

# 人工岛深基坑支护降水及开挖技术探究

刘泽山

中交一航局城市建设工程有限公司, 河南 郑州 450000

**摘要:** 随着经济社会的不断发展以及海洋工程的不断发展, 人们对交通出行的需求日益剧增, 跨海跨江高速应运而生。为满足通航要求, 方案设计时往往选用桥隧结合, 在桥隧结合部需建设人工岛作为转换结构, 岛上建设部分配套功能用房和附属建筑。故人工岛建设成为了人们关注的焦点。本文将就人工岛深基坑相关施工技术展开研究, 旨在为人工岛建设提供技术支持和参考。

**关键词:** 人工岛; 深基坑; 降水; 支护

## Exploration on Precipitation and Excavation Technology of Deep Foundation Pit Support on Artificial Island

Liu Zeshan

CCCC First Harbor Urban Construction Engineering Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract:** With the continuous development of economy and society and the continuous development of marine engineering, people's demand for transportation is increasing day by day, and cross-sea and cross-river expressways have come into being. In order to meet the requirements of navigation, the combination of bridges and tunnels is often selected in the scheme design, and an artificial island needs to be built at the junction of the bridge and tunnel as a conversion structure, and some supporting functional buildings and ancillary buildings are built on the island. Therefore, the construction of artificial islands has become the focus of people's attention. In this paper, we will study the construction technology related to the deep foundation pit of artificial islands, aiming to provide technical support and reference for the construction of artificial islands.

**Keywords:** artificial island; deep foundation pit; precipitation; support

## 引言

深中通道西人工岛作为深中通道关键控制性枢纽工程, 采用人工填砂筑岛, 整体岛面采用在岛内埋设降水井, 打设排水板开展降水联合堆载预压进行地基处理, 满足岛上建筑建设需求。岛上房建项目深基坑施工时面临场地狭小、水位难控制、砂层不易支护等诸多技术难题。通过对人工岛现状、设计方案以及施工条件分析, 在深中通道西人工岛深基坑施工过程中, 结合岛面规划, 大部分采用了自然放坡加面层设钢筋网片喷锚, 受场地影响部位采用混凝土灌注桩排桩支护形式; 降水主要采用管井降水<sup>[1-2]</sup>。

## 一、相关技术综述

深基坑支护降水及开挖技术是人工岛建设的关键环节, 涉及到多个学科和技术领域。支护设计需综合考虑基坑深度, 基坑周边环境及荷载情况, 还需对工程造价和施工环境、施工周期综合考虑。人工岛地层为回填砂, 过水速率快, 且处于海洋环境, 水位受潮汐影响较大, 支护设计需综合考虑其特殊环境。同时, 降水技术的选择对于防止人工岛沉降和破坏具有重要意义。

深中通道西人工岛主体建筑基坑深度在7.1m ~ 9.2m, 基坑范围内土层以回填砂为主, 经振冲后与初始力学指标存在较大差异。通过标贯试验对振冲后的回填砂区域进行检测, 其中, 表层2m标贯击数为12 ~ 20击, 表层2.0m以下标贯击数18 ~ 49击,

根据《建筑地基基础设计规范》, 振冲后的内摩擦角 $\varphi_k$ 可根据修正后的标准贯入试验击数 $N_k$ 值、标贯击数按下式计算:

$$\varphi_k = \sqrt{20N} + 15$$

$$N = a_1 N'$$

式中: $N$ —实测平均锤击数

$a_1$ —触探杆长校正系数

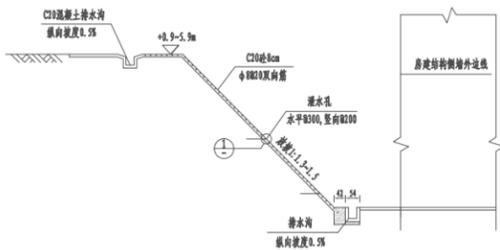
砂土地层中存在粘聚力, 根据相关参考文献和案例其值处在3~8KPa之间, 与现场试验获得的值很相近。考虑到主体建筑基坑边坡保留时间短, 岛内回填砂已完成振冲, 回填砂层含水量丰富根据既有基坑边坡情况及反演分析, 本工程基坑在设计计算分

析中砂层粘聚力按3Kpa计算。基坑开挖过程中分层开挖、及时支护，保证砂层含水率在4%~9%之间。大面按照坡度不小于1:1.3自然放坡能满足基坑安全需求，局部因不满足放坡条件或上部荷载较时采用排桩支撑形式。

本工程位于珠江的内伶仃洋海域，根据地勘察揭示的含水层的岩性、埋藏条件及地下水的赋存条件，主体建筑深基坑部分主要位于松散岩类承压水含水岩组，水位约在5.7m（距现场地面）左右，人工岛渗透系数  $k=2.04 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。孔隙承压水径流表现在相同层位间的相互流通，但受含水层岩性的控制。海水潮水位变化的同时，传导给孔隙承压水的压力不同，潮水位涨，传导给孔隙承压水的压力大，承压水头高，潮水位落，传导给孔隙承压水的压力相对较小，承压水头相对较低。针对孔隙承压水，主要是通过岛面降水井集中抽水排入周边海域。孔隙承压水动态变化上表现为动态型，受潮水位和岛内人工降水措施控制影响，通过管井降水能够满足现场施工需要，设计考虑施工期降水的水位至基底1m以下，满足建筑物基础施工需要。

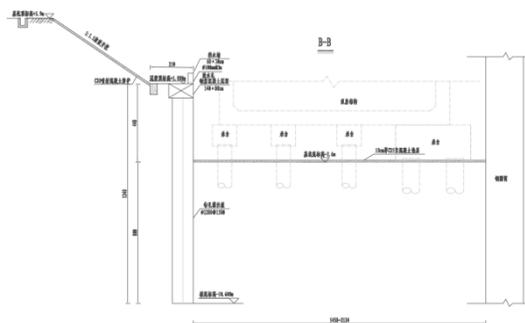
## 二、设计方案探讨

深中通道西人工岛岛上房建深基坑根据岛面拌合站、施工道路布置，结合基坑深度进行设计。大面采用自然放坡。放坡断面见图1。坡度控制在1:1.3~1:1.5，在坡面留设泄水孔，坡顶和坡底设截（排）水沟，坡面喷射混凝土面层。因拌合站影响上部荷载较大，无法自然放坡区域采用排桩支护形式。



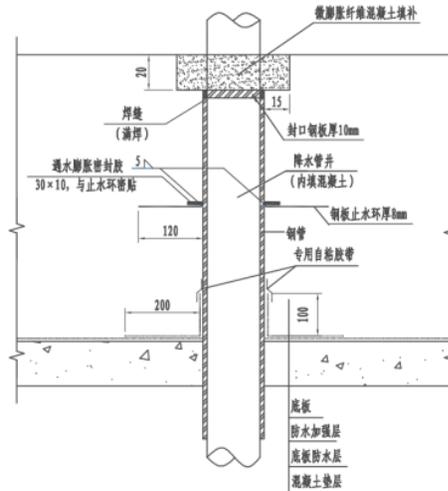
> 图1 基坑放坡断面图

因受拌合站影响，距离不满足自然放坡，此区域采用上部放坡下部排桩支撑形式。排桩直径1.2m，间距1.5m。此部位断面图见图2；灌注桩上部设置连续冠梁，为防止地表雨水等流入基坑顶部设截水沟。



> 图2 拌合站部位支护断面图（图中单位cm）

综合考虑地层及降水效果，本工程基坑降水选用管井降水法，降水井直径550mm，采用273mm无缝钢管，两侧填滤料，底部设置不小于1m的沉沙管。基坑内降水井底标高至基坑底有效长度为6m，降水井主要布置在基坑周边，并在基坑内布置疏干井，达到整体降水效果。基坑外侧设水位观测井，定期进行水位监测。基坑内与结构相连的降水井留置在基础筏板内，停止降水时封闭处理。筏板内降水井节点处理见图3。

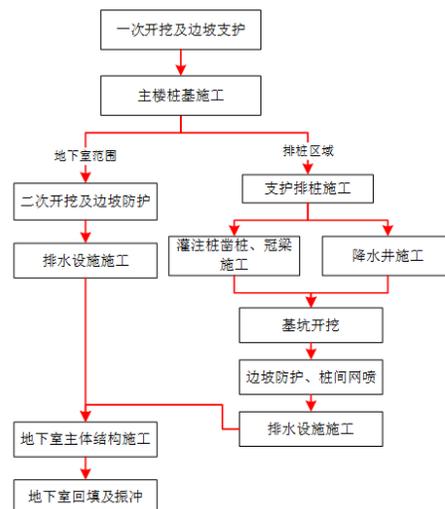


> 图3 基坑内降水井示意图（单位mm）

## 三、施工方案及施工技术措施

### （一）基坑施工工艺

在施工前现场先进行场地平整，局部进行表层开挖满足建筑物桩基施工，桩基施工完成后再进行基坑开挖和边坡支护（土方开挖分层开挖，每层不大于2m，边坡喷锚与开挖交替进行，随时开挖随时支护）；在建筑物桩基施工时可同步进行基坑支护灌注桩施工。施工工艺流程见图4。



> 图4 基坑施工工艺流程图

### （二）方案要点及注意事项

#### 1. 机械设备选择

根据地质情况及工期要求，本工程灌注桩及降水成孔施工均

采用旋挖机成孔。

## 2. 施工注意事项

因支护排桩和降水井等施工工艺与常规工艺相似，此处不再赘述，主要对一些施工过程中的注意事项进行阐述说明。

①为保证桩基施工质量，钻孔灌注桩施工时，先行试桩施工，验证工艺的可操作性。试桩施工合格后，方可大面施工，施工时严格执行国家标准规范有关规定进行过程质量控制，并按做好每道工序施工记录。

②为防止施工对地层扰动，影响桩基施工，刚浇筑完成的桩与成孔桩间距大于4倍桩径，施工采用跳打法，本工程施工时采用隔三打一，循环跳打。

③灌注桩在砂层成孔时为防止塌孔提高成孔效率，施工需采用泥浆护壁工艺。泥料以膨润土为主要原料，配制时选择水化性能好、出浆率高、成浆快、含砂量少的材料。同时可添加纯碱及羧甲基纤维素（CMC）等材料，进一步提高泥浆性能。在施工前进行泥浆配合比试验以指导现场造浆，根据施工中实际情况随时调整泥浆配比。在回填砂层钻进时，成孔时间宜尽量缩短，及时进行桩基浇筑。本工程采用的泥浆配合比见表1。

表1 泥浆配合比表

地层	水 (kg)	膨润土 (kg)	纯碱 (kg)	CMC (kg)	备注
一般地层	100	6 ~ 8	0.3 ~ 0.5	0.1	CMC 视现场实际情况确定参量

④在施工时安排专人负责对泥浆性能进行检测并做好记录，不符合要求时进行调整。泥浆检测应根据现场地质条件变化随时进行。当地层条件发生变化时，及时对泥浆的各项参数进行调整，确保满足护壁施工要求。根据施工工艺和现场地层情况，本工程施工过程中泥浆性能指标见表2。

表2 泥浆性能指标表

钻孔方法	地层情况	泥浆性能指标			
		相对密度	粘度 (Pa.s)	含砂率 (%)	胶体率 (%)
旋挖	砂层	1.10 ~ 1.25	18 ~ 28	≤ 2	> 95

⑤施工中应严格按照相关规范进行二次清孔操作，清孔采用反循环工艺，并采取必要的施工措施，以减少桩底沉淤。在钢筋笼沉放到位且浇筑混凝土前对孔底中心点的沉淤厚度进行测量，沉淤厚度 < 100mm。

⑥灌注桩采用水下导管浇筑工艺，浇筑时要确保水下混凝土的浇注质量，浇注操作必须符合施工规范规定。

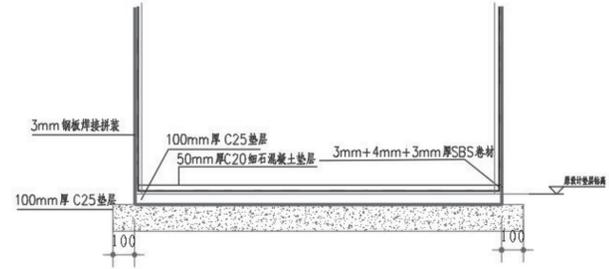
⑦在下放钢筋笼前，每根桩须用超声波检测成孔形状，或采用探笼检测，以确保孔径、孔壁粗糙度。

⑧坡面泄水孔必须严格按照设计方案埋设，泄水孔为直径50mm、长65cm 排水管，间距2m × 3m，泄水孔后方四周开孔，并包有土工布，避免过水时回填砂流出。

⑨降水井安装完成后需要进行井管内清洗，清除井壁护壁泥浆，将成孔时护壁泥浆置换为清水。基坑外侧水位变化较快或水位较低时需采取回灌措施进行补水。

## 3. 针对电梯井等较深部位采取的降水措施

因本工程工期相对紧，基坑内水量较大，降水周期相对长。在水位降至筏板底1m 时，整体能满足大面施工，但在电梯井等较深部位降水效果不佳，需持续降水，为加快建设速度采取局部明排方式。在四周做排水沟明排，并在电梯井部位增设铁箱作为止水及支护结构。铁箱做法见图5。为防止铁箱上浮，及时在铁箱内施工100厚垫层、防水及防水保护层，做完后周边分层回填，回填完成后及时进行垫层及后续工作施工。



> 图5 铁箱示意图

## 4. 人工岛深基坑施工质量控制

①本工程各项目检验验收应严格执行地基基础及基坑作业相关规范标准要求。

②因岛内水位与海水潮水位变化息息相关，在施工过程中根据涨潮落潮情况对现场降水措施进行动态调整。在涨潮阶段抽水频率适当增大，落潮后根据监测水位调整抽水频率。

③在深基坑降水抽水过程中对水中含砂量进行观测，除初期外若水中有砂时需分析原因并采取措施，避免对基底或基坑周边环境造成影响。

## 5. 人工岛深基坑施工安全注意事项

①要保证现场电力供应不断。由于本工程属于外海孤岛施工，在施工前需综合考虑机械设备及材料的运输情况，现场应充分备齐柴油发电机、潜水泵、防雨电闸箱，设置应急电源，避免在基坑开挖过程中降水工作长时间中断，导致降水失效，水位上升，造成不必要损失。同时要根据潮汐变化对降水强度进行实时调整，确保基坑水位保持稳定。

②深基坑施工时需结合项目实际做好应急管理。尤其在雨季及台风季节施工时，需加强天气预报和气象观测。遇到暴雨、台风等特殊天气要采取必要的防范措施，降水可采用自动控制装置。在人员撤退前，应对基坑进行必要的防护。

③因人工岛为砂回填，降水必须降至开挖面以下，大面开挖前先小范围进行试挖，验证水位满足施工要求再进行大面施工。施工过程中需关注基底隆起、涌水、涌砂等常见基坑问题的排查和治理工作。

④岛上作业雨水较多，时常做好基坑上部排水沟的清理和检查，确保排水沟顺畅，集水井不渗漏，抽水设备完好随时可启用。

## (三) 基坑监测监控要求

基坑监测是深基坑安全管理的重要保障，基坑施工及基坑开挖过程中要根据不同施工阶段对水平位移及沉降、坑底水位变

化、周边构筑物位移等进行监测。具体监测频率见表3所示。若监测数据出现异常，需立即分析原因并适当提高监测频率。

表3各项目监测频率一览表

序号	监测项目	施工进度				
		开挖深度： ≤ 5m	开挖深度： 5 ~ 10m	底板浇筑 后时间： ≤ 7d	底板浇筑 后时间： 7-28d	底板浇筑 后时间： > 28d
1	围护结构顶水平位移	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
2	地下水水位	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
3	地面沉降	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
4	周边构筑物位移	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d

本工程基坑支护结构安全等级按照二级控制，为了保证基坑安全，对于各监测项目，超出预警值时及时上报，并及时进行原因分析并根据原因采取有效措施，待处置后消除安全隐患，监测数据正常后方可继续施工。本工程监测控制值见表4，报警值为控制值的0.7倍。

表4各监测项目控制值一览表

序号	监测内容	控制值		变化速率
		基坑安全等级 一级	基坑安全等级 二级	
1	坡顶、坡底水平位移	0.3%H 和 30mm 较小值	0.6%H 和 50mm 较小值	10 ~ 15mm/d
2	灌注桩顶水平位移	0.2%H 和 25mm 较小值	0.5%H 和 45mm 较小值	4 ~ 6mm/d
3	灌注桩顶最大竖向位移	0.1%H 和 10mm 较小值	0.3%H 和 25mm 较小值	3 ~ 4mm/d
4	坡顶最大竖向位移	0.3%H 和 20mm 较小值	0.6%H 和 50mm 较小值	5 ~ 8mm/d
5	地下水水位	变化幅度 1.0m	变化幅度 1.0m	500mm/d

本项目实施后，最终基坑监测结果显示：基坑边坡顶部水平位移累计水平位移量介于 -1.65mm ~ 1.67mm 之间；顶部地表沉降累计沉降量介于 1.85mm ~ 5.59mm 之间；观测水位变化速率值介于 -67mm/d ~ 131mm/d 之间；均满足规范要求。

#### 四、结论与展望

通过本项目深基坑工程的实施，支护形式大面积采用放坡喷锚局部采用排桩，降水采用管井降水，该设计及施工方案能满足人工岛施工需要，基坑整体稳定性和变形均满足规范及设计要求。项目结合项目实际在施工过程中为加快施工进度，在电梯井、集水坑等局部部位选用特殊处理措施，取得不错效果，对类似工程有借鉴意义。

本文结合深中通道西人工岛深基坑施工技术总结，对人工岛深基坑施工相关技术进行了深入系统研究。在项目建设中也取得了良好的应用效果，为类似人工岛建设提供了有力的技术支持，也有助于推动海洋工程技术的进步和创新。然而，仍存在许多不足之处，如对复杂地质条件的考虑不足、降水技术的选择不够灵活等。在人工岛深基坑的施工过程中，实施有效的信息化智能化监测和信息化施工手段可提高工程质量和施工安全。未来，我们将进一步改进和完善该技术，为人工岛建设提供更加可靠和高效的技术支持。

#### 参考文献

[1] GB50330-2013《建筑边坡工程技术规范》[S].  
 [2] 中交港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部. 港珠澳大桥岛隧工程施工技术 [M]. 科学出版社, 2021-04.