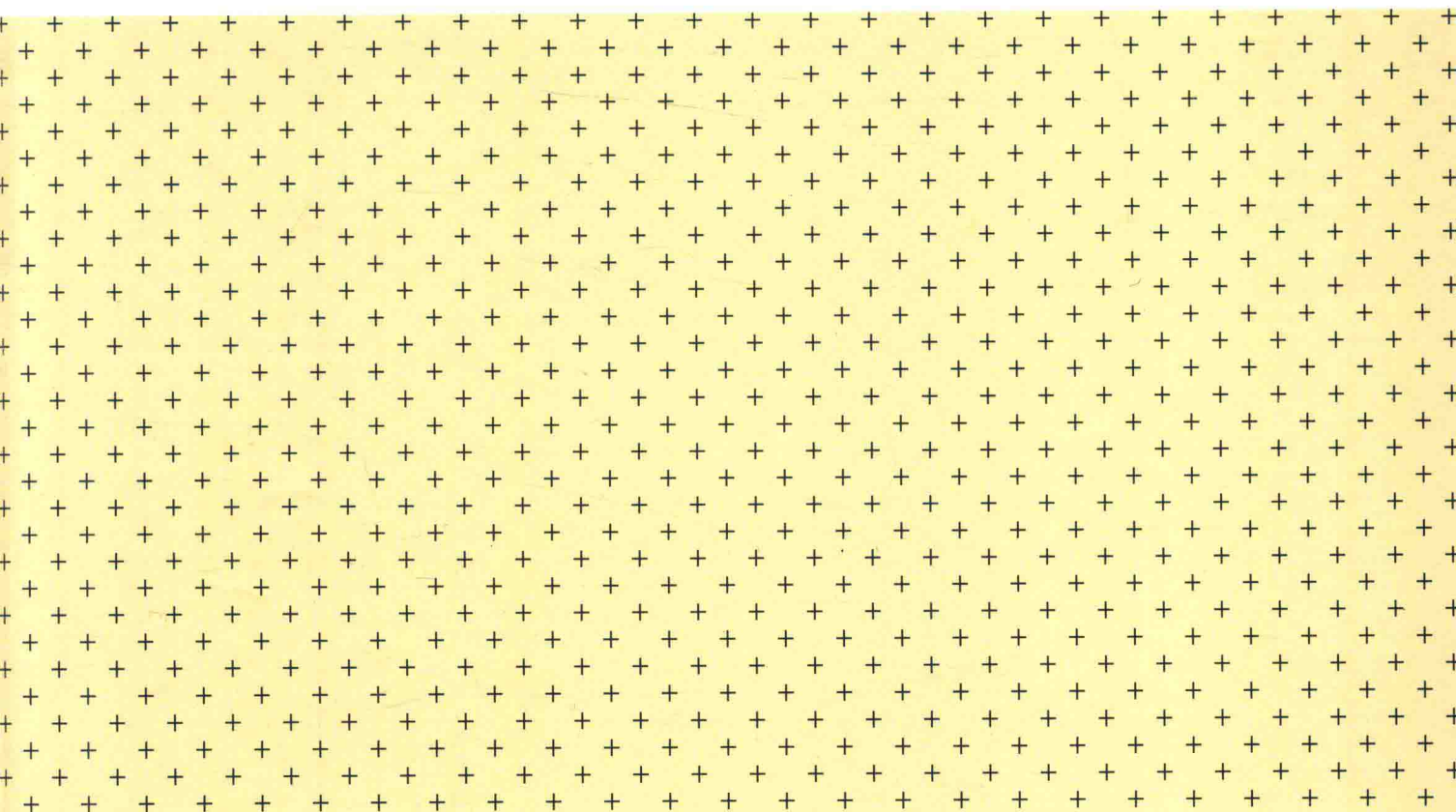


珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究

含珊瑚碎屑地层防渗止水系统设计 与工程实例

阳吉宝 李忠平 任海平 韩炳辰 著



珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究

含珊瑚碎屑地层 防渗止水系统设计与工程实例

阳吉宝 李忠平 任海平 韩炳辰 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以中国人民解放军海军工程设计研究院和上海市建工设计研究院联合开展的“珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究”的科研成果为基础,以海南省某临海地区入岩深基坑为研究对象,主要研究解决临海地区入岩深大基坑的防渗止水问题。全书从场地的地形地貌、地质条件、基坑特点等方面开展研究分析,包括入岩深基坑的设计选型、设计原则、基坑稳定性分析、基坑监测要求等方面,并通过两个实例进行了全面系统的介绍,同时对入岩深大基坑的设计与施工进行了总结和反思。

本书适合岩土工程、地下结构及相关专业的科研人员 and 高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

含珊瑚碎屑地层防渗止水系统设计与工程实例 / 阳吉宝等著. —上海: 同济大学出版社, 2017. 10

(珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究)

ISBN 978-7-5608-6551-5

I. ①含… II. ①阳… III. ①防渗工程—研究 IV. ①TU761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 233055 号

含珊瑚碎屑地层防渗止水系统设计与工程实例

阳吉宝 李忠平 任海平 韩炳辰 著

出 品 人 华春荣 策划编辑 杨宁霞 责任编辑 李 杰 胡 毅

责任校对 徐春莲 封面设计 张 微

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 上海丽佳制版印刷有限公司

开 本 889 mm×1194 mm 1/16

印 张 18.75

字 数 600 000

版 次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6551-5

定 价 168.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

21 世纪是发展绿色海洋经济的新时代,也是临海地区工程建设突飞猛进的新时代。然而,临海地区或海岛地区的工程建设不论在规模、数量,还是在地质条件研究、施工经验的积累等方面均远远落后于内陆经济发展较快和发达的地区。这样,在临海地区或海岛地区进行重大和重点工程项目建设时,就必须充分研究当地的地质条件,比选设计方案,制订施工要求,以确保建设项目的顺利实施。

为工程设计与施工需要,上海市建工设计研究院有限公司于 2010 年 2 月开始与中国人民解放军海军工程设计研究院接洽联系,商讨科研协作,着手确定研究对象和研究内容,以及类似工程案例选择等准备工作,并于 2013 年 2 月正式立项,共同开展“珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究”的课题协作研究,主要研究如何解决海南省临海地区入岩深大基坑的防渗止水问题。本项科研以海南省临海地区入岩深基坑为研究对象,以临海地区具有类似地质地层条件的基坑工程的防渗止水问题为研究内容,从场地的地形地貌、地质条件、基坑特点等方面开展研究分析,主要研究如何解决入岩深基坑的设计选型、施工工序、工艺选择问题,确定施工、检测和监测方案与要求,最后针对此次项目的基坑工程提出设计与施工方案,分析基坑边坡的稳定性,明确施工、检测、监测的方法、内容和具体操作要求。

为顺利完成科研项目,课题组选择类似地质条件但规模相对较小的入岩深基坑作为研究对象,以积累理论研究和实际工程经验,为三亚某基地入岩深大基坑设计与施工创造条件。基于上述目的,上海市建工设计研究院有限公司自 2010 年 5 月开始,有幸参与文昌卫星发射基地的建设项目,先后参与 078 基地 1[#] 工位、2[#] 工位的基坑工程与桩基工程的设计、咨询及施工。在这些项目的实施过程中,出现了诸多问题,主要体现在:对临海地区的地质条件研究不够;对临海地区浅基坑设计与施工经验不足;对临海地区入岩深基坑设计与施工的难度认识不清,重视不够,经验缺乏;对临海地区特殊地质条件下的桩基设计与施工的重点、难点分析认识不到位;等等。尤其是 1[#] 工位、2[#] 工位深基坑止水帷幕体的设计与施工,因受基坑开挖面积大(约 1.5 万 m²)、开挖深度深(约 23 m)且进入基岩深度达 12 m 等条件的限制,加之对临海地区地质条件的复杂性分析认识不足,1[#] 基坑在开挖到基岩面时发生严重渗漏,给基坑基岩面下岩体爆破和基础工程施工带来困难,甚至危及基坑边坡的安全稳定性。2[#] 工位基坑设计与施工在分析总结 1[#] 工位基坑的成果经验和吸取失败教训的基础上,优化和改进了基坑止水帷幕体的设计方案,进一步明确施工、检测和监测的要求,从而使 2[#] 工位基坑的工期、费用和施工质量都大大优于 1[#] 工位基坑。相对于海南某临海入岩深大基坑,文昌卫星发射基地的基坑工程面积较小,开挖深度近似,主要类似

的是场地的地形地貌和地层条件。这样,深入研究和总结文昌卫星基地工程建设项目的设计与施工经验,有助于指导海南临海入岩深大基坑工程的设计与施工。

本书共 10 章。第 1 章为绪论,概述本书的主要研究方法、研究内容和研究成果;第 2、3、4 章主要对临海地区的地形地貌、气象条件和地质条件加以分析研究,并对比分析了海南省不同地区的临海地质条件;第 5 章结合对某临海场地在潮汐作用下的地下水水位变化特征的观测,分析研究临海地区潮汐作用对基坑边坡稳定性的影响;第 6 章主要研究临海地区入岩深基坑设计选型,通过方案初步对比分析,再用模糊理论优选经济、合理、可行的设计方案;第 7 章主要讨论入岩深基坑的具体设计原则、设计依据、设计内容等问题;第 8 章主要研究深基坑在开挖和基础施工全过程中的安全稳定性问题,简称“全程稳定性分析”,讨论基坑稳定性的主要影响因素、基坑边坡稳定性最差部位和时段;第 9 章主要讨论基坑设计时对止水帷幕体施工、检测和基坑监测的要求;第 10 章详细介绍文昌卫星发射基地 1[#] 工位、2[#] 工位基坑设计方案,并对 1[#] 工位基坑设计与施工过程中的不足进行总结和反思。

本课题研究肇始于 2010 年 2 月,正式立项于 2013 年 2 月,课题研究已达 5 年多,特别是近两年来,在海南文昌和三亚等地开展了一系列野外现场试验、测试和室内资料整理分析工作,其中还开展了长达 1 年半的潮汐作用下地下水水位观测,收集了海南省及其邻近区域的地质构造和工程地质、水文地质资料,参考并吸收了海南地区和类似地区同类型工程实例和设计、施工经验,这些工作均为本书的编著创造了良好的基础条件,同时也保证了本课题研究基础、项目研究成果的真实性和可靠性。通过检索和查阅文献发现,目前,类似工程案例较少,对临海地区的地质条件的研究以及对入岩深基坑工程设计与施工的研究均不多见,“珊瑚碎屑及珊瑚礁岩防渗止水系统研究”的课题组希望本书能对类似地质条件和类似工程有较大的参考价值和指导作用。

著 者

2016 年 9 月

目 录

前言

1 绪论	001
1.1 问题的提出	001
1.2 研究现状概述	002
1.3 存在的问题	004
1.4 防渗止水系统设计研究	005
1.4.1 常用的施工工艺	005
1.4.2 基坑防渗帷幕的几种结构形式	006
1.4.3 侧向止水帷幕的平面结构形式	007
1.4.4 存在的问题	008
1.5 本书的研究方法、内容与成果	008
1.5.1 研究方法	008
1.5.2 研究内容	009
1.5.3 研究成果与创新点	010
2 自然条件	015
2.1 区域地貌	015
2.1.1 海南省地形、地貌	015
2.1.2 文昌市及文昌基地区域地貌	016
2.1.3 三亚市及某基地区域地貌	017
2.2 区域地质	017
2.2.1 海南省区域地质	017
2.2.2 文昌市及文昌基地区域地质	020
2.2.3 三亚市及某基地区域地质	021
2.3 区域水文气象	023
2.3.1 海南省区域水文气象	023
2.3.2 文昌市及文昌基地区域水文气象	028
2.3.3 三亚市及某基地区域水文气象	030
2.4 结论	031

3	工程地质条件	032
3.1	地形、地貌	032
3.2	地层岩性	032
3.2.1	海南省地层岩性及工程地质分区	032
3.2.2	海南文昌卫星发射中心基地	035
3.2.3	海南三亚某基地	036
3.3	岩土物理力学性质	039
3.3.1	文昌基地岩土物理力学性质指标	039
3.3.2	三亚某基地岩土物理力学性质指标	040
3.4	结论	041
4	水文地质条件	042
4.1	含水层的特征	042
4.1.1	海南省地下水类型及水文地质分区	042
4.1.2	文昌基地含水层特征	043
4.1.3	三亚某基地含水层特征	044
4.1.4	小结	044
4.2	抽水试验	044
4.2.1	文昌基地抽水试验	044
4.2.2	三亚某基地抽水试验	072
4.2.3	对比分析	109
5	潮汐作用下深基坑稳定性可靠度分析	115
5.1	概述	115
5.1.1	选题背景及意义	115
5.1.2	研究现状	116
5.1.3	本章研究内容	117
5.2	临海场地的地质特征	117
5.2.1	地质条件	117
5.2.2	水文地质试验	120
5.2.3	潮汐及地下水监测网的建立	125
5.2.4	监测结果分析	127
5.2.5	影响基坑稳定地下水波动的概率分布规律	131
5.2.6	小结	133
5.3	主要随机参数的分析与识别	133
5.3.1	引言	133
5.3.2	基于地下水运动规律的水位波动影响因素分析	133
5.3.3	基岩面起伏分布规律分析	137
5.3.4	小结	139
5.4	基坑围护体可靠度分析	140
5.4.1	基坑围护体可靠度的蒙特卡洛模拟方法	140
5.4.2	基坑稳定性分析	142

5.4.3 工程实例分析	148
5.5 结论	150
6 防渗止水系统设计选型优选	151
6.1 概述	151
6.2 优化设计基本原理	152
6.3 防渗止水系统设计优选方法	153
6.4 防渗止水系统的概念设计	154
6.5 选型的原则与规定	156
6.6 方案初选	157
6.6.1 基坑安全等级的确定	157
6.6.2 基坑变形控制等级的确定	157
6.7 防渗止水系统的模糊综合评判优选方法	158
6.8 防渗止水系统设计优化的简单处理	162
6.9 工程实例	163
6.9.1 工程概况	163
6.9.2 地质条件	163
6.9.3 基坑工程特点与难点	164
6.9.4 防渗止水方案比选	165
6.9.5 类似地层基坑防渗止水系统设计方案优选	166
6.10 结论	168
7 防渗止水系统设计	169
7.1 设计原则	169
7.2 设计步骤	170
7.3 设计内容	172
7.3.1 设计依据	172
7.3.2 设计内容	173
7.4 止水帷幕系统设计方案	180
7.5 结论	181
8 深基坑工程全程稳定性分析	182
8.1 研究现状	183
8.2 研究内容	184
8.3 计算原理	184
8.4 工程地质条件	185
8.5 计算分析	185
8.5.1 整体稳定性分析	185
8.5.2 坝体边坡剖面不同情况对比分析	186
8.5.3 陆地边坡的围护搅拌桩对边坡的稳定性影响	191
8.5.4 爆破对边坡的稳定性影响	195
8.5.5 全程稳定性分析	201

8.6	结论	202
9	防渗止水系统施工与检测、监测要求	204
9.1	概述	204
9.2	施工工序和要求	204
9.2.1	施工工序	204
9.2.2	施工要求	205
9.3	检测要求	208
9.3.1	检测目的	208
9.3.2	检测方法	208
9.3.3	检测结果分析及建议	209
9.4	监测工程监测	210
9.4.1	监测目的	210
9.4.2	监测项目	210
9.4.3	监测要求	210
9.4.4	监测报警值	211
9.4.5	监测频率	211
9.5	结论	211
10	工程实例	212
10.1	概述	212
10.2	工程实例 1	212
10.2.1	078 工程 101 [#] 、102 [#] 建筑止水帷幕工程设计方案	212
10.2.2	附图	226
10.2.3	计算书	237
10.3	工程实例 2	244
10.3.1	078 工程 201 [#] 、202 [#] 建筑止水帷幕工程设计方案	244
10.3.2	附图	258
10.3.3	一级放坡及二级放坡稳定性计算书	264
10.4	1 [#] 、2 [#] 工位基坑止水帷幕设计总结	266
10.4.1	设计因素	266
10.4.2	施工因素	268
10.4.3	1 [#] 工位冷缝处理问题的反思	269
10.5	结论	274
附录		276
附录 A:	钻探施工及抽水试验现场照片	276
附录 B:	三亚某基地抽水井、观测井钻探岩芯照片	285
参考文献		287
致谢		292

1.1 问题的提出

某船坞建设场地位于剥蚀残山—海湾沉积过渡的海岸地带,面向大海,建筑物纵轴垂直海岸,一部分进入大海,大部分嵌入海岸。现场勘察钻孔结果显示,场地岩土体从上到下可分为4大层13亚层。第一大层为珊瑚碎屑、珊瑚礁灰岩,埋深为从地表到地下15 m;第二大层为粉质黏土和粉细砂,埋深地表下7~47 m;第三大层为强风化到中风化石英砂岩,埋深地表下3~54 m;第四大层为强风化、中风化—微风化的花岗岩,埋深地表下57 m。从整个场地的地层特征分析,场区岩土工程条件复杂,岩土种类多,特殊性岩土(珊瑚碎屑、珊瑚礁灰岩和黏土质蚀变岩)分布广泛,基岩埋深变化大,同时处在两种岩性接触交错的部位。

本工程因体量大、施工周期长,基坑开挖要深入基岩,揭露基岩及其上覆土体,特别是强渗透性的基岩面附近的交界面,而且工程属性重要,所以,为确保施工安全,拟采用围堰内干施工。本工程基坑平面位置部分在陆地、部分在海里,在陆地部分的基坑又部分要进入基岩面以下,基岩面以上的地层分布有珊瑚礁、珊瑚碎屑层,透水性极强;基岩面为极强透水层,而且基岩面高低起伏较大,局部会有孤石存在,在确保基坑边坡稳定的同时如何选择经济合理、施工可行的止水帷幕形式是本次立项研究需要解决的主要问题之一。在陆地部分,主要解决两个问题:①基岩面以上,在分布有珊瑚礁、珊瑚碎屑层中止水帷幕施工可行性和实际施工后止水效果的研究;②采用合理可行的工法解决基岩面的渗透问题。在海里部分,主要也是解决两个问题:①先研究解决围堰坝体的施工问题,可利用海底吹砂的办法形成坝体,主要解决围护体的稳定问题;②再在围堰坝体内施工三轴搅拌桩,主要解决围堰坝体的止水问题。这样,可形成一个封闭、稳定的止水帷幕和围堰坝体,以满足基础长时间干施工条件的要求。

根据场地的地层地质特征,并在总结已在类似地层环境下成功实施基坑围护体设计与施工工程案例的基础上,提出本基坑围护体结构形式拟采用三轴搅拌桩加高压旋喷桩复合结构体,即基岩面以上采用三轴搅拌桩,用高压旋喷桩对上覆土体与基岩交接面进行加固。这样,三轴搅拌桩施工的可行性及工后止水效果必须研究定论,通过研究确定是否可以参照海南省文昌市卫星发射基地基坑设计与施工的方法来实施本项目基坑止水防渗帷幕工程。

在临海场地设计与施工基坑,因潮汐作用而引起的地下水水位变化必然对基坑的稳定性产生影响,为在基坑围护设计计算时正确确定计算参数,研究必须查明潮汐作用下引起地下水水位和水土压力时空变化的规律。沿着基坑长轴(近似与海岸垂直)方向,随着距离海岸边界距离大小的变化,由潮汐作用引起的地下水水位和水土压力变化也随之发生变化,作用于基坑四周的水土压力也是各不相同的。由潮汐作用引起的地下水流速和流向均随着一天两次的潮涨潮落而变化。这样,只有在查清地下水水位和水土压力在潮汐作用下随时间、空间变化的规律的的基础上,才能正确确定基坑围护体的施工参数,从而准确地计算基坑边坡的稳定性,为安全设计基坑打下坚实的基础。在临海地区,受特殊气象条件的影响,波浪和潮汐风暴潮一起出现的情况时有发生。这样,在设计基坑时,要考虑因波

浪和潮汐风暴潮共同作用而引起的地表水和地下水水位变化对基坑稳定性产生的影响,海水进入基坑内对基坑明排水能力的要求。

基坑围护体的稳定性占据一切基坑工程最重要的位置。本项目基坑面临着复杂的加荷条件:①受到由潮汐引起的地下水变动循环加载的作用;②因基坑面积大、施工周期长,使得地下水水位循环加载对基坑围护体具有长期作用的效应;③恶劣天气会引起暴雨、潮汐波浪的加载作用;④基岩爆破会对围护体施加振动荷载。考虑到上述复杂的加载条件,有必要对基坑、基础施工全过程围护体的稳定性进行分析。

综上所述,本书主要研究临海含珊瑚碎屑及珊瑚礁灰岩地层的地质条件,尤其是水文地质条件和潮汐对临海地层水土压力时空分布规律的影响和评价,在此基础上,根据科学、合理、经济和可持续发展的原则,比选入岩的基坑止水帷幕设计方案,分析基坑围护体的全程安全性和稳定性。

1.2 研究现状概述

对珊瑚礁灰岩工程力学性质的研究自20世纪70年代开始已引起我国科研工作者的广泛关注,汪稔等^[1]对南沙群岛珊瑚礁的工程特征进行了系统的研究,王新志等^[2]对取自南沙群岛的礁灰岩进行了声波测试、单轴抗拉强度试验、单轴抗压强度试验和三轴压缩强度试验。试验结果表明,礁灰岩具有较高的孔隙率,远远大于其他岩石,其纵波波速为2 700~3 700 m/s,并随着孔隙率的增大而呈线性减小;礁灰岩的软化性较弱,干燥抗拉强度和饱和抗拉强度相差不大;礁灰岩的破坏形态表明其具有脆性岩石的特点,但又与花岗岩等脆性岩石有本质的区别。在破坏时并不像其他脆性岩石一样具有单一破裂面,而是沿着珊瑚礁的生长线同时出现多个破裂面,并保持较高的残余强度,礁灰岩的这种破坏模式是由其特殊的岩体结构决定的。为研究三轴搅拌桩在珊瑚礁灰岩分布区施工的可行性,也即分析珊瑚礁灰岩的可搅拌性,同时要研究三轴搅拌桩在本场地复杂土层条件下的施工可行性,这是一个全新的课题。

为研究岩石的可搅拌性,可以参考岩石可钻性的研究成果。岩石可钻性是表征地层难钻易钻程度、反映岩石破碎综合性质的主要指标,是当今石油钻井工程界选择钻头、预测钻速的基础数据^[3]。韩来聚等^[4]应用数理统计方法研究分析了岩石地面纵波波速 V_p 、横波波速 V_s 分别与钻头可钻性的相关关系,并通过测井波速资料建立了利用声波测井资料预测碳酸盐岩地层剖面可钻性的数学模型。李士彬等^[5]通过研究发现,岩石可钻性与井深有关,也与围压有关,建立了考虑围压作用下的岩石可钻性级值模型。邹德永等^[6]利用岩屑声波法评价了岩石可钻性。鲍挺等^[7]对岩石可钻性的研究方法与发展前景进行概括,指出岩屑硬度法是今后地层可钻性研究发展的重点。熊继等有^[8]讨论了岩石矿物成分与可钻性的关系。修宪民等^[9]讨论了岩石力学性质及可钻性的分级研究,应用数理统计学原理,依据岩石力学性质和可钻性指标,建立表示岩石可钻性的数学模型,并以此模型进行岩石可钻性分级。分形理论、神经网络理论等也被广泛应用于岩石可钻性的研究^[10-15],通过试验分析研究,岩石可钻性分级定量研究成果已能满足实际生产需要。前述岩石可钻性研究方法与研究成果为研究珊瑚礁灰岩可搅拌性带来了启示,可以参考岩石可钻性研究方法,以开创性地开展珊瑚礁灰岩可搅拌性的研究。

自从发现固体潮及与之相关的水位潮汐变化现象以来,地质体在引潮力作用下的应力、应变及孔压(水位)变化一直受到有关研究者的关注。王仁等^[18,19]从理论上计算出某一时刻日月引潮力所致的构造应力场,并剖析了周期性潮汐引力触发地震的可能性。张昭栋等^[20]从弹性理论和地下水动力学原理导出了井水位对固体潮应变的响应方程。汪成民等^[21]通过分析得出地球表面的潮汐应力表达式,并利用深井水位与潮汐应力的平衡方程式探讨井水位的变化问题。廖欣等^[22]认为只片面承认应

变对孔压的影响,而计算应力、应变时忽略了流体的影响,即没有考虑到流体与岩体骨架之间的耦合作用,通过研究,得到引潮力作用下饱和岩体的应力、孔压表达式。

在引潮力作用下,会引起近海岸岩土体地下水水位和水土压力的变化,邓苏谊^[23]通过研究,利用边界元方法通过对临海区域无压含水层在潮汐作用下的地下水水位变化的研究,得到潮汐作用下地下水水位波动解析解,钟启明^[24]在辽宁省瓦房店市渤海湾临海地区通过钻孔进行同位素示踪测定,分别测定了各钻孔的地下水流速流向。高茂生等^[25]通过地下水水位观测井进行地下水水位动态变化和海洋潮汐涨(落)潮关系的研究,划定了地下水受潮汐影响的范围,并评价了地下水波动的范围。孙海枫等^[26]通过观测发现,随着与海岸距离的增大,潮汐影响逐渐降低,愈靠近海岸影响越大,当距离海岸大于30 m时,影响可忽略。于洪丹等^[27]对厦门海底隧道,利用海流监测数据,考虑潮汐荷载循环变化过程中衬砌的疲劳损伤过程,用有限元模拟分析了应力渗流耦合作用下潮汐荷载对隧道衬砌和围岩稳定性的影响。向先超等^[28]根据海滩区淤泥长期受周期性的波浪和潮汐作用的特征,建立了有限元计算模型,计算结果表明潮汐对淤泥路基排水固结有显著影响。张浩等^[29]通过钻孔地下水水位和潮汐高度的观测,对某房屋基础是否受潮汐作用进行了判别。吕振利等^[30]对福建省泉州某江心洲地区基坑受江水潮汐作用的影响进行了分析,主要考虑荷载作用和潮汐对高压旋喷桩施工质量的影响。朱汝贤等^[31]、金成文等^[32]分别对受潮汐作用地区高压旋喷桩施工质量控制进行了讨论。吴明军等^[33]、高亚军等^[34]对潮汐水流对海岸边钻孔灌注桩施工影响进行了分析,并提出建议。赵晖等^[35]利用二维离散元模拟分析了人造基床单桩在潮汐作用下的稳定性。

在临海地区,受特殊气象条件影响,波浪和潮汐风暴潮一起出现的情况时有发生。林祥等^[36]分析了由暴风引起的近岸波浪和潮汐风暴潮及其相互作用的影响。欧素英等^[37]对珠江三角洲网河区径流潮流的相互作用进行了分析。

水是基坑工程的天敌,地下水的存在对基坑工程会产生不利影响,地下水的渗透破坏常常可以酿成灾难性后果。据统计,70%以上的基坑工程事故是由水直接或间接造成的,其中22%的基坑工程事故与地下水有关。对于临海深基坑,受水作用的影响较之于其他类型基坑更甚,因为它不仅受地下水作用,而且时常遭遇更恶劣天气的暴雨作用;其受地下水作用也与通常地方不同,每天还会受到两次由潮汐引起的附加地下水水位增高的作用。为此,研究临海场地基坑工程受水作用的风险因素与控制,其重要意义不言自明^[38]。

李群^[39]认为,做好沿海地区基坑降水工作,关系到施工安全、质量与进度的控制。郑定刚等^[40]分析了在考虑大气降雨量条件下的基坑降水计算问题。沈建军等^[41]在考虑海水潮汐条件下进行了抽水试验,并求得潜水含水层渗透系数。对于全封闭基坑,其降水实际作用等同于疏干抽水。王赫生等^[42]讨论了某煤矿抽水试验及疏水设计参数的合理确定。邹正盛等^[43]对基坑降水因渗透等原因造成“疏不干”问题提出了工程对策。王金超等^[44]对沿海地下建筑物基坑降水问题进行了讨论,重点讨论了降水设备选型和数量的确定,以确保施工正常顺利进行。胡鸿志等^[45]对特大型深基坑降水提出抽渗结合,讨论了如何设计基坑内疏干井,并辅以明沟排水。徐冬生^[46]讨论了疏干降水施工技术对人工挖孔桩的作用,对基坑疏干降水有所启示。刘澜^[47]对基坑底部分布有隔水基岩的基坑疏干降水问题进行了研究,并提出相应措施。褚振尧等^[48]针对某露天煤矿降水问题提出了疏干井与明排水系统相结合的方案。上述研究对本项目基坑降水设计有很大的启迪作用。

深基坑降水的数值模拟分析研究一直是基坑工程研究的热点问题之一。骆祖江等^[49]对基坑降水疏干过程进行了三维渗流场数值模拟研究,模拟的降水过程和降水效果与实际工程施工情况有良好的一致性。赵文超^[50]对考虑渗流影响的基坑工程进行了三维有限元模拟及分析,并与二维模拟结果进行对比,研究结果表明二维分析渗流场解得到更清晰直观的结果。冯海涛^[51]利用有限元软件plaxis对深基坑降水问题进行了研究,重点讨论深基坑内降水疏干后,对基坑内土体力学性质改善与提高及对环境保护等方面有着积极的意义。

1.3 存在的问题

本书主要研究解决在临海含珊瑚碎屑及珊瑚礁灰岩地层的止水帷幕设计与施工可行性的问题。为此,我们必须认识到目前对场地和类似地层地质条件研究存在如下问题:

1) 地层水文地质条件研究

临海含珊瑚碎屑及珊瑚礁灰岩地层从岩土层特征来说,有两个显著特点,一是因基岩面起伏较大而使上覆土体厚度变化较大;二是基岩面上覆土层土体成分变异较大。对这样的地层,水文地质条件研究可以根据水文地质学基本原理开展实地勘察研究。这样,所获得的地质参数才能有效地指导设计与施工。显然,目前对土层的物理力学性质研究较多,大多研究土层的承载力,而在类似土层开展场地野外详细水文地质勘查,如现场抽水试验等工程案例和科研成果鲜有报道。

2) 潮汐作用下以及恶劣天气时的地下水水位与水土压力时空变化规律研究

为在临海地区设计与施工嵌岩基坑工程,必须详细研究临海地区特有的潮汐作用和特殊恶劣天气影响。为此应做到三个查明:①查明沿着基坑长轴(近似与海岸垂直)方向,由潮汐作用引起的地下水水位和水土压力随着距离海岸边界距离大小的变化而变化的规律,为安全设计基坑,正确确定基坑四周水土压力计算参数,从而准确地计算基坑边坡的稳定性打下坚实的基础;②查明沿着基坑长轴方向,随着距离海岸边界距离大小的变化,由潮汐作用引起的地下水流速和流向随着一天两次潮涨潮落而发生变化的规律,确定地下水流速和流向相对稳定的时间段,在此基础上,对基坑围护体施工参数确定提出建议;③查明在特殊气象条件下,波浪和潮汐风暴潮一起出现时的降雨强度,从而估算基坑集水面积内的积水量。根据波浪和潮汐风暴潮发生的强度和延续时间,估算海水涌入基坑内的积水量,从而对基坑明排水能力提出要求,并估算上述作用所产生的荷载对基坑长期稳定性所产生的影响。如此,必须开展现场水土压力观测,深入研究分析潮汐作用和恶劣天气对临海地区基坑工程设计和施工以及基坑稳定性的影响。考虑到建设工程的重要性,现场野外测试工作不可或缺。

3) 止水防渗帷幕设计选型

对于本基坑止水防渗帷幕结构体,有多种形式可供选择,如钻孔灌注桩排桩加外拉锚、咬合桩,甚至素混凝土地下连续墙。但初步分析,它们的造价较高,而且施工工期较长,设备投入多。本项目必须通过对比分析各种围护结构体的经济造价,施工难易程度,从而进一步寻找经济、合理、科学且施工方便的止水防渗围护结构体形式。

4) 基坑全程稳定性分析

基坑的安全稳定性始终是基坑设计与施工的首要问题。临海复杂的地质条件下,基坑围护结构体在基坑开挖以及基础施工期间受到多种附加荷载的作用,在不同阶段,所受荷载的种类不同,强度不同,有时是单一荷载,有时是多种荷载叠加,有由基坑开挖而引起的主动土压力,有由潮汐作用引起的动荷载,有基岩爆破所产生的动荷载,以及恶劣天气所产生的不利荷载作用等。这样,区分荷载种类、加荷阶段、加荷特征,通过数值模拟计算分析基坑围护体的全程稳定性就成为基坑工程必须研究解决的问题。

5) 施工可行性问题研究

本基坑止水防渗帷幕围护体结构形式拟采用三轴搅拌桩加高压旋喷桩垂向复合结构体,即基岩面以上采用三轴搅拌桩,用高压旋喷桩对上覆土体与基岩交接面进行加固。这样,必须研究确定这种基坑围护形式是否适合本场地的地层地质条件;施工是否可行,特别是建立的珊瑚礁灰岩可搅拌性级值评价模型是否切合实际;高压旋喷桩对基岩面起伏较大的地层施工适应性如何;工后围护体施工质量能否达到设计要求。

因类似工程实例极为少见,施工可行性研究以及施工质量可控性研究也少有案例可循,只有通过研究或现场试成桩才能确定施工参数,因此,必须考虑施工设备的机械性能、场地地层地质条件等,同时,也要充分考虑设备操作人员的经验、操作能力。

6) 施工质量检测问题研究

工后围护体施工质量的可靠性、稳定性必须通过有效的检测方法去检测,并且应该在基坑开挖前实施,如发现问题,及时进行处理,这样可避免或消除因施工质量问题导致基坑围护体渗漏,甚至危及基坑安全的事故发生。尽管目前针对搅拌桩和高压旋喷桩成桩质量检测的方法很多,但还未发现对类似土层和基坑围护形式的施工质量检测案例报道。我们必须在总结分析各种方法优点、缺点和适应性的基础上,比选针对性强的检测方法,以确保施工质量。

1.4 防渗止水系统设计研究

1.4.1 常用的施工工艺

目前国内外常用的基坑防渗方法种类较多,按施工工艺可分为深层搅拌桩法、静压注浆法、化学材料灌浆法、高压旋喷桩法及混凝土防渗墙、钻(冲)孔咬合桩、素地下连续墙等。深层搅拌桩法是利用水泥材料作为固化剂,通过特制的搅拌机械,在地基中将土层和固化剂强制进行搅拌,水泥和土产生一系列的物理化学反应,形成水泥土桩。该方法应用于临海复杂地质条件时存在以下缺点:

(1) 临海地层含有珊瑚碎屑和珊瑚礁灰岩,采用水泥土搅拌桩必须采用动力大的三轴搅拌桩桩机,同时还存在遇到珊瑚礁灰岩能否搅拌的问题;

(2) 临海地层的基岩面起伏较大,如施工操作控制不严,三轴搅拌桩桩机搅拌头可能碰到基岩而卡机,甚至损坏搅拌桩桩机;

(3) 临海地层土体成分复杂,存在三轴搅拌桩施工成桩质量不均匀、不稳定的风险。

静压注浆法是利用液压(或气压)把固化剂浆液强制注入地基中的裂缝或孔隙,以使土的物理力学特性得到改善的方法。静压注浆可分为渗透注浆、劈裂注浆和压密注浆。在深基坑防渗工程中主要应用的是渗透注浆。所谓渗透注浆是指浆液以渗透方式渗入土体孔隙的注浆方法。由其注浆机理可知,并不是任何地层都可采用这种方法进行注浆,如用土的渗透性指标来表示可灌性的话,比较成功的经验是,当土的渗透系数大于 $(2\sim 3)\times 10^{-1}\text{ cm/s}$ 时,可采用普通水泥灌浆,当土的渗透系数大于 $(5\sim 6)\times 10^{-2}\text{ cm/s}$ 时,可采用黏土注浆,由此可见,对砂卵石地层或含大颗粒较多的杂填土层可用此工艺进行注浆。但是深基坑的侧壁很少是由这种地层组成的。

劈裂注浆法仅适用于有明显的小主应力面时,如直线堤段、直线坝段等,否则劈不开。它是一种先破坏土体结构然后再固化土体的一种灌浆工艺。在浆压作用下,浆液克服地层的初始应力和抗拉强度,引起土体结构的扰动破坏,使地层中原有的裂隙或孔隙张开,形成一些新的或更大的裂隙。在均质地层中灌浆后浆液固结体呈树根状,所以该工艺用于深基坑防渗很难形成完整帷幕。但是可以用该方法加固基坑底部外围的土体,使其被动土压力区强度增大,起到缩短桩长、防止护坡桩“踢脚”、增大基坑稳定性的作用。

由此看来,静压注浆构筑基坑防渗帷幕应用范围很窄,效果也难以保证,所以应用较少。

化学材料灌浆法属渗透注浆,只不过灌注的浆液由化工材料制成,如果从防渗角度来讲渗透系数小于 10^{-3} cm/s 的土层需采用化学浆材灌注形成帷幕。但化学浆材成本昂贵,施工复杂,且具有一定的毒副作用,所以除基坑堵漏外,很少大面积采用。

高压旋喷桩是把带有喷嘴的注浆管放进预先钻好的孔内,以 $32\sim 40\text{ MPa}$ 的压力把浆液或水从喷

嘴中喷射出来,形成喷射流冲击破坏土层,当能量大、速度快、脉动状态的射流在土层中产生的动压大于土层的结构强度时,土颗粒便从土中剥离下来,一部分细颗粒随浆液冒出地面,其余土粒与浆液搅拌混合,浆液凝固后,便在土中形成水泥土固结体。固结体的大小形状与高压射流的方向、转动角度和提升速度有密切关系。当喷射流旋转提升时,固结体呈圆形,即所谓的“旋喷”;喷射流固定一个方向喷射提升时,固结体为条形,称之为“定喷”;当喷射流做往复摆动喷射时(摆动角度小于 180°),固结体呈哑铃形,则该种工艺被称为“摆喷”。喷射注浆用于基坑地下水控制工程,其喷射体形状可按需要改变,喷射长度可根据不同的地层调整控制,各凝结体之间连接效果良好,不存在接缝问题。凝结体的防渗性能较好,其强度和弹性模量可根据需要做必要的控制,最大的优点是适用面较广,几乎可适用于任何地层。

采用钻孔或冲孔等工艺施工咬合桩防渗墙,可解决入岩问题。但因临海地区基岩面起伏较大,要想彻底解决基岩面附近的渗漏问题,桩身进入基岩的深度必须在 500 mm 以上,钻机入岩施工时间长,成本高。采用成槽机施工地下连续墙也可以解决入岩防渗问题,只不过同样存在入岩施工困难、工期长、成本高等问题。

1.4.2 基坑防渗帷幕的几种结构形式

1) 侧壁止水帷幕的结构形式

基坑侧壁止水帷幕的平面结构形式主要有喷射凝结体自身连接形成帷幕和喷射凝结体与支护桩共同组成止水支护墙体两种类型;其竖向结构则有帷幕未深入下部相对不透水层的悬挂式帷幕和防渗帷幕嵌入下部相对不透水层的落底式防渗帷幕之分。综合考虑安全、经济、可靠、可行等各种因素的影响,具体工程应根据实际情况选择使用合理的结构形式,如图 1-1 和图 1-2 所示。

对于临海入岩基坑,显然必须采用入岩的隔断渗透体的方式。

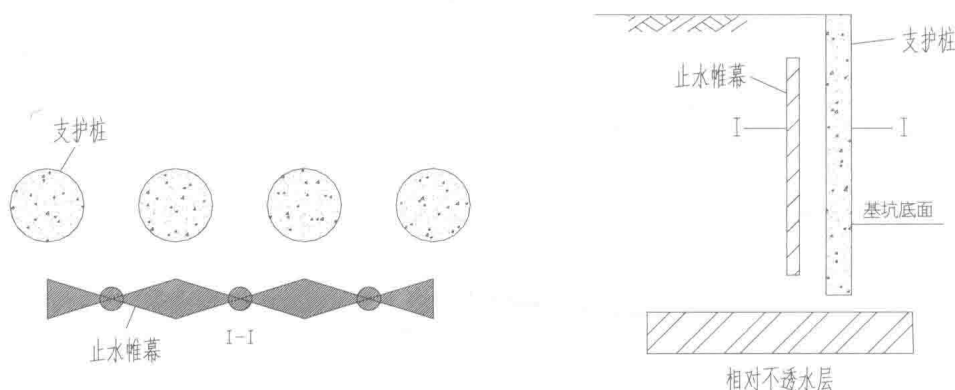


图 1-1 高喷凝结体悬挂式帷幕示意图

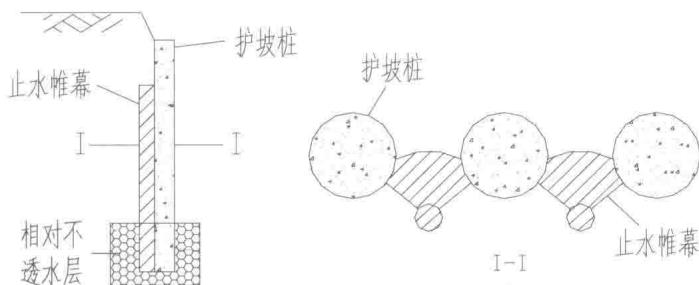


图 1-2 支护桩与凝结体共同组成落底式止水帷幕

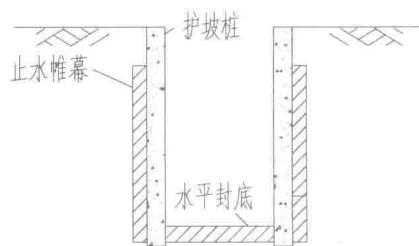


图 1-3 五面止水结构示意图

2) 水平帷幕的结构形式

水平止水帷幕就是在基坑某一深度范围内利用旋喷体套接的形式形成水平止水底板(也称为水

平封底),它和竖向帷幕一起组成一个封闭的箱形止水结构以阻止地下水的渗入。该形式又称五面止水结构形式,如图 1-3 所示。

对于临海入岩基坑,其基岩就相当于不透水层,无需采用水平帷幕的结构形式。

1.4.3 侧向止水帷幕的平面结构形式

对基坑竖向防渗帷幕基本要求是帷幕不出现漏水点,也就是说各喷射凝结体之间连接紧密,正确选择良好的连接形式是确保帷幕完整的重要环节之一。

侧向止水帷幕连接形式的选取受支护结构的形式、基坑场地的土性、基坑开挖深度、止水帷幕承担的水头等因素制约。目前大部分深基坑仍采用混凝土灌注桩作为挡土桩。下面是几个具有代表性工程竖向帷幕的连接形式示意图。

(1) 郑州金博大厦。该工程开挖范围内的土层条件为粉土、粉质黏土及粉细砂,基坑开挖 16 m。止水帷幕结构如图 1-4 所示。

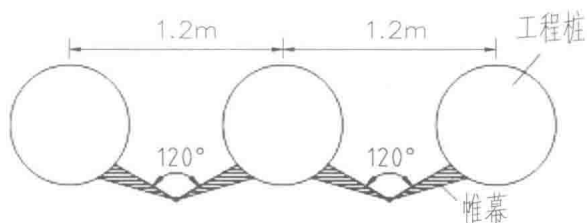


图 1-4 郑州金博大厦竖向帷幕结构示意图

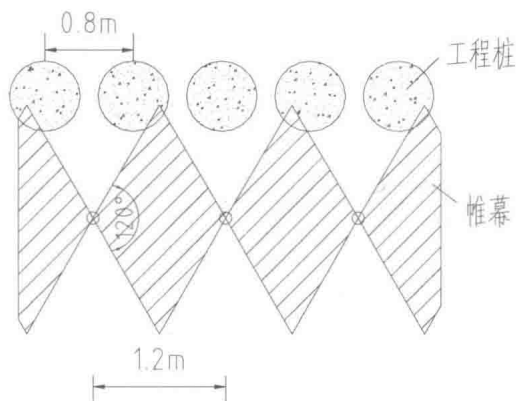


图 1-5 武汉广场竖向帷幕结构示意图

(3) 建银大厦。该工程开挖范围内的土层条件为杂填土、粉质黏土、粉土和粉砂,基坑开挖深度 14 m。如图 1-6 所示。

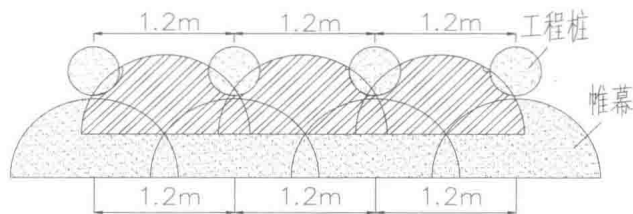


图 1-6 建银大厦竖向帷幕结构示意图

(4) 武汉香格里拉大酒店。基坑开挖范围内的土层为杂填土、粉质黏土、粉土和粉细砂。基坑开挖 14.0 m。竖向帷幕结构形式示意图如图 1-7 所示。

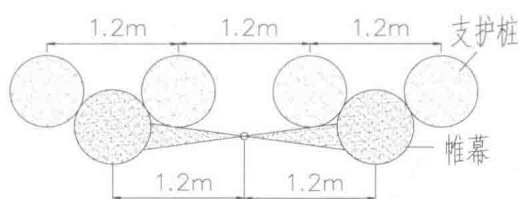


图 1-7 武汉香格里拉大酒店基坑结构示意图

(5) 武汉世贸大厦。该工程开挖范围内的土层条件为杂填土、粉质黏土和粉细砂。竖向帷幕结构形式如图 1-8 所示。采取这种结构形式的还有武汉百营广场深基坑、芜湖 32 号煤码头基坑等工程。

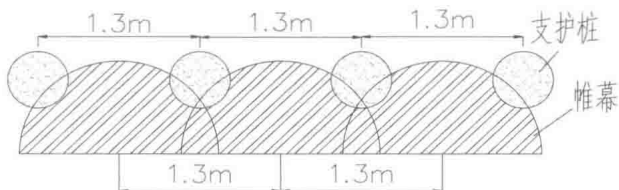


图 1-8 武汉世贸大厦竖向帷幕结构示意图

对于临海入岩基坑,因土体强度较高,边坡稳

定性不是主要考虑问题,但土体的渗透性较大,基坑围护体采用止水帷幕加放坡、护坡形式。止水帷幕设计与施工是考虑的重点问题。

1.4.4 存在的问题

目前,对珊瑚礁地层的工程力学性质研究相对较多,而对珊瑚礁地层的防渗止水问题研究不多。梁文成^[53]在总结苏丹珊瑚礁灰岩地区的地质勘察时提出:珊瑚碎屑物及珊瑚礁灰岩孔隙发育,渗透性强,在进行钻探时都会出现漏浆的问题。谢万东^[54]在介绍高压旋喷桩在具有较高孔隙度和较强透水性的珊瑚礁基坑止水中的应用时,提出采用双排高压旋喷桩进行基坑开挖止水,并特别强调:①在珊瑚礁地基中采用旋喷桩作为止水帷幕,建议采用二重管法或三重管法进行施工,单重管法难以满足要求;②对于相同的工法,珊瑚礁中旋喷桩的成桩直径明显小于在普通土类中的成桩直径,设计时应适当减少成桩直径,保证桩体的搭接宽度;③必须严格控制施工质量,如旋喷桩的定位、垂直度、水泥用量、提升速度等。

由于面积大、使用时间长,入岩基坑的止水帷幕设计与施工,因其使用性质的重要性和一旦发生破坏,将会产生不可控制的严重危害性,这些都要求我们必须认真对待。首先,我们必须认真分析临海地区的水文地质条件,并结合施工可行性,再根据科学性、经济性、合理性的原则比选基坑止水帷幕的结构形式。而这些问题正是对于临海复杂地质条件下基坑止水帷幕问题研究的不足之处和难题。

1.5 本书的研究方法、内容与成果

1.5.1 研究方法

对于临海复杂地质条件下的基坑防渗止水系统选型的研究,通过收集、分析和总结国内外有关类似地区基坑工程研究的新理论、新方法、新成果,特别要重点收集和研究海南岛地区基坑工程的设计与施工案例,掌握国内外有关类似基坑工程设计与施工的最新研究进展,建立本项目研究的资料库和数据库。在对拟建工程场地的工程地质勘察报告进行深入研究的基础上,结合本项目的研究目标,进一步开展野外地质勘探工作,并通过室内试验和现场原位测试,获得场地地层的工程力学性质参数和水文地质参数。最后根据基坑防渗止水系统设计要求,按科学性、经济性、安全性和可行性等比选原则对基坑防渗止水可能采用的设计方案进行比选,确定综合最优的设计方案。

对于临海潮汐作用下基坑止水帷幕围护体受地下水作用的研究,首先,收集、分析和总结国内外有关潮汐作用所引起地下水变化研究的新理论、新方法、新成果,特别要重点收集和研究海南岛地区潮汐作用对海岸边基坑工程的设计与施工影响,掌握国内外有关潮汐作用对基坑稳定性影响和基坑围护体施工质量影响的最新研究进展,结合拟建工程场地的工程地质勘察报告,根据拟建物平面布置,选择3个有代表性的地质剖面通过钻孔埋设地下水水位观测元件,采用自动数据采集系统每小时采集一次数据;同样,选择3个有代表性的地质剖面通过钻孔埋设水土压力观测元件,采用自动数据采集系统每半个小时采集一次数据。在研究期间,关注气象变化,在恶劣天气到来之前做好准备,在强降雨和有波浪及潮汐风暴潮一起出现时,在做好地下水水位和水土压力变化观测的同时,做好对波浪和潮汐风暴潮的观测,并对降雨量进行量测。根据采集和观测的数据,建立数据库,并进行深入、系统的分析研究。

对于场地水文地质条件研究,通过现场抽水试验,确定水文地质参数并选用渗流数学模型,根据现场的实际环境确定计算模型的边界条件,并将数值模型的计算结果与现场实际抽水试验作对比分析,以检验参数选取、模型选用的合理性、有效性。