

doi: 10.7690/bgzdh.2020.11.016

# 基于灰色系统理论的电子战人力资源规划分析

赵禄达

(国防科技大学电子对抗学院, 合肥 230037)

**摘要:** 从现代智能化战争的电子战人力资源需求角度出发, 分析现代智能化战争中电子战人力资源规划问题, 提出基于灰色系统理论的电子战人力资源规划分析思路和建议。建立兵力需求规划模型、灰色系统 Verhulst 预测模型和电子战人员补充模型, 将以往以定性分析为主的问题进行定量求解, 并通过实际人员数量算例对模型进行分析。结果表明: 该模型是有效的, 可对电子战各级指挥员提供切实有效的人力资源规划决策建议。

**关键词:** 灰色系统; 电子战; 人力资源

**中图分类号:** TP202 **文献标志码:** A

## Analysis of Human Resources Planning in Electronic Warfare Based on Grey System Theory

Zhao Luda

(School of Electronic Countermeasure, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

**Abstract:** From the perspective of human resources requirements for electronic warfare in modern intelligent warfare, this paper analyzes the human resources planning problems of electronic warfare in modern intelligent warfare, and presents ideas and suggestions for the analysis of human resources planning in electronic warfare based on the gray system theory. Secondly, a force demand planning model, a gray system Verhulst forecasting model, and an electronic warfare personnel supplement model were established to quantitatively solve problems that were mainly based on qualitative analysis in the past. Finally, the model is analyzed through an example of the actual number of personnel. The results show that the model is effective, and it can make practical and effective command decision recommendations for commanders at all levels in the electronic warfare

**Keywords:** grey system; electronic warfare; human resources

### 0 引言

电子战越来越成为现代局部战争中的决定性、制胜性力量, 在近期的美伊、美俄中东局部冲突中都发挥出左右战争结果的作用。电子战在实际作战过程中需要大量电子战人员的参与, 包括电子战军官、士官、技师以及文职人员等。

随着现代智能化战争的迅速发展, 第4代、第5代电子战装备陆续问世, 各国电子战能力大幅提高, 电子战人员的需求量也出现大幅增长, 使得电子战人力资源规划问题显得尤为重要。目前, 国内外对电子战的研究主要集中于政策、体制编制方面<sup>[1-2]</sup>, 对电子战人力资源规划的研究还不广泛, 按照现代战争的发展趋势对电子战人员需求变化趋势进行研究还很少。

笔者基于灰色系统理论的电子战人力资源规划方法, 通过建立兵力需求规划模型、灰色系统

Verhulst 预测模型和电子战 k 级人员补充模型, 为电子战人力资源规划提供一种有效的思路和方法。

### 1 电子战人力资源规划思路分析

军事人员的人力资源规划主要是军事人员系统状态分析。系统状态随时间的演变主要与内外的人员流动有关。系统内部流动有晋升、降级、平调等; 内部与外部之间的流动有招募(入伍、调入、提干等)、退休、转业、复原、调出和其他减员等。

笔者研究的电子战人员规划模型主要包括: 1) 按照总体兵力规划电子战兵力; 2) 根据若干间隔时间计算的电子战兵力数据, 推测下一阶段的电子战兵力数量; 3) 根据推测的电子战兵力数量, 对电子战人员补充系统进行人员数量信息的确定。通过以上步骤, 将电子战人力资源规划从顶层到底层进行连贯分析, 可以为决策者提供很好的决策辅助。电子战人力资源规划过程如图1所示。

收稿日期: 2020-06-12; 修回日期: 2020-07-08

作者简介: 赵禄达(1992—), 男, 四川人, 硕士, 从事电子对抗运筹分析、作战效能评估、作战仿真模拟等研究。E-mail: zld301@126.com。

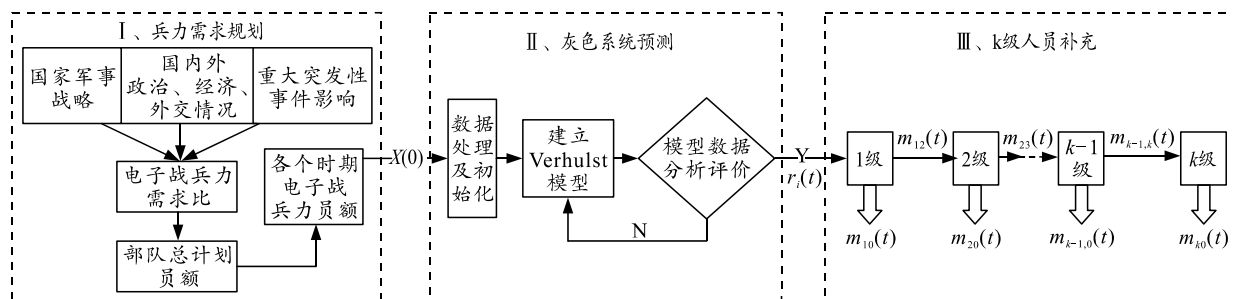


图 1 电子战人力资源规划流程

## 2 电子战人力资源规划模型构建

### 2.1 电子战兵力需求规划模型

一般而言，兵力规划对于某个国家的军队来说属于战略层级的任务。电子战兵力的规划有灵活、多变的特点，随着战场和阶段任务的实时变化会产生很多无法预测的情况，所以电子战兵力规划一般需要结合战略、战役层级以及国家发展需求等实际情况共同考虑<sup>[2]</sup>。

首先，基于国家军事战略，国内外政治、经济、外交等情况和重大突发性事件影响(战争突然爆发、发生大型自然灾害以及重大卫生防疫事件等)因素，在保证部队正常运转的条件下，兵力规划目标为打赢随时可能发生的局部冲突和战争；其次，综合考虑以上因素后，根据可能对手的电子战兵力数量  $y^{(0)}$ ，专家经验以及敌我兵力数量、状态比等因素，确定电子战兵力需求比  $n$ ；最后，再根据国家部队总员额得出各个时期电子战兵力的数量  $x^{(0)}=ny^{(0)}$ 。

### 2.2 灰色系统 Verhulst 预测模型

灰色预测是将原始数据进行数据初始化，建立不同的灰色模型，发现和掌握数据系统的发展规律，对系统未来状态做出定量预测的过程。在实际过程中，运用较多的是 GM(1,1)模型、灰色马尔可夫模型等。GM(1,1)模型适用于存在较强指数规律的序列，对单调的变化过程描述较好<sup>[3]</sup>。对于非单调的摆动发展序列或具有饱和状态的 S 形序列，灰色 Verhulst 模型更适用。灰色 Verhulst 模型主要用来描述具有饱和状态的过程，即 S 形过程，其预测过程主要有系统定性分析、因素分析、初步量化、动态量化和优化 5 个步骤。Z 国 2009—2019 年电子战人员变化曲线如图 2 所示。可见，电子战人员的需求量随着现代战争发展以及国际形势变化会呈现出非单调的摆动发展序列或者具有饱和状态的 S 形序列。

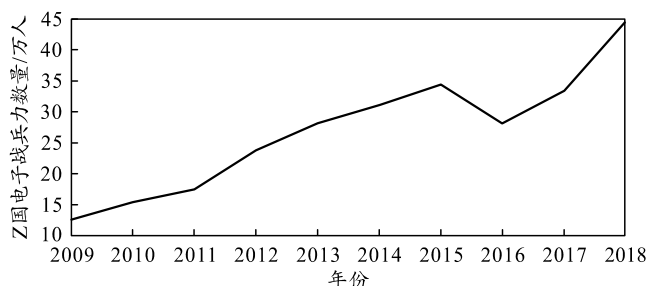


图 2 Z 国 2009—2019 年电子战人员变化趋势

灰色系统 Verhulst 预测模型具体过程如下：

设  $x^{(0)}$  为以往电子战人员数量序列：

$$x^{(0)}=ny^{(0)}=[x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]。 \quad (1)$$

$x^{(1)}$  为  $x^{(0)}$  的一次累加生成(1-AGO)序列：

$$x^{(1)}=[x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)]； \quad (2)$$

$$x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad (k=1, 2, \dots, n)。 \quad (3)$$

$z^{(1)}$  为  $x^{(1)}$  的紧邻均值生成序列：

$$z^{(1)}=[z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)]； \quad (4)$$

$$z^{(1)}(k)=\alpha x^{(1)}(k)+(1-\alpha)x^{(1)}(k-1), \quad k=2, 3, \dots, n。 \quad (5)$$

灰色 Verhulst 模型为

$$x^{(0)}+az^{(1)}=b(z^{(1)})^2。 \quad (6)$$

灰色 Verhulst 模型的白化方程为

$$dx^{(1)}/dt+ax^{(1)}=b(x^{(1)})^2。 \quad (7)$$

$a$  和  $b$  为参数，参数列  $u=(a,b)^T$  的最小二乘估计满足：

$$\hat{u}=(B^T B)^{-1} B^T Y。 \quad (8)$$

$$\text{其中： } B=\begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & (z^{(1)}(2))^2 \\ -z^{(1)}(3) & (z^{(1)}(3))^2 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & (z^{(1)}(n))^2 \end{pmatrix}, \quad Y=\begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}。$$

可以解得白化方程的解(时间响应函数)为：

$$x^{(1)}(t)=ax_0^{(1)}/(bx_0^{(1)}+(a-bx_0^{(1)})e^{at})。 \quad (9)$$

时间响应序列为

$$x^{(1)}(k+1)=ax_0^{(1)}/(bx_0^{(1)}+(a-bx_0^{(1)})e^{ak})。 \quad (10)$$

将  $x_0^{(1)}$  替换为  $x^{(0)}(1)$ , 有

$$\widehat{x}^{(1)}(k+1) = ax^{(0)}(1) / (bx^{(0)}(1) + (a - bx^{(0)}(1))e^{ak}). \quad (11)$$

满足:

$$\widehat{x}^{(0)}(k+1) = \widehat{x}^{(1)}(k+1) - \widehat{x}^{(1)}(k). \quad (12)$$

通过式(1)–(12)的递推关系, 可得出某一时期电子战人员数量的预测值。对于此模型, 可根据已有数据进行模型验证, 通过不断地调整式(5)中  $\alpha$  值, 不断修正模型的预测准确性, 达到预期的  $n_i(t)$  值。

### 2.3 K 级人员补充模型

由于电子战人员系统中不断地有人离开, 必须补充各类人员, 如招收新的人员以及人员的晋升等。K 级人员补充模型是根据当前的人员分布、将来希望的人员分布以及离开人员的数量(比例), 计算晋升和招收的各类人员的数量<sup>[4-5]</sup>。

其中:  $n_i(t)$  表示在时刻  $t$ ,  $i$  级的人员数;  $n_j(0)$  表示在当前时刻  $j$  级的人员数;  $m_{ij}(t)$  表示在区间  $(t-1, t]$  内从  $i$  级转移到  $j$  级的人员数;  $r_i(t)$  表示在区间  $(t-1, t]$  内从外部招收到  $i$  级中的人员数;  $m_{i0}(t)$  表示在区间  $(t-1, t]$  内从  $i$  级离开系统的人员数 ( $i=1, 2, \dots, k; j=1, 2, \dots, k; t=1, 2, \dots$ )。

在此考虑具有  $k$  级的严格等级人员系统。由人员流动的平衡关系, 由  $k-1$  级向  $k$  级晋升满足:

$$\left. \begin{aligned} m_{k-1,k}(t) &= \min \{ n_k(t) - n_k(t-1) + m_{k,0}(t), n_{k-1}(t-1) + m_{k-1,0}(t) \} \\ m_{k-1,k-2}(t) &= \min \{ n_{k-1}(t) - n_{k-1}(t-1) + m_{k-1,0}(t) + m_{k-1,k}(t), n_{k-2}(t-1) + m_{k-2,0}(t) \} \\ &\vdots \\ m_{12}(t) &= \min \{ n_2(t) - n_2(t-1) + m_{20}(t) + m_{23}(t), n_2(t-1) + m_{20}(t) \} \\ r_1(t) &= \min \{ n_1(t) - n_1(t-1) + m_{10}(t) + m_{12}(t), n_1(t-1) + m_{10}(t) \} \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

通过模型 1 将各个阶段电子战兵力大致数量进行确定, 代入模型 2 中, 对未来需要了解阶段内的电子战兵力人数进行预测, 在模型 3 中对电子战人员系统进行人员增减的具体讨论, 就可以对电子战人力资源规划提供一个清晰的思路流程。

## 3 电子战人员补充算例预测与分析

以 Z 国电子战人员数据为例, 进行电子战人员补充算例预测与分析。按照电子战人力资源规划流

$$m_{k-1,k}(t) = n_k(t) - n_{k-1}(t) + m_{k,0}(t). \quad (13)$$

在每级之间的  $m_{ij}(t)$  由各级间的晋升比例确定(编制、战斗力需求等因素影响), 则  $m_{k-1,k}(t)$  与  $m_{k-2,k-1}(t)$  均为已知量, 可以得出递推关系:

$$\left. \begin{aligned} m_{k-2,k-1}(t) &= n_{k-1}(t) - n_{k-1}(t-1) + m_{k-1,0}(t) + m_{k-1,k}(t) \\ &\vdots \\ m_{12}(t) &= n_2(t) - n_2(t-1) + m_{20}(t) + m_{23}(t) \\ r_1(t) &= n_1(t) - n_1(t-1) + m_{10}(t) + m_{12}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

可以发现: 在调整  $i-1$  级人员比例时, 出现本级积压人员过多的现象, 导致该级流出(包括离开机构以及向上级晋升)人员小于希望本级减少的人员数量, 向  $i$  级的晋升  $m_{(i-1)i}(t)$  会产生负值, 显然不符合实际。对式(14)作出改进如下:

$$\left. \begin{aligned} m_{k-1,k}(t) &= \max \{ 0, n_k(t) - n_k(t-1) + m_{k,0}(t) \} \\ m_{k-1,k-2}(t) &= \max \{ 0, n_{k-1}(t) - n_{k-1}(t-1) + m_{k-1,0}(t) + m_{k-1,k}(t) \} \\ &\vdots \\ m_{12}(t) &= \max \{ 0, n_2(t) - n_2(t-1) + m_{20}(t) + m_{23}(t) \} \\ r_1(t) &= \max \{ 0, n_1(t) - n_1(t-1) + m_{10}(t) + m_{12}(t) \} \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

同样的, 如果  $i-1$  级人员数量过小, 需要晋升的人员数比原有数量还要多时, 对式(15)做出如下改进:

程, 将原始数据(2009—2019)分为 2 部分, 前 10 年数据为基础数据, 第 11 年数据为验证数据, 进行 3 个模型的求解。

### 3.1 Z 国电子战兵力整体需求

在第 1 个模型中, 首先将原始数据(2009—2018 年 Z 国军事人员数量)初始化, 按照军事战略发展和世界军事发展趋势确定电子战兵力权重, 得到电子战兵力序列如表 1 所示。

表 1 Z 国电子战兵力各阶段初始化

2009—2018 年			2019 年		
军事人员数量序列: $A$	电子战兵力权重: $B$	电子战兵力序列: $C=A \cdot B$	军事人员数量	电子战兵力权重	电子战兵力数量
$A=(210,220,218,216,225,227,231,229,230,231)$	$B=(0.06,0.07,0.08,0.11,0.125,0.137,0.149,0.1229,0.145,0.192)$	$C=(12.6,15.4,17.44,23.76,28.1,31.1,34.42,28.14,33.35,44.35)$	200	0.179	35.8

### 3.2 Z 国电子战兵力灰色系统 Verhulst 模型预测

1) 设 Z 国电子战兵力序列。

$C=x^{(0)}=(12.6, 15.4, 17.44, 23.76, 28.1, 31.1, 34.42, 28.14, 33.35, 44.35)$ 。

$x^{(0)}$  的一次累加生成 (1-AGO) 序列：

$x^{(1)}=(12.6, 2.8, 2.04, 6.32, 4.34, 3.0, 3.32, -6.28, 5.21, 11.0)$ 。

$x^{(1)}$  的紧邻均值生成序列：

$z^{(1)}=(14.0, 16.42, 20.6, 25.93, 29.6, 32.76, 31.28, 30.7, 38.85)$ 。

2) 将  $\alpha$  取值反复验证，得到较好的  $\alpha$  值。 $\alpha$  取值在 [0,1] 之间，以 0.01 间隔分别将  $\alpha$  代入灰色系统模型进行 2019 年份电子战人员数量预测，得到 0.5 和 0.11 2 个值与实际数值差距不大。将  $\alpha=0.5$  和 0.11 代入式(5)，得出 Z 国电子战人员灰色 Verhulst 模型的白化方程为：

$$dx^{(1)}/dt - 0.0657x^{(1)} = 0.0021(x^{(1)})^2;$$

$$dx^{(1)}/dt - 0.3687x^{(1)} = -0.0094(x^{(1)})^2。$$

3) 代入式(9)–(12)，得到电子战兵力预测值。将预测值与实际值相比，进行模型精度检验。结果如表 2、表 3 所示。

表 2  $\alpha=0.5$  时模型 2 预测结果

年份	原始数据/万人	预测值/万人	残差	相对误差
2009	12.6	12.600 0	0	0
2010	15.4	13.834 9	1.565	0.101 6
2011	17.44	15.233 0	2.200	0.126 6
2012	23.76	16.825 0	6.930	0.291 9
2013	28.10	18.650 0	9.450	0.336 3
2014	31.10	20.759 0	10.340	0.332 5
2015	34.42	23.217 5	11.200	0.325 5
2016	28.14	26.113 0	2.020	0.072 0
2017	33.35	29.566 0	3.780	0.113 5
2018	44.35	33.744 0	10.600	0.239 1
2019	35.8	38.891 0	-3.09	0.086 3

表 3  $\alpha=0.11$  时模型 2 预测结果

年份	原始数据/万人	预测值/万人	残差	相对误差
2009	12.60	12.6000	0	0
2010	15.40	15.945 7	-0.545 7	0.035 4
2011	17.44	19.533 0	-2.093 0	0.120 0
2012	23.76	23.132 4	0.627 6	0.026 4
2013	28.10	26.511 3	1.588 7	0.056 5
2014	31.10	29.490 6	1.609 4	0.051 7
2015	34.42	31.975 9	2.444 1	0.071 0
2016	28.14	33.955 1	-5.815 1	0.206 6
2017	33.35	35.473 8	-2.123 8	0.063 7
2018	44.35	36.606 1	7.743 9	0.174 6
2019	35.80	37.432 5	-1.632 5	0.045 6

表 2 中均方差关联度  $absdegree=0.817 2$ ，均方

差比值  $c=\sqrt{\sum_{k=1}^{10}(x_k^{(0)}-\bar{x})^2}/(\epsilon_k-\bar{\epsilon})^2=0.510 0$ ；表 3 中

均方差关联度  $absdegree=0.991 5$ ，均方差比值  $c=0.354 1$ 。可见，表 2 为模型精度 2 级，表 3 为模型精度 1 级，当  $\alpha=0.11$  时，模型 2 预测结果较好。

### 3.3 Z 国电子战兵力 K 级人员补充需求

按照模型 2 预测出 Z 国 2020 年度电子战兵力数量为  $\sum_{j=1}^8 n_j(t)=38.026 3$  万人，代入模型 3 中进一步求解人员补充需求。

假设 Z 国电子战兵力系统有 4 级，各级之间人员需保持 3:1 的数量关系，则可得出各级人员序列为  $n_j(t)=(25.69, 8.56, 2.86, 0.95)$ ，模型 3 满足：

$$\begin{cases} m_{34}(t) = 0.1 = n_4(t) - n_4(t-1) + m_{40}(t) \\ m_{23}(t) = 0.2 = n_3(t) - n_3(t-1) + m_{30}(t) \\ m_{12}(t) = 0.2 = n_2(t) - n_2(t-1) + m_{20}(t) \\ r_1(t) = n_1(t) - n_1(t-1) + m_{10}(t) + m_{12}(t) \end{cases}。$$

解得， $m_{10}(t)=43.57$ ， $m_{20}(t)=17.43$ ， $m_{30}(t)=5.91$ ， $m_{40}(t)=2.00$ ， $r_1(t)=69.56$ 。

由此可得：Z 国在 2020 年电子战兵力的预期需求，获得实际电子战兵力结构中各级的晋升、退役大致人数，可为兵力整体规划提供很好的决策依据。

### 3.4 几点说明

以上算例说明整个电子战人力规划是有效的，可以为指挥员提供很好的决策依据，但还存在几点不足：1) 整体规划流程在模型 1 中考虑了突发事件的影响，在另外 2 个模型中考虑得还不够细致；2) 灰色系统 Verhulst 预测模型在反复迭代后得出的预测值与实际值还存在一定误差，需要在算法上进一步改进，可与神经网络相结合，对数据进行训练和模型优化；3) K 级人员补充模型中表示的严格等级系统只允许第一级直接从外部招收人员。实际上等级系统也需要在其他级直接招收新的人员(比如对特殊电子战人才的招收和战时的紧急动员)，这样进入某级的人员就会分为下级晋升和外部招收 2 部分，等级就会拓展为非严格的等级系统，可运用各级之间的人员转移矩阵进行关系表示，运用马尔科夫转移网络也可以得出相应结论，有待进一步讨论。

## 4 结束语

在未来智能化联合作战中，电子战是左右战争胜负的关键一环<sup>[6]</sup>，而电子战人力资源规划就显得尤为重要。目前对于这方面的研究很少，基本停留在定性分析上。笔者立足于以往人员数据和经验结

论, 运用灰色理论进行模型分析和数据预测, 为电子战人力资源规划提供一个切实可行的定量分析方法。经实际数据演算, 该方法的确能够对电子战人力资源规划起到辅助决策的作用。

**参考文献:**

[1] 蔡群, 李宁宁, 王林强. 电子战情报人员基本素质培养探析[J]. 情报杂志, 2010, 29(b06): 71-72.

[2] Jim Gray, 唐臻富. 把教训转化为政策: 兼述电子战新  
\*\*\*\*\*  
(上接第 38 页)

[4] 张龙, 叶松, 张宝国. 基于 FPGA 的伺服电机转速控制系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(11): 66-69.

[5] 王庆贺, 吴文杰, 樊兵团, 等. UDP 转 CAN 协议的数据传输系统开发[J]. 科技与创新, 2019(21): 98-99, 101.

[6] 刘涛, 葛雅静, 谢宝荣, 等. 多传感器信息处理与显示系统的设计与实现[J]. 传感器与微系统, 2020, 39(1): 71-74.

[7] 王龙涛. 基于 UDP 协议下的局域网即时通讯[J]. 通讯世界, 2019, 26(7): 137-138.

(上接第 43 页)

[4] 侯润民, 方安国, 胡达, 等. 改进型 WNN 在火箭灭火车伺服系统中的应用[J]. 弹箭与制导学报, 2019, 39(1): 45-49.

[5] BODYANSKIY Y, DOLOTOV A, VYNOKUROVA O. Evolving spiking wavelet-neuro-fuzzy self-learning system[M]. Elsevier Science Publishers B. V, 2014: 18-24.

[6] BAYRAM D, SERHAT Ş. Wavelet based Neuro-Detector for low frequencies of vibration signals in electric motors[J]. Applied Soft Computing, 2013, 13(5): 2683-2691.

[7] PAVLOVČIČ P P, STOPAR B. Wavelet Neural Network employment for continuous GNSS orbit function construction: Application for the Assisted-GNSS principle[J]. Applied Soft Computing, 2013, 13(5): 2526-2536.

定义[J]. 电子信息对抗技术, 1993(6): 9-12.

[3] 温丽华. 灰色系统理论及其应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003: 1-77.

[4] 张最良. 军事战略运筹分析方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2013: 246-269.

[5] 余滨, 段采宇. 军事运筹学[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2008: 356-369.

[6] 张晨, 毛征, 张广申, 等. 改进灰色残差模型在航迹预测中的应用[J]. 兵工自动化, 2018, 37(5): 43-48.

[8] 成雅丽, 李锦明, 成乃朋. 基于 FPGA 与千兆以太网的测试系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(6): 115-119, 124.

[9] 许坤, 赵亮. 基于 UDP 协议的可靠数据传输的实现[J]. 科技创新导报, 2019, 16(17): 7-8.

[10] 于新颖. 基于 Quartus II 的温度报警电路的设计[J]. 山西电子技术, 2019(3): 8-10.

[11] 刘广生, 熊超, 段伟然. 基于硬件在环信息化平台的装备教学改革研究 [J/OL]. 中国教育技术装备: 1-3[2020-03-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4754.T.2019.1230.0912.004.html>.

[8] 刘峰, 刘海生. 基于改进小波神经网络的动车组牵引电机故障趋势预测[J]. 制造业自动化, 2017, 39(7): 15-18, 28.

[9] 王荣林, 陆宝春, 侯润民, 等. 交流伺服系统分数阶 PID 改进型自抗扰控制[J]. 中国机械工程, 2019, 30(16): 1989-1995.

[10] JIA L T, QIANG G, HOU Y L, et al. Active Disturbance Rejection Control of Certain Balanced and Positioning Electro-Hydraulic Servo System Based on Neural Network[C]. Proceedings of IHMSC2015, Hangzhou, Zhejiang, China, 2015: 211-215.

[11] 齐晓慧, 李杰, 韩帅涛. 基于 BP 神经网络的自适应自抗扰控制及仿真[J]. 兵工学报, 2013, 34(6): 776-782.

[12] 刘朝华, 张英杰, 章兢, 等. 基于免疫双态微粒群的混沌系统自抗扰控制[J]. 物理学报, 2011, 60(1): 789-797.