

大型海上工程中的关键力学问题

Main Problems on Mechanics in Large-scale Engineering on the Sea

邱大洪

(大连理工大学, 教授 大连 116203)

能源是我国国民经济发展的战略重点,石油、天然气是我国重要的能源之一。我国海洋石油天然气的勘探和开发始于60年代初,首先从渤海开始,其后在北部湾、珠江口、东海、黄海等海区也陆续开展了勘探和开发。海上油气资源的勘探和开发,需要在海上提供面积足够大,适于重型装备进行作业的场地。因此,常常需要建造大型海上工程结构。大型海上工程结构就其力学性能来讲,大致可以分成三类:一类是漂浮在海面上的浮式或系留式结构(如半潜式平台、张力腿平台、单点系泊装置等);一类是固定在海床上的固定式结构(如导管架平台、重力式平台、人工岛等);另一类是可迁移式结构,它们在作业期间固定在海床上,而在迁移时则漂浮在海面(如座底式平台、自升式平台等)。

海上工程所处的环境条件十分严酷和复杂。在

些岩石吸水膨胀、风化等,从而加速其破坏甚至成为破坏的主导原因。

四、解决采矿力学问题的特殊路径

采矿工程不象盖高楼筑大坝,事先做好精密的调查研究 and 力学计算,然后按图施工;矿石是廉价原料,开始只作必要的勘探,许多地质细节和力学数据,是在工程进行中获得的,在工程进展过程中不断调整或修改开采参数,因此从开采中反馈讯息是十分重要的环节。新奥法就是利用巷道收敛的讯息反馈,来指导支护时机取得成功的一例。采矿工程破碎和稳定在时间上的顺序和空间上的布局,往往在很大程度上影响其工程效果。开采完了,工程存在的价值也就没有了,从这个意义上讲,采矿工程具有暂时性。

力学的理论,要回答采矿工程实施过程中,要收集哪些讯息才是有效的,和便于指导下一步施工的。平常位移比应力要更易于测量,更易于取得准确数据,声发射也比较便于进行,如何利用这些资

料来指导工程实践是一个值得研究的问题。

我国海域,影响工程结构力学行为的最重要的几个环境因素是风浪、流、冰、海床的工程地质特性和海域的地震。弄清这些环境因素及它们与工程结构相互作用中的力学问题将是提高工程设计可靠性和经济性的一项有重要意义的基础性研究。此外,海上工程的建设和海上油气资源的开发还将带来一系列的环境污染问题需要解决。

海上波浪主要是由风的作用而形成的,而后发展成风浪,并向风区以外传播形成涌浪。它们一般是不规则的和多向的,通常可以用海浪谱来描述。目前研究得较为成熟的是不考虑方向分布的海浪频谱,考虑方向分布的方向谱的研究也有一定进展,国外已提出不少频谱和方向谱计算模式,但由于海区环境的复杂性,对我国海域的适用性(特别是沿岸浅海和极浅海区)尚待进一步研究。国内也

料来指导工程实践是一个值得研究的问题。

采矿有许多影响因素和未知条件,它又是远离平衡的不可逆过程,岩体结构性质显然是非线性,很可能会出现浑沌现象。采矿也不需要奢求精密结果,有个十有八九的可靠性就不错了,昂贵的代价、旷日持久的计算难受欢迎,力学分析的可靠性是个值得研究的问题。

五、采矿工程中现实的重大力学课题

笔者认为,近期应优先资助的采矿工程中的重大力学课题有以下几个方面:油井钻凿轨迹制导(一般钻井);地层致裂和渗流(遇采油、瓦斯、地热时,测地应力所需);自然或强制崩落矿石的规律;采场地压预报和控制;软岩巷道的维护;露天陡坡的可靠性及其监测;岩爆机制及其预防;开采引起的地表沉陷和对构筑物的影响;硬岩非爆炸破碎方法;岩石的爆破力学和矿岩的粉碎力学。

(责任编辑 刘先曙)

曾提出过一些计算模式,但都不够成熟。

关于风浪的形成和发展理论,目前的计算模式可考虑风能的输入、波浪的耗散和波、流间的相互作用。此外,波浪与水流的相互作用在国内外虽也得到广泛的研究,但基本上限于稳态波与稳态流的相互作用问题。实际上,海上风对水体的作用既能产生风浪又能产生风吹流。风吹流是一种剪切流。风能的输入一方面不断使风浪增大,同时也使风吹流的强度和传播深度不断加大。目前的理论和计算模式一般忽视了风吹流和风浪二者之间的非线性相互作用。此外,通常还有潮流的作用。因此,发展一种把风浪的形成和发展、波浪和水流(包括风吹剪切流)相互作用综合在一起的理论和计算模式是很有实际意义和学术价值的。浪、流、水位的联合分布,对于确定海上工程的设计环境参数是十分重要的。至目前为止,国内外确定这些参数时,都是对上述各环境因素分别根据历史资料进行推算,这种传统的分析方法不能正确合理地确定设计参数。因此,寻求一种在给定的风场下,可以计算同时出现的浪、流、水位场的风—浪—流—潮耦合预(后)报模式也是有实际意义和学术价值的。这些研究可以为风浪的预报和获取海洋工程建设基础资料提供更为精确的新一代计算模型。

波浪的破碎对海岸和近海工程有重大意义,其机制的复杂性是学科上一个很大的难题。它对于海岸的侵蚀和变形及海上工程的稳定和安全都有重要影响。国内外对破坏的形态、机理及其动力荷载虽有不少研究,但以实验性研究为多,尚无理论上的突破,因此距离问题的解决无论从理论上或是实用上都有很大差距,有待进一步探索和研究。

一个海区的波浪、水流特征是和这个海区环境的自然条件(岸线和海底地形、地貌、海床工程地质、气象条件对这个海区的影响等)密切相关的。它对这个海区的工程建设有决定性的作用,这是一个方面。但工程建设人为地改变了海区原有的环境条件,也将使该海区的波浪、水流发生变化,反过来使原有的自然条件产生局部的或大范围的变化。

进入浅海区的波浪对海床泥沙有强烈的掀动作用,这种作用随着水深变浅而越加显著。在建筑物周围,波浪水流可能局部加强,也可能形成旋涡,造成局部冲刷。当有水流(潮流、风吹流、波浪流、质量输送流)共同作用时,由于水流对泥沙的搬运作用明显地大于波浪,对海床的冲刷作用将成倍地加大,威胁建筑物的安全。

波浪、水流对固定式海上工程结构的作用力的研究,国内外有不少成果。比较成熟的是规则波和均匀流对海工结构作用的研究。但实际海况是不规则海浪和非均匀流,而不规则波(频谱和方向谱)和非均匀流对海工结构作用的研究则有待深入。规

则、不规则海浪和波、流联合作用下浮式或系留式工程结构及其锚泊系统的动力响应和动力荷载,特别是二阶漂移力的研究仍然是目前国内外学术界关心的热门课题。

波浪对工程结构的作用,除了直接作用在结构本身的波浪力外,由于波浪在海床和基础内引起的渗流,也将给工程结构以渗流荷载,有时是不可忽视的。关于这方面的研究,国内外有了一些成果,但仍有待深入。

渤海的冰,在寻常年份,虽然单层冰的厚度可能不很大,但由于冰层在潮的作用下可以形成堆积冰,其厚度在海岸或建筑物附近可达数米,具有很大的破坏力。冰层在潮流作用下挤压在工程结构上,一方面使结构产生变形,另一方面冰层与工程结构接触的局部将承受挤压力,当这个挤压力超过冰层的局部挤压强度时,将引起冰层的碎裂,使结构在瞬间不再受挤压而回弹,形成结构强烈的振动,这种振动是周期性的,往往使工作平台上的设备不能正常操作运行,人员安全受到威胁。因此,冰振机理及其控制是冰力学研究中一个十分受人注意的研究难题。此外,冰层对结构的挤压力和流冰对结构的作用,仍然是作用在工程结构上的冰荷载研究中的一个核心课题。冰及其工程特性,在一些地处北方的国家如挪威、俄罗斯、加拿大、美国等都有不少的研究。由于冰的形成及其力学特性与当地的气候特点、海水的密度及其组成、冰的温度及加荷速率等地域性特点有关,因此,国外的研究成果虽可借鉴,但不能完全适用于我国。国内对渤海冰的研究,虽然已开展了多年,但远未解决工程建设中所需要的基础数据(如设计冰层厚度、冰的强度等)和设计理论。因此,上述的有关冰和冰力学中的种种问题,仍有待深入进行研究。

海床的工程地质特性对工程建设的影响很大,在我国极浅海海区,各处滩海土的性质有很大差异,有的是砂性的,有的是淤泥质的。由于进入这些海区的运输条件十分困难,因此目前对于我国极浅海海区滩海土的工程地质基础数据和区域工程地质规律及分区尚待进一步的调查研究。至于滩海土不同于陆地土的静、动力学特性以及这些特性在扰动(风浪、地震、干湿交替)作用下的变化则研究得更少,由于滩海土特性的地域性,国外的研究成果不能完全沿用我国。不同形态和组成的海床在风暴海况、地震等动力因素诱发下可能引起海床不稳定(滑移、液化、软化)的机理和预测方法,也是对海床工程地质特性研究中的一个重要内容。复杂地质条件的海床条件下,工程结构浅基础和深基础(含桩基础)的承载力及稳定性分析与地基土体应力及变形估算,是海上工程结构设计能否成功的一个关键性因素。考虑工程结构与波浪、地基相互作用的设计

理论和方法的研究,可以避免目前海上工程结构设计理论中单因素分别考虑的缺陷。

陆上的强震地面运动在我国已作了很多研究,但对于我国海上强震海底地面运动至今研究甚少。因此,对我国海域的近海环境地震的危险性分析、设计地震动参数及频谱特性的研究,须给以重视。考虑上层海水作用的强震,海底地面运动的确定性和随机性计算模型是研究海上地震作用的核心内容。工程结构在地震作用下的反应的研究,在陆上高层建筑、水工结构、道路桥梁等领域已广泛开展。结合海上工程结构的特殊环境,对结构和海床的反应、稳定性及破坏机理,尚有待进一步的研究。

海洋污染问题在发达国家早已引起关注,自50年代以来,已经作过许多研究工作,而我国大约从80年代开始起步。

虽然国内外在海洋污染方面作了大量的研究工作。由于问题的复杂性和地域自然特性的差异,迄今为止,尚未见到一个受到公认和肯定的、功能齐全、理论完善的近海水域水质模型。

从文献报道的研究成果来看,绝大多数海洋水质模型存在重大缺陷。例如,大多数模型都是针对大尺度的海域,若用于中小尺度近海水域则过于粗糙,因为它们所忽略的因素过多,几何边界也过于简化。如许多模型都不计及潮流和风的影响,把物理过程视为定常情况处理。大多数模型都是针对浅海水域的深度平均值模拟,对边界变化曲折、底部地形变化较大的海区难以符合实际。至于对水动力学控制方程的封闭,则更是极为粗糙简单。众多研究者所做的水质模型对海洋污染物的物理转移、化学转化、生物降解三种最重要因素尚未统一考虑,各种因素(三者)对不同污染质的作用情况亦未分别考虑,这就必然限制了模型的适用范围和对象。此外,绝大多数水质模型均未计及面源污染。

到目前为止所收集到的信息,英国水利研究公司(HR Wallingford)已研制达10年之久的海洋水质模型算是功能较全、便于应用的最先进的模型,但该模型在理论上存在重大的缺陷。主要问题有二。一是把水动力学方程和水质方程分别孤立求解而不是耦合求解。也就是先解流场,而后以此为依据解浓度场,这只能用于浓度场对流场不发生影响的特定情况而不是普遍情况。二是在控制方程的封闭上采用了最低级最粗糙的办法。

综上所述,对下列大型海上工程中的关键力学问题的基础研究应该提上议事日程。

1. 海上工程环境因素的基础研究

(1)我国部分海区的海浪频谱、方向谱及浅水中波要素的统计性质。

(2)极浅海区波浪及其谱(频谱、方向谱)的变形。

(3)波浪破碎的形态、机理,破碎后的波浪及其谱的变形(涉及波能损失、湍流、空气掺混等)。

(4)风—浪—流—潮耦合预(后)报模式研究。

(5)风、浪、流、水位的联合分布,极端波要素的计算方法,设计波浪参数的合理确定。

(6)渤海冰层(含堆积冰)的形成机制,其几何、物理和力学特性及其在潮流作用下的运动规律。

(7)近海环境地震危险性分析,设计地震动参数及频谱特性研究。

(8)强震海底多维地震及其空间分布规律的计算模型。

(9)渤海湾滩海土的工程地质基础数据和区域工程地质规律及分区的调查研究。

(10)渤海湾滩海土的静、动力学特性及工程性质研究。

(11)地震及风暴海况作用下,海床失稳机理和永久变形的预测及安全评价。

2. 工程与环境因素相互作用的基础性研究。

(1)工程建设(人工岛、海堤、平台、防波堤等)附近波、流场的变化及由此而引起的工程建筑物附近海岸和海床的冲淤变化。

(2)固定式工程结构(人工岛、墩柱、直墙、斜堤等)在规则、不规则海浪和波、流联合作用下的动力荷载和稳定性。

(3)浮式或系留式工程结构(单点系泊装置、半潜式平台、张力腿平台、铰接塔、储油轮等)在规则、不规则海浪和波、流联合作用下的运动响应和动力荷载。

(4)移动式工程结构(坐底式平台、自升式平台、适合早期生产的可搬迁式平台)在规则、不规则海浪和波、流联合作用下的动力荷载和稳定性。

(5)波浪破碎对工程结构的作用力。

(6)波浪在海床和基础内引起的渗流及其对工程结构的作用力。

(7)结构在波浪、水流作用下的流—固耦合研究。

(8)冰荷载、冰振机理及控制。

(9)结构在地震、海浪等动荷载作用下的土、固、流耦合响应研究。

3. 海域水质污染与控制精确预报系统的基础研究

(1)波浪、潮流、海水组成等作用下,特征污染物稀释、扩散、迁移、转化、降解等规律。

(2)三维、非定常、适合于中小尺度海域,考虑物理、化学、生物综合作用的水质模型。

(3)对所研究海域水质污染的趋势预报(空间的和时间的)及其动态图形显示。

(责任编辑 刘先曙)