

〔苏〕В.И. 叶果洛夫 著

水下拖曳系统

海洋出版社

下拖曳系统

[苏]B.И.叶果洛夫 著

俞骧 戈华等 译

107

И 65902

ПОДВОДНЫЕ БУКСИРУЕМЫЕ СИСТЕМЫ

В.И.ЕГОРОВ

Ленинград «Судостроение»

1981.

责任编辑 刘莉蕾

水下拖曳系统

[苏]В.И.叶果洛夫 著

俞骧 戈华等 译

海洋出版社出版 (北京市东兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 北京印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32印张: 12.125 字数: 180千字

1989年8月第一版 1989年8月第一次印刷

印数: 1-500

*

ISBN 7-5027-0006-4/P·1 ¥: 7.00元

内 容 提 要

水下拖曳系统对水下各种目标探测、海洋学研究、海底资源开发以及海洋打捞救助等方面具有十分重要的意义。本书系统阐述了水下拖曳系统的设计, 主要包括拖曳系统的总体指标的确定, 设计方案及其组成部分在拖动时的流体动力学分析, 流线型拖缆和整个系统的动力平衡及其在水下空间的稳定性, 浮体的流体动力学和流体静力学计算、支承面的力学设计以及整个拖曳系统的参数计算原则等。书内列举了设计的实例, 提供了水下拖曳系统工程设计需要的大量数据和图表。

本书可供从事海洋学研究、海底资源勘探、海洋打捞救助、水下各种目标探测等方面使用的仪器设备研制工作的工程技术人员及有关大专院校师生参考。

原 著 序

在现代研究和开发海洋的先进技术手段中，无人水下装备具有极其巨大的意义。尤其是借助这些装备可以进行各种海洋学要素和地球物理学参量的测量；海底的考察和摄影；海洋底质取样；水下固定工业设施的使用维护和修理。

无人水下装备可分成拖曳的、遥控自动推进的和自制自动推进的三类。

由于无人拖曳装备结构简单，并可以利用各种拖船将它沉到很深的地方，而且能以极高的速度拖曳，因此得到了最广泛的应用。

此外，在无人拖曳装备的壳体内装有控制流体动力系统的仪器，通过载重电缆将能源送至水下设施（探测仪器等），并将需要的信息传回到拖船上，使无人水下拖曳装备工作可靠，操作方便。

借助于磁致仪器、电视设备和其他简单的装置，用水下拖曳系统曾多次将发现的沉在水中的各种物体打捞出水。这些事实证明水下拖曳系统具有广泛的适用性，并且工作效果是很好的。此外，利用这种系统，取得了大量的与海洋水文物理场有关的资料。水下拖曳设备对勘探及考察水下矿藏也是同样有效的。

水下拖曳设备的使用，为考察了解海洋提供了一系列极有发展前途的技术手段，研制这些装置需要用流体动力学、

运动控制理论、建筑力学和其他许多学科领域的知识。

水下拖曳系统的一个特点是拖船和系统的设备之间采用缆索或载重电缆实现了软联接。在拖曳时，从对缆索或载重电缆的行为特征的分析表明，这是一个缆索或载重电缆与定常流之间的相互作用问题。这个问题是由A.H.克罗洛夫等人研究解决的。

设计一个水下拖曳设备的终极目的是要制造出能够承载完成某种任务的测量仪器或操作装置的载体。这种载体在确定的拖速范围内和在不同深度上要具有规定的运动势态，并且要求在运动势态改变或在外界因素影响下具备足够的强度、稳定性和可控性。

本书首先系统地阐明了水下拖曳系统的设计问题，其中包括拖带电缆的设施，特别是带有流体动力装置的定深、展开和控制设备等的设计问题。书中画出了水下拖曳系统的结构方案图，还研究了涉及水下拖曳设备及其组成部分的力学和流体动力学有关问题。

这本《水下拖曳系统》是专门为培养研究和考察海洋用水下技术装备的专家和高校而撰写的参考书和教科书。

И. В. 伊康尼科夫

1981

译 者 的 话

水下拖曳系统设计，就其整体来说是一个涉及面很广的复杂问题。它不同于陆地上的牵引系统，即不仅有普通力学问题，更主要的是有许多流体力学问题要从工程设计角度提出近似的而又满足设计要求的计算方法。本书的参考价值也就正在于此。

作者在以拖船、索具至拖体为一个系统的设计中，利用了许多流体力学的研究成果和实验结果，并作了归纳总结，提出一套设计原则，这种设计方法是颇具特色的。由于作者的目的是力图解决水下拖曳系统的有关工程设计问题，因此对一些流体力学问题的分析和诠释方面，并不过于要求其严谨性和完整性。

书中使用的不少术语大都是来自航空和船舶专业的词汇。由于这方面的词汇译名，国内也还未划一，因此在译时主要注意其定义，译名取比较符合涵义的，适当加注其他可能的译义，作为参考。

附录中有一系列图表和数据。在水下拖曳系统的模型试验获得有关数据的前提下，利用这些图表和附录数据，可以确定需要的设计参数。

第三、五、七、八、九、十这几章的内容，虽然撰写主题不同，但亦互有联系，有些需要彼此参照，这可能是作者的这本著作来源于教材的原因。

本书第一至四章及第五至七章分别由俞骧和戈华翻译；第八、九章和第十、十一章及附录分别由程凡颖和吴温越翻译；全书由俞骧统校。译文不当或错误之处，请读者批评指正。

目 录

第一章 水下拖曳的搜索系统	(1)
1.1 拖曳系统的结构框图.....	(1)
1.2 拖曳系统的主要技术参数.....	(5)
第二章 拖曳系统的主要组成部分	(14)
2.1 缆索部分.....	(14)
2.2 拖曳设备.....	(17)
2.3 浮体.....	(27)
2.4 展开系统.....	(32)
2.5 搜索单元(内部安放搜索设备的容器).....	(33)
2.6 连接部件.....	(33)
第三章 拖曳系统拖动时的流体动力学分析	(40)
3.1 复流体动力*、复流体动力矩及其分量 坐标轴.....	(40)
3.2 复流体动力 R 和复流体动力矩 M 的分量的 基本公式 流体动力系数.....	(45)
3.3 确定流体动力系数 相似性概念 相似性 准则.....	(52)
3.4 风洞吹气法确定的流体动力系数用于计 算水中运动客体的可能性.....	(56)
第四章 拖曳系统中使用的缆索和电缆	(60)
4.1 制造缆索部分用的大缆(缆索).....	(60)

4.2	缆索(大缆)端部的固定方法.....	(68)
4.3	电缆.....	(72)
第五章	缆索在水中拖动时的平衡状态的分析.....	(77)
5.1	缆索段元被水流推动时承受的流体动力.....	(77)
5.2	关于重缆在水中拖动时的空间平衡问题.....	(84)
5.3	只考虑复流体动力的法向分量的轻型缆索的平衡问题	(104)
5.4	考虑了复流体动力的切向分量的缆索平衡的平面问题	(107)
5.5	悬索曲线	(112)
第六章	流线型缆索和载重电缆	(113)
6.1	流线型缆索和载重电缆的结构图	(113)
6.2	流线型缆索的流体动力特性及其在拖动时的平衡状态的计算 流线型缆索的空化现象	(120)
6.3	特种流线体	(123)
第七章	支承面*.....	(127)
7.1	支承面的几何特征量	(127)
7.2	支承面的流体动力特性	(133)
7.3	支承面的理论基础 Н.Е.儒柯夫斯基 (Н.Е.Жуковский) 理论.....	(147)
7.4	有限幅长的支承面 诱导阻力	(151)
7.5	提高支承面的最大下沉(展开、上升)力系数的方法	(161)
7.6	特殊形式的支承面	(171)

第八章 拖曳设备的流体动力学计算	(176)
8.1 流体动力学计算的步序	(176)
8.2 选定支承面的剖面及其平面图形面积的 确定	(177)
8.3 重算在实际展弦比下的支承面的极线	(187)
8.4 计算“有害”阻力, 并绘制拖曳设备的 极线	(197)
第九章 浮体的流体静力学和流体动力学计算	(206)
9.1 浮体的几何特征量	(206)
9.2 浮体的流体静力学计算	(209)
9.3 浮体的流体动力学计算	(224)
第十章 拖曳设备的平衡及统计稳定性	(235)
10.1 概述	(235)
10.2 拖曳设备的纵向平衡和纵向静力稳定 性	(241)
10.3 拖曳设备的纵向力矩	(245)
10.4 拖曳设备的纵向平衡和纵向静力稳定性 的计算	(258)
10.5 影响纵向静力稳定性的各因素	(266)
10.6 拖曳设备的侧向静力稳定性	(269)
10.7 拖曳设备的摇摆稳定性	(278)
第十一章 拖曳系统计算的基本原则	(287)
11.1 确定具有一个搜索单元的拖曳系统的最佳 参数	(287)
11.2 考虑了拖缆重量及侧向流体动力后的无 流线体的拖缆的平衡问题	(301)

11.3	沿水面拖曳的浮体的定深系索的张力和 长度的确定	(307)
附录 I	计算重缆在水中拖动时的平衡状态	(313)
附录 II	计算流线型缆索的平衡状态	(348)
附录 III	支承面剖面的几何特征和流体动力特 性	(355)
附录 IV	统计拖曳设备的“有害”阻力用的系数	(364)
附录 V	沿水面拖曳的浮体的几何特征和流体动力 特性	(370)
参考文献		(376)

第一章 水下拖曳的 搜索系统

1.1 拖曳系统的结构框图

在进行水下搜索时，不管当时使用的搜索设备的工作原理怎样，都必须勘察这个海区或那个海区的情况。由于这个原故，水下搜索系统应是可以移动的。

在无须经海区作全面勘察的情况下，可以利用投放式的设备载体。它由一处移到另一处时，可提到船上来。如果需用无人水下搜索系统勘察整个海区，而不是仅仅调查个别几个点时，则就适宜采用以拖船来曳带水下搜索系统的方法了。

为使水下搜索系统在拖曳时具有必要的搜索宽度，而且发现水下目标用的设备在拖动时能处在易于保持其正常工作的位置，水下搜索系统就应该有适当的拖曳系统。拖曳系统的框图和结构可以因水下搜索系统的用途和种类不同而有所不同。

水下搜索系统的拖带可由一条船或两条船完成。这说明，拖曳系统可分成单船的和双船的两类。

根据水下搜索系统担承的任务和搜索设备的种类，拖曳系统应在离海面或海底某一确定距离上拖动。因此，拖曳系

统可分为保持在离海面一定深度上工作的海面拖曳系统以及保持在离海底一定深度上工作的海底拖曳系统。

拖曳一个搜索单元（带搜索设备的容器），并用分开的定深器使它保持在给定深度上或距海底某一要求的距离处，这是一种最简单的拖曳系统的结构图（图1.1）。这种系统的基本组成部分是：带搜索设备的容器2（即搜索单元）、引导拖缆1和定深器3。

连接在引导拖缆上的定深器可以将搜索单元保持在距海面某一确定距离处（图1.1, a）。搜索单元的下沉深度可以

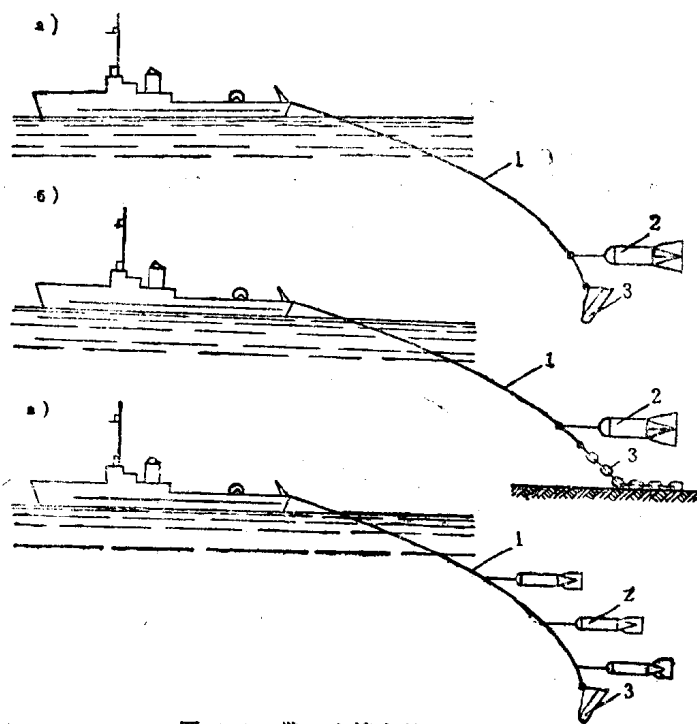


图 1.1 带一个搜索单元和一个分开的定深器的拖曳系统

用放长拖缆或者收缩拖缆的方法加以调节。如果由于某种原因应使拖缆长度维持不变，则可藉助于控制定深器以增大或减小其下沉力的办法达到改变搜索单元下沉深度的目的。

在搜索单元须要保持在距海底某一确定距离时，可以采用带保高链索的滑枕作为定深器(图1.1, 6)。

为了扩展垂直搜索带，以获取勘察水域的剖面图，在引导拖缆上可以装上若干辅助搜索单元以便用于测量各种参数(图1.1, B)。

在许多情况下，采用分开的定深器，拖在搜索单元的前面，很不便于操作。比较适宜的方案是将带搜索设备的容器和它的定深装置装成一个整体结构。

这种拖曳系统的简图如图1.2所示。该系统的主要组成部分是：引导拖缆 1 和拖曳设备 2。

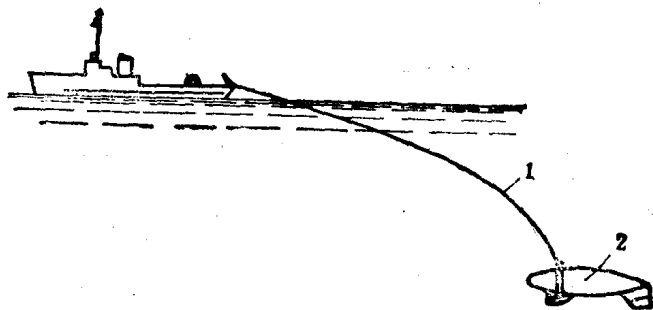


图 1.2 配装支承面的有一个搜索单元的拖曳系统

在绝大多数情况下，检测各种目标用的搜索设备具有的灵敏区宽度是不大的。为了拓展搜索带宽，适宜采用几个搜索单元（即带搜索设备的容器）相互平行地拖曳作业的方法。实现拓展带宽的最简单的办法就是用双船拖曳系统(图1.3, a)。

在有几个搜索单元的双船拖曳系统中，用在带一个搜索单元的拖曳系统所采取的相同方法，使其拖缆工作部分的定端维持在距海面或海底的规定深度上。为消除拖缆工作部分在拖动时产生相对其平均位置的振动，应该使该部分拖缆利用浮体或定深器和海面或海底联系起来。不只是在它的定端采用引导拖缆和定深器实现这种联系，而且要有若干点*。

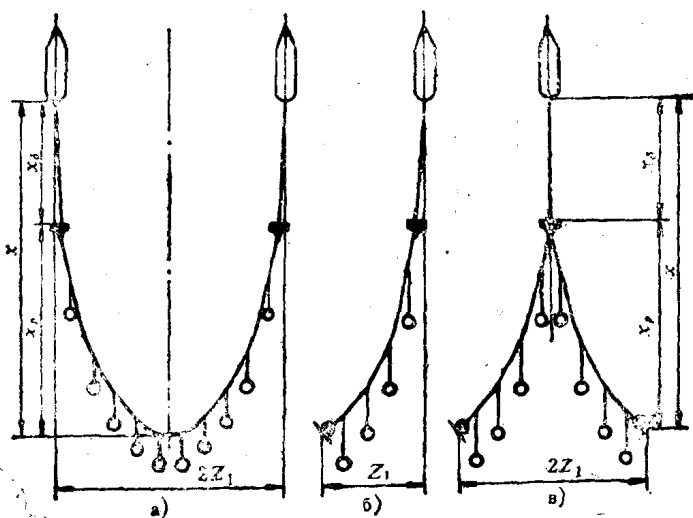


图 1.3 带几个搜索单元的双船式和单船式拖曳系统

为克服双船式拖曳系统带来的拖曳速度低、噪声大以及必须有两条船参加操作所引起的不便等缺点，提出了有必要设计制造用一条船拖带几个搜索单元的单船拖曳系统。这类拖曳系统的简图如图1.3,6所示。将拖缆的工作部分的动端

*确切地说，这只是降振的一种方法。——译者注

拉到船的首尾平面旁边，从而确保所需的搜索带宽以及使工作部分的动端维持在一给定深度上，这三点均可借助于一个特制的展开系统完成。拖缆工作部分的定端则用引导定深器和拖缆使之保持在一确定的深度上。

如果要使拖缆工作部分都保持在离海底某一给定距离处，则应采取适当的方法将工作部分的动端和定端与海底联系起来。使用带有保高链索的可滑动的主导滑枕是实现这种联系的一种最简单的办法。

单船拖曳系统与双船拖曳系统相比具有下述优点，即：操作灵活方便；布放与回收过程简单（特别是在一天的黑暗时间内工作）；只需单船拖曳；拖曳速度大为提高，因而使搜索进行速度也相应加快。

如图1.3,6所示的拖曳系统是一种单船单侧拖曳系统框图，因为它只把拖缆的工作部分拉到船的一个舷侧之外。

为了拓宽搜索带，可以利用一种带有两个展开系统的两个拖缆工作部分组成的拖曳系统。两个展开系统能确保拖缆工作部分的动端布放在拖船首尾面的左右两侧。这类拖曳系统被称作单船双侧拖曳系统（图1.3, b）。

在水下搜索系统中只包含两、三个搜索单元的情况下，没有必要采用双船拖曳系统或带有独立展开器的单船单侧或单船双侧拖曳系统，比较合适的办法是给头尾两个搜索单元各装一个能产生排展力的支承面。

1.2 拖曳系统的主要技术参数

在设计不同用途的拖曳系统的工程师面前，面临的任务是要设计制造出满足任务书中所提出的确定技术参数的拖曳系统。

用途或结构不同的拖曳系统的主要技术参数如下：

- 1) 拖曳用船数；
- 2) 最高拖曳速度；
- 3) 额定拖曳速度；
- 4) 拖曳系统在最高拖曳速度下所产生的拉力；
- 5) 拖曳系统的搜索带宽和捕捉区宽度；
- 6) 拖曳系统的，特别是引导拖缆的滞后长度；
- 7) 拖曳系统的最大下沉深度；
- 8) 拖曳系统的最小下沉深度；
- 9) 拖缆工作部分的始端角和终端角；
- 10) 引导拖缆的始端角和终端角；
- 11) 拖缆工作部分的长度；
- 12) 引导拖缆的长度。

将上述列举的部分参数记在拖曳系统设计技术任务书中，其余部分则应由设计者在设计过程中确定。

除此以外，在技术任务书中还可以提出补充的特殊要求，作为设计时考虑问题的依据。

现在，我们较详细地讨论拖曳系统的各个技术参数。

拖曳所需的船数由拖曳系统的结构方案确定。

总的来说，单船拖曳系统通常是具有很大优越性的。但是，如果要求拖曳系统具有宽的搜索带，则在设计低速水下搜索系统时，采用双船拖曳系统方案可能是比较合适的。这是由于单船拖曳系统同时需要使用十分笨重的展开器的缘故。

水下搜索系统的最大拖曳速度一方面取决于系统用途、结构以及各个部件的坚固程度，另一方面，也依赖于拖曳船只的能源设备，即主机的功率大小。

首先，拖曳速度受拖曳系统中存在的引导浮体或支托浮