

均匀设计在潜艇纯方位试验航路

参数选取中的应用

吴仁人 郑长允

(海军试验基地 旅顺)

摘要 潜艇隐蔽攻击算法是潜艇指控系统重要技术之一。对于鱼雷武器系统精度试验,纯方位试验航路设计,本文应用均匀设计—变换法、条件分布法,设计生成仿真及海上试验航路。仿真试验,要求“充满空间”的试验设计。在应用均匀设计理论设计海上试验航路时,应体现“加权”有约束配方均匀设计思想。

关键词 均匀设计 加权 纯方位 隐蔽攻击

一、引言

潜艇鱼雷攻击需依据不同的战术背景和环境条件。探测与定位是实现攻击的基本手段和方法,也是攻击中需要完成的核心任务。被动测向声呐能在较远的距离上发现和跟踪目标,因而目前仍把采用纯方位法求解目标运动要素做为潜艇隐蔽攻击的主要算法。某型潜艇鱼雷武器系统海上试验时,将把考核纯方位航路的武器系统精度做为重点。

依据“潜艇纯方位解算目标运动要素性能评定方法(GJB4328—2002)”,试验航路设置应能覆盖远、中、近距离,大、中、小舷角和高、中、低目标速度的各种态势,这是均匀设计思想的一种体现。用典型航路参数设计的航路谓之典型航路。对仿真试验(在仿真平台上做),应用均匀设计软件(4.0版),设计生成20条仿真试验航路,供仿真试验用。

对于纯方位解算目标运动要素海上试验航路,D、V、C彼此不是独立而是相关的因素,这里既要考虑D、V、C相互关系和约束,同时在水平的选取上要考虑海上试验实现的可能。有约束的配方均匀设计,在约束条件较苛刻的条件下,用变换法和条件分布法,设计出纯方位海上试验航路供选用。

系统海上精度试验的特点:参试单位多、动用兵力多、参试设备多,技术复

杂，试验周期长。应用均匀设计法设计潜艇纯方位仿真及海上试验航路，以期达到全面考核，优化海上试验航路设计。

潜艇纯方位解算目标运动要素典型航路参数的选取，以国军标、某型潜艇作战系统战技指标及试验海区、海况、水文条件和试验的其它条件来设定。

二、仿真试验航路设计

均匀设计是这样一种设计：它将试验点在试验范围内均匀分布。它适应于多因素、多水平试验。潜艇纯方位解算目标运动要素性能评定方法（GJB4328—2002），对于仿真试验，要求生成 18 条以上航路态势，驱动被试设备并实时提供所需的方位数据以及本艇的航速、航向等数据，实时采集被试装备解算出的目标运动要素，进行实时和事后数据处理，提供评估结果。

（一）仿真试验航路设置原则

- 试验航路应充分考虑到本艇对水面目标、潜艇目标实施隐蔽攻击的特点，本艇传感器的功能、性能以及潜艇的战术使用原则。
- 试验航路设置应能覆盖远、中、近距离，大、中、小舷角和高、低目标速度的各种态势。
- 在综合考虑上述各因素的基础上一般选择 18 条以上有代表性的试验航路，试验有效航次数不得少于 180（按 18 条航路计，每条航路的有效航次数不得少于 10）。
- 典型航路参数有：目标初距 D_0 ，目标舷角 Q_M ，目标速度 V_M 。

目标距离取战术技术指标要求的声呐最大稳定跟踪距离 D_{\max} ，允许使用武器的最小距离 D_{\min} 以及介于这两者之间的距离。

目标舷角取潜艇战术攻击允许的最大目标舷角 $Q_{M\max}$ ，一般为 $\times \times$ 度；目标对潜艇实施攻击的最小目标舷角 $Q_{M\min}$ ，一般为 \times 度 \sim \times 度，以及介于这两者之间的目标舷角。

目标速度 V_M 取攻击目标的可能最大速度 $V_{M\max}$ ，潜艇目标的经航速度 $V_{M\min}$ 及介于两者之间的目标速度。

噪声的统计特征，经验收者认同；噪声的迭加只考虑声呐的测向误差 ΔQ ，本艇导航测速误差 ΔV_w ，测向误差 ΔC_w 。

根据试验规程和系统需要，对本艇机动速度的上限予以限定，一般不大于 \times 节。

对于仿真试验航路均匀设计，根据研究问题的需要，确定各因素的相应水平，这就是有约束的配方均匀设计。

（二）典型航路参数选取

根据试验规程要求：航路参数选取应根据航速（我艇和目标舰）、距离（指我艇声呐有效工作距离、武器的射程范围）、舷角（我艇舷角、目标舷角）及训练和实战的要求来确定。

规程对航路参数的选取给出了最基本的要求，要想进行航路设计，必须根据每次试验的实际情况，对参试兵力，测量设备以及被试武器装备的战术指标和性能，试验海区水文条件等多种因素来进行全面考虑。

1. 目标舰（艇）与我舰（艇）之间距离 D_0

目标的选择，应根据攻击目标的要求，选择水面战斗舰或潜艇为目标。

D_0 的选取应考虑声呐工作范围、射程覆盖以便于试验组织实施。 D_0 选取太小，试验准备时间太短，无法实施。 D_0 选取太大，无效航行时间长，海上作业效率低。

2. 目标舷角 Q_M

从实战来考虑，潜艇纯方位解算目标运动要素，从收敛时间开始，待我实施鱼雷攻击时，目标处在我艇不同的舷角（可分为大、中、小敌舷角）。

目标舷角在考虑试验充分性的同时，又要考虑有利于海上试验的实施。

3. 目标速度 V_M

目标速度应以武器打击对象为选取标准。对仿真试验，目标速度取高、中、低三档。根据研究问题的需要，目标速度亦可取若干水平。对于海上试验，一般目标速度只取高、低二档（二水平），采用拟水平的方法，进行海上试验航路均匀设计。

（三）试验航路参数均匀设计

通过均匀设计达到：

1. 仿真生成各种战术态势，驱动被试设备并实时提供所需的方位数据以及本艇的航速、航向等数据，实时采集被试装备解算出的目标运动要素，进行实时和事后数据处理，提供评定结果。

2. 纯方位解算目标运动要素在实际使用中，由于没有真值做比较，是很难准确知道收敛时刻的。依据均匀设计得到的典型航路，建议采用如下办法指示收敛时刻：通过大量模拟计算以及海上试验，求得某些典型航路的平均收敛时间，指控系统采取相应措施控制并及时给出收敛指示。指控系统及时给出收敛指示尚待研究解

决。

3. 海上典型试验航路选取：应用均匀设计理论，从满足约束条件的 D 域中挑选出 5 个试验点（5 条试验航路）；或从仿真试验航路参数均匀设计表中，选择 5 条以上（含 5 条）有代表性的试验航路，试验航路设置应能覆盖远、中、近距离，大、中、小舷角和高、中、低目标速度的各种态势。

（四）试验的因素和水平

选择因素和水平关系到一个试验能否成功的关键。它以保证估计值有一定的精度；保证估计值的可靠性；保证试验实施的经济有效为前提。在划分因素和水平时，既要考虑到实际需要，又要照顾到在实践中是否能保证实验的误差比较小。

1. 在某项试验过程中，有关的因素通常是很多的。有的因素取若干个水平，而有的因素是固定的，或者讲，他们只取一个水平。为了方便，通常这些固定因素在试验方案中并不称为因素，只有变化的因素才称为因素。

2. 在一项试验中，如何从众多的有关因子中挑选出试验方案中的因素？对于潜艇纯方位法解算目标运动要素，要考察的因素主要有初距（ D_0 ）、目标舷角（ Q_M ）、目标速度（ V_M ），每一因素取不同的水平。在试验现场，邀请工业部门、地方研究所、院校有经验的专家共同讨论决定。在一次试验中，因素不宜选得太多，也不宜选得太少。

3. 试验的范围应当尽可能大一点。对于仿真试验，试验范围大比较容易实现，达到全面考核的目的。如果试验在海上进行，由于受海区、水文气象等诸因素的影响，则试验范围不宜太大。试验范围太小的缺点是不易获得比已有条件有显著改善的结果。试验的范围大大不同于有经验的范围。

4. 若试验范围允许大一些，则每一因素的水平个数最好适当多一些。

5. 因素和水平的含意可以是广义的。

（五）应用均匀设计优化试验条件的一般程序如下：

1. 明确试验目的，确定某型潜艇作战系统有关指标及其意义。
2. 根据文献调研和预试验（仿真试验），确定影响考察对象结果的因素个数及其考察范围。
3. 根据实际需要和可能，划分各因素的水平数，组成因素水平表。
4. 选择合适的均匀表，根据其使用表的规定组成实际应用的均匀设计表。
5. 对号入座，将各因素的相应水平填入均匀设计表内，组成试验方案表。
6. 按照试验方案安排好的条件，进行试验，将结果填入试验方案后面相应的

栏目内。

7. 利用电子计算机,将各因素各水平对结果进行多元回归处理,求得回归方程式。
8. 结合实践经验及专业知识,分析方程;寻找优化条件;计算出预测的优化结果及其区间估计。
9. 按照优化条件安排试验。

三、试验点抽样及数学模型的建立

基本思想:应用均匀设计理论,将航路参数量化分档,抽取试验点,建立数学模型。求解的过程,实质上是一个调制与解调的过程。

将初距(D_0)上、下限定为 $160(l) \sim 60(l)$,每增加 20 链为一取样点;

目标舷角(Q_M)上、下限为 $65^\circ \sim 10^\circ$,等间隔取样;

目标速度(V_M)为高、低两档,对应 $18(k_n)$ 及 $6(k_n)$ 。

(一) 变换法

初距(D_0)因素取 6 个水平;目标舷角(Q_M)取 12 个水平;目标速度(V_M)取 2 个水平。需要指出:目标速度 $18(k_n)$ 和 $6(k_n)$,这是驱逐舰和潜艇试验的一般航速,并不意味着 $V_{M \max} = 18k_n$ 。从目前打击对象的目标速度来看,一般来说 $V_{M \max} > 18k_n, V_{M \min} < 6k_n$ 。

表 1 因素水平配方表

因素	水平	配比
目标舷角(Q_M)	12	0.6
初距(D_0)	6	0.3
目标速度(V_M)	2	0.1

于是:

$$X_1(Q_M): 0.50 \sim 0.70, (0.50 + 0.70) / 2 = 0.60$$

$$X_2(D_0): 0.25 \sim 0.35, (0.25 + 0.35) / 2 = 0.30$$

$$X_3(V_M): 0.05 \sim 0.15, (0.05 + 0.15) / 2 = 0.10$$

问题转化为,若一配方有三个成分 X_1 、 X_2 和 X_3 ,它们按 60%、30%、10%组成配方,寻求新的配比,我们希望设计一个试验,使

$$\begin{cases} 0.50 \leq X_1 \leq 0.70 \\ 0.25 \leq X_2 \leq 0.35 \\ 0.05 \leq X_3 \leq 0.15 \\ X_1 + X_2 + X_3 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

这时如何用均匀设计来给出试验方案呢？

令 $\{(C_{k1}, C_{k2}), k=1, \dots, n\}$ 为 C^2 中的一组分散均匀的点集，由变换公式可获得单纯形 T_3 上的一组点。因此， $\{(C_{k1}, C_{k2})\}$ 应满足约束条件：

$$\begin{cases} 0.50 \leq 1 - \sqrt{C_{k1}} \leq 0.70 \\ 0.25 \leq \sqrt{C_{k1}}(1 - C_{k2}) \leq 0.35 \\ 0.05 \leq \sqrt{C_{k1}}C_{k2} \leq 0.15 \end{cases} \quad (2)$$

上式约束成为

$$\begin{cases} 0.09 \leq C_{k1} \leq 0.25 \\ 1 - \frac{0.35}{\sqrt{C_{k1}}} \leq C_{k2} \leq 1 - \frac{0.25}{\sqrt{C_{k1}}} \\ \frac{0.05}{\sqrt{C_{k1}}} \leq C_{k2} \leq \frac{0.15}{\sqrt{C_{k1}}} \end{cases} \quad (3)$$

表 2 D 域边界线

No	C_{k1}	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16
1	$C_{k2} \geq 1 - \frac{0.35}{\sqrt{C_{k1}}}$	-0.166 7	-0.106 8	-0.055 3	-0.010 4	0.029 3	0.064 6	0.096 3	0.1250
2	$C_{k2} \leq 1 - \frac{0.25}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.1667	0.2094	0.2462	0.2783	0.306 6	0.331 8	0.354 5	0.3750
3	$C_{k2} \geq \frac{0.05}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.1667	0.1581	0.1508	0.1443	0.138 7	0.133 6	0.129 1	0.1250
4	$C_{k2} \leq \frac{0.15}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.5000	0.4743	0.4523	0.4330	0.416 0	0.400 9	0.387 3	0.3750

No	C_{k1}	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
1	$C_{k2} \geq 1 - \frac{0.35}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.151	0.175	0.197	0.217	0.236	0.253	0.270	0.285	0.300
		1	0	0	4	2	8	2	6	0
2	$C_{k2} \leq 1 - \frac{0.25}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.393	0.410	0.426	0.441	0.454	0.467	0.478	0.489	0.500
		7	7	5	0	5	0	7	7	0
3	$C_{k2} \geq \frac{0.05}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.121	0.117	0.114	0.111	0.109	0.106	0.104	0.102	0.100
		3	9	7	8	1	6	3	1	0
4	$C_{k2} \leq \frac{0.15}{\sqrt{C_{k1}}}$	0.363	0.353	0.344	0.335	0.327	0.319	0.312	0.306	0.300
		8	6	1	4	3	8	8	2	0

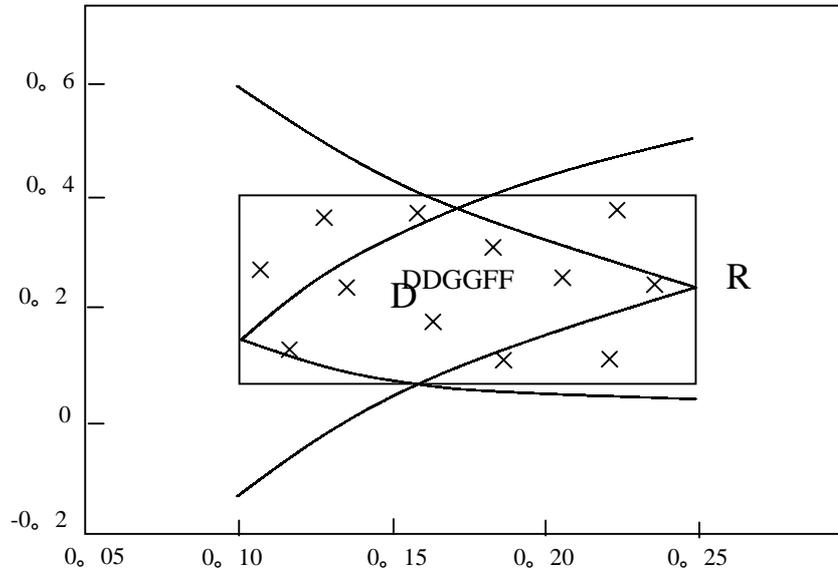
通过线性变换到矩形 R 上去，其变换为：

$$\begin{cases} C_{k1}^* = 0.09 + (0.25 - 0.09)C_{k1} \\ C_{k2}^* = 1/8 + (0.4 - 1/8)C_{k2} \end{cases}, k = 1, 2, \dots, 12 \quad (4)$$

表 3 有约束的配方均匀设计 (n=12)

No	1	5	C_1	C_2	C_1^*	C_2^*	X_1	X_2	X_3
1	1	5	0.0417	0.3750	0.0967	0.2281	0.6890	0.2400	0.0709
2	2	10	0.1250	0.7917	0.1100	0.3427	0.6683	0.2180	0.1137
3*	3	2	0.2083	0.1250	0.1233	0.1594	0.6489	0.2952	0.0560
4*	4	7	0.2917	0.5417	0.1367	0.2740	0.6303	0.2684	0.1013
5	5	12	0.3750	0.9583	0.1500	0.3885	0.6127	0.2368	0.1505
6*	6	4	0.4583	0.2917	0.1633	0.2052	0.5959	0.3212	0.0829
7*	7	9	0.5417	0.7083	0.1767	0.3198	0.5796	0.2859	0.1344
8	8	1	0.6250	0.0417	0.1900	0.1365	0.5641	0.3764	0.0595
9*	9	6	0.7083	0.4583	0.2033	0.2510	0.5491	0.3377	0.1132
10	10	11	0.7917	0.8750	0.2167	0.3656	0.5345	0.2953	0.1702
11	11	3	0.8750	0.2083	0.2300	0.1823	0.5204	0.3922	0.0874
12*	12	8	0.9583	0.6250	0.2433	0.2969	0.5067	0.3468	0.1464

注：打星号为落在 D 域内的试验点。见图—1 区域 D 和 R (n=12)



图—1 区域 D 和 R

表 4 调制解调表(变换法)

X_1	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60
$Q_m(^\circ)$	40	45	50	55	60	65	15	20	25	30	35
	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	
	40	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
X_2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35
$D_0(l)$	120	140	160	60	80	100	120	140	160	60	80
X_3	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
$V_m(\text{Kn})$	6	18	6	18	6	18	6	18	6	18	6

由调制解调表，满足约束条件 D 域内的 6 个试验点可解调出 6 条海上试验航路。对纯方位解算/纯方位量测条件下目标运动要素解算，一般取我艇速度 $V_w = 6k_n$ 。我艇舷角初值宜取 $Q_w = 0^\circ$ 左右。

用这种方法在满足约束条件下得到的 6 个均匀分布试验点，经调制解调后得到的 6 条准试验航路不可能都满足要求。依据纯方位解算目标运动要素海上试验航路要求，只能从中挑选满足要求的航路。

解决办法：增大 D 域内的选择空间。条件分布法，在相同约束条件下，应用

均匀设计软件(4.0版),直接在D域内进行设计。

(二) 条件分布法

根据需要进行比较的n个配方,应用均匀设计软件,直接在D域内进行设计。对于潜艇纯方位海上典型试验航路设计,n不宜取得很大,在设计调制解调表时,应体现有约束“加权”配方均匀设计思想。

对海上试验航路距离远、中、近说明:通常认为 $D_0 \leq 15$ 公里(80l)为近距离; $15 < D_0 \leq 20$ 公里(110l)为中距离; $D_0 > 20$ 公里(110l)为远距离。

令 $n=12$,即希望比较12个有约束条件的配方,从中选取5个以上(含5个)点作为纯方位海上试验航路。

表5 调制解调表(条件分布法)

X_1	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60
$Q_M(^{\circ})$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	
	65	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
X_2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35
$D_0(l)$	60	75	90	105	120	135	60	75	90	105	120
X_3	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
$V_M(k_n)$	18	18	18	18	6	6	6	6	18	18	6

初距 D_0 取6个水平,从60~135l,等间隔取样。目标舷角 Q_M 取12个水平。目标速度 V_M 取2个水平(拟水平)。

表6 有约束的配方均匀设计(条件分布法 $n=12$)

NO	X_1	X_2	X_3	$D_0(l)$	$Q_M(^{\circ})$	$V_M(k_n)$
1*	0.6678	0.2697	0.0625	90	± 35	18
2	0.6503	0.2539	0.0958	60	± 25	6
3	0.5765	0.3193	0.1042	75	± 50	6
4*	0.5258	0.3367	0.1375	105	± 25	18
5*	0.6179	0.3279	0.0542	90	± 10	18
6	0.6091	0.2618	0.1291	75	± 65	18

7	0.5601	0.2941	0.1458	120	± 40	6
8*	0.6350	0.2859	0.0792	120	± 20	18
9	0.5670	0.3455	0.0875	120	± 45	6
10	0.6098	0.2777	0.1125	105	± 65	6
11*	0.6268	0.3024	0.0708	135	± 15	18
12*	0.5684	0.3108	0.1208	60	± 45	6

纯方位解算/纯方位量测条件下目标运动要素解算，从中选取 5 个以上（含 5 个）点作为海上试验航路。

潜艇纯方位解算目标运动要素海上试验方案

表 7 海上试验方案均匀设计表

NO	X_1	X_2	X_3	$D_0(l)$	$Q_M(^{\circ})$	$V_M(K_n)$
1	0.6678	0.2697	0.0625	90	± 35	18
2	0.5258	0.3367	0.1375	105	± 25	18
3	0.6179	0.3279	0.0542	90	± 10	18
4	0.6350	0.2859	0.0792	120	± 20	18
5	0.6268	0.3024	0.0708	135	± 15	18
6	0.5684	0.3108	0.1208	60	± 55	6

注：目标舷角左负、右正。目标速度 $18K_n$ 为对水面驱逐舰目标， $6K_n$ 为对潜艇目标。第 6 条航路为对潜试验航路，按调制解调表，目标舷角 $Q_M(^{\circ})$ 应取 45，依据考核的充分性及海上试验实现的可能，取大舷角 55，这正是有约束“加权”配方均匀设计思想的体现。

（三）海上试验航路选择的依据

海上试验航路根据被试装备的研制任务书、技术规格书要求，兼顾考核的充分性和海上实施试验的条件要求来确定。根据声呐的有效作用距离、武器的射程范围和试验舰船的安全来确定本艇和目标的初始距离与结束距离。根据本艇和目标战时采用的航速范围来确定本艇与目标的航速。本艇的舷角按照有利于跟踪目标和解算的原则确定。目标舷角在考虑试验充分性的同时又要考虑有利于海上试验的实施。在综合考虑上述各因素的基础上选择 5 条以上（含 5 条）有代表性的试

验航路。

四、 仿真试验航路态势的生成

上述有约束的配方均匀设计有 4 条曲线围成的封闭 D 域，D 域落在 R 域中。在 R 域上给出均匀设计，其中落在 D 域上的点视为满足约束条件的配方均匀设计。这种设计（变换法）有一种局限性，即落在 D 域上的试验点不可控，也就是不能按照人的意图（需要）设计试验点。

一种新的有约束条件的配方均匀设计方法—条件分布法，只要给出约束条件（条件给的要合理，能围成封闭 D 域，对三因素而言。），就可以直接在 D 域内进行设计。这样就将它的实际应用大大地推进了一步。

对于实际使用来讲，一般要求因素的水平数要大于或等于 2 倍的因素数。如果给出的约束条件不合理，亦即围不成封闭 D 域（对三因素而言），那么这种新的有约束条件的配方均匀设计方法也无能为力。

一般给定了一组约束 $0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1, i=1, \dots, s$. 令

$$a_i := \max(a_i, b_i + 1 - b) \quad b_i := \min(b_i, a_i + 1 - a),$$

用上式修改后的 (a_i, b_i) 来定义 $T^s(a, b)$ 比较精确。

潜艇纯方位解算目标运动要素仿真试验方案：

$$s=3, \quad n=20$$

$$\begin{cases} 0.6 \leq X_1 \leq 0.8 \\ 0.15 \leq X_2 \leq 0.30 \\ 0.05 \leq X_3 \leq 0.15 \\ X_1 + X_2 + X_3 = 1 \end{cases}$$

由均匀设计软件（4.0 版），直接在 D 域内进行设计，再由表 8，得表 9。

由仿真试验调制解调表可知， $D_0(l)$ 的变化范围：从 $60l \sim 160l$ ； $Q_m(^{\circ})$ 的变化范围：从 $5^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ； $V_m(k_n)$ 取 3 个水平。这是真正意义上的“充满空间”（space filling）的试验设计。

表 8 仿真试验调制解调表

X_1	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70
$D_0(l)$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
X_1	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	

$D_0(l)$	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	
X_2	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
$Q_M(^{\circ})$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
X_2	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30						
$Q_M(^{\circ})$	60	65	70	75	80						
X_3	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
$V_M(k_n)$	6	12	18	6	12	18	6	12	18	6	12

表 9 仿真试验航路态势

NO	X_1	X_2	X_3	$D_0(l)$	$Q_M(^{\circ})$	$V_M(k_n)$
1	0.7254	0.1532	0.1214	125	± 5	12
2	0.6175	0.2963	0.0862	70	± 80	12
3	0.7251	0.1838	0.0912	125	± 20	12
4	0.7574	0.1613	0.0813	140	± 10	6
5	0.7297	0.1988	0.0716	125	± 30	18
6	0.7693	0.1688	0.0619	145	± 15	12
7	0.6435	0.2403	0.1163	80	± 50	12
8	0.6601	0.2438	0.0961	90	± 50	18
9	0.6873	0.2363	0.0764	105	± 50	6
10	0.6537	0.2094	0.1369	85	± 35	6
11	0.6691	0.2738	0.0571	95	± 65	12
12	0.6243	0.2336	0.1421	70	± 45	6
13	0.6745	0.2588	0.0667	95	± 60	18
14	0.6740	0.1944	0.1317	95	± 25	18
15	0.7339	0.2138	0.0524	125	± 35	6
16	0.6847	0.1680	0.1473	100	± 15	12
17	0.6112	0.2877	0.1011	65	± 75	18
18	0.6729	0.2159	0.1112	95	± 40	6
19	0.7043	0.1896	0.1061	110	± 25	6
20	0.6154	0.2581	0.1265	70	± 60	18

注：右舷为正。

根据研究问题的需要，改变约束条件可设计生成不同的航路态势。

电脑仿真试验成为统计试验设计的一个崭新的方向，要求“充满空间”的试验设计方法。均匀设计已成为电脑仿真试验的主要方法之一。

五、结论

“某型潜艇作战系统专项试验典型航路均匀设计研究”，以《潜艇纯方位解算目标运动要素性能评定方法》(GJB 4328—2002)为依据，在有约束(较苛刻)条件下，给出了它的有约束配方均匀设计。

有约束的配方均匀设计，试验点抽样及数学模型建立是关键。试验点的抽样决定约束条件的数学模型。而约束条件给的要合理，才能在D域内得到均匀分布的试验点。

均匀设计的核心思想，试验点在试验范围内的均匀散布。试验点选取(选择因素和水平)，关系到一个试验能否成功的关键。而从众多的有关因子中挑选出试验方案中的因素，又与设计人员对整个作战系统的掌握及海上试验经验积累有关。

对于海上典型试验航路设计，要根据其专项试验特点，精心挑选要考察的因素及其范围，决定因素的水平。纯方位解算中历来所提出的距离远、中、近是对纯方位解算收敛率而言。另外， $D \setminus V \setminus C$ 彼此不是独立而是相关的因素，在运用均匀设计方法来设计海上试验航路时，既要考虑 $D \setminus V \setminus C$ 相互关系和约束，同时在水平的选取上要考虑海上试验实现的可能，应根据海区、海况、水文条件以及试验的其它条件来设定。

应用均匀设计变换法、条件分布法设计生成的仿真及海上试验航路，已显示了它的科学及实用价值。在仿真试验设计方面，均匀设计将更加有用武之地。

要把仿真试验与海上试验结合起来，大量研究工作放在仿真试验上。在接近实战条件下的海上试验只是验证“仿真试验”的结果。

回归分析是均匀设计数据分析最主要的工具。均匀性是试验设计中最重要准则之一，“均匀性”不是我们追求的唯一目标。应用回归分析方法，优化试验设计，优质高效地完成试验任务，这是试验设计的核心所在，这方面有待更深入的研究探讨。

均匀设计在参数设计中潜力很大。如何将均匀设计巧妙地运用到工作实践中，解决不同的问题，取决于使用者对试验设计的理解程度。

根据某型潜艇传感器对目标探测距离有较大提高的特点,海上试验航路态势中初距 $D_0(l)$ 的选取应统盘考虑。目标舷角 $Q_M(^{\circ})$ 的选择,既要考虑考核的全面性,又要便于海上试验的实施。海上试验前,在试验协调会上,经研究协商,航路参数可做适当调整。

参考文献:

- [1] 方开泰著。均匀设计与均匀设计表 北京 科技出版社 1994 年
- [2] 方开泰,马长兴著。正交与均匀试验设计,科学出版社,2001 年

作者简介:本文作者系海军试验基地第 470 所高级工程师。

联系方式:办公电话 (0411) 5888070。