基土浸没后的变化,必然会对砂基乃至其上的建筑物产生影响,若以换砂的深度为砌置深度再加上毛细上升高度,则临界埋深为4.8~5.3m(壤土)或5.0~5.5m(粘土),称之为Ⅱ类临界水深 H_2 。

(2)关于居民生活环境的影响未见规定。考虑到老河口市城区建筑,虽绝大部分都做了墙体防潮设计,但多数地表均未做防潮设计。为不使现有居民的生活环境因浸没而恶化,地下水的临界埋深可考虑为毛细水上升最大高度加0.5m,即2.8~3.0m。

5.2 对建筑物的影响

5.2.1 当前地下水埋深及与建筑物基础的关系

通过大量的调查及钻孔观测已知,铁路以东(含秋风路以北)、大桥路以南(不包括沿江300~500m的地带)的区域内,现在地下水深仅2m左右,均小于临界水深 H_1 及 H_2 。显然,现有建筑物基础已在地下水位以下或在毛细饱和带中。老城区(不包括沿江300~500m条带)现有地下水埋深为4m,大于 H_1 小于 H_2 。用Ⅱ类临界水深判别,不会再产生严重的不利影响;若以Ⅰ类临界水深判别,地下水上升后的埋深若小于 H_1 ,浸没影响即会发生。临江条带地下水埋深较大,为4~6m,浸没的可能性是存在的。

5.2.2 浸没后的地基变形

由试验知,地基土浸水后的变形增量很小,相对原变形量仅增大4.1%(最大值),这对变形不是特别敏感的建筑物不会带来大的危害。

5.2.3 水库蓄水后地下水的预测成果

如前所叙,蓄水后北京路及汉口路沿线的地下水埋深仅0.5~3m,局部已接近地表,该线以东的广大地域的埋深更小。而沿江的300~500m条带的地下水埋深,除地面高程较高(>95m)的部分有3~5m外,多数只有2m左右。可见城区较大范围内的地下水埋深都小于临界埋深。

5.2.4 影响评价

综合以上几点,可以得出以下看法:

(1)铁路线以东及大桥路南(不含临江条带)的地区,目前的地下水埋深仅2m左右,建筑物基础

已经砌置在地下水水面以下或毛细饱和带中,且地基土工程性质在浸水后没有大的变化。因此,该区建筑物不会受到浸没影响。

(2) 老城区大部分范围,王甫洲电站蓄水后地下水埋深为1.5~3.4m,以 I 类临界水深作为标准,受浸没影响约1.2km²,主要位于大桥路至秋风路的北京路两侧,以及友谊路、学府路一带。

(3) 沿江 300~500m 条带,水库蓄水后的地下水埋深为 1~3.9m,局部范围甚至为负值(地面低于86.23m),受浸没影响约为1.0km²。

5.3 对居住环境影响

计算表明城区地下水位今后将普遍高于86.23 m,自西向东逐渐抬高,北京路及汉口路沿线的地下水埋深为0.5~3m,东部埋深更小,老城区内的地下水埋深一般也在1.5~3.4m 的范围。可知,较大范围内的居住环境都要受到不同程度的影响,其中老城区 1km² 范围的影响较大。

6 减少浸没影响的工程措施及效果

为了消除老城区、沿江地带建筑物所受浸没影响,以及更大范围内居住环境所受影响,经多个方案比较,决定采用排水减压方案。因保护的主要范围是老城区,为拦截东部来水,将排水井列布置在航空路(AB 段,长 2 000m)及龙虎沟(BC 段,长 2 000m)一线是合理的(见图 1)。

经分析,排水井应打穿整个砂卵石层(完整井),井径选为0.25m,井距为 50m,井的出口高程自 A 至 B 到 C 逐渐降低。

采用排水方案,流出的水均需排入龙虎沟。但老河口市二期市政排水设计的龙虎沟沟底高程偏高(龙虎沟与大明渠交汇处 C 点为82.98m, B 点为84.87m),加上沟内水深 1~2m, B 点处的沟内水位将达 86m,这将影响排水效果。因此,龙虎沟需适当加深,大明渠进口高程(C 点)也应随之降低。

经计算比较,大明渠入口处高程需降至 82m, B 点的沟底高程应为 84m,相应 A, B, C 三处的排水高程为 86m, 85.4m 及 84m。这样大部分城区的地下水位均可得到控制,计算成果示于表 3。

由表 3 可知,对维持龙虎沟沟底不变的 LD1, LD2, LD3 均不能满足地下水埋深大于 3m 的要求。而降低了龙虎沟底的 LD4,有代表性点的地下水埋深,除少数点接近 3m,多数点均大于 3m,已基本

满足要求。为了尽可能减少工程量,LD5, LD6 则只分别在 BC 段或 AB 段布井,结果分别在城区的北部或南部达不到要求。

表 3 采用排水井措施后重要位置的地下水位 m

位 置	未 排 水	85~86~86.6			84~85.4~86			地面 高程
		(C)	(B)	(A)	(C)	(B)	(A)	
		LD1	LD2	LD3	LD4	LD5	LD6	
环一·化工	87.7	85.25	85.3	86.5	84.6	84.6	86.4	88.5
环一·汉口	87.9	85.6	85.6	86.8	84.8	84.8	86.6	89.1
花园·化工	87.3	86.0	86.0	86.2	85.7	85.7	86.2	87.9
花园·汉口	87.8	85.6	85.6	86.5	84.8	84.8	86.3	88.3
大桥·化工	87.6	86.0	86.0	86.2	85.7	85.8	86.2	88.8
大桥·北京	87.7	85.9	85.9	86.2	85.3	85.4	86.2	89.0
东启·和平	87.5	86.1	86.1	86.2	85.9	86.0	86.1	90.6
东启·中山	87.6	86.0	86.2	86.1	85.6	85.9	86.0	88.3
东启·北京	87.6	86.1	86.4	86.1	85.6	86.1	85.8	88.6
胜利·中山	87.4	86.2	86.7	86.2	85.8	86.5	85.7	
胜利·北京	87.5	86.3	87.1	86.3	85.8	86.9	85.8	88.5
秋风·北京	86.8	86.3	86.6	86.3	86.1	86.5	86.1	89.3
建新·北京	87.1	86.7	87.4	86.7	86.4	87.1	86.5	90.1

根据以上的效果分析,推荐 LD4 排水方案。方案实施后,老城区的建筑物及居住环境基本可不受浸没影响,东区和南区的居住环境也会得到大的改善。沿江条带地下水位也有较大降低,尚有小部分没有得到改善的地区可再设置地表排水沟或排水暗管解决。

LD4 方案的排水总量约为0.2m³/s,龙虎沟及大明渠原设计的流量基本不受影响。

7 结 论

(1) 老河口城区地基为汉江一级阶地,二元结构,上部为厚 3~12.5m 的壤土、粘土,下部为砂和砂卵石层,厚约 5~15m。地下水自东向西流入汉江,东部地下水位高于汉江 6~8m,补给丰富。已初步查明:城区铁路线以东大桥路以南的地下水埋深仅 2m 左右;老城区地下水埋深约 4m;南区及老城区沿江地带地下水埋深可达 5~6m。

(2) 试验证实,地基土层浸水后的变形不大,单位变形量的增量仅为4.1%,对变形不是特别敏感的建筑物不会带来大的危害。

(3) 根据浸没评价的一般原则,结合老河口市具体情况,确定本次评价标准:

建筑物——地下水临界埋深 3m;

居住环境——地下水临界埋深为2.8~3.0m。

(4) 王甫洲电站建成蓄水后,老河口市城区地下水位将抬高到86.23m以上,地下水埋深在城区大部分范围内均小于3m。由于铁路线以东、大桥路以南的大部分地区,目前地下水埋深只有2m左右,受浸没影响较小。对建筑物而言,受浸没影响的主要有老城区北京路两侧约1.2km²及沿江1.0km²的范围。对居住环境,范围稍有扩大。

(5) 为减少浸没影响,建议沿航空路及龙虎沟打深至砂卵石层的完全排水井列,长4000m共80口井。为了有效排水,降低地下水位,龙虎沟沟底高程应降低0.7~1.0m。这样老城区受浸没影响的1.2km²的全部、临江1km²的部分可消除浸没影响。临江还有部分地区可埋设排水沟及排水暗管解决。

(6) 浸没问题是一项复杂而又细致的工作,既需要严格的科学计算、试验,又需要考虑一定的社会影响。本研究仅是初步成果,随今后工程的进展,对影响范围及控制措施还可进一步研究修正。建议下阶段重点进行下列几项工作:

① 查清东部地下水的补给源,进行城区1/5000水文地质测绘并在老城区增打两个勘测剖面。

② 进行更大范围、尤其是老城区地基土的浸水下沉试验。

③ 坚持地下水的长期观测。

④ 根据新的资料进一步预测地下水位并优化

排水措施。

致 谢

在完成本项研究过程中,汉江开发公司技术部、老河口市政府给予了积极配合并提供诸多帮助;老河口市城市建筑设计院、工程勘察处、市政工程公司、城建委档案馆等单位提供了许多宝贵资料;长委会第一勘测大队完成了必要的勘探与观测工作,给予了充分的合作。谨此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 中国国际工程咨询公司. 关于《王甫洲水利枢纽工程可行性研究报告》的评估报告(咨农[1992]559号), 1992. 11
- 2 水利水电工程地质勘察规范 SDJ14-78(试行). 北京:水利出版社, 1981
- 3 水利部长委会勘测总队. 水库工程地质勘察技术规定(送审稿). 1993. 5
- 4 长委会勘测总队. 汉江王甫洲水利枢纽工程地质报告. 1992. 3
- 5 吴昌瑜, 李思慎. 水库对老河口市城区浸没影响的初步分析. 长江水利委员会, 1991. 9
- 6 老河口市城建委勘察室. 老河口市城区工程地质报告. 1990
- 7 袁内镇, 韩尚义, 闫明礼等. 石灰桩复合地基试验研究综合报告. 湖北省建筑科学研究设计院等, 1992. 7
- 8 中国给水排水中南设计院. 老河口市二期排水工程初步设计说明书. 1986. 1

Researches on Immersion Influrnce Upon Laohekou Urban Area After Construction of Wangfuzhou Project

Li Sishen, Zhang Wei

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract On the basis of engineering geologic and hydrogeologic investigations, tests of foundational soils and groundwater level prediction under the condition of water storage in wangfuzhou reservior, it is pointed out the storage of water in wangfuzhou reservior will make Laohekou urban area immersed in ground water. Therefore, a drainage design of well rows and their main design parameters are proposed. The calculated results show that the proposed design can protect laohekou urban area from immersion after storage in Wangfuzhou reservior.

Keywords immersion; groundwater; drainage sump; drainnage work; Wanfruzhou; Laohekou