

葛洲坝工程对宜昌城市及库区水文地质、 地下水环境的影响与评价

王海云

(宜昌市环境保护监测站, 宜昌 443000)

摘要 就葛洲坝工程对宜昌城市及库区水文地质、地下水环境影响进行了分析研究, 并着重对出现影响较大的潜在性环境地质问题进行了综合评价。

关键词: 城市区; 水文地质环境; 地下水环境; 影响评价。

葛洲坝水利枢纽工程位于湖北省宜昌市建成区西陵区长江葛洲坝处。坝集水面积100万km², 坝高47m, 坝长2.6km, 电站两座, 年发电量157万千瓦小时。工程主体距市中心仅3.1km。工程总投资48.48亿元。

1 工程对宜昌城市区地形地貌 及第四纪堆积物的影响与评价

工程在特定的地理环境条件下一长江葛洲坝拦腰筑坝, 在市区内第四系冲积层含水层上进行大型建设活动, 加之水库占有相当的水域面积, 首先引起城市地形地貌及第四纪堆积物的变化。工程完工后形成以人类为动力的现代城市地形地貌。

2 工程对长江下游宜昌段河道变迁的影响

1.1 来水来沙条件的变化

工程完工后长江宜昌段来水来沙条件与开工前影响变化结果见表1。库区的淤积经监测表明, 大坝蓄水后, 1981年正遇到历年丰沙年, 年输沙量7.28亿t, 库区淤积量8385万m³, 随着以后逐年河道的输送和冲刷, 剩有1617万m³, 到1988年淤积量仅46万m³, 基本与长江原来沙的输出输入持平。

2.2 河道的纵向、横向变化趋势

总趋势发生冲刷, 通过冲刷重新达到新的平衡。冲刷机理和进程具体特征为: 冲刷

表1 葛洲坝建成后来水来沙条件与开工前对比

年度各时段	流 量 (m ³ /s)		含 沙 量 (kg/m ³)		年 输 沙 量 (万t)	
	开工前天然状况	工程完工后	开工前天然状况	工程完工后	开工前天然状况	工程完工后
防洪限制6~9月	25625	24976	1.597	1.507	43162	43170
10月	19400	19407	0.757	0.690	8933	3943
11~12月	8185	8183	0.347	0.348	1497	1506
1~5月	4806	4817	0.169	0.167	2706	2717
全年平均	14200	14264	0.718	0.678	12824.5	12834

收稿日期: 1991年4月18日

承蒙任天培教授指导, 在此表示谢意。

强度。大坝下游沿程向下随时间的推移逐渐变小,5至10年后70~100m距离内重新恢复平衡;水流的挟沙能力有所降低;冲刷过程中床沙与悬移质不断发生变换,使泥沙沿程有所递增。

经实测7条横断面进行工程前后比较得出:河道宽深比由原来的2.27变为1.25,水深相对变化率+81.5%,河宽相对变化率10%~15%;横向变化从大坝下逐渐由强变弱,主要增强段在镇川门一带;河床形态,河流曲流波长和河流坡度增大,水深和河道曲折率减小。

3 工程对市区基岩体的工程地质影响与评价

3.1 卸荷回弹问题

因开挖卸荷引起的岩体回弹现象普遍。经监测卸荷与回弹的定量关系,当地面高程由1973年12月21日的29.36m,下降到1975年3月18日的25m时,卸荷约107.8kPa,上升5.3mm。1977年3月26日挖到点基高程6m时,累计卸荷500kPa,累计上升13mm,见图1。卸荷回弹主要发生在地表浅部,随深度增加回弹量逐渐减小。

3.2 基岩沉陷变形问题

经监测证明施工期沉陷量随时间逐步加剧。但从1981年5月蓄水后并经历特大洪水考验(过坝流量7.2万m³/s),沉陷量加剧到1982年最高值后又逐步恢复到原水平,至今基本稳定。工程建设后对大坝建筑体的沉

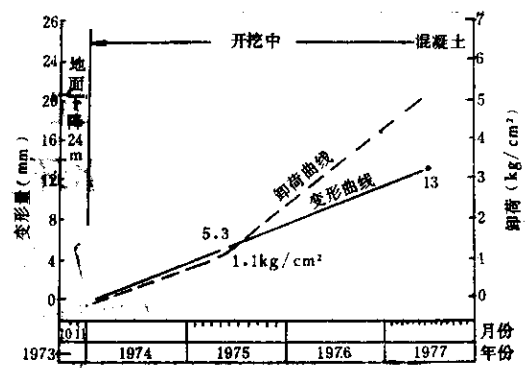


图1 回弹量历时曲线

陷量监测结果见表2。

4 葛洲坝水库蓄水后诱发地震对城市环境的影响与评价

4.1 水库蓄水后本地区地震活动特征分析

4.1.1 地震活动的频度、强度

蓄水后共发生地震21次,年平均4次。从年频度变化看,蓄水后没有改变蓄水前的形态。频度年均值减少一倍,基本保持地震活动平静期的水平。

库区以微震形式释放能量。蓄水前纪录到地震中3级以下的为97%,最高震级为1979年5月20日秭归县5.1级地震。蓄水后纪录到21次地震中3级以下占95%,最高震级为当阳峡口3.8级地震。从地震频度—震级关系上,蓄水前B值(0.474),蓄水后为(0.498),基本相同。能量释放速率与蓄水前无明显差异。

4.1.2 空间分布

表2 工程后坝建筑体沉陷量监测结果

观 测 点 位 置	时 (代 表 性)	沉 陷 量	岩 体 岩 性	
二江泄水闸、电厂	1~3 闸 段	1981年5月蓄水	10~15.5mm	泥岩夹泥化岩
	4~8 闸 段	水位60m,至后1982	5~8mm	厚度砂岩
	9 闸 段	年为运行年	6~10mm	砾岩夹砂岩
	1~3 机 组		15~21mm	薄层砂岩
	4~7 机 组		6~14mm	粉砂岩夹泥岩

库区小震分布分散, 较大地震多沿断裂带发生, 蓄水后21次地震中有20次发生在离水库15km以上的断裂带附近, 这些部位都是蓄水前的地震活动区。

4.1.3 地震活动与库区水位

水库水位变幅与长江水位变幅一致, 最高出现在7~10月份。而地震活动都是随机分布的与水位涨落无对应关系。1981年7月长江发生50年来罕见的特大洪水, 在此期间库区仅发生一次正常的小震, 并无较大地震或震群与之对应。

4.1.4 断裂带活动情况

库区几条断裂带活动量仍然保持在蓄水前的活动水平。如仙女山断裂带上盘下降年速率保持在0.076mm。无阳坪断裂带上盘年上升常保持在0.05mm。

4.2 葛洲坝水库出现诱发地震的预测与评价

根据地震重复性原则, 构造类比等多项计算方法, 并参考有关学者对三峡地区地震研究的意见得出如下预测评价结论:

4.2.1 库区上段几条主要断裂带具有微弱的活动。特别是横贯库区的九湾溪断裂带, 具有诱发水库地震的构造条件。

4.2.2 蓄水后坝区地层具有沉陷一回升一趋于稳定的过程。这些形变过程与正常的水库蓄水对应而与构造运动无关。原坝库区初始应力较小, 水库蓄水后产生的附加应力微弱, 达不到诱发地震的水平。

4.2.3 经国内外水库地震震例得出, 在蓄水后5年诱发最大地震的水库占98%。葛洲坝水库蓄水已10年, 并已经承受了50年未遇到的罕见特大洪峰考验, 诱发性水库地震可能性较小。

4.2.4 因属槽式蓄水发电, 今后水位变化不会显著改变库区地下水的渗透流状态。但根据构造岩性、水渗透环境、水负荷应力压强等多项结果表明, 葛洲坝水库仍具备诱发地震的条件。此外由邻近地区发生的构造

地震和未来三峡大坝发生水库地震而诱发的水库地震对城市市区的影响是不可忽视的。

5 工程对宜昌城市区地下水环境的影响与评价

5.1 工程对地下水环境的影响与评价

5.1.1 污染源与污染物

主要是工业污染源, 工业废水排放, 工程开工前的1970年为800.85万t/a, 其中直接渗入地下水的约24.5万t/a。而工程完工后的1986年为2135万t/a, 其中以不同形式排入地下水量为149.45万t/a。与工程前相比, 废水排放量增长1.67倍, 排入地下水量增长14.17倍。主要污染物见表3。

5.1.2 污染途径与污染源强

工程完工蓄水后, 坝下地下水因受沿江防护堤的拦阻水头抬高, 使在城市下含水层上部的工业废水排放源普遍达到潜水区, 造成地下水直接受到废水的污染而占据了含水层的一定厚度。工业废水污染源强见表3。

5.1.3 城市区地下水环境质量评价

选用表4中的各项浓度值作为评价的污染起始浓度。经计算分别得出地下水污染因子分指数 P_{ij} 值和城市各功能区污染指数 R_{ij} 值, 各污染物参数权重因子和污染综合指数, 最后确定出地下水的分级标准表5。地下水综合污染指数 E_j 值见表6。

经评价工程完工后城市各功能区地下水水质状况: 旅游工业区地下水环境污染指数 $E_j=0.597$, 属1级清洁区; 商业居住区污染指数 $E_j=0.912$, 属3级轻污染区; 工业区污染指数 $E_j=1.089$, 属4级重污染区。

5.2 城市地下水环境预测评价

选用地下水输入输出水质模型预测2000年污染程度。

预测公式:

表 3 宜昌城市区主要工业废水排放渗入地下潜水污染源强度

工业废水排放企业	排 放 量 (万 t/a)	渗入地下量 (万 t/a)	渗 入 率 (%)	污 染 物 量 (t/a)	排入地下量 (t/a)
24家主要排放大户	680.9	45.56	6~7	3621.5	248.49

工业废水排放企业	主 要 污 染 物 量 (t/a)											
	石油类	COD	Fe ³⁺	Cu ²⁺	As ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	酚	Cr ⁶⁺
24家主要排放大户	199.2	13.39	2.654	2.156	1.776	1.08	1.62	0.481	4.26	1.01	0.237	0.236

表 4 工程前宜昌城市区地下水各元素本底浓度及污染起始值计算

污 染 物	本底浓度 (mg/L)	δ 值	污染起始值	污 染 物	本底浓度 (mg/L)	δ 值	污染起始值
Fe ³⁺	0.071	0.040	0.151	SO ₄ ²⁻	36.36	6.03	48.42
Mn ²⁺	0.0043	0.0009	0.007	F ⁻	0.003	0.0004	0.0042
Cu ²⁺	0.005	0.0012	0.0086	As ³⁺	0.004	0.0008	0.0084
Zn ²⁺	0.009	0.004	0.021	Cr ⁶⁺	0.0048	0.0001	0.0051
Pb ²⁺	0.0115	0.0006	0.0133	酚	0.0009	0.0003	0.0018
Cl ⁻	8.29	2.8	13.92	总硬度	159	39	238

注：污染起始值采用 $x+2\delta$ 公式计算(x 为背景浓度值， δ 为标准差)

表 5 宜昌城市区地下水水质分级标准

污染综合指数E _j	等 级	污 染 程 度	分 级 主 要 依 据
<0.6	1	清 洁	多数项目低于背景值，2~3项接近污染起始浓度值
0.6~0.7	2	微 污 染	多数项目低于背景值，4~5项超过污染起始浓度值
0.7~1	3	轻 污 染	1~2项接近水质标准，4项超过污染起始浓度4~10倍
1~3	4	重 污 染	2项超过水质标准，2项超过污染起始浓度10倍以上

$$\frac{ac}{at} = D_a \frac{a^2c}{ax^2} - U_a \frac{ac}{ax} \cdot \pm \ln \quad (1)$$

$c(x, 0) = 0$ 当 $0 \leq x < \infty$ $c(0, t) = c_0$
 $c(\infty, t) = 0$ 当 $t \geq 0$ ，在不考虑“源、汇”项(ln)的情况下，上式精确解为：

$$c(x, t) = \frac{c_0}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{x - ut}{2\sqrt{Dt}} \right] + \frac{c_0}{2} \times \exp\left(\frac{u \cdot x}{D}\right) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x + ut}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (2)$$

式中，概率积分 $\operatorname{erfc} \left[\frac{x - ut}{2\sqrt{Dt}} \right]$ 的数值

在0~1之间。 $\frac{x - ut}{2\sqrt{Dt}} = \infty$ 时， $\operatorname{erfc}[\infty] = 0$ ；当 $\frac{x - ut}{2\sqrt{Dt}} = 0.18$ 时， $\operatorname{erfc}[0.18] = 0.899$ 。

按(1)、(2)式计算出主要工业性污染指标及定性预测地下水污染趋势结果见表7。

表 6 工程后宜昌城市区地下潜水中各种污染物污染指数Rij值与综合污染指数Ej值

城市功能区	井(孔)位置	污 染 物 指 数 Rij 值					
		Fe ³⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cl ⁻
旅游工业区	三江桥	0.066	0.081	0.007	0.071	0.104	0.031
商业居住区	中医院一带	0.073	0.221	0.056	0.070	0.161	0.076
工业 区	八一钢厂	0.152	0.189	0.040	0.369	0.127	0.057

城市功能区	井(孔)位置	污 染 物 指 数 Rij 值						污染综合 指 数	水质分级
		SO ₄ ²⁻	F ⁻	AS ³⁺	Cr ⁶⁺	酚	总 硬 度		
旅游工业区	三江桥	0.017	0.00	0.068	0.00002	0.00	0.038	0.597	1
商业居住区	中医院一带	0.023	0.020	0.175	0.0008	0.00013	0.0313	0.912	3
工 业 区	八一钢厂	0.021	1.006	0.068	0.002	0.001	0.053	1.089	4

表 7 宜昌城市区地下水污染2000年趋势定性预测结果

预 测 内 容	地 下 潜 水
污 染 类 型	工业废水及生活污水
主要 污 染 物	Fe、Cl ⁻ 、As ³⁺ 、Cr ⁶⁺ 、Cu ²⁺ 、酚、总硬度
水 化 学 类 型	HCO ₃ ⁻ —SO ₄ ²⁻ —Ca ²⁺ —Mg ²⁺ 型、Cl ⁻ —Na ⁺ 型
水质基本性状指标	pH7.3~7.6; 矿化度(平均)1129.4mg/L; 总硬度(平均)28德度
污 染 状 况	总硬度80%超标; Fe ²⁺ 40%超标; Cl ⁻ 10%超标
污 染 趋 势	逐年加重
污 染 物 浓 度	总硬度280~3000mg/L
主要工业性污染指标	距排污口下游200m; Fe ²⁺ 0.35mg/L; Cl ⁻ 180mg/L; As ³⁺ 0.03mg/L; Cu ²⁺ 0.11mg/L; 酚0.01mg/L; Cr ⁶⁺ 0.04mg/L
水质污染程度	上游清洁→排污口下段重污染→下游段中污染→下游(700m)轻污染

6 工程对地下水资源的影响与评价

水库蓄水使地下水形成一个接收地表水补给量增大的资源环境, 含水层储水量增加见表 8。工程后虽然长江一、二级阶地含水层的出露面积减少, 但单井涌水量分别增加了95.72~478.82t³/d, 16.08~28.4t³/d。

6.1 地下水动力条件的变化

6.1.1 回水影响带的形成。因水库水位变幅普遍形成如南津关段岩溶水被江水淹没而形成的典型楔形回水影响带见(图 2)。

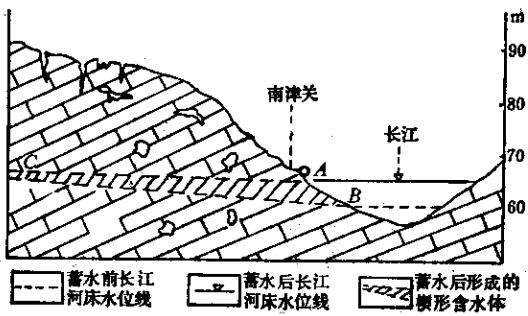


图 2 葛洲坝蓄水后南津关段岩溶水水力条件变化剖面

引起对库区地层倾斜的影响。水库水位增高负荷增加, 地层向库区倾斜。当水位减

表 8 工程前与工程后宜昌城区地下水资源储量影响对比评价

地下水类型	工程时段	含水层分布范围	含水层			水文地质试验				8"口径开采资源		含水层面积(km ²)
			时代	埋深(m)	厚度(m)	埋深(m)	降深(m)	涌水量(t ³ /d)	井径(m)	降深(m)	涌水量(t ³ /d)	
长江一级阶地孔隙潜水	工程前	宜昌市老二中	Q ₄ ^{al}	8.6~16.4	7.4~20.6	4.45	0.8~1.2	124.6	0.146	3.76	388.03	5.56
		三江桥	Q ₄ ^{al}	5.6~17.50	9.5~19.5	3.21	1.6~3.21	603.42	0.146	7.86	2925.44	
	工程后	镇川门	Q ₄ ^{al}	7.8~11.44	17.35	2.75	2.2~3.6	220.32	0.146	2.02	717.79	3.26
		滨江公园	Q ₄ ^{al}	5.9~14.3	14.5~21.6	2.87	1.2~2.3	533.95	0.146	6.94	1457.82	
长江二级阶地孔隙潜水	工程前	夜明珠	Q ₃ ^{al}	5.4~26.7	8.7~18.5	5.4	1.2~2.56	18.4	0.146	4.01	99.72	3.099
	工程后	三三〇货装厂	Q ₃ ^{al}	4.92	2.28~8.9	3.80	3.05	34.48	0.146	4.08	457.89	1.099
		洼碛村	Q ₃ ^{al}	3.2~5.9	1.8~8.2	3.54	2.9	46.8	0.146	2.90	139.4	

低负荷减少，地层向库外倾斜。图 3 为岩层监测结果，表明水位变化岩层形变突变，倾斜量与流量相对应。

路基滑动的工程地质灾害。

8 结论

8.1 工程对城市总体的水文地质环境影响，及对地下水的影响作用是按变迁—改变—重新组合水文地质条件三个阶段完成，同时在新构成的地下水环境条件基础上继续发展。工程改变了市区部分水文地质条件，地下水环境已发生了深刻变化。经采用数学综合矩阵的方法，对地下水环境的影响因素进行了综合评价，评价级别分别选用有利影响和不利影响，影响程度分为 7 级，权重按 1~10 考虑，结果有利影响为 24，不利影响为 12，可见有利影响是主导。

8.2 由于葛洲坝水库为过流低坝，库容量相对较小，基本属于“过水坝”。因此，工程建设后对地下水环境的影响主要在城市区第四系孔隙潜水含水层中，对库区以上的地下水环境影响变化相对较小。

8.3 需要指出的是，水库诱发性地震对城市的影响存在着一种潜在性的威胁。虽然大坝已蓄水多年，表现产生水库地震的趋势不明显，但仍具备诱发地震的条件。未来三峡大坝建成后造成的水库地震，或区域构造所发生的地震而诱发葛洲坝水库地震的可能性是存在的。

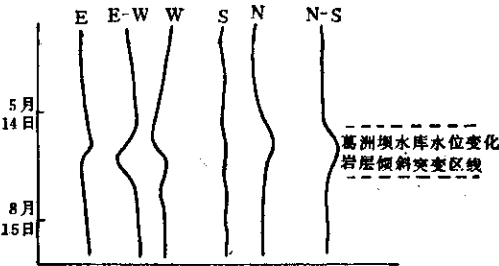


图 3 葛洲坝水库水位变化岩层倾斜仪记录曲线突变

7 工程对宜昌城市及库区引起的环境地质、工程地质问题

- 7.1 因坝下沿城岸修筑了砼护堤，使地下水位抬高，淹没了部分地下洞室，引起洞室冒顶，建筑地基塌陷的灾害。
- 7.2 因城市建设良地被工程所占用，迫使部分城市用地盲目地在未经工程地质调查的具有膨胀粘土的高阶地上进行，导致出现一系列的工程地质问题。
- 7.3 工程的修建使主江道改迁至右岸一侧，致使江南大道沿江段路基直接遭受大江泄洪闸江水的冲刷，岩层发生塌落，随后发生了

参考文献

- 1 Canter L W. Environmental Impact of water Resources Projects. U.S. A, Oklahoma University, 1985
- 2 Lucas W F, Roberts FS, Thrall RM. Discrete and system Models, New York, Academic Pr, 1983.213~253
- 3 孙纳正. 地下水流的数学模型和数值方法. 北京: 地质出版社, 1984
- 4 陈梦能. 环境水文地质问题. 北京: 地质出版社, 1984

HYDROGEOLOGICAL AND GROUNDWATER ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF GEZHOUBA PROJECT TO YICHANG CITY AND RESERVOIR AREA

Wang Haiyun

(Yichang Environmental Protection Monitoring Station, Yichang 443000)

Abstract The author studied the effect of Gezhouba engineering project to Yichang City and reservoir quarter, and carried out comprehensive hydrogeological and groundwater environmental assessment emphasizing on the great potential environmental geological issues.

Key words: City quarter, Hydrogeological and groundwater environment, Impact assessment.