

第 25 章 沉井沉箱技术

25.1 概述

随着城市开发建设的不断深入,城市土地资源越来越稀缺,城市地下空间的开发将越来越成为未来城市发展的趋势和主流方向。在城市中心建筑物密集区开挖建设大深度地下空间,往往面临施工场地狭小、周围重要设施众多的情况。同时,地下施工在开挖时往往会引起地下水位的降低,周围地基的移动与下沉,严重时可能会引起周围地基的塌陷,给邻近地区带来比较严重的影响。另外,市区地铁、地下高速道路及竖井风井系统工程的施工往往受到各方面的限制。相比之下,沉井与沉箱工法在许多情况下能适应以上这些方面的需求,因而在工程中具有不可替代的竞争力及广泛的应用前景。

25.1.1 沉井与沉箱的定义、特点、用途及应用范围

1. 定义

沉井是修筑地下结构和深基础的一种结构形式。是先在地表制作成一个井筒状的结构物,然后在井壁的围护下通过从井内不断挖土,使沉井在自重及上部荷载作用下逐渐下沉,达到设计标高后,再进行封底。

沉箱基础又称之气压沉箱基础,它是气压沉箱来修筑结(构)筑物的一种基础形式。建造地下结(构)筑物时,在沉箱下部预先构筑底板,在沉箱下部形成一个气密性高的钢筋混凝土结构工作室,向工作室注入压力与刃口处地下水压力相等的压缩空气,使其在无水的条件下进行取土排土,箱体在本身自重以及上部荷载的作用下下沉到指定深度,然后进行封底施工。

2. 特点

- (1) 沉井与沉箱整体刚度大,抗震性好;
- (2) 与地下施工相比更优越,地质适用范围更广;
- (3) 沉井与沉箱结构本身兼作围护结构,且施工阶段不需要对地基作特殊处理,既安全又经济;
- (4) 施工对周围环境影响小,尤其是气压沉箱工法,更适用于对土体变形敏感的地区;

3. 用途及适用范围

沉井与沉箱在工种中的应用已有百余年的历史,早在 1841 年法国工程师特利其尔(Triger)就提出用气压沉箱方法施工桥墩,1849 年首次应用成功,1900 年俄国工程师提出用钢筋混凝土的沉箱。20 世纪 30 年代,莫斯科及西欧的地下隧道、美国的桥梁基础均相应采用了沉井或沉箱结构。自 20 世纪 50 年代起,我国已将该技术应用于各项工程中,其体积从直径仅 2m 的集水井到巨大的泰州长江大桥中塔沉井(58.4m×44.4m×76m),为使沉井下沉记录能够不断被刷新,各种新型施工技术被开发研制并应用于实际工程中,从最早 1946~1963 年间利用喷射压缩空气和触变泥浆下沉 130m,到江阴长江大桥北锚沉井喷射高压空气减阻法下沉,以及振动法下沉技术,上述技术措施的不断革新都带来了良好的效果。

气压沉箱诞生的初期包括我国过去的沉箱施工也主要是以人工为主,沉箱下部工作空间小、气压高、温度大、噪音大,条件比较艰苦,又比较危险,工作效率低下,由于减压顺序的控制不当容易患较严重的职业病(称为沉箱病)。自进入 20 世纪 60 年代以来,不断对该工法进行革新和改良,使其进入了无人化、自动化施工的时代,同时在沉箱病的防治上有了新的改进,使得气压沉箱这一古老的施工技术得到了新生。2007 年,上海市基础工程有限公司对我国传统的气压沉箱技术进行集成创新,采用国内自主研发的气压沉箱无人化遥控施工系统,通过在沉箱工作室安装可遥控操作的自动挖机,地面操作人员通过监视系统遥控操作取土,并通过出土系统将土排出箱外。整个施工过程可实现无人化施工,并将该成套技术成功应用于国内首例远程遥控气压沉箱工程—上海市轨道交通 7 号线浦江南浦站~浦江耀

华站区间中间风井施工，取得了显著的经济效益与社会效益。

随着城市地下空间的不断开发，需要越来越多在密集的建筑群中施工，使得在施工中如何确保邻近地下管线和建筑物的安全提出了越来越高的要求。下沉施工工艺的不断开发和创新，即使在复杂环境下进行施工作业，周围地表变形也仅趋于微量，故此，沉井（箱）必将以它的优势在日后的桥梁工程、市政工程给排水工程、隧道工程中得到充分的运用。

本章就软弱土层中的沉井与沉箱在下沉中防止突沉、控制终沉以及减少对地层扰动等在重要施工技术问题，引用近些年来工程实例作些新的探讨。

25.1.2 沉井与沉箱的分类、构造、施工流程及优缺点比较

1. 沉井

(1) 沉井分类

a. 按平面形状分：沉井的平面形状有圆形、方形、矩形、椭圆形、端圆形、多边形及多孔井字形等，如图 25-1 所示。

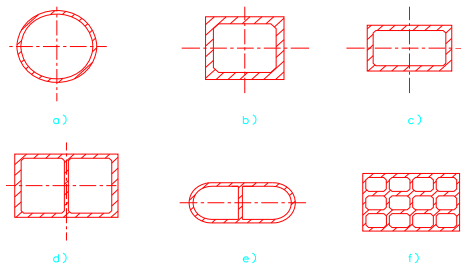


图 25-1 沉井平面

a)圆形单孔沉井；b)方形单孔沉井；c)矩形单孔沉井；
d)矩形双孔沉井；e)椭圆形双孔沉井；f)矩形多孔沉井

b. 按竖向剖面形状分：沉井按竖向剖面形式分有圆柱形、阶梯形及锥形等，如图 25-2 所示。

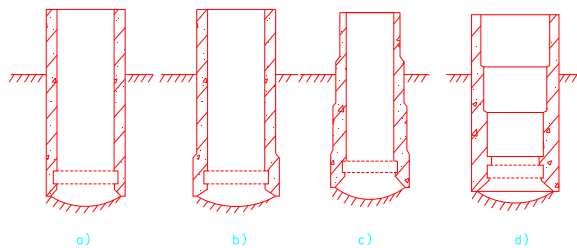


图 25-2 沉井剖面图

a) 圆柱形；b)外壁单阶梯形；c)外壁多阶梯形；d)内壁多阶梯形

c. 按构成材料：可分为混凝土沉井、钢筋混凝土沉井及钢沉箱（包括钢板沉井及钢壳沉井）。

(2) 构造

箱体结构基本包括：井壁、刃脚、内隔墙、井孔凹槽、底板、顶盖等。

a. 井壁

井壁是箱体的主要受力部位，必须具备一定的强度以承受井壁周围的水、土压力。此外，为克服下沉时的摩阻力，井壁须有一定的重量，其厚度一般为 0.3~2 m。

b. 刃脚

刃脚的作用为切土下沉，故必须有足够的强度，以免破损。通常称刃脚的底面为踏面，踏面的宽度依土层的软硬及井壁重量、厚度而定，一般为 15~30 cm，刃脚侧面的倾角通常为 45°~60°。刃脚高度一般应综合考虑沉井封底方式、便于抽取刃脚下的垫木及土方开挖等方面。湿封底时高度大些，干封底时高度小些。其构造如图 25-3 所示

c. 内墙、井孔

内墙即为箱内纵横设置的内隔墙，可提高箱体整体刚度。井壁与内墙，或者内墙和内墙间所夹的空间即为井孔。内墙间距一般不超 5~6 m，其厚度一般为 0.5~1 m。

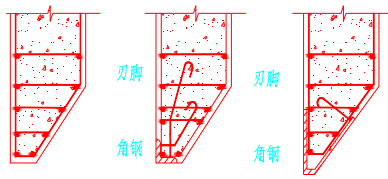


图 25-3 刃脚构造

d. 凹槽

凹槽位于刃脚内侧上方，目的在于更好的将井壁与底板混凝土连接。通常凹槽高度在 1 m 左右，凹深 15~30 cm。

e. 底板

底板作用为防止地下水涌入抵抗基底地层反力，通常底板为两层浇注的混凝土，下层为素混凝土，上层为钢筋混凝土。

f. 底梁和框架

当不允许在大型沉井沉箱内设置内隔墙时，为保证箱体具有一定的刚度，可在底部增设底梁，或者在井壁不同深度处设置若干道由纵横大梁构成的水平框架，以提高整体的刚度。

g. 顶盖

顶盖即为沉井封底后根据实际需要，井体顶端设置的板，通常为钢筋混凝土或钢结构。

(3) 施工流程

1. 沉井施工的基本程序如下：

- (1)下沉前的准备：包括平整场地、定位、基坑开挖、搭设施工平台等等。
- (2)沉井下沉：凿除素混凝土垫层，挖土下沉。
- (3)接长井壁。
- (4)沉井封底。

2. 沉井施工方法的选取，应取决于场地水文地质条件，施工场地的大小、沉井用途、沉井施工对周围构造物的影响程度、施工设备的状况及成本等因素。

(1)排水下沉：当沉井所穿过的土层透水性差，不会出现大量渗水现象，或者不会因为排水导致流砂及井底土体隆起失稳时，可采用排水法下沉。

(2)不排水下沉：当沉井所穿过的土层不稳定，地下涌水量大，可能产生流砂、井底土体隆起失稳时，需考虑采用不排水下沉法。

(3)中心岛式下沉：为将施工引起的地表沉降对周围建筑物影响降至最小，可考虑采用中心岛式下沉工艺，它利用挖槽吸泥机沿井壁内侧一面挖槽，一面向槽内补浆，沉井逐渐下沉，沉井壁的内外两侧均处于泥浆护壁槽内。

2. 沉箱

(1) 沉箱分类

- a. 按箱体构成材料：沉箱按箱体构成材料可分为混凝土沉箱、钢壳沉箱及混合沉箱。
- b. 按施工中是否有人作业：沉箱按施工中是否有人作业可分为有人工法及无人工法。
- c. 除上述沉箱外，还有一种也被称为沉箱的构筑物，其外形象一只有底无盖的箱子，因其不用压缩空气，可称无压沉箱。它只能在水中而不能在土中下沉，故它和气压沉箱不同，可作为重力式挡土墙，在港口、码头等水流平稳的地区使用较多。

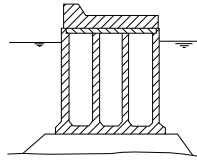


图 25-4 无压沉箱示意图

(2) 构造

箱体结构基本包括：井壁、刃脚、内隔墙、底板、顶盖、气筒、气闸（包括中央气闸、人用变气闸及料用变气闸）及人孔等。

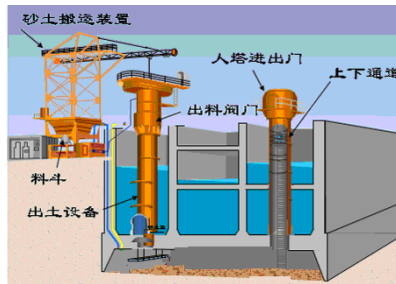


图 25-5 气压沉箱构造图

(3) 沉箱施工

a. 沉箱施工流程

沉箱施工流程与沉井相类似，区别在于：底板制作在下沉加气前完成；下沉至地下水位 0.5~1m 左右开始加气下沉，

b. 施工方法

沉箱的施工方法与沉井的施工方法基本相同，由于两者原理上的差异，故也存在一些不同之处。

(a) 沉箱结构施工必须预先构筑工作室顶板，以便下部形成密闭空间，满足气压施工的条件后才能进行气压下沉。

(b) 开挖作业仅为不排水下沉挖土法

(c) 下沉出土施工中，由于气压沉箱挖土是在下部密闭工作室进行，并须采用特定的排土设备，以保证将土方运至井外过程中不发生大量漏气现象。

(d) 由于施工是靠维持作业室内的气压(与地下水压相当)，防止地下水的涌入，所以压气的压送系统必须可靠，且应可调节。

3. 沉井与沉箱工法的优缺点比较

(1) 沉井

a. 优点相对沉箱而言，施工设备简单；操作容易；成本低；操作时间不受限制，出土速度快，封底方便。

b. 缺点对含巨砾石的砂砾层、黏土软岩层等地层而言，施工难度大，容易出现突沉，易出事故；施工深度不易过大，通常小于 30m；对周围地层沉降的影响大，抗震性差。

(2) 沉箱

沉箱优点：

a. 沉箱工作室内的气压可平衡地下水压力，避免沉箱下沉出土施工中坑底出现隆起和流砂、管涌现象，尤其是在施工区域有承压水层的情况，从而有效控制周围土层的沉降。

b. 沉箱利用气压平衡箱外水压力，作业空间处于无水状态，不需要对箱外高水头地下水及承压水进行降水和降压处理，从而避免因降水引起的周边土体沉降。

c. 工作室内的压缩空气起到了气垫作用，消除沉箱急剧下沉的情况，同时容易纠偏和控制下沉速度及防止超沉，保证了施工安全和施工质量。

d. 经过多年气压沉箱施工的发展，气压沉箱工法适用于各种地质条件，诸如软土、黏土、砂性土和碎（卵）石类土，还有软硬岩等地质条件，适于大深度施工；抗震性极佳。

e. 现代化的气压沉箱技术可以在地面上通过远程控制系统，在无水的地下作业室内实现挖排土的无人机械自动化，排除的土体也可以作为普通土进行处理。

沉箱缺点：施工设备较复杂；操作相对复杂；操作员的操作时间受限；成本高；由于在工作室内部出土，沉箱出土效率受到一定限制，下沉到位后封底困难。

25.2 沉井与沉箱结构的设计

25.2.1 沉井设计内容

沉井在施工过程中作为围护结构，当施工完成后，又作为上部结构的基础又作为地下建筑结构的一部分，因此既要满足上部建筑的构造要求，又要承受上部荷载，具有临时工程和永久运行功能的统一。

沉井设计内容与步骤：

1. 沉井尺寸估算

根据使用功能要求，拟建场地的工程地质、水文地质及施工条件，布置沉井内的隔墙、撑梁、框架、孔洞等设施，确定沉井平面、剖面、井壁厚度等各构件的截面尺寸及埋置深度。

2. 下沉系数计算

根据沉井下沉施工的要求，进行下沉的有关计算。

3. 抗浮系数计算

为控制封底及底板的厚度，估算沉井的抗浮系数。

4. 荷载计算

计算外荷载，并绘出水、土压力计算图形。

5. 施工阶段强度计算

(1) 沉井平面框架内力计算及截面设计；

(2) 刃脚内力计算及截面设计；

(3) 井壁竖向内力计算及截面设计；

(4) 沉井底梁竖向挠曲和竖向框架内力计算及截面设计；

(5) 根据沉井施工阶段可能产生的最大浮力，计算沉井封底混凝土的厚度和钢筋混凝土底板的厚度及内力，并进行截面配筋设计。

6. 使用阶段强度计算

(1) 沉井结构在使用阶段各构件的强度验算；

(2) 地基强度及变形验算；

(3) 沉井抗浮、抗滑移及抗倾覆稳定性验算等。

沉井计算可参见给排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程（CECS137:2002）

25.2.2 沉箱设计内容

沉箱在施工和使用阶段与沉井一样承受两个不同的受力状态，故沉箱设计也应分这两个阶段来进行。沉箱的设计基本与沉井相同，区别在于：

1. 应考虑沉箱施工阶段底板已先浇筑，故在计算模型的选择时应考虑底板的作用，考虑空间效应，作整体分析。

2. 下沉计算时应注意在下沉阻力中除箱壁侧摩阻力外，还应根据加气压情况计入工作室气压的“气垫”阻力，并考虑其与水浮力的相互影响。

3. 沉箱底板的计算荷载应取地基反力、水浮力及气压所产生的浮力，且不计封底混凝土

土的作用。

25.3 沉井施工技术

25.3.1 沉井施工流程

沉井的施工流程见图25-6。

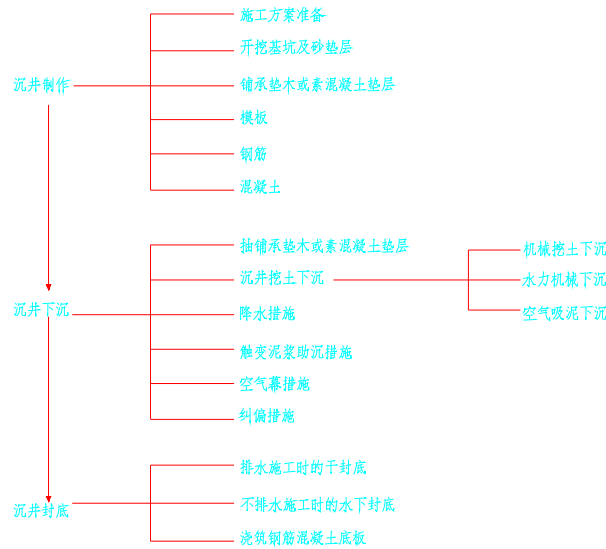


图 25-6 沉井施工流程图

25.3.2 沉井制作

1. 施工方案准备

沉井制作前应作好下列准备工作：

(1) 对施工场地进行勘察，查清和排除地面及地面 3m 以内的障碍物(如房屋构筑物、管道、树根、电缆线路等)。

(2) 熟悉工程地质、水文地质、施工图纸等资料，熟悉场地的地质情况、地下水情况以及地下障碍物情况等。

(3) 施工前，应在沉井施工地点进行钻孔。

(4) 敷设水电管线、修筑临时道路，平整场地，即三通一平；搭建必要的临时设施，集中必要的材料、机具设备和劳动力。

(5) 根据工程结构特点、地质水文情况、施工设备条件、技术的可能性，编制切实可行的施工方案或施工技术措施，以指导施工。

(6) 按沉井平面设置测量控制网，进行抄平放线，并布置水准基点和沉降观测点。在原有建筑物附近下沉的沉井，应在沉井(箱)周边的原有建筑物上设置变形(位移)和沉降观测点，对其进行定期沉降观测。

2. 开挖基坑及砂垫层、混凝土垫层

制作沉井的场地应预先清理、平整和夯实，使地基在沉井制作过程中不致发生不均匀沉降，制作沉井的地基应具有足够的承载力，以免沉井在制作过程中发生不均匀沉陷，以致倾斜甚至井壁开裂。在松软地基上进行沉井制作，应先对地基进行处理，防止由于地基不均匀下沉引起井身裂缝。处理方法一般采用砂、砂砾、混凝土、灰土垫层或人工夯实、机械碾压等措施加固。

沉井制作一般有三种方法：在修建构筑物地面上制作，适用于地下水位高和净空允许的情况；人工筑岛制作，适于在浅水中制作；在基坑中制作，适用于地下水位低、净空不高的情况，可减少下沉深度、摩阻力及作业高度。以上三种制作方法可根据不同情况采用，使用

较多的是在基坑中制作。

采取在基坑中制作，基坑应比沉井宽 2~3m，四周设排水沟、集水井，使地下水位降至比基坑底面低 0.5m，挖出的土方在周围筑堤挡水，要求护堤宽不少于 2m，如图 25-7 所示。

沉井过高，常常不够稳定，下沉时易倾斜，一般高度大于 12m 时，宜分节制作；在沉井下沉过程中或在井筒下沉各个阶段间歇时间，继续加高井筒。

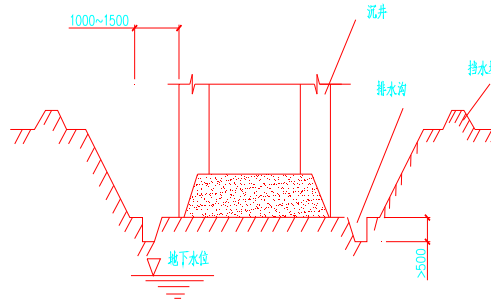


图 25-7 制作沉井的基坑

(1) 不开挖基坑制作沉井

当沉井制作高度较小或天然地面较低时不开挖基坑，只需将场地平整夯实，以免在浇筑沉井混凝土过程中或撤除支垫时发生不均匀沉陷。如场地高低不平应加铺一层厚度不小于 50mm 的砂层，必要时挖去原有松软土层，然后铺设砂层。

(2) 开挖基坑制作沉井

a. 应根据沉井平面尺寸决定基坑底面尺寸、开挖深度及边坡大小，定出基坑平面的开挖边线，整平场地后根据设计图纸上的沉井坐标定出沉井中心桩以及纵横轴线控制桩，并测设控制桩的攀线桩作为沉井制作及下沉过程的控制桩。亦可利用附近的固定建筑物设置控制点。以上施工放样完毕，须经技术部门复核后方可开工。

b. 刃脚外侧面至基坑底边的距离一般为 1.5~2.0m，以能满足施工人员绑扎钢筋及树立外模板为原则。

c. 基坑开挖的深度视水文、地质条件和第一节沉井要求的浇筑高度而定。为了减少沉井的下沉深度，也可加深基坑的开挖深度，但若挖出表土硬壳层后坑底为很软弱淤泥，则不宜挖除表面硬土，应通过综合比较决定合理的深度。

当不设边坡支护的基坑开挖深度在 5m 以内且坑底在降低后的地下水位以上时，基坑最大允许边坡如表 25-1 所示。

深度在 5m 以内的基坑边坡的最陡坡度

表 25-1

土的类别	边坡坡度(高:宽)		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
硬塑的粘质粉土	1: 0.67	1: 0.75	1: 1
硬塑的粉质黏土、黏土	1: 0.33	1: 0.5	1: 0.67
软土(经井点降水后)	1: 1.0~1: 1.5	经计算定	经计算定

d. 基坑底部若有暗浜、土质松软的土层应予以清除。在井壁中心线的两侧各 1m 范围内回填砂性土整平振实，以免沉井在制作过程中发生不均匀沉陷。开挖基坑应分层按顺序进行，底面浮泥应清除干净并保持平整和疏干状态。

e. 基坑及沉井挖土一般应外运，如条件许可在现场堆放时距离基坑边缘的距离一般不宜小于沉井下沉深度的两倍，并不得影响现场交通、排水及下一步施工。用钻吸法下沉沉井时从井下吸出的泥浆须经过沉淀池沉淀和疏干后，用封闭式车斗外运。

(3) 人工筑岛制作沉井

如沉井在浅水(水深小于 5m)地段下沉，可填筑人工岛制作沉井，岛面应高出施工期的

最高水位 0.5m 以上，四周留出护道，其宽度：当有围堰时，不得小于 1.5m；无围堰时，不得小于 2.0m，如图 25-8 所示。筑岛材料应采用低压缩性的中砂、粗砂、砾石，不得用粘性土、细砂、淤泥、泥炭等，也不宜采用大块砾石。当水流速度超过表 25-2 所列数值时，须在边坡用草袋堆筑或用其它方法防护。当水深在 1.5m、流速在 0.5m/s 以内时，亦可直接用土填筑，而不用设围堰。

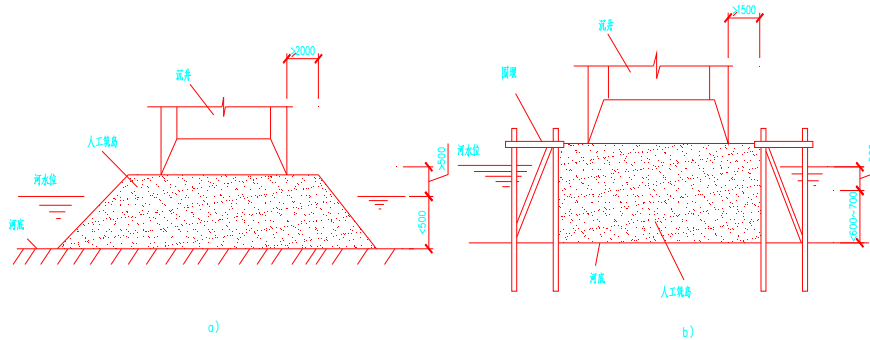


图 25-8 人工筑岛 (mm)

a) 无围堰的人工筑岛；b) 有围堰的人工筑岛

筑岛土料与容许流速 表 25-2

土料种类	容许流速 (m / s)	
	土表面处流速	平均流速
粗砂 (粒径 1.0~2.5mm)	0.65	0.8
中等砾石 (粒径 25~40mm)	1.0	1.2
粗砾石 (粒径 40~75mm)	1.2	1.5

各种围堰的选择条件如表 25-3，筑岛施工要求如表 25-4。

各种围堰筑岛的选择条件

表 25-3

围堰名称	适用条件		
	水深 (m)	流速 (m / s)	说明及适用条件
草袋围堰	<3.5	1.2~2.0	淤泥质河床或沉陷较大的地层未经处理者，不宜使用
笼石围堰	<3.5	≤3.0	
木笼围堰			水深流急，河床坚实平坦，不能打桩；有较大流冰围堰外侧无法支撑者用之
木板桩围堰	3~5		河床应为能打入板桩的地层
钢板桩围堰			能打入硬层，宜于作深水筑岛围堰

筑岛施工中的各项要求

表 25-4

项 目	要 求
筑岛填料	应以砂、砂夹卵石、小砾石填筑，不应采用粘性土、淤泥、泥炭及大块砾石填筑
岛面标高	应高出最高施工水位或地下水位至少 0.5m
水面以上部分的填筑	应分层夯实或碾压密实，每层厚度控制为 30cm 以下
岛面容许承压应力	一般不宜小于 0.1MPa；或按设计要求
护道最小宽度	土岛为 2m；围堰筑岛为 1.5m，当需要设置暖棚或其它施工设施时须另行加宽
外侧边坡	为 1:1.75~1:3 之间
冬季筑岛	应清除冰层，填料不应含冰块

水中筑岛	须妥善防护
倾斜河床筑岛	围堰要坚实，防止筑岛滑移

(4) 砂垫层

a. 砂垫层的厚度计算

当地基强度较低、经计算垫木需用量较多，铺设过密时，应在垫木下设砂垫层加固，以减少垫木数量，如图 25-9 所示。砂垫层厚度应根据第一节沉井重量和垫层底部地基土的承载力进行计算，计算公式如下：

$$P \geq \frac{G_s}{l + 2h_s \tan \phi} + \gamma_s h_s \quad (25-1)$$

式中： h_s —砂垫层厚度，m；

G_0 —沉井单位长度的重量，kN/m；

P —地基土的承载力，kPa；

l —承垫木长度，m；

ϕ —砂垫层压力扩散角(°)，不大于 45°，一般取 22.5°；

γ_s —砂的容重，一般为 1.8t/m³。

b. 砂垫层宽度的计算

如沉井平面尺寸很大，而当地砂料又比较缺少，这时为了节约砂料，亦可将沉井外井壁及内墙挖成条形基坑。砂垫层的底面尺寸(即基坑坑底宽度)，如图 25-10 所示，可由承垫木边缘向下作 45° 的直线扩大确定。

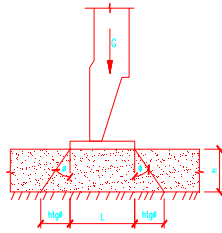


图 25-9 砂垫层计算简图

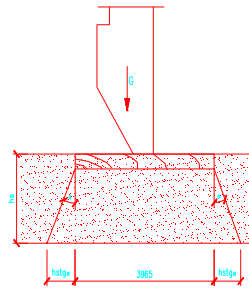


图 25-10 砂垫层的宽度

同时，为了抽除承垫木的需要，砂垫层的宽度应不小于井壁内外侧各有一根承垫木长度。即：

$$B > b + 2l \quad (25-2)$$

式中： B —砂垫层的底面宽度，m；

b —刃脚踏面或隔墙的宽度，m；

l —承垫木的长度，m。

c. 砂垫层宜采用中粗砂，分层铺设，厚度为 250~300mm，用平板振捣器震实，并洒水。砂垫层密实度的质量标准用砂的干密度来控制，中砂取 $\geq 15.6 \sim 16 \text{ kN/m}^3$ ，粗砂还可适当提高。

(5) 素混凝土垫层

a. 刃脚下素混凝土垫层

目前，沉井工程已不经常采用承垫木法施工，而是改为直接在砂垫层上铺筑一层素混凝土，此法在工程试件中取得了较显著的经济效益。

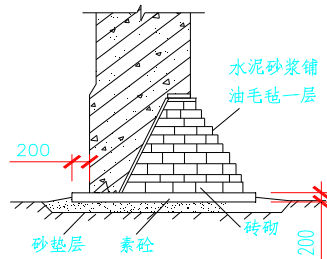


图 25-11 刃脚下采用素混凝土垫层

为了减轻沉井刃脚对砂垫层或地基土的压力，扩大刃脚支承面积，省去刃脚支底模的步骤，故在传统的砂垫层或地基上铺设一层素混凝土垫层，其厚度一般在 10~30cm，素混凝土垫层的厚度太薄可能由于刃脚压力较大而压碎，垫层太厚可能导致沉井下沉困难。

b. 混凝土垫层厚度的计算

为了确保沉井下素混凝土的质量，尽量减少混凝土在浇灌过程中所产生的沉降量，混凝土垫层厚度可按下式计算：

$$h = \left(\frac{G}{R} - b \right) / 2 \quad (25-6)$$

式中：h——混凝土垫层的厚度，m；

G——沉井第一节浇筑重力，kN；

R——砂垫层的允许承载力，一般取 100kPa；

b——刃脚踏面宽度，m。

混凝土垫层的厚度不宜过厚，以免影响沉井下沉，所以要控制沉井第一节结构的重量

3. 模板

沉井模板与一般现浇混凝土结构的模板基本上相同，应具有足够的强度、刚度、整体稳定性和缝隙严密不漏浆。

井壁模板采用钢组合式定型模板或木定型模板组装而成。采用木模时，外模朝混凝土的一面应刨光，内外模均采取竖向分节支设，每节高 1.5~2.0m，用 $\Phi(12\sim16)$ mm 对拉螺栓拉槽钢圈固定，如图 25-12 所示。有抗渗要求的，在螺栓中间设止水板。第一节沉井筒壁应按设计尺寸周边加大 10~15mm，第二节相应缩小一些，以减少下沉摩阻力。对高度大的大型沉井，亦可采用滑模方法制作。用滑动模板浇筑混凝土，可以不必搭设脚手架，也可以避免在高空进行模板的安装及拆除工作。滑模是在特殊装置下，以一小部分的模板，随混凝土的浇筑工作进行，缓缓地连续上升，直至整个结构浇筑完毕为止。

4. 钢筋

沉井钢筋可用吊车垂直吊装就位，用人工绑扎，或在沉井近旁预先绑扎钢筋骨架或网片，用吊车进行大块安装。竖筋可一次绑好，按井壁竖向

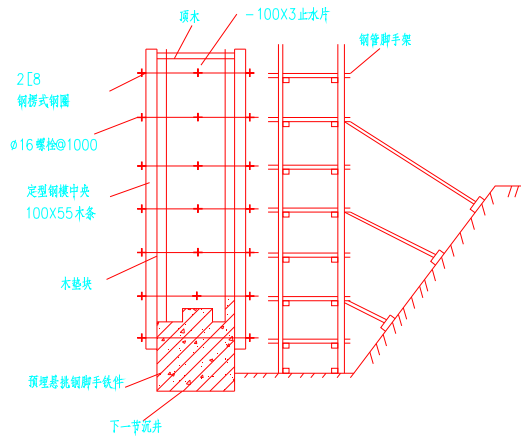


图 25-12 沉井井壁钢模板支设(mm)

钢筋的 50%接头配置。水平筋分段绑扎。在分不清是受拉区或受压区时，应按照受拉区的规定留出钢筋的搭接长度。与前一节井壁连接处伸出的插筋采用焊接连接方法，接头错开 1/4。沉井内隔墙可采取与井壁同时浇筑或在井壁与内隔墙连接部位预留插筋，下沉完后，再施工隔墙。

5. 混凝土

(1) 单节式沉井混凝土的浇筑

- 高度在 10m 以内的沉井可一次浇筑完成。
- 浇筑混凝土应对称地进行施工。
- 浇筑混凝土层厚度如表 25-5 所示。

浇筑混凝土分层厚度

表 25-5

项 目	分层厚度危应小于
使用插入式振捣器	振捣器作用半径的 1.25 倍
人工震捣	15~25mm
灌注一层的时间不应超过水泥初凝时间 t	$h \leq Qt / A(m)$

注：Q 为每小时混凝土量(m³)；t 为水泥初凝时间(h)；A 为混凝土浇筑面积(m²)。

d. 拆模时对混凝土强度要求：当达到设计强度的 25% 以上时，可拆除不承受混凝土重量的侧模；当达到设计强度的 70% 或设计强度的 90% 以上时，可拆除刃脚斜面的支撑及模板。

(2) 多节式沉井混凝土的浇筑

- 第一节混凝土的浇筑与单节式混凝土的浇筑相同。
- 第一节混凝土强度达到设计强度的 70% 以上，可浇筑第二节沉井的混凝土，接触面处须凿毛、吹洗等处理。
- 分节浇筑、分节下沉时，第一节沉井顶端应在距离地面 0.5~1m 处，停止下沉，开始接高施工。
- 每增加一节不少于 4m (一般 4~5m)。

e. 接高模板，不可支撑在地面上。

(3) 沉井混凝土运输方式

- 沿沉井周围搭设脚手平台，用 15m 皮带运输机将混凝土送到脚手平台上，用手推车沿沉井并通过串桶分层均匀地浇灌。
- 用翻斗汽车运送混凝土，塔式或履带式起重机吊混凝土吊斗，通过串桶沿井壁作均

匀浇灌。

c. 用混凝土运输搅拌车运送混凝土，混凝土泵车沿沉井周围进行分层均匀浇灌。

25.3.3 沉井下沉

沉井下沉按其制作与下沉的顺序，有三种形式：①一次制作，一次下沉。一般中小型沉井，高度不大，地基很好或者经过人工加固后获得较大的地基承载力时，最好采用一次制作，一次下沉方式。一般来说，以该方式施工的沉井在 10m 以内为宜。②分节制作，多次下沉。将井墙沿高度分成几段，每段为一节，制作一节，下沉一节，循环进行。该方案的优点是沉井分段高度小，对地基要求不高；缺点是工序多，工期长，而且在接高井壁时易产生倾斜和突沉，需要进行稳定验算。③分节制作，一次下沉。这种方式的优点是脚手架和模板可连续使用，下沉设备一次安装，有利于滑模；缺点是对地基条件要求高，高空作业困难。我国目前采用该方式制作的沉井，全高已达 30m 以上。

沉井下沉应具有一定的强度，第一节混凝土或砌体砂浆应达到设计强度的 100%，其上各节达到 70% 以后，方可开始下沉。

1. 凿除混凝土垫层

沉井下沉之前，应先凿除素混凝土垫层，使沉井刃脚均匀地落入土层中，凿除混凝土垫层时，应分区域对称按顺序凿除。凿断线应与刃脚底板齐平，凿断之后的碎渣应及时清除，空隙处应立即采用砂或砂石回填，回填时采用分层洒水夯实，每层 20~30cm。

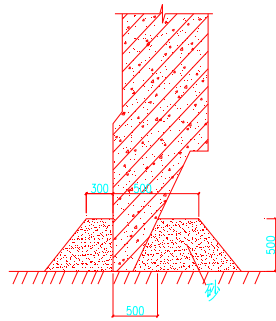


图 25-13 刃脚回填砂或砂卵石 (mm)

2. 下沉方法选择

沉井下沉有排水下沉和不排水下沉两种方法。前者适用于渗水量不大(每平方米渗水不大于 $1\text{m}^3/\text{min}$)、稳定的粘性土(如黏土、亚黏土以及各种岩质土)或在砂砾层中渗水量虽很大，但排水并不困难时使用；后者适用于流砂严重的地层和渗水量大的砂砾地层，以及地下水无法排除或大量排水会影响附近建筑物的安全的情况。

(1) 排水下沉挖土方法

常用人工或风动工具，或在井内用小型反铲挖土机，在地面用抓斗挖土机分层开挖。挖土必须对称、均匀地进行，使沉井均匀下沉。挖土方法随土质情况而定，一般方法是：

a. 普通土层。从沉井中间开始逐渐挖向四周，每层挖土厚 0.4~0.5m，在刃脚处留 1~1.5m 的台阶，然后沿沉井壁每 2~3m 一段向刃脚方向逐层全面、对称、均匀地开挖土层，每次挖去 5~10cm，当土层经不住刃脚的挤压而破裂，沉井便在自重作用下均匀地破土下沉，如图 25-14a) 所示。当沉井下沉很少或不下沉时，可再从中间向下挖 0.4~0.5m，并继续按图 25-14a) 向四周均匀掏挖，使沉井平稳下沉。当在数个井孔内挖土时，为使其下沉均匀，孔格内挖土高差不得超过 1.0m。刃脚下部土方应边挖边清理。

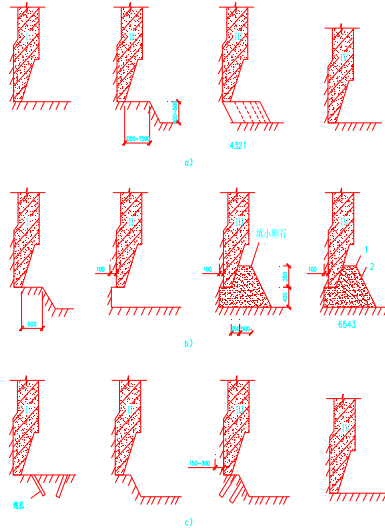


图 25-14(mm)

a) 普通挖土；b) 砂夹卵石或硬土层；c) 岩石放炮开挖；

b. 砂夹卵石或硬土层。可按图 25-14a) 所示的方法挖土，当土垅挖至刃脚，沉井仍不下沉或下沉不平稳，则须按平面布置分段的次序逐段对称地将刃脚下挖空，并挖出刃脚外壁约 10cm，每段挖完用小卵石填塞夯实，待全部挖空回填后，再分层去掉回填的小卵石，可使沉井均匀减少承压面而平衡下沉，如图 25-14b) 所示。

c. 岩层。风化或软质岩层可用风镐或风铲等按图 25-14a) 的次序开挖。较硬的岩层可按图 25-14c) 所示的顺序进行，在刃口打炮孔，进行松动爆破，炮孔深 1.3m，以 1×1m 梅花形交错排列，使炮孔伸出刃脚口外 15~30cm，以便开挖宽度可超出刃口 5~10cm。下沉时，顺刃脚分段顺序，每次挖 1m 宽即进行回填，如此逐段进行，至全部回填后，再去除土堆，使沉井平稳下沉。

在开始 5m 以内下沉时，要特别注意保持平面位置与垂直度正确，以免继续下沉时不易调整。在距离设计标高 20cm 左右应停止取土，依靠沉井自重下沉到设计标高。在沉井开始下沉和将要下沉至设计标高时，周边开挖深度应小于 30cm 或更少一些，避免发生倾斜或超沉。

(2) 不排水下沉挖土方法

通常采用抓斗、水力吸泥机或水力冲射空气吸泥机等在水下挖土。

a. 抓斗挖土。用吊车吊住抓斗挖掘井底中央部分的土，使沉井底形成锅底。在砂或砾石类土中，一般当锅底比刃脚低 1~1.5m 时，沉井即可靠自重下沉，而将刃脚下的土挤向中央锅底，再从井孔中继续抓土，沉井即可继续下沉。在粘质土或紧密土中，刃脚下的土不易向中央坍落，则应配以射水管松土，如图 25-15 所示。沉井由多个井孔组成时，每个井孔宜配备一台抓斗。如用一台抓斗抓土时，应对称逐孔轮流进行，使其均匀下沉，各井孔内土面高差应不大于 0.5m。

b. 水力机械冲土。使用高压水泵将高压水流通过进水管分别送进沉井内的高压水枪和水力吸泥机，利用高压水枪射出的高压水流冲刷土层，使其形成一定稠度的泥浆，汇流至集泥坑，然后用水力吸泥机(或空气吸泥机)将泥浆吸出，从排泥管排出井外，如图 25-16 所示。冲粘性土时，宜使喷嘴接近 90° 角冲刷立面，将立面底部冲成缺口使之塌落。取土顺序为先中央后四周，并沿刃脚留出土台，最后对称分层冲挖，不得冲空刃脚踏面下的土层。施工时，应使高压水枪冲入井底的泥浆量和渗人的水量与水力吸泥机吸出的泥浆量保持平衡。

水力机械冲土的主要设备包括吸泥器(水力吸泥机或空气吸泥机)、吸泥管、扬泥管和高

压水管、离心式高压清水泵、空气压缩机(采用空气吸泥时用)等。吸泥器内部高压水喷嘴处的有效水压,对于扬泥所需要的水压的比值平均约 7.5。应使各种土成为适宜稠度的泥浆比重:砂类土为 1.08~1.18;粘性土为 1.09~1.20。吸入泥浆所需的高压水流量,约与泥浆量相等,吸入的泥浆和高压水混合以后的稀释泥浆,在管路内的流速应不超过 $2\sim 3\text{m/s}$ 。喷嘴处的高压水流速一般约为 $30\sim 40\text{m/s}$ 。

实际应用的吸泥机,其射水管与高压水喷嘴截面的比值约为 4~10,而吸泥管与喷嘴截面的比值约为 15~20。水力吸泥机的有效作用约为高压水泵效率的 0.1~0.2,如每小时压入水量为 100m^3 ,可吸出泥浆含水量约为 5~10%,高度 35~40m,喷射速度约 $3\sim 4\text{m/s}$ 。吸泥器配备数量视沉井大小及土质而定,一般为 2~6 套。

水力吸泥机冲土,适用于亚黏土、轻亚黏土、粉细砂土中;使用不受水深限制,但其出土率则随水压、水量的增加而提高,必要时应向沉井内注水,以加高井内水位。在淤泥或浮土中使用水力吸泥时,应保持沉井内水位高出井外水位 1~2m。

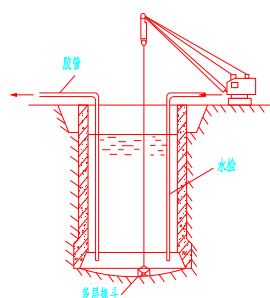


图 25-15 水枪冲土、抓斗在水中抓土

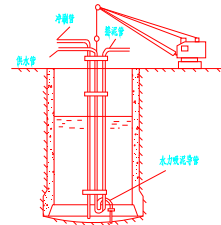


图 25-16 用水力吸泥器水中冲土

(3) 沉井的辅助下沉方法

a. 射水下沉法

一般作为以上两种方法的辅助方法,它是用预先安设在沉井外壁的水枪,借助高压水冲刷土层,使沉井下沉。射水所需水压在砂土中,冲刷深度在 8m 以下时,需要 0.4~0.6MPa;在砂砾石层中,冲刷深度在 10~12m 以下时,需要 0.6~1.2MPa;在砂卵石层中,冲刷深度在 10~12m 时,需要 8~20MPa。冲刷管的出水口口径为 10~12mm,每一管的喷水量不得小于 $0.2\text{m}^3/\text{s}$,如图 25-17 所示。但本法不适用于黏土中下沉。

b. 触变泥浆护壁下沉法

沉井外壁制成宽度为 10~20cm 的台阶作为泥浆槽。泥浆是用泥浆泵、砂浆泵或气压罐通过预埋在井壁体内或设在井内的垂直压浆管压入,如图 25-18 所示,使外井壁泥浆槽内充满触变泥浆,其液面接近于自然地面。为了防止漏浆,在刃脚台阶上宜钉一层 2mm 厚的橡胶皮,同时在挖土时注意不使刃脚底部脱空。在泥浆泵房内要储备一定数量的泥浆,以便下沉时不断补浆。在沉井下沉到设计标高后,泥浆套应按设计要求进行处理,一般采用水泥浆、水泥砂浆或其他材料来置换触变泥浆,即将水泥浆、水泥砂浆或其他材料从泥浆套底部压入,使压进的水泥浆、水泥砂浆等凝固材料挤出泥浆,待其凝固后,沉井即可稳定。

触变泥浆的物理力学性能指标详见表 25-6。

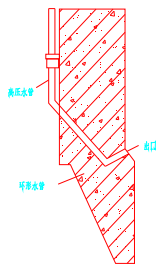


图 25-17 沉井预埋冲刷管组

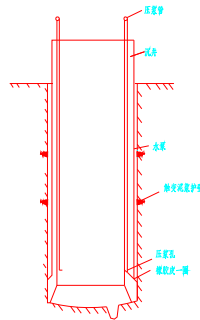


图 25-18 触变泥浆护壁下沉方法

触变泥浆技术指标

表 25-6

名称	单位	指标	试验方法
比重		1.1~1.40	泥浆比重秤
粘度	S	>30	500cc~700cc / 漏斗法
含砂量	%	<4	
胶体率	%	100	量杯法
失水量	mL /	<14	失水量仪
泥皮厚度	mm	≤3	失水量仪
静切力	Mg/cm ²	>30	静切力计(10min)
pH 值		≥8	pH 试纸

注：泥浆配合比为：黏土：水=35%~40%：65%~60%，

c. 抽水下沉法

不排水下沉的沉井，抽水降低井内水位，减少浮力，可使沉井下沉。如有翻砂涌泥时，不宜采用此法。

d. 井外挖土下沉法

若上层土中有砂砾或卵石层，井外挖土下沉就很有效。

e. 压重下沉法

可利用灌水、铁块，或用草袋装沙土，以及接高混凝土筒壁等加压配重，使沉井下沉，但特别要注意均匀对称加重。

f. 炮震下沉法

当沉井内的土已经挖出掏空而沉井不下沉时，可在井中央的泥土面上放药起爆，一般用药量为 0.1~0.2kg。同一沉井，同一地层不宜多于 4 次。

3. 降水措施

基坑底部四周应挖出一定坡度的排水沟与基坑四周的集水井相通。集水井比排水沟低 500mm 以上，将汇集的地面水和地下水及时用潜水泵、离心泵等抽除。基坑中应防止雨水积聚，保持排水通畅。

基坑面积较小，坑底为渗透系数较大的砂质含水土层时可布置土井降水。土井一般布置在基坑周围，其间距根据土质而定。一般用 800~900mm 直径的渗水混凝土管，四周布置外大内小的孔眼，孔眼一般直径为 40mm，用木塞塞住，混凝土管下沉就位后由内向外敲去木塞，用旧麻袋布填塞。在井内填 150~200mm 厚的石料和 100~150mm 厚的砾石砂，使抽吸时细砂不被带走。

采用井点降水时井点距井壁的距离按井点入土深度确定，当井点入土深度在 7m 以内时，一般为 1.5m；井点入土深度为 7~15m 时，一般为 1.5~2.5m。

(1) 明沟集水井排水

在沉井周围距离其刃脚 2~3m 处挖一圈排水明沟，设置 3~4 个集水井，深度比地下水深 1~1.5m，沟和井底深度随沉井挖土而不断加深，在井内或井壁上设水泵，将水抽出井外排走。为了不影响井内挖土操作和避免经常搬动水泵，一般采取在井壁上预埋铁件，焊接钢结构操作平台安设水泵，或设木吊架安设水泵，用草垫或橡皮承垫，避免震动，如图 25-18 所示，水泵抽吸高度控制在不大于 5m。如果井内渗水量很少，则可直接在井内设高扬程小的潜水泵将地下水抽出井外。

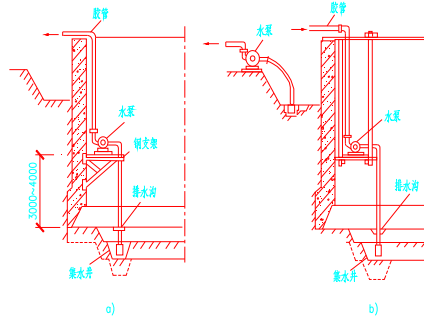


图 25-19 明沟直接排水法

a) 钢支架上设水泵排水; b) 吊架上设水泵排水

(2) 井点排水

在沉井周围设置轻型井点、电渗井点或喷射井点以降低地下水位，如图 25-20 所示，使井内保持于挖土。

(3) 井点与明沟排水相结合的方法

在沉井上部周围设置井点降水，下部挖明沟集水井设泵排水，如图 25-21 所示。

4. 空气幕措施

(1) 空气幕压气所需压力值与气龕的人土深度有关，一般可按最深喷气孔处理论水压的 1.6 倍，每气龕的供气量与喷气孔直径有关，一般为 $0.023\text{m}^3/\text{min}$ 。并设置必要数量的空压机及储气包。

(2) 喷气龕常为 $200 \times 50\text{mm}$ 倒梯形，喷气孔直径一般为 $1 \sim 3\text{mm}$ ，喷气孔的数量应以每个喷气孔所能作用的面积和沉井不同深度决定，平均可按 $1.5 \sim 3\text{m}$ 设 2 个考虑。刃脚以上 3m 内不宜设置喷气孔。

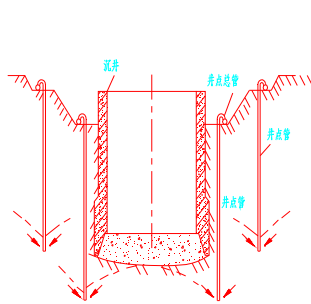


图 25-20 井点系统降水

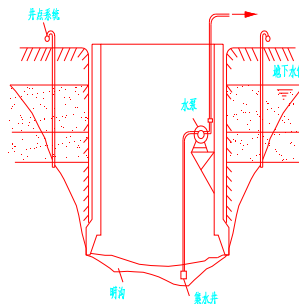


图 25-21 井点与明沟相结合的方法

(3) 井壁内预埋通气管通常有竖直和水平两种布置方式。预埋管宜分区分块设置，便于沉井纠偏。

(4) 防止喷气孔的堵塞，应在水平管的两端设置沉淀筒，并在喷气孔上外套一橡胶皮环。

(5) 每次空气幕助沉的时间应根据实际沉井下沉情况而定，一般不宜超过 2 小时。

(6) 压气顺序应自上而下进行，关气时则反之。

5. 纠偏措施

(1) 沉井倾斜偏转的原因

下沉中的沉井常常由于下列原因造成倾斜偏转：

- a. 人工筑岛被水流冲坏，或沉井一侧的土被水流冲空；
- b. 沉井刃脚下土层软硬不均匀；
- c. 没有对称地抽除承垫木，或没有及时回填夯实；
- d. 没有均匀除土下沉，使井孔内土面高低相差很多；
- e. 刃脚下掏空过多，沉井突然下沉，易于产生倾斜；
- f. 刃脚一角或一侧被障碍物搁住，没有及时发现和处理；
- g. 由于井外弃土或其它原因造成对沉井井壁的偏压；
- h. 排水下沉时，井内产生大量流砂等。

(2) 纠偏方法

沉井在下沉过程中发生倾斜偏转时，应根据沉井产生倾斜偏转的原因，可以用下述的一种或几种方法来进行纠偏。确保沉井的偏差在容许的范围以内。

a. 偏除土纠偏

如系排水下沉，可在沉井刃脚高的一侧进行人工或机械除土，如图 25-22 所示。在刃脚低的一侧应保留较宽的土堤，或适当回填砂石。

如系不排水下沉的沉井，一般可靠近刃脚高的一侧吸泥或抓土，必要时可由潜水员配合在刃脚下除土。

b. 井外射水、井内偏除土纠偏

当沉井下沉深度较大时，若纠正沉井的偏斜，关键在于破坏土层的被动土压力，如图 25-23 所示。高压射水管沿沉井高的一侧井壁外面插入土中，破坏土层结构，使土层的被动土压力大为降低。这时再采用上述的偏除土方法，可使沉井的倾斜逐步得到纠正。

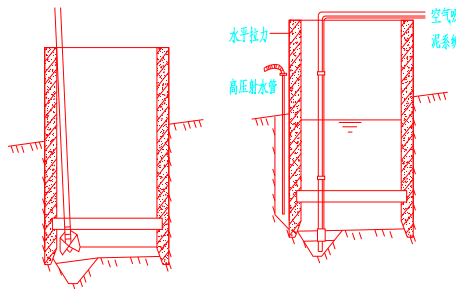


图 25-22 偏除土纠偏

图 25-23 井外射水纠偏

c. 用增加偏土压或偏心压重来纠偏

在沉井倾斜低的一侧回填砂或土，并进行夯实，使低的一侧产生土偏的作用。如在沉井高的一侧压重，最好使用钢锭或生铁块，如图 25-24 所示。

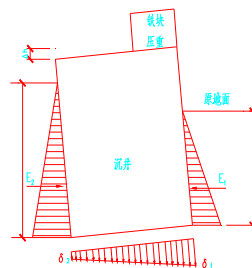


图 25-24 偏心压重纠偏

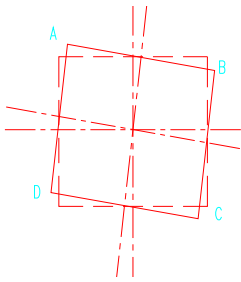
d. 沉井位置扭转时的纠正

沉井位置如发生扭转，如图 25-25 所示。可在沉井的 A、C 二角偏除土，B、D 二角偏填土，借助于刃脚下不相等的土压力所形成的扭矩，使沉井在下沉过程中逐步纠正其位置。

25.3.4 沉井封底

沉井下沉至设计标高，经过观测在 8h 内累计下沉量不大于 10mm 或沉降率在允许范围内，沉井下沉已经稳定时，即可进行沉井封底。封底方法有以下两种：

1. 排水封底时的干封底



这种方法是将新老混凝土接触面冲刷干净或打毛，对井底进行修整，使之成锅底形，由刃脚向中心挖成放射形排水沟，填以卵石做成滤水暗沟，在中部设 2~3 个集水井，深 1~2m，井间用盲沟相互连通，插入 $\Phi(600\sim 800)$ 四周带孔眼的钢管或混凝土管，管周填以卵石，使井底的水流汇集在井中，用泵排出，如图 25-27 所示，并保持地下水位低于井内基底面 0.3m。

图 25-25 平面扭转的纠偏

浇筑封底混凝土前应将基底清理干净。

(1) 清理基底要求将基底土层作成锅底坑，要便于封底，各处清底深度均应满足设计要求，如图 25-26 所示。

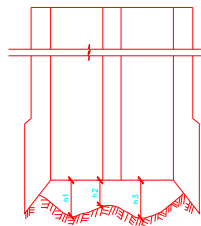


图 25-11 清底高度示意图

(2) 清理基底土层的方法：在不扰动刃脚下面土层的前提下，可人工清理、射水清理、吸泥或抓泥清理。

(3) 清理基底风化岩方法：可用高压射水、风动凿岩工具，以及小型爆破等办法，配合吸泥机清除。

封底一般先浇一层 0.5~1.5m 的素混凝土垫层，达到 50% 设计强度后，绑扎钢筋，两端伸入刃脚或凹槽内，浇筑上层底板混凝土。浇筑应在整个沉井面积上分层，同时不间断地进行，由四周向中央推进，每层厚 300~500mm，并用振捣器捣实。当井内有隔墙时，应前后左右对称地逐孔浇筑。混凝土采用自然养护，养护期间应继续抽水。待底板混凝土强度达到 70% 后，对集水井逐个停止抽水，逐个封堵。封堵方法是，将滤水井中的水抽干，在套筒内迅速用干硬性的高标号混凝土进行堵塞并捣实，然后上法兰盘盖，用螺栓拧紧或焊牢，上部用混凝土填实捣平。

2. 不排水封底时的水下封底

不排水封底即在水下进行封底。要求将井底浮泥清理干净，新老混凝土接触面用水冲刷干净，并铺碎石垫层。封底混凝土用导管法灌注。待水下封底混凝土达到所需要的强度后，即一般养护为 7~10d，方可从沉井中抽水，按排水封底法施工上部钢筋混凝土底板。

导管法浇筑可在沉井各仓内放入直径为 200~400mm 的导管，管底距离坑底约 300~500mm，导管搁置在上部支架上，在导管顶部设置漏斗，漏斗颈部安放一个隔水栓，并用铅丝系牢。水下封底的混凝土应具有较大的坍落度，浇筑时将混凝土装满漏斗，随后将其与隔

水栓一起下放一段距离，但不能超过导管下口，割断铅丝，之后不断向漏斗内灌注混凝土，混凝土由于重力作用源源不断由导管底向外流动，导管下端被埋入混凝土并与水隔绝，避免了水下浇筑混凝土时冷缝的产生，保证了混凝土的质量

浇筑水下混凝土导管的作用半径大约为 2.5~4m，混凝土流动坡度不宜陡于 1: 5，一根导管灌注范围见表 25-7。

一根导管灌注范围

表 25-7

导管的作用半径 (m)	长: 宽=1: 1		长: 宽 = 2: 1		长: 宽 = 3: 1	
	长×宽 (m)	面积 (m ²)	长×宽 (m)	面积 (m ²)	长×宽 (m)	面积 (m ²)
3. 0	4. 2×4. 2	17. 6	5. 4×2. 7	14. 6	5. 7×1. 9	10. 8
3. 5	5. 0×5. 0	25. 0	6. 2×3. 1	19. 2	6. 6×2. 2	14. 5
4. 0	5. 6×5. 6	31. 4	7. 0×3. 5	24. 5	7. 5×2. 5	18. 8
4. 5	6. 3×6. 3	39. 7	8. 0×4. 0	32. 0	8. 4×2. 4	20. 2

3. 浇筑钢筋混凝土底板

在沉井浇筑钢筋混凝土底板前，应将井壁凹槽新老混凝土接触面凿毛，并洗刷干净。

(1) 干封底时底板浇筑方法

当沉井采用干封底时，为了保证钢筋混凝土底板不受破坏，在浇筑混凝土过程中，应防止沉井产生不均匀下沉。特别是在软土中施工，如沉井自重较大，可能发生继续下沉时，宜分格对称地进行封底工作。在钢筋混凝土底板尚未达到设计强度之前，应从井内底板以下的集水井中不间断地进行抽水。

抽水时，钢筋混凝土底板上的预留孔，如图 25-28 所示。集水井可用下部带有孔眼的大直径钢管，或者用钢板焊成圆形、方(矩)形井，但在集水井上口均应不带法兰盘。由于底板钢筋在集水井处被切断，所以在集水井四周的底板内应增加加固钢筋。待沉井钢筋混凝土底板达到设计强度，并停止抽水后，集水井用素混凝土填满。然后，用事先准备好的带螺栓孔的钢盖板和橡皮垫圈盖好，拧紧与法兰盘上的所有螺栓。集水井的上口标高应比钢筋混凝土底板顶面标高低 200~300mm，待集水井封口完毕后，再用混凝土找平。

(2) 水下封底时底板浇筑方法

当沉井采用水下混凝土封底时，从浇筑完最后一格混凝土至井内开始抽水的时间，须视水下混凝土的强度(配合比、水泥品种、井内水温等均有影响)，并根据沉井结构(底板跨度、支承情况)、底板荷载(地基反力、水压力)，以及混凝土的抗裂计算决定。但为了缩短施工工期，一般约在混凝土达到设计强度的 70%，后开始抽水。

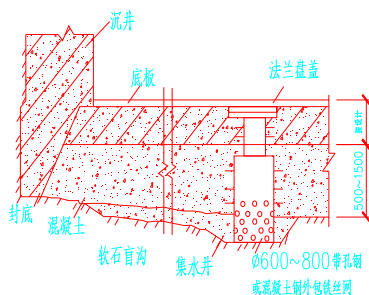


图 25-27 沉井封底构造

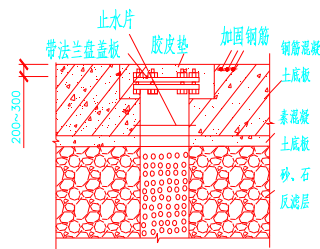


图 25-28 封底时底板的集水井

25.4 沉箱施工技术

25.4.1 沉箱制作

1. 沉箱结构制作

沉箱结构制作施工工艺与沉井制作相类似，可参考沉井制作的施工方法，但是沉箱的结构底板（也称作工作室顶板）在下沉前制作完毕是气压沉箱施工的一个特色，以便结构在下沉前可形成由刃脚和底板组成的下部密闭空间。因此该部分结构要求密闭性好，不得产生大量漏气现场，同时需考虑对后续工序的影响。

沉箱的结构底板有多种制作方式：

(1) 从结构密闭性要求来考虑，底板与刃脚部分整体浇筑是一个较理想选择。但须考虑刃脚与底板的差异沉降问题。由于工作室内在下沉施工中下部工作室会充满高压空气，一旦在刃脚与底板结合处出现细小裂缝，也可能导致气压施工时该处产生较明显漏气现象。

(2) 其次，可采用底板与刃脚分开浇筑，开挖基坑，制作排架或构筑土模，但土模法施工对下一步设备安装施工构成较大影响，需人工通过底板预留孔底板以下缓慢掏土再进行设备安装。另外，分开浇筑时还需考虑底板与刃脚处的施工缝漏气问题，一般可采用较成熟的钢板止水条处理。

底板施工时的另一个重要工序即是预埋件及管路的放置，管路预埋在底板上，须考虑管路密封闭气问题。油管、输水管的封闭较简单，预埋时使其上端伸出底板顶面一定长度，上端设阀门封闭。在底板浇筑后即可根据施工需要接长。施工电缆一般不宜直接埋设在混凝土中，因此电缆穿底板段也需预先埋设套管，施工用电缆通过套管进入工作室。电缆与套管间存在间隙的问题，可采用在套管两端采用法兰压紧闭气解决。

2. 支墩制作

沉箱在刚开始下沉时，由于气压较小，所提供的浮托力不足以平衡沉箱本身的重量，故在可设置一定数量的混凝土支座，以承托上部荷载。支座可采用在内部浇筑支墩或在外部制作锚桩支撑。

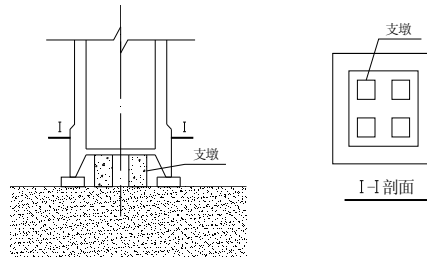


图 25-29 内部支墩示意图

3. 设备安装调试

待底板达到强度，下部脚手体系拆除后开始进行设备安装。由于此时底板已浇筑，因此须将设备分件拆卸后，通过底板上的预留孔洞将设备运输至下部工作室，再进行组装、安装工作。底板以上施工包括人员塔塔身及闸门段、过渡舱；物料塔塔身及闸门段、气闸门等也应进行安装并调试。

4. 井壁制作

沉箱井壁制作时的钢筋绑扎及混凝土浇筑与沉井相同，沉箱井壁制作时脚手搭设有以下三种方法：

(1) 直接在底板上搭设内脚手，并随着井壁的接高而接高。

(2) 在地面搭设井壁外脚手，但由于沉箱需多次制作、多次下沉。为避免沉箱下沉对周边土体扰动较大，影响外脚手稳定性。外脚手须在每次下沉后重新搭设。该工艺的缺点是

施工时间较长。外脚手架需反复搭设，结构施工在沉箱下沉施工时无法进行。

(3) 采取了在外井壁上设置外挑牛腿的方式。

5. 工作室内气压控制

沉箱下沉加气应在沉箱下沉至地下水位 0.5~1m 左右时开始加气。

沉箱施工时，应首先保证工作室内气压的相对稳定。工作室内气压原则上应与外界地下水位相平衡，不得过高或过低。气压过小可能引起工作室内出现涌水，涌土现象，气压过大则可能导致气体沿周边土体形成渗漏通道，发生气体泄漏，严重时可能导致大量气喷，产生灾难性后果。在沉箱下沉过程中，随着沉箱下沉、出土作业交叉进行，工作室内空间的不断变化，使工作室内气压值一直处于波动状态；同时施工过程中会存在少量气体泄漏现象。因此为防止气压波动太大，对周边土体造成较大扰动，在底板上设置了进排气阀，以维持工作室内气压的相对稳定。

25.4.2 沉箱下沉

1. 下沉方法

沉箱按挖土下沉方式分干挖法、水力吸泥法及螺旋出土法。

(1) 干挖法

在工作室内干挖时，存在气压转换工程，在出土时需要降压，以保证与外部大气压相同，在进入工作室时需要加压，在此过程中需要物料塔的气密门、气闸门数次开闭，并且在每次操作该门之前需要进行气压平衡，施工相对繁琐。

(2) 水力吸泥法

沉箱的水力吸泥法与沉井的相同，采用此法时应考虑周边环境，并将泥浆进行泥水分离。

(3) 螺旋出土法

螺旋出土机是上海市基础工程有限公司对传统沉箱出土方式的一个创新，利用螺旋机连续出土并隔断气压沉箱的内、外的空气的串通，大大降低了气密门、气闸门开闭的次数，达到了无排气出土的目的。

螺旋出土机的组成有：螺旋机活塞筒；螺旋叶、杆；储土舱；出泥门；螺旋机旋转的驱动装置；螺旋机活塞筒上下运动的驱动装置；螺旋机轨道安装定位的结构件。

螺旋出土机的工作原理：螺旋机筒体提升至封底钢管进土口上部，待皮带机送土，然后用皮带机或机械将土装入螺旋机储土舱的进料口，当储土舱被皮带机灌满土后，操作驱动螺旋机出土旋转，将储土舱内的压力土从螺旋机中相继排出沉箱。在此过程中螺旋机中始终充满压力土。至初始位置，重复上述过程。

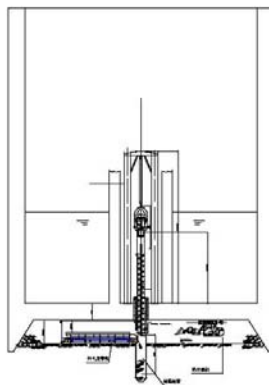


图 25-30 螺旋出土机示意图

2. 沉箱的辅助下沉方法

(1) 触变泥浆护壁下沉

沉井或沉箱外围设置泥浆套后，可显著减小侧壁摩阻力。由于沉箱下沉后期，下沉深度深，沉箱侧壁摩阻力是造成沉箱下沉困难的一个重要因素，故可采取泥浆套作为沉箱助沉的手段。

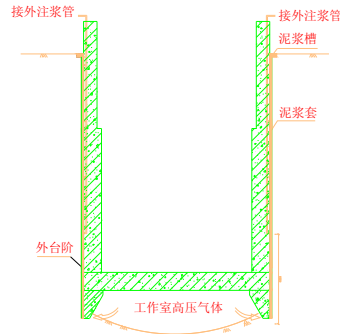


图 25-31 触变泥浆护壁

润滑泥浆在沉箱沉到底标高后，为避免触变泥浆失水引起周边土体的位移，应向井壁外压注水泥浆以置换泥浆套。

(2) 加重

沉箱加重辅助下沉法与沉井相同，此处不再赘述。

(3) 压沉系统

当沉箱下沉至一定深度时，由于气压的不断增加，底板上的浮托力也逐渐增大，此时开挖刃脚土塞、加重等助沉措施的效果不明显。

压沉系统是采用在外井壁设置外挑钢牛腿，作为支撑点，在牛腿上部设置一穿心千斤顶，千斤顶上端设一锚固点，并通过抗拉探杆与下部桩基连接，解决沉箱在侧壁摩阻力+刃脚反力+气压反力的作用下，依靠自重下沉困难的辅助措施。外挑钢牛腿可分别在沉箱 4 角对称设置，共设置 8 只。钢牛腿与结构通过预埋螺栓连接。

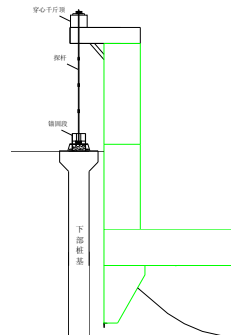


图 25-32 压沉系统

压沉系统的工作原理：

当启动压沉系统时，上端的穿心千斤顶油缸上顶，井壁外挑牛腿受到向下的压力，该压力通过牛腿传递到沉箱结构上，导致沉箱受压下沉。当穿心千斤顶油缸完成一个上顶行程时（约 20cm），意味着沉箱已在外加压力作用下下降了 20cm。此时千斤顶油缸回缩，将探杆上端受力螺母下旋至穿心千斤顶上口处。由于探杆是分段连接的，当沉箱下降一定深度后，可将多余杆件拆去。由于沉箱为分节制作，分次下沉，因此在每次接高后均应进行外挑钢牛腿的拆除，重新安装，以及探杆的接高。

(4) 减压下沉

当沉箱内周围土的摩擦阻力过大而不能下沉时，可暂时撤离工作人员，降低工作室内气

压，以强迫下沉。但减压下沉应慎重使用，气压较小时可导致工作室内涌水、涌土现象，导致地面塌陷，对周边造成的变形较大。

3. 沉箱纠偏措施

沉箱下沉时较平稳，不容易产生突沉倾斜等现象，因此比沉井容易纠偏。

沉箱纠偏可利用支撑及压沉系统。支撑及压沉系统分别在沉箱四角设置，当沉箱发生偏斜需要纠偏的话，可根据测量数据，通过调节不同千斤顶压力及行程，形成纠偏力矩，对沉箱进行及时纠偏。

4. 沉箱防漏气措施

(1) 泥浆套

沉箱外围设置泥浆套，可填充沉箱外壁与周边土体之间的可能空隙，阻止气体沿此通道外泻，尤其在沉箱入土深度不深的情况下，由于沉箱下沉姿态不断变化，外井壁与周边土体之间可能不断出现地下水来不及补充的空隙。

(2) 水封闭

为避免气体从刃脚处泄漏，实际工作室内的气压可略低于地下水位。这样可使工作室内的地下水位略高于刃脚，起到水封闭的作用，防止气体沿刃脚外泻。当工作室内气压的大小对开挖面土体干燥度有直接的影响，应考虑土体含水量过高对出土施工的影响。

(3) 刃脚处土塞高度

在工作室内开挖土体时，应保证此处的土塞高度，使刃脚能隔绝气体渗透通道，另外可将沉箱继续下沉一定深度，将刃脚下土体压实。

(4) 沉箱进入砂层减小气压

在穿越渗透性较强的砂性土及杂填土层时，其气体损失率则较高。因此沉箱在穿越砂性土等渗透性较高土层时，应特别注意维持气压在等于或略低于地下水位水平，防止气体大量泄漏。

25.4.3 沉箱封底

沉箱下沉到位后应进行连续观察 8h，如下沉量小于 10mm，即可进行封底混凝土浇筑施工。

沉箱封底分以下两种：

a. 传统的气压沉箱封底工艺是在沉箱下沉到位后将填充物混凝土或砂土等通过物料塔缓慢地运输至下部工作室，同时工作室采用人工在高气压下将填充物均匀摊铺，摊铺时应先周边后中间，对称浇筑，保证混凝土浇筑的均匀性，该工艺由于人工在高气压下作业操作空间小，施工环境十分恶劣，施工效率低。

b. 另外一种封底方式为：当沉箱下沉到位以后采用预先在沉箱底板（即工作室顶板）制作时即按一定间距预埋导管，导管直径与混凝土泵车尺寸相对应，在沉箱下沉过程中导管上端采用闸门封堵。当沉箱下沉到位准备封底施工前在沉箱底板上采用长导管一端与底板预埋导管连接，另一端与地面泵车导管连接，打开闸门，利用泵车压力将混凝土压入工作室，当一处浇筑完毕后泵车移到下一导管处继续浇筑。

封底混凝土要求采用自流平混凝土，以保证混凝土在泵车压力及自重压力下，可以在工作室一定范围内自然摊铺。封底混凝土达到强度后，再对其与底板之间的空隙处进行注浆填充。

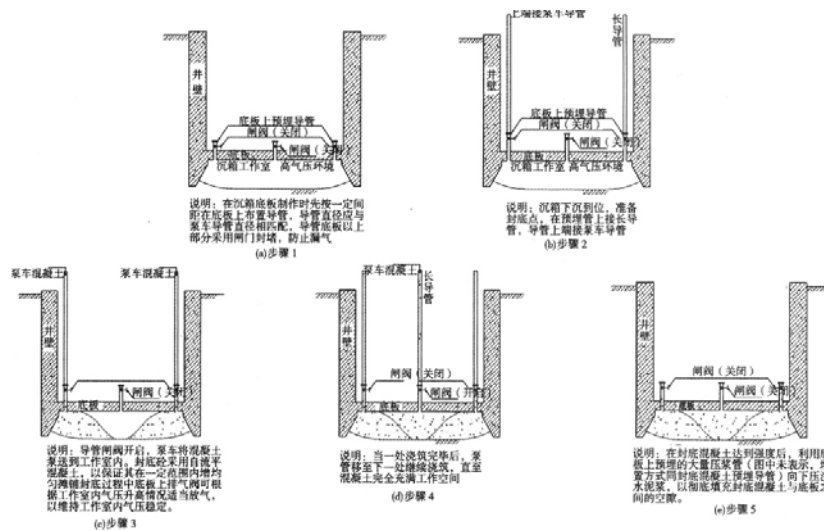


图 25-33 沉箱封底流程图

第一次封底仅封堵锅底部分及刃脚地面以上 1m 左右，以方便设备拆除施工，在封底混凝土达到强度要求后，可适当降低工作室气压后作业人员再进入工作室拆除设备，同时也便于作业人员将刃脚部分浮泥清洗干净以保证第二次浇筑封底混凝土时应能与刃脚紧密结合。在主要设备拆除后，进行第二次封底混凝土的浇筑，在封底混凝土达到强度前，工作室应维持足够的气压。在封底结束后通过底板处预埋注浆管压注水泥浆进行空隙填充。施工中应利用多辆泵车连续浇筑并保证混凝土浇筑的连续性，为保证混凝土能够充满整个工作室，必须保证混凝土有较大的流动性。

封底混凝土基本充满沉箱底部工作室，此时应维持物料塔及人员塔内的气压不变，待封底混凝土达到设计强度后再停止供气，在封底后进行底板预留孔的封堵。

25.5 质量检验与评定

25.5.1 沉井质量检验与评定

- 沉井工程中间验收应按以下各项进行，并填写验收记录：
 - (1) 制作沉井场地的地基土质；
 - (2) 每节沉井的制作质量；
 - (3) 沉井钢闸门的制作和安装质量；
 - (4) 井壁预留孔洞和预埋件的设置质量；
 - (5) 用不排水法施工的沉井基底可用触探及潜水检查，必要时用钻孔方法检查。
- 沉井制作尺寸和允许偏差见表 25-8。

制作沉井时的允许偏差 表 25-8

偏差名称		允许偏差
沉井断面尺寸	长、宽	±0.5%，且不得大于 100
	曲线部分的半径	±0.5%，且不得大于 50
	两对角线长度	对角线长的 1%
沉井井壁厚度		±15
井壁、隔墙垂直度		1%
预埋件、预留孔位移		±20

3. 沉井下沉结束，其偏差应符合以下规定：

(1) 刃脚平均标高与设计标高的偏差不得超过 100mm；

(2) 沉井水平位移不得超过下沉总深度的 1%，当下沉总深度小于 10m 时，其水平位移允许 100mm。

(3) 矩形沉降刃脚底面四角(圆形沉井为相互垂直两直径与圆周的交点)中的任何两角的高差，不得超过该两角间水平距离的 1%，且最大不得超过 300mm。如两角间水平距离小于 10m，其刃脚底面高差允许为 100mm。

(4) 下沉总深度是沉井下沉前刃脚底面标高与下沉结束后刃脚底面标高之差。

25.5.2 沉箱质量检验与评定

1. 沉箱工程中间验收可参照沉井工程。

2. 沉箱制作尺寸和允许偏差见表 25-9。

沉箱制作时的尺寸允许偏差

表 25-9

序号	检查项目	允许偏差或允许值	检查数量		检验方法
			范围	点数	
1	平面尺寸	长度(mm) $\pm 0.5L$ 且 ≤ 100	每边	1	尺量
2		宽度(mm) $\pm 0.5B$ 且 ≤ 50	每边	1	尺量
3		高度(mm) ± 30	每边	1	尺量
		圆形沉箱 4 点			
4		直径(圆形沉箱)(mm) $\pm 0.5D$ 且 ≤ 100	2		尺量(互相垂直)
5	对角线(mm) ± 0.5 线长 且 ≤ 100	2		尺量(两端 中间各取一点)	
6	箱壁厚度(mm)	± 15	每边	3	尺量
			圆形沉箱 4 点		
7	箱壁 隔墙垂直度(mm)	$\leq 1\%H$	每边	3	经纬仪或线垂
			圆形沉箱 4 点		
8	预埋件中心线位置(mm)	± 20	每件	1	尺量
9	预留孔(洞)位移(mm)	± 20	每件	1	尺量
			每孔(洞)	1	

注：表中 L 为设计沉箱长度，单位：mm；B 为设计沉箱长度，单位 mm；

H 为设计沉箱高度，单位：mm；D 为设计沉箱直径单位：mm

检查中心线位置时，应沿纵、横两个方向测量，并取其中较大值。

3. 沉箱下沉结束，其偏差应符合以下规定：

沉箱下沉结束后尺寸允许偏差

表 25-10

序号	检查项目		允许偏差或允许值	检查数量		检验方法
				范围	点数	
1	刃脚平均标高 (mm)		±50	每个	4	全站仪
2	刃脚中心线位移 (mm)	H≥10m	<0.5%H	每边	1	全站仪
		H<10m	50	每边	1	全站仪
3	四角中任何两角高差	L≥10m	<0.5%L 且 ≤150	每角	2	全站仪
		L<10m	50	每角	2	全站仪

注：表中 H：下沉总深度，系指下沉前后刃脚之高差；

L：方形沉井为两角的距离，圆形沉井为互相垂直的两条直径。

25.6 常见事故及预防

沉井及沉箱下沉施工中常见问题、原因分析、预防措施及处理方法见表 25-11。

沉井及沉箱下沉施工中常见问题原因分析、预防措施及处理方法

表 25-11

常遇问题	原因分析	预防措施及处理方法
倾斜	<ol style="list-style-type: none"> 1. 刃脚下的土软硬不均匀； 2. 没有对称地抽除承垫木或凿除混凝土垫层或没有及时回填夯实； 井外四周的回填土夯实不均匀； 3. 没有均匀挖土，使井内土面高差悬殊； 4. 刃脚下掏空过多，突然下沉，易产生倾斜； 5. 刃脚一侧被障碍物搁住，未及时发现和处理； 6. 沉井排水开挖时，井内涌砂； 7. 井外弃土或堆物，井上附加荷重分布不均匀，造成对井壁的偏压 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加强下沉过程中的观测和资料分析，发现倾斜及时纠正； 2. 对称、均匀地抽除承垫木或凿除混凝土垫层，及时用砂或砂砾回填夯实； 3. 在刃脚高的~侧加强取土，低的一侧少挖或不挖土，待正位后再均匀分层取土； 4. 在刃脚较低的一侧适当回填砂石或石块，延缓下沉速度； 5. 不排水下沉，在靠近刃脚低的一侧适当回填砂石；在井外射水或开挖、增加偏心压载以及施加水平外力
偏移	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大多由于倾斜引起，当发生倾斜和纠正倾斜时，井身常向倾斜一侧下部产生一个较大的压力，因而伴随产生一定的位移，位移大小随土质情况及向一边倾斜的次数而定； 2. 测量定位发生差错 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制沉井或沉箱不再向偏移方向倾斜； 2. 有意向偏位的相反方向倾斜，当几次倾斜纠正后，即可恢复到正确位置或有意使沉井向偏位的一方倾斜，然后沿倾斜方向下沉，直至刃脚处中心线与设计中线位置相吻合或接近时，再将倾斜纠正； 3. 加强测量的检查复核工作
沉井下沉过快	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遇软弱土层，土的耐压强度小，使下沉速度超过挖土速度； 2. 长期抽水或因砂的流动，使井壁与土之间摩阻力减少； 3. 井外土体液化 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用木垛在定位垫架处给予支承，并重新调整挖土；在刃脚下不挖或部分不挖土； 2. 将排水法下沉改为不排水法下沉，增加浮力； 3. 在沉井外壁与土壁间填粗糙材料，或将井筒外的土夯实，增加摩阻力；如外部的土液化发生虚坑时，可填碎石进行处理； 4. 减少每一节筒身高度，减轻自重

常遇问题	原因分析	预防措施及处理方法
沉井下沉极慢或停沉	1. 井壁与土壁间的摩阻力过大； 2. 沉井自重不够，下沉系数过小； 3. 遇有障碍物	1. 继续浇灌混凝土增加自重或在井顶均匀增加荷重； 2. 挖除刃脚下的土或在井内继续进行第二层“锅底”状破土；用小型药包爆破震动，但刃脚下挖空宜小，药量不宜大于0.1kg，刃脚应用草垫等防护； 3. 不排水下沉改为排水下沉，以减少浮力； 4. 在井外壁用射水管冲刷井周围土，减少摩阻力，射水管也可埋在井壁混凝土内(此法仅适用于砂及砂类土)； 5. 在井壁与土之间灌入触变泥浆，降低摩阻力，泥浆槽距刃脚高度不宜小于3m； 6. 清除障碍物
沉箱下沉困难	1. 井壁与土壁间的摩阻力过大； 2. 沉井自重不够，下沉系数过小； 3. 遇有障碍物 4. 下沉后期气压不断增大导致底板上浮托力增大	1. 在井壁与土之间灌入触变泥浆 2. 在井顶均匀增加荷重 3. 清除障碍物 4. 采用外部压沉系统下压 5. 减小工作室室内气压(慎用)
沉箱发生漏气	1. 沉箱外壁与土体之间空隙较大 2. 刃脚处土塞高度不足以隔绝空气渗漏通道 3. 沉箱进入杂填土及砂层时，孔隙率较大	1. 沉箱外围设置泥浆套填充空隙 2. 使工作室内气压略低于水压，用水封堵气体 3. 增加刃脚处土塞高度，使之隔绝气体渗漏通道
发生流砂	1. 井内“锅底”开挖过深，井外松散土涌入井内； 2. 井内表面排水后，井外地下水动水压力将土压入井内； 3. 爆破处理障碍物时，井外土受震动后进入井内	1. 采用排水法下沉，水头宜控制在1.5~2.0m； 2. 挖土避免在刃脚下掏挖，以防流砂大量涌入，中间挖土也不宜挖成“锅底”形； 3. 穿过流砂层应快速，最好加荷，使沉井刃脚切入土层； 4. 采用井点降低地下水水位，防止井内流淤，井点则可设置在井外或井内； 5. 采用不排水法下沉沉井，保证井内水位高于井外水位，以避免涌人流砂
下沉遇障碍物	下沉局部遇孤石、大块卵石、地下暗道、沟槽、管线、钢筋、木桩、树根等造成沉井搁置、悬挂	1. 遇较小孤石，可将四周土掏空后取出；遇较大孤石或大块石、地下暗道、沟槽等，可用风动工具或用松动爆破方法破碎成小块取出，炮孔距刃脚不少于500mm，其方向须与刃脚斜面平行；药量不得超过0.2kg，并设钢板防护，不得裸露爆破；钢管、钢筋、型钢等可用氧气烧断后取出；木桩、树根等可拔出； 2. 不排水下沉，爆破孤石，除打眼爆破外，也可用射水管在孤石下面掏洞，装药破碎吊出
下沉到设计深度后，遇倾斜岩层，造成封底困难	地质构造不均，刃脚部分落在岩层上，部分落在较软土层上，封底后造成下沉不均，产生倾斜	1. 应使沉井或沉箱大部分落在岩层上，其余未到岩层部分，若土层稳定不向内崩塌，可进行封底；若井外土易向内坍，则可不排水，由潜水工一面挖土，一面用装有水泥砂浆或混凝土的麻袋堵塞缺口，堵完后，再清除浮渣，进行封底。井底岩层的倾斜面，应适当作成台阶

25.7 工程实例

25.7.1 某特大沉井工程实例（江阴北锚沉井）

1. 工程概况

江阴大桥北锚墩沉井结构，长 69.0m，宽 51.0m，下沉深度 58.0m，井壁厚度 2.0m。沉井平面分为 36 个隔舱，隔墙厚 1.0m。沉井第一节高 8m，为钢壳混凝土，以下分为十节，每节高 5m，均为钢筋混凝土结构，沉井总高度为 58.0m，沉井刃脚高 2m，踏面宽 0.20m。

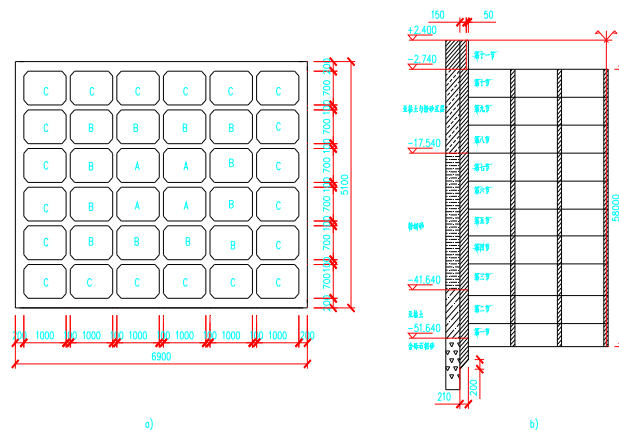


图 25-34 北锚沉井平面、剖面图(本图尺寸以 cm 计，标高尺寸以 m 计)

a)沉井平面图; b)沉井剖面图



图 25-35 北锚沉井现场施工图

2. 场地工程地质条件

北锚沉井距离长江大堤约 240.0m，地处长江三角洲冲积平原，地形平坦，地下水埋深约 1.60m，土层分布参见表 25-12 所示。

土层分布及其物理力学特性

表 25-12

单元代号	主要岩(土)性	层顶高程(m)	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	摩阻力(kPa)	容许承载力(kPa)	极限承载力(kPa)
1	亚黏土与亚砂土互层	+2.4	7	25.6	15	110	277
2	亚黏土与粉砂互层	-2.74	10	30.1	40	175	518
3	粉细砂	-17.54~-27.60	12	33.4	50	215	880~699

4	亚黏土	-41.64	28	24.4	45	225	626
5	含砾中粗砂	-51.64	16	34.7	115	375	1028

3. 下沉方案

考虑到北锚沉井的特殊性，最终综合各方面因素，采用两种不同下沉方案：上部 30m 采用排水下沉方案，可使沉井快速下沉。后 28m 采用不排水下沉方案，使沉井不会因承压水层、砂砾层等不良地质而导致塌方，危及长江大堤。

4. 排水下沉施工

根据北锚沉井场地的工程水文地质、工程环境、特大型沉井特点等情况，以及承担沉井工程施工的上海市基础工程公司以往多个沉井施工的经验，最终确定了按结构极限允许排水下沉 30m，沉井分为十一次制作，四次下沉的实施方案。即在沉井制作至 13m 时，排水下沉 12.5m；接高至 18m 时，排水下沉至 17.5m；再接高至 33m 时，排水下沉至 30m；之后接高至 53m 时，不排水下沉至 58m。沉井最后一节仅有井壁，分四块在下沉过程中制作，不影响沉井连续下沉。

(1) 降水

沉井场地工程水文地质条件复杂，地层内粗砂砾石层、粉砂、亚砂土层等砂性重，为了验证在亚黏土细砂互层和有承压水的情况下降水是否会对周边环境及江堤安全产生危害，进行了为期一个月的水文地质试验，并根据试验的结果提出施工方案。在实际施工中，沉井下沉至 30m 时，沉井外井壁水位降深在 28m 左右，未发生明显流砂现象，仅在东南角、西北角有少量塌方，对下沉无较大影响。

(2) 长江大堤及地面沉降控制措施

深层降水将导致地面沉降，影响周边环境，因此，对长江大堤及周围建筑物设点观测，以便对降水过程实行有效控制，因此，在沉井轴线上、十圩河大堤、长江大堤、民舍、桥墩等处布设了 28 个沉降点，沉降点观测在降水初期和水位恢复期间，每星期一次，后期两天一次，当天测量平均沉降值超过 1cm 时每天测量一次。1996 年 9 月底沉井排水下沉完成后，大堤经受了百年不遇的洪水考验，大堤安全稳定。

(3) 出土方法

大型沉井为保证下沉速度须选择合适的出土方式，江阴大桥北锚沉井采用深井降水降低地下水位，由高压水枪将泥冲成泥浆，再由接力泥浆泵将泥浆吸出井外的施工方案。按此方案，在沉井 36 个格仓内各布置一套冲泥水枪，每套水枪由 1 台 80-50-200B 型高压水泵供水。吸泥设备采用 NLI00-28 型高压立式泥浆泵，共 24 台，分别和各个格仓内的水枪相应配合使用。

(4) 排水下沉施工效果

沉井排水下沉的初始阶段对于沉井能否顺利下沉意义重大，既可检验沉井下沉方案的技术可行性，又可检验第一节钢壳沉井结构受力特性。沉井排水下沉结束后，四角最大偏差为 3.6cm，最大扭转角 $0^{\circ}20''$ ，满足此深度范围内规范规定及设计要求，为之后的不排水下沉打奠定了基础。

5. 不排水下沉施工

在沉井下沉施工中，主要通过克服沉井刃脚及井内隔墙底面的正面反力、沉井侧壁摩擦来达到下沉效果，本工程考虑到对周围土体扰动的敏感性，采用对土体扰动较小的空气幕法；由于第二层承压水的揭露，沉井井内水位与长江水位有直接联系，不能通过井内降水来减小沉井浮力，因此，北锚沉井在设计标高为 -29.0m 以下部分采用不排水下沉施工方案。

(1) 下沉力分析

在计算时取三种工况：

- a. 全截面支承，即刃脚及隔墙全部埋入土中；
- b. 全刃脚支承，即隔墙底悬空，刃脚全部埋入土中；
- c. 半刃脚支承，即隔墙底悬空，刃脚有一半埋入土中。

北锚沉井不同工况下沉系数计算表

表 25-13

刃脚踏面 标高(m)	工 况	沉井自重 (t)	浮力 (t)	侧壁摩阻力 (t)	正面阻力 (t)	施工荷载 (t)	下沉系 数 K
-26.6	全截面支承	134450	25924	26030	70440	700	1.13
	全刃脚支承	134450	25924	26030	21600	700	2.28
	半刃脚支承	134450	25924	26030	13200	700	2.77
-41.64	全截面支承	134450	41325	44078	50080	700	0.99
	全刃脚支承	134450	41325	44078	16902	700	1.53
	半刃脚支承	134450	41325	44078	10329	700	1.71
-51.64	全截面支承	138440	51565	54878	82240	700	0.63
	全刃脚支承	138440	51565	54878	27756	700	1.05
	半刃脚支承	138440	51565	54878	16962	700	1.21
-55.60	全截面支承	138440	53060	65808	82240	700	0.58
	全刃脚支承	138440	53060	65808	27756	700	0.91
	半刃脚支承	138440	53060	65808	16962	700	1.03

根据以往多个大型沉井施工的经验，沉井下沉时下沉系数 K 一般在 1.10~1.20 最宜，根据上述计算结果可知：

- a. 刃脚踏面标高在-41.64m 以上，即穿越粉细砂层时，沉井能顺利下沉。
- b. 刃脚踏面标高在-51.64m 以上，即穿越亚黏土层时，只有在半刃脚支承下，沉井才能顺利下沉。
- c. 到达设计标高前，即沉井进入含砾中粗砂层，需要采取辅助措施才能保证下沉。
- d. 沉井下沉至设计标高-55.60m 时，基本可保持稳定。

(2) 不排水除土下沉施工方法

a. 冲、吸泥顺序

北锚沉井 36 个格仓内每格布置一套空气吸泥机，空气吸泥先从中心 A 区四格开始，逐渐向 B 区、C 区对称同步展开。根据沉井下沉受力分析的结果及下沉测量数据，调整对 C 区土体的冲、吸范围，并采取相应措施。

b. 空气幕助沉

根据沉井下沉受力分析，沉井进入含砾中粗砂层后，仅依靠自重下沉已很困难，因此，沉井制作时，在井壁外侧钢筋保护层内预先埋设了空气幕管路及气龛，如图 25-58 所示。

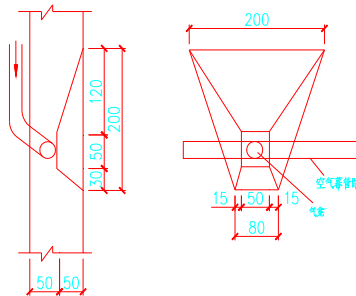


图 25-36 空气幕管路及气龛示意图

空气幕就是通过井壁中预先埋设的空气管路中压高压空气，气流沿管路上的小孔射入井

壁外侧的气龛中，当气龛充满空气后即沿井壁产生向上的气流，形成空气幕。

c. 穿越黏土层

根据地质资料，第四层为亚黏土层，呈可塑~硬塑状，层厚平均10m左右。沉井穿越此层时比较困难，若使用高压水枪在一般压力下，难以破碎，施工中采用了如下措施克服沉井在黏土层中下沉的困难：

(a) 采用反循环钻削式吸泥机，先钻孔，再配合水平向水枪冲泥；

(b) 两台高压水泵并联，以提高水枪压力，达到破坏硬土层的目的；

(c) 位于刃脚处的土体，则利用井壁中预设的高压射水枪冲刃脚下的土体，以减少正面阻力。

(d) 下沉测量

沉井的下沉测量包括：泥面标高测量、下沉速度测量及沉井高差测量。

因无法实时了解井底施工状况，本工程采用测绳测量和潜水员水下探摸的方式来及时了解井底泥面标高，每个井格取8个点，每天一次，以指导施工。

沉井的下沉速度及沉井高差测量采用传统的水准仪测量和由上海基础工程公司设计研究所研制的高程自动监测系统。区别于传统的水准仪测量，高程自动监测系统可及时准确的反映沉井下沉状态，保证了沉井下沉施工顺利。

沉井施工中，在沉井的四角及各边的中点共设置8个测点，每天测量不少于4次，测量结果以8个测点下沉量的平均值作为沉井每次的下沉量，并根据结果指导沉井纠偏下沉施工。

c. 不排水下沉施工效果

北锚沉井不排水下沉历时154d，各项技术指标均达到设计要求，并优于规范标准，沉井下沉施工取得了圆满成功。

6. 结束语

北锚沉井地处长江北岸岸边，场地的工程水文地质复杂，地层上部为软弱层，下部为硬黏土和粗砂砾石层。沉井周围工程环境要求高，距离长江大堤仅240m，且工期紧。承担北锚沉井工程施工的上海市基础工程公司根据以往沉井施工的实践，借鉴国内外众多沉井的施工经验，经过反复分析、研究，制定了周密可行的施工技术方案的施工工艺，解决了地基加固、钢壳制作安装、沉井混凝土浇注、降水、排水下沉和不排水下沉施工工艺、下沉监控和下水大面积封底等一系列重大技术关键问题，并成功地采用了高压水水力挖泥、空气提升、气龛减阻等有效的机械装置，最终高质量地将北锚沉井顺利下沉到设计标高。北锚沉井工程的施工方案与施工工艺是成功、有效的。经检测验收：沉井偏斜度小于1.1‰，达到高差位移7cm、轴线位移13.1cm的高精度水平。

25.7.2 钢壳浮运沉井工程实例（宝钢取水工程）

1. 工程概况

上海宝钢长江引水工程位于宝山罗店乡小川沙河西，东南距宝钢总厂约14公里，引水工程由取水系统、调节水库、输水系统三大部分组成，通过泵房将库内淡水输送至宝钢厂区内。泵站设置在离岸线1.2公里的长江滩地前沿，坝中至沉井中心距离72.90m，坝中至坡脚距离27.70m，成为江中式泵站。工程地质参见表25-14

2. 结构选型和受力分析

泵房的基础和下部结构采用圆形沉井，外径 $\Phi 43\text{m}$ ，高21.55m。

为保证沉井整体刚度、下沉过程中的稳定性及底板受力的需要，在钢壳沉井中设置了井字交叉钢质T型梁，梁高4.5m，顶宽3m纵横各三道，将沉井分隔成约10m \times 10m左右的方格(图25-38)。取水泵房结构见图25-37。

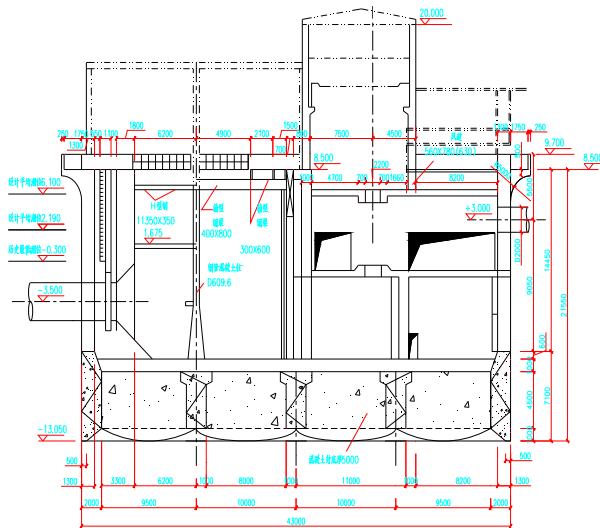


图 25-37 沉井结构剖面(尺寸单位: mm)

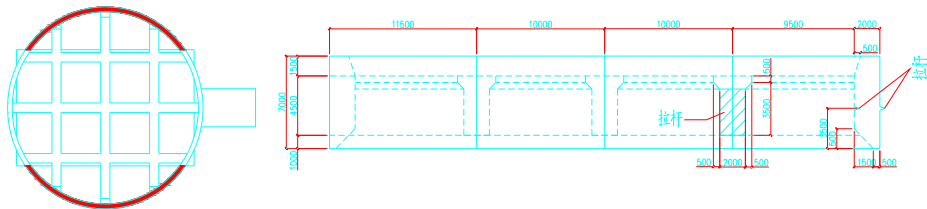


图 25-38 底节沉井平面和剖面(尺寸单位: mm)

各土层主要物理力学指标

表 25-14

层次	土层名称	层面标高 (m)	层厚(m)	容许承载力	压缩模 量 Es	固结快剪		快剪	
						Φ	C	Φ	C
1	亚砂土	-2.0~-4.0	2~2.5	1.5	120	20	0.05	15	0.05
2	淤泥质亚黏土	-5.0	2	0.9	35	13	0.10	10	0.1
3	淤泥质黏土	-15.8~-19.2	12~14	0.7	25	10	0.10	2	0.1
4	亚黏土	-49~-50		1.2	60	18	0.15	13	0.10
5	亚砂土								

3. 钢壳沉井制作

钢壳沉井平面和剖面按沉井尺寸制作,以型钢组成骨架,里外表面和底部覆以钢板,上口敞开的空腹薄钢板覆面的桁架结构,可以自浮于水面。钢壳沉井制作组拼以双体船作平台,分块滑入水后合拢。

4. 钢壳沉井拖运和沉放

(1) 沉井拖运

钢壳沉井制作完成后,在双体船上安装拖运设施,包括发电机、起锚机、锚具、照明设施、通讯工具、搭建指挥塔,船尾绑接拖船用 350t 方驳一艘,拖带编队为一拖二顶式,共三艘 900 匹马力(注)拖轮,船队总长 250m,最宽处 43m,最高点 13m,均满足南京长大桥通航过桥规定。详见图 25-32。

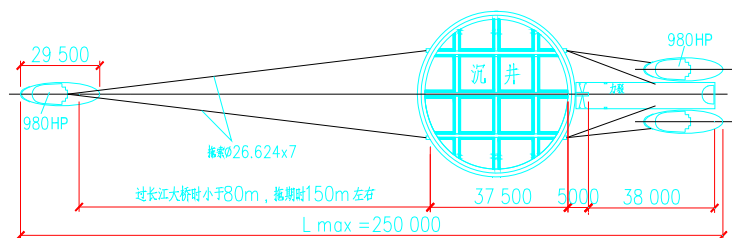


图 25-39 钢壳沉井拖航情况(尺寸单位: m)

由于长江 A 级航区风浪较大, 而双体船宽度、长度均小于被载钢壳沉井, 其抗风、抗浪能力差, 因而在拖运前必须周密组织, 掌握气象变化。

(2) 沉井浮运定位

沉井就位采用三艘吃水较浅的 400~600t 方驳牵曳到位, 因沉井阻水作用, 导致河床地基被冲刷, 故在井外围设置外径 53m, 内径 47m, 高 0.6~0.8m 环形防冲潜堤。井内灌水 1200t, 增加沉井自身稳定性。在井外壁处打设 L=18m, Φ400mm, 桩顶高 5.00m 的定位桩 3 根 (见图 25-33)。

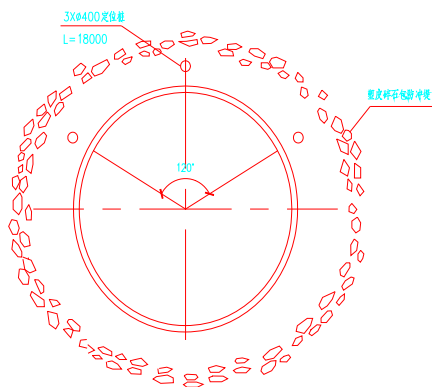


图 25-40 沉井定位辅助措施(尺寸单位: mm)

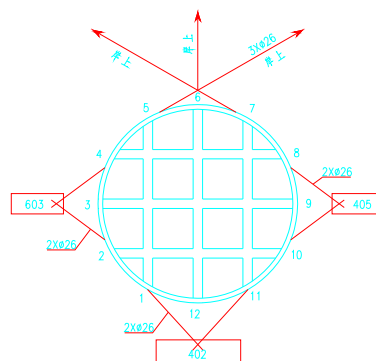


图 25-41 三船四方九缆定位法

沉井就位采用三船四方九缆实行移位转向定位法, 通过三台经纬仪定位测量 (图 25-34), 经校核符合要求, 钢壳内渐渐充水, 沉井逐渐下沉就位。

(3) 沉井制作接高

a. 地基处理

为加快进度, 满足总工期要求, 沉井采取分节浇筑一次下沉的方案, 本项目沉井总重 16500t, 地基平均压力达 300kPa, 而地基容许承载力 100~150kPa, 须通过各项措施解决承载力不足的问题。为此在沉井内底梁空格处填充砂 3100t, 平均厚 2.50~3.00m, 以提高承载力。

因沉井高宽比为 0.5, 又通过 6 根大梁加强了沉井刚度, 稳定性较好, 随着沉井逐步接高, 可防止地基失稳后的突沉和倾斜。此时的关键是要防止井内填砂不会因涨落潮而流失, 由于采取了防冲刷措施, 隔断效果良好。

b. 排水下沉、封底

(a) 沉井下沉

为使沉井顺利下沉, 配备了 4 台 150SWF-9 型高压水泵, 8 套水力机械, 施工时同时开启四套。

沉井下沉经过缜密考虑与施工经验, 分三个阶段进行: 第一阶段采用候潮排水, 灌水、空气吸泥交替作业, 共下沉 3.37m; 因沉井已嵌入淤泥质黏土隔水层, 第二阶段采用明排水水力机械下沉, 下沉 6.8m; 第三阶段减缓下沉速度以保证下沉质量, 下沉 1.30m。

(b) 沉井干封底

因沉井底部淤泥质黏土土质较好，故改为排水干封，并加强措施保证封底质量：

a) 井底保留原状土塞 2.5~3m，以保持地基稳定，并将封底混凝土厚度减少至 2m。

b) 为弥补封底减薄封闭后抗浮力不足，在底板设置减压井减压，并在每格设置集水井排水。实际施工中集水井几乎无水流出，故干封底取得圆满成功。

c) 为保持地基稳定，浇筑封底混凝土时采用对称分块浇筑方式，并交叉开挖土塞。

5. 结论

宝钢取水工程采用圆形浮运式钢壳双壁沉井作为水上沉井下部基础，将临时结构和永久结构相结合，在创新的同时又兼顾了施工质量、工期、成本等方面的因素，为今后国内大型取水工程、海上人工平台、码头船坞、水闸等工程结构提供了借鉴。

25.7.3 我国首例远程控制无人化自动挖掘沉箱工程实例（轨道交通耀华路中间风井）

1. 工程概况

我国首例远程控制无人化自动挖掘沉箱以上海市轨道交通 7 号线浦江南浦站~浦江耀华站区间中间风井工程作为工程实例。工程地点位于浦东新区耀华支路上钢三厂厂区内，工程现场照片如图 25-42。



图 25-42 气压沉箱施工现场

2. 沉箱结构形式

(1) 沉箱结构

沉箱平面外包尺寸为 25.24m×15.60m。井顶标高+3.938m，井底标高-23.012m，井底埋深-29.012m（设计地面标高+6.000）。其中，沉箱工作室净高 2.5m，箱体总高度 29.0m。井壁厚度为外井壁厚上部为 1200mm，下部为 1600mm，井内设截面为 1000×600mm 的井字梁作主要承力构件。结合原结构布置，考虑沉箱下沉工艺(增加整体刚度、便于格仓充水加重及纠偏等)，在长边、短边处均设了中隔墙。刃脚底踏步宽 600mm、踏步高 2100mm，刃脚高度 2500mm，刃脚最厚处厚度 1800mm。为增加结构横向刚度沿沉箱井壁在每层楼面标高处共计布置了四道水平框架(圈梁形式)。

沉箱结构平剖面图及盾构洞口示意图见图 25-43，图 25-44。

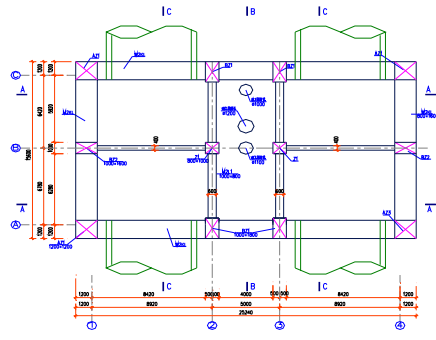


图 25-43 沉箱平面图

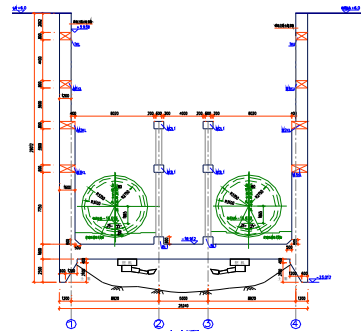


图 25-44 沉箱剖面图

(2) 沉箱制作高度

沉箱分六节制作，四次下沉，制作高度见表 25-15。

制作高度及下沉深度

表 25-15

工况	节段	制作高度	下沉深度	备注
第一次下沉	1、2、3 节	7.6m	6m	基坑预挖 3m 实际下沉 3m
第二次下沉	4 节	4.2m	10.2m	
第三次下沉	5 节	8.8m	18.0m	
第四次下沉	6 节	8.4m	29.012m	

(3) 沉箱纠偏

针对沉箱结构在下沉时出现的过快、过缓及偏心的问题，本工程独创设计了自主支承、压沉及纠偏系统。该系统以钻孔灌注桩作为起到支承时抗压及压沉时抗拔作用的反力桩，支承系统采用砂筒（钢管内填砂）形式，压沉系统采用穿心千斤顶加钢探杆形式，支承及压沉系统承担或施加的外荷载通过架设在沉箱壁上的外挑钢牛腿传递给结构本身，从而以支承或压沉作用自主控制沉箱下沉。

支承作用下的沉箱下沉以控制砂筒泄砂口闸门进行放砂后支撑杆件的缓速下沉来实现，压沉作用下的沉箱下沉以控制千斤顶的行程逐段顶拉探杆来实现。在下沉过程中，可通过调节各处支撑点的下沉高度不同或千斤顶行程不同来形成纠偏力矩达到精确控制沉箱下沉姿态目的。

表 25-16 为在施工下沉过程中各工况所受荷载的理论计算值、稳定系数计算值及采用的工程措施。

结构受力及稳定系数计算值

表 25-16

工况	阶段	气压环境 (kPa)	稳定系数 k_{sts}	系统功能	系统受力 (kN)
第一次下沉 下沉 3 米	起沉	0	2.24	支承	22223
	2.5m	50	1.98	支承	20263
	3m	55	0.66	支承	3640
第二次下沉 下沉 4 米	接高	55	1.49	支承	11665
	4m	95	0.44	助沉	2265
第三次下沉 下沉 8.8 米	接高	95	1.64	支承	19885
	2.7m	120	1.04	支承	4058

	8.7m	185	0.17	助沉	10756
第四次下沉 下沉 11 米	接高	185	0.61	助沉	2500
	6m	200	0.50	注水助沉	
	11m	250	0.49	下沉到位	

3. 施工工艺

(1) 出土方式

沉箱根据指令使悬挂在工作室顶板上的挖土机进行挖土取土，放入皮带运输机，并将土放入螺旋出土机的底部储土筒内，土渣从螺旋出土机的底部储土筒装满土后，由设置在外套筒上方的出土口连续涌出，落入出土箱内，再由行车或吊车将出土箱提出，并运至井外。连续的土塞隔断了沉箱内、外空气的连通，起到了防止工作室内的高压气体向外界渗透的作用，使出土不必经过物料塔出土须两次开、闭闸门气压调节的过程。另外沉箱物料塔也可作为备用出土口。



图 25-45 气压沉箱出土

(2) 气压控制

沉箱工作室内气压原则上应与外界地下水位相平衡，以免气压波动太大，对周边土体造成较大扰动。并且为了防止气压超过限值，在底板上设置进排气阀，当沉箱下沉至某一深度时，通过气压传感器进行气压实时量测，超过所设限值时实时启动警示系统，完成对工作室内的自动充、排气，维持工作室内的气压稳定。

(3) 工作室无人化封底

沉箱达到终沉稳定要求、关键设备回收完成后，即可进行无人化封底混凝土施工。

- a. 通过底板预留混凝土导管（设置闸门）向工作室浇筑自流平混凝土，自然摊铺。
- b. 混凝土凝结收缩后通过底板预埋注浆管压注水泥浆填充封底混凝土与底板之间的空隙。
- c. 维持物料塔及人员塔内的气压不变，待封底混凝土达到设计强度后再停止供气。
- d. 封底完成后，移除相关设备，封堵底板各预留孔。

4. 结束语

沉箱下沉期间对周围土体侧向变形很小，最大侧移-12.5mm，离沉箱越远，土体侧移越小。分层沉降在不同深度处各测孔的沉降规律基本一致，沉降量同时增加或减小。第一、二次下沉期间土体分层沉降变化较小，表明周围土体受沉箱下沉的影响很小，第三次下沉期间，各测点的土体下沉幅度增加稍大，最大下沉量为 14mm。煤气管线最大沉降量为-3.5mm，建筑物沉最大沉降量为-7.8mm，表明施工没有对周边管线及建筑物产生影响。

根据实测情况反映，沉箱结构变形小，沉箱下程过程对周边环境造成的影响小，沉箱本身以及周边环境在整个施工过程中完全处于安全状态，表明了本工程的设计和施工是非常成

功的。

25.7.4 大连新厂船坞接长工程

1. 工程概况

大连造船新厂位于大连湾臭水套出口，东水域南岸，厂区东侧和北侧面临大海，30万吨级造船坞(老坞)位于厂区东北角，该坞由90年代初建成并投入使用。

新厂船坞接长工程是中船重工集团公司的重点工程,也是大连市重点工程之一。工程主要由老坞接长、新增小坞、北码头接长、新增南码头、新增共用水泵房及吊车道工程等组成。



图 25-46 30万吨级造船坞实景

2. 工程特点

(1) 本工程由于是老坞口及原6万吨级舾装码头前沿向东,即向海域方向发展,因此整个工程均在海上建设,同时考虑到在施工阶段必须满足原造船坞正常生产,故不能采用先做围堰后在围堰内施工主体结构的常规做法,而用无围堰湿法建坞,即在水域条件下,首先湿法施工永久结构坞墙和坞口并做好止水围堰和其他止水系统,然后将上述永久结构作为围堰,干法施工坞底板和其他设施,最终形成船坞整体结构。

(2) 本工程水下地形和地质条件情况复杂,岩面起伏不平,岩性主要为灰岩,溶沟、溶槽、溶洞较为发育。

(3) 止水系统是本工程施工的关键之一,厂区内基岩裂隙的渗透系数较大,为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/s,深度10~15米后减少,在砂砾层中有承压水,水头略低于海水面0.3~0.4米。

3. 工程结构组成

坞墙采用升浆基床上预制钢筋混凝土沉箱加现浇廊道结构。分北坞墙、中间坞墙、南坞墙、西坞墙四个部分。坞口结构为钢浮箱内浇注钢筋混凝土实体的混合结构。

4. 止水施工

止水系统是本湿法施工船坞结构成败的关键之一,大体可分为3个部分,即岩面以下岩石内的止水;抛石基床内的止水和各结构物相互之间接缝的止水。

(1) 岩面以下(岩石内)止水

根据中船勘院现场压水和抽水试验,本工程基岩裂隙的渗透系数大,考虑岩面以下止水帷幕,分二阶段进行,第一阶段为施工期临时帷幕,共布三排孔;孔距为2.0m,排距为1.0m,底标高为-26.00,第二阶段为形成干施工条件后,在坞壁内侧做永久性止水帷幕,共布二排孔;孔距为2.0m,排距为1.0m,底标高为-32.00,



图 25-47 坞墙下水帷幕

(2) 基床内（包括岩面以上至沉箱底板之间）止水

抛石基床施工中考虑到止水的施工需要，在基床内、外两侧及 50 米左右长分段之间铺设土工布，以利于止水。止水采用注浆，利用上述三排帷幕注浆管，先注内外两排，压力略小，后注中间一排，压力增大。

(3) 各结构物之间接缝止水

沉箱在预制场预制时，在沉箱表面预埋几条橡胶止水带，为保证沉箱钢筋不被止水带断开，影响受力在止水带处沉箱表面混凝土向外突出 10cm，为防止沉箱在拖运、安装过程中止水带损坏，在止水带两侧加焊保护钢筋，沉箱之间预制时每边做半个企口，安装后合起来为一个 1m 宽的空腔，沉箱侧壁预埋橡胶止水带，在空腔内用竖管法浇注水下混凝土，形成临时（施工期）止水结构。

(4) 基床下升浆混凝土

采用无围堰全湿法施工，遇到的首要问题就是根据设计要求做好沉箱坞壁下的基床升浆混凝土和临时帷幕，为做到切实可靠，在正式施工之前做了陆上试验和典型段试验。

通过试验得出下列结论：

- a. 基槽清淤标准应控制： $\gamma = 10.5$ 至 11.0kn/立方米 之间，厚度应小于 100mm
- b. 基床骨料的粒宜控制在 80 至 200mm 之间。
- c. 抛石基床沿坞壁纵向应分段，分段长度 20 米左右，用土工布或袋装碎石作为分段材料，基床内、外两侧也应采用土工布或袋装碎石形成挡浆层。
- d. 两次升浆浮浆无固定流向，影响升浆混凝土质量，正式施工应采用一次升浆，将浆液由一端向另一端推进，使浆液和浮泥按固定路径流向远处，甚至挤出沉箱底部。
- e. 水泥砂浆宜采用高速搅拌机搅拌，这样浆液均匀、粘度好、不易离析。
- f. 选用砂浆配合比为：1：1：1.3（水泥：水：砂）。
- g. 升浆混凝土注浆率正常情况下大约在 36~38% 左右，
- h. 注浆孔布置三排是比较合理的施工时应先注两侧，再注中间。
- i. 注浆力控制范围为 0~0.3mPa

(5) 帷幕灌浆

帷幕灌浆是无围堰湿法施工最重要的环节之一，一旦帷幕灌浆处理有问题，则会给工程造成很大麻烦，对工期和工程造价造成无法估量的损失。

帷幕灌浆根据设计要求由三排组成，施工顺序为先灌注二侧边排，后中间排，每排分为三序列，逐排、逐序加密式注浆。每个注浆孔则采用自上而下钻孔灌浆法，并采用孔口封闭，孔内多次循环式压浆法。

(6) 夹层旋喷处理

由于船坞湿法施工存在一些结构交接面，而这些交接面极其容易形成漏水通道，因此在

岩面与基床面之间采用旋喷加固处理,旋喷形式采用三重管旋喷,孔距 1.0 米,对大于 1.2 米者,采用旋摆结合。

(7) 止水效果质量检查

止水效果质量检查是对湿法施工坞墙基底下升浆混凝土、旋喷止水和帷幕灌浆的一次综合检查,一般需在相应部位完成灌浆 3~7 天后进行,检查形式以钻孔后压水试验为主,船坞接长工程湿法施工坞墙和坞口后进行了 118 个检查孔的压水试验,均为合格,而且透水率绝大多数小于 2lu。

5. 坞口大型钢浮箱施工

大型钢浮箱是船坞接长工程的重要组成部分,坞口预制钢壳浮箱,尺度为长×宽×高=106×30×17.8 米,施工难度较大。



图 25-48 坞口大型钢浮箱

(1) 基础处理

基础水下整平面积为 $110 \times 34 = 3740$ 平方米,在该区域内整平后抛石基床面要求标高为 -14.0 米,而坞口区岩面标高为 -12.8 米~-16.2 米不等,因此有的需要先炸礁、清渣后再做抛石基床,有的需要先挖泥、清淤后再做基床。炸礁质量直接影响到基床的质量,因此在炸药钻孔密度和深度确定时均十分慎重,并采用优质炸药,保证一次清碴达到设计深度,在清理基槽时用不同抓斗对待不同清理对象,保证了清理质量。

(2) 抛石、整平、铺设土工布

钢浮箱抛石基床在 110 米纵向分成 5 个隔仓,横向 34 米不分隔仓,与坞墙基床一样,石料规格为粒径 80~150mm,孔隙率 45%以上,石料质量要求为无风化,无针片状,新鲜的硬质岩石,抛石方法为人工和机械相结合,根据分仓,并对照陆地标志,确保位置准确无误,抛填时边抛边测水深,避免超高或漏抛。

基床整平是十分关键的内容,直接影响到钢浮箱安装精度和使用效果,具体做法是,抛石接近设计标高时先予留一定高度,然后水下安装纵向刮道,根据刮道逐步填平并用横向刮道刮平,达到细平标准。整个抛石过程由测量工、抛石工、潜水员密切配合,共同完成。

基床土工布的作用主要是确保水下升浆混凝土的施工,因此铺设质量十分重要,实施时首先再次检查抛石基床标高和平整度符合要求后再在基床上标记土工布位置,在岸上、船上、和水下潜水员合作下将土工布铺好并压牢验收合格后,就可安装浮箱。

(3) 钢浮箱安装

钢浮箱在船坞内制作完成后,浮运锚固在拟建船坞坞口附近等待安装,钢浮箱安装要求精度高,操作难度大。

钢浮箱采用 6 根钢缆索固定,同时用 4 根缆绳向坞室方向牵引,其外侧由一艘拖轮牵引。

(4) 坞口其他施工

水泵房同样采用预制沉箱结构,但其局部深度大于坞口,因此采取了化整为零的方法,将水泵房前、后池放在坞室形成后,进行局部基坑围护和干法施工。

6. 结束语

无围堰湿法建坞技术研究,结合大连新船重工 30 万吨级船坞接长工程取得圆满成功,充分说明该项技术的可行性和可靠性。在本次工程实施中,多项先进技术均属首次采用:

(1) 首次在无围堰条件下,直接采用预制钢筋混凝土沉箱作为坞壁,预制钢壳浮箱作为坞口,在水上拼装组合后,进行止水处理,然后将坞室内水抽干,再进行坞底板等施工。

(2) 首次采用沉箱和坞口钢浮箱下基床升浆混凝土作为永久坞壁和坞口结构的组成部分,并依靠它同时解决基床强度、沉降、和止水问题。

(3) 首次采用 103 米长,30 米宽,18.7 米高的大型预制钢壳浮箱作为坞口,并利用原有坞门,为工程一次性抽水成功典定了基础。

参 考 文 献

- [1] 中国标准化协会标准. 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程 CECS137: 2002 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- [2] 孙更生, 郑大同主编. 软土地基与地下工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- [3] 国家标准. 建筑地基基础工程施工质量验收规范 GB50202-2002 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- [4] 刘建航, 侯学渊主编. 软土市政地下工程施工技术手册 [M]. 上海: 上海市市政工程局, 1990
- [5] 同济大学, 天津大学等合编. 土层地下建筑施工 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982
- [6] 刘建航主编. 沉井施工技术 [M]. 上海市工程管理局技术人员学习教材, 1989
- [7] 刘建航, 侯学渊主编. 基坑工程手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [8] 张凤祥, 傅德明, 张冠军主编. 沉井与沉箱 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002
- [9] 葛春辉主编. 钢筋混凝土沉井结构设计施工手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [10] 史佩栋主编. 深基础工程特殊技术问题 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [11] 周申一, 张立荣, 杨仁杰, 杨永灏主编. 沉井沉箱施工技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004