

水运工程技术参考资料



1974

人 民 交 通 出 版 社

水运工程技术参考资料

1974年第1辑

交通部水运规划设计院汇编

人民交通出版社

1974年·北京

内 容 提 要

本书介绍国内外水运工程方面的新技术、新经验，今后将分辑陆续出版。第一辑的主要内容包括：从船舶发展看港口发展趋势；在波浪作用下大型油轮码头防冲设施的设计；近代船坞发展趋势；大潜山总干渠通航情况介绍；船坞坞口航道水下爆破岩石；取水泵房滑动模板施工的几点体会等十一篇文章。可供水运工程建设战线上的设计、施工、科研人员及大专院校师生参考。

水 运 工 程 技 术 参 考 资 料

1974年第1辑

交通部水运规划设计院汇编

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二厂印

开本：787×1092_{1/16} 印张：4.75 字数：104千

1974年5月第1版

1974年5月第1版第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价(科三)：0.40元

(内部发行)

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下,我国水运建设事业过去取得很大的成就,今后的任务将更加繁重,特别是随着外贸和援外任务的急剧增长,港口的建设已面临新的发展形势。在新的形势下,如能及时介绍交流国内外水运工程建设方面的新技术、新经验,这对搞好水运建设事业是有帮助的。为此,我们特编辑出版了《水运工程技术参考资料》。

本资料的内容,主要包括:国内水运工程(港口、航道、船厂、船坞等)建设方面的经验总结、技术革新、科研成果以及专题论述等;国外水运工程建设方面的新技术、新经验以及有关科技水平和动向等。可供水运工程建设战线上的设计、施工、科研人员及大专院校师生参考。

本资料今后将分辑陆续出版,必要时将按专题编辑出版。希望水运工程建设战线上各级领导、广大工人、技术人员以及教学和科研工作者,给予大力支持,积极提供稿件,提出改进意见,以便不断丰富本资料的内容,提高出版水平,使之能更好地为无产阶级政治服务,为蓬勃发展的水运建设事业服务。

交通部水运规划设计院

目 录

前 言

- 从船舶发展看港口发展趋势.....天津大学 赵今声 (1)
- 水下就地整体浇筑混凝土码头的介绍交通部第四航务工程局 (7)
- 在波浪作用下大型油轮码头防冲设施的设计
.....大连工学院水利系港工实验组 (13)
- 近代船坞的发展趋势.....交通部水运规划设计院 孙绍先 (25)
- 钢板桩坞墙及坞首设计的探讨
.....交通部水运规划设计院 吴德镇 余以忠 (33)
- 以路线为纲, 综合利用水利资源——大潜山总干渠通航情况介绍
.....安徽省交通局 (41)
- 交通水利血防相结合, 多快好省地发展航道事业
.....平湖县革委会生产指挥组 (43)
- 船坞坞口航道水下爆破岩石.....交通部第一航务工程局第一工程处 (45)
- 取水泵房滑动模板施工的几点体会
.....交通部第二航务工程局第一工程处 (59)
- 地下工程防水堵漏剂——“氰凝”初步试验成功
.....天津市科技局情报组 (68)

从船舶发展看港口发展趋势

天津大学 赵今声

最近十几年船舶向大型化发展,势头很猛。由于船舶的发展,因而引起港口的发展。过去是船就港,现在则是港就船,旧的港口不能适应大型船舶的需要,需要改建。有的改建困难,需要选择新港,或在近海深水区,设置无防波堤掩护的深水装卸船位及作业区。如日本为适应巨型轮的停靠,新建了鹿儿岛港,水深35米;美国计划在太平洋沿岸建筑新港,水深36.6米;南非德班港、英国利物浦港、意大利热内亚港、利比亚、科威特等均在近海深水区建造了岛式码头或设置了系船浮筒。此外,近十年来货物集装化运输在资本主义国家迅速发展,正在形成一次运输革命,也影响了船舶和码头的建造。港口、航道和船舶三者本来是密切相关,互为影响的。本文主要从船舶及集装化运输的发展来推论港口及进港航道的发展。

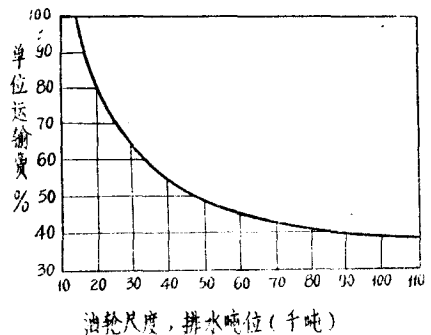
一、船舶在最近时期的发展

第二次世界大战以后,船舶逐渐向大型化发展,以油轮的发展最为显著。基本原因,是为了降低运费。附图是美国陆军工程兵团所做的统计。图中单位运输费是以T-2型油轮(排水吨位16,600吨)每吨(排水吨位)的建造费和经营管理费为100%,其他尺度油轮的单位运输费是与T-2型油轮的相比值。例如,45,000吨油轮较T-2型油轮的单位运输费降低了50%。

(一) 油轮的发展

1945年第二次世界大战结束时,标准油轮是16,600吨(指排水总吨,以下均如此)。以后逐年向大型化发展,而以近十年发展最快。表1所示为油轮的发展情况。

1956年美国有30,000~35,000吨油轮11艘,1970年全世界50,000吨以上油轮有725艘,到1972



附图 油轮尺度与单位运输费的关系

油轮的发展情况

表1

年 份	最 大 油 轮 吨 位	年 份	油 轮 平 均 吨 位
1947	28,000 吨	1949	12,800
1954	50,000	1965	27,100
1959	110,000	1970	80,000
1966	210,000		
1970	320,000		
1971	372,400		

年, 200,000~300,000 吨油轮有 150 艘。“日赤丸”载重 372,400 吨, 船长 347 米, 宽 54.5 米, 吃水 27 米, 于 1971 年 9 月 10 日始航, 每年能从日本去波斯湾运油 9 次。1973 年日本已建成“东京号” 477,000 吨油轮。

1970 年, 油轮的平均吨位为 80,000 吨, 平均长度 249 米, 平均宽度 35.2 米, 平均吃水 13.5 米。

(二) 散货(矿石、煤、谷物)船的发展

散货船的发展不像油轮那样快, 但在第二次世界大战后, 也逐渐向大型化发展。1953 年, 30,000 吨以上的散货船仅占该类轮船的 2%, 而到 1970 年则占 16%, 以容量论, 却占该类轮船总容量的 40%。1967 年造的散货船平均吨位为 41,600 吨, 1968 年造的散货船平均吨位为 46,195 吨, 由此可看出发展趋势。

1969 年, 最大的散货船是 16 万吨, 长 302 米, 宽 43.3 米, 吃水 17.4 米。

散货船另一发展趋向是通用化, 即装油和矿石两用, 或装油, 矿石和干货三用。

(三) 集装箱船

件杂货种类繁多, 装在标准尺寸的集装箱内, 进行水陆联运, 发货单位装箱, 收货单位开箱, 可大大提高装卸工作效率, 加快车船周转, 提高运输质量, 消灭货损货差。集装箱运输近来在资本主义国家发展很快, 被认为是一次运输革命。最初集装箱船是旧船改的, 吨位较小。1967 年, 开始建造集装箱运输用的新船, 其特点是船体瘦长, 航行速度快。西德新造的集装箱船每艘可载 2,000 个集装箱, 每箱长 6 米, 重 20 吨, 船长 280~300 米, 航速每小时 33 浬。1970 年, 全世界有集装箱船 200 多艘, 正在建造的有 260 艘。1970 年, 资本主义国家之间, 已有集装箱船航线七条, 13 个国家的 130 个港口可容纳和装卸大吨位集装箱船。

1970 年, 美国全国有 90 个集装箱船泊位, 分布在 12 个港口, 到 1972 年估计共有 140 个泊位。纽约港 1969 年已有 25% 件杂货用集装箱运输, 到 1975 年, 估计可达 50%。1975 年, 全世界集装箱船载重量估计将达 230 万吨, 将有 25% 的件杂货用集装箱运输。

集装箱有钢质、铝合金、胶合板和塑料的, 底板一般用高强度钢制成。1964 年制定的集装箱国际标准尺度见表 2。

集 装 箱 标 准 尺 度

表 2

集装箱载重量 (吨)	外 型 尺 度 (毫米)		
	长 度	宽 度	高 度
10	2,900	2,435	2,435
20	6,055	2,435	2,435
25	9,125	2,435	2,435
30	12,190	2,435	2,435

装卸集装箱的专用设备, 效率很高, 两千个集装箱用两台装卸机, 十几个小时即可装卸完毕。由于集装箱船的速度快, 横渡大西洋, 仅用六天时间, 故从美洲到欧洲往返一次, 包括装卸时间在内, 只要 $2 \times 6 + 2 = 14$ 天, 这样一年可往返 26 趟, 而普通货船往返一次需一个月, 每年只能往返 12 趟。根据英国的分析, 用集装箱运输, 可降低运费 50%。就英国货运情况而论, 全部改用集装箱运输, 每年可节约运费二亿五千万英镑。

另外有一种载车货船, 是将装满货物的挂车直接开上船, 到达目的地以后, 再将挂车开

下来,驶往交货地点。日本有载车和集装箱的渡轮,在沿岸航行,航速每小时19~23 浬。

(四) 载驳货船

从集装箱运输进一步发展到载驳运输,即将从内河来的装满货物的驳船吊上轮船,开往另一港口,到港后,再将驳船吊下,编队后用拖轮(推轮)送往内河收货地点。载驳运输适合河海联运。载驳货船上装有门吊,可从船尾吊起驳船放在船舱内或甲板上,装卸效率比集装箱运输又提高2.5~3.0倍,无货损货差。1960年以来,资本主义国家已有载驳货轮的设计建造方案。1969年已有一艘载重43,000吨的载驳货船投入营运,现航行于美国至欧洲的航线。该船为单甲板大舱口船,载运73艘驳船,装有吊重510吨的门吊。驳船每艘重375吨,吊上吊下一艘驳船,需15分钟,18个小时可装卸完毕。在预定航线往返一次需30天,26天在航行,航行时间占86%,而普通货轮的航行时间只占50%左右。日本正在建造的载驳货船,运输效率较普通货轮可提高三倍。

二、港口和进港航道的发展

船舶大型化和集装箱运输的发展促使港口进行改建或另行选择新的作业区。

首先是进港航道水深及宽度和港内水深及船舶回旋的水域面积必需增加。在第二次世界大战结束时,全世界较大港口的水深大都为10.7米(35呎),能供万吨级轮船使用。当时美国通用的T-2型油轮(排水吨位16,600吨)决定美国主要大港的水深为35呎。第二次世界大战后,随着船舶尺度的增加,航道及港口水深经过疏浚逐渐增加,多数港口浚深至12米(40)呎,计划浚深至12米以上者,为数不多。比利时的安特卫普港最近几年每年挖泥1,000万立方米,航道水深已达到16米,可行驶13万吨级油轮。表3为几个外国港口的计划水深。

几个外国港口的航道浚深计划

表3

港口名称	现有水深 (米)	计划水深 (米)	原进港最大船舶 (吨)	计划进港最大船舶 (吨)
不来梅	14.0	15.6		75,000
汉堡	13.4	21.4	65,000	250,000
威廉港	15.0	16.0	100,000	
鹿特丹	19.0	21.6	225,000	300,000

其次,是码头后面要求较大的陆域,因为仓库及货场容量需相应加大,铁路线路及车场面积需要增加。集装箱船要求较长的泊位和较大的货场面积。表4为几个资本主义国家的集装箱船码头的情况。因为船型及装卸方式不同,泊位长度及货场面积均有较大差别,但较普通货轮码头均增加很多。

集装箱船码头情况

表4

国别	停靠轮船 (吨)	泊位长 (米)	水深 (米)	货场面积 (米 ²)	货场平均宽度 (米)
日本	25,000	250	12.0	75,000	300
加拿大	50,000	275	13.7	78,000	284
比利时	60,000	500	15.2	92,500	185
西德	50,000	350	14.0	150,000	429
美国	60,000	304	15.2	66,700	219

现有港口的改造并非容易的事。海岸港口增加航道水深意味着延长进港航道，在大陆架坡度平缓的地区，航道长度就需要有较多的增加，这就增加了开挖及维修费用。河口港及河港增加航道水深及宽度，除必须浚挖大陆架航道外，还要对河口以内的航道进行加宽加深。河道两岸往往有工厂和其他建筑设施，加宽加深航道可能影响岸上建筑，有的还受桥梁、隧道的限制。某些港口航道底面已接近岩层，加深航道必须开凿岩石，费用很高。港区内部水域有的较为狭窄，扩展困难。改建深水码头亦涉及原有陆上设施的拆除。由于上述这类条件的限制，有的国家不得不另建新港，适应大型船舶的需要，或在近海设置开敞的岛式码头及系泊浮筒，进行海上装卸作业。距岸不太远时，亦可建筑引桥与岸连接。海上装卸一般限于抗风浪能力较强的巨型船舶。

三、船舶和港口今后发展远景

挪威港口及海洋工程教授布鲁恩和罗埃于1970年对船舶和港口发展做了广泛的调查统计，提出1970~1980年各类船舶的预计吃水，如表5。

各类船舶1970~1980年的预计吃水

表5

年 份	油 轮 吃 水 (呎)			散 货 船 吃 水 (呎)			件 杂 货 船 吃 水 (呎)		
	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5可知，在1970年，件杂货船吃水深度为40呎者占19%，到1975年及1980年，分别占24%及28%。水深超过40呎的件杂货码头较少，其原因是只有分配油和散货的特别地点才需要40呎以上水深。从表5亦可看出，到1980年，能容纳吃水60呎以上散货船的港口为数亦不多。此外，在今后十年内，能容纳吃水80呎以上油轮的油港数目几乎不变，吃水50到75呎油轮在1970~1975年的增加率要比1975~1980年为快。这也可能由于对1970~1975年的计划考虑较多，而对1975~1980年的计划考虑较少。

从发展趋向看，油轮将来基本上可分为三类：

巨型油轮——30(50)~100万吨，吃水80到110呎。主要用离岸系泊浮筒或平台装卸。

大型油轮——15~30万吨，吃水60到80呎。可在深水港码头停靠。

普通油轮——吃水小于40呎的各种局部地区供应用的油轮。

矿石船——可能增到15万吨以上，吃水55到60呎。这是由于自然条件的限制，在较理想的深水港，可能超过这个限度。

一般货船包括散货船和集装箱船等，可能达到4万吨或者5万吨，吃水40~50呎。

仅从进出船舶尺度来考虑，将来港口可分为三类，见表6。

其余较小的港口为地方港口，供国内航运使用。

以上这些设想是布鲁恩提出来的。

除去各港的自然条件外，世界几个航运要道的深度对船舶尺度的增加也起着限制作用(表7)。

能满足将来需要的航道深度

表6

	国 家 港	国 际 港	石 油 分 配 中 心
船 舶 尺 度	到 5 万吨	5~25万吨	25~100万吨
航 道 水 深	到 55 呎	55~80呎	80~120呎

世界航运要道的最大容许吃水

表7

航 道 名 称	最 大 容 许 吃 水 (呎)
巴 拿 马 运 河	40 (计划增加至60呎或更深)
苏 伊 士 运 河	38 (计划增加至58呎)
基 尔 运 河	31
英 伦 海 峡 (多 佛 海 峡)	62
北 海	62
马 六 甲 海 峡	60

除去少数自然条件特别好的港口外，世界上大多数港口的加深受到改建费用限制，航道水深很难超过 16.8 米 (55 呎)，这就使船舶吃水限制在大约 13.8 米 (45 呎)，集装箱船及一般货船的极限大概为 60,000 吨。

25 万吨级油轮和巨型散货船吃水 21.3 米 (70 呎)，需要的航道水深约为 22.8~24.3 米 (75~80 呎)。只有自然条件特别好的港口有可能容纳这类轮船。

50~100 万吨级的油轮吃水 27.4 米 (90 呎) 以上，需要水深在 30.4 米 (100 呎) 以上，只能在开敞海域的岛式码头或浮筒系泊，用引桥或水下油管与岸上或海底油罐连通。

如何增加航道和港口深度，主要手段是浚挖，在过去十年内，浚挖技术有了很大发展。现在浚挖设备能在 100 呎深度进行工作，海底采矿深度仍在继续增加。水力式吸泥船的尺度和能力有了较大发展，鹿特丹港用的自航式吸泥船 14,000 吨，船舱容泥量 8,800 立方米，船长 443 呎，船宽 74 呎，吃水 32.75 呎，航速每小时约 16 哩，有两个内直径 47.25 吋的吸泥管，吸泥泵直径 101 吋，用 3,000 马力内燃机驱动，转速每分钟 500 转。

特别值得提出的是侧抛式吸泥船。十年前，首先用于委内瑞拉的奥里诺科河口航道的疏浚。先是用一艘由 T-2 型油轮改造的侧抛式吸泥船，这艘自航式吸泥船不把泥送进船舱，而是从船的右侧长 250 呎的伸臂端部送入海中，在不到三年内，这艘船从河口航道挖了七千万立方米泥土，大大改善了航道深度。后来委内瑞拉又造了一艘朱丽亚号 (Zulia) 吸泥船，除具有一般储泥舱外，并装有能旋转 180°，长 415 呎的伸臂，可向船的两侧吹泥，吹泥管口离船舷 328 呎，装在伸臂上的吹泥管内直径 57 吋。船长 548 呎，船宽 95 呎，吃水 26.5 呎。有 4 个泥泵，共 11,000 马力。在两年半时间内，这艘船从侧伸臂送出的泥土达一亿零五百万立方米，经过储泥舱的泥土三百万立方米，共挖泥一亿零八百万立方米，每小时挖泥量 7,000 立方米。航道的回淤速度比较慢。美国最近造了两艘较小的 (12 吋及 16 吋管)，一艘较大的 (两根 26 吋管) 侧抛式挖泥船，用来浚挖港口外航道。

四、对我国港口发展的建议

随着毛主席革命外交路线的伟大胜利，我国对外贸易和援外任务迅速增长，加之国外船舶向大型化发展的趋势，就出现了我国远洋船舶和港口设施与发展需要不相适应的矛盾，这种情况必须在短期内加以改变。

当前需要大量增加海轮和扩建新建港口，特别是增建深水泊位。前面已经论述，船舶向大型化发展可以降低船舶的造价和营运费用，运输向集装化发展可以降低运费，减少货损货差，提高运输效率。从我国远洋运输的发展需要看，我国油轮和散货船向大型化发展是必然的趋势。至于集装化运输，我国港口采用的钢材绑扎成捆、件货装上网兜、货板，是集装箱运输的初级形式，已显示其优越性。最近我国决定在沿海个别港口建设集装箱码头，这是我国发展海上集装箱运输的先声。大体说来，集装箱更适合水陆转载次数较多的长途运输，在我国应视条件逐步发展，对流向比较稳定的、运距较远的、需水陆联运的大宗件货可先进行试点，积累经验后，按实际需要逐步推广。

为了指导我国航运事业的发展，应制定一个全面规划，定出发展方向和步骤。全国港口应划分等级，根据政治经济需要，考虑自然条件的限制，订出各级港口的合理布局；各主要港口应作出发展规划和总体布置。随着船舶向大型化和集装箱运输发展，必须相应发展修造船企业，增建船坞滑道；对扩建新建港口所需的各种工程船舶也应有相应的发展。因此，对修造船厂的合理布局和分工也应作出全面规划。对侧抛式吸泥船，建议进行试验，同时测量航道回淤量，核定疏浚效率，如确实证明效率高、速度快，可大力推广。

实施这些规划，需对我国沿海自然条件，进行详尽深入的调查研究，对实施中遇到的问题，需开展多方面的科学试验研究，所以还必须制定一个与之相适应的科学研究计划。

水下就地整体浇筑混凝土码头的介绍

交通部第四航务工程局

一、概 述

1966年10月由设计、施工、科研单位的领导干部、工人和技术人员成立三结合试验小组，对水下就地整体浇筑混凝土码头，从设计到施工进行了初步探讨。首先，在黄埔港扩建码头时曾修建29米码头作试验，结构型式如图1。后来在广州钢铁厂浇筑了116米码头，结构型式如图2。码头建成后，质量符合要求，使用效果良好。

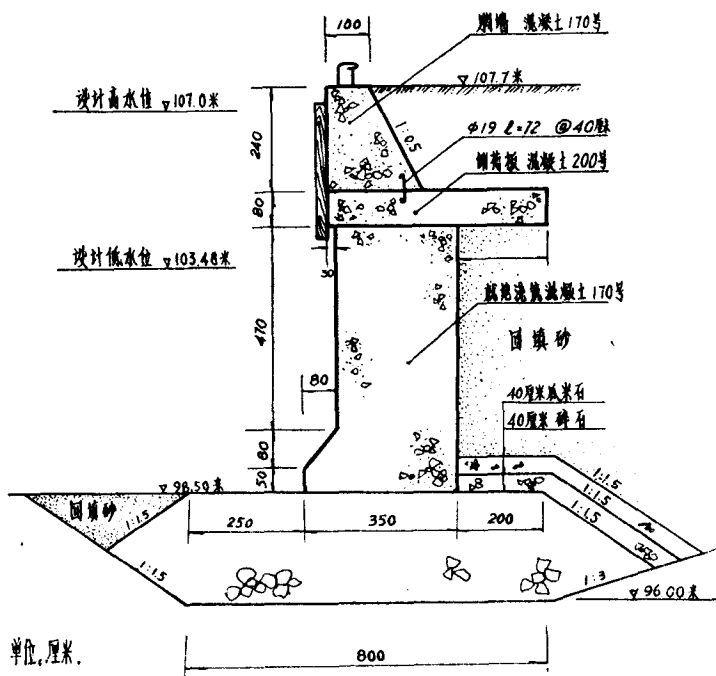


图1 黄埔试验段码头结构图

广州钢铁厂扩建专用码头中，台阶式结构长100米，卸荷板式结构长16米。码头前沿水深在设计低水位时为3.5米。由于码头所在地段风化岩面较高、岩质较硬，通过对钢筋混凝土扶壁、预制方块支墩和就地整体浇筑混凝土三种结构型式的技术经济作了比较，最后决定采用台阶式就地整体浇筑混凝土结构。其中除胸墙部分为水上现浇外，其余全部为水下浇筑混凝土。水下浇筑混凝土的工程量为1,226.87立方米，自1967年7月31日开始浇筑，至当年12月13日全部完成。

实践证明，这种码头结构简单，适应地形变化，碎岩工作量小，节省钢材；施工时工序少、速度快、造价较低；不需要预制场地及大型起重设备，现场用地较少，增加了水上施工的灵活性。但也存在水泥用量较多，安装水下模板较为困难的问题，有待进一步研究改进。

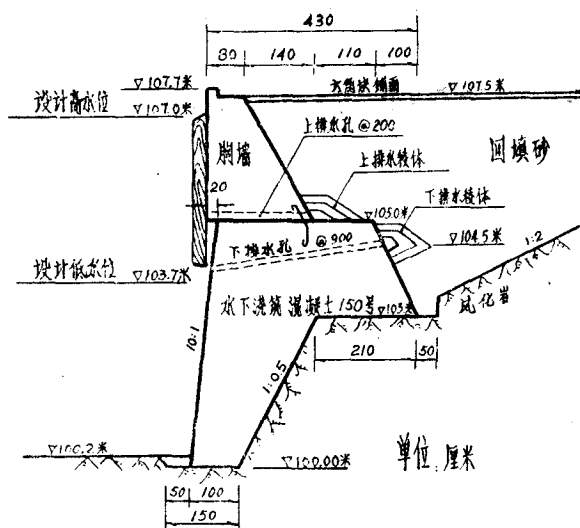


图2 广钢码头结构图

现将预制方块码头和就地整体浇筑混凝土码头两种结构型式的经济指标比较列于表1，其中预制方块码头按新建码头毗邻的原方块码头（见图3），亦参照广州地区其他方块码头的决算资料，水下就地整体浇筑混凝土码头直接采用施工决算资料。每米预制方块码头造价为3,095.31元，每米水下就地整体浇筑混凝土码头造价为2,352.25元，每米码头可节省造价24%。

每米码头经济指标比较表

表1

主要项目	预制方块码头			就地整体浇注码头		
	单价 (元/立方米)	数量 (立方米)	经济指标 (元)	单价 (元/立方米)	数量 (立方米)	经济指标 (元)
胸 墙	58.96	4.625	272.69	58.96	5.20	306.59
预制安装卸荷板	100.00	4.10	410.00			
预制安装方块	80.00	9.345	747.60			
水下浇筑混凝土				83.86	13.18	1,105.27
抛石棱体	16.00	13.50	216.00			
抛石基床	27.68	2.30	63.66			
回 填 沙	5.61	36.50	204.77	5.61	48.00	269.28
倒 滤 层	26.00	2.53	65.78			
碎 岩	25.18	22.30	561.51	30.18	7.40	223.33
挖 泥	4.64	68.00	315.52	5.00	36.00	180.00
排 水 孔						30.00
铺面三角块	74.57	2.25	167.78	74.57	2.25	167.78
其 他			70.00			70.00
直接费合计:			3,095.31			2,352.25

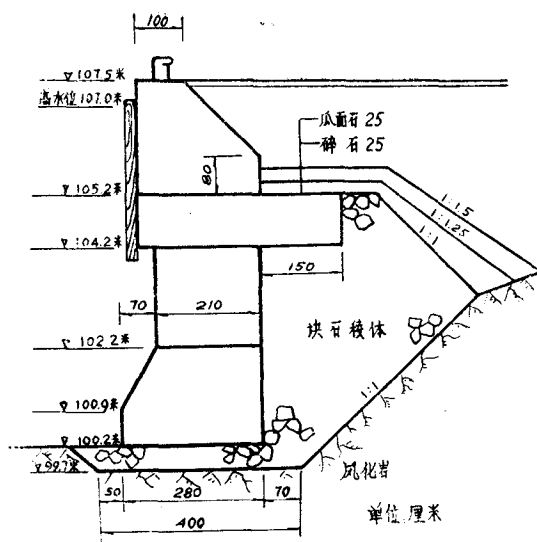


图3 预制方块码头结构图

二、码头设计

广钢码头地质情况：在标高 102.20~103.20 以上为淤泥状粘土，以下为褐色风化岩，容许承载力在 40 吨/米²以上。荷载：均布活荷载 4 吨/米²，15 吨履带吊车，系船力 10 吨，不考虑地震力。建筑物标准为Ⅲ级。

设计中墙背面的摩擦角取填土内摩擦角的三分之一，不考虑荷载及其布置对破裂角的影响；在标高 102.20 米以下因属硬性风化岩，不计算土压力。

取消码头后方的块石棱体，直接回填砂。分段浇筑的施工缝如图 4 所示：

黄埔试验码头地基为砂质粘土，采用 2 米厚抛石基床。广钢码头取消抛石基床，直接浇筑混凝土在开挖的风化岩面上。

为减少码头前后水位差，降低水压力，在墙身标高 104.00 米和 105.00 米处每隔 2 米设置直径为 10 厘米的上排水孔；每隔 9 米设置直径为 10 厘米的下排水孔。排水孔的结构布置如图 5。

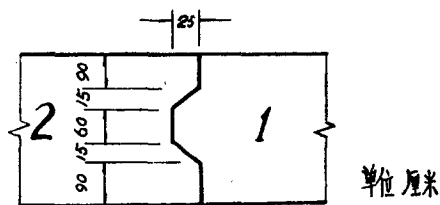


图4 施工缝结构平面图

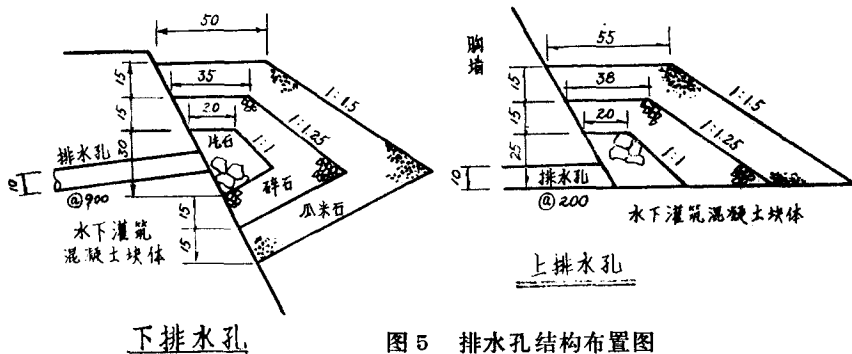


图5 排水孔结构布置图

三、码头施工

将台阶式结构部分的 100 米, 分为 22 个施工段, 其中 19 个为标准段, 2 个矩形断面段, 一个变截面衔接段。施工缝表面未经凿毛处理, 只做成凹凸齿, 每个施工段体积为 52.7~63.75 立方米, 总计 1,226.87 立方米, 实际浇筑 1,264.14 立方米。

施工场地布置见图 6。0.8 立方米的混凝土搅拌机放在码头位置中部, 离码头前沿线 25 米, 出料后由风动泵沿可以移动的输送管压送至浇筑施工段。

码头采用间隔浇筑, 模板分为两种型式: 甲型模型系四面立模, 供浇筑 1、3、5 等奇数段混凝土使用, 轮廓尺寸为 $4.32 \times 4.60 \times 5.30$ 米, 每个重约 8 吨。由于前幅模板较高, 受较大压力, 所以加竖向木桁架, 并装以可伸缩的支腿插入风化岩中, 以保证刚度。模板的两侧用 3 根 3/4 吋和 1 根 5/8 吋的钢缆系于岸上的地锚。乙型模板两面立模, 供浇筑 2、4、6 等偶数段混凝土使用, 前幅重 3 吨, 后幅重 1 吨, 用带环螺栓通过卸扣与两侧已浇筑段上预埋环固定。

模板在拼装台架上整体拼装成型后, 趁低潮吊运至立模地点, 安放就位。模板底部和基岩间的缝隙, 小的用片石堵塞, 大的用麻袋混凝土堵塞。整拼安装好的钢模板, 兼作操作平台的支架。模板表面涂黄油作脱模剂 (废机油在水中要漂走)。

水下浇筑混凝土设计强度为 150 号, 采用 500 号普通水泥, 水泥用量 315~343 公斤/立方米, 掺加吉林石岬纸厂亚硫酸盐纸浆废液 1.5% 作塑化剂。

在浇筑中几种常用的配合比见表 2。

表2

工程名称	碎石级配 %					水灰比	配合比	塑化剂 %	砂率 %	水泥用量 公斤/立方米	坍落度 厘米	埋管深度(米)		R_{28}
	4~3	3~2	2~1	1~0.5	鱼眼砂							最大	最小	
广钢码头 R_{150}	25	25	25	/	25	0.65	1:2.55:2.76	1.5	48	330	18~23	2.3	1.3	173
	25	25	25	/	25	0.65	1:2.28:3.42	1.5	40	315	18~23	1.6	1.1	/
	25	25	25	/	25	0.65	1:2.42:2.62	1.5	48	343	18~23	1.9	1.3	218.4
	混合级配时各 25%				/	0.65	1:2.42:2.62	1.5	48	343	18~23	1.7	1.2	208.5
黄验埔 试段 R_{170}	45	30	/	25	0.63	1:2.27:3.14	1.5	42	333	333	18~23	1.8	1.2	355.4
	45	30	/	25	0.65	1:2.43:3.35	1.5	42	315	315	21	2.05	1.8	269
	45	30	/	25	0.55	1:1.81:2.50	1.5	42	398	398	21~23	3.95	3.1	281
	45	30	/	25	0.50	1:1.62:2.23	1.5	42	438	438	21	2.49	1.9	323

浇筑混凝土时, 操作台的高度一般应高出施工水位 2~2.5 米以上。根据经验水下浇筑混凝土的流动半径可达 3~3.5 米, 所以, 每一施工段只布置一根直径 25 厘米的导管。在开始浇筑混凝土时需用隔水栓吊塞导管底部, 防止水流侵扰混凝土, 曾用过铁板塞和麻袋球两种, 前者效果好, 但成本高, 后者效果较差, 但成本低。

在施工过程中曾发生几次浇筑中断情况, 中断 30 分钟以内不成问题, 中断 30~45 分钟的 19 次中只有 1 次因前期影响不能继续浇筑, 中断 45~60 分钟共 2 次均不能再继续浇筑, 中断 60 分钟以上的 6 次中, 有 3 次可继续浇筑, 其中 1 次是属于浇筑刚开始, 导管处混凝土

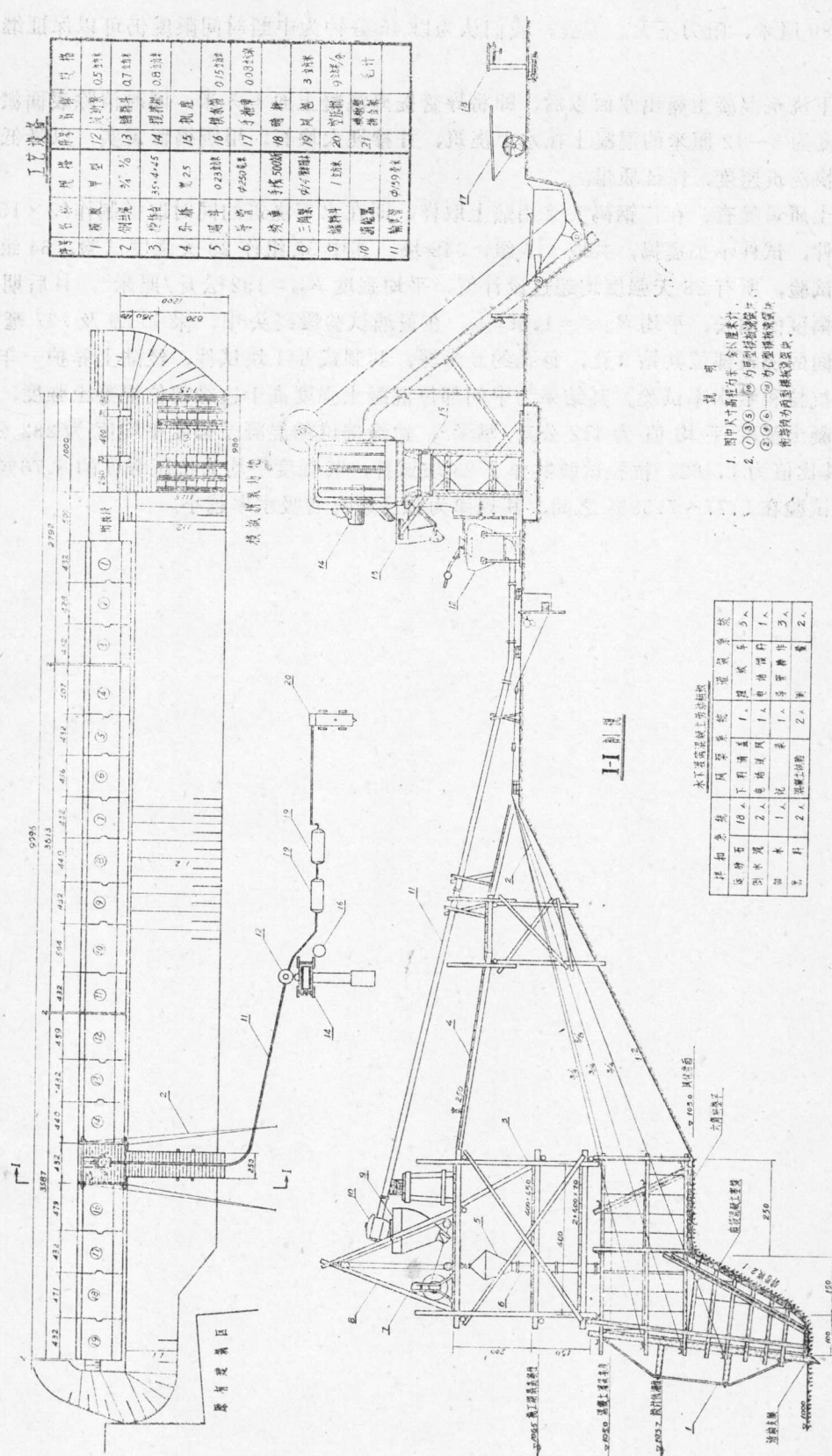


图 6 广钢码头水下浇筑混凝土施工工艺图