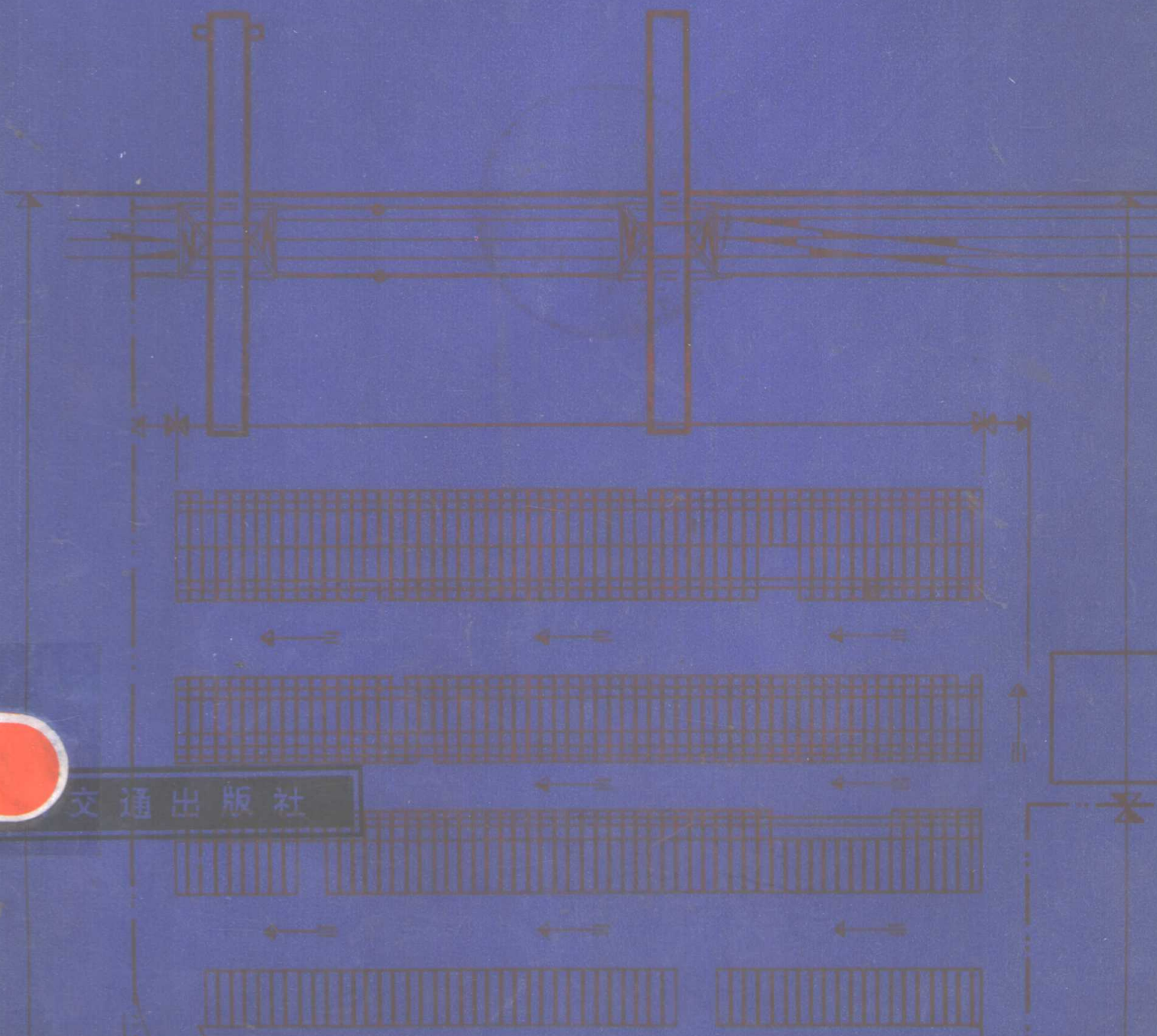


港口工程学

〔美〕P.布鲁恩 著

交通部第一航务工程局设计院技术情报组 译



A technical drawing of a port layout, showing a rectangular area divided into several sections by lines. The drawing includes various symbols, such as circles, rectangles, and arrows, indicating different components and flow directions. The drawing is rendered in a light brown color on a dark blue background.

交通出版社

11504

U65
1

港口工程学

〔美〕P.布鲁恩 著

交通部第一航务工程局设计院

技术情报组 译

人民交通出版社

2402

内 容 提 要

本书译自美国P.布鲁恩编著的港口工程学，1976年第二版。书中主要介绍了港口工程的发展趋向、港内航行条件、码头结构物的设计原则、港口的合理装卸和疏浚技术等。还着重论述了与港口工程有关的海岸地貌、泥沙淤积和航行水力学问题，许多内容都比较新颖。

本书可作教学参考书，并供港口工程的规划设计人员、科研人员参考。

港口工程学

〔美〕P.布鲁恩 著

交通部第一航务工程局设计院

技术情报组 译

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：28.5 字数：664千

1981年6月 第1版

1981年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,900册 定价：4.40元

译 者 的 话

本书的第一版，是作者在夏威夷大学港口和海洋工程系进修班任教时的讲义汇编而成。第二版又补充了港口工程领域内最新的发展情况和研究成果。

本书从宏观角度，介绍了港口工程的发展趋向，港内航行及水力学，波浪流体力学和各种防护措施，码头结构物有关的设计原则，港口的业务功能及其合理的装卸工艺，港口经济学及其内容，沿岸漂沙和淤积，与港口工程有关的海岸地貌问题，疏浚技术以及渔港、小艇基地的设计原则等。本书着重论述了与港口工程有关的海岸地貌，泥沙淤积与水力学问题，而不是偏重结构方面。这是本书与其它一般港口工程书籍不同的特点。作者引用了大量欧美港口工程的成功与失败的实例和有关的参考文献。对港口工程的规划设计人员、科研人员、教学师生等有重要的参考价值。

参加本书译校的人员有：沈家莘、赵金修、王尚毅、吴炯、顾民权、谢世楞、包文俊、钱征、翁祖章、李乃扬、杨桂樾、项振勇。

责任编辑：王绍文（人民交通出版社）

目 录

译者的话

第一章 港口工程的现代发展趋向	1
一、深水船舶停泊设施的发展.....	1
二、矿石运输.....	3
三、成组运输.....	5
四、未来的港口发展.....	7
五、港口经济学.....	12
六、小船基地.....	14
第二章 港口规划和设计——港内航行与水力学	15
一、港湾的口门和航道.....	15
二、港湾水力学.....	24
第三章 港口的规划和设计——防波堤、突堤和突码头	56
一、防波堤和突堤.....	56
二、斜坡式防波堤.....	70
三、设计波高.....	79
四、最近的发展.....	83
五、经济合理性和最优设计.....	92
六、外海和突码头设施.....	94
七、作用于大直径结构物上的波浪力.....	105
八、设计波浪统计.....	107
第四章 港口的规划和设计——透空式码头、实体式码头、缓冲设施、靠船墩和系船设备	122
一、作用于结构物上的靠船力和系船力.....	143
二、系船设备.....	163
三、浮箱式顺岸码头和突码头.....	158
四、转运设备.....	161
五、终点港.....	164
第五章 港口的规划和设计——各种转运设施	173
一、传统的转运.....	174
二、集装箱和货板成组化系统.....	176
三、集装箱转运的发展趋向.....	190
四、专用船舶.....	191
五、散货转运的发展趋向.....	192
六、货板系统.....	196
七、成组货的尺寸.....	200
八、各种系统的费用比较.....	201

九、港口运输研究	208
第六章 沿岸漂沙和淤积问题	212
一、沿岸漂沙	212
二、沿岸漂沙和海岸结构物	221
三、示踪法	232
四、河口淤积问题	232
五、河口淤积	235
六、海底的沙波	254
第七章 与港口工程有关的海岸地貌学	263
一、静力和变迁论	264
二、动力论	265
三、侵蚀和淤积	266
四、海面上升的影响	267
五、岸线几何形状	269
六、海滩剖面的发育	277
七、上冲下刷和剖面的发育	286
八、港口设施对海岸地貌发育的影响	295
九、海岸地貌学的新发展	309
第八章 冲积海岸的潮流通道	314
一、潮汐水力学	314
二、冲积海岸的潮流通道	317
三、断面的稳定性	326
四、 Ω/M 或 A/M 比值的重要性	333
五、用 $V_{mean\ max}$ 和 Ω/M_{total} 说明相对入口稳定性	335
第九章 疏浚技术	343
一、挖泥船的类型	343
二、疏浚方式	352
三、疏浚经济学	374
第十章 渔港——小艇港湾	379
一、渔业基地	379
二、渔港设施的必要条件	382
三、小艇港湾	389

附 录

附录 1 桩基础	397
附录 2 锚碇岸壁	401
附录 3 大型船舶的靠泊作业	409
附录 4 在港湾、海岸和海洋工程中示踪物的应用	419
附录 5 最优的集装箱船及其终点港	429
附录 6 作用于深水直立式防波堤上的波浪力	443
附录 7 渔港《删节》	

第一章 港口工程的现代发展趋向

港口工程现代发展趋向的特点是要适应吃水更深的船舶需要。运输原油的油轮尺度不断增大，1974年已达到50万载重吨；矿石船目前已达到12万载重吨，并即将增大到15万载重吨。采用集装箱、货板以及“开上开下”方式的成组运输，发展的很快，这都要求新建专用的港口设施和转运系统。目前另一种发展趋向是接纳海上小型游艇的基地逐渐增多。

一、深水船舶停泊设施的发展

为吃水较深的散货船而新建的港口设施，包括供外海油轮停泊的浮筒式或平台式的停靠设施，它们除装卸石油用的海底管线外，其它均不与岸上连接。外海矿石船的装货码头，通常是用引桥结构物与岸上连接，引桥供架设输送机及其它设备之用。

图1.2为黎巴嫩西顿港外海游离式系船设施的布置，它可以在小浪到中浪情况下进行作业。在利比亚的北海岸布雷加堡，埃索公司的弓形系船设施是一种油轮平台系船的实例之一。该设施在参考文献6中由L.E.范霍顿和G.A.麦克卡门隆作了叙述。97,000载重吨的油轮曾在风速大于50海里与波高大于17英尺的情况下装油。该设施布置在离岸6000英尺、水深100英尺的外海。平台是用42英寸的海底管线与岸上连接。它由一座塔形结构物固定在海底，一个可旋转的系船构架装配在塔上，一根沉没式的装油臂用球形接头从塔上悬浮在水中。当无船靠泊时，装油臂可以自由摆动，其纵轴位于波浪与海流两力合力的平行方向。船舶要顶着风浪靠近平台。船舶离平台300~500英尺时，工作船将缓冲设备上系船柱的临时缆绳送到船上。当船舶暂时利用缆绳后退到自然位置后，装油臂摆动在舷侧。用正式缆绳使船与系船构架系紧，并在平台与船之间再加一根倒缆。随后，船舶就可以轻易地接上装油软管（见图1.3）。

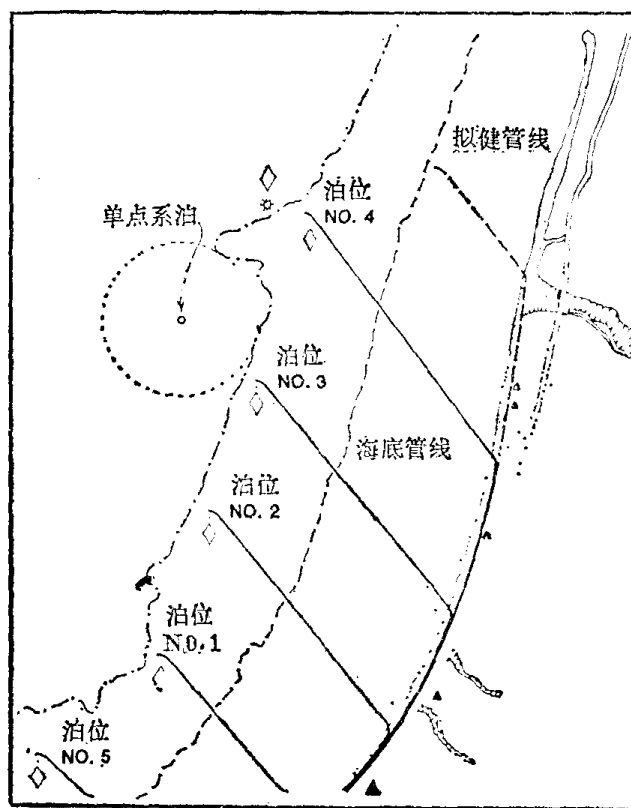


图1.2 黎巴嫩西顿港外海系船设施

装油完毕后，这种设备可使解开系缆迅速可靠。而且这种方式较之其它系船设施容许船舶在较恶劣海况条件下停泊较长时间。它还许可缩短船间的间距，从而提高了利用率，并能采用大口径的管线连接到船边。

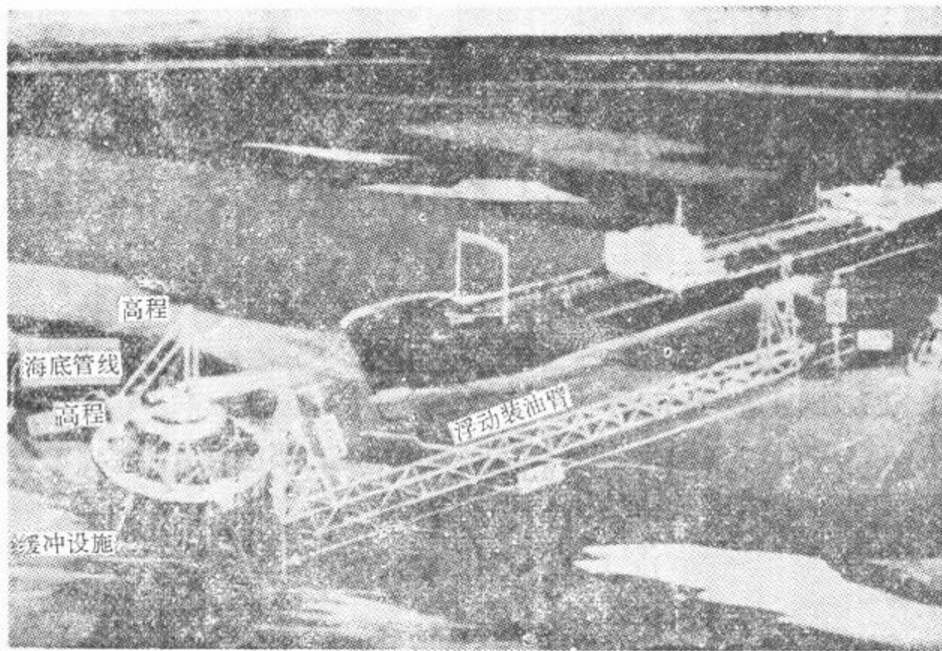


图1.3 利比亚布雷加堡系船平台（美国土木工程师学会水道和港湾杂志1971.WW3.）

布雷加堡采用弓形系船设施的主要理由，是由于它既能为油轮提供可靠的泊位和装油设备，又不需用大量的投资建造深水港。

建成后，在一次大风暴中，装油臂因受到过大的扭力而从平台上折断。新的装油臂为一锤头型的转动构架，构架下悬浮的装油臂支承在球节上，构架的端部用作油轮的系缆点。

值得注意的是，整个设计是根据推算的波浪进行的，推算的最大波高12英尺将在90%的时间内遇到。假设的最大波高为30英尺，而偶尔的风暴会产生40英尺的波浪。有船系泊时，按全部作业过程都有12英尺波浪的力进行设计，而在无船系泊时，则按30英尺波浪的疲劳应力设计。

1970年，加拿大在新布伦瑞克省圣约翰的外海，建造了一座运用于北极气候条件的系泊浮筒，供35万载重吨的油轮系泊。除了它是目前最大的浮筒之外，另一特点是设有加温罩，可容许在最严寒的气候条件下使用（见图1.4）。

加热过的原油在浮筒内循环，可以防止冻结，否则在作业时将由于冰的重量可能使浮筒倾覆或下沉。浮筒离岸相当远，作业是自动化的。

由于在冬季往往不能进行常规的检查，所以配有一套高度先进的扫描和警报系统。罩内是发动机室，备有两套柴油发动机，两套附有循环泵的原油加热罐，一套空气补给系统，一套灭火设备以及一套配线板。配线板上装有一套自动调节油温、起动与警报系统以及一套综合的安全系统。

全部主要系统都是双套的，一有事故，备用系统立即起动使用。装备了各种可能出现事故的信号，能把事故的性质和范围立即用无线电自动通报岸上。浮筒内储备有一星期的燃料。

为了保持罩内温度在所要求的 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 范围内，原油加热到 250°C 就通过全长约2200米的管线内循环。加温系统用恒温器控制，而恒温器则用装设在浮筒外部的传感器控制。

温度控制系统还有专为消除所谓圆顶建筑效应的设计，即由于传感器上有一层薄冰而造成的热绝缘，使加温装置停止工作，这样就会造成罩上结冰的危险。

据称，浮筒是不沉的。浮筒内格舱充填有70万公升膨胀的聚氨基甲酸酯，它是一种硬塑

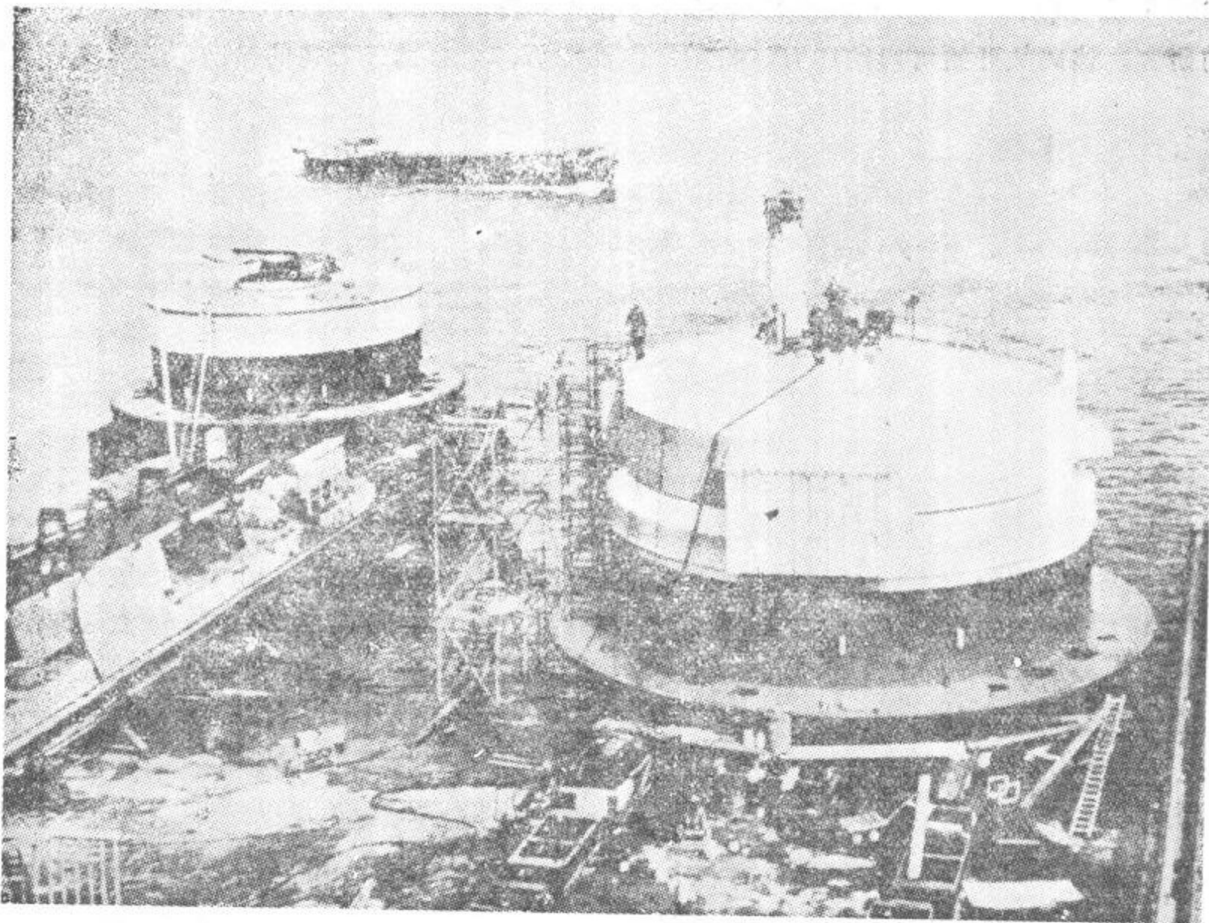


图1.4 安装在加拿大新布伦瑞克省圣约翰外海供35万吨油轮系泊的浮筒（船坞与港湾管理，1969年11月）

料，容重为35~37公斤/米³。

如上所述，油轮的尺寸看来还会增大。离岸式系船设施将变得越来越普遍，以取代造价高昂的深水港口设施，以及需用深而长的进港航道连接的港池或泻湖。

二、矿石运输

必须指出，任何工业产品的成本，都取决于到达工厂的原材料的价格，亦即原材料在产地的价格加上运费。例如钢，它的成本的一半是运费。可见，降低原材料从产地到工厂的运费，能使产品的价格降低。

在大多数情况下，大型散货船都是配合租约规定的终点港条件而建造的。然而，多数船舶的租约都比船龄短，都尽量争取扩大贸易范围，使船的载重吨位高而吃水浅，以适应港口的现有条件。这就导致了船舶主要尺寸的对比发生显著变化，例如，满载时约为65,000吨的船，最大吃水为42英尺。而近年建造的船舶都比较宽，也有些是加长了。其载重量可达80000吨，而吃水同样只有42英尺。

目前，世界上相当于8~10万载重吨的铁矿石船吃水达45英尺。不久的将来，某些日本的矿石港将要接纳15万载重吨的船舶，吃水为55英尺。这种趋向无疑的是船舶的尺寸在稳定地增大。为使铁矿能在世界市场上竞争，矿石的出口港将要改进，而进口港也随之配合使运费降至最低，以取得商业上最大可能的自由权。

图1.5为一矿石船在南威尔士的塔尔伯特港卸货的图片，新建的大型矿石进口港设施于

1969 年完工投产⁽²⁾。英国码头转运局为发展这一极其现代化的矿石码头设施，进行了全面的研究。该码头开始可容纳10万吨船舶，但加深后，可容纳15万吨的船舶。

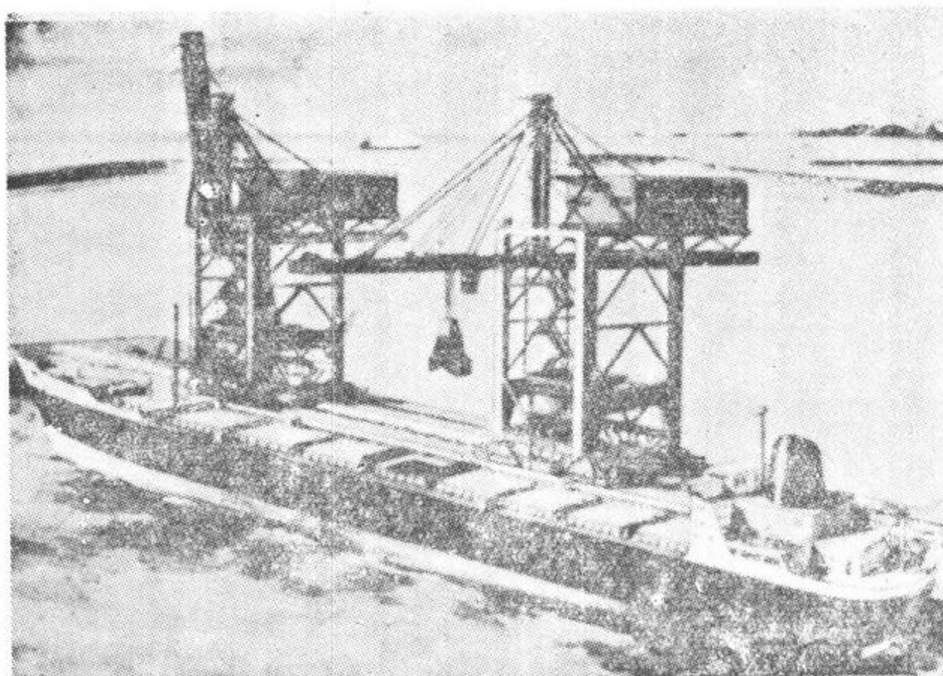


图1.5 南威尔士塔尔伯特港卸矿石情形（船坞和港湾管理，1968年6月）

澳大利亚塔斯马尼亚的拉塔（Latta）港外海装船码头是一个现代化矿石装船设施的实例⁽³⁾。开发塔斯马尼亚西北部塞威琪河（Savage）磁铁矿，需要一个适当的港址设立碎矿车间，并把碎矿装到大型矿石船运往日本。从港区连通矿区铺设53英里长的矿石稀浆管线。装船设施是离岸的浮筒式停船系统，靠离作业可不用拖轮协助。当靠泊时，船舶可根据当时海况，用锚系靠码头或取迎浪位置（见图1.6）。

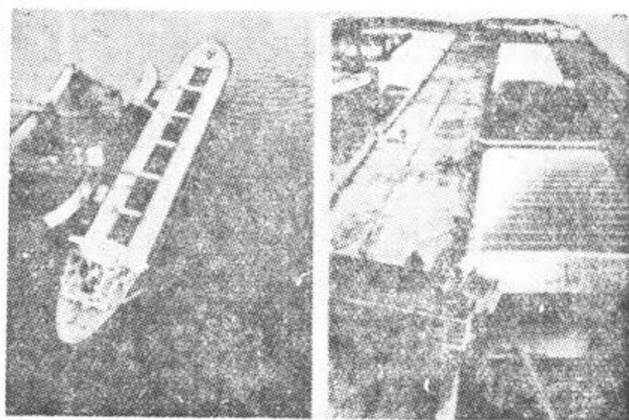


图1.6 塔斯马尼亚的拉塔港装船设施
（土木工程，1969，1月）

装矿石用两台新式的旋转桥型装船机，每台装矿机均有100英尺长的输送装载臂，既可上升也可下降，并可作100英尺长的水平伸缩移动。在船舶不移动的状态下，这两台装船机可达到船舱的全长（500英尺）。这种装船机是整体设计概念的发展，它比传统的沿着突码头全长来回移动的装船机有很大的节约。这种布置形式，只要用两座靠船墩就足以代表全部设施。

两台装船机可以不中断地轮流作业，规定的效率为48,000吨/天。有两台斗轮取料机从岸上的碎矿堆挖取球状铁矿石，经碎矿堆间的输送带通过取样站送到5860英尺长的桥式输送机。该码头还可从油轮卸燃料油。

经勘察查明，现场为斜坡的大陆架岩石海底，沙质覆盖层很薄。从声纳和扫描探测的结果看来，10万吨的矿石船泊位应离岸6000英尺。岩石疏浚在经济上代价太大，钢桩打桩贯入度不够。

对于1英里长的输送机引桥,选用了经济的200英尺长的箱式钢桁架,支承在200英尺间距的排架上。单独的103英尺和280英尺箱式桁架各一座,则用于交叉输送机和回转桥处。排架桁架的支承平台高出平均低潮位25英尺,以避免风暴潮的冲击。此外,排架的设计应能抵抗作用在桩基上的波压力和对上部结构来自各方面的风压力,以及输送机的反作用力。

岩石底质要求采用钢桩。该特殊的设计将在第三章中说明,更详细的情况见参考文献3。

港口工程的另一重要趋向是深水进港航道的施工⁽⁴⁾。目前,在内河或河口建成有足够水深的大型港口可容纳较大吃水船舶的有伦敦、安特卫普和纽约港。二次世界大战之后,船舶吃水增加特别迅速,这就要求疏浚更深的航道。天然的潮汐和河流,可以维持一定的航道断面与水深。但港口设施的发展往往减少潮流量,相应的岸上设施,包括污水系统往往增加淤积问题,而航道的疏浚又增加了咸水侵入。正如第六章所说明的,有许多河港和河口港一般都体验到维护疏浚量增加了。

上述实例在这方面是有特点的。安特卫普港已进行综合的模型试验,以期得到一条40英尺进港航道包括航道位置和断面的较好的几何形状。伦敦港为了寻找挖泥的安全倾卸区,已在采用全面的示踪物试验。现在一般公认,在有强潮流的河口抛泥可能是危险的做法。泰晤士河用上述(放射性)示踪物试验的结果,证明淤泥能被带回航道中,这在第六章将予以说明。为了保存生物,美国内政部近年来已制定条例,禁止在能污染水质与危害生物的地区倾倒疏浚的物质。这些物质必须倾卸在不会引起冲刷,而把泥沙又带回来的海岸堤防背面。

有些地方,由于有大量的散货转运,一定要把航道挖深到适合船舶吃水的水深。最好的实例是委内瑞拉的马拉开波湖,它要求航道加深到45~50英尺,而奥里诺科河口是铁矿运输必经之路。由于这些原因,就发展了边抛式疏浚法,该方法将在第九章中说明。最值得注意的是,这不仅是一种很有效的新技术,而且现已证实被抛离300~400英尺的泥沙会形成一种潜水堤,它有助于保护浚深的航道不被两旁漂沙侵入,尽管某些倾卸的泥沙仍会回到航道来。这一情况使美国陆军工程兵团相信边抛疏浚法在适当的环境下有显著的优点。实际上,这是“搅动疏浚”法的改进。在某种程度上说,开底船都是这样作业的。“搅动疏浚”术语,是指从疏浚区以外的盛行流带来的并沉积下来的固体颗粒在原地加以扰动的结果。虽然边抛疏浚法又称“横臂疏浚”,用途有一定的限制,但在泥沙较细,而且在盛行流可能把泥沙带走的区域,是肯定可用的。详见第九章。

三、成组运输

货物的合理装卸,也有很重大的发展。所谓合理装卸的关键,就是成组化。货物应当集合成较大的组合件,以便机械装卸,这是取得任何改进前必先做到的。货物成组化主要有两种方式⁽¹⁾:集装箱方式和货板方式。

装在1.5~3万吨的船上用38吨组合件的大型集装箱运输的情形(图5.4a和5.4b)见参考文献5。集装箱运输的细节,见第五章与参考文献1。

在航运业中,集装箱运输分为四种:“开上开下”业务;近海和沿海的公用集装箱运输;远洋航线的公用集装箱运输;集装箱船业务。“开上开下”在近海航运中特别有效,无疑地还会更为普遍。公用集装箱多用于近海航运,在远洋运输的比重很小。

用于件杂货船上的公用集装箱通常受到船舱结构的限制。如果用折衷办法，船上既装集装箱又装零星货，则集装箱化周转迅速的主要优点就大为损失，而且还断断续续出现人员过多的缺点。虽然大量件杂货的有效运输要求建造专用船或把现有货船作较大的改装，但必须注意，把普通件杂货船改装成集装箱船，会大大减少甲板下的空间。总之，如果集装箱是大量的，从各方面说，都应当采用专用船。在远洋航运中，有很重要的一点，即周转快的效果，要随着航程长度的增加而减少。假定航程是三天，则在港时间从四天降到两天可缩短30%的周转时间；如航程是六天，则缩短的周转时间就只有20%⁽⁵⁾。

十五年前，货运部门已准备在装卸与运输中大量应用货板。虽然在近海航运中，货板发展很快，但在远洋航运中并不普遍。大量同类货物作长距离运输，显然用集装箱是经济的。最有效的系统是“门到门”系统，它对发货人与收货人都方便。“门到门”系统中，全过程包括内陆运输、码头组装、装船和卸船及海上运输，通常是由一家公司负责。这样就简化了手续并减少了运费。这种系统，有些是从“货车运输业向海运发展的”，而不是航运业向内陆营运结合起来的。

曾在深水泊位营运公用集装箱这一比较保守的“港到港”业务，现已证明不一定是经济的。因为在码头上装箱、拆箱以及移运空箱的费用太大，而且货物本身的搬运问题仍然不可避免。这种集装箱化业务必然要求在码头上建造大型仓库，以便卸空进口箱，堆存需要快运的货物，并接收出口货和装入集装箱。还需要大面积的编组场地，而这种大面积空地的要求，在业务繁忙的港口码头上往往是有困难的。

日本集装箱协会在横滨港的经验令人失望。1966年进口了60%的集装箱是“港到港”系统，而不是更有利的“门到门”系统。值得注意的是，在1964年横滨进口集装箱的70%是空箱，集装箱化只有“一次装箱”多次转运，而不仅是单向运输才显出它的优越性。所以“门到门”系统，将来一定会渗透到未来集装箱运输业务中去。这已反映在发展起来的集装箱船码头正在使用30吨的集装箱，为散装货的集装箱服务。另外，还建造了用拖头上下船装卸的“开上开下”设施。如上所述，这种系统对较大数量标准货的近海航运特别适用，例如英国和北海沿岸其它国家之间的贸易。

鹿特丹、安特卫普及纽约港已建成大量的集装箱码头。专用集装箱已在美国东海岸港口和英国、比利时、荷兰、瑞典各港间通航。在太平洋航线，美国西海岸和日本间的集装箱航运发展得也很快。火奴鲁鲁有非常现代化的供集装箱船使用的设施。要使这些设施充分发挥作用，必须有足够的陆域面积、起重机、陆上运输车辆和仓库（见第五章）。目前已有大量的各种各样的有效运输设备为集装箱码头服务。澳大利亚是集装箱运输最发达的国家之一。

在参考文献1中，格特等人认为，在所有近海航运中，至今货板还比集装箱普遍得多。它集中用于小件运输，其重量通常在0.5~2吨之间。装卸这样的货物，不论在船上、码头上或仓库中，都比集装箱运输方便与经济得多。正因为它与集装箱系统相反，能适用于中等运距、中等货运量的航线，因此普遍应用于沿海航运。它不像集装箱那样需要许多高价的集装箱运输设备。最有效的装卸货板的设备是铲车，它可以通过混合的舷门和舷舱口。把舷门和舷舱口结合起来，¹货板装卸就能通过舷门，不受船舶与码头相对高度的影响。这是货板方式比保守的公用搬运车系统的许多优点之一。集装箱的转运，需要重型的陆上拖车和载重车设备。而货板的转运，则只要廉价的货板（例如，每块12平方英尺的货板造价2.5美元）和普通的载重车。集装箱需要很大的码头和仓库面积。如用跨运车装卸，800个20英尺的集装箱或400个40英尺的集装箱，就需要约10英亩的总存面积。如集装箱堆成两层高，则60%

的面积就够了。完全“门到门”的集装箱化业务，在码头上可不用仓库，但为了有时要在港内装满或卸空集装箱，所以还是需要一个仓库。

四、未来的港口发展

如上所述，港口的发展将突出地要求更大的水深、更长和更宽的码头。为了加快船舶周转和提高生产率，装卸大宗块状散货和大件货，将要求更大的堆存面积、重型的起重机及其它设备。其结果是建筑物和设备的投资增加了，但只需要技术熟练的工人，而手工劳动则将大为减少。

这些趋向，在拉丁美洲、南欧、北非以及东亚等一些富裕的发展中的国家尤为显著。

鹿特丹的宏伟的新海港—欧罗港，无疑是最突出的实例（图1.7）。该港拥有一个大型油轮港池（能靠泊25万吨、65英尺吃水的油轮），若干为集装箱服务的港池以及靠泊各种散货船的巨大水域面积。

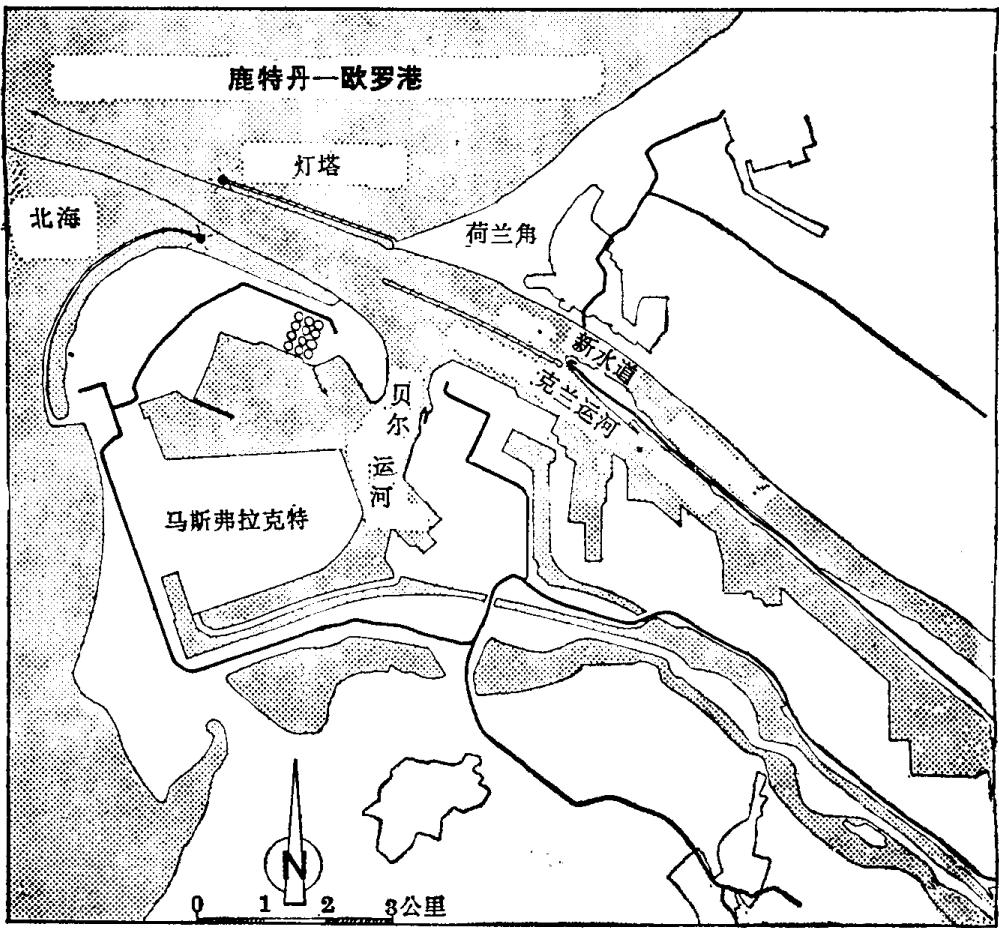


图1.7 鹿特丹的新港设施—欧罗港

该港航道分为三段。第一段从北海到马斯中心浮筒，称为欧罗口。这里有船舶龙骨吃水的20%的富裕水深。第二段从马斯中心浮筒到突堤头，称为马斯口，保持船舶龙骨吃水的15%富裕水深。第三段从突堤头到克兰运河和贝尔运河，有龙骨吃水的10%富裕水深。这就是，进港航道的水深在大潮平均低潮位时将分别保持23.5米、22.5米及21.5米。

港口总是为船舶服务的。所以在规划未来港口时，应先了解一些未来海运船舶的发展趋向。表1.1⁽⁸⁾为1970~1980年各种船舶的预期吃水。

1970~1980年各种船舶的预期吃水⁽⁸⁾

表1.1

年 份	油 轮 (英尺)			其它散货船(英尺)			件 杂 货 船 (英尺)		
	40	60	80	40	50	60	40	50	60
1970	50%	15%	4%	33%	7%	2%	19%	2%	—
1975	56%	23%	5%	40%	12%	3%	24%	3%	—
1980	60%	27%	5%	46%	16%	7%	28%	7%	3%

从表 1.1 可看出, 1970年件杂货船吃水大于40英尺的约占19%, 而到1975和1980年的相应数字为24%和28%。水深大于40英尺的少数几个件杂货终点港, 都位于天然的或已浚深的港池或通航的水道上。表 1.1 也说明, 大多数港口已经浚深到40英尺。关于油轮和散货码头的数字, 看来也有同样的趋向。从只有少数几个新建港口的规划水深大于40英尺这一事实来看, 只有用于散货分配的专用终点港, 才需大于40英尺的水深。表 1.1 还说明, 到1980年能容纳吃水大于60英尺船舶的散货港口也很少。此外, 在未来的十年内, 吃水超过80英尺的油轮终点港的相对数字几乎不变, 而吃水在50~75英尺的船舶有所增加。在1970~1975年间的增长速度将大于1975~1980年间。这可能是因为1970~1975年的规划比1975~1980年的较为广泛详尽的原故。

再看得远些, 则油轮可望分为下述三级:

1. 30~100 万吨的巨型超级油轮, 吃水为 80~110英尺。这种油轮大都在离岸浮筒或平台上装卸。

2. 15~30万吨的超级油轮, 吃水为60~80英尺, 也可在深水港的突码头停靠。

3. 各种适当尺寸的常用油轮直至用于短途分配的较小船舶和化学品船, 吃水小于 40 英尺。

运输矿石的散货船可增大到15万吨, 吃水50~60英尺。这一限度是按自然条件而定的, 但在特殊条件下, 建深水港更为合适时, 也可超过15万吨。包括装运散货的件杂货船(装运集装箱及类似的船舶)可发展到 4 或 5 万吨, 吃水40~50英尺。由此看来, 未来港口的发展将根本上取决于获得以及维护某一水深的的能力、直至大到 120 英尺。表 1.2 为单从航运观点, 把未来用于国内或国际的港口分成三大类。较小的地区性港口则供局部地区和国内航运使用。

满足未来航运要求的航道水深⁽⁸⁾

表1.2

	国 内 港 口	国 际 性 港 口	石 油 分 配 港 口
船 舶 吨 位	< 5 万吨	5~25 万吨	25~100 万吨
航 道 水 深	<55英尺	55~80 英尺	80~120 英尺

从技术观点看, 将提出两个重要的问题:

1. 有何可能获得这类船舶吃水的航道和港口, 同时它的费用多少?

2. 航道将需要多少维护费用?

这些问题在参考文献 8 中有详尽的探讨, 其中举了实例说明各种海底剖面的计划深度所需要的航道初始投资及维护费用。计划的海底剖面形状是根据实测的剖面绘制的。这些实例证明了一条公认的经验, 即要在冲积海岸的近海大陆架上开挖和维护一条深于70英尺断面的

航道（译者注：原文为 Wider，可能是 deeper 之误），除了像欧罗港那样大型海港外，通常是不大可能的。

正如参考文献 8 所叙述的，在河口和三角洲，情况将更困难。虽然现代化的疏浚设备，如第九章中所述，其疏浚能力几乎是无限的，但其限制在于经济性。经济分析有时要改变“船舶适应港口”的海运惯例，而成为“港口适应船舶”的新趋向。这一发展趋向，包括装卸成品油、矿石或集装箱的各种码头，使“海运终点港”的范围大为扩展，见第四章。

为吃水大于 65 英尺，相当于 22.5~25 万吨的散货船（油轮）寻找足够深度和面积的泊位与锚泊水域往往很困难。其原因在于大陆架周围的主陆块地形。大陆架宽度变化很大，几乎到处都是陆地在水底的延伸，所以，在平原区域就延伸得远而且平坦，而在山区海岸则狭窄、崎岖而且陡峻。美国西海岸的大陆架狭窄，而东海岸与墨西哥湾的大陆架则宽坦。哈得逊湾是大陆架的一部分。南美洲的东岸，欧洲的西北岸，以及不列颠群岛的沿岸的台地也很宽。部分非洲和澳大利亚的大陆架是非常宽，阿拉伯海和孟加拉湾也是如此。冰川作用较严重的地区可能有宽的大陆架。这样，挪威的非常多山的海岸，大陆架的伸延达 100 公里。大陆架的平均宽度为 40 公里，但也有宽得多的。

表 7.1 为主要大陆架的面积和深度。平均深度小于 100 米，有好些地区甚至小于 50 米，但其最外沿则通常约为 200 米。

港口工程特别关心的是大陆架的最里面部分。虽无一定规律性，但在宽的大陆架内，从岸边到 30 米等深线往往比较远。在这样的海岸建造深水港，就取决于是否可能疏浚和维护一

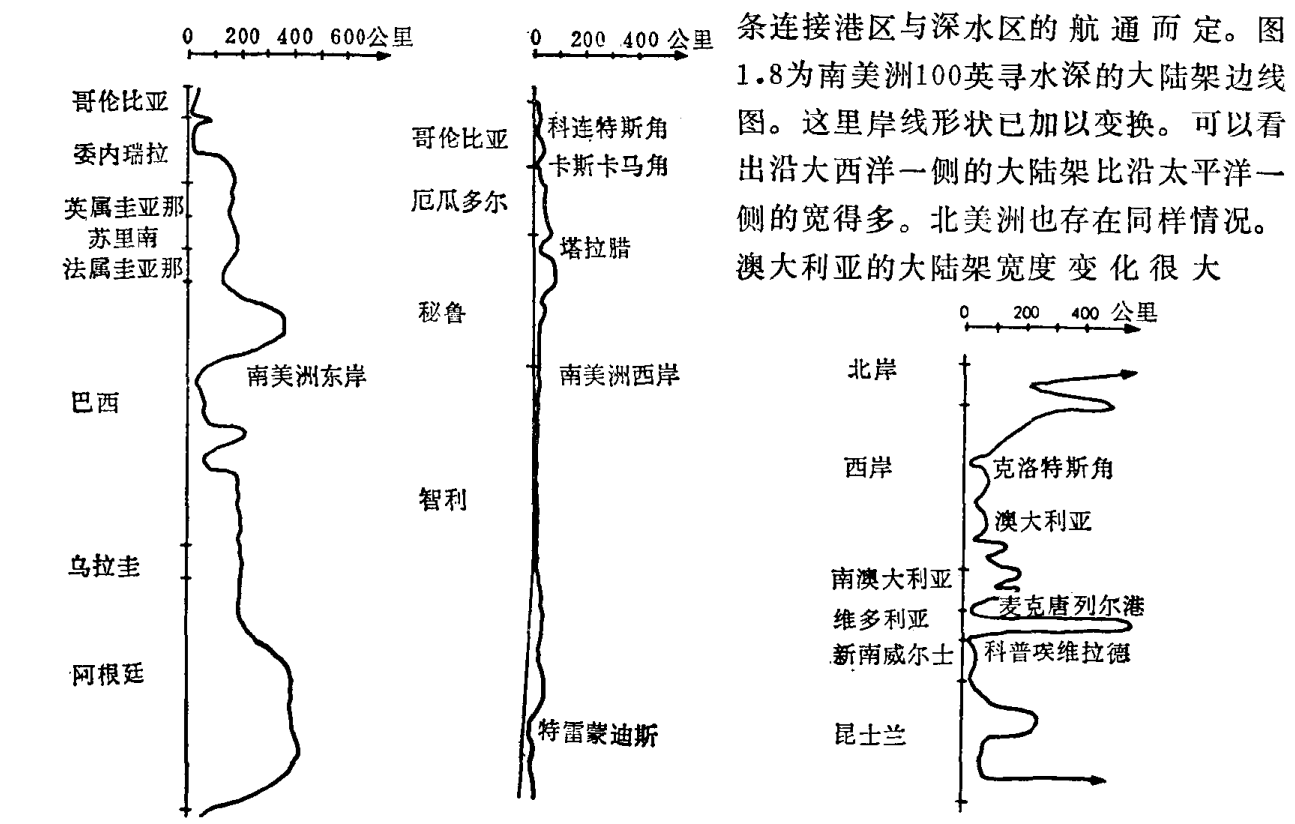


图1.8 南美洲东西岸大陆架宽度 (8)

条连接港区与深水区的航通而定。图 1.8 为南美洲 100 英尺水深的大陆架边线图。这里岸线形状已加以变换。可以看出沿大西洋一侧的大陆架比沿太平洋一侧的宽得多。北美洲也存在同样情况。澳大利亚的大陆架宽度变化很大

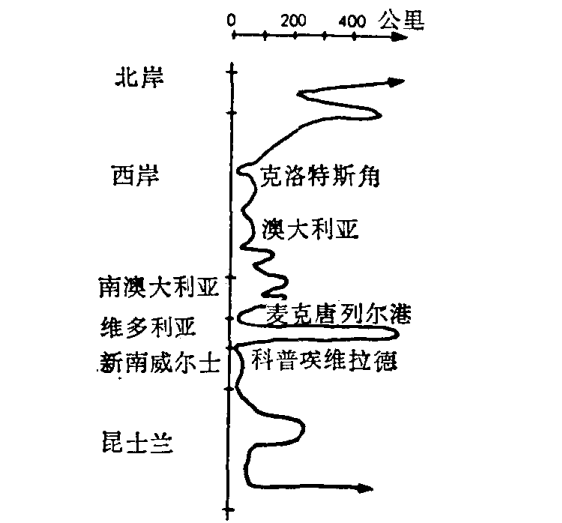


图1.9 澳大利亚海岸的大陆架宽度 (8)

(图 1.9)，而地中海的情况大致很好 (图 1.10)。

关于天然的或人工的“瓶颈”段深度特别值得注意。表 1.3 为 1970 年世界上几个通航“瓶颈”段的最大容许吃水深度，其中已有改善的计划，可以解决一些，但不能解决全部问题。

苏伊士运河由于技术和政治上的原因，大概是世界上最严重的“瓶颈”段。该运河于

1967年因战争而封闭，于1975年重新通航。现有水深为15米，断面面积为1800米²，对于超级油轮是完全不够深的。最近已进行全面的研究⁽¹⁰⁾。研究的目的是确定运河断面与最大船舶能无困难地通过运河的允许湿断面之间的关系。结果认为4200米²的断面适应26万吨油轮通行最为优越。运河现有断面为1800米²，故必须大规模地疏浚，总挖方量达7.35亿米³，至少要七年才能完工，因此决定分为两期进行。

第一期计划加宽加深到约3200米²的湿断面，以便吃水53英尺的船舶能够通过。现在限制吃水38英尺的船舶通行。这样，15万吨的油轮可以满载通过，超过该吨位的船舶可变换压载。这一期的工程量有干挖方8千万米³，把现有的运河护岸拆除再建新的，总挖方量3亿米³。苏伊士运河管理局除自己疏浚一小部分外，其余约2亿米³委托各国投标。

第二期将把湿断面加宽加大到4200米²，可容许吃水为67英尺、部分重载的29万吨油轮通行。疏浚量约为3.5亿米³，其中2.5亿米³将由各国投标承担。

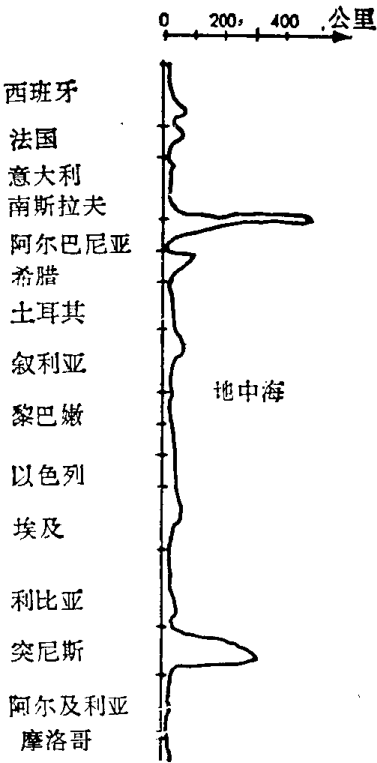


图1.10 地中海的大陆架宽度⁽⁸⁾

若干世界通航“瓶颈”允许的最大吃水⁽⁸⁾ 表1.3

运 河、海 峡、海 域	最 大 吃 水 (英尺)
巴 拿 马 运 河	40 (规划60或更大)
苏 伊 士 运 河	38 (规划58, 可能还要加深)
基 尔 运 河	31
圣 劳 伦 斯 海 道	25
英 吉 利 海 峡 (多佛尔海峡)	62
北 海	62
大 贝 尔 特 海 峡 (丹 麦)	42
马 六 甲 海 峡	60
托 里 斯 海 峡 (大洋洲)	38
西 北 通 道	90

全部工程包括用现代化设备进行疏浚、领航、航行及导航的费用，估计将超过8亿美元。工程预期需要六年。

未来港口的规划，由于还要考虑已有的设备、民族自豪感、军事、政治等因素，决不是单纯的技术和经济问题。无疑这些港口将不外乎下述三大类之一：

- 1. 集装箱船类，航道水深达55英尺，容纳吃水45英尺的满载船舶。
- 2. 25万吨油轮和超级散货船类，航道水深达75~80英尺，容纳吃水70英尺的满载船舶。
- 3. 50~100万吨巨型油轮的外海系泊平台或浮筒或港湾，水深大于100英尺，容纳吃水90英尺以上的油轮。

大多数港口，包括开敞海岸、进潮河流、河口型的港湾，水深可能不会超过55英尺，因为疏浚和维护这样水深的航道代价太高。因此，船舶的吃水应限在45英尺。有些港口可发展到容纳25万吨的油轮和矿石船，其航道和泊位的水深要接近80英尺。但在许多海岸，要取得

和维护这样的水深而又费用不大是困难的，例如北海、波罗的海、部分非洲、澳大利亚的海岸、阿拉伯海、孟加拉湾、墨西哥湾以及南北美洲的东海岸的许多区域。容纳吃水70英尺船舶的港口，一般将为一个区域、一个国家或甚至几个国家的大规模分配和工业中心服务。巨型油轮港湾的含义已不是正常港口的形式，它是一个供吃水80~110英尺的油轮系泊的水域，并以水下管线把石油卸到大储油区或直接转载到包括超级油轮在内的较小油轮。这种港口都是天然的港湾，例如爱尔兰的班特里湾，挪威的峡湾，太平洋西雅图的普吉特海峡，日本的内海。像北海的赫尔果兰那样的少数岛屿，可以开发为深水的大规模港口。

现代海洋技术的任务是研究现有的某些水深较浅的港口设施能否发展成深水港，以及去寻找具备开发为系泊和锚泊设施的深水港条件的新港址。这样，港口规划的规模是很大的，必须十分谨慎。初期犯较小的错误，会在将来造成大问题，因为自然力和人工建成的固定式或浮式设施的作用力与反作用力都增加了10~40倍。波浪、水流、沉积物输移、土壤条件、船舶的操纵性能以及对自然力的反作用力，船舶与航道以及与航道内的其它船舶的相互影响，航行与导航设备等都应比迄今为止有更深入的认识。大规模土方量的施工，深水锚泊和停泊设施要经受海洋技术中从未遇到过的巨大的力。有些特殊问题，如北极冰冻问题以及各种各样的污染问题都必须认真解决。早在四千年前开始建造的提尔和西顿港时，就是大规模的港口工程，到二十世纪曾大规模地予以复兴。但情况又有些变化，港口要去适应船舶了。

在开敞的或缺乏掩护的海域新建深水港，通常是困难的而且代价大的事业。疏浚和防波堤的投资，随着水深的增加而迅速增大。巨额投资可能使发展中国家提前建港受到限制。即使有防波堤掩护，也可能由于维护费用很大，并不经济，而且建筑物、船舶和货物装卸、还可能由于风暴的袭击而受到损害。很少发展中国家有足够的力量去投入这种盲目的投资，因此在这些地区预期不大可能增加新的港口。

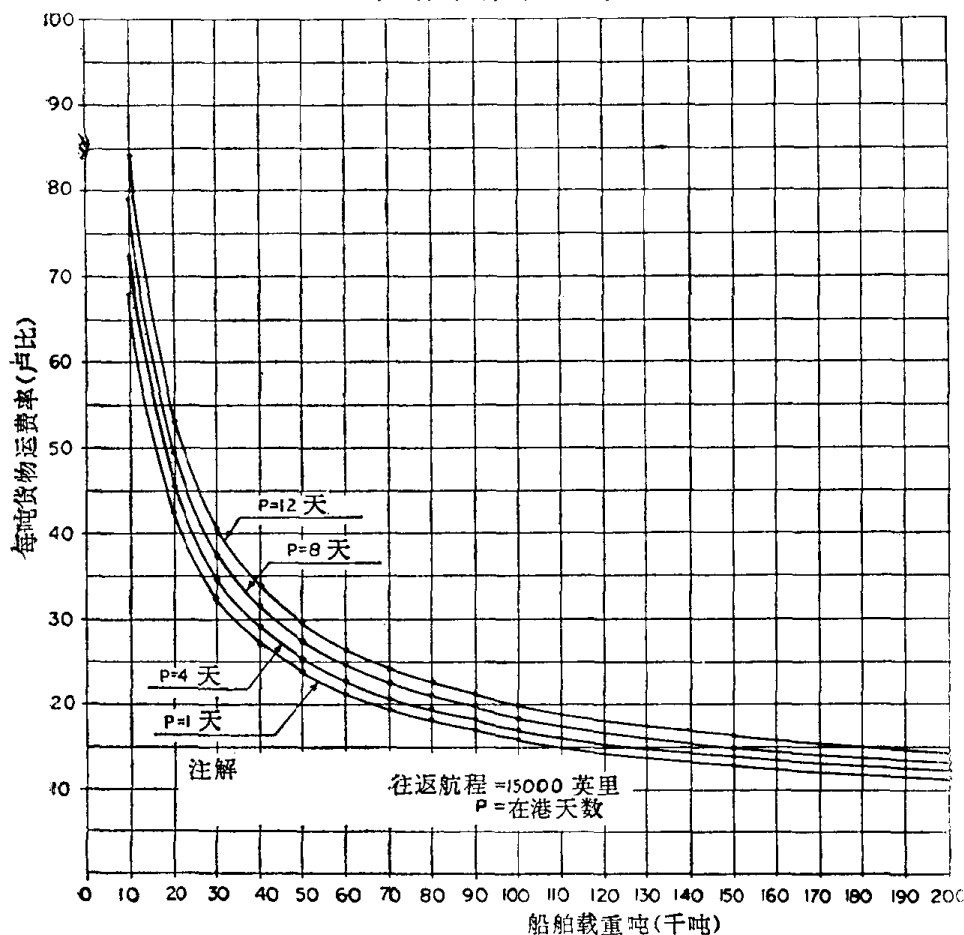


图1.11 原油运输的船舶载重吨与每吨运费之间的关系 (7)

在参考文献7中，提供了有关港口加深方案的经济评价。文内着重指出由液体和固体散货组成的海运量，约占世界总海运量的75%。这些货种有石油、矿石、谷物和肥料。由于它们是主要的原材料，所以从生产中心到各分配点的运输费用有很大意义。目前这些货种的海运趋向，是越来越多地采用大型船舶，其优点在于可以降低海运运费率。据研究，7万吨油轮比3万吨油轮可节省海运成本约20~30%。按参考文献7介绍：“经济学家估算用30万吨油