

doi: 10.7690/bgzdh.2014.10.025

基于变尺度混沌算法的装甲装备技术状态评估方法

李浩¹, 张耀辉¹, 范秋灵², 昝翔¹, 韩朝帅¹

(1. 装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院信息工程系, 北京 100072)

摘要: 针对装甲装备复杂的结构, 导致其技术状态评估参数权重分配相对困难, 从而影响了状态评估准确性的问题, 采用变尺度混沌算法进行权重分配。首先结合该算法对技术状态综合评定参数进行了重构, 并采用一般的四级技术状态指标体系对权值的分配进行分析, 详细介绍利用变尺度混沌优化算法求解最优权重向量的具体过程, 最后通过实例验证了该方法的合理性与有效性。

关键词: 装甲装备; 变尺度混沌优化; 权重; 状态评估; 综合参数

中图分类号: TJ810.3 **文献标志码:** A

Technical Condition Evaluate Methods of Armoured Equipment Based on Mutative Scale Chaos Optimization Algorithm

Li Hao¹, Zhang Yaohui¹, Fan Qiuling², Zan Xiang¹, Han Chaoshuai¹

(1. Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Department of Information Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Complex structure of the armoured equipment makes it is hard to distribute the parameters weights which can evaluate the technical condition, affecting the accuracy of the evaluation. Use mutative scale chaos optimization algorithm to carry out weights distribution. The paper rebuilds the comprehensive parameters of technical condition evaluation combining the algorithm, and analyzes the weights division with the usual four-class technical condition system, introduces the process to find the best weights vector in detail, and test and verify the effectiveness and rationality at last.

Keywords: armoured equipment; mutative scale chaos optimization algorithm; weights; condition evaluation; comprehensive parameters

0 引言

由于装甲装备对任务成功性以及安全性的特殊要求, 限制了修复性维修及定时维修技术的发展, 而正是这种局限性, 推动了基于状态维修的发展; 准确的状态评估是实施状态维修的基础, 由于基于知识评估的主观性以及基于模型评估过程中诸多因素限制影响了评估的准确性, 基于数据的技术状态评估愈加彰显其优越性。构造技术状态评估的综合参数是基于数据评估的主要方法之一, 而技术状态参数权重的确定是构造综合参数的重要基础, 目前权重分配的方法很多, 包括层次分析法、熵权法、德尔菲法^[1]、向量相似度法^[2]、频数统计方法^[3]和混沌(Chaos)算法对状态特征参数权重的分配, 源于其表现形式复杂、类似且随机, 但却蕴含特定的内在规律以及能够进行完全的局部遍历特点。笔者在采用变尺度混沌优化算法(mutative scale chaos optimization algorithm, MSCOA)对特征参数的权重予以优化的基础上构造评估综合参数, 并结合实例验证了该参数的合理性。

1 状态评估综合参数分析

1.1 状态评估参数权重分析

技术状态的评估结果与其权重的设置有密切关系, 技术状态评估的优化可以转化为权重优化的过程, 权重的优化可以认为是不同权重分配方式在其解空间中遍历寻求最优解的过程。因此, 技术状态评估参数权重向量与混沌变量的转换是利用混沌算法进行权重分配的前提, 根据装甲装备技术状态参数的特点, 笔者选取 Logistic 映射作为参数权重优化的对象, 其方程为

$$\psi_{m+1} = \mu\psi_m(1-\psi_m) \quad (1)$$

式中 μ 为控制参数, 当 $\mu=4$ 时, 该映射处于完全混沌状态, 通过上式的迭代, 能够遍历(0,1)内除静止点(0.25, 0.5, 0.75)的所有点列。由于 Logistic 映射对于初始值的敏感性, 初始赋值的不同, 导致了不同的混沌变量轨迹。

为提高运算效率, 笔者采用基于变尺度的混沌算法进行特征参数权重的确定, 通过对约简后的特征参数进行综合加权, 构造状态评估综合参数, 为

收稿日期: 2014-05-21; 修回日期: 2014-06-16

作者简介: 李浩(1989—), 男, 山东人, 在读硕士, 从事维修理论与技术研究。

了对权重设置优化,将待优化权重设置为混沌变量。

1.2 状态评估综合参数构造

混沌运动的随机性,打破了线性加权过程权重和为1的限制,因此,需对基于线性加权的装甲装备综合参数进行重构。

基于线性加权的装甲装备状态评估综合参数表达式为:

$$Y = \sum_{i=1}^N f_i c_i^* \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

式中: Y 为技术状态综合参数; $f_i (0 \leq f_i \leq 1, \sum_{i=1}^N f_i = 1)$

为第 i 个技术状态参数的权重; c_i^* 为去量纲、归一化后第 i 个技术状态特征参数的值; N 为参数的数量。

重构后的装甲装备状态评估综合参数 Y , 其表达式为:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^N f_i \times c_i^*(t) / \sum_{i=1}^N f_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

式中: $Y(t)$ 为 t 时刻的状态的综合定量评估; f_i 为参数 c_i 的权重 ($0 \leq f_i \leq 1, \sum_{i=1}^N f_i \leq 1$); $c_i^*(t) (0 \leq c_i^*(t) \leq 1)$

为去量纲、归一化后第 i 个状态特征参数在 t 时刻的定量描述; N 为参数的数量。

2 权值优化分析

2.1 权值设置原则

装甲装备结构较为复杂,因此技术状态评估参数的维数相应较高,但由于噪音数据的存在,极大地影响了状态评估的准确性,适当降低参数的维数成为可选途径。技术状态评估的目的是给维修决策者以直观的判断,因此,应建立定量的技术状态参数信息与定性评价的映射关系。装备内部不同的部件系统,其状态指标体系也应有所不同,笔者结合粗糙集理论,仅以四级状态指标划分体系:“良好”、“一般”、“劣化”、“故障”进行说明。为保证重构的状态综合参数能够较好地地区分处于“良好”、“一般”、“劣化”、“故障”的样本,权重设置应满足:

1) 技术状态指标体系中类别划分的不同,属于该划分的样本评估结果之间的量化差异应尽可能大,以保证不同划分的差异性;

2) 属于同一级的技术状态划分的样本评估结果间的离散度尽可能小,以保证相同划分的聚合度。

依照上述原则,建立装甲装备技术状态特征参

数权重优化的目标函数 F :

$$F(f_1, f_2, \dots, f_N) =$$

$$\frac{\sigma_s + \sigma_n + \sigma_d + \sigma_f}{|u_s - u_n| + |u_s - u_d| + |u_s - u_f| + |u_n - u_d| + |u_n - u_f| + |u_d - u_f|} \quad (4)$$

式中: f_1, f_2, \dots, f_N 表示不同状态参数的权重设置; $\sigma_s, \sigma_n, \sigma_d, \sigma_f$ 表示隶属于“良好”、“一般”、“劣化”、“故障”样本状态评估值的标准差, u_s, u_n, u_d, u_f 表示其平均值。装甲装备技术状态的综合参数对其状态的精确化描述程度可以通过 F 值予以体现, F 值越小,代表反应的精确度越高,所对应权重即为最优化值。状态特征参数权重的最优特征向量为:

$$\begin{cases} J = \min F(f_1, f_2, \dots, f_N) \\ 0 \leq f_i \leq 1, i=1,2,\dots,N \end{cases} \quad (5)$$

3 变尺度混沌优化

假设经过约简后的技术状态特征参数数目为 N , 利用 Logistic 映射,建立具有 N 个单元组成的方程组,如下:

$$\begin{cases} \psi_{1,m+1} = \mu \psi_{1,m} (1 - \psi_{1,m}) \\ \psi_{2,m+1} = \mu \psi_{2,m} (1 - \psi_{2,m}) \\ \vdots \\ \psi_{N,m+1} = \mu \psi_{N,m} (1 - \psi_{N,m}) \end{cases} \quad (6)$$

式中: $\psi_{i,m} (i=1,2,\dots,N)$ 为需进行优化的、用以评估装甲装备技术状态的第 i 个参数的权重; μ 为控制遍历程度的参数,为保证 $\psi_{i,m}$ 在 $(0, 1)$ 内被彻底地遍历,取其值为 4,采用变尺度的方法对混沌运动进行优化,为缩小盲目搜索区间的长度,提高运算效率,将其区分为相互依存的 2 个阶段:

1) 基于确定的轨道对整个解空间进行遍历,以确定全局次优解的概略寻优阶段;

2) 通过变尺度的方式,不断在次优解附近产生“扰动”,以确定最优解的精细寻优阶段。

基于变尺度混沌优化基本步骤如下:

1) 初始化阶段。

为方便优化过程,首先进行全局初始化:设置 $m=0, r=0, \psi_{i,m}^k = \psi_{i,m}(0), \psi_{i,m}^* = \psi_{i,m}(0)$, 扰动因子 $s_{i,m}^r = s_{i,m}, t_{i,m}^r = t_{i,m}$, 其中 $i=1,2,\dots,n$, 这里 m 为概略寻优阶段的迭代标志, r 为精细寻优标志, $\psi_{i,m}(0)$ 为 $(1,0)$ 区间内 n 个不同的初始值,所对应的混沌变量为 $\psi_{i,m} (i=1,2,\dots,N)$, $\psi_{i,m}^*$ 为初始变量, $f_{i,m}^*$ 为待定最优解。

2) 概略寻优阶段。

① 设置扰动变量。

将 $\psi^k_{i,m}$ 映射至优化变量区间, 转换为 $h\psi^k_{i,m}$ 。

$$h\psi^k_{i,m} = s^r_{i,m} + \psi^k_{i,m}(t^r_{i,m} - s^r_{i,m}) \quad (7)$$

② 利用所得混沌变量进行优化搜索。

若满足 $f(h\psi^k_{i,m}) < f^*$, 则 $f^* = f(h\psi^k_{i,m})$, $\psi^*_{i,m} = \psi^k_{i,m}$, 若不满足, 继续进行。

③ $k=k+1$, $\psi^k_{i,m} = (1 - \psi^k_{i,m})$ 。

④ 重复步骤①~③, 直至全局次优解不再发生变化, 结束迭代, 并输出 f^* 以及全局次优解 $x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*$ 。

3) 精细寻优阶段。

① 缩小混沌变量搜索范围。

$$s^{r+1}_{i,m} = h\psi^*_{i,m} - \eta(t^r_{i,m} - s^r_{i,m})$$

$$t^{r+1}_{i,m} = h\psi^*_{i,m} - \eta(t^r_{i,m} - s^r_{i,m})$$

式中 $\eta \in (0, 0.5)$, $h\psi^k_{i,m} = s^r_{i,m} + \psi^k_{i,m}(t^r_{i,m} - s^r_{i,m})$ 为待定最优解, 为约束“扰动”范围, 对扰动因子做如下 2 项处理:

- a. 如果 $s^{r+1}_{i,m} < s^r_{i,m}$, 则 $s^{r+1}_{i,m} = s^r_{i,m}$; 如果 $t^{r+1}_{i,m} < t^r_{i,m}$, 则 $t^{r+1}_{i,m} = t^r_{i,m}$;
- b. 将混沌变量通过分式予以表达

$$\psi^* = \frac{h\psi^*_{i,m} - s^{r+1}_{i,m}}{t^{r+1}_{i,m} - s^{r+1}_{i,m}} \quad (8)$$

② 建立新的混沌变量, 并通过此变量进行精细寻优。

采用线性组合的方式建立新变量:

$$\varpi^k_{i,m} = (1 - \beta)\psi^*_{i,m} + \beta\psi^k_{i,m} \quad (9)$$

式中 β 取相对较小的数值。

③ 对新的混沌变量 $\varpi^k_{i,m}$ 进行概略寻优阶段中步骤①~③操作, 并设置连续迭代次数下限为 $N3, 3$, 若经迭代后, 保持不变的次数达到 $N3, 3$, 终止操作;

④ 重复精细寻优阶段步骤②~③, 若在一定步数 $N3, 4$ 内 $f^*_{i,m}$ 不发生变化, 则进行下部操作;

⑤ $r=r+1$, 并减小 β 的取值, 重复以上精细寻优阶段的步骤;

⑥ 重复精细寻优阶段步骤⑤, 并在一定迭代步数 $N3, 6$ 后结束混沌寻优过程;

⑦ 此时 $h\psi^k_{i,m}$ 为最优变量, $x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*$ 为最优解。

至此, 基于变尺度的混沌优化完成, $x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*$ 为各特征参数的最优权值, 结合优化的权重设置, 即完成装甲装备技术状态评估综合参数的构造。

4 实例验证

利用某高风沙地区的某型装甲装备变速箱油液分析数据, 评估其技术状态。状态特征参数由油液中铁、铬、铅、铜、铝、硅、钠、镁、钙、钡、磷和锌共 12 种元素的浓度 (ppm) 组成。样本容量为 56, 其中“良好”样本 15 例、“一般”样本 15 例、“劣化”样本 13 例、“故障”样本 13 例, 变速箱的真实状态通过采样后的分解检测获得, 数据如表 1。

表 1 某型装备变速箱油液中各类元素浓度

编号	铁	铬	铅	铜	铝	硅	钠	镁	钙	钡	磷	锌	状态
1	337.00	5.80	0.30	6.10	10.60	13.90	2.50	3.00	7.80	0.00	761.00	0.90	良好
2	147.00	3.10	0.00	4.80	14.60	46.50	5.10	10.20	68.30	0.00	465.00	1.00	良好
3	113.00	2.30	0.50	2.20	4.90	16.20	2.20	1.80	42.20	0.00	443.00	2.50	良好
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	275.00	9.10	0.90	20.10	31.00	73.70	17.60	11.00	89.90	2.10	942.00	4.70	一般
17	397.00	7.70	0.80	13.70	24.50	70.40	12.50	9.60	79.40	0.00	787.00	3.30	一般
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31	1 538.00	15.90	0.30	35.30	64.90	310.00	40.10	0.10	153.00	4.90	1 053.00	65.00	劣化
32	959.00	12.40	0.20	6.30	20.60	83.00	5.80	9.60	41.40	4.00	893.00	16.50	劣化
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
54	2 738.00	21.90	0.40	45.30	84.90	410.00	67.10	0.10	255.00	6.90	1 853.00	93.00	故障
55	1 159.00	8.40	0.00	8.30	26.60	133.00	8.80	19.60	61.40	5.00	1 093.00	26.50	故障
56	2 083.00	14.90	1.90	17.60	63.40	153.00	23.60	24.40	126.00	6.60	1 237.00	90.90	故障

基于变尺度混沌优化的权重分配步骤如下:

1) 特征参数约简。

由上表可知, 影响装备技术状态的特征参数共有 12 个, 在理想情况下, 即不存在噪声数据及忽略运算时间的影响, 参与技术状态评估的特征参数越

多, 评估结果越精确, 但在参数信息采集的过程中, 由于测量精度或者系统误差等原因的存在, 难免会产生诸多的噪声数据; 因此, 特征参数的约简成为可选途径。特征参数约简的方法很多, 在此, 利用区分矩阵算法对其进行参数的约简。

① 特征参数重要度排序。

利用特征参数的优先度作为其重要度的度量，优先度 $Sig(e_i)$ 的计算公式如下：

$$Sig(e_i) = \frac{\max(\text{mean}(e_i)) - \min(\text{mean}(e_i))}{\text{std}(e_i)} \quad (10)$$

式中： $\text{mean}(e_i)$ 为特征参数 e_i 的平均值； $\max(\text{mean}(e_i))$ 和 $\min(\text{mean}(e_i))$ 为平均值的最大值与最小值； $\text{std}(e_i)$ 为包含特征参数的样本的标准差，则可得特征参数的重要度顺序表，如表 2。

表 2 特征参数重要度排序

特征参数	重要度	排序	特征参数	重要度	排序
铁	1.57	3	钠	0.25	11
铬	1.63	2	镁	1.33	6
铅	1.45	5	钙	1.18	8
铜	1.27	7	钡	0.62	10
铝	1.71	1	磷	0.21	12
硅	1.49	4	锌	1.10	9

② 利用区分矩阵法，进行参数约简。

构造决策表，按照特征参数的重要程度依次操作，直至决策表相容，则可得参数约简结果为 {铁，铅，硅，钠，磷，锌}。

2) 权重分配。

① 数据的归一化处理。

数据的归一化处理，应充分考虑结合特征参数

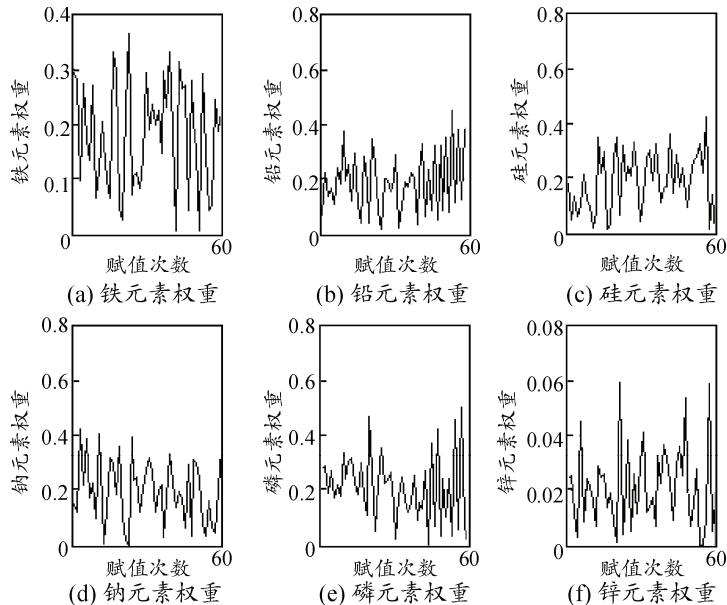


图 2 各特征参数的权值

对照图 2，提取其在赋值次数为 33 时的权值 $x_1^*, x_2^*, \dots, x_6^*$ ，得各参数的权重向量 $J=(0.260\ 3, 0.181\ 6, 0.270\ 8, 0.160\ 7, 0.113\ 4, 0.016\ 9)$ 。

③ 利用所得权重，重构综合评估参数 Y 。

$$Y(t) = \sum_{i=1}^6 f_i c_i^*(t) / \sum_{i=1}^6 f_i$$

为更加直观地验证综合参数 Y 评估的合理性，

的特点，由于变速箱为机械类部件，装备运行时间越长，各元素量应越高，所以采取以下公式进行归一化处理：

$$c_i = \frac{e_i}{\max e_i} \quad (11)$$

② 变尺度混沌优化。

为保证局部遍历的充分性，设定概略寻优阶段迭代次数 $m=10\ 000$ ，精细寻优阶段迭代次数 $n=500$ ，由于初始赋值的随机性对于权重分配结果有一定的影响，初始赋值的次数越多，结果越精确。笔者进行 60 次初始赋值，绘制 $\min(F)$ 的波动曲线，如图 1。

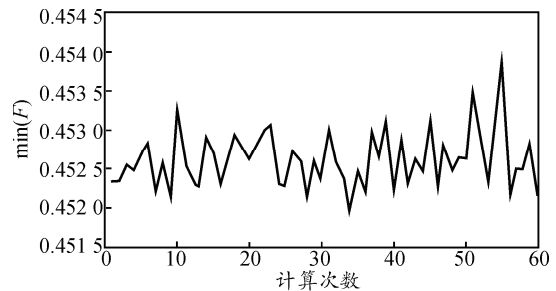


图 1 历次运算 $\min(F)$ 输出值

由图 1 可知， F 在第 33 次初始赋值的时候取得最小值，则约简后的参数的权重波动曲线图，确定权重向量。

根据状态综合评定结果，绘制样本分布如图 3。由图可知，给定样本的技术状态与根据变尺度混沌优化所得权重分配所构造的状态综合评定结果存在较好的吻合，从而表明：

1) 在给定特征参数信息较为准确的前提下，所构造的技术状态参数较为合理，能够较好地评估装备的技术状态；

2) 基于变尺度混沌优化的权重分配方法较为合理, 能够较为准确地分配不同特征参数的权重。

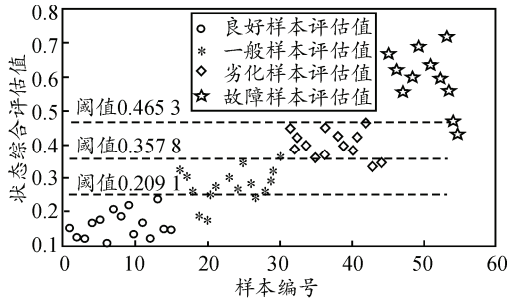


图 3 基于状态综合评定结果的样本分布

基于变尺度混沌优化的权重分配以及在此基础上构造的综合参数评估的合理性, 也为评价体系的划分以及技术状态阈值的设定提供了验证基础, 能够辅助进行更加准确的技术状态指标的划分以及相应阈值的设定。

5 总结

笔者首先采用混沌算法重构了技术状态综合评

(上接第 88 页)

由式 (7) 可以计算出此时所需的+E, 从而确定电阻 R_1/R_2 阻值, 电阻 R_3 阻值可通过所需驱动电流大小进行设计确定。

采用此种方法只需选择合适阻值的电阻即可实现驱动电流的补偿效果。即使阻值不常见, 也可通过电阻的串并联实现。相比采用图 4 方法, 选择具有一定温度系数的电阻来说要简单些, 且易于实现。

3.3 其他温度补偿方法

另外, 也有采用模拟与数字结合的补偿方法。文献[6]介绍了利用单片机进行软件的补偿方法, 文献[7]介绍了利用二维回归分析法进行软件补偿, 这些方法都是通过软件进行温度修正达到输出稳定补偿效果。文献[8]也提供了一些提高霍尔精确度的方法, 在实际产品设计开发中, 只有根据实际需求采取可行的霍尔温度补偿方法, 才能收到理想的效果。

4 结束语

笔者利用三极管基极及集电极的结点压线性温度特性进行驱动电流补偿霍尔电势, 可简单补偿由霍尔器件霍尔系数带来的输出温漂影响, 对改善直测式霍尔传感器的额定满量程输出温度稳定性效果较好。笔者将该方法应用到实际产品开发中, 产品输出温漂特性都能得到明显的改善。对于霍尔器件

定参数, 并结合一般的四级技术状态指标体系对权值的分配进行分析, 得到了优化目标函数以及最优目标向量, 然后具体介绍了利用变尺度混沌优化算法求解最优权重向量的具体过程, 最后通过实例验证了综合参数评估以及基于变尺度混沌优化的权重分配的合理性。

参考文献:

- [1] 陈士涛, 张志峰, 李敏博. 地空导弹电子维修车保障效能的灰色综合评估[J]. 兵工自动化, 2008, 27(2): 17-18.
- [2] 焦利明, 杨建立. 一种确定指标权重的新方法[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(1): 94-97.
- [3] 黄太钢, 王翔, 宁小倩, 等. 基于 Fuzzy 方法的装备管理人员综合素质评价研究[J]. 军事交通学院学报, 2010, 12(3): 84-87.
- [4] 李祥飞, 邹恩, 张泰山. 一种模糊神经网络控制器参数的混沌优化设计[J]. 控制与决策, 2002, 17(3): 320-323.
- [5] 孙宜权, 张英堂, 李志宁, 等. 基于核主成分分析的柴油机技术状态评估[J]. 车用发动机, 2012(2): 89-91.
- [6] 罗继勋, 高晓光. 飞机近距离发射空空导弹时安全性评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2012, 28(1): 75-77.

零点失调所带来的漂移影响, 也可以采用类似方法。另外, 该方法针对线性补偿比较有效, 但对于非线性霍尔系数补偿不太明显, 除非选择类似曲线的补偿器件, 或者利用软件的方法进行非线性补偿。相比软件温度补偿方法, 该方法仅需少量的模拟器件实现, 适合低成本产品开发场合。

参考文献:

- [1] 郁有文, 常健, 程继红. 传感器原理及工程应用[M]. 2版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003: 119-124.
- [2] 绵阳市维博电子有限责任公司. Q/WBJ0324.03-2011 霍尔传感器试行[S]. 绵阳: 绵阳市维博电子有限责任公司, 2011: 7-9.
- [3] 段武堂, 熊正明. WB 系列霍尔电流传感器/变送器[J]. 兵工自动化, 2002, 21(3): 21-23.
- [4] 缪慧洁, 李晶, 陆申龙. InSb 霍尔传感器输出电压温度特性的研究[J]. 物理实验, 2011, 21(8): 46-48.
- [5] AKM. GaAs Hall Element[EB/OL]. Japan: AKE, 2009, <http://www.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/88212/ETC/HG106A.html>.
- [6] 杜永平, 何小映. 浅谈传感器的温度补偿技术[J]. 电子设计工程, 2009, 17(6): 59-63.
- [7] 高敏, 卢文科, 孙仁涛. 基于二维回归分析法的霍尔电流传感器补偿[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(2): 100-104.
- [8] 高茜. 提高霍尔传感器精确度的研究[J]. 沈阳电力高等专科学校学报, 2002, 4(1): 1-2.