

大型船坞的 结构设计和施工

〔日〕 荒谷俊司 著

科学出版社



大型船坞的结构设计和施工

〔日〕荒谷俊司 著

交通部水运规划设计院 译

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书系根据日本 1971 年出版的《大型ドックの構造設計と施工》翻译的。

本书较详细地阐明了各种大型包括 35 万吨船坞和 50 万吨修船坞的结构形式,在砂质地基上的底板设计及其应力的计算,举出了船体荷载及灌水荷载的计算实例,叙述了底板反力与应变的试验方法及其测定,并提出了克服浮托力的措施,对坞口门框水压力分布作了公式计算值与实测值的比较,最后叙述了 35 万吨船坞和 50 万吨修船坞的施工过程及其存在的问题。

本书可作为船坞设计、施工技术人员和大专院校有关专业师生的参考书。

大型ドックの構造設計と施工

荒谷俊司著
鹿島出版会

大型船坞的结构设计和施工

〔日〕荒谷俊司 著
交通部水运规划设计院 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978 年 9 月第 一 版 开本: 850 × 1168 1/16
1978 年 9 月第一次印刷 印张: 12 1/2 插页: 5
印数: 0001—3,780 字数: 291,000

统一书号: 15031·193

本社书号: 1151·15—1

定价: 2.65 元

译 者 的 话

本书是根据1971年出版的日文本翻译的, 主要内容如下:

第一章, 叙述了大型船坞的发展趋势和各种船坞的结构形式, 还详述了以往船坞结构形式的分类。最后, 列举过去船坞设计计算方法数例进行分析研究。

第二章, 前半部分讲了砂质地基上大型船坞底板的设计, 并对船体荷载及灌水荷载作了说明。后半部分, 对底板设计计算方法提倡采用弹性地基上板的近似解法。

第三章, 叙述了在回填砂质地基上, 35万吨船坞建造新船及灌水时墩木荷载的测定, 以及有关底板产生的反力与应变的试验方法和测定结果。另外, 对50万吨船坞底板承受巨大集中荷载时有关应力和应变在混凝土底板内的扩散也加以探讨。对设计荷载方面也有新的提法。

第四章, 列举了日本各造船公司底板设计采用船体荷载的例子, 并介绍了35万吨造船坞和50万吨修船坞底板应力计算的实例。

以上的设计计算, 仅涉及到所有底板上的荷载, 其中没有考虑浮托力。因此, 在第五章, 为满足设计条件谈到了克服浮托力的措施。同时, 以最近建造的船坞为例, 通过对它的设计和施工方法, 并根据现场实验, 明确了浮托力的作用。

第六章, 叙述了坞口门框的水压力分布在船坞设计中的重要性, 并比较了公式的计算值和实测值。

第七章, 叙述了建造35万吨造船坞和50万吨修船坞的施工过程及其存在的问题。

最后, 作者对今后船坞建造谈了自己的一些看法。

本书由交通部水运规划设计院主译, 其中第二章2.2节及第六章由交通部第四航务工程局设计院翻译; 并由交通部第一航务工程局第二工程处李清增、范期锦、张清远、李清熙以及王运实等同志校阅了全文, 最后由水运规划设计院定稿。

本书在译校过程中作了一些删节和更正, 由于水平所限, 错误与缺点在所难免, 希望读者批评指正。

译 者

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 大型船坞的发展趋势	(1)
1.1.1 大型船坞的重要性	(1)
1.1.2 现代化船坞形式的发展趋势	(3)
1.2 船坞的结构形式	(3)
1.2.1 坞室部分	(4)
1.2.2 底板结构	(4)
1.2.3 坞墙结构	(5)
1.2.4 坞口结构	(7)
1.3 已建船坞的实例	(9)
1.3.1 半重力式	(9)
1.3.2 建造在岩基或硬质粘土内的船坞	(9)
1.3.3 排水减压式	(10)
1.3.4 气压沉箱式	(17)
1.3.5 排放沉箱式	(20)
1.3.6 直立连续墙式(钢板桩, KCC)	(20)
1.3.7 锚杆式或锚桩式	(23)
1.4 传统的船坞计算法	(24)
1.4.1 布伦内克静力学解法	(25)
1.4.2 贝利的倒拱法	(29)
1.4.3 弗罗因德的弹性力学解法	(32)
1.4.4 对传统的船坞计算方法的批判	(37)
第二章 弹性地基上底板的设计	(39)
2.1 船体荷载	(39)
2.1.1 油船的简要结构	(39)
2.1.2 船体荷载的大小	(42)
2.1.3 船体荷载的分布	(43)
2.1.4 墩木荷载及布置	(46)
2.1.5 墩木荷载向底板内的扩散	(48)
2.2 弹性地基上的板的理论	(48)
2.2.1 概要	(48)
2.2.2 弹性地基上的梁的解法(单向)	(49)
2.2.3 板的差分法解法	(54)
2.2.4 根据梁的理论的近似解法	(58)

2.2.5	梁的理论解法和差分法的比较	(60)
2.2.6	铰接的弹性地基板的解法	(68)
2.3	小结	(69)
第三章	底板的应力测定及荷载试验	(70)
3.1	在 1 号坞进行的墩木反力及底板应力的测定	(70)
3.1.1	测定项目及测定方法	(70)
3.1.2	建造油船时的测定结果及观察	(72)
3.1.3	油舱灌水试验时的测定结果及观察	(74)
3.2	在 2 号坞进行的底板荷载试验	(79)
3.2.1	试验概要及荷载方法	(79)
3.2.2	测定项目及测定方法	(80)
3.2.3	测定结果	(82)
3.2.4	弯矩及挠度的计算值	(87)
3.2.5	钢筋混凝土断面的弯矩计算式的推导	(89)
3.2.6	计算值与试验值的比较	(92)
第四章	弹性地基上的底板设计实例	(94)
4.1	几家公司的 大型船坞的设计荷载条件	(94)
4.1.1	M 公司的 50 万吨造船坞	(94)
4.1.2	H 公司的 25 万吨造船坞	(95)
4.1.3	K 公司的 35 万吨造船坞	(96)
4.1.4	I 公司的 20 万吨修船坞	(99)
4.1.5	H 公司的 40 万吨修船坞	(100)
4.1.6	N 公司的 50 万吨修船坞	(102)
4.1.7	K 公司的 50 万吨修船坞	(103)
4.2	造船坞的设计示例	(105)
4.2.1	墩木布置及墩木荷载	(105)
4.2.2	计算结果	(108)
4.2.3	应力计算	(109)
4.3	修船坞的设计示例	(110)
4.3.1	墩木布置及墩木荷载	(111)
4.3.2	计算结果	(111)
4.3.3	应力计算	(115)
第五章	止水墙及排水减压设施	(118)
5.1	土的水力学性质	(118)
5.1.1	渗透水	(118)
5.1.2	流砂及管涌	(119)
5.1.3	浮托力	(120)
5.2	止水墙的种类及施工方法	(121)
5.2.1	钢板桩止水墙	(121)

5.2.2	现场浇筑混凝土止水墙	(128)
5.3	排水减压结构	(132)
5.3.1	坂出船坞的排水减压设施	(132)
5.3.2	水垢产生的原因及其解决措施	(133)
5.3.3	减压井法	(133)
5.4	坂出船坞浮托力的测量	(134)
5.4.1	测量方法	(135)
5.4.2	测量结果	(135)
第六章	关于坞门反力的研究	(138)
6.1	序言	(138)
6.2	坞门反力的计算公式	(138)
6.2.1	鹤岡的简易计算法	(138)
6.2.2	按薄壁筒理论的解法	(140)
6.2.3	按平板理论的解法	(142)
6.3	坞门反力的测定	(145)
6.3.1	测定方法	(145)
6.3.2	测定结果及分析	(146)
6.4	综述	(148)
第七章	砂基上的大型船坞施工实例	(151)
7.1	35万吨造船坞	(151)
7.1.1	工厂设备概要	(151)
7.1.2	地基概要	(153)
7.1.3	设计条件	(154)
7.1.4	结构概要	(155)
7.1.5	施工计划	(160)
7.1.6	施工的实际成果	(171)
7.2	50万吨修船坞	(172)
7.2.1	工厂设备概要	(173)
7.2.2	地基概要	(173)
7.2.3	设计条件及结构概要	(175)
7.2.4	施工计划	(180)
7.2.5	施工的实际成果	(189)
7.3	施工后的考察	(191)
结论		(192)

第一章 概 论

1.1 大型船坞的发展趋势

1.1.1 大型船坞的重要性

世界性的石油需要量,最近十几年来在持续地增长。由于新油田的开发和原油供给量充沛,在此情况下为降低石油成本的竞争在激烈地进行着。

特别是日本,原油运输费在石油销售原价中约占 15—20%。采用大型油船以降低运输原价的效果,唤起了原油业、海运业对大型油船的迫切需要。图 1-1 表示日本原油输入量和国内新造油船大小的关系,说明随着输入量的增长,船型也向大型化发展。

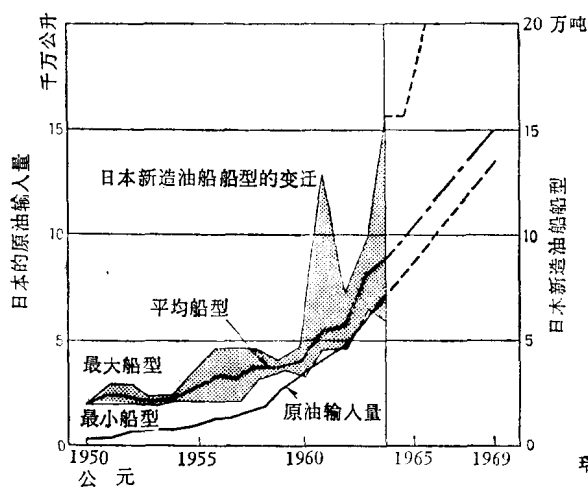


图 1-1 原油输入量和船型的关系^[1]

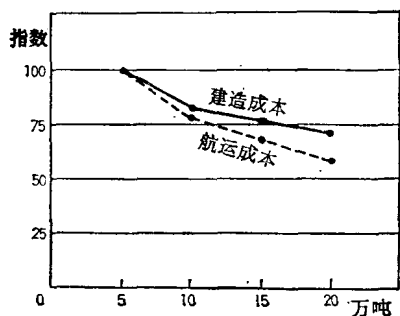


图 1-2 建造成本及航运成本和船型的关系^[1]

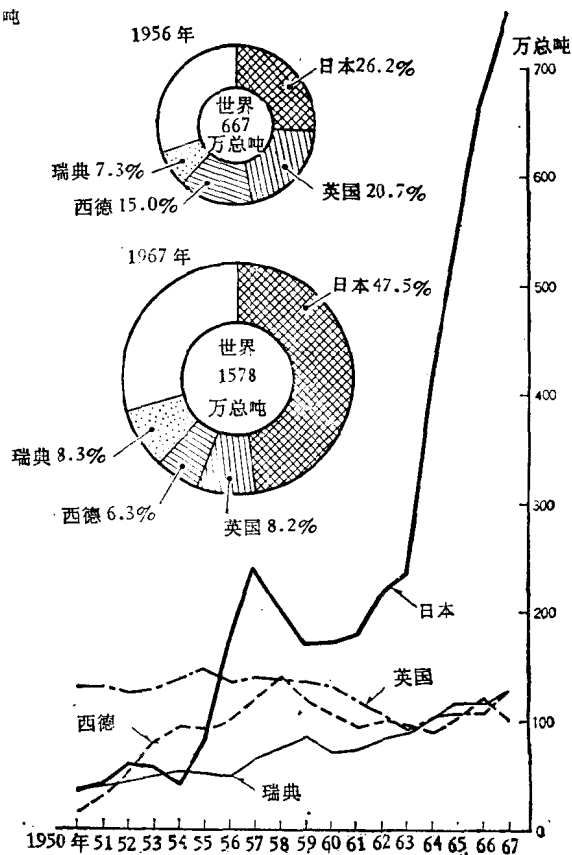


图 1-3 各国的船舶建造量的变迁^[2]

从图 1-2 所表示的建造成本及航运成本和船型之间的关系,可以看出大型船舶对这两项成本至为有利。可是,船型越向大型化发展,并不见得单位吨建造成本和航运成本就越下降。现在世界上建造成的船坞尺寸大体以 50 万吨为界限,从经济性、使用率来看这是最佳的尺寸。

如图 1-3 所示,1956 年日本造船工业在量和质方面都占世界第一位,其后并保持了这一水平,尤其是最近和第二位的差距增大了。1967 年在世界建造的 1,578 万总吨的船舶当中,日本

表 1-1 世界超大型船坞^[1,2]

造 船 厂	国 家	尺 度	修、造船吨位	用 途	备 注
哈兰·沃尔夫	英 国		20 万吨	造 船	1969年完成
哈兰·沃尔夫	英 国		50 万吨	造 船	1969年完成
斯旺·亨特	英 国		25 万吨	造 船	1969年完成
约翰·布劳恩	英 国	58 米×396 米	26 万吨	造 船	1969年完成
哥 塔 维 根	瑞 典	46.5×305	20 万吨	造 船	2 座
埃立克斯堡	瑞 典	56.4×340	25 万吨	造 船	预定1971年完成
考 库 姆	瑞 典	75×405	50 万吨	造 船	1968年完成
基拉霍巴尔特贝鲁格	西 德		20 万吨	造 船	
威尔塞造船公司	西 德		50 万吨	造 船	1969年完成
拉西奥达	法 国	56×330	25 万吨	造 船	1968年完成
大西洋船厂	法 国	68×380	50 万吨	造 船	1968年完成
荷兰船坞与造船公司	荷 兰		20 万吨	造 船	
荷兰船坞与造船公司	荷 兰		50 万吨	造 船	1969年完成
威 洛 姆	荷 兰	85×500米	50 万吨	造 船	1969年完成
奥 登 塞	丹 麦		20 万吨	造 船	2 座
奥 登 塞	丹 麦		30 万吨	造 船	1969年完成
奥 登 塞	丹 麦		40 万吨	造 船	预计1971年完成
艾德里亚蒂克	意 大 利		25 万吨	造 船	1968年完成
阿 克 斯	挪 威		20 万吨	造 船	
努 鲁 尔 斯 特	西 班 牙		30 万吨	造 船	预计1971年完成
里 斯 那 维	葡 萄 牙	100×500	100 万吨	修 船	
三菱重工业(长崎)	日 本	56×350	30 万吨	造 船	
三菱重工业(长崎)	日 本	56×350	30 万吨	修 船	
三菱重工业(长崎)	日 本	100×970	100 万吨	造 船	预计1972年完成
三菱重工业(本牧)	日 本	60×350	30 万吨	修 船	
川崎重工业(坂出)	日 本	72×450	50 万吨	修 船	
川崎重工业(坂出)	日 本	62×380	35 万吨	造 船	
三井造船(千葉)	日 本	45×513米	45 万吨	修 船	
三井造船(千葉)	日 本	72×400	50 万吨	造 船	
石川岛播磨重工业(相生)	日 本	56×341	20 万吨	修 船	
石川岛播磨重工业(横浜)	日 本	52×330	16 万吨	造 船	
石川岛播磨重工业(横浜)	日 本	56×358	20 万吨	修 船	
石川岛播磨重工业(吴)	日 本	65×387	40 万吨	造 船	
日本钢管(津)	日 本	75×500	50 万吨	造 船	1969年完成
日本钢管(津)	日 本	75×375	50 万吨	修 船	1969年完成
日立造船(堺)	日 本	62.74×380	40 万吨	修 船	
日立造船(堺)	日 本	55.74×400	25 万吨	造 船	
住友重机(追浜)	日 本	80×560	70 万吨	造 船	预计1971年完成
佐 世 保	日 本	70×375	50 万吨	修 船	

下水船舶为 750 万总吨, 占 47.5%。不只是建造量, 输出量也占世界输出船舶的 54%。特别是 15 万吨以上的大型船舶, 据截止到 1966 年五月末的统计, 在世界 52 艘当中日本下水的为 35 艘, 占 65%, 20 万吨以上的船舶则全部是日本建造的。

居于世界造船工业之首的情况下, 几年来日本各大造船厂进行了超大型船坞的建设。由于设备现代化和技术革新, 在工程质量、造价和工期等方面均非各国造船业可比。为供参考, 特将世界超大型船坞示于表 1-1。

1.1.2 现代化船坞形式的发展趋势

以前的船坞大部分是作为修船专用而建造的,而造船几乎又都是使用船台进行的。近来,下水技术由于经验的积累而逐渐进步,10万吨级的油船也能够安全地从船台下水了。但是,船舶向大型发展,达到20—30万吨时,则建造这种大型船舶的船台规模也要向大型发展。从下水海面的问题和下水时的安全问题等来看,还是利用船坞建造较为安全和有利,因此建造造船用的大型船坞迅速增加起来。

过去,许多船厂是由小规模造船厂逐步发展起来的。厂址场地狭窄,在设计计算和施工方法上更有许多问题不清楚,于是尽力开凿山坡岩石来建造船坞的情况很多。因此,作用于坞体的土压力、水压力也依据混凝土和岩基的固着程度,大多取理论值的几分之一以进行结构计算。三菱重工业公司长崎造船厂、石川岛播磨重工业公司相生船厂、三井造船公司玉野船厂等,就是这样的实例。

最近几年,造船厂向大型发展,与此同时船坞也向大型发展,所以开挖天然地面筑造的场地不够用,势必导致在宽阔的填筑地上建设造船厂。三井造船公司千叶造船厂、川崎重工业公司坂出造船厂、日立造船公司堺造船厂、日本钢管公司津造船厂等,就是这样的例子。还有,关于船坞的坞墙,过去是固着在天然地面上,所以大部分是阶梯状。现在的大型船舶,其断面形状是完整的箱形,船的侧外板是直立的,所以船坞的坞墙也变成采用直立墙了。因此,节约了不必要的占地面积,并具有缩短起重机的伸臂的优点,可是就坞墙的这种结构来说则将承受更大的弯矩。

过去的船坞,主要用于修船,所以船体荷载是按由龙骨墩支承整个荷载设计的。船舶大型化,船宽达50—70米,所以单用龙骨墩来支承是不可能的,即使在修船坞也考虑了将荷载分担给边墩。在造船坞时,龙骨墩、边墩同样也可以分担荷载。仅船体的荷载,30万吨级的大型船舶就是5吨/米²以下*。可是,在造船的过程中,油舱要进行灌水试验,那时在盛满水的舱下面必须考虑约30吨/米²的荷载。关于承载这些荷载的底板强度计算,过去还没有这样的例子,而现在,对新式船坞的底板,需就各种荷载条件进行计算。

近年来,在填海造地的地基上建造的船坞,设置止水墙以消除作用于底板的浮托力,成功地削减了底板的厚度。这样不单是节省了混凝土量,而且减少了挖方量,带来了节约施工时的排水费用和占地面积的长处。

1.2 船坞的结构形式

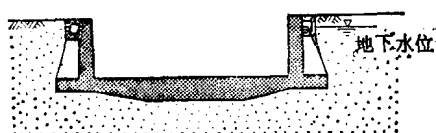
船坞一般是由坞口、坞首、坞墙及底板四个部分组成的。坞口是坞的入口,是支撑坞门承受水压力的结构部分;坞首是船坞的后部;坞墙是抵抗坞室周围的土压力和水压力的墙壁部分;底板是承载船舶的部分。还有,从坞口往里看,坞的右侧叫右侧坞墙,左侧叫左侧坞墙。坞门所接触的面叫坞门框,坞门框之中,左侧及右侧的垂直部分叫门墩,中间水平部分叫门坎。

坞口部分及坞室部分,其结构形式因荷载条件的不同而不同。下面分别叙述坞室部分和坞口部分。

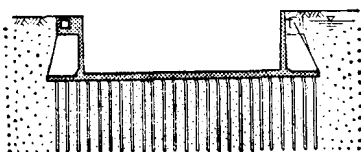
* 疑为5吨/米²以上之误——译者注。

1.2.1 坞室部分

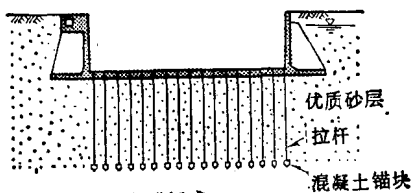
随着船舶的大型化,造船坞和修船坞也向大型化发展则是必然的。随之而来的,是设计的荷载条件变了,如坞底板的弯矩、剪力都变得非常之大。和船台不同,船坞是构筑在地中,且因为从坞内排水而出现地下水引起的浮托力作用于底板。设计船坞时最为重要的是考虑采用什么样的



(a) 重力式



(b) 锚桩式



(c) 锚杆式



(d) 止水减压式

图 1-4 船坞的形式^[1,3]

结构才能抵抗浮托力这一点。在这种场合,建造船坞的地址的地基条件和船坞的结构有着密切的关系,必须按土质选择最经济的和最合理的底板结构。底板结构形式有重力式、半重力式、锚桩式、锚杆式及止水减压式等等,其形式如图 1-4 所示。

坞墙的结构形式也因地基情况而异,但选址周围的条件也有很大影响。作为坞墙结构,可以考虑的有重力式或扶壁式混凝土挡土墙、开口沉箱或压气沉箱式、直立连续墙式(钢板桩、钢管板桩、连续现场浇筑混凝土墙)等等。

按船坞建设地点的地质条件或选址条件,组合上述的底板结构和坞墙结构,从而可以决定出最合理的结构形式来。下面叙述各种结构形式。

1.2.2 底板结构

(1) 重力式

仅由底板自重来抵抗作用于底板的浮托力并使之稳定的结构。这种形式,浮托力对底板不产生弯矩,结构简单。可是,底板的厚度非常大,从而增加了挖方量和混凝土量,因此工程费用也增大。并且,由于地质结构而有导致将刚好可做承载层的砂砾层挖掉的情况。日立造船公司的堺厂船坞^[4],在做各种方案比较时,按重力式结构计算,底板厚为 7.5 米,几乎会挖掉位于 OP(大阪湾基准面) -8.0 米至 -17.0 米处的洪积砂砾层,而不能利用这个承载层,结果未采用此种形式。这样结构,仅在地基砂砾层为连续的、且在渗流不能处理的情况下才予以考虑,但是不经济,所以一般不大采用。

(2) 半重力式

当底板自重不足以抵抗浮托力时,可用横断方向的总重量——包括坞墙——来抵抗浮托力的结构。在这种情况下,同时也考虑了作用于坞墙的土压力的垂直分力。战前,日本海军及欧洲各国的船坞,多为这种形式。过去有关船坞设计的文献几乎都叙述了这种形式。这种形式的底板因浮托力作用而产生弯矩,其有关的计算方法 a) 静力学解法、b) 倒拱法、c) 弹性地基梁解法等很多论文都论述了(参见 1.4 节)。上述各种解法其计算依据因坞墙和底板的施工顺序及坞墙后的回填时间等而异。因此在建造船坞时需要把设计和施工紧密联系起来。

(3) 锚桩式或锚杆式

基础地基为砂质土,虽有足够的承载力,但如果压缩性小,在这种地基上底板因浮托力作用浮起时,是借助打入砂质地基内的钢杆或桩(钢管桩、H型钢、钢筋混凝土桩等)来锚固稳定的。底板混凝土比重力式、半重力式的薄而经济。但当地基为可压缩性土质时,由于蠕变现象应考虑锚定松弛,且因混凝土底板薄而必须充分注意止水措施。

锚杆结构是将装有锚块的锚杆或锚缆埋入坞底板下部,并施以预拉而锚固在地基内。这种方法适用的地基是匀质的松散砂质土,底端的锚块一边用水力喷射或震动锤压实周围的地基,一边就埋入预定的位置。这样,被埋入的锚定物抵抗浮托力,另一方面被震实的匀质的地基则承载来自上部的船体荷载。在底端锚块打不进去的坚硬的地基的场合,则利用钻孔等将锚块沉放到预定位置。这种方法应注意锚杆的防蚀措施,防止浮托力作用时的地基蠕变措施和底板的止水措施等。这种形式在日本尚没有,西德埃姆登北海造船厂(图 1-19)的 3.8 万吨船坞是这种结构的很著名的例子。

锚桩式是以打入底板下面的桩来抵抗船体荷载和浮托力为其特征的。也就是,基桩有抗压抗拉的作用,是最近广为采用的结构形式。底板的设计方法,一般是按桩支承的无梁板或连续梁进行计算的。但是,在这种情况下需要考虑桩的弹性变形影响,为了严密,有必要将桩作弹性支承点来考虑。桩的种类有钢筋混凝土桩、钢管桩、钢桩、现场浇筑钢筋混凝土桩等。这种形式的例子,有西德基尔荷瓦兹造船厂的 6.5 万吨船坞(图 1-20)、英国南希尔兹布里格姆·科恩船厂的 3.8 万吨船坞(图 1-21)及日本最近建成的三井造船公司千叶第 1 号坞等。

(4) 止水减压式

在底板地基适当深度的地方有粘性土层(不透水层)时,沿船坞的四周将板桩打到不透水层,筑成止水墙以截断作用于底板的浮托力就是这种型式。即使在坞底板下面没有不透水层时,也可以将止水墙再往下加长到适当的深度,来减少水力坡降以减少浮托力。不论哪一种情况,都需要对涌水进行处理。一般,止水墙设在坞墙的下面,但是美国布雷默登海军船坞则是用止水墙把整个船坞包括坞墙在内环绕起来,以截断由外部进入的水流(图 1-11)。这座船坞不仅减掉了作用于底板的浮托力,而且也去除了作用于坞墙的水压力,所以是极轻型结构。最近日本建成的船坞,几乎都是采用了以止水减轻底板下的浮托力的形式,这样的例子可以举出川崎重工业公司坂出船坞,日立造船公司堺厂船坞(图 1-12),三井造船公司千叶第 2 号船坞(图 1-13)等。

1.2.3 坞墙结构

(1) 重力式

在钢筋混凝土没有象现在这样普及的时代的船坞多建筑在岩基上,坞墙结构也多为砌石或无筋混凝土结构。并且当时的船坞尺寸也小,大部分位于良质的岩基上,所以船坞整体并不是所谓重力式结构,大多数坞墙是衬砌的,底板当然是铺面的,仅有坞口这一个地方是重力式挡土墙结构。现在,船坞趋向大型化,并且建设场所限制在滨海人工填筑土地上,所以要做成重力式挡土墙,则有承载力的问题和混凝土量的问题,且需要大量的工程费,因此这种形式还不太使用。但

是,在半重力式底板的情况下,因为必须克服浮托力,坞墙也有采用重力式挡土墙的例子(图 1-8 旧海军大湊船坞)。

(2) 扶壁式或悬臂式钢筋混凝土挡土墙

与地质条件无关,只要环境允许,这是最普遍的又经济的形式。但是开挖需要广阔的场所,并且为了接缝结构水密,需要干施工。因此,施工场所受限制的地方不能使用。一般其背面受土压力及水压力作用,因此必须考虑上述外力引起的倾覆和滑动的安全性。在这种情况下,其安全性因止水墙的位置而有很大变化。并且坞墙多要支承上面的起重机,而有必要考虑起重机荷载来决定它的基础。一般对于滑动,可以让底板分担反力,所以仅考虑倾覆及其承载力即可。因承载力受止水墙位置的影响,可以考虑的止水墙的位置如图 1-5 所示,但各有优缺点。

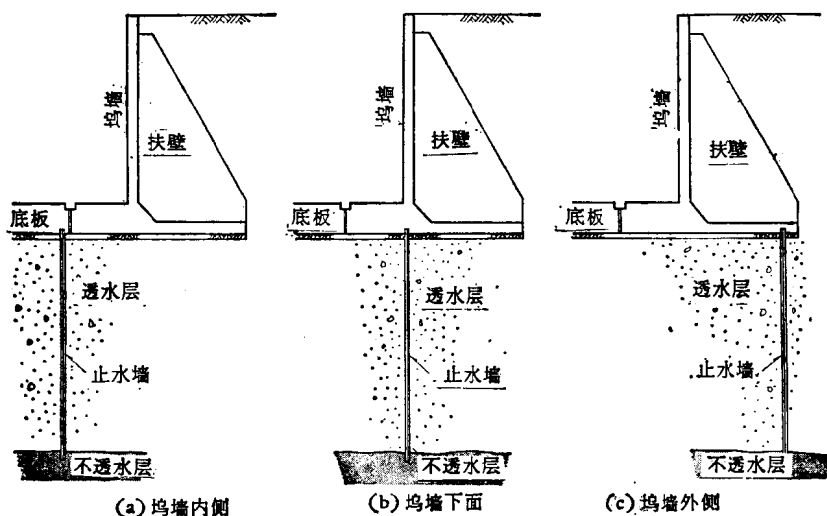


图 1-5 止水墙的位置^[4,5]

例如:(a)图中整个坞墙下面受浮托力作用,地基反力相应减少;(c)图中底板下面不受浮托力作用,可以说对滑动是安全的。

采用扶壁式还是悬臂式,这是需要探讨的。在不需要考虑水压力作用于背面的情况下(图 1-11 美国布雷默登海军船坞),从方便施工的角度看还是以悬臂式结构为好。在材料昂贵而工资低的日本,尽管是比较复杂的结构,采用悬臂式还是经济的。

(3) 开口式沉箱或气压沉箱式坞墙

不是在海中填筑土地上,而是直接在原地面筑造船坞时,可首先设置沉箱围成船坞的坞墙,仅在坞口做临时围堰,排干内部的水而后完成底板。这就是经常使用的所谓沉箱施工法(例见图 1-14 三菱重工业公司长崎造船坞,图 1-16 川崎重工业公司神户 4 号坞)。三菱重工业公司长崎 20 万吨船坞(图 1-14),连续沉设气压式沉箱于海中,利用气压法开挖到沉箱下面的岩基,里面充填混凝土建成坞墙,再排干内部的水,筑成底板。另外,川崎重工业公司神户四号坞(图 1-16),先挖掘坞墙部分的基槽,水下打入长 6 米的钢板桩作止水墙,而后用起重船吊运沉放岸上制成和放置的沉箱,沉箱的底部和连接处的接缝均浇灌水下混凝土,以筑成坞墙。此后,排干坞内的水

建成底板。一般在填筑土地上造坞时,因为地质状况,不能干开挖时,沉设沉箱或井筒,先建坞墙,然后开挖内部建底板,这是一般的情况。但是这种方法造价高,除上述特殊情况外,是不经常采用的。

(4) 直立式连续墙(钢板桩、钢管板桩、连续现浇混凝土墙)

在软弱粘土地基上建造船坞时,或建坞场地狭窄时,常常使用直立式连续坞墙。

钢板桩和钢管板桩,由于腐蚀而断面减小,很难说是永久性结构。但是,近年的船坞因为不要求那样的永久性和要求施工快速两点理由,这种结构逐渐使用较多。石川岛播磨重工业公司根岸 20 万吨船坞(图 1-18)就是典型的钢板桩坞墙结构。钢板桩的断面系数小,按上下两段设置锚杆或施以承重墙的特殊工艺,以求得稳定。如用钢管板桩则无此需要,但接头至今还没有理想的方法,所以还见不到这种例子。现在川铁型接头、住金型接头、NKK 型接头正研制出来,是今后可望利用的(图 1-6)。

连续现场浇注混凝土墙,即所谓泥水施工法,近年来取得了显著的进步,已研制出众所周知的专利施工方法就有 ICOS 法、

KCC 法、OWS 法、ELSE 法等等。关于这些方法,将在第 5 章作部分介绍。这是一种首先在地下现浇混凝土连续墙,然后开挖内部,建造底板,最后建成船坞的施工法。连续现浇混凝土墙,其厚度及深度可自由选择。所以独立式结构是可能的,而且也可以设拉杆使其稳定。借助这种方法能在各种土质上施工,而且作业面积比较狭窄的地点也可以施工,这是它的优点。这种方法研究的时间还很短,理论上的解说尚不充分,加上是各种专利方法,所以它的例子也很少。意大利的热那亚海军船坞(图 1-17)是利用 KCC 法施工的实例。

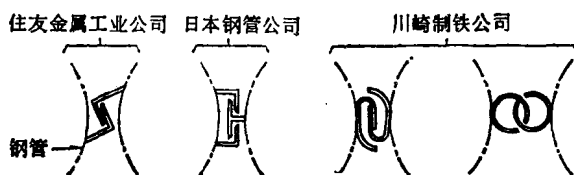


图 1-6 钢管板桩的接头⁽⁴⁾

1.2.4 坞口结构

坞口部分是外海和船坞相联接的部分,这里设坞门,由于坞内无水,所以承受通过坞门作用于坞门结构部分的水压力。坞门的两翼有垂直的门墩和中央水平的门坎。

作用于坞门的总的水压力,怎样分布于坞墙和门坎,这将因坞门结构和坞口部分的宽深比而不同。关于这一点将在第 6 章中叙述。也有仅用坞口部分抵抗这些水压力的结构(独立式结构),一般为了简化结构,经济的设计是将水压力传递给坞墙及底板而令其支承。

近来的大型船坞,大多数将排水泵房及灌水阀房设在坞口侧墙内,并且将灌水设计成通过设在门坎内的廊道,从几个灌水孔向上喷出的形式。它的理由是,从一个地方水平灌水会因其水势而影响坞内船舶的稳定,及冲动墩木。利用排水泵排水所需要的时间,修船坞为 2—3 小时,造船坞为 5—6 小时。灌水管的能力比排水大,一般设计成可在短时间内灌满水。

船坞坞门有浮坞门和卧倒门等形式。浮坞门呈船型,使其浮起拖至坞口部位预定的位置,灌水沉放安装。卧倒门是用铰装设在门坎上,前面海底设有卧门槽,开启时坞门卧倒在门槽内的这样一种结构。其他还有一种将坞门分成几块,利用起重机吊装,并且为了增强坞门横向的刚性,或从侧墙作水平支承,或从底板竖支柱支承。

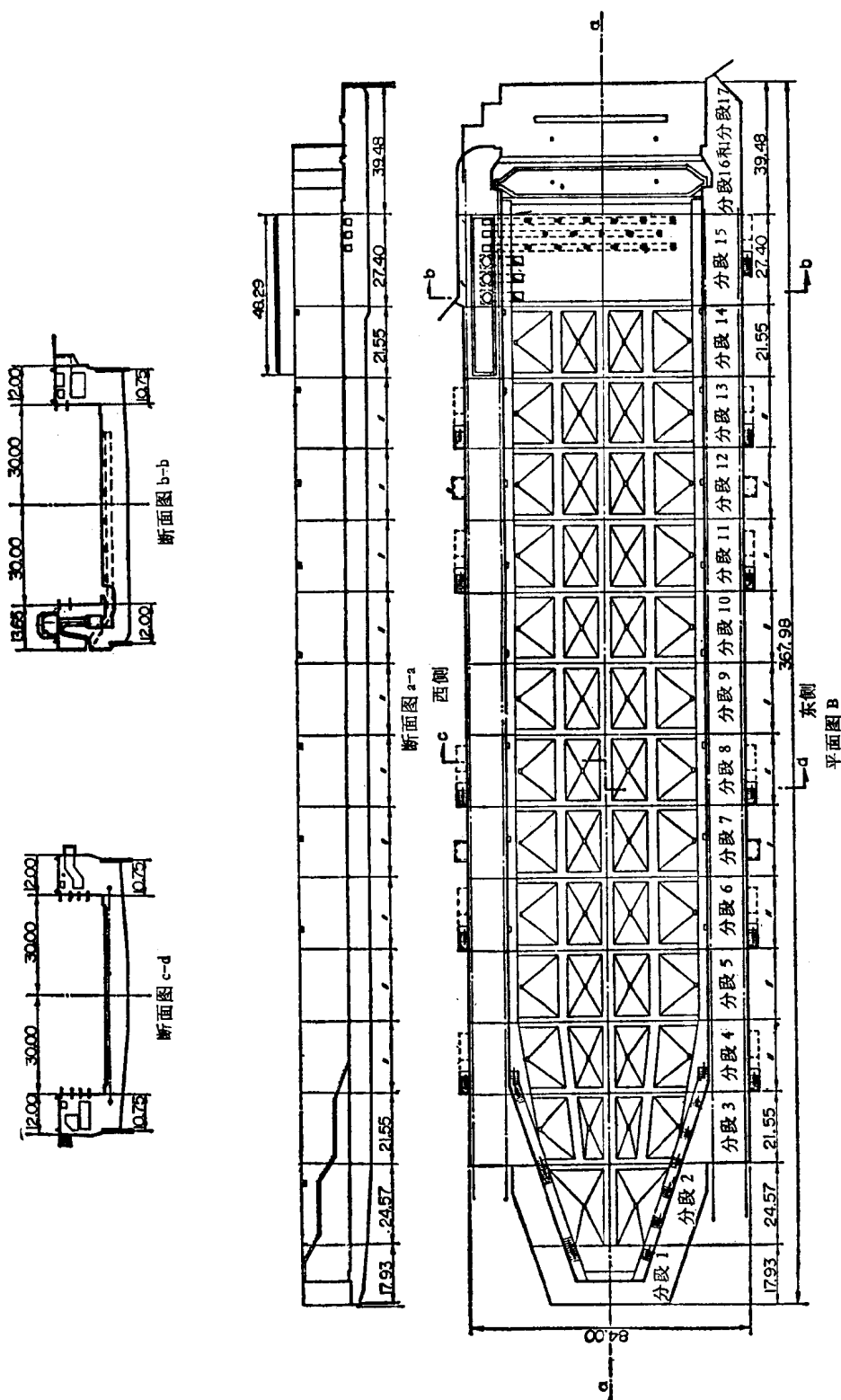


图 1-7 西德汉堡希拉克尔造船公司 15 万吨船坞⁽³⁾

门框面以前多为花岗岩镶面,而最近则有打混凝土的和镶不锈钢等例。

坞口部分的荷载条件及使用目的与坞室不同,因此与坞室的结构不同,一般可独立设计。作为坞口结构,多采用明开挖的钢筋混凝土结构或沉箱或井筒结构。在便于制造临时围堰和排水可能的场合,采用前者有利。但由于选址条件和地质条件往往又利用沉箱或井筒做围堰。不论哪一种结构,当不考虑浮托力对坞室底板的作用时,对船坞都需要施以特殊的办法以完全截断来自坞口的渗流。

1.3 已建船坞的实例

1955—1960年期间,欧洲各造船厂建成的船坞与其修造船舶的大小不谋而合均为4万吨左右。1960—1965年时期,建成的船坞多以5万吨至10万吨的大型油轮为对象。1965年以后,设计及施工中的船坞更向大型化发展,而以20—50万吨巨型油船为对象。

随着船坞向大型化发展,船坞建设技术也逐步发生变化。其焦点在于究竟怎样才能经济地建造大型船坞这一点上。就船坞本体而言,几乎过去的船坞都是以混凝土底板的自重来克服浮托力的重力式结构,需要的混凝土量过大,是很不经济的。最近,船坞采用轻型结构,以尽量减少混凝土量,在经济上工省的较多。当然并不是重力式结构在任何情况下都是不经济的,因具体情况也有非采用这种形式不可的。总之,只要船坞建设地点的选址条件、地质条件适当也可以考虑除重力式以外的轻型结构。

作为可能采用船坞轻型结构的保证条件,是最近土力学的迅速发展,土木施工技术的进步以及电子计算机的普及。研究出了巧妙地利用土力学以降低浮托力的方式,在先进的施工技术方面有连续现浇混凝土墙结构等。由于利用电子计算机,把底板作为弹性地基上的双向板来求解,因而可以成功地节约底板混凝土量及钢筋量。

1.3.1 半重力式

15万吨的埃耳勃17号船坞(图1-7)是由原德国海军在战争期间建造的。当时是欧洲最大的船坞。这是典型的半重力式大型船坞,宽60米,混凝土底板厚度中央部分达6.5米,为了以整个重量抵抗浮托力,混凝土坞墙厚12.0米,前面坞口部分厚7.5米。这座船坞的结构设计,可以推定大体是按过去最熟悉的U字型构造物解法计算的。

在日本,战争期间旧海军在大湊港建设的(图1-8)是典型的半重力式船坞,长205米×宽27.5米×深13.5米,于1944年建成。地基如(b)图所示,在砂层地下水的渗透性很大,作为整个结构是按以船坞自重抵抗总的浮托力设计的。因此,在一般部分的坞墙是阶梯状的,底宽11.0米,上宽2.5米,底板中央部分厚为5.0米。这座船坞以3.5万吨舰船为建造对象,是重力式结构。混凝土量约10万立方米,挖方量约30万立方米,相当于近来50万吨船坞的施工量。这座船坞的结构计算是根据布伦内克的静力学解法,浮普尔所核算的图解法,贝利的倒拱法等计算的。不论按哪一个方法计算都绝对安全。

1.3.2 建造在岩基或硬质粘土内的船坞

(i) 瑞典埃立克斯堡公司的10万吨船坞^[1]是长279米×宽44米×深11.6米的造船坞,并

于1966年建成。由于基础岩基良好,所以对岩缝施以修整灌浆后,为使作业面平整,底板混凝土浇筑量仅达铺面的程度。坞墙也是岩石的天然状态,漏水的地方灌浆,仅岩石软弱的地方用钢筋混凝土保护。

(ii) 丹麦林德船厂的10万吨船坞(图1-9)是并排建造的两座长300米×宽46米×深10米的造船坞,并于1960年建成。底板仍然是建造在非常坚固的硬质粘土层上,为80厘米厚的无筋混凝土。为了消除底板下面的浮托力配置了减压井。坞墙是极薄的钢筋混凝土预制墙。

(iii) 英国布林肯海德的坎默、莱尔德公司10万吨船坞^[3]是长950呎×宽148呎×深34呎的修船坞。因为基础岩基良好,所以仅铺6吋厚的钢筋混凝土铺面。从岩缝来的微量涌水用按10呎间距设置的排水孔排除,以免产生浮托力。在坞墙基岩良好的部分,保持地表面原状。还有,因这座船坞坞口前面没有富余水域,所以装有圆形的滑动门(半径160呎,开角61°)。

(iv) 日本横须贺海军第6号船坞(图1-10)及佐世保海军第7号船坞都是战争期间由海军建造的,均为长336米×宽50米×深18米,可建造或修理6.5万排水吨级的战舰。

这些船坞都是开挖岩基建造的。除坞口外,坞墙,底板都是用无筋混凝土建造的较轻的结构,浮托力由设在底板下面的涵管排水减压。只有坞口部分直接受外海的海水影响。所以采用重力式结构利用混凝土重量来抵抗浮托力,成为如图所示的较厚的结构。结构计算是根据1.4节中所述的各种计算方法研究的。

1.3.3 排水减压式

最近在日本建造的大型船坞,几乎都是采用这种型式。这是因为船坞建设地点多在滨海填筑地,并且地质结构是透水层和不透水层组成的交互层,可以得到适当的承载层和止水层;船坞大型化后,把底板当作一个梁来设计是不经济的;而做成重力式的则需要大量的混凝土,因此才选择这种型式。

图1-11是美国布雷默顿的海军船坞的断面图,1960年建成,为大型船坞,长1,150呎×宽

