

doi: 10.7690/bgzdh.2020.06.004

混编集成末端防空群指挥跨度研究

文 莹, 闫雅慧

(中国人民解放军 95795 部队, 广西 桂林 541002)

摘要: 针对确定指挥跨度缺少定量依据的问题, 研究基于信息化指挥手段的混编集成防空群指挥跨度定量分析方法。定性分析影响混编集成指挥跨度的指挥主体、指挥对象及指挥手段等因素; 在管理学格拉丘纳斯公式的基础上, 引入信息化效率因子、指挥难度指数和协同难度指数修正该公式, 计算混编集成情况下指挥控制工作关系系数, 衡量指挥控制工作的复杂程度, 与传统编成经验值相比较, 并以首都地区某末端防空群为例进行计算。结果表明: 混编集成指挥跨度为 6, 可为确定多型防空兵器混编集成指挥跨度提供一定的理论依据。

关键词: 混编集成; 末端防空群; 指挥跨度

中图分类号: TJ01 **文献标志码:** A

Research on Command Span of Mixed Terminal Aerial Defense Group

Wen Ying, Yan Yahui

(No. 95795 Unit of PLA, Guilin 541002, China)

Abstract: In order to deal with the problem of lack of quantitative data, a quantitative analysis method was proposed to specify the command span of mixed terminal aerial defense group based on information command means. Firstly, affecting factors of mixed integration command span was qualitatively analyzed, which mainly referred to the command subject, object and means. Secondly, based on the Graicunas formula in management, the information efficiency factor, the command difficulty index and the collaboration difficulty index were introduced to calculate the amount of command and control relationships. It is used to measure the complexity of the work of command and control, by comparing with the empirical value of traditional command span. Finally, an example of capital terminal aerial defense group was used to illuminate the proposed method, which deduced a value of 6 in mixed integration command span. It shows that the proposed quantitative analysis method can provide foundation for determining the mixed integration command span.

Keywords: mixed integration; terminal phase aerial defense group; command span

0 引言

长期以来, 指挥跨度的确定主要通过定性分析, 而缺少定量依据。在防空作战领域, 传统指挥手段下形成的指挥跨度结论, 是长期战争实践的结果, 并经过了时间的检验。然而, 信息化指挥手段的应用大大提高了指挥工作的效率, 不同防空兵器的混编集成成为末端防空作战的必然趋势。这些新情况的出现, 使得传统的指挥跨度设置难以满足未来高强度、快节奏的防空作战需要; 因此, 研究基于定量分析的混编集成指挥跨度确定方法具有重要的理论和现实意义。

目前, 指挥跨度问题的定量研究方法主要有 3 类: 1) 作战体系网络分析方法^[1-3]。此类方法将指挥体系看成一个网络拓扑结构, 通过调整指挥跨度考察整个体系的指挥效能指标, 从而确定合理的指挥跨度。这类方法比较复杂, 对指挥体系网络模型的精确性和可信性要求较高。2) 借鉴管理学中企业

用来确定管理幅度的洛克希德法, 即变量依据法^[4]。此类方法仍偏重于定性分析, 且与防空作战中的指挥要素联系不紧密。3) 利用管理学格拉丘纳斯公式定量计算工作关系系数^[5-8]。此类方法便于从宏观上分析指挥跨度, 综合考虑影响指挥工作复杂性的多种因素, 但是传统方法并未充分考虑防空作战中信息化指挥手段带来的影响, 以及不同武器装备间的指挥协同难度。笔者借鉴管理学格拉丘纳斯公式, 引入信息化效率因子、指挥难度指数和协同难度指数, 对公式加以修正, 并通过实例分析探讨确定防空群混编集成指挥跨度的方法。

1 指挥跨度影响因素的定性分析

指挥跨度设置受指挥主体、指挥对象和指挥手段等诸多因素的影响^[9]。

1.1 指挥主体

指挥员能力素质越高, 指挥机关作用发挥越强。

收稿日期: 2020-02-20; 修回日期: 2020-04-03

作者简介: 文 莹 (1987—), 男, 湖南人, 博士, 讲师, 从事作战指挥、空降空投、指挥自动化与智能化研究。E-mail: bright.stones@aliyun.com。

指挥决策快、效率高,指挥跨度可适当大一些;反之,指挥跨度应适当小一些。采取集中指挥方式时,决策权限高、信息流通时间长,作战指挥时效性差,应适当减少指挥跨度。采取委托式指挥时(分散指挥),决策权下移,提高了指挥灵敏性,可适当增加指挥跨度。

1.2 指挥对象

指挥对象为同一兵种、同一型号兵器,则指挥决策快。不同兵种、多型兵器混编集成,指挥方式、火力运用方法存在差异,则指挥决策时间相对较长。指挥对象训练有素、战斗力水平较高时,理解上级意图正确、贯彻命令指示坚决、作战效能高。这种情况下,指挥员能控制更多下属单位,反之,下属单位应减少。

1.3 指挥手段

指挥手段是指指挥跨度确定的客观条件。指挥手段的发展与进步,把人力无法完成或完成时效低、准确性差的工作由计算机、通信网络等信息化设备来辅助完成^[2],使指挥员能够更精确、快速地进行决策,更有效地指挥与控制部队,可适当增加指挥跨度。

综合分析影响指挥跨度的3个因素中,指挥主体是关键因素,其指挥能力是指指挥跨度设置的主要依据。不同的指挥主体所能驾驭的指挥跨度是不同的,整体呈现正态分布趋势。可以认为,经过适当的选拔和训练,指挥主体能够达到平均水平。当前末端防空旅级部队通常下辖3~5个下属单位,这是手工作业条件下经验性的指挥跨度。通过定量计算,可以得出对应的指挥主体能有效处理指挥控制工作关系系数,并可作为评价信息化指挥手段下末端防空混编集成指挥跨度合理性的参考。

2 指挥跨度的定量计算

指挥跨度是指指挥主体在某一时间内为完成作战任务所直接指挥的指挥对象数量。在指挥跨度内,指挥主体与指挥对象、指挥对象之间所发生相互联系的总数,称为指挥控制工作关系系数,用 C 表示。可以用工作关系系数 C 来定量评价由指挥跨度带来的指挥控制复杂程度。当指挥跨度为 n 时,指挥控制工作关系系数可用下式表示:

$$C = n(2^{n-1} + n - 1)。 \quad (1)$$

上式表明:当指挥跨度 n 按算术级数增加时,工作关系系数 C 将按几何级数增长;因此,指挥跨度

应在一个合理范围内,以便指挥主体能够有效处理指挥控制复杂性。

式(1)来自管理跨度的概念。法国管理顾问格拉丘纳斯(V. A. Graicunas)于1933年首次提出了管理跨度理论,分析了上下级之间可能存在的关系。上下级关系主要分为3种类型:1)直接的单一关系,存在于上级与其单一直属下级之间的联系;2)直接的组合关系,存在于上级与其下属的各种可能组合之间的联系;3)交叉关系,存在于下属之间彼此的联系。将上述3种工作关系系数相加,得到工作关系系数总和的格拉丘纳斯公式。格拉丘纳斯公式对工作关系进行了适当简化,揭示了管理工作复杂程度随管理跨度变化的规律。该公式同样适用于指挥控制领域。

2.1 引入效率因子修正格拉丘纳斯公式

信息化指挥手段的应用,把人力无法完成或完成时效低、准确性差的工作由信息系统辅助完成,在一定程度上减少了指挥主体的工作量,缩短了指挥时间,提高了指挥效率,降低了上级指挥活动的复杂性。指挥主体能够处理的指挥控制工作关系越多,所能承受的指挥跨度就越大。因此,定义一个效率因子 $e(0 < e \leq 1)$ 衡量信息化指挥手段对指挥跨度的影响,用以表示整体上对指挥控制工作关系系数的修正,修正后的格拉丘纳斯公式可表示为

$$C = e \cdot n(2^{n-1} + n - 1)。 \quad (2)$$

2.2 引入指挥和协同难度指数修正格拉丘纳斯公式

未来末端防空实行的是混编集成作战样式。由于格拉丘纳斯公式没有考虑不同类型的下属可能会有不同的管理协调复杂程度,因此,在研究末端防空混编集成情况下的指挥跨度时,需要对其进行修正。指挥对象对指挥跨度的影响体现在其相似性与指挥协同难度。不同兵种、多型兵器混编集成,指挥方式、火力运用方法存在差异,导致指挥协同难度较大。为量化表示这种指挥协同难度,定义指挥难度指数和协同难度指数。

定义 1 指挥难度指数是指混编集成情况下,不同类型指挥对象与指挥主体发生联系时的难度,相对于某一基准指挥对象的平均数值。用 q_i 表示第 i 种指挥对象相对于基准指挥对象的指挥难度指数。

定义 2 协同难度指数是指混编集成情况下,不同类型指挥对象与其他指挥对象发生联系时的难度,相对于某一基准指挥对象的平均数值。用 p_i 表

示第 i 种指挥对象相对于基准指挥对象的协同难度指数。

用指挥难度指数或协同难度指数乘以与某指挥对象发生联系的工作关系总数，即为该指挥对象修正后的工作关系数。根据以上分析，推导混编集成情况下修正的指挥控制工作关系数计算公式。

假设指挥主体直接指挥 m 种指挥对象，其数量分别为 $n_i(\sum_{i=1}^m n_i = n)$ 。现考虑 3 种工作关系：

1) 直接的单一关系。

直接的单一关系存在于上级与其单一直属下级之间的联系。指挥主体与 m 种指挥对象的单一直接工作关系数分别为 $p_i n_i(i=1,2,\dots,m)$ ，因此，单一关系下的工作关系总数为

$$C^1 = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_m n_m = \sum_{i=1}^m q_i n_i \quad (3)$$

2) 直接的组合关系。

直接的组合关系存在于上级与其下属的各种可能组合之间的联系。用 z 表示指挥主体， $x_j(j=1,2,\dots,n)$ 表示 n 个指挥对象。考虑如下指挥组合关系： $z \rightarrow x_j(x_1 \sim x_n)$ ，其中 $(x_1 \sim x_n)$ 表示除 x_j 以外的其余指挥对象的任意组合。每个指挥对象都有参与和不参与 2 种情形，因此，这 $n-1$ 个指挥对象共有 2^{n-1} 种可能情形。排除这 $n-1$ 个指挥对象都不参与的单一关系情形，总共有 $2^{n-1}-1$ 种组合关系。此时，如果 x_j 属于第 i 类指挥对象，第 i 类指挥对象共有 n_i 个，且其指挥难度指数为 q_i ，那么第 i 类指挥对象的组合工作关系数为 $p_i n_i (2^{n-1}-1)(i=1,2,\dots,m)$ 。总的组合工作关系数为

$$C^m = \sum_{i=1}^m q_i n_i (2^{n-1}-1) \quad (4)$$

3) 交叉关系。

交叉关系存在于下属之间彼此的联系，主要为协同关系。每个第 i 类指挥对象都有 $n-1$ 种与其他指挥对象协同的可能情形，所以第 i 类指挥对象的交叉工作关系数为 $p_i n_i (n-1)(i=1,2,\dots,m)$ 。总的交叉工作关系数为

$$C^2 = \sum_{i=1}^m p_i n_i (n-1) \quad (5)$$

综合 3 种关系，得到指挥控制工作关系数为

$$C = C^1 + C^m + C^2 = \sum_{i=1}^m (q_i n_i 2^{n-1} + p_i n_i (n-1)) \quad (6)$$

综合考虑指挥手段、指挥对象对指挥跨度的影响，引入效率因子，修正的格拉丘纳斯公式最终表示为

$$C_e = e \sum_{i=1}^m (q_i n_i 2^{n-1} + p_i n_i (n-1)) \quad (7)$$

3 实例分析

以首都地区末端防空为例，探讨混编集成指挥跨度的定量分析方法。为适应首都一体化联合防空需要，组建末端防空作战模块化部队，以地空导弹营加高炮连或弹炮营加高炮连的混编模式组建合成营，装备有某型近程地空导弹、某型弹炮结合武器系统和某型高炮等末端防空武器系统。平时，各末端防空部队负责所属导弹营、弹炮营和高炮连的行政管理及训练。战时，则以合成营为基本建制单位和火力单元组建末端防空混编群。下面分析混编群内指挥跨度设置问题，以确保指挥效能的发挥。

3.1 计算传统指挥手段下工作关系数经验值

不同的指挥主体所能驾驭的指挥跨度不同，整体呈现正态分布趋势。可以认为，经过适当的选拔和训练，指挥主体能够达到平均水平。传统末端防空部队通常有旅营制、团营制 2 种编成，旅营制下属单位通常为 5 个，团营制下属单位通常为 3 个。这是传统手工作业方式下，与工业时代发展水平相匹配，并经过实战检验得出的经验指挥跨度值。通过格拉丘纳斯公式(1)，可计算得出所对应的指挥主体能有效处理的工作关系数经验值。不同指挥跨度对应的指挥控制工作关系数如表 1 所示，工作关系数随指挥跨度的变化如图 1 所示。

表 1 指挥跨度对应的指挥控制工作关系数

n	2	3	4	5	6	7	8	9
C	6	18	44	100	222	490	1 080	2 376

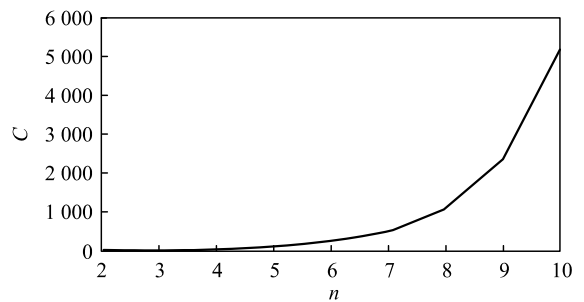


图 1 工作关系数-指挥跨度

当指挥跨度为 5 时，指挥主体能够处理的指挥控制工作关系数为 100，以此经验数值为标准，评价指挥手段、指挥对象对指挥跨度设置影响的合理性。

3.2 分析信息化指挥手段对指挥跨度的影响

引入效率因子 $e(0 < e \leq 1)$ ，表示信息化指挥手段对指挥跨度的影响。效率因子 e 越小，表示信息化建设水平程度越高，指挥手段越先进，指挥关系数相应降低。将 e 代入修正的格拉丘纳斯公式(2)，

计算 e 取不同值时，相应的指挥控制工作关系数，结果如表 2 所示。对应的工作关系数-指挥跨度曲线如图 2 所示。

表 2 e 不同取值下指挥控制工作关系数

e	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$
1.0	6.0	18.0	44.0	100	222.0	490	1080	2 376.0
0.9	5.4	16.2	39.6	90	199.8	441	972	2 138.4
0.8	4.8	14.4	35.2	80	177.6	392	864	1 900.8
0.7	4.2	12.6	30.8	70	155.4	343	756	1 663.2
0.6	3.6	10.8	26.4	60	133.2	294	648	1 425.6
0.5	3.0	9.0	22.0	50	111.0	245	540	1 188.0
0.4	2.4	7.2	17.6	40	88.8	196	432	950.4
0.3	1.8	5.4	13.2	30	66.6	147	324	712.8
0.2	1.2	3.6	8.8	20	44.4	98	216	475.2
0.1	0.6	1.8	4.4	10	22.2	49	108	237.6

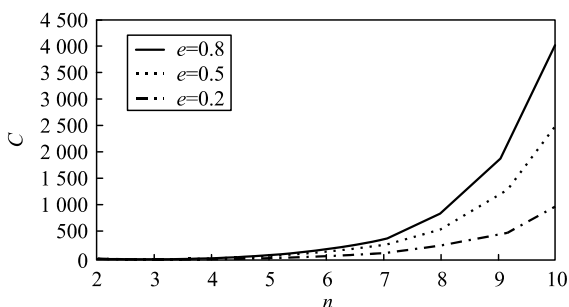


图 2 e 不同取值下工作关系数-指挥跨度

空军“四网一体”信息化建设为末端防空作战提供了先进的信息化指挥手段。随着通信基础网、情报保障网、作战指挥网和武器控制网的发展完善，防空混编群的指挥效率不断提高。参照传统指挥手段下工作关系数经验值 100，当效率因子 e 取值在 0.3~0.5 时，相应的指挥跨度值可达 6 或 7。可以设想，在“四网一体”系统发展成熟后， e 取值在 0.1~0.2 时，相应指挥跨度最大可达到 8。结合当前信息化建设现状，不妨设 $e=0.4$ 。

3.3 分析不同指挥对象的指挥、协同难度指数

1) 指挥难度指数。以弹炮营为基准指挥对象，其与指挥主体发生联系时的指挥难度基准值为 1。考虑 2 种合成营，一种混编模式为导弹营加高炮连组成的合成营。由于弹炮营本身就是某型近程防空导弹武器系统、某型多管高炮武器系统和干扰对抗系统进行适应性改进后，以软结合的形式混编组成的火力单元。可以认为，导弹营加高炮连混编合成营经过严格训练后，二者指挥性质较为相似，其指挥难度指数不妨设为 1.3。另一种混编模式为弹炮营加高炮连，合成营内有 2 型高炮和 1 型弹炮武器系统，共 3 种兵器。综合考虑指挥时间、指挥频率、武器装备信息化程度等因素，其指挥难度指数不妨设为 1.5。

2) 协同难度指数。仍以弹炮营为基准协同对

象，其相互间发生联系时的协同难度基准值为 1。鉴于信息化指挥手段和扁平、网状组织结构能有效提高指挥协同效率，合成营之间实现信息互通后，便于采取自主协调的方式加强协同，降低了协同难度，协同难度指数可取较小值。不妨设弹炮营与弹炮加高炮混编合成营的协同难度指数为 1.1，与导弹加高炮混编合成营的协同难度指数为 1.2；弹炮加高炮混编合成营与导弹加高炮混编合成营之间协同难度指数为 1.3。

3.4 计算修正的指挥控制工作关系数

假设以弹炮营为主体组成末端防空群，配属 1 个弹炮加高炮混编合成营和 1 个导弹加高炮混编合成营。综合考虑信息化效率因子、指挥难度指数和协同难度指数，用修正后的格拉丘纳斯公式(7)计算混编集成指挥控制工作关系数，结果如表 3 所示，对应的工作关系数-指挥跨度曲线如图 3 所示。

表 3 混编集成指挥控制工作关系数

e	0.2	0.3	0.4	0.5
$n=5$	27.20	40.80	54.40	68.0
$n=6$	60.96	91.44	121.92	152.4
$n=7$	135.52	203.28	271.04	338.8

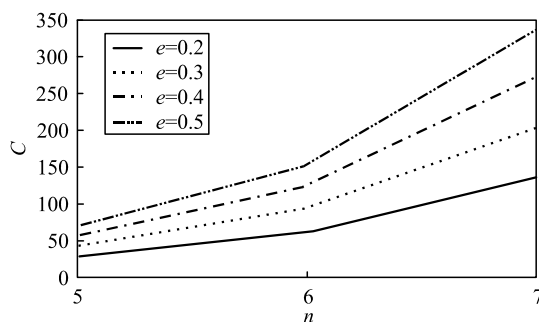


图 3 混编集成工作关系数-指挥跨度

根据前面分析，信息化效率因子取值 $e=0.4$ ，当指挥跨度为 6 时，计算得出指挥控制工作关系数为 121.92，与传统指挥手段条件下经验值 100 最为接近。可以认为，综合考虑信息化指挥手段和不同指挥对象的影响，混编集成末端防空群下辖合成营数量为 6 时，最利于发挥指挥效能。

4 结论

实施末端防空作战时，多型防空武器混编集成能够实现兵器性能优势互补，提高整体防空效能。通过定性分析与定量计算相结合的方法，引入信息化效率因子、指挥难度指数和协同难度指数修正格拉丘纳斯公式，可以计算得到混编集成末端防空群指挥跨度。该方法可为多型武器装备混编集成指挥

跨度的定量分析提供可行思路和理论借鉴。

参考文献:

[1] 李进军, 刘国光, 黄谦, 等. 基于复杂网络理论的作战指挥体系结构分析模型和方法[J]. 系统仿真学报, 2008, 17(20): 4712-4715.

[2] 刘洋, 胡晓峰. 基于仿真数据的作战体系结构层次分析[J]. 军事运筹与系统工程, 2014, 28(1): 65-70.

[3] JEFFERY R C. An information age combat model[C]. Copenhagen: The 9th ICCRTS, 2004: 14-18.

[4] 姚超. 作战指挥论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2014:

5-7.

[5] 孙毅. 略论管理幅度[J]. 管理现代化, 1995(1): 34-35.

[6] 周憬. 管理幅度探析[J]. 宝鸡文理学院学报, 2000, 3(20): 102-108.

[7] 杜伟, 闻传花, 臧鹏飞, 等. 智能化条件下的陆军指挥训练系统设计需求分析[J]. 兵工自动化, 2019, 38(3): 19-22.

[8] 向东, 王贻峰, 屈怡. 对指挥跨度问题的思考[J]. 军事学术, 2006(1): 27.

[9] 魏文刚, 王晓亮. 试析影响指挥跨度拓展的若干因素[J]. 西安陆军学院学报, 2012, 34(1): 13.

(上接第 4 页)

4.2 控制器仿真实验

笔者采用 LMD 过程单神经元自学习 PSD 控制器, 利用建立的速度与熔宽的动态非线性模型, 进行控制过程仿真实验。采用 PSD 算法仿真过程生成的扫描速度 10 mm/s 设定为单道沉积的初始速度, 熔池设定宽度 W_{set} 为 3.03 mm, 激光功率为 1 500 W, 选择开关光扫描沉积长 50 mm 的单道, 材料选择 TC4 合金粉末, 送粉量为 1 r/min, 光斑直径 3.1 mm, 载粉气流量为 6 L/min。图 8 是单道沉积成形试样。

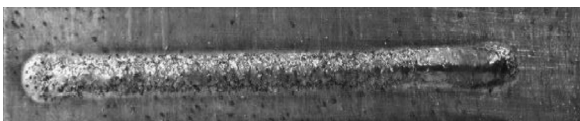


图 8 PSD 自适应控制的单道成形形貌

图 9 是单道沉积成形过程熔池宽度尺寸仿真变化过程。由图可见: 熔池宽度 W_m 被控制在设定值 3.03 mm 附近微小的波动, 熔池宽度误差不超过 0.02 mm, 不超过熔池宽度期望值的 1%, 而目前大多数送粉式激光沉积成形控制的制造精度为 ± 0.05 mm, 证明该控制系统对沉积过程熔池宽度控制具有较高的精度。

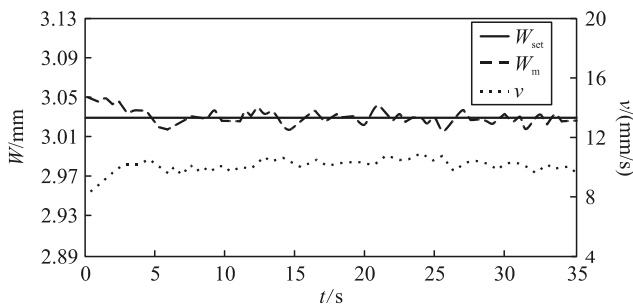


图 9 PSD 自适应控制的成形过程熔池尺寸变化

5 结论

笔者在传统 PID 控制的基础上加入神经网络和

PSD 算法, 设计了一种 LMD 激光增材自适应控制系统。仿真实验结果表明: 该控制器可实现沉积过程熔池宽度尺寸精度误差小于 0.02 mm, 参数容易调整, 且能适应环境变化, 具有较强的鲁棒性。同时也为 LMD 激光增材自适应控制器设计提供参考。

参考文献:

[1] 卢秉恒, 李涤. 增材制造和 3D 打印[J]. 机械与自动化, 2012, 164(11): 186-189.

[2] 杨继全. 光固化快速成型的理论、技术与应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.

[3] BUCHBINDER D, MEINERS W, PIRCH N, et al. Investigation on reducing distortion by preheating during manufacture of aluminum components using selective laser melting[J]. Journal of Laser Applications, 2014, 26(1): 1-10.

[4] 解瑞东, 鲁中良, 弋英民. 激光金属成形缺陷在线检测与控制技术综述[J]. 铸造, 2017, 66: 33-35.

[5] XIONG J, ZHANG G J. Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 41: 82-88.

[6] 孙华杰. 基于彩色 CCD 的激光熔覆熔池温度闭环控制研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2018.

[7] METHRADAD I. An image-based feature tracking algorithm for real-time measurement of clad height[J]. Machine Vision and Application, 2017, 18: 343-354.

[8] 徐丽丽. 基于熔池监控的激光沉积制造成形精度控制研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2018.

[9] 侯媛彬, 汪梅, 王立琦. 系统辨识及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 26-32.

[10] 杨帆. ARMAX 模型的偏差补偿递推最小二乘辨识算法[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[11] HEELING T, CLOOTS M, WEGENER K. Melt pool simulation for the evaluation of process parameters in selective laser melting[J]. Additive Manufacturing, 2017, 14: 116-125.