

71.57
880
13

DG61/19

水声设备选择导论

阎福旺 胡 颀 凌 青 编著
刘清宇 张宝华

海洋出版社

1999年·北京

序

《水声设备选择导论》一书全面系统地总结了水声设备论证及研制决策与管理的各个方面的技术，将多年来的实践进行了理论升华。它继承了水声设备论证及研制决策与管理的传统技术，同时又通过工作实践有了新的发展。对于水声设备论证及研制决策与管理所涉及的技术，本书均作了较深入的介绍，内容丰富，具有很好的可读性和很强的可用性。随着水声设备的需求发展及研制工作的进步，对论证和决策管理必将提出新要求，阅读该书将会使你受益匪浅，对于论证和决策管理的实际工作将有重要的指导作用。该书将成为一本水声学方面的重要论著，从而有力地促进水声设备和水声工程技术的发展。

长期从事水声研究的阎福旺及他的志士同仁用他们的长期辛勤劳动为广大水声工作者提供《水声设备选择导论》一书，这是对发展水声设备的重要贡献，也是对水声科技事业热中的表现。我们多年来所期盼的书终于由他们成章了。他们不负重托，对工作极端负责的精神永远是我们所钦佩的。我们对他们取得的成果表示祝贺，祝愿他们为水声事业的发展作出更大的贡献。

该书是迄今国内外较系统而全面地讲述水声设备论证及研制决策与管理等方面技术的论著，具有专业特色，内容丰富，相信此书定会受到广大读者厚爱。

我们再次衷心祝愿作者们在今后的水声科研工作中不断取得新成果，为水声事业的发展作出更多的贡献。

贾允梁 管维拉 顾锡喜 余 春

1998年2月

前 言

水声设备论证及研制决策与管理是保障水声设备需求和质量的重要工作环节,是水声设备发展中的关键工作。许多专家和高级决策人员为水声设备的发展作出了突出贡献,我们仅以此书献给为水声设备论证及研制决策与管理作出奉献的工作者,并希望它能为水声设备论证及研制决策与管理等方面的发展起到应有的作用。

本书全面而系统总结了水声设备论证及研制决策与管理的各个方面,内容丰富。全书共分十章:第一章,水声设备选择概论;第二章,水声设备选择的预测;第三章,水声设备选择最佳控制的数学分析原理;第四章,水声设备需求论证要则;第五章,水声设备的系统配置选择;第六章,水声设备技术总体方案选择;第七章,水声换能器及声阵的基本特征;第八章,信号处理设备的技术发展;第九章,数字计算机在水声设备中的应用;第十章,水声设备的可靠性。

阎福旺负责本书的全部编撰工作。其中胡颀参与起草了第五章,凌青起草了第八章,刘清宇起草了第九章,张宝华参与起草了第十章,其余各章均由阎福旺起草。在第一章中,借鉴了朱明洪、李永平和潘志坚的工作成果;在第四章中,借鉴了陈锦徽教授和汲长利的工作成果;在第六章中,借鉴了栾经德的工作成果;在第十章中,借鉴了孙乃宏和李秀峰的工作成果。

该书的前期工作从1981年开始。在起草过程中,曾受到已故的水声界老前辈焦洪彦的多次指导,在此我们用该书以表深切怀念之意。水声界老前辈余春审校了全部文稿并提出了宝贵意见,在此深表感谢。

在该书的编著过程中,始终得到赵登平和徐韬的大力支持和指导,为本书撰写工作的完成与稿件的完善创造了条件,在此深表感谢。

水声界老前辈贾允梁、管维拉、顾锡喜和余春为本书作序,这是给予作者们的信任、期望、极大鼓励与支持,在此亦深表谢意。

由于水平有限,书中错误或不妥之处在所难免,敬请读者指正。

编 著 者

1998年2月

目次

第一章 水声设备选择概论	(1)
1.1 经验型选择	(2)
1.2 科学型选择	(7)
1.3 统计模拟	(9)
1.4 设备研制周期的控制与管理	(16)
1.5 风险估计	(21)
1.6 费用-效能分析	(24)
第二章 水声设备选择的预测	(29)
2.1 预测的基本特征	(29)
2.2 预测的原理、依据和程序	(31)
2.3 预测的技术和方法	(34)
2.4 预测的结果、评价和作用	(42)
2.5 用于预测工作的数据资料要求	(44)
2.6 成功预测须知	(44)
第三章 水声设备选择最佳控制的数学分析原理	(46)
3.1 概念介绍	(46)
3.2 处理动态系统时将问题公式化的原则	(47)
3.3 离散时间状态的可控条件	(50)
3.4 连续时间状态的可控条件	(51)
3.5 连续时间选择过程的输出可控性	(52)
3.6 连续时间选择过程输出的最佳控制	(53)
3.7 分布参数系统的最佳控制	(58)
3.8 举例	(63)
第四章 水声设备需求论证要则	(66)
4.1 论证分类	(66)
4.2 论证程序	(67)
4.3 明确论证范围	(70)
4.4 权衡研究	(73)
4.5 取综合指标为效果判据	(74)
4.6 远期发展规划的制定	(75)
第五章 水声设备的系统配置选择	(78)
5.1 系统配置的使用效果估计	(78)
5.2 水声设备配系的技术体制发展过程	(89)
5.3 模块化分布式的技术体制	(90)

5.4	总体母线	(91)
5.5	水声设备信号处理器	(92)
5.6	终端显示设备	(94)
5.7	水声设备系统配置举例	(95)
5.8	德国阿特拉斯 CSU-3 小型多功能声纳系统配置的特点	(100)
5.9	美国 PADD 便携式多普勒声纳系统配置的特点	(101)
第六章	水声设备技术总体方案的选择	(102)
6.1	声纳方程的基本形式及参数选取	(102)
6.2	主动声纳发射信号波形的选择	(107)
6.3	发射机和接收机的基本模型	(109)
6.4	接收波束形成的选择	(110)
6.5	动态范围压缩与归一化	(115)
6.6	信号处理	(116)
第七章	水声换能器及基阵的基本特性	(129)
7.1	先进的水声设备要求水声换能器和基阵应具有的特性	(129)
7.2	对广泛使用的水声发射换能器的评价	(130)
7.3	对几种新型发射换能器的评价	(135)
7.4	对广泛使用的水声接收换能器的评价	(136)
7.5	对几种新型水听器的评价	(138)
7.6	基阵的基本形式和特性	(142)
7.7	分裂阵	(145)
7.8	宽带阵	(149)
7.9	非均匀组合阵	(151)
7.10	随机阵	(153)
第八章	信号处理设备的技术发展	(156)
8.1	由延迟线实现对数据的存储和移位	(156)
8.2	VLSI 信号处理器阵列	(160)
第九章	数字计算机在水声设备中的应用	(163)
9.1	用于声纳信号处理	(164)
9.2	用于声纳后置数据处理	(170)
9.3	声纳信号实时处理中对微处理机吞吐速率的要求	(173)
第十章	水声设备的可靠性	(175)
10.1	水声设备的可靠性与搜索效率的关系	(175)
10.2	提高可靠性的方法	(177)
10.3	水声系统可靠性考虑	(178)
10.4	系统的可靠性预测	(180)
10.5	可靠性指标分配	(184)
10.6	根据可靠性准则来选定设计方案	(187)
10.7	可靠性检验	(188)

10.8 水声设备可靠性分析中常用的一些方法.....	(190)
10.9 水声设备最优定期检修周期的确定.....	(193)
参考文献及资料	(197)

第一章 水声设备选择概论

水声学是研究声波在水中发射、传播、接收等规律的科学。用水声学原理制成的各种设备可统称为水声设备。水声设备发展至今,已有较长的历史。从1490年芬奇记载的单耳芬奇管的使用,即被动声纳¹⁾的雏形出现的时候起,到现在已成为功能齐全,结构复杂,数字化和自动化程度较高,在军事和海洋开发等方面得到广泛应用的水声设备。

在人们所熟知的各种辐射形式中,以声波在海水中的传播为最佳。在混浊和含盐的海水中,无论光波或电磁波的衰减都远较声波的衰减为大。因此,水声设备在水下探测、跟踪、定位和海洋开发等方面的应用将有着广阔的前景。

水声设备的工作方式可分为主动工作方式和被动工作方式两种。发射器发出声信号后,经过海水传递到目标,然后从目标以回波形式返回到水听器上。水听器将声能转换成电能。水听器输出的电信号经过放大和各种处理后,馈至控制和显示系统,从而完成主动工作方式;水听器接收目标辐射出来的声波,将声信号转换成电信号,再将水听器输出的电信号经过放大和各种处理,最后馈至控制和显示系统,从而完成被动工作方式。

水声设备的种类繁多,如按用途分类,可分为用于水下搜索、识别、攻击、侦察、测距、测深、通信、导航、鱼探、地质地貌测绘,以及遥测等方面的水声设备。这些水声设备在执行不同任务中,又常常形成具有几种功能的水声设备系统,以满足使用的要求。

通常,水声设备的性能可由以下主要指标来表征,如作用距离、测向精度、测距精度、方位分辨、距离分辨、工作频率、信号体制、显示方式与内容,以及可靠性等。由于需求不同,所以对水声设备性能指标的要求也不尽相同。为了满足使用的要求,获得最佳的使用效果,正确而合理地对水声设备进行选择是非常重要的。选择设备实际上是提出需求设备的优化要求,且使用户满意。当然,设备的优化选择必须以设置的合理判断为准则,以各种优化的方法为基础。

选择满足需求的最优的水声设备是以技术为基础的。因此,正确地实施技术总体设计,合理地选用新技术、新材料、新器件和新工艺等是至关重要的。另外,对选择的设备进行合理地配系使用,也是寻求设备优化的重要措施。

为了使水声设备的使用科学化,除了培养训练有素的操作人员外,确定最优检修周期是应该的。但因水声设备的使用效果在很大程度上受水下声学环境条件的左右,且直接受目标特性的约束,所以,熟知水下声学环境和目标特性,从而在使用上采取有效的措施,对提高水声设备的使用效果是非常有利的。

本书将对选择与使用所涉及的理论基础作重点描述,以作为选择和使用水声装备时

1) Sonar 一词在国标中称“声呐”,但在军标中一直使用“声纳”。由于本书读者很大一部分为军队职员,为使该术语与军内有关文献资料统一,本书仍按军标使用“声纳”,特此说明——编者。

的理论指导。设备选择是前端性的工作，是设备预测与决策的过程结果；设备的使用是末端性的工作，是设备选择后的最终目的。

本书是用户对水声设备选择与使用长期实践的总结，是设备的设计者和制造者交换信息的传输线，所以，它可以促进设备的设计与制造技术的深入发展。

水声设备选择通常指两个方面的内容：一是按需求提出满足一定使用效果的水声设备的设计制造要求；二是从现代的水声设备中挑选出满足需求且具有一定使用效果的设备。为了简单，依据需求中常用的一些经验公式或经验分析方法，提出水声设备设计制造中的粗略要求，或对现成的水声设备作简单的挑选。这可谓经验型的选择。为了权衡利弊，去劣求优，更切合实际需要，就要较科学地进行分析。这可谓科学型选择。一般情况下，对任何所需求的设备进行选择都离不开这两种类型的选择办法。

1.1 经验型选择

经验型选择因需求不同、追求的设备主要指标不同，有多种选择方法。通常，水声设备在各种需求中追求的主要指标多是作用距离。例如，如果是水下单波束搜索，其搜索的宽度为 L ，则此时所需水声设备的作用距离通常取 $3L$ 便可；如果水声设备跳跃式搜索，搜索时间为 T ，水声设备的作用距离为 d ，跳跃搜索圆的覆盖系数为 $1/2$ （即两个搜索点之间的距离与 $2d$ 之比）、由第一跳跃点到第二跳跃点的速度为 v ，所用时间为 t ，则此种水声设备的搜索速率为

$$\dot{S} = \frac{vt \cdot 2d}{T+t}$$

用经验型选择有时确实很方便，很直观，稍加思索就可把选择的要求提出来，或把水声设备的一般能力估出来。

1.1.1 水声侦察设备通常所需的作用距离估算

这种情况下的估算基于两点：一点是避免被对方发现。这就是说，水声侦察设备的作用距离应大于对方主动工作方式的水声设备的作用距离；二是当使用水声侦察设备进行侦察活动时，一旦处于对方搜索带中央这个最不利的位置时，要能使己方迅速逃出对方搜索带而脱险。这时所需水声侦察设备的作用距离是其执行任务所需的作用距离指标的下限。

今以所需作用距离指标下限为例进行估算。

设对方搜索带宽度为 H ，行进搜索的速度为 v ，进行侦察时恰处在对方搜索带中央最不利的位置，己方以速度 w 由垂直搜索带方向逃出搜索带。己方在用水声侦察设备进行侦察活动时，从处于搜索带中央位置到逃出搜索带所用的时间为 Δt 。此时，所需作用距离下限按下式估算：

$$D = v \cdot \Delta t$$

或

$$D = v \cdot \frac{H}{2} / w$$

图示如图 1.1。

1.1.2 遇到水下危险障碍时避碰水声设备所需最小作用距离的估算

水下有危险障碍是对水面和水下行船的较大威胁。使用避碰水声设备可以及早发现危险障碍而使水面或水下行船安全规避危险障碍。此时所需的避碰水声设备作用距离下限按下述方法估算：

设危险障碍的威胁半径为 R ，水面或水下行船的回转半径为 r ，行船向前行进的速度为 v' ，行船发现前方危险障碍后立即减速到 $\frac{3}{4}v'$ ，继续向前缓行。经过 Δt_1 后，用 $\frac{3}{4}v'$ 的速度回转规避，回转线与危险障碍威胁圆周正好相切。根据上述避碰过程，其避碰水声设备作用距离下限应为

$$d = \frac{3}{4}v' \cdot \Delta t_1 + R + \sqrt{2}r$$

图示如图 1.2。

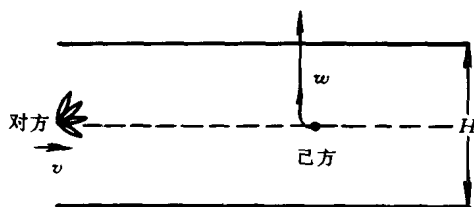


图 1.1

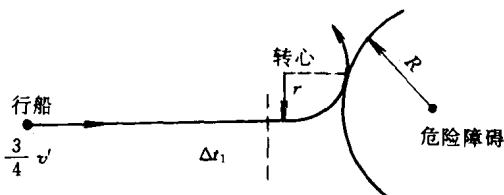


图 1.2

1.1.3 用水声设备作水下搜索时所需发现距离和跟踪距离的估算

对水下目标搜索和跟踪自然会涉及到最终对目标采取行动，所以，所需水声设备的发现距离和跟踪距离指标当然应该满足对目标采取行动所用手段对目标运动要素的需求。由于己方要经过对目标的发现、识别、跟踪及最后采取行动这样一个适当机动过程，加之机动过程中目标和己方的机动路线又各有所别，所以必须选择允许假设的机动路线，以求估算简单化。通常，认为目标没有发现自己已被捕捉时，目标会匀速直行，而己方的跟踪的航路是逼近目标的航路。上述过程如图 1.3。

图 1.3 中，设 EC 和 BC 、 BA 、 φ 、 θ 、 DE 均已知，则有

发现距离 $= DB + BA$

跟踪距离 $= DB$

用以下方程组求出 DB 即可：

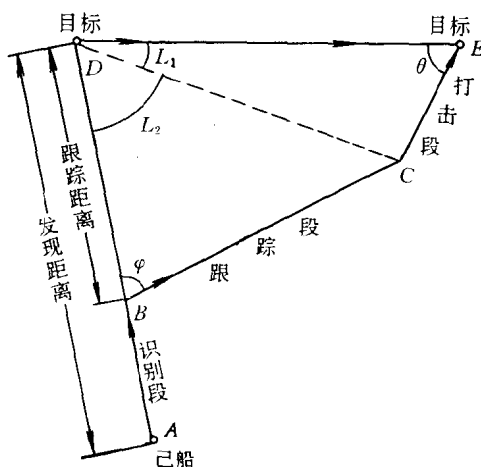


图 1.3

$$\begin{cases} DC = (DE^2 + EC^2 - 2DE \cdot EC \cdot \cos\theta)^{1/2} \\ \frac{EC}{\sin L_1} = \frac{DC}{\sin\theta} \\ \frac{DC}{\sin\varphi} = \frac{BC}{\sin L_2} \\ \angle DCB = \pi - L_2 - \varphi \\ DB = (DC^2 + BC^2 - 2DC \cdot BC \cdot \cos\angle DCB)^{1/2} \end{cases}$$

1.1.4 方位分辨力

方位分辨能力实际上就是水声设备对水下同时存在多个目标时,能否将多个目标区分开来,避免将多个目标视为一个目标。这显然与目标的机动情况和己船的机动情况有密切联系。为了估算简便,通常要做这样的假设,即己船为了仔细分辨,相应的行驶速度是慢的,而目标是按照自己需求去支配自己的机动速度,所以可以认为己船的位置没变化,只是目标的位置有变化。同时,我们把多目标相对静态时的位置分布当作单个目标机动所得一系列位置的集合,所以,估算方位分辨能力时只看能否将单个目标由水下一点到另外一点的位置变化分辨出来,如图 1.4 所示。

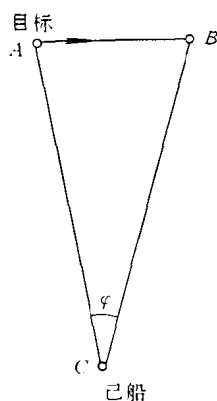


图 1.4

目标在给定的时间间隔内以某一速度由 A 点机动到 B 点;在同样的时间间隔内,己船基本相对 C 点稳定而对目标进行观察。由于 AB 较短,当在远距离观察时,可认为己船水声设备的作用距离 AC 与 BC 相等,此时,己船水声设备的方位分辨力由下式确定:

$$\varphi = AB/AC \text{ (rad)}$$

1.1.5 水下石油井口位置的估算

水下石油井口开凿完后有时要暂时封存起来,以备今后开采石油。为了便于开井口采油,通常在封井时要在井口上方安装好应答器,将来采油船到井口上方再用相应的水声设备召唤应答器,从而开井采油。在这种情况下,通过油船的有规则的机动和接收封闭井口的应答器信号就能确定井口的具体位置。动作过程如图 1.5 所示。

根据图 1.5,采油船以某一速度规则机动,采油船上的水声设备在距 C 点 AC 距离的 A 点收到井口的应答信号;机动到 B 点时,在距 C 点 BC 距离 B 点处收到井口的应答信号。由于采油船规则运动,所以 AB 为已知。依上可有井口位于采油船的舷角,由以下方程组选择组

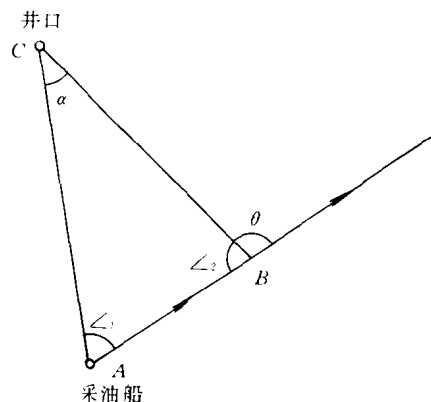


图 1.5

合的解：

$$\begin{aligned}\frac{AC}{\sin \angle 2} &= \frac{BC}{\sin \angle 1} = \frac{AB}{\sin \alpha} \\ AB &= (AC^2 + BC^2 - 2AC \cdot BC \cdot \cos \alpha)^{1/2} \\ BC &= (AB^2 + AC^2 - 2AB \cdot AC \cdot \cos \angle 1)^{1/2} \\ \theta &= \pi - \angle 2\end{aligned}$$

对采油船上水声设备定向精度的要求应能测准井口的位置，而这依赖于采油船上水声设备的测距精度和导航设备的精度。

1.1.6 距离和方位同时分辨能力

在方位和距离上同时分开两个相邻目标的能力，通常是分辨水雷所必需的。由于两个相邻水雷总是按一定规律排列的，所以分开的最小距离决定于避免碰撞的要求。两个水雷的间隔决定于水雷本身的性能、水雷警戒线能遇到目标的公算、水雷防串炸的距离等因素，如图 1.6 所示。

图中 A 和 B 为相邻两水雷， K_1 和 K_2 为两个观测点。可以看出，当观测线与水雷线成一定角度时，会有方位分辨与距离分辨的分界。当观测方位与水雷线的夹角小于 α_m 时，应从距离上分辨两个水雷；当夹角大于 α_m 时，应从方位上分开两个水雷。可以把 α_m 称为分界角。距离上的分辨力由所使用的脉冲信号宽度的上限决定，方位分辨力决定了方向性角。

设两个水雷之间的距离为 R ，则有

$$\sin \gamma = \frac{R \sin \alpha_m}{d}$$

$$z_{\max} = \frac{2R \cos \alpha_m}{c}$$

式中： $z_{\max}$ ——脉冲宽度上限。

若必须达到两者均能分辨的要求，则 α_m 必须存在。变换上述两式，消去 α_m ，可有

$$z_{\max} = \frac{2R}{c} \sqrt{1 - \frac{d^2}{R^2} \sin^2 \gamma}$$

由此式可看出方位和距离同时分辨时的依存关系。若距离分辨已确定，则方位分辨随之相应地确定。

1.1.7 搜索步距角的考虑

当实现圆周全向扫描的难度较大时，一般在简单的水声搜索设备中，可考虑步距搜索。因此，步距角的确定就成为重要的工作。由于步距角的大小会影响有效舷角和有效搜索宽度，所以，适当选定步距角是非常必要的。当步距角大时，虽然可以缩短搜索预定扇面的时间，但必须要增大方向性角或增加预成波束数；如果步距角太小，则搜索预

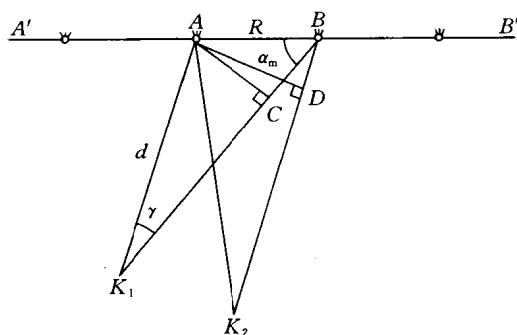


图 1.6

定的扇面时间增长,减小有效搜索宽度。因此,必须根据具体情况而合理地选择。在选择步距角时,通常考虑下列因素:

- (1) 应保证有足够的有效搜索宽度;
- (2) 要尽可能保证有较好的方向性;
- (3) 保证在较高航速时能对同一区域有重复搜索。

现分析下列方程:

$$\sin(\alpha-\theta) = \frac{1}{d\omega}(v_s + v_k \sin\alpha)(\theta + \beta)$$

式中: ω ——基阵的平均旋转速度(对于机械旋转或电旋转而言);

θ ——有效搜索舷角,它小于单波束搜索时的搜索扇面角;

α 、 β ——规定的搜索扇面角;

d ——设备的极限有效观察距离;

v_s ——目标速度;

v_k ——本平台速度(安装水声设备的平台)。

如设定 α 、 β 、 d 、 v_k 及 v_s 各值,可以不同的搜索步距来计算 Q 和有效搜索宽度 B 。 $B = 2d\sin\theta$ (设定为对称搜索)。

设 $W = \frac{\alpha + \beta}{T}$ [(°) /s], T 为搜索预定扇面所用的时间, $T = 0.25dh + \frac{2(\alpha + \beta)}{\gamma}$, $h = \frac{\alpha + \beta}{\Delta} + 2$, Δ 为步距角, r 为换能器的实际旋转速度,由此可初估搜索步距角 Δ 。

1.1.8 由设备的测向和测距误差去估计对目标的航向和航速的影响

用水声设备测定目标位置时,位置点的散布通常服从正态分布规律。位置散布椭圆的大小由设备的测向和测距误差决定。散布椭圆的一个轴沿着测距方向,另一个轴则垂直于这个方向,如图 1.7 所示。

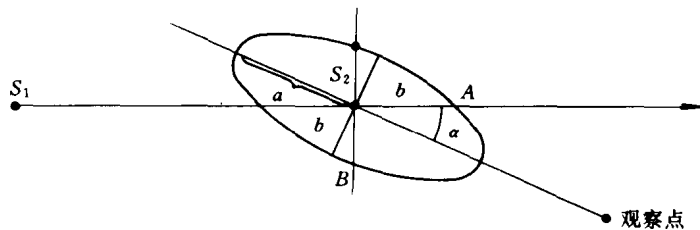


图 1.7

图 1.7 中目标位置 S_2 的散布椭圆中, α 是目标舷角, a 是测距误差, b 是测向误差。目标由 S_1 位置运动到 S_2 位置。

则速度的中央误差

$$E_v = \frac{S_2 A}{\Delta t}$$

航向角的中央误差

$$V_\alpha = \frac{S_2 B}{\Delta t}$$

式中: $S_2 A = [(a \cos \alpha)^2 + (b \sin \alpha)^2]^{1/2}$;

$S_2 B = [(a \sin \alpha)^2 + (b \cos \alpha)^2]^{1/2}$ 。

Δt ——测定的时间间隔。

上述讨论尚未考虑水文条件,实际上水文条件的随机变化是存在的。所以,在初估过程中应适当考虑一些典型的水文条件的变化。

1.1.9 重叠观察区域宽度的估算

对某一区域实施搜索时总是希望既能保证搜索的可靠性,又能节省设备的投入。但是,通常这是矛盾的。为了平衡这样的矛盾,可以把设备的性能、平台的运动和对目标运动的测量等三个因素进行合理的选择。我们将设备的观察区域认为是以设备的有效观察距离为半径的观察圆(如果启用设备的平台是边行进边观察,则观察区域实际上是一条有一定宽度的搜索带)。为了保障可靠的观察,就需使观察区域覆盖重叠一部分。通常,观察域的重叠程度以重叠系数 k 表示,若观察圆的半径为 d ,两观察圆之圆心距离为 $k_1 k_2$, 则 k 由下式确定:

$$k = \frac{k_1 k_2}{2d}$$

k 值越大,表示重叠的越少;反之,重叠就多。

由此,重叠观察区域的宽度 b 由下式得出:

$$b = 2d(1 - k)$$

1.2 科学型选择

所谓科学型选择,从直观理解而言,它已脱离了经验型选择的范畴,是从教学分析、统计模拟、风险决策等方面提出对水声设备的优化要求与需求选择。因为经验型选择对水声设备的需求,仅仅是对指标的估算,只是对指标的粗劣选择,没有严格的计算,有的仅是凭经验,所以科学型选择从严格的预测需要来说是非常必要的。随着对决策科学化的迫切要求,科学型选择已在各种设备的选择中引起了人们足够的重视。科学型选择发展至今,已经出现了各种相应的理论和方法。由于待选择的设备不同,这些理论和方法的使用都随着待选择设备的特点而得到了相应的扩展。无论怎样,理论和方法的基本点是一致的。基于此,本书仍应介绍一些基本的理论和方法。至于使用中对特殊要求的特殊处理,则应由科技决策人员去发挥与扩展。

科学型选择的实施基本是将使用水声设备过程的物理现象首先进行较真实的描绘,对于确定下来的物理模型进行高度的数学抽象,以形成较严谨的数学模型,然后进行数学分析、统计模拟和各种有关的估计,最后再根据相应的判据约束进行最终的选取和确定。

1.2.1 搜索设备与探测概率

搜索设备是用来发现水下目标的设备。这种设备的主要性能应依统计分析的方法而得以实现。

对于一部主动声纳而言,以间隔 ΔT 发射出搜索信号,在 n 次搜索中至少有一次探测到目标的概率可表为

$$P_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i)$$

式中: q_i ——第 i 次搜索信号发出后探测到目标的概率。且

$$q_i = q_i(\Delta T, \Delta \tau, W)$$

式中: ΔT ——重复周期;

$\Delta \tau$ ——主动搜索信号宽度;

W ——信号功率

如果在 n 次搜索中每次探测到目标的概率都相同, 则可有

$$P_n = 1 - (1 - q_i)^n = 1 - (1 - q)^n$$

当 $q_i = q$ 足够小时, 可有

$$P_n \approx 1 - \exp(-nq)$$

如果目标探测概率主要取决于到目标的横向距离 R , 则可以使用方程

$$P(R) = 1 - \exp[-F(R)]$$

式中: $F(R)$ ——横向距离 R 的适当函数。

若要使设备的最大探测距离达到最大值 R_m , 可有如下探测概率的表示式:

$$P(R/R_m) = 1 - \exp\left[-k \arctan\left(\sqrt{R_m^2 - R^2}/R\right)\right]$$

式中: k ——待确定的系数, 通常与目标的横截面积和设备的搜索宽度有关。

1.2.2 作用距离、信噪比与探测概率

在一定的检测门限下, 探测概率与信噪比有密切关系, 而信噪比与相应的作用距离有关。通常, 在被动搜索中, 可有

$$P = P(S/N)$$

而 S/N 由下式确定:

$$SL - NL - TL + G_s + G_T - M = S/N$$

式中: SL ——目标的辐射信号级;

NL ——设备的检测背景级;

G_s ——设备的空间增益;

G_T ——设备的信号处理增益;

TL ——介质的传输损耗;

M ——识别系数。

通常

$$TL = F(d^n, f)$$

式中: d ——作用距离,

n ——信号的衰减规律;

f ——设备的工作频率。

由于不同的作用距离需要由接收设备用一定的信噪比去保障, 所以在设备的选择中总是与本身所能实现的探测概率紧密相关联。当探测目标时, 由于设备所处的平台以不同的方式去接近目标, 所能实现的作用距离是各异的, 探测效果也就不同了。按照这样的原则去选择设备所需的作用距离, 自然是在满足一定使用效果的前提下选择的。

1.2.3 计算机辅助分析

在科学的选择中, 很大程度取决于某种使用效果下的统计分析。既然是统计分析, 那

么就必然要做大量的分析与计算工作。计算机的高速发展，为科学的选择提供了强有力的辅助分析手段。

计算机辅助分析通常用于三个主要方面，一是计算，二是使用效果评估，三是设备需求与选择。计算机辅助分析的步骤一般分以下几个阶段：

- (1) 建立数学模型；
- (2) 建立数据库（或确定参数范围）；
- (3) 编制辅助分析程序；
- (4) 确定约束条件（或判据）；
- (5) 计算机辅助分析实施。

如果是纯计算工作，则也包含经验型选择工作中的较为复杂的计算工作。计算机辅助分析框图如图 1.8 所示。

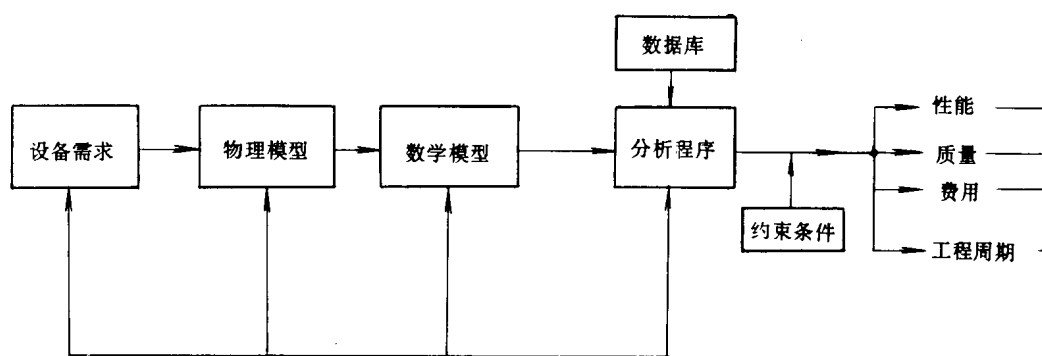


图 1.8

计算机在辅助设计和辅助分析中的应用已使人们脱离了人工制图和电算的某些传统方式，使设备需求选择的分析更趋合理。计算机辅助分析从某种角度来说统计模拟的前期工作，它为模拟工作提供相应的子程序。

系统参数表征的多变性，反应了系统的复杂性。这种系统只有采用计算机作辅助分析，才能全面地分析出该系统的各有关参数指标。

辅助分析是从系统或事件的观察开始，由观察、认识和考虑进而确立假说。假说是对系统行为的尽可能的描述。建立模式可被解释为假说叙述的扩张和形式化。数学模式非常抽象，正因抽象才普遍地应用。因此，辅助分析是科学的方法，其根本在于模式的建立。

1.3 统计模拟

我们详细分析设备的真实使用情况之后，通过典型使用规律的确定，而将设备使用的物理模型选定下来。设备使用的物理模型实质就是设备使用过程的物理抽象。在物理模型的基础上再建立数学模型，根据数学模型去做模拟工作。为了使模拟工作能更好地符合实际情况，需要重复建模和调模的工作，直至最后能够比较真实地模拟，如图 1.9 所示。

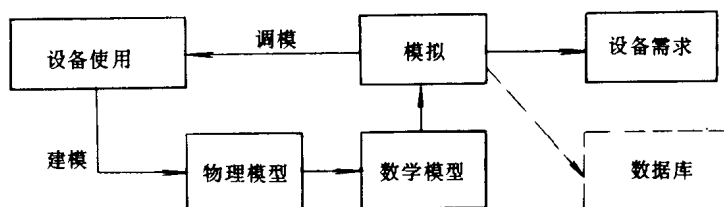


图 1.9

统计模拟实施中的正向问题意指当模型建好之后大量地随机投入参量，而得出大量相应的设备需求指标，这是大家所熟悉的蒙特卡罗法；反向问题则意指先选择设备所需求的适当少量的指标，投入模拟后，看这样指标的设备是否得到比较满意的使用效果。正向问题的统计结果会显得更真实些，但模拟的工作量比较大；反向问题的统计结果会显得稍差些，但可大大地简化计算工作，故仍是统计模拟法对设备选择的基本手段。反向问题的典型实施办法是对数学分析的结果进行统计检验。正向问题的实施框图如图 1.10 所示。

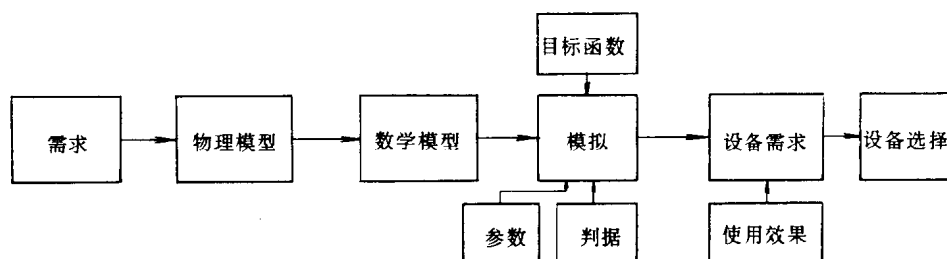


图 1.10

反向问题的实施框图如图 1.11 所示。

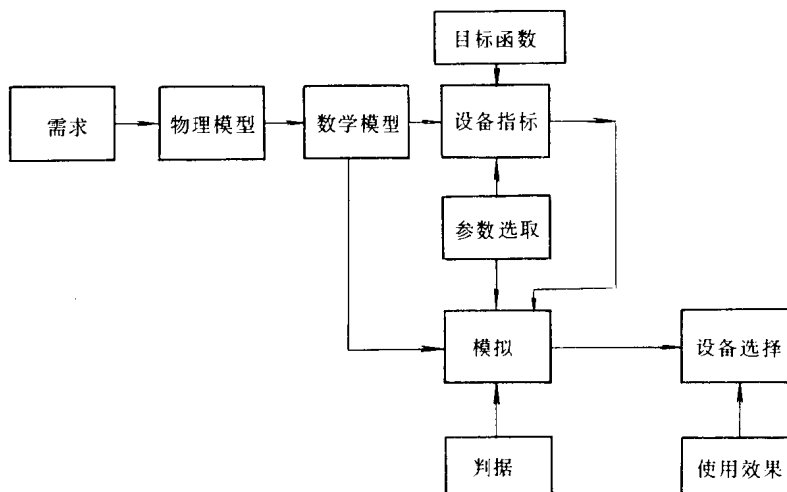


图 1.11

1.3.1 目标函数与判据

在统计模拟中，正确地选择目标函数和判据是非常关键的。所谓目标函数通俗地讲，

是统计模拟中所追求的使用效果的量度,如探测设备所追求的探测概率、使用设备的双方进行对垒的交换比等等。在确定目标函数的具体形式中,有时要依据设备的技术性能和使用的需要而决定。如探测概率为目标函数时,则具体形式可由信噪比的表示函数来充当,或直接选用探测接收设备的工作特性曲线所对应的函数形式。总之,目标函数选取的具体形式必须简单明确,物理意义直观。

判据是模拟过程中的各种约束条件的具体体现。它将使模拟过程向着某个指定的方向发展,或到达某种程度后就终止。这种判据可以是满足客观需要的一种硬性规定,也可以是为达到某一目的而加的客观约束。例如,对于探测设备的使用,在模拟过程中,只要被探测的目标处于探测设备的相应探测范围和探测距离之内,便可认为目标被探测到,从而使模拟成功探测的次数可按此判据进行累加,以至最后统计出整个模拟过程中成功探测的概率。有时在模拟中某个环节涉及的客观约束较多时,便使判据本身复杂化,这就需要对各种判据进行分析比较,而后简化判据,这种简化不允许危及事物的本质。

在各种各样的统计模拟过程中,客观约束和使用的要求均是多样的,所以目标函数和判据的选取有多种形式。无论怎样,在统计模拟中必须按符合客观规律、满足实际需要进行目标函数和判据的选取。

1.3.2 数学模型

在物理模型基础上建立的数学模型是进行统计模拟的程序基础,它通常由三个部分的数学模型组成,即设备操纵员动作的数学描述、目标运动的数学描述和环境参量变化的数学描述。这种在同一参考系里建立的数学模型一般用来描述声纳在使用中的整体运动过程。只有这样,才能使己、彼、环境这三者的运动有机联系在一起,从而使数学模型成为一个大型方程组的形式。

由于物理模型不同,实现模拟的数学模型的复杂程度也各异。通常,采用近似法来使数学模型简化,如将操作员的行为设定为典型曲线所衔接的,将环境的变化设定为确定型的等等。

由于物理过程的复杂性及参变因素的多样性,所以数学模型的建立又往往是很困难的,无法形成条理的数学模型,而只能在物理模型的基础之上,将某个难以形成数学模型的环节离散成多个参变因素去参与实际的模拟过程,以弥补数学模型的不足。

数学模型的建立应与目标函数及判据的选取有着互相依赖的关系。这种关系通常是指参变量的一致性,即参变量的物理意义一致、参变量所涉及效果一致。适合的数学模型应以目标函数和判据为隐函或是显函。

在模拟过程中出现数学模型与目标函数和判据有不相容之处时,就难以达到预定的模拟效果。出现这种情况一般是因目标函数和判据的选取不当所致。

既然是统计模拟,那么数学模型中的随机规律的取定是非常重要的。因为只有设定出合理的随机规律,才能使模拟的统计特性显得更真实。为了简便,通常是以正态规律或均匀分布的办法建立数学模型中的随机规律。这在大多数情况下是物理近似所能容忍的。