

奇异的声世界

И.И.科留金 著

任志英 程凤阁 译



国防工业出版社

内 容 简 介

我们生活在充满声音的世界上。你听，世上万物无不在歌唱，在诉说着它们的感受。声的领域有多广，宇宙中有声吗？有听不见的声吗？在各个领域里声学的用处何其多。彩色音乐将给你带来什么样的感受呢？强烈的噪声是否需要防治？等等。这本声学科普读物，对上述问题和其它许多有趣的声学问题都有所涉猎，内容相当丰富，特别是探讨了现代声学的应用范围及其进一步推广的可能性，广大读者会从中受到有益的启示。

读者对象：青少年、中学生、海军战士和对声学科普有兴趣的广大读者。

Удивительный мир

звука

И. И. Клюкин

Издательство Судостроение

Ленинград 1978

*

奇异的声世界

И. И. 科留金 著

任志英 程凤阁 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 4¹/₈ 101 千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷 印数：0,001—6,200册

统一书号：15034·2452 定价：0.44元

作者的话

在一切弹性介质和物体中都能产生机械振动（声振动）。这种振动伴有很多极其重要的物理现象，有时还会引起生理现象。

声振动的应用范围不断扩大，但无论在任何领域的应用都不及在航海和船舶制造业中的应用那么广泛，诸如回声探测、水下目标搜索、钢板厚度和质量检验、超声波表面清理、切割、焊接以及许多其它用途。此外，在谈到降低噪声和振动时，声振动的防治与其有益的应用往往具有同等重要意义。

读者从本书中可以了解有关以声学对数单位计算的一些作用的奇论和声学介质边缘上的特殊现象，也可以了解共鸣器是声的放大器还是吸声器，声衍射和干扰在日常生活有哪些意想不到的后果。

金属的超声探伤和超声加工工艺、水声回声测位和遥测以及船舶附生物的超声防治发展沿革；为什么潜水员需要《氦语》，它有什么特点？如何使振动变成可见的？彩色音乐给人类带来的是什么呢？作为《文明的渣滓》的强烈噪声是否需要防治？在开发世界海洋过程中，声学有什么作用？在门农巨型塑像的晨曲和蒸汽锅炉管道的振动之间有什么共同之处吗？“荷兰飞人”的出现不能归咎于次声波吗？关于这一切以及许多其它问题读者都可以有所涉猎。

目 录

作者的话	V
------------	---

第一部分 物理声学 and 机械声学

空气中的声	1
地中的声	5
水中的声	10
宇宙中的声	18
声能消失了, 而声的响度加强了吗?	21
共鸣器何时使声增强, 何时减弱?	25
用什么隔声: 棉垫还是铁皮?	30
能通过钥匙孔窃听吗?	34
“消失在天鹅绒中的声波”	38
如何阻止振动和冲击	43
振动遇到摩擦	51
世上万物无不在歌唱	56
超声波的胜利示威	62
从烟气的图象到声学全息摄影	67
交叉的振动效应 量子声学	72

第二部分 生理声学 with 生物声学

数百万包含在几十里	77
听不见的声音海洋里的听岛	82
是视觉还是听觉 (或语言)?	85
关于听觉再说三言两语	87
奇异的声世界变成危险的声世界	91
“救救我们的耳朵!”	99

IV

来自阴暗角落的新危险	103
声真能杀人吗?	108
人从哪里学来的“鸭语”?	110
彩色音乐和音乐疗法	112
饶舌的“寂静世界”自然界中的回声测位器	118

第一部分

物理声学 and 机械声学

在我们赖以生存的世界里，振动异常普遍，甚至构成人体的原子也在振动。

比绍普

空气中的声

……，大气几乎是一种能产生声现象的通用介质……，

瑞利●

我们生活在空气海洋的底部，包围着我们的是能在任何弹性介质中传播的声，也就是机械振动。我们需要空气介质，因为它不仅是我们生存的手段，对于毁灭性的宇宙射线的防护手段，同时也是使我们能进行语言联系、接收险情信号以及关于有生和无生目标的位置、行踪的消息、观察它们的状态和许多自然现象的手段。

因此，人们自古以来便渴望在大气的许多其它特性之中认识声的特性。利用人人都能使用的方法，通过观察闪电和雷声的时差，估计出声在空气中传播的速度是不大的。在十八世纪初，牛顿推导出一个公式。根据这个公式，声在气体中的传播速度等于该

● 瑞利·约翰·威廉·斯特鲁特 (1842—1919) 英国物理学家，于1877年发表《声的理论》，基本完成声的数学理论。——译注

气体的静压对其密度之比的平方根。拉普拉斯[●]修正了这个公式：他考虑了介质的热容。在接近地面的空气中，声速的正确值为每秒 $1/3$ 公里强。在现在的宇宙时代看来，这个速度显然是不大的。而随着和地表距离的扩大，由于同样能决定声速的空气温度和密度以及大气压力的降低，声速会发生极大的变化。为了进行对比，现将声在其它介质中的传播速度列举如下：在水中——1.5 公里/秒；金属——约 5 公里/秒；地幔岩石——8 公里/秒以上。

在我们的时代，关于大气的声学特性和其它特性以及用声学方法在大气中造成的其它自然现象展开了大规模的研究。

雷暴的声学特性依然吸引着人们的关注。根据一些研究人员的资料，在雷击时，最大光谱声分量在 50~150 赫兹的频率范围。根据另一些资料，则可达 400~500 赫兹。雷的声强，也就是单位时间内通过波阵面[●]单位面积的声能量，要比人的声音大 10^{15} 倍。只有在火山大爆发时，记录过如此强大的声能。当然，在特大功率的火箭发动机附近也可记录到这样大的声。在核爆炸时，无疑会有更加强大的声波。

读者对于大气中直径可能和地球直径一样大的“噪声环”有什么看法呢？现在对这个问题还没有什么实质性的认识。因为仅仅在三、四年以前才首次报道了这种现象。专家们还在继续探讨。确定这个名称并作了报道的是法国声学家别尔切和洛卡尔。他们曾研究了在爆炸源作用下，声在大气中的传播，结果发现，在离 90 公里的高层大气中有声道。在那里声能高度集中并具有明显的非线性效应。

已经发现，有时次声的传播距离可达 14000 公里，即相当于从声激励点到地球圆周的 $2/3$ 强的距离。噪声环的中心位于爆炸

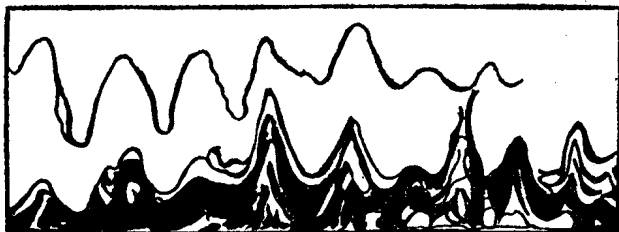
● 拉普拉斯·比埃尔·西蒙 (1749—1827) 法国数学家、物理学家于 1826 年修改牛顿声速公式，把等温压缩系数换为绝热压缩系数，消除了理论和实验的差异。——译注

● 波阵面——行波的波阵面是在同一时刻位相相同各点的轨迹。——译注

源所在的垂线上，它围绕地球边传播，边扩散。在接收点上，信号强烈延长。某些作者还提出了噪声环理论。

另外一些研究人员发现，在大气中传播的各种声波的共鸣作用。这种作用也具有非线性性质，而且出现在几十赫兹的频率范围内。每公里声的衰减值和声频及其在大气中的传播高度有着十分奥妙的关系。

一般说来，下层大气（对流层）是极不均匀的，其中有温度、湿度不同的分层、紊流和涡流区、稳定气团流。这些因素决定天气、气候，甚至象某些海洋声学家所证实的那样，还能恶化低频水声器具的工作条件。为了确定大气的不均匀性，一般采用雷达探测，但效果变化不定，结果发现，大气中紊流产生的声波的扩散比电磁振动的扩散要快几千倍。于是就产生了对流层研究的新方向——对流层的声学探测或声学回声测位。



用声波测位器记录的不同高度上大气的分层结构

声辐射器连续不断地向上方发射声脉冲并接收不均匀的大气层反射的信号，这样一直持续几天几夜，以至几个星期。这种回声的记录曲线很清晰，有时可观察到大气中几个互相重叠的不均质层。美国、加拿大、印度以及其它一些国家都有这种装置。这是十分庞大的设施。例如，南澳大利亚制造的装置包括天线阵，它由 80 个有共鸣器的电动扬声器组成。这些扬声器的输入声频电功率约为 10 瓩。接收天线是一个带喇叭的大型抛物面状反射镜，为了把捕捉的能量更好地传递给接收微音器，把反射镜单独放置在土坑中。还在研制能用声线在天空扫描的更加完善的

系统。

在普通的温度计不能发挥作用的情况下，声可能取而代之。在 30 公里以上的高空，大气中的分子极少，因而利用分子热运动的传统温度计的误差急剧加大。声温度计的原理是利用稀薄气体中声速与气体温度的关系，这是从理论和试验中已经知道的。这种温度计不仅准确得多，而且实际绝对没有惯性。它能察觉仅持续 0.05 秒的温度变化，而对这一点，无论汞温度计或是液体温度计都根本无能为力。如果把声温度计装在高速上升的气象探空气球中，它就能记录下不同高度上大气温度的全部变化。

现在，声在大气中的应用日益广泛。而在第二次世界大战前，它的唯一用途就是飞机和炮兵阵地的消极测位。为此已经研制出极其完善的仪器。可是根据射击声确定炮兵阵地位置的课题并没有从议事日程上撤消（因为炮兵阵地不能迅速地从一地移往它地）。但对飞机进行的声波测位，则随着飞机越来越接近声障而失去意义。上面提到过，如果和电磁波相比，空气中的声可算是个“慢性子”，声波测位器来不及跟踪飞机的飞行。在这方面，雷达逐渐取代了声技术。

看来声技术不能再用于快速目标的跟踪方面了。然而在 1966 年美国声学学会的刊物上发表了一篇文章，报道了用声学方法确定垂直起落超音速火箭着陆点和轨迹终点获得成功。在这种情况下，问题的关键在于所确定的不是飞行物体的轨迹，而是在空间结束了自己的行程的物体的轨迹。这里利用了强大的压缩冲击波。它从火箭首部按锥形路径在空气中传播。捕捉这种冲击波用的基地仅由四个布置在正方形四角上的微音器和解算装置组成。

当然，这种仪器比专门的雷达跟踪仪器要简单而廉价得多。

可见航空声学技术并没过时，无疑还会找到新的应用领域，从而揭示地球空气层中我们迄今一无所知的许多现象。

地 中 的 声

传说，蒂风亚历山大在阿波罗尼亚时，曾利用悬挂在堑壕里的容器——共鸣器确定了敌人地道的方向。

通过土地对敌军进行截听是许多世纪以来地声的一种主要的，显然也是唯一的用途。在古希腊罗马时代，在伊万戈洛兹包围喀山时，都曾经这样做过。在第一次世界大战中，敌对的双方藏入地下后，都从各自的堑壕挖掘通向敌方炮垒、仓库、指挥部的地道。大概在这个时候，技术稍有改进，出现了第一批仪器——最简单的听地器。

声学的军事用途一直保留到现在，不过技术有了重大革新。不久前，英国某公司宣称，它研制了一种《托比阿斯》型地震仪，可用在半径15公里的范围内，识别行驶的重型汽车。该公司保证这种仪器能区别履带汽车和轮式汽车的噪声。在比较近的距离内，这种仪器还能“听到”人、畜的脚步声。

地震是人类主要的自然灾害之一。分布在世界各地的大量地震仪能记录任何地下震动。这种“地震哨”中有的设有自动装置。例如，在东京附近的地震危险区，在一年内能记录数千次地震，安装在铁路桥边的“地震哨”和铁路路基上的信号灯相联接。当振动力超过规定的标准时，在列车行进途中点燃禁止通行的红色信号并由专门工作队检验桥梁。

就这样，出现最早的地下声学分支，也就是对有危险的人或物进行截听。过去，现在，大概直到永远的将来都将为人类服务，当然它要不断发展和完善。另一个和地壳与地幔结构研究有关的地声领域已经傲然登场。这里最简单的研究原理是这样的：深埋在地下某点的药包爆炸时，在远离这一点的其它各点既能收到直接从声源发出的声信号，也能收到不同岩层反射的声信号。

然而，实际是说话容易，做事难。有时很难把所接收到的混

杂的声波搞清楚。同时，固体介质和只能传播纵波的气体与液体介质不同，它还有各种类型的横波和表面波。

大概在这里，在这纷繁复杂的振动中，异常鲜明地体现出恩格斯提出的关于物理学就是分子力学的论断。在考虑波传播速度的不同以及其它特征的情况下，根据听地器的记录确定出地壳各层的结构和各该段地幔的深度。

逐渐从爆炸源过渡到声的电磁辐射器和电动辐射器，这些辐射器的频率可以预先规定。采用辐射范围狭窄的定向振动源。这不仅可节省能量，提高测量精度，在海底进行声波测位时（这时声波要传到海底岩层），还能减少海底生物由于强烈的声振动而死亡的情况。

在南极地带进行的地震研究取得了令人难忘的成果。在大约十五年的时间里，研究了南极冰覆盖的结构和它下边陆地的地形。这里冰层的平均厚度约为2公里，最大厚度是4公里以上。在冰层下面发现了高达3公里的巨大山脉，以及在海平面以下几公里的盆地。顺利地查明，南极陆台的构造和南美、澳大利亚以及非洲陆台的构造是相近的。在这些研究中，不仅在水平方向利用了介质的“发声”现象，而且还采用了回声探测。这个过程和海洋中的回声定位相似，它是振动的定向辐射并接收介质边缘和非均质部位反射的信号。

近几十年来，地声定位广泛用来普查和勘探石油和天然气产地以及在普查煤、铁和砂矿床时用来绘图。采用地声定位和地震勘探能获得有益矿物产地的综合图，显著减少一些费用高昂的工程量，以前几乎是盲目进行，而现在则是目的明确的。

在工程结构物（如大坝）的施工方面应用情况如何呢？譬如说，需要确定作为建筑物地基的岩石陆台的尺寸和外形，地声定位能提供需要地点的深层地图。

甚至考古学家也无法抵制这种新勘探方法的诱惑。利用声波定位在布格河河口湾的底部，确定了古老建筑物的外形和被淤泥

淹没的奥利温城古希腊罗马时代的防御构筑物。

一般说来，纯声波回声定位（也就是一种介质中信号的声能不转化为其它种能的探测方法）已经不是什么新技术。不过，只是在不久以前苏联科学院地球物理研究所的科学家沃拉格维奇和帕尔霍明科才发现，在土地介质中对岩石进行综合探测的可能性。新闻记者对这轰动一时的消息的反映是：“岩石说话了”、“会说话的宝藏”。

象石英、电气石、酒石酸钾钠、钛酸钡一类的矿物和物质的压电效应在技术中的应用为时已久。现在已发现，许多岩石，如石英岩、片麻岩，甚至普通花岗岩都能以电磁波对爆炸的弹性波作出反响。为了捕捉这种反响的电磁波采用最简单的接收装置，就是插在地下金属杆。把杆中的感应金属电流输入和自动记录器连接的放大装置。

石英岩常常是含金的，所以声波电磁探测能给寻找金矿的人提供普查的初步方向。

然而，就是最简单的超声波回声探测仪从某一时期起已经成为找金矿的人们的助手，不是在海洋，而是在陆地的助手。在开挖排水沟时，非常重要的是要了解还有多少有生产价值的含金沙以及排水沟中的某个采掘机的铲斗还有多少时间能达到脉石。为了透过疏松的砂层直达底土和确定砂层的厚度（同时测出它的埋藏深度）需要功率相当大的定向脉冲。这种仪器在金沙和铂砂矿中取代了传统的几米长的矿山测量水准尺。

利用地下浸出法的采盐工人，也用这种声波测位器确定含盐包裹体的尺寸和外型以及利用地表“盐喷泉”把盐采出后所形成的空洞尺寸。

煤矿冒顶是非常可怕事故，可能造成伤亡，所以很久以前世界各国就在研究如何预测可能发生的不幸事故。有人设想，为此目的利用地震声学方法和远比人的听觉灵敏的并能客观地记录长时间的地下噪声的仪器。

大约在二十五年前，一位著名的苏联科学院士M. C. 安采菲洛夫主持了这项工作，而在这以前，他曾研究过建筑声学 and 电声学问题。在斯科钦斯基矿业研究所组织了相应的实验室，并开始在矿井中进行定期观测，对于顿巴斯煤矿尤其重视，因为当时该煤矿采煤深度已达半公里。现在开采深度是一公里多。因为越深，岩层中的压力越大，喷出瓦斯、煤以及其它介质的险情发生率也越大。

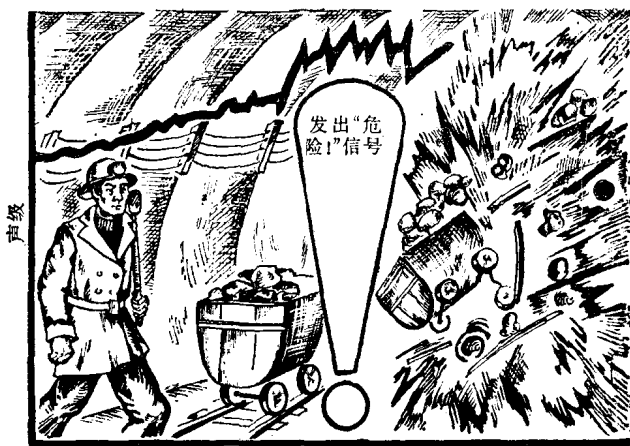
声放射。专家们用这个术语表示一系列机械现象，例如金属龟裂和破坏发生之前发出的声。矿山声学专家们研究了岩石在发生断裂和破损之前发射的大功率声信号。

这些声脉冲频谱很宽，最强的谱波分量位于 300~600 赫兹的频率范围内。难题就在于在凿岩机和割矿机工作时，岩石中的噪声谱几乎是相同的。也就是说，需要在远离工作面的地方，不分白天黑夜地测定地下噪声。

在喷出煤和瓦斯之前是否都先有大功率声脉冲呢？这些声脉冲是否都要求矿工必须离开工作面呢？看来，也不尽然。有时把工作停顿下来，可是矿井中并没发生动力现象。作者曾问安采菲洛夫他是否常常扮演那个著名寓言中撒谎牧童的角色？安采菲洛夫答道：当然，有过这种情况，矿工们不相信，甚至指责由于我们声学工作者的过错完不成任务。后来大家逐渐统一了认识，宁可接二连三地跑出工作面，也比一旦埋在地下好得多。况且我们也逐渐提高了预报的准确性。

现在这种准确性如何呢？由于经验的积累和利用矿山声学工作者制定的统计准则系统，已经把矿井动力现象的险情日常地震声学预报的可靠性提高到 95~98%。不但如此，采用定向地声探测系统可能确定声脉冲源，实际也就是可能发生的大小不等的地下激变源的坐标。

顿巴斯煤矿地下动力现象声预测站于 1965 年开始工作。在该站工作的第一年意外的动力现象数量减少了 70%，五年后减少了



地声仪记录的声脉冲级的增高和数量的扩大是一种危险的信号。假如不让工人离开矿井，那么他们就可能由于煤和瓦斯的喷发而遭受伤亡

95%，尽管在这段时间煤矿爆炸危险区的长度由于巷道转入下部水平层而扩大一倍。

在普罗科彼耶夫斯克（克麦罗沃州）一批科学家在耶高洛夫领导之下研究如何根据声学预测开采煤，以便减少产生冲击地压的概率。

矿山声学工作者的劳动条件是很艰苦的。科学家们穿着工作服，戴着头盔，有时为了给地声探测仪和放大器寻找合适的安放地点，而不得不在地上摸索。不仅如此，这些科学工作者们在工作中还会听到矿工们不大悦耳的牢骚；埋怨影响他们的工作。如果能理解科学家的工作是为了保护千千万万的矿工，这将对他们的极大奖赏。

既然土地介质能传声，那么毫无疑问的是，地下声学将获得更多的用途。

水中的声

假如你在海上，把管口放入水中，把管子的另一端放在耳边，那么你就可以听到在远方航行的船只。

列奥纳多·达·芬奇●

令人惊异的是，在大约 500 年前达·芬奇就先预见到水声学（作为在海洋中根据声音发现船只的科学）的早期发展。假如早期的小心谨慎的回声测位试验不计在内，那么在二十世纪水声学最初是作为军事科学技术领域而发展起来的。例如，早在 1905 年，研制出了当时很完善的下潜的各潜艇之间的声波通讯工具。1912 年什洛夫斯基和兰仁文发明了水声测位器。

在我们的时代，在大力开发世界海洋的时期，水声仪器和方法高度完善，水声技术的应用范围不断扩大。

不用说，让读者去参阅水声学著作的有关参考文献是最省事的。所以，本书中既然议论了各种声学问题，那么关于水下的声就也得谈几句。这里主要是指大型天然水体●中的声。

首先让我们对海洋中声传播时的某些物理现象作一个简单描述。

折射 大家知道，这是在具有可变折射率的介质中光线的弯曲。扁平的月亮、沙漠中的海市蜃楼，海洋上空浮动的岛屿都是空气中光学折射的典型实例。发现空气中的声折射稍微困难些，但它必定是存在的。实际，水下声折射一年四季到处可见。

水声学工作者有一个很好的记忆规律：声线●犹如口渴的人，总是要到较凉和较淡的水层中去。当然，还有一个因素，很难纳

● 达·芬奇是意大利文艺复兴时期的杰出艺术家。他曾完成多幅著名的巨作，其代表作是《最后的晚餐》。达·芬奇不仅是大画家，而且也是大数学家、力学家和工程师，他在物理学的许多不同领域中都有重要发现。——译注

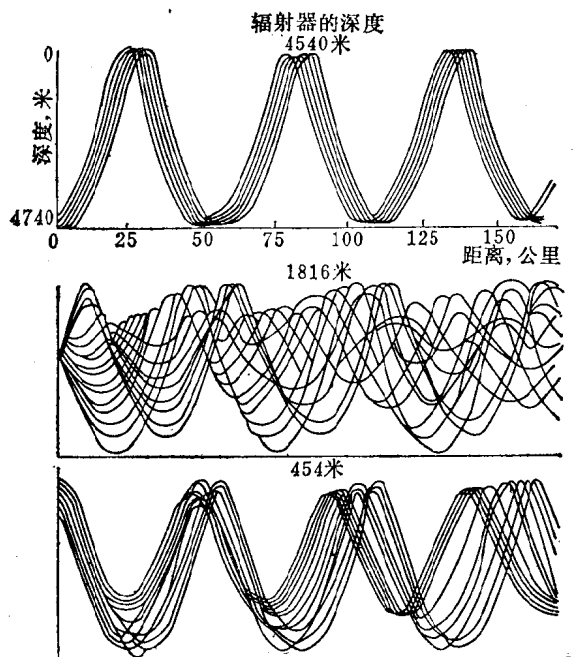
● 系指地面和地下的天然水系，包括江河、湖泊、池沼、海洋及地下水等。——译注

● 声线是自声源发出，代表能量传播的曲线，声的波动性质不计。——译注

入记忆法的范围。这就是决定于深度的流体静压力。声速以及折射率都随流体静压力的大小而变。在这种情况下，声线力求向上方射去。

当海水的上层变得比下层更凉的冬天，温度的影响可能表现得更为明显。那时，声线按一定的角度射向海面，再从海面反射出去，然后周而复始，反复射向海面，随着与声源距离的增大，而逐渐衰减。它的轨迹就好象在海面很多点上悬挂在浮标上的链条。这时，在水下寻找海水表层中的声的条件是很好的。

在夏季，深层水是比较凉的，所以声线射向深层，形成声的阴影区[●]，在这里很难发现水下目标。还可能产生衍生效应。在



装饰图案画家大概可以在自己作品的格调方面借鉴水下声射线图

- 声的阴影区-声波绕地球曲面传播时，按接收点距发射点的距离不同而分为照明区、阴影区和半阴影区。阴影区是因障碍物或折射关系，声线不能达到的区域。——译注

温差极大的各层海水的边界可能产生声线的完全反射和纵向分裂，这时很小一部分声射向跃变层的下面，而另一部分声则向上偏转不仅形成“静区”（船队声学家有时把声的阴影区叫作静区），还会形成聚焦区、声放大区。总之，声传播的情况极其不同。

声道 在水的盐度、温度、流体静压的综合影响下可能在一定的深度形成最小声速区（“层”）。沿着这一层只能发生很小的波状偏离，声线可能传播非常远的距离。这个声的远距离传播区和超远距离传播区通常叫作声道。海洋中的声道是美国声学家发现的，而深海（黑海）中的声道则是苏联科学家布列霍夫斯基赫和洛金别尔格探明的。这两位科学家由于这项成就荣获苏联国家奖金。

曾经发现，一枚小型炸弹的爆炸声波从澳大利亚岸边沿水下声道传播到百慕大群岛，也就是说传播距离相当于地球圆周的一半。现在已经有了海洋中稳定的声道深度图。一般说来，在北部地区声道的深度小于南部地区。例如在北纬 10° 的马绍尔群岛，声道的深度将近一公里，而在阿留申群岛，声道深度不超过100米。然而在许多地区，声道深度的地表等深线呈现为十分离奇的蜿蜒曲折的图形。

美国声学家加米尔顿预言，从理论上讲，在覆盖大洋底部的沉积岩中有可能存在声道。1974年，尤利克通过实验证明了这一点。

海洋混响 混响的俄文含意相当于英文的“回声”，它表示信号在辐射后的一种持续相当长时间的逐渐衰减的声响。这种现象一般和聚集的气泡的反射有关。这些气泡是在起风暴时被吸入到一定深度或者是浮游生物生命活动的产物。在浅水区，混响可能决定于多石海底的反射。混响有时是鱼群探测和海上军事水声测位的严重障碍，因为它能掩蔽所收到的有用回声信号。

当混响十分强烈时，对它进行观察是很有趣的。在测位器阴极指示器上，拍溅声时而闪烁发光，时而熄灭，有时距离可达几公里。扬声器中混响和这种现象同时变化。这说明水声测位器发