复杂环境条件下基坑围护结构的设计

丁文其[1]　杨林德[1]　曹正康[2]　鲍德波[3]
(1 同济大学地下建筑与工程系，上海，200092) (2 上海市政工程设计研究院，上海，200092)
(3 上海市建设工程质量检测中心，上海，200032)

提　要　本文结合上海浦东金桥新村雨水泵站排水管道基坑围护结构的设计，介绍在复杂环境条件下围护结构的设计和在这方面的体会。

一　概　述

正确的基坑围护结构设计，既要保证施工过程的安全与稳定，又要控制围护结构及其周围土体的变形，以保证周围建筑物和地下管线的安全。在此前提下设计又要合理、经济，并方便施工、缩短工期。而基坑工程成败的影响因素很多，设计时须综合考虑，并加以权衡，这就要求设计人员要依靠丰富的实践经验、高水平的设计能力和创新能力，根据具体情况，灵活应用各种围护结构形式来进行基坑围护结构的设计。

二　工程概况

金桥新村雨水泵站排水管道位于浦东杨高北路、东陆路。泵站直径 22m，埋深 11m。沉井南侧管道沟槽开挖宽度 7～9m，深度 8.7~8.9m (图 1)，东陆路及南侧管道沟槽开挖深度 8.5~8.7m，因沉井超沉 0.62cm，进水渐扩管至沉井段管道开挖深度改为 9.52m。管道沟槽在东陆路以南两侧均有建筑物，上方密布电线及电话线；东陆路以下有雨水管、煤

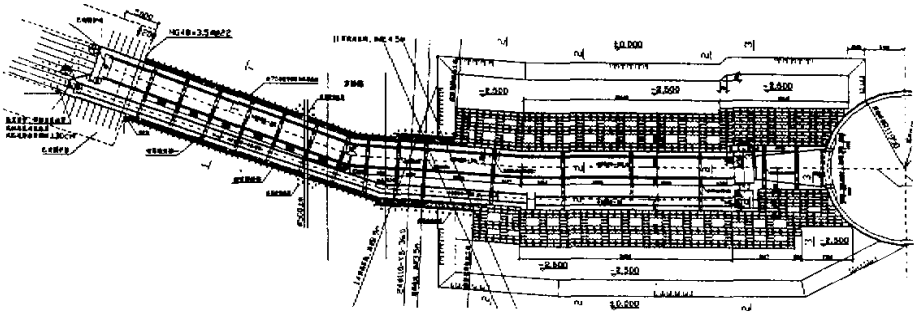


图 1　基坑围护结构平面布置图

气管等与沟槽相交，上方则有电话电缆。场地自然标高 4.30m，地层中有灰色砂质粉土层，对基坑隔水要求较高，土层物性指标如表 1：

表 1 土层物理力学性质指标综合成果表

土层名	深度(m)	重度(kN/m³)	C(kPa)	φ(°)	含水量(%)	孔隙比	液限	塑限
填土①$_1$	1.2	18.5	10.99	14.0	30.2	0.876	30.3	18.8
暗浜土①$_2$	2.6				34.6		28.4	18.2
褐黄色粉质粘土②	3.7	19.8	19.67	13.0	24.9	0.688	34.9	20.1
灰色粘土,粉质粘土③$_1$	5.4	17.5	12.56	9.0	42.9	1.208	38.5	21.2
灰色砂质粉土③$_2$	6.9	18.6	6.84	21.5	29.9	0.850		
灰色淤泥质粘土④	22.4	17.0	10.51	7.0	48.3	1.353	22.6	21.0
灰色粘土,粉质粘土⑤$_1$	27.2	17.9	13.94	12.2	35.0	0.999	21.1	17.1

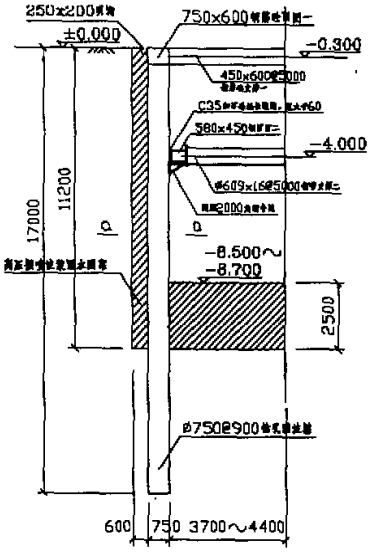


图 2 钻孔灌注桩围护结构剖面图

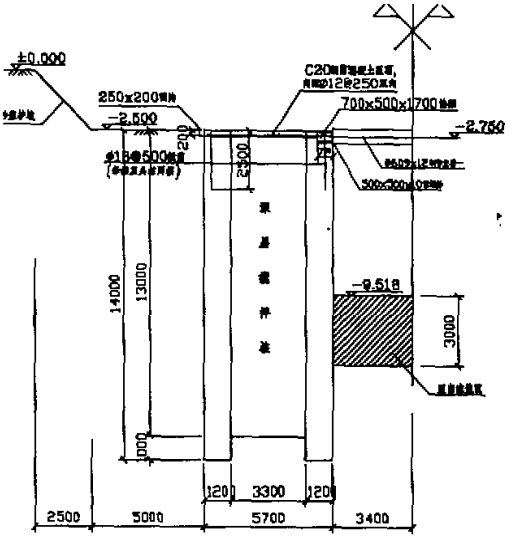


图 3 深层搅拌桩围护结构剖面图

三 基坑围护结构设计

1. 基坑围护结构方案

(1)东陆路及南侧沟槽周围管线和建筑物较多，因场地及环境限制，采用φ750@900 钻孔灌注桩加两道支撑的围护结构(见图 1～图 2)，采用高压摆喷注浆(见图 4，因上空电话、5m 高电线存在，搅拌桩架太高，无法施工)作隔水帷幕，并对管线与沟槽相交部位作处理；

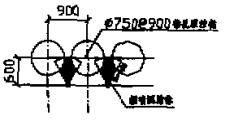


图 4 摆喷注浆隔水帷幕布置图

(2)沟槽与东陆路交汇处，上空电话线的存在，使得钻孔灌注桩也无法施工，采用树根桩加两道支撑的围护结构(见图 5)，也采用高压摆喷注浆作为隔水帷幕；

(3)由于在施工期内与沟槽相交的东陆路交通不能中断，需先在东陆路处施工临时封

头，再开挖东陆路与沉井间的沟槽，待筑好临时道路后，再破开东陆路，开挖东陆路与已建管道井间的沟槽。该处临时封头采用树根桩加一道支撑的围护结构形式；

(4)东陆路与沉井间场地较开阔，环境要求较低，采用先放坡开挖 2.5m 深(既卸载，又保证搅拌桩桩架顶与上部高压线的净空高度)，再采用 6.2m 宽深层搅拌桩作围护结构及隔水帷幕以节约造价，并隔 10m 作钢筋砼支撑以增加稳定性(见图 1 和图 3)；

(5)因无法井点降水，且沟槽底土层为灰色淤泥质粘土，土质软，含水量高，在沟槽底采用压密注浆加固；

(6)由于本管道要与已建管道井连接，沟槽需施作封头，而其底部已有砼垫层，围护桩无法施工，考虑到其两侧已有原搅拌桩，沟槽内已有管道结构，故渗水量不大，设计采用竖直锚管加土钉墙的围护结构(见图 6)。

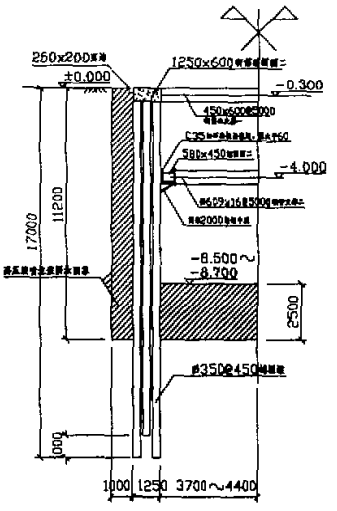


图 5 树根桩围护结构剖面图

2. 围护结构及支撑体系设计计算

(1)计算说明

地面超载按 20 kN/m² 考虑，土压力计算时，采用水土合算。钻孔灌注桩及支撑系统，采用竖向弹性地基梁法计算内力及位移；深层搅拌桩重力坝采用重力式结构的计算方法。

(2)计算工况

为模拟基坑开挖的实际施工过程，钻孔灌注桩加支撑的计算工况如下：

工况一：浇筑顶圈梁(围图一)及第一道支撑，开挖至第二道支撑底面；

工况二：浇筑围图二及第二道支撑，基坑开挖至坑底；

工况三：浇筑垫层，铺设管道，回填密实至第二道支撑底面，并拆除第二道支撑。

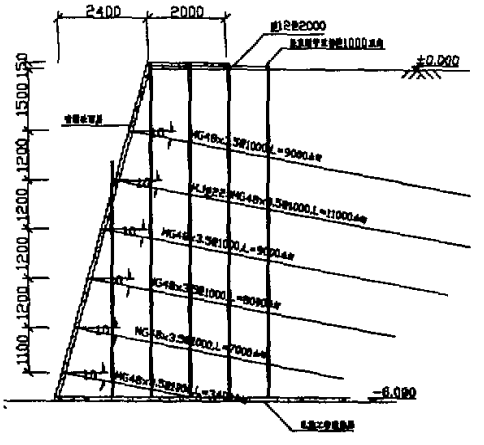


图 6 土钉墙围护结构剖面图

(3)主要计算成果

1.深层搅拌桩围护

抗倾覆安全度：$K_1 = 1.46 > 1.0$，满足。

沿墙底滑动安全度：$K_2 = 1.04 > 1.0$，满足。

抗渗：坑底均作压密注浆，且搅拌桩墙穿过压密注浆层。

截面应力验算：$\sigma_1 = 56\ \text{kPa} > 0$，$\sigma_2 = 187\ \text{kPa} < \dfrac{q_u}{2K_3} = \dfrac{800}{2\times 2} = 200\text{kPa}$

2. 钻孔灌注桩围护

围护墙底地基承载力：$\gamma_2 DN_D+CN_C=157>\gamma_1(h_0+D)+q=156$，满足。

抗隆起验算：　　，满足。

抗倾覆稳定性：　　1.07 > 1.05，满足(绕第二道支撑点)。

抗渗验算：坑底均作压密注浆，高压摆喷注浆作隔水帷幕，并伸入压密注浆层内。

截面内力计算：钻孔灌注桩内力由竖向弹性地基梁(按 q =20kN/m^2,m=3000kN/m^4, K_H=15000kN/m^3)计算得。取安全系数 1.4。每根钻孔灌注桩最大设计弯矩 469kN×m。围图一最大设计弯矩 353kN×m，围图二最大设计弯矩 770kN×m。支撑最大设计轴力 1466 kN。

3. 施工顺序

基坑施工顺序为：场地放线及放坡→深层搅拌桩或钻孔灌注桩施工→施作钢筋混凝土压顶→施作钢筋混凝土顶圈梁(围图一)和第一道支撑→纵向分段(包括施作中隔墙)，并分层开挖至第二道支撑底面，作围图二及支撑二→纵向分段开挖至坑底→浇筑垫层，铺设管道，并回填(如拆除支撑，需回填至支撑底面后方可依次拆除)。

4. 施工监测

包括环境监测和围护结构监测，以及时预报施工中出现的问题，指导施工。内容包括周围地下管线变形及附近构筑物沉降监测、地表变形(包括围护结构)监测、沟槽外土体侧向变形监测和钻孔灌注桩钢筋应力及支撑内力监测。

四　结　论

金桥新村雨水泵站排水管道基坑通过采用上述灵活适用的围护结构形式，于 2000 年 5 月顺利完成施工。整个围护结构的变形、内力均控制在规定范围内，采用的摆喷注浆帷幕也起到了很好的隔水效果。通过该基坑工程成功的设计与施工，作者有以下几点建议：

1. 基坑工程的设计、施工应综合考虑基坑及其周围环境的特点，采用灵活适用的围护结构形式，不能拘泥于一、二种形式；

2. 适当的局部加支撑的深层搅拌桩围护结构其受力及对变形的控制均比一般的深层搅拌桩围护结构要好；

3. 摆喷注浆可起到较好的隔水效果，其造价接近、甚至低于深层搅拌桩隔水帷幕，在场地或施工条件限制的情形下，可代替深层搅拌桩隔水帷幕；

4. 在施工条件限制等情形下，可采用树根桩加支撑的围护结构来代替钻孔灌注桩加支撑的围护结构形式，但一般其刚度相对要小，故变形要略大。

参考文献

[1] 上海市标准：《基坑工程设计规程》(DBJ08-61-97)。

[2] 中国工程建设标准化协会标准：《基坑土钉支护技术规程》CECS96:97。

[3] 丁文其，陈宝，杨林德：《深基坑工程的变形预测与工程应用》，见《建筑技术增刊》，1998。