

浮动钻井平台

И. Н. 加拉霍夫
〔苏〕 О. Е. 利托诺夫 著
А. А. 阿利谢依奇克

王轲 方学 管光东 译

石油大学(北京)

国防工业出版社

33664

浮动钻井平台

(结构与强度)

И. Н. 加拉霍夫

[苏] О. Е. 利托诺夫 著

А. А. 阿利谢依奇克

王轲方 学管光东 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是海洋开发技术丛书之一,是系统地阐述浮动钻井平台结构与强度问题的专著。首先介绍了浮动钻井装置的建筑形式和结构特点,并从钻井平台结构强度观点,着重论述了平台的结构设计方法,同时给出了许多有关研究成果的图表和公式,提出了颇有实用性的建议。

本书可供从事海洋工程的广大技术人员和有关院校的师生参考。

ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ

И. Н. Галахов О. Е. Литонов

А. А. Алисейчик

Ленинград “судостроение” 1981

*

浮 动 钻 井 平 台

(结构与强度)

И. Н. 加拉霍夫

【苏】 О. Е. 利托诺夫 著

А. А. 阿利谢依奇克

王柯方学 管光东 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 $1/32$ 印张 $18\frac{1}{4}$ 181千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷 印数 001—700册

ISBN7-118-00005-1/U3 定价: 2.15元

作 者 的 话

建造开发苏联大陆架矿物资源的浮动式技术工具，对于国民经济具有重大意义，但问题很复杂。基于这两方面的原因，我们撰写了这本书。在解决这样复杂的问题中，确保浮动式平台的高度可靠性问题，即使不占最主要的部分，也是一个极为重要的方面。

鉴于有关浮动式钻井平台的结构与强度问题在苏联技术文献中尚属首次系统阐述，我们认为对浮动式平台作一扼要评述之后，从强度观点分析各个最为重要的方面，借以着重论证平台的结构设计方法，是适宜的。在叙述这些问题中，附有各种研究成果的图表并提出了实用性的建议。

我们认为本书并非完美无缺，加之它又涉及到许多在认识上还很不足的新的研究对象和现象。因此，我们将以感激心情接受对改进本书内容有益的任何批评和意见。

本书各章的撰写人：前言、§ 9、§ 10、§ 12~14、§ 21~23 和结束语为И. H. 加拉霍夫；§ 11、§ 15~20 为 O. E. 利托诺夫；§ 1~8 为 A. A. 阿利谢依奇克。我们向本书的第一批读者——评论家、教授、科学技术博士 B. B. 科兹利亚科夫和科技编辑、科学技术副博士 C. B. 索钦斯基致以谢意。

目 录

作者的话	III
引言	I
第一章 浮动式钻井装置的基本建筑结构型式及其使用方式	3
§ 1 开发大陆架的技术工具	8
§ 2 自升式钻井装置的建筑结构型式	9
§ 3 自升式钻井装置使用特点	16
§ 4 半潜式钻井装置建筑结构型式	21
§ 5 半潜式钻井装置使用特点	32
第二章 浮动钻井装置结构	38
§ 6 自升式浮动钻井装置	38
§ 7 自升式浮动钻井装置的桩腿	44
§ 8 半潜式浮动钻井装置	47
第三章 平台强度的一般问题	57
§ 9 船级社规范对浮动钻井平台强度的要求	57
9.1 计算工况与计算载荷	58
9.2 流体动力载荷	61
9.3 风载荷	62
9.4 甲板结构的局部计算功能载荷	64
9.5 强度标准与标准化	65
§ 10 极限强度标准	69
§ 11 疲劳强度标准	77
§ 12 脆性强度	82
§ 13 钢和焊接接头的特性	98

§ 14	作用在平台水中构件的载荷	107
第四章	决定计算工况和载荷的外部条件的特性	120
§ 15	一般特性	120
§ 16	风浪条件	123
16.1	风	123
16.2	浪	129
第五章	自升式钻井装置结构强度	137
§ 17	自升式钻井装置计算格式的特点	137
§ 18	计算波浪载荷的成分	143
18.1	作用在被绕流的障碍上的浪压	143
18.2	波浪载荷的速度分力	150
18.3	波浪载荷的惯性分力	172
18.4	波浪斜向绕流时浮动钻井装置的扭转参数	175
18.5	稳定波浪状态中浮动钻井装置结构各力和应力的极值	180
§ 19	风载荷各成分的求解	192
19.1	浮动钻井装置结构对风影响的反作用力	192
19.2	在风稳定状态下浮动钻井装置结构的力与应力的极值	200
§ 20	在风浪同时作用下自升式钻井装置结构的力与应力的 极值	202
第六章	半潜式平台强度计算方法	208
§ 21	准静力法	209
§ 22	平台构件应力传递函数与分布载荷法	214
§ 23	运用载荷积分表达式的各种方法	223
23.1	积分载荷	223
23.2	求解计算载荷 $Q_i = Q_{ip}$ 的全概率格式	228
23.3	平台结构与建筑型式的理想化	232
23.4	半潜式平台结构计算(极值)应力的求解	239
23.5	波浪载荷速度分力的计算特征	247
23.6	计算平台强度的原理程序	248
结束语		251
参考文献		252

引 言

近十年来，在全世界掀起了开发海洋大陆架矿物资源的热潮。在解决这一问题中，特别重视制造可靠的技术工具，其中包括各种类型的钻井平台、钻探和采油、采气的固定装置、钻井船、水下敷管驳、石油和天然气的水下贮存库、浮动式平台和水下固定装置的供应船、浮码头，以及石油和天然气水上加工厂等等。

相对于传统造船来讲，半潜式和自升式钻井平台是一些全新的浮动技术工具。它们的建筑型式和结构都是在使用条件基本要求（譬如，装置在大风大浪中进行作业的同时，还要按规定精度保持在海底某一定点的上方；在结构物整个设计寿命期间，平台要在经受给定海区内可能出现的最大风暴条件下继续生存）的影响下形成的。

自升式平台工作水深一般在 90 m 以内，尽管有些这种平台型号的工作水深可达 120 m。目前，在使用的半潜式平台工作深度的范围为 180~600 m。

苏联建造的用于里海工作水深为 15~20 m 的自升式平台有“阿普舍隆”号和“阿塞拜疆”号，还有工作水深分别为 60 和 70 m 的“巴基”号（见图 1-1）和“十月革命六十周年”号。

苏联第一座用于 200 m 水深钻井的半潜式平台业已投入生产。

建造浮动式工具，符合苏联国民经济的最大利益，因为

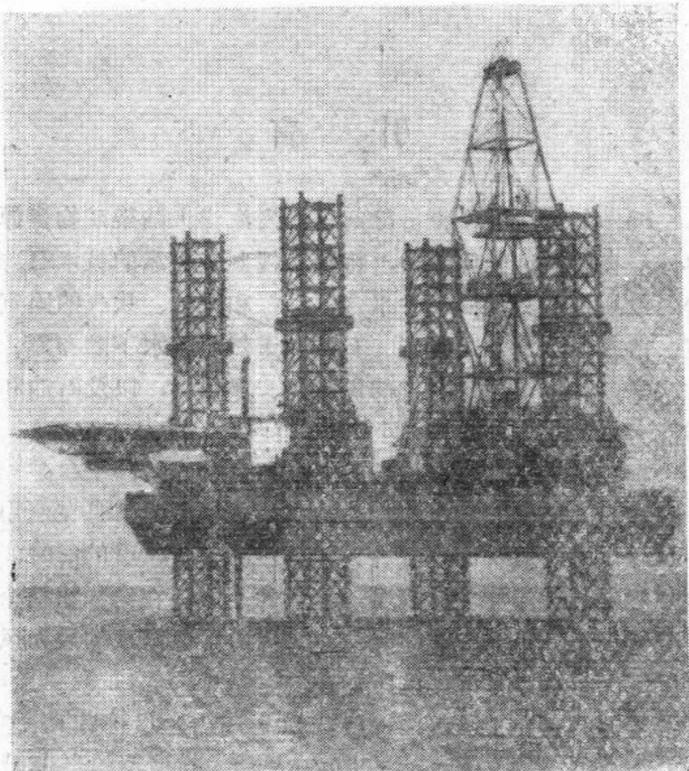


图1-1 “巴基”号浮动式钻井平台

可以利用它们在苏联大陆架最广泛的海域内进行勘探钻井和采油钻井。

为设计出能满足使用要求的平台而创建科学方法的基础，有着重要意义。

这里有个特殊情况，必须加以注意。对普通船舶强度的现代要求、连接件尺寸的论证方法和结构设计标准，都首先是在前几代船舶的设计、建造和使用中积累起来的经验基础

上形成的。

而海洋开发技术的发展情形则不同。最初的一批浮动式钻井平台在建筑型式和结构特点、使用条件以及其它许多参数等方面都无所借鉴。平台的建筑型式、结构及工作条件直到现在仍在继续变化。因此，有关结构物特性的各项研究，包括有关强度方面的研究，为奠定平台和其它结构物设计基础已经做出并且还在继续做着有决定意义的贡献。这些研究的主要内容通常要在设计之前进行，或者就是设计过程的一个阶段。

从强度观点来看，平台设计的特点与平台本身的特征、使用条件有关，其中主要的有如下几点。

平台通常用于幅员有限的一定海区之内。每一海区都有它自己的一些特点，而这些特点总合起来便构成外部条件的特性。每一海区的特点在外部条件诸成分方面，譬如在狂风的再现率、常见的烈风所引起的波高与波浪周期比等方面的差异可能很大。搞清这些特点，一方面可以避免结构的过重消耗，另一方面则可确保结构有足够的可靠性。

浮动式平台与运输船不同，不可避免地要遭遇较大的波浪。在凛冽风暴期间，钻井作业虽然可以中断，但平台却不能撤离井口。

对平台而言，表达外界作用特性的各种因素的组成尤为复杂。除波浪、水温和盐度外，还有风、流、海底的地貌和力学特性，以及海区地震活动性等也都会有影响。与平台功能特点有关的各种使用在某些方面又是特有的，它们可能给结构构件增加更大的载荷。

由于结构物的尺度不同，要求具备专用的船坞设施。因此，在坞内检修结构是个难题。某些船级社规范规定在使用

状态下，在漂浮中检验结构物，而在确定连接件厚度时应考虑到结构物的整个寿命。

众所周知，船舯横剖面上的垂直弯矩值，是作用于普通船舶结构的固定载荷与可变载荷外部影响的基本量度。在某些情况下，水平弯矩和扭矩则视为附加的动力因子。周围介质，主要是波浪对平台的作用，不可能用某一种分力表达出来。因此，应尽可能地研究载荷各成分较为完整的构成，因为它们对受力状态量级的影响可能是非常大的。平台构件与波浪间的相互作用力的特点还在于，平台的许多连接件具有横截面尺度，而在一定强度的波浪下，这些尺度与波浪尺度相比可能更小。在这种情况下，在波浪载荷的惯性分力中需加上一个与水质点相对速度平方成比例的速度分力。所以，这一分力相对波高来讲是非线性的。

应用于大深度的自升式平台桩腿的挠性，将使结构产生“摇动”。这种结构物的现代计算方法，甚至是在按极限标准估算强度时，也不象对刚性结构物那样明显地根据自身的计算载荷，而是利用极值应力或计算应力及其相应的条件。

由于多种原因，必须掌握有关转化成外力的外部条件的完备信息及其一定形式，以及计算结构应力的外力表达形式的要求。平台的结构和建筑型式特点以及使用条件都对这些建筑结构受力状态性质中的一些特点起着制约作用。在许多节点上，平面受力状态的各成分都是可公度的。估算强度时，相应地需要利用已经将这些特点计算在内的各项标准。

各种新颖的，甚至是独特的连接件接头的节点，也是平台结构的一大特点。这些接头在静态和无规律加载条件下的工作能力，是一个重要的，但目前尚属研究极少的问题。问题在于结构许多方面的工作能力不可能通过模型试验方法获

得，而要取得有关复杂节点或单个接头结构的真实强度资料，必须制作实物结构并为其创造现实的工作条件。

实践证明，在小缩尺模型试验基础上预测到的结构强度性能较之实际情况相差甚远，譬如在普通的厚钢板上就多次发生过剥层现象。这种现象在大吨位的船舶和钻井平台结构中也都时有出现。对这些损伤原因随后进行的分析表明，冶炼方法、钢板厚度、轧钢工艺和结构构件的焊接工艺等等，是产生剥层的决定性因素；在钢板横向上产生力则是必然的，并不是重要因素。由于目前尚未积累有关平台结构方面的大量和长期工作的经验，因此只能有一种方法，就是在试验机上获得这些资料。不难想象，这将需要专门的试验设备，还要花费时间和资金。

浮动式钻井平台的强度，象其它任何工程结构强度一样取决于许多因素，而且这些因素的整个组成又是难以认识的。在实际活动中，仅仅能从各式各样的因素中把那些最主要的、对结构强度有重大影响的因素区分开来，而且可将它们简便地划分成两个组。从一项工程向另一项工程过渡时可以进行模型试验的，因而也能以明显形式形成对结构强度影响的那些因素和它们之间的联系，可划为第一组。构成第二组的是，由于某些原因对强度影响不能作模型试验的，但其影响可直接或间接表现出来的那些因素。甚至在同一类型工程的两组中，某一组的构成，一般说来也不是固定的。这种构成既可随着对现象本质研究的深化程度，又可根据对结构强度估算精度和工程型号研制阶段具体要求的不同，而发生变化。这时，一部分因素可能从一个组转到另一组。

反映这些因素相互联系及它们对强度性能定量影响的第一组理想因素的总和，就是结构强度的计算模型。就所讨论

的平台而言，计算模型还应包括外部条件、平台结构、建筑型式、使用方式、壳体外部材料，以及其它一些因素在内。

如果说到计算模型的自身，那么对模型的基本要求就是完整性（包括全部主要的模型试验因素）和模型单个组件或构件具有同等的可靠性。目前，对平台强度各种问题的研究深度并不一致。有关结构物在弹性阶段工作的内力问题，解决得最为完善，而在外力方面取得的成就甚微。属于结构复杂节点的焊接部位使用材料的实际工作能力和储备强度的研究工作，开展得更少。至于计算模型单元的组成以及它们之间的联系性质，则基本上不能立即作出选择，而且不能确定唯一的数值。这些都要通过不断修正其相互影响的办法才能形成。例如，若不将它们和外力表现、效应的必然性联系起来，便不可能立即解答哪些外力成分应该输入半潜式平台的强度模型。

如不采取专门措施以调节第二组因素的稳定性和确保计算强度储备的各种条件与限制的实际可行性，则计算模型在具体实现之后给出的计算强度储备，将与实际储备不同。现举例说明。

众所周知，任何工艺都只能保持一定的精度。然而最重要的是，在工厂条件下允许的少量偏差，不应导致焊接部位强度性能的严重降低。

如果操作人员失去能力控制为强度条件所允许的船体纵倾和横倾角，那么当各桩腿被从海底拔出时，它们的结构可能遭到破坏。

半潜式和自升式平台从一个海区向另一海区的转移，将受到浪级限制。如果事先不规定一些措施（例如，应该拥有

足够的各种系统和设备的比功率，以保证平台从作业状态向运输状态和从运输状态向作业状态快速的转变)，如果没有建立专门的气象预报制度，也不制定转移的安全航线等，那么在这种状态下的平台强度设计检验纯属形式主义的举动。

上述问题说明了如下情况，即结构物和平台的强度必须作为一个综合性问题加以研究，而且问题的解决还取决于设计师、建造师和使用人员的密切合作。

第一章 浮动式钻井装置的基本

建筑结构型式及其使用方式

§ 1 开发大陆架的技术工具

在大陆架内寻找石油和天然气产地，查明其贮藏量和实施开采，都要靠各种船舶、浮动式和固定式工具来保证，其中每种工具都完成一定的功能。按照完成工作性质的不同，它们可以分为如下几类。

一、地球物理和工程勘探作业工具

通常，这是一些吨位不大的船舶。它们装有海底地震声学研究使用的成套仪器，钻井深度不大（100~200m），旨在研究形成海底岩层的地质构造。使用这些工具进行第一阶段的工作，即从理论上研究大陆架中有发展前景的地段，获取借以判断有无石油或天然气的间接信息。这类船舶有时要在离岸很远的地方作业。钻井时，按作业条件要求，船舶应保持在一定位置上。在风浪条件下，地球物理作业要求船舶按一定航向运动。

二、勘探钻井工具

属于此类的有钻井船、自升式、半潜式和全潜式浮动钻井装置。这些工具用于深度为 6000~7000m 的勘探钻井，借以确定储油储气地段的分布范围及厚度。钻井船和浮动式钻井装置应该是可移动的，因为作业条件要求它们在勘探产地

的范围内活动，并能向新的作业地段转移。钻探时，这些浮动工具必须保持自己的位置处于井口之上。勘探钻井的时间可能很长（6～8个月）。

三、开采工具

这些工具用于开采钻井和开采出来的石油或天然气的初净化，并将它们输送到岸上或存入水下贮罐中。最有代表性的这类工具是固定式平台。在这种平台上可以完成全套开采作业。有时，也可利用自升式或半潜式钻井装置进行开采钻井。目前，已开始利用水下成套系统开采产地。作业条件要求开采工具长期（在几年内）系泊在一个地点从事作业。

四、保障工具

属于这类工具的有各种辅助船舶：为浮动钻井装置提供钻井管、套管和工艺材料的供应船；浮动钻井装置的拖船；半潜式钻井装置用的运锚船；消防船；浮动敷管驳；在海上油田实施安装和拆除作业的起重船；浮动钻井装置的废油回收船，以及其它船舶。

这类船舶的作业条件是多种多样的。其中某些船，如敷管驳和安装起重船在作业区内滞留的时间相当长，有时要几个星期。通常，这些船具有良好的航海和机动性能，以便在波浪条件下靠近固定式和浮动式钻井装置作业。

§ 2 自升式钻井装置的建筑结构型式

自升式钻井装置是一种适用于 100～120 m 深度内勘探钻井和开采钻井有效而可靠的工具。这种装置有一个浮箱和三根以上的桩腿。当将浮动钻井装置运往作业地点时，应将桩腿升起，并加以固定（见图 1-2）。在钻井地点将桩腿放下，使之触底并插入海底，然后将装有设备和备件的浮箱升

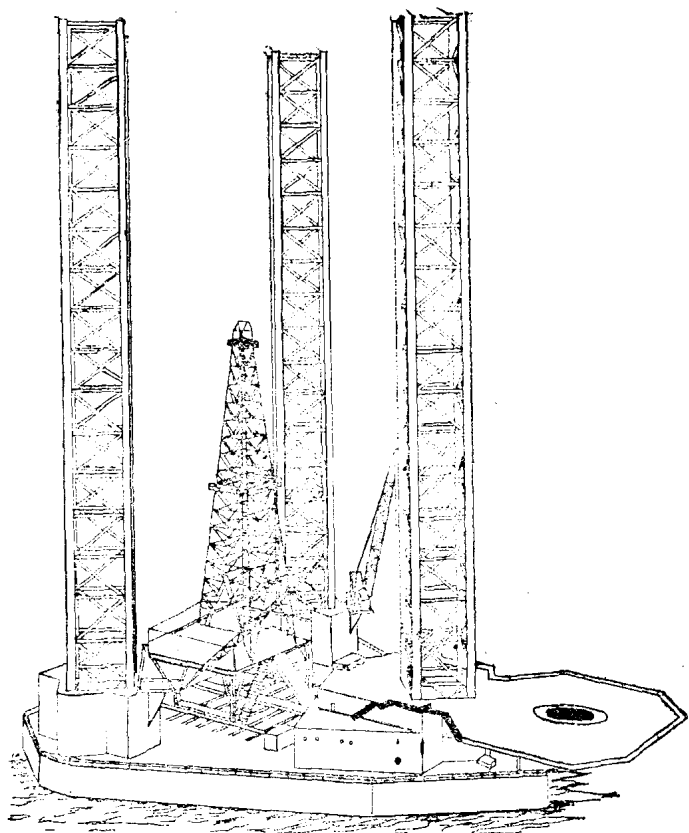


图1-2 转移时的自升式装置

立在桩腿上。借助于专门的液压式或机电式升降机构升起浮箱。钻井时，浮箱位于水面以上不致遭受波浪冲击的高度。目前，世界上使用的自升式钻井装置大约有 200 座，种类也很复杂。

自升式钻井装置可按下列特征加以区别，

- 1) 桩腿根数，

- 2) 桩腿结构和形状;
- 3) 浮箱形状;
- 4) 桩腿下部的结构方式;
- 5) 升降机构类型;
- 6) 钻井架的布置。

现在, 我们来详细研究某些建筑-结构型式及影响型式选择的原因。

根据桩腿数量已知有 3 根、4 根、5 根和更多 (达 12~14 根) 桩腿的浮动式钻井装置。桩腿一般布置在浮箱各角上 (桩腿为 3~5 根时) 或布置在浮箱长边上 (桩腿为 6 根和 6 根以上时)。影响选择桩腿根数的因素很多。这些因素有钻井区计算水深、开采的水文气象条件、海底底质、桩腿插入海底和拔出的方法、载有工艺和船用备件的浮箱升起的总质量, 以及造价的考虑、建造工作量和某一厂商是否已有专利权等。

从表 1-1 上可以看出, 深度在 45 m 以内的不同数量桩腿的装置都得到了应用。在这样的计算深度内, 要保证浮动式钻井装置处于海底的稳性, 并没有多大困难。因此, 桩腿的根数主要是根据生产钻井装置公司的经验及其已有的关于桩腿和升降装置结构的技术方法加以选定。

在大深度上保证浮动式钻井装置的稳性, 却是一个复杂问题, 因为波浪和风载荷的作用效应有颇大的增加。考虑到桩腿长度较大, 按桩腿强度和稳性条件, 它的横截面也相当大, 因此采用少量桩腿是有利的。经过对浮动钻井装置在不同深度上分布情况的分析, 明显地看到这种趋势。在大于 60 m 深度上, 已经有多于 4 根桩腿的装置, 4 根桩腿的装置也为数不多, 3 根桩腿浮动钻井装置占多数。在大于 90 m