

# 临海厚砂质地层中防止基坑渗流破坏的工程实践

陈云彬, 马德强

(中国京冶工程技术有限公司厦门分公司, 福建 厦门 361009)

**摘要:** 介绍了某邻海基坑工程中三重管旋喷桩与单轴水泥搅拌桩组合式止水帷幕的成功应用。实践证明, 这种组合式止水帷幕不但解决了一般单轴搅拌桩在厚砂层地质中垂直度难以保证、咬合不好易形成桩底开叉的难题, 又解决了沿海地区涨退潮对旋喷桩施工时水泥浆可能被水流带走难以连续成桩的影响。同时, 本工程局部南面区域相对隔水层较薄, 设计计算时该区域会形成基坑突涌, 因此根据大面积基坑的水文地质情况及基坑渗流计算数据, 布置了相应数量的减压井和疏干井, 成功避免了基坑的突涌渗流破坏。

**关键词:** 深基坑; 渗流破坏; 止水帷幕; 围井试验; 减压井; 疏干井

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0461-04

**作者简介:** 陈云彬(1960-), 男, 福建莆田人, 高级工程师, 主要从事岩土基坑设计、施工管理等工作。E-mail: xmcyb@sina.com。

## Engineering practices of preventing seepage damage of excavations in coastal thick sand layer region

CHEN Yun-bin, MA De-qiang

(Xiamen Branch of China Jingye Engineering Corporation Limited, Xiamen 361009, China)

**Abstract:** The successful application of sealing curtain in an excavation in thick sand layer coastal region is introduced. The curtain combines triple-tube jet grouting piles with uniaxial cement mixing piles. The practices have proved that the combined curtain has solved the problem of poor interlocking and easy separation at the bottom due to the difficulty of vertical uniaxial cement mixing piles in thick sand layer. It has also solved the difficulty to form continuous jet grouting piles because the cement slurry is easily carried away by tides in coastal region. At the same time, the water-resisting layer is locally thinner in the southern area of the project, which will lead to piping in the design and calculation. Based on the hydrogeological conditions and the calculation, some relief wells and drainage wells are arranged so as to avoid the piping of seepage damage in the project.

**Key words:** deep excavation; seepage damage; sealing curtain; sealing well test; relief well; drainage well

## 0 前言

对于临海临江的建筑基坑, 地下水补给区与基坑相距很近, 水源补给充足。若遇到砂质地层, 基坑支护中的止水、排水措施将成为工程设计施工中的主要风险控制因素。基坑渗流破坏形式主要有管涌及流砂(土)。若管涌及流砂(土)进一步发展, 基坑被动侧土体将被扰动、掏空, 土体结构强度受到破坏, 抗剪强度降低, 围护结构可能发生整体滑移、倾覆、隆起等破坏形式, 产生重大安全事故, 造成严重经济损失。若基坑下有承压水存在, 同时基坑底部隔水层厚度不够, 承压水的水头压力会冲破基坑底板, 形成突涌现象, 造成地下室主体结构无法正常施工。

福建地区一般房建项目的基坑止水帷幕主要采用

多排单轴搅拌桩或者多排旋喷桩为主, 不仅工程造价高, 而且施工周期长。止水效果方面, 单轴搅拌桩容易开叉咬合不好, 即使采用多排单轴搅拌桩仍有不少失效案例, 而旋喷桩在厚度较大的砂层及受涨退潮影响区域的应用有的基坑技术规范也有一定的限制<sup>[1]</sup>。

泉州某海景花园城高尚住宅区及酒店基坑工程, 其主要风险控制因素就是基坑止水、排水及防止突涌的技术措施是否安全可靠。工程采用单排旋喷桩与双排水泥搅拌桩构成的组合式止水帷幕止水, 设置减压井防止基坑突涌破坏。工程实践表明, 上述技术措施技术先进、经济合理、质量可靠。



# 1 工程概况

## 1.1 项目概况

泉州某海景花园城东部高尚住宅区及酒店工程由 8 幢 33~34 层及 3 幢 25 层的五星级酒店的建筑群组成,总建筑面积 31 万 m<sup>2</sup>。住宅区及酒店区全场设 3 层整体式大地下室,基坑面积 35550 m<sup>2</sup>。主楼桩基采用预应力管桩。

## 1.2 周边环境

本工程位于泉州市丰泽区东海镇宝洲路东段,场地位于晋江河中的一个江心岛上,西面为晋江河上游,基坑西面距护岸约 40 m,东部为已建的中芸洲国际花园商业街及中芸洲一桥,西北面、南面为晋江河,河宽 150~400 m,基坑西北面、南面距护岸约 15 m。

## 1.3 水文和地质条件

场地位于晋江下游江心岛中部,属江心洲地貌,其周边为河流,主要地层自上而下组成如表 1 所示。

表 1 地层情况描述

Table 1 Geological conditions					
土层	厚度 /m	特征描述	$\gamma$ /(kN·m <sup>-3</sup> )	$c$ /kPa	$\varphi$ /(°)
①杂(素)填土	0.3~3.30	以黏土为主,含数量不等的碎块、瓦砾、建筑垃圾,松散~稍密,	17.5	5.0	18
②中砂	7.0~10.70	局部中密,含泥量 3~20%,级配较均匀	17.7	2.5	22.0
③淤泥质土夹砂、③-1 淤泥质土混砂	0.40~5.70、0.40~8.30m	含粗砂、中细砂、粉砂 25~55%,层中夹有薄层淤泥及中砂层,	16.8	9.2	10.7
④中砂	0.90~9.40	稍密~中密为主,局部松散或密实,以粗砂、中砂为主,含泥量 15~37%	20.0	2.5	24.0
⑤碎卵石	0.70~6.70	饱和,中密,场地均有分布,该层透水性及富水性好,水量丰富	20.0	0.0	40.0
⑥残积砂质黏性土	0.10~7.60	透水性及富水性相对较差	21.0	25.0	40.0

本场地上部的含水层主要为②中砂层,地下水类型为潜水含水层。场地下部的含水层有:④中砂、⑤砾卵石等,为透水~强透水地层,地下水类型为孔隙型承压含水层。

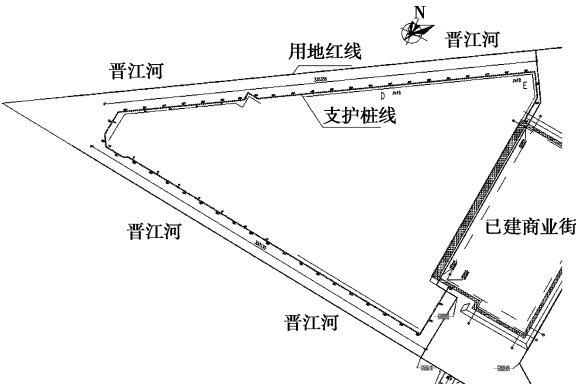


图 1 基坑支护平面图

Fig. 1 Plan of excavation

# 2 基坑围护结构设计

## 2.1 基坑支护整体方案

本工程设地下室 3 层,设计地面标高±0.00 相当于黄海高程 9.75 m,现状场地标高 3.50 m,大面积基坑开挖深度 8.0 m,电梯井坑开挖深度 9.5 m。支护结构体系:采用机械钻孔灌注桩+一道预应力锚索,同时在两桩间施做旋喷与桩后侧搅拌桩止水的支护型式。钻孔灌注桩桩径 800 mm,桩中心距均为 1500 mm,旋喷成桩直径 1200 mm,搅拌桩桩径 550 mm,中心距 400 mm。典型基坑支护剖面见图 2。

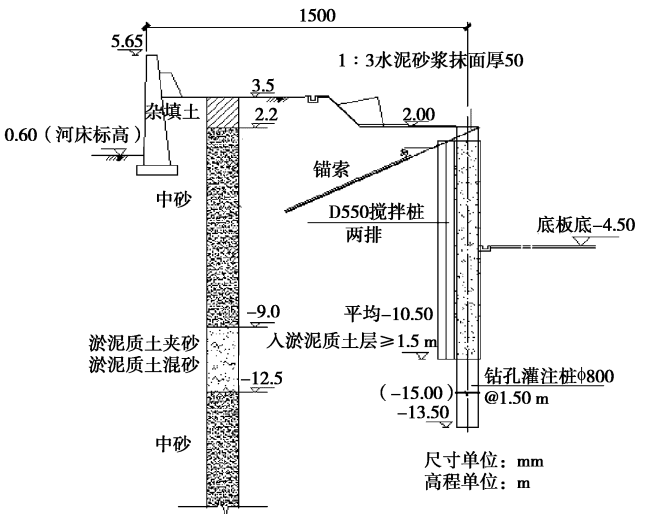


图 2 基坑典型剖面图

Fig. 2 Typical section of excavation

## 2.2 基坑支护止水设计

分析地勘报告,地下室底板(板底标高-4.50 m)以上对基坑开挖有直接影响的含水层有:①杂填土层中的上层滞水及②中砂孔隙潜水含水层;②中砂潜水的地下水位为黄海高程 0.82~1.49 m,受潮汐影响,水位日变幅 0.67 m 左右,水位变化基本与潮水同步,主要受场地周围晋江河水补给,两者水力联系紧密。



②中砂为透水地层,渗透系数平均值为  $12.99 \text{ m/d}$ , 该层厚度大,分布广泛,其下为③淤泥质土混砂(夹砂),渗透系数平均值为  $6.47 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ , 可视为相对隔水层。

由于②中砂中的孔隙潜水与晋江河水相通,水源补给充沛,降排水措施很难将水位降至基坑底以下  $0.5 \text{ m}$  处以满足地下室施工要求,因此本工程利用其下部相对隔水层,采用截、排水相结合的施工方案。基坑外围设置止水帷幕,围护桩为桩径  $800 \text{ mm}$  灌注桩,桩长根据桩锚稳定性计算确定并且要求插入相对隔水层不小于  $1.5 \text{ m}$ 。灌注桩桩间采用三重管高压旋喷桩止水,设计旋喷桩径  $1200 \text{ mm}$ ,桩长插入相对隔水层不小于  $1.5 \text{ m}$  以满足止水要求,桩顶标高为黄海高程  $2.0 \text{ m}$ 。考虑到中砂②与海水水力联系密切,旋喷桩的浆液相对较稀,为减少涨退潮对旋喷施工的影响,保证桩身质量,同时拟补桩体搭接偏差,在围护结构外围设置两排水泥搅拌桩并先行施工,搅拌桩桩径  $550 \text{ mm}$ ,搭接  $150 \text{ mm}$ 。这样,旋喷桩与水泥搅拌桩构成组合式止水帷幕,如图 3 所示。

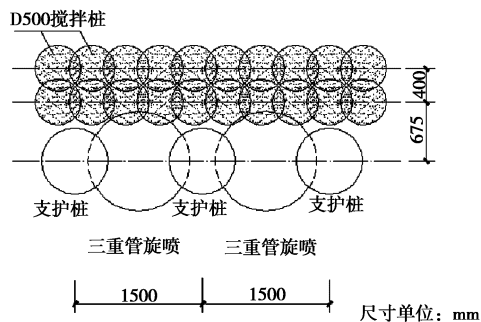


图 3 止水帷幕示意图

Fig. 3 Sealing curtain

### 2.3 基坑内降排水设计

基坑底为②中砂,其下为相对隔水层③淤泥质土混砂(夹砂),下卧透水地层④中砂及⑤卵石层,接下来是花岗岩风化层,可视为相对隔水层。透水地层④中砂及⑤卵石层含承压水,承压水水位黄海标高  $0.17 \sim 1.97 \text{ m}$ ,受潮汐影响,水位日变幅  $1.80 \text{ m}$  左右。根据现场抽水试验分析,结合工程经验,该地层综合渗透系数为  $50 \text{ m/d}$ 。

由于④中砂及⑤卵石层中孔隙承压水高于基坑底  $6.47 \text{ m}$ ,需进行基坑底抗渗流稳定性计算,以确定承压水水位降深,满足基坑底土体稳定要求。

(1)计算满足基坑底抗渗流稳定时承压水水位降深

地勘报告揭示④中砂地层顶面标高为  $-12.5 \text{ m}$ ,距基坑底 ( $-4.50 \text{ m}$ )  $8 \text{ m}$ ,该处为最不利点,其上为③

淤泥质土混砂(夹砂)(相对隔水层)和②中砂,平均饱和重度  $17.7 \text{ kN/m}^3$ 。取承压水最高水位  $1.97 \text{ m}$ ,这时含水层顶面压力水头  $14.47 \text{ m}$ 。根据《建筑地基基础设计规范》GB50007—2002 附录 W 基坑底抗渗流稳定性验算公式  $\gamma_m(t+\Delta t)/P_w \geq 1.1$  (式中,  $\gamma_m$  为透水层以上土的饱和重度,  $t+\Delta t$  为透水层顶面距离基坑底面的深度,  $P_w$  为含水层水压力) 计算,满足基坑底抗渗流稳定时承压水压力水头  $12.87 \text{ m}$ ,实际承压水压力水头  $14.47 \text{ m}$ ,承压水水位需降深  $1.60 \text{ m}$ 。

(2)计算满足基坑底抗渗流稳定时基坑范围承压水涌水量

根据《建筑基坑支护技术规程》JGJ120—99 附录 F 公式 F.0.3-1,对基坑进行基坑范围承压水总涌水量计算。

$$Q = 2.73KMS / [\lg(1 + R/r_0)],$$

式中,  $Q$  为基坑范围承压水涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $K$  为渗透系数, 基坑  $K=50 \text{ m/d}$ ;  $M$  为含水层厚度,  $M=7.5 \text{ m}$ ;  $S$  为承压水水位降深,  $S=1.60 \text{ m}$ ;  $R$  为降水井影响半径,  $R=10SK^{1/2}$ ,  $R=113.14 \text{ m}$ ;  $r_0$  为不规则块状基坑等效半径, 基坑面积  $A=35550 \text{ m}^2$ ,  $r_0=(A/\pi)^{1/2}=106.4 \text{ m}$ ;  $Q=2.73KMS / [\lg(1 + R/r_0)]=5207 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(3) 设置抽水井

经基坑范围承压水涌水量估算,满足基坑底抗渗流稳定时,需抽排涌水量  $Q=5207 \text{ m}^3/\text{d}$ ,同时考虑降水均匀性,布置 35 口减压井,减压井大部分设置在支护桩外侧,每口减压井单独用一台  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  的深井抽水电泵进行抽水。

基坑内设置疏干井排水。本工程基坑面积  $3.5 \text{ 万 m}^2$ ,如果水位从  $2.0 \text{ m}$  降低至  $-5.0 \text{ m}$ ,中砂层的给水度为  $0.20 \sim 0.25^{[2]}$ ,最大出水量约  $6 \text{ 万 m}^3$ ,根据地质特点及业主单位的工期要求,考虑局部渗漏及基坑底部绕流,基坑内共布置疏干井 60 口。

## 3 基坑的止水与降排水措施的施工

考虑到场地地质水文条件复杂,为检验组合式止水帷幕施工效果,保证工程顺利实施,在大面积施工前,先期进行围井试验。地点选在基坑西北侧,面积  $11 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ,围井外侧为基坑支护桩及止水帷幕,内侧其他 3 面为旋喷桩止水帷幕。围井内布置 2 口降水井和 1 口观测井,外围布置 1 口观测井。其他施工参数与围护结构设计参数相同。经抽水观察,围井内观测井水位持续下降至基坑底。停止抽水 7 d 后观察,观测井水位略有上涨,但仍在基坑底以下。围井试验表明,工程所采用的组合式止水帷幕是可行的,设计参数选择是合理的。



基坑各工序施工顺序为:灌注桩(疏干井、减压井、观测井)→水泥搅拌桩→旋喷桩→锚索→抽水→土方开挖。水泥搅拌桩与旋喷桩施工间隔15 d,基坑抽水与止水帷幕施工间隔20 d。

水泥搅拌桩每延米水泥掺入量60 kg,水灰比0.60,28 d龄期的水泥土无侧限抗压强度2.0 MPa。搅拌桩采取切割法施工,相邻桩的施工时间间隔不超过24 h,施工开始和结束的头尾搭接处,采取接缝处两侧补打搅拌桩措施,消除搭接影响。旋喷成桩直径1.2 m,施工前先用钻机导孔,导孔直径130 mm,采用隔孔跳打施工,同时准确记录地层情况。气压0.6 MPa,气量6 m<sup>3</sup>/min,水压35 MPa,水量75 L/min。水泥浆的水灰比1.0,浆压0.2 MPa,浆量75 L/min,且每沿米水泥用量不少于450 kg。三管旋喷提升速度10~12 cm/min,旋转速度8~10 转/min。因停电、机械故障等原因中断喷射后,恢复注浆时搭接长度不小于0.5 m。

疏干井、减压井井管采用无砂混凝土滤管,滤管外径400 mm,成孔直径600 mm。坑内疏干井孔底标高控制在-10.0 m以内,施工时结合地勘报告,观察成孔返浆情况,严格控制井深,防止打穿隔水层;滤管外回填砂砾滤料,利用空压机及时洗井。减压井底标高控制在-22.0 m以内,成孔时结合地勘报告,观察成孔返浆情况,准确记录隔水层位置,隔水层以下部分滤管外回填砂砾滤料,隔水层及以上部分回灌水泥浓浆,将场地下部承压水与上部孔隙潜水隔开。

基坑围护结构及止水帷幕施工完成20 d后,基坑内疏干井开始抽水,通过观测井观察,基坑内水位持续下降,早期水位日降幅40~50 cm/d,5 d后水位日降幅20~30 cm/d,18 d后水位降至基坑底以下0.5 m。

## 4 施工效果与方案分析

基坑土方大面积开挖施工,基坑内无明水,部分砂层已处干燥状态。观察基坑侧壁旋喷桩,桩体质量

良好,与灌注桩搭接紧密。基坑开挖完成后大部分疏干井已基本疏干,每天疏干井总出水量在500 m<sup>3</sup>以内,未发生渗流破坏,说明基坑支护隔水、降排水设计是成功的。经监测单位观测,基坑侧壁水平位移最大30.6 mm,周边沉降22.2 mm。

与传统止水帷幕相比,组合式止水帷幕优势如下:  
①节约工程造价 传统止水帷幕大多采用连续多排旋喷桩或多排搅拌桩止水,工程量大,造价高。  
②止水效果可靠 本工程为节约造价,围护灌注桩桩间净间距偏大(为700 mm,通常100~500 mm),这样就对桩间旋喷桩桩身质量要求较高;中砂局部密实,旋喷桩桩径存在局部偏小风险;最长旋喷桩18.5 m,桩身垂直度偏差可能造成搭接不够。为避免上述风险,在围护结构外围设置两排水泥搅拌桩,以弥补桩体搭接偏差,确保止水效果可靠。

## 5 结 论

(1)厚砂层地下水渗流产生的破坏,如整体滑移、倾覆、隆起、突涌等破坏形式,必须高度重视。

(2)复杂地层中,旋喷桩与水泥搅拌桩组合式止水帷幕效果明显,安全可靠。

(3)根据地质情况合理布置减压井及控制疏干井有效深度,有效设计减压井构造措施,可以避免突涌破坏发生,保证基坑底部土体稳定,满足施工要求。

### 参考文献:

- [1] 广州地区建筑基坑支护技术规定[S]. 1998. (Technical regulations for retaining and protection of building foundation excavations in Guangzhou region[S]. 1998. (in Chinese))
- [2] 姚天强,石振华. 基坑降水手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社. (YAO Tian-qiang, SHI Zhen-hua. The precipitation manual for building foundation excavations[M]. Beijing: China Architecture and Building Press. (in Chinese))

(本文责编 李运辉)