

泥浆真空脱水各种辅助手段的效率对比

文 / 林小飞 浙江开天工程技术有限公司

摘要：建筑工程、清淤等都会产生大量的泥浆，高效的工厂化泥浆脱水方法成为迫切的社会需求。真空法脱水是泥浆脱水的一种纯物理的、环保的且有效的方法，但其最大的缺点是效率低、能耗大、费用高。寻找一种高效的泥浆真空脱水辅助手段，提高脱水效率是科研及工程人员的一个目标。本文通过室内试验在泥浆真空脱水过程中采用添加剂、添加物、改变真空条件等辅助手段对比出水效率，得到以下结论：添加无机盐对脱水速度基本无影响，添加有机物会减慢脱水速度，增加排水面积或减小排水路径会加快排水速度，泥浆加压会成倍加快脱水速度。

关键词：工厂化；泥浆；真空脱水；出水效率；辅助手段；加压

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.021

引言

泥浆的真空脱水常见于围海造地的吹填土表层真空排水固结，工厂化的大规模应用还不多。泥浆脱水是孔隙水在外界压力与真空间的压力差作用下，逐渐渗流通过滤膜排出土体的过程。近滤膜的泥浆脱水后，土粒不断附于滤膜上，形成泥皮。随着时间的推移，泥皮越来越厚，渗透速度也会越来越慢。

对于某一种特定的软土制成的泥浆，真空排水速度受很多因素有关，如泥浆中的外加物、排水面积、排水路径的长短、真空压力、泥浆内压等。本文以淤泥质粉质粘土搅拌成的泥浆为试验主体，在室内通过添加不同的添加剂或添加物、改变排水面积、改变泥浆内压，对比出水量及出水速度，得到某些有用的一般性规律，给后来者起抛砖引玉作用。

一、试验装置

试验土样取自宁波市高新区某基坑的第2层灰色淤泥质粘土，该原状土处于流塑状态，含水量53.6%，密度 $1.70\text{g}/\text{cm}^3$ ，孔隙比1.476，液限39.7%，塑限21.4%，塑性指数18.3，液性指数1.76。原土加水充分搅拌制成泥浆，含水量约130%，比重为1.37左右。

1、加添加剂、添加物底部排水的真空试验装置见图1。采用底部抽真空、底部排水方式。该装置主要由三部分组成：真空泥浆桶，外径35cm，内径32cm，高度67cm；水气分离桶，外径30cm，内径27cm，高度67cm；真空泵，2.2kW，抽气速度为 $70\text{m}^3/\text{h}$ ，带储气罐。测量装置有真空压力传感器、称重传感器、真空压力表、电子秤（精度0.01g）等。排水量数据由数据记录仪隔一定时间自动采集，余土含水量为取样后人工称量。

2、增加桶周排水的试验装置见图2，在图1的基础上泥浆桶上加了密封盖板，泥浆装在滤袋内，滤袋放在滤筒内，中心可以加滤管，这样可以增加中心及桶周排水面积。

3、泥浆增压桶周及桶底排水的试验装置见图3，为压力泥浆装置，4根累杆及上下钢盖板把泥浆密封在泥浆桶内。在泥浆桶底部抽真空的同时，泥浆桶顶部注入压力泥浆，泥浆输送管路上增加自动控制系统，使泥浆压力始终维持在0.3MPa左右。

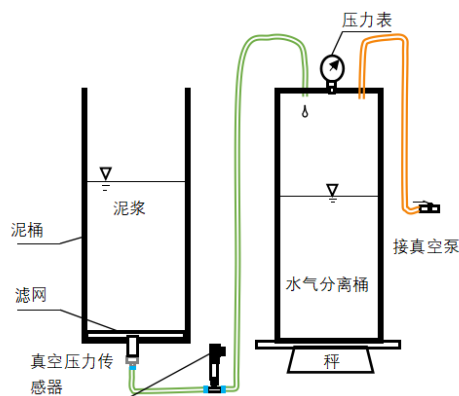


图1 底部排水的真空试验装置

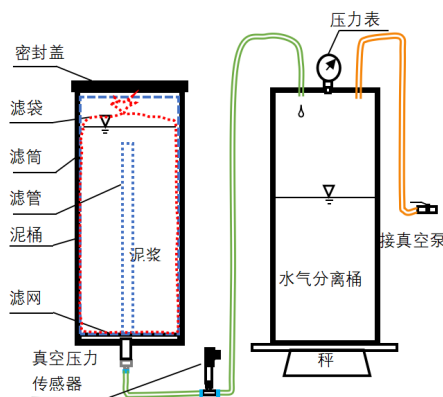


图2 桶周及桶底排水的试验装置

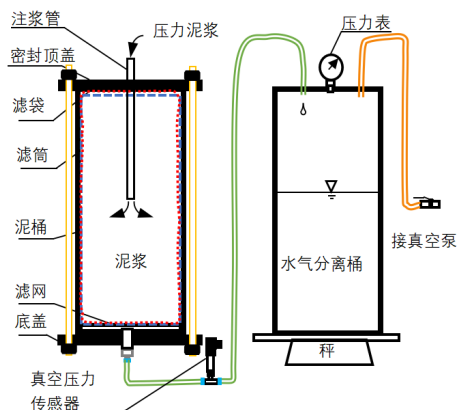


图3 泥浆增压桶周及桶底排水的试验装置

二、试验概况

各试验真空压力均相同，维持在 -80 ~ -85kPa，对比水气分离桶内的排水量、排水速度及余土的含水量。共分三组对比试验。

1、第一组为各种添加剂、添加物与原泥浆真空脱水的对比试验，采用图 1 试验装置。依次做三种无机盐添加剂及二种有机物颗粒试验：

1) 无添加剂的原泥浆试验：无任何添加剂的原始泥浆，作为对比试验；

2) 添加泥浆重量 0.1% 无水氯化钙试验：阳离子为 +2 价的钙，无机盐；

3) 添加泥浆重量 0.1% 氯化铝试验：阳离子为 +3 价的铝离子，无机盐；

4) 添加泥浆重量 0.1% 硫酸铁试验：阳离子为 +3 价的铁离子，无机盐；

5) 添加泥浆重量 0.25% 木粉试验：普通的锯末，颗粒大小 0.5 ~ 2mm，有机物；

6) 添加泥浆重量 0.25% 椰壳碎末试验：花卉种植用的粗粒椰壳碎末，经碾碎，呈短丝状，长度约 30-50mm，有机物。

2、第二组为增加排水面积对比试验，使用图 2 试验装置。在相同的容器内，增加排水面积等效为缩短排水路径。使用未增压原泥浆依次做下列试验：

1) 仅桶底排水的试验结果就采用第一组中无添加剂的原泥浆试验结果；

2) 在桶底排水的基础上，增加桶周排水试验：桶周排水高度约 40cm；

3) 在桶底排水的基础上，增加桶周及芯管排水试验：桶周排水高度约 40cm，芯管直径 5cm，花管长度 25cm。

3、第三组为无压泥浆与增压泥浆真空脱水对比试验，使用图 3 试验装置。

1) 仅桶底排水的试验结果就采用第一组中无添加剂的原泥浆试验结果；

2) 无压泥浆桶底、桶周排水就采用第二组中 2) 的试验结果；

3) 泥浆增压桶底、桶周排水试验：在桶周、桶底排水的基础上，增加泥浆压力至 0.3MPa。

三、试验结果及结果分析

1、原泥浆与加三种无机盐添加剂的真空脱水试验结果对比

真空脱水过程中出水量结果见图 4。

由图 4 可看出，添加 3 种无机盐类后，出水速度与原泥浆差别不大，6 天的出水量在原泥浆的 5% 之内。相对来说，添加 $GaCl_2$ 的出水效果稍好。只有底部排水的试验，余土含水量 39% ~ 65%，从上至下含水量线性增加，在滤膜处含水量约 40%。

2、原泥浆与加有机添加物的真空脱水试验结果对比
抽真空过程中出水量结果见图 5 及表 1。

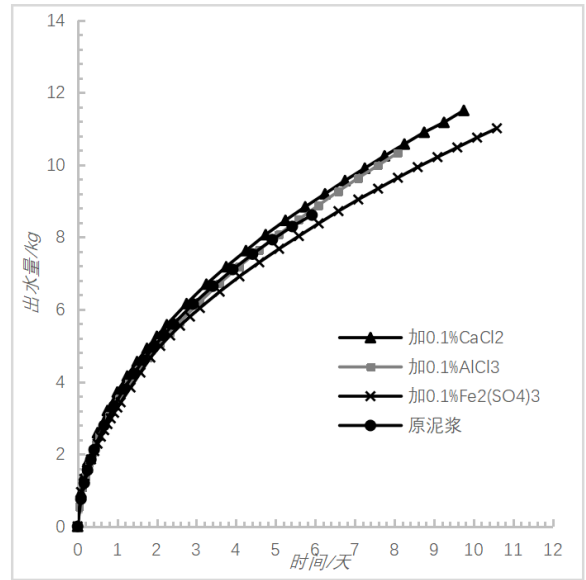


图 4 原泥浆与加无机盐添加剂泥浆真空出水量结果

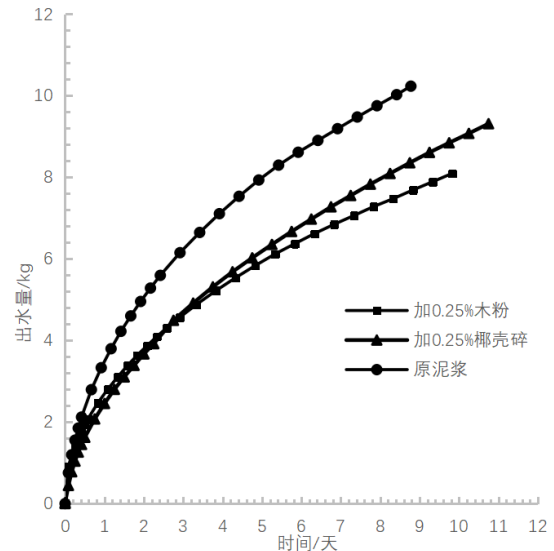


图 5 添加有机物粉末的泥浆真空出水量结果

表 1 原泥浆与加两种有机添加物后泥浆的出水量对比

时间	原泥浆	加 0.25% 木粉		加 0.25% 椰壳碎	
/d	/kg	/kg	/%	/kg	/%
	①	②	② / ①	③	③ / ①
1	3.492	2.696	77.2	2.454	70.3
2	5.066	3.798	75.0	3.668	72.4
3	6.242	4.630	74.2	4.708	75.4
4	7.180	5.330	74.2	5.494	76.5
5	7.992	5.936	74.3	6.192	77.5
6	8.646	6.460	74.7	6.832	79.0

由图 5 及表 1 可看出，添加有机物木粉与椰壳碎后，相同时间内出水量及出水速度明显变小，比原泥浆出水量小 21% ~ 30%。相对来说，有机物颗粒大些或纤维长些的出水效果稍好。

3、增加排水面积的试验结果对比

对比试验均使用原泥浆，仅桶底排水与桶底、桶周、芯管同时排水对比，抽真空出水量结果见图 6 及表 2。

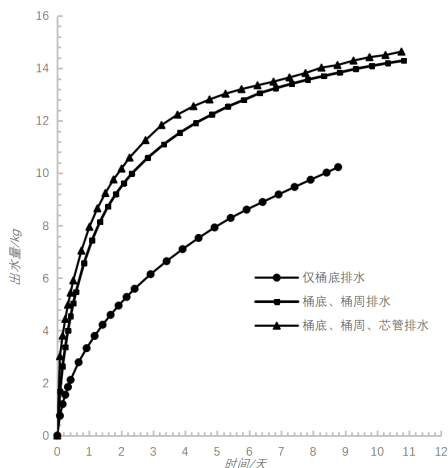


图6 桶周及桶底排水的泥浆真空出水量结果

表2 仅桶底与增加排水面积后泥浆的出水量对比

时间 /d	仅桶底 排水	桶底、桶周排水		桶底、桶周、 芯管排水	
	/kg ①	/kg ②	% ②/①	/kg ③	% ③/①
1	3.492	7.174	205.4	7.956	205.4
2	5.066	9.490	187.3	10.176	187.3
3	6.242	10.780	172.7	11.590	172.7
4	7.180	11.674	162.6	12.410	162.6
5	7.992	12.342	154.4	12.924	154.4
6	8.646	12.878	148.9	13.284	148.9

原泥浆只是桶底排水，直径为320mm，排水面积为0.0804m²。桶周排水高度为40cm，排水面积为0.4019m²。芯管直径为5cm，排水面积约0.0392m²。由表2可见，增加排水面积后，相同的时间内排水量为原泥浆的149%~227%。增加芯管的比没有芯管的排水速度也稍快。在相同的泥桶内，排水面积越大，排水路径也越短，排水速度越快。但是成倍增加排水面积，排水速度并未增加相应倍数。余土含水量从上至下较均匀，为54%~60%。

4、增加泥浆压力的试验结果

均采用原泥浆，加压、不加压桶周排水、不加压桶周及桶底排水对比试验，抽真空出水量结果见图7及下表3。

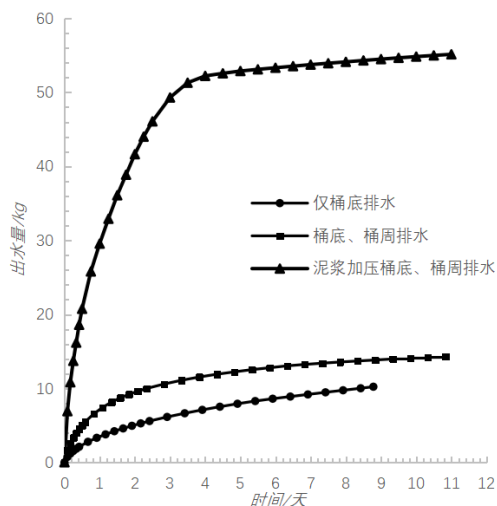


图7 泥浆加压与不加压真空出水量结果

表3 泥浆加压与未加压真空出水量对比

时间 /d	仅桶底排 水	桶底、桶周排水		泥浆加压、桶周及 底部排水	
	/kg ①	/kg ②	% ②/①	/kg ②	% ②/①
1	3.492	7.174	205.4	29.559	846.5
2	5.066	9.490	187.3	41.640	822.0
3	6.242	10.780	172.7	49.297	789.8
4	7.180	11.674	162.6	52.218	727.3
5	7.992	12.342	154.4	52.876	661.6
6	8.646	12.878	148.9	53.320	616.7

泥浆加压后，真空排水速度是仅桶底排水速度的6~8倍，是相同排水面积不加压排水速度的3.7~4.2倍。泥浆增压后排水速度在3~4天后有一明显的转折点。泥浆加压真空排水在工厂化条件下较容易实现，非常适合于工厂化泥浆脱水。余土含水量较均匀，为39%~46%，较泥浆不加压试验低14%左右。

结语

泥浆真空脱水的效率，与很多因素有关，如不同的添加剂、添加物及不同的真空条件，通过室内试验，得到如下结论：

(1) 在泥浆中添加选中的三种无机盐，对真空脱水效率基本无影响；

(2) 在泥浆中添加选中的两种纤维碎屑有机物，会降低脱水效率约20%~30%；

(3) 相同的真空条件，排水面积越大、排水路径越短脱水效率越高；

(4) 对真空脱水中的泥浆增压到3倍大气压，排水速度可提高至4倍左右；

(5) 泥浆单面排水，余土的含水量始终是线性减小的，多面排水或缩短排水路径可改善余土含水量的均匀性。泥浆增压真空脱水，可使整桶余土与滤膜处的含水量相近。

泥浆加压真空脱水试验结束后可以得到满桶的余土，效率较高。而泥浆不加压的试验，随着脱水过程的进行，体积会大大缩小，始终得不到满桶的余土，如选择补充泥浆，也会大大增加脱水时间。

在室内真空脱水过程中，泥浆增压虽可大大加快排水速度，但快速排水阶段还需3~4天。如通过适当措施，泥浆增压到10~20MPa，再增加排水面积、缩短排水路径，快速排水阶段有望缩短到几小时。这也才能满足工厂化泥浆脱水的效率要求。

参考文献

[1] 胡挺，武亚军，徐方，氢氧化钙与聚丙烯酰胺对高含水率泥浆固结的影响，长江科学院院报，2018，35(8):95-101.

[2] 付冠杰，范明桥，李杰，徐锴，雷国辉，软土地基堆载吹填淤泥并同步真空预压加固技术，水利水电科技进展，2014，34(6):82-88.

[3] 莫海鸿，王婧，林奕禧，软土真空预压处理有效性的宏微观分析，岩石力学与工程学报，2013，32(增1):2692-2697.

[4] 胡珩，王保田，真空作用面位置对加固效果影响的试验研究，岩土力学，2009，30(5):1287-1290.

作者简介：林小飞(1975-)，男，浙江宁波人，汉，本科，高级工程师，主要从事岩土工程领域的科研与生产工作。