

## 济南市黄河北岸浅层地下水对膨润土泥浆性能的影响与试验改进

李兴辉

济南黄河路桥建设集团有限公司, 山东 济南 250000

**[摘要]**在城市地下工程建设过程中,地连墙可以作为止水挡土支撑结构、基坑围护结构,甚至可以直接进行“两墙合一”作为地下主体结构,其用途越来越广泛,对地连墙的稳定性和质量要求也越来越高。泥浆护壁作为地连墙施工过程中从开槽到混凝土完全浇筑的关键步骤,直接影响地连墙的最终质量。在某项目土建时期施工围护结构地下连续墙过程中,出现了连续2天3幅地连墙泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块,产生大量的膨润土絮凝、水土分离现象,导致混凝土浇筑严重欠方。对此,我们经过现场水质、土质调查,对比试验,并结合现场实际施工情况综合分析得出以下结论:(1)在粉砂质、粉土地层中进行地连墙施工时,钢筋笼入槽后到混凝土浇筑间隔时间越长,膨润土泥浆性能越差,越容易发生絮凝、水土分离、膨润土颗粒集结成块并沉底的现象;用水质较差的水体拌制的膨润土泥浆静置时间不宜过长;静止不动的膨润土泥浆比循环流动的膨润土泥浆更容易发生水土分离、膨润土颗粒集结并沉底的现象;(2)济南市天桥区黄河北部区域的浅层地下水呈现酸性,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 离子和硫酸盐含量较高,硬度较大,不适用于制作地连墙、钻孔灌注桩等护壁用的膨润土泥浆;(3)工程区附近地表湖水可以用来制作地连墙护壁用的膨润土泥浆,但如果在混凝土浇筑前槽内的泥浆放置时间过长则必须让泥浆流动循环起来,以确保泥浆悬浊液长时间稳定。针对研究结论,并结合施工实际情况,对后续在该地区和类似该地区地质、水文条件下进行的地下连续墙施工提出了一些建议。

**[关键词]**穿黄隧道;地连墙;膨润土泥浆;浅层地下水

DOI: 10.33142/aem.v5i11.10292

中图分类号: P69

文献标识码: A

## Influence of Shallow Groundwater on the Performance of Bentonite Slurry on the North Bank of the Yellow River in Ji'nan City and Experimental Improvement

LI Xinghui

Ji'nan Huanghe Luqiao Construction Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

**Abstract:** In the process of urban underground engineering construction, the diaphragm wall can be used as a water stop and soil retaining support structure, a foundation pit enclosure structure, or even directly used as an underground main structure through "two walls in one". Its use is becoming increasingly widespread, and the stability and quality requirements for the diaphragm wall are also increasing. Mud wall protection, as a key step in the construction process of the diaphragm wall from slotting to complete pouring of concrete, directly affects the final quality of the diaphragm wall. During the construction of the underground continuous wall of the retaining structure during the civil engineering period of the construction project, there were three consecutive days where the slurry of the underground continuous wall seriously sank to the bottom, and a large amount of bentonite agglomerated into blocks in the later stage of pouring, resulting in a large amount of bentonite flocculation and water and soil separation, leading to serious inadequate concrete pouring. We have conducted on-site water quality and soil quality investigations, conducted comparative tests, and comprehensively analyzed the actual construction situation on site to draw the following conclusions: (1) When constructing diaphragm walls in sandy and silty soil formations, the longer the interval between the steel reinforcement cage entering the groove and the concrete pouring, the worse the performance of the bentonite slurry, and the more likely it is to experience flocculation, water and soil separation, and the aggregation of bentonite particles into blocks and sinking to the bottom; The settling time of bentonite slurry mixed with water with poor water quality should not be too long; Static bentonite slurry is more prone to water and soil separation, aggregation of bentonite particles, and sedimentation than circulating bentonite slurry; (2) The shallow groundwater in the northern area of the Yellow River in Tianqiao District, Ji'nan City is acidic, with high levels of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ions, and sulfates, and high hardness. It is not suitable for bentonite slurry used in the production of retaining walls such as diaphragm walls and bored piles; (3) The surface lake water near the engineering area can be used to make bentonite slurry for the retaining wall of the diaphragm wall. However, if the slurry is left in the groove for too long before concrete pouring, it must be allowed to flow and circulate to ensure the long-term stability of the slurry suspension. Based on the research conclusions and combined with the actual construction situation, some suggestions are proposed for the subsequent construction of underground continuous walls in this area and similar geological and hydrological conditions.

**Keywords:** tunnel through the yellow river; ground to wall; bentonite slurry; shallow groundwater

## 1 绪论

### 1.1 研究背景、目的与意义

#### 1.1.1 研究背景

济南市某穿黄隧道工程位于济南市天桥区,是一条在建的盾构下穿黄河和黄河沉砂池的公路隧道。在工程土建时期施工围护结构地下连续墙过程中,出现了连续2天3幅地连墙泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块,产生大量的膨润土絮凝<sup>[1]</sup>、水土分离并导致混凝土浇筑严重欠方的现象。对以后基坑开挖风险和地连墙渗水留下重大隐患。

为避免后续地下连续墙出现类似情况,确保后续基坑降排水、基坑支护、开挖等工作安全进行,我们通过调制不同溶剂、不同浓度的膨润土护壁泥浆进行现场试验、对比分析,并结合现场施工情况,最终快速、准确地发现了造成泥浆变质的原因,解决了泥浆问题,保证后续地连墙保质保量进行施工。

#### 1.1.2 研究目的和意义

对于地下连续墙成槽、钻孔灌注桩钻孔等施工工艺,泥浆对槽壁(孔壁)的静压力和泥浆在槽壁(孔壁)上形成的泥皮可以有效地防止槽壁(孔壁)坍塌<sup>[2]</sup>,除此之外,泥浆还具有携渣作用<sup>[3]</sup>,具有一定黏度的泥浆可以携同槽内和孔内的泥渣一起排出,带走大量的细微沙土,有利于后续混凝土浇筑。泥浆还可以做施工机具的润滑和冷却剂,在冲洗机具的同时,也可以冷却机具。如果地连墙泥浆质量在施工中出现问题将直接影响护壁效果、携渣效果以及混凝土浇筑质量,严重者或导致重大质量隐患,引起重大安全质量事故。

为了保证地连墙施工质量,我们通过试验和实际施工情况对该工程地连墙所使用的泥浆及时调整,更换水源、调整配比,顺利改善了泥浆质量,消除了类似的质量隐患,保障了后续的地连墙顺利施工。为类似地质情况下的工程建设提供基础参考和理论资料。

### 1.2 研究内容

本次研究主要针对某工程黄河北岸机架段和工作井围护结构——地下连续墙施工中出现的泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块,发生水土分离,导致混凝土浇筑欠方的现象,研究内容主要有:(1)粉砂质、粉土质地层地下连续墙施工过程中,从钢筋笼入槽完成到混凝土浇筑时间间隔长短对膨润土护壁泥浆质量的影响;(2)工程区附近不同水体对膨润土泥浆悬浊液产生絮凝效果、导致膨润土大量沉底效果的影响情况;(3)施工中如何避免泥浆中的膨润土颗粒集结成块,泥浆发生水土分离而影响施工质量;(4)对后续类似地质情况、水质情况进行工程建设中的泥浆护壁工艺提供参考意见和建议。

## 2 研究区基本概况

### 2.1 自然地理概况

#### 2.1.1 地理位置与交通

项目工程隧道北岸盾构井设置于黄河沉砂池以北约300m处,位于天桥区龙湖湿地西南角的南范村和王家镇村交界地。

#### 2.1.2 气象条件

济南位于暖温带气候区,属大陆性季风气候。由于季风影响,该区冬冷夏热明显、四季雨量不均,其主要特点是:春季风多干燥,夏季炎热多雨,秋季天高气爽,冬季干冷期长。<sup>[4]</sup>济南年平均气温约13.9℃,月平均气温约27.5℃。冬季最冷月一般为1月份,平均气温约-1.7℃,夏季炎热,夏季平均温度在26℃左右。

济南多年平均降水量约623mm,7月~9月份降水集中,12月至翌年3月较少,年最大降水量1194.5mm(1962年),最小340mm(1989年)。夏季降水量全市各县区平均都在400mm以上。<sup>[5]</sup>南部山区多年平均降水量大于北部平原区。济南地区累年月平均蒸发量一月份最小61.1mm,六月份最大为340.3mm,年平均蒸发量约2263.0mm。由于年内降水与蒸发极不均匀,造成春旱、夏涝、晚秋易旱,旱涝交替的气候特点。

#### 2.1.3 水文条件

(1)地表水。济南市域内河流主要有黄河、玉符河、北沙河、小清河、大寺河及徒骇河等,湖泊水库主要为大明湖、鹊山水库、澄波湖、南水北调东湖水系及白云湖等,工程区地表水系分布情况见图1<sup>[6]</sup>。

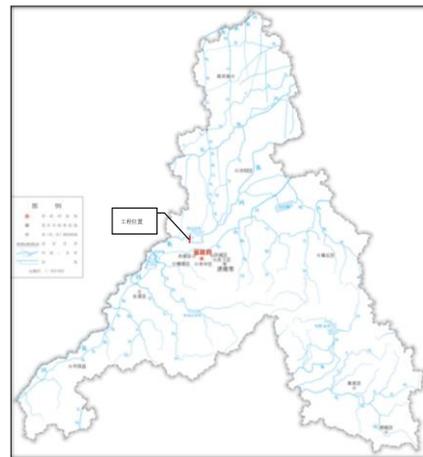


图1 工程区地表水系分布图

工程区地表水主要为黄河河水、鹊山水库、龙湖水库及黄河北岸南范村北至线路终点段分布较多的鱼塘、水塘,及局部低洼地段地表水。

(2)地下水。场地内地下水类型主要为松散岩类孔隙水,按特征可分为潜水含水层和承压水含水层两类,其中与本工程建设密切相关的含水层为潜水含水层和第⑥层、第⑥1层承压水含水层。

### 2.2 工程地质情况

#### 2.2.1 地形地貌

场地地貌单元属黄河冲洪积平原与山前冲洪积倾斜平原叠交地带,局部微地貌单元系黄河河床,原始地形较平坦。<sup>[7]</sup>受黄河淤积及人工填筑的作用,形成中间高,南北两侧低的地形,河漫滩地面标高27.5m~29.0m,黄河

大堤堤顶标高约 32.8m~36.7m, 堤坝外侧地面标高约 23.0m~25.0m。工程区原为农田耕地与人工鱼塘, 地面标高为 23m~24m, 后因工程需要用杂填土进行场地回填, 回填后标高为 26m。

### 2.2.2 地层情况

勘察结果显示, 施工区地层共分 11 层, 主要为第四系人工填土和全新统、上更新统冲积粉质黏土、粉土、砂层、钙质结核、胶结砂层, 基岩为中生代燕山期晚期侵入岩灰长岩。工程区地质情况:

根据勘察资料及现场施工取样, 工程区地层主要是粉土、黏土、粉质黏土、中砂等, 从上至下地层如下:

①素填土、②黏土、③1 粉土、③2 黏土、③粉质黏土、③2 黏土、③粉质黏土、③2 黏土、④1 黏土、④粉质黏土、⑤粉质黏土、⑥粉砂、⑥1 中砂、⑦粉质黏土、⑦2 黏土、⑦粉质黏土、⑧2 粉质黏土混姜石、⑧粉质黏土、⑧1 黏土、⑧粉质黏土、⑨粉质黏土、⑨3 粉质黏土混姜石、⑨粉质黏土、⑨1 黏土、⑨粉质黏土、⑨2 中砂、⑨粉质黏土、⑩钙质黏土。

本工程地下连续墙主要穿越杂填土层、黏土层、粉质黏土、粉土、粉砂、中砂、粉质黏土混姜石; 地下连续墙在粉砂层中成槽难度较大, 故护壁泥浆配比及制备主要针对粉砂地层。

### 2.2.3 水文地质情况

隧道工程场地共分布两种地下水类型, 分别为第四系松散堆积物孔隙潜水和基岩裂(孔)隙承压水。(1)第四系松散堆积物孔隙潜水: 主要赋存于上部粉土、粉质黏土中, 富水性较差。主要接受大气降水的垂直补给和地表水体侧渗补给, 以自然蒸发为主要排泄途径。潜水与地表水的水力联系密切, 丰水期的地下水由地表水补给, 枯水期地表水则由地下水补给。岩土勘察结果显示, 潜水稳定埋深一般为 1.0~1.2m, 其绝对标高一般为 22.31~22.81m。(2)基岩裂(孔)隙承压水: 主要赋存于粉砂、中砂中, 富水性较好, 补给来源有上部松散土层下渗补给、承压水之间联通补给、越流补给及地下径流补给, 其排泄方式主要是人工开采, 其次是对下部含水层的越流补给及侧向径流排泄。其间钻探孔内测得的承压水水位埋深一般为 1.0~1.3m, 其绝对标高一般为 22.65~22.88m, 地下水位年变化幅度 2.0~3.0m。

在工程建设初期, 泥浆制备采用 110m 深地下井水进行拌制, 前 19 幅地连墙在施工过程中泥浆指标、施工条件、混凝土浇筑质量等与第 20/21/22 幅地连墙都一样, 但是未出现异常。第 20/21/22 连续 3 幅地连墙在浇筑过程中出现泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块, 发生水土分离, 导致混凝土浇筑欠方现象。后续在经过试验和现场实际施工中, 不断尝试改变参数、使用不同水体进行拌制, 解决了泥浆问题, 为后续的地连墙施工质量提供了重要保障。

3 地连墙浇筑中泥浆质量控制及施工中出现的问题分析

### 3.1 泥浆质量控制

根据本工程特点及地质条件, 地下连续墙主要穿越杂填土层、黏土层、粉质黏土、粉土、粉砂、中砂、粉质黏土混姜石; 根据现场地层情况和以往类似地层泥浆配制经验<sup>[8]</sup>, 地下连续墙在粉砂层中成槽难度较大, 故护壁泥浆配比及制备主要针对粉砂地层。地下连续墙施工成槽采用优质泥浆护壁, 泥浆组成采用膨润土泥浆, 加入增黏剂(羧甲基纤维素(CMC), 又称人造浆糊)<sup>[9]</sup>、纯碱等辅助材料, 严格按照规范要求、地质情况及前期造浆试验值进行泥浆配比, 本工程配制泥浆性能指标见表 1~表 2。

表 1 泥浆制备材料配比详情表

材料名称	水	膨润土(商品陶土)	外加剂(CMC)	纯碱
配合比	1000kg	80kg	0.3~0.5kg	3~5kg

表 2 泥浆指标性能表

实验项目	新拌泥浆		循环泥浆		废弃泥浆		试验方法
	粘性土	砂性土	粘性土	砂性土	粘性土	砂性土	
比重(g/cm <sup>3</sup> )	1.05~1.1	1.05~1.1	<1.1	<1.15	>1.25	>1.35	比重计
粘度(s)	20~24	25~30	<25	<35	>50	>60	漏斗计
含砂率(%)	<3	<4	<4	<7	>8	>11	洗砂瓶
PH 值	8~9	8~9	>8	>8	>14	>14	pH 试纸

注\*: 泥浆配合比在施工中应根据材料的性能, 土质情况实际予以调整。

#### 3.1.1 泥浆制备

泥浆制备设备包括储料斗螺旋输送机、磅秤、定量水箱、泥浆搅拌机、药剂贮液桶等。搅拌前先做好药剂配制, 纯碱液配制浓度为 1:10~1:5, CMC 液对高黏度泥浆的配制浓度为 1.5%。搅拌时先将水加至 1/3, 再把 CMC 缓慢撒入, 用软轴搅拌器将大块 CMC 搅拌成小颗粒, 继续加水搅拌。配制好的 CMC 液静置 6h 后方可使用。泥浆搅拌前先加水加至搅拌筒 1/3 后开动搅拌机, 在定量水箱不断加水同时, 加入膨润土、纯碱液, 搅拌 3min 后, 加入 CMC 液继续搅拌。搅拌好的泥浆应静置 24h 后使用。

#### 3.1.2 泥浆检测和控制要求

新制泥浆在搅拌机中取样, 经水化溶胀 24 小时后测定比重和漏斗黏度; 在主孔正常抓进时, 对循环浆进行比重、漏斗黏度和含砂量进行不同深度多次取样测试。在成槽过程中, 每进尺一定深度或者每隔固定时间段测定一次泥浆的相对密度和黏度。

挖槽结束及刷壁完成后分别取槽内上、中、下三段泥浆进行密度、黏度、含砂率和 PH 值测定, 以该测定值作为控制指标。

清槽结束前及浇筑混凝土前须各测试一次相对密度、

黏度、含砂率和 PH 值，且两次均应取槽底以上 200mm 处的泥浆进行测试。所测指标应符合规范和设计要求。

施工中泥浆输送设备选用离心泥浆泵配 5 寸钢管或胶管，由泥浆池将新鲜泥浆（在泥浆池中存放 24 小时以上的泥浆）输送到开槽现场。施工中不合格的泥浆可输送至废弃泥浆池。

施工中必须严格按照规定用符合规定的原材料和添加剂进行泥浆的制备，严格按照检测制度进行检测，在使用过程中应尽量避免泥浆受到污染。

### 3.2 施工中出现的問題及初步分析

#### 3.2.1 施工中出现的問題

在本工程地下连续墙施工中，第 20/21/22 幅地连墙所使用的泥浆与前 19 幅地连墙使用的泥浆一致，其水源均取自工地自有水井（深度约 110 米），膨润土、CMC、工业火碱全为同一厂家、同一批号。新制的泥浆指标符合规范要求，放置时间均超过了 24 小时，混凝土浇筑前实测泥浆指标均符合要求。前 19 幅地连墙未出现异常，第 20/21/22 幅地连墙在浇筑时出现严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块，产生大量的膨润土絮凝、水土分离现象、导致混凝土浇筑严重欠方，尤其是第 20 幅地连墙在浇筑完成后，槽内涌出大量膨润土絮凝团（如图 2、3 所示），导致此幅地连墙严重欠方。槽幅中间部位可以探测到混凝土液面，靠近型钢两边约 15cm 范围探测不到混凝土液面，而是黏度极高的膨润土，表明槽段两侧泥浆未被混凝土顶举上来，而是附着在型钢两侧随着混凝土浇筑持续进行沉淀。



图 2 第 20 幅混凝土浇筑后期出现大量膨润土絮凝物质



图 3 第 22 幅混凝土浇筑后期槽段内涌出大量膨润土絮凝物质

在施工过程中，经过现场实测，泥浆各项性能（比重、

漏斗黏度、含沙量、PH 值）均符合规定指标，新制泥浆、施工实测泥浆性能如表 3：

表 3 现场实测泥浆性能表

槽段	实验项目	新拌泥浆	循环泥浆	槽内泥浆（浇筑前）	试验方法
第 20 幅	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.09	1	1.1	比重计
	黏度 (s)	27	28	29	漏斗计
	含砂率 (%)	0.5	1.5	2.5	洗砂瓶
	PH 值	9	9	9	pH 试纸
第 21 幅	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.07	1.09	1.11	比重计
	黏度 (s)	28	28	31	漏斗计
	含砂率 (%)	1	1	1.5	洗砂瓶
	PH 值	9	9	9	pH 试纸
第 22 幅	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.09	1.1	1.12	比重计
	黏度 (s)	29	29	30	漏斗计
	含砂率 (%)	1	1	2	洗砂瓶
	PH 值	8	9	9	pH 试纸

#### 3.2.2 問題初步分析

依据本工程地质情况，在施工中包括制备新浆、开挖成槽、清孔换浆等各个阶段的泥浆性能均符合指标要求，表明所用泥浆为优质泥浆。前 19 幅地连墙未出现异常，而第 20 幅、21 幅、22 幅相继出现不良状况，初步怀疑为地下水水质发生变化，导致浇筑时泥浆出现问题。在抽取地下水过程中，工地自有井下部优质水被不断抽走，导致周边高位劣质地下水补充到井中，使用劣质水拌制的泥浆在存放一段时间后发生絮凝，膨润土颗粒产生集结，形成块状，沉积在型钢两侧，导致混凝土欠方，影响地连墙质量。

以第 20 幅地连墙为例，地连墙槽宽 1.2m，幅宽 5.7m，槽深 55.9m，原则上每 39 方混凝土液面上升 5.7m。但是，根据混凝土浇筑曲线分析（图 4），在第 20 幅地连墙混凝土浇筑过程中，前 118 方混凝土浇筑后，设计量与实际量出入比较小，而其后第 7、8 车 39 方浇筑后，混凝土液面上升 7 米；第 9、10 车混凝土 39 方浇筑完成后，液面上升 9 米。用测绳进行液面深度测量时，发现测绳到底后，测绳一端的钢筋头不下沉，手感较坚硬，拉测绳明显感觉有吸附感，说明不是混凝土液面，而是膨润土沉淀物。此现象说明在浇筑第 7~10 车混凝土过程中，泥浆中的膨润土颗粒由于某些原因集结成块而迅速沉底与混凝土混合后，底部混凝土无法将集结的膨润土举升上来，只能将膨润土沉淀物向两侧挤压至型钢侧和槽段中间部位，导致液面迅速升高。

同时，也发现泥浆池中的泥浆出现了絮凝和水土分离的现象。所以初步怀疑是制备用水的问题，就此进行了对比试验和现场水质、土质调查。

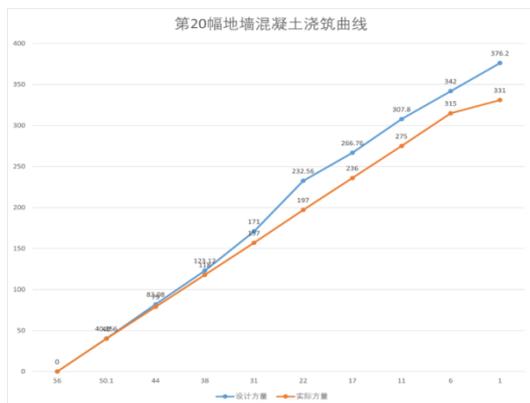


图4 第20幅墙浇筑曲线图

## 4 试验情况及结论

### 4.1 试验情况及结果

#### 4.1.1 泥浆放置时间对泥浆悬浊液产生絮凝效果的影响

在地连墙施工过程中,影响膨润土泥浆质量的因素有很多,包括施工区地层情况、水文情况,泥浆原料、配比、水质、制备时间、静置时间、搅拌是否均匀等。施工中必须时刻注意泥浆的制备和使用时的泥浆性能,以及各个工序之间的衔接,一般要求钢筋笼下放完成后必须在4小时内进行混凝土浇筑,避免出现成槽后长时间不浇筑情况。本工程第20幅地连墙在钢筋笼下放完成至开始浇筑混凝土时间间隔将近12个小时;第21幅地连墙在钢筋笼下放完成至开始浇筑混凝土时间间隔将近13个小时;第22幅地连墙在钢筋下放完成至开始浇筑混凝土时间间隔将近8个小时。钢筋笼入槽完成后的浇筑结果显示,第20幅地连墙欠方 $28.5\text{m}^3$ ,混凝土充盈系数为92.07%;第21幅地连墙欠方 $16.5\text{m}^3$ ,混凝土充盈系数为95.5%;第22幅地连墙欠方 $8.5\text{m}^3$ ,混凝土充盈系数为97.15%。

在后续施工中,我们采取措施,加速各个工序之间的衔接,缩短钢筋笼入槽至混凝土浇筑的时间,并且采用槽内泥浆循环防止沉底的措施,从而大大改善了混凝土浇筑质量。结果显示,后续的地连墙浇筑中没有出现混凝土大量欠方现象。说明在地连墙施工过程中,泥浆放置时间越久,泥浆性能越差、越容易产生絮凝、膨润土集结成块并沉底的情况。

#### 4.1.2 泥浆对比试验结果分析

在本工程第20幅地连墙出现上述情况后,我们控制原料、配比、水质等变量,进行了10多次泥浆试验,发现水质问题后,针对不同水质(项目自有井水、湖水、净化水)进行了对比试验,试验中的材料配比如表4。

表4 现场试验泥浆制备材料配比详情表

材料名称	水	膨润土(商品陶土)	纯碱
试验配合比	0.5kg	20g	1.25g

经过充分搅拌和摇晃后的泥浆放置一段时间后,出现的试验结果如下表5:

表5 静置时间与泥浆水土分离量占比表

静置时间 水土分离量占比	静置时间				
	1小时	2小时	3小时	4小时	18小时
净化水	1%	3%	5%	5%	
湖水	5%	10%	12%	15%	
井水	20%	30%	38%	45%	
再次摇匀静置后					
净化水	1%	1%	1%	2%	5%
湖水	8%	12%	12%	12%	25%
井水	25%	40%	40%	42%	60%

\*注:水土分离量占比为泥浆发生水土分层后,上层清水与液体总体积的比值。

对比实验结果显示:(1)用净化水拌制的泥浆,经过长时间静置后仅出现略微的水土分离;(2)用湖水拌制的泥浆在静置后,前2个小时内泥水分量占比就会稳定在15%左右,二次摇晃后的泥浆前2个小时泥水分量占比达到12%,后能够长时间保持稳定;(3)用井水拌制的泥浆,膨润土颗粒在前4个小时内大量沉淀,水土分离量占比超过40%,二次摇晃后,在2个小时内膨润土颗粒迅速集结沉淀,水土分离量占比迅速超过40%,观察可看到明显的水土互层现象。图5~8为试验中不同静置时间下,膨润土泥浆水土分离的情况。泥浆对比试验结果表明,工程区浅层地下水所制作的泥浆会在短时间内发生膨润土颗粒集结沉底现象,影响膨润土护壁、携渣等性能,也不利于进行水下混凝土浇筑,故不适用于膨润土泥浆的制作。



图5 初始时间泥浆状态



图6 静置4小时后泥浆状态



图7 二次摇匀,静置2小时后泥浆状态图



图8 二次摇匀,静置18小时后泥浆状态

#### 4.1.3 实际施工中不同水质对膨润土泥浆的影响

经现场踏勘和采样检测,工程区土质为中性盐渍土,用试纸检测其PH为7;取样测试自有井水PH为6(pH试纸),酸性水中和了膨润土泥浆液中的碱性,大大降低了泥浆的性能。经过水质检测发现工程区井水中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$

离子和硫酸盐含量较高,水质硬度较高(具体检测结果见附录1、附录2),影响泥浆性能。

施工过程中,前19幅地连墙未出现问题,而第20/21/22幅地连墙出现问题,且试验也证明工程区的地下水在深层水消耗一定时间后,浅层地下水进行补给至井中的水不适用于制作膨润土泥浆。经过对比试验验证、现场水质检测和实际施工情况充分说明工程区深层地下水(100米以下的地下水)可以用于制作膨润土泥浆,而浅层地下水(100米以内的地下水)不适用制作膨润土泥浆。

#### 4.1.4 工程区周边其他水体对泥浆性能的影响及泥浆制备用水的改进

在对比实验中,我们用工程区东南方向距离3km处的井水拌制泥浆,发现该地井水拌制的泥浆在拌制12小时内会迅速产生泥水分离,膨润土颗粒全部沉底,多次摇晃后也会在短时间内沉底。进一步证明了济南市天桥区黄河北岸浅层地下水不适用于制作膨润土泥浆。

检测工程区附近湖水PH为7呈中性,用湖水拌制的泥浆在短时间内不会发生絮凝、沉底等现象,但是长时间放置(大约36小时)会出现一定的水土分离,摇晃后又会长时间保持稳定的悬浊液状态。表明济南市天桥区黄河北岸浅层地下水不适用于制作膨润土泥浆,地表湖水可以用于制作膨润土泥浆,但是不能长时间静置。

后续施工中,本工程采用湖水拌制膨润土泥浆,严格把控从地连墙开槽至浇筑混凝土时间和工序衔接,在钢筋笼入槽完成后对槽内泥浆进行循环,防止其发生水土分离。后续地连墙在浇筑过程中未出现泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块,产生膨润土絮凝、水土分离,混凝土浇筑大量欠方的现象。实际施工表明,湖水拌制的膨润土泥浆在不断循环过程中,不会发生显著絮凝和水土分离现象,可以用来制作地连墙护壁的膨润土泥浆。

### 5 结论

在建隧道工程北岸工程区位于济南市天桥区南范村与王家镇村的交界地带,在项目土建时期施工围护结构地下连续墙过程中,出现了连续2天3幅地连墙泥浆严重沉底、浇筑后期大量膨润土集结成块,产生大量的膨润土絮凝、水土分离现象、导致混凝土浇筑严重欠方。经过对现场泥浆原料检查、性能测试、调制和使用以及前19幅地连墙实际施工情况反应泥浆在前期未出现异常现象。第20~22幅地连墙出现此情况后,对场区内的土质、水质等进行了现场试验测试、对比研究并通过实际施工综合分析得出以下结论:(1)在粉砂质、粉土质地层中进行地连墙施工时,钢筋笼入槽后到混凝土浇筑间隔时间越长,膨润土泥浆性能越差,越容易发生絮凝、水土分离、膨润土颗粒集结成块并沉底的现象;用水质较差的水体拌制的膨润土泥浆静置时间不宜过长;静止不动的膨润土泥浆比循环流动的膨润土泥浆更容易发生水土分离、膨润土颗粒集结并沉底的现象;(2)济南市天桥区黄河北部区域的浅层地下水呈现酸

性,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 离子和硫酸盐含量较高,硬度较大,不适用于制作地连墙、钻孔灌注桩等护壁用的膨润土泥浆;(3)工程区附近地表湖水可以用来制作地连墙护壁用的膨润土泥浆,但如果在混凝土浇筑前槽内的泥浆放置时间过长则必须让泥浆流动循环起来,以确保泥浆悬浊液长时间稳定。

### 6 建议

在城市地下工程建设过程中,地连墙可以作为止水挡土支撑结构、基坑围护结构,甚至可以直接进行“两墙合一”作为地下主体结构,其用途越来越广泛,对地连墙的稳定性和质量要求也越来越高。泥浆护壁作为地连墙施工过程中从开槽至混凝土完全浇筑的关键步骤,直接影响地连墙的最终质量。在施工过程中,对于泥浆质量的把控极为重要,优质的水源是保障泥浆质量的重要因素,结合本文论述的结论和实际施工情况,针对今后济南市天桥区或类似地质、水质情况的地下工程建设中的护壁泥浆拌制提出以下建议,为施工中泥浆使用和出现问题后的处理方法提供参考。(1)在地连墙、钻孔灌注桩等施工中,护壁泥浆的原料、配比、性能必须经过现场多次调试、检测、试验后方可投入施工;(2)地连墙、钻孔灌注桩等需要进行泥浆护壁的施工工艺,必须严格把控施工工序的衔接,钢筋笼入槽后至混凝土浇筑间隔时间不宜过长,建议不超过4小时;(3)济南市天桥区黄河北岸附近的浅层地下水PH呈酸性,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 离子含量和硫酸盐含量较高,不适用于制作膨润土泥浆,建议尽量避免直接使用或进行水质检测、现场试验并进行净化至水质达标后投入使用;(4)建议寻找其他水体(比如湖水)、市政用水或使用净化后的井水进行膨润土泥浆的制备。

#### 【参考文献】

- [1]商灵芝,张凌志.膨润土絮凝剂的制备及其应用[J].化学工程师,2011,25(6):60-62.
- [2]杜金.膨润土泥浆在防止钻孔灌注桩塌孔中的应用[J].建材与装饰,2014(10):224-224.
- [3]黄崑,曹思民.膨润土泥浆在钻孔灌注桩施工中的运用[J].江西建材,2014(15):174-174.
- [4]孙小丽.济南市气候变化特征及城市化的影响研究[D].甘肃:兰州大学,2016.
- [5]于晓晶.济南市南部山区降雨特性分析及雨水利用研究[D].山东:山东建筑大学,2008.
- [6]徐军祥,邢立亭,佟光玉,等.济南泉域地下水环境演化与保护[J].水文地质工程地质,2004,31(6):69-73.
- [7]武羽晓,张中祥,梁凤英,等.济南市地质灾害基本规律与发展态势[J].山东国土资源,2005,21(11):35-38.
- [8]杨嘉齐.大直径盾构穿越黄河粉细砂地层掘进技术研究[D].甘肃:兰州交通大学,2020.
- [9]刘兵,代兴坤,陈尧洋.聚合物泥浆在易液化粉土地层中的应用[J].云南建筑,2018(6):170-176.

作者简介:李兴辉(1997.4—),男,单位名称:济南黄河路桥建设集团有限公司,毕业:青海大学,地质工程专业。