

砂、卵石地质条件下沉井施工技术的应用 ——以遂宁某污水厂进水泵房施工为例

左俊杰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 沉井以其整体性强、结构稳定性好、适用土质范围广等特点,对于一些较大埋深的泵井构筑物,是一种较常用的施工方法。通过遂宁某污水厂进水泵房工程沉井施工实例,详细阐述了在砂、卵石地质条件下,通过分析地质、水文特点,选用沉井排水下沉与不排水下沉相结合的施工方案顺利完成该项目的整个施工流程,为类似工程提供借鉴和参考。

关键词: 沉井制作;排水下沉;不排水下沉;水下封底

中图分类号: U445.55+7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0195-04

0 引言

沉井施工的特点是整体性强、结构稳定性好、适用于多种土质。与大规模开挖相比,施工占地面积小、土方处理工作量小、对临近建构筑物的影响较小。尤其是一些老的污水厂改、扩建项目中,在已有老厂内新建埋深较大的泵井等构筑物,考虑到周边管线复杂,离老构筑物距离较近,沉井施工无疑是比较好的选择。论文通过遂宁某污水厂进水泵房工程沉井施工实例,根据水文地质条件分析,选择排水下沉与不排水下沉相结合的施工方案,从经济和工期角度确保了该工程的顺利实施。也希望通过该工程实例为类似工程提供一些借鉴和参考。

1 工况

1.1 施工场地周边环境及平面布置

遂宁市某污水厂提标改造工程中新建进水泵房选址位于污水处理厂东南侧,原污水处理厂粗格栅东侧。原地面标高约为275.7 m。在井位南侧有厂区门卫室一间,施工前进行拆除、挖除基础。根据原厂区施工图纸、勘察资料及实地排查,施工区域地下存在较多使用中的工艺管线,如图1。

由于老厂区建设年代已久,能查询到的图纸也不全面,同时施工过程中需尽可能不影响老厂的正常生产运行,故本工程采取施工占地面积小、土方

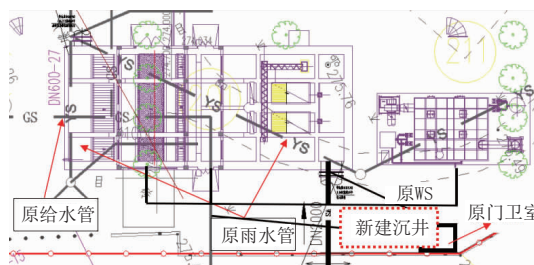


图1 施工场地周报环境及管线布置图

处理工作量小、对临近建构筑物及管线影响较小的沉井施工工艺。沉井结构为23.4×12.1 m,井深15.1 m,起沉标为272.7 m,下沉11.8 m,场地路面标高275.700 m。本次沉井分三节制作一次下沉,制作高度分别为4.55 m、4.85 m、4.7 m,见图2、图3。该施工区域地质状况如表1。

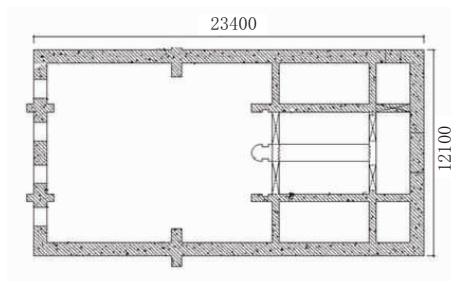


图2 沉井结构平面示意图(单位:mm)

1.2 施工场地水文地质条件

拟建场地地下水主要为埋藏于第四系砂、卵石层中的孔隙潜水和填土层中的上层滞水。砂、卵石为主要含水层,其富水性较好,透水性较强。大气降水和涪江河水为其主要补给源。勘探结束后,在钻孔中测得孔隙潜水稳定水4.00~5.00 m,标高为270.63~271.64 m,涪江历史最高洪水位278.17 m,常年水位

收稿日期: 2022-07-18

作者简介: 左俊杰(1983—),男,本科,工程师,从事工程项目管理工作。

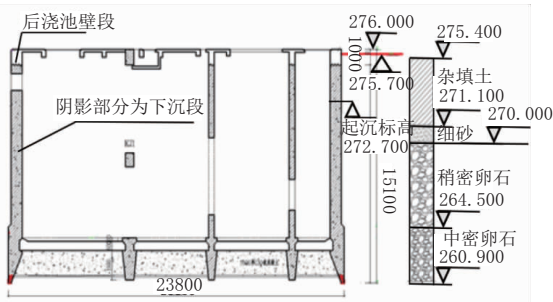


图3 沉井结构剖面图(单位:mm)

表1 地质分布状况一览表

地质分层	分布情况	地质状况描述
杂填土层	厚度 4.3 m	黑黄褐色,松散稍湿;以砂土和粉土为主
细砂层	厚度 1.1 m	褐黄色,松散、稍湿-湿;局部相变为粉砂夹粘土薄层和团块
稍密卵石	厚度 5.5 m	褐黄色-褐黑色,稍密饱和;卵石粒径一般为3-6 cm,含量60%
中密卵石	厚度 3.6 m	黄褐色-褐色,中密饱和;卵石粒径一般为4-8 cm,含量65%

275.50 m。

根据本工程勘察报告结果并结合区域水文地质资料,本场地孔隙潜水水位常年变化幅度一般为1.00~1.50 m。上层滞水系雨后积水及生活用水渗入,具有随深度增加而水位下降的特点,赋存水量不大,对浅基坑施工影响不大。

2 沉井施工方案比选

沉井施工常用的有排水下沉和不排水下沉两种施工方式。在施工中针对下沉方式的选用,主要考虑到工程地质水文条件、施工环境以及临近建构筑物的分布情况等。排水下沉比较常见,具有视野好,遇到障碍物也能及时的辨别清除,施工效率比较高的优点,多用于含水量不大的砂、黏土地层。但排水下沉的缺点是随深度增加,地下水较多时排水不经济,且有发生流沙、管涌进而造成井体下沉不受控制甚至危及临近的建构筑物的风险。不排水下沉主要是采用水下挖土的形式,井体依靠自身重力或辅助手段进行下沉。主要应用于地下水位较高,地质透水性较强或有严重流沙、沉井深度较大的条件下。其特点是对临近的建构筑物影响较小,施工较为简便。但下沉过程中容易发生倾斜,纠偏也比较困难^[1]。本工程粗格栅进水泵房由于埋深大,且限于周边水文地质条件(涪江支流水与沉井卵石层地下水相连通有较强透水性,但细砂层含水较少,无明显滞水),所以从经济及施工便捷角度并结合排水下沉与不排水下沉

特点进行分析,本工程拟采用排水与不排水下沉相结合、水下封底的沉井工艺进行施工。

3 沉井施工技术

3.1 场地准备

考虑到沉井自重大,且一次下沉,深度较大,经地质勘测得知上层土为杂填土。所以采用1:1坡度进行基坑开挖,将杂填土全部挖除,边坡采用钢丝网喷锚C20细石混凝土厚8 cm。为避免沉井制作施工过程中发生不均匀沉降和倾覆等质量安全事故,对刃脚及底横梁下采用中粗砂换填并分层洒水夯实的处置方式,每层厚度不超过30 cm。沿刃脚及横梁中心轴线,两侧各150 cm范围内浇筑厚度为10 cm的C20素混凝土垫层,来增强基底的整体承载力以及为后续首节沉井制作提供脚手架施工作业面,坑底四周设置排水沟及集水井,能够及时排水,确保工程顺利进展。

3.2 沉井制作

(1)刃脚制作:刃脚模板及支撑采用砖胎膜施工,这样与木模板以及刃脚下设置枕木的施工方式相比较为经济简便。因为属于一次性消耗材料,从经济角度考虑,砌筑用砖块标号不需要太高,砖模内面粉刷必须要保证平滑并垫衬油毡纸,这样易脱模且成型的刃脚表面光洁,能最大限度减少脱模后沉井下沉的摩阻力。本工程考虑到下沉地质有较为密集的卵石层,所以刃脚外包L200×16的角钢,通过两根φ12的锚筋与刃脚钢筋笼进行固定。刃脚示意图如图4所示。

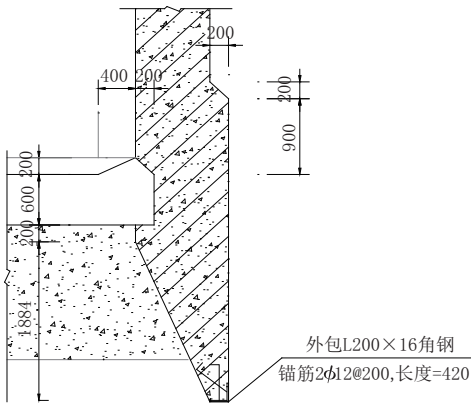


图4 刃脚示意图(单位:mm)

(2)沉井脚手架工程:沉井脚手架采用Q235普通钢管,型号为φ48×3.6 mm扣件连接形式。第一节沉井结构的钢管脚手架均搭设在基坑内,脚手架竖管根脚处铺设木跳板,以此来扩大与基础的接触面积,增强其稳定可靠性。脚手架搭设立杆纵距1.6 m,

横距 1.2 m。随施工推进,脚手架分层搭设加高,层高根据现场施工情况控制在 2.5~3 m。每层铺设钢篱笆形成步道,两侧设置防护栏杆,防护栏杆第一层高度 0.5 m,第二层高度 1.2 m。为方便工人上下通行,在层与层之间搭设 40° 斜步道进行连接,斜步道每间隔半米设置防滑条。

(3)钢筋工程:沉井钢筋绑扎按浇筑顺序分二次进行,第一次绑扎刃脚钢筋,第二次绑扎沉井外壁板钢筋。钢筋绑扎前做好现场放样准备工作,钢筋的连接 $\phi 14$ 以下采用搭接焊的形式, $\phi 16$ 及以上采用机械连接,严格控制钢套筒质量,并现场取样做拉拔试验,确保在试验合格的情况下方可批量投入使用。对于钢筋保护层的厚度控制,设置成品专用圆形卡扣,卡扣布置呈 1 m 梅花形布置,确保在混凝土浇筑振捣时有足够的强度支撑钢筋和模板的距离从而保证钢筋保护层的厚度。

(4)模板工程:模板表面应平整光滑且具有足够的强度、刚度、整体稳定性。该工程模板面板采用 18 mm 厚的胶合板,支撑围檩采用截面 50 mm × 100 mm 木方,为保证模板施工整体质量,木方要求顺直并具有足够的强度。对拉螺栓设置止水垫片,间距 45 cm 进行布置。横竖围檩的布置严格按照计算书要求进行布置。

(5)混凝土工程:本工程采用添加镁质抗裂剂的抗渗混凝土,抗渗标号为 P8,混凝土强度为 C30。混凝土浇筑前对沉井分节施工缝预埋钢板止水带周边混凝土进行凿毛处理,并清理干净,确保新旧混凝土面结合良好。泵送混凝土入模时,均匀移动出料软管,避免堆积增加模板局部受力,混凝土分层厚度不大于 30 cm,采用插入式振捣棒应根据其振捣半径逐步移动,确保均匀振捣密实,做到不漏振,不过振,振捣棒插入下层混凝土不低于 5 cm 以利于上下层的衔接。混凝土浇筑完成后在 12 h 内及时采取洒水养护措施。根据抗渗混凝土养护要求进行不低于 14 d 的日常养护,以确保混凝土的成品质量。

3.3 沉井下沉

(1)下沉前的各项准备工作

下沉前首先对沉井的外观质量进行检查,其次检查混凝土的强度是否满足下沉要求。下沉前按照设计要求,第一节沉井的混凝土强度达到设计强度的 100%,剩余管节达到设计强度的 75% 及以上。根据勘察报告计算沉井下沉的摩阻力以及分节下沉系数。并以此作为确定下沉方法和采取相关措施的重

要依据。沉井下沉系数计算:

$$K=(G-B)\div T$$

式中: K 为下沉系数,一般应大于 1.05; G 为沉井自重及附加荷载; B 为沉井所受的浮力; T 为沉井与土之间的摩擦力。

井体施工的模板、脚手架等杂物清理干净,并对沉井外侧四周用素土回填、夯实处理,回填高度高出原有开挖地表 50 cm 左右。为保证封底混凝土与井体更好的连接,下沉前对所有接触部位进行凿毛处理。为便于掌握沉井下沉状况,及时的收集数据。在沉井下沉前布置监控系统,具体包括在沉井外壁四面用油漆做好标尺刻度标记,用水准仪控制标高,用经纬仪控制沉井中心线。

(2)阶段一沉井排水下沉

首层土为细沙层,含水量较底,采取排水开挖方式下沉,首先利用 CAT306 微型挖掘机对刃脚砖胎膜以及刃脚下混凝土垫衬进行分区域对称凿除和开挖作业。一侧拆除完成后及时清理并采用中粗砂进行刃脚处夯实回填以提高其承载井筒自重的能力,确保不发生侧向倾斜,接着以同样方式进行对称侧的处置。刃脚拆除完成后,选用一台 CAT306 微型挖掘机和一台大挖掘机共同作业;沉井下沉施工遵循“先中后边、分层对称破土、先高后低、及时纠偏”的原则进行施工^[2]。利用大挖掘机由中心区域向四周刃脚方向进行开挖直至距离刃脚 80 cm 处,形成中间低四周高的锅底形状。“锅底”不要挖的太深,靠刃脚部位挖土不宜太快,以防沉井突沉^[3]。本工程利用小挖掘机配合人工清理对靠近刃脚底的土方进行缓慢开挖,井体依靠自重挤压“锅底”周边土体缓慢下沉。将沉井中心的泥土利用大挖掘机装入吊斗,泥沙的垂直调运选用两台 25 t 汽车吊对角布置在外侧,以确保覆盖整个作业面。

(3)阶段二沉井不排水下沉

当沉井已下降至 7 m 深时,渗流量变大。这时采用排水下沉由于排水时间长,作业时间间隔短,从经济和施工进度角度来分析已不是最佳的作业方式,且再进行强制降排水有塌方的风险。项目部及时调整施工部署,由排水下沉调整为不排水下沉方式,及时吊出施工机械。待井内水位上升稳定后,经测量水面距离开挖面深度约 1.5 m。该地层为卵石层,主要为卵石夹杂中粗砂。本工程选取履带吊抓斗机械施工并以一台大功率吸泥机配合使用来挖掘井内卵石。控制抓斗开合的平衡锤要有足够的重量,确保抓

斗能灵活开合提升工作效率。抓土时沿刃脚内侧分层对称自上而下进行开挖,但距离刃脚内侧 0.8 m 范围内土体进行保留,使沉井能够挤土下沉,由于为卵石夹砂层,中粗砂约占 25%,所以在施工过程中需每天用吸泥机进行一次吸排。吸排时要经常用水枪在吸头处进行冲刷搅动避免泥沙淤结。当沉井下沉至距离设计标高 50 cm 处时,由潜水员下水在刃脚处配合取土下沉,经观测沉井井顶高差最大约为 5 cm。此时停止下沉挖土,让井筒依靠自重进行下沉。并观测 12 h,观测井筒标高变化,确保下沉趋于稳定,各项参数指标满足设计要求。

3.4 沉井过程监测

在沉井下沉前,在道路上和沉井施工影响范围内布置沉降观测点,主要监测道路、进水管线、围墙、周围土体在沉井施工中的位移。监测项目包括:进水管线垂直、水平位移监测;周围土体水平位移监测;道路水平位移监测等,本项目监测布置位置见图 5。

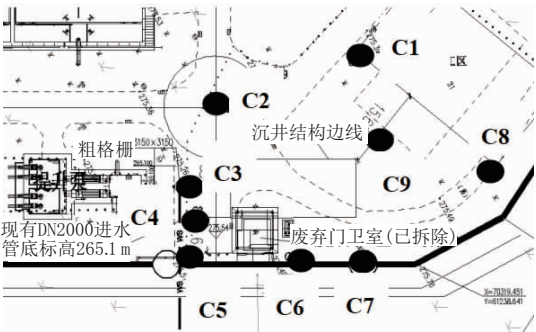


图 5 沉降观测点布置图

沉井下沉施工时的周围土体沉降检测:

- (1)下沉前测量观测点原始标高;
- (2)下沉过程每一小时测量一次;
- (3)测量沉井下沉到指定标高后的沉降值;
- (4)测量下沉到指定标高 1~3 d 后的沉降值;

根据反馈的沉降观测数据,适时的调整沉井下沉速度,沉降量过大,从预留的注浆孔进行压密注浆填充和加固土体。

沉井下沉过程中要对其沉降量、倾斜度进行监测,监测项目及监测频率如表 2。

排水下沉有诸多优点,如能够及早发现存在的问题,下沉可得到较好的控制,施工效率比较高,所以本工程推进速度也比较快。伴随着沉井下沉深度加大,土体含水量越来越大,尤其是下沉 6 m 左右后,在标高 266 m 处,渗流量明显增大,附近坑底已出现逐渐出现积水。工程施工人员及时配备水泵,并在靠近中心约 5 m 距离刃脚不低于 3 m 处开挖集水

表 2 沉井下沉监测项目一览表

监测阶段	监测项目	监测手段	监测频率	监测的目的
沉井制作阶段	基坑底面标高	水准仪	每次混凝土浇筑前	计算地基沉降量,分析沉井预制偏差
	倾斜度	吊锤、钢卷尺	4 h 1 次	防止沉井偏位下沉
沉井下沉阶段	下沉速度	沉井外壁刻度	2 h 1 次	防止突然下沉不受控
	平面位置	全站仪	4 h 1 次	防止沉井偏位下沉
	地下水位观测	测量水位观测井液位	2 h 1 次	防止发生流沙、管涌
	井内土体标高	用水准仪对每个仓格测量	4 h 1 次	控制沉井下沉的速度,防止产生过大偏差

坑及排水槽,利用水泵进行降水作业,根据水量本工程配置 6 台 7.5 kW(4 用 2 备),口径 10 cm 流量 50 m³/h 的潜污泵。尽可能延长排水下沉作业时间,确保满足下沉的速度及质量要求。

3.5 沉井水下封底施工

待沉井下沉稳定后,8 h 内的沉降不大于 1 cm 时便可进行封底作业。会同监理对井体的位移及标高按设计要求进行验收后开始进行水下封底作业。本工程沉井封底采用 1.6 m 厚 C30 素混凝土进行不排水水下封底。混凝土坍落度控制在 150~200 mm,采用两台泵车分布于沉井两侧进行施工;设置 1.5 m³ 的漏斗与导管顶端进行连接。混凝土浇灌依据先低后高、先周边后中间的顺序进行,灌注过程中导管徐徐提升,要确保导管理深控制在 1 m 深左右,直至混凝土浇筑达到设计要求的封底标高位置,为便于后续施工,派水下作业人员对封底面进行水下找平。

4 结 语

通过对该工程进水泵房沉井施工过程的详细介绍,我们不难发现沉井施工质量控制受多种因素影响,如地质水文条件、原材质量、施工关键节点控制等。在施工前要根据掌握的资料进行科学严谨的分析和计算,同时结合排水下沉及不排水下沉各自特点,因地制宜,选择和制定合理的施工方法,灵活的选用多种机械配合可以达到事半功倍的效果。如本工程位于西南山区,距离涪江支流较近,上层砂土层含水相对较少,下层卵石层由于透水性及水压特点含水量较高,针对性的采取沉井排水下沉和不排水下沉相结合的方案进行施工,综合运用两种方式的优点,取长补短,取得了比较好的经济技术效果。也希望通过本文能够为类似的工程提供一些借鉴和

(下转第 249 页)

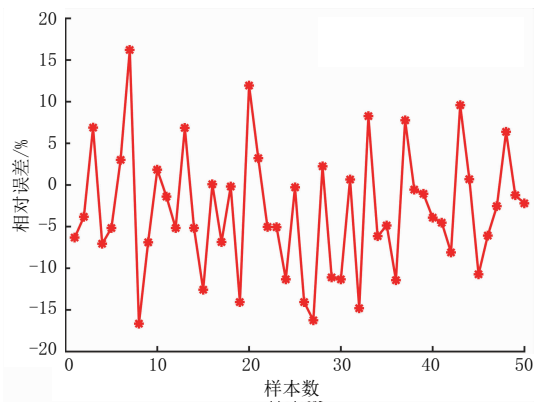


图 2 PSO-LSSVM 预测误差

其次选用改进的 PSO 优化 LSSVM 模型,即 IP-SO-LSSVM 模型。设置 $\omega_{\max}=0.9, \omega_{\min}=0.5, \beta=18$ 。将 IPSO 得到的核函数宽度 σ 、正则化参数 γ 这 2 个参数再次运用到预测模型中,得到预测结果如图 3 所示,相对误差如图 4 所示。

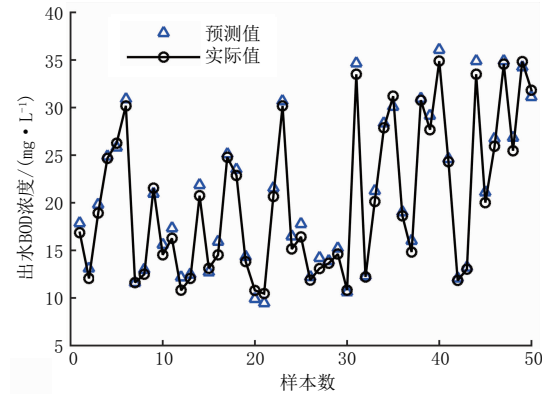


图 3 IPSO-LSSVM 预测结果

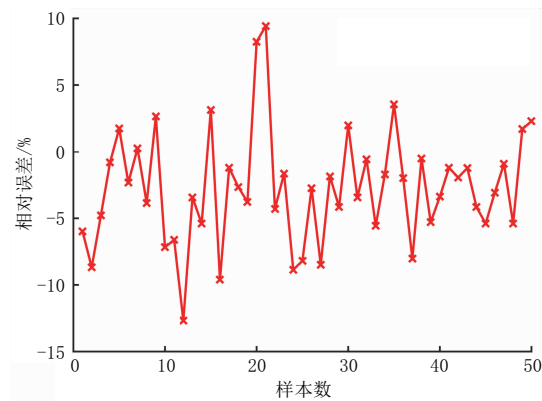


图 4 IPSO-LSSVM 预测误差

通过以上仿真图可知,IPSO-LSSVM 模型的预估能力优于 PSO-LSSVM 模型,预测值与实测值相差较小。图 1 在第 1 到第 30 样本附近有着较大偏差,其余部分拟合效果较好;图 3 表明 IPSO-LSSVM 模型的预测效果明显较高。选取平均相对误差、最大相对误差、均方根相对误差 3 种误差计算方法进行分析,经过计算,3 种模型对应的预测误差如表 2 所示。

表 2 3 种预测模型误差对比

模型	平均相对误差 /%	最大相对误差 /%	均方根相对误差 /%
LSSVM	8.79	18.1	9.09
PSO-LSSVM	6.96	16.6	8.23
IPSO-LSSVM	4.48	10.7	5.39

由表 2 可知,IPSO-LSSVM 模型的 3 种误差均小于 PSO-LSSVM 模型以及 LSSVM 模型,其中平均绝对相对误差由 8.79%下降为 4.48%,说明该模型预测精度较优。

5 结 语

针对污水处理过程中 BOD 浓度测量实时性低等缺点,建立了预测 BOD 浓度的 IPSO-LSSVM 模型。经分析,优化后的模型预测准确度明显提高,证明了 IPSO 对 LSSVM 优化的有利影响。实验结果可为污水处理现场提供可靠的水质参考信息。

参考文献:

[1] 邵袁.基于 WEST 软件模拟的城市污水厂的优化运行研究[D].南京:东南大学,2019.

[2] 杨壮,武利,乔俊飞.基于 GM-RBF 神经网络的污水环境预测[J].控制工程,2019,26(9):1728-1732.

[3] 叶小岭,顾荣,邓华,等.基于 WRF 模式和 PSO-LSSVM 的风电场短期风速订正[J].电力系统保护与控制,2017,45(22):48-54.

[4] 吴以文,杜坤,吴汉清,等.基于 LSSVM 交互预测的供水管网爆管检测[J].中国给水排水,2022,38(9):58-63.

[5] 王语园,李嘉波,张福.基于粒子群算法的最小二乘支持向量机电池状态估计[J].储能科学与技术,2020,9(4):1153-1158.

(上接第 198 页)

参考。

参考文献:

[1] 宋文智,吴迪,刘建民,等.临近既有建筑物沉井不排水施工技术[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2020 年全

国土木工程施工技术交流会议论文集(中册).《施工技术》杂志社,2020:55-59.

[2] 于得水.沉井不排水下沉施工技术控制[J].江西建材,2016(16).

[3] 詹赞贤.卵石及岩石地质条件下沉井施工实例探讨[J].中国科技信息,2006(22).