北部湾科技园总部基地A区超高层项目岩土工程勘察实录

□ 赵印良　许祖妹

[摘　要] 以北部湾科技园总部基地A区超高层项目岩土工程勘察为例，介绍项目的工程概况、勘察要素，重点分析水文地质条件、工程地质条件、地基土的物理力学性质指标和岩土参数的可靠性、适用性，论证基础类型、基坑边坡的稳定性，提出经济合理、安全可靠的地基基础类型建议及基坑边坡支护方案。

[关键词] 工程勘察；地质条件；岩土参数；基础类型；稳定性

1 工程概况及勘察要素

1.1 工程概况

拟建的北部湾科技园总部基地一期工程位于广西壮族自治区南宁经济技术开发区园区内，壮锦大道（东侧）与国凯大道（南侧）交会处。根据设计方案：总部办公楼，主楼至大屋面51层，地面以上高度220.80m，加上四层塔楼总高237.30m，配套商业中心（裙楼）8层，设置整体地下室3层，设计±0.000高程为111.10m，设计的地下室底板顶面标高96.60m，地下室-3层楼地面埋深为14.50m。拟用桩筏基础，建筑荷载待定。其分布位置、范围及投影形状详见图1[1-2]。

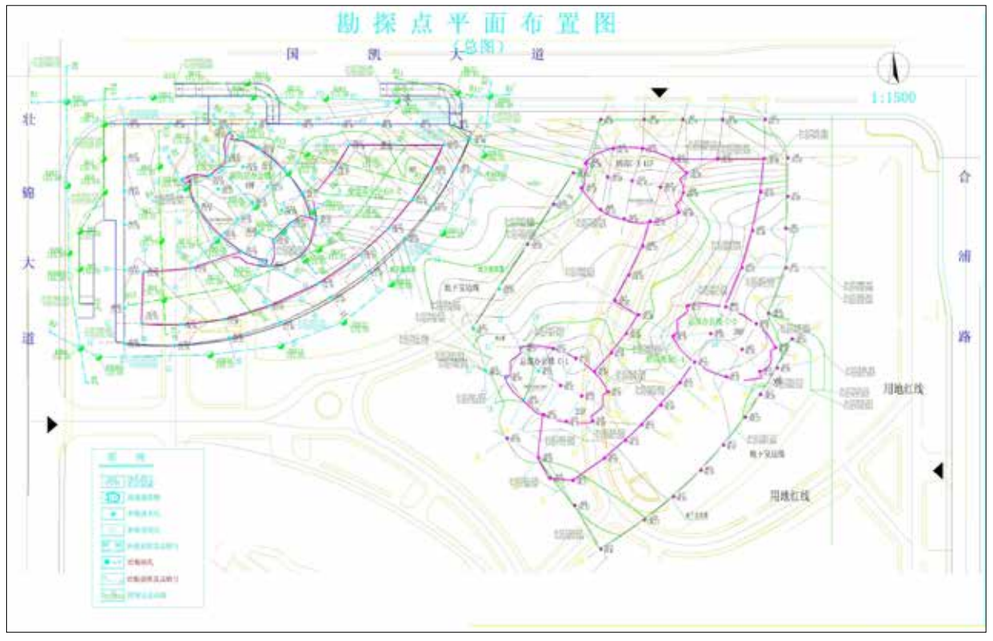


图1 勘探点平面布置图

[作者简介] 赵印良，桂林市勘察设计研究院，高级工程师，硕士。
许祖妹，桂林市勘察设计研究院，工程师。

1.2 工程勘察等级

根据设计方案，依据《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001，2009年版）[3]，《高层建筑岩土工程勘察规程》（JGJ 72—2017）[4]，本次勘察工程重要性等级属一级、场地等级二级、地基等级一级、岩土工程勘察甲级。

1.3 勘察工作量的布置

勘察方案工作量的布置如下：

（1）主楼、附楼勘探布孔。依据《高层建筑岩土工程勘察规程》（JGJ 72—2017）、《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001，2009年版），布置勘察钻探孔52个，其中附楼及地下室孔深30m～50m，主楼孔深50m。

（2）基坑边线外侧勘探布孔。根据《高层建筑岩土工程勘察规程》（JGJ 72—2017），在建筑基坑边线外侧5m～15m范围适当布孔勘探，布孔间距约40m，孔深约20m。

（3）现场原位及室内主要试验。现场原位主要试验：钻孔波速试验、标准贯入试验、重型动力触探试验、载荷试验、水位观测[1-2]。现场室内主要试验：土工常规试验、饱和土重塑快剪、残余剪试验、密实度检测、三轴快剪试验、高压固结、岩石抗压试验、水分析试验、土易溶盐试验[5]。

2 场地工程地质条件

2.1 地形地貌

拟建场地为南宁盆地南部边缘低丘陵地貌。现场勘察场地进行了施工填土，地形起伏较大，高程95.33m～116.31m，高差近21m，坡度5°～20°。场地内有两个面积不同的地表积水塘，水面高程不同，其中较小一个位于主楼西北角，水面直径10m，水深0.50m～1m，水面高程111m；较大一个位于主楼东北角，水深1m～1.50m，水面宽15m～20m，长30m，水面高程108.90m。

2.2 地层结构及岩土层特征

经钻探查明，场区内的岩土层主要为填土、第四系冲积相的黏性土、卵石以及古近系泥岩、砂岩等。根据场地的地貌单元、岩土成因类型、风化程度及其物理力学特征，对场地内的岩土层进行划分，现由新到老分述如下：

（1）杂填土①（Q_4^{ml}）：主要为砖红、灰、黄褐色等杂色，湿—很湿，松散，主要由黏性土、泥岩块及建筑垃圾组成，具有少量较大混凝土块。堆填凌乱，大小混杂，均匀性极差。未经分层压实，未完成自重固结，属于欠固结土。除个别孔外，整个场地均有分布，层厚约2m～12.20m。

（2）淤泥①-1（Q^h）：灰黑色，有腥臭味，含有机质，饱和，软塑。个别地段有分布，层厚0.90m。

（3）黏土②（Q_3^{al}）：棕黄色、红褐色，稍湿，呈硬塑—坚硬状态，切面光滑，无摇振反应，干强度高，韧性中等。大部分地段有分布，层厚1.20m～5.50m。

（4）粉质黏土②-1（Q_3^{al}）：粉红、棕黄色，湿—很湿，硬塑，局部为可塑，无摇振反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。分布于局部场地，层厚0.60m～3.90m。

（5）卵石③（Q_3^{al}）：棕黄、灰、灰白色，饱和，中密—密实。主要成分为石英，次之为硅质岩，一般粒径20mm～50mm，约占60%～70%，级配差。呈亚圆或棱角状，充填物主要为圆砾及中粗砂，少量黏性土，分布于整个场地，层厚0.90m～6.40m。

（6）粉细砂③-1（Q_3^{al}）：灰色，饱和，稍密。主要成分为石英、云母，为亚圆状或次棱形。仅BK15号孔一带有分布，层厚约3.80m。

（7）全风化泥岩（黏土）④-1（E_3）：灰色—深灰色，全风化，呈软塑—可塑状态，呈黏土状，切面光滑。无摇震反应，有光泽，干强度高，韧性高。分布于整个场地，层厚0.50m～3.70m。

（8）强—中风化泥岩④-2（E_3）：灰色—灰白色，强—中风化，夹粉砂质泥岩，厚层状，偶含贝壳类化石。岩芯多呈短柱状，失水干裂、湿水易软化。岩石坚硬程度为极软岩—软岩，岩体完整程度为较完整，岩体基本质量等级为Ⅴ级，岩石质量指标较好，岩芯采取率70%～90%，岩石质量指标为较好，即RQD=40%～60%。分布于整个场地，层厚1m～5.80m。

（9）强风化泥岩④-3（E_3）：深灰色，湿，切面平整光滑，强风化，岩石结构大部分被破坏，泥质结构，中厚层状构造，岩芯多呈短柱状，失水干裂、湿水易软化。岩石坚硬程度为极软岩，岩体完整程度为较完整，岩体基本质量等级为Ⅴ级，岩石质量指标差，岩芯采取率50%～80%， 岩石质量指标为差，即RQD=30%～40%。分布于整个场地，层厚0.50m～2.60m。

（10）中风化泥岩⑤（E_2）：灰—灰白色，稍湿，坚硬，敲击稍有刚性回声，中风化，岩石结构部分破坏。泥质或粉砂质结构，厚层状构造，偶含贝壳类化石。岩

芯多呈短柱状或长柱状，一般节长15cm～80cm，失水干裂、湿水易软化，岩芯采取率80%～90%， 岩石质量指标为较好，即RQD=50%～70%。岩石坚硬程度为软岩，岩体完整程度为较完整，岩体基本质量等级为Ⅳ级～Ⅴ级。分布于整个场地，层厚1.30m～12.40m。

（11）中风化粉砂岩⑥-1（E_1）：灰白色、灰褐色，粉砂质结构，厚层状构造，岩芯呈柱状、短柱状，一般节长约10cm～50cm，中风化程度，敲击稍有刚性回声。岩石质量指标为较好，即RQD=50%。岩石坚硬程度为较硬岩，岩体基本质量等级为Ⅳ级。分布于整个场地，部分钻孔未钻穿，层厚0.40m～8.10m。

（12）中风化泥岩⑥-2（E_1）：灰—灰白色，稍湿，坚硬，敲击稍有刚性回声，呈中风化。泥质结构、中厚层状构造。岩芯多呈长柱状，一般节长约15cm～80cm，失水干裂、湿水易软化，岩芯采取率80%～90%， 岩石质量指标为较好，即RQD=50%～70%。岩石坚硬程度为软岩，岩体完整程度为较完整，岩体基本质量等级为Ⅳ级。仅主建筑一带钻孔钻入并钻穿此层，层厚3.60m～7.30m。

（13）中风化粉砂岩⑥-3（E_1）：灰白色、灰褐色，粉砂质结构，中—厚层状构造，岩芯呈柱状、短柱状，一般节长10cm～50cm，中风化，敲击有刚性回声，岩石质量指标为较好，即RQD=50%。岩石坚硬程度为较硬岩，岩体基本质量等级为Ⅲ级。仅主建筑一带钻孔钻入并钻穿此层，层厚2.30m～5.30m。

（14）中风化泥岩⑦（E_1）：灰—灰白色、深灰色，稍湿，坚硬，敲击稍有刚性回声，呈中风化。泥质和粉砂质结构，厚层状构造。岩芯多呈长柱状，一般节长10cm～60cm，失水干裂、湿水易软化，岩芯采取率70%～90%， 岩石质量指标为较好，即RQD=50%～60%。岩石坚硬程度为较软岩，岩体完整程度为较完整，岩体基本质量等级为Ⅳ级。仅主建筑一带钻孔钻入此层，钻入厚度2.30m～5.30m，层厚不详。

土层分布特征如图2所示。

2.3 地基土的物理力学性质指标统计分析和选用

（1）物理力学性质指标统计分析。利用本次勘察野外钻探分层描述结果，经过对原位测试数据和室内试验数据进行分层分析，对各分层数据中的异常值进行删除，进行初步统计后根据结果，进行再次删除和统计，指标删除的标准为舍弃与平均值相差正负三倍标准差之外的数据。

图2 工程地质剖面图

指标平均值按下式计算：

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^{n}\phi_i}{n}$$

指标的标准差σ_f按下式计算：

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}\phi_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\phi_i\right)^2}{n}\right]}$$

指标的变异系数δ按下式计算：

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m}$$

式中：ϕ_i—岩土参数的实测值；

ϕ_m—岩土参数的平均值；

σ_f—岩土参数的标准差；

n—岩土指标的统计数量；

δ—岩土参数的变异系数。

按照以上方法对场地地基土的物理力学性质指标进行分层数理统计，统计出岩土层主要物理力学指标。

（2）岩土参数选用。根据室内土工试验结果、现场原位测试、钻进情况并结合地方施工经验，提供建议选用参数值。其中各岩土层的天然重度（γ）、压缩模量（E_s）数据以土工试验参数统计后的平均值结合经验来提供，黏聚力（C_K）、内摩擦角（ϕ_K）按统计后的标准值结合经验综合分析提供。

地基承载力特征值（f_{ak}）则根据室内试验和原位测试成果进行统计计算结果[6]，并综合经验及考虑各种因素综合分析提供各岩土层主要物理力学指标参数建议值[7]，见表1。

表1 地基土（岩）物理力学性质指标建议值表

岩土名称及编号	岩土的状态	天然重度	快剪		残余剪		三轴（UU）		压缩性						地基承载力特征值	岩土与锚固体黏结力特征值	人工挖孔灌注桩		钻（冲）孔灌注桩		基床系数
			黏聚力	内摩擦角	黏聚力	内摩擦角	黏聚力	内摩擦角	压缩系数	压缩模量	压缩系数	压缩模量	压缩系数	压缩模量			极限侧阻力标准值	极限端阻力标准值	极限侧阻力标准值	极限端阻力标准值	
		γ	C	Φ	C	Φ	C_{uu}	φ_{uu}	a_{1-2}	E_{s1-2}	a_{8-16}	E_{s8-16}	C_s	C_c	f_k	f_{rb}	q_{sik}	q_{pk}	q_{sik}	q_{pk}	K
		kN/m³	kPa	°	kPa	°	kPa	°	MPa⁻¹	MPa	MPa⁻¹	MPa	—	—	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kN/m⁴
杂填土①	松散	19.80	12.50	7.20	8.30	4.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	0	—	0	—	3
淤泥①-1	软塑	18	10	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	20	—	15	—	3
黏土②	坚硬	19.60	80	18.40		—	67.30	12.20	0.17	10.40	—	—	—	—	240	65	90	—	80	—	60
粉质黏土②-1	硬塑	19.60	42.40	13.30	—	—	48.70	9.60	0.22	8	—	—	—	—	200	55	70	—	70	—	50
卵石③	中密—密实	20.60	0	38	—	—	—	——	—	25	—	—	—	—	400	200	140	—	140	—	30
粉细砂③-1	中密	19.80	0	28	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	180	60	50	—	50	—	20
全风化泥岩（黏土）④-1	全风化	18.90	—	—	—	—	11.50	3.30	0.45	4.80	—	—	—	—	160	30	30	—	30	—	10
强—中风化泥岩④-2	强—中风化	20.80	120	25	—	—	—	—	0.03	50	0.02	100	0.003	0.06	500	100	140	—	120	—	120
强风化泥岩④-3	强风化	20.80	90	20	—	—	—	—	0.04	40	0.02	90	0.004	0.08	400	90	120	—	100	—	90
中风化泥岩⑤	中风化	21	150	28	—	—	—	—	0.03	60	0.01	120	0.002	0.05	1200	150	180	4500	160	3500	150
中风化粉砂岩⑥-1	中风化	22	200	30	—	—	—	—	0.02	80	0.01	180	0	0	1800	180	220	5000	200	4000	200
中风化泥岩⑥-2	中风化	21.50	180	28	—	—	—	—	0.03	60	0.01	135	0	0	1200	150	180	4500	160	3500	180
中风化粉砂岩⑥-3	中风化	22	200	30	—	—	—	—	0.02	80	0.01	180	0	0	2000	180	220	5000	200	4500	200
中风化泥岩⑦	中风化	21.50	180	28	—	—	—	—	0.03	65	0.01	135	0	0	1000	150	180	4500	160	3500	180

3 场地水文地质条件

3.1 地下水类型及特征

勘察外业工作分两个时段进行，第一次现场勘察为5月下旬至6月中旬，降水强度及降水量较小，地面无积水，地下水位较深；第二次现场勘察为8月上旬至9月上旬，降水强度及降水量较大，地面积水，地下水位较浅。勘察场地有地表水和两层地下水，地下水有上层滞水和孔隙潜水两种，分别叙述如下：

第一次：（1）无地表水。（2）上层滞水稳定水位深度2.90m～4.50m，标高103.48m～107.60m，主要由大气降水补给，水量小。孔隙潜水稳定水位深度6.20m～14.20m，标高101.11m～104.21m，卵石③为含水层，主要由来自大气降水和同一含水层渗透补给，水量较大。

第二次：（1）有两个面积不同的地表积水塘，水面高程不同，其中较小一个位于主楼西北角，水面直径10m，水深0.50m～1m，水面高程111.50m。较大一个位于主楼东北角，水深1m～1.50m，水面宽15m～20m，长30m，水面高程108.90m。（2）上层滞水稳定水位深度1.30m～6.50m，标高106.56m～111.07m，主要由大气降水补给，水量小。孔隙潜水稳定水位深度5.30m～12.10m，标高102.32m～107.11m，卵石③为含水层，主要由来自大气降水和同一含水层渗透补给，水量较大。人工填土较深地段，已直接到圆砾层，孔隙潜水渗入人工填土中。

3.2 水、土腐蚀性评价

由于南宁市属亚热带季风气候，雨季长、雨水多，降雨量大，地表水及地下水径流强度大，水、土的矿化度低；根据地面踏勘，场地周围无工业污染源，场地内的水、土未受污染，根据中勘冶勘勘察报告的水质、土质分析试验结果，依《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001，2009年版）第12.1.1条综合判定如下：

（1）本场地地下水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋有微腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。

（2）本场地土层对混凝土结构有微腐蚀；对钢筋混凝土结构中钢筋有微腐蚀。

3.3 地下室抗浮设计水位

根据场地的地形、地貌及水文地质条件和工程情况，依《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001，2009年版）第7.3.2.1条规定，按最不利组合情况考虑抗浮设计水位，本场地无历史水位观测资料，主要依据本次勘察水位观测资料和工程情况，确定本场地的地下室抗浮设计水位，本次勘察测得上层滞水最高（最不利）水位111.07m，设计±0.000高程为111.10m，当基坑四周无较低排口时，建议地下室抗浮设计水位标高值取111.07m。

4 地震效应

4.1 地震烈度

根据《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）附录A及《中国地震动参数区划图》（GB 18306—2001），南宁市抗震设防烈度为7°，设计地震分组为第一组，设计基本地震加速度值为0.10g。根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）的有关规定，拟建工程的抗震设防类别为乙类建筑，应按重点类设防。

4.2 场地土类型和建筑场地类别

根据波速试验数据计算，土的等效剪切波速为V_{se}=186.16m/s～205.18m/s。本场地属中软场地土。根据波速试验结果，本场地覆盖层厚度为20m～25m。建筑场地类别为Ⅱ类，特征周期为0.35s。场地内有较厚的人工填土，平面分布不均匀土层，因此，拟建场地属抗震不利地段。

5 基础类型分析及建议

根据拟建建筑物的建筑设计方案及岩土层特征，对拟建建筑物的天然地基分析如下：

5.1 总部办公楼

总部办公楼A-1主楼，至大屋面51层，地面以上高度220.80m，加上4层塔楼总高237.30m，下设3层地下室。根据初步设计，拟采用框剪结构，桩筏基础。天然地基最小埋深取地下室基础底面埋深为14.50m，高程为96.60m，筏板基础厚4m，地下室开挖深度已达92.60m，根据地质剖面，建筑基底已进入中风化泥岩⑤层，估算设计荷载P_k=（51+3）层×20kPa/层=1080kPa，天然地基承载力特征值=1200kPa。中风化泥岩⑤层承载力能满足拟建建筑物的荷载要求，因此，建议采用天然地基筏板基础，以中风化泥岩⑤层为基础持力层。

5.2 配套商业中心及周边纯地下室部分

配套商业中心及周边纯地下室：地面以上高8层，设3层地下室，拟采用框剪结构。天然地基最小埋深取地下室基础底面埋深为14.50m，高程为96.60m，基础板厚0.80m，地下室开挖深度已达95.80m，则基础置于强—中风化泥岩④-2层上。强—中风化泥岩④-2持力层的承载力能满足拟建建筑物的荷载要求，因此，建议采用天然地基独立柱基础以强—中风化泥岩④-2或强风化泥岩④-3层作地基持力层。

6 基坑边坡的稳定性评价

6.1 基坑规模及支护

三层地下室，±0.000为111.10m，场地实际四周高为109.46m～115m。配套商业中心及周边纯地下室部分：地面高8层，设3层地下室，拟采用框剪结构。天然地基最小埋深取地下室基础底面埋深为14.50m，高程为96.60m，基础板厚0.80m，地下室开挖深度达95.80m，因此西面和南面最大边坡高度达19.20m；东北面实际地形较低，边坡高约13.66m。A-1主楼地下室基础底面埋深为14.50m，高程为96.60m，筏板基础厚4m，地下室开挖深度达92.60m，基坑实际高差16.86m～22.40m。

基坑边坡的主要土层为杂填土①、黏土②、粉质黏土②-1、卵石③、强风化泥岩④-1、强—中风化泥岩④-2层。杂填土为新近堆填，处于松散状态，自稳性差，边坡极不稳定。故基坑边坡需采取支护措施，对不同地段、不同边坡高度、不同土质采取不同的支护手段。西面和南面最大边坡高度达19.20m，东边和北边边坡高度达13.66m～19.20m，建议采用放坡＋支护排桩＋锚杆，桩之间用挡板（或弧形砌体）进行支护；放坡部分建议采用土钉锚固＋混凝土喷射护坡进行支护。

6.2 地下水对基坑的影响

地表水和上层滞水对基坑开挖、桩基施工产生不利影响，在基坑施工前，应采取降水和疏排。孔隙潜水水量大，在边坡施工中应采取有效排水措施，在基坑内侧，圆砾层底部引出孔隙潜水，设置明排水沟，排出地下孔隙潜水。

6.3 基坑安全等级

基坑深度16.86m～22.40m，属一级基坑，考虑到地下水影响和破坏后果，所以基坑开挖安全等级定为一级[8]。

7 结论及建议

根据野外勘察、室内试验及相似工程经验及参考了附近工程勘察报告，综合分析如下：

（1）建筑场地地面较平坦，无全新活动断裂和发震断裂，场地稳定。但场地内有较厚的人工填土，平面分布不均匀土层，因此，拟建场地属抗震不利地段。

（2）拟建场地抗震设防烈度为7°，设计地震基本加速度为0.10g，特征周期为0.35s，建筑设计时请按有关规范规定进行设防[9]。

（3）根据现场钻探和原位测试结果，综合类似工程经验，建议采用两种基础形式：第一，A-1主楼建议采用天然地基筏板基础，以中风化泥岩⑤层持力层；第二，配套商业中心及周边纯地下室部分，建议采用天然地基独立柱基础，以强—中风化泥岩④-2或强风化泥岩④-3层作地基持力层。地基土（岩）物理力学性质指标建议值见表1。

（4）不同高度的建筑之间、不同的基础类型之间应考虑设置沉降缝。

（5）地下水和地基土对混凝土结构、对砼结构中的钢筋有微腐蚀，土对钢结构有微腐蚀。

（6）基坑边坡高度16.86m～22.40m，属一级基坑，考虑到地下水影响和破坏后果，基坑开挖安全等级定为一级。建议采用放坡＋支护排桩＋锚杆，桩之间用挡板（或弧形砌体、挡墙）进行支护；放坡部分建议采用土钉锚固＋混凝土喷射护坡进行支护。

（7）勘察期间场地有地表水和两层地下水，地下水有上层滞水和孔隙潜水两种。基坑施工前应做好地表水和上层滞水的疏排工作，基坑施工中对地下孔隙潜水采取有效排水措施。地下室抗浮设计水位标高值建议取111.07m。

（8）按国家有关规范规定，超高层天然地基需做载荷试验，基础开挖至持力层，先进行3组平板载荷试验，确定地基土承载力特征值及压缩模量，若试验结果与建议值有差异，按实际得到的承载力值调整设计。

（9）建议对基坑边坡进行专项支护设计。

（10）建议对拟建建筑物埋设变形、沉降观测点，并进行系统监测。

[参考文献]

[1]桂林市勘察设计研究院.北部湾科技园总部基地一期A区工程（补充勘察）项目工程岩土工程勘察报告[R].桂林:桂林市勘察设计研究院,2016.

[2]中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司.北部湾科技园总部基地一期A区工程项目工程岩土工程勘察报告[R].保定:中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司,2015.

[3]中华人民共和国住房和城乡建设部.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.

[4]中华人民共和国住房和城乡建设部.高层建筑岩土工程勘察规程标准:JGJ 72—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.

[5]中华人民共和国水利部.土工试验方法标准:GB/T 50123—1999[S].北京:中国计划出版社,1999.

[6]广西壮族自治区住房和城乡建设厅.广西壮族自治区岩土工程勘察规范:DBJ/T 45—066—2018[S/OL].(2018-05-04)[2021-01-30].

[7]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

[8]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑支护技术规范:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[9]中华人民共和国住房和城乡建设部.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.