

分压式拦鱼电栅电学参量的计算方法

楼文高

(上海水产大学渔业工程系, 200090)

提 要 本文分别用等效电路法、电磁场理论法和电轴镜像法推得计算分压式拦鱼电栅电学参量的理论公式, 同时分析了推导过程中的近似和简化原理。分析比较采用上述3种方法计算得到的电场强度、相对电位和输电线瞬时总电流等电学参量表明, 在形状规则、电极阵离坝或岸很近(小于电极平均间距 d), 且符合电轴镜像法简化原理的条件时, 应用电轴镜像法才有实际意义。在大水面处、电极阵离坝或岸较远时(大于 $5d$)或分析电极阵中心区域时, 应用等效电路法得到的计算结果具有足够精度(误差 $<5\%$), 能满足工程设计需要, 此时若应用电磁场理论法或电轴镜像法太过复杂, 又没有实际意义。

关键词 拦鱼电栅, 电学参量, 相对电位, 电场强度

分压式拦鱼电栅在我国的应用已有近二十年的历史, 在很大程度上已取得了成功, 也取得了较好的经济效益^{[4][1]}。但是计算拦鱼电场电学参量(电场强度, 相对电位等)方法多样, 如等效电路法、电轴镜像法和经验公式等, 都有某种程度的近似和简化, 且计算繁复程度相差很大, 给电栅的设计、方法的选用带来不便。本文在分析上述方法近似和简化原理的基础上, 利用电磁场理论建立计算拦鱼电场电学参量的数学模型, 与上述方法的计算结果比较表明, 在大水面时, 等效电路法具有足够精度, 在电极阵离坝岸很近的场合(如涵洞口, 育鱼池出水口等)使用电轴镜像法才有实际意义, 电磁场理论法适用于大水面时的精确计算。

1 材料与方 法

1.1 分压式拦鱼电栅供电原理

分压式拦鱼电栅供电方式主要有一相和三相两种^[8]。国内应用较多的是一相分压式供电, 如图1所示, 脉冲器有四个输出端, 分别接入拦鱼电栅的 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 输电线, 电位分别为 $U_0/2$ 、 $U_2/2$ 、 $-U_2/2$ 和 $-U_0/2$ 。



图1 电栅供电原理

Fig. 1 Principle of power supply for electric screen

1993-06-21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, :5~30。

1.2 拦鱼电场电学参数的理论计算

1.2.1 等效电路法^[1]

等效电路计算法目前应用较广，其基本原理是把上述各半组简化为如图 2 所示的等效电路，脉冲器负载即为 n (本文 $n=3$) 个等效电路的并联。

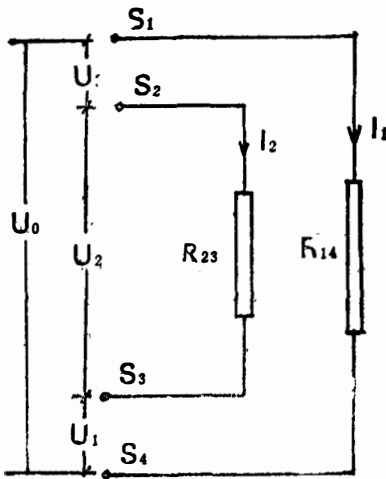


图 2 电极阵等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of electrode array

其中 I_1 —流经输电线 S_1, S_4 电流 (A);
 I_2 —流经输电线 S_2, S_3 电流 (A);
 R_{14} — S_1, S_4 的等效负载电阻 (Ω);
 R_{23} — S_2, S_3 的等效负载电阻 (Ω);
 U_0 —全电压 (V);
 U_1, U_2 —分电压 (V)。

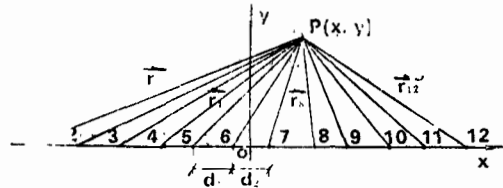


图 3 电极阵结构图

Fig. 3 Structural diagram of electrode array

由电流连续性和矢量迭加原理得电栅电极阵形成的 P 点的电场强度 E 和相对电位 U/U_0 分别为:

$$E = \frac{1}{2\pi\gamma L} \sum_{i=1}^N \frac{I_i \cdot r_i}{r_i^2} \quad (N=4n) \tag{1}$$

$$U/U_0 = \frac{1}{2\pi\gamma L} \sum_{i=1}^N I_i \ln r_i + 0.5 \tag{2}$$

其中: $I_1 = I_3 = I_9 = -I_4 = -I_5 = -I_{12}, I_2 = I_7 = I_{10} = -I_8 = -I_6 = -I_{11};$

γ —水的电导率 (S/cm);

L —电极平均浸水长度 (cm)

r_i — P 点到电极 i 的矢径, 如图 3 所示。

$$r_i = [x - (0.5i - 3)d_1 - (0.5i - 3.5)d_2]i + yj \quad (i \text{ 为偶数})$$

$$r_i = [x - (0.5i - 3.5)d_1 - (0.5i - 3)d_2]i + yj \quad (i \text{ 为奇数})$$

i, j 为 x, y 轴单位矢量。

由第 2 半组电极 6, 7 和 5, 8 间电压差分别为 U_2 和 U_0 , 从 (2) 式可推得:

$$\left. \begin{aligned} I_1/2\pi\gamma Ln &= U_0/K_{R14} \\ I_2/2\pi\gamma Ln &= U_2/K_{R23} \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

其中 K_{R14}, K_{R23} 分别为电极 5, 8 和 6, 7 间的散流电阻 (电流流经非固体导体时形成的电阻的统称) 系数, 与电极阵几何参数有关。

把 (3) 式代入 (1) (2) 式可计算拦鱼电场中任意点的电场强度值和相对电位值, 绘制拦鱼电场分布图。

1.2.2 电轴镜像法^[1]

得拦鱼电场分布图。

2 分析与讨论

2.1 三种方法的近似简化原理分析

等效电路法公式推导过程中,把整个电极阵简化为一系列等效电路的并联,在计算散流电阻和散流电阻系数时虽计及各半组之间的相互影响,但在计算电极电流时把第5、8根设为大小相等、方向相反、且各组相同。此时,只保证6、7电极的电位差为 U_2 ,5、8电极电位差为 U_0 ,其它电极间的电位差不能保证,所以计算过程存在一定的误差。

电轴镜像法把水库简化为无限大半直角平面,而且镜像平面与电极阵平面或平行或垂直,这在实际水库中是不可能的,即实际的反复镜像关系要复杂得多,必须用保角变换法求解(太复杂,本文略)。只有在育苗池、涵洞口附近设置的拦鱼电栅才比较接近电轴镜像法的条件,因此在不规则的溢洪道口、河道和电极阵不平行或垂直镜像平面时,采用镜像法已失去实际意义。

电磁场理论法适用于大水面拦鱼电场电学参量的理论计算,没有考虑边界的影响,故不适用于靠堤岸的边缘水域,事实证明该水域很少逃鱼,不是拦鱼电栅设计时主要讨论的水域,对拦鱼率影响很小。

2.2 电学参量计算结果比较

本文讨论的电学参量主要是指电栅输电线瞬时总电流,典型平面上不同 y 处的电场强度值和相对电位值。

2.2.1 输电线瞬时总电流

取3个半组电极,电栅系统参数分别为: $d/r_0=66$, $k_0=d_2/d_1=0.76$, $U_0=600V$, $k=U_2/U_0=1/3$, $r_0=4.4cm$, $L=600cm$, $\gamma=200\mu S \cdot cm^{-1}$,

把上述已知参数代入各方程,利用计算机技术,可以方便地得到各种计算方法的输电线瞬时总电流如表1所示。

表1 输电线瞬时总电流

Table 1 Comparison of instantaneous total current through feeding cables

输电线	1	2	3 ⁺	3 ⁺⁺	3 ⁺⁺⁺	3 ⁺⁺⁺⁺	4
S_1, S_4	103.75	111.33	152.52	115.46	111.85	111.54	94.94
S_2, S_3	36.79	37.09	51.67	38.4	37.2	37.13	36.76

注: 1—等效电路法; 2—电磁场理论法; 3—电轴镜像法; 3⁺— $d_0=d$; 3⁺⁺— $d_0=4d$; 3⁺⁺⁺— $d_0=10d$, 3⁺⁺⁺⁺— $d_0=20d$, 4—实测值[该处由实测电压和电阻值计算得到,依据为本文脚注(1)],下同此

由表1知,如果以电磁场理论法的计算结果对照标准,则用等效电路法计算得到的输电线瞬时总电流的平均相对误差约为5%。 $d_0=d$ 时,用电轴镜像法计算得到的相对平均误差可达40%左右, $d_0 \geq 4d$ 时,平均相对误差约为5%。此外,用等效电路法得到的计算结果与实测值的偏差约为5%,电磁场理论法的计算结果偏差约为10%。

2.2.2 典型平面上的电场强度值

取只有 x 方向或只有 y 方向电场强度的平面 $x=0$ 和 $x=\pm 2d$ 作为研究平面,讨论电栅设计时研究区域 $d \leq y \leq 3d$ 内电场强度的误差情况,如表2所示。

表 2 典型平面上的电场强度(V/cm)
Table 2 Comparison of electric strength(V/cm) on typical plane

y(m)	x=2d							x=0						
	1	2	3+	3++	3+++	3++++	4	1	2	3+	3++	3+++	3++++	4
2.0	32	32.7	25.2	31.9	32.6	32.6	36	29	30.3	23	29.9	30.4	30.3	29
3.0	27	24.9	19.1	24.3	24.8	24.8	24	22.5	23	17.4	28.8	23.1	23	23
4.0	18	18.8	14.2	18.3	18.7	18.7	18	18	17.7	13.5	17.6	17.8	17.7	18
5.8	12	11.5	8.6	11.1	11.4	11.4		12	10.9	8.6	11	11	11	
7.25	8.6	7.8	5.8	7.6	7.8	7.8		7.7	7.3	5.9	7.5	7.5	7.4	
8.7	6	5.3	4.0	5.2	5.3	5.3		6	4.8	4.1	5.1	5	4.9	

由表 2 可知,在上述区域内,若以电磁场理论法的计算结果为对照标准,则用等效电路法求得的值的相对平均误差为 5% 左右。用电轴镜像法计算得到的结果,在 $d_0=d$ 时相对平均误差高达 25%,在 $d_0 \geq 4d$ 时,其相对平均误差约为 2%。此外,用等效电路法得到的计算结果与实测值的相对偏差约为 5%。

2.2.3 $x=2d$ 平面上的相对电位值

因为 $x=0$ 平面上的相对电位为常数,故本文仅比较 $x=2d$ 平面上 $d \leq y \leq 3d$ 区域内的相对电位值,如表 3 所示。

表 3 $x=2d$ 平面上的相对电位
Table 3 Comparison of relative potential on the plane of $x=2d$

y	1	2	3+	3++	3+++	3++++
d	0.644	0.653	0.619	0.652	0.654	0.653
1.5d	0.608	0.602	0.581	0.603	0.603	0.602
2.0d	0.566	0.568	0.555	0.570	0.569	0.569
2.5d	0.543	0.545	0.538	0.547	0.546	0.546
3.0d	0.528	0.529	0.526	0.532	0.531	0.530

由表 3 知,当 $d_0 \geq 4d$ 时,3 种方法的计算结果非常接近。

2.3 讨论

从上述电学参量的对比结果显示,等效电路法与电磁场理论法的计算结果相对误差约为 5%,说明两者在工程设计中具有等效性。另一方面,等效电路法计算简单,并可在没有计算机的情况下进行,而电磁场理论法计算繁复,需解多元线性方程组,没有计算机很难进行设计。

由电磁场理论法计算结果得知,电极阵的作用范围约为 $5 \sim 6d$,也就是说,离电极阵平面 $5 \sim 6d$ 以远的电极对该电极阵形成的电场几乎没有影响,而距离小于 $2d$ 时,则有明显影响(约为 20%),比较电轴镜像法与电磁场理论法的计算结果也得到相同的结论。

上述的公式推导和计算过程均忽略了输电线电路耗损,实测结果与用等效电路法得到的结果基本相等。

3 结束语

(1) 用于溢洪道口或河道的分压式拦鱼电栅设计(电极阵平面离堤坝 $\geq 5d$ 以上),应用等效电路法精度足够,且算法简单,应优先采用,仅在靠近堤岸区域(约一个半组电极)稍有误差,但对电栅拦鱼效果影响甚微。

(2) 用于涵洞口或育苗池出水口等处的分压式拦鱼电栅设计,电极阵布置符合电轴镜像法条件时,必须采用电轴镜像法,否则必将引起逃鱼,降低拦鱼率。

(3) 在电栅离镜面很近,但不符合电轴镜像法条件时,采用电轴镜像法将失去实际意义,应采用保角变换法(本文略),此外,在电栅离镜面很远时,采用电轴镜像法没有实际意义,又十分复杂。

(4) 电磁场理论法在大水面时,虽然计算精度较高,但比较复杂,用于工程设计意义不大,主要用于检验等效电路法和电轴镜像法的计算精度和有效性。

(5) 用等效电路法得到的计算结果与实测值最为接近,因此,无论在理论上还是工程上都应优先采用(除结论[2]情况)。

本文为本校青年科研基金资助项目的一部分。

参 考 文 献

- [1] 冯慈建, 1979. 电磁场, 49—112, 210—214. 人民教育出版社(京)
- [2] 钟为国, 1986. 如何估算 LD-1 型拦鱼电栅负载及正确选择输电线的截面积. 水利渔业, (4):27—32.
- [3] Cowx, I. G., 1990. Developments in electric fishing, 1-4. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- [4] Vibert, R., 1967. Fishing with electricity, 9-25, 222-247. Fishing News Ltd., London

ON THE CALCULATION OF ELECTRIC PARAMETERS FOR ELECTRIC FISH SCREEN OF DIVIDER-TYPE

Lou Wen-gao

(Fishery Engineering Department, SFU, 200090)

ABSTRACT In this paper, the theoretical calculation of electric parameters for electric fish screen (EFS) of divider-type is presented according to the principles of equivalent circuit, axis-mirror image method and electromagnetics respectively. Their constraint conditions of simplification and approximation are also analyzed. The analysis shows that the theoretical calculation formula are applicable to different situation, that is, (1) the equivalent circuit method is approximately suitable to comparatively large aquatic areas, in deepwater layers or center part of the blocking section (called situation 1); (2) the axis-mirror image method is accurately suitable to the mirror plane perpendicular or parallel to the line of the electrode absolutely (called situation 2),

otherwise, it is mistaken and senseless; (3) the electromagnetics method is accurately useful to situation 1.

The calculated examples show that:

(1) The error between the equivalent circuit method and the electromagnetics method is less than 5%, and in other words, the error can be neglected in engineering design and analysis.

(2) The error between the electromagnetics method and the axis-mirror image method is significant when the electrode line is close to the image plane, and insignificant when the distance from the electrode line to the image plane is larger than $5d$.

In practice, the EFS of divider-type is usually designed and located on the spillway of reservoir. The dam and the bank of spillway are certainly angular to the electrode line in order to improve the efficiency of stopping fish escaping. The electric parameters are thus calculated by both the equivalent circuit method and the electromagnetic^s method, but the axis-mirror image method.

KEYWORDS electric fish screen, electric parameters, relative potential, electric strength