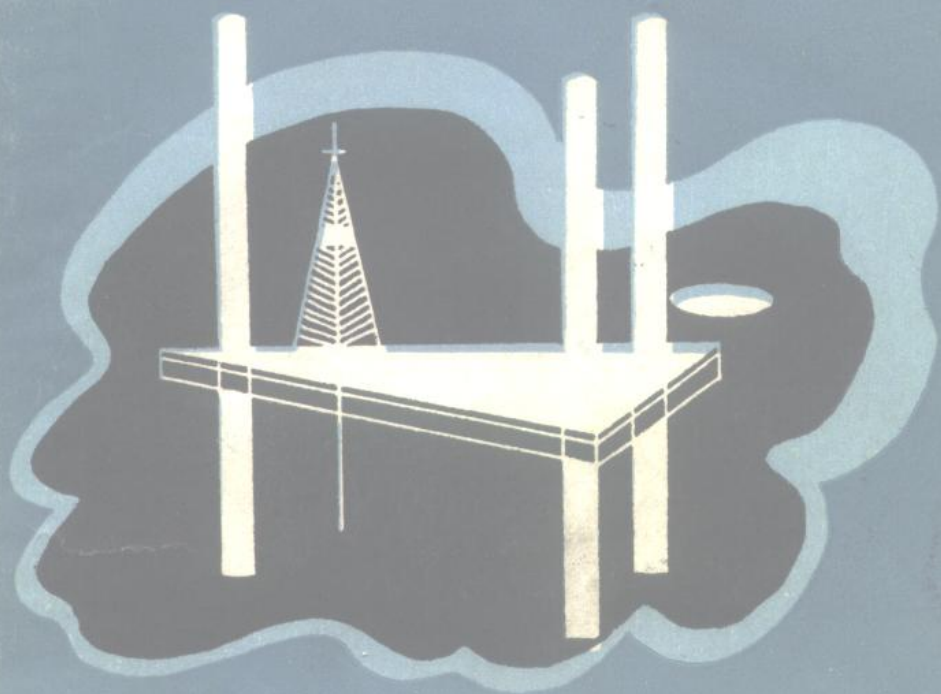


海洋石油建筑工程丛书



海底油气管道工程

马良 编著

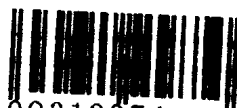
海洋出版社

31038

海洋石油建筑工程丛书

海底油气管道工程

马良 编著



00312974



200429376

海洋出版社

1987年·北京

内 容 简 介

《海底油气管道工程》为《海洋石油建筑工程丛书》之一。可供海洋石油企业科研技术人员及高等院校有关专业师生参考。

本书共分十章和两个附录。正文各章主要介绍海上油田油气集输与储运工作的规划；海底油气管道工程的设计与计算—工艺设计，强度与稳定设计，波浪、潮流作用下的受力分析和稳定性设计，抗震设计以及海底管道立管设计等；海底管道的敷设及其应力分析和海底管道的施工、安装技术等。附录为实际的海底管道系统的工程设计。此外，在有关章节中还附有计算实例和图表，以供工程设计、施工和教学中参考。

责任编辑：吴宜侗
责任校对：刘兴昌

海洋石油建筑工程丛书

海 底 油 气 管 道 工 程

马 良 编 著

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京发行所发行

大郊亭印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：18 字数：330千字

1987年10月第一版

1987年10月第一次印刷

印数：900

统一书号：13193·0916

定价：5.00元

序 言

随着我国海洋石油事业的发展，海上油田的油气集输与贮运工作必将受到海洋工程和海上油田建设者们的共同关注。著者自1973年以来，在大连工学院曾担任《海洋油田集输与贮运建筑工程》专业课的讲授和设计研究工作。在前后四次编写该课程教材的基础上，编写出《海底油气管道工程》一书。这次试图以本书作为该专业本科生的教材；同时也为海上油田的开发事业，提供有关海上油气集输与贮运工作的技术参考书。特别是，在本书内将尽力提供国内外海底油气管道工程设计和施工的实例，以便满足这方面工程建设者的要求。

再者，本书还结合海上油田的集输与贮运工作，适当增加了海洋环境方面的基础知识，以便适应由陆上油田尽快地转向海上油田开发的技术人员的需要。也为水工和水运工程部门的技术人员介绍海上油田规划和海底油气管道工程的某些特殊要求。

当前，国内海底油气管道工程尚处在准备建设阶段，因而，著者只能借鉴美国、日本、挪威等国外的有关技术资料文献、书籍和科学实验研究的报道来完善本书的内容。本书能否达到上述目的，尚待读者在实用中加以检验。著者期望本书能起到一定作用。

本书在编写过程中和在定稿时，蒙石油工业部石油管道局勘察设计院工艺室海洋组杨基广工程师和管道局职工学院院长施奈副教授的支持、帮助和最后审校深表感谢。

著者水平有限，又缺乏这方面的工程实践，再加上时间仓促，谬误之处确难避免，敬请读者批评指正。

著 者

1984年6月于大连大学

目 录

绪 论	(1)
第一章 海上油田的集输与贮运生产系统	(4)
第一节 基本类型	(4)
1. 概述	(4)
2. 基本类型	(5)
第二节 全陆式生产系统	(6)
1. 栈桥方式	(6)
2. 人工岛-长堤方式	(6)
3. 平台-栈桥方式	(8)
第三节 半海半陆式生产系统	(9)
第四节 全海式生产系统	(11)
1. 台上式生产系统	(13)
2. 平台-单点式生产系统	(14)
3. 平台-海底贮罐式生产系统	(17)
第五节 海洋油(气)集输与贮运生产系统类型 的选择	(18)
1. 生产系统选择前应掌握的资料	(18)
2. 选择生产系统应考虑的原则	(19)
第二章 海底油气管道工程规划	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 工程勘察设计的一般程序	(24)
第三节 工程调查与资料搜集	(25)
1. 工程目的和内容	(25)
2. 工程调查与资料搜集	(26)
第四节 海底管道的轴线位置	(30)
1. 海底管道设计的内容与组成	(30)
2. 海底管道轴线位置	(32)

第三章 海底油气管道的工艺设计	(35)
第一节 海底输油管道工艺流程.....	(35)
第二节 等温输油管道的水力计算	(38)
1. 基本公式.....	(39)
2. 管路内油流输送过程中的摩阻损失.....	(40)
第三节 热油输送管道的工艺计算	(47)
1. 热油管道的特点.....	(47)
2. 传热计算.....	(48)
3. 热油管路沿线温降规律.....	(65)
4. 管路内停滞热油的冷却与凝固.....	(71)
5. 热油管路的摩阻损失的计算.....	(76)
第四节 输气管道工艺设计与计算的特点	(80)
1. 天然气性质.....	(80)
2. 输气管道流量的计算.....	(85)
第五节 油气混输管道的工艺计算特点	(96)
1. 理论计算公式.....	(97)
2. 经验公式.....	(101)
3. 两相混输管路的计算方法.....	(107)
第四章 海底管道结构强度和稳定设计与计算	(109)
第一节 荷载	(109)
1. 荷载分类.....	(109)
2. 作用于海底管道的荷载.....	(110)
第二节 结构断面设计	(113)
1. 海底管道的形状和性质	(113)
2. 管路结构构造设计	(114)
第三节 强度设计与计算	(130)
1. 管道内流体压力(内压)作用下的管壁应力.....	(131)
2. 由于温度变化引起的管壁应力.....	(135)
3. 管道弯曲引起的管壁应力(弯曲应力)	(141)
4. 钢管的强度计算和用于海底管道钢管材料的容许应力.....	(150)
第四节 稳定设计与计算	(158)

1. 海底管道的破坏形式	(158)
2. 海底管道钢管的稳定分析	(159)
第五章 海底管道的稳定性分析与设计	(174)
第一节 波浪、海流对海底管道的作用	(174)
1. 波浪的作用	(174)
2. 海流的作用	(190)
第二节 海底管道在波浪、潮流作用下的稳定性分析与设计	(194)
1. 海底管道在波浪、潮流作用下的稳定性条件	(194)
2. 保持海底管道的稳定性	(196)
3. 埋设深度	(202)
4. 海底管道的锚固	(205)
5. 尾流涡旋分离引起管道的谐振	(212)
第三节 其他因素对海底管道稳定性的影响	(224)
1. 海底管道底面(地基)对其稳定性的影响	(224)
2. 海底埋设管道的上浮和下沉	(231)
3. 海底冲刷、侵蚀和海底土的强度变化	(234)
第四节 海底管道重量调节	(237)
1. 重量调节目的	(237)
2. 重量调节方法	(237)
3. 管道重量调节设计	(239)
第六章 海底管道抗震设计和某些特殊荷载作用下的管壁强度核算	(245)
第一节 地震与海底管道	(245)
1. 概述	(245)
2. 地震对埋地管道的影响	(246)
第二节 地震时管道的应力与应变	(247)
1. 地震时地基土体的变形	(247)
2. 地震时管道应力	(250)
3. 地震对海底管道的影响	(254)
第三节 海底管道的抗震设计	(261)
1. 荷载组合和管道钢材的容许应力	(261)

2. 海底管道抗震设计计算与抗震措施	(262)
第四节 某些特殊荷载作用下管壁强度的核算	(264)
1. 管道试压试验荷载作用下的管壁强度核算	(264)
2. 管路内的水锤现象	(265)
第七章 海底管道立管系统	(271)
第一节 概述	(271)
1. 立管系统的应用及其主要型式	(271)
2. 立管的荷载	(277)
第二节 设计计算特点	(284)
1. 立管设计要点	(284)
2. 立管的结构分析	(286)
第三节 安装技术	(289)
1. 外立管的安装技术	(289)
2. 内立管安装技术	(294)
3. J型管安装立管及立管的受力分析	(300)
4. 立管的维修与更换	(310)
第八章 海底金属管道的防腐	(312)
第一节 海底金属管道的腐蚀机理	(312)
1. 处于海水或海底土体中的金属管道腐蚀	(312)
2. 海底金属管道的腐蚀机理	(313)
第二节 海底金属管道的腐蚀	(318)
1. 海底金属管道的腐蚀	(318)
2. 海底管道中金属立管的腐蚀	(323)
第三节 电化学阴极保护法	(325)
1. 概述	(325)
2. 电化学阴极保护法	(326)
3. 电化学阴极保护法的两个基本参数	(331)
4. 电化学阴极保护法的设计与计算	(338)
第四节 海底金属管道的防腐	(346)
1. 金属管道的内防腐	(347)
2. 金属管道的外防腐	(350)

第九章 海底管道的敷设	(362)
第一节 海底管道的敷设方法	(362)
1. 概述	(362)
2. 海底管道敷设方法	(365)
3. 海底管道敷设方法的选择	(367)
第二节 漂浮敷设法敷管	(368)
1. 概况	(369)
2. 管道预制场及管道的加工制作	(371)
3. 管道溜放与浮筒配置	(378)
4. 管道漂浮拖运	(380)
5. 管道的敷设(就位与沉放)	(382)
6. 漂浮充水下沉时的计算	(387)
第三节 牵引敷设法敷管	(396)
1. 陆上制管场	(397)
2. 海底管道拖管施工法	(407)
3. 牵引力计算	(419)
4. 拖管头	(426)
第四节 敷(铺)管船敷设法敷管	(429)
1. 概述	(429)
2. 敷管船敷管方法	(432)
3. 敷管船及敷管船队	(439)
4. 敷管船敷设法的敷管设计	(447)
第五节 海底管道几种敷设方法的比较	(455)
第十章 海底管道施工技术	(458)
第一节 海底管道施工技术要求	(458)
1. 金属管道组装焊接	(458)
2. 焊缝质量检验	(462)
第二节 海底管道在制管场的加工制作	(465)
1. 钢管除锈及内、外涂层	(465)
2. 管道外防腐绝缘层的制作加工	(474)
3. 隔热保温层	(478)
4. 混凝土防护加重层	(482)

第三节 海底管道沟槽开挖与回填埋设	(501)
1. 海底管道埋设方法	(501)
2. 预先挖沟埋设法	(502)
3. 后挖沟埋设法	(511)
4. 管沟回填埋设	(519)
主要参考文献与书目	(522)
附录 (一) 海底输油管道设计举例	(525)
附录 (二) 钢管主要技术参数	(557)

绪 论

随着现代工业技术的不断进展，人们对能源的需求日益剧增。当今，石油仍然是主要的能源之一。所以，有关石油、天然气资源的开发和利用，业已成为人类社会活动的关键所在。

海洋是人类的天然宝库。它占地球表面积 70.8%，虽然自古以来早就作为渔场和航路，但人类对海洋的开发和利用的程度，远比不上对大陆的开发和利用。而今，在对海洋资源的开发和利用中，吸引力最大的就是海洋油气矿藏资源的开采，并已遍及世界各沿海国家和地区。

海洋油气资源的开发，目前正集中致力于占海洋面积 7.6% 的大陆架，一般水深在 200 米以内，总面积约 2800 万平方公里。从地质成因研究得出：大陆架区域多数具有巨厚沉积岩层，蕴藏着丰富的油气资源和各类沉积矿床。因此，大陆架首先被称为“天然的海底大油库”。

在海洋油气资源的开发和利用中，必然地要在海上设置和应用各类石油钻井装置、钻井平台、采油平台、集输油平台和贮罐，以及海底油气管道等的海洋工程结构物与装置。

海底油气管道，本身就是海洋工程结构物的一种类型。它与其他结构物一样，受海洋自然环境条件的影响。这些影响有水文、气象、海况等海洋学方面的因素；有海底地形、底质等海洋地质学方面的因素。特殊情况还需考虑地震、海啸等偶然因素的影响。所以海底油气管道工程，在勘察、设计、施工安装与运行使用等各个阶段，都应认真地考虑海洋自然环境对它的作用和影响。

管道运输，早在五千多年前我们的祖先就曾用毛竹（把中间的竹节打通）引水灌溉。以后又用陶瓷管节、铜管段和铸铁管、

熟铁管来引水和输送其他液体的。一直到目前仍在用钢管及其代用品输送各种流体的管道。当今，世界各国已把管道运输，作为第四种运输方式与其他传统运输方式被同等重视。

最近三十多年来，随着海上油气田的相继开发和利用，海底油气管道工程的发展亦非常迅速。在墨西哥湾和西北欧的北海的海底油气管道已密如蛛网，据统计将近占世界上海底油气管道总长的三分之二。在海上油田的海洋油气集输与贮运工作中，海底油气管道工程的发展，主要可以有：

①走向以敷（铺）管船为中心的敷设施工安装方案，不断提高敷管船的自动化程度和抵御风浪方面的能力，并增强敷管船作业的独立性和灵活性。由于海上油气田中，海底油气的集输管网的管径适宜，使应用卷筒式敷管船敷管的数量在逐渐增多。为了适应深海和环境条件恶劣的海域敷管作业，新建的第三、第四代半潜式敷管船，开始都装备多种性能和动力定位装置，常装备有强大能力的起重设备和打桩设备，以及冲土埋管设备等。

②海底油气管道工程所用的管材，普遍采用海洋用钢。管子的制作日趋标准化、规格化（例如，管节长度、管径和管壁厚度等），并已取得良好的经济效益。大量采用直缝焊接钢管和无缝钢管，对螺旋焊缝的焊接钢管一般已不再用于海底油气管道工程。充分利用自动焊和半自动焊，以及各种自动化程度高的无损探伤与检验装置。多用“双节管”和“三节管”来加长单根管节的长度，以加快海底管道工程施工安装、敷设的进度和提高工程质量。并在海底油气管道工程中，普遍应用自控和遥控技术及监控装置，促使管道工程管理现代化。

③海底油气管道中的立管是海底管道系统中的重要而又薄弱的部位。立管的设计、施工安装和维护与管理方面要切实改进，得以保证海洋油气集输与贮运工作系统的正常、安全地运行。

结合我国沿岸大陆架和各海区的特点，有关海底油气管道工程的发展趋向，目前的认识至少有以下三点：

①开发和利用我国海上油气田，将以固定平台为主体。其中

大量和多数是用钢质桩基导管架型平台，少量包括近十几年来国外开发采用的混凝土多用途重力式平台。这样，海底油气管道工程将是大量的。鉴于我国海上油气田的油气特性，多数的原油凝固点高、粘度大，因而对双层保温管结构（有时可设置电加热和热伴随管）的海底输油管道，应予以足够的重视。

②根据实际需要与可能，海底油气管道所用的管材，在材质上、规格上和标准方面力求规范化、系列化。对于输量大、操作压力高的干管线，采用薄壁、大口径、高强度的钢管。其中直径大于600毫米的钢管可以由国外引进。要使用更多的国产钢材（包括10Ti钢）生产制作直径600毫米以下的直缝焊接钢管和无缝钢管，以满足大部分海底油气管道工程用的管材的需要。

要对波浪破碎带地段的管道进行防护，防止管道遭受损伤。海底金属管道的防腐，应尽早及时地采取措施。这些对提高海底油气管道工程质量和延长工程使用寿命是有效的。

③为适应各类海底管道的敷设，要积极地装备相应的敷管船。例如，适用于我国各海区的各类敷管驳船、牵引绞车船、海上焊接站、潜水工作站和水下挖沟埋设装置等海上敷管必需的技术装备。当前，应配合浅水钻采平台的研究，要对潮间带浅水区的敷管作业方式、装备和施工技术进行研究与开发。由国外引进敷管船费用高昂时，可以利用现有船舶进行改装（例如用海洋石油局所属的200吨吊船改装）。

对于在堆存大量工业废渣石附近的浅滩上的海上油气井的开采，人工岛-长堤开发方式将可以简化海底油气管道工程，可能是上马快、经济效益好而值得提倡的方案之一。

第一章 海上油田的集输与 贮运生产系统

近十几年来，尤其是西北欧的北海油田的开发和利用，使海洋石油工业出现大发展。目前，世界各处的大陆架几乎都在进行或着手进行对石油和天然气的勘探与开发。海上开采的石油(气)产量，已占世界石油(气)开采总量的18.9—21.4%，预计到1990年将占到24%以上。据有些资料估计，海上油田的油气产量以每年递增18—19%的速度增长，而目前世界上的陆上石油(气)产量的年增长率仅8%左右。因而，今后海洋石油工业的发展会比陆上快得多，所耗的投资也将加大。

海上油(气)田与陆上油(气)田一样，从海底采出的原油、天然气，同样需要进行集输与贮运等一系列过程和工作。这些过程和工作及其所需的结构物、设备、装置与管系等，构成了海上油(气)田的集输与贮运生产系统。广义来说，它是从油(气)离开井口装置开始，直到它到达用户或用户的运输工具为止的一切过程与工作，以及所需的结构物、设备和装置。

第一节 基本类型

1. 概述

从油井中采出的原油，都伴有一定数量的天然气(伴生气)和水。这种与原油伴生的气和水，不利于输送。因为，含气原油在用管道输送时是属于两相(液相与气相)混输，它的效率差、问题多；如用船舶运输时则容易发生火灾；再就是含气原油的泵送效率(泵效)较低。原油含水时，实质上是减少贮运设施的有

效容积，会腐蚀管道和各类容器的内壁。而且，炼油厂对原油的含水量都有一定要求，一般不超过1%。用来出口的原油，含水量要求更严格。由于上述原因，在原油中的伴生气和所含的水分，最好首先分离出来。

再有，伴生气中常常含有饱和水蒸气，如果气体用管道输送时，应将气中含的水分分离出来，以免管道流态杂乱和容易引起内壁的腐蚀。

从气井采出的天然气，往往含有一定量的水分。天然气中的某些成分与水结合，在一定条件下可能结成白色晶状物，称水化物。气井上的阀门、气嘴和“井场”上的输气管道，都有可能被这种由于流经的天然气膨胀冷却作用而生成的水化物所堵塞。为了避免这样现象的发生，可以在井口安装上低温分离脱水器，将水与凝析油从天然气中及早分离出来。这时，就需要气体加热器和凝析油罐。有时则在井口装置的出气管中，用注入乙二醇以防止管路中生成水化物。这时，就需乙二醇罐、乙二醇计量泵和乙二醇回收装置。对于（酸性）天然气，还需脱硫设备与装置。如用船舶海上运输，需有气体液化设备与装置。

一般海上原油或天然气的处理加工，多数是分两步进行，即初步处理加工和最终处理加工两步。原油的初步处理加工，是把油中含有的气和水（连同水中的杂质一起）分离出来，天然气的初步处理加工，是把气中的水分（连同凝析油一起）分离出来。二者的目的，都是为了减少运输中的困难和损失。最终处理加工，是在初步处理加工的基础上，使原油或天然气的成分含量达到国家规定的要求。

2. 基本类型

海洋油（气）集输与贮运工作，是海上油（气）田开发和利用中不可缺少的生产环节。每个海上油（气）田，将根据其勘探、开发的不同阶段，油气性质，生产能力和海洋自然环境、离岸距离等各种条件，决定采用相应的开发方式。随着海上油（气）

田的规划和开发方式的不同，所采用的油（气）集输与贮运生产系统的类型也不同。

归纳起来，目前世界上各海上油（气）田的海洋油（气）集输与贮运生产系统的基本类型可以有：全陆式，半海半陆式和全海式这三种。每一种基本类型中，又按其具体情况和条件再分成各种不同的方式。其中核心的问题，就在于将油（气）处理加工的设备与装置、中转和贮存的设备与设施等是放在附近的岸上，或是放在海上，或者二者兼而有之。

纵观海洋石油工业发展的历史，海洋油（气）集输与贮运生产系统的演变过程，是从全陆式转变为半海半陆式，再从半海半陆式发展出全海式的过程。

第二节 全陆式生产系统

1. 栈桥方式

1887年，美国在加利福尼亚海岸钻了一口油井。十年后又在该处岸边水域钻了第一口海上油井。从1887年至1900年的4年间，总共钻了几十口这样的海上油井。这些海上油井离岸都很近，最远的一口海上油井距岸也只有150米，水深也都很浅。当时钻井是在架设的木桩柱栈桥上进行的，把桩柱加密、栈桥加宽的地方就作为“井场”，钻井设备撤走以后“井场”就转为采油站。

每座栈桥上一般钻6—8口井，栈桥离岸有的长几十米，最长的也只有150米。采油站采出的原油，通过架设在栈桥上的管道送到岸上。原油（含气）靠井底压力自流到岸上，在陆上进行处理加工和贮存的。

这就是最早的全陆式海洋油（气）集输与贮运生产系统。

2. 人工岛-长堤方式

如图1.1所示，为美国加利福尼亚近岸的埃斯特人工岛。它

的水深均在12.2米以内，构成了人工岛-长堤方式的全陆式生产系统。

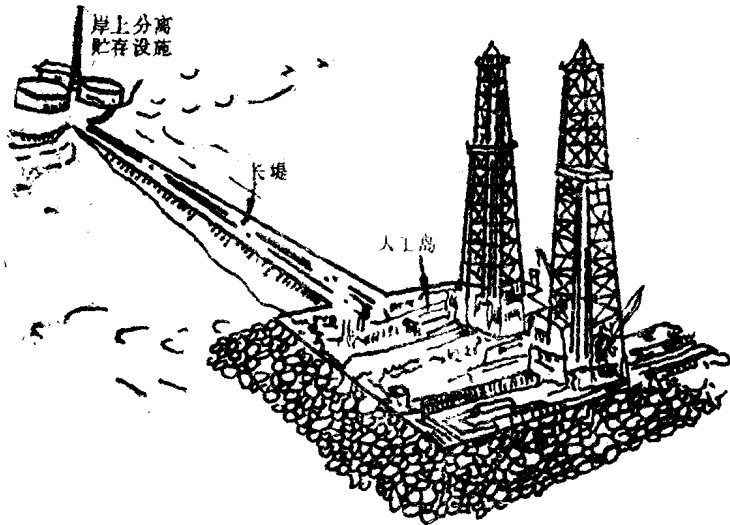


图1.1 美国加利福尼亚近岸的埃斯特人工岛（水深12.2米以内）

在第一次世界大战前后，委内瑞拉在马拉开波湖和苏联在里海都发现了油田，这些油田离岸都很近，水深亦比较浅。在里海就是用人工岛开采的。所谓人工岛，是用土石等废渣料在近岸海域内堆筑起来的井场，由长堤与岸相连，并在堤上铺设管道，将开采出来的油（气）送到岸上处理加工和贮存的。

采用人工岛的条件：一是水要浅；二是离岸较近。根据美国在加利福尼亚近岸修筑的人工岛开采海底石油的经验，水深以不超过12.2米（40英尺）为宜。水深更大时，用固定平台比用人工岛要经济些并且速度也快。

人工岛方式的最大优点是，能够象开发陆上油田那样经济、迅速地组织海上油田的钻井、采油和集输与贮运等工作。人工岛开发的条件，应具有：