

软土地基上的沉井设计

石俊昭 姚友成

(西北电力设计院 陕西 西安 710032)

摘要 结合沉井工程实例,阐述了软土地基上沉井施工方案的选取,并根据不同地基加固方案进行沉井设计.以某工程循环水泵房沉井为例,分析了施工和使用两个阶段的沉井设计计算,包括方案选择、下沉计算、抗浮验算、封底计算、地基应力计算等,同时给出了一些沉井设计施工的注意事项.

关键词 沉井设计 软土地基 施工方案

中图分类号 :TU753.64

文献标识码 :A

文章编号 :1006-764X(2005)S2-0027-03

沿海和内陆地区分布海相沉积、湖相沉积和河相沉积的软弱黏性土层厚度较大,其特点是含水量高、压缩性高、强度低、透水性差并且大多地区地下水位较高.当建筑物地下部分较深,由于场地地下水位较高,易使地基发生涌流或塌陷,此时多选择沉井这种结构形式.沉井施工是建设地下构筑物的一种常用施工方法,其施工过程为首先在井内掏土促使井体下沉,在井体沉至设计高程后封底,最后进行井内其余构件和上部结构的施工.同时沉井也可作为上部结构的基础,既能很好地满足工艺要求,又避免了大开挖造成地基涌流和塌陷,可以取得很好的经济效益.作为一种特殊的建筑物,沉井的设计计算不但需考虑使用阶段的工况,还需考虑施工阶段的工况.本文结合笔者的工程经验讨论了软土地基上沉井的设计.

1 基础资料的特殊要求

沉井作为一种特殊的建筑物,设计时对基础资料有特殊的要求,应按特殊要求进行地质勘测.勘测时应着重了解地层的均匀性,地基内有无较大障碍物和有害气体,各土层的极限承载力及其与沉井墙壁的摩擦力等.此外,在工程土特性指标要求中应注意其特殊性,如一般建筑物地基土抗剪强度应取不固结不排水的标准值,在沉井设计中一般采用固结快剪或快剪的峰值作为指标.

2 施工方案的选取

沉井施工方案的选取对沉井设计有直接的影

响,应综合工程地质、水文地质条件和施工条件等因素确定施工方案.沉井的施工方式有排水下沉、不排水下沉、一次或分段下沉等.沉井下沉对周围建筑物有较大影响,根据经验沉井到建筑物的影响距离为下沉深度的 1.5~2.5 倍,根据周围建筑物的重要性选取沉井与已有建筑物的距离,在沉井下沉中还应加强施工监测观察,必要时还应对已有建筑物侧土体进行水平位移观测.

由于软土地基的压缩性高、透水性差,在建筑荷载作用下会产生较大的沉降和沉降差,同时由于强度低地基承载力和稳定性往往不能满足工程要求,地基常采取加固处理措施.软土地基的软弱黏性土层厚度较大,沉井底部往往不能到达稳定土层.为满足地基承载力和地基变形的要求,沉井设计应结合建筑物地基处理选择合适的施工方案,考虑相应施工阶段的设计工况.根据不同地质情况对沉井下地基采取不同的加固方案,沉井设计应根据不同施工工况进行.下面结合软土地基上沉井设计的两个工程实例,阐述沉井施工方案的选取.

2.1 工程实例 1

某工程钢筋混凝土沉井结构平面尺寸为 42.6 m × 36.8 m,下沉 17 m,沉井封底底标高下有 15 m 左右的淤泥质土、粉土夹粉砂层,是较软弱的地层,对其进行旋喷处理,以加固土体、减小泵房的沉降.沉井下沉到设计标高,保持下沉稳定后进行封底.封底施工时,预留进行地基处理的旋喷桩喷射管的贯入通道.浇筑封底混凝土前,先在沉井内回填 0.3 m 厚夹砂碎石,然后浇筑封底素混凝土.旋喷桩在沉井封底

混凝土完全达到设计强度后进行,旋喷桩喷射管贯入土体深 34.4 m,成桩长 17.8 m,成桩直径 600 mm,桩孔间距约为 1.6 m,矩形布置。施工过程中采用一次排水下沉方式,排水方式采用井外排水(井点排水)。沉井下采用旋喷桩地基处理,解决了地基承载力不足、沉降过大和沉降不均匀的问题,满足施工进度要求,此地基处理方案不增加沉井设计工况。

2.2 工程实例 2

某工程钢筋混凝土沉井结构兼作顶管工作井,平面尺寸为 40.5 m×15.6 m,下沉 18 m,沉井封底底标高下有 35 m 左右黏质粉土、砂质粉土、粉砂层,黏质粉土层、砂质粉土层是较软弱的地层。为消除沉降及沉降差,满足地基承载力要求,沉井采用桩基支撑。先进行灌注桩基础的施工,随后进行沉井的施工。对于已有相同施工工艺的沉井结构,其灌注桩桩基在沉井下沉时有不少遭到破坏,出现断桩现象,进一步发现断桩多发生在刃脚周围,沉井中间部分的桩体大多完整。究其原因,施工时沉井采用了排水下沉,在下沉到设计标高时有少许涌土现象,由于刃脚下土体的水平推移对桩产生水平推力因而造成断桩。为此,在设计中增大了桩径和桩上部配筋,同时要求沉井下沉采用不排水下沉的方式。此地基处理方案要求沉井设计考虑不排水下沉的工况。

沉井地基处理,也可采用管桩基础,为保证桩基础的安全,施工顺序亦需要改变,首先进行沉井的施工,待其下沉到设计标高,保持下沉稳定后在沉井上设置临时管桩施工作业平台、施工管桩,随后浇筑封底混凝土、施工底板。这样避免了沉井下沉时对桩基的影响。

矩形沉井长宽比已达到 2.63,而 CECS 137:2002《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》中要求矩形沉井的长宽比不宜大于 2。考虑到该沉井平面布置对称,在适当部位设置框架结构以加强沉井的刚度。沉井下沉深度范围内的土层为淤泥质粉质黏土,土质均匀,要求施工时各区格均匀取土,加强施工控制,采用分段不排水下沉方式。在满足沉井下沉刚度要求和稳定的情况下,本工程长宽比采用 2.63。施工完成后各项指标均符合规范规定的良好标准,取得了良好的经济和社会效果。

3 沉井的设计计算

沉井计算应按施工和使用两个阶段进行。笔者以某工程循环水泵房沉井为例,介绍沉井的设计计算及一些注意事项。

3.1 方案选择及布置

建筑物的设计首先应满足其功能要求,结构布

置应根据建筑物的工艺布置进行。沉井井壁及内隔墙厚度尺寸的确定应根据工程经验和工艺布置要求,初拟壁厚时应满足沉井下沉要求(下沉系数取 1.3)。沉井布置同时考虑建筑物结构并满足施工的要求,取土井宽度一般不小于 2.5 m,以方便挖土。

根据岩土地质报告,该沉井所处地貌单元属典型的冲积-湖积平原,近来经人为改造,形成了诸如挡灰堤等人为地貌。建筑物位于灰堤和长江大堤之间的鱼塘(水域)中,地表水的深度约 0.5~1.0 m,水下泥面标高为 -0.5~-1.0 m。该地层上覆第四系全新统冲、湖积物($Q_{4al}+1$)和上更新统冲积物(Q_{3al})及局部的人工填土(Q_{4s})。场地 25 m 深度范围内地基土主要由淤泥和淤泥质粉质黏土组成,25~50 m 深度范围内为黏质粉土和砂质粉土,地面下 50 m 为粉砂层。沉井将位于淤泥质粉质黏土内,该层为灵敏度较高、渗透性较差的软弱土层,在勘察过程中未发现地下障碍物。淤泥质粉质黏土厚度大,层位稳定,但呈流塑~软塑状,力学性质很差,属高压缩性、低承载力土层,不宜作建(构)筑物的地基持力层或桩端持力层。粉质黏土层位较稳定,但呈流塑~软塑状,力学性质较差,属中等~高压缩性、低承载力土层,不宜作建(构)筑物的地基持力层或桩端持力层。而黏质粉土标准贯入击数平均值为 12.4 击,层位不很稳定,属中等压缩性、低承载力土层,不宜作建筑物的地基持力层或桩端持力层。粉砂标准贯入击数平均值为 35.6 击,层厚大且较稳定,力学性质较好,属中偏低压缩性、较高承载力土层,可作为主要建(构)筑物的桩端持力层或下卧层。场地为地震不液化场地,不考虑地基土的地震液化问题和地基土的震陷问题。

本地域地层地下水位的变化主要受大气降水和地表水体的影响,并与长江水体存在密切的水力联系。地下水位的升降呈季节性的变化,丰水季节埋藏较浅,枯水季节埋藏较深,1 个水文年份地下水的升降幅度一般为 0.5~1.0 m。

本沉井处于水域,下沉时标高高于地下水位。综合考虑地形条件、水文地质情况及循泵房的布置要求,采用筑岛施工,筑岛砂垫层厚度应保证沉井井壁制作时地基的稳定。沉井采用筑岛沉井法施工方案。施工采用不排水下沉和水下封底的方式,施工中应保持沉井内外水位的平衡,以防止由于地下水的渗流作用造成井壁外侧土体的流失或破坏,从而引起沉井下沉过快或失稳导致桩基破坏。

由于地基较差,沉井泵房的地基强度不满足地基承载力的要求,在建成后还有一定的沉降量,采用灌注桩作沉井的支撑,以提高地基承载力、消除沉降。

3.2 下沉计算

如下沉系数小于 1.05(软弱土层)或小于 1.15(其他一般土层),说明沉井自重小于沉井周围摩阻力,应配重或加大结构尺寸或将沉井外壁布置为台阶状,重新验算施工采用的水幕、气幕等施工方案。如下沉系数过大、不能满足下沉稳定要求时,应减小结构尺寸或加大刃脚踏面宽度,或增加底梁根数或在沉井周围加糙后再重新验算。

沉井下沉稳定验算包括按分段制作一半下沉一半和全部制作好下沉至设计标高两种情况进行验算。如果沉井设置有纵向框架,分段下沉时应注意使沉井下沉处的纵向框架满足设计要求,在沉井自重计算中应注意水位以下的浮力。实例 2 中沉井不排水下沉的下沉系数为 2.9,大于 1.05,满足下沉要求。

下沉系数较大可能会发生超沉、突沉。根据实际情况进行下沉稳定验算。对沉井下沉稳定而言,枯水季节下沉至设计标高未封底是最不利的工况。沉井下沉稳定系数控制在 0.8~0.9 之间,沉井下沉满足稳定要求。沉井下沉稳定验算不能满足时,需要进行地基加固。已建某工程下沉系数在 4.0 左右,此时下沉稳定较难控制,采用在刃脚下预加一些灌注桩控制下沉标高。

3.3 抗浮验算

根据可能出现的最高水位,沉井抗浮验算按施工期封底后和正常使用两个阶段进行计算。

施工期沉井沉至设计标高,封底和浇筑底板已经完成,遇丰水期,这种工况对沉井抗浮稳定不利,应进行抗浮稳定验算。沉井多为建筑物下部结构,还应计算使用期间(竣工空载抗浮)设计高水位时的抗浮稳定。抗浮验算按照施工期封底后和建筑物正常使用两个阶段分别根据可能出现的最高水位进行计算。施工期间沉井沉至设计标高、封底和浇筑底板已经完成,遇丰水期时对沉井抗浮稳定不利。沉井多为建筑物下部结构,还应计算在使用期间(竣工空载抗浮)设计高水位的抗浮稳定。需要注意的是,GB50069—2002《给水排水构筑物结构设计规范》中 4.3.3 条“对地下水应综合考虑近期内变化及构筑物设计基准期内可能的发展趋势确定”。对于实例 2 中沉井,筑岛较高的区域,地下水位根据设计地面下设计基准期内发展趋势考虑其结构抗浮安全。对于实例 2 中筑岛较高的区域,地下水位根据设计地面下设计基准期内发展趋势考虑其结构抗浮安全。

3.4 封底计算

沉井沉至设计标高,用素混凝土进行封底,封底完毕,排干沉井内的水,浇筑钢筋混凝土底板。待底板达到设计强度以后,进行上部接高。封底混凝土应

满足抗浮稳定要求和封底混凝土的强度要求。在钢筋混凝土底板发挥作用之前,封底混凝土的强度计算按施工期间封底混凝土可能承受的最大荷载:①丰水期地下水位产生的最大浮力;②低水位沉井自重引起的基底向上净反力(扣除封底混凝土自重),取两者的大值。封底厚度不能满足规范要求,则应降低刃脚踏面设计高程并加大封底混凝土与刃脚的接合面积和接合糙度。如封底完毕、排干集水时,沉井抗浮安全系数小于规范要求,则应将沉井封底安排在枯水季节或在沉井周围采取降水措施或采取配重措施。

3.5 地基应力计算

确定使用阶段不同工况的地基应力及基底向上净反力,根据结构形式计算底板内力,确定底板配筋,确定使用阶段各框架底梁承受荷载,同时验算地基承载力。本工程底板兼作灌注桩的桩承台,底板设计尚需满足相关设计要求。

3.6 井体内力计算

包括井体受力分析、荷载计算和最不利工况时的强度计算和裂缝宽度验算,分下沉阶段和使用阶段两种情况进行计算。

下沉阶段井壁在垂直方向上截取单位高度的井段按照封闭式框架进行计算,井壁上设置竖向框架或水平框架时,框架柱(梁)与板的刚度比不小于 4,框架柱(梁)视为井壁的不动铰支撑。刃脚根部高度等于该处井壁厚度 1.5 倍的一段井壁,施工阶段计算时除考虑作用在该段的水、土压力外,还应考虑由刃脚传来的水、土压力作用。兼作顶管工作井并由井壁作为顶管后背时,应做顶管后背计算。

在沉井的使用阶段,结构根据底板及后浇隔墙浇筑完成后的结构体系和实际作用进行计算。如对结构尺寸有所修改,则应重新进行下沉计算。

3.7 井壁纵向弯曲和竖向拉断计算

采用混凝土垫层的可不考虑纵向弯曲计算,如沉井制作采用枕木支撑则应计算井壁的纵向弯曲。当沉井下沉接近设计标高时,刃脚下土已被掏空,沉井靠井壁与土之间的摩阻力维持平衡。这时,沉井井壁在上部某处可能被土层卡住,下部处于悬吊状态,因而井壁可能出现较大的竖向拉力,最大拉力出现在井高的中部。根据 CECS 137-2002《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》的 1.9 条,土质均匀的软土地区可不做此项计算。

3.8 刃脚计算

刃脚受力比较复杂,当刃脚不单为固定于其端部的悬臂梁,还形成一封闭的水平框架时,水平外力应进行分配。当不计刃脚水平框架(下转第 45 页)

的宽顶堰虹吸井已经在某滨海电厂得以应用,投入运行2年多来,运行正常。

宽顶堰虹吸井的优点为:①水流通过虹吸井时水力损失较小,能提高虹吸利用高度;②能减少虹吸井堰后排水沟埋深,节省造价。缺点为:①计算理论模型不够明确;②虹吸井内水位波动相对较大。薄壁堰虹吸井的优点为:①计算理论模型明确,便于计算,工程应用更成熟广泛;②虹吸井内水位波动较小。缺点为:①水流通过虹吸井时有明显的跌水现象,水力损失较大;②虹吸井堰后排水沟一般埋深较深。

必须指出,宽顶堰虹吸井和薄壁堰虹吸井各自的优缺点是相对的,在不同工程中其适用性也有所不同。在某些工程中宽顶堰虹吸井未必能够体现出其优点,甚至不适用。例如,直流供水系统中凝汽器布置得较高,凝汽器最高点与堰后水位之间的距离已经超出虹吸利用的极限,工艺上要求虹吸井必须具有消能的功能,宽顶堰可能就不再适用了,而薄壁堰虹吸井的特点则往往能够满足工程要求;如果厂区布置上要求虹吸井堰后排水沟必须深埋(如避开其他沟及管道),并且因此而导致凝汽器最高点与虹

吸井堰后的水位差加大,此时采用宽顶堰虹吸井又超出了虹吸利用的极限(按照现行的《火力发电厂水工设计技术规定》中计算所得的最大虹吸利用高度不应超过6.5~8.0m),此条件下则可能必须采用薄壁堰虹吸井。

因此,本文概括的宽顶堰虹吸井和薄壁堰虹吸井的优缺点是具有一定适用性的,具体工程中究竟应采用什么型式的虹吸井需因地制宜,并通过技术经济比较来加以确定。本文给出的宽顶堰虹吸井的型式也不是最优的,实际工程中水流突变的部位(如堰后水流与下游排水沟水流相衔接的部位)尚应进一步修改为趋于流线型的设计。本文的重点在于强调,如果条件允许,设计中应充分挖掘虹吸井的节能潜力,如果虹吸作用已经利用至极限,则应尽可能抬高堰后排水沟的埋深以节省造价,采用宽顶堰虹吸井更有利于上述目标的实现。

参考文献:

[1] 李鉴初,杨景芳.水力学教程[M].北京:高等教育出版社,1995.

(收稿日期 2005-09-18 编辑 高建群)

(上接第29页)

作用时,取单位宽度作为悬臂梁,可按下述两种最不利工况进行计算。①刃脚向外弯曲。当沉井开始下沉时,刃脚斜面上土的横向推力向外作用,产生向外挠曲,用以计算刃脚的内侧竖向钢筋和截取水平框架计算其水平钢筋。②刃脚向内弯曲。当沉井下沉到接近设计标高准备封底时,刃脚内侧的土已掏空,在外侧土、水压力作用下,刃脚产生向内弯曲,用以计算刃脚的外侧竖向钢筋和水平钢筋。

3.9 纵横框架计算

按照封闭式框架进行计算,施工阶段框架底梁的地基反力设计值可取土的极限承载力值;使用阶段纵横框架结构根据底板及后浇隔墙浇筑完成后的结构体系和实际作用进行计算。沉井设计中,各构件的强度计算和裂缝宽度验算均应满足施工阶段和使用阶段的最不利工况。位于江岸的沉井,前后两面水平作用相差较大时,应验算沉井整体滑移和倾覆的稳定性。

4 结 论

沉井作为一种特殊的建筑物结构,是软土地基地下建筑物的主要类型之一。一般建筑物的截面设计,由使用阶段要求决定,沉井结构因其施工方式应增加施工阶段的内力设计。对软土地基,由于软弱黏

性土层厚度较大,沉井底部往往不能到达稳定土层。在较大荷载作用下,为满足地基承载力和地基变形的要求,沉井结构的地基需要做加固处理,沉井施工方案选取需要根据地基处理方案综合考虑,沉井结构施工阶段内力与施工方案密切相关。

沉井的设计应根据现场条件和施工方案进行,设计时不仅要考虑保证沉井本身的强度和安全,还要考虑施工时可能发生的问题。施工时既要按照既定方案进行,同时还要考虑到不利情况的出现,做好预防和补救措施。设计单位应随时了解施工情况,及时发现问题、解决问题,以保证沉井设计施工的顺利进行。

(收稿日期 2005-09-12 编辑 骆超)

