

# 浅谈井筒式地下车库的工艺选型

朱 雨

武汉市民用建筑设计研究院有限责任公司 430014

【摘要】在我国城市更新的不断深入的道路上，大量的中心城区老旧小区存在停车难的问题，为解决城市停车位紧缺，采用井筒式地下车库的一系列技术是缓解这一问题的可行有效方案。井筒式地下车库主体建筑结构设计由圆形筒壁的外墙+地下多层停车框架组成（必要时还可以在其上建造多层综合停车场的环形框架结构，即地上地下的综合停车场）。根据新建井筒式地下车库的主要工程设计特点，主要对其地下主体外围护结构和车库主体建筑结构设计进行案例分析和设计探讨。

【关键词】井筒式地下车库；预制沉井；垂直掘进；施工工艺

## 引言：

随着我国经济改革的深入，创新开放的深入，城镇化和农业现代化也在稳步推进，经济社会资本迅速向大中城市集中，人口也向其所在城市转移。一线城市就业人口的快速增加也直接推动了我国汽车电子产业的快速发展。为解决中心老城区“停车难”，有些城市采用了在有限场地进行井筒式地下停车库建设的试点，主要有方形地连墙代外墙的传统基坑开挖和圆形的沉井这两种方式，本文主要探讨的是沉井式的井筒式地下停车库，这种井筒又分为预制装配式井井+现浇锁扣的传统明挖分段拼接预制沉井（以下简称预制沉井）和整体机械垂直掘进的垂直盾构沉井（以下简称盾构沉井），下面就这两种方式的进行分析。

## 一、预制沉井的应用分析

这种工法的沉井适用于较大直径的圆筒，从内径 16m~23.9m 分别对应 8~20 台单层停车，当场地条件允许时，具有占地面积较少，结构安全合理，在施工期间作为基坑支护结构，无需设置内支撑，使用期间作为永久结构，一墙两用，减少工程量，无需支护从而缩短工期，沉井结构采用工厂预制，现场装配方式建造，进一步缩短工期，减小施工噪音扰民，降低施工安全风险等特点，因为单层停车数量较多，所以地下要达到同等停车数量时，筒体埋深相对可以较小。

沉井下沉工艺可以采用整体下沉，也可以分段下沉。另外在制作过程也可以根据实际施工情况来选择整体一次制作完毕还是分几次制作。下沉的方法大致可以分为排水下沉和不排水下沉。

①排水下沉法：指在沉井下沉过程中，采用机械或人工在井内取土，作业前需要排除土中地下水积水，如果场区在地下水较丰富的土层，必要时还应对井外进行降水，尽量排干开挖土体中的水分。一般还可以在筒壁外侧设置止水帷幕，采用多层粉喷桩或者三轴搅拌桩等方法。

②不排水下沉法：特点是沉井内部带水施工。

排水下沉适用于涌水小、粘性土层施工中使用，其优点是直观性较强，筒壁纠偏容易直观；不排水下沉的优点是工法简单，需要的设备也少，机械化程度较高，施工中可保持井内外的压力平衡，可以防止涌砂。在涌水量大以及流砂层厚的土层采用，其缺点是直观性不强，纠偏操作难度较大。沉井的助沉方法有自重法，射水下沉法，触变泥浆护壁下沉法，压重下沉法，空气幕膜法，抽水下沉法，井外挖土下沉法等。

在上述沉井方法中，不论是哪一种方法，在开挖土体的时候都需要对称、均匀作业，防止沉井出现不均匀下沉。排水沉井采用人工或者挖土机分层开挖，不排水沉井是在水下进行挖土，一般用抓斗机、吸泥机等设备。沉井设计时，井壁的厚度是首先需要考虑的问题，一般来说，在施工期间和运营期间井壁厚度要求是不一样的，

因此井壁厚度计算应分别考虑两个不同阶段的计算需求。

采用沉井法施工，不需要桩基围护，技术上安全可靠，施工操作简便。比敞口明挖占地面积小，挖土量少，对临近建筑物的影响较小。同时，圆形结构形式沉井稳定性好，结构简单对称，受力充分发挥筒壁拱效应，施工方便，能承受较大的荷载。在沉井的设计中，井壁及底板厚度的设计是沉井设计的主要内容之一，从结构受力与刚度方面考虑，井壁和底板厚度必须满足结构受力安全，在施工下沉期间和交付使用期间，井壁、井底结构须有足够强度和刚度抵抗外部土、水压力及井内结构自身和车辆荷载，确保结构受力安全同时满足抗裂要求，另外对井壁和井底合理的厚度匹配性研究也是很重要的，可采用 ANSYS 或 SAP2000 等有限元软件进行模拟受力分析，保证结构整体的安全稳定性。在沉井下沉过程中，可能会遇到各种不同地质条件，产生不同周边摩阻力和刃脚支撑条件，因此，井壁本身要有一定的厚度，才能满足沉井下降的重量要求。在沉井建成使用期间，因井外地下水位回升，对密封井筒产生较大的浮力，因此，井筒总体结构、井内固定设施的重量及井壁周边的摩阻力之和必须大于井筒所受的浮力，这里你可以把整个筒体想象成一个空心大桩。应分别针对沉井井筒结构、停车架结构进行全面计算与分析比较，最终设计的井筒结构厚度需同时满足以下要求：①沉井结构强度与刚度要求；②施工期间沉井下沉重量满足下沉要求；③运营期间沉井重量、井内恒荷载、顶盖重量及井身外壁摩阻力之和大于水浮力要求；④停车架结构不仅满足强度与刚度要求，同时还需保证结构拆分满足装配式构件预制生产、交通运输、施工安装简便高效的原则。

沉井下沉时，一般是靠沉井的自重克服下沉时的摩擦力而下沉的，因此井壁的厚度均为自重要求所控制。从一些地区的经验来看，为了减少井壁与土壤之间的摩擦力，将井壁外皮做成阶梯形的，把刃脚以上的井壁减薄，这样摩擦力就大大减小，井壁的厚度也就不受自重控制。在这个基础上再校核其自重是否能克服封底后及使用期间相应的最高水位给予井筒的浮力，如不能满足要求时还应适当加厚井壁。

沉井到位后应及时进行封底，沉井封底施工分为排水施工封底和不排水施工封底。

（1）排水施工封底：①封底前对沉井底面进行平整作业，并且对刃脚和井壁混凝土表面进行冲刷和打毛增加摩阻力。②按照设计尺寸将沉井的底部整修成锅底状。③清理完底部后封底时，沉井底面先浇一层素混凝土垫层。自然养护条件下等它的强度达到后，再进行钢筋绑扎作业，施工时要注意钢筋的端部应插入沉井的刃脚和槽内。④绑扎完钢筋即可进行底板的混凝土浇筑。大体积混凝土施工，浇筑应分层施工，连续作业以保证其的整体性和稳定性。分层浇筑的层厚大约为 350~550mm。由于仓底为锅底状，浇筑要求从

刃脚周围向中央逐步推进,并连续振捣匀实。浇筑完毕应进行混凝土养护,在自然养护期间应继续抽水。当养护混凝土强度达到设计强度的70%时,应封堵停止抽水。封堵时,应迅速用混凝土对抽干水的井内进行堵塞和填实,最后用法兰盘封闭,混凝土填平。

(2)不排水沉井封底:封底之前应由潜水员水下对和封底有接触的井壁和刃脚部位进行冲洗,并且铺上碎石垫层。水下封底作业时,灌注混凝土一般采用导管法或者推石灌浆法。灌注作业时,应清理井中的泥渣,保证新老混凝土接触面干净。当水下混凝土达到强度设计要求时方可抽离井内的水。

沉井设计时,井壁的厚度是首先需要考虑的问题,一般来说,在施工期间和运营期间井体厚度要求是不一样的,因此井体厚度计算应分别满足两个不同阶段的井体厚度计算需求并取包络,先考虑沉井施工阶段下沉壁厚,沉井壁厚由以下几方面的因素确定:

①首先满足下沉重量要求:设计中一般优先考虑沉井依靠自重克服土层摩擦力而下沉到设计标高的原则,当重量不足时,沉井无法通过自身重量克服土体阻力,则此时须采取均匀外加压重或其他助沉措施,会提高工程造价和附加工序,使工程施工变得复杂,而当井体重量过大,下沉系数过大或地基承载力不足时,由于沉井下陷速度快,难以控制垂直度,施工风险加大,因此,井壁合理的设计厚度是沉井成功下沉的重要保证。

②满足受力要求及抗渗性能要求:在施工阶段,井筒的各个井壁厚度应满足受力强度要求,而在使用阶段,井体作为结构的一部分,除了满足强度要求外尚应满足抗渗性能及限制裂缝宽度的要求。

沉井在下沉的过程中,本质上是一种围护结构。沉井在封底到位之后又成为埋置很深的地下的构筑物的一部分。所以,沉井在各个不同的阶段,包括从制作、运输吊装,下沉到最后的使用,它的各个部位所受的荷载作用情况都在发生变化。基于此,沉井的结构设计计算应按照从施工阶段到使用阶段的每个分步进行,这样才能保证沉井在施工和使用过程中的强度、刚度、稳定性的要求。在沉井施工阶段的计算与选取的施工方法有很大的关系。不同的施工方法对应的设计计算也不同。例如,采用触变泥浆护壁下沉时,由于泥浆的润滑作用,井壁与土体的摩擦力会比较小,更容易下沉;采用排水下沉和不排水下沉时井壁所受的水土压力及土层含水率变化对计算结果完全不一样,排水下沉比不排水下沉时的水土压力要大很多;把刃脚下土体取走再使沉井下沉只需要考虑井壁与外侧土体的摩阻力。若有刃脚支撑的情况,必须还要考虑刃脚下土体的极限承载力以及刃脚本身的结构尺寸。在沉井下沉的施工阶段,由于它是一个无底板无顶盖的筒体结构,所以在计算井壁的时候,一般取单位高度的一段,可以沿不同高度分别计算,以此作为平面框架结构进行计算。如果沉井的平面尺寸比较大,不能保证强度和刚度的要求,但是在工艺或者构造上允许时,也可以加纵横墙之类的内部支撑,这样沉井就变成竖向的框架形式,计算时应先计算平面再进行竖向计算。

沉井的运营阶段的是指沉井完全封底,加盖完成井内设施安装,完成顶板施工并做好地面覆土及上部构筑物等,由于按照沉井施工阶段下沉重量有了计算井壁厚 $H$ ,此时可计算复核使用阶段的沉井壁厚 $H$ 是否满足要求,在满足运营期间沉井抗浮重量的要求下,可计算井体底板结构厚度。在沉井厚度满足下沉和强度要求后,还应恢复地下水水位后的井筒进行抗浮验算,以此决定沉井底板厚度,并保证沉井满足抗浮重量要求和井筒各部位的受力计算要求。

在地下圆形机械停车库中,其停车架结构,传统的选材多采用型钢结构。通过对已建成的钢结构停车架子的使用情况及其综合分析的研究,认为其存在诸多不足,钢结构防锈措施费用较高,

防火措施费用较高,建造成本高,钢结构重量轻,对沉井整体抗浮贡献小。采用钢筋混凝土结构停车架替代钢结构停车架,并采用定型化、标准化、工厂化批量预制生产,现场拼装的建筑产业化预制装配式建造方式,是符合国情和国家政策的。

位于厦门海沧区行政服务中心的井筒式地下停车库,深度17m,内径18.6m,单层停车12台,采用预制沉井式井筒结构,工厂预制井筒拼接管片,现场安装形式,将井筒高度分成9层,底层为刃脚层,其余为标准层,每层分为10块,每块弧度为36度,每块内、外侧墙(可固结或分开)在工厂预制,运往现场拼装,在内、外侧墙之间的内腔浇筑砼,上下层竖向接缝错开18度。圆形井壁厚度为:底部刃脚层(1.8米高度范围内)厚度为1.0m,中间标准层(6.15米高度范围内)厚度为0.95m,上部标准层(10.25米高度范围内)厚度为0.90m,中间采用现浇钢筋混凝土浇筑填充连接,车架结构采用装配式预制钢筋混凝土车架。

## 二、盾构沉井的应用分析

当场较狭小时,这种工法的沉井可以考虑采用,相对预制沉井直径略小,布置就更灵活一些,覆盖了内径从12m~18m直径的4~12台单层停车,目前国内成功案例只有南京儿童医院的一例内径12m,也具有预制沉井的大部分优点,同时掘进速度更快,但因为单层停车数量较少,所以地下要达到同等停车数量时,筒体埋深相对可以较大,另外盾构沉井需要专业盾构设备,不同尺寸竖井的盾构机需要专门定制,效率高但是造价偏高,只有大批量的施工同直径井筒才能摊低机械成本。

垂直盾构机就位的掘进,是自上而下的切削土体推进,盾构机掘进的出碴方式有机械式和水力式,以水力式居多。水力盾构在工作面处有一个充满膨润土液的密封室。膨润土液既用于平衡土压力和地下水压力,又用作输送排出土体的介质,伴随着边推进边机械出土,同时也采用拼装预制管片并灌浆锚固,井片错缝组装进行侧壁的支护,当因深度特别大,或者地下水特别丰富时,还可再浇筑一层内衬砌,形成双衬砌的良好防水功能,不过这些在设计时应考虑足够的井筒内直径尺寸,以保证设备安装和停车的方便。

盾构沉井的设计、计算分析以及沉井和封底施工类同于前一种预制沉井的工艺,限于篇幅,这里不再赘述。

南京河西区南京市儿童医院旁将要竣工的井筒式地下停车库,深度68m,内径12m,单层停车4台,采用德国海瑞克VSM下沉式竖井掘进技术垂直盾构式井筒结构,工厂预制配筋管片,整环结构分成完全相同的6块管片,错缝拼接以加强结构的整体构造,拼接采用咬合灌浆锚固,限于空间车架结构采用装配式钢结构车架。

## 结束语

上述这两种井筒式地下停车结构适用于受地形限制,施工场地狭小,周边紧邻建筑物易受明挖法影响的区域。两种方法施工安全可靠,速度快噪音小,涵盖了单层4~20辆停车布置的不同直径井筒,但是对比传统的明挖地下室,造价偏高,需要进一步的深化研究。

## 【参考文献】

- [1]张创.井筒式地下车库的结构及其施工力学行为研究[D].西南交通大学,2018.
- [2]饶志红.井筒式地下车库施工工艺选型[J].建筑施工,2018,40(04):545-547.
- [3]中铁科建.一种预制拼装沉井式地下停车库系列关键技术研究报告总结,2019.4
- [4]隧道股份上海路桥.南京建设首座垂直盾构技术沉井式车库隧道与轨道交通,2021.1