

基于粒子群优化算法的控制面板布局优化方法研究^①

许彧青^② 孟庆鑫 杨 治 张立勋

(哈尔滨工程大学机电工程学院 哈尔滨 150001)

摘 要 针对目前核电站主控制室后备盘台人机界面设计过多依赖人的经验和主观判断从而导致控制面板布局随意性的问题,提出了基于粒子群优化算法的控制面板布局设计优化方法,即先对控制面板上元件的重要性、操作频率、操作顺序和相关性等工效学布局原则分别进行数学描述,并依此构造布局优化目标函数,将布局问题抽象为数学问题,然后采用粒子群优化算法对布局优化目标函数进行求解,以便快速地找到最优布局方案,从而达到布局优化的目的。通过对 16 个操纵和显示元件进行布局优化计算,证明了该方法能有效地解决后备盘台人机界面布局优化问题。

关键词 后备盘台, 布局原则, 粒子群算法(PSO), 人机界面, 布局优化

0 引 言

核电站主控制室是监控机组启停、运行调节和故障处理的控制中枢,在核电站运行和安全中占有重要地位。主控制室人机界面是操纵员与系统进行交互的平台,是核电站信息显示、信息处理和控制的中心。核电站主控制室的发展经历了全硬盘主控制室阶段、数字化和硬盘兼有的主控制室阶段,现已进入保留后备盘台(硬盘台)的全数字化主控制室(先进主控室)阶段。在现阶段,当核电站数字化控制系统功能失效时,核电站主控室后备盘台可以维持核电站的正常运行或将运行引导至安全稳定的状态^[1,2]。核电站主控室后备盘台人机界面主要由控制面板以及大量的操纵器和显示器(也称为元件)组成。为使后备盘台人机界面发挥最大的功效,就要将显示器和操纵器合理地布置在控制面板上。显示器和操纵器的布局则要考虑不同操作工况下的重要性、操作频率、操作顺序和相关性等工效学设计原则^[3,4]。目前的布局方法是依据上述原则,凭借专业人员的经验进行布局,由于过多依赖人的主观判断,且往往不能兼顾上述设计原则,因此带来了布局结果因人而异的随意性。优化设计方法在各个领域的应用和计算机技术的发展,特别是现代智能算法

的出现,为解决后备盘台显示器与操纵器的布局问题提供了可能^[5-7]。本研究实现了下述控制面板布局优化方法:首先对重要性、操作频率、操作顺序和相关性等工效学布局原则分别进行数学描述,然后构造布局优化目标函数,将布局问题抽象为数学问题,最后采用粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法对布局优化目标函数进行求解,以快速找到最优布局方案,达到布局优化的目的。

1 布局原则及其数学描述

根据原件布局的工效学设计原则,重要性和操作频率高的原件应被安排在后备盘台人机界面中人最易观察和操作的范围内;应按照操作顺序从左到右、从上到下进行布置^[8];相关性大的操纵器,其位置应相邻布置;布局的同时应保证元件间不发生干涉及重叠。所以,针对后备盘台上几十个甚至上百个的待布元件,就要综合考虑上述的重要性、操作频率、操作顺序、相关性和相容性的原则,将其合理地布置在一定的空间范围内,使人能够在短时间内,快速准确地判定信息,容易地发出指令并进行操作。

1.1 重要性原则及数学描述

重要性原则是指根据作业元件的重要程度大小,把重要的元件布置在便利位置,以确保其重要性

① 863 计划(2008AA040203)资助项目。

② 女,1969 年生,博士生,教授;研究方向:人机界面设计与评价;联系人,E-mail: xuyuqing2009@yahoo.com.cn
(收稿日期:2011-08-08)

的发挥,提高操作的工效与系统运行安全性。通常是将重要的显示器和操纵器布置在人的最佳视野范围内或者手部的最佳操作范围内。元件重要性的确定通常是由系统运作方面的专家^[9]和有经验的操作人员等专业人员来决定的。

传统的方法是组织若干位专业人员,对各元件的重要性采用直接打分的方式。重要性高的元件,得分就高,然后采用算术平均的方式算出每个元件的分数,作为判断元件在控制面板上的重要性大小的依据。然而,该方法中专业人员对各个元件逐个打分的方式,很难保证专业人员对元件重要性判断的一致性。另外,该方法也没有考虑到专业人员个体差异对分数的影响。

本文采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)与人的自信度判断相结合的改进方法对元件的重要性进行判定。层次分析法强调了人的思维判断在决策过程中的作用,它将复杂问题分解为组成因素,并按支配关系形成层次结构;采用了 1-9 级重要性比率标度,运用两两比较的方法将各组成因素的重要性进行判断及量化;借助于矩阵分析工具,对判断矩阵进行一致性检验,保证思维判断的一致性和准确性,避免产生判断的混乱。

运用该改进方法对元件的重要性进行判定的主要步骤包括:(1)分析待布局各元件之间的关系,建立元件的递阶层次结构;(2)对同一层次各元件的重要性进行两两比较并构造判断矩阵 $A = (a_{ij})$, a_{ij} 即为第 i 个元件对第 j 个元件的相对重要度,其取值一般取正整数 1~9 及其倒数;(3)对该判断矩阵依据层次分析法的算法^[10],求出其特征向量及最大特征根,并进行一致性检验。当随机一致性比率 $CR < 0.10$ 时,就可认为判断矩阵具有满意的一致性,否则,判断矩阵就不能作为判断元件重要性的依据。所求出的特征向量就是一个专业人员对 n 个元件重要性的判定结果,表示为

$$W_m = [W_{m1} \ W_{m2} \ \cdots \ W_{mn}]^T \quad (1)$$

依次类推,可计算出 m 个专业人员对 n 个元件重要性的判定结果,表示为

$$W = [W_1 \ W_2 \ \cdots \ W_m] \quad (2)$$

将专业人员的自信度判断结合到层次分析法中, m 个专业人员对元件重要性判定的自信度表示为 $q = [q_1 \ q_2 \ \cdots \ q_m]$, 则元件的重要性可表示为

$$M = [M_i] = \frac{Wq}{\sum_{j=1}^m q_j} \quad (3)$$

1.2 操作频率原则及数学描述

操作频率原则是指将操作过程中使用次数多的元件布置在便于观测和操作的位置,以减轻操纵员的工作负荷。不同元件的操作频率是不同的,要统计在不同操作工况下,每个原件的操作频率。因此,可将元件的操作频率描述为

$$F_i = f_{ij}q_{jf} = \begin{bmatrix} f_{i1} & f_{i2} & \cdots & f_{in} \\ f_{21} & f_{22} & & f_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{f1} \\ q_{f2} \\ \vdots \\ q_{fn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

f_{ij} 表示 i 元件在 j 工况下的操作频率, q_{jf} 表示每个工况发生的概率。

1.3 操作顺序原则及数学描述

操作顺序原则是指元件应按照操作顺序进行操作。操作参数包含了两个重要的子参数:一个是元件固有操作顺序参数 L_{base} , 另一个是元件当前操作顺序参数 L_{now} 。通过使用元件重要度 M_i 作为权重的 $|L_{now_i} - L_{base_i}|$ 的加权平均值,来描述当前元件的操作顺序参数 L_z , 其表达式为

$$L_z = \frac{\sum_{i=1}^n L_i M_i}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n |L_{now_i} - L_{base_i}| M_i}{n(n-1)} \quad (5)$$

元件当前位置的顺序 L_{now} 是指元件位置初始化及更新后所处位置在界面上的顺序编号。 L_{now} 表征的是元件实时的操作顺序属性,可以用于与固有参数作比较,以构建界面的操作顺序参数。 L_{base_i} 为每种工况下的元件 i 操作顺序号的算术平均值乘以该工况的权重后进行相加,得到各工况下元件 i 操作顺序号算术平均值的加权平均值。其中, L_{ija} 表示元件 i 在操作顺序表中 j 工况下的第 a 个顺序号, n_{ij} 表示元件 i 在 j 工况中的顺序号总数, m 为工况总数。 L_{base_i} 表示为

$$L_{base_i} = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{a=1}^{n_{ij}} (L_{ija}/n_{ij}) q_{jf} \right), a, i, j \in N \quad (6)$$

1.4 相关性原则及数学描述

相关性是指元件操作时相邻元件间关系的密切程度。这里用元件间的位置差作为相关性的判定依据,用差比矩阵表示为

$$Od = [Od_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & L_{now_1} - L_{now_2} & \cdots & L_{now_1} - L_{now_j} \\ L_{now_2} - L_{now_1} & 0 & & \cdots \\ \vdots & & \ddots & \\ L_{now_j} - L_{now_1} & \cdots & & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

对差比矩阵进行方差运算,由此将布局相关性参数表示为

$$O'_z = \frac{\sigma_{Or}^2}{n^2 - n} = \frac{\sum_{i,j=1}^n (Or_{ij} - 1)^2}{n^3(n-1)} \quad (8)$$

1.5 相容性原则及数学描述

相容性是布局时用于衡量元件间是否发生干涉与重叠或元件是否超出界面边界的重要指标。若用 X_i 和 X_j 表示元件位置的编号或顺序号,元件间相容性参数的表达式为

$$\delta_{cc} = \text{sgn}(\prod |X_i - X_j|), X_i, X_j \in N, i \neq j \quad (9)$$

若判断元件与界面的相容情况,设布局界面的宽和高分别为 A 和 B 。需自左上角开始按元件位置号(顺序号)将元件放入界面区域,直到满足换行条件

$$\begin{cases} (m_1 - 1)s_h + \sum_{i=r_1}^{r_{m_1}} a_i \leq A \\ m_1 s_h + \sum_{i=r_1}^{r_{m_1+1}} a_i > A \end{cases} \quad (10)$$

第一行排列结束,开始第二行的排列,依此类推。所有元件排列完成后,记排列总行数为 C_R ,取各行元件中纵向尺寸最大者,组成一个包含有 C_R 个元素的一维数组 D 。需满足

$$(C_R - 1)s_v + \sum_i D_i \leq B \quad (11)$$

元件与界面间相容性参数的表达式为

$$\delta_{cf} = \text{sgn}(B - (C_R - 1)s_v - \sum_i D_i + \varepsilon) \quad (12)$$

总的相容性参数可以表示为

$$\begin{aligned} \delta_z &= \delta_{cc} \delta_{cf} \\ &= \text{sgn}(\prod |X_i - X_j|) \text{sgn}(B - (C_R - 1)s_v \\ &\quad - \sum_k D_k + \varepsilon) \\ &= \text{sgn}((B - (C_R - 1)s_v \\ &\quad - \sum_k D_k + \varepsilon) \prod |X_i - X_j|) \end{aligned} \quad (13)$$

1.6 目标函数

元件布局最理想的情况是将每个元件都放在最优的位置上,以发挥它的工效。但是每个元件都放到最优的位置上通常是无法实现的,因为某些场合会存在布局原则相互冲突,因此,如何考虑上述的重要性、操作频率、操作顺序、相关性和相容性布局原则,及分清布局原则之间的主次关系,是布局过程中必须解决的问题。

本文利用上述的布局原则及数学描述,构建布

局目标函数为

$$\begin{aligned} P_z &= \delta_z (\sum M_i E_i + k_1 \frac{\sum F_i E_i}{L_z + k_2 O_z + C}) \\ &= \delta_z \sum (M_i + \frac{k_1 F_i}{L_z + k_2 O_z + C}) E_i \end{aligned} \quad (14)$$

其中, k_1 主要用于调控重要度和操作频率之间的作用分配; k_2 主要用于调控操作顺序参数与相关性参数之间的作用分配; C 是为保证公式功能完整性而设的参数; E_i 是便利度参数,表明在控制面板上不同位置进行操作的方便程度。该目标函数突出了重要度对布局优化的贡献。相容性是一个具有逻辑性的条件,即相容或不相容,若不相容,其他几个条件即使再好,总的布局目标函数 P_z 也等于零。

2 粒子群优化算法的应用

粒子群优化(PSO)算法是受鸟群觅食行为的启发而提出的,它模拟鸟群的行为,在种群中共享和传递优化信息,使个体向着最优目标移动。核电站主控制室人机界面布局优化问题是一个组合优化问题,为解决该问题而进行的数学描述和建立的目标函数是适合应用粒子群算法进行计算的。

粒子群算法的迭代公式为

$$\begin{aligned} V_{t+1} &= w V_t + c_1 r_1 (pbest - X_t) \\ &\quad + c_2 r_2 (gbest - X_t) \end{aligned} \quad (15)$$

$$X_{t+1} = X_t + V_{t+1} \quad (16)$$

其中, V 是粒子的速度, w 是惯性权重, t 是迭代次数, c_1 和 c_2 称为学习因子, r_1 和 r_2 为 $[0,1]$ 的均布随机数。

2.1 惯性权重策略的选取

粒子速度的更新主要与速度项(包含了惯性权重)和两个学习因子项有关。惯性权重最大的功能是控制粒子速度与学习因子发挥作用的比重。其值越小,则学习因子的贡献越大;其值越大,速度项的贡献越大^[11]。因此,需要研究惯性权重的设置以及惯性权重值对本问题的影响。

最常用的惯性权重策略是 Eberhart 和 Shi 提出的典型线性递减策略^[12],该策略使惯性权重随着进化代数而线性递减。胡建秀等提出了一种线性递减微分策略,并通过实验分析得出,该策略使 w 在算法进化初期的减小趋势减慢,全局搜索能力增强,有助于找到好的优化种子,在算法后期,使 w 的减小趋势加快,一旦在前期找到合适的种子,可以使得算法收敛速度加快。该策略在一定程度上降低了典型

线性递减策略易陷入局部最优的局限性。

为了克服迭代过程中算法一旦陷入局部最优就很难跳出的不足,非线性惯性权重策略被提出,国内学者作了许多研究工作。崔红梅提出了先增后减的惯性权重改进策略;王丽等在典型线性递减策略的基础上引入了递减指数和迭代阈值,提出了一种带阈值的非线性递减策略;李会荣等提出了带控制因子的非线性递减策略;李丽、牛奔提出了非线性动态改进策略。

Eberhart 等提出了随机调整的策略^[13],这种策略下的 PSO 算法能跟随非静态目标函数,收敛速度更快且所得结果的精度更高。

上述惯性权重策略的表达式如下:

(1) 典型线性递减策略

$$w(t) = w_{\text{start}} - \frac{w_{\text{start}} - w_{\text{end}}}{t_{\text{max}}} \times t \quad (17)$$

(2) 线性递减微分策略

$$w(t) = w_{\text{start}} - \frac{(w_{\text{start}} - w_{\text{end}})}{t_{\text{max}}^2} \times t^2 \quad (18)$$

(3) 先增后减策略

$$w(t) = \begin{cases} 1 \times \frac{t}{t_{\text{max}}} + 0.4 & 0 \leq \frac{t}{t_{\text{max}}} \leq 0.5 \\ -1 \times \frac{t}{t_{\text{max}}} + 1.4 & 0.5 \leq \frac{t}{t_{\text{max}}} \leq 1 \end{cases} \quad (19)$$

(4) 带阈值的非线性递减策略

$$w(t) = w_{\text{start}} - \left(\frac{t-1}{t_{\text{max}}-1} \right)^\lambda (w_{\text{start}} - w_{\text{end}}) \quad (20)$$

(5) 带控制因子的非线性递减策略

$$w(t) = (w_{\text{start}} - w_{\text{end}} - d_1) \exp\left(\frac{1}{1 + d_2 t/t_{\text{max}}}\right) \quad (21)$$

(6) 非线性动态改进策略

$$w(t) = w_{\text{end}} + (w_{\text{start}} - w_{\text{end}}) \exp\left(-k \times \frac{t^2}{t_{\text{max}}^2}\right) \quad (22)$$

(7) 随机调整策略

$$w(t) = W_{\text{upper}} - (W_{\text{upper}} - W_{\text{lower}}) Rnd \quad (23)$$

(8) 固定值策略

$$w(t) = C \quad (24)$$

因此,针对本文研究的布局问题,可分别采用上述 8 种惯性权重策略进行求解计算,计算时取学习因子之和为 4,得出的计算结果见表 1。

表 1 不同惯性权重策略的计算结果

	平均迭代次数	最优解比例
典型线性递减策略	51.40009	87%
线性微分递减策略	49.36884	89%
先增后减策略	38.7633	57%
带阈值的非线性递减策略	40.05791	71%
带控制因子的非线性递减策略	43.90847	74%
非线性动态改进策略	41.32334	73%
随机调整策略	45.43162	87%
固定值策略	37.10275	81%

由表 1 的计算结果可以看出,先增后减策略的最优解比例最低,因此作者对该策略进行改进,使惯性权重可取值的范围增加。策略改进前后的计算结果的对比见表 2。改进的先增后减策略为

$$w(t) = 2(W_{\text{peak}} - W_{\text{start}}) \frac{t}{t_{\text{max}}} + W_{\text{start}}$$

$$0 \leq \frac{t}{t_{\text{max}}} \leq 0.5$$

$$w(t) = -2(W_{\text{peak}} - W_{\text{start}}) \frac{t}{t_{\text{max}}} + 2W_{\text{peak}} - W_{\text{start}}$$

$$0.5 \leq \frac{t}{t_{\text{max}}} \leq 1$$

表 2 计算结果的对比

	平均迭代次数	最优解比例
先增后减策略	38.7633	57%
改进的先增后减策略	40.21536	81%

由表 2 可以得知,改进后的先增后减策略在获得最优解上有很大提高,但速度稍有下降。

综合对比表 1 和表 2 的计算结果可知,典型线性递减策略、线性微分递减策略和随机值策略可以在较快的计算速度下获得最优解,其中线性微分递减策略的最优解比例最高,计算速度也较快,因此本文选用此策略进行元件布局的计算。

2.2 学习因子 c_1 和 c_2 的设置

学习因子 c_1 用于调节粒子本身经验的积累,而学习因子 c_2 用于调节各粒子间经验的交流。

在线性微分递减策略下,分别采用多种学习因子的设置方式,进行求解,其计算结果见表 3。

对比发现,随着学习因子之和变大,平均迭代次数逐渐减少,计算速度逐渐加快,但是计算质量却明显下降。因此,在线性微分递减策略中,学习因子设置为 $c_1 = c_2 = 2$ 时,即可以获得满意解。

表3 不同学习因子的计算结果

学习因子之和	迭代次数	最优解比例
4	57.32	88%
6	56.25	16%
8	52.83	12%
10	50.14	2%

3 布局优化算例

本文对尺寸为 800mm × 550mm 控制面板上的 16 个旋钮进行布局,旋钮在布局中均布,间距为 $D = 30\text{mm}$ 。设粒子群的种群规模为 $n = 40$, $c_1 = c_2 = 2$, $w_{\text{start}} = 0.9$, $w_{\text{end}} = 0.4$, 最大迭代次数 $t = 100$ 。

一般来说,元件数越多,所取的粒子数就应越大,但其计算速度大幅增加。针对本算例,选择 40 个粒子的设置方式,既可以获得较好的最优解,也能将计算速度控制在可接受的范围内。

3.1 重要度矩阵的求解

本算例中共有 5 名专业人员来评判旋钮的重要程度。5 名专业人员对旋钮重要性判定的自信度矩阵为 $q = [q_{ij}] = [0.8 \ 0.7 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.5]^T$ 。

首先,5 名专业人员需分别对 16 个旋钮的重要性进行两两比较并构造判断矩阵 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 , 通过层次分析法的计算,得出 W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 , 由此得到旋钮的重要性判定结果:

$$W = \begin{bmatrix} 0.104 & 0.039 & 0.025 & 0.036 & 0.110 \\ 0.091 & 0.078 & 0.111 & 0.048 & 0.085 \\ 0.039 & 0.052 & 0.074 & 0.108 & 0.012 \\ 0.065 & 0.013 & 0.012 & 0.060 & 0.049 \\ 0.026 & 0.117 & 0.099 & 0.072 & 0.098 \\ 0.078 & 0.065 & 0.086 & 0.048 & 0.024 \\ 0.026 & 0.052 & 0.025 & 0.012 & 0.037 \\ 0.091 & 0.104 & 0.025 & 0.096 & 0.110 \\ 0.117 & 0.091 & 0.037 & 0.036 & 0.024 \\ 0.052 & 0.013 & 0.049 & 0.048 & 0.073 \\ 0.013 & 0.078 & 0.062 & 0.084 & 0.098 \\ 0.013 & 0.078 & 0.099 & 0.108 & 0.037 \\ 0.065 & 0.052 & 0.086 & 0.024 & 0.049 \\ 0.078 & 0.039 & 0.086 & 0.036 & 0.098 \\ 0.104 & 0.026 & 0.111 & 0.084 & 0.061 \\ 0.039 & 0.104 & 0.012 & 0.036 & 0.037 \end{bmatrix}$$

然后,结合专业人员的自信度矩阵,采用式(3)求得旋钮的重要度矩阵 M 。

3.2 操作频率矩阵的求解

表4 是在 2 种不同的操作工况下,旋钮操作频率的统计值。2 种操作工况的权重矩阵为

$$q_f = [0.6 \ 0.4]^T$$

表4 两种工况下的旋钮操作频率统计值

		操作次序									
工况 1	1	3	6	7	4	9	14	16	11		
	14	5	8	8	12	13	14	15	12		
工况 2	8	10	11	14	13	9	10	11	16		
	12	3	2	10	9	8	7	12	11		

由式(4)可求得旋钮的操作频率矩阵。

3.3 布局优化问题的求解与分析

依据操作顺序原则、相关性原则和相容性原则的数学描述,分别求出布局目标函数中的相关参数及目标函数值。采用粒子群优化算法求解该布局优化问题。旋钮的布局结果见图 1。图中旋钮序号为布局前的旋钮固有序号。

本算例通过 100 次计算,最优解匹配度为 12.01386,平均迭代次数为 43.51190476,获得最优解的比例为 89%。该布局算例中的参数设置合理,应用本文研究的布局方法可以获得较满意的布局方案。

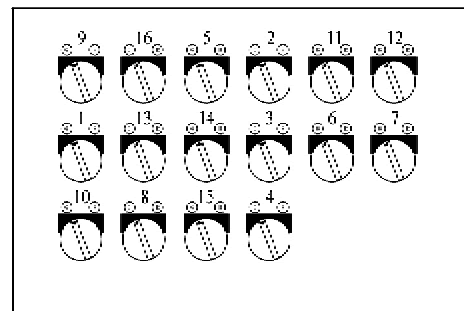


图1 旋钮布局结果

4 结论

本文提出的方法可以科学地兼顾多条设计原则,有效地解决目前专业人员对人机界面布局时存在的布局结果的不确定性问题,不仅可提高布局的速度,更可以得到满意的布局优化方案。本文研究成果可为核电站主控制室后备盘台人机界面的布局优化提供一种有效方法。同时,也可为解决相关领域人机界面的布局优化提供参考依据。

参考文献

- [1] 孙永滨,蒋晓华. 压水堆核电站先进控制室布置设计. 核动力工程,2008,29(3):73-77
- [2] Isaac J A, Douglas V T, Fernando T F, et al. The use of a simulator to include human factors issues in the interface design of a nuclear power plant control room. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2008, 21 (3): 227-238
- [3] Office of Nuclear Regulatory Research. NUREG-0700, Revision 2 Human-System Interface Design Review Guidelines. Washington: U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2002, 411-412
- [4] GB/T13630-92 核电厂控制室设计. 北京:中国标准出版社出版,1992.30-31
- [5] Yan S Y, Zhang J L, Yu K, et al. Computer-aided assessment of man-machine interface design for display and control centers. In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang, China, 2010. 476-480
- [6] Jung E S, Shin Y, Kee D. Generation of visual fields for ergonomic design and evaluation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2000, 26(4): 445-456
- [7] Peer S K, Dinesh K. Human-computer interaction design with multi-goal facilities layout model. *Computers and Mathematics with Applications*, 2008, 56: 2164 - 2170
- [8] GB/T14775-93 操纵器一般人类工效学要求. 北京:中国标准出版社出版,1993.6-7
- [9] Sanders M S, McCormick E J. 工程和设计中的的人因学. 第 7 版. 北京:清华大学出版社,2009. 389-390
- [10] 吴力平,冯杨,李刚. 基于层次分析法的施工现场平面布置方案评估. 浙江工业大学学报,2010,38(1):111-113
- [11] Liu B, Wang L, Liu Y. An effective hybrid particle swarm optimization for batch scheduling of polypropylene processes. *Computers and Chemical Engineering*, 2010, 34(4): 518-528
- [12] Eberhart R C, Shi Y. A modified particle swarm optimizer. In: Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence, New York, USA, 1998. 69-73
- [13] Shi Y, Eberhart R C. Monitoring of particle swarm optimization. *Frontiers of Computer Science in China*, 2009, 3(1):31-37

An optimizing method of control panel layout based on particle swarm optimization

Xu Yuqing, Meng Qingxin, Yang Zhi, Zhang Lixun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract

Based on particle swarm optimization, a method for optimizing the layout of the back-up display-control panel is proposed for design of a human-machine interface of a nuclear power plant's main control room, to avoid the subjectivity and randomness in layout due to designers' experience. The method is described below. In accordance with the importance of ergonomics principles, operating frequency, operating order and correlation, a layout optimizing mathematic model is structured. Then an objective function is formed in order to transform the layout problem to a mathematic problem. At last a layout result is carried out using particle swarm optimization. An implementation of 16 control and display components was tested, showing that this method is effective for back-up panel interface design.

Key words: back-up panel, layout principle, particle swarm optimization(PSO), human-machine interface, layout optimization