

# 杭州第四纪标准地层划分及应用

王林军, 刘雪梅, 叶向前

(杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 针对城市工程建设和智慧城市三维地质建模地层归一化处理问题, 通过建立杭州第四纪地层划分标准和统一编号, 为不同勘察单位资料利用和技术交流协作创造便利条件。以杭州市城市地质勘察数据汇交工作为基础, 对于杭州第四纪地层按沉积时代、沉积环境、沉积顺序及物理力学性质进行标准地层科学细致的划分及编号。本文标准地层划分已充分考虑了不同沉积环境下地层, 并应用于杭州市地质数据汇交及三维地质建模工作中, 实践证明本标准地层划分方法和编号具有专业性和实用性。研究成果可为城市地下空间规划、岩土工程勘察与设计、城市地质三维建模提供参考。

**关键词:** 标准地层; 第四纪; 地层编号; 归一化; 三维地质建模

中图分类号: TU44

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0153-08

## Stratification standard and application of the Quaternary stratum in Hangzhou

WANG Lin-jun, LIU Xue-mei, YE Xiang-qian

(Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

**Abstract:** Regarding normalization of stratum in three-dimensional geological modeling for urban engineering construction and smart city, this study establishes a stratigraphic classification standard and unified numbering system for the Quaternary strata in Hangzhou to facilitate geological data utilization and technical collaboration among different geological units. Based on the submitted geological survey data for urban areas in Hangzhou, the Quaternary strata in Hangzhou are scientifically classified and numbered according to the depositional age, depositional environment, depositional sequence and physical and mechanical properties. The standard stratigraphic division in this paper has fully considered the strata in different sedimentary environments, and has been applied to the geological data collection and three-dimensional geological modeling work in Hangzhou. The practice has proved that the standard stratigraphic division method and number are professional and practical. The research results are to provide a reference for urban underground space planning, geotechnical engineering survey and design and 3D geological modeling in urban areas.

**Key words:** standard stratum; Quaternary; stratum numbering; normalization; 3D geological modeling

## 0 引言

随着城市化进程不断加快, 城市建设对于地下空间开发的需求越来越高, 同时随着近年来“智慧城市”概念的不断推进, 对于城市地下空间三维建模的需求越来越多。为了满足日益增多的地铁或高架快速路等长线路项目的工程需要<sup>[1]</sup>, 同时促进数字城市等大面积地质三维建模的工作开展, 对于城市地层的标准划分已成为了一个迫在眉睫的问题。

标准地层主要服务于工程设计、施工和地质灾害防治等项目, 城市标准地层划分需根据城市地层的成因和工程力学特性进行分类, 形成相应的标准地层编号和特征描述<sup>[2]</sup>, 可为城市地下空间规划、地质勘察、工程设计和地质灾害防治提供统一的参考和指导。

杭州市作为全国数字城市第一城, 城市信息模型(CIM)正在全面建设中, 城市三维地质模型已基本完成。本文将杭州城市三维地质建模的实际

运用和总结为基础,结合地质数据库的钻孔资料,并根据杭州第四纪土层的不同成因、地质分区及沉积特点,对杭州第四纪地层进行工程地质标准地层划分及标准层号编码。

## 1 第四纪地层概况

### 1.1 地形地貌

杭州位于浙江省东北部,钱塘江下游,市域范围地处浙西中山丘陵区 and 浙北平原区交接地带。杭州地形总体呈现西高东低的特征,中西部丘陵区以侵蚀构造褶皱中山、低山及丘陵为主,大致分为中山-深谷、低山丘陵-宽谷和河谷平原3种地貌形态,区域主干山脉有天目山和龙门山等。东部属于堆积平原区,主要有冲积平原、冲海积平原和湖沼积平原3种类型,地势低平,河塘、湖泊密布。杭州市区域水系主要为太湖水系和钱塘江水系,域内主要河流为钱塘江、东苕溪和京杭大运河,其中东苕溪和京杭大运河属于太湖水系。钱塘江及其支流均属于钱塘江水系,钱塘江江道从区域西南向东“之”字形横穿而过。

### 1.2 区域地质构造

杭州位于扬子板块和华夏板块的交界区域,域内发育多条构造带,以东北向最为发育。域内最为主要的断裂为萧山-球川断裂、马金-乌镇断裂、昌化-普陀断裂、孝丰-三门湾断裂,其中萧山-球川断裂和马金-乌镇断裂为北东走向,昌化-普陀断裂为东西走向,孝丰-三门湾断裂为北西走向。域内断裂构造活动对地形地貌起了控制性作用,其中钱塘江江道发育主要受萧山-球川断裂控制,丘陵区与平原区分界线主要受孝丰-三门湾断裂控制。

### 1.3 第四纪地层沉积特征

杭州第四纪地层主要分布在山麓谷地的剥蚀堆积区和堆积平原区。第四纪地层分布的厚度主要受构造运动、基岩面、古地理环境的影响。根据一些专家学者的研究,第四纪以来域内构造运动微弱,构造运动对区域第四纪地层沉积影响小。区域前第四纪古地貌在上新世末-早更新世初,区域总体处于剥蚀夷平状态,区域西北为由马金-乌镇断裂及发育其上的南苕溪所分隔的天目山山地,东南为被萧山-球川断裂分隔的龙门山山地。而北西向的孝丰-三门湾断裂则把各级山地划分为两部分,西南部稳定抬升,东北部逐渐下沉,形成南西向北

东倾斜的大致平坦的基岩面,构成了区域前第四纪古地形<sup>[2]</sup>。由于古气候的变化,区域第四纪以来共受到3次海侵影响,分别是王店海侵、杭州海侵和富阳海侵,由于海进-海退造成海平面的变化,导致域内堆积平原区第四纪地层具有陆相-海相-陆相的沉积旋回<sup>[3]</sup>,自下而上大致发育5个完整或不完整的沉积旋回<sup>[4]</sup>。

根据古地理和古气候变化,对于区域第四纪地层沉积历史由老至新分述如下<sup>[1-4]</sup>:

(1) 早更新世( $Q_1$ ): 该时期海平面较低,域内仍然处于剥蚀阶段,受到区域断裂的影响,域内控制第四纪地层沉积的主要水系古钱塘江和古苕溪已发育并形成,并下切侵蚀形成河谷凹槽。该期间域内基岩出露,局部存在坡洪积黏性土或碎石土分布。

(2) 中更新世( $Q_2$ ): 距今73万年前后,古气候由寒冷干燥转为温暖湿润,继而发生大规模海侵,标志着中更新世的到来。中更新世早期( $Q_2^1$ )初,域内气候进入温暖期,海平面上升,但海侵(上海海侵)未影响至本区域,区域地层主要以山前坡洪积或冲洪积黏性土或含黏性土碎石为主。至中更新世早期( $Q_2^1$ )末,区域气候转至寒冷期,海平面后移,前期坡洪积地层因暴露地表发生强烈的红土化作用变为红棕色黏性土,并发育灰白色蠕虫状网纹构造。

中更新世晚期( $Q_2^2$ )初,区域气候再一次变暖,海侵(嘉定海侵)仍未影响本区域,由于海平面上升,河流侵蚀能力减弱,沿古钱塘江和古苕溪河床冲洪积形成砂砾层。中更新世晚期( $Q_2^2$ )末,进入寒冷期,海平面下降,河床大规模收缩,局部沉积河湖相黏性土层,域内该层呈透镜体状分布。

(3) 晚更新世( $Q_3$ ): 距今18.2万年前后,本区域受琵琶湖C古地磁倒转影响,古气候发生2次周期性变化,导致域内2次大规模海侵影响。晚更新世早期( $Q_3^1$ )初,进入温暖期,海平面急剧上升,形成影响本区域的第一次海侵(王店海侵),海水沿古钱塘江河谷向上侵入,浅海相沉积褐灰色黏性土层。同时由于温暖湿润的环境,古钱塘江和古苕溪河流发育成熟,河谷宽度进一步拓宽,河流相冲积形成大片砂砾层充填河谷区域。晚更新世早期( $Q_3^1$ )末,进入寒冷期,海平面下降,区域形成古河床、河间漫滩组成的冲积平原和古湖泊沉积形成的冲湖积平原,地层长期暴露地面并氧化,形成灰黄色、褐黄色的黏性土层。同时山麓丘陵谷地区域

坡洪积形成含砂黏性土或黏土混碎石。

晚更新世晚期 ( $Q_3^2$ ) 初, 区域内再次进入温暖期, 进入影响本区域的第二次海侵期 (杭州海侵), 杭州海侵中间有短暂海退 (距今 3.7~3.4 万年) 影响, 可分为 2 阶段。第一次杭州海侵时间短, 海侵范围小, 区域内海侵区域沉积灰色软黏土, 其他区域主要为河湖相沉积黏性土。由于海平面上升, 古钱塘江和古苕溪河床后移, 沉积冲洪积砂砾层, 局部夹黏性土。第二次杭州海侵影响范围广, 区域平原区基本位于海平面以下, 受浅海相沉积, 主要为灰色或褐灰色软土。晚更新世晚期 ( $Q_3^2$ ) 末, 再次进入寒冷期, 海平面退出区域范围, 区域形成了河湖相和海陆交互沉积地层, 多为褐黄色硬黏性土。该时期古平原区河道发育, 侵蚀严重。

(4) 全新世 ( $Q_4$ ): 冰后期全球气温转暖, 海平面急剧上升至历史高位, 海水沿古钱塘江和古苕溪侵入, 直至富阳一线, 形成本区域第三次海侵 (富阳海侵)。距今 8 000 年左右, 气候发生短暂波动, 海平面略有下降, 将富阳海侵分为 2 段。全新世早期 ( $Q_4^1$ ), 为富阳海侵早期, 本区域大部分平原受浅海相沉积灰色淤泥质土层。而后气候变冷, 海平面下降, 区域沉积转为河湖相为主, 受暴露氧化影响, 主要为褐黄色硬黏性土。全新世中期 ( $Q_4^2$ ), 距今 7 500 年前后进入大西洋期, 区域海侵达到全盛期, 海侵至富阳一线, 区域内除山麓丘陵区, 基本均受滨海相、海湾相沉积, 主要为淤泥质土或淤泥质土夹粉土, 具层理。全新世中晚期 ( $Q_4^{2+3}$ ), 区域气候转凉, 海平面略有下降, 区域内主要以河湖积和冲海积沉积为主, 古钱塘江及古苕溪河道影响范围沉积粉土和粉砂土, 其余区域河湖相沉积浅灰黄色粉质黏土或黏质粉土, 形成区域内的“硬壳层”。全新世晚期 ( $Q_4^3$ ), 海平面略有上升, 钱塘江河口沙堤形成, 杭州东部钱塘江河口冲积平原形成, 钱塘江河床和江滩沉积砂质粉土或黏质粉土, 杭州西部低洼区形成泻湖, 湖沼积形成浅表下高含水量、高孔隙比的淤泥土。同期在山麓谷地区, 河谷谷地沉积砂砾土。

## 2 第四纪标准地层划分及编号

### 2.1 划分原则及方法

#### (1) 划分原则

杭州第四纪标准地层划分是以杭州市城市地质勘察数据汇交成果中的地质钻孔资料为基础, 结

合杭州区域第四纪地层研究的相关成果, 同时兼顾历年以来区域主要勘察设计单位常用的地层划分习惯和编号原则, 以现行国家及地区相关规范中的土层定名、分类标准等规定为依据进行划分<sup>[5-6]</sup>。

#### (2) 划分方法

a) 土层定名及分类标准按照国标《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)<sup>[7]</sup> 和浙江省标准《工程建设岩土工程勘察规范》(DB 33/T 1065—2019)<sup>[8]</sup> 执行;

b) 土层层序划分是在综合区域内大量钻孔资料的基础上, 以地层地质时代和成因为主, 同时以土层物理力学特性为辅进行划分;

c) 区域第四纪地层分为平原区沉积相和山地丘陵区沉积相, 平原区以冲积、冲海积、冲湖积、海积和湖沼积沉积地层为主, 山地丘陵区以坡洪积和冲洪积地层为主;

d) 根据区域第四纪地层沉积特征分析, 区域内第四纪地层按照地层时代成因初步划分为 26 个层组, 分别为 ml  $Q_4^3$ 、al-m  $Q_4^3$ 、al-l  $Q_4^3$ 、m  $Q_4^3$ 、al  $Q_4^3$ 、al-m  $Q_4^2$ 、m  $Q_4^2$ 、al-l  $Q_4^1$ 、m  $Q_4^1$ 、al-l  $Q_3^{2-2}$ 、m  $Q_3^{2-2}$ 、al-l  $Q_3^{2-1}$ 、m  $Q_3^{2-1}$ 、pl-al  $Q_3$ 、al-l  $Q_3^1$ 、m  $Q_3^1$ 、dl-pl  $Q_3^1$ 、al  $Q_3^1$ 、m  $Q_2^2$ 、al-l  $Q_2^2$ 、al-pl  $Q_2^2$ 、pl-al  $Q_2$ 、dl-pl  $Q_2$ 、pl-al  $Q_1$ 、dl-pl  $Q_1$ 、el-dl  $Q_1$ , 层组可作为主层编号的依据, 亚层可按照成因进一步细化;

e) 杭州第四纪标准地层按照地质时代从新到老编号, 主层号采用带圈的阿拉伯数字表示 (如: ①、②、③.....), 主层号编号同时考虑方便工程实际使用和易于记忆比较的原则, 偶数编号多为相对软弱土层, 主要为海相沉积软土或近现代沉积土层, 奇数编号主要为河湖相沉积或山麓谷地坡洪积形成的相对硬土层, 根据杭州第四纪地层沉积旋回特点, 同一地质时代划分为一组相对软土层和相对硬土层的组合。亚层编号采用主层号下标阿拉伯数字表示 (如: ①<sub>1</sub>、①<sub>2</sub>.....), 亚层编号主要考虑地质成因、土层定名、物理力学性质等。根据区域钻孔地层资料分析整理, 区域共分为 17 个主层编号, 97 个亚层编号。

### 2.2 杭州第四纪标准地层

根据上述杭州第四纪标准地层划分原则, 结合杭州市域范围大量地质钻孔数据地层分析, 形成下列杭州第四纪标准地层一览表, 按照时代成因、标准土层编号、土层名称、主要特征及主要分布范围描述如下:

表1 杭州第四纪标准地层一览表

Table 1 List of Quaternary standard strata in Hangzhou

时代成因	标准土层编号	土层名称	主要特征描述	主要分布范围
ml Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	① <sub>1</sub>	杂填土	褐灰色或杂色, 松散状, 成分杂乱	大部分建成区
	① <sub>2</sub>	素填土	黄灰色、灰色, 松散-稍密状, 以黏性土或粉性土为主, 夹杂少量碎石	建成区
	① <sub>3</sub>	淤泥质填土	灰色、灰黑色, 松软状, 富含有机质	零星分布
	① <sub>4</sub>	吹填土	灰黄色、灰色, 水力吹填而成	钱塘江两侧吹填区
	① <sub>5</sub>	浜土	灰色、灰黑色, 松软状, 富含有机质, 有臭味	暗塘、暗浜区
al-m Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>1</sub>	黏质粉土	灰黄色、灰色, 松散-稍密状	钱塘江河床及江滩
	② <sub>2</sub>	砂质粉土	灰黄色、灰色, 松散-稍密状	
al-m Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>11</sub>	黏质粉土	灰黄色、褐黄色, 稍密状, 含氧化铁斑块	冲海积平原表部, 大部分市区范围
	② <sub>12</sub>	砂质粉土	灰黄色、褐黄色, 稍密状, 含氧化铁斑块	
	② <sub>2</sub>	粉质黏土	灰黄色、黄灰色, 软塑-软可塑, 与② <sub>1</sub> 层相变存在	
m Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>31</sub>	黏土	浅黄灰色、浅灰色, 软塑, 局部流塑状, 多分布在④层顶部	城北、城西平原区域
	② <sub>32</sub>	粉质黏土	浅黄灰色、浅灰色, 软塑, 局部流塑状, 多分布在④层顶部	
al-m Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>33</sub>	黏质粉土	浅灰黄色、灰色, 稍密状, 局部松散状	城东钱塘江两侧近现代江滩区域
	② <sub>34</sub>	砂质粉土	浅灰黄色、灰色, 稍密状, 局部松散状	
al Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>41</sub>	圆砾	黄灰色、杂色, 松散-稍密状	城西、城西南山麓谷地区域
	② <sub>42</sub>	卵石	黄灰色、杂色, 松散-稍密状	
al Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	② <sub>5</sub>	块石	杂色, 主要为江堤建筑石材和抛石	钱塘江古海塘沿线
al-m Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	③ <sub>11</sub>	黏质粉土	灰黄色, 松散-稍密, 具有轻微液化可能	城东、城南平原区域
	③ <sub>12</sub>	砂质粉土	灰黄色, 松散-稍密, 具有轻微液化可能	
al-m Q <sub>4</sub> <sup>2</sup>	③ <sub>21</sub>	黏质粉土	灰黄色、灰色, 稍密状	城东、城南平原区域
	③ <sub>22</sub>	砂质粉土	灰黄色、灰色, 稍密状	
	③ <sub>3</sub>	粉砂	灰色, 稍密-中密状, 夹砂质粉土	
	③ <sub>41</sub>	黏质粉土	灰色, 稍密状, 夹黏土团块, 性质偏差	
	③ <sub>42</sub>	砂质粉土	灰色, 稍密状, 性质偏差, 具有液化可能	
	③ <sub>5</sub>	粉砂夹砂质粉土	灰黄色、灰绿色, 稍密-中密状	
	③ <sub>6</sub>	粉砂	灰黄色、灰绿色, 中密状	
	③ <sub>7</sub>	黏质粉土夹淤泥质土	灰色, 稍密状, 夹薄层淤泥质土	
	③ <sub>8</sub>	粉砂	灰色, 中密状	
m Q <sub>4</sub> <sup>2</sup>	④ <sub>1</sub>	淤泥质黏土	深灰色、灰色, 流塑, 局部为淤泥	城西、城北平原区域
	④ <sub>2</sub>	淤泥质粉质黏土	灰色, 流塑, 局部夹粉土薄层	
	④ <sub>3</sub>	砂质粉土	灰色, 稍密, 局部夹淤泥质土薄层	
al-l Q <sub>4</sub> <sup>1</sup>	⑤ <sub>11</sub>	黏土	褐黄色、浅黄绿色, 可塑-硬塑	城西、城北平原区域
	⑤ <sub>12</sub>	粉质黏土	褐黄色、浅黄绿色, 可塑-硬塑	
	⑤ <sub>2</sub>	黏土与粉土互层	褐黄色、灰黄色, 可塑状, 具有明显层理, 典型“千层状土”	
	⑤ <sub>3</sub>	砂质粉土	褐黄色、灰黄色, 稍密状, 局部夹黏土薄层	

时代成因	标准土层编号	土层名称	主要特征描述	主要分布范围
m Q <sub>4</sub> <sup>1</sup>	⑥ <sub>1</sub>	淤泥质黏土	灰色, 流塑, 含较多植物残体	城东、城南、城北平原区域
	⑥ <sub>2</sub>	淤泥质粉质黏土	灰色, 流塑, 局部夹多层 1~2 mm 厚粉土薄层, 含较多植物残体	
	⑥ <sub>3</sub>	粉土夹粉砂	灰色, 稍密, 局部夹淤泥质土薄层或团块	
	⑥ <sub>4</sub>	粉质黏土	灰色, 软塑	
al-l Q <sub>3</sub> <sup>2-2</sup>	⑦ <sub>11</sub>	黏土	褐黄色, 可塑-硬塑, 含氧化铁	城东、城西、城北平原区域
	⑦ <sub>12</sub>	粉质黏土	褐黄色、浅黄绿色, 可塑-硬塑, 含氧化铁	
	⑦ <sub>2</sub>	粉质黏土夹粉土	褐黄色、浅黄绿色, 可塑-硬塑, 局部夹粉细砂薄层	
	⑦ <sub>3</sub>	粉细砂	灰黄色, 中密状, 局部为含砾中砂	
m Q <sub>3</sub> <sup>2-2</sup>	⑧ <sub>1</sub>	黏土	深灰色, 软塑-流塑状, 局部为淤泥质黏土	城东、城南、城北平原区域
	⑧ <sub>2</sub>	粉质黏土	灰色、灰褐色, 软塑状, 底部多贝壳、牡蛎层	
	⑧ <sub>3</sub>	粉质黏土夹粉砂	灰色、褐灰色, 软塑, 含云母屑	
al-l Q <sub>3</sub> <sup>2-1</sup>	⑨ <sub>11</sub>	黏土	杂色, 多褐黄色、灰青色, 可塑-硬塑状	城东、城西、城北平原区域
	⑨ <sub>12</sub>	粉质黏土	杂色, 多褐黄色、灰青色, 可塑-硬塑状	
	⑨ <sub>2</sub>	含砂粉质黏土	灰黄、褐黄色, 可塑状, 多为粉细砂颗粒	
pl-al Q <sub>3</sub>	⑨ <sub>31</sub>	粉细砂	灰黄色, 中密, 局部夹黏性土团块	城西、城西南山麓谷地区
	⑨ <sub>32</sub>	含砾中砂	灰黄色, 中密	
	⑨ <sub>41</sub>	砾砂	灰黄色, 中密	
	⑨ <sub>42</sub>	圆砾	灰黄色, 中密-密实	
m Q <sub>3</sub> <sup>2-1</sup>	⑩ <sub>11</sub>	黏土	灰色、灰褐色, 软塑-软可塑状, 含少量植物残体, 局部近淤泥质黏土	城东、城南平原区域
	⑩ <sub>12</sub>	粉质黏土	灰色、灰褐色, 软塑-软可塑状, 含少量植物残体	
	⑩ <sub>2</sub>	含砂粉质黏土	灰色、灰褐色, 软塑-软可塑状, 含少量植物残体	
al-l Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>	⑪ <sub>11</sub>	黏土	灰绿色、褐黄色, 可塑-硬塑	城东、城西、城北平原区域
	⑪ <sub>12</sub>	粉质黏土	灰绿色、褐黄色, 可塑-硬塑	
	⑪ <sub>13</sub>	含砂粉质黏土	灰绿色、褐黄色, 可塑-硬塑	
m Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>	⑪ <sub>21</sub>	黏土	灰色, 可塑, 以软可塑为主	城东、城南平原区域
	⑪ <sub>22</sub>	粉质黏土	灰色, 可塑, 以软可塑为主	
	⑪ <sub>23</sub>	含砂粉质黏土	灰色, 可塑, 以软可塑为主	
dl-pl Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>	⑪ <sub>31</sub>	含碎石黏性土	灰黄、褐黄色, 分选性差, 碎石呈棱角-次棱角状	城西、城西南山麓谷地区
	⑪ <sub>32</sub>	黏土混碎石	灰黄、褐黄色, 分选性差, 碎石呈棱角-次棱角状	
	⑪ <sub>33</sub>	碎石混黏土	灰黄、褐黄色, 分选性差, 碎石呈棱角-次棱角状	
al Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>	⑫ <sub>1</sub>	粉细砂	浅灰色, 中密, 局部夹少量粉质黏土层	城东、城西、城南平原区域
	⑫ <sub>2</sub>	中砂	浅灰色, 中密, 局部呈含砾粉细砂	
	⑫ <sub>3</sub>	砾砂	浅灰色, 中密-密实状	
	⑫ <sub>31</sub>	粉质黏土	浅灰色、灰黄色, 软塑-可塑状, 局部含砂, 为⑫ <sub>3</sub> 层中透镜体夹层	
	⑫ <sub>4</sub>	圆砾	浅灰色、灰黄色, 中密-密实	
	⑫ <sub>41</sub>	粉质黏土	浅灰色、灰黄色, 软塑-可塑状, 局部含砂, 为⑫ <sub>4</sub> 层中透镜体夹层	
	⑫ <sub>42</sub>	粉细砂	浅灰色、灰黄色, 中密状, 为⑫ <sub>4</sub> 层中透镜体夹层	
	⑫ <sub>5</sub>	卵石	杂色, 很湿, 中密-密实	

时代成因	标准土层编号	土层名称	主要特征描述	主要分布范围
m Q <sub>3</sub> <sup>1</sup>	⑬ <sub>11</sub>	黏土	灰色, 软塑-可塑状	城东、城南平原区域
	⑬ <sub>12</sub>	粉质黏土	灰色, 软塑-可塑状	
	⑬ <sub>2</sub>	含砂粉质黏土	灰色, 软塑-可塑状	
al-l Q <sub>2</sub> <sup>2</sup>	⑬ <sub>31</sub>	黏土	灰黄色, 可塑-硬塑	城东、城南平原区域
	⑬ <sub>32</sub>	粉质黏土	灰黄色, 可塑-硬塑	
al-pl Q <sub>2</sub> <sup>2</sup>	⑭ <sub>1</sub>	粉细砂	灰色、灰黄色, 中密状, 局部为含黏粉砂	城东、城南平原区域
	⑭ <sub>2</sub>	中砂	浅灰黄色, 中密状, 含云母、腐植物及贝壳屑	
	⑭ <sub>3</sub>	砾砂	灰黄色, 中密-密实状	
	⑭ <sub>4</sub>	圆砾	杂色, 中密-密实状	
	⑭ <sub>41</sub>	粉质黏土	浅灰色、灰黄色, 软塑-可塑状, 局部含砂, 为⑭ <sub>4</sub> 层中透镜体夹层	
	⑭ <sub>42</sub>	粉细砂	浅灰色、灰黄色, 中密状, 为⑭ <sub>4</sub> 层中透镜体夹层	
pl-al Q <sub>2</sub>	⑭ <sub>5</sub>	卵石	杂色, 饱和, 中密-密实	城西、城西南丘陵山地区域
	⑮ <sub>11</sub>	黏土	棕红色, 硬塑状, 具白色网纹状构造, 含少量角砾或碎石	
dl-pl Q <sub>2</sub>	⑮ <sub>12</sub>	粉质黏土	棕红色, 硬塑状, 具白色网纹状构造, 含少量角砾或碎石	城西、城西南丘陵山地区域
	⑮ <sub>2</sub>	含黏性土碎石	棕红色、褐黄色, 密实, 碎石分选性差, 风化强烈, 黏性土充填	
pl-al Q <sub>1</sub>	⑯ <sub>11</sub>	黏土	杂色、砖红、灰黄色为主, 可塑-硬塑	城西、城西南丘陵山地区域
	⑯ <sub>12</sub>	粉质黏土	杂色、砖红、灰黄色为主, 可塑-硬塑	
dl-pl Q <sub>1</sub>	⑯ <sub>2</sub>	含黏性土卵砾石	棕黄、灰黄色, 密实, 自稳性较好, 透水性差	
el-dl Q	⑰ <sub>1</sub>	含砾粉质黏土	褐黄色、棕红色, 可塑至硬塑, 含 10%~20%角砾或亚圆形砾	城西、城西南丘陵山地区域
	⑰ <sub>21</sub>	黏土混碎石(角砾)	褐黄色、棕红色, 砾石成分与母岩一致, 风化强烈, 呈棱角、次棱角状, 无分选	
	⑰ <sub>22</sub>	碎石(角砾)混黏土	褐黄色、棕红色, 砾石成分与母岩一致, 风化强烈, 呈棱角、次棱角状, 无分选	
	⑰ <sub>23</sub>	含黏性土碎石(角砾)	褐黄色、棕红色, 砾石成分与母岩一致, 风化强烈, 呈棱角、次棱角状, 无分选	

### 3 第四纪标准地层应用

第四纪标准地层划分和统一编号的应用对于城市地下空间规划、岩土工程勘察、岩土工程设计及城市三维地质建模均有重要的意义。

标准地层划分可为城市地下空间规划提供地质风险评估的基础, 帮助规划人员了解地下空间所处地层的构造和特征, 为城市地下空间规划提供开发评估的依据, 评估地质灾害风险和工程力学特性等地质因素的影响, 从而制定合理的规划方案。

标准地层划分及统一编号可帮助岩土工程师更为全面地了解区域内地层沉积历史和成因, 可更

好地理解工程中所遇到地层的各项参数的关联性, 帮助岩土工程师按照标准地层划分进行分类和整理, 从而得出准确的地质和工程特性数据, 为工程设计提供可靠的依据。近年来城市建设发展迅速, 轨道交通和高架快速路等长线路工程建设需求越来越多, 长线路工程勘察经常分为多个标段, 由不同勘察单位实施, 采用标准地层划分项目沿线地层, 可更好地衔接各标段之间的地层, 协调各单位的岩土工程参数, 更好地服务工程建设。

岩土工程设计是在岩土工程勘察的基础上进行的, 标准地层划分和统一编号为岩土工程勘察提供统一的数据编码体系, 也可为不同岩土工程勘察

团队和设计单位提供统一的数据交流标准。标准地层使勘察数据得以按照一定的规则和标准进行分类和整理, 使得勘察数据得以更方便地共享和交流, 帮助设计人员更好地了解勘察数据, 提高设计的准确性和可靠性。

随着“数字城市”的建设, 城市三维地质建模工作日趋重要。城市三维地质建模需要整理大量的存量地质勘察数据和地质资料, 由于这些地质勘察数据和地质资料为多年各个行业不同地质单位完成, 其数据格式具有多样性。杭州地区地质条件较复杂, 不同区域的沉积环境不同, 土层的沉积厚度和性质也不同。在不同时期的不同地质工作者对杭州地区地层划分认识不一致, 同一地层在不同时期、不同区域的资料中命名不一致, 另外不同单位对于土层的编号方式也不统一。故在城市三维地质建模过程中, 最为重要的工作为对不同地质资料中的地层归一化处理。城市三维地质建模涉及范围广, 地层归一化处理需要一套标准的地层划分方法和统一的地层编号。标准地层编号可为城市三维地质建模提供统一的数据管理标准和规则, 使得数据管理得以更加简单和规范, 避免了因为数据命名不一致而导致的数据混乱和误解, 同时也便于数据的维护和更新。故第四纪标准地层划分和统一编号是城市三维地质建模工作最为重要的支撑资料。

## 4 结 论

(1) 依据杭州区域地貌和地质构造情况分析, 从地貌上将区域分为平原区沉积相和山地丘陵区沉积相, 平原区以冲积、冲海积、冲湖积、海积和湖沼积沉积地层为主, 山地丘陵区以坡洪积和冲洪积地层为主。

(2) 通过对于杭州第四纪地层沉积历史和特点的分析, 并结合区域内大量钻孔地层数据的整理, 按照地层的地质时代成因, 杭州第四纪地层可分为 28 个层组。

(3) 杭州第四纪标准地层按照地质时代从新到老编号, 区域共分为 17 个主层编号, 97 个亚层编号, 并形成了“杭州第四纪标准地层一览表”。

(4) 本文标准地层划分已充分考虑了不同沉积环境下地层, 并应用于杭州市地质数据汇交及三维地质建模工作中, 实践证明本标准地层划分方法和编号具有专业性和实用性。杭州第四纪地层沉积较为复杂, 局部微沉积环境多变, 标准地层划分和统一编号不免有一定局限性, 随着资料积累和全域

地层资料归一化工作的不断深入, 将进一步完善本地区的标准地层编号和划分。

## 参考文献

- [1] 全霄金, 程爱华, 樊祐传. 济南市市区标准地层划分研究[J]. 城市勘测, 2016(2): 165-171.  
TONG Xiao-jin, CHENG Ai-hua, FAN Hu-chuan. Study of standard stratum division in Jinan urban area[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2016(2): 165-171.
- [2] 李峰, 徐坤, 丁运涛, 等. 徐州市第四纪标准地层划分研究[J]. 能源与环保, 2019, 41(12): 75-87.  
LI Feng, XU Kun, DING Yun-tao, et al. Study on division of Quaternary standard strata in Xuzhou City[J]. China Energy and Environmental Protection, 2019, 41(12): 75-87.
- [3] 王建华, 周洋, 郑卓, 等. 杭州湾晚第四纪沉积与古环境演变[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 551-558.  
WANG Jian-hua, ZHOU Yang, ZHENG Zhuo, et al. Late Quaternary sediments and paleoenvironmental evolution in Hangzhou Bay[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 551-558.
- [4] 林春明. 杭州湾地区 15 000 a 以来层序地层学初步研究[J]. 地质论评, 1997, 43(3): 273-280.  
LIN Chun-ming. Sequence stratigraphic study on the Hangzhou Bay since 15 000 a B.P.[J]. Geological Review, 1997, 43(3): 273-280.
- [5] 陆鹏垠. 杭州市第四系沉积结构与空间展布规律研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.  
LU Peng-yin. The research of sedimentary structure and spatial distribution of the Quaternary System of Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [6] 林春明, 黄志城, 朱嗣昭. 杭州湾沿岸平原晚第四纪沉积特征和沉积过程[J]. 地质学报, 1999, 73(2): 120-130.  
LIN Chun-ming, HUANG Zhi-cheng, ZHU Si-zhao. Late Quaternary sedimentary characteristics and processes in the Hangzhou Bay coastal plain[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2): 120-130.
- [7] 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for Investigation of Geotechnical Engineering: GB 50021 — 2001[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.

- [8] 浙江省住房和城乡建设厅. 工程建设岩土工程勘察规范: DB 33/T 1065—2019[S]. 杭州: 浙江省住房建设厅标准设计站, 2019.  
Department of Housing and Urban-Rural Development of Zhejiang Province. Engineering Construction Code for Investigation of Geotechnical Engineering: DB 33/T 1065—2019[S]. Hangzhou: Zhejiang Provincial Housing Construction Department Standard Design Station, 2019.



(上接第 152 页)

- KONG Ling-zhi, FANG Yong-hua, ZHANG Shun-zhong, et al. Geotechnical engineering investigation report of Xixi Wetland station-Xiwen section air shaft 3 section of Hangzhou Airport Rail Express Project (detailed investigation stage)[R]. Hangzhou: Zhejiang Engineering Survey Institute, 2020.
- [11] 吴孟杰. 浙江省杭州市区域水文地质调查报告[R]. 杭州: 浙江省地质环境监测总站, 1999.
- WU Meng-jie. Regional hydrogeological survey report of Hangzhou, Zhejiang Province[R]. Hangzhou: Zhejiang Geological Environmental Monitoring Station, 1999.
- [12] 供水水文地质手册编写组. 供水水文地质手册[M]. 第三册. 北京: 地质出版社, 1983: 4-6.  
Compilation Group of Handbook of Water Supply Hydrogeology. Handbook of Water Supply Hydrogeology[M]. Third Volume. Beijing: Geology Press, 1983: 4-6.