

黄河下游堤防荆隆宫截渗墙工程

质量检测试验研究课题

渗流有限元计算报告

新乡市黄河河务局

黄河水利职业技术学院

2002年3月12日

黄河下游堤防荆隆宫截渗墙工程

质量检测试验研究课题

渗流有限元计算报告

项目负责人:高永传 罗全胜 李舒瑶

主要完成人:高永传 罗全胜 李舒瑶 王卫东

潘东升 王勤香 张宇华

报告编写人:罗全胜

审 核:刘纯义 杨邦柱

前 言

黄河下游堤防荆隆宫截渗墙工程质量检测试验研究课题是通过砂槽模型试验、有限元计算、截渗墙混凝土取芯试验、混凝土材料试验以及现场注水试验等分项目的研究，对荆隆宫截渗墙工程质量和防渗效果进行综合分析评价。

荆隆宫截渗墙工程模型试验研究项目主要任务是：通过有平面二维有限元渗流计算，为现场注水试验提供检验依据，从理论计算和实际注水试验结果对比分析，检验截渗墙整体截渗效果，该项目是荆隆宫截渗墙工程质量检测试验研究课题的关键项目之一。

目 录

1 工程概况	1
2 计算依据	1
3 计算方法	1
3.1 数学模型建立	1
3.2 区域网格划分	2
4 计算方案	2
5 有限元计算成果与模型试验成果对比分析	3
5.1 对比条件	3
5.2 有限元计算可靠性分析	3
6 不同计算情况的有限元计算成果分析	4
6.1 考虑临河粘土覆盖层	4
6.2 临河地表概化为砂壤土, 截渗墙底部简化为细砂	5
6.3 临河地表概化为砂壤土, 截渗墙底部简化为粘土或壤土	6
7 有限元计算与注水试验对比分析	6
7.1 截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位的关系	6
7.2 成果分析	8
8 结论	8
9 参考文献	9
附图 1、2、3、4、5、6	

1 工程概况

黄河大堤荆隆宫堤段系黄委会明确的“老口门潭坑”类险点，桩号 159+200~162+388 全长 3.188km，截渗墙工程在临河堤脚 1.6m 处，墙顶高程 79.50m，上接土工布，防渗高程 85.00m。截渗墙共分四段，老口门上段 159+200~159+900，长度 700m，墙体净深 19.5m；老口门段 159+900~160+000 和 160+000~161+600，总长 1700m，墙体净深分别为 19.0m 和 42.5m；老口门下段 161+600~162+388，长 788m，墙体净深 20.5m。该堤段临背河悬差 6.5m 左右，临河堤脚有一条宽 4~10m，深 2~5m 几乎连通的串沟，背河洼地地势平坦。

该段堤防填土主要为黄色壤土，老口门处有秸料层。临河地表覆盖有壤土、砂壤土和粘土层。下部分别为粉砂、细砂及中砂层。埋深在高程 35.00m 以下有粘土加砂壤土。详见附图 1 综合地质剖面图。

2 计算依据

- (1) 黄河水利委员会勘测规划设计院荆隆宫堤防工程地质勘测报告提供的荆隆宫大堤 161+000 断面地质剖面图，如附图 1。
- (2) 堤防地基各层土质及截渗墙渗透系数，见表 1。
- (3) 设计防洪水位 $z_a=83.7\text{m}$ ，背河地面高程 75.3m，相差 8.4m。
- (4) 黄河下游堤防荆隆宫截渗墙工程设计报告（以下简称工程设计）。
- (5) 由《工程设计》报告提供：渗透安全系数 $K=3$ ，允许坡降 $[J]=0.323$ ，按 SDJ218—84 规范规定渗透安全系数 $K=2$ ，允许坡降 $[J]=0.485$ 。

3 计算方法

3.1 数学模型建立

对于符合达西定律，在均质各向同性的情况下，选择的坐标与渗透的方向一致，土体不可压缩的二元恒定渗流基本方程：

表 1

土质渗透系数表

岩性	粘土	壤土	填筑土	砂壤土	粉砂	细砂	粘粉	截渗墙	土工布
渗透系数 (cm/s)	2×10^{-6}	5×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	3×10^{-3}	4×10^{-3}	7×10^{-2}	1×10^{-7}	1×10^{-8}
渗透系数 (m/d)	0.0017	0.0432	0.0864	0.1728	2.592	3.456	60.48	0.0001	0.00001

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial H}{\partial z} \right) = 0$$

上式中:

H —水头函数。

x 、 z —分别为渗流区任意点的坐标 (x —水平方向、 z —铅垂方向)。

k ——渗透系数。(各向同性材料, $k_x = k_z = k$; k_x 、 k_z 为以 x 、 z 轴为主轴方向的渗透系数。)

恒定渗流的定解条件:

$$H|_{\Gamma_1} = f_1(x, z)$$

$$k_n \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = f_2(x, z) = 0$$

Γ_1 ——上游入渗面、自由渗出处;

Γ_2 ——下游渗出面。

对上述方程采用有限元数值计算方法计算。

3.2 区域网格划分:

对于整个渗流区域按渗流特点、临背河边界条件及研究问题要求划分网格, 计算中可以自动调整分格情况。

4 计算方案

根据本试验研究课题技术路线的任务和要求在截渗墙质量完好情况

下, 拟定计算方案如下:

1. 临河水位 83.7m, 背河水位 75.3m, 计算成果与砂槽模型试验成果对比, 验证有限元计算的可靠性。
2. 根据不同地质条件计算分析。
3. 计算建立截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位差的关系。

5 有限元计算成果与模型试验成果对比分析

根据课题研究技术路线, 通过有限元计算与模型试验进行对比分析, 分析数学模型和物理模型的一致性, 在此基础上, 计算支持现场注水试验, 分析截渗墙防渗效果。

5.1 对比条件

- (1) 临河设计防洪水位 83.70m, 背河水位 75.30m。
- (2) 根据《工程设计》资料, 将地质条件概化为如附图 2 所示地层。

5.2 有限元计算可靠性分析

通过有限元计算与砂槽模型中测压管量测点的测压管水头和实测的浸润线进行对比, 验证有限元计算的可靠性, 计算成果见附图 2, 测压管水头对比见表 2, 浸润线对比见表 3、图 2。

表 2

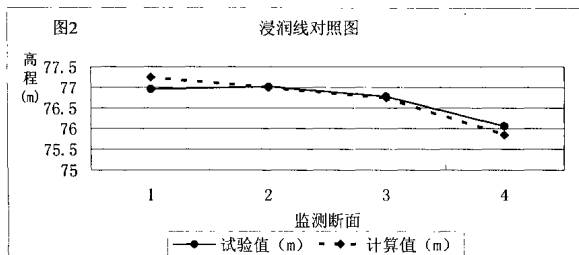
模型试验测压管水头与相应位置计算出的测压管水头对照表							
测压管点号	1	2	3	4	5	6	7
试验水头(m)	79.75	79.21	78.43	77.83	77.41	77.23	76.81
计算水头(m)	79.40	79.16	78.41	77.82	77.48	77.06	76.48
差值(m)	0.35	0.05	0.02	0.01	-0.07	0.17	0.33
相对误差	4.2%	0.6%	0.2%	0.1%	0.8%	2.2%	3.9%
说明: 相对误差 = 差值 / 总水头 (%), 总水头 = 8.4m, 测压管位置见附图 2							

模型实测的测压管水头与计算出的相应点的测压管水头的相对误差最大值 4.2%，在截渗墙底部误差更小，最小为 0.1%，大部分不到 1%。

表 3

模型试验浸润线与计算浸润线对照表				
试验监测断面	1-1	2-2	3-3	4-4
试验断面水头(m)	76.96	77.02	76.78	76.06
计算断面水头(m)	77.25	77.00	76.75	75.85
差值(m)	0.29	-0.02	-0.03	-0.21
相对误差	3.5%	0.2%	0.4%	2.5%

说明：相对误差 = |差值| / 总水头 (%)，总水头 = 8.4m，监测断面位置见附图 2



计算浸润线与模型实测浸润线对照比较，最大误差为 3.5%，最小值为 0.2%，从整个趋势上分析模型试验与计算成果比较符合。由此可知，砂槽模型试验与有限元计算成果基本一致。

6 不同计算情况的有限元计算成果分析

6.1、考虑临河粘土覆盖层

由地质资料知，临河地表覆盖有粘土层，该土层土质渗透系数较小对渗流影响较大，在不考虑截渗墙情况下，计算结果见附图 3、表 4，溢出点高程较低为 76.9m（堤防堤脚高程 75.3m），渗透坡降接近允许渗

透坡降（允许坡降 $[J] = 0.323$ ），显然和 96.8 大洪水观测的实际情况不符合。因此说明大堤偎水时临河粘土层不起作用，在以后的计算中用其下层土质（砂壤土）代替该土层。

表 4

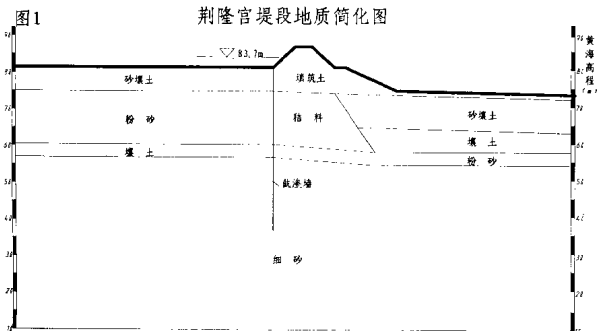
溢出点高程(m)	溢出点高度(m)	单宽渗透流量(m ² /d)	最大渗透坡降
76.90	1.60	0.041	0.338

6.2、临河地表概化为砂壤土，截渗墙底部简化为细砂

计算地质简化见图 3，计算结果见附图 4、表 5，此时溢出点高程较高，渗透坡降 $J=0.446$ ，原设计计算（第四方案）溢出点高程 78.20m，两者相差 0.05m，与原设计符合较好，最大渗透坡降超过允许坡降，必须采取工程措施。

表 5

溢出点高程(m)	溢出点高度(m)	单宽渗透流量(m ² /d)	最大渗透坡降
78.25	2.95	0.190	0.446



6.3、临河地表概化为砂壤土，截渗墙底部简化为粘土或壤土

根据地质报告提供的资料，截渗墙底部插入地质剖面图第5层，第5层为粘土层，局部夹有砂壤土，若将截渗墙底部概化为粘土或壤土，计算结果见表6、附图5、附图6。

表6

截渗墙底部 岩性	溢出点高程 (m)	溢出点高度 (m)	单宽渗透流量 (m ² /d)	最大渗透 坡降
粘土			0.023	0.077
壤土	76.29	0.99	0.102	0.307

如果截渗墙底部概化为粘土溢出点已下降到堤脚处，渗透坡降 $J=0.077$ ，小于允许坡降。

如果截渗墙底部概化为壤土，计算出溢出点高程 76.29m，渗透坡降小于允许渗透坡降，原设计计算（计算补充说明）溢出点高程 76.52m，两者相差 0.27m，但原设计计算（计算补充说明）截渗墙计算高度为 44m，比实际截渗墙高度高 1.50m，渗透坡降也小于允许渗透坡降。

7 有限元计算与注水试验对比分析

7.1 截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位的关系

为了检查截渗墙的防渗效果，需要将现场注水试验实测的截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位差 Δh 关系和有限元计算出的截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位关系差 $\Delta h'$ 进行对比，背河地下水水位 71.33m，如果 $\Delta h \geq \Delta h'$ ，则说明截渗墙整体截渗效果良好，否则说明截渗墙质量不能满足设计要求，计算结果见表 11、图 4。

砂槽模型试验测出的临河注水等效水位及现场注水试验实测的 c_1 、 c_2 井水位见表 12。

表 11 不同墙前水位下计算的临河、背河水位及水位差

墙前水位 (m)	观测井 c_2 水位 (m)		墙前水位与 c_2 水位差 $\Delta h'$ (m)	
	底部壤土	底部粘土	底部壤土	底部粘土
74.40	73.03	71.64	1.37	2.76
75.00	73.35	71.84	1.65	3.16
76.00	74.06	73.09	1.94	2.91
77.00	74.43	73.17	2.57	3.83
78.00	74.79	73.28	3.21	4.72
79.00	75.15	73.37	3.85	5.63

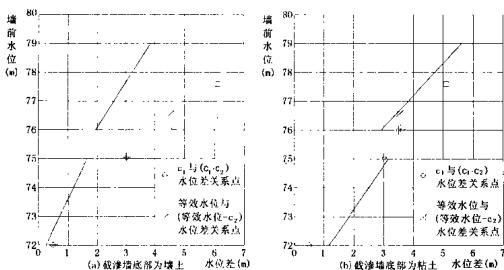


图4 截渗墙前水位与截渗墙后观测井 c_2 水位差图

表 12 各种注水水位下的等效水位

现场注水槽水位 (m)	83.70	82.00	81.00
模型提供的等效水位 (m)	77.60	76.58	76.10
c_1 井实际观测的最高水位 (m)	76.00	75.05	72.02
c_2 井实际观测的最高水位 (m)	71.92	70.92	71.45
等效水位与 c_1 与 c_2 最高水位差 (m)	6.11	4.55	4.65
c_1 井与 c_2 井最高水位差 Δh (m)	4.51	3.02	0.50

7.2 成果分析

由表 12 可以看出: 三种不同水位情况下的现场注水试验, 其等效水位与观测井 c_2 中的最大水位差分别为 6.11m、4.55m、4.65m, 绘制等效水位与观测井 c_2 中的最大水位差曲线, 如图 4 所示。其等效水位与观测井 c_2 中的最大水位差值均落在计算关系曲线的右侧, 即等效水位与实测的观测井 c_2 中的最大水位差大于按设计条件下进行有限元计算的截渗墙前后的水位 (c_2 井所对应的浸润线高程) 差, $\Delta h \geq \Delta h'$ 。因此, 说明试验段的截渗墙的整体防渗效果满足设计防渗要求。

为了进一步说明截渗墙防渗效果的可靠性, 又将实测的截渗墙前 c_1 井的水位作为截渗墙前的作用水位, 计算出 c_1 井与 c_2 井的水位差, 点绘于图 4 上。可以看出, 注水位为 82.00m、81.00 时, 截渗墙底部概化为粘土时的点子落在关系线的左侧, 并且靠近关系线, 注水位为 83.70m 时的点子落在关系线的右侧。因此, 截渗墙前水位即便用 c_1 代替也可以说明试验段防渗效果达到了截渗墙底部土层概化为壤土条件下的设计标准。

说明:

①注水水位为 83.70m 时, 注水池建在堤坡上, 通过管道向非管注水, 因压力过大, 造成顺水管向上冒水, 使试验无法继续。因注水时间短, 墙前水位上升较快, 而截渗墙后水位变化甚微。

②注水水位为 81.00m 时, 因正值春灌期间, 等效水位受灌溉影响较为严重。所以, 上述两组试验测的数据只能作为参考, 注水水位为 82.00m 时, 注水前等效水位非常稳定, 注水期间, 该地区无降水过程、春灌尚未开始, 试验数据更能说明问题。

8 结论

从上述分析可以得出这样的结论, 截渗墙如果要满足截渗要求必须插入相对不透水层。

黄河下游堤防荆隆宫截渗墙达到设计要求。

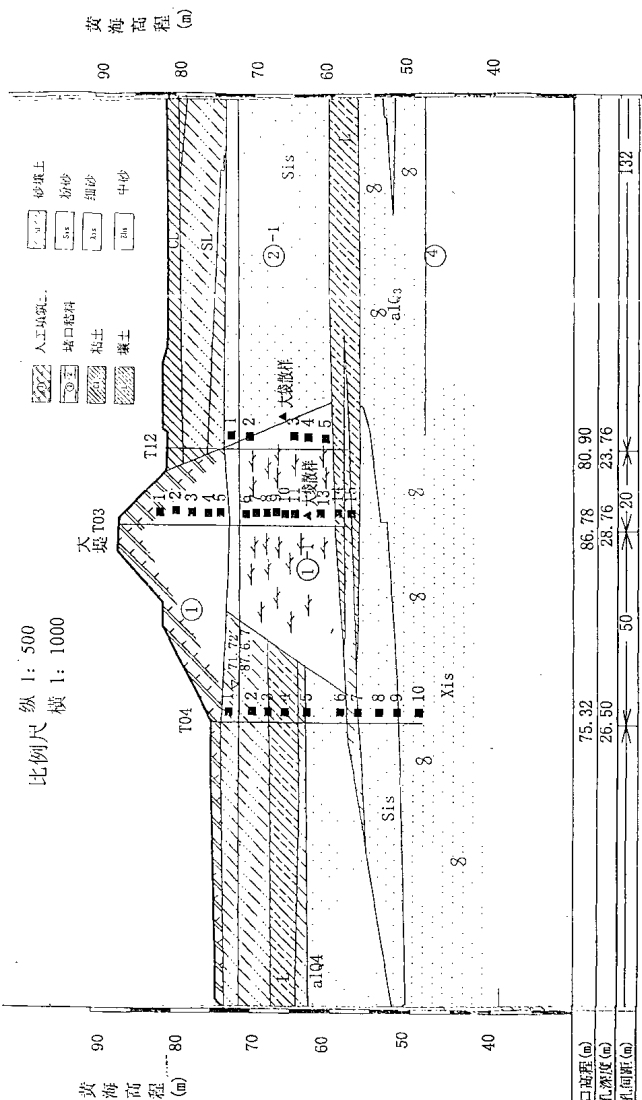
参 考 文 献

- 1 毛昶照编著.《渗流计算分析与控制》.水利电力出版社.1990.5
- 2 武汉水利电力学院水力学教研室编.《水力计算手册》.水利电力出版社.1983.6
- 3 河南黄河河务局.《河南黄河科技》.1991.1
- 4 黄河水利科学研究院.《黄河下游堤防荆隆宫截渗墙局部工程质量测试报告》.1999.8
- 5 河南黄河勘测设计研究院.《黄河下游堤防荆隆宫截渗墙工程设计》.1997.11
- 6 黄河水利委员会勘测规划设计研究院.《黄河下游堤防截渗墙项目建议书阶段工程地质勘察报告(封丘县 159+200~162+388 堤段)》.1995.5
- 7 河南黄河勘测工程处.《荆隆宫截渗墙轴线 160+020~161+570 段地质勘察报告》.1998.7

黄河荆隆宫堤段工程地质横剖面图

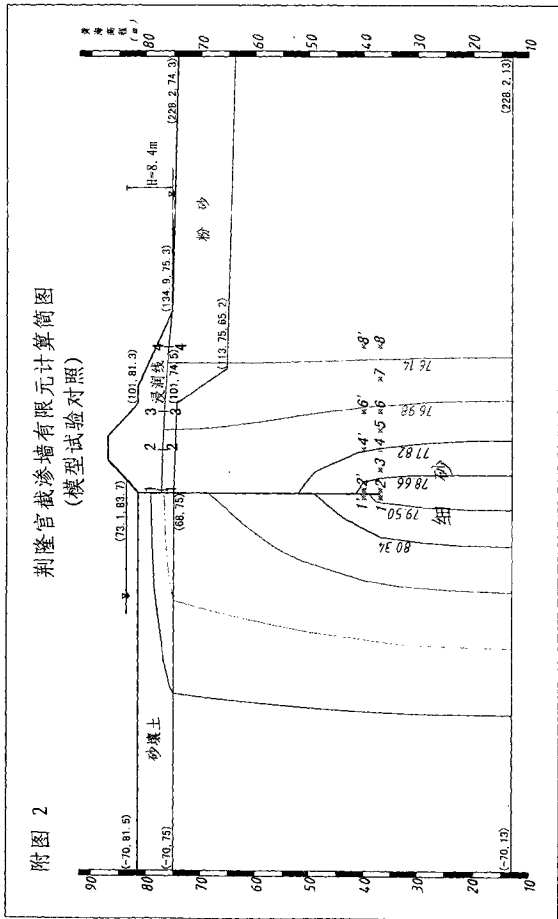
附图 1

纵 1: 500
横 1: 1000



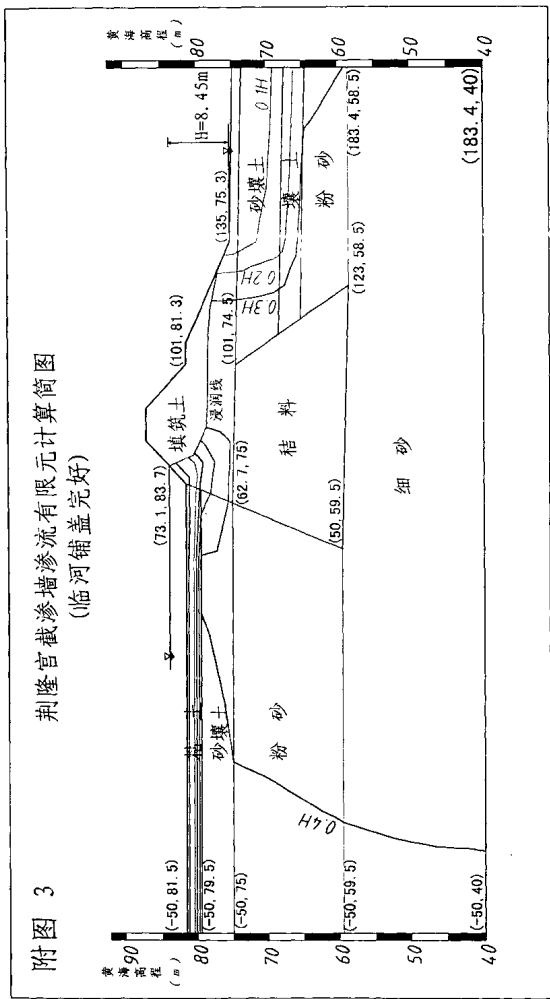
孔口高程(m)	75.32	86.78	80.90
钻孔深度(m)	26.50	28.76	23.76
钻孔间距(m)	50		20

荆隆官截渗墙有限元计算简图
(模型试验对照)

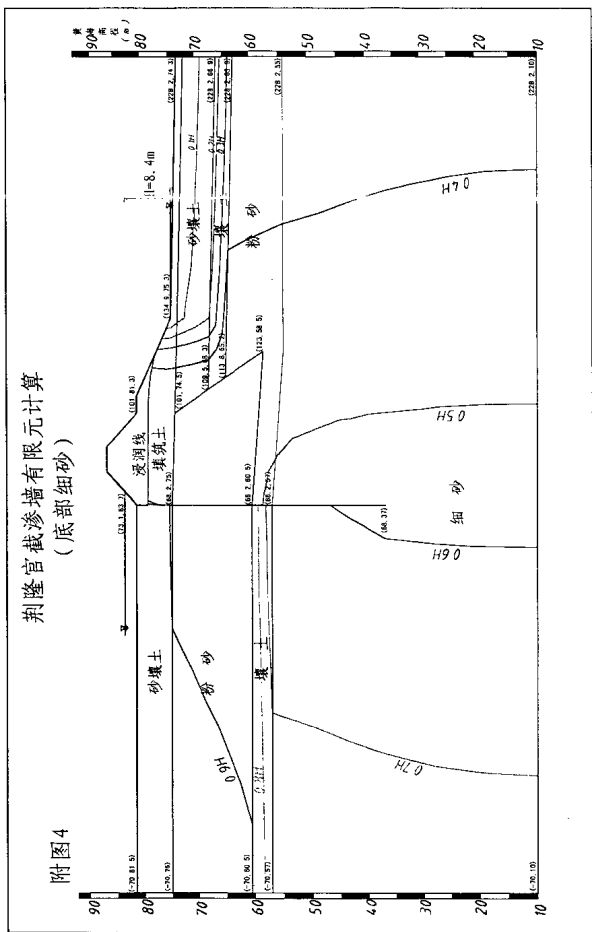


附图 2

附图 3 荆隆宫截渗墙渗流有限元计算简图
(临河铺盖完好)



荆隆官截渗墙有限元计算
(底部细砂)



附图4