

湖泊清淤底泥脱水干化工艺流程分析

赵海波¹, 陈枫²

(1. 长三角航运发展研究院(江苏)有限公司, 江苏 南京 210000;
2. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 湖泊在生态维护上发挥着重要作用, 清淤底泥的处置问题急需解决。以往清淤工程中将疏浚土进行堆场晾晒, 会占用土地资源, 造成周边环境污染。而利用板框压滤机可减少土地占用及周边污染。在之前的相关研究中, 缺少成熟的工艺流程和计算体系。本文以洞庭湖底泥为例, 浅析板框压滤机的设备配置及工艺流程, 得出以土体绝干量为依据的计算体系, 并分析了整体工艺中的关键因素。经过实践验证得出: 以土体绝干量为依据能满足实际产能需求。

关键词: 湖泊清淤; 脱水干化; 板框压滤机; 含水率

中图分类号: U616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2025) 05—0068—03

近年来, 随着城市与城镇规模扩张, 导致国内湖泊水污染与湖泊富营养化问题日益突出^[1]。加强湖泊治理保护, 对于保障区域水安全和生态安全具有重要作用。

传统的淤泥处置方案, 采用陆地堆放的方式, 大量占用废弃鱼塘及坑塘洼地^[2]。如今陆上堆放淤泥的处置方式已不现实。因此本项目开展淤泥调质、压滤脱水及泥饼运输的工艺流程。以洞庭湖底泥为例, 浅析板框压滤机相关设备配置, 得出以土体绝干量为依据的计算模型, 分析了整体工艺流程中的关键因素, 为湖泊清淤底泥脱水干化提供一定的参考。

1 洞庭湖底泥特性分析

洞庭湖是中国水量最大的通江湖泊, 根据洞庭湖现场采集的底泥进行物理力学指标分析, 对淤泥的含水量、密度、土粒比重、液限、塑限进行测试, 得到湖泊底泥基本物理力学指标参数见表 1。

表 1 湖泊底泥基本指标参数表

含水率/%	密度/g/cm ³	比重	液限/%	塑限/%	塑性指数
75.0~80.0	1.20~1.50	2.68~2.75	29.2~61.8	18~40.1	17.8~25.8

由表 1 得出, 洞庭湖土质属于黏土, 土体含水率较高, 饱和度约为 85%~90%, 土体颗粒粒径分析结果见图 1:

由图 1 可以看出, 洞庭湖底泥粒径小, 中值粒径为 0.012mm, 土体基本由黏粒和粉粒组成。对于颗粒较细的土体, 由于颗粒间结合力较强, 透水性较差^[3], 因此脱水干化难度较大, 对板框压滤机整体工艺要求较高。

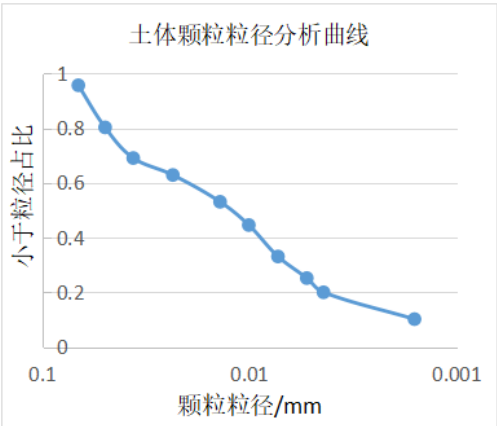


图 1 土体颗粒粒径分析曲线

2 板框压滤机脱水干化工艺流程

2.1 板框压滤机选型

目前市面上应用广泛的板框压滤机滤板尺寸为 2m×2m, 设备过滤面积通过增加滤板数量、加长设备实现^[4], 过滤面积规格通常有 600m²、800m²、1000m² 等, 各型号设备尺寸和重量如下表 2:

表 2 不同型号板框压滤机参数表

过滤面积 (m ²)	滤室容积 (m ³)	长×宽×高 (mm)	净重 (t)	满荷重量 (t)	板框数量 (台)	占地面积 (m ²)	过滤面积 (m ²)
600	12	11598×3100×2450	50	65.6	8	286	600
800	16	14174×3100×2450	55.3	76.1	6	263	800
1000	20	16750×3100×2450	68.5	94.5	5	277	1000

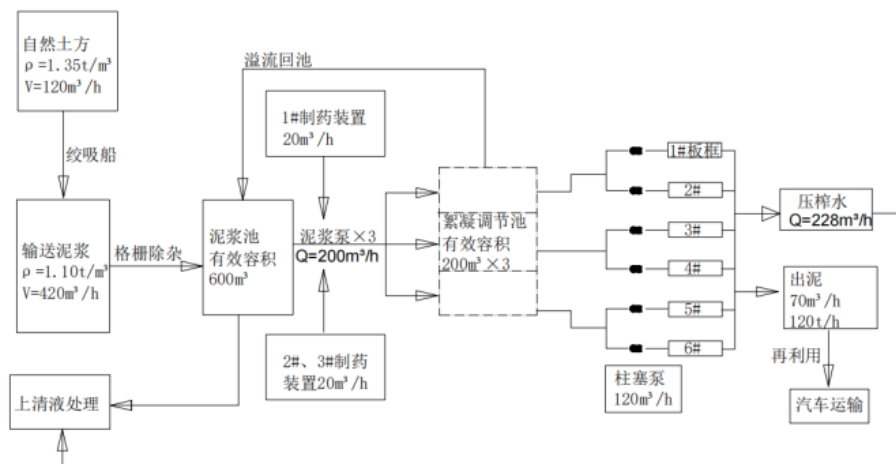


图2 脱水干化工艺流程图

经过对三种型号板框机测算，处理能力按每小时脱水120立方米底泥，分别需要8台（600m²）、6台（800m²）、5台（1000m²），综合考虑设备占地面积参数，选用6台过滤面积800m²为设计机型。设备参数数据如下表3：

表3 板框压滤机参数数据表

压滤机型号	800m ² /2000mm
滤板	2000×2000×78 mm
理论滤室容积	16.40m ³
滤室深度	40mm
过滤压力	0.8MPa
压榨压力	1.2Mpa

2.2 底泥脱水干化流程计算分析

底泥脱水干化过程是通过絮凝剂将土颗粒成团絮凝，形成排水通道，借助板框压滤机压榨压力将土体中水分压出，整体工艺流程中各环节均以自然土方中土体颗粒含量和含水率为主线，为减少占地需求，且不会造成因设备选型导致的产能限制，需进行详细计算与配置，以下提出以土体绝干量为依据的计算模型。底泥脱水干化整体工艺流程见图2：

2.2.1 输送至泥浆池

按自然土方每小时生产率计算，常见的湖泊小型环保绞吸船生产率可达Q=120m³/h，湖泊底泥平均原始密度为1.35t/m³，土体比重G_s=2.75；平均疏送浓度为25%，输送流量为420m³/h。根据每小时流量选择泥浆池有效容积600m³。土体绝干量计算按下式计算：

$$m_s = \rho \times Q \times \frac{G_s(\rho - 1)}{\rho(G_s - 1)}$$

式中，m_s---土体绝干量（t/h）；

ρ---天然土密度（t/m³）；

Q---每小时生产率（m³/h）；

G_s---土体比重。

计算得，生产率Q=120m³/h下，湖泊底泥土体绝干量为66t/h。

2.2.2 输送至絮凝调节池

泥浆沉降后平均密度为1.18t/m³，土体含水率w=76%，对应泥浆体积按下式计算：

$$Q' = Q \times \frac{\rho - 1}{\rho' - 1}$$

式中，Q'---絮凝调节池流量（m³/h）；

Q---输送流量（m³/h）；

ρ---输送泥浆密度（t/m³）；

ρ'---调节池泥浆密度（t/m³）

经计算，Q'=233m³/h。设置三个泥浆絮凝调节池，每个池体有效容积200m³可满足使用要求。

絮凝剂用量根据泥浆绝干量进行计算。常用的絮凝剂为聚丙烯酰胺（PAM）^[5]，絮凝剂溶液量按下式计算：

$$V = m_s \times \frac{k}{n}$$

式中，V---絮凝剂容量体积（m³/h）；

m_s---土体绝干量（t/h）；

k---对应绝干量的投加量（%）；

n---PAM溶解浓度（%）。

经计算，V=60m³/h。

2.2.3 进料板框压滤机

考虑进料通道及压榨空间，实际压榨脱水后的泥饼体积为75%左右即12m³。根据压榨前后土体绝干量守恒，进入板框的泥浆量按下式计算：

V_0 = V_1 \times \frac{\rho_1(1-w_1)}{\rho_0(1-w_0)}

式中，V₀--- 进入板框压滤机泥浆体积（m³/台）；
V₁--- 压榨后泥饼体积（m³/台）；
ρ₀--- 进入板框压滤机泥浆密度（t/m³）；
ρ₁--- 压榨后泥饼密度（t/m³）；
w₀--- 进入板框压滤机泥浆含水率（%）；
w₁--- 压榨后泥饼含水率（%）。

经计算，每台板框进入泥浆量为46m³。进料方式采用节能柱塞泵，每台泵流量为120m³/h。
压榨出水及泥饼运输。根据土体颗粒及水体质量守恒，出水量为38m³/台，6台总出水量228m³。泥饼产量120t/h。

3 脱水干化工艺关键环节分析

3.1 进料泵选型分析

进料泵的性能直接影响板框压滤机的脱水干化整体工艺，常用的进料泵有渣浆泵和柱塞泵，两者对比如表4所示：

表 4 渣浆泵和柱塞泵性能对比表

项目	工作原理	优点	缺点
渣浆泵	属于离心泵，依靠泵体内叶轮的旋转带动浆液产生的离心力，使其能量增加而进行输送	1.耐用，维修简单； 2.功率和扬程可选范围广。	1.对絮凝体破坏大； 2.噪音相对大。
柱塞泵	依靠柱塞在缸体中往复运动，使密封工作腔体的容积发生变化来实现吸料和排料	1.抽真空方式，自吸能力4-8米； 2.随压滤机工况自动切换压力； 3.对絮凝体破坏小。	1.泵的易损件为阀片和柱塞密封，维修相对复杂， 2.体积相对大。

为提高后续絮凝体的排水能力，得到含水率更低的泥饼，选用对絮凝体破坏较小的柱塞泵，其能够匹配压滤机进料各阶段的工艺要求。

3.2 各阶段时间分配分析

采用柱塞泵作为进料泵，维持在进料压力1.0MPa、压榨压力1.2MPa基础上，改变进料时间及压榨时间，分析最优时间组合，以期得到泥饼最低含水率。结果如表5所示：

表 5 不同时间组合泥饼含水率

项目	总时长/min	进料时间/min	饱压时间/min	压榨时间/min	含水率/%	泥饼厚度/mm
1	70	30	15	25	38	32.5
2	70	20	15	35	40	25.7
3	60	30	15	15	55	32.0
4	60	25	15	20	38	32.0

可以看出，第4组合，在进料时间25min、饱压时间15min、压榨时间20min参数下，含水率最低能够达到38%，泥饼厚度较厚，总时长相对较短，为最优时间组合；在进料时间20min、饱压时间15min、压榨时间

25min参数下，含水率虽然也达到38%，但是总时长较长，非最优时间组合。

4 结论

- （1）以淤泥绝干量为依据的计算方法能够满足工艺整体要求，得到的配套设备效率和数量较为合理。
- （2）通过选取的脱水干化工艺，土体含水率达到38%，满足汽车运输的要求。
- （3）从进料泵的选取和板框压滤机各阶段时间分配两方面进行分析，得出在进料（压力1.0MPa）时间25min、饱压（压力1.0MPa）时间15min、压榨（压力1.2MPa）时间20min参数下，对于湖泊底泥细颗粒土体，含水率能够达到38%，产能满足要求。

参考文献：

[1] 俞燕,王修信,陈毓龄.城市湖泊水质优化管理技术研究[J].东南大学学报(自然科学版),2000,30(04):77-80.
[2] 包建平,朱伟,闵佳华.中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术[J].水资源保护,2015,31(01):56-62,68.
[3] 朱书景,刘定军,侯浩波.改性海相淤泥工程特性试验研究[J].水运工程,2007,(04):17-22.
[4] 许金泉,程文,耿震.隔膜式板框压滤机在污泥深度脱水中的应用[J].给水排水,2013,39(03):87-90.
[5] 李春林,吴言坤,吕焕杰.PAM类有机絮凝剂对高黏粒含量废弃泥浆脱水性能影响研究[J].隧道建设(中英文),2022,42(02):260-267.