

文章编号: 1674—8247(2019)05—0015—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.004

埃及规范对确定土层基本物理力学参数的要求

付开隆 李朝辉 杨 举

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:本文通过埃及斋月十日城项目及货运铁路的初勘全过程实际工作,搜集了丰富的现场及实验室有关数据,较系统全面地总结了照埃及规范确定土层基本物理力学参数的方法,并与我国相关规范进行对比,可为埃及其它工程提供借鉴。

关键词:埃及; 规范; 勘察; 标准贯入; 颗粒分析; 试验

中图分类号:TU411.2 **文献标志码:**A

Requirements to Determine the Basic Physical and Mechanical Parameters of Soil from Egyptian Codes

FU Kailong LI Chaohui YANG Ju

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Through reconnaissance of 10th of ramadan project and freight railway in Egypt, abundant site and laboratory data are collected, the method to determine the basic physical and mechanical parameters of soil in accordance with Egyptian codes is summarized systematically and fully. In addition, comparison is made between Egyptian codes and Chinese ones, which could provide references for other projects in Egypt.

Key words: Egypt; code; investigation; standard penetration; grain size analysis; test

15

埃及开罗附近规划了两条铁路线,开罗至斋月十日城项目和 Robeiky 至 Belbis City 货运线。两条线路均位于开罗市东侧,地理上属于尼罗河三角洲向荒漠地区的过渡地带。地形平缓开阔,与土建工程相关的土层以第三系或第四系砂层为主,局部夹少量黏性土或砾石层。埃及岩土工程勘察主要规范是《埃及基础设计与施工规范》。笔者在两条线路岩土勘察项目过程中,通过与当地地勘咨询协作单位的沟通,并结合可研阶段完成的岩土勘察报告,对适应当地的土层设计参数确定方法进行阐述,可供在埃及从事岩土勘察的同仁参考。

1 野外勘察

1.1 钻探

钻探是当地采取的主要勘察方法。由于土质较为均一,且地下水位埋深较大,土体承载力及稳定性较好,因而,钻孔间距较大,尤其是路基工程地段,钻孔间距可达到 500 m,钻孔深度为 5 ~ 10 m,对于桥梁工程地段,钻孔应钻至基础以下不小于 7 m。需要说明的是,本地段的第三系土层,其胶结程度较好,土体承载力较高,不均匀沉降较小,故较多的桥梁采用了明挖扩大基础,勘探深度按 20 ~ 25 m 控制。

钻孔前先开挖 1 ~ 1.5 m 的试坑,以探明下覆管线

收稿日期:2018-01-04

作者简介:付开隆(1971-),男,教授级高级工程师。

引文格式:付开隆,李朝辉,杨举. 埃及规范对确定土层基本物理力学参数的要求[J]. 高速铁路技术,2019,10(5):15-20.

FU Kailong, LI Chaohui, YANG Ju. Requirements to Determine the Basic Physical and Mechanical Parameters of Soil from Egyptian Codes [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 15-20.

等,这与国内铁路行业做法相同。由于地形相对平缓开阔,钻探采用车载钻机,土层一般采用旋转冲洗钻头,钻进过程中通过冲洗液将岩土冲出,采用泥浆护壁以保持孔壁稳定。对于砂性土,取标贯器中的样品作为室内试验的样品。对于黏性土,采用取土器取原状土样。对于岩石,采用取芯钻进,钻进过程中注重量测岩石质量指标(RQD 值)。

1.2 原位测试

现场使用最多的测试方法是标准贯入试验(SPT)。

标贯器尺寸、锤重、落距等试验方法执行美国材料试验协会(ASTM D-1586)的相关要求。每次试验先贯入 15 cm,不计锤数,然后再计贯入 30 cm 的总锤击数。如果锤击数超过了 50 击,则不再贯入。上提标贯器采用固定在车上的动滑轮通过人工拉动绳子来实现,这与国内采用卷扬机上提有一定区别。一般间隔 1.5 ~ 2 m 做一次标贯试验。中国铁路标准及埃及规范中标贯击数与土的密实度及塑性状态的对应关系,如表 1 所示。

表 1 中埃规范标贯击数与土的密实度及塑性状态的对应关系对比表

砂类土					黏性土				
铁路工程地质原位测试规程 (TB 10018 - 2003)			埃及基础设计与施工规范 (ECP 202 - 2001)		铁路工程地质原位测试规程 (TB 10018 - 2003)			埃及基础设计与施工规范 (ECP 202 - 2001)	
密实程度	$N/(\text{击}/30 \text{ cm})$	D_r 值	相对密度	标贯击数 N	塑性状态	$N/(\text{击}/30 \text{ cm})$	液性指数 I_L	标贯击数 N	无侧限抗压强度 $q_u/(\text{kg}/\text{cm}^2)$
松散	$N \leq 10$	$D_r < 0.33$	很松	0 ~ 4	流塑	$N \leq 2$	$I_L > 1$	$N < 2$	$I_L < 0.25$
稍密	$10 < N \leq 15$	$0.33 \leq D_r \leq 0.40$	松	4 ~ 10	软塑	$2 < N \leq 8$	$0.5 < I_L \leq 1$	2 ~ 4	0.25 ~ 0.50
中密	$15 < N \leq 30$	$0.40 < D_r < 0.67$	中密	10 ~ 30	硬塑	$8 < N \leq 32$	$0 < I_L \leq 0.5$	4 ~ 10	0.50 ~ 1.00
密实	$N > 30$	$D_r \geq 0.67$	密实	30 ~ 50	坚硬	$N > 32$	$I_L \leq 0$	10 ~ 15	1.00 ~ 2.00
-	-	-	很密	$N > 50$	-	-	-	15 ~ 30	2.00 ~ 4.00
-	-	-	-	-	-	-	-	$N > 30$	$I_L > 4.00$

SPT 击数需进行校正。当地的标贯校正方法与国内铁路略有不同,先针对某一工点(或某地段线路)统计所有钻孔 0 ~ 5 m、5 ~ 20 m、> 20 m 的平均击数,然后按 0 ~ 5 m 平均击数 $\times 1.15$ 、5 ~ 20 m 平均击数 $\times 0.7$ 、> 20 m 平均击数 $\times 0.48$ 进行修正。开罗至斋月十日城项目初勘阶段完成钻孔标贯测试统计如图 1、图 2 所示。根据图 2 分析,校正后的 N 值都在 50 以上(非常密实),而在 30 ~ 50(密实)之间的值很少。深度间隔 0 ~ 5 m、5 ~ 20 m 和大于 20 m 的 N 平均值分别为 85、97 和 126。

2 室内试验

在实地勘察过程中,所有土样都被送至实验室进行分类和物理力学性质测定。

2.1 物理性质试验

通过筛分试验确定砂类土不同粒径组成的百分比,并绘制粒度分布曲线。依据统一土壤分类系统或 ASTM D-2488 对土样进行分类。由于取样间隔较小,因而此类试验结果较多,往往占据试验成果资料大部分。此外,还包括天然含水量、密度、比重等试验项目。对于黏性土则主要包括界线含水量、自由膨胀率等试

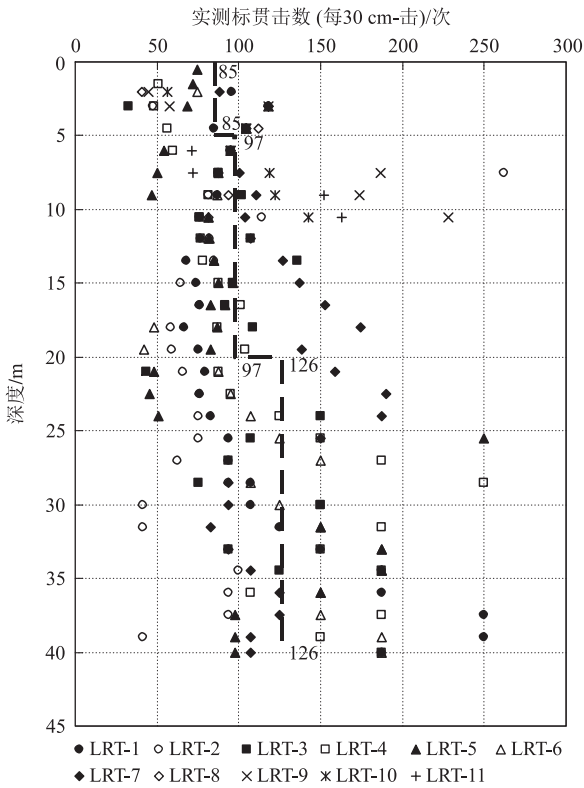


图 1 实测标贯击数与钻孔深度变化的关系图

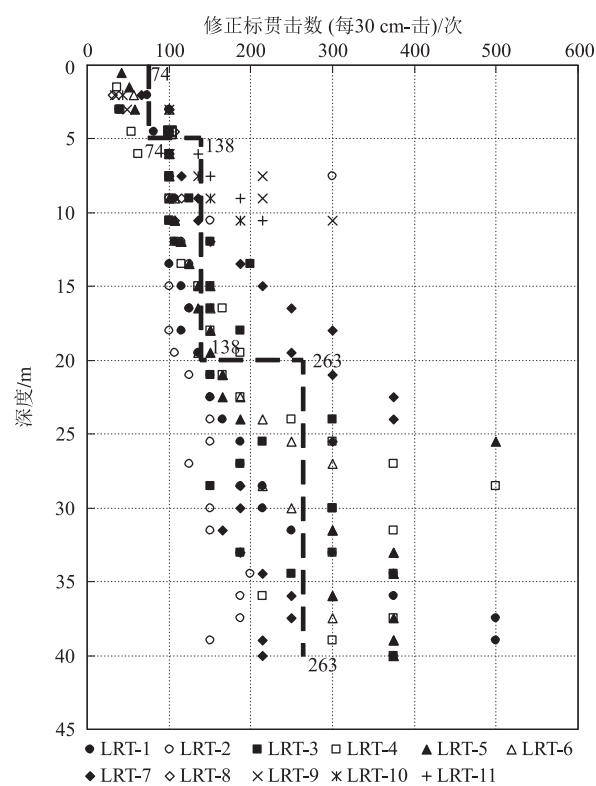


图 2 修正后标贯击数与钻孔深度变化的关系图

验项目,同国内铁路要求相同。

2.2 力学性质试验

力学性质试验包括扰动砂土的直剪试验、黏性土的击实试验和加州承载比(CBR)试验、岩石样品的无侧限抗压强度及点荷载等试验。直剪试验主要确定砂土的剪切强度参数,这与我国一般只针对原状土进行直剪试验不同。对黏性土的击实试验,埃及多采用重型击实(击锤重量 4.5 kg),我国则有轻型和重型之分。对原状岩样进行无侧限抗压强度试验并绘制应力-应变曲线,与国内做法相同。点荷载试验所得成果资料为所产生的破坏载荷 P 和每个试验的点载荷强度指数 $I_s(50)$ 的计算结果,主要用于岩石分类及岩石各向异性的测定,并可计算其单轴抗压强度和抗拉强度。

2.3 水和土的腐蚀性试验

试验项目包括氯离子浓度(Cl^-)、硫酸根离子浓度(SO_4^{2-})、PH 值和总溶解盐。试验项目较国内铁路项目少。埃及规范对腐蚀性的判定主要参考了英国标准 BS EN 206-1 中提供的指导方针,结合土壤化学分析测试结果,评估受环境条件和周围土壤及水的化学侵蚀影响。埃及和中国铁路标准化学侵蚀等级的对比如表 2 所示。

表 2 埃及-中国铁路标准中化学侵蚀对混凝土作用等级对比表(对研究区砂性土对比)

铁路混凝土耐久性设计规范(TB 10005-2010)			埃及采用规范(BS EN 206-1)		
环境作用等级	强透水性土中 SO_4^{2-} / (mg/kg)	酸性水(PH 值)	环境作用等级	SO_4^{2-} 总量 / (mg/kg)	酸性水(PH 值)
H1	300 ~ 1 500	5.5 ~ 6.5	XA1	2 000 ~ 3 000	5.5 ~ 6.5
H2	1500 ~ 6 000	4.5 ~ 5.5	XA2	3 000 ~ 12 000	4.5 ~ 5.5
H3	6 000 ~ 15 000	4.0 ~ 4.5	XA3	12 000 ~ 24 000	4.0 ~ 4.5
H4	15 000 ~ 30 000	-	-	-	-

3 试验结果分析

3.1 土的粒径统计

根据筛分试验结果,可分别对各段落、各工点、各孔揭示的土层中砾砂、砂、或黏性土进行统计分析。砾砂土加粗砂百分比含量随深度的变化统计如图 3 所示。

从图 3 可以看出,砾石的百分比在 0~90% 之间,总体平均值为 16%。砾石加粗砂的组合百分比在 0~95% 之间,总体平均值为 32%。

3.2 非黏性土抗剪强度

非黏性土抗剪强度参数主要是内摩擦角,按照埃及规范的规定,可根据 SPT 试验结果查表或通过扰动样直剪试验取得。埃及规范提供了 SPT 的校正 N 值与内摩擦角(ϕ)之间的关系,如表 3 所示。

表 3 SPT 的校正(N)值与内摩擦角及相对密度之间的关系

N 值 (击 / 30 cm)	土的密实度	相对密度 D_r / (%)	内摩擦角 / (°)
0 ~ 4	非常松散	< 15	27 ~ 30
4 ~ 10	松散	15 ~ 35	30 ~ 32
10 ~ 30	中密	35 ~ 65	32 ~ 36
30 ~ 50	密实	65 ~ 85	36 ~ 40
> 50	非常密实	> 85	> 40

在标贯统计值的基础上,再同室内试验结果相比较,进行综合分析后取设计值。一般情况下,通过标贯查得的数值偏高,而通过室内试验得到的值偏低。基于 SPT 测试的结果,并对照表 4,可认为项目内摩擦角为 36°~40°。

3.3 变形模量

根据埃及规范,变形模量可参考标贯击数(N)进行换算,其换算方法如下:

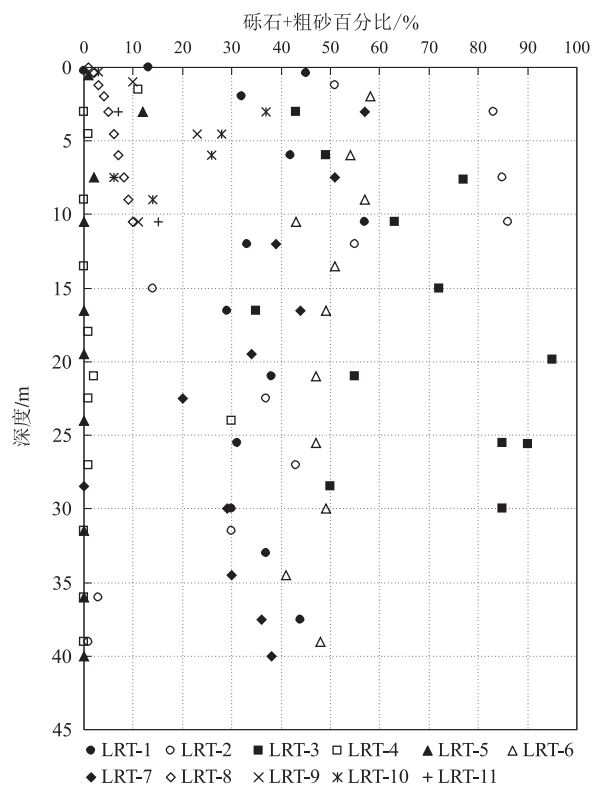


图 3 砾砂加粗砂百分比含量随深度变化的关系图

粉土及粉砂: $E(\text{kg/cm}^2) = 4 N$
细~中砂: $E(\text{kg/cm}^2) = 7 N$
砂加砾石及粗砂: $E(\text{kg/cm}^2) = 10 N$
砾石及砾砂: $E(\text{kg/cm}^2) = 12 N$

同时,埃及规范也提供了根据非黏性土的密度与变形模量的关系,如表 4 所示。

表 4 基于非黏性土相对密度的变形模量典型变化范围
(埃及规范 ECP 202 - 2001)

相对密度	变形模量 $E/(\text{kg/cm}^2)$
松散	100 ~ 250
中密	250 ~ 750
密实	750 ~ 1 500
非常密实	1 500 ~ 4 000

变形模量还可通过 Janbu (1963) 经验公式进行计算,具体公式表述如下:

$$E = F \times \sqrt{\frac{\sigma_x}{100}} \tag{1}$$

式中: F ——系数,取决于砂土的相对密度及组成,当土质为松散状粉砂时,取 1 5000;当土质为中密状砂土时,取 30 000;当土质为密实状砂土时,取 50 000;
 σ_x ——有效围压, (kN/m^2) , $\sigma_x = \sigma_y \times K_0$;
 K_0 ——静止土压力系数;

σ_y ——有效垂直压力 (kN/m^2) 。

3.4 填料

埃及当地的规范,主要强调使用加州承载比试验值进行填料分级。加州承载比试验需与击实试验相互配合。其试验方法与我国相似。

本项目在可研阶段,对 LRT-11 钻孔进行了一次 CBR 测试,样品以粗砂砾和细砂为主,样品级配好,得出的 CBR 值为 74.6%。

3.5 黏性土不排水抗剪强度

埃及规范中黏性土不排水抗剪强度指标与标贯试验锤击数有关,如表 5 所示。

表 5 标贯击数与黏性土的 CI 和 C_u 的关系

(N) 值 (击 / 30 cm)	土的性质	稠度指数 CI	不排水凝聚力 C_u / (kg/cm^2)
< 2	非常软	0 ~ 0.5	0 ~ 0.125
2 ~ 4	软	0.5 ~ 0.625	0.125 ~ 0.25
4 ~ 8	中硬	0.625 ~ 0.75	0.25 ~ 0.50
8 ~ 15	硬	0.75 ~ 1.0	0.50 ~ 1.00
15 ~ 30	非常硬	$CI = 1.0 \sim Wc = Wsh$	1.00 ~ 2.00
> 30	坚硬	$Wc < Wsh$	> 2.00

注: Wsh ——缩限, Wc ——土的含水量

4 地基承载力及沉降

4.1 地基承载力

埃及规范建议使用太沙基公式 (Terzaghi formula) 进行地基承载力计算,公式如下。

$$q_{ult} = c \times N_c \times \lambda_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q \times \lambda_q + \gamma_2 \times B \times N_\gamma \times \lambda_\gamma \tag{2}$$

$$q_{all} = q_{ult} / F_s$$

式中: q_{ult} ——极限承载力;
 q_{all} ——容许承载力;
 c ——凝聚力;
 D_f ——基础深度;
 B ——短边基础宽度;
 γ_1 ——地基以上土容重;
 γ_2 ——地基以下土容重;
 N_c 、 N_q 、 N_γ ——取决于土层 φ 值的承载力系数,其定义为:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi;$$

λ_c 、 λ_q 、 λ_γ ——取决于地基宽度 B 与长度 L 之比的地基形状系数,定义如下:

$$\lambda_c, \lambda_q = 1 + 0.3 (B/L)$$

$\lambda_{\gamma}=1-0.3(B/L)$;
 F_s ——安全系数。
根据现场勘探试验结果,将实际参数代入式(2)中,可得承载力换算表,如表 6 所示。

表 6 浅基础允许承载力表
(基础深度 = 1.5 m)

基础宽度 B/m	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
方形基础 $q_{\text{all}}/(\text{kg}/\text{cm}^2)$	6.6	8.0	9.3	12.0	18.8
条形基础 $q_{\text{all}}/(\text{kg}/\text{cm}^2)$	6.0	7.9	9.8	13.7	23.3

4.2 浅基础沉降

由于段内土质以砂土为主,故地基沉降主要计算短时间内的沉降。埃及当地对基础沉降计算采用多种方法,其中采用 Stienbrener(取自 Bowels 1996 的方程式)方法进行角点沉降计算。具体公式表述如下:

$$S_i = qB \frac{1-\nu^2}{E_s} \left(I_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} I_2 \right) \tag{3}$$

式中: S_i ——弹性沉降;
 q ——施加的压力;
 E_s ——有关土层的杨氏模量(变形模量);
 ν ——有关土层的泊松比;
 I_1 和 I_2 ——Stienbrener 影响因子,取决于 L/B 和 H/B 的比率。

通过计算,得到浅基础的沉降值如表 7 所示。

表 7 方形浅基础的预估沉降表(mm)

施加的应力 $/(\text{kg}/\text{cm}^2)$	基础宽度 B/m				
	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
1.0	1.6	3.0	4.1	6.0	9.6
2.0	3.2	5.9	8.3	12.0	19.3
3.0	4.8	8.9	12.4	18.1	28.9
4.0	6.4	11.9	16.5	24.1	38.6

4.3 桩基承载力

根据埃及规范,桩端承载力和桩周土极限摩阻力可分别通过表表取得。如表 8~表 11 所示。

其中,桩端极限承载力与桩实际发生的沉降量有关,且以 3.4 MPa 为限。非黏性土桩周极限摩阻力与埋深和标贯击数有关。黏性土桩周极限摩阻力与不排水抗剪强度有关。

表 8 大直径钻孔灌注桩在无粘性土中桩端承载力与沉降的关系(ECP 202 – 2001)

沉降值/cm	端承应力 $q_b/(\text{ton}/\text{m}^2)$ (MPa)
1.0	50 (0.50)
2.0	80 (0.80)
3.0	110 (1.10)
15.0	340 (3.40)

表 9 大直径钻孔灌注桩在无粘性土中桩周极限摩阻力
(ECP 202 – 2001)

标贯击数 N	原始地面以下深度 /m	极限侧阻力 $q_{f(\text{ult})}$ $/(\text{ton}/\text{m}^2)$ (kPa)
< 10	–	0.0
10 ~ 20	0.0 ~ 2.0	0.0
	2.0 ~ 5.0	3.0 (30)
	> 5.0	5.0 (50)
20 ~ 30	0.0 ~ 2.0	0.0
	2.0 ~ 7.5	4.5 (45)
	> 7.5	7.5 (75)
> 30	0.0 ~ 2.0	0.0
	2.0 ~ 10.0	6.0 (60)
	> 10.0	10.0 (100)

表 10 不同直径和长度钻孔桩容许承载力

桩的直径 /m	桩长 /m	容许工作荷载 $Q_{\text{all}}/\text{ton}$	工作荷载下的单桩 沉降/mm
0.8	15	191	6.6
	16	204	6.4
	18	229	6.0
	20	254	5.7
1.0	18	309	7.9
	20	341	7.5
	22	372	7.2
	24	404	7.0
1.2	20	437	9.4
	22	475	9.0
	24	513	8.7
	26	550	8.4
	28	588	8.2
1.5	24	694	12.6
	26	741	11.9
	28	788	11.3
	30	835	10.8
	32	882	10.4

注:容许承载力单位为 ton-1, ton = 10 kN

表 11 大直径钻孔灌注桩在粘性土桩周极限粘附应力
(ECP 202 – 2001)

土的凝聚力 c_u $/(\text{ton}/\text{m}^2)$ (kPa)	桩周极限粘附应力 $c_{a(\text{ult})}$ $/(\text{ton}/\text{m}^2)$ (kPa)
0.0	0.0
2.5 (25)	2.5 (25)
10.0 (100)	4.0 (40)
20.0 (200)	5.0 (50)

4.4 群桩基础沉降

群桩基础沉降量采用经验公式计算。

$$S_G = S_s \sqrt{\frac{B}{d}} \tag{4}$$

式中: S_G ——群桩基础沉降;
 S_s ——单桩基础沉降;

B ——较短的桩群基础宽度;

d ——桩径。

5 结论

本文通过埃及开罗至斋月十日城项目及 Robeiky 至 Bellis City 货运铁路初勘全过程的实际工作,搜集了丰富的现场及实验室相关数据,较系统全面地总结了按照埃及规范确定土层基本物理力学参数方法,并与我国相关规范进行了对比。

(1)埃及岩土勘察有关规范(ECP 202 - 2001)多参考国际铁路联盟(UIC)、英国标准(BS)及美国材料试验协会 ASTM 的相关标准,并结合本国实际情况进行了优化,有一套相对完善的岩土勘察及建筑结构基础计算体系,但出版物多为阿拉伯语版本。故若国内同仁需在埃及开展有关项目岩土工程勘察,可先熟悉 UIC、BS 及 ASTM 等相关标准及规范。

(2)埃及本国在开展岩土勘察的过程中,对现场钻探十分重视。强调标准贯入试验的应用,通过标贯击数(N)总结了较为全面的力学参数经验公式或表格。

(3)项目区多为密实状中粗砂及砾砂,除每隔 1.5 ~ 2 m 取标贯测试样品,并送实验室进行一系列的颗粒筛分、密度、含水量等测试外,其他钻探过程均不取芯。

(4)由于埃及常年干旱少雨,故本文物理力学参数的具体数值及经验公式存在一定的局限性。

参考文献:

- [1] Geotechnical Investigation Report for LRT from Cairo to 10th of Ramadan City Project. Arab Consulting Engineers (Moharram-Bakhoum), Rev. (1), November 2015.
- [2] Joseph E. Engineering Properties of Soils and Their Measurement. McGraw-Hill. 1986.
- [3] Annual Book of ASTM Standards, 1994, Vol. 04.08.
- [4] Bowels, Joseph E. Foundation Analysis and Design[J]. Engineering and Geology, 1988, 20(3): 269.
- [5] Concrete Complementary British Standard to BS EN 206 - 1. BS EN 206 - 1 (2006), part of BS 8500 - 1: 2 006.
- [6] Bored Piles of Conventional Type. Manufacture, Design and Permissible Loading. DIN 4014 - 1977.
- [7] Egyptian Code for Calculation of Loads and Forces for Structural and Building Works. ECP 201 - 2003.
- [8] Egyptian Code for Soil Mechanics and Design and Construction of Foundations. 2008 Edition. ECP 202 - 2001.
- [9] R. D. Holtz, W. D. Kovacs. An Introduction to Geotechnical Engineering[J]. Engineering Geology, 1983, 733.
- [10] F. H. Kulhawy, P. W. Mayne. Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. Cornell University, Ithaca, New York, 1990.
- [11] Foundations and Earth Structures-Design Manual 7.2, Department of the Navy, USA. NAVFAC DM 7.2, 1982.

(编辑:刘会娟 白雪)