

# 喀斯特地貌下地下连续墙施工中钠基膨润土泥浆的配制与应用

王彪 刘永红 宋华民 柳沛东  
 中铁隧道集团三处有限公司  
 DOI:10.32629/bd.v3i8.2636

**[摘要]** 本文介绍了一种在喀斯特地貌下地下连续墙施工中钠基膨润土泥浆的配制与应用方法,掺加重晶石粉,解决浆液比重小、护壁能力差问题;掺加羧甲基纤维素(CMC),使所拌制的浆液有较好的粘度;改变浆液的流变性、稳定性和保水性,使浆液在地连墙施工过程中不沉淀分层。本论文阐述的方法通过合理的选材,正确的技术路线解决了在喀斯特地貌下开挖地下连续墙泥浆护壁能力差、稳定性差等缺点。

**[关键词]** 泥浆、重晶石粉、羧甲基纤维素、稳定性

## 引言

自1950年意大利开始在水库大坝中采用地下连续墙至今,这一技术已取得突飞猛进的发展。在马来西亚吉隆坡东南部,MRT2期交叉渡线段围护结构采用地下连续墙施工,地连墙全长397米,共计70幅,设计墙体厚度为1.2米,墙深约35-55米。本工程地下水位高,约地表下1.5m。通过岩面探测收集的地质资料,本项目地质情况复杂,有三分之二的地连墙位于砂层及砂土层中,且墙体大都入岩较深,属于典型的喀斯特地貌,施工难度极大(如图示)。常规的泥浆很难满足现场施工需求,槽壁稳定性不能得到有效保障。为了达到施工对泥浆质量的要求,确保地下连续墙施工槽壁稳定性,必须配制一种比重高、质量稳定、可大规模生产的新型泥浆,以便适用于在喀斯特地貌下施工地下连续墙。

## 1 泥浆性能指标和技术路线

结合工地地质情况与市场调研,通过比选钙基膨润土和钠基膨润土泥浆护壁材料,认为钠基膨润土泥浆护壁材料在马来西亚地下结构工程施工中应用比较广泛,造浆能力强,对人体无不利影响。确定采用钠基膨润土泥浆材料,具体泥浆性能指标要求如表1。但实际制浆中发现新浆比重很小,根据推荐掺量实测比重只有1.01-1.02,若通过掺加钠基膨润土来提高比重则粘度会非常大,而且成本投入很大。因此本浆液指标要求围绕比重,粘度、PH值以及含砂量展开,结合马来西亚本地材料资源情况,拟从以下几方面技术措施着手,配制满足设计、施工要求的泥浆。即新鲜泥浆比重指标达到1.04-1.05,粘度在35-38s之间。新浆粘度若超过40s,在成槽时的循环浆液很容易糊设备刀头,进尺困难。

表1 施工技术要求泥浆性能指标要求

性能	测试工具	阶段		
		新鲜浆	循环浆	浇筑前
比重 g/ml	比重计	<1.10	<1.25	<1.15
粘度 s	Marsh 漏斗	32-50	32-60	32-50
pH	pH 试纸	7-11	7-12	n. a
含砂率%	含砂量计	n. a	n. a	<4%
频次	/	开槽前	每5m/1次	1次

### 1.1 加重晶石粉

张厚美<sup>[1]</sup>、徐伟<sup>[2]</sup>等人在研究地下连续墙槽壁稳定性的分析方法中均发现,护壁泥浆的比重是影响槽壁整体稳定性的重要因素。比重越大,槽壁整体稳定安全系数越高,槽壁也越稳定。国内的研究成果表明,泥浆比重高低决定着槽壁整体稳定性,而且泥浆的渗透作用则对槽壁局部的土体稳定性起着非常关键的作用<sup>[3]</sup>。在钠基膨润土泥浆中掺入重晶石粉,能够提高泥浆比重,解决浆液护壁能力差技术问题。由于重晶石粉不易分散在浆液中,因此在加入后需搅拌10-15min为宜。

### 1.2 加羧甲基纤维素CMC



图 1

图 2

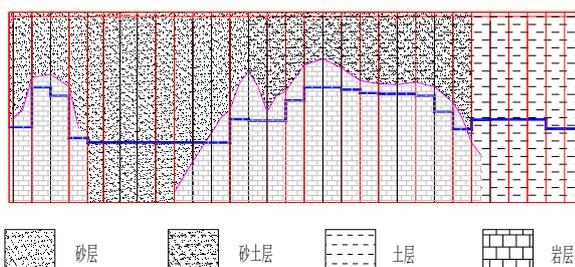


图 3

钠基膨润土泥浆中掺入CMC, 重点解决浆液稳定性差, 改善其渗透性等问题。CMC具有降失水, 增粘、增稠和润滑作用。需注意粉状CMC短时间不能很好的分散在浆液中, 需先用热水将其溶解, 配制成浆糊状溶液, 再定量加入泥浆中。本试验选择1.2%的CMC溶液进行试验。

2 浆液性能指标检测方法

2.1 比重

测定浆液单位体积重量, 依据《公路桥涵施工技术规范》JTG/TF50-2011检测<sup>[4]</sup>。

2.2 粘度

按照英标要求, 采用马氏漏斗检测。以浆液流入1000ml 泥浆杯的时间来衡量。

2.3 胶体率

将100ml的泥浆倾倒在100ml的量筒中, 盖上玻璃静置24h, 观察量筒上部澄清液体的体积。例如澄清液体积5ml, 则胶体率为95%

2.4 PH值

依据《公路桥涵施工技术规范》JTG/TF50-2011检测<sup>[4]</sup>。

2.5 护壁效果

用加工好孔壁的盛砂桶来模拟砂层地下连续墙, 将改良后的浆液跟新浆分别倒入盛砂桶中, 3分钟后倒出溶液, 观察孔壁变化及浆液渗透情况。

3 试验方案

3.1 原材料

膨润土: 印度MINTEC公司生产的NATURAL PLUS-NP40钠基膨润土, 主要化学成分为蒙脱石、贝得石、绿脱石; 重晶石粉: 马来西亚ACME CHEMICALS公司生产的I级重晶石粉, 密度为4.4g/m<sup>3</sup>, 75 μm筛余率为1.8%, 主要成分为BaSO<sub>4</sub>; CMC全名羧甲基纤维素: 马来西亚NCL化学公司生产; 水: 现场施工用水, 各指标符合拌合施工用水要求, PH值中性。

3.2 试验设计

根据试验内容, 初测新鲜钠基膨润土浆液比重为1.015, 粘度为30s, 以重晶石粉和CMC掺量为两个因素, 用重晶石粉及CMC的三个掺量作为各因素的三个水平数。设计二因素三水平正交试验来研究浆液比重、粘度以及胶体率等问题。

设计正交试验表(表2)

列号	1	2	3	4
试验号	重晶石粉 kg/A	CMCg/B	C	D
因素				
1	17A1	35B1	C1	D1
2	17A1	42B2	C2	D2
3	17A1	49B3	C3	D3
4	21A2	35B1	C2	D3
5	21A2	42B2	C3	D1
6	21A2	49B3	C1	D3
7	25A3	35B1	C3	D2
8	25A3	42B2	C1	D3
9	25A3	49B3	C2	D1

3.3 试验结果与分析

浆液的正交试验方案与膨化24h后结果(表3)

编号	重晶石粉/kg	CMC/g	比重/g/ml	粘度/s	PH值	胶体率
1	17	35	1.039	33	8	100
2	17	42	1.039	36	8	100
3	17	49	1.039	39	9	100
4	21	35	1.042	33	8	100
5	21	42	1.042	36	9	100
6	21	49	1.042	39	9	100
7	25	35	1.05	34	9	100
8	25	42	1.05	37	9	100
9	25	49	1.05	40	10	100

表中数据显示泥浆的PH值和胶体率较稳定, 比重和粘度变化较大, 对结果进行极差分析。

比重/g/ml (表4)

	重晶石粉/A	CMC/B
K1	3.117	3.131
K2	3.126	3.131
K3	3.15	3.131
K <sub>1</sub>	1.04	1.04
K <sub>2</sub>	1.04	1.04
K <sub>3</sub>	1.05	1.04
R	0.01	0.00

粘度/s(表5)

	重晶石粉/A	CMC/B
K1	108	100
K2	108	109
K3	111	118
K <sub>1</sub>	36.0	33.3
K <sub>2</sub>	36.0	36.3
K <sub>3</sub>	37.0	39.3
R	1.0	6.0

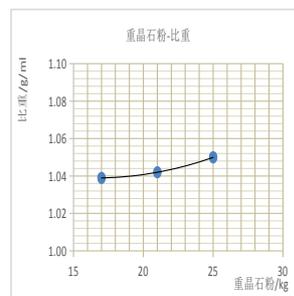


图4

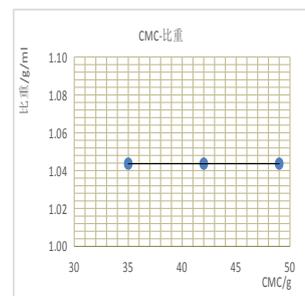


图5

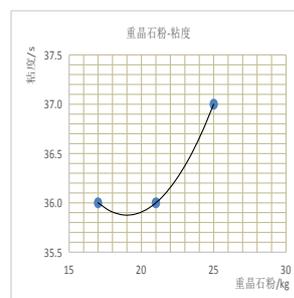


图6

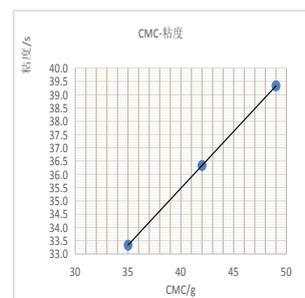


图7

本试验成果的分析采用极差分析法。将试验数据列于上表, 并按照正交表的规则对数据进行整理; Ki (第j列)=第j列中同水平所对应的试验指标之和; 例如K<sub>1</sub>=1.039+1.039+1.039=3.117, K (第j列)=Ki/水平数; 例如K<sub>1</sub>=3.117/3=1.039; 极差R (第j列) 各个K中, 最大值与最小值之差。由上述数据可得, 新鲜泥浆中掺入重晶石粉对比重改变明显, 掺入CMC对粘度的影响更加显著。通过上述正交试验分析各种材料用量与各性能之间的图像关系, 各性能所需材料的最佳组合为A3B2, 即重晶石粉掺量为25kg, CMC掺量为42g。为了验证这种最佳组合泥浆的护壁效果, 根据2.5所述试验方法观察可得改良后的泥浆在砂层中护壁效

果更好,而原始的钠基膨润土泥浆渗透性更强,护壁效果不显著。更进一步考虑,满足泥浆配制指标要求的各材料掺量范围为重晶石粉17-25kg; CMC为钠基膨润土的1.15%-1.35%。

### 3.4 拓展延伸

为了进一步研究泥浆单掺钠基膨润土跟掺入CMC对粘度的影响效果哪个更明显,现设计试验,在不掺任何添加剂的情况下,通过掺入不同比例的钠基膨润土来研究粘度的变化规律。基准泥浆配合比为:钠基膨润土:水=35kg:984kg,实测比重为1.015,粘度30s;现保持每方泥浆用水量不变,根据推荐掺量范围,通过改变钠基膨润土量来观察浆液粘度。试验结果如下表(表6):

每方钠基膨润土量/kg	25	30	35	40	45	50
粘度/s	26.3	28.1	30.0	32.6	34.1	37.3
比重	1.014	1.017	1.020	1.022	1.024	1.027

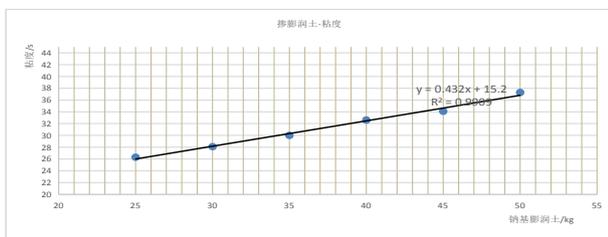


图 8

根据所测数据,钠基膨润土的不断增多,其比重变化很小,而粘度变化较明显。将试验所测的粘度数据跟钠基膨润土量用最小二乘法进行线性回归,得出其相关系数 $R^2=0.9909$ ,因此可判断每方浆液所掺钠基膨润土量跟粘度呈线性关系。由数据模型得出要配制粘度为35-38s的泥浆,每方所掺入的钠基膨润土量为45-50kg。这种线性变化梯度跟浆液中保持钠基膨润土不变而改变CMC量相比,斜率较小,因此可判断CMC微量变比钠基膨润土量变更影响泥浆的粘度。同时结合图表关系可以卡控单掺钠基膨润土跟泥浆粘度的定量关系。

## 4 现场应用与实践

### 4.1 制浆循环

施工现场采用泥浆循环系统(如图),通过制浆泵制取新鲜浆液并注入泥浆罐中储存;同时将地下连续墙槽段内回收的可用泥浆泵入泥浆箱体中。结合现场实际情况,实现循环再利用,在成槽过程中将之前其他槽段内回收的泥浆跟新鲜泥浆通过比例注入泥浆混合搅拌容器中搅拌,待检测指标符合业主要求时再次投入循环使用,平均每幅墙泥浆回收率为75%。



图9



图10

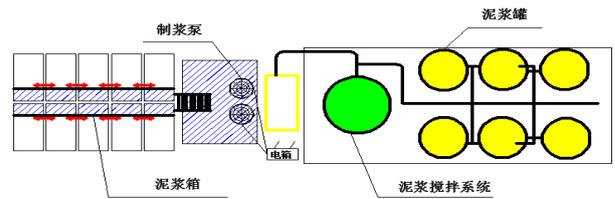


图 11

### 4.2 过程控制

根据业主要求,地连墙槽段每开挖5米检测一次泥浆指标。包含比重,粘度,PH值。待下放完钢筋笼、埋设导管直至混凝土浇筑之前,要求泥浆比重控制在1.15以内,粘度在32-50之间,含砂量小于4%。在砂土层混凝土浇筑前含砂量极难控制,如果铣槽机清砂时间太长,会导致泥浆因槽内温度过高而水分不断减少,导致比重过大,粘度过高。为解决这一难题,本项目尝试在埋设导管之后采用“正循环”措施来换浆。即在导管上部安装堵头、泥浆管,通过泥浆管不断注入新鲜泥浆,同时用泥浆泵抽取槽段内部不符合要求的泥浆至废浆池,并通过泥浆压饼机将其压成饼,外运出施工现场,防止环境污染。



图12



图13

## 5 结论

5.1 MRT二期施工地下连墙用新鲜泥浆比重为1.015,粘度30s;在浆液中加入重晶石粉和CMC后,对泥浆的各性能指标均有改善;其中最佳组合掺量为重晶石粉25kg,CMC为42g,掺入后所测比重为1.05,粘度37s;通过连续24h的观察,重晶石粉均匀分散在浆液里面无沉淀,稳定性良好。相比新鲜浆液,改善后的泥浆护壁效果更优良。

5.2 浆液中CMC微量变比单掺钠基膨润土量变更影响泥浆粘度。通过调节泥浆中CMC的掺量来控制泥浆粘度指标更快捷,且成本较低。

5.3 试验数据得出要配制粘度为35-38s的泥浆,若单掺钠基膨润土,每方需掺45-50kg,而此时比重只有1.027。若掺入重晶石粉和羧甲基纤维素,则每方掺钠基膨润土35kg,重晶石粉17-25kg;CMC为钠基膨润土的1.15%-1.35%即可满足要求。

### 【参考文献】

- [1]张厚美,夏明耀.地下连续墙泥浆槽壁稳定的三维分析[J].土木工程学报,2000,(01):73-76.
- [2]徐伟,周建军.地下连续墙泥浆护壁稳定分析理论探讨[J].建筑施工,2003,(05):349-351.
- [3]杨勇.复合钠基膨润土泥浆护壁机理及其工程应用[J].地下空间与工程学报,2010,6(04):838-844.