

研究简报

CAD 在分压式拦鱼电栅设计中的应用

APPLICATION OF CAD IN DESIGN FOR ELECTRIC FISH SCREEN OF THE DIVIDER-TYPE

楼文高, 钟为国

(上海水产大学渔业工程系, 200090)

Lou Wen-gao and Zhong Wei-guo

(Fishery Engineering Department, SFU, 200090)

关键词 计算机辅助设计, 拦鱼电栅, 分压式

KEYWORDS CAD, electric fish screen, divider-type

水库是淡水渔业的主要生产场所之一, 鱼类的防逃则是提高产量的重要措施。实践证明, 脉冲电拦鱼技术在水库渔业中已取得了明显的经济效益^[3]。由于其价廉、操作简单、安全及易于实现自动化等特点, 应用将日益广泛。但电栅设计目前主要依据经验公式估算、类比设计或用单因素图表进行插值及修正计算, 不能满足各种设计条件, 适应性受限制。为此, 作者在分析拦鱼电场分布特性的基础上, 运用计算机辅助设计(CAD), 对典型平面的电场强度进行回归分析, 并经显著性检验, 得到与理论公式等效的实用回归方程, 从而大大简化了电栅设计和有效性校验过程, 是电栅 CAD 和优化设计的基础。在给定参数范围内, 该方法改进了传统设计, 能满足技术推广的需要。

1 材料与方 法

1.1 拦鱼电场位场量的理论计算

分压式拦鱼电栅供电原理如图 1 所示⁽¹⁾。

电极阵结构如图 2 所示, P 是电场中任一点, 由电流连续性和矢量迭加原理, 可推得 P 点的电流密度 $\vec{\delta}$ 和电场强度 E 分别为:

$$\vec{\delta} = \frac{1}{2\pi L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^4 \frac{I_j \cdot \vec{r}_{ij}}{r_{ij}^2} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{2\pi r L} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^4 \frac{I_j \cdot \vec{r}_{ij}}{r_{ij}^2} \quad (2)$$

其中: r_{ij} 是 P 点到电极 ij 的相对矢径, I_j 是流经电极 ij 的电流强度, $I_4 = -I_1$, $I_3 = -I_2$ 。

把 r_{ij} 代入(2)式, 则 P 点的电场强度也可表示为^[2]:

$$E = E_x \cdot \vec{i} + E_y \cdot \vec{j} \quad (3)$$

1992-03-18 收到

(1) 上海水产大学, 1988. 大型水库脉冲电拦鱼电栅技术研究。

其中:

$$E_x = \frac{U_0}{K_{R14}} \sum_{i=1}^6 (-1)^{i+1} \frac{A_i}{B_i} + \frac{U_0 \cdot k}{K_{R23}} \sum_{i=7}^{12} (-1)^{i+1} \frac{A_i}{B_i}$$

$$E_y = \left[\frac{U_0}{K_{R14}} \sum_{i=1}^6 (-1)^{i+1} \frac{1}{B_i} + \frac{U_0 \cdot k}{K_{R23}} \sum_{i=7}^{12} (-1)^{i+1} \frac{1}{B_i} \right] \cdot y$$

$$A_{1,2} = x \pm (d_1 + d_2 / 2); \quad A_{3,4} = x \pm (d_1 + 3d_2 / 2);$$

$$A_{5,6} = x \pm (3d_1 + 5d_2 / 2); \quad A_{7,8} = x \pm d_2 / 2;$$

$$A_{9,10} = x \pm (2d_1 + 3d_2 / 2); \quad A_{11,12} = x \pm (2d_1 + 5d_2 / 2)$$

$$B_i = A_i^2 + y^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

P 点的电位 φ_p 和相对电位 U_p / U_0 分别为:

$$\varphi_p = \frac{U_0}{2} \left[\frac{1}{K_{R14}} \ln \left(\frac{B_1 \cdot B_3 \cdot B_5}{B_2 \cdot B_4 \cdot B_6} \right) + \frac{k}{K_{R23}} \ln \left(\frac{B_7 \cdot B_9 \cdot B_{11}}{B_8 \cdot B_{10} \cdot B_{12}} \right) \right] \quad (4)$$

$$U_p / U_0 = (\varphi_p - \varphi_0) / U_0 + 0.5 \quad (5)$$

其中: φ_0 ——参考点电位; K_{R14}, K_{R23} 分别为电极 1、4 和 2、3 间的散流电阻系数。

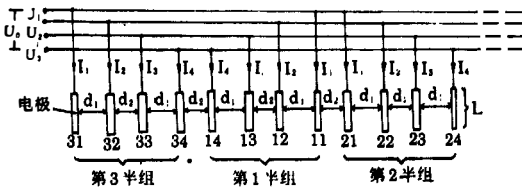


图1 电栅供电原理

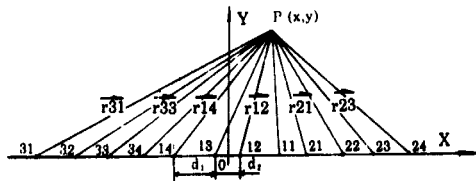


图2 电极阵结构图

Fig. 1 Principle of power supply for electric screen

Fig. 2 Structural diagram of electrode array

注: U_0 ——全电压, U_{1-3} ——分段电压(本例 $U_1 = U_3$); k (分压比) = U_2 / U_0 , 一般取 $1/3$ 或 $1/2$; k_0 (间距比) = d_2 / d_1 , 一般取 $0.5 \sim 1.5$ 。电极按 d_1, d_2 循环排列, 平均间距 $d = (d_1 + d_2) / 2$; r_0 ——电极半径(cm); L ——电极浸水长度(cm), 当 $L \gg r_0$ 时, 该电场可作为平行场处理。

1.2 电栅拦鱼电场分布特性分析

(3)(4)(5)式用加速单纯形法可求得等场强线和等位线, 绘之得如图3所示电场分布图(系统参数: $U_0 = 700v, \bar{d} / r_0 = 66, k_0 = 0.75, r_0 = 4.4cm, k = 1/3, E_1 = 0.10v/cm, E_2 = 0.12v/cm$, 过 $(2\bar{d}, 2\bar{d})$ 点场强 $E_{(2\bar{d}, 2\bar{d})} = 0.138v/cm$)。由图3可知:

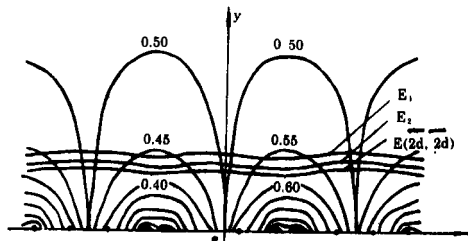


图3 电场分布图

Fig. 3 Distribution of electric field

(1) $x = 0, \pm 4\bar{d}$ 平面上场强方向几乎与 x 轴平行, 而 $x = \pm 2\bar{d}, \pm 6\bar{d}$ 平面上场强则与 y 轴平行, 是两个典型场强平面。

(2) $x = \pm 2\bar{d}$ 平面内, 等位线沿 y 轴由稀变密再变稀, 说明场强在 y 轴上某点达最大; 而 $x = 0, \pm 4\bar{d}$ 时场强沿 y 轴减小。

拦鱼实践表明, 只要在有效作用距离 ($y = 2\bar{d}$) 平面内场强值达到鱼的感电阈值, 鱼就不能穿过电栅, 故在以后的研究中仅考虑 $3\bar{d} \geq y \geq \bar{d}$ 区域。

1.3 回归分析

由上述各式知, 拦鱼电场位场量的理论计算十分繁复, 求解满足某一场强要求的系统参数更加困难, 而单因素图表仅是理论公式的离散化, 具有较大的局限性。另一方面, 拦鱼电场的封闭性和有效性可用典型平面内电场强度沿 y 轴变化的快慢和数值大小来表征。为此, 作者对典型平面场强进行非线性回归处理, 得到实用的回归方程。

分析单因素图表知, 典型平面场强可表示为:

$$E = C(\bar{d}/r_0)^{\alpha_1} k_0^{\alpha_2} r_0^{\alpha_3} U_0^{\alpha_4} k^{\alpha_5} (y/\bar{d})^{\alpha_6} \quad (6)$$

对于下列给定参数范围:

$$\bar{d}/r_0 = 30 \sim 150, r_0 = 2 \sim 12 \text{cm}, U_0 = 200 \sim 1000 \text{v}, y/\bar{d} = 1 \sim 3$$

(6)式两边取自然对数即为以 C 和 α_i 为变量的线性方程, 用最小二乘法经回归处理, 得典型平面内场强的回归方程:

$$E_{|x=0} = 0.2933(\bar{d}/r_0)^{-1.1494} k_0^{0.023} r_0^{-0.999} U_0^{1.005} k^{0.1827} (y/\bar{d})^{-1.343} \quad (7)$$

$$E_{|x=\pm 2\bar{d}} = 0.2544(\bar{d}/r_0)^{-1.1474} k_0^{-0.031} r_0^{-1} U_0^{1.008} k^{0.102} (y/\bar{d})^{-1.3288} \quad (8)$$

方程(7)(8)的最小复相关系数 $R_{\min} = 0.993$, F 检验值 $F_{\min} = 1171$ 。设置信水平 $\alpha = 0.01$, 查 F 检验值表 $F_{\alpha} = 3.0$, 则 $R_{\alpha} = 0.4$, 显然 $F_{\min} > F_{\alpha}$, $R_{\min} > R_{\alpha}$, 说明方程(7)(8)与理论公式一致逼近^[1]。

2 分析与讨论

2.1 系统参数对拦鱼电场的影响

拦鱼电栅是根据鱼在电场中具有应激反应原理设计的, 获得合理的分布电场和适宜的刺激强度是电栅设计的主要要求, 现结合回归方程分析其影响因素。

全电压 U_0 的影响 由(7)(8)式知, 场强与 U_0 几乎成正比, 且与其它参数无关, 是主要设计参数。此外, 场强随 y/\bar{d} 的增大显著减小, 如果参数选择不合理, 拦鱼电场分布出现强弱悬殊状态, 则不利于拦鱼, 设计时应力求避免。

电极平均间距 \bar{d} 和半径 r_0 的影响 \bar{d} 和 r_0 是电栅的两个独立设计参数, 可自由改变。 \bar{d} 不变, r_0 变化时, 场强约与 r_0 成 0.15 次方变化。 r_0 增大, 电场增强, 同时 dE/dy_v 减小, 即改善了电场的封闭性。因 $dE/dr_0 = E/r_0$, r_0 较小时影响显著。 r_0 不变, \bar{d} 变化时, 场强约与 \bar{d} 成 0.18 次方关系。 \bar{d} 增大, 电场作用范围扩大, 但 dE/dy_v 增大, 即电场的封闭性变差。 r_0 通常由电极材料决定, \bar{d}/r_0 的选取主要计及排污条件和电场的封闭性。

电导率 γ 和电极浸水长度 L 的影响 γ 和 L 影响系统负载。若 γ 或 L 增大, 电极电流强度增大, 即负载加重, 此时, 若电源输出功率达不到负载需求, 必然导致输出电压 U_0 下降, 从而减弱拦鱼电场, 影响拦鱼效果, 严重时还将危及设备, 设计时必须注意。

2.2 回归方程在电栅设计中的应用分析

利用回归方程(7)(8), 能完成电栅电极阵几何参数和供电参数(系统参数)的选取, 即完成拦鱼电栅的

设计和校验。

对目前正在使用的分压式拦鱼电栅, 进行拦鱼电场有效性和封闭性校验及电力设备安全性校核。

已知鱼类感电阈值 E_v 和 \bar{d}/r_0 或 r_0 或 U_0 , 设计其它参数。

例 1. 设计某拦鱼电栅已知条件为: $E_{(2\bar{d}, 2\bar{d})} > 0.14V/cm$, $k=1/2$, $\gamma=0.0002 S \cdot cm^{-1}$, $L=1000cm$, $\gamma_0=5cm$ 。其基本条件、设计过程及结果如表 1 所示。

表 1 电栅设计过程及结果(截面宽为 150 米)

Table 1 Process and results of electric fish screen design
(150 meters in width of blocking section)

设计过程	基本条件	电栅系统参数				
		$U_0(v)$	$y_v(m)$	\bar{d}/r_0	n	\bar{d}
初始取值	$\bar{d}/r_0 \approx 60$	728	6		>12.5	3
设计结果	$k_0=0.70$	700	5.8	58	13	2.9
初始取值	$y_v > 4^m$	473		>40	<18.75	>2
设计结果	$k_0=1$	510	4.4	44	17	2.2

注: 设计过程中电极半组数 n 须圆整为奇数。

3 结语

(1) 全电压 U_0 是决定电栅拦鱼电场强弱的主要因素, 而电极阵几何参数取值合理与否是获得有效拦鱼电场的关键。

(2) 利用回归方程进行电栅设计的新方法, 在给定参数范围内具有快速简便及实用效果, 可直接代替理论、经验公式用于拦鱼电栅的设计、校验和优化设计。

(3) 本方法可供尚无经验公式作依据的场合使用, 可望提高一次成功率。此外, 从回归方程也可导出各种约束下的电栅设计经验公式。

参 考 文 献

- [1] 白新桂, 1986. 数据分析与试验优化设计, 87-91, 291-297. 清华大学出版社(京).
- [2] 楼文高, 1991. 分压式拦鱼电栅电栅计算机模拟. 渔业机械仪器, 18(5):32-36.
- [3] Cowx, I. G., 1990. *Developments in electric fishing*, 1-4, 281-306. Cambridge University Press, Cambridge.