



深圳滨海区域复杂人工填土勘察及 工程地质特性分析*

易阳, 陈凯, 赵树光, 孙德科

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对深圳滨海区域的人工填土勘察难度大、成分和分布复杂、难以查明工程地质特性的问题, 采用收集资料、地质钻探、原位测试、水文地质观测和室内试验多种方法获得人工填土勘察的相关数据, 根据矩形网格算法原理, 生成填土空间分布和地下水位等值线图。经数理统计和综合分析, 得到填土测试的物理力学指标, 推荐填土的相关岩土参数, 进行特殊性岩土评价, 并提出相应的工程建议。结果表明, 通过科学的勘察方法和分析, 可以合理解决填土勘察难点, 预测和应对人工填土的复杂性, 确保工程建设的安全和质量。

关键词: 深圳滨海区域; 人工填土; 地质勘察; 工程地质特性; 特殊性岩土; 地基工程

中图分类号: U652.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0085-07

Exploration of complicated artificial fill and analysis of engineering geological characteristics in Shenzhen coastal area

YI Yang, CHEN Kai, ZHAO Shuguang, SUN Deke

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: To address the difficulties associated with fill investigations, such as complex composition, uneven distribution, and the challenge of identifying engineering geological characteristics, a series of methods are used including data collection, geological drilling, in-situ testing, hydrogeological observation, and laboratory testing, to obtain relevant data for the artificial fill, contour maps of fill spatial distribution and groundwater levels are generated using the principles of the rectangular grid algorithm. Through statistical and comprehensive analysis, the physical and mechanical indexes for the fill are derived, and the relevant geotechnical parameters are recommended, followed by an evaluation of special geotechnical characteristics and corresponding engineering recommendations. The results show that through scientific survey methods and analysis, we can reasonably deal with the difficulties of filling exploration, predict and deal with the complexity of artificial fill, and ensure the safety and quality of engineering construction.

Keywords: Shenzhen coastal area; artificial fill; geological exploration; engineering geological characteristics; special rock & soil; foundation engineering

深圳是中国改革开放的前沿城市之一, 其地理位置和经济发展需要促进了大规模的土地开发和填海工程。这些工程所采用的人工填土

通常来源复杂、成分多样、填筑方法各异, 导致其工程地质特性具有显著的复杂性和不确定性。SJK 36—2017《深圳市岩土工程勘察报告数字

收稿日期: 2024-09-27

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 易阳 (1991—), 男, 工程师, 从事岩土工程勘察与监、检测。

化规范》^[1]对深圳地区填土进行了简要的通用划分；马健^[2]阐述了既有建筑物周边的地基勘察应重点注意回填土的空间分布，充分查明回填土成分、工程特性及分布情况；范延彬等^[3]针对采用浅基础的变电站，采用多种勘察方法查明场地大厚度人工填土的物理力学性质及分布情况；陈洪胜^[4]运用地震勘探和钻孔取样 2 种手段对填土勘察进行对比；李维^[5]对比了深厚回填土钻探设备的选择及施工工艺，分析桩基础的可行性；邵恩庆等^[6]分析了填海区人工填土层的成分复杂和地下水丰富对地铁车站基坑安全的不利影响及施工过程中存在的问题；易宙子等^[7]以深圳前海填海区为例，研究地下水水位、水质随海水潮汐、大气降水、人类活动等因素在时间及空间上的变化，显示填土(石)内形成了新的自由水面；张小平等^[8]对采用碎石、素填土和含碎石杂填土等几种不同岩土填海造地后形成的不同工程场地设计地震动参数进行定量的对比分析。人工填土因勘察难度较大、数据较少及具有区域差异，少有文献资料对填海区的人工填土岩土勘察特性和指标参数等进行全面研究。

本文在以上研究的基础上，基于盐田东港一期工程人工填土的大量勘察数据^[9]进行分析和探讨，旨在为类似工程填土勘察、基础设计及地基处理提供技术参考。

1 工程概况

深圳港盐田港区东作业区集装箱码头工程位于盐梅路西南边，正角嘴西侧，与现盐田港区中作业区隔海相望。东港一期工程建设 3 个 20 万吨级集装箱泊位，后方堆场主要布置有重箱堆场、空箱堆场、道路等，总面积约 120.11 万 m²。工程主要建设内容包括码头结构、护岸、东南角区域陆域形成及地基处理、闸口区 1#、2#塘地基处理、场地整平、道路堆场等。

2 深圳滨海区域人工填土勘察特点

深圳地区的填土主要分布于近海及冲沟低洼地带，而填土材料来源多样，包括建筑垃圾、淤泥、黏性土、砂土、碎块石等。这些材料的工程性质差异较大，填土内部的成分分布不均匀，增加了勘察和工程设计的难度。

滨海区域填海造陆的填土层通常含较多开山石，大小混杂，均匀性差，充填土层不一且性质差异较大，具有大空隙、强透水性，特别是块石含量大的填土层对基础施工影响较大。以深圳盐田东港一期工程为例，工程区域的人工回填料分布不均匀，厚度变化大，填层上部多以含碎石块土为主，中部以砂土、黏性土为主。典型地质剖面见图 1。

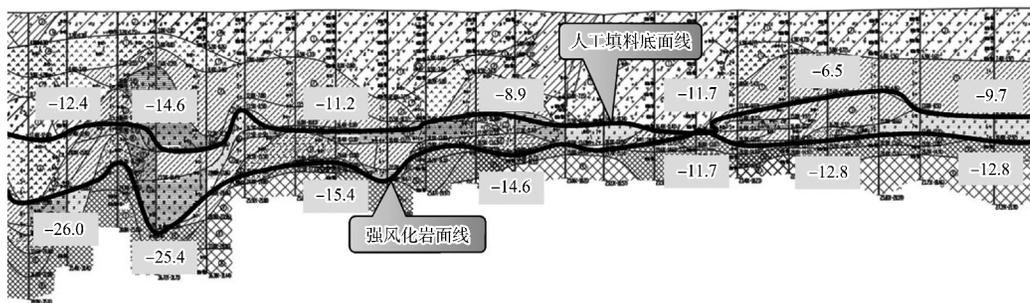


图 1 典型地质剖面 (单位: m)

Fig. 1 Typical geological profile (unit: m)

2.1 成陆填土历史

大面积填海造陆通常分区分步进行。盐田东港区划分为 5 个塘区分步进行填海，1#、2#塘成陆超过 15 a，回填材料主要为砂土、碎石土；

3#、4#塘吹填疏浚土并回填形成，成陆已超过 10 a；5#塘成陆以施工水位为界，水位以下为吹填疏浚土，以上为回填素土，东南角尚有未成陆区域。

2.2 勘察方法

由于人工填土的复杂性和不均匀性,常规的地质勘察方法(如钻探、室内土工试验等)难以全面反映其工程地质特性。因此,填土勘察通常需要结合多种勘察方法,如原位测试、地震波测试等,以获得更全面的地质参数。填土常用的勘察方法见表1。

表1 填土勘察方法

Tab. 1 Investigation methods of fill

方法	适用性
试坑/试槽法	浅层土体勘察,快速、直观,适用于小面积填土区域
钻探取样	深层土体勘察,可获得不同深度土层的信息
潜孔锤引孔钻进	填石为主的碎块石土层
标准贯入试验	中密及密实填土层,适合砂土、粉土等非黏性土的勘察
静力触探试验	软土、淤泥等较软土层,适合深层土的连续性勘察
动力触探试验	碎石土、砾石土等粗粒土及密实砂土层
地震波勘探	较大范围的场地勘察,特别是需要了解地基土动力特性时
地质雷达	探测浅层地下物体(如管线)和不同密度土层的分布
室内物理力学实验	可采取原状土样的填土层,精确分析填土物理力学性质,指导工程设计

深圳滨海区域的人工填土往往含碎块石较多,难以采取原状土样。实践表明,可以以钻探为主,辅以标准贯入试验、动力触探、波速测试等原位测试手段,碎块石含量较高或以填石为主的地层,可采用潜孔锤引孔钻进,能显著提高钻探效率。选择钻探工艺、设备及原位测试手段需因地制宜,并结合工程的具体要求、场地条件、经济成本等因素综合考虑。

2.3 填土分层特点

深圳市人工填土可分为黏性土素填土、填石、

填砂及杂填土4个亚层。按照深圳地区习惯,以上4个亚层地层序号编为素填土①、填石②、填砂③和杂填土④。在遵循深圳市层序编码的基础上,基于工程场地的大量钻孔数据,按照填土的不同成分,将场地填土进行细分,见表2。

表2 工程场地填土层划分

Tab. 2 Division of fill layer in engineering site

层号	填土名称	填土层主要特点
① ₁	黏性土素填土	可塑-硬塑。以粉质黏土为主,夹少量植物根茎,含少量氧化铁斑点
① ₂	填土混碎块石	结构松散。主要由黏性土和粉、砂土组成,混碎块石,含量为10%~20%,块径大小不一,一般为2~10cm,块体坚硬,呈不规则棱角状,局部石块大于20cm
① ₃	碎块石混填土	结构松散。主要由碎砾石组成,填充黏性土及粉、砂土,含量约为60%,碎石块体坚硬,呈不规则棱角状,块径大小不均,一般为5.0~10.0cm。
① ₄	软黏性土素填土	软塑-可塑偏软状。主要为粉质黏土或黏土,夹少量薄层或团块状粉砂,混贝壳碎片。
②	填石	密实。块体坚硬,呈不规则棱角状,以小碎块石为主,块径大小不均,一般为7.0~18.0cm不等,堤岸区石块较大,一般大于20.0cm,混少量黏性土和粗砾砂
③	填砂	松散-稍密,局部中密-密实。以中砂为主,混黏性土。主要以透镜体分布于回填土中

2.4 填土分布特征

基于大量钻孔获取的地质分层数据,对各填土层分布及累计分布情况进行统计,见表3。由表可知,在盐田东港区的成陆工程中,填土累计厚度总体较大,最小处为8.2m,最大处近30m,填土累计厚度等值线见图2。回填历史及填料来源批次不同,使得不同成分的填土厚度变化大,甚至有超20m的厚度差异,这种厚度的不均匀性对地基承载力和沉降特性产生重要影响。

表 3 填土层分布
Tab. 3 Distribution of fill layers

类别	层号	顶板最大 高程/m	顶板最小 高程/m	底板最大 高程/m	底板最小 高程/m	最大 层厚/m	最小 层厚/m	顶板平均 高程/m	底板平均 高程/m	平均 层厚/m
总体分布	① ₁	12.56	-11.81	0.57	-15.90	20.50	0.90	-2.00	-8.10	5.40
	① ₂	15.06	-9.41	9.26	-18.94	24.10	1.30	7.20	-2.26	9.27
	① ₃	19.24	-11.93	7.37	-18.68	23.60	1.10	5.95	-3.95	9.09
	① ₄	3.85	-15.54	1.25	-20.24	15.70	0.70	-3.02	-10.33	6.97
	②	5.57	2.35	1.69	-21.66	26.20	3.50	3.54	-18.15	21.66
	③	2.80	-16.15	-0.05	-19.65	9.60	0.50	-2.74	-6.20	3.24
累计分布		19.24	2.35	-2.03	-21.66	29.40	8.20	6.90	-11.33	18.26

注：高程系统采用盐田理论深度基准面。

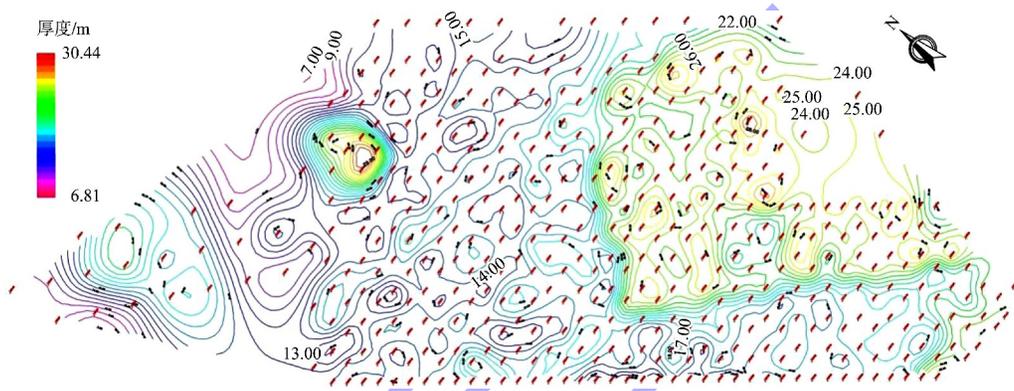


图 2 填土累计厚度等值线 (单位: m)

Fig. 2 Contour lines of cumulative thickness of fill (unit: m)

3 人工填土工程地质特性分析

滨海区域填土的工程地质特征取决于其填料颗粒组成、密实度和均匀性。堆填超过 10 a 的黏性土、超过 5 a 的粉土、超过 2 a 的砂土基本完成自重固结，具有一定的密实度和强度。

3.1 填土层中地下水特点

大量数据表明，深圳区域地下水水位随季节及地形地貌的不同而变化较大。每年 5—9 月为雨季(丰水期)，10 月—次年 4 月为旱季(枯水期)；最高和最低水位分别出现在 7—9 月和 12 月—次年 2 月。地下水位年变化幅度为：海冲积平原区 0.8~1.5 m，河流冲洪积阶地 1.0~2.0 m，中低台地区 1.5~3.5 m。

填土层中浅部地下水类型主要为上层滞水、松散岩土类孔隙潜水，填土层的水力联系相对复杂，

水的补给来源可以是大气降水、地表水渗透、周边含水层渗透等，而排泄途径也可能包括蒸发、下渗到下部透土层、流出地表等多种方式。对 414 个钻孔中观测的静止地下水位进行统计，得出水位埋深最大 19.7 m，最小 0.2 m，平均 4.4 m；水位高程最大 8.9 m，最小 -3.7 m，平均 2.6 m。

地下水位等深线见图 3。总体来看，受地形起伏和黏性土层分布影响，地下水位高程起伏较大。由于填土层的材料不均，其渗透性往往具有较大的空间差异。一些部分可能非常致密，不利于水的渗透；而另一些部分可能由透水性较高的砂石组成，允许水流通过。其含水量容易受到降水、蒸发、人工排水等外界条件的影响，表现出较大的时间和空间变化性。

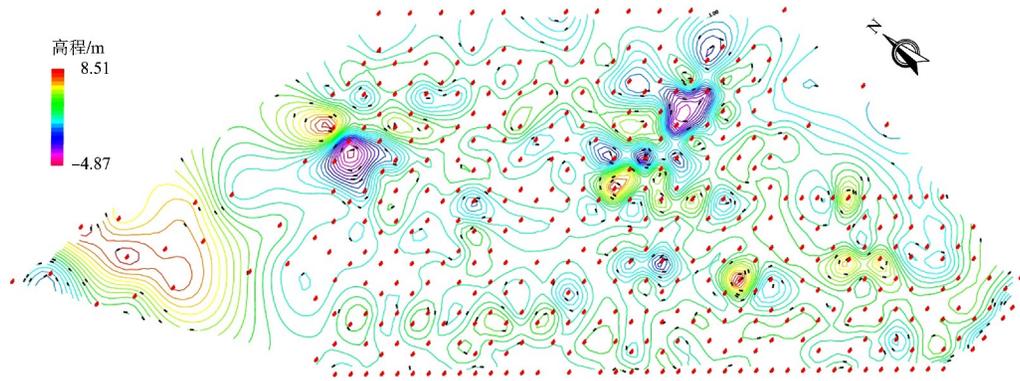


图 3 地下水等深线

Fig. 3 Isobath of ground water level

3.2 填土的地震波特性

对于大面积填土场地, 当无参考数据时, 一般要求实测剪切波速。剪切波测试适用于各种类型的填土材料, 包括砂土、黏土、碎石土等, 可以用于不同类型地基条件下的土体性质评估, 其操作简单, 测试时间较短, 可以快速获得结果。该测试不需要对土体进行取样或破坏, 属于非破坏性测试, 因此可以在施工现场直接进行, 减少对原有土体结构的扰动。

在工程场地钻孔中均匀选取 6 个钻孔进行全孔段波速测试, 其中填土层剪切波速测试结果见表 4。各填土层剪切波速均在 150~250 m/s 范围,

划分为中软土类型^[10]。剪切波速能够一定程度上反映填土的密实程度和压实质量, 较高的剪切波速通常意味着土体更加密实, 力学性质更好; 同时剪切波速测试数据在地震工程中非常重要, 可以用于场地地震效应分析及建筑物的抗震设计等。

3.3 填土物理力学指标及岩土参数推荐

基于 462 个钻孔获得的原位测试指标具有较好的代表性, 通过标准贯入试验得到标贯击数 N , 通过重型动力触探试验得到修正后的重型动力触探击数 $N_{63.5}$, 结果见表 5。填土相关岩土参数推荐见表 6, 部分指标参数由于无法采取原状土样直接测得, 根据相关工程经验推荐。

表 4 填土层剪切波速指标

Tab. 4 Shear wave velocity index of fill layers

层号	填土层剪切波速/($m \cdot s^{-1}$)			地层厚度的剪切波速 加权平均值/($m \cdot s^{-1}$)
	最大值	最小值	平均值	
① ₁	239.0	209.0	224.8	226.2
① ₂	236.0	192.0	209.8	209.1
① ₃	239.0	189.0	214.2	213.1
① ₄	211.0	185.0	197.8	196.2
③	223.0	211.0	217.0	217.8

表 5 填土层原位测试指标

Tab. 5 In-situ test index for fill layers

层号	N /击			$N_{63.5}$ /击		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
① ₁	18.0	4.0	11.1	-	-	-
① ₂	293.0	55.0	173.8	16.2	6.6	10.1
① ₃	375.0	107.0	229.2	18.5	6.9	10.9
① ₄	9.0	4.0	6.3	-	-	-
③	19.0	4.0	10.9	-	-	-

注: 大于 50 击的标贯击数为换算为贯入度 30.0 cm 的标贯击数。

表 6 填土相关岩土推荐参数

Tab. 6 Recommended geotechnical parameters related to fill

层号	天然密度 ρ / ($g \cdot cm^{-3}$)	固结快剪		渗透系数/ ($m \cdot d^{-1}$)	地基承载力 特征值 f_{ak} /kPa	极限侧摩阻力标准值 q_{sk} /kPa		负摩阻力系数 ξ_n	
		黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /($^\circ$)			预制桩	灌注桩	预制桩	灌注桩
① ₁	1.79	25.1	17.7	2*	80	15	10	0.40	0.40
① ₂	2.00	8.0*	20.0*	50*	90	15	10	0.40	0.40
① ₃	2.05	5.0*	25.0*	70*	100	15	10	0.45	0.40
① ₄	1.78	20.5	11.8	0.001*	60	15	10	0.25	0.25
②	2.15	-	-	150*	120	40	30	0.45	0.45
③	1.91	9.7	30.7	40*	80	15	10	0.50	0.35

注: “*”代表经验值。

3.4 特殊性岩土评价

根据填土历史,大部分回填时间已超过10 a,部分为5~10 a。其中①₁素填土、③填砂主要由黏性土、粉土和砂土组成,基本已完成自重固结;②人工填石主要由碎块石组成,填充黏性土和砂土,一般在临海岸边或者隔堤回填;①₂填土混碎块石、①₃碎块石混填土由黏性土、粉砂土和碎石组成,属于碎石土,碎石粒径不均匀,局部空隙大,均匀性差,承载力较好,尚未完成全部主固结;①₄软黏性土素填土成软塑-可塑偏软状,含水率高,压缩性好,均匀性差,工程性质差。上述土层累计厚度大,土分布规律性差,均匀性差,承载能力不均匀,在上部荷载作用下易产生滑动剪切破坏和不均匀沉降,宜采取合适的处理措施。

4 工程实践

深圳滨海区域填土显著的特点是成分比较复杂,均匀性差,厚度变化大,利用填土作为天然地基应持慎重态度。采用桩基础穿透填土层或对填土进行压实处理一般可解决此类岩土工程问题。

4.1 桩基础穿透填土层

如采用预制桩,桩体穿越浅部分布的厚层①₂填土混碎块石和①₃碎块石混填土等碎石土时困难较大,一般很难直接打入,如果以基岩风化层作为桩端持力层,桩端也很难进入而达到足够深度。

如采用灌注桩,通过预先钻孔,可轻松穿透土层,使桩端到达预定位置,但场地广泛分布的回填土层对成桩工艺要求较高,钻孔孔壁容易坍塌,填土层渗透系数较大,与地表海水水力联系较强,地下水的流动可能受到海水涨潮和落潮的影响,对钻孔孔壁产生冲刷,增加孔壁坍塌的可能。

4.2 浅基础填土加固处理

深圳滨海区域成陆一般场地较为空旷,根据类似工程及邻近前期工程经验,可采用强夯法或强夯置换法,对上部填土进行加固处理,形成表部硬壳层,以提高表部承载力,满足浅基础持力层要求。

需注意的是强夯对周边建筑物的影响,临近

既有建筑物(如护岸等)区域可采用冲击碾压或振动碾压进行填土加固处理。另外,深圳滨海区域人工填土一般地下水位较高,且受降水补给严重,强夯地基处理应避开雨水期施工,以免出现“橡皮土”。

4.3 填土处理效果检测

GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》(2009年版)^[11]提出,填土地基开挖后应进行施工验槽,处理后的填土地基应进行质量检验,对复合地基应进行大面积载荷试验。本工程填土处理后的平板载荷试验结果见表7。填土经强夯加固后,除个别点外,其它检测试验点承载力特征值均达到180 kPa。进一步验证了滨海区域复杂填土勘察和工程地质特性分析的合理性。

表7 载荷试验结果
Tab.7 Load test results

试验点 编号	试验最大 加荷量/ kPa	最大 沉降量/ mm	残余 沉降量/ mm	回弹量/ mm	回弹率/ %	地基承载 力特征值/ kPa
SHF3-30	360	9.38	6.16	3.22	34.33	180
SHA1-1	360	20.94	16.61	4.33	20.70	180
F3-ZH1	360	6.98	6.81	2.17	31.10	180
F3-ZH2	360	27.44	21.63	5.81	21.20	180
F4-ZH1	360	46.62	30.01	16.61	35.60	144
F4-ZH2	360	33.11	27.50	5.61	16.94	180
F4-ZH3	360	21.24	14.49	6.75	31.80	180
SZ01	360	6.81	5.81	1.00	14.70	180
SZ02	360	9.89	6.54	3.35	33.90	180
F8-ZH1	360	4.22	2.80	1.42	33.65	180
FS8-1	360	34.29	25.05	9.24	26.90	180
F6-ZH1	360	8.81	6.22	2.59	29.40	180
F6-ZH2	360	1.58	0.75	0.83	52.53	180
SHC2-62	360	30.79	29.30	1.49	4.80	180
CD-ZH1	360	9.45	6.50	2.95	31.22	180
CD-ZH2	360	7.95	5.04	2.91	36.60	180

5 结语

1) 深圳滨海地区的人工填土往往成分复杂和多样,应在深圳市层序编码的基础上,根据填土的成分进一步细分;在空间分布上,填土表现出各层厚度变化大及不均匀性,对地基承载力和沉降特性产生重要影响;因其成分和厚度的变化,应因地制宜采取多种勘察方法,提高效率。

2) 人工填土指标以现场测试、观测数据为主,应进行全面测量,综合分析,初步设计时可结合工程经验,推荐和采用相关岩土参数,并根据现场情况在施工时加以检验。

3) 针对滨海区域含碎块石人工填土,桩基础穿透和地基强夯处理可较好地解决岩土工程问题。

参考文献:

- [1] 深圳市勘察设计行业协会. 深圳市岩土工程勘察报告数字化规范: SJG 36—2017[S]. 深圳: 深圳市住房和建设局, 2017.
Shenzhen Exploration & Design Association. Digital regulations for geotechnical investigation reports in Shenzhen City: SJG36-2017 [S]. Shenzhen: Shenzhen Housing and Construction Bureau, 2017.
- [2] 马健. 人工填土地基勘察中应注意的问题[J]. 土工基础, 2024, 38(3): 465-468.
MA J. Issues frequently encountered in the investigation of artificial fill soils [J]. Soil engineering and foundation, 2024, 38(3): 465-468.
- [3] 范延彬, 张秉来, 余焘, 等. 大厚度人工填土岩土工程勘察实例: 以通海 110kV 变电站工程为例[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(12): 18-20.
FAN Y B, ZHANG B L, YU T, et al. Geotechnical engineering investigation case study of thick artificial fill: A case study of Tonghai 110kV substation project [J]. West-China exploration engineering, 2021, 33 (12): 18-20.
- [4] 陈洪胜. 复杂人工填土的岩土工程勘察[J]. 西部探矿工程, 2011, 23(12): 17-18.
CHEN H S. Geotechnical engineering investigation of complex artificial fills [J]. West-China exploration engineering, 2011, 23(12): 17-18.
- [5] 李维. 填海地区深厚填土钻探与基础选型研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2019.
LI W. Study on drilling and foundation selection of deep fill in reclamation area [D]. Changchun: Jilin Jianzhu University, 2019.
- [6] 邵恩庆, 卢笑, 刘世安, 等. 填海区人工填土层及地下水对基坑施工导致的不利影响及存在问题[J]. 世界地质, 2022, 41(2): 394-401.
SHAO E Q, LU X, LIU S A, et al. Adverse effects and existing problems of artificial fill layer and groundwater in reclamation area on foundation pit construction[J]. World geology, 2022, 41(2): 394-401.
- [7] 易宙子, 高伟, 王军. 填海区地下水的抗浮水位和腐蚀性的探讨: 以深圳前海填海区为例[J]. 城市勘测, 2018(5): 162-165.
YI Z Z, GAO W, WANG J. Reclamation of anti-floating groundwater level and corrosion resistance: example of Shenzhen's land reclamation [J]. Urban geotechnical investigation & surveying, 2018(5): 162-165.
- [8] 张小平, 李小军, 李涯, 等. 不同岩土填海造地对工程场地设计地震动参数的影响[J]. 世界地震工程, 2013, 29(3): 90-100.
ZHANG X P, LI X J, LI Y, et al. Influence of marine reclamation land with different filled soils on design seismic ground motion parameters of engineering site[J]. World earthquake engineering, 2013, 29(3): 90-100.
- [9] 易阳, 杨锋, 曹虎麒, 等. 深圳港盐田港区东作业区集装箱码头工程一期工程勘察测量项目岩土工程勘察报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2022.
YI Y, YANG F, CAO H Q, et al. Geotechnical investigation report of phase I project of container terminal in Eastern Operating Area of Yantian Port, Shenzhen [R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2022.
- [10] 中国建筑科学研究院. 建筑抗震设计规范(2016年版): GB 50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
China Academy of Building Research. Code for seismic design of buildings(2016 edition): GB 50011-2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [11] 建设部综合勘察研究设计院. 岩土工程勘察规范(2009年版): GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
CIGIS(China) Ltd. Code for Investigation of Geotechnical Engineering (2009 Edition) : GB 50021-2001 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.

(本文编辑 王传瑜)