

基桩施工产生的废弃泥浆絮凝脱水后的 土体工程性质研究

张 达 志

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘 要:针对基桩施工产生的废弃泥浆进行脱水处理的常用方法之一,是在其中加入絮凝剂后装入土工袋进行脱水。阐述了针对雄商高铁站前 8 标基桩施工的实际情况,采用土工袋模型试验的方式研究了脱水龄期、絮凝剂种类、土工布种类对脱水后的絮凝土工程性质的影响。研究表明:随着脱水龄期的逐渐增大,絮凝土的含水量迅速减小、密度逐渐增加至逐步稳定,其黏聚力和内摩擦角逐渐增大、强度逐渐增加,与含水率成反比关系、与密度成正比关系;不同类型的土工布对絮凝土的性质影响不大。因此,可以选择强度较大的编织土工布以提高土工袋装泥浆土的整体强度。研究发现:单独投加质量比为 5% 的 CPAM 或组合投加质量比为 3% 的 PAC 和 4% 的 NPAM 获得的絮凝土 28 d 强度相对较高,其工程性质能够较好地满足工程应用要求,对其稍作处理即可用于路基填筑工程中。

关键词:雄商高铁站前 8 标;泥浆;脱水;絮凝剂;土工织物;抗剪强度;工程性质

中图分类号:U215;U215.1;U215.7

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)增 2-0029-06

Study on the Engineering Properties of Soil after Flocculation and Dehydration of Waste Mud in Foundation Pile Construction

ZHANG Dazhi

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: One of the common methods for dehydration of waste mud in foundation pile construction is to dehydrate with geobags after adding flocculant. Combined with the construction of foundation piles of the 8 sections in front of Xiongshang High-speed Railway Station, the geobag model test was used to study the influence of the dehydration age, the type of flocculant and the type of geotextile on the engineering properties of flocculation soil after dehydration. The results show that, with the gradual increase of the age period, the water content of flocculation soil decreases rapidly and the density gradually increases to gradually stabilize, its cohesion and internal friction angle gradually increase, the strength gradually increase, which is inversely proportional relationship to density; different types of geotextile have little influence on the properties of flocculated soil. Therefore, the woven geotextile with higher strength can be selected to increase the overall strength of the mud soil in geobags; The study finds that the 28-day strength of the flocculated soil obtained by adding CPAM with a mass ratio of 5% alone or PAC and 4% NPAM with a mass ratio of 3% and 4% is relatively high, and its engineering properties can better meet the requirements of the engineering application. It can be used in subgrade filling and other projects after a minor treatment.

Key words: The 8 sections in front of Xiongshang High-speed Railway Station; Mud; Dehydration; Flocculant; Geotextile; Shear strength; Engineering properties

1 概 述

泥浆是泥渣与水的混合物。鉴于泥浆中可能含有有害物质,泥浆的沉淀堆积会改变水体的生态环境,进而影响到水生生物的生存和繁衍;长期未处理的泥浆的沉淀堆积会导致水体富营养化,

进而引发藻类过度生长,产生蓝藻等有毒有害物质。因此,必须采取科学合理的措施对泥浆进行处理和利用,以减少其对环境和人体健康的危害。

泥浆通常具有低强度和高压缩性特点。目前,对于泥浆处理最常见的方法之一就是进行脱水固化处理。曾照波^[1]等研究发现:水泥含

收稿日期:2024-06-16

量是影响固化土抗压强度的重要因素。然而, 当水泥含量过高时, 固化土可能会出现干缩现象, 将影响到土体的稳定性和工程性能; 庞峰^[2]等研究了影响絮凝剂提高疏浚泥浆泥水分离效果的因素, 研究结果表明: 聚合氯化铝对高含水率泥浆絮凝脱水具有显著效果; 张伟^[3]等研究并得出絮凝剂具有提高疏浚泥浆泥水分离的性能。研究结果表明: 在含砂量高的泥浆中, 泥浆脱水效果显著; 而在含砂率较低的泥浆中其脱水效果不显著; 邓晓^[4]等在进行了模袋絮凝土在大砂袋围堰中的应用研究后发现: 使用模袋絮凝土修筑的大砂袋围堰更具有安全性和稳定性。研究还发现: 模袋的类型对絮凝土的沉降影响显著, 其比絮凝土种类对沉降的影响更大, 即在大砂袋围堰修筑中选择合适的模袋类型可以显著影响其结构的稳定性和性能表现; 贺佐跃^[5]等在研究了水泥对珠江三角洲地区泥浆抗剪强度参数的影响后, 发现水泥可以有效改善泥浆的力学性能, 使其在一定时间内呈现出更高的抗剪强度, 且随着龄期的延长, 其结合效果逐渐加强, 进而提高了其强度和稳定性。

土的抗剪强度是土的一个重要的力学性质^[6], 目前已有学者开展了对掺加水泥后泥浆土抗剪强度等力学性质发展规律的研究。但对于土

表1 泥浆物理力学性质指标表

试验材料	含水率 /%	固体颗粒体积含量 /%	固体颗粒质量含量 /%	泥浆重度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
泥浆	625.07	9.50	13.80	10.70	1.07

(2) 絮凝剂。笔者对比了多种絮凝剂, 考虑到该泥浆含水率较高及脱水速率等问题^[7], 选用了聚合氯化铝(PAC)、非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)、阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)三种絮凝剂并对其组合进行了试验。根据相关研究质量比为3:1000配置的聚丙烯酰胺溶液和5:100配置的聚合氯化铝溶液是一种适中的配置比例, 在保证絮凝效果的同时, 亦可以有效地控制成本以及避免过度使用带来的问题。试验时分别按照质量比为3:1000、5:100的比例配置了聚丙烯酰胺溶液与聚合氯化铝溶液。

(3) 土工袋。通过对比各种土工布的拉伸强度和有效孔径选取了无纺布和机织土工布, 无纺布的有效孔径为0.15 mm, 其纵向、横向的拉伸

强度分别为20 kN/m、15.8 kN/m; 机织土工布的有效孔径为0.4 mm, 其纵向、横向的拉伸强度分别为103 kN/m、65 kN/m; 将两种土工布缝制成500 mm×500 mm的方形土工袋。缝制成的土工袋见图1。

强度分别为20 kN/m、15.8 kN/m; 机织土工布的有效孔径为0.4 mm, 其纵向、横向的拉伸强度分别为103 kN/m、65 kN/m; 将两种土工布缝制成500 mm×500 mm的方形土工袋。缝制成的土工袋见图1。

(4) 脱水支架。该支架由角钢和3 cm×3 cm的铁丝网组合焊接而成, 其不会影响到土工袋的絮凝脱水速率, 在其下部放置漏斗以方便接絮凝脱水排出的水。试验用脱水支架见图2。

2 土工袋脱水泥浆絮凝试验

2.1 试验材料

(1) 泥浆。笔者以水电五局雄商高铁站前8标基桩施工废弃原状泥浆为研究对象。其泥浆物理力学性质指标见表1。

(2) 絮凝剂。笔者对比了多种絮凝剂, 考虑到该泥浆含水率较高及脱水速率等问题^[7], 选用了聚合氯化铝(PAC)、非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)、阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)三种絮凝剂并对其组合进行了试验。根据相关研究质量比为3:1000配置的聚丙烯酰胺溶液和5:100配置的聚合氯化铝溶液是一种适中的配置比例, 在保证絮凝效果的同时, 亦可以有效地控制成本以及避免过度使用带来的问题。试验时分别按照质量比为3:1000、5:100的比例配置了聚丙烯酰胺溶液与聚合氯化铝溶液。

(3) 土工袋。通过对比各种土工布的拉伸强度和有效孔径选取了无纺布和机织土工布, 无纺布的有效孔径为0.15 mm, 其纵向、横向的拉伸

2.2 试验方案

为了探究每种絮凝剂单独使用或混合使用时的絮凝脱水效果, 笔者提出了几种不同的试验方案。土工袋脱水絮凝泥浆试验方案见表2。



图 1 土工袋照片



图 2 脱水支架照片

表 2 土工袋脱水絮凝泥浆试验方案表

方案	土工织物类型	絮凝剂类型	投加量 / %
1	聚丙烯机织土工布	CPAM	5
2	聚丙烯机织土工布	NPAM	4
3	聚丙烯机织土工布	PAC+CPAM	3+4
4	聚丙烯机织土工布	PAC+NPAM	3+4
5	无纺布	CPAM	5

2.3 试验步骤

根据上述试验方案配置絮凝剂溶液,将絮凝剂溶液与泥浆混合并搅拌均匀;再将搅拌均匀的絮凝泥浆倒入土工袋中进行絮凝脱水,其水分随着泥浆絮凝脱水的进程不断排出,泥浆的絮凝颗粒保留在土工袋中。

3 试验结果分析

由于泥浆本身的性质包括粒径大小、有机质含量、含水率等,这些都会影响到泥浆的絮凝性能;絮凝剂种类^[8]也是影响絮凝效果的重要因素

之一,土工布的种类亦会影响絮凝泥浆的密度和含水率,不同种类的土工布在絮凝泥浆时会产生不同的效果。因此,对泥浆的絮凝处理需要综合考虑泥浆的性质、絮凝剂种类和土工布的选用以达到理想的絮凝效果。絮凝泥浆的密度和含水率^[9]对絮凝土的强度会产生一定的影响。通常情况下,较高的密度和较低的含水率有利于泥浆的固化和强度发挥。

3.1 含水率与密度随龄期的变化

试验时对每一个土工袋中的絮凝泥浆脱水 28 d。其每一个土工袋中的絮凝泥浆含水率变化情况见图 3,泥浆絮凝土密度变化情况见图 4。

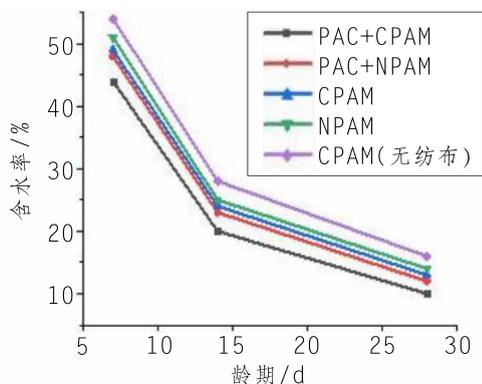


图 3 泥浆絮凝土含水率变化示意图

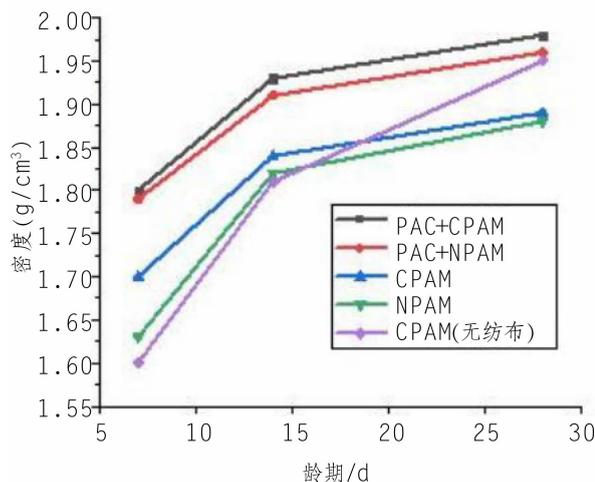


图 4 泥浆絮凝土密度变化示意图

试验结果表明:每一种试验方案中的含水率均随着龄期的增加而降低,其密度随着龄期的增加而增加,且以 PAC+CPAM 方案含水率最低,CPAM(无纺布)方案含水率最高,PAC+CPAM 方案密度最大。将 14 d 作为一个节点,14 d 之前的含水率和密度均比 14 d 后的变化速率快。

3.2 龄期与絮凝剂类型对絮凝脱水后土体强度的影响

对每种方案中的絮凝脱水 7 d、14 d、28 d 的泥浆絮凝土进行了直剪试验。不同工况下泥浆絮凝土抗剪强度指标见表 3,黏聚力随龄期变化趋势见图 5,摩擦角随龄期变化趋势见图 6。

表 3 不同工况下泥浆絮凝土抗剪强度指标表

试验方案	龄期/d	直线拟合	内摩擦角/ $^{\circ}$	黏聚力/kPa
方案一	7	$y=0.125\ 3x+3.132$	7.14	3.13
	14	$y=0.344\ 5x+21.924$	19.00	21.92
	28	$y=0.485\ 5x+42.804$	25.90	42.80
方案二	7	$y=0.117\ 5x+2.088$	6.70	2.09
	14	$y=0.509\ 0x+24.012$	26.98	24.01
	28	$y=0.516\ 8x+32.364$	27.32	32.36
方案三	7	$y=0.101\ 8x+3.130$	8.90	3.13
	14	$y=0.509\ 0x+24.012$	21.10	24.01
	28	$y=0.485\ 5x+43.848$	22.92	43.85
方案四	7	$y=0.131\ 1x+2.610$	7.58	2.61
	14	$y=0.383\ 7x+24.012$	20.20	24.01
	28	$y=0.524\ 6x+41.760$	27.68	41.76
方案五	7	$y=0.117\ 5x+2.088$	5.81	2.09
	14	$y=0.509\ 0x+24.012$	21.38	20.88
	28	$y=0.516\ 8x+32.364$	25.90	43.85

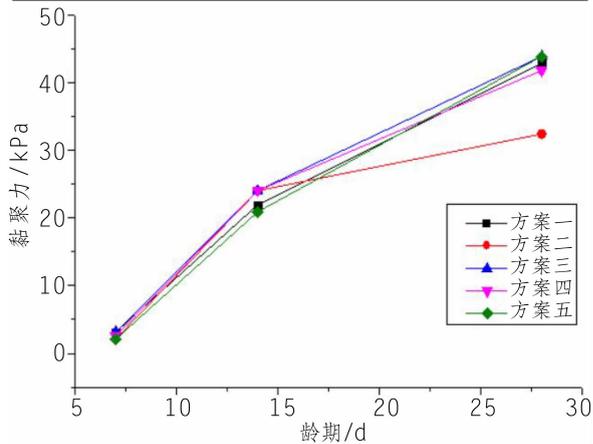


图 5 黏聚力随龄期变化趋势图

从图 5、图 6 中观察到:在每个试验中,泥浆絮凝土的 c 、 φ 与龄期成正相关,随着龄期的增加而增加,抗剪能力提高。在投加絮凝剂后,泥浆中的小颗粒聚集成大颗粒,增强了土壤的结构稳定性;大颗粒逐渐沉降且随着龄期的增加泥浆絮凝土的含水率逐渐降低,而水分的减少使泥浆絮

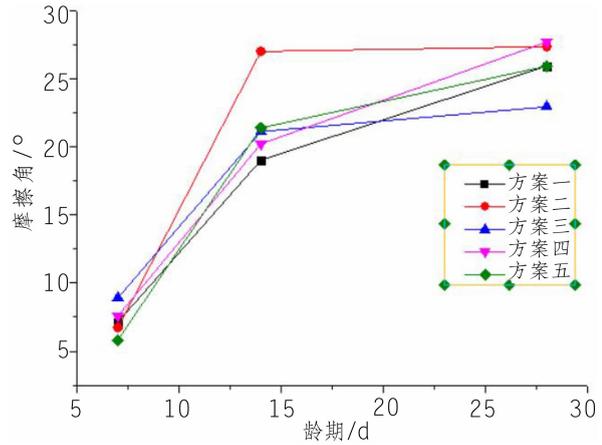


图 6 摩擦角随龄期变化趋势图

凝土中的微小孔隙消失或减小,进而增加了颗粒间的接触面,增加了土体间的咬合力,使颗粒之间的黏结能力增强,摩擦角增大。

同时亦可以看出:在龄期达到 28 d 时,方案三的摩擦角较小,方案二的黏聚力较小,即 NPAM 和 PAC+CPAM 絮凝脱水效果较差。而方案一、方案四与方案五中的摩擦角和黏聚力差距不大。

3.3 土工布种类对絮凝脱水后土体强度的影响

在进行泥浆泥水分离时,土工袋具有排除泥浆水分且维持泥状的效果。因此,研究土工袋对絮凝土强度的意义在于为泥浆泥水分离过程中土工袋的选择提供指导。笔者在研究中选取了无纺布^[10]和聚丙烯机织土工布这两种土工布制成的土工模袋进行脱水。两种类型的土工布泥浆絮凝土的强度对比情况见图 7、8。

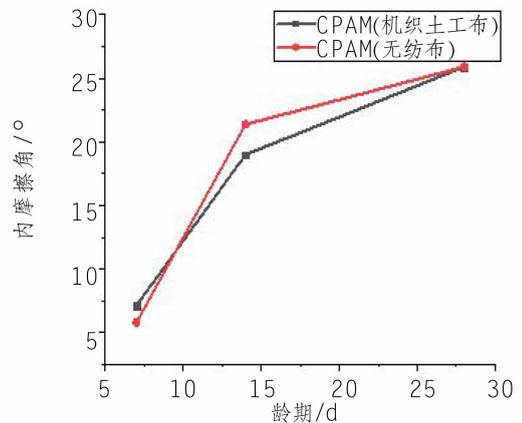


图 7 两种类型的土工布 φ 之对比曲线图

龄期为 7 d 时,由机织土工布编织的土工袋内的泥浆土的 c 和 φ 值均较小。其原因为机织土工布编织的土工袋内的泥浆含水率较低,颗粒结

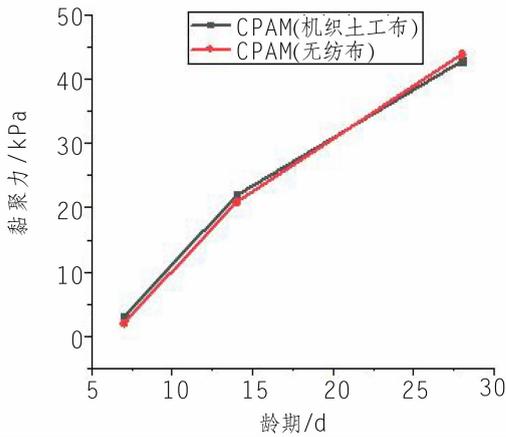


图 8 两种类型土工布 c 之对比曲线图

合紧密。龄期为 14 d 时,由无纺布编织的土工袋内的泥浆土的 φ 值增大,其原因在于对土壤的保水性较强,颗粒间结合牢固。龄期为 28 d 时,两种工况中的泥浆土含水率基本相同, c 、 φ 值基本相符。由此可知:在较短的时间内,机织土工布的脱水效果更好。但随着时间的增加,两种土工袋的脱水效果基本相同。

3.4 泥浆絮凝土含水率与絮凝脱水后土体强度的关系

含水率与泥浆絮凝土强度具有较高的相关性。含水率对黏聚力的影响见图 9,含水率对摩擦角的影响见图 10。

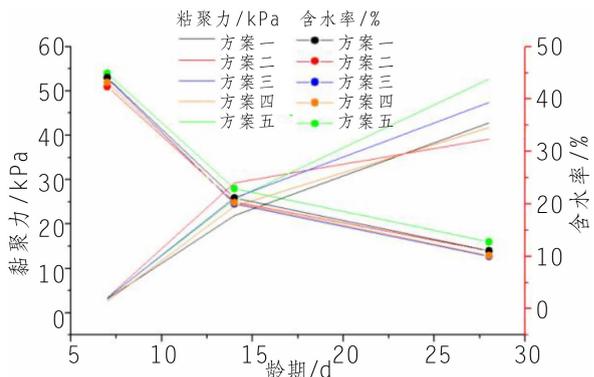


图 9 含水率对黏聚力影响示意图

从图 9、图 10 中观察到:在每一种絮凝剂投加方案下,泥浆的黏聚力和内摩擦角均会随着含水率的降低而增加。这是因为含水率的降低导致颗粒之间的结合更紧密,颗粒间形成了更大的结合力,从而使 c 、 φ 值增大、抗剪强度增强。

3.5 泥浆絮凝土密度与土体强度的关系

由于土体的密度会随着龄期的增长而增加,因此,研究密度与强度之间的关系具有重要的工

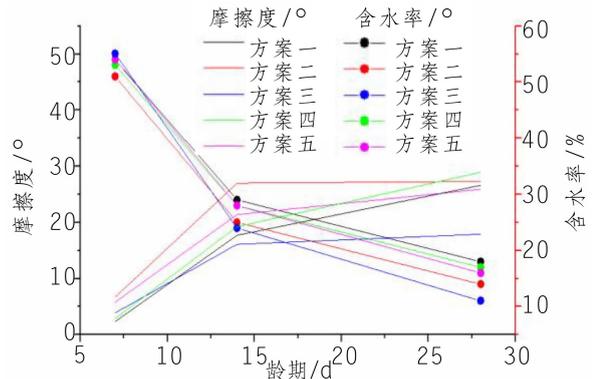


图 10 含水率对摩擦角影响示意图

程实践意义,对于优化工程设计和提高工程质量具有积极的意义。在实际工程中,密度与强度之间的关系能够为更好地设计土工袋结构、提高其承载能力和稳定性提供借鉴。以方案一为例,泥浆密度与强度的关系见图 11。

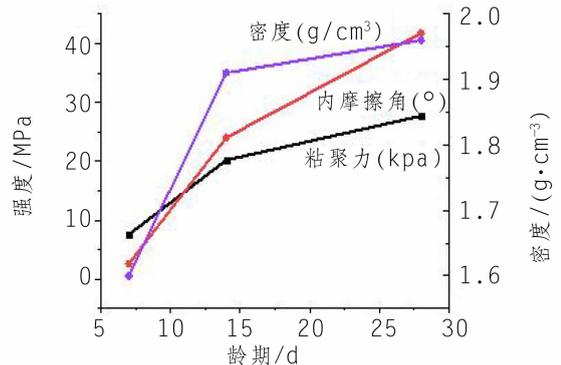


图 11 方案一条件下密度对强度的影响示意图

试验结果表明:随着每种絮凝剂投加方案的进行,土工袋内水分的减少导致泥浆絮凝土的密度逐渐增加。而随着土体变得更加密实,泥浆的黏聚力和内摩擦角亦相应提高。表明对土工袋内的水分进行控制对泥浆絮凝土的密度和力学性能具有重要的影响,对于设计和施工过程中的操作具有指导意义。这是因为密度的增加导致颗粒之间的结合更加紧密,颗粒之间形成了更大的结合力,进而使得内摩擦角增大,黏聚力增强,即泥浆絮凝土的抗剪强度与密度成正比关系。意味着随着泥浆密度的增加,其抗剪强度也会相应提高,进而增加了土工袋结构的稳定性和承载能力。

4 结语

笔者以雄商高铁站前 8 标基桩施工废弃原状泥浆絮凝土为研究对象,对土工袋泥浆絮凝脱水

后的强度及其影响因素进行了详细分析并得出以下结论:

(1)随着龄期的增大,泥浆絮凝土的含水率迅速减小直至稳定,密度逐渐增加,泥浆絮凝土的黏聚力和内摩擦角均逐渐增大,其抗剪强度有所提高,且泥浆絮凝土的抗剪强度与含水率呈负相关关系,与密度呈正相关关系。

(2)絮凝泥浆土的抗剪强度与絮凝剂种类的选择有一定的关系。不同种类的絮凝剂脱水效率不同,其中单独投加质量比为 5% 的 CPAM 或组合投加质量比为 3% 的 PAC 和 4% 的 NPAM 获得的絮凝泥浆土的强度较高。

(3)泥浆絮凝土的抗剪强度与土工袋种类的选择有一定的关系,但不同类型的土工袋对脱水前期的泥浆土强度影响不大。笔者建议:选择强度较大的编织土工布可以增加土工袋装泥浆的整体强度。

(4)在基桩施工产生的废弃泥浆中添加絮凝剂后装入土工袋可以使其快速脱水,且其 28 d 后的絮凝泥浆土工程性质可以较好地满足进一步工程应用的要求,可在压实、稍作处理后用于路基填筑等工程。

参考文献:

[1] 曾照波,郭航燕.复合固化材料固化泥浆无侧限抗压强度研

究[J].黑龙江科学,2021,12(24):56-58,62.

[2] 庞锋.高含水率泥浆絮凝脱水影响因素试验研究[J].现代交通技术,2023,20(3):1-5.

[3] 张伟.絮凝剂提高疏浚泥浆泥水分离性能研究[D].合肥工业大学,2019.

[4] 邓晓.模袋絮凝土在大砂袋围堰中的应用研究[D].重庆交通大学,2019.

[5] 贺佐跃,李红中,陈万里,梁立农,李钊,杨志军,黄林冲,杨飞,袁炳祥.水泥对珠三角地区泥浆抗剪强度参数的影响分析[J].中外公路,2021,41(1):237-242.

[6] 肖建勇,严伟,乔世范,等.干密度与含水率对标准砂抗剪强度的影响研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(10):3789-3797.

[7] 吴敏,黄英豪,尹洪斌,等.典型无机絮凝剂对疏浚泥浆絮凝效果及出水水质影响研究[J].2023,45(1):79-83.

[8] 张亚英.含水率对土体抗剪强度影响研究[J].江西建材,2023,43(9):32-33,36.

[9] HanC,XieH,Bai B, et al. Influence of Some Key Parameters on the Efficiency of Flocculation-Solidification-Filter Press Combined Method for Sustainable Treatment of Waste Mud Slurry[J]. Sustainability, 2023, 15 (21):32-34.

[10] 孔转葵.无纺土工布在河道整治工程中的应用[J].中国水运,2023,45(12):87-88.

作者简介:

张达志(1990-),男,甘肃环县人,工程师,学士,注册安全工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)

(上接第 12 页)

参考文献:

[1] 张志刚.高层建筑施工中沉降观测技术[J].科技创新与应用,2016,16(30):256.

[2] 张柳.自动化监测技术在高速铁路沉降监测中的应用[J].资源导刊·信息化测绘版,2021,51(9):27-29,33.

[3] 崔建彪,陈志兰,牛志宏.高铁线下工程桥墩沉降观测与分析[J].测绘地理信息,2013,38(1):43-45,48.

[4] 谢光宇.对高速铁路桥梁沉降观测技术的应用探讨[J].科学时代,2014,22(12):235-237.

[5] 石振军.顶管施工技术在水利工程中的应用[J].科技创新

导报,2018,15(8):40,42.

作者简介:

陈焕宁(1991-),男,宁夏固原人,工程师,学士,从事铁路工程施工技术与管理工作;

张达志(1990-),男,甘肃环县人,工程师,学士,国家注册安全工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工

任小强(1982-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事工程测量工作;

刘明辰(2000-),男,河南焦作人,技术员,从事铁路工程测量工

(编辑:李燕辉)