

市政小型深基坑工程支护、降水施工要点分析

卫月晨，王文霜
(中交河海工程有限公司)

摘 要：为保证市政工程小型深基坑支护结构的稳定性、安全性，提高施工过程的标准化程度，文中以泰兴某市政项目各类小型深基坑工程为研究对象，针对基坑工程中的钢板桩工程、降水工程做深入剖析。提出了深度 5~10 m 基坑的钢板桩长度选型及施工方法，总结出深度 4 m 以上基坑采用管井降水，4 m 以内采用轻型井点降水，并详细阐述了计算方法和施工方法。结合实际施工经验，证明计算数据科学有效。

关键词：钢板桩；基坑；降水；支撑；计算

0 引言

市政工程中常见到小型深基坑工况，如道路箱涵、水池、泵房、管沟等。这类基坑深度均在 10 m 以内，尺寸不大，钢板桩支护结构为常用的基坑支护方法。小型基坑尤其是钢板桩基坑，设计图纸缺乏对该施工措施的指导，且施工手册、规范等文件对施工过程无明确标准。在实际施工过程中，因对基坑工程的认识不足，忽视基坑变形、管涌等突发状况带来的安全问题，导致停工整改现象常有发生。本文对钢板桩支护体系进行全面阐述，重点放在支护结构施工过程和降水计算 2 个方面，通过科学的计算过程、详细的施工工艺，为市政工程的同类型小型深基坑工程做施工参考。

1 工程概况

泰兴某市政项目包含新建污水处理厂 1 座、污水提升泵站 2 座、市政道路 7 条，上述子项工程均包含有小型深基坑结构，共计 22 处。施工过程中均利用钢板桩围护结构进行基坑支护，根据基坑深浅及水量分别采用了轻型井点降水和管井降水 2 种降水方式。

2 施工工艺流程

钢板桩支护适用于基坑深度 5~10 m 的小型基坑，基坑尺寸小于 40 m×40 m；同时也适用于深度 3~5 m 的大型基坑或者管道基槽。该类基坑常出现在道路的管涵结构、场站的单体结构、市政管网等^[1]。在临近建筑物或构筑物时(30 m 以内)，不建议使用钢板桩结构，以免对既有结构产生震动破坏，经专家论证或结构评估后，可采用静压桩机减少震动影响。

根据基坑挖深及周边工况做支护设计，确定钢板桩长度以及是否加撑。参考地下水情况及土层情况做降水设计，如采用管井降水或轻型井点降水等。施工完成后，做好对土体变形、钢板桩变形及地下水位的监测，保证基坑体系安全性实时可控。在拆撑的过程中，明确填土标高、传力带类型或其他拆撑条件，最终完成钢板桩体系的施工。

钢板桩基坑总体施工流程见图 1。

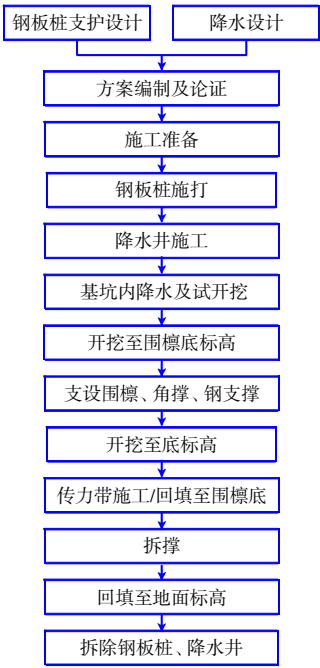


图 1 钢板桩基坑施工流程图

3 钢板桩选型

钢板桩的选择应根据挖深和土层信息进行计算设计，3~4 m 基坑，先采用 12 m 长度钢板桩不

加围檩、支撑进行稳定性计算, 常规条件下能够满足要求; 4~5 m 基坑, 先采用 12 m 钢板桩加 1 层围檩、支撑, 再进行稳定性计算; 5~7 m 基坑, 先采用 15 m 钢板桩加 2 层围檩、支撑, 再进行稳定性计算; 7~8 m 基坑, 先采用 15 m 钢板桩加 3 层围檩、支撑, 再进行稳定性计算; 8~10 m 基坑, 均采用 18 m 钢板桩加 3 层围檩、支撑, 再进行稳定性计算。稳定性计算合格包含: 钢板桩抗拉、抗剪强度合格, 抗倾覆验算、抗滑移验算以及整体稳定性验算均合格。

钢板桩常采用拉森系Ⅲ型、Ⅳ型, 上述计算可使用理正、启明星等计算软件辅助计算。如按照上述设计参数计算未能全部合格, 则可以通过复核地质参数, 钢板桩外降土、增加支撑道数的方式更改计算参数, 重复计算直至通过。

4 降水方式选择

基坑总排水量与基坑挖深为成正比关系, 基坑深度超过 4 m (管道基坑除外), 或基坑尺寸较大时, 则必须使用管井降水。基坑尺寸在 4 m 以内, 但钢板桩内的地下土层中有淤泥层, 同样使用管井降水, 适当加密布置, 避免淤泥层锁水。其余情况可采用轻型井点降水。

4.1 管井降水

降水计算常用的参考规范为 JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规范》, 根据抽水井所属的类型 (如潜水完整井、承压非完整井等) 选择合适的公式计算。

以某道路工程一体化泵站为例进行管井降水计算, 该泵站基坑底标高-5.25 m, 地面标高 3.75 m, 基坑深度为 9 m, 采用钢板桩支撑结构, 基坑尺寸 7.25 m×7.25 m, 布置形式见图 2。计算过程依次为: 单井长度计算、基坑总排水量计算、单井排水量计算、管径数量计算。

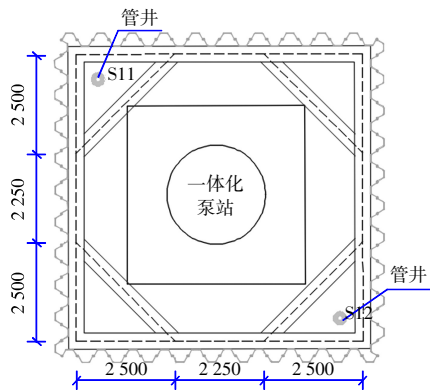


图 2 一体化泵站基坑布置示意图

1) 单井长度计算

井点管的埋深(h_m)主要取决于基坑深度, 降水区内地下水的水力坡度、降水后水面距离基坑的深度、降水期间地下水的变化幅度、过滤器的工作长度和沉沙管的长度^[2], 降水管井的深度按下式计算:

$$h_m = h_1 + h_2 + \Delta h + IL_1 + L$$

式中: h_m 为降水管井的深度, m; h_2 为井点外露高度, m, 取 0.2 m; Δh 为降水深度, $\Delta h=9.5$ m; I 为水力梯度, $I=1/10$; L_1 为井点管到基坑边缘的距离, 0.5 m; L 为过滤管工作长度, $L=6.0$ m。

计算得管井深度为 15.75 m, 取 16 m。

2) 总排水量计算

基坑开挖的施工区域坑底标高为-5.25 m, 根据 JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》附录 E, 群井按大井简化的均质含水层潜水非完整井计算基坑总涌水量:

$$Q = \pi K \frac{H^2 - h_m^2}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{h_m - l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_0})}$$

$$h_m = \frac{H + h}{2}$$

式中: Q 为基坑总排水量; H 为含水层厚度, 取含水层内管井长度 15 m; h 为降水后基坑水位高度, $h=6.5$ m; R 为井点影响半径, 根据《建筑基坑支护技术规程》公式 7.3.11-2, $R=2S_0\sqrt{KH}$, S_0 为设计基坑水位降深, $S_0=8.5$ m, $R=147.22$ m; l 为过滤器进水部分长度, $l=6$ m; K 为渗透系数, m/d, 取 5; r_0 为基坑等效半径, 取 7.25 m。

经计算, $Q=525.7$ m³/d。

3) 单井涌水量

单井涌水量 q 按照以下公式计算:

$$q = \frac{\pi K (2H - S_0) S_0}{\ln \frac{R}{r} + \ln \frac{R}{L}}$$

经计算, $q=295.33$ m³/d。

4) 管井数量

管井数量设计见《建筑基坑支护技术规程》公式 7.3.15, 降水井数量计算:

$$N = \frac{1.1Q}{q} = 1.9$$

综上所述, 此基坑需要沿坑边对称布置 2 台降水井。

4.2 轻型井点降水

以某污水厂工程内部的管道基坑为例, 介绍

轻型井点降水的计算。该管道(直径1 m钢管)基坑原地地面标高3.40 m,管道中心标高-0.05 m,考虑垫层厚度0.1 m,基坑底标高为-0.65 m,基坑最

大开挖深度约4.25 m,基坑长度约34 m,布置形式见图3。

根据地勘显示,地层2-⑤以上均为潜土层性

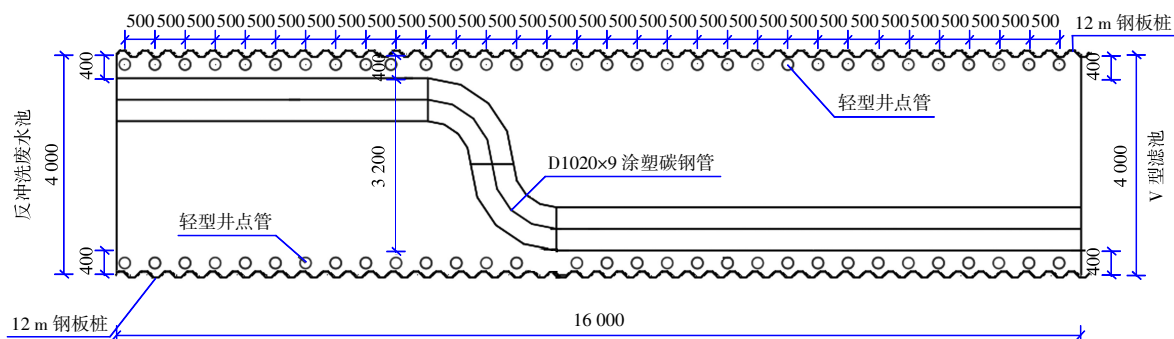


图3 管道基坑布置示意图

质,轻型井点管均布置在潜土层内,属于潜水非完整井。先计算基坑水位降深、总排水量、单井降水量、井点数、井深。现场为连续长度的深基槽,不适合做整体的降水计算,取单位长度为4 m(双排井点,井深2 m)的短基槽进行计算,确定布置形式,然后用于整个基槽^[3]。

1) 总排水量的计算

含水层为粉土、砂土或碎石时,按下式计算:

$$Q = \frac{1.366K(2H_0 - S)S}{\lg R - \lg x_0}$$

式中: Q 为井点系统总用水量; H 为潜水含水层厚度,根据计算为6.25 m; H_0 为有效带深度, $H_0 = a(S' + 1)$, $S' = S + a_2$, a 为有效带深度系数,取值1.5; a_2 为水力坡降值取0.15, $H_0 = 8.85$ m; S 为降水深度,降水至基坑底0.5 m, $S = H_2 - H_3 + a_1$, a_1 保险值取0.5 m, S 取值4.75 m; K 为渗透系数, m/d, 取3; R 为影响半径, $R = 1.95S\sqrt{HK} = 40$ m; x_0 为基坑假想半径,矩形基坑计算式为 $x_0 = a(L + B + 4)/4$, a 取值1.5, 计算得 $x_0 = 4.125$ m。

经过计算总排水量为 $255.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2) 单井涌水量

单井涌水量参见《建筑基坑支护技术规程》公式7.3.16:

$$q = \pi dl v$$

式中: d 为井点管直径51 mm; l 为滤管长度1 m; v 为进水速度, $v = 65\sqrt[3]{K} = 94.25 \text{ m/d}$ 。

计算得单井涌水量为 $15.1 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3) 管井数量

管井数量设计参见《建筑基坑支护技术规程》

公式7.3.15,降水井数量计算:

$$n = \frac{1.1Q}{q} = 18.6$$

双排轻型井点管布置间距 $D = L/(n/2 - 1) \approx 0.5 \text{ m}$ 。

根据以上计算得到,若使深度4.25 m、宽度4 m的基槽内水位降至基坑底部以下0.5 m,需布置2 m深的轻型井点管,滤管部分长度为1 m,井管直径51 mm,布置间距0.5 m。

5 施工工艺

以挖深较深的一体化泵站基坑为例,阐述钢板桩基坑施工工艺。

5.1 清表及开挖

原施工区域为硬化地面,施工前使用炮锤破除地面,破除区域尺寸 $8.25 \text{ m} \times 8.25 \text{ m}$ (外扩1 m)。基坑四周严禁堆土,开挖出的土方及时运出场外。开挖成型后,周围设置临边防护栏杆。在基坑周边以及施工临时便道处设置明显安全标志。

5.2 钢板桩打设

钢板桩采用屏风法施工,打入精度高,避免钢板桩发生屈曲、扭转、倾斜等,便于钢板桩合龙。每直行段第1根钢板桩作为定位桩,沿钢板桩行进方向反向倾斜 8° 左右,再启动振动锤施工,桩沉至地下1 m左右停止。以防止施工第2根钢板桩时因磨擦过度而使第1根桩超高打入,随后起吊第2根、第3根钢板桩,逐根施工。

5.3 井点降水

根据深基坑设计方案,采用基坑底内管井降水。内部管井参数为DN400无砂井,井长16 m,详细计算过程见4.1节管井降水计算内容。

钢板桩施工完成后,开始内部管井降水施工,降水天数保证不低于 1 周,基坑内土方含水率降低后进行开挖。开挖至坑底后,如遇到管井抽水效果不明显,则再布置坑内轻型井点降水。管井施工步骤如下:

1) 施工准备:根据降水井平面布置图及现场情况测放井位,做好标记,埋设护口管。现场设置泥浆池,尺寸按打井数量和排渣量综合确定。如每 2 口井共用 1 个泥浆池,必要时可采用泥浆箱。成孔施工可采用正反循环回转钻进成孔工艺。

2) 钻进成孔:安装钻机时保证钻机应安装稳固水平,大钩对准孔中心,大钩、转盘与孔的中心三点成一线,钻头与钻杆连接处带 2 根钻铤,不得使用弯曲的钻杆,钻机开孔后应一次施工到底。钻进开孔时吊紧大钩钢丝绳,轻压慢转,施工过程中保证钻机站位水平,确保垂直度,成孔施工采用孔内自然造浆,泥浆密度控制在 $1.05 \sim 1.10 \text{ kg/m}^3$ 。当提升钻具或暂停施工时,孔内必须压满泥浆,以防止孔壁坍塌。钻孔到设计深度后,要清孔换浆,将泥浆比例调整到 1.05 kg/m^3 左右。钻进至底板位置时即开始加清水调浆,保证孔壁不形成过厚的泥皮。钻进至设计标高后,将钻杆提至距离孔底 0.50 m 高度,进行冲孔清除杂物,同时将泥浆密度逐步调至 1.05 kg/m^3 ,沉淤小于 30 cm ,直至返出的泥浆内不含泥块。

3) 井管安装:下管前必须复核孔深,然后下井管;下管时在滤水管上下两端各设一套扶正器(找正器),以确保滤水管能居中,井管连接要牢固、垂直。下井管过程应连续进行,不得中途停止。填滤料前应复核井管内外的深度,然后回填中粗砂滤料,滤料沿井壁四周均匀填入,并随填随测滤料层的顶面高度。填滤料工序也应连续进行,不得中途终止,直至滤料填充到预定位置为止。最终实际投入滤料量不应少于理论计算量的 95%。

4) 洗井试抽:填料完成后,应在 8 h 内用潜水泵连续洗井,直至排水达到规范要求为止。洗井过程中若井水中含有滤料,应停止洗井,立即检查原因,及时封井处理。

5) 正式运行:完成试抽水后,即可正常进行降水运行。

5.4 钢支撑施工

钢板桩施工完成且降水达标后,将基坑分层

开挖至围檩底标高下 500 mm ,安装围檩,钢围檩及角撑采用 $\text{HW}400 \times 400 \times 13 \times 21$,角撑端点分别在距围檩两端 2.5 m 处。本工程共 3 道围檩支撑,均按此要求安装。支撑布置示意图见图 4。

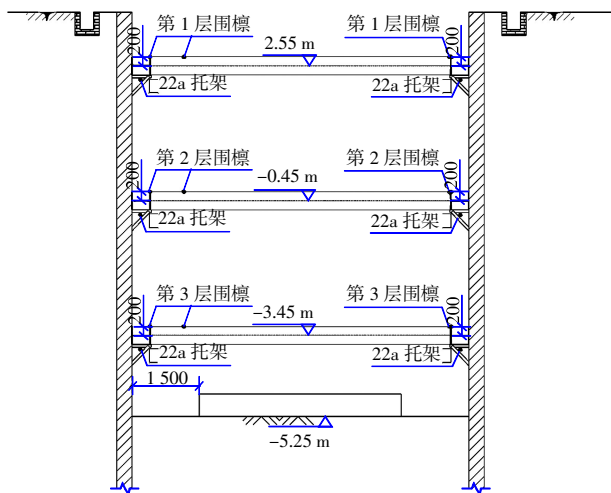


图 4 钢围檩施工示意图

围檩焊接时施工顺序如下:

1) 在钢板桩支护设计图指定位置处焊接牛腿,间距约为 6 个钢板桩,保证围檩两端有牛腿焊接,牛腿构造为 2 块 22 号槽钢,与钢板桩做三角形配置。

2) 吊送 H 型钢至牛腿,在牛腿处围檩内焊接肋板,做节点加固;在围檩转角处同样焊接肋板,做节点加固;围檩搭接处焊接钢板和肋板,做节点加固;角撑与围檩搭接处,在围檩内侧焊接钢板和肋板,做节点加固。加固方式均按照基坑设计图纸进行,焊接均要求为二级焊缝。

5.5 基坑开挖及回填

轻型井点降水 7 d 后进行基坑开挖,若开挖过程未达到设计标高,但基坑底部泥土较湿甚至出现明水,则立即停止开挖,并保持管井继续降水,等待 2 d 后继续开挖。待降水施工完成后,进行基坑的土方开挖,根据工程特点,除基坑人工清底采用人工开挖外,其他采用机械开挖,挖机在基坑内沿线路开挖,自卸汽车配合余土外运。

1) 机械开挖

钢板桩施工完成后即可进行基坑的机械开挖,依旧采用分层开挖方式,每层开挖深度为 $1 \sim 1.2 \text{ m}$ 。基坑土方开挖遵循分层、对称、平衡的原则,沿水平方向分段,在垂直方向分层开挖。

在机械挖土时必须注意,挖土深度严禁超过

设计标高。当挖土至设计基坑底部附近时必须放慢速度,并派专人指挥挖土作业,避免超挖扰动原状土层。

2) 人工开挖

在机械开挖接近设计坑底标高后,搭设上下基坑便道。测量人员进行即时测量,距离坑底约20 cm时,采用人工开挖。开挖过程中及时测量标高,避免超挖或少挖。

基坑底部临时作业面设置连续排水沟,尺寸0.1 m×0.2 m(深×宽),并在对角设置集水井0.5 m×0.5 m×0.5 m,作为临时抽水用。基坑外1 m处设置截水沟,在截水沟外安装定制护栏。

基坑开挖经验收后,立即进行垫层和基础施工,防止太阳暴晒和雨水浸刷基底土原状结构^[4]。

3) 回填

安装完成一体化泵站后,进行设备二次灌浆,达到强度后回填压实。回填料采用中粗砂,每层回填厚度300 mm,要求压实度为90%。每回填至围檩底部后即可拆撑,回填完成后,进行钢板桩拆除。

6 应用效果

1) 在施工效果方面,基坑监测数据(地下水位、钢板桩位移、沉降等)的变形量、变形速率均维持在报警值以下,施工作业面空间稳定、地面干燥,基坑内施工安全稳定实施。同时,钢板桩支护常用于超危大工程中,该类工程管理体系

中要求,由业主委托专业的基坑设计单位进行支护设计,再由施工单位根据支护设计完成专项施工方案,专家论证通过后方可实施。这个管理流程保证了钢板桩支护方案的安全可靠,施工中做好交底和管理工作,可有效控制安全隐患。

2) 在成本方面,钢板桩、降水等可作为单行措施费列入预算。在施工前及时编制该类方案,将基坑支护产生的材料、设备、人工详细列明,在方案审批后,预算定稿前,及时将方案交给审计编制预算。施工过程中,做好现场签证工作,施工成本有效可控。

7 结语

钢板桩支护体系在泰兴项目的多个小型深基坑中成功应用,有效保证了基坑施工的安全性和经济性,形成了标准化施工工艺,对后续的小型深基坑工程具有指导作用。该施工工艺需要较长的施工时间,过程中的管理风险无法避免,后续仍需要对基坑内的预制结构进行探索和研究。

参考文献:

- [1] 徐双. 钢板桩支护施工技术在市政道路施工中的应用[J]. 工程建设与设计,2023(20):198-200.
- [2] 张鑫磊. 无砂混凝土管井降水计算与施工[J]. 中国战略新兴产业(理论版),2019(3):1-2.
- [3] 李汉渤. 大型深基坑盆式开挖深井降水法应用研究[J]. 水运工程,2013(9):169-174.
- [4] 全旭. 拉森钢板桩基坑支护的应用探讨[J]. 四川建材,2012(3):43-44.