

# 瓯飞一期围垦工程排涝规模优化计算

刘 云<sup>1</sup> 林登荣<sup>2</sup> 王 斌<sup>1</sup> 包中进<sup>1</sup>

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 温州市水利投资开发有限公司, 浙江 温州 325000)

**摘要** 根据排涝标准及闸门调度控制原则, 采用平面二维数学模型对瓯飞一期围垦工程进行排涝规模优化计算, 针对感潮地区围垦工程排涝布局复杂、计算工况较多等情况, 将正交试验法应用到优化计算中, 减少了计算组次, 提高了效率, 根据极差分析法找出了围区最高洪水位影响因素的主次顺序, 从而进一步优化了排涝规模组合方案。通过计算推荐两个较优方案, 两个方案的排涝宽度均比设计方案总净宽小, 减少了工程投资, 为设计及工程运行提供了依据。

**关键词** 排涝规模; 正交试验法; 水闸; 闸室宽度; 闸底板高程; 瓯飞一期围垦工程

中图分类号 S277.4+4

文献标志码 A

文章编号 1006-7647(2012)04-0063-03

**An optimized calculation of drainage scale for first phase reclamation project of Oufei**/LIU Yun<sup>1</sup>, LIN Deng-rong<sup>2</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>, BAO Zhong-jin<sup>1</sup> (1. Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary, Hangzhou 310020, China; 2. Wenzhou Water Conservancy Investment & Development Co., Ltd, Wenzhou 325000, China)

**Abstract** : Based on the drainage standard and the gate operation principle, a two-dimensional mathematical model was adopted for optimized calculation of the drainage scale of the first phase reclamation project of Oufei. Because of the complicated drainage layout of the reclamation project in the tidal area and the large number of calculation conditions, the orthogonal experiment design was applied in this study to reduce calculation times and improve efficiency. The sequence of the influence factors to the highest flood water level was also determined with the extremum difference analysis to further optimize the combination scheme of the drainage scale. Two optimization schemes were obtained based on the calculation. The drainage widths of these two schemes are both smaller than the total width of the design scheme. The optimized calculation reduces the project investment and provides a basis for the design and engineering operation.

**Key words** : drainage scale; orthogonal experiment design; gate; gate width; gate floor elevation; the first phase reclamation project of Oufei

排涝工程规模计算及论证一般采用简单对比法或全部试验法<sup>[1-6]</sup>。简单对比法是在确定其他影响因素的基础上, 对单一因素进行逐个比较, 探索较为合理的排涝规模, 这种方法的代表性很差; 另外, 排涝规模的论证牵涉因素众多, 各种因素之间关系错综复杂, 简单对比法不能综合考虑这些因素的影响, 结果的可靠性也就无法验证。全面试验法虽然涵盖了各种影响因素, 但是试验次数太多, 工作量较大。正交试验法<sup>[7]</sup>则能够解决这些问题, 它是利用“正交表”科学地安排与分析多因素试验的方法, 其主要优点是能在很多试验方案中挑选出代表性强的几个试验方案, 用统计计算的方法对试验结果进行分析研究, 分辨出主次因素, 推断出最优方案。采用正交试验法既能缩短周期、降低成本, 又能全面科学地分析问题, 使得结论更加可靠。正交试验法在医药、食

品、化工等领域应用较多且比较成熟, 也有研究者将正交试验法应用到机械、岩土、水利等领域中<sup>[8-12]</sup>。

本文将正交试验法应用到温州瓯飞一期围垦工程排涝规模优化计算中, 充分考虑闸门控制、水利调度等因素的影响, 确定了影响围区排涝能力的主次因素, 在此基础上进一步优化排涝组合, 最后确定了合理的排涝规模。

## 1 工程概况

温州瓯飞一期围垦工程位于瓯飞滩高滩区域, 南、北边界分别是飞云江及瓯江河口边界的外延线, 围垦面积约为 116 km<sup>2</sup>。围区以中央横河为界, 西片设置南 1 号闸、北 1 号闸; 围区东片东面设置东 1 号闸、东 2 号闸, 南北向设置南 2 号闸、北 2 号闸及两个调蓄湖及两个排涝泵站, 东片主体为“二横七纵两

湖”的排涝格局。设计方案南 1 号和北 1 号闸闸室净宽均为 80 m, 闸底板高程 - 2.0 m; 南 2 号和北 2 号闸闸室净宽均为 60 m, 闸底板高程 - 3.0 m; 东 1 号闸和东 2 号闸闸室净宽均为 40 m, 闸底板高程 - 3.0 m。围区近期为功能养殖期; 中期拟采取“分区排涝、分片解决”的排涝总体格局, 上游温瑞平原客水作为一个排水系统, 高水高排, 围区东片涝水由围区设置的排水闸及泵站等设施排出, 与客水排涝体系相互独立, 远期则考虑相互贯通<sup>[13]</sup>。围区排涝布局见图 1<sup>[14]</sup>。围区排涝洪水标准除中期围区东片按 10 年一遇控制, 其他均按照 50 年一遇控制, 各阶段各闸调度控制水位不同, 见表 1, 控制原则为高于起调水位开闸, 低于最低控制水位关闸。

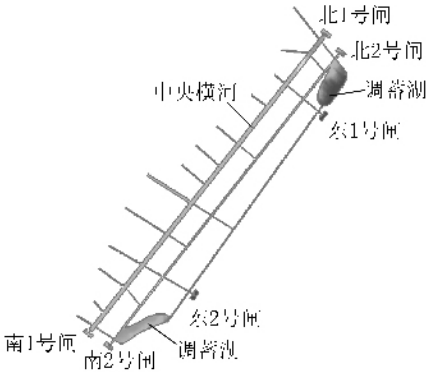


图 1 瓯飞一期围垦工程围区排涝布局  
表 1 各闸调度控制水位

| 阶段 | 区域   | 洪水标准   | 最高洪水水位/m | 起调水位/m | 最低水位/m |
|----|------|--------|----------|--------|--------|
| 中期 | 西片客水 | 50 年一遇 | 3.74     | 2.6    | 2.4    |
|    | 东片围区 | 10 年一遇 | 0.29     | - 0.5  | - 1.0  |
| 远期 | 西片客水 | 50 年一遇 | 3.74     | 2.6    | 2.4    |
|    | 东片围区 | 50 年一遇 | 2.77     | 1.8    | 1.2    |
|    | 贯通   | 50 年一遇 | 3.65     | 2.6    | 2.4    |

## 2 模型建立

数学模型主要模拟瓯飞一期围垦规划水系, 计算不同排涝规模组合下围区最高洪水水位。由于计算区域范围较大、水动力条件复杂、涉水建筑物较多, 并需要考虑水闸调度运行方式等因素, 因此平面二维数学模型采用基于三角形网格的有限体积模式<sup>[15]</sup>, 并根据水闸调度运行原则设置了闸门开关, 当围区水位达到排涝控制条件时, 闸门开启, 低于最低控制水位时闸门关闭, 水闸仅允许单向排涝出流, 不考虑纳潮。基本方程如下:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\alpha(hu)}{\partial x} + \frac{\alpha(hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\alpha(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} ( h u v ) =$$

$$- gh \left( \frac{\partial z_0}{\partial x} + \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 h} \right) + f h v + W_x + \frac{\partial}{\partial x} \left( h \epsilon_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \epsilon_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\alpha(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} ( h u v ) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h v^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) =$$

$$- gh \left( \frac{\partial z_0}{\partial y} + \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 h} \right) - f h u + W_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( h \epsilon_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \epsilon_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) \tag{3}$$

式中:  $h$  为水深, m;  $u, v$  分别为  $x, y$  方向上的垂向平均流速分量, m/s;  $t$  为时间, s;  $z_0$  为河床高程, m;  $g$  为重力加速度;  $f$  为柯氏力参数,  $f = 2\omega \sin \varphi$ , 其中  $\varphi$  为纬度,  $\omega$  为地球自转速度;  $\epsilon_x, \epsilon_y$  分别为  $x, y$  方向的涡动扩散系数;  $W_x, W_y$  分别为  $x, y$  方向的风应力分量;  $C_z$  为谢才系数,  $C_z = h^{1/6}/n$ , 其中  $n$  为糙率系数。方程 (1) 为水流连续方程, 方程 (2) 和方程 (3) 分别为  $x, y$  方向的动量守恒方程。

模型上游客水边界模拟至工程临近围区的排涝闸, 下游则模拟至外排至瓯江及东海的排涝闸附近。模型计算上游客水边界采用流量过程线; 下游飞云江、瓯江以及东海附近 6 个闸的闸下边界则采用对应的外海潮位过程线; 围区降水直接按照降水边界设置。

## 3 排涝规模优化计算

排涝规模优化计算主要考虑水闸配套规模问题, 在水闸设计中, 闸室宽度及闸底板高程对水闸的排涝能力影响较大, 因此, 本文在各闸闸室宽度及闸底板高程多个水平基础上对围区西片及东片排涝进行正交组合计算, 比选出对围区排涝水位影响较大的因素并进行优化, 结合工程投资提出较为合理的水闸布置规模, 最后用远期贯通方案对优化方案进行复核。

### 3.1 中期及远期西片客水排涝工况

中期及远期西片排涝工况排涝控制标准相同, 因此计算组合亦相同。围区西片客水排涝影响因素主要考虑南 1 号闸、北 1 号闸的闸室宽度及闸底板高程, 结合工程实际, 对各因素分别选取了 3 个水平, 即采用四因素三水平进行计算, 如表 2 所示。

表 2 排涝规模优化计算因素水平

| 水平 | 闸宽/m  |       | 闸底板高程/m |       |
|----|-------|-------|---------|-------|
|    | 南 1 号 | 北 1 号 | 南 1 号   | 北 1 号 |
| 1  | 70    | 70    | - 1.0   | - 2.0 |
| 2  | 80    | 80    | - 1.5   | - 2.5 |
| 3  | 90    | 90    | - 2.0   | - 3.0 |

按照常规计算方法需要计算 81 组次, 为提高效

率 加快进度 将正交试验法用于排涝优化计算中 , 采用  $L_9(3^4)$  正交试验表 将试验组次减少为 9 组 , 详见表 3 , 试验结果见表 4。

| 表 3 西片客水闸室规模正交试验组次 |       |       |         |       |               |          |
|--------------------|-------|-------|---------|-------|---------------|----------|
| 组次                 | 闸宽/m  |       | 闸底板高程/m |       | 围区最高<br>洪水位/m | 结果<br>判断 |
|                    | 南 1 号 | 北 1 号 | 南 1 号   | 北 1 号 |               |          |
| 1                  | 70    | 70    | -1.0    | -2.0  | 3.93          | 不满足      |
| 2                  | 70    | 80    | -1.5    | -2.5  | 3.85          | 不满足      |
| 3                  | 70    | 90    | -2.0    | -3.0  | 3.80          | 不满足      |
| 4                  | 80    | 70    | -1.5    | -3.0  | 3.78          | 不满足      |
| 5                  | 80    | 80    | -2.0    | -2.0  | 3.74          | 满 足      |
| 6                  | 80    | 90    | -1.0    | -2.5  | 3.80          | 不满足      |
| 7                  | 90    | 70    | -2.0    | -2.5  | 3.73          | 满 足      |
| 8                  | 90    | 80    | -1.0    | -3.0  | 3.75          | 不满足      |
| 9                  | 90    | 90    | -1.5    | -2.0  | 3.74          | 满 足      |
| 10                 | 80    | 70    | -2.0    | -3.0  | 3.74          |          |

注 :第 10 组为比较方案。

| 表 4 西片客水闸室规模正交试验结果 |       |       |       |             |             |             |        |
|--------------------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 因 素                | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $\bar{K}_1$ | $\bar{K}_2$ | $\bar{K}_3$ | 极差 $R$ |
| 南 1 号闸宽度           | 11.58 | 11.32 | 11.22 | 3.860       | 3.773       | 3.740       | 0.120  |
| 北 1 号闸宽度           | 11.44 | 11.34 | 11.34 | 3.813       | 3.780       | 3.780       | 0.033  |
| 南 1 号闸底板高程         | 11.48 | 11.37 | 11.27 | 3.827       | 3.787       | 3.759       | 0.068  |
| 北 1 号闸底板高程         | 11.41 | 11.38 | 11.33 | 3.803       | 3.794       | 3.777       | 0.026  |

注 : $K_i$  和  $\bar{K}_i$  ( $i=1,2,3$ ) 分别为各因素水平  $i$  所对应的试验统计指标 (围区最高洪水位) 之和及平均值 , 如  $K_1$  为各因素水平 1 对应的围区最高洪水位之和 ,  $\bar{K}_1$  为各因素水平 1 对应的围区最高洪水位值的平均值 , 极差  $R$  为各行中  $\bar{K}_i$  最大值与最小值之差。

根据正交设计的特性 , 由  $K_i$  的大小可以判断各水平对试验指标的影响大小 , 本试验统计指标为围区最高洪水位 , 因此  $K_i$  越小 , 试验结果越好。由极差大小可以看出南 1 号闸闸宽、南 1 号闸闸底板高程对围区最高洪水位影响最大 ; 由  $\bar{K}_i$  值大小得出各因素水平 3 为最优排涝组合 , 即闸室宽度取最大 , 闸底板高程取最低 , 该结论也符合工程实际情况。

另外 , 从表 3 可以看出 , 除组次 5、组次 7、组次 9 外 , 其余组次围区最高洪水位均高于设计最高洪水位。从投资来看 , 组次 5 为相对较优方案 , 但考虑组次 4 方案围区最高洪水位与设计最高洪水位较为接近 , 仅相差 0.04 m , 且由极差分析得出 , 南 1 号闸闸底板高程对围区最高洪水位的影响仅次于南 1 号闸闸宽 , 因此根据闸室附近实际地形高程尝试将组次 4 的南 1 号闸闸底板降为 -2.0 m , 即比较方案 (组次 10)。计算结果表明 , 组次 10 围区最高洪水位为 3.74 m , 等同于设计最高洪水位 , 满足排涝要求。因此 , 根据围区西片排涝计算 , 推荐组次 5 和组次 10 为较优方案。

### 3.2 中期及远期东片围区排涝工况

中期及远期东片围区排涝工况仍采用以上方法进行计算分析 , 计算组次都由 81 组减少为 9 组 , 计算所得优化方案为南 2 号、北 2 号闸宽 40 m , 东 1

号、东 2 号闸宽 45 m , 闸底板高程均为 -3.5 m , 围区东片闸室总净宽 170 m。

### 3.3 远期联合排涝工况

该方案将围区东片及西片通过节制闸进行贯通组合 , 用此方案对以上计算结果进行复核 , 见表 5。计算结果表明 , 贯通后围区优化方案 1 及 2 的最高洪水位分别为 3.60 m 和 3.61 m , 低于设计最高洪水位 3.65 m , 满足设计排涝标准。两方案闸室总净宽分别为 330 m 和 320 m , 均比设计总净宽 360 m 小 , 减少了工程投资。

| 表 5 远期贯通闸室规模复核 |         |       |       |       |       |       |                 |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 优化<br>方案       | 闸宽/m    |       |       |       |       |       |                 |
|                | 南 1 号   | 南 2 号 | 北 1 号 | 北 2 号 | 东 1 号 | 东 2 号 |                 |
| 1              | 80      | 40    | 80    | 40    | 45    | 45    |                 |
| 2              | 80      | 40    | 70    | 40    | 45    | 45    |                 |
| 优化<br>方案       | 闸底板高程/m |       |       |       |       |       | 围区<br>最高<br>洪水位 |
|                | 南 1 号   | 南 2 号 | 北 1 号 | 北 2 号 | 东 1 号 | 东 2 号 |                 |
| 1              | - 2.0   | - 3.5 | - 2.0 | - 3.5 | - 3.5 | - 3.5 | 3.60            |
| 2              | - 2.0   | - 3.5 | - 3.0 | - 3.5 | - 3.5 | - 3.5 | 3.61            |

## 4 结 论

a. 将正交试验法用于排涝规模优化计算中 , 减少了计算组次 , 提高了效率 , 根据极差分析法找出了围区最高洪水位影响因素的主次顺序 , 从而进一步优化了排涝组合方案。

b. 通过计算推荐两个较优方案 , 两个方案的排涝宽度均比设计方案总净宽小 , 减少了工程投资 , 为设计及工程运行提供了依据。

### 参考文献 :

[ 1 ] 张惠平 , 吴娇容 . 衢江新区 3 号排涝工程规模论证方法探讨 [ J ]. 浙江水利科技 , 2009 ( 4 ) : 64-66.

[ 2 ] 梁金艳 . 三铺湖排涝泵站规模核算分析 [ J ]. 安徽水利水电职业技术学院学报 , 2011 , 11 ( 1 ) : 24-25.

[ 3 ] 柏菊 . 沿江圩区排涝水文计算实例 [ J ]. 江淮水利科技 , 2007 ( 2 ) : 45-46.

[ 4 ] 林锡雄 , 陈映 . 澄饶联围排涝计算程序 [ J ]. 广东水利水电 , 2000 ( 1 ) : 38-41.

[ 5 ] 徐昌杰 , 刘俊 , 陶雷 . 混合圩区排涝布局优化研究 [ J ]. 中国农村水利水电 , 2009 ( 12 ) : 84-86.

[ 6 ] 吴立新 , 韩爱华 . 对 2005 年淮河入海水道排涝调度的回顾与思考 [ J ]. 水利水电科技进展 , 2006 , 26 ( 增刊 1 ) : 34-35.

[ 7 ] 苏均和 . 试验设计 [ M ]. 上海 : 上海财经大学出版社 , 2005.

[ 8 ] 赵惠菊 . 正交试验优选烃含量分析条件 [ J ]. 现代科学仪器 , 2011 ( 1 ) : 108-111.

( 下转第 69 页 )

后,用高压水冲洗。

b. 在水平方向或垂直方向的插筋位置按设计图纸严格放线,做好钻孔标记。用电锤钻钻孔,孔径比插筋直径大 4~8 mm,孔深比设计的插筋锚固长度略深。钻孔遇到原涵洞内钢筋时可稍偏移绕过。灌注锚固材料前,对钻孔用清水冲洗干净。从钻孔底部开始灌注锚固材料,以确保钻孔完全填充。灌注锚固材料采用膨胀砂浆,增加插筋与老混凝土之间的黏结强度。在植入钢筋时使一些浆液溢出,24 h 内不准触动锚固筋。植入的锚固筋与新的钢筋网焊接,保证共同受力。

c. 井壁采用净浆喷涂。水泥净浆的配合比根据试验结果严格控制。水泥净浆采用涂刷的方法进行施工,由专业人员操作,以保证施工质量。水泥净浆厚度控制在 3 mm 以上,施工单位设专人负责施工质量和控制。

d. 选择低温时间浇筑混凝土,减少新老混凝土的温差应力,浇筑后加强混凝土养护。

## 5 施工质量验收评定

涵洞事故门井筒加固工程共分为 14 个单元工程,经现场实际检测评定,合格率 100%;其中 12 个单元工程为优良,优良率 85.7%,工程质量优良<sup>[9-11]</sup>。

## 6 结 语

涵洞事故门井筒加固工程在施工方案上首先要考虑施工安全,在 45 m 高的封闭悬空空间,制作安装了一个能够承载一定高度脚手架的施工作业平台,并在此基础上搭设脚手架,解决了高空垂直施工作业问题,制作安装了升降机,解决了施工人员和材料在井筒内垂直输运问题。在施工中采取了有效的措施解决了新老混凝土结合的问题。在以后的工程实践中,可进一步优化施工方案和施工技术,不断完善和发展此技术在类似工程中的应用。

### 参考文献:

[1] GB50367—2006 混凝土结构加固设计规范[S].  
[2] SL303—2004 水利水电工程施工组织设计规范[S].  
[3] JGJ45—2004 混凝土结构后锚固技术规程[S].  
[4] SL399—2007 水利水电工程土建施工安全技术规程[S].  
[5] SL401—2007 水利水电工程施工作业人员安全操作规程[S].  
[6] SL400—2007 水利水电工程金属结构与机电设备安装安全技术规程[S].  
[7] DL/T5169—2002 水工混凝土钢筋施工规范[S].  
[8] SL352—2006 水工混凝土施工规范[S].  
[9] GB50204—2002 混凝土结构工程施工质量验收规范[S].

[10] SL223—2008 水利水电建设工程验收规程[S].  
[11] SL176—2007 水利水电工程施工质量检验与评定规程[S].  
(收稿日期 2011-12-15 编辑 周红梅)

(上接第 65 页)

[9] 彭安华,孙旭东,王智明.基于正交试验法的 PID 控制器参数整定[J].机械科学与技术,2011,30(6):1028-1032.  
[10] 倪恒,刘佑荣,龙治国.正交设计在滑坡敏感性分析中的应用[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):989-992.  
[11] 翟远征,王金生,苏小四.正交试验法在地下水数值模拟敏感性分析中的应用[J].工程勘察,2011(1):46-50.  
[12] 陈惠玲.水工试验设计[M].南京:河海大学出版社,1995.  
[13] 王灵敏,吕中明,邵伟.温州市瓯飞一期围垦工程围区排涝控制规划[R].杭州:浙江省水利水电勘测设计院,2011.  
[14] 包中进,王斌,徐岗.温州市瓯飞一期围垦工程水闸水工模型试验研究阶段报告[R].杭州:浙江省水利河口研究院,2011.  
[15] 王敏,杨国录,史英标,等.一、二维数学模型在飞云江河口航道建设中的运用[J].中国农村水利水电,2006(8):109-112.

(收稿日期 2011-11-28 编辑 熊水斌)

### · 简讯 ·

#### 河海大学彭世彰教授获“ICID 国际节水技术奖”

经中国国家灌溉排水委员会提名,国际灌溉排水委员会(ICID)组织评审,河海大学彭世彰教授荣获 2012 年度“ICID 国际节水技术奖”,成为该奖项 2012 年度全世界唯一获奖者。

彭世彰教授主要凭借 4 项技术研究上的突破获此殊荣:一是原创性地提出了水稻控制灌溉新理论,形成了水稻无水层控制灌溉技术模式;二是以水稻控制灌溉技术为核心,考虑农艺、工程、水资源调度、管理之间的配套衔接关系,建立了适用于不同类型区域的水稻灌区综合节水模式,并得到了大面积推广应用,突破了由理论技术研究到推广应用的技术瓶颈;三是致力于节水灌溉与稻田生态效应的统一,提出了节水、高产、优质、控污、减排的水稻灌排联合调控模式;四是研究成果先后在全国近 10 个省(市、区)的水稻灌区累积推广 300 万 hm<sup>2</sup>,增产 16 亿 kg,节水 90 亿 m<sup>3</sup>,节支增收 40 亿元。

“ICID 国际节水技术奖”设立于 1997 年,每年颁发一次,授予在节水技术领域做出杰出贡献的个人或团体,注重成熟的节水理论与技术应用,旨在推动水资源的可持续利用。我国至今只有 3 位学者获得此奖,另两位是茆智院士(2000 年)和康绍忠院士(2006 年)。

(本刊编辑部供稿)