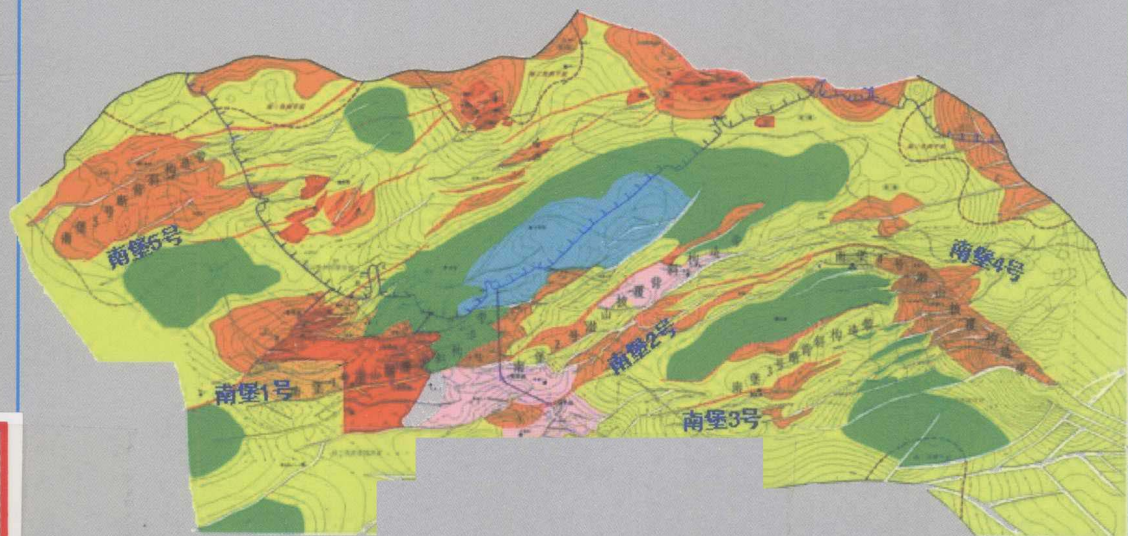


南堡滩海路岛工程与环境动力 相互作用的理论与实践

焦向民 金明权 李凯双 张桂荣 王长军 著



南堡滩海路岛工程与环境动力 相互作用的理论与实践

焦向民 金明权 李凯双 著
张桂荣 王长军



海洋出版社

2010年·北京

图书在版编目(CIP)数据

南堡滩海路岛工程与环境动力相互作用的理论与实践/焦向民等著.
—北京:海洋出版社,2010.6

ISBN 978-7-5027-7754-8

I. ①南… II. ①焦… III. 浅滩海湾-海上油气田-石油工程-环境影响-研究-唐山市 IV. ①X322.223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 117987 号

责任编辑:项 翔

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京盛兰兄弟印刷装订有限公司印刷 新华书店发行所经销

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14

字数:215 千字 定价:88.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

滩海是地球表面地形最为复杂、多变的地区之一,是各种海洋动力环境,如风、波浪、潮汐、海流及海冰等能量集中消耗的地方,处在一个高能的海洋环境中,是工程环境灾害易发的地区。因此,在滩海地区进行工程建设,必须对滩海地区的海洋环境动力特征进行深入的科学研究,对灾害进行客观的评价,才能确保各项滩海工程建设安全、高效地进行。

人工岛是在滩海地区的由人工建造的岛式陆地,可以作为海上各种生产作业的场所,或用于建设海上公共设施等。靠近岸边的人工岛,大多有进海路与岸相连,离岸距离较远的人工岛,有的则通过栈桥连接陆地,有的则与陆地不连接,采用海上交通船舶进行上下。人工岛作为人类开发海洋的基础设施,目前已在世界多个地区被广泛应用。在进行海上油气开发建设时,人工岛也是被经常采用的海洋工程方式之一,如美国洛杉矶长滩油田人工岛、阿拉斯加北坡油田北极星人工岛,德国米特普拉特油田人工岛,在我国渤海湾的滩海油气勘探开发过程中,辽河油田、冀东油田、大港油田和胜利油田也在采用建设进海路和人工岛的方式进行海上油气开发建设,取得了良好的经济效益和社会效益。

滩海路岛工程由于受到风浪、潮流、海冰及风暴潮等多种海洋环境因素的共同影响,和陆地上建筑相比,被破坏的可能性更大。历史上海上人工岛损毁事件屡见不鲜,破坏形式也多种多样,如强风、大浪、风暴潮增水、海冰等恶劣海况造成的岛壁防护层破坏、岛面被淹,甚至冲毁整个岛体;又由海底动力环境变化、地震、海底及

充填土等地质因素引起的岛体滑移、沉降、断裂等。海洋是一个综合而复杂的动力系统,每一项因素的改变都会直接或间接导致其他相关因素的变化。因此,有必要在这方面开展深入研究。

滩海路岛工程的建设可能导致滩海环境发生变化,直接影响是改变了海洋水动力环境,导致泥沙运移路径的改变、滩涂底质结构的变化、水质的变化及滩海生物生存环境受到影响等,最终给近岸海区的生态环境和养殖业带来较大负面影响。这种影响不仅具有长期性及复杂性,而且诸多影响因素之间具有关联性和不确定性,既相互影响又相互制约。因此,这种影响在短期内很难消除。

随着南堡滩海路岛工程的建设与应用,如何把握人工岛等滩海构筑物与滩海工程环境的相互作用关系与规律,并正确运用这一规律服务于滩海油气勘探开发,显得愈发重要。滩海工程与环境动力相互作用的研究关系到滩海工程的安危和效能的发挥。本书发挥了海岸工程、岩土工程与环境工程等相结合的多学科优势,围绕南堡滩海路岛工程与环境动力相互影响关系主线,开展海洋环境与结构物相互作用影响分析研究,研究和探讨了滩海路岛工程与环境动力的相互作用机理,给出了环境动力作用下的滩海路岛工程实例,为南堡滩海路岛工程建设和运营管理提供支持,并提出了开展滩海工程与环境动力研究的系统方法和手段,可供国内外开展类似工程的研究作参考。

本书是多年南堡滩海工程研究成果的结晶,书中引用了冀东南堡油田大量的滩海工程研究成果,主要包括:《冀东南堡油田进海路及人工端岛工程可行性研究报告》,《冀东南堡油田进海路及人工端岛前期专题研究》,《冀东南堡油田进海路及人工端岛工程二维潮流数学模型研究报告》,《冀东南堡油田进海路及人工端岛工程二维潮流泥沙数学模型研究报告》,《冀东南堡油田进海路及人工端岛工程(西线)水深测量、海洋工程地质勘察及砂源勘察报

告》,《极浅海石油开发工程环境与数字滩海——南堡油田路岛工程前期研究》等项目的研究成果,并参阅了国内外出版发表的相关文献资料。这些成果的获取也凝聚着众多研究单位对滩海工程与环境动力的相互作用关系研究所作出的辛苦工作,南京水利科学研究院、青岛海洋地质研究所以及上海航道勘察设计研究院等单位给予本书大力支持,在此表示诚挚感谢。

本书各章节编写人员分别是:第1章,焦向民、金明权、李凯双、王长军、李顺利;第2章,焦向民、金明权、张桂荣、陈海军;第3章,金明权、章卫胜、李凯双、王长军、周业枝;第4章,陈海军、焦志斌、张桂荣、凌华;第5章,李凯双、陈海军、焦志斌、凌华;第6章,焦向民、金明权、李凯双、王长军。全书最后由焦向民、张桂荣统稿。

本书作为滩海工程的基础性研究,可为相关研究人员提供新的信息和研究方法。由于我们的经验和水平有限,疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第1章 南堡滩海路岛工程与环境动力特征概述	(1)
1.1 南堡滩海路岛工程与环境动力相互作用研究目的与内容	(1)
1.1.1 南堡滩海路岛工程与环境动力相互作用研究主要目的	(2)
1.1.2 南堡滩海路岛工程与环境动力研究内容	(3)
1.2 南堡滩海路岛工程概述	(6)
1.2.1 1号人工端岛工程	(7)
1.2.2 西线进海路工程	(8)
1.2.3 进海路及人工岛结构型式	(8)
1.3 南堡滩海基本气候特征	(13)
1.3.1 气温	(13)
1.3.2 降水	(13)
1.3.3 风	(13)
1.4 南堡滩海水动力基本特征	(15)
1.4.1 潮汐	(15)
1.4.2 波浪	(17)
1.4.3 海流	(19)
1.4.4 海冰	(22)
1.4.5 海域泥沙运动	(24)
1.5 南堡滩海工程地质特征	(24)
1.5.1 地形地貌特征	(24)
1.5.2 地质概况及地震安全性	(26)
1.5.3 海底地层岩土工程性质	(28)
1.6 南堡滩海区灾害性因素	(31)

1.6.1	灾害性天气因素	(31)
1.6.2	灾害性地质因素	(32)
第2章	滩海环境动力因子与路岛工程相互作用机理	(37)
2.1	波浪对滩海构筑物的作用机理	(39)
2.1.1	风浪对滩海构筑物的直接作用	(40)
2.1.2	波浪作用下海底土层的弱化	(41)
2.1.3	波浪作用下海底粉砂层的液化	(43)
2.1.4	风浪掀沙作用	(45)
2.2	潮流与滩海构筑物的相互作用机理	(45)
2.2.1	波流共同作用下泥沙冲淤及地形地貌变迁	(46)
2.2.2	潮位变动对构筑物稳定性的影响	(49)
2.2.3	构筑物对潮流流向、流速的影响	(49)
2.3	风暴潮对滩海构筑物的作用机理	(49)
2.3.1	风暴潮的成因与特点	(49)
2.3.2	风暴潮与滩海构筑物的作用机理	(51)
2.4	滩海灾害地质因素与滩海构筑物的相互作用机理	(51)
2.4.1	海底不良地质现象对滩海构筑物的影响	(51)
2.4.2	滩海构筑物对海床稳定性的影响	(52)
2.5	海冰对滩海构筑物的作用机理	(52)
2.5.1	海冰与海工直立构筑物的相互作用	(53)
2.5.2	海冰对斜坡构筑物(人工岛、防波堤等)的作用机理	(54)
第3章	南堡油田路岛工程与滩海环境动力的相互作用研究	(60)
3.1	路岛工程与滩海动力环境相互作用研究方法	(60)
3.2	潮流数学模型研究	(61)
3.2.1	黄渤海平面二维潮波运动数学模型与潮波运动模拟	(61)
3.2.2	渤海湾整体潮流数学模型的建立及验证	(62)
3.2.3	人工岛工程局部潮流数学模型概况及验证	(71)
3.2.4	南堡滩海路岛工程建设对周边水动力的影响	(78)
3.3	波浪、潮流整体物理模型的设计与验证	(85)
3.3.1	波浪、潮流整体物理模型的设计	(85)

3.3.2	潮流验证	(94)
3.3.3	工程建设前后水流变化的物理模型试验	(95)
3.4	南堡滩海路岛工程冲淤实测成果分析	(102)
3.4.1	人工岛区	(102)
3.4.2	进海路两侧	(111)
3.5	南堡滩海路岛工程对周边海域海床冲淤影响	(114)
3.5.1	南堡滩海路岛工程建设引起的冲淤计算	(114)
3.5.2	南堡滩海路岛工程对周边海域海床冲淤影响分析	(119)
第4章	滩海环境动力对路岛工程影响研究	(121)
4.1	工程区域海床稳定性现状评价	(121)
4.1.1	评价因子的确定原则	(121)
4.1.2	评价模型	(122)
4.1.3	1号人工岛区域海底稳定性分区及结果评价	(126)
4.2	滩海环境动力作用下路岛工程稳定性分析方法	(133)
4.2.1	分析方法的基本原理	(133)
4.2.2	波浪荷载作用下路岛工程稳定性分析方法	(140)
4.2.3	地震荷载作用下路岛工程稳定性分析方法	(150)
4.3	滩海环境动力作用下路岛工程稳定性分析实例	
	——以1号人工岛工程为例	(150)
4.3.1	1号人工岛工程分析模型的建立	(150)
4.4	路岛工程施工期和工后稳定性监测	(168)
4.4.1	路岛工程稳定性监测概述	(168)
4.4.2	1号人工岛工程监测系统布置	(169)
4.4.3	施工期监测成果分析	(169)
4.4.4	施工结束后监测成果分析	(173)
4.4.5	现场稳定性监测成果	(175)
第5章	南堡滩海路岛工程应用实践	(177)
5.1	路岛工程结构型式	(177)
5.1.1	人工岛的共同点及结构型式设计	(177)
5.1.2	南堡油田路岛工程环境特点	(180)

5.1.3	路岛工程围堤结构型式比选	(181)
5.1.4	袋装砂筑堤工艺在南堡油田路岛工程建设中的应用 ...	(183)
5.1.5	南堡油田路岛建设模式在1号人工岛工程中的合理应用	(185)
5.2	路岛工程防护技术应用	(190)
5.2.1	南堡滩海人工岛护岛潜堤技术应用	(190)
5.2.2	南堡滩海路岛工程护底技术应用	(197)
第6章	综合概括与建议	(202)
6.1	理论概括	(202)
6.2	实践成果	(204)
6.3	问题与建议	(205)
参考文献		(209)

第1章 南堡滩海路岛工程与 环境动力特征概述

1.1 南堡滩海路岛工程与环境动力相互作用研究 目的与内容

在我国渤海及环渤海区域具有非常丰富的石油资源,在陆地上从南至北分布有我国胜利、大港、冀东、辽河等著名油田,在渤海海域有我国海上最大的油田渤海油田。在居于海洋与陆地的过渡带上,同样有着非常丰富的石油资源。由于其特殊的地理环境,既不是海洋又不是陆地,因此在此区域勘探开发石油有着与陆地海洋不同的方式。在我国石油行业把这一区域称之为滩海。滩海的区域大体为潮间带及其毗邻的水深大致在 5 m 以内(可包括部分海沟及海槽等水深大于 5 m 的小区域)的海域。

南堡滩海油田位于我国冀东油田的南部,即与冀东陆地油田毗邻的滩海油田。它位于我国渤海海域的西北部,即渤海湾的北部海域。行政区域属于河北省唐山市。

本书所要论述的滩海工程主要是指滩海区域内的石油勘探开发工程,重点讨论沙石或混凝土结构的滩海石油工程,如滩海人工岛、进海路、码头、登陆点、海底管线等。

由于滩海处于海洋与陆地过渡带的特殊地理位置,即处于大气、海洋、陆地的交接地带,处于大气、海洋、海底、海岸的强烈的能量交换地带,即处于高能环境。这种高能环境给滩海石油工程的建设与维护带来了巨大的挑战,甚至严重威胁滩海工程的安全建设与运营。

所以要对滩海环境动力因子及其对滩海石油工程的影响进行专门的研究,以保证滩海石油工程的安全。

另一方面,由于滩海石油工程的建设反过来也会改变滩海环境,严重时会对滩海环境造成灾害。因此我们不但要研究滩海石油工程本身的安全问题,而且还要研究工程周围的滩海环境的安全问题,这也是建设和谐社会的需要。

滩海环境动力研究的内容主要包括:大气海洋海岸带的相互作用因子,如风、浪、潮、流;极端情形下的灾害性的现象,如热带气旋、风暴潮、大浪、泥沙运移等。

1.1.1 南堡滩海路岛工程与环境动力相互作用研究主要目的

(1)南堡滩海路岛工程是为南堡油田的石油勘探开发建设服务的。为了达到这个目的,就要确保南堡滩海路岛工程的安全,即不会发生工程灾害,不会被风浪潮流冲垮!但是如何保证它足够坚固不被冲垮呢?那我们就要研究风浪潮流是如何冲垮滩海工程的?即通过什么样的作用力作用在滩海工程上,造成工程灾害。自然就要研究滩海工程灾害的种类,各种滩海工程灾害是怎样发生的,什么情况下会发生工程灾害?具体地说,风是怎样作用在路岛工程上的?在陆地上,风一般说来很难直接吹垮建筑工程,但是在滩海就不一样。有风就有浪,浪的能量对滩海工程的作用力要大的多,有可能破坏工程。另一方面,在滩海风生成的浪可以卷起海底泥沙,使海水的含沙量急剧增加,在潮流作用下,将泥沙搬运它处,使工程周围的海底地形改变,从而造成工程灾害的发生。所以在滩海要保证工程的安全,就要研究滩海各种海洋环境动力通过什么样的方式破坏滩海工程,怎样把破坏的能量传递给滩海工程。即要研究滩海各种环境动力因子对滩海人工岛及进海路等滩海石油工程的作用机理。

(2)完成机理研究之后,要研究采取工程措施,即要研究滩海工程技术。这包括两个方面,一是工程布局外形要尽量适应滩海环境动力,这就要研究工程所处位置的海洋环境动力的具体要素,如水深、风速风向、强浪向浪高、流速流向等。根据滩海动力环境因素合理进行工程布局,如工程要流线型,长轴方向要尽量为顺流方向,建造海底潜堤防止海流破坏工程等等。二是要研究什么样的工程结构设计可以防止海洋环境动力对工程的破坏,如防波堤迎浪面的块体结构、人工岛围堤的袋装砂结构等。

(3)在保证工程安全的前提下如何需要工程建设的成本。减少工程建设成本就需要合理规划,精心设计,科学施工。任何工程除了确保安全以外,都有降低成本,使用方便等问题。例如要建造人工岛,就有把岛建得多高,即岛的地面高程问题。如果岛地面高程太低,就很不安全,大浪、风暴潮等恶劣海洋环境下,会被海水淹没出现安全事故,但如果光考虑安全问题,把岛建得太高不但成本增加,而且人员从船只上下岛等使用会很不方便。这样就需要研究出一个最佳高度,即合理方案。如何得到最佳高度?这就要有工程所在的滩海水位的多年统计资料,不但要考虑天文潮位、风暴潮增减水位等潮位因素,而且还要考虑浪高及工程建成后的越浪量等问题。综合考虑各种因素之后才能确定合理的岛的地面高程。

再如合理规划的问题。滩海海水深度有深有浅,要在满足石油勘探开发需要的前提下,尽量把岛建在水深比较浅、海流比较小、比较避浪的地方,这就要求将滩海的海洋环境动力研究清楚,才能既满足石油开发的需要,又要尽量建在海洋环境动力能量较小的海域。

(4)要满足滩海石油工程对工程周围的滩海环境破坏作用研究的需要。滩海石油工程的建设或多或少都会对周围的滩海环境造成不同程度的影响,如由于滩海工程的建设,造成周围海洋潮流场及浪场的改变,这样就会令滩海能量场改变,进而改变海底泥沙的运移的方向和强度,从而造成周边海底的快速侵蚀或淤积。滩海是海洋生命茂盛的地方,水深、海流、水中含沙量等的快速改变,将导致海洋生命无法适应环境而大量死亡,造成环境灾害。如何避免这样的灾难发生,如何使滩海工程建设尽可能少影响滩海环境,也是滩海环境动力与工程相互作用要研究的重要课题之一。

1.1.2 南堡滩海路岛工程与环境动力研究内容

滩海环境动力与滩海石油工程相互作用的研究内容主要包括两个方面。一是南堡滩海环境动力特征的研究;二是为适应南堡滩海环境动力的滩海路岛工程技术的研究。

(1)南堡滩海环境动力特征的研究。

①水文气象。

风。风能浪能对滩海石油工程的直接破坏作用。因此要研究不同季节

的风向、风速及出现的频率,热带气旋的强度路径、频率等。

潮汐特征。包括潮流的流向流速等参数,潮位观测及数据统计,潮汐调和分析、潮汐类型、潮汐预报及设计极值水位的推算等。强潮流主要表现为对工程基础的冲刷作用,尤其在浪流共同作用下通过产生大规模的泥沙运移对工程基础产生强烈的冲刷,使工程遭到破坏。特高、特低潮位会淹没工程或使船只搁浅或不能航行。

波浪。由于大浪对工程可产生严重的破坏作用,必须对波浪进行研究,如出现大浪的天气系统、各月、各向风浪、涌浪出现的频率及波高周期、波浪数值模拟计算及不同重现期波要素的推算。

海流。不同潮期流速、流向及出现频率,涨落潮流历时及流速,潮流数值模拟及其结果的检验与分析,以及风海流、沿岸流等的特征研究。

风暴潮。由冷空气和热带气旋引起的风暴潮,会产生大风、大浪、增减水、强潮流等,在这些极端高能滩海环境动力因子的共同作用下,不但大风浪高水位直接对工程产生破坏,而且将导致泥沙大量运移,海岸、海底地形的强烈变迁。因此需要研究风暴潮产生的机理及对工程的破坏作用。

海冰。海冰的基本特征,常冰年冰情与特殊年份冰情分析,设计冰厚,海冰对工程影响等。

②滩海动力及海底面的研究内容。

海底地形测量。全区小比例测量,工程区大比例的海底地形测量,岸线变迁的测量。

海底地貌。用海底测量资料与卫星遥感资料研究、滩海地貌的现状 & 历史变迁。

波浪潮流泥沙运移数值模拟的研究。在滩海工程建设前后不同海洋环境条件下的泥沙运移的数值模拟研究;海洋动力环境变迁规律的研究。

沙脊、沙波。活动性较强,对海底构筑物会产生破坏。

海底斜坡的不稳定性。滑塌、泥流舌等。

③滩海工程地质研究

区域工程地质。海底地层的分层及各层工程土力学性质的研究;工程地质稳定性评价。

浅地层结构。用浅地层剖面研究各土层的地层结构及横向分布规律、

沉积古环境的研究。

沙土液化。波浪、强潮流作用下水压突变导致工程地基的沙土液化。

第四纪活动断层。构造、沉积断层承载力不均匀性,断层的分布规律及断层的工程影响评价。

浅层气工程灾害。钻遇浅层气囊,可能导致桩基塌陷,或气体喷发,形成火灾等。

底辟、软弱地层。承载力低,使工程基础不稳。

古河道。海床承载力不均匀性。

地震灾害评价。对南堡滩海及邻近地区的地震活动性进行研究,对地震危险性进行分析,确定工程场地的地震基本烈度。

(2)工程对滩海环境动力的影响研究。

人工岛、堤坝、码头等滩海工程的建设,将破坏滩海海岸、海底泥沙运移的平衡。在建立新的平衡的过程中,将使波浪场、流场、海底地形发生变化,即整个滩海工程环境发生变化。如果变化的结果不利于滩海石油工程的安全生产、运行与滩海环境保护,即造成工程灾害,工程建成以后要对滩海工程环境进行监测研究。主要包括潮流波浪。

另一方面要研究滩海石油工程建设对滩海海洋环境的破坏问题,要以工程尽量不改变海洋生态环境为目标。对石油企业来说,好的工程方案有利于工程通过政府部门的审批。

(3)南堡滩海环境动力的滩海路岛工程技术的研究。

这方面的主要研究内容是:根据南堡滩海工程环境的特点,并考虑南堡地区海底泥沙可用做岛心的建筑材料等情况,研究制定各种工程措施。

①南堡滩海路岛工程结构型式的研究。

②护岛潜堤的设计方案与施工方法的研究。

③工程护底技术的应用的应用研究。

综上所述,要进行滩海石油工程的建设,就必须对滩海工程环境有全面的认识,只有在充分掌握滩海工程环境的各个方面及变化规律(即本文强调的四维调查方法)的基础上,才有可能保证安全高效环保地进行滩海石油工程建设。

1.2 南堡滩海路岛工程概述

冀东南堡油田位于河北省唐山市境内(曹妃甸港区),地质上为渤海湾盆地黄骅拗陷北部的南堡凹陷,属中国石油天然气股份有限公司冀东油田公司勘探开发范围。2004—2005 年南堡油田 1 号、2 号构造中浅层和奥陶系潜山预探均获重大发现。试采获得高产工业油气流,储层物性好,油层分布广,储量丰度高,为一个整装大油田,具有良好的勘探前景。为满足浅海钻井采油需要,以及为海上石油钻井的建设与使用创造条件,冀东油田公司决定在南堡浅滩建设人工岛,为海油陆采提供陆域。

冀东南堡油田进海路及人工端岛工程位于唐山市南堡外浅滩,曹妃甸西北约 10~20 km 处。从现有海塘往外建设西线、中线、东线 3 条进海路堤工程(图 1.1),并在路堤堤头建设采油平台,以实现海油陆采。西线进海路长 5 584 m,南端设置 1 号人工岛,人工岛呈近似椭圆形布置,长边呈东西走向,跨越深槽段建 3 290 m 长透空式引桥;中线进海路长约 5 500 m,南端设置 2 号人工岛,人工岛呈近似椭圆形布置,长边呈东西走向,跨越深槽段建 2 100 m 长引桥;东线按曹妃甸工业区规划线布置,进海路全长 7 365 m,南

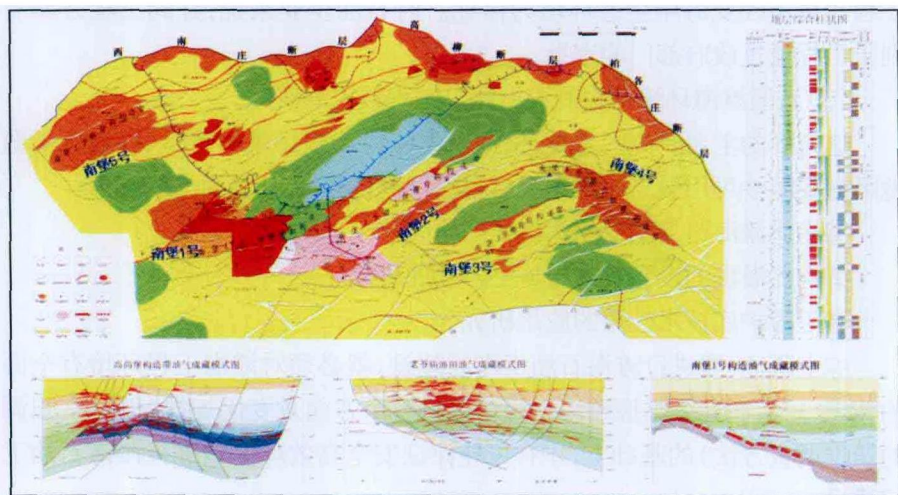


图 1.1 人工端岛位置图

端设置3号人工岛,人工岛平面形状为三角形,长边长1 416 m,短边长894 m,造地面积986 亩。长边呈东西走向,人工岛位于进海路北侧、曹妃甸规划工业区范围内。结合曹妃甸工业区规划纳潮沟位置,在1+600~2+600设置长1 000 m的引桥。沿1号和2号人工岛长边方向布置4条长100 m的护岛潜堤;沿3号人工岛东侧长边方向布置2条长200 m的护岛潜堤1 km+600 m~2 km+600 m^[1-2]。

本书部分章节以西线1号人工岛和进海路为研究对象,故重点介绍1号人工端岛工程。

1.2.1 1号人工端岛工程

1号人工端岛位于南堡滩海潮沟以北2 m等深线以外的浅滩,滩面标高为-2.2~0.5 m。平面尺度为704×416 m,呈近似椭圆形布置,各边线采用平顺圆弧相接,岛长边向与等深线基本平行(图1.2)。

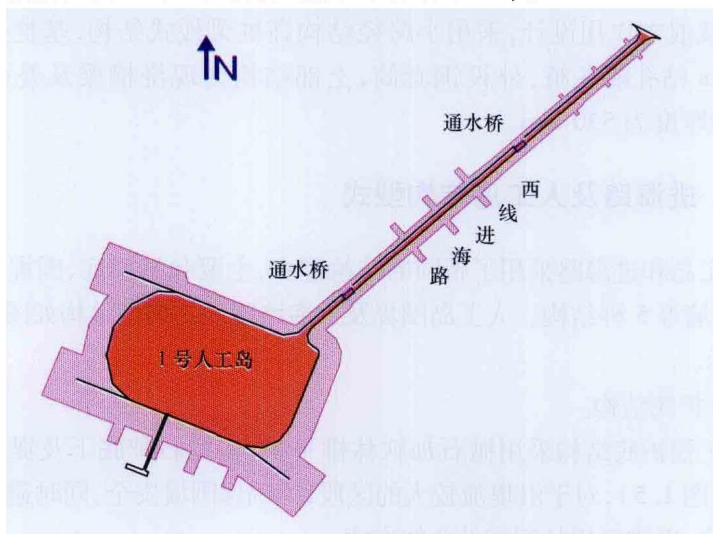


图1.2 1号人工端岛及西线进海路的平面布置图

1号人工岛主要是为海上采油及原油初步处理提供场地,为永久性建筑物,设计使用年限50年。人工岛围堤按港口工程1级水工建筑物及1级堤防设计。抗震等级按基本烈度7度设防,基本地震加速度为0.15 g。