

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.137>



# 论城市地质调查中土体工程地质单元划分依据： 以武汉市都市发展区为例

李长安<sup>1,2</sup>, 张玉芬<sup>3</sup>, 庞设典<sup>4</sup>, 朱锐<sup>4</sup>, 官善友<sup>4</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学关键带演化湖北省重点实验室, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074
4. 武汉市勘察设计有限公司, 湖北武汉 430022

**摘要:** 第四纪地质是工程地质的基础, 第四纪沉积物的地层时代、岩性组合等是土体工程地质单元划分的重要依据。通过武汉市地貌、第四纪地质特征(地层、成因、岩性等)及土体工程地质性质等综合调查和分析, 提出基于“地层时代+岩性组合(岩石地层单位)+岩性层”的武汉市工程地质单元体划分原则。根据城市建设的需要, 将武汉市都市发展区土体工程地质单元体分为 3 级: 单元层(1)、亚单元层(1-1)、基本单元层(1-1-1), 其划分的控制因素依次为: 地层时代、岩性组合(岩石地层单位)、岩性层。据此划分出工程地质单元层 6 个、亚单元层 14 个、基本单元层 28 个。并对各个工程地质单元体的特征进行了分析。

**关键词:** 第四系; 地层时代; 岩性组合; 武汉市; 工程地质。

中图分类号: P597.3; P642

文章编号: 1000-2383(2020)04-1457-09

收稿日期: 2019-06-10

## Soil Engineering Division of Geological Units Based on the Combination of Stratigraphic Age and Lithological Association for Wuhan Metropolitan Area

Li Chang'an<sup>1,2</sup>, Zhang Yufen<sup>3</sup>, Pang Shedian<sup>4</sup>, Zhu Rui<sup>4</sup>, Guan Shanyou<sup>4</sup>

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Hubei Key Laboratory of Critical Zone Evolution, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. Wuhan Geotechnical Engineering and Surveying Co., Ltd., Wuhan 430022, China

**Abstract:** Stratigraphic age, lithological association and other parameters of Quaternary sediment are important basis of soil engineering division of geological units. Based on the comprehensive survey and integrated analysis of geomorphology features, the Quaternary geological characteristics (e.g. stratigraphic sequences, strata genesis and lithological characters, etc.) and the soil engineering geological properties, the zonation principle of soil unit of Wuhan Metropolitan Area is proposed as the combination of stratigraphic age, lithological association and stratigraphic sequences. In order to meet the requirements of the city construction, soil engineering of geological units of Wuhan Metropolitan Area is divided into three levels: unit layer (1), sub-unit layer (1-1), and basic unit layer (1-1-1). And the division of control factors is stratigraphic age, lithological association (rock stratigraphic units) and stratigraphic sequences, respectively. According to the above division principle, it is proposed that soil engineering division of

**基金项目:** 国家自然科学基金(No. 41672355); 武汉市城市地质调查项目(Nos.2013查010, WHDYS-2018-007).

**作者简介:** 李长安(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地貌学与第四纪地质学教学与科研工作. ORCID:0000-0002-7401-0725.

E-mail: 1002858465@qq.com

**引用格式:** 李长安, 张玉芬, 庞设典, 等, 2020. 论城市地质调查中土体工程地质单元划分依据: 以武汉市都市发展区为例. 地球科学, 45(4): 1457-1465.

geological units of Wuhan Metropolitan Area could be divided into 6 unit layers, 14 sub-unit layers, and 28 basic unit layers. In addition, the characteristics of each geological unit are also analyzed, respectively.

**Key words:** Quaternary strata; stratigraphic age; lithological association; Wuhan Metropolitan Area; engineering geology.

## 0 引言

随着我国城市化进程的快速发展,城市地质已成为当前及今后地质工作的重要内容.城市地质调查是一项综合性很强的地质工作.虽然目前的城市地质调查有不同学科的参加,实际上各个学科负责各自的课题,进行着各自的调查和研究,总体上多以单学科为主,多学科综合研究少,各学科之间的交叉融合更少(唐辉明,2006).笔者在武汉市都市发展区城市地质调查中,特别强调了工程地质学与地貌学和第四纪地质学的结合,取得了良好的效果.

工程地质单元划分是城市地质的重要研究内容.工程地质学研究的对象包括岩体和土体(张成恭等,2000),岩体一般是指是前第四纪基岩,土体是指第四纪松散沉积物.自然地质条件是非常复杂,工程地质单元划分的关键是找出其控制因素.我国工程地质专家经过长期的研究与实践,提出岩体破裂极限强度不是岩石的强度而是岩体中软弱夹层的强度,从而提出“岩体的结构控制”(谷德振,1963).后经不断地丰富和完善,逐步发展形成了具有我国特色的“岩体结构控制论”(谷德振和黄鼎成,1979;孙广忠和张文彬,1985;孙广忠,1992,1993;罗国煜等,1982,1992,2002),成功地用于工程地质单元划分.而对于第四纪地质体—土体的工程地质理论尚未建立.正如著名工程地质学家刘国昌教授和谷德振教授早在20世纪70年代就指出:“作为地质体的岩体有了岩体结构控制论,另一类地质体的土体应该有一个什么控制论?”.土体的工程地质控制因素难以确定原因,主要是由于土体(第四纪松散层)岩性复杂、成因多样、岩性岩相变化快、结构和构造差异大等特点所造成的.土体地质的复杂性导致了工程性质的多变性和不确定性(刘军熙等,2005;郑军等,2008;阎长虹等,2015).范士凯(2006)提出:“土体工程地质工作应以地貌单元、地层时代和地层岩性组合为纲,纲举目张”,那么哪种因素可以担当工程地质单元划分的“纲”呢?笔者通过武汉市城市地质调查发现,土体的“地层时代+岩性组合”是其工程地质单元划分的主控因素.

武汉市以第四纪松散层分布为主,都市发展区第四纪土体占95%.第四纪土体岩性多样,有砾石、砂(粗砂、细沙、粉砂)、亚砂土、亚黏土、黏土、淤泥等;土体的成因复杂,有冲积、洪积、湖积、沼泽、残积、风积等(杨勇等,2008;田望学等,2011),与江汉平原东部第四纪沉积物特征(王妍妍等,2017;顾延生等,2018)大体一致.各种成因、各种岩性的土体在空间上相互交叉、叠加.其工程地质性质就像是一堆乱麻,给工程地质分区和工程地质单元划分带来很大困难(庞设典等,2005;官善友等,2007,2016).笔者通过对武汉市地貌、第四纪地质和工程地质的联合调查与研究发现(张玉芬等,2016,武汉城市地质调查第四纪地质专题调查与研究报告),“地层时代+岩性组合(岩石地层单位)+岩性层”对工程地质单元体(单元层(1)、亚单元层(1-1)、基本单元层(1-1-1))具有明显的宏观控制意义.据此提出了基于“地层时代+岩性组合”的土体工程地质单元划分原则与方法.从而使武汉市都市发展区工程地质单元体的划分更加科学和简单易行.

## 1 地层时代和岩性组合对工程地质单元划分的意义

工程地质单元体的划分是工程地质条件评价的一项基础性工作,它至少有两个方面的意义:(1)对工程勘察区统一划分工程地质单元,有利于提高指标精度,克服指标离散度大的人为因素,提高资料的可信度;(2)统一划分工程地质单元,有利于统筹合理布置勘察工作,减少不必要的钻探试验工作量,节约经费开支.在土体工程地质勘察时,进行工程地质单元划分是一项必不可少的工作.

土体工程地质单元划分的关键是划分的原则与依据,对于地质特征相对单一地质体,一般采用单因素划分原则,如土体岩性、沉积物成因等;对于地质特征复杂的土体,工程地质单元的划分原则和依据就成为一个值得研究的问题了.一般来讲,影响土体工程地质单元划分的主要因素有:地层时代、成因类型、地貌单元、土层岩性及土层的物理力学性质等等.究竟选择哪些因素作为的划分的主要

依据呢?本文提出的“地层时代+岩性组合”工程地质单元划分原则,主要依据如下。

### 1.1 地层时代对工程地质单元划分的宏观控制意义

其一,地层时代是某一地质体或单元形成的地质时代。一般来讲,在相同地质环境条件下,地层时代愈老压实,成岩作用就愈强,相应地工程地质条件就愈好;其二,松散的土体主要形成于第四纪,第四纪地质时代的划分主要依据之一是气候变化的阶段性,即气候地层学原则。如全新世为冰后期,晚更新世为末次冰期旋回。由于不同气候阶段(如冰期、间冰期,冷、暖、干、湿等)外力地质作用的类型不同,这也就决定了沉积物成因类型和岩性组成的不同,从而决定了土体工程地质性质的差异。因此,地层时代对区域土体工程地质条件具有明显的宏观控制意义。

### 1.2 岩性组合对工程地质单元划分的宏观控制意义

“岩性组合”是指若干岩性层在横向、纵向上的组合排列关系。它往往反映的是岩相的变化,是第四纪沉积物生成环境及成因类型划分的重要标志。由于不同的岩性组合具有不同工程地质特性,故而可作为工程地质单元划分的依据。岩性组合大致相当于第四纪地层划分中的岩石地层单位“组”。“组”是野外宏观岩性或岩性组合相同、结构类似、颜色相近、呈现整体特征一致、空间上有一定的延展性、并能据以填图的地层体。“组”或者由一种岩层构成,或者以一种岩层为主中间有重复出现的其他岩层的夹层,或者由两种及多种岩层交替出现的互层所构成。由于以“组”为基本填图单位的1:5万地质图已覆盖了我国大部分地区,因此,实际工作中将第四纪地层中的“组”作为工程地质单元的划分依据,将会使工程地质单元划分简单的多。同时,也使得基础地质调查成果更好的服务于生产实际的需要。

### 1.3 “地层时代+岩性组合”对划分土体工程地质单元的意义

以“地层时代+岩性组合”作为工程地质单元划分的原则,既要强调两者的综合性,又注意在不同工程地质单元等级划分中的差别。由于第四纪中一个地质时代往往包含多个气候阶段,如晚更新世含有末次间冰期和末次冰期两个完全不同的气候阶段,从而形成明显不同的两套岩性组合(柏道远和李长安,2010)。也就是说,一个地层时代中往往包含着一个或者多个岩性组合(“组”)。笔者通过大量的实践发现,将第四纪土体的地层时代作为工程地

质“单元层”的划分主要依据,岩性组合(“组”)作为“亚单元层”的主要划分依据是合适的,在武汉市城市地质调查中得到实际应用。

## 2 武汉市工程地质单元的划分原则

通过对武汉市第四纪地质的系统调查和制图,结合场地工程地质条件分析,笔者提出武汉市都市发展区工程地质单元体的划分基本原则是:“地层时代+岩性组合(岩石地层单位)+岩性层”,3种因素在单元体划分时,具有级次嵌套控制关系。根据武汉市城市建设的需要,笔者将武汉市都市发展区土体工程地质单元体分为3级,即:单元层(1)、亚单元层(1-1)、基本单元层(1-1-1)。其划分依据(控制因素)依次为:地层时代—单元层、岩性组合(岩石地层单位“组”)—亚单元层、岩性层—基本单元层,如根据地层时代可将武汉市都市发展区工程地质单元层划分为:第一单元层(1)—近现代,第二单元层(2)—全新统,第三单元层(3)—上更新统,第四单元层(4)—中更新统,第五单元层(5)—下更新统,第六单元层(6)—第四系(未分层)地质体。由于工程地质调查是以基础地质调查为基础的,而“地层时代”和岩石地层单位——“组”、“段”是区域地质调查的基本内容,是区域地质图的基本单位,因此,采用“地层时代+岩性组合+岩性层”作为基本原则,可使工程地质单元体划分的边界更为清晰,操作更加简单、易行。

## 3 武汉市都市发展区工程地质单元层划分

按照“地层时代+岩性组合(岩石地层单位)+岩性层”的工程地质单元体划分原则,可将武汉市都市发展区土体工程地质单元划分为:工程地质单元层6个、亚单元层14个、基本单元层28个(表1)。各工程地质单元的特征如下。

### 3.1 第一单元层(1)

主要是指近、现代(一般指距今500 a以来的)松散沉积层。根据其成因又可分为2个亚单元层:人工填土(1-1)和自然冲淤层(1-2)。

#### 3.1.1 人工填土(1-1)

按照填土的类型又可划分为以下基本单元层。

杂填土(1-1-1):成分杂乱,一般含有建筑垃圾及工业生活垃圾混黏土,结构松散,硬质物含量高,

表 1 武汉市都市发展区工程地质单元划分  
Table 1 Division of engineering geological units in Wuhan Metropolitan Area

单元层及编号	划分依据	亚单元 编号	划分 依据	基本单元 层编号	划分依据	工程力学性质	
						承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	压缩模量 $E_s$ (MPa)
第一单元层(1)	现代沉积层	1-1	人工填土	(1-1-1)	杂填土层		
				(1-1-2)	素填土层		
第二单元层(2)	全新世地质体(Q <sub>4</sub> )	1-2	自然冲淤层	(1-2-1)	冲积砂土层	40~70	1.8~2.5
				(1-2-2)	淤泥(塘泥)层		
		2-1	黏土类	2-1-1	粉土层	90~120	6.0~8.5
				2-1-2	密实黏土	100~150	4.5~6.5
				2-1-3	黏性土层	80~100	3.8~4.5
				2-1-4	淤泥质土、淤泥	60~80	2.5~3.5
				2-1-5	黏土、砂土互层	90~130	6.0~9.0
				2-2-1	粉砂	110~150	9.0~13.0
		2-2	砂层	2-2-2	粉细砂层	150~250	13.0~23.0
				2-2-3	细砂层	250~320	23.0~30.0
2-3-1	中粗砂夹砾石层			300~400	18.0~25.0		
2-3	砾卵石层	2-3-2	砾卵石层	350~450	23.0~28.0		
		3-1	青山组	3-1-1	细砂层	50	—
第三单元层(3)	晚更新世(Q <sub>3</sub> )地质体	3-2	下蜀组	3-2-1	砂质黏土层	200~300	8.5~11.0
				3-2-2	黏性土层	330~500	14.0~19.0
				3-2-3	夹碎石黏性土	400~500	15.0~20.0
第四单元层(4)	中更新世(Q <sub>2</sub> )地质体	4-1	辛安渡组	4-1-1	黏性土层	300~400	12.0~16.0
				4-1-2	砂土层	250~350	14.0~21.0
				4-1-3	砾卵石层	320~400	20.0~26.0
		4-2	王家店组	4-2-1	网纹红土	330~450	14.0~18.0
				4-2-2	网纹残坡积土	400~500	15.0~20.0
				5-1-1	黏性土层	330~450	14.0~18.0
第五单元层(5)	早更新世(Q <sub>1</sub> )地质体	5-1	东西湖组	5-1-2	粉细砂	160~240	14.0~22.0
				5-1-3	含砾中粗砂层	250~350	14.0~21.0
				5-2-1	含砾黏性土	330~450	14.0~18.0
		5-2	阳逻组	5-2-2	中粗砂、砾砂	300~400	20.0~26.0
第六单元层(6)	第四纪(Q)地质体	6-1	坡积土			200~300	20.0~28.0
		6-2	残积土			200~300	8.0~15.0
		6-3	赭土				

渗透性较强,承载力低,不宜作为一般建筑物的地基.对基坑工程而言,该层是对边坡隔水及锚固的不良地层,对于硬质物含量高的杂填土,可能对沉桩产生一定的影响.

**素填土(1-1-2):**成分相对单一,以粉质黏土、黏性土为主,局部地段含有少量碎石,力学性质不稳定,结构松散,不宜作为建筑物地基.在该层深厚地段,可采用注浆或者夯实加固后作为轻型建筑结构的人工地基.作为基坑侧壁土层时,易产生滑塌,隔水性差,是基坑工程中重点支护对象.

**3.1.2 自然冲淤层(1-2) 冲积砂土(1-2-1):**以粉

土、粉砂为主,主要分布在河漫滩地区,由水力充填泥沙形成,水平方向具明显的不均匀性.由于泥沙的颗粒组成随其来源而变化,土层多呈透镜体或薄层出现,结构松散,承载力低,不宜作为建筑物地基.

**淤泥(塘泥)(1-2-2):**灰黑色,软一流塑状,分布于湖塘底部及周边,力学性质极差,不能直接被工程利用,作为基坑侧壁土层时,应重点支护.在该层分布深厚地段,采取加固处理后,可作为轻型建筑物的人工地基或者地基下卧层.承载力特征值 $f_{ak}=40\sim70$  kPa,压缩模量 $E_s=1.8\sim2.5$  MPa.

### 3.2 第二单元层(2)

主要是指全新世( $Q_4$ )沉积的地质体.根据岩性类型可划分出3个亚单元层.

**3.2.1 黏土类(2-1)** 根据该岩层岩土体结构、埋深及物理力学性质,可分为5个基本单元层,分别为粉土(2-1-1)、密实黏土(2-1-2)、黏性土(2-1-3)、淤泥质土(2-1-4)及黏土、粉土、砂土互层(2-1-5):

**粉土(2-1-1):**主要分布于一级阶地临江、临湖一带浅层(小于10 m),位于“硬壳层”之上,褐黄色,一般呈中密状态.该层中含有潜水,地下水位埋深1 m左右,在土层分布地段修建道路开挖管沟或进行基坑开挖施工时,层中的潜水易造成流土流沙等工程地质问题,应做好降水及支护措施,该层是管沟、基坑等支护中应着重处理的对象.承载力特征值 $f_{ak}=90\sim 120$  kPa,压缩模量 $E_s=6.0\sim 8.5$  MPa.

**密实黏土(2-1-2):**褐黄色、呈可塑状态,主要分布于长江一级阶地,局部地段缺失.该层俗称“硬壳层”(全新世晚期,曾一度出现过干燥气候,形成了软土上部所谓的硬壳层),该层工程性质较好,在其分布均匀地段,对于轻型建构筑物,可将基础浅埋,通过硬壳层将应力扩散到更大的面积,使下卧不良土层承受应力尽量减小,“轻基浅埋”就是针对这种地层特点总结出来的经验.承载力特征值 $f_{ak}=100\sim 150$  kPa,压缩模量 $E_s=4.5\sim 6.5$  MPa.

**黏土(2-1-3):**灰黄—褐灰色,软塑状,主要分布于一级阶地.压缩性高,力学性质偏差,自稳性偏差.在该层埋深较浅地段进行桩基施工时,容易造成桩位偏移,在基坑工程中应重点进行支护.不宜作为建构筑物基础持力层,作为下卧层时,应进行强度和变形验算.承载力特征值 $f_{ak}=80\sim 100$  kPa,压缩模量 $E_s=3.8\sim 4.5$  MPa.

**淤泥及淤泥质土(2-1-4):**灰色,软—流塑状,含有机质,自稳性差,层间局部夹有粉土层.长江、汉江一级阶地多有分布.该层具有低强度(不排水抗剪强度一般小于30 kPa)、低渗透性(垂直向渗透系数一般小于 $1\times 10^{-6}$  cm/s)、高灵敏度(灵敏度在3~16之间)、流变性(在剪应力作用下,土体会发生缓慢而长期的剪切变形)等性质.该层工程性质不良,桩基工程易产生偏桩、缩颈等现象,层间夹有粉土在基坑工程中易产生流水流沙,造成基坑壁潜蚀破坏等现象.承载力特征值 $f_{ak}=60\sim 80$  kPa,压缩模量 $E_s=2.5\sim 3.5$  MPa.

**黏性、粉土、砂土互层(2-1-5):**该层又称过渡

层,主要分布于长江、汉江冲积一级阶地,是黏性土与砂性土之间的过渡层,顶板埋深9~13 m,厚度约为3~5 m.黏土多呈软塑状态,粉土呈中密状态、粉砂呈稍密状态、饱水,水平、垂直渗透性差异较大.对于设有两层以上地下室的高层建筑基坑往往遇到该层土,若处理不当,易产生坑底涌砂冒水及坑壁管涌、失稳等不良现象,应引起足够的重视.钻孔灌注桩施工至该层时应护壁,防止垮孔引起断桩、缩颈现象.承载力特征值 $f_{ak}=90\sim 130$  kPa,压缩模量 $E_s=6.0\sim 9.0$  MPa.

**3.2.2 砂层(2-2)** 主要分布于长江、汉江一级阶地.根据该层砂土密实度、颗粒组成等物理力学性质,可分为3个基本单元层,分别为粉砂(2-2-1)、粉细砂(2-2-2)及细砂(2-2-3).

**粉砂层(2-2-1):**灰色、稍密,强度一般,压缩性中—高,工程力学性质一般,但埋深相对较浅,且分布不稳定,局部厚度较小,不宜作为拟建高层住宅桩基持力层.承载力特征值 $f_{ak}=110\sim 150$  kPa,压缩模量 $E_s=9.0\sim 13.0$  MPa.

**粉细砂层(2-2-2):**青灰色,中密,强度较高,压缩性中—低,工程力学性质较好,可作为荷载不大的多层建筑的桩基持力层;不宜作为高层建筑的桩基持力层,当高层建筑采用桩筏基础时,可考虑作为桩筏基础中的桩基持力层.承载力特征值 $f_{ak}=150\sim 250$  kPa,压缩模量 $E_s=13.0\sim 23.0$  MPa.

**细砂层(2-2-3):**青灰色,密实,强度高,压缩性低,工程力学性质良好,管桩一般较难穿透该层.可作为荷载不大的建筑物桩基持力层,作为高层建筑的桩基持力层时应验算承载力及沉降是否满足要求,当高层建筑采用桩筏基础时,可考虑作为桩筏基础中的桩基持力层.承载力特征值 $f_{ak}=250\sim 320$  kPa,压缩模量 $E_s=23.0\sim 30.0$  MPa.

**3.2.3 砾卵石层(2-3)** 主要分布于高河漫滩和一级阶地.根据该层砂土颗粒组成,可分为2个基本单元层,分别为中粗砂夹砾石(2-3-1)、砾卵石层(2-3-2).

**中粗砂夹砾石层(2-3-1)**灰色,以中粗砂为主,夹少量砾石,中密—密实状态.在分布较厚且均匀地段可作为多层建筑的桩基持力层使用,分布不均匀地段不宜作为桩基持力层.作为高层建筑持力层时需谨慎,应验算承载力及沉降稳定性.承载力特征值 $f_{ak}=300\sim 400$  kPa,压缩模量 $E_s=18.0\sim 25.0$  MPa.

砾卵石层(2-3-2)灰白色,中密—密实状态,以圆砾为主,含卵石及少量中粗砂.力学性质较好,管桩无法穿透该层,钻孔灌注桩在该层中施工较困难,在分布均匀且厚度较大地段,可考虑作为高层建筑的桩基持力层.承载力特征值 $f_{ak}=350\sim 450$  kPa,压缩模量 $E_0=23.0\sim 28.0$  MPa.

### 3.3 第三单元层(3)

形成于晚更新世( $Q_3$ )的地质体.根据晚更新世地质体的成因、岩石地层单位(岩性组合)、埋深及物理力学性质,可分为青山组(3-1)和下蜀组(3-2)两个亚单元层.

青山组(3-1):由一套黄色细砂夹黏土细砂组成.主要分布于武昌青山矶头山、赵家山、营盘山一带.为末次冰期风积作用形成.结构松散,厚度不均.其工程力学性质极差,承载力特征值 $f_{ak}$ 一般在50 kPa左右.

下蜀组(3-2):分布于晚更新世岗地的表层.根据岩性特征又可划分出3个基本单元层.

砂质黏土(3-2-1):褐黄色,可塑—硬塑状,主要分布于剥蚀堆积垄岗地貌区的顶部.力学性质较好,可作为具有一定荷载的建构筑物的天然地基.但该层具有一定的膨胀性,基坑(槽)开挖过程中应注意做好防排水措施.承载力特征值 $f_{ak}=200\sim 300$  kPa,压缩模量 $E_s=8.5\sim 11.0$  MPa.

黏性土(3-2-2):褐黄色,夹杂灰白色高岭土花斑,含铁锰质薄膜和球状结核.结构密实,硬塑—坚硬状.主要分布于剥蚀堆积垄岗地貌内,位于褐黄色沙质黏土之下,在垄岗顶部常因褐黄色沙质黏土侵蚀而出露地表.力学性质较好,可作为轻型建构筑物的天然地基使用.在该层分布厚度较大且均匀地段可考虑作为高层建筑的天然地基使用,但该层具有一定的膨胀性,基坑开挖过程中应注意做好防排水措施.承载力特征值 $f_{ak}=330\sim 500$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 19.0$  MPa.

夹碎石黏性土(3-2-3):褐黄色,夹杂灰白色高岭土花斑,含有碎石.土层结构密实,呈硬塑—坚硬状态,力学性质好.多分布于基岩剥蚀残丘周围,多为坡积成因.该层碎石含量高时管桩穿透较困难,但该层黏土具有一定的膨胀性,基坑开挖过程中应注意做好防排水措施.承载力特征值 $f_{ak}=400\sim 500$  kPa,压缩模量 $E_s=15.0\sim 20.0$  MPa.

### 3.4 第四单元层(4)

形成于中更新世( $Q_2$ )的地质体.根据岩石地层

单位的划分及物理力学性质,该层可分为2个亚单元层,分别为辛安渡组(4-1)和王家店组(4-2).

**3.4.1 辛安渡组(4-1)** 根据该岩性组成,可分为3个基本单元层,分别为黏性土(4-1-1)、砂土(4-1-2)、砾卵石层(4-1-3).

黏性土(4-1-1):褐黄—棕红色,硬塑状,压缩性低,工程性质良好,可作为具有一定荷载的建构筑物的天然地基使用.荷载较大的建构筑物,经计算满足承载力及变形条件后,可作为拟建建筑天然地基使用.该层具有一定的膨胀性,作为基坑侧壁土时,其自稳性良好,但应注意做好防水措施,防止其软化膨胀变形.承载力特征值 $f_{ak}=300\sim 400$  kPa,压缩模量 $E_s=12.0\sim 16.0$  MPa.

砂土(4-1-2):褐黄色,砂土以粉细—中粗砂为主,中密—密实状;黏粒含量高,黏性强,表现出可塑状态.该层为长江、汉江古河道冲积层,呈条带状分布.该层力学性质较上部老黏土稍差,成为相对软弱下卧层,当以上覆黏性土作为基础持力层时,应对该层进行承载力和沉降验算.承载力特征值 $f_{ak}=250\sim 350$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 21.0$  MPa.

砾石层(4-1-3):灰白色,混黏性土,为长江、汉江古河道冲积层底部,呈中密—密实状态,力学性质好,局部地段埋深大,以该层作为桩基持力层时,工程造价相对较高.承载力特征值 $f_{ak}=320\sim 400$  kPa,压缩模量 $E_s=20.0\sim 26.0$  MPa.

**3.4.2 王家店组(4-2)** 根据该岩层岩土体结构及物理力学性质,可分为2个基本单元层,分别为网纹红土(4-2-1)、网纹化残坡积土(4-2-2).

网纹红土(4-2-1):棕红色,硬塑状,力学性质好,可作为具有一定荷载的建构筑物的天然地基,经计算当承载力和沉降量满足要求后,可作为高层建筑的天然地基.该层具有一定的膨胀性,应做好防水措施,防止其胀缩变形.作为基坑侧壁土层时,自稳性良好,但应做好防水、排水措施.承载力特征值 $f_{ak}=330\sim 450$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 18.0$  MPa.

网纹化残坡积土(4-2-2):主要分布于基岩残丘的周边,表现为红土碎石层,碎石含量多少不一,局部表现为碎石土特征.压缩性低,承载力高,可作为荷载较大的建筑地基使用,高层建筑当验算承载力及沉降量满足要求后,可作为其天然地基使用.管桩在该层施工时有困难.承载力特征值 $f_{ak}=400\sim 500$  kPa,压缩模量 $E_s=15.0\sim 20.0$  MPa.

### 3.5 第五单元层(5)

形成于早更新世( $Q_1$ )的地质体。根据岩石地层单位的划分及物理力学性质,该层可分为2个亚单元层,分别为东西湖组(5-1)和阳逻组(5-2)。

**3.5.1 东西湖组(5-1)** 根据该岩层岩土体结构及物理力学性质,可分为3个基本单元层:黏性土(5-1-1)、粉细砂(5-1-2)、含砾中粗砂(5-1-3)。

黏性土(5-1-1):灰白色、黄色,硬塑状,力学性质好,可作为具有一定荷载的建构筑物的天然地基,经计算当承载力和沉降量满足要求后,可作为高层建筑的天然地基。该层具有一定的膨胀性,应做好防水措施,防止其胀缩变形。作为基坑侧壁土层时,自稳性良好。承载力特征值 $f_{ak}=330\sim 450$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 18.0$  MPa。

粉细砂(5-1-2):灰色、灰黄色,中密—密实,力学性质较好。压缩性低,承载力高,可作为荷载较大的建筑桩基使用。承载力特征值 $f_{ak}=160\sim 240$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 22.0$  MPa。

含砾中粗砂(5-1-3):灰色、灰黄色,中密—密实,力学性质较好。压缩性低,承载力高,可作为荷载较大的建筑桩基使用。承载力特征值 $f_{ak}=250\sim 350$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 21.0$  MPa。

**3.5.2 下更新统阳逻组(5-2)** 根据该岩层岩土体结构及物理力学性质,可分为2个基本单元层,含砾黏性土(5-2-1)、砂砾石层(5-2-2)。

含砾黏性土(5-2-1):棕红色、褐红色,硬塑状,力学性质好,可作为具有一定荷载的建构筑物的天然地基,经计算当承载力和沉降量满足要求后,可作为高层建筑的天然地基。作为基坑侧壁土层时,自稳性良好,但应做好防水、排水措施。承载力特征值 $f_{ak}=330\sim 450$  kPa,压缩模量 $E_s=14.0\sim 18.0$  MPa。

砂砾石层(5-2-2):有棕红色、褐黄色、紫灰色、灰白色,局部夹细砂及粉质黏土。砾石磨圆度好,分选好,有一定排列方向,为冲积、洪冲积成因。力学性质较好,压缩性低,承载力高,可作为荷载较大的建筑地基使用。承载力特征值 $f_{ak}=300\sim 400$  kPa,变形模量 $E_0=20.0\sim 26.0$  MPa。

### 3.6 第六单元层(6)

主要为第四纪时期形成的地质时代不明的残坡积成因的土体。根据其成因的不同和岩性的差异,可分为3个亚单元层,分别为坡积土(6-1)、残积土(6-2)和溶蚀残积红黏土(赭土)(6-3)。

**3.6.1 坡积土(6-1)** 由黏性土混碎石组成,厚度一般为1~3 m,结构松散,土质疏松,压缩性较高,力学性质较差,不宜作为建构筑物的持力层。主要分布于山坡、山麓、冲沟及洼地处。在地势较低处厚度大,地势高处厚度薄。承载力特征值 $f_{ak}=200\sim 300$  kPa,变形模量 $E_0=20.0\sim 28.0$  MPa。

**3.6.2 残积土(6-2)** 为黄褐色、灰褐色含角砾亚砂土、亚黏土。主要分布于山区或丘陵地带平缓处,与下伏基岩风化带呈渐变关系。承载力特征值 $f_{ak}=200\sim 300$  kPa,压缩模量 $E_s=8.0\sim 15.0$  MPa。

**3.6.3 红黏土(赭土)(6-3)** 紫红色、棕红色黏土。该土体分布局限,直接覆盖于碳酸盐岩之上,是由母岩石灰岩、白云岩等化学溶蚀风化残积而成。其特征一般上硬下软,上部呈可塑—硬塑状,下部呈软—流塑状。遇水时容易软化变形,不宜直接作为拟建构筑的基础持力层。

## 4 结论

(1)针对土体工程地质控制因素这一科学问题,基于第四纪地质体各要素对工程地质特性的影响程度分析,通过武汉市都市发展区的第四纪地质调查与工程地质调查的综合研究与实践,提出“地层时代+岩性组合”可作为土体工程地质控制因素。

(2)根据武汉市地质特征及城市建设的需要,将武汉市都市发展区土体工程地质单元体分为3级,即:单元层(1)、亚单元层(1-1)、基本单元层(1-1-1)。提出以“地层时代+岩性组合(岩石地层单位)+岩性层”作为单元体划分依据,即:地层时代、岩性组合(岩石地层单位“组”)和岩性层分别作为单元层、亚单元层和基本单元层划分的主控因素。

(3)将武汉市都市发展区土体工程地质单元划分为:单元层6个、亚单元层14个、基本单元层28个。工程地质单元层与地层时代的对应关系依次为:第一单元层(1)—近现代,第二单元层(2)—全新统,第三单元层(3)—上更新统,第四单元层(4)—中更新统,第五单元层(5)—下更新统,第六单元层(6)—第四纪(未分层)地质体。经武汉都市发展区土体工程地质力学验证,该划分是合理的。

## References

- Bai, D. Y., Li, C. G., 2010. Status of Quaternary Geology Research of Jiangnan Basin. *Geological Science and Technology Information*, 29(6): 1-6(in Chinese with English)

- abstract).
- Fan, S.K., 2006. A Macro-Control Theory of Soil Engineering Geology. *Resources Environment & Engineering*, 20(S1): 585—594(in Chinese with English abstract).
- Gu, D.G., Huang, D.C., 1979. Classification of Rock Mass Structure and Determination of Quality Factor. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2(2): 7—13(in Chinese with English abstract).
- Gu, D.Z., 1963. Geological Structure and Engineering Construction. *Chinese Science Bulletin*, 8(10): 23—29(in Chinese).
- Gu, Y.S., Guan, S., Ma, T., et al., 2018. Quaternary Sedimentary Environment Documented by Borehole Stratigraphical Records in Eastern Jiangnan Basin. *Earth Science*, 43(11): 3989—4000(in Chinese with English abstract).
- Guan, S.Y., Pang, S.D., Long, Z.G., 2007. Review on Environmental and Engineering Geological Problems in Wuhan City. *Journal of Engineering Geology*, 15(Suppl.): 186—190(in Chinese with English abstract).
- Guan, S.Y., Zhu, R., Pang, S.D., et al., 2016. The Study for Engineering Geological Zonation of Metropolitan Development Area in Wuhan. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, (6): 172—176(in Chinese with English abstract).
- Liu, J.X., Yan, C.H., Xu, B.T., 2005. Analysis of Engineering Geology Problem of Sensitive Preferred Stratum for the Foundation of Suzhou-Nantong Bridge. *Geological Review*, 51(6): 719—723(in Chinese with English abstract).
- Luo, G.Y., Liu, S.Y., Yang, W.D., et al., 1992. Analysis of Regional Stability by Theory of Preferred Plane. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 14(6): 10—18(in Chinese with English abstract).
- Luo, G.Y., Wang, P.Q., Cai, Z.Y., et al., 1982. On the Concept of Two Preferred Planes and Its Analysis Methods. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 4(2): 57—66(in Chinese with English abstract).
- Luo, G.Y., Yan, C.H., Li, X.Z., et al., 2002. Engineering Geology in China: Reviews and Projects at the Beginning of the New Century. *Journal of Engineering Geology*, 10(1): 3—9(in Chinese with English abstract).
- Pang, S.D., Xiong, Y.M., Xiao, Y.M., 2005. The Idea of the Engineering Geological Zoning in Wuhan City. *Urban Exploration*, (2): 52—55(in Chinese with English abstract).
- Sun, G.Z., 1992. Mechanics of Rock Mass Structure. *Advance in Earth Sciences*, 7(1): 87—89(in Chinese with English abstract).
- Sun, G.Z., 1993. On the Theory of Structure-Controlled Rock Mass. *Journal of Engineering Geology, First Issue*: 14—18(in Chinese with English abstract).
- Sun, G.Z., Zhang, W.B., 1985. A Commonly-Sighted Rock Mass Structure-Slab-Rent Structure and Its Mechanical Model. *Chinese Journal of Geology*, 20(3): 275—282(in Chinese with English abstract).
- Tang, H.M., 2006. A Review on the Study of Geological Environment and City Development. *Journal of Engineering Geology*, 14(6): 728—733(in Chinese with English abstract).
- Tian, W.X., Mao, X.W., He, R.L., et al., 2011. Progresses in Quaternary System of Wuhan Area in 1:50 000 Regional Geological Survey. *Geology and Mineral Resources of South China*, 27(4): 286—291(in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.Y., Huang, S.B., Zhao, L., et al., 2017. Evolution of Quaternary Sedimentary Environment in Shallow Aquifers, at Shahu Area, Jiangnan Plain. *Earth Science*, 42(5): 751—760(in Chinese with English abstract).
- Yan, C.H., Wu, H.R., Xu, B.T., et al., 2015. Engineering Geological Properties of Different Sedimentary Types of Soft Soils in Eastern China—Take the 4 Typical Types of Soft Soil in Lianyungang, Nanjing, Wujiang and Xuyi Area as Examples. *Geological Review*, 61(3): 561—569(in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Li, C.G., Hu, S.H., et al., 2008. Grain Size Features and Genesis of the Qingshan "Sand-Dune" in Wuhan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(3): 487—493(in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.G., Zhang, Z.Y., Xu, B., et al., 2000. Engineering Geology in China. Science Press, Beijing, 14—33(in Chinese).
- Zheng, J., Yan, C.H., Xia, W.J., et al., 2008. Study on Engineering Geological Characteristics of the Special Soft Soil in Xuyi Area, Jiangsu Province. *Geological Review*, 54(1): 138—134(in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 柏道远, 李长安, 2010. 江汉盆地第四纪地质研究现状. *地质科技情报*, 29(6): 1—6.
- 范士凯, 2006. 土体工程地质的宏观控制论. *资源环境与工程*, 20(S1): 585—594.
- 谷德振, 1963. 地质构造与工程建设. *科学通报*, 8(10): 23—29.
- 谷德振, 黄鼎成, 1979. 岩体结构的分类及其质量系数的确定. *水文地质工程地质*, 6(2): 8—13.
- 顾延生, 管硕, 马腾, 等, 2018. 江汉盆地东部第四纪钻孔地层

- 与沉积环境.地球科学,43(11):3989—4000.
- 官善友,庞设典,龙治国.2007.论武汉市环境工程地质问题.工程地质学报,15(Suppl.):186—190.
- 官善友,朱锐,庞设典,等.2016.武汉都市发展区工程地质分区研究.城市勘测,(6):172—176.
- 刘军熙,阎长虹,许宝田,2005.苏通大桥地基中敏感优势层工程地质问题分析.地质论评,51(6):719—723.
- 罗国煜,刘松玉,杨卫东,等,1992.区域稳定性优势面分析理论与方法.岩土工程学报,14(6):10—18.
- 罗国煜,王培清,蔡钟业,等,1982.论边坡两类优势面的概念及其研究方法.岩土工程学报,4(2):57—66.
- 罗国煜,阎长虹,李晓昭,等,2002.新世纪伊始中国工程地质回顾与展望.工程地质学报,10(1):3—9.
- 庞设典,熊毅明,肖炎明,等,2005.武汉市工程地质分区的构想.城市勘测,(2):52—55.
- 孙广忠,1992.岩体结构力学.地球科学进展,7(1):87—89.
- 孙广忠,1993.论“岩体结构控制论”.工程地质学报,创刊号,14—18.
- 孙广忠,张文彬,1985.一种常见的岩体结构——板裂结构及其力学模型.地质科学,20(3):275—282.
- 唐辉明,2006.地质环境与城市发展研究综述.工程地质学报,14(6):728—733.
- 田望学,毛新武,何仁亮等.2011.武汉地区1:5万区调第四系研究进展.华南地质与矿产,4(4):286—291.
- 王妍妍,黄爽兵,赵龙,等,2017.江汉平原沙湖地区浅层含水层第四纪沉积环境演化.地球科学,42(5):751—760.
- 阎长虹,吴焕然,许宝田,等,2015.不同成因软土工程地质特性研究——以连云港、南京、吴江、盱眙等地四种典型软土为例.地质论评,61(3):561—569.
- 杨勇,李长安,胡思辉,等,2008.武汉青山“砂山”粒度特征及其成因指示.沉积学报,26(3):487—493.
- 张咸恭,张倬元,许兵,等,2000.中国工程地质学.北京:科学出版社,14—33.
- 郑军,阎长虹,夏文俊,等,2008.江苏盱眙特殊软土的工程地质特性研究.地质论评,54(1):138—134.