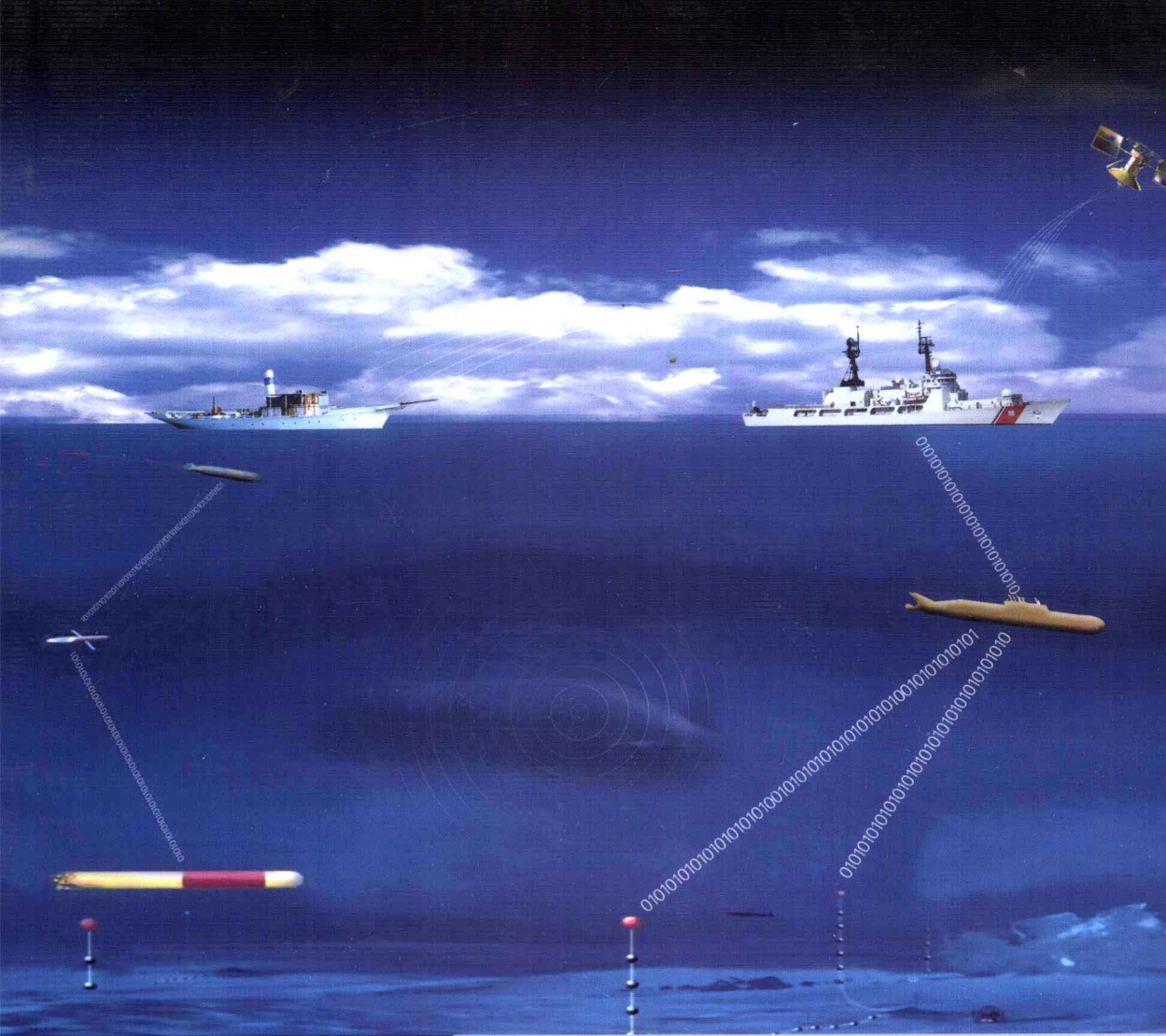




网络化水声对抗技术

董阳泽 张刚强 印明明◎著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

网络化水声对抗技术

董阳泽 张刚强 印明明 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书就提出的“网络化水声对抗”概念进行了详细的描述,列举了其中的关键技术,并进行了初步的研究和实践。全书共9章,首先概述了网络化水声对抗概念的起因及其技术基础,给出了其概念、体系结构和关键技术;针对相应的关键技术,开展了相应的研究,主要内容包括水声通信对抗技术、水声网络在鱼雷防御中的应用、网络化协同对抗技术和水声网络攻击与防御技术;最后描述出了网络化水声对抗发展的前景。

本书可供从事水声工程及水声对抗技术研究工作的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

网络化水声对抗技术/董阳泽,张刚强,印明明著. —北京:电子工业出版社,2012.3
ISBN 978-7-121-15675-5

I. ①网… II. ①董…②张…③印… III. ①声纳—军事技术 IV. ①E925

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第002086号

责任编辑:赵娜

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 13.25 字数: 250千字 彩插: 4

印 次: 2012年3月第1次印刷

定 价: 39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

鱼雷自从 19 世纪问世以来，就一直是先前横行海下的潜艇安全的最大威胁。导弹出现后，人们一度认为水面舰艇防御的重点应该转向防空。但 1982 年英阿马岛海战修正了这种观点——鱼雷仍是水面舰艇安全的最大威胁。所以，鱼雷防御就成为舰艇安全保障的重要措施。由于鱼雷防御主要是利用水声的手段，因此，从保障舰艇免遭来自水下威胁的角度看，更多地被称为“水声对抗”。

水声对抗技术和鱼雷技术是一对矛盾，但它们的发展却是如影随形的，在相互竞争中彼此促进。当今几乎所有的舰艇都装备了水声对抗系统，对于提高海战中舰艇的生存能力起到了重要作用。

和其他任何技术一样，水声对抗技术也经历了一个从无到有、从小到大、从弱到强的过程。这一方面是由于新的相关技术不断出现，另一方面是由于新的需求不断产生。

近二三十年来，水声通信和水声网络技术得到了长足的发展，水声对抗向网络化方向发展有了强大的技术支撑；几乎同一阶段，除了鱼雷技术突飞猛进外，舰艇来自水下的其他威胁也大大增加，因而需要水声对抗技术直面这些挑战。“网络化水声对抗”的提出，正当其时、正当其用，这是一个结合了水声对抗技术和水声网络技术的新概念，可望在网络中心战条件下发挥重要作用。

为进一步推动水声对抗技术的发展，我国在水声对抗基础理论和应用基础等方面投入了大量的人力和物力，开展了系统、深入的研究。提出“网络化水声对抗”概念的本书作者都是水声对抗技术研究第一线的骨干：董阳泽研究员在做我的博士生期间，从 2000 年起开始从事水声对抗技术的研究；张刚强工程师和印明明工程师在水声对抗技术领域也显示出了极大的潜力。在过去的几年中，他们对“网络化水声对抗”进行了较为深入的理论研究，并进行了初步实践。本书就是他们所在的水声对抗技术重点实验室在此方向研究的最新成果汇集。

作者邀我作序，我欣然同意。作为他们的老师，一方面是对他们努力工作和取得成绩的赞许，另一方面也寄托着更大的希望。同时，也希望此书的出版能引起相关领域专家的关注，以共同为我国水声对抗事业的发展贡献力量。

姚瑛

2011年冬于上海

前 言

网络中心战概念的出现，是 200 年来军事领域最重要的变革，这是一个涵盖了海、陆、空、天等所有地理空间及电磁空间的全物理域战争形式。它以网络为中心，将各种作战系统紧密地联成一体，最大限度地体现了信息和信息融合技术在战争中的作用。网络中心战最初由美国海军提出，并通过海湾战争、阿富汗战争等得到了实践。

近 30 年来，由于水声通信和网络技术的飞速发展，水声网络技术得到了长足的发展，取得了令人瞩目的进步。国外发展水声网络具有明显的军事背景。水声对抗是水下战场最主要的作战形式，近年来，随着鱼雷技术的进步以及对抗目标种类的不断扩展，其发展却遇到了瓶颈，必须有所突破。水声网络的出现，正当其时，正当其用。因此，作者将水声对抗与水声网络相结合，提出了“网络化水声对抗”的概念。这是未来水声对抗技术发展的方向之一。

网络化水声对抗的研究可以分为三个层次——系统、设备和技术。其中，技术是最底层的支撑，在其之上的设备是构成应用系统的物质基础，系统则是最终面向应用的集成。技术转化为设备是一个工程化的过程，工程经验和理论同样重要；设备集成为系统更非简单的堆叠，而需要系统化的设计，是一个属于系统工程范畴的实践。

与传统的水声对抗相比，网络化水声对抗最本质的特点就是水声网络在其中的出现。因此，研究网络化水声对抗将围绕水声网络的加入而展开。由此，利用和针对水声网络的对抗将成为其中的重要内容。

本书前半部分从描述战争形态、作战空间出发，结合水声对抗系统和技术发展的现状，提出了网络化水声对抗的概念。水声对抗与水声网络是网络化水声对抗概念的两个支撑点，因此综述了其发展现状，以及水声网络本身的技术基础。水声对抗与水声网络相结合，水声网络既是对抗所需，也是对抗的对象，由此，给出了网络化水声对抗的具体概念和系统结构，并对其中的关键技术进行了简要描述。

后半部分是作者所在研究团队就网络化水声对抗技术的部分具体研究成果，包括水声通信对抗技术、水声网络在水声对抗中的应用、网络化协同对抗技术，以及

水声网络攻击与防御技术。但这些研究还是初步的，距离实际应用还有很长的路程。然而，这些初步的研究在一定意义上证明了网络化水声对抗概念的实用性，希望可以起到抛砖引玉的作用，以推动网络化水声对抗概念的不断完善和网络化水声对抗技术的早日实用。

最后，本书对网络化水声对抗技术的未来发展做了展望。首先提出了研究中的一些开放问题，接着展望了网络化水声对抗概念、体系和技术美好的发展前景。

本书由董阳泽主笔，反映了水声对抗技术重点实验室科研团队近年的部分研究成果，其中张刚强、印明明等在研究中作出了重要贡献。张刚强撰写了第5章及8.3.2节的内容，印明明撰写了7.2.3节、7.3.1节的内容。撰写过程中，还参考了大量的文献，均在书中相应位置进行了标注。

如果没有刘平香研究员毫无保留的指导和支持，本书的出版是一项不可能完成的任务。作为水声对抗领域的专家，刘老师在本书策划过程中显示出的把握大局的本领、突出重点的能力，渊博的专业知识和丰富的专业经验，为本书的顺利成稿奠定了基础；初稿之后，刘老师又对全书进行了细致的审查，避免了可能出现的偏差。

本书编写过程中得到了上海船舶电子设备研究所所长、水声对抗技术重点实验室主任孟昭文研究员的大力支持；水声对抗技术重点实验室技术顾问、本人博士生导师姚蓝教授认真审阅了全稿，提出了宝贵的意见，并为本书题写了序言——这是对作者的极大鼓励；概念发轫于本人在上海交通大学从事博士后研究期间，与合作导师史习智教授进行过有益的探讨；部分研究内容是本人在水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室从事第二站博士后研究期间完成的，合作导师许肖梅教授进行了悉心的指导；实验室其他同事也为本书的完成提供了相应的支持。在此，对以上领导、老师和同事们深表谢意！

最后，还要感谢电子工业出版社对本书出版提供的帮助，特别是赵娜编辑的辛勤工作。

限于作者水平，书中疏漏甚至错误在所难免，恳请读者不吝指正！

董阳泽

2011年冬于上海

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 现代战争作战空间及作战形式	2
1.2.1 作战空间	2
1.2.2 作战形式	5
1.3 网络化水声对抗面临的挑战和机会	11
1.3.1 网络化水声对抗面临的挑战	12
1.3.2 网络化水声对抗潜在的机会	14
1.4 网络化水声对抗技术的发展现状	17
1.4.1 网络化水声对抗概念的产生	17
1.4.2 网络化水声对抗技术的发展	18
1.5 本书的主要内容	18
本章参考文献	19
第 2 章 水声对抗技术及其发展	22
2.1 引言	22
2.2 水声对抗技术基础	24
2.2.1 从水声物理到水声工程	24
2.2.2 从水声技术到水声对抗技术	30
2.2.3 从声纳方程到水声对抗器材方程	30
2.3 水声对抗技术发展现状及趋势	34
2.3.1 发展情况	34
2.3.2 发展趋势	42
本章参考文献	42
第 3 章 网络化水声对抗技术基础	45
3.1 引言	45
3.2 水声通信技术	46
3.2.1 通信及其基本过程	46
3.2.2 水声通信技术研究进展	48
3.3 网络技术	51
3.3.1 计算机网络技术	51

3.3.2 无线传感器网络技术	55
3.4 水声网络技术	59
3.4.1 水声网络技术概述	59
3.4.2 水声网络研究进展	62
本章参考文献	65
第4章 网络化水声对抗系统	71
4.1 引言	71
4.2 水声对抗面临的新形势	72
4.2.1 不断发展的鱼雷的威胁	72
4.2.2 舰艇编队水声对抗的需求	73
4.2.3 水声网络潜在的军事应用	74
4.3 水声对抗概念的拓展	77
4.3.1 水声对抗概念深度的拓展	77
4.3.2 水声对抗概念广度的拓展	78
4.3.3 水声对抗概念内涵的拓展	78
4.3.4 水声对抗概念外延的拓展	79
4.4 网络化水声对抗的概念和系统结构	79
4.4.1 网络化水声对抗的概念	80
4.4.2 网络化水声对抗系统结构	80
4.5 网络化水声对抗中的关键技术	82
4.5.1 网络化水声警戒	83
4.5.2 水声对抗器材协同工作	83
4.5.3 对水声网络的攻击	84
4.5.4 水声网络的安全保障	84
4.5.5 网络化水声对抗系统中的信息融合	85
本章参考文献	86
第5章 水声通信对抗技术	87
5.1 引言	87
5.2 水声通信信号侦察技术	88
5.2.1 直扩信号检测技术	88
5.2.2 跳频信号检测技术	91
5.2.3 水声通信信号调制模式识别技术	94
5.3 水声通信信号干扰技术	99
5.3.1 直扩信号干扰技术	100
5.3.2 跳频信号干扰技术	101

5.4 强干扰背景下水声通信技术	102
5.4.1 直扩系统窄带干扰抑制方法	102
5.4.2 直扩系统宽带干扰抑制方法	104
5.4.3 干扰信号和通信信号的盲源分离	105
本章参考文献	115
第6章 水声网络在鱼雷防御中的应用	118
6.1 引言	118
6.2 线导鱼雷导引方法概述	119
6.2.1 线导鱼雷概述	119
6.2.2 定点线导三点法模型	120
6.2.3 非定点线导三点法模型	122
6.3 线导鱼雷网络化对抗思路与方法	124
6.3.1 线导鱼雷对抗新思路	125
6.3.2 线导鱼雷网络化对抗方法	126
6.4 线导鱼雷网络化对抗仿真分析	128
6.4.1 仿真平台及仿真流程	128
6.4.2 仿真条件设定	129
6.4.3 仿真结果和分析	130
本章参考文献	135
第7章 网络化协同对抗技术	137
7.1 引言	137
7.2 网络化水声对抗器材——理论和实践	138
7.2.1 概念和关键技术	138
7.2.2 网络化水声对抗器材节点	142
7.2.3 网络化水声对抗器材通用网络协议	144
7.2.4 网络化水声对抗器材初步实践	148
7.3 网络化协同对抗技术	153
7.3.1 网络化协同探测技术	153
7.3.2 网络化水声对抗器材协同工作技术	164
本章参考文献	169
第8章 水声网络攻击与防御技术	171
8.1 引言	171
8.2 网络战对网络的威胁	172
8.2.1 网络侦察	172
8.2.2 网络攻击	172

8.3 水声网络攻击技术	174
8.3.1 水声网络攻击的思路和方法	174
8.3.2 水声网络攻击仿真	177
8.4 水声网络安全技术	188
8.4.1 水声网络易受攻击及其防御方案	188
8.4.2 水声网络自重组技术	189
本章参考文献	197
后记	198

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

和平是人类永恒的理想，和谐是人类永远的追求。

然而，遗憾的是，人类社会的历史几乎就是一部战争史。据不完全统计，在有记载的人类历史上，已经发生了大大小小超过 15 000 次战争^[1]。特别是近年来，以美国为主进行的数场区域性战争，使得人们追求永久和平的梦想又放慢了脚步。世界仍不太平。

随着人类社会的发展和进步，战争的形态也在不断地演进。从农业时代以冷兵器为标志的肉搏战，到工业时代以机械化战争为标志的火力战，现在正在向以信息化战争为标志的信息战发展^[2]。全谱战（Full Spectrum Operations, FSO）即是信息战的典型理解。

根据美军分析，未来信息化作战将在信息域、物理域和认知域三个基本领域展开^[3]。网络将成为作战行动的中心，网络中心战将是信息战条件下的主要作战方式。所谓网络中心战，是指利用功能强大的计算机信息网络，将分布于广阔区域内的各种探测系统、指挥系统和武器系统等，集成为一个统一高效的信息网络体系，使各级作战人员能够充分利用该网络共享战场态势、交流作战信息、高效率地指挥与实施作战行动。

战争形式不断演进，作战范围也不断扩大，如今已经发展到了无处不在的地步。陆、海、空、天、赛博（Cyber）诸空间，都成为了可能发生激烈交锋的场所。可能的战争形式也不再是单一战场的对抗，而是全方位的综合实力比拼，任何一个环节的问题都可能被无限放大，从而影响战争的最终结果。

海战的历史同样源远流长，海军力量如今更是成为了各军事强国实力的重要体现。海战涵盖的范围很广，包括海面—空中、海面—海面、海面—水下、水下一水下、水下一空中等多种作战界面的对抗。在海面—水下、水下一水下的对抗中，水声对抗是其主要形式。实际上，其直接的对抗都是发生在水下。

从狭义上讲,或从其最初发展的动因来看,水声对抗研究的范畴就是鱼雷防御。因为在上述的多种对抗形式中,对水面舰船和潜艇构成最大威胁的就是来自水下的鱼雷攻击。而随着水下威胁种类的不断增多以及威胁形式的不断变换,水声对抗的范畴面临着极大的扩展空间:从单雷防御到多(条/种)雷防御、从鱼雷防御到多种威胁防御、从防御到进攻、从点到网……无论从内涵、外延,还是深度、广度上,这样的扩展都将发生,从而将水声对抗系统和技术的发展推向一个前所未有的高度。一以概之,这就是“网络化水声对抗”的概念,是水声对抗领域的最新发展方向之一。

1.2 现代战争作战空间及作战形式

随着社会的不断进步,战争的空间在不断扩展,战争的形式也在不断演进。现代战争已经成为了无处不在、无时不在、无所不包的一种存在。我们,以及身边的一切,都无时无刻不处在战争的包围之中……

1.2.1 作战空间

1. 地理空间

人类首先是在陆地上生活的,最初的(部落)战争也是从陆上的短兵相接开始的,后来扩展到了水域。随着制造工具能力的提升,远程武器(弓箭、火药)的出现,使得视距作战成为了更常见的方式;随着火器威力的不断增加,特别是来到近、现代,物理学的重大突破使得各种高新科技的发展以前所未有的速度跨越,出现了威力无与伦比的智能型武器,超视距作战成为了战争的常态。信息战就是在这种条件下发展起来的。

如今,战场已经包含了陆、海、空、天,在人类已知的地理空间上实现了全方位覆盖,且实现了全天候作战。

2. 赛博空间

近年来开始讨论的“赛博空间(Cyberspace)”,其含义就是“电磁网络空间”。

Wikipedia 大百科全书对其的解释为^[3]：可以通过电子技术和电磁能量调制来访问与开发利用的电磁域空间，并借助此空间以实现更广泛的通信与控制能力。赛博空间集成了大量的实体，包括：传感器、信号、连接、传输、处理器、控制器，不在乎实际的地理位置，以通信与控制为目的，形成一个虚拟集成的世界。在现实中，赛博空间构建了相互依赖的信息技术基础设施网络与电信传输网络，如 Internet、计算机系统、综合传感器、系统控制网络、嵌入式处理器、通用控制器等。从社会的角度讲，可以通过赛博空间实现思想的交流、信息的分享、服务的提供、活动的组织等。美国已经将赛博空间作为其核心的关键的基础设施。

《美国陆军赛博空间战概念能力计划（2016—2028）》^[4]中，对赛博空间的定义为：包含互相依赖的信息技术架构网络的信息环境中的一个全球域，包括 Internet、通信网络、计算机系统，以及嵌入式处理器和控制器。

可见，赛博空间从最初的仅指电磁空间，到网络出现后，已经包含了所有实体的和非实体的网络设施，如网络设备、网络的运行介质以及传输的信息。这样一个虚实结合的空间，是确实的物理存在，但并非全是有形的实体。

赛博空间是现代战争五个作战空间之一，它和陆、海、空、天等其他空间是互相依赖的。赛博空间的节点物理上存在于其他各空间中，赛博空间中的行为可引起其他空间行为的自由发展，其他空间的行为也能对赛博空间的行为产生影响。

赛博空间可分为物理层、逻辑层和社会层三个层，由地理、物理网络、逻辑网络、赛博角色以及人五个元素组成，如图 1-1 所示。

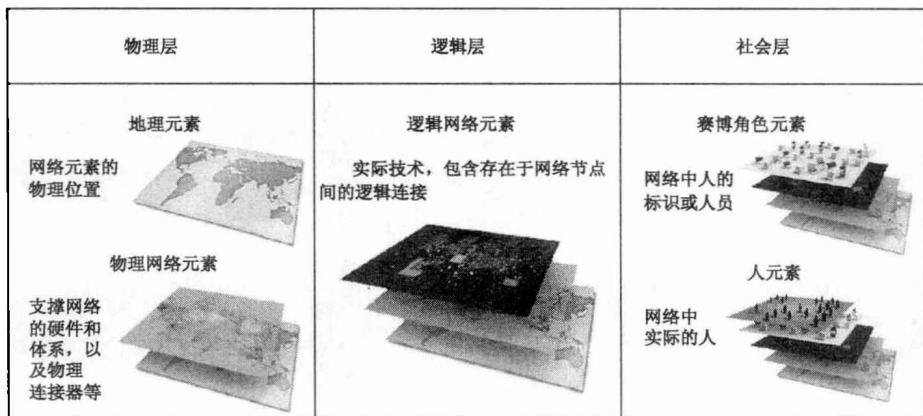


图 1-1 赛博空间的三个层次（五个元素）

- **物理层包括地理元素和物理网络元素** 地理元素是网络元素的物理位置。尽管地理边界可以接近光速的速度穿越，但与其他域间仍有物理联系。物理网络元素包括支持网络的所有的硬件和设施（有线、无线和光纤）以及物理连接器（线缆、无线电频率、路由器、服务器和计算机）。
- **逻辑层包括逻辑网络元素**，它是自然技术，包含存在于网络节点之间的逻辑连接 节点可以是连接于计算机网络的任何设备。节点可以是计算机、个人数字助理（Personal Digital Assistants, PDA）、手机，或其他不同的网络应用。在一个 IP（Internet Protocol，因特网协议）网络中，节点指任何具有 IP 地址的设备。
- **社会层涵盖人和认知方**，包括赛博角色元素和人元素 赛博角色元素包括一个人的标识或在网络上的角色（E-mail 地址、计算机 IP 地址、手机号码等）。人元素是指网络上实际的人。一个人可以有多个赛博角色（如不同计算机上的不同 E-mail 地址），一个赛博角色也可以由多个用户共享（如多人共享一个登录账号）。

图 1-2 显示出了赛博空间中各类设施及其之间的关系，这些设施必须得到保护。

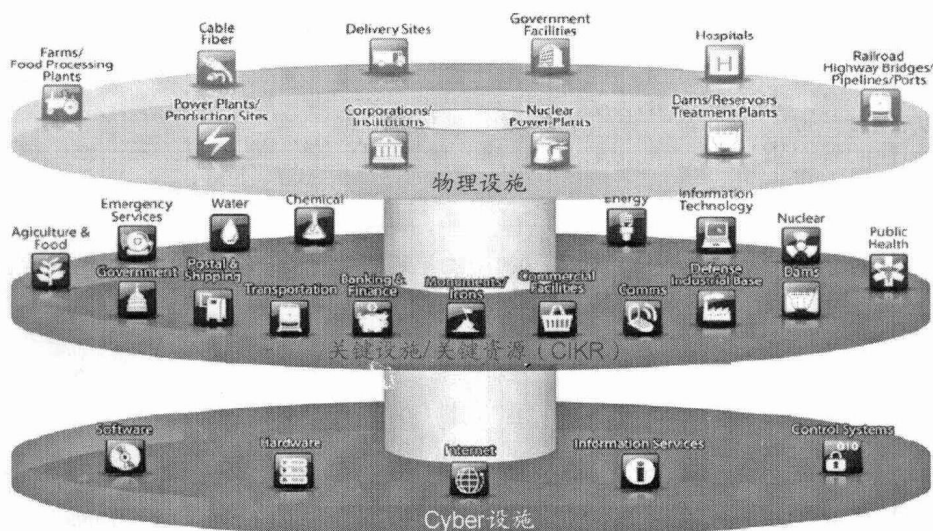


图 1-2 赛博空间中各类设施之间的关系

3. 作战空间

赛博空间和陆、海、空、天等空间一起，构成了现代战争的作战空间，这样的空间包含了目前人们能想象到的一切作战领域，涵盖了硬件的、软件的；有形的、无形的；实体的、虚拟的……所有的物理存在。

1.2.2 作战形式

在第五维作战空间（赛博空间）的概念提出后，关于这一空间中的作战方式出现了多种提法。

1. 全谱战

美国军方认为，现代战争的形式已经发生了重大变化，不再仅仅是军事集团之间的直接对抗，而已经延伸到了社会生活的各个方面；不再仅仅是宣战之后的武装斗争，而已经渗透到了日常活动的每时每刻。这就是美军提出的“全谱战”的基本涵义。

全谱战的缩写为 FSO，它的全称是 Full Spectrum Operations^[5]。美军联合武装中心（Combined Arms Center, CAC）认为从目前的情况看，①FSO 包含的内容（Cyber-EW-IO，赛博战—电磁战—信息战）已经足够，但在未来，肯定还会有所突破；②FSO 中贯穿三个维度，分别是：

- **意志的竞争** 对手是穷凶极恶的敌人、战争派别、犯罪集团和潜在的敌人；
- **战略部署** 包括国内广交朋友、国外争取联盟、在战区获得支持或同情；
- **网络（含电磁）对抗** 有线、无线和光纤技术的发展促进了计算机和通信网络的融合。

2. 信息战

信息战是人类进入信息时代新出现的一种战争现象，是相对于火力战的一种新战争形态，将成为未来世界的主要战争形态。

广义的信息战指对垒的军事（也包括政治、经济、科技及社会一切领域）集团

抢占信息空间和争夺信息资源的战争，狭义的信息战指战争中交战双方在信息领域的对抗。它是现代战争的本质特征之一。

信息战的作战形式主要包括^[6]：

- **情报战** 信息战首先反映在情报战上，是获取信息、了解敌情方面的较量；
- **心理战** 是旨在改变敌方心态的“攻心战”；
- **电子对抗** 是敌对双方为削弱、破坏对方电子设备的使用效能，保障己方电子设备正常发挥效能而进行的对抗；
- **计算机网络对抗** 是指通过计算机网络系统在计算机应用领域进行的作战行动。

可见，在一定程度上，信息战和 FSO 的概念是一致的，是一种全方位的力量比拼。因此，本书对 FSO 和信息战不加区分。

3. 网络中心战

(1) 从“平台中心战”到网络中心战

“平台中心战”是 20 世纪各国海军通常的做法，即海军舰艇、飞机等平台主要依靠自身的探测装置和武器进行战斗，平台与平台之间只能通过有限的几种方法共享少量的信息。

1996 年，我国宣布将在东海进行导弹发射演习时，美国海军的“尼米兹”号和“独立”号两个航母战斗群以及“蓝岭”号两栖指挥舰，立即赶赴台湾海峡为时任台湾领导人壮胆。1998 年以来，美、英等国的军事刊物陆续披露，美国海军在此次行动中首次试用了正在发展中的网络中心战^[7]。

1997 年 4 月 23 日，美国海军作战部长 Jay Johnson 在海军学会的第 123 次年会上称“从平台中心战法转向网络中心战法是一个根本性的转变”，并称网络中心战是 200 年来军事领域最重要的变革^[8]。美国海军“空间、信息战、指挥与控制司令部”司令塞伯罗夫斯基海军中将在 1998 年 1 月号《美国海军学会会刊》上发表了“网络中心战——起源和未来”一文，标志着网络中心战概念的正式诞生^[9]。2002 年 8 月 15 日，美国国防部在向国会和总统提交的 2003 财年《国防报告》中，正式提出了网络中心战的理念，称美国对阿富汗的军事打击行动是网络中心战的雏形。报告把