

海洋哺乳动物与仿生学

童 蒙 亮

(山东海洋学院)

海洋哺乳动物有三类,即鲸类、鳍脚类和海牛。鲸类又分须鲸和齿鲸,海豚是指一些较小的齿鲸。鳍脚类包括海狮、海象和海豹。

某些海洋哺乳动物的行为和生理机能,近十多年来已引起许多方面的重视。海军和航海部门对鲸类的游泳速度和效率很感兴趣,他们正在研究鲸类的体形,以便改进船舶、舰艇和水下武器的设计;海豚“声纳”在许多方面超过了人造声纳;有些海洋哺乳动物具有惊人的潜水能力;有些动物经过训练可以帮助人完成某些海上作业。本文就这些与仿生学有关的问题作一简要介绍。

一、鲸类的体形与舰船制造

水的密度大约比空气大700—800倍,因此在水中运动要比空气中运动困难得多。正因如此,海洋动物的游泳速度不可能赶上鸟类。同样的道理,潜水艇的速度也永远赶不上飞机。

海豚首先是由于它性情温和和快速游泳而知名于人类的。过去有关海豚速度的报道,多半是根据海上观察和估计,出入较大。近几十年来,由于人工驯养海豚成功,为精确测量海豚的速度提供了方便。

为了设法减少水中航行的阻力,不少人从流体动力学的角度比较详细地研究过海豚游泳的特征。他们测量了大西洋胆鼻海豚,太平洋胆鼻海豚和斑点海豚的速度,它们的最高速度分别是:27公里/小时,29公里/小时和53公里/小时。虽然斑点海豚的速度比前两种海豚都大,但是根据人们的印象,斑点海豚还不是游泳

最快的,最快的海豚是鼠海豚(Phocoenoides)。可惜,由于达氏海豚难于驯养,故对它的速度没有精确测量过。

大鲸的速度比海豚慢。齿鲸类最大的动物抹香鲸(体长可达19米),正常的游泳速度才5—7公里/小时,受惊时可暂时增至18—21公里/小时。大型须鲸的速度还要慢些。但这决不意味着大鲸无能。有人计算过,对于一只100吨重的鲸,按照它那种速度游泳,需要448马力的动力。实际上这种鲸只有60马力左右,说明它的游泳效率之高。

为什么鲸和海豚具有较高的游泳速度和效率?除了它们的身体有着很好的流线形外,它们皮肤的特殊结构,使湍流大大减少。

有些舰船设计部门正在按照鲸类的体形来改进船壳的设计。按照海豚体形和比例建造的潜水艇,航速提高了20—25%。

Max Kramer在第二次世界大战后从事海豚皮肤的仿生学研究。他根据海豚皮肤的结构特点,用橡胶仿制成“人造海豚皮”。这人造海豚皮是由三层橡胶薄膜组成的,总厚2.5毫米。外面的一层橡胶膜0.5毫米厚,质地光滑柔软,模仿海豚的表皮。中间一层橡胶膜1.5毫米厚,具有许多乳头状突起,在各突起之间的空隙里充满缓冲液。这一层的特点是富有弹性,模仿海豚真皮层的功能。里面的一层橡胶膜也是0.5毫米厚,它与船壳接触,起着支持板的作用。把人造海豚皮覆盖在鱼雷上作试验,鱼雷的湍流减少了50%左右。换句话说,就是使鱼雷的动力、形状和大小都不变,其速度可增加一倍。

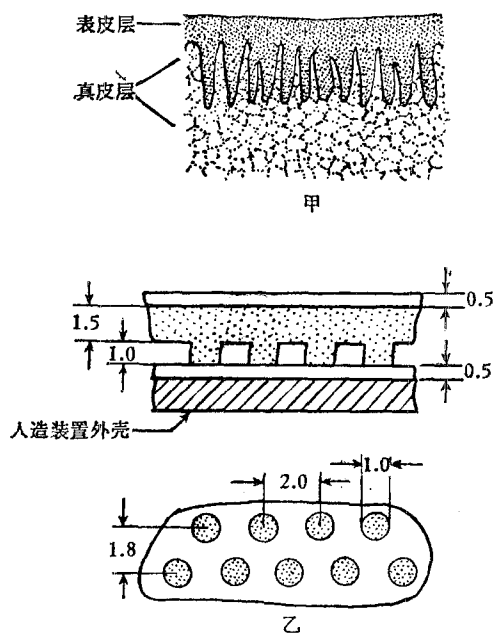


图1 豚海和皮人造海豚皮的比较

甲：海豚皮的显微结构（模式图）。真皮层有许多乳突伸向表皮层

乙：人造海豚皮的纵剖面（上）和横剖面（下）。
单位：毫米

海豚的一对胸鳍具有平衡身体的作用。有人模仿它在船的两侧装上“船鳍”，不仅提高了船只航行的稳定性，而且能把一部分波浪的动力变为推动船舶前进的动力，提高了船舶航行的效率。

T. Lang 从流体动力学的角度研究过三种海豚鳍的结构。这三种海豚是普通海豚(Delphinus)，斑纹海豚(Lagenorhynchus)和鼠海豚。研究表明，这三种海豚背鳍和尾鳍的横断面大体相同。鼠海豚的鳍比较薄，外形也有所不同，这是和它快速游泳能力相一致的。

物体在水下运动，当速度达到某一数值时，便出现空化现象，即被高速运动的物体推向两侧的水来不及补充物体前进时留下的空间，结果在物体边缘和后部形成空泡。这种现象在螺旋桨是常见的。当螺旋桨的速度大到足以引起空化现象时，它的推进效率便大大下降，甚至不能再推动船舶前进。空化现象是湍流的极端形式，对于水中航行是极其有害的。T. Lang 从流体动力学的角度分别计算过上述三种海豚的尾

鳍产生空化现象应有的速度。对于普通海豚，产生空化的速度是 58 公里/小时，斑纹海豚是 62 公里/小时，鼠海豚是 74 公里/小时。这说明它们的尾鳍具有很好的力学性能。

二、海豚与声纳

我们生活在陆地上，白天有灿烂的阳光，夜间有明亮的电灯，凭我们的双眼能看清周围的一切。人类还发明了雷达，利用它可以在很大的空间范围发现和监视敌机。海里的情形大不相同，日光只能透过海水的表层，尤其是沿岸较混浊的海区，能见度往往只有几米，甚至不到 1 米。海水对电磁波的吸收也很厉害，雷达不能在水下使用。由于反潜艇作战的需要，人们发明了用超声波探测潜艇的回声定位仪——声纳。今天，声纳不仅被海军广为应用，而且也用于航海和渔业。

远在人类发明声纳以前，海豚早就使用活的“声纳”了。关于海豚具有回声定位系统，并且依靠它猎食鱼类和避开障碍，已有大量的实验证据，此不赘述。这里要介绍的是海豚“声纳”的某些特征。

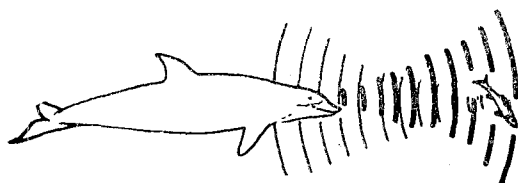


图2 海豚用声脉冲探测目标

海豚“声纳”的实验研究，大多是用人工驯养的大西洋胆鼻海豚进行的。这种海豚发出的声音大体可以分为两类。一类是哨声，这是单频率的声音，声音的频率从开始到结束是变化的。人们普遍认为，海豚利用哨声通讯。因此，哨声是海豚之间相互交谈的“语言”。海豚发出的另一类声音被描写为“嘀答”声。这是一连串的声脉冲。海豚利用“嘀答”声探测目标。这是海豚“声纳”发出的声信号。

把海豚的声音通称为超声是不恰当的。海豚的声音有可听声，也有超声。海豚的哨声，基本上是可听声，有时也有超声。嘀答声的频率

从 200 赫兹开始,一直伸展到 150 千赫。不过,声音的能量主要集中在 30—60 千赫的频带上。所以在嘀答声中,超声占优势。

关于海豚嘀答声的最高频率,报道不尽相同。有的说可达 200 千赫以上。重要的问题并不在于它能发出多高频率的声音,而在于它能不能听到这种声音。1963 年, C. Scott Johnson 用行为生理的方法,测得大西洋豚鼻海豚的听觉范围是 75 赫兹—150 千赫。其中最敏感的频率是 20—150 千赫,丹麦生物声学家 Søren Aderson 测得无喙海豚(Phocoena Phocoena)的听觉上限频率也是 150 千赫,最敏感的频率范围是 5—50 千赫。此外, J. D. Hall 等测得虎鲸的听觉上限频率是 31 千赫,最敏感的范围是 50 赫兹—30 千赫。

除了频率,海豚嘀答声的另一特点是具有很好的方向性,即束射性。频率越高,方向性越强。有人认为,海豚前额的脂肪体(瓜状体)起着声透镜的作用,它把声音聚焦。豚鼻海豚的声束分两支,强度最大的一支是向前直射的,另一支则略为偏左或偏右。有时还出现强度很弱的第三支,它向头的右方差不多呈直角射出。这个声束有何意义尚不了解。海豚经常不断地改变声束的形状,因此要完全确定声束的形状是不可能的。

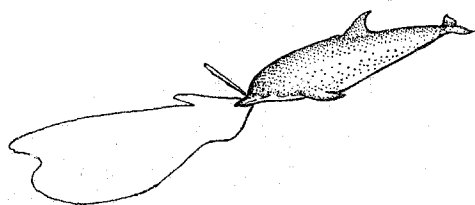


图 3 海豚声束的形状

前面提到,嘀答声是一连串短暂的声脉冲。每个脉冲的持续时间只有 10—100 微秒。脉冲的重复速率是可变的,少到每秒钟只发出几个脉冲,多到每秒发几百个脉冲。海豚在安静状态,每秒只发几个脉冲,用以监视环境的情况。当它发现目标时,脉冲的重复速率大大增加。当它接近目标时,脉冲的重复速率达到最高峰,可达 600 次/秒。

以上介绍的是海豚嘀答声的基本特征。人们更关心的是海豚利用“声纳”探测目标的准确性究竟有多大。

海豚利用“声纳”能辨认出两个形状相同而大小略有差别的物体,如直径分别为 5.4 和 6.3 厘米的两个铁球。那么海豚能不能依靠“声纳”分辨大小和形状完全相同,只是材料不同的两个物体呢? B. Evans 做了许多精细的实验。他用橡皮吸杯把海豚的两眼蒙住,供海豚识别的目标是同面积、同形状、同厚度的金属和非金属板。实验证明,蒙住眼睛的海豚很容易辨认出铜板与玻璃板或塑料板来。对于不同的金属板,辨认能力也很强,例如,它能辨认铜板和锌板。锌的密度比铜小,因此它反射声音的能力比铜差。也许海豚是根据反射声的强弱来区别这两块不同金属板的。可是如果把一块厚一点的锌板(7.9 毫米厚)与一块薄的铜板(1.6 毫米厚)放在一起,这时从理论上计算,两块金属板的声反射能力相同,海豚还是能够区别开来(正确率达 95%)。这说明,海豚不仅能分辨反射声的强弱,还能分辨反射声的相位。

海豚能辨别大小和形状相同,只是材料不同的物体,那么它能不能辨别材料相同,面积也相同,只是形状不同的物体呢? Richard Barta 的实验回答了这个问题。他也用橡皮吸杯把海豚的眼蒙住,供海豚识别的是同材料、声反射面积相同的金属板。其形状有圆形、正方形、三角形等。实验表明,海豚能够利用“声纳”辨别物体的形状。

由此看来,海豚“声纳”具有极高的灵敏度。这是人造声纳无法和它相比的。进一步研究海豚“声纳”的原理,也许对改进人造声纳有所帮助。

三、虎鲸的声音与渔业

虎鲸是一种齿鲸,体长可达 9.6 米,它主要以鱼类为食,也猎食海豚、海豹、海狮等大型动物,它竟敢攻击比它大得多的鲸。据丹麦 Eschricht (1862) 报道,在一只 7 米长的虎鲸的胃里,发现有 13 只海豚,14 只海豹。看来,虎鲸

是没有天敌的。

虎鲸猎食时,常发出嘶叫声,即使是几十吨重的大鲸,听了也恐惧万分。Bill Cummings 等做过这样的实验:他们把虎鲸猎食灰鲸的嘶叫声记录下来,然后把船开到灰鲸回游的路线上。一旦发现灰鲸到来,便向水中发射虎鲸的嘶叫声。这时,只见灰鲸掉头逃跑。

虎鲸的声音可能在渔业上得到某些应用。

阿拉斯加的育空河是世界上最大的红鲑鱼回游地。每年5—6月间,大量1—2岁的红鲑鱼迁移入海。在这个季节,每逢涨潮,数量多达50—500头群的白鲸顺潮而上,大量吞食鲑鱼,严重破坏渔业资源。渔民曾用机动船和小型炸弹驱赶白鲸,效果都不大。J. F. Fish 等曾作过试验,他们在河口发射虎鲸的录音,结果有效地阻止了白鲸。白鲸是非常吵闹的动物,它们发出多种声音。但是一旦它们听到虎鲸的声音,便立刻沉默下来。

应用虎鲸声音的另一个例子是用它来赶走领航鲸和海狮。卡塔尔纳岛附近是乌贼的产卵地。那里的渔民都痛恨领航鲸和海狮,因为它们和渔民争夺乌贼。B. Cummings 曾去那里做过几次试验,向水中发射虎鲸的录音,证明虎鲸的声音能有效地赶走领航鲸和海狮。

有人提出,用虎鲸的声音帮助捕鲸。捕鲸船向水下发射虎鲸的声音,可以把各种大鲸驱赶到一个海湾,然后集中进行捕捉。也有人提出,直接训练虎鲸帮助捕鲸或捕鱼。

四、人和动物的潜水

人类的潜水已有几千年的历史。在这漫长的实践过程中,人们发明了许多潜水设备,如潜水衣,呼吸装置,以及把潜水员送到海底去的运载工具等。尽管有了这些设备,人的安全潜水深度还停留在300米左右。相比之下,某些海洋哺乳动物没有任何潜水设备的帮助,就能轻而易举地潜到几百米、甚至上千米的深海,这不能不使我们感到吃惊和羡慕。探索海洋哺乳动物潜水的秘密,也许有助于人类潜水事业的发展。

就现在所知,抹香鲸是最优秀的潜水者。虽然直接测量这种大型动物的潜水深度有很多困难,但有不少间接证据可以证明它的潜水能力。

抹香鲸喜食深水乌贼,它常因追猎乌贼而潜到很深的海底,被海底电缆缠住。仅1957年就发现14起这种事例。其中6起,电缆的深度在900—1,080米。另据报道,在南美洲发现一只抹香鲸被1,200米深的电缆缠住。还有报道,被2200米深的电缆缠住。从这些材料分析,抹香鲸的潜水深度可达1,000米以上是可信的。

根据海上观察,抹香鲸的潜水时间可长达1小时半。不过,单从潜水时间来看,胆鼻鲸更胜过抹香鲸,它在水下停留2小时。可惜,对胆鼻鲸的潜水深度不得而知。

由于人工驯养海豚等海洋哺乳动物的成功,为实际测量它们的潜水深度创造了条件。

测量海豚潜水能力的方法是这样:把发声器安装在电缆的一端,沉入水下。船上工作人员可以利用开关控制发声器发声。另外,在发声器上也有一个开关,只要海豚去按这个开关,就可以把发声器关闭。经过训练的海豚,只要听到发声器的声音,就知道这是命令它潜水的信号。于是它潜向发声器,用它的嘴部去关闭发声器的开关。这时,船上工作人员就知道海豚已到达发声器所在的深度。用这种方法已测得胆鼻海豚最大潜水深度为305米。但不敢肯定,这就是它潜水深度的极限。

胆鼻海豚在水面屏气的时间是4—6分钟。但实际潜水时间比它短,如潜水305米时,往返时间才3分45秒。这说明它潜水的速度之快。

用同样方法已测得加利福尼亚海狮的潜水深度是250米。

人工驯养的虎鲸在“海底寻物”试验中,潜水深度已达259米,潜水时间7分40秒。领航鲸的潜水深度为610米。

南极有一种大海豹叫魏德尔海豹体重可达450公斤。它们生活在千里冰封的南极海中,依靠冰层中的孔洞进行呼吸。G. L. Kooyman 测量过这种海豹的潜水能力。他们在半径为1.6

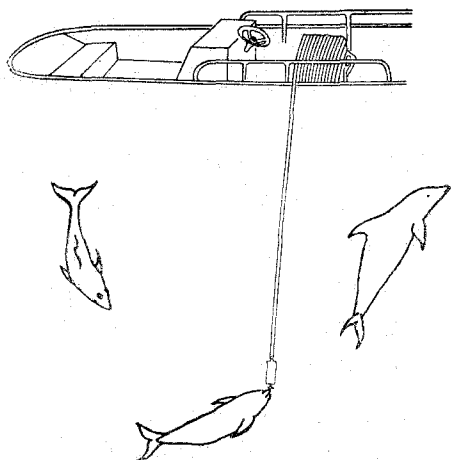


图4 测量海豚潜水深度的方法

公里的范围内选择一个孤立的冰孔。把记录潜水深度和时间的仪器固定在海豹身上，然后从冰孔中释放。海豹在水下潜游一段时间后又回到原来的冰孔呼吸。这时取下它身上的仪器。用这种方法不仅可以测量它的潜水深度，而且可以了解它在不同深度时的潜水速度。这种海豹差不多能潜水 600 米，在水下停留 43 分钟。

五、驯养海洋哺乳动物 为人类服务

由于人世世代代在陆地上生活，人体的结构和机能发生了相应的改变，比较适应于陆地生活。人到水下去工作，不仅深度受限制，而且还有其它困难。例如，在水下能见度很差，只能看到很近的物体。在水下人的方向性听觉几乎消失，很难判别声音的方向；人在水下工作一段时间后，返回水面的过程必须相当缓慢，不然容易得“减压病”。由于这种种原因，人在水下工作受到很多限制。

在交通不发达的古代，人们曾驯养鸽子帮助送信；猎人常驯养猎狗帮助寻捕野兽；甚至公安人员也驯养警犬帮助侦缉。是不是在海洋事业中也能驯养一些动物帮助人们做一些工作呢？经过十多年的探索，看来某些海洋哺乳动物是很有希望的。这些动物是海豚、海狮、虎鲸和领航鲸。

1. 海豚

人工驯养的一只大西洋胆鼻海豚，它不仅能尾随着工作船出海，而且能完成某些海上工作。

这只海豚曾配合海底实验室进行过模拟救生试验。

该海底实验室是一水下居住舱，位于 61 米深的海底。由于那里的水质浑浊，能见度只有 1—2 米。如果潜水员离开水下住舱外出工作，就有找不回住舱的危险。这次试验的目的是考察海豚在水下救生的能力。

实验方法是这样：一名潜水员在水下住舱旁边，另一名“失踪”的潜水员离住舱 55 米远。两名潜水员都有信号器（一种发声装置）。首先，在住舱旁边的潜水员打开信号器，把正在水面待命的海豚召唤到住舱旁边，潜水员把救生绳挂在海豚身上。这时“失踪”潜水员又打开信号器，海豚便带着救生绳游向“失踪”潜水员。“失踪”潜水员解下海豚身上的救生绳，以此作为返回住舱的向导。这项训练成功后，又逐步增加实验的难度，使它更接近海上救生的实际要求。例如，把救生绳卷在住舱外面的一个线轮上，救生绳的一端有一个圆环。海豚听到救生信号时，便主动潜水到住舱旁边，把救生绳的圆环套在自己的鼻子上，游向“失踪”的潜水员。

这只海豚除了能进行上述水下救生工作外，它还学会给正在水下工作的潜水员递送工具和信件。

2. 海狮

海狮周身有毛，雄体颈部有长毛，活象山林里的狮子，海狮就此而得名。海狮有鳍状的前后肢，它既能在水中游泳，又能在岸边爬行。所以训练好的海狮可放在船上运输，不必象海豚那样尾随着工作船游泳，这是海狮的一大优点。海狮有灵敏的听觉，有较好的潜水能力。因此，它也是很有训练前途的动物。

训练海狮的目的是考察它从海底找回物体的能力。方法是这样：把火箭模型沉入海底，火箭模型上有一个信号器，发出 9 千赫的声音。海狮对这种频率的声音很敏感，可以在水下 549

米远处听到。为了防止海狮在海里自由猎食,给海狮带上泡沫尼龙制成的口罩。另外,给海狮设计了一个特殊的取物钳,戴在海狮的嘴上。海狮带着取物钳潜入水下,找到火箭模型,并对准火箭的特定部位,把钳子夹在火箭上。然后,水面工作船利用与取物钳相连接的长绳把火箭拉出水面。

训练工作由浅水渐向深水发展。经过 15 个月的训练,海狮用取物钳取回物体的深度已达 152 米。

3. 虎鲸和领航鲸

训练虎鲸和领航鲸的方法和训练海狮相同,目的也是考察它们从海底取回物体的能力。为了防止它们逃跑,在它们身上装有无线电发报机,天线从背鳍前方伸出。如果它们逃跑,可以进行追踪。

从训练的结果来看,领航鲸比虎鲸更驯服一些。虎鲸利用取物钳取回物体的深度是 259 米,时间是 7 分 40 秒。而领航鲸携带取物钳已潜到 504 米深处,时间是 12 分 30 秒。如果不带取物钳,潜水深度可达 600 米。

另外,对领航鲸还作过一次新的实验。这次给领航鲸设计了一个新的取物钳,它带有一个由肺气发生器组成的自动起浮装置。只要领航鲸把取物钳与水下物体结合,就能触发肺气发生器。肺气发生器产生的大量肺气把气球吹胀,使水下物体浮上水面。虽然这种自动起浮

装置增加了取物钳的重量,但领航鲸还是接受了。领航鲸在一次实验中,利用它把一个沉落在 9 米深海底的鱼雷模型浮上水面。肺气发生器的声音和气球的膨胀等,都没有使领航鲸害怕。相反,它曾几次好奇地用嘴去碰碰气球。

从这些实验来看,海豚、海狮、虎鲸和领航鲸经过训练都能完成某些海上任务。将来,这些动物也许会成为海上“警犬”帮助人们工作。

六、鲸类与海洋调查

大多数鲸是回游的,有些海豚也回游。

过去曾用“标签放流法”来跟踪它们的回游路线,即用金属标签固定在它们身上,然后释放,待渔民再次捕到它们时,就可以知道它们某时到达某地。但是标签放流的回收率是相当低的。现在已开始用无线电发报机来跟踪鲸和海豚的回游路线。小型无线电发报机固定在鲸类的背部,天线从背鳍前方伸出。

海洋工作者经过多年的试验,现在已初步试验成功用鲸类来遥测海洋的物理参数,如海流、温度、盐度、含氧量、海水的声学性质等。测量方法是这样,把小型测量仪器和无线电发报机一起装在鲸类的身上。测量仪器测得物理参数由发报机发出。发报机发出的信号还可以由卫星转播。这样,把鲸类发报与卫星系统结合起来,为海洋调查提供了新方法。

(上接第 30 页)

Von Krebsen und Insekten. Leipzig-Wien: F. Deuticke, 1891.

[3] Burtt, E. T. et al: *Proc. R. Soc. B*, **157**, 53, 1962.

[4] Burtt, E. T. et al: *Symp. Soc. exp. Biol.* **16**, 72,

1962.

[5] Allen, J. L.: The optical functioning of the superposition eye of a nocturnal moth. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1968.

(上接第 34 页)

近有关的。如果是一个单调变化的物体,则离人近的一侧频谱高峰向高频移,离人远的一侧频谱高峰向低频移;

3. 从定性的角度来看,这个平移现象是说明了两个物象已经包含了有相位信息。

参 考 资 料

[1] Julesz, B.: *Scientific Amer.*, **212** (2), 38, 1965.

[2] Barlow, H. B. et al: *J. Physiol. (Lond.)*, **193** (2), 327, 1967.

[3] Hubel, D. H. et al: *Nature (Lond.)*, **225**, 41, 1970.

[4] 光学信息处理简介,光学机械,1972 年 5 月第 39 页。

[5] Campbell, F. W. et al: *J. Physiol. (Lond.)*, **197**, 551, 1968.

[6] Maffei, L. et al: *Vision Res.*, **13**, 1255, 1973.

[7] Enroth-Cugell, C. et al: *J. Physiol.*, **187**, 517, 1966.

[8] Fiorentini, A. et al: *Vision Res.*, **11**, 1299, 1971.