

海洋动物行为控制技术分析及应用

杨尚飞, 林龙信, 叶 飞
(海军研究院, 北京 100161)

摘 要 以海豚、海狮、鲸等为代表的海洋动物具有发达的大脑,具备天生的潜水和超声波定位等卓越本领。利用海洋动物的这些特性及通过训练养成的反射动作,可以完成人类或水下航行器无法完成或难以完成的任务。海洋动物行为控制技术则是实现上述功能的关键。通过对国外海洋动物部队及海洋动物行为控制技术的研究,从运动行为、条件反射和神经类型等方面分析了海洋动物行为控制技术的基本机理。在此基础上,分析了操作性条件反射和人工电刺激等两种主要的行为控制方法,提出了海洋动物行为控制技术的未来可能应用方向。研究表明,以正强化为主导的操作性条件反射方法在各国海洋动物控制实践中占据主要地位,而人工电刺激方法的研究则稍显迟滞且成功的应用实例较少。可以预见,海洋动物行为控制技术在未来的海洋争夺中必将发挥越来越重要的作用。

关键词 海洋动物;行为控制;操作性条件反射;人工电刺激

中图分类号 E916 **文献标识码** A

Analysis and Application of Marine Animal Behavior Control Technology

YANG Shangfei, LIN Longxin, YE Fei
(Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China)

Abstract Marine animals represented by dolphins, whales, and sea lions have well-developed brains, and have natural outstanding abilities such as diving and ultrasonic positioning, etc. Making use of these characteristics and the reflection action formed by training of manne animals, missions which can not be done to complete by human being or underwater vehicles or difficult are able to be accomplished. The marine animal behavior control technology is the key point to realize the above functions. Based on the study of marine animal force and marine animal behavior control technology of foreign countries, the basic mechanism of marine animal behavior control technology is analyzed from the motion behavior, conditioned reflex, nervous type, etc. Then, two main behavior control methods which named operant conditioning and artificial electrical stimulation are analyzed, and the possible future application directions of the marine animal behavior control technology are presented. It is indicated that operant conditioning method with positive reinforcement as the dominant occupies the primary position in the practice of marine animal behavior control, while the research of artificial electrical stimulation method is lagging behind slightly with few example of successful application. It is predictable that marine animal behavior control technology will play a more and more important role in the future sea battle.

Key words marine animal; behavior control; operant conditioning; artificial electrical stimulation

0 引言

以海豚、海狮、鲸等为代表的海洋动物具备天

生的潜水和超声波定位本领。经过训练后,这些海洋动物可以按照指令在公海活动;它们灵敏的听觉和潜水本领,可以完成人类或水下航行器无法完成

或难以完成的任务。同时,海洋动物的行动不受水下能源供应限制,且具有良好的机动性和隐蔽性^[1]。

上述特点使得海洋动物在军事和民用领域具有重要的发展前景。在一些国家中,海洋动物已成为海军武装力量的一个特殊“兵种”。利用海洋动物的本能及通过训练养成的反射动作,教会它们某些军事技能,使其为战争服务,是海军军事力量发展的重要内容。

海洋动物行为控制技术则是实现上述目标的主要关键技术。控制海洋动物的行为是一项复杂的系统工程,涉及生物学、生理学、MEMS 技术、控制技术、通讯技术、传感技术等诸多领域。本文主要对海洋动物的行为控制机理及海洋动物行为控制的主要方法和关键技术进行研讨,分析海洋动物行为控制的国外研究现状,并提出海洋动物行为控制技术的未来可能应用方向。

1 国外研究现状

20 世纪 60 年代初,美国海军成立了海洋哺乳动物研究试验基地。圣迭戈海军基地的海洋系统中心,有百余只海洋动物在“受训”。经过多年的研究和训练,美国已初步建立一支主要由海豚、海狮和鲸组成的海洋动物特种兵,辅助完成了越南战争期间在金兰湾阻击越南潜水员、海湾战争前夕赴波斯湾反水雷等作战任务^[2-4]。

2006 年,美国海军水下战中心启动“鲨鱼特工”研究,通过在鲨鱼大脑中植入微型电极来遥控鲨鱼的行为,将其变成动物机器人,秘密跟踪敌方舰船运动,完成各种危险的间谍任务。

2010 年,美国海军在弗吉尼亚州海岸训练了一支由数十只海狮、海豚和巨鲸组成的海洋动物搜爆部队,其主要任务是反水雷,同时也能够在水下制服恐怖分子。

20 世纪 80 年代中期,苏联海军开始模仿美国海军,制定“海洋哺乳动物系统”计划,秘密训练海洋哺乳动物,设立了卡查亭湾和海参崴 2 个训练中心。1990 年初,卡查亭湾中心驯养着大约 100 只海豚、34 头海狮和 2 只白鲸。海豚大部分被训练

成“看门狗”,而白鲸则用于执行自杀性任务。目前,北方舰队已拥有一支由 15 只受过良好训练的海豹组成的小规模“水下特种分队”。它们在水下值班放哨,不受严酷天气的影响,确保了战略核潜艇的安全^[5]。

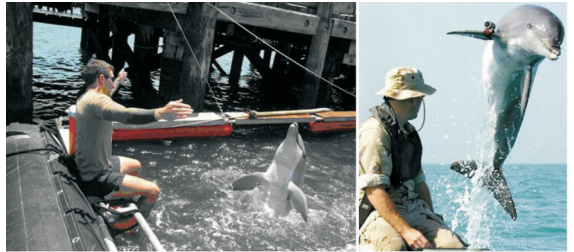


图 1 美海军战士对海豚进行训练

Fig. 1 US naval soldiers train dolphins

印度也是全球能够指挥海豚从事深海任务的极少数国家之一。现已拥有若干技术纯熟的海豚,并成立“海豚特种部队”,专门在敌人舰船下放置具有强烈附着力的炸弹,进行攻击与破坏任务。

2 海洋动物的行为控制机理

2.1 海洋动物行为类型

海洋动物的行为主要分为反射运动、模式运动和意识运动等类型。其中,反射运动由外界刺激引起,运动形式固定、反应快捷;模式运动是指运动形式固定的周期性运动,具有时空对称的表征,如游动;意识运动则具有明确的目的性,运动形式比较复杂,主要受主观意识的支配。这三种运动行为并不是绝对独立的,海洋动物的许多行为往往涉及到上述多种运动的综合作用。

研究表明,反射运动是海洋动物中枢神经的基本活动形式,主要包括条件反射和非条件反射两种类型。按照巴普洛夫的条件反射理论,条件反射是在一定条件下,外界刺激与有机体反应之间建立起来的暂时神经联系,而非条件反射是条件反射形成的基础。由于非条件反射的内部机理复杂,短期内难以在动物行为控制中得到应用,故本文仅针对条件反射进行讨论。条件反射的建立,极大地扩大了动物机体反射活动的范围,增加了动物活动的预见性和灵活性,从而使动物更能精确的适应环境变化^[6]。

2.2 海洋动物的条件反射

通常情况下,海洋动物的行为控制主要是通过人工电刺激等各种训练方法,训练海洋动物形成条件反射运动,刺激带动其模式运动,并发挥其本身具备的优良特性,完成人类或水下航行器无法完成或难以完成的任务。因此,着重从条件反射运动研究海洋动物的行为控制机理。

1) 条件发射的形成。

条件反射建立在非条件反射的基础上。形成条件反射的基本条件为:①无关刺激与非条件刺激在时间上的反复多次结合;②无关刺激必须出现在非条件刺激之前或同时;③条件刺激的生理程度比非条件刺激要弱。

以海豚进食小鱼为例。小鱼是非条件刺激,哨声为无关刺激。但若在每次喂食小鱼之前先出现一次哨声,然后再喂食小鱼,则多次结合之后,当哨声一出现,海豚即会出现进食反应,哨声便成为了条件刺激。这种建立条件反射的过程称为强化,这种条件反射又称为经典条件反射。

与此相对应,还存在操作性条件反射,要求动物完成一定的操作。例如,海豚偶尔顶到悬挂在上方的皮球时,即喂以小鱼,强化这一操作,如此反复多次,海豚即可学会顶皮球而得食。然后在此基础上进一步训练海豚,只有当出现某一特定信号(如手势)后顶皮球,才能得到小鱼。此类条件反射的特点是动物必须通过自己完成某种运动或操作后才能得到强化,故称为操作性条件反射^[7]。

2) 条件反射的消退。

条件反射建立后,如果反复应用条件刺激而不给予非条件刺激,条件反射就会减弱,最后完全不出现,称为条件反射的消退。一个正在进行的条件反射,有可能被突然出现的一个新的强刺激而被抑制,使该条件反射暂时消退。条件刺激太强或作用时间太久,也会抑制正在进行的条件反射。总之,为了建立条件反射,使用的条件刺激要固定,强度要适宜,而且要经常用非条件刺激来强化和巩固。否则,已经建立的条件反射也会因受到抑制而逐渐消退。

在海豚、白鲸或其他动物的实际训练中,经常

会碰到这样的情况:一个训练动作动物已经训练一段时间并已基本掌握,但突然在某天或某个时段动物似乎忘却了这个动作,需要重新加以训练或引导,这称为暂时性失忆。

2.3 海洋动物的筛选原则

在实践中经常可观察到,相同种类的不同动物个体在形成条件反射的速度、强度、精确性和稳定性方面,以及对疾病的抵抗力、对药物的敏感性和耐受性等方面,都存在着明显的个体差异。这种因大脑皮层的调节和整合活动存在的个体差异,称为神经活动类型,一般简称为神经型^[8-9]。

海洋动物的基本神经型主要包括兴奋型、活泼型、安静型和抑制型。其中,兴奋型的特点是兴奋和抑制都很强,但比较起来,兴奋更占优势;其行为表现是急躁、暴烈、不受拘束和带有攻击性,能迅速建立比较巩固的条件反射,但精确性较差。活泼型的特点是兴奋和抑制都强,且均衡发展,互相转化比较容易且迅速;行为表现为活泼好动,对周围发生的微小变化能迅速反应,精确性高,能适应环境的复杂变化,最适宜开展行为训练。安静型的特点是兴奋和抑制都强,发展也比较平衡,但互相转化比较困难而缓慢;行为表现为安静、细致、温顺、有节制,对周围变化反应冷淡,能很好地建立精细的条件反射,但速度较慢。抑制型的特点是兴奋和抑制都很弱,一般更容易表现为抑制;行为表现为胆怯、不好动、易疲劳,常常畏缩不前并带有防御性,一般不易形成条件反射,形成后也不巩固,不能适应复杂变化的环境,也难于胜任较强和持久的活动。

因此,为了使海洋动物具备经过人类训练后完成指定任务的可靠能力,在海洋动物筛选时主要关注基本神经型为活泼型的海洋动物,如海豚、海豹、海狮、海象、白鲸等。

3 海洋动物行为控制的主要方法

如上所述,海洋动物行为控制主要是训练养成其完成特定任务的条件反射,因此,行为控制的主要方法即条件反射的训练养成方法。从各国实践来看,海洋动物行为控制主要包括操作性条件反射

桨,执行任务。

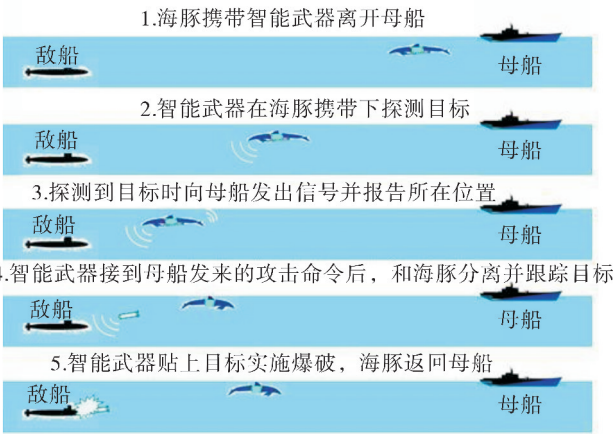


图 3 海豚执行远程深海任务构想图

Fig. 3 Conception diagram of dolphins performing long-range deep-sea missions

需要指出的是,不同应用的执行过程可能有所不同,但利用海洋动物行为控制技术控制海洋动物执行军事任务的核心均是海洋动物接受母船操控指令,携带不同的任务载荷向目的地出发,利用携带的传感器探测目标,向母船发出信号报告当前位置及态势,由母船指挥中心判断是否执行任务。接收到母船命令后,启动自动分离装置将任务载荷与海豚分离,由任务载荷执行相应的任务。

海洋动物行为控制技术的发展,使我们可以充分利用海洋动物具有的机动灵活、隐身性强、不受水下能源供应限制等独特优势,在未来的海洋开发、利用及海洋权益争夺中发挥越来越重要的作用。为此,需针对海洋动物的行为控制机理及操作性条件反射方法和人工电刺激方法进行持续深入研究,通过理论分析和训练实践,逐步提高海洋动物行为的可控性和海洋动物行为控制的可靠性。

参考文献

[1] STONE G, SCHUBEL J, TAUSIG H. Electronic marine animal tagging: new frontier in ocean science[J]. *Oceanography*, 1999, 12(3): 24-27.

[2] GELENBE E, SCHMAJUK N, STADDON J, et al. Autonomous search by robots and animals: a survey [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 1997, 22: 23-34.

[3] 古欣. 海豚:美国海军的职业排雷兵[J]. *科学 24 小时*, 2008(5):32-32.

[4] 吕卫国. 美国海军的动物兵[J]. *现代军事*, 1997(11):57-59.

[5] 王文波, 戴振东. 动物机器人的研究现状与发展[J]. *机械制造与自动化*, 2010, 39(2):1-7.

[6] RAMIREZ K. Animal Training: Successful Animal Management through Positive Reinforcement[M]. Chicago: Shedd Aquarium society, 1999.

[7] 李平娜, 黄永坚. 操作性条件反射的运用[J]. *中国工作犬业*, 2007(6):26-27.

[8] IJSPEERT A J. Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review[J]. *Neural Networks*, 2008, 21: 642-653.

[9] KEREPESEI A, KUBINYI E, JONSSON G K, et al. Behavioural comparison of human-animal (dog) and human-robot (AIBO) interactions [J]. *Behavioural Processes*, 2006, 73: 92-99.