文章编号:1006-0456(2006)04-0401-04

斜板沉淀池优化设计研究

刘振中¹,邓慧萍²,白丹³,李越⁴

(1.南昌大学 建筑工程学院,江西 南昌 330031;2 同济大学 环境科学与工程学院,上海 200092;
3.西安理工大学 水利水电学院,陕西 西安 710048;4.珠江水利科学研究院,广东 广州 510611)

摘要:对异向流斜板沉淀池进行优化设计研究,使其在满足沉淀效率及水力条件的情况下,沉淀池的建设费用 最小.运用 BP网络对已知的斜板沉淀池费用进行函数逼近,结合回归正交设计方法建立沉淀池的费用函数,以费 用最小作为优化模型的目标函数,进而建立沉淀池的优化设计模型,运用连续型的 Hopfield网络对模型进行优化 求解.通过实例验证得出的设计方案是经济可行的.

关键词 :斜板沉淀池;	回归正交设计; Hopfield网络	;优化设计模型
中图分类号:X703.3	文献标识码:A	

常规的斜板沉淀池设计,是在选定斜板各参数 以及最小去除颗粒沉速的情况下,根据斜板中各参 数的关系式,确定斜板沉淀池中其他的参数值,基本 上未从节约造价角度上来进行分析设计.为此,本文 以异向流斜板沉淀池为例进行优化设计研究.斜板 沉淀池的优化设计目的是在满足沉淀效率及水力条 件的情况下使沉淀池的建设费用最低.

1 斜板沉淀池优化设计模型

1.1 目标函数的建立

利用 BP网络并结合回归正交设计方法建立沉 淀池的费用函数即目标函数,如图 1所示.



Fig 1 Cost function setting up process diagram

1.1.1 BP网络模型

2

文中利用 BP网络对已知的沉淀池的费用进行 函数逼近,以获取较好的 BP网络模型.

1) 输入输出参数

以沉淀池的计算表面积及体积为网络的输入, 沉淀池的建设费用为网络的输出.

所谓计算表面积,若沉淀池长为 L, 宽为 B, 池

收稿日期:2006-03-24 作者简介:刘振中(1979-),女,博士研究生. 的总深度为 H (包括污泥区高度),则其计算表面积 S =L ×B +2(L +B) ×H ×k,计算体积为 V =L ×B ×H ×k,乘 k是为考虑泥斗的因素,可以取小于或 等于 1的数值^[1].费用资料主要采用 2000年版的 《给水排水设计手册》^[2]第十册技术经济中的排水 工程投资估算指标作为数据基础.

2)隐层节点数的确定^[3]

由如下经验公式来确定隐层神经元个数的范 围,即

$$J = \sqrt{n + m} + a \tag{1}$$

式中: *a* = 1 ~ 10, *J* 为隐层节点数, *n* 为输入层节点数, *m* 为输出层节点数.本文可以估算出隐层节点数 为 3 ~ 12,扩展为 2 ~ 20来寻找最佳节点数.

3)传递函数及算法

传递函数:隐层传递函数为 Signoid 和 Tansig 函数,输出层传递函数为线性函数 Purelin

误差算法:Levenberg—Marquardt,该算法结合 牛顿算法和梯度下降算法的优点,引入加权因子, 改变训练函数性能,当 很小时变为牛顿算法,当 较大时变为梯度下降算法.

4) 训练及结果

学习样本的正规化.由于神经元的响应函数 为 signoid函数,由此可知神经元的响应值在 0(抑 制)与 1(激活)之间.为了保证神经网络更好的学习 样本,输入输出值也应当经过适当变换,转化为 0~ 1之间的值.因为 0与 1都是响应函数的上下限值, 不易作为输入输出的实际值的使用.实际中应把输 入输出值限定在 0.1~0.9之间为宜.在训练 BP网 络时,应根据情况确定输入输出层的各神经元所代 表实际量的最小、最大值 X_{min}, X_{max} 然后按下式变 换:

 $= 0 \ 1 \ + 0 \ 8 \ \times (X \ - \ X_{\min}) \ / (X_{\max} \ - \ X_{\min}) \ (2)$ 上式的变换为:

 $X = X_{\min} + [(-0, 1)/(X_{\max} - X_{\min})]/(0, 8)$ 由此即可还原出所代表的真实量.

网络参数的初始化,设定输入输出节点数、传 递函数、学习率、目标精度等.经过反复的训练得到 满足目标精度的网络,确定最终的隐层节点数、权值 和阈值,则模型的建立就完成了.

1.1.2 回归正交设计

对异向流斜板沉淀池的优化设计,文中把沉淀 效率 或颗粒沉速 4. (有沉淀资料时采用颗粒沉 速)、斜板的倾角、板长 L 板距 d作为设计因子;同 时,把沉淀池的长宽比 k也作为设计因子之一,需要 指出的是,对于斜板沉淀池的长宽比没有规范要求, 文中为方便设计,查阅相关的资料,发现斜板沉淀池 的长宽比大都在 0 6~2之间,因此 k的范围就此而 取定.建立五因素的二次回归正交设计.沉淀池的其 他参数可由参数间的数学关系式推出.

在有沉淀资料时,已知沉淀曲线,可根据沉淀曲 线确定出满足沉淀效率 的截留沉速 и₀,再推出斜 板沉淀池的构造尺寸参数,斜板沉淀池的池长 L,池 宽 B,有效水深 ha.并把各类尺寸的沉淀池换算为计 算表面积以及计算体积,进而由训练好的 BP网络 模型计算出各自的费用值.

当无沉淀资料时,对满足一定沉淀效率的沉淀 池进行设计,借用 Ahmet Dem lr⁴¹的结论:

> $= (-0, 000, 321, 3^3, +0, 053, 809^2, -$ 2 895 9 +45. 928) u_0^2 + (0 000 979 63 ³ -0. 173 06 2 +9. 670 - 175. 65) u_{0} + (- 0 000 612 04 3 +0 104 34 2 -5. 620 3 + 189. 50) (4)

其中: 为沉淀效率. 推出斜板沉淀池的构造尺寸参 数,由回归正交表建立沉淀池造价与各因素之间的数 学关系式.所得数学关系式即为沉淀池的费用函数.

1.1.3 目标函数

由二次回归正交设计建立的沉淀池的费用函数 形式如下¹⁵¹:

 $y = b_0 + \sum_{i=1}^{p} b_i x_i + \sum_{i< i}^{p} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{p} b_{ij} x_i^2 \quad (5)$ 其中: b_1 为常数项系数: b_2 为一次项系数: b_2 为交互 项系数; b_i为二次项系数; x_i, x_i为所选因素的水平编 码值: v为沉淀池建设费用.万元.

把各因素水平编码值还原为各因素值,得出目 标函数如下:

 $\min F = {}_{0} + {}_{j z_{j}} + {}_{i < j} z_{i z_{j}} + {}_{j z_{i} z_{j}}$ 式中: p=5, j=1, 2, 3, 4, 5, z,分别代表选定的各因素 即斜板沉淀池的斜板长 1.斜板间距 d.斜板倾角 .颗 粒的截留沉速 40 或效率 ,斜板沉淀池长宽比 k, 。 为常数项系数,,为一次项系数,为交互项系数,。 为二次项系数,F为斜板沉淀池建设费用,万元.

- 12 约束条件^[6]
- 1.2.1 板长约束

板长大些可提高单位占地面积产水量,但板层 内的流速及剪切强度亦增大:板长过小,同样减少了 沉淀面积,降低了沉降效率,根据规范要求,板长一 般有如下范围要求

板距过小,因板间沿板面下滑的沉淀流与上行 液流之间存在剪切作用,所以需要一定厚度的缓冲 层,否则两流间相互扰动,势将恶化沉降过程,因此 并非相距越小,斜板沉降增效值越高,而板距过大, 斜板增效值不高. 一般板距的范围:

$$d_1 \qquad d \qquad d_2 \qquad \qquad (8)$$

1.2.3 倾角约束

沉泥沿着斜板板面与重力合成的方向下滑,集 中形成泥束. 沉泥下滑的基本条件是泥与水的重力 差,在斜面上引起的下滑力大于沉泥与上部的水面 和下部的板面形成的磨擦阻力之和. 当倾角过小,下 滑力不能克服水面对泥的阻力与板面对泥的阻力之 和,即不利于污泥的下沉;反之,当倾角过大,减小了 沉淀面积,即降低了沉降效率,体现不出斜板沉降的 优势,因此,斜板的倾角一般

(9)

1.2.4 效率约束 (颗粒沉速约束)

1

有沉淀资料时,一定的沉淀效率,对应有一定的 颗粒沉速,须满足:

Umax

 u_0 没有沉淀资料时,借用 Ahmet Dem Ir的结论式

$$= f(, u_0) = 1$$
 (11)

已经说明, k = L/B 为设计方便, 文中沉淀池长 宽比取一定的范围:

1.2.6 雷诺数约束

为保证板间流态为层流,由研究表明可要求斜 板间的雷诺数小于 200 即有:

 k_1

$$v_{\text{max}} = Re \cdot \frac{2(d+B)}{Bd} = 400 \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{d}\right) (13)$$

 $k = k_2$

而
$$v = \frac{(l\sin\cos + d)u_0}{d\sin}$$
,即
$$\frac{(l\sin\cos + d)u_0}{d\sin} = 400 \left(\frac{1}{B} + \frac{1}{d}\right) \quad (14)$$

其中:*B*为池宽,为流体运动粘滞系数.文中取水 温为 30 时的运动粘滞系数值为 0.008 03 cm²/s 1.2.7 等式约束

异向流斜板沉淀池中还要满足如下关系式

$$A = L \times B = \frac{Q}{0.9v \sin}$$
(15)

1.2.8 非负约束

由于沉淀池中的各尺寸有实际意义,所以要求: L > 0; B > 0 (16)

13 模型求解

本文把神经网络中连续型的 Hopfield网络⁷⁷运 用到对沉淀池的优化求解中来,沉淀池非线性优化 问题的数学模型表现为:

$$\begin{array}{cccc} & \min f(X); \\ s \ t \ g_k(X) & 0 & k = 1, 2, ..., k \\ & h_p(X) = 0 & p = 1, 2, ..., p \\ & X_i^{(L)} \ X_i \ X_i^{(U)} & i = 1, 2, ..., p \end{array}$$
(17)

针对上述非线性优化模型,采用罚函数法构造 其增广目标函数 E 增广目标函数 F由三部分组成, 第一项为非线性优化模型中的目标函数项 F(X_i), 第二项、第三项为非线性规划模型中的惩罚项.用公 式表示为

$$F(X_{i},) = F(X_{i}) + \int_{k=1}^{p} G[g_{k}(X_{i})] + \int_{p=1}^{p} H[h_{p}(X_{i})]$$
(18)

其中, 是 lagrange乘子, G(y) 和 H(y)是罚函数.

$$G(y) = \begin{cases} 0, & y & 0 \\ \frac{y^2}{2}, & y & 0 \end{cases} \quad H(y) = \frac{y^2}{2} (19)$$

根据神经网络理论,将沉淀池优化设计变量 x 与神 经元输出 v 相对应,就上述沉淀池优化问题,定义 其神经网络电路模拟为:

$$C_{i}\frac{\mathrm{d}u_{i}}{\mathrm{d}t} = -\frac{\partial f(V)}{\partial V_{i}} - \frac{k}{k=1} \left[g_{k}(V)\right]\frac{\partial g_{k}(V)}{\partial V_{i}} - \frac{p}{p=1} \left[h_{p}(V)\right]\frac{\partial h_{p}(V)}{\partial V_{i}}$$
(20)

 $\bigvee_i = f(u_i)$

这里, *C*_i 是常数, *u*_i是第 *i*个神经元的总输入, *f*(*) 称为神经元激励函数. 上式中所描述的神经动力系统, 其计算能量函数定义为:

$$E(V) = f(V) + \begin{pmatrix} k & g_{k}(V) \\ k = 1 & 0 \end{pmatrix} (y) dy + \begin{pmatrix} p & h_{p}(y) \\ h_{p}(y) \end{pmatrix} (y) dy$$
(21)

其中,函数式的稳定解对应于非线性优化问题的解, 同时也是能量函数式的极小点.

对于沉淀池的优化问题,只需使 (18)式和 (21) 式相对应,故定义:

 $\phi(y) = dG(y) / dy, \quad (y) = dH(y) / dy \quad (22)$ 其节点函数构造如下:

$$S_{i}(U_{i}) = \frac{1}{2} (V_{i}^{(u)} - V_{i}^{(l)}) [1 + \tan(\frac{U_{i}}{q_{i}})] + V_{i}^{(l)}$$
(23)

其中, q_i是神经元增益的倒数,由于 S_i()是单调连续函数,设计变量的上下限可由上式直接处理.

2 实例应用

例:某地区的污水量为 9 000 m³/d,要求去除 SS不小于 55%,采用斜板异向流沉淀池,计算沉淀 池的各参量值.

2.1 应用 BP网络模型及回归正交设计建立沉淀 池的费用函数

2 1.1 确定各因子及其变化范围

以斜板长、斜板板距。4斜板倾角,沉淀效率 以及沉淀池的长宽比。4作为一个设计因子.如前 所述,本文选用的各参数变化范围分别为:

2 1.2 编制因素水平编码表

因素水平编码表见表 1.

2 1.3 选择组合设计表

因子数即变量数 p = 5, 二水平 (+1 1 - 1) 部

分实施试验的试验点个数 $m_c = 2^{p-1}$ 为 16,分布在 p个因素坐标轴上的星号点 2p = 10,各变量都取零水 平的中心点只计算一次即 $m_0 = 1$,故试验次数 $N = m_c + 2p + m_0 = 27$.选用五因素二次回归正交设计表 (略).其中,表中各 Y值 (费用值)由先前所建立的 BP网络模型所求得.

表 1 因素水平编码表 Tab. 1 factor level code

因素	板长 /m	板距 /mm	倾角 /(效率	长宽比
 记号	x_1	<i>x</i> ₂	<i>x</i> ₃	x_4	<i>x</i> ₅
变化间距 (j)	0. 13	13. 18	6.59	0. 049	0. 461
上星臂(+)	1. 20	120.00	60. 00	0. 700	2
上水平(+1)	1. 13	113. 18	56.59	0. 674	1. 761
基准水平(0)	1. 00	100. 00	50.00	0. 625	1. 300
下水平 (-1)	0.87	86.82	43. 41	0. 576	0. 839
下星臂(-)	0.80	80. 00	40.00	0. 550	0. 6

2.1.4 回归方程的确定

由回归正交表可得出回归方程,并经代换后,得 方程为:

- $y = -6 \ 393 8 \ 808 \ l + 100 \ 542 \ d + 0 \ 146 \ +$ 13 \ 493 \ - 1. \ 166\ LB^{-1} - 3 \ 34 \ LB^{-1} \ + 2 \ 94 \ d \ + 37. \ 8 \ dLB^{-1} \ + 8 \ 41 \ LB^{-1} \ (25)
- 2 2 优化模型的建立
- 221 目标函数

把式 (25)换算为沉淀区尺寸、斜板各参数及颗 粒沉速的函数关系式,即以沉淀区的长 L,宽 B,斜 板的长 L斜板板距 d,斜板倾角 以及颗粒沉速 u₀ 为决策变量,建立的目标函数如下:

$$y = -6\ 393 - 8\ 808\ l + 100\ 542\ d + 0\ 146\ +$$

$$13\ 493\ - 1\ 166\ k - 3\ 34\ l\ k + 2\ 94\ d \ +$$

$$37\ 8\ d\ k + 8\ 41\ k \tag{26}$$

2 2 2 约束条件

$$\begin{cases}
0 8 l 1.2 \\
0 08 d 0.12 \\
40 60 \\
0 55 0 7 \\
0 6 L/B 2 \\
\frac{(l\sin\cos + d) u_0}{d\sin} u_0 \quad 400 \quad (\frac{1}{B} + \frac{1}{d}) \\
A = L \times B = \frac{Q}{0.9 \nu \sin} \\
L > 0; B > 0
\end{cases}$$
(27)

23 模型求解

应用神经网络 Hopfield方法对模型进行求解, 得出该斜板沉淀池各参数值:板长 1.05 m,板距 0.08 m,倾角 60 °;去除效率为 70%,沉淀池长度 6.01 m,宽度 5.45 m,费用 15.41万元.

若由常规设计具体过程如下:取板长 0.8 m,板 宽 2m,池宽取 8 m,倾角 取 60 °,板距取 0.085 m, 去除效率为 60%.此时,雷诺数 *Re* = 199,满足设计 要求,其费用值为 19.83万元.因此节约费用 22%.

3 结论

文中运用 BP网络模型结合回归正交设计建立 斜板沉淀池的费用函数,进而建立了斜板沉淀池的 优化设计模型并运用神经网络中的连续型的 Hopfield网络对模型进行优化求解.运用该方法对 沉淀池进行优化设计,所得设计方案经济合理.

参考文献:

- [1] 蒋惠忠. 污水处理单元构筑物费用函数研究 [J]. 环境 保护, 2000(8): 41 - 43.
- [2] 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册:第 10 册 [M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] 耿昌松,林泳,王旭友,等. YAG激光焊接参数的人工 神经网络模型 [J].焊接学报,2001,22(6): 37-40
- [4] Ahmet Demir Determination of Settling Efficiency and Optimum Plate Angle for Plated Settling Tanks [J]. Wat Res, 1995, 29 (2): 611 - 616
- [5] 高允彦.正交回归设计方法 [M].北京:冶金工业出版 社,1988
- [6] 北京市政设计研究. 简明排水设计手册 [M]. 北京:中 国建筑工业出版社, 1993.
- [7] 徐玉野,王全凤. 基于 Hopfield神经网络的结构优化 分析 [J].四川建筑科学研究,2002,28(2):52-55. (下转第 408页)

参考文献:

- [1] CECS 159: 2004,矩形钢管混凝土结构技术规程 [S]. 北京:中国计划出版社, 2004.
- [2] 矩形钢管混凝土结构技术规程 [S]. 征求意见稿, 2001.
- [3] 铁摩辛柯 SP,盖莱 JM. 弹性稳定理论 [M]. 北京:科

学出版社,1965.

- [4] 刘大海,杨翠如.型钢、钢管混凝土高楼计算和构造[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [5] 陈绍番,顾强.钢结构:上册 [M].北京:中国建筑工业 出版社,2003.
- [6] 汪德震. 概率论数理统计在建筑结构中的应用 [M].长春:吉林人民出版社, 1983.

Approach to Compression-Bending Buckling Calculation for Concrete-filled Rectangular Steel Tube Member

SUN Xiao-fei¹, WU Chun-sheng²

(1. School of A rchitectural Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
2. Nanchang Tongji Planning A rchitectural Design Co, Ltd, Nanchang 330046, China)

Abstract: The buckling calculation for compression-bending members of concrete-filled rectangular steel tube is the best important in (Technical specification for structures with concrete-filled rectangular steel tube members). But yet when the strength of steel tubes to be made of steel material trade-mark is more than Q345, the concrete strength grade exceeds C50 and the member slendemess is fairly large, it can be found that the calculated values of buckling formulas in-plane bending of compression-bending members in the (Technical specification) are compared with the experimental values of internal dozens of test compression-bnding members, the experimental values of partial test members are lower, individual value lower near 30 percent, than the calculated value of the (Technical Specification). That is to say, the formulas to compute buckling in (Technical specification) are on the less safe side. The buckling formula of an elastic compression-bending members, the calculated values are in agreement with the experimental values of the test members. Therefore the buckling formulas, proposed in this paper, can be offered reference for technical specification to be revised and for designer.

Key W ords: structure with concrete-filled rectangular steel tube member; compression-bending member; stable reckon; buckling compute steel-concrete composite structure; computable value with test value

(上接第 404页)

Optimal Design of Plated Sedimentation Tank

 $L U Zhen-zhong^{1}$, DENG Hui-ping², BA IDan³, L I Yue⁴

(1. School of A rchitectural Engineeing, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2 School of Environment Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

3 Water Resource and Hydropower Institude, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

4 Scientific Research Institute of The Pearl Rivel Water Resources Committee, Guangzhou 510611, China)

Abstract: The optimal design of plated upflow sedimentation tank was studied in this paper, and the aim of optimazation was to obtain the least building cost meeting some efficiency and the hydrolic condition. By BP neural network performing nonlinear mapping to the cost data and combining regression orthogonal design, the plated upflow sedimentation tank cost function was set up, so the objective of the optimal model was provided, further the integrate optimal design model was set up. The continuous Hopfield network optimal computation theory is applied to make caculation in this paper. It was tested that the obtained design was feasible and economical by an example.

Key Words: plated sedimentation tank; regression orthogonal design; Hopfield network; optimal design model