

混凝土近海平台的设想和方案

华南工学院

蔡 益 銑
李 淑 敏

本文对我国近海海底油气资源的开发所采用的近海技术提出了建议和方案。从我国实际情况来看,发展混凝土平台比起钢的来说优点多于缺点。问题在于我国海岸线上缺少深水港、海湾和航道的特定条件下如何发展近海混凝土平台技术。这就要求我们来进行它们的方案研究。采用什么样的混凝土结构的型式或体系,采用什么样的施工方法和采用什么样的海底地基处理,才能最符合我国目前实际情况下加速我国的近海海底油气资源的开发。对于探索这个问题的答案,这里从不同的施工方法,不同的结构型式和体系和不同的海底地基处理,提出了许多不同的方案,包括可以移动的混凝土平台方案,来支持这里所提出的看法,以便对所提的方案来进行研究、比较和选择,以推进我国近海工程事业的发展。

一、前 言

近十年来混凝土近海平台工程在北海的实践经验随着它的迅速发展而丰富起来,这些经验在发展我国的近海平台事业时值得借鉴。

就混凝土的工艺而言,建国以来从大量混凝土浇注的大坝,到一个农村建筑的小预制件,从几十米厚的大坝到几公分厚的薄壳,从地下很深的人防建筑到很高的混凝土烟囱和冷却塔等高耸建筑,我国累积有三十多年的实践经验。就混凝土平台所需要的水泥而言,则从国家投资的大水泥厂到公社办的小水泥厂在我国各地都有,大量生产着400到500标号的硅酸盐水泥。再就技术要求不很高的技术工人而言,则我国有着丰富的人力资源,这些都是对发展我国混凝土近海平台的非常有利条件。

而且混凝土平台的用途多,如钻、采、储等;甲板负荷大,一个平台可以顶上好几个钢的平台;它的施工也没有钢的那样娇气,要考虑的问题也没有钢的那么多且杂,象脆断、疲劳、温度、运输和安装时的初内力等,而对于这些问题目前我们还未很妥善解决,容易出现事故。此外,混凝土平台一旦下沉就位,它就会立即提供海底地基的抗侧移和抗倾倒的能力,或者说它能够立刻提供安全,但是钢的则不是这样,必须等待送桩大致完毕。加上节约钢材,施工建设速度快,寿命长,防火防锈蚀好等,它的优越之处较多。

当然混凝土平台也有它的缺点,象需要大量的模板、砂石、水泥和人力等。但依照我国的经验,可以用钢丝网水泥来替代模板,或者采用预制件和滑模的施工方法来解决。至于砂石等则可以就地取材来解决。

问题是在我国漫长的海岸线上缺少象北海周围许多国家,如挪威、英国等拥有那样

• 1981年8月26日收到。

的深水港、湾和航道。因此在借鉴北海经验时应该特别注意，我们应该如何设想适合这个具体情况的混凝土平台，应该采用什么样的结构体系或型式，怎样进行施工以及如何处理海底地基等，所有这些都是发展我国混凝土平台事业时首先应该加以反复深思和探索的。

二、设想和方案

我们所设想的混凝土平台方案有两个类型，一类是象目前北海所采用的固定式混凝土平台，另一类是可以移动的混凝土平台。后者一旦完成了任务，可以让它再漂起，拖到另一个指定海域再进行投产。

不论是固定的还是可以移动的混凝土平台，为了适应浅海港、湾和浅航道的要求，它的拖航吃水应该是尽可能地浅。这个任务需要依靠结构型式或体系的选择来完成。

就结构而言，一个混凝土平台可以分为甲板、腿柱、罐体和基础几个部分。

甲板结构可以是钢的也可以是混凝土或预应力混凝土的。它可以是整个甲板（包括设备），在湿船坞中或搁在两条驳船上，借混凝土罐腿的浮起顶住而焊接成平台整体，象北海的Ninian型和Condeep型平台。也可以是沉在海湾内平台的腿柱上装配甲板，象Andoc型平台。至于结构系统可以是桁架、管架、板梁和箱形梁等。当然为了减轻它自身重量，可以尽可能使之成为空间网架系统，这里不详细讨论。

下面我们将从三个不同的角度来看腿柱和罐体结构型式的选择。

1. 在探索腿柱和油罐的更好结构型式时，我们设想它既是腿柱又是油罐。作为腿柱它负担着从甲板传来的力，我们希望它在竖向力 P_v （图1）作用下应该是一个等强度壳体。作为油罐，我们希望它在满足储油量的要求下尽可能减小波浪压力对它地基稳定的影响。为了满足前者， r 可以取为¹⁾

$$r = r_0 \cosh(z/r_0), \quad r_0 = P_v / (2\pi t[\sigma]) \quad (1)$$

这里 t 是壳厚， $[\sigma]$ 是混凝土强度。为了满足后者，我们希望分布在壳体上水平波浪力的合力离开海底尽可能低，当水平波浪力按照 z 的2次增加时，半径 r 可取为

$$\left. \begin{aligned} r &= -\frac{K_D}{K_m} e^{-kz} + \left[\left(\frac{K_D}{2K_m} \right)^2 e^{-2kz} + r_0^2 \left(1 + \frac{K_D}{K_m r_0} + Az^2 \right) e^{kz} \right]^{\frac{1}{2}} \\ A &= \frac{1}{H^2} \left[\left(\frac{r_H}{r_0} \right)^2 e^{-kH} - 1 + \frac{K_D}{K_m r_0} \left(\frac{r_H}{r_0} e^{-2kH} - 1 \right) \right] \\ K_D &= 26\omega^2 h^2 C_D, \quad K_m = 52\pi\omega^2 h C_m, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \end{aligned} \right\} (2)$$

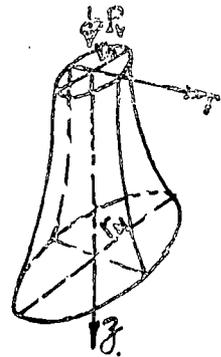


图 1

1) 蔡益毓，浅海大陆架上的混凝土平台，华南工学院学报，第6卷第4期，1979。

ω 是波浪的频率, λ 是波长, h 是波高, r 为柱体的半径, C_D 和 C_m 各为阻力系数和惯性力系数。

依照这个看法所做的方案如图2所示。

2. 在寻求腿柱和油罐的更好结构型式时, 我们也可以设想它既负担甲板传来的荷载, 又要使波浪力尽可能小, 而且还要使支承甲板的面积最大。这可以由开孔的柱体来解决。我们知道, 惯性力在波浪力中占主导地位, 而一个封闭柱体的惯性力是与它的半径 r 的平方成比例, 它的极值 f_m^C 可以写为

$$f_m^C = K_m r^2 e^{-kz} dz \quad (3)$$

但是一个开孔柱体的惯性力则与它半径 r' 成线性关系, 它的极值可以写为

$$f_m^0 = K'_m r' e^{-kz} dz \quad (4)$$

式中 $K'_m = \pi \alpha t \omega^2 h C_m$, α 是孔洞面积与柱体面积之比。我们知道, 为了支承甲板的工作和负荷, 需要增加 r 。但是从(3)看到, 增加 r 时波浪力将以 r^2 相应增加。但是对于开孔柱体, 则从(4)看到, 它以 r 相应增加, 这比起封闭型来说要小得多。下面我们举例来看清同一波浪力对这两个不同类型结构作用的差别。设壳厚 $t = 60\text{cm}$, $r = 4\text{m}$, $\alpha = 0.5$,

则从(3)和(4)可以看到, 当 $f_m^C = f_m^0$ 时,

$$r' = r^2 / (2t\alpha) = 26.6\text{m}$$

从这里我们可以清楚地看到, 孔洞型壳体的半径为26.6m时与封闭型壳体半径为4m时接受几乎是同等的波浪力。这就是孔洞型结构消浪的实质所在。它使我们可以选择甲板的跨度更大而接受更小的波浪力, 从而得到地基更稳定的好处。至于孔洞型结构中的罐体则应该放在它的最底部, 因为该处的波浪力最小。依照这个看法所做的方案如图3所示。

3. 在寻求腿柱和油罐的更好结构型式时, 我们也可以设想它既是节约模板(象采用滑模施工或预制装配)而又是拖航吃水浅的。这就要求我们对容易滑模施工和易于装配的不同壳型和体系进行腿柱和罐体的不同组合, 成为不同的体型来满足除了环境荷载引起的壳体强度和整体地基的稳定外, 还要满足浅港湾和浅航道的要求。依照这个看法所做的方案如图4 a—4 c所示。

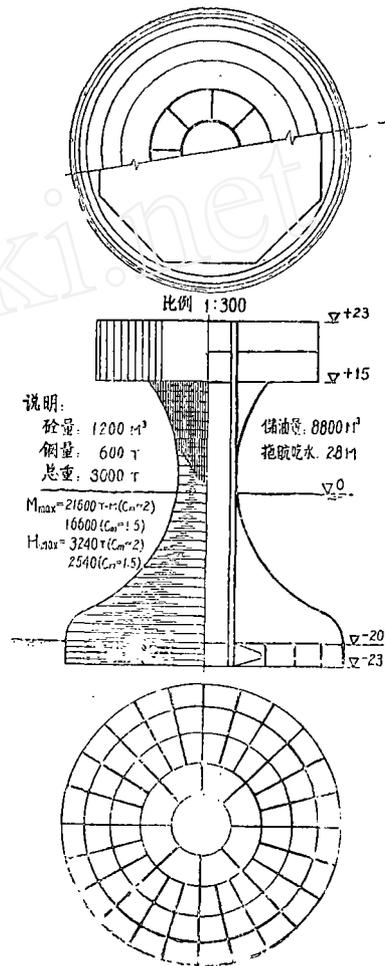


图 2

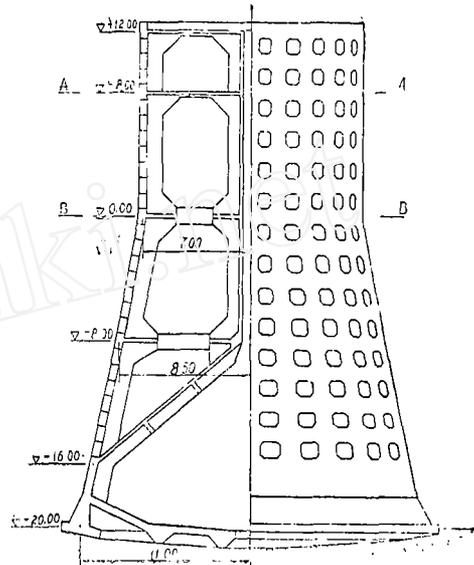
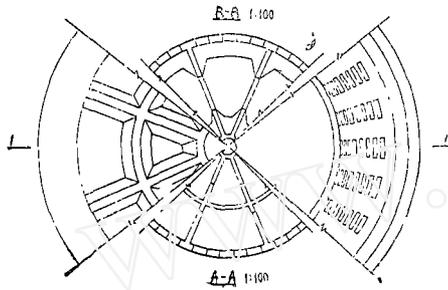


图 3

50M水深平台
 总重 21,000T 比例 1:500 储油量 130,000M³
 桩重 8,350M³(2400) 拖瓶吃水 8.5M
 钢量 1,670T (包材料费)

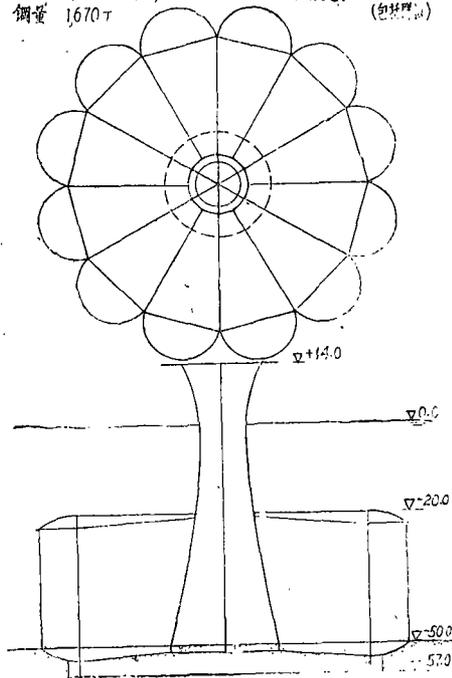


图 4 a

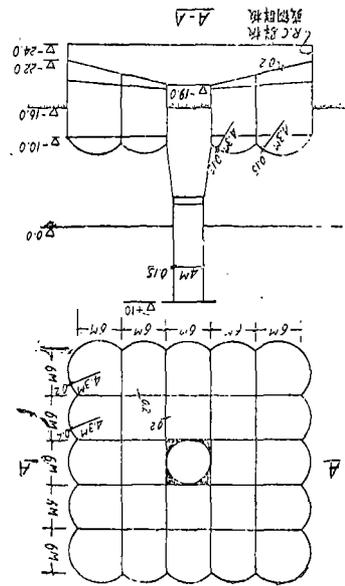


图 4 b

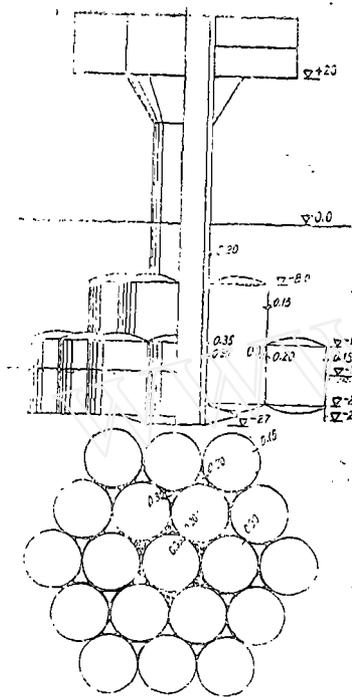


图 4c

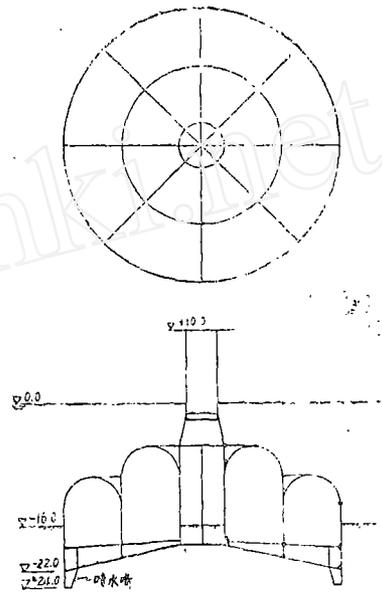


图 5

便于进行滑模的除了板壁、柱壳、锥壳外，还有可以进行水平方向滑模的环壳，它对于调整基底使得满足浅港湾和浅航道要求时显得特别起作用。依照这个看法所做的方案如图 5 所示。

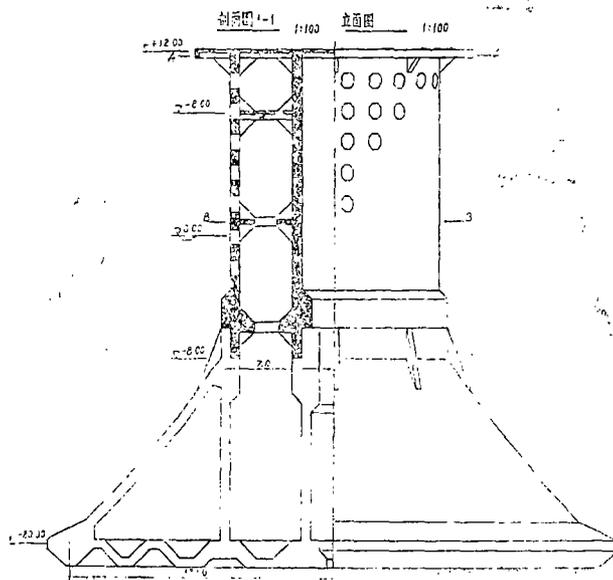


图 6

图6所示为腿柱和罐体在水上顶接方案。

对于基础结构，它可以选为罐盖的同一型式，如扁球壳，也可以选为支承在网格梁上的扁壳。当然也不排除空底或部分空底的网格板系统作为基础。

三、可移动平台方案

对于分布在较广的海域中许多小块的油田，象目前我国渤海湾内某些海域的情况，如果安放固定的平台则感到划不来，但是弃之亦觉可惜。如何开发这一类油田，显得特别令人感到兴趣。我们认为它可以借可以移动的混凝土平台来解决。我们设想它可以从一个海域到另一个海域不断地进行下沉和浮起，来完成许多小块油田的钻采和储运任务。为了这个目的，我们采用了一个帽桩系统。帽头部分如图7所示，是一个较大的钢制壳锚，连系支承于一个大型的钢制管柱上。管柱和平台罐体腿柱相连，它可以上升或下降。壳锚周围钻以冲水的咀，以水冲帮助它伸入海底泥中或从泥中提升起来。

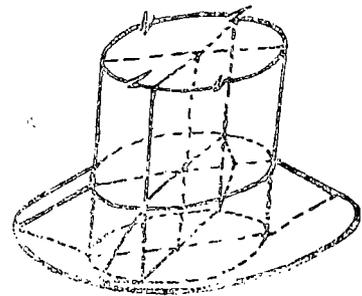


图 7

这个帽桩系统可以用来替代一般罐中底部所填的砂石压仓。当拖航或下沉时，它是通过下桩帽起到罐外加压仓的作用来增强它的稳性，如图8a所示。

当平台着底后，桩帽借液压送入土中，同时在它的周围助以水冲，它所锚住的土重也起到罐外加压仓的作用来增强它的稳性，如图8b所示。入土后的桩帽还可以提供被动土压力来抗水平侧移。依照这个看法所做的方案如图9a和图9b所示。

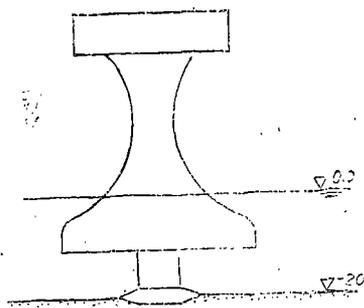


图 8a

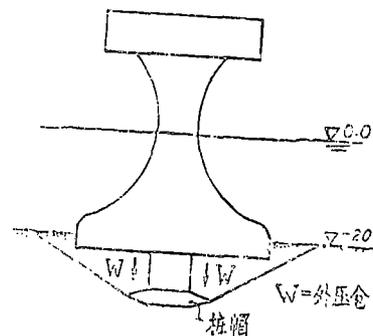


图 8b

在这里我们可以注意到，所有这里所提的方案除了水深为20m的是按照波长=135m，波高=9m，周期=9.8s进行考虑的，其他不同水深的不同方案都是按照波长=300m，波高=15m，周期=13.7s进行考虑的。

这里所提的这些方案反映了不同水深(从20m到90m)，不同的结构型式或体系，不同的地基处理和不同的施工方法，提供我们进行比较、研究和选择。

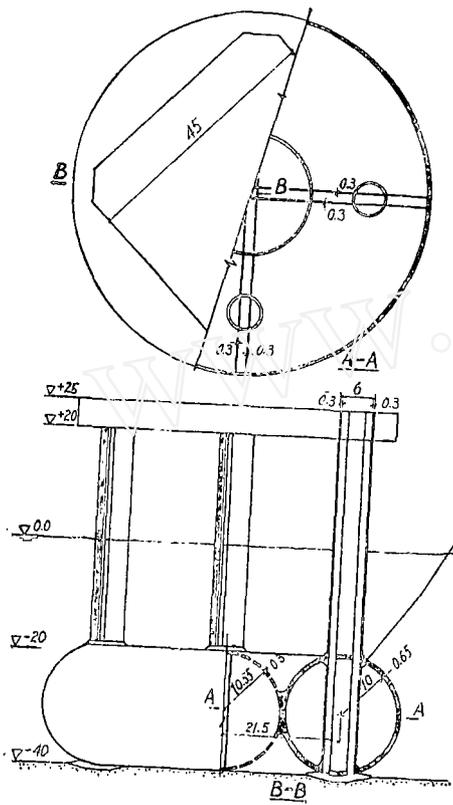


图 9a

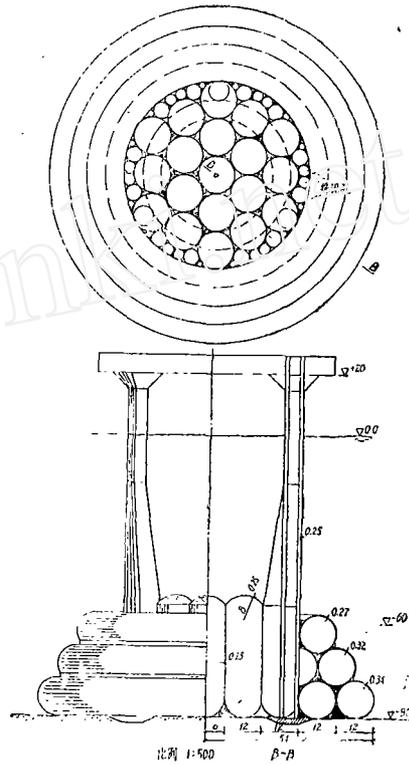


图 9b

四、施工方案的设想

对于混凝土平台的大量生产，我们可以设想平台的建造先是在空心浮板上进行。如图10a所示，先在浮板上浇一个混凝土底盘，即平台的底部，或者在浮板上用预制体拼装好一个底盘，然后在浮板中灌水让它沉下，同时拉离浮在水面上的底盘如图10b所示。接着在浮在水面上的底盘上继续浇注混凝土或继续装配预制体，让它边沉边施工，如图10c所示。一直到施工完毕把平台做完，如图10d所示。当底盘拉离浮板的同时，可以让浮板再浮起以便进行第二个平台底盘的施工。这样，我们有几个浮板就可以对标准化了的混凝土平台进行大量生产。

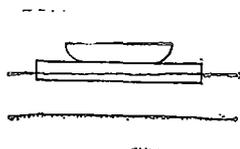


图 10a



图 10b

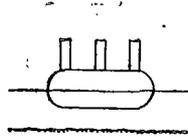


图 10c

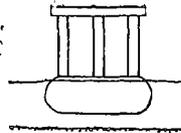


图 10d

浮板施工可以在避风条件较好的湾内海域进行。我们也可以把浮板放在岸边来进行施工，这样，材料可以从陆路运到浮板上，当然事先要对岸边进行整理。浮板可以是钢制的。如果水深允许的话，也可以利用废船或驳船来替代。在它们的上面搁置一个梁板系统来进行同样的施工。

对于海底地基的处理，除了下帽桩，我们认为可以采用螺旋桩或戴帽的螺旋桩和附加水冲咀等方法增强平台的稳性。还可以在基础底装置吸泥设备来达到把平台基础埋入土中的目的。也可以采用平台下沉就位前在海底底址邻近区进行爆炸，来达到清除该区浮泥或淤泥，同时又可以增强该区地基下卧层的密实性。这样，平台可以在海底被埋得更深和更稳固。

波浪和波载*

中国科学院力学研究所 晏名文

波浪是海水的基本运动形态，是海岸设施、近海结构和海上船舰所遇到的基本海况。因此波浪研究具有重要的理论和实际意义。

大体上说，波浪研究可以分为两个阶段。从19世纪中叶到本世纪50年代为第一阶段。在此期间主要运用流体动力学理论处理波浪，目的是用数学工具描述波浪的基本运动学特性。于是发展了各种确定性波浪理论（包括线性和非线性理论），求出基本方程的各种解析解和数值解。最近无论在极端非线性问题，还是在计算准确度和适应性方面，均取得了相当大的进展。本世纪50年代以后为第二阶段。在此期间建立并发展了波浪统计理论，以统计学和流体动力学为基础，按随机过程描述波浪，从而使实际波浪的分析和预报水平大大提高一步。这方面的工作在1960年前后达到高峰。可以说，到目前为止，大多数容易处理的海浪特性已经弄清楚，剩下许多困难的现象则需要运用复杂的数学力学工具进行分析研究。这样一些理论也许非常繁难而无法应用。所以最近又有返回到有效波高、有效周期等简单概念的趋势。

回顾历史，近代波浪理论确实已经取得巨大进展，但是，仍然有诸如波浪生成和碎浪动力学这样一些重要的科学课题需要进一步解决，完全实现海浪预报也还是一个繁重

* 1981年6月12日收到。