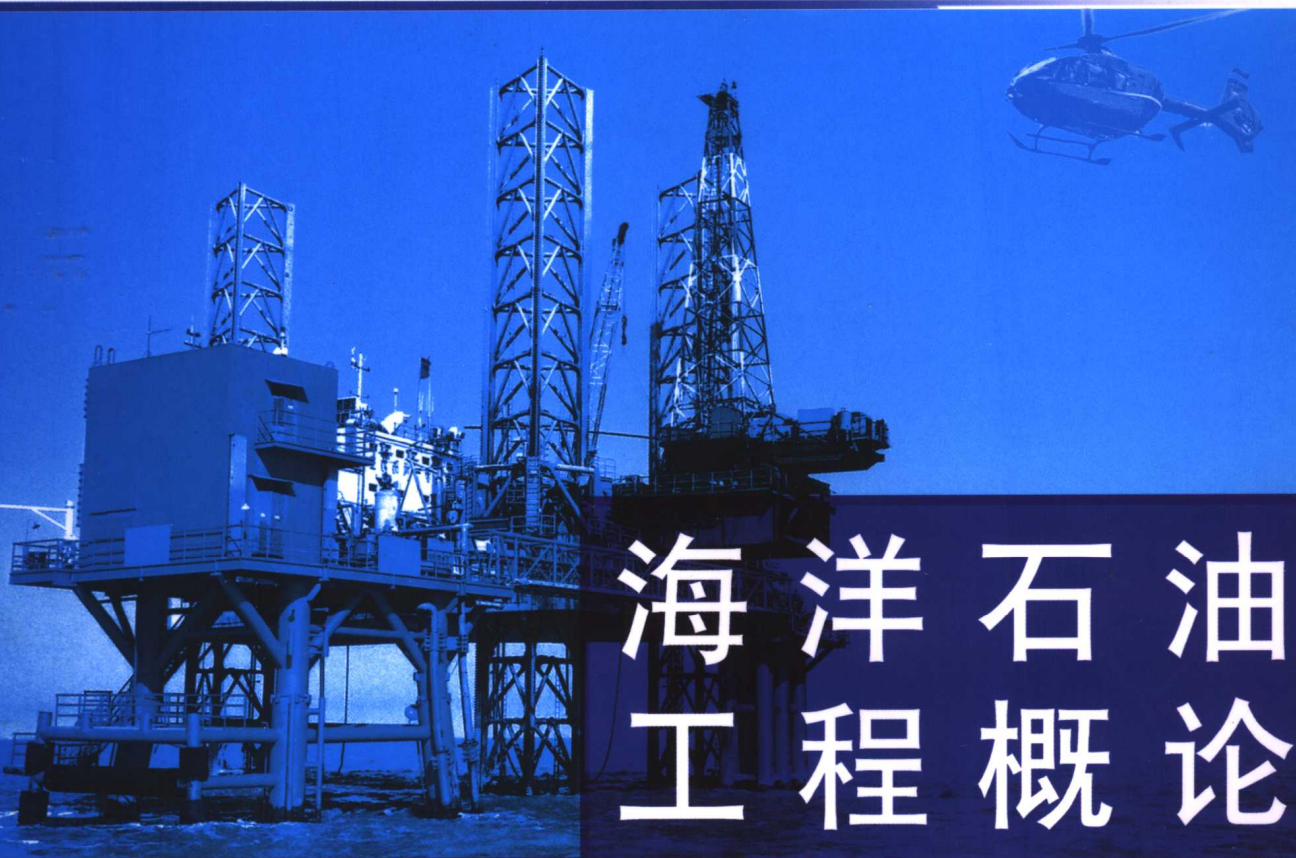




高等学校教材

TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

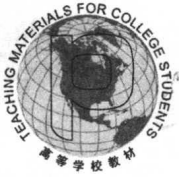


海洋石油 工程概论

HAIYANG SHIYOU GONGCHENG GAILUN

编著 徐兴平

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

海洋石油工程概论

徐兴平 编著

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海洋石油工程概论/徐兴平编著. —东营:中国石油大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-5636-2478-2

I. 海… II. 徐… III. 海上油气田—石油工程 IV. TE5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140922 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 海洋石油工程概论

作 者: 徐兴平

责任编辑: 袁超红 (电话 0546—8396214)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@163.com

印 刷 者: 东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392791,8392563)

开 本: 180×235 印张: 11.875 字数: 258 千字

版 次: 2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 17.00 元



前 言

全球经济的快速发展使得许多行业对原油的需求量不断增加,国际原油价格也因此一路攀升。当前,世界石油工业面临着千载难逢的发展机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。由于各国陆地上的油气勘探开发程度已经较高,发现新的大规模油气田的难度愈来愈大,而海洋油气勘探开发的程度还比较低,于是许多国家都将发现大油气田的希望寄托在海上。近年来,许多国家纷纷加大了对海洋油气资源勘探开发的力度,投入了大量的人力、物力进行海洋石油天然气的勘探和开发,形成了海洋油气勘探开发迅猛发展的局面。

在这样的形势下,大量人员开始进入海洋油气开发工程领域。为了使已从事和即将从事海洋油气勘探开发工作的人员对海洋石油工程有一个概括的了解,作者结合自己多年来从事海洋石油工程科研与教学工作的经验编写了本书。

本书对海洋石油开发工程中涉及的海洋环境、海洋石油开发装备及其设计分析进行了系统的介绍。全书共分为十章,包括绪论、海洋资源、海洋灾害及防治、海上钻井设备、海上采油设备、波浪理论及其计算原理、海洋环境及环境载荷、海洋石油钻采设备的运动学和动力学、海洋石油钻采设备的强度、破碎波等内容。全书内容广泛,深入浅出,主要面向石油高等院校石油工程、机械工程、安全工程、海洋工程、力学等专业的学生,也可作为海洋石油行业的工程技术人员的参考资料,或作为相关人员自学和培训的教材。

本书由方华灿教授和孙东昌教授级高级工程师主审。他们在百忙中仔细审阅了书稿,并提出了许多宝贵意见。在此谨向他们表示衷心感谢!

本书编写过程中查阅了大量的资料,有些资料可能没有在参考文献中列出。在此向这些资料的作者表示诚挚的歉意。

由于编者水平有限,加以时间仓促,书中疏漏、错误难免,殷切希望读者给予批评和指正。

徐兴平
2007年7月



目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 海洋的定义及海洋之最.....	(1)
第二节 海洋形成之谜与海水含盐之谜.....	(2)
第三节 海底形貌.....	(4)
第四节 海水的物理、化学性质.....	(6)
第五节 海洋石油工程发展史.....	(8)
第二章 海洋资源	(13)
第一节 海洋化学资源.....	(13)
第二节 海洋生物资源.....	(15)
第三节 海洋矿产资源.....	(16)
第四节 海洋能源.....	(26)
第三章 海洋灾害及防治	(28)
第一节 海啸.....	(28)
第二节 厄尔尼诺和拉尼娜.....	(29)
第三节 风暴潮.....	(30)
第四节 赤潮.....	(31)
第五节 海冰.....	(33)
第六节 海洋污染.....	(34)
第七节 海洋污染防治.....	(35)
第四章 海上钻井设备概述	(40)
第一节 海上钻井平台的类型与性能.....	(40)
第二节 海上钻井设备的特殊问题.....	(59)
第三节 海上自升式钻井平台的升降.....	(69)
第五章 海上采油设备概述	(73)
第一节 海上采油平台简介.....	(73)
第二节 水下生产系统.....	(76)
第三节 海上油气集输系统.....	(80)
第四节 海上早期生产系统.....	(82)
第五节 海底管道.....	(88)





第六章 波浪理论及其计算原理	(97)
第一节 概述	(97)
第二节 海浪	(98)
第三节 流体运动的基本方程	(100)
第四节 微幅波理论	(102)
第五节 斯托克斯波浪理论	(105)
第六节 椭圆余弦波理论	(112)
第七节 孤立波理论	(113)
第八节 各种波浪理论的适用范围	(115)
第九节 随机海浪理论	(116)
第七章 海洋环境及环境载荷	(124)
第一节 风和风载	(124)
第二节 海流及海流力	(130)
第三节 海冰及海冰力	(132)
第四节 地震及地震力	(133)
第五节 海浪及波浪力	(134)
第八章 海洋石油钻采设备的运动学和动力学	(141)
第一节 海上浮动钻采装置的稳定性	(141)
第二节 海上浮动钻井用升沉补偿装置及其力学分析	(143)
第三节 海上浮动钻井装置的定位	(148)
第九章 海洋石油钻采设备的强度	(153)
第一节 钻机起升部件的强度计算	(153)
第二节 海洋平台强度计算的理论	(154)
第十章 破碎波专题	(163)
第一节 引言	(163)
第二节 极浅海海浪破碎的判别方法	(165)
第三节 破碎波浪谱	(171)
第四节 破碎波浪力	(177)
参考文献	(182)



第一章 绪 论

第一节 海洋的定义及海洋之最

“海漫漫，直下无底旁无边”，唐代大诗人白居易的这句千古绝唱道出了大海的浩瀚无际，也描述了它的深邃莫测。

地球上广大而连续的咸水水体称为海洋。它既是陆地水的主要供给源泉，又是陆地水的汇聚场所。根据海洋形态、水文和物理性质的不同，可以将海洋分为海和洋两部分。

海是海洋的边缘部分，深度较浅，一般在 2 000 m 以内，约占海洋总面积的 11%。根据被大陆孤立的程度和周围环境的不同，海可分为地中海、边缘海和内海。地中海又称陆间海，是指位于几个大陆间的海，如南、北美洲间的加勒比海等。边缘海是指位于大陆边缘，一面以大陆为界，另一面以岛屿等与大洋分开，如我国的黄海、东海和南海等。内海是指深入陆地内部，海水水文特征受陆地影响显著的海，如我国的渤海。

位于北大西洋中心的马尾藻海是世界上唯一没有大陆海岸的海，因而成为独特的洋中之海。根据国际水道测量局公布的资料，世界上的海共有 54 个。我国主要有黄海（包括渤海）、东海和南海等。

洋是海洋的中心部分，深度一般在 2 000 m 以上，约占海洋总面积的 89%。世界上有四大洋：太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋。

表 1-1 给出了一些海洋之最的数据。

表 1-1 海洋之最

项 目	名 称	地 理 位 置	指 标
最大的洋	太平洋	亚、美、大洋洲间	面积 17 868.4 万 km ²
最小的洋	北冰洋	亚、欧、北美洲间	面积 1 478.8 万 km ²
最大的海	珊瑚海	南太平洋	面积 406.8 万 km ²
最小的海	马尔马拉海	巴尔干半岛和小亚细亚半岛间	面积 1.1 万 km ²
最深的海	珊瑚海	南太平洋	最深处 9 174 m
最浅的海	亚速海	前苏联欧洲部分	平均深度 8 m, 最深 14 m
海水最咸的海	红海	印度洋西北部	平均盐度 41, 最大 43
海水最淡的海	波罗的海	北欧	平均盐度 7~8





续表 1-1

项目	名称	地理位置	指标
水温最高的海	波斯湾浅海区	印度洋西北部	夏季水温 35.6℃
水温最低的海	罗斯海、威德尔海	南极洲边缘海	终年结冰,水温-2~0℃
最深海沟	马里亚纳海沟	西太平洋马里亚纳群岛东南侧	最深处 11 034 m
最长海沟	秘鲁-智利海沟	东太平洋	全长 5 200 km
最大海底山系	大西洋海岭	北起冰岛,南到南纬 55°附近	南北总长 15 000 km,宽 370~1 500 km,一般高出洋底 3 000~3 500 m
最高海底山		萨摩亚群岛与新西兰间	海底山高 8 690 m
最大海啸		太平洋北部,阿拉斯加西南的瓦尔迪兹海面	1964年3月28日“威廉王卫之声”地震后的海啸浪高 67 m
最大冰山		南太平洋科特岛以西 240 km处	长 335 km,宽 97 km

第二节 海洋形成之谜与海水含盐之谜

一、海洋形成之谜

海洋中海水的总体积约为 13.7 亿 km^3 ,占地球总水量的 97%左右。对于海洋是如何形成的问题,至今还是一个谜。下面从地球演化的角度对此进行解释。

现在的研究认为,大约在 50 亿年前,从太阳星云中分离出一些大大小小的星云团块。它们一边绕太阳旋转,一边自转。在运动过程中,它们互相碰撞,有些团块彼此结合,由小变大,逐渐形成了原始的地球。星云团块在碰撞过程中由于引力作用而急剧收缩,加之内部放射性元素蜕变,使原始地球不断受到加热增温。当内部温度达到足够高时,地内的物质(包括铁、镍等)开始熔解。在重力作用下,重者下沉并趋向地心集中,形成地核;轻者上浮,形成地壳和地幔。在高温下,内部的水分汽化,与气体一起冲出来,升入空中,但是由于地心的引力,它们不会跑掉,只在地球周围,成为气水合一的圈层。

位于地表的一层地壳在冷却凝结过程中不断地受到地球内部剧烈运动的冲击和挤压,因而变得褶皱不平,有时还会被挤破,形成地震与火山爆发,喷出岩浆与热气。开始时这种情况发生频繁,后来渐渐变少,慢慢稳定下来。这种轻、重物质分化,产生大动荡、大改组的过程大约是在 45 亿年前完成的。

经过地壳冷却定形之后,地球就像一个久放而吹干了的苹果,表面皱纹密布,凹凸不平。高山、平原、河床、海盆等各种地形也一应俱全了。

在很长的一段时期内,天空中水汽与大气共存于一体,浓云密布,天昏地暗。随着地壳的逐渐冷却,大气的温度也慢慢降低,水汽以尘埃或火山灰为凝结核,变成水滴,并越积

越多。由于冷却不均,空气对流剧烈,形成雷电狂风,暴雨浊流。雨越下越大,并持续了很久很久。滔滔的洪水通过千沟万壑,汇集成巨大的水体,这便是原始的海洋。

原始海洋的海水不是咸的,而是带酸性、缺氧的。水分不断被蒸发,反复地成云致雨,重又落回地面,把陆地和海底岩石中的盐分溶解,不断地汇集于海水中。经过数亿年的积累融合,终于变成了大体均匀的咸水。同时,由于当时的大气中没有氧气,也没有臭氧层,紫外线可以直达地面,依靠海水的保护,生物首先在海洋里诞生。大约 38 亿年前,在海洋里出现了有机物。先出现的是低等的单细胞生物。大约在 6 亿年前的古生代,开始有了海藻类。它们在阳光下进行光合作用,产生氧气,慢慢积累,形成了臭氧层。此后,生物才开始登上陆地。

由此可见,经过水量和盐分的逐渐增加以及地质历史上的沧桑巨变,原始海洋逐渐演变成今天的海洋。

对于海洋盆地的形成,学者们说法不一。德国地球物理学家魏格纳于 1912 年提出了大陆漂移说,认为地球表层存在着大规模的水平运动,海洋和陆地的分布格局处于永恒的变化过程中。20 世纪 60 年代诞生了海底扩张-板块构造说,是大陆漂移说的延伸和发展。19 世纪末,乔治·达尔文提出地球分裂说,认为太平洋是由于地球在旋转运动中的离心力使得地球上原是陆地的太平洋区被分离出去而形成的,分离的部分形成了月球。

对于海水的来源,长期以来人们都认为海洋中的水主要来自地球内部的排气作用。在距今 25~45 亿年时,洋底的岩浆活动和火山活动非常剧烈,排出带有大量水蒸气的气体,并包围在地球的周围。过了很久,地球逐渐变冷,水蒸气变成雨水降落到地面。雨水和岩石中的水聚集到低洼处,形成了初期的海洋。初期的海洋较浅,但火山不断喷发,大量的水蒸气不断变成雨水降落到地面,使海洋中的水不断增加,海洋也不断增大。

然而,美国航天局 1996 年发射的“波拉”号卫星收集到的资料证明,宇宙每天都有大量雪球般的小天体降落到地球。它们的质量约为 20~40 t,在约 1 000~2 000 m 的高空分解成云。宇宙每天都有约几千个这样的雪球降落到地球。每经过 1 000~2 000 年,地球表面就积水约 3 cm。地球自诞生以来,每天接受大量的宇宙来水,海洋由此形成。这种观点在科学界引起了争论。

二、海水含盐之谜

海水是含有多种无机盐类的液体。在海水的盐类中,氯化钠占 70% 以上,氯化镁占 14%。氯化钠使海水发咸,氯化镁使海水发苦,因而海水的味道又咸又涩。

海水中的盐究竟是从哪里来的? 这个问题和海水起源问题一样,始终是人们探讨的难题。直到今天,人们对这一问题的探讨也没有停止过。绝大多数的科学家认为,海水中的盐主要有两个来源:

(1) 盐是海洋中的原生物。在地球刚形成时,由于大量降雨和火山爆发,火山喷发出来的大量水蒸气和岩浆里的盐分随着流水汇集成最初的海洋,于是海水就变咸了。不过,那时的海水并没有现在这样咸。后来,随着海底岩石中的可溶性盐类不断溶解,加上海底



不断有火山喷发出盐分,海水逐渐演变成现在的成分。

(2) 陆地上河流在流向大海的途中,不断冲刷泥土和岩石,把溶解的盐分带到大海之中。据估计,全世界每年从河流带人海洋的盐分至少有 30 亿 t。

可是,这两种解释都有不完善的地方,特别是海盐主要来自陆地河流输入的理论。人们对海洋物质组成、化学性质和江河输入的计算结果表明,两者之间的数值差别非常之大。为了解释这些差异,近几十年来科学家们曾提出过种种理论,但都不能令人信服。

到了 20 世纪 70 年代之后,人们从新发现的海底大断裂带上的热液反应中似乎找到了解释的新证据。科学家在对海底热液矿化学反应过程研究后发现,通过海底断裂系的水体流动速率虽然只相当于河川径流的 5%,但是由于断裂聚热所产生的化学变化却比经河川携带溶解盐所引起的变化大数百倍。海底热液反应是海盐的重要补充的说法已经为许多海洋科学家所接受。不过,这种解释并没有最终解开海水中盐来源之谜。它只是提供了海水中盐来源的一个途径,但绝不是唯一的。

第三节 海底形貌

地球的表面积约为 5.1 亿 km^2 ,海洋的表面积约为 3.62 亿 km^2 。海洋约占地球表面积的 71%。那么海洋的底部到底是什么样的呢?

海底是地球表面的一部分,海底并非我们想象中的那么平坦。倘若沧海真的变成了桑田,就会发现海底世界的面貌和我们居住的陆地十分相似:有雄伟的高山,有深邃的海沟与峡谷,还有辽阔的平原。

人们通过地震波及重力测量了解到海底地壳的结构。海洋地壳主要是玄武岩层,厚约 5 km,而大陆地壳主要是花岗岩层,平均厚度 33 km。大洋底始终都在不断更新和成长,每年扩张新生的洋底大约有 6 cm 左右。洋中脊是大洋底隆起的“脊梁骨”。世界大洋中脊总长约 8 万 km。海底扩张就是从洋中脊起始的。

科学家用回声探测仪对海底地形进行了测量,结果表明:海底与陆地一样,也有高山、深沟、丘陵和平原等地形。根据外部形态的差异,海底可分为大陆边缘、大洋盆地和大洋中脊三部分。

海底形貌如图 1-1 所示。

一、大陆边缘

大陆边缘分为三部分:大陆架、大陆坡、大陆隆。

1. 大陆架

大陆架一般是指水深为 0~200 m 的台地。大陆架是大陆的自然延伸,坡度一般较小,起伏也不大。世界大陆架总面积约为 2 700 多万 km^2 ,平均宽度约为 75 km,占海洋总面积的 8%。大陆架浅海靠近人类的居住地,与人类关系最为密切,大约 90% 的渔业资源来自大陆架浅海。人类自古以来在这里捕鱼、捉蟹、赶海,享“鱼盐之利,舟楫之便”。随着

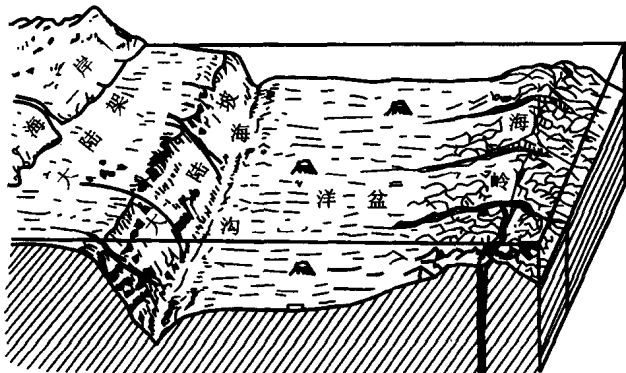


图 1-1 海底形貌示意图

生产的发展,人们又在这里开辟浴场、开采石油,利用这里的阳光、沙滩和新鲜空气,开辟旅游度假区。

2. 大陆坡

由大陆架向外伸展,海底突然下落,形成陡峭的斜坡,这个斜坡叫做大陆坡。它像一个盆的周壁,又像一条绵长的带子缠绕在大洋底的周围。各大洋大陆坡的宽度不一样,从十几千米到几百千米,平均宽度约 70 km;坡度为几度至 20° 以上,平均 $4^\circ 30'$ 。它是地球上最绵长、最壮观的斜坡。全球大陆坡总面积约 2 800 万 km^2 ,约占海洋总面积的 12%。坡麓横切着许多非常深的大峡谷(称为海底峡谷),规模比陆地上穿过山脉的山涧峡谷还深、还大。大陆坡是水深为 200~2 500 m 的深海盆的斜坡,处在大陆架外侧的边缘。

3. 大陆隆

大陆隆又称大陆基,是大陆坡以外到大洋盆地之间的过渡地带,水深为 2 500~4 500 m。大陆隆是由浊流滑塌作用而在大陆坡坡麓形成的倾斜平缓的扇形堆积物。许多大陆隆的下部以前曾经是海沟,后来沉积物充填了海沟,形成了大陆隆。

在大陆边缘中有海沟,它具有陡峭的侧壁和极大的深度。世界大洋中共有 29 条海沟。位于太平洋西部的马里亚纳海沟是世界上最深的海沟,深达 11 034 m。

目前,海洋石油的开发主要集中在大陆架。

二、大洋盆地

大洋盆地分布在大陆边缘和大洋中脊之间,其形状受制于大洋中脊的分布格局。大洋盆地主体部分的水深为 4 000~6 000 m,称为深海盆地。深海盆地中最平坦的部分称为深海平原。大洋盆地底部的深海平原是地球上最平坦的区域,其坡度极小,一般小于 $1/1\,000$,有的甚至小于 $1/10\,000$ 。

由于大洋盆地中没有阳光而且温度极低,所以海底动物非常少。但在洋底却有着非常丰富的锰结核资源,世界各国正在研究和开发这一资源。



三、大洋中脊

大洋中脊是大洋底的山脉或隆起,它们是海底扩张的中心。大洋中脊顶部的水深约 2 000~3 000 m,也有高的地方,露出水面而成为岛屿,如大西洋中的冰岛等。大陆漂移学说认为,大洋中脊是生成新洋壳的地方,即热地幔物质不断从大洋中脊顶部涌出并不断形成新洋壳,这些新洋壳再不断向两侧推移。大洋中脊上有火山和地震活动。

第四节 海水的物理、化学性质

海水是含有多种无机盐类的溶液。在海水中,水约占 96.5%,其他的还有许多盐类、矿物质和溶解气等。海水中含有大量的元素,迄今已经测量和估计出的有 80 余种。大量的海水分析结果表明:不论海水中含盐量的大小如何,其主要成分之间的浓度比基本上是恒定的。这种规律称为海水组成的恒定性。这是因为海水运动可使不同区域中海水主要化学成分含量的差别减小到最低限度,故其含量具有相对的稳定性。海水还能调节全球气候,影响陆地上的生态平衡。这些都与海水的物理、化学性质有关。

一、海水的盐度和氯度

海水的盐度是海水浓度的一种量度,它是描述海水特性的基本物理量之一。海洋中发生的许多现象都与盐度的分布和变化密切相关。

20 世纪初,克努森等人对盐度和氯度进行了定义,规定了常规测定方法,这得到了国际上的广泛承认和普遍应用。

克努森等人于 1902 年给出的盐度定义为:在 1 000 g 海水中,碳酸盐全部转变为氧化物,溴和碘以氯代替,所有的有机物质全部氧化之后所得固体物质的总克数。盐度的符号为 $S_{\text{‰}}$,单位为 g/kg。

由于海水中的主要溶解固体含量是稳定的,因此可以利用其中的一种元素作为衡量其他元素和盐度的标准。在海水的溶解固体中,氯离子大约占 55%,含量大且较易准确测定,因此可以根据氯度来确定盐度。

氯度定义为:在 1 000 g 海水中,以氯置换溴和碘后氯离子的总克数。氯度的符号为 $Cl_{\text{‰}}$,单位为 g/kg。

标准海水的氯度为 19.381。知道了氯度,就可按克努森公式计算盐度:

$$S_{\text{‰}} = 0.03 + 1.805 \times Cl_{\text{‰}}$$

由于后来发现上述公式不符合大洋海水的实际情况,所以对其进行了修改。近年来国际上多采用公式 $S_{\text{‰}} = 1.8065 \times Cl_{\text{‰}}$,它的精确度更高。

世界大洋中海水的盐度一般为 33~37,平均盐度为 35,但对不同的大洋和同一大洋的不同时刻和不同地点,海水的盐度是不一样的。海水的盐度主要受以下三个方面的影



响:

(1) 降水量和蒸发量的对比关系。降水量大于蒸发量时,盐度降低。

(2) 河流的影响。海域附近有河流汇入时,盐度降低。

(3) 洋流的影响。在同纬度的海区,暖流流经的海区盐度较高,寒流流经的海区盐度较低。

世界上盐度最高的海区是红海,盐度大于 40;盐度最低的是波罗的海,盐度小于 10。在南、北纬 40° 之间,赤道带附近盐度最低,而两个副热带高压带盐度最高。深层和底层海水的盐度一般为 $34.6\sim 35$,变幅很小。

二、海水的温度、密度和透明度

(一) 海水的温度

海水的温度取决于其热量收支状况。太阳辐射是海水最主要的热量来源,太阳辐射能中的 8% 左右返回大气中,其余的被海水吸收。大气对海面的辐射、海面水汽凝结、暖于海水的降水和大陆径流以及地球内部向海水放出的热能,也是海水的热量来源。海水热量消耗以海面蒸发为主。此外,海面向空气的辐射和海面与冷空气的对流热交换也可使海水消耗热量。海洋表层接收太阳热能后,可通过热传导和海水运动传播至深处。

海水温度有明显的季节变化和日变化。水温季节变化主要取决于太阳辐射的季节变化。季风和洋流对水温也有一定的影响。北半球大洋中最低温度出现在冬季(2~3月),最高温度出现在夏季(8~9月)。温带海洋水温季节变化最为明显。

太阳辐射的日变化是水温日变化的最主要原因。天气状况对水温日变化也有一定的影响。最低水温通常出现在 4~8 时,最高水温出现在 14~16 时,日温差不超过 0.4°C ,并且一般只表现在深度 10~20 m 的水层中。在晴天或无风时,或在邻近大陆的浅海区,日温差可超过 1°C 。

海水表层平均温度通常在 $-1.7\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间变化,年平均温度约为 17.4°C 。最高水温出现在赤道以北,称为热赤道。水温从热赤道向两极逐渐降低。由于陆地集中在北半球,故北半球海水等温线分布不规则,而南半球等温线近似平行于纬线。同时,北半球水温略高于南半球同纬度水温。不同温度性质的洋流的交汇处,海水温度梯度大,等温线特别密集。

(二) 密度

单位体积海水的质量就是海水的质量密度,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。海水的质量密度约为 $1\ 022\sim 1\ 028\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。它是温度、盐度和压力的函数。温度升高时密度减小;盐度增加时密度增大。

纯水的密度在 4°C 时最大。海水最大密度对应的温度则随盐度增加而降低,结冰温度也随盐度增加而降低,但变化比较缓和。当盐度为 24.7 时,最大密度对应的温度与结





冰温度均为 $-1.332\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通常情况下的海水盐度为 34.6, 所以最大密度对应的温度比结冰温度低。

(三) 颜色与透明度

晴朗的夏日到海上极目远望,海面是蔚蓝色的,水天一色,极为壮观。可能许多人以此就认为海水是蓝色的。其实不然,海水和普通水一样,都是无色透明的。那么为什么人们看到的海水是蓝色的呢?这是因为人眼能看到的 7 种可见光的波长是各不相同的,它们被海水吸收、反射和散射的程度也不同。其中波长较长的红光、橙光、黄光的穿透力较强,最容易被水分子吸收。它们射入海水后,随着海水深度的增加,逐渐被吸收。一般而言,海水深度超过 100 m 时,这三种光基本就被海水吸收了。波长较短的蓝光、紫光和部分绿光穿透力弱,遇到海水容易反射和散射,这样就使海水呈蓝色。有人会问,紫光波长最短,为什么海水不呈紫色呢?这是因为人眼对紫光的感受能力较弱。

浮游生物也会吸收和反射太阳光,故生物丰富的海水和没有生物的海水的颜色不同。沿岸海水多呈绿、黄和棕色,部分原因便是由于生物丰富和河水带来泥沙。

一个人在岸边或船甲板上观察海水,他所看到的海洋的颜色通常是由海面反射光谱和来自海洋内部的向上辐照光谱两部分组成的,其中对天空的反射光占很大比重。这样所看到的海洋的颜色常常因天空颜色和海面状况而变化,这种颜色通常称为海色。

水色是观测者用特定的方法观测到的一种海水颜色。观测时使用的仪器是水色计和透明度板。水色计由按特定配方配置的 21 种不同颜色的水组成,分别封装于 21 个玻璃管中,由深蓝色直到褐色,依次编上号码。号码越小,水色越蓝,习惯上也称为水色越高;反之,号码越大,水色便越低。透明度板是直径 30 cm 的白色圆板。观测时,需在船舷的背光一侧将透明度板沉放在等于透明度一半的深度处,然后俯视透明度板以上水柱的颜色,并同时与水色计的颜色进行比较,取颜色最接近的一号水色计的颜色为该测点的水色。观测时要尽可能避免天空色的干扰,这样测得的水色就基本上由向上辐射的光谱决定。因此,水色是海水本身光学性质的一种表现,也是海水物理特性的一种表现。

海水透明度以直径 30 cm 的白圆盘投入海水中的可见深度来表示。海水颜色、悬浮物质、浮游生物、海水涡动、入海径流,甚至天空的云量都对透明度有影响。通常,越靠近大陆,透明度越低;越靠近大洋中部,透明度越高。大西洋中部马尾藻海表层缺乏上涌海水带来的营养盐分,浮游生物极少,因而颜色最蓝且透明度最大,约为 66.5 m,而我国黄海的透明度只有 3~15 m。

第五节 海洋石油工程发展史

世界上第一口油井是由 E. L. Drake 上校于 1859 年在美国宾夕法尼亚州的 Titusville 钻成的。但前苏联人认为世界上第一口油井是沙皇时代一名叫谢苗诺夫的工程师于 1848 年在黑海的阿普歇伦半岛钻的。《大元一统志》(1303 年)里说:“延长县南迎河有凿

开石油一井,其油可燃,兼治六畜疥癣”。这说明第一口油井出现在中国。海上的第一口油井是 1897 年在美国加利福尼亚海岸钻成的。这口井当时是用一个固定式木质结构(平台)来钻的。

木质平台的结构如图 1-2 所示。木质平台是一种固定式平台。为了保证平台的强度和使用安全,在木质平台的基础上发展了钢制固定式平台。目前的固定式平台已发展到能在 400 多米的水深进行石油开发,如图 1-3 所示。

在固定式平台的基础上,又发展了顺应塔平台、顺应桩塔平台和绷索塔平台,如图 1-4 所示。



图 1-2 木质平台

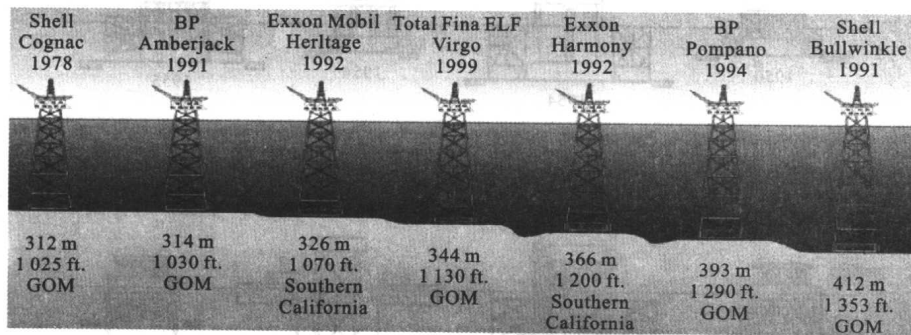


图 1-3 钢质固定式平台

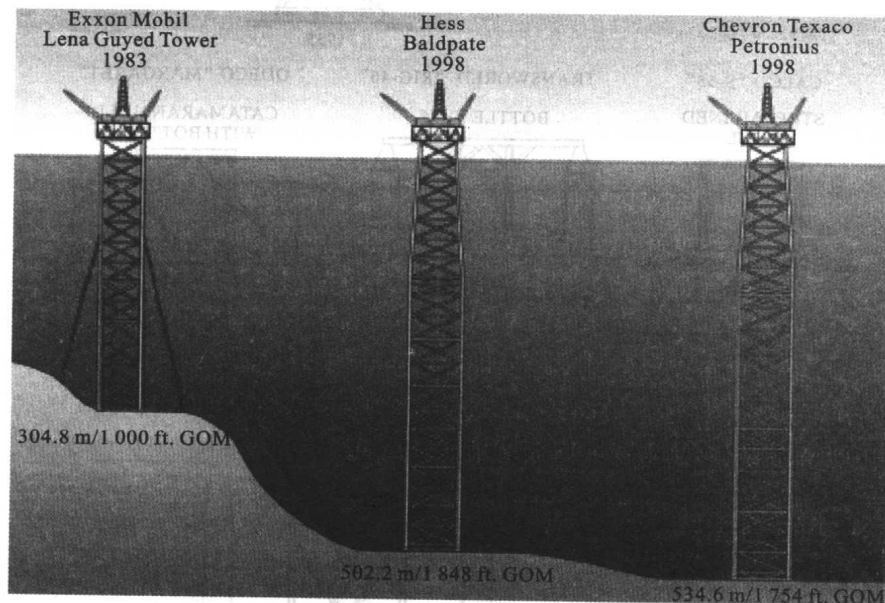


图 1-4 顺应塔平台、顺应桩塔平台和绷索塔平台



由于钢质平台在海水中存在严重的腐蚀问题,为了解决这一问题,又发展了重力式混凝土平台。

在海洋石油的勘探和开发过程中,人们意识到在能够从一个地方移动到另一个地方的移动式结构(平台)上钻井,将比在一个固定式结构上钻井要快捷、经济,于是移动式海洋平台应运而生。最初发展的是坐底式平台,用驳船压载后坐到海床上,并用桩定位,这种平台受作业水深的限制很大。坐底式平台的发展情况如图 1-5 所示。

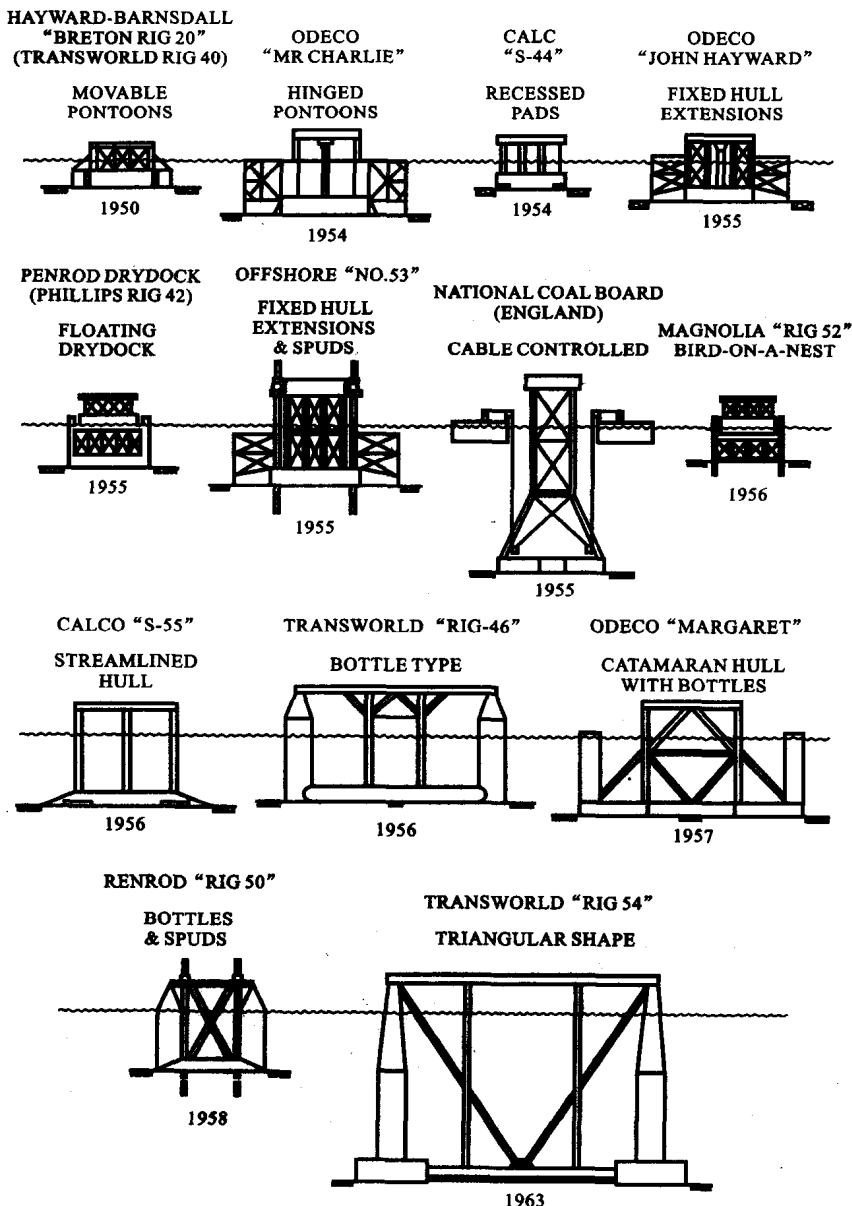


图 1-5 坐底式平台的发展

后来人们又根据海上作业的要求研制了自升式平台。由于自升式平台以海底为支撑,它们的工作水深必然也受到水深的限制。自升式平台的发展如图 1-6 所示。

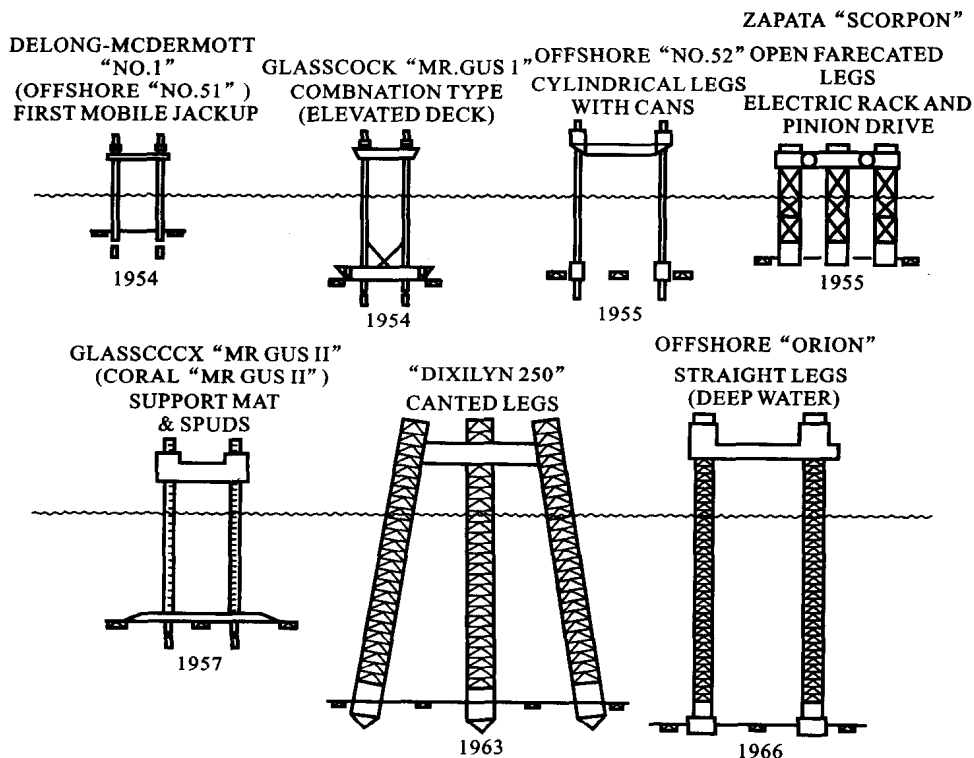


图 1-6 自升式平台的发展

人们意识到通过浮式钻井和将井口放到海底可以克服自升式平台所受的水深限制,为此研制了浮式钻井船和半潜式平台。钻井船的发展如图 1-7 所示。钻井船能够自航,其外观和普通的船相似,但其稳定性和抗风浪能力差。半潜式平台的结构与坐底式平台相似,在浅水区工作时可用作坐底式平台,它有宽阔、平坦的平台甲板,具有优秀的抗风浪能力。目前,新型的半潜式平台已能在水深 3 000 多米的海域钻井,平台的定位也从原来的锚泊定位发展到动力定位,并且有些半潜式平台已具备了自航的能力。

随着科学技术的发展,在上述平台的基础上,又发展了新型的张力腿平台等。与此同时,还发展了各种先进的海洋石油勘探开发技术和装备。