

# 增压式真空预压地基处理法用于存量污泥填埋坑治理

耿震<sup>1</sup>, 金亚伟<sup>2</sup>, 刘刚<sup>1</sup>

(1. 无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072; 2. 江苏鑫泰岩土科技有限公司, 江苏 宜兴 214268)

**摘要:** 某垃圾填埋场存在一个面积约 17 000 m<sup>2</sup>、深度约 23 m 的市政污泥填埋坑,其污泥含水率超过 80%,污泥剪切强度低,无法保证垃圾体边坡的整体稳定,存在失稳的风险。采用增压式真空预压地基处理法处理,首先在污泥内注射调理剂,然后插入塑料排水板和增压管,并用土工膜密封,最后抽真空排水。调理剂采用柠檬酸钠和三氯化铁。处理后,污泥含水率可降至 60% 左右,表层的地基承载力特征值可达到 45 kPa,沉降量超过 4 m。目前工程已经完工,并在污泥坑上建设了新的垃圾填埋场。

**关键词:** 存量污泥; 增压式真空预压; 调理剂; 塑料排水板; 含水率

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0063-04

## Application of Vacuum Preloading Foundation Treatment with Air Pressure Boosted Method to Management of Sludge Storage Landfill Pit

GENG Zhen<sup>1</sup>, JIN Ya-wei<sup>2</sup>, LIU Gang<sup>1</sup>

(1. Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China; 2. Jiangsu Xintai Geotextile Material Co. Ltd., Yixing 214268, China)

**Abstract:** There was a municipal sludge landfill pit with area of about 17 000 m<sup>2</sup> and depth of 23 m. The moisture content of sludge was over 80%, and the shear strength was low. So the slope stability of municipal solid wastes could not be guaranteed, which could lead to the risk of instability. The vacuum preloading foundation treatment with air pressure boosted was adopted. Firstly, conditioner was injected into the sludge. Then, the plastic drainage boards and supercharging pipes were set up, and the sludge pit was sealed with geomembrane. Finally, vacuum drainage was carried out. The conditioner was composed of sodium citrate and iron trichloride. The moisture content of sludge could be reduced to about 60%, and the bearing capacity of the surface foundation can reach 45 kPa after handling, the settlement amount exceeded 4 m. This project has been completed and a new landfill has been built on the sludge pit.

**Key words:** stock sludge; vacuum preloading with air pressure boosted; conditioner; plastic drainage board; moisture content

随着我国城镇化水平的不断提高,污水处理设施建设得到了高速发展,但是在污水厂建设过程中,长期以来“重水轻泥”,我国城镇污水处理厂基本实现了污泥的初步减量化,但未完全实现污泥的稳定化处理,很多污水处理厂产生的剩余污泥进入垃圾

填埋场填埋处置。

在 2007 年以前的几年中,某垃圾填埋场接收了该市城市污水处理厂的剩余污泥,后形成一个面积约 17 000 m<sup>2</sup>、深度约 23 m 的污泥填埋坑,位于垃圾填埋场的东侧。填埋坑中生长杂草,类沼泽地,含水

率高,强度低。填埋坑表面由于积水全是液态,强度为零,水面下污泥为流塑状,基本没有强度。坑北侧为山体,东南侧为垃圾堆体边坡,坡顶到下部渗滤液调节池高差近 38 m,垃圾堆体边坡坡比为 1:3。由于垃圾体各向均匀性差,剪切强度低,坑内的污泥强度无法保证垃圾体边坡的整体稳定。同时现状污泥填埋坑顶面低于四周垃圾坝 4~5 m,造成雨水无法排出,若遇连降大雨,雨水汇聚到坑内无法顺利排出,将使坑顶附加荷载增加,增大坑外侧垃圾堆体边坡破坏的可能,坑外侧垃圾堆体边坡若发生倾覆,将严重影响垃圾填埋场的生产安全。为解决垃圾填埋场的极大安全隐患,亟需对污泥填埋坑实施整治,以提高其安全稳定性。

## 1 处理工艺选择

存量污泥填埋坑处理可分为外运处理和原位处理。

外运处理是将坑中污泥挖除后采用专门车辆外运至污水厂进行污泥干化或污泥焚烧处理。由于本工程污泥填埋坑体积较大,且深度达到 23 m 左右,挖除运输及处理均不可行,故采取原位处理方法。

目前国内的存量污泥填埋坑原位处理案例使用的方法有挖出后掺拌药剂回填法、桩基处理法、真空预压法等。

挖出后掺拌药剂回填法适用于坑深度不超过 5 m 的污泥填埋坑,使用长臂挖机将污泥挖除,用固化剂固化后回填。本工程填埋坑深度过大,无法使用长臂挖机挖出污泥。

桩基处理法是在污泥坑顶部回填黏土等材料形成表面持力层,再使用搅拌机械或旋喷机械将水泥等固化剂喷入污泥体内,加固污泥。本工程污泥填埋坑面积和深度均很大,且稳定性能很差,无法大量回填黏土等材料,桩基处理法也不适用。

真空预压法是在污泥坑表面上覆盖一层不透气的密封膜使污泥体与大气隔绝,通过埋设于砂垫层中的吸水管和污泥体中的塑料排水板,用真空装置抽气,将膜内空气和污泥体中的水分排出,其处理砂土和淤泥土效果较好,对污泥堆体处理效果有限。污泥堆体的治理,可采用增压式真空预压处理法,即在真空预压法的基础之上,在塑料排水板间增设增压管,通过在污泥体中正向增压,使得污泥体中心与排水板压力差增加,可明显改善处理效果。其处理成本要远远小于掺拌药剂回填法和桩基处理法,其

缺点是处理后污泥的土力学指标不如前述两种方法好。

本工程污泥填埋坑处理的目的主要是加固污泥体,提高污泥体的安全稳定性。结合施工方法的优缺点,本工程采用增压式真空预压法处理污泥填埋坑。

## 2 工程设计

### 2.1 污泥调理

污泥为亲水性、微细粒度的有机污泥,可压缩性能差,脱水性能差,污泥最高含水率达到 90% 左右,水分以自由水和细胞水存在。由于细胞水存在于有机物中,采取普通的增压真空预压技术难以压缩脱水,故需先对污泥调理,将水分充分释放。

本工程实施前,通过中试确定调理剂采用柠檬酸钠和三氯化铁的混合溶液,其质量比为 1:9,溶液投加比例为 0.8%。

### 2.2 增压真空预压

增压真空预压处理法(见图 1)在塑料排水板间增设增压管。当常规真空预压固结度达 40% 后,增压管开始工作。土体中心正气压增加(气压增至 400 kPa),使真空预压的加固效果得到明显改善。

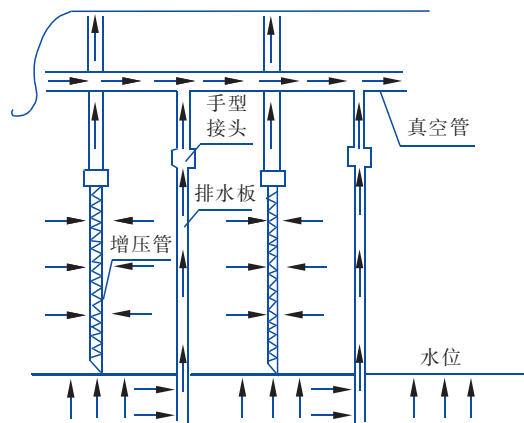


图1 增压式真空预压法示意

Fig.1 Sketch map of the vacuum preloading foundation treatment with air pressure boosted

增压式真空预压加固地基一方面由真空预压发挥加固作用,即在土体总应力不变的条件下,孔隙水压力逐渐降低,有效应力不断提高。另一方面,设置增压管后,增压段中与膜下水头大小增加,挤迫土中自由水进入塑料排水板,相当于加速膜下土体固结过程;虽然在增压过程中,增压系统的存在会抵消增压管范围内部分真空度,降低膜下真空效果,但增

压过程不仅能增大膜内外压力差,而且对排水板上细颗粒有一定强迫冲刷作用,提高其排水效果;同时增压过程产生的气体(高压流体)会在上部自重及附加应力作用下,沿塑料排水板迅速排出。从而在有限的工期内大幅度提高地基强度及固结深度<sup>[1]</sup>。

## 2.3 施工工艺

本工程施工分为浅层施工和深层施工。

### 2.3.1 浅层施工工艺设计

浅层施工的目的是使污泥填埋坑表层形成强度达15~20 kPa的硬壳层,满足深层施工机械荷载要求。浅层施工的厚度为4 m。

施工前先清除污泥填埋坑表面的垃圾和污水。

其次在污泥上铺设一层150 g/m<sup>2</sup>无纺土工布,在土工布上放置PE泡沫板轻质材料人造垫层,便于人工注射调理剂和人工插板。

第三步,采用人工注浆的方法在污泥中均匀地注入调理剂溶液。调理剂配制后储存于储罐中,采用螺杆泵提升,注射管为特制的穿孔管。

第四步,人工插排水板和增压管。排水板上端高出污泥层顶50 cm,排水板呈正方形布置,中间放置塑料增压管,排水板间距为0.4 m。

为防止塑料排水板出现护壁现象,本工程采用与传统排水板不同的新型防淤堵排水板,具有整体性好、抗拉强度高、通水量大的特点。塑料排水板通过手型接头与排水管直接相连,排水管最终通至不倒翁集水井,再连至真空泵抽真空,真空度维持在80 kPa以上。

增压管由有微孔及过滤功能的材料制成,并且有能收缩的水平微孔透水增压管,上部用三通连接组成增压系统,能均匀分布压力,正压维持在0~20 kPa。

第五步,铺设0.2 mm厚PVC土工膜,采用压膜沟密封后,开始抽真空。

抽真空90 d后,检测污泥坑表层污泥强度,达到25 kPa后,停止抽真空,进入深层施工阶段。

### 2.3.2 深层施工工艺设计

深层施工厚度为20 m。

首先需拆除密封膜和真空管路系统,然后采用机械注调理剂和插排水板、增压管等。其施工步骤和设计参数与浅层施工相同。

## 2.4 废水处理设计

抽真空产生的废水,经实验确定,pH值约为3,

COD约为1 000 mg/L,设计投加苛性钠调节pH值至7后,排入市政污水管网。

## 3 投资成本分析

本工程污泥填埋坑总库容约为 $28 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,工程总投资约4 500万元。扣除污水处理和支护等附属工程后总投资约为3 500万元,折合污泥吨处理投资为130元,远小于目前常见的使用药剂固化污泥的工艺投资。

## 4 工程效果分析

① 本工程浅层施工抽真空90 d后,经竖向平板载荷试验确定其承载力极限值达到50 kN,满足插板机械施工条件,遂进行深层施工;深层施工抽真空90 d后,对表面进行竖向平板载荷试验,9个检测点承载力极限值均大于60 kN。对污泥体采用多组静力触探试验,2、4、10和15 m深处的地基承载力特征值分别达到45、35、25和35 kPa,取得了很好的施工效果。

② 污泥初始含水率为80%~85%,施工后,分别在不同深度范围内取样检测,污泥含水率降至65%以下,尤其是浅层污泥含水率降到55%。

③ 污泥填埋坑施工后,顶面平均沉降量超过4 m,显示处理后地基加固效果明显,其安全稳定性能大大提高。

浅层施工完毕后,深层施工时,大型机械注调理剂和插排水板的现场照片见图2。



图2 施工现场照片

Fig.2 Picture of the construction site

## 5 结语

① 自20世纪90年代以来,国内污水处理厂污泥基本上没有经过正规化处理,大多通过简易填埋处置,这些存量污泥填埋坑目前多位于生活垃圾填埋场内或者城市建成区内,其安全和环境隐患严



重,必须得经过有效处理消除隐患。

② 存量污泥填埋坑的处理必须根据其处理的最终目的确定工艺,如果处理的目的是消除安全和环境隐患,场地作为堆场或公园湿地等对地基承载力要求不是太大的污泥坑,采用增压式真空预压法,不失为一种最为经济有效的办法。

③ 增压式真空预压法处理存量污泥填埋坑,可将污泥含水率降至60%左右,基本减量一半;表面承载力极限值可大于60 kN,污泥内部的地基承载力特征值可大于25 kPa,处理效果明显。

④ 该工艺污泥吨处理投资为130元,远小于目前常见的其他工艺投资。目前工程已经完工,并在其上建设了新的垃圾填埋场,已投入运行。

#### 参考文献:

- [1] 沈宇鹏,冯瑞玲,余江,等. 增压式真空预压处理软基的加固机理[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2012,42(3):792-797.

Shen Yupeng, Feng Ruiling, Yu Jiang, et al. Reinforcem-

ent of vacuum preloading with air pressure boosted for soft ground treatment [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(3): 792-797 (in Chinese).



作者简介:耿震(1978-),男,江苏徐州人,硕士,高级工程师,现任无锡市市政设计研究院有限公司公用工程设计所所长,从事给排水与固废处理处置的设计研究工作。

E-mail: 2391030038@qq.com

收稿日期:2017-11-06

(上接第62页)

② 药剂费:投加药剂包括NaClO、PAC、PAM、稀硫酸,药剂费用为391.46万元/a;

③ 人工费:新增维护人员3名,每人工资为4.8万元/a,人工费为14.4万元/a。

则年直接运行总费用为601.77万元,年处理污水总量为 $912.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,单位直接运行费用为0.659元/ $\text{m}^3$ 。

#### 4 结语

针对难生物降解废水,提标改造工程设计采用臭氧接触氧化对废水进行预氧化处理,并增设混凝及高效澄清池+竖片纤维滤布滤池深度处理工艺,处理效果稳定可靠。

#### 参考文献:

- [1] 陈武强. 臭氧高级氧化技术及其在工业废水处理中的应用[J]. 能源与环境, 2010, (3): 66-67, 70.

Chen Wuqiang. Advanced ozone oxidation technology and its application in the treatment of industrial wastewater

[J]. Energy and Environment, 2010, (3): 66-67, 70 (in Chinese).



作者简介:徐恒(1988-),男,湖北黄冈人,本科,工艺工程师,注册环保工程师,咨询工程师(投资),研究方向为城镇污水处理及湖泊、河流环境综合整治。

E-mail: 243286928@qq.com

收稿日期:2017-09-27