

港口工程包含了海洋、气象、机械、土木、电子、船舶、通信、管理多领域的内容,综合性很强,其中任何一个领域的落后,都会导致整个港口发展的失调,从而不同程度地影响港口的营运。此外,港口建设投资大、周期长、回收慢,任何不合理的规划,均可造成巨大的甚至不可弥补的损失。港口工程是一个大型的系统工程,需要航运作业系统、装卸作业系统、存储作业系统、集疏运作业系统之间的工作协调运行;其中任何一个环节失调,便会降低生产效率,引起货物滞流,以致减少货物流量,影响港口效益;从交通运输的角度考虑,港口是水陆交通的焦点,它的影响范围极广,对内陆地区的经济发展起着重要作用。

鉴于港口对国民经济发展的重大作用,新加坡港与政府合作,于1997年开展了“风险管理”(risk management)研究,其目的在于最大限度地降低经济损失和风险。风险管理过程流程图,如图1.1所示。

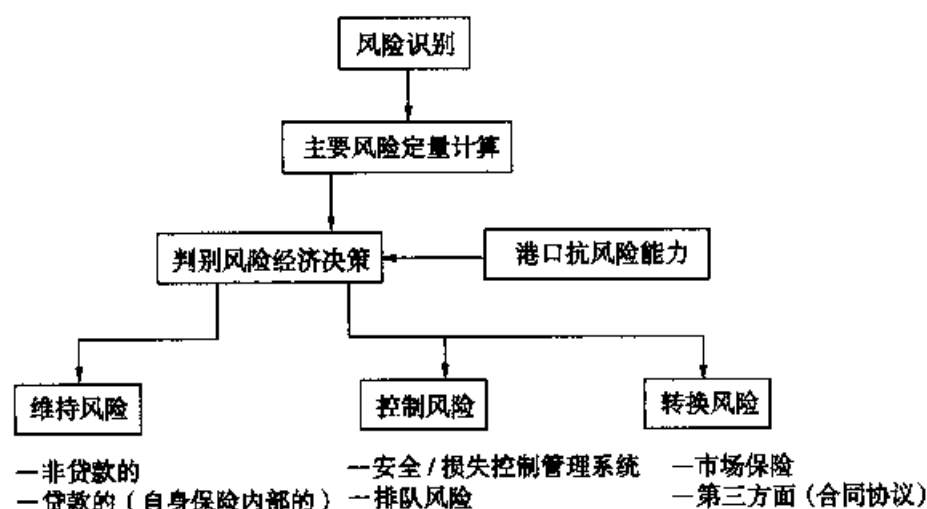


图 1.1 风险管理过程流程图

二、海洋油气资源与开发

在世界石油储量中,海洋石油储量约达 1.35×10^{11} t, 占世界总储量的 2/3, 在已发现的石油储量中,海洋石油占 1/2。到 2005 年,海洋石油产量可达世界石油产量的 40%。这个比例随时间推移,将更趋增大。在我国大陆架,估计石油储量有 1.5×10^{10} t。随着陆地石油、煤炭资源的消耗,海洋石油开发和生产对解决 21 世纪世界能源问题将显得越来越重要。因此,海洋工程结构的研制,将直接影响海洋石油资源的开发。当前,世界上近海油田的开发已具相当规模,至 1996 年的统计:已投产的海上油气田 1 817 个;已建成平台 1 265 个;安装的水下装置 1 469 个;铺设了海底管线(如北海、墨西哥湾)达 56 768 km。

我国油气资源的开发速度非常迅速,已与 16 个国家、62 家外国公司签订了合作开发海洋油气资源的协议。已完成地震测线(即通过人工地震测试确

定油气资源含量) 7.4×10^4 km, 钻探井 400 口, 并已探明地质储量 1.25×10^9 t 石油, 2.35×10^{11} m³ 天然气。我国渤海、东海、南海已投产油田 19 个, 原油产量达 1.3×10^7 t, 天然气产量达 4×10^9 m³。由于科学技术的发展及引进外国技术, 我国海洋石油达到 1×10^7 t/a 的发展周期仅用了 16 年; 而前苏联用了 25 年, 美国用了 20 年。

海洋油气资源开发主要靠离岸工程, 其中油气集输系统, 海底管道, 海上油罐及有关的辅助船, 海底深潜作业技术等, 已形成一个综合性工程学科。

海洋石油开发, 在 1960 年只有 20 多个国家开展了离岸工程建设, 至今已达 100 多个国家, 其中以美国在这方面的研究和开发工程最为突出; 在墨西哥湾内平台井架林立、海底遍布输油管道。欧洲各国在北海的各大油田, 也建造了大量平台。当前平台的类型已由简单的导管架平台发展到自升式平台、半潜式平台、张力腿平台、钢筋混凝土平台等各种类型。可根据水深不同, 选用钻井和采油平台的形式, 如图 1.2、图 1.3 所示。

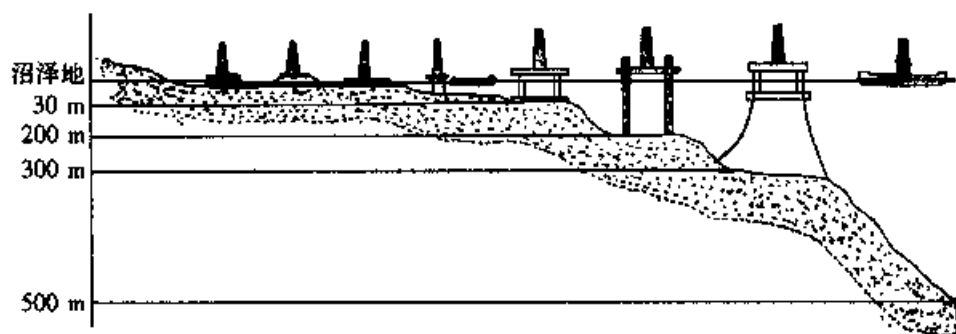


图 1.2 水深和钻井平台的形式选择

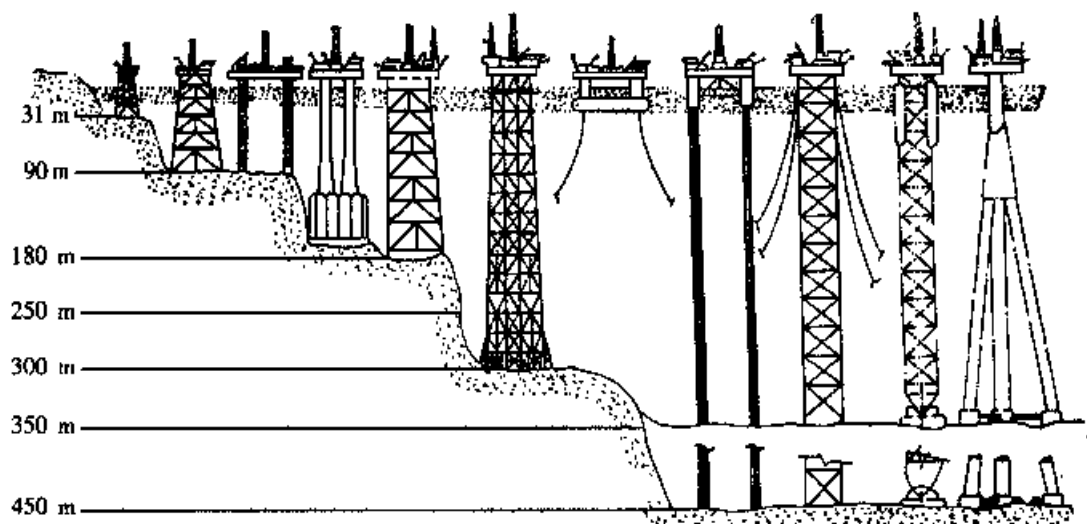


图 1.3 水深和采油平台的形式选择

由图 1.2 可见, 钻井平台在 15 m 以内的水深范围内, 大多采用坐底式平台。当水深达 15—18 m 时, 宜采用自升式平台。超过 80 m 的水深, 大多采用浮式平台, 即半潜式或船式钻井平台。采油平台类型的选取, 如图 1.3 所示。在浅水大多采用导管架平台。对于较大水深的导管架平台, 可以设计为自浮式, 由拖轮直接拖到现场安装。重力式混凝土平台, 在挪威的北海油田, 已得到较好的应用。钢筋混凝土平台承载能力大, 抗磨损和抗腐蚀性能好, 承受火灾和爆炸的能力强, 且坐底箱可用来将储油、集采合于一体, 非常方便。我国在 80 年代曾组织有关专家, 进行了混凝土平台的研究和设计, 获得了很好的成果, 但由于种种原因未能建造。对于更大的水深, 宜采用顺应式平台、张力腿平台、牵索塔平台和绞接塔平台等各种类型。浮式平台可以不断转移位置, 并可在较深的海域作业, 因而得到较广泛的应用。它既不需要立柱, 也不需要坐底, 而是靠锚定位, 随后又发展为动力定位。1957 年, 美国在墨西哥湾 122 m 水深处使用了“CUSSL 号”浮式钻井船, 由于它漂浮在海面上作业, 抗风浪性能差, 停工率高。为此, 1962 年出现了半潜式钻井平台“蓝水一号”。这种平台可在深水钻井, 抗风、抗浪性能好, 可半潜作业。目前, 在世界上新建的钻井平台中半潜式占一半以上。它可用动力定位, 也可用锚定位。

在正式进行正规开采以前, 有些油田先进行早期生产系统开采。这是一种临时性开采措施, 通常是把一个油轮装载系统, 连同半潜式平台或自升式平台组合在一起, 进行早期开发。图 1.4 给出一个以半潜式平台为主的早期生产系统示意图。

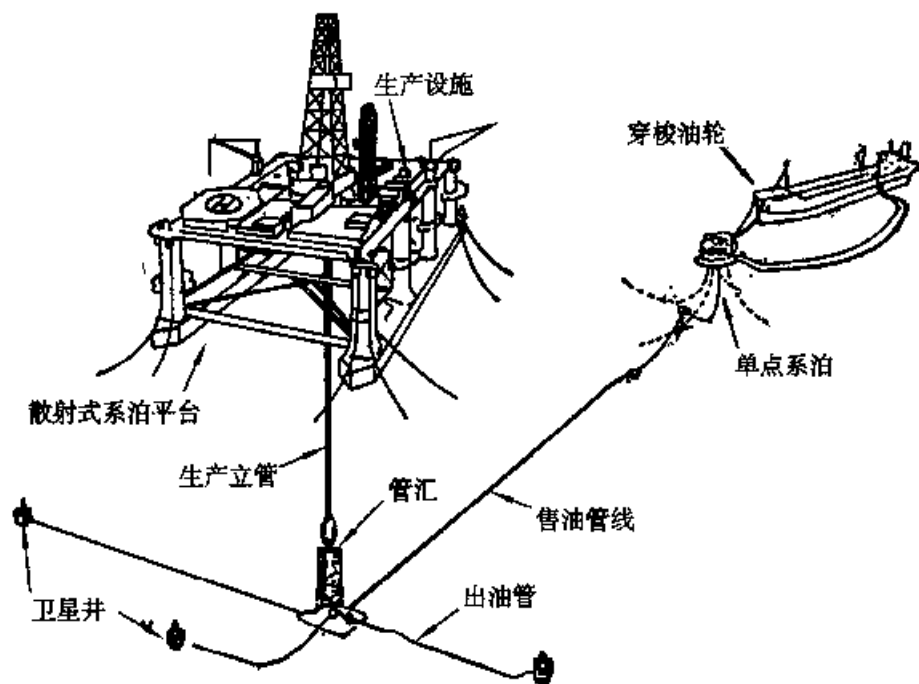


图 1.4 半潜式平台早期开发系统

图 1.5 为自升式平台, 图 1.6 为半潜式平台, 图 1.7 为导管架平台和图 1.8 为混凝土平台四种常见的平台示意图。

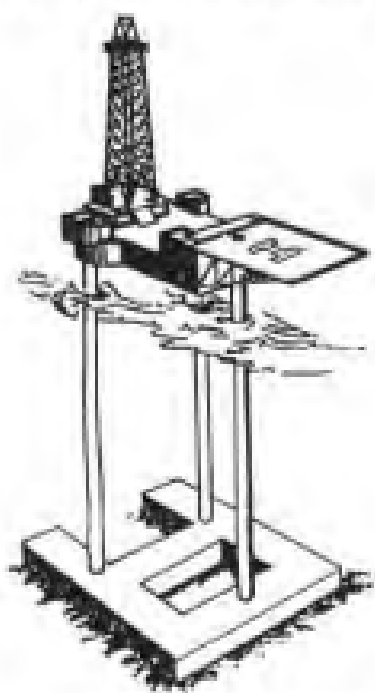


图 1.5 自升式平台

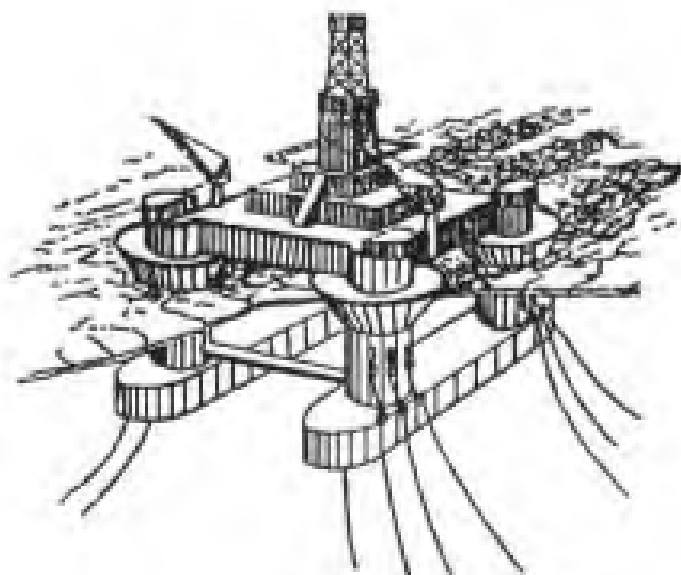


图 1.6 半潜式平台

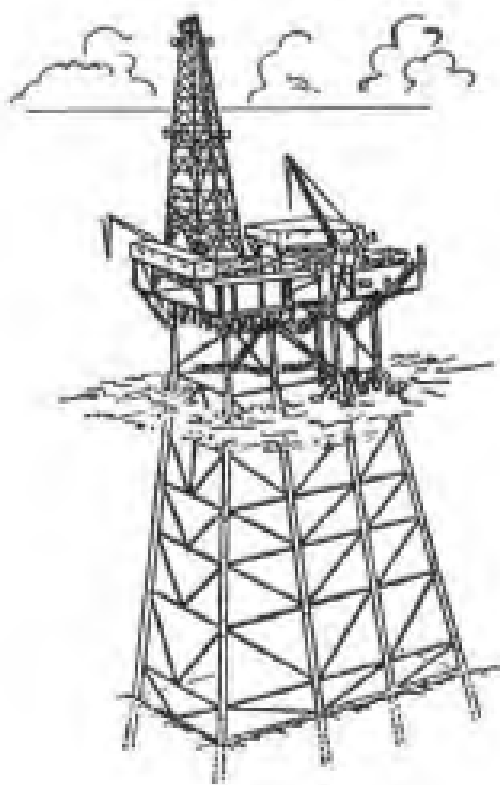


图 1.7 导管架平台

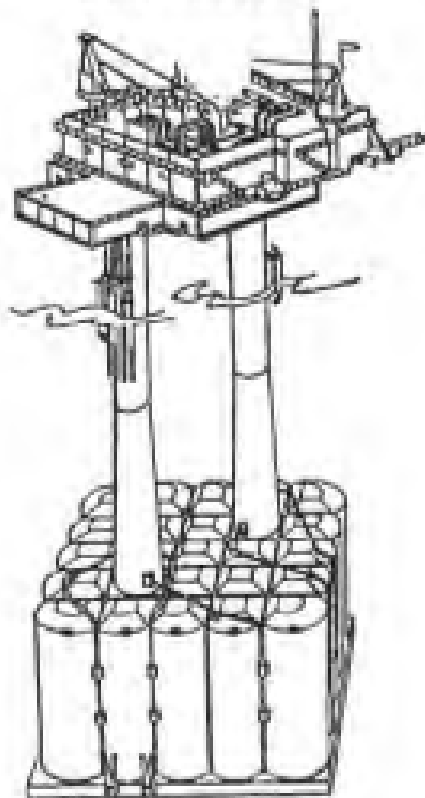


图 1.8 混凝土平台

对各类海洋平台使用对比列表 1.1 如下:

表 1.1 各类钻井装置的比较表

型式 比较项目	触底式		上浮式	
	坐底式	甲板升降型	钻井船	半潜式
用途	勘探、开采	勘探、开采、修井	勘探、开采	勘探、开采、修井
工作水深	5—30 m	10—100 m	10—600 m	10—200 m
钻井能力	1 500—3 000 m	15 000 m 以上	1 500 m 以上	1 500 m 以上
正常工作 的环境界限	风速	20 m/s	10 m/s	20 m/s
	潮流	4 节	3 节	4 节
	波高	约 7 m	约 7 m	约 7 m
安全 极限	风速	60 m/s	60 m/s	60 m/s
	潮流	4 节	4 节	4 节
	波高	10 m 左右	约 10 m	10 m 以上
受海底 地质 条件的 限制	1. 粘土, 沙质粘土 2. 要求海底坡度小	根据不同的海底 条件, 设计或改装 支柱端部形式	适用于各种海底, 如用锚泊定位, 需 注意锚爪力	1. 坐底时: 粘土、 沙质粘土 2. 半潜时: 适应于 各种海底, 但需注意 锚爪力
定位方式	压载(锚泊)	支柱触底	动力定位式锚泊	压载式锚泊
优 先	1. 提供固定的钻 井平台 2. 结构上无运动 部件	1. 提供固定的钻 井平台 2. 当水深超过 25 m 时, 所需费用小于 坐底式 3. 选择不同的支 柱端部形式, 可适 应不同的海底情况 4. 接触波浪的面 积最小 5. 可设计成能经 受台风的型式	1. 运动性能好, 移位时不需拖航 2. 工作水深大, 如用动力定位法, 工作水深几乎不 受限制 3. 装载量大, 自 存能力强 4. 在波浪中强度 没有问题	1. 在深水提供 较稳定的钻井工 作平台 2. 工作水深大 3. 能适应较恶劣 的海况
缺 点	1. 工作水深有限 2. 钻井时易移位 3. 拖航时阻力大 4. 波浪中强度成 问题	1. 拖航较困难, 航途安全性较差 2. 有活动构件 3. 定位或离位时 操作复杂, 对波浪 很敏感 4. 大型平台的支 柱存在震动问题	1. 在波浪中运动 较激烈, 影响钻井 工作, 开工率较低 2. 采用动力定位 法所需付工作费 用大	1. 造价高 2. 无推进装置的 平台, 拖航较困难
造价 (1974)		1 500—1 600 万 元美元	锚泊定位船: 1 600—2 000 万 美元, 动力定位 船: 2 500—2 700 万美元	3 400—3 500 万美 元

(续表)

型式 比较项目	触 底 式		上 浮 式	
	坐底式	甲板升降型	钻井船	半潜式
每日工 作费用 (1973)	1.3—1.6 万美元	锚泊定位船: 1.4—1.8 万美 元, 动力定位船: 3.0 万美元	非自航型 2.0— 2.5 万美元, 最新 型 2.5—3.2 万美 元	

各类海上平台的设计, 不像一般海岸工程那样, 可以按照本国自己制定的规范设计和建造。由于离岸工程结构一旦发生破坏, 将会直接影响到公海的安全和环境污染, 所以, 必须按照国际上公认的一些规范进行设计。国际上最常采用的规范为适用于固定式平台的 API 规范(由美国石油协会主持编制, 每年都有不同的增补和修订); 适用于移动式平台的 ABS 规范(由美国船检局主编); DnV 和 NPD 规范(挪威海事检验局编制), DOE 和 LR 规范(美国劳氏船级社编制), 以及法国 BV 和德国 GL 规范等。我国则翻译了 API RP 2A—LRFD1993 年版, 作为我国海洋石油天然气行业标准。“海上固定平台规划, 设计和建造的推荐方法——载荷和抗力系数设计方法”于 1997 年 1 月 1 日开始实施。

一个海上平台的建造, 涉及上亿元投资, 一有不当将造成严重损失。

挪威船级社曾统计了 1970—1981 年间活动式平台出现的事故; 建立了资料库, 并对事故进行了分析。从 12 年的平台事故统计可看出, 有人员伤亡的事故达 40 次。其中自升式 16 次, 半潜式 10 次, 钻井船和钻井驳船 14 次, 人员死亡总数达 511 人。各类平台的事故和损坏率, 如表 1.2 所示。

表 1.2 各类平台事故损坏率

项 目	自升式	半潜式	钻井船 钻井驳船	总计
台年数(平台数×年数)	1 974	964	816	3 754
事故数	135	86	104	325
平台完全损毁数	24	2	4	30
事故频率(次/100 台年)	6.84	8.92	12.75	8.66
完全损毁率(完全损毁数/100 台年)	1.22	0.21	0.49	0.80

我国从 1964 年 1 月开始海洋石油开发以来, 除了建造一些导管架平台外, 还设计建造了“渤海 1 号”液压式自升平台。1972 年, 由两条船改建成“勘探一号”双船体钻井船, 工作水深达 30—100 m, 总长 90.23 m, 宽 38 m, 吃水

4.7 m, 单体型宽 14.3 m, 深 7.6 m, 钻井深度 3 200 m, 曾在南黄海使用。“勘探三号”半潜式平台, 工作水深可达 35—200 m, 适用于我国各海域; 平台总长 91 m, 型宽 64 m, 总宽 74 m, 总高 98 m, 立柱六根。对于极浅海的开发, 胜利油田还建造了“胜利 1 号”、“胜利 2 号”、“胜利 3 号”等“步行”坐底式平台。此外, 由日本、新加坡等国引进过“富士号”沉垫式自升钻井平台, 以及电动齿轮条自升式平台。1977 年, 由挪威引进“南海 2 号”半潜式钻井平台, 工作水深达 200 m, 钻井深度 7 500 m。

在各类平台的设计中, 都存在着环境荷载设计标准的合理选择问题。按照国外一些设计规范的建议, 起初大多选用五十(或一百)年一遇的风, 同样重现期的浪和流。很明显, 把三维相互关联的因素作为独立的五十(或一百)年一遇设计值的线性叠加值选为设计标准, 是保守的, 势必造成巨大的浪费。随后, 规范建议采用百年一遇的波高和相应的风速和流速作为设计标准。但 API 规范指出, “相应的”一词也是含糊不清的。因此, 各国学者正力图从风、浪、流联合出现(同时出现)的概率确定设计标准。我国和其他国家已开始使用条件极值概率及可靠度理论, 在保证一定失效概率的基础上, 选取使工程造价达到最低的环境条件的最优设计标准。

海上平台的设计, 从安全和经济两方面综合考虑, 尚需进行平台的风险分析。海上平台结构本身是一个复杂系统。它由数千个构件组成。如按结构的可靠度计算, 它本身的破坏机制非常复杂, 绝非某个简化模型能概括。当前, 有些科学家正开发有关“系统可靠度”分析软件, 进行平台失效概率分析。这种方法计算工作量庞大, 进入实际应用尚有一段距离。尽管如此, 平台的优化设计, 平台可靠度分析, 仍是当前科学界、工程界的重要研究课题。

海上平台的另一个重要问题, 就是如何控制其震动的措施。由于各种随机外荷载的作用, 如海冰、海浪、风、地震等荷载的作用, 使平台产生震动。这种震动一方面使平台产生疲劳破坏, 减少平台服役寿命, 特别是被称为 rigging 的震动。这种震动, 往往使得平台上的工作人员难以忍受。因此, 如何研究一种合理的减震措施, 是当前高层建筑、海洋工程结构的研究课题。研究证明, 如能减少应力变幅 15%, 可以延长结构寿命 1 倍以上。当前, 平台的震动控制(vibration control)技术的应用, 仅仅有近 10 余年的经历。特别是半主动式、主动式和混合式结构震动控制问题, 目前在国内外尚无系统研究。但是, 海洋工程科研领域对此非常重视。我国也正开展国际合作进行有关研究。另外, 海洋平台健康检测(health monitoring)问题, also 具有重要意义。如果在一些平台、大桥上预先安装了检测系统, 那么, 类似北海油田的“阿列克山得尔”、

“克兰得”大型平台的倒塌,中国“彩虹大桥”事件,都是完全可以防止的。

我国海上油田的开发,还面临一个重要问题,即是边际油田(marginal oil field)的开发问题。边际油田的定义,是指那些储量不集中,量不大的油田,如果采用常规技术和设施进行开发,将可能导致产出不抵投入的结果。我国边际油田具有以下特点:一是数量多,现已探明的海上油田储量为 1.25×10^9 t 中,其中边际油田储量占 5×10^8 t。二是油藏地质构造复杂。三是环境条件比较恶劣,如台风、海冰、地震的破坏作用,以及有些油田处于极浅水海岸带,给开发工程带来一定困难。但是面对这 5×10^8 t 储量,若能开发出来,将可创造 100 亿美元的价值。边际油田的开发技术是集油藏工程、钻井工程、采油工程、海洋环境工程为一体的系统工程。因此,边际油田的开发,将会推动我国海洋工程技术的发展。

三、深海矿产资源开发

大洋多金属结核、富结壳等矿物,大多埋藏于数千米的深海底层。由于深海矿产资源的开发工程投资大、周期长、技术难点多、风险程度高,所以目前尚处于起步阶段。

对多金属结核的调查勘探,已在世界 15 个结核富集区(其中 8 个位于太平洋)、500 多处矿产地进行。其中位于东太平洋(夏威夷群岛东南)克拉里昂(Clarion)与克里帕顿(Clipparton)两断裂带之间海域,结核丰度 30 kg/m^3 ;所含主要金属铜、钴、镍的品位一般在 3% 以上;据估算,总量达到 7×10^{10} t 以上。

深海矿产资源开发技术包括许多高新技术,其难度之高,涉及领域之广,是任何一种海洋技术都不可比拟的。

深海勘探技术包括直接和间接两种类型。间接技术包括各种先进的地球物理技术,如浅层剖面仪(SBP),高精度旁侧扫描声呐(SSS),多频探测系统(MFES),多波束探测系统(MBES—SEABEAM)等。直接技术适用于深海环境复杂地形的各种采样器,探测仪器,以及深潜器,海底摄影和拖曳式水下录像系统等。采矿技术的难度更高,要把藏储于数千米水深的矿产资源采集起来,并输送到海面采矿船,再转运到冶炼厂,要面对恶劣的海况,海水的高压及腐蚀,复杂的海底地形,承载力极低的软泥等严峻的作业环境。这就需要各种高新技术的综合与集成。当前,日本正在研制具有高效率、较高可靠度的开采多金属结核的流体控制式采矿实验系统,工作水深可达 5 250 m;拟研制开发海底热液硫化物和富钴结壳的采矿系统,预计能从 6 000 m 的深海高速采矿,