doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.012

一种基于火力毁伤效果评估的炮兵对抗能力分析方法

单晓泉[1]，蔡宏图[2]，肖业云[1]，倪庆华[1]，王铁钢[3]
（1. 解放军炮兵学院 研究生系，安徽 合肥 230031；2. 解放军炮兵学院 6 系，安徽 合肥 230031；
3. 中国人民解放军 71811 部队 炮指部，河南 信阳 464000）

摘要：针对未来信息化战场的复杂局势和进行火力毁伤效果评估的必要性，给出了一种炮兵炮火远程对抗条件下的系统仿真模型，并对炮兵对抗能力进行了模拟，由第一回合的状态转移概率得出后面 k 个回合的对抗公式，经过对毁伤概率的分析，进行了 100 次战斗模拟推演，证明了该方法的有效性。

关键词：火力毁伤效果评估；评估信息系统；火力对抗模拟
中图分类号：E271　　**文献标识码**：A

An Analysis Method of Artillery Confrontation Ability Based on Fire Damage Effect Evaluation

Shan Xiaoquan[1], Cai Hongtu[2], Xiao Yeyun[1], Ni Qinghua[1], Wang Tiegang[3]
(1. Dept. of Postgraduate, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China;
2. No. 6 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China;
3. Dept. of Artillery Headquarters, No. 71811 Unit of PLA, Xinyang 464000, China)

Abstract: Aiming at the complex condition of future information battlefield, and the necessity of fire damage effect evaluation, provide a artillery system emulation model of tele-fire confrontation, and simulate artillery confrontation ability, get the confrontation formula of round k from the status shift probability of round one. Analyzing the damage probability, simulate the battle for 100 times, and prove the effecting of the method.

Keywords: fire damage effect evaluation; evaluation information system; fire confrontation simulation

0　引言

未来战场环境复杂多变，信息含量极高，作战双方在对抗过程中，需要彼此判断对方的火炮被摧毁程度。炮兵火力毁伤效果评估，是在炮兵对作战目标实施火力打击的过程中，对完成火力毁伤任务的程度、效益、火力毁伤效果及对敌我行动的影响等做出评定，贯穿于炮兵作战行动的全过程。运用评估信息系统进行火力毁伤效果评估的水平将直接影响最终的作战结果，但由于战场环境和技术水平所限，双方对火力毁伤效果的评估都无法达到 100% 的准确。故给出一种炮兵炮火远程对抗条件下的系统仿真模型，对炮兵对抗能力进行模拟。

1　炮火远程对抗条件下的系统仿真模型

假定双方均有大量的炮兵参加炮火远程对抗，红方在地域 A 配置有 R_0 门火炮，蓝方在地域 B 配置有 B_0 门火炮，且炮火对抗过程中双方均无兵力增加，均使用集火射击。在实际作战过程中参加作战的火炮种类并不单一，为使问题简化，若红方使用数种不同类型的火炮，可以使用指数法将红方的 R_0 门火炮归一为同炮种火炮，蓝方总火炮数 B_0 亦如此，并假定任一门火炮的作战效能是恒定的，并不随时间的变化而改变，故有：

α：蓝方一门火炮在单位时间内平均摧毁红方一门火炮的毁伤率；β：红方一门火炮在单位时间内平均摧毁蓝方一门火炮的毁伤率；$R(t)$:t 时刻红方火炮的平均数，简记为 R；$B(t)$:t 时刻蓝方火炮的平均数，简记为 B；

蓝方评估信息系统的火力毁伤效果评估正确率为 P_B，红方系统正确率为 P_R。由于炮火对抗双方剩余的火炮数量是随着时间的变化而变化的，设作战结束时间为 T，则双方的火炮数量比其实就是在 $[0,T]$ 范围内的某一时刻 t 时，红蓝双方火炮实际剩余数量的比较。由于对 P 的取值是根据红蓝双方的评估信息系统来进行假定的，故确定一个 [0,1] 区间，取 0 时为对毁伤效果的判断完全错误，而取 1 时为对毁伤效果的判断完全正确，则 P 的取值必在此区间内。由此可知，虽然在 $[0,t]$ 时间内 ($t\in[0,T]$) 红方火炮实际摧毁蓝方火炮 $B_0-B(t)$ 门，红方评估信息系统却只判断出蓝方火炮 $(B_0-B(t))*P_R$ 门被毁，剩存火炮为 $B_0-(B_0-B(t))*P_R$ 门。由于实施集火射击，t 时刻红方火炮的作战效能将平均分布于其评估信息系统判定的蓝方剩余的 $(B_0-B(t))*P_R$ 门火炮上。

收稿日期：2009-12-03；修回日期：2010-03-16
作者简介：单晓泉（1982-），男，辽宁人，军事学博士研究生，从事作战指挥理论与指挥信息系统研究。

因此，t 时刻红方每门火炮在单位时间内对蓝方阵地上实际剩余的各火炮的毁伤率为

$$\frac{\beta}{B_0-[B_0-B(t)]P_R} \tag{1}$$

同理，t 时刻蓝方每门火炮在单位时间内对红方阵地上实际剩余的各门火炮的毁伤率为

$$\frac{\alpha}{R_0-[R_0-R_{(t)}]P_B} \tag{2}$$

显然可以得出

$$B(t)-B(t+\Delta t)=\frac{\beta}{B_0-[B_0-B_{(t)}]P_R}R(t)B(t)\Delta t \tag{3}$$

同样，对红方而言：

$$R(t)-R(t+\Delta t)=\frac{\alpha}{R_0-[R_0-R_{(t)}]P_B}R(t)B(t)\Delta t \tag{4}$$

上述式 (3) 和式 (4) 等号左右分别除以 Δt，并取极限，令 $\Delta t\to 0$，可得方程组：

$$\begin{cases}\dfrac{\mathrm{d}B(t)}{\mathrm{d}(t)}=-\dfrac{\beta}{B_0-[B_0-B_{(t)}]P_R}R(t)B(t)\\ \dfrac{\mathrm{d}R(t)}{\mathrm{d}t}=-\dfrac{\alpha}{R_0-[R_0-R_{(t)}]P_B}R(t)B(t)\end{cases} \tag{5}$$

上式就是红、蓝双方炮兵对抗的数学模型，由式 (5) 知，随着战斗的发展，红蓝双方剩余火炮数量都趋向于零，也就是双方势均力敌，不分胜负。但由于未来信息化战场的制约因素很多，具体的取胜概率其实并不能仅仅通过一个模型来判定，只有在详细给出的战场条件中才能评估得出。

2 未来信息化战场炮兵对抗能力分析

下面进行红、蓝双方的对抗模拟。首先让计算机产生一个服从于[0, 1]区间均匀分布的随机数，若该随机数其值小于 0.5，则认为红方先开火，否则蓝方先开火。

2.1 基本假定

在对抗中，火炮数量多的一方采用集火射击方式，对抗双方每次射击均相互独立。

考虑到未来信息化战场上火力精确程度和毁伤效果评估水平的提高，对抗过程应比较短暂，故取对抗回合数为 2。

2.2 符号约定

p：红方武器对蓝方武器的单发毁伤概率；q：蓝方武器对红方武器的单发毁伤概率；n：双方对抗回合数；U：1×1 对抗中，n 回合后，红方获胜概率；V：1×1 对抗中，n 回合后，蓝方获胜概率；m：红方参与对抗的武器数量；P_{m+2}：$m\times1$ 对抗中，n 回合后，系统中红方武器无损伤且蓝方武器被消灭的概率；P_{m+3}：$m\times1$ 对抗中，n 回合后，系统中红方武器损伤 1 件且蓝方武器被消灭的概率；P_{ij}：系统由状态 S_i 一步转移到状态 S_j 的概率。

2.3 模型求解

1×1 对抗（设红方先开火），系统状态共有 3 种：S_1：双方均未被毁伤；S_2：红方未被毁伤，蓝方被毁伤；S_3：红方被毁伤，蓝方未被毁伤。

在第一回合，各状态之间的转移概率 P_{ij} 为：

$$P_{12}=p, P_{13}=(1-p)q$$

其余的转移概率为 0。

由第 k 回合后系统所处状态概率的递推公式

$$P_i(k)=\sum_{j=1}^{n}P_j(k-1)P_{ij}, (i=1,2,\cdots,n)$$

式中：n 为系统的可能状态数；$P_i(k)$ 为第 k 回合后系统处于状态 S_i 的概率

可求出：

$$U=p(1+(1-p)(1-q)) \qquad V=q(1-p)(1+(1-p)(1-q))$$

当 q 一定，p 小于某值 p_0 时，p 的变化对 U/V 影响不大；而当 p 大于 p_0 时，p 的变化对 U/V 影响很大，p 的微小变化就能引起 U/V 发生较大变化。p_0 值的大小与 q 有关，q 越小，p_0 就越小，而 q 越大，p_0 就越大。而当 q 大于 0.25，U/V<1 时，红方将不会有太大优势，并可能会过早地暴露自己。

当 q 一定时，U 随着 p 的增大而增大；当 q 较小，p 大于 p_0 时，U 的变化受 p 的影响较小；$q\le 0.2$ 时，p 和 U 的线性关系明显增强。当 $q\le 0.2$ 时，p 只需达到 0.4，U 就高于 0.59，而 V 则不足 0.2，在这种情况下，红方先开火很合算。在实际战斗中，p 值的增大将会以红方过早暴露及增大蓝方对红方的毁伤概率作为代价，这在红方武器数量少于蓝方的时候将会使红方处于被动地位。

由上面的推演过程，可总结出以下结论：

当 $q\le 0.2$ 时，尽可能先敌开火；当 $q>0.2$ 且 $p\le 0.3$ 时尽量不要先敌开火，以免暴露自己而招致敌对我多对一的对抗，或造成弹药消耗偏高；无论 q 值为多少，当 $p<0.2$ 时，应尽可能的先敌开火。

2.4 一个步长内对抗的模拟

将在 $[t,t+\Delta t]$ 内红、蓝双方战斗行动结果的模拟称为一个步长内对抗的模拟。当 Δt 很小，在

$[t,t+\Delta t]$内，可将红方每门火炮对蓝方剩存的各门火炮的毁伤率视为一个常量。它可表示为式 (6) 所示 t 时刻红方每门火炮对蓝方剩存的各门火炮的毁伤率与其时间区间长度 Δt 之积，即：

$$\frac{\beta}{B_0-[B_0-B_{(t)}]P_R}\Delta t \tag{6}$$

于是，在$[t，t+\Delta t]$红方火炮实际损失数为 M_R，则：

$$M_R=\frac{\beta}{R_0-[R_0-R_{(t)}]P_B}\Delta t B(t) \tag{7}$$

式中，由于 $P_B<1$，有 $B_0-\left(B_0-B_{(t)}\right)*P_B=B(t)$，又由于 β 为一常数，故取Δt 足够小时，总能使上式 $M_R<1$。

同理，在$[t,t+\Delta t]$内蓝方火炮实际损失数为：

$$M_B=\frac{\alpha}{B_0-[B_0-B_{(t)}]P_R}\Delta t R(t) \tag{8}$$

且当Δt 足够小时， $M_B<1$。

从式 (8) 可知，由于 $M_B<1$，可将 M_B 等效地理解为在$[t,t+\Delta t]$时间内红方一门火炮摧毁蓝方一门火炮的概率。同理，M_R 可等效地理解为蓝方一门火炮在$[t,t+\Delta t]$时间内摧毁红方一门火炮的概率。由此可知，以计算机产生 $R(t)$服从[0, 1]均匀分布的随机数为模拟 t 时刻红方火炮在时间$[t,t+\Delta t]$内的作战效果。如果第 i 个随机数小于等于 M_B $(i=1,2,3\cdots R(t))$，则可以认为 $R(t)$为$[t,t+\Delta t]$时间内红方 $R(t)$门火炮中的第 i 门火炮击毁了蓝方一门火炮，这样可模拟出$[t,t+\Delta t]$时间内炮火对抗过程中蓝方火炮的总损失数量（用 c 来表示），即$[t,t+\Delta t]$时间内对抗结束时，蓝方火炮数量 $B(t,t+\Delta t)=B(t)-c$。类似地，模拟出$[t,t+\Delta t]$内红方损失数量（用 d 表示）及剩存的火炮数量 $R(t+\Delta t)=R(t)-d$。

2.5　取胜概率推演

前面已经定义对抗模拟结束是以某一方剩余火炮数量为 0 来衡量，那么当对抗模拟结束时，t、$R(t)$、$B(t)$的值分别与战斗持续时间 T 和红蓝双方剩余兵力 $R(T)$、$B(T)$ 有关。当且仅当 $B(T)=0$时，红方获胜一次。当且仅当 $R(T)=0$ 时，蓝方获胜一次。若双方同时为 0，则认为双方各获胜 0.5，当然，在实际作战中此情况基本不存在。根据以上条件，再进行一次对抗模拟，战斗前蓝方阵地内有火炮 10 门，红方阵地内有火炮 24 门，已知蓝方每门火炮每分钟对红方火炮的毁伤率是 0.027 9，红方相应的毁伤率是 0.120 5，而且红方评估信息系统的正确率为 1.0，蓝方的正确率为 0.8，根据以上情况可推演出红蓝双方的取胜概率。

令 $R_0=24$， $B_0=10$， $\alpha=0.120\ 5$， $\beta=0.027\ 9$；$P_R=1.0$， $P_B=0.8$；

根据前面所建立的对抗仿真模型,在时间区间$[t,t+\Delta t]$内对红蓝双方的炮兵对抗进行 100 次战斗模拟，其结果如表 1。

表 1　战斗模拟结果表

Δt	t	B	R	M	N-M	B/(N-M)	R/M
1	151 676	54	1 174	87	13	4.15	13.49
2	158 192	55	1 156	88	12	4.58	13.14
3	146 214	88	1 171	84	16	5.5	13.94
4	150 528	70	1 192	85	15	4.67	14.02
5	151 875	51	1 165	87	13	3.92	13.39
6	158 652	86	1 132	84	16	5.38	13.48
7	164 794	60	1 111	87	13	4.62	12.77
8	148 208	53	1 205	86	14	3.79	14.01
9	161 838	88	1 080	84	16	5.5	12.86
10	165 630	64	1 071	84	16	4	12.75

注：其中，Δt：模拟步长(s)；t：100 次模拟战斗总时间之和(s)； R(B)：100 次模拟红（蓝）方剩余火炮数量之和（门）；M(N－M)：100 次模拟中红（蓝）方取胜次数； R/M(B/(N－M))：红（蓝）方取胜时的平均剩余火炮数量（门）。

3　结论

该方法能在一定程度上反映出双方在信息化战场炮兵火力对抗过程中的变化，其模拟的结果虽不一定是对抗的真实结局，但却可以反映出对抗双方的作战效能，也可反映出个别因素对整个作战进程的影响。在未来战争中，双方炮兵必然是在都装备了火力毁伤效果评估信息系统的情况下作战，在战场几近透明的情况下，更需要炮兵指挥员根据所获取的信息对作战进程进行科学、合理的控制，才能取得最后的胜利。

参考文献：

[1] 陈春. 数字化炮兵[M]. 北京：解放军出版社，2007: 186.

[2] 许梅生，冯钟林，邢立新. 火力毁伤评估理论[M]. 北京: 解放军出版社, 2007: 202.

[3] 宁凌. 精确作战[M]. 北京：军事谊文出版社，2006: 241−249.

[4] 张强华，李德君. 建立炮兵毁伤评估指标体系的 2 种方法[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 115−117.