



# 管道气动搅拌传输固化土技术\*

于浩, 程寅, 范一锴, 黄新

(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 中国正在进行大规模的填海造地以及港口码头的建设, 需要寻求适合大体积量地基填筑的高效的处理技术和施工工艺。日本近年来开发的“管道气动搅拌传输固化土技术”是适合于大体积量固化土制备、传输和填筑的高效的处理技术。介绍“管道气动搅拌传输固化土技术”的主要用途及其施工设备和施工工艺, 并结合目前我国疏浚淤泥处理的现状, 提出利用日本“管道气动搅拌传输固化土技术”与我国疏浚淤泥处理技术相结合的高效的处理技术和施工工艺。

**关键词:** 地基填筑; 疏浚淤泥; 管中混合; 气动传输; 固化土

中图分类号: TU 472.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0057-05

## Pneumatic flow mixing soil-stabilizing method

YU Hao, CHENG Yin, FAN Yi-kai, HUANG Xin

(Department of Civil Engineering, School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Land reclamation and port construction have been conducted in our country. A kind of efficient treatment technique and construction process which suits to large volume reclamation foundation project needs to be explored. The “Pneumatic Flow Mixing Stabilized Soil Method” which is developed by Japan recently is a kind of efficient treatment technique which suits to the preparation, transmission, and reclamation of large volume stabilized soil. The application, construction equipment, and construction process of the “Pneumatic Flow Mixing Stabilized Soil Method” are introduced, and a kind of efficient treatment technique and construction process is proposed based on the “Pneumatic Flow Mixing Stabilized Soil” Method in Japan and the dredged clay treatment technique in China.

**Key words:** foundation reclamation; dredged clay; pipeline mixing; pneumatic transport; stabilized soil

我国正大规模的进行填海造地, 2005年以来我国每年填海造地面积都在100 km<sup>2</sup>以上<sup>[1]</sup>, 同时我国近年规划建设大量港口码头<sup>[2]</sup>, 这些都需要进行大规模的地基填筑。由于开山获取土石材作为地基填筑材料会对环境造成不利影响, 因而其应用受到了限制, 且采用石材作为地基填筑材料对地基下卧层承载力有较高要求; 近年来利用疏浚淤泥作为地基填筑材料在填海以及港口工程中得到广泛应用<sup>[3]</sup>, 但由于疏浚淤泥含水量大、承载力低, 带来后续的地基再处理问题。日本近年来将疏浚淤泥经水泥固化成固化土作为港湾工程的地

基填筑材料取得良好的技术效果和经济效益<sup>[4-5]</sup>。港湾工程软土固化处理的工程量远大于一般建筑的软土固化处理工程, 目前用以处理一般建筑软土地基固化处理的处理技术和施工工艺不能满足大体积量疏浚淤泥固化处理的要求, 因此迫切需要开发适合大体积量疏浚淤泥固化处理的高效的处理技术和施工工艺。

### 1 管道气动搅拌传输固化土技术概况

将海底、江河、湖泊等地的疏浚淤泥, 处理成具有适当流动度的泥浆, 加入适量的固化剂搅

收稿日期: 2012-09-11

\*基金项目: 国家自然科学基金(51178021)

作者简介: 于浩(1983—), 男, 博士研究生, 从事软土固化方面的研究。

拌均匀, 然后经过适当方法将其浇注于拟填筑场地, 待固化土硬化具有足够强度即成为浇注固化土填筑地基。

传统的浇注固化土技术是采用机械搅拌方式将固化剂搅拌均匀, 然后采用皮带运输机或车辆将固化土运送到传送地点。这种方式工作效率低, 难以在港口工程等需要大体积量填筑的工程中应用。

日本于20世纪末将气动传输技术引入了固化土制备与运输工程中, 形成了一种新的方法——管道气动搅拌传输固化土技术<sup>[4]</sup>。该方法是将疏浚淤泥调制到含水率约为100%后输入到管道中, 并放入适量固化剂, 同时向管道中输入压缩空气。在压力气流的驱动下, 土与固化剂在管道中翻滚前行, 被揉搓拌和成均匀的固化土, 并被输送至拟填筑场地。“管道气动搅拌传输固化土技术”是一种制备与传输固化土的高效方式。根据日本相关资料提供的数据: 将疏浚淤泥制备成固化土并送达填筑场地, 单台机组处理效率可达1 000 m<sup>3</sup>/h, 吹送距离可达1.5 km<sup>[5]</sup>; 同时由于可以通过调整固化剂的掺量获得需要的固化土强度, 从而可以将浇注固化土用于不同强度要求的实际工程。此外, 这种新方法的施工机械仅是已有技术装备的组合, 可以利用现有设备。

这些优点使“管道气动搅拌传输固化土技术”在大体积量填筑工程中得到迅速地发展与应用。据不完全统计, 日本自1998年首次将该技术应用用于工程, 到2007年共完成了39项港湾工程, 固化土总填筑量达1 056万m<sup>3</sup>; 其中中部国际空港人工岛填筑工程使用浇注固化土达863万m<sup>3</sup>。在日本, 该技术已经形成了较为完善的设计、施工方法。

## 2 管道气动搅拌传输固化土技术的主要用途

基于“管道气动搅拌传输固化土技术”的浇注固化土已在以下实际工程中得到应用: 作为海上以及陆上填筑场地的填筑材料、护堤底部加固材料以及中间隔离材料等; 在降低壁岸后土压力以及防止液化方面取得很好的效果; 由于可以使

固化土得到任意的强度, 也可作为岸壁或者护堤的填充材料或还填材料利用。主要用途如下:

1) 场地填筑, 利用固化疏浚淤泥可短期内建造几乎不发生沉降的地基。其主要优点如下:

- ① 对疏浚土进行有效利用, 可降低环境负荷;
- ② 可作为大规模填筑场地的填埋材料, 大批量快速填筑; 可以利用现有的设备, 以缩短工期、缩减工程费用;
- ③ 通过调整固化剂用量, 可短期内获得任意强度的材料, 所以无需二次处理, 地基后期也不会发生沉降;
- ④ 可以在海上进行管道压送, 可进行水下浇注, 故可在任意场地进行填筑, 且固化土强度都能够保证, 因此能够确保堤等的安定性。

例如: 日本中部国际机场建在一个距海岸线2 km的人工岛上, 人工岛面积580 hm<sup>2</sup>, 其中一部分是采用疏浚淤泥用水泥固化后在深为3~10 m的海床上建造的, 共计固化疏浚淤泥860万m<sup>3</sup>, 每立方米疏浚淤泥掺加水泥的量约为50~60 kg, 固化处理后固化土的设计强度值为157kPa, 水下浇注固化土的实际检测强度平均值为282 kPa, 变异系数为38%<sup>[5]</sup>。

2) 降低岸壁后的土压力, 缩小堤体断面。

在码头岸壁后至海岸之间的接岸带通常需要进行回填, 采用传统的砂石材料回填, 将在岸壁上产生很大的土压力, 从而增加建造成本。

采用浇注固化土作为接岸带回填材料可降低土压力, 因而可以缩小堤体、基部以及板式桩断面, 可以缩减工程费用和缩短工期(图1)。

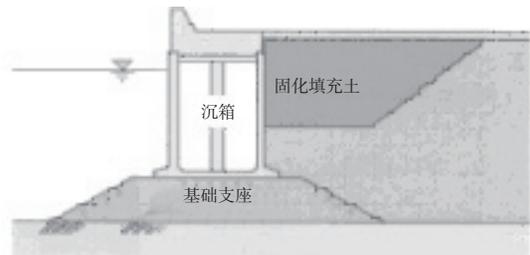


图1 土压减低实例

3) 抗震加固, 防止液化。

可预防背面地层的液化, 实现已建成设施的抗震补强和背部地层稳定性的提高(图2)。

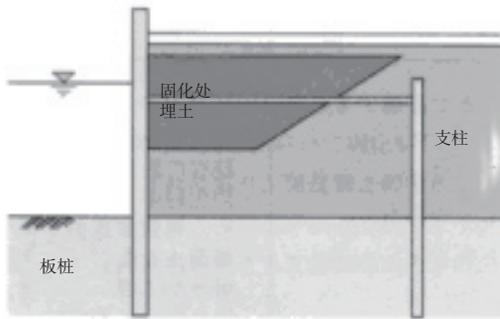


图2 防震补强实例

4) 护堤腹部增强,防止填埋后的疏浚土被吸出。

可以在海上通过管道压送,进行水下浇注,无需铺设临时道路,可实现任意场所护堤的腹部加固或中间隔离施工,提供满足强度要求的加固层,因而可缩短工期和缩减工程费用(图3)。

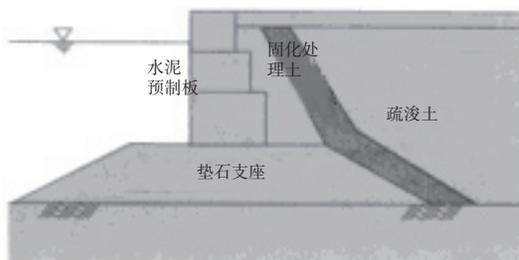


图3 护堤腹部增强实例

5) 表层改良。

为了提高地基土强度,可通过管道压送浇注固化土,用于软弱土质填埋场地的表层改良,也可作为水中构筑物周围的还填材料使用(图4)。

6) 水下还填,海底建筑物的防护(图5)。

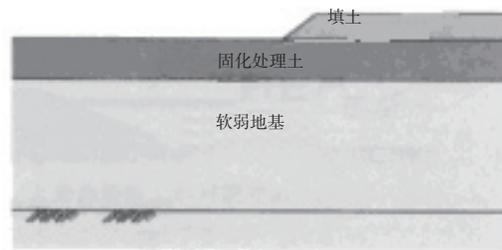


图4 表层改良实例

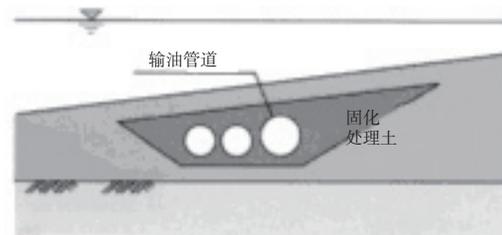


图5 水下还填实例

### 3 管道气动搅拌传输固化土技术的主要设备和工艺

利用管道传输软土,若在管道中没有输入空气,则需要提供很高的输送压力以克服软土与管壁间的摩阻力。然而,如果随软土一起注入大量的压缩空气,则软土会被注入的空气分散成小的团块(图6),这些分散的土团块借助于压缩空气被高速传输到管道另一端,由空气和土构成的土团块大大消减了土与管壁间的摩阻力,因而大大减小了传输土体所需要的压力。根据现有经验,注入的压缩空气常用的气压在400~500 kN/m<sup>2</sup>,土团块在管道中的运输速度为1.5~25 m/s。当土团块以高速在管中运行时,由于土团块与管壁之间的摩擦形成紊流,这种紊流的作用可使软土与固化剂充分的拌合均匀(图7)。

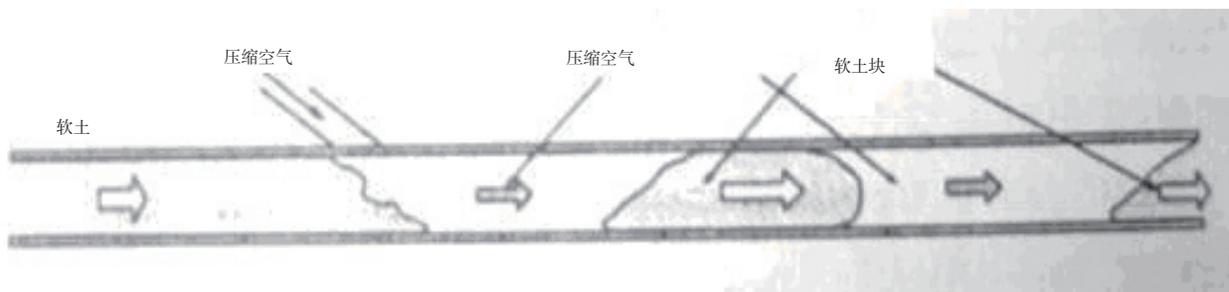


图6 软土被压缩空气分散

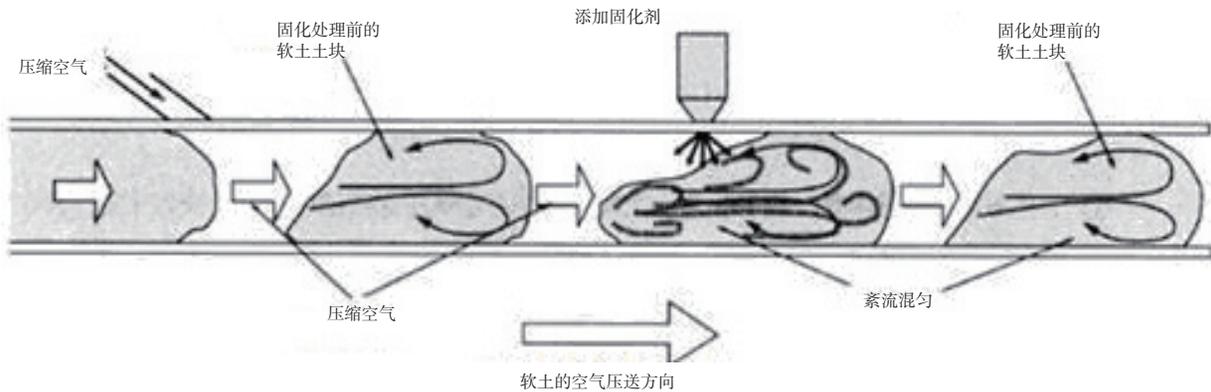


图7 空气压送的混合原理

日本典型的“管道气动搅拌传输固化土技术”的主要施工工艺如图8所示，其施工设备主要包括3部分：空气压送驳船、固化剂供给驳船和固化土浇注驳船。空气压送驳船主要是将海底淤泥挖起，然后将其打碎加水调和成均匀的适当含水量的泥浆，然后输送到管道中；固化剂供给驳船

主要负责贮存和向管中输入固化剂，固化剂输入可以在注入压缩空气前将固化剂注入管中，也可以在压缩空气注入后再将固化剂注入管中，固化剂与软土在管道输送过程中拌合均匀；固化土浇注驳船是将由管道传输来的固化土泥浆摊铺或浇注在拟填筑的场地上。

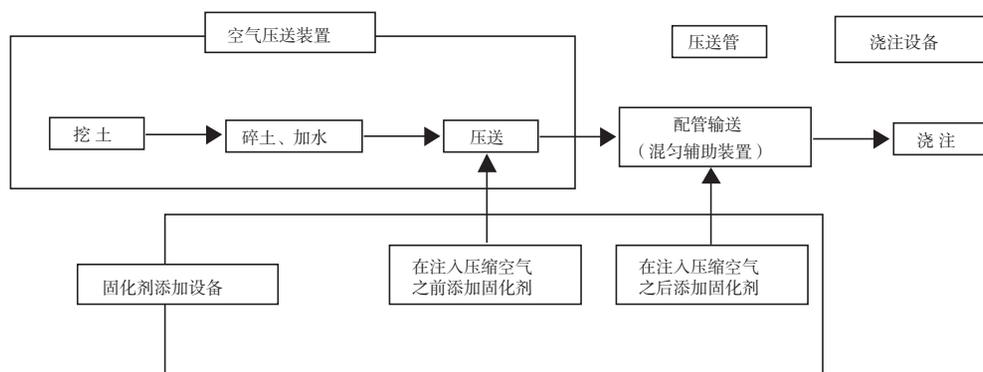
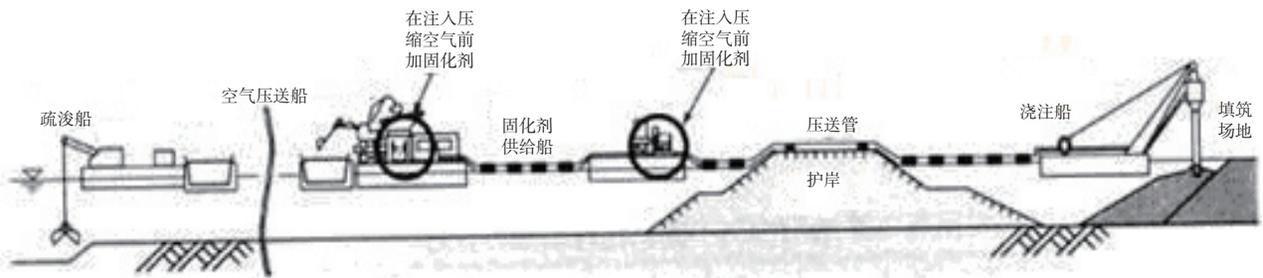


图8 管道气动搅拌传输技术的施工过程

日本中部国际机场工程中，从海底挖出的淤泥在空气压送驳船上加水搅拌成 $\omega=110\%$ 左右的泥浆，将气压为 $390\sim 490\text{ kN/m}^2$ 的压缩空气注入到管径为 $76\text{ cm}$ 的传输管道中进行传输，采用在注入压缩空气一段时间后再加入水泥的方式。加入水泥后，固化剂与水泥的混合物在管道中被传输到

$1.5\text{ km}$ 之外的填筑现场。采用3套设备进行施工，每套设备的最大填筑量为 $1\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ，3套设备每天能完成 $2.5\text{万 m}^3$ 的固化土的生产 and 填筑<sup>[5]</sup>。

如前所述，日本用海底疏浚淤泥制备固化土填筑场地的典型工法是采用空气压缩船、固化剂供给船和固化土浇注船，通过水面上作业，将

海底挖出的淤泥加水至适当含水率,然后通过气动传输至填筑场地。而我国目前疏浚淤泥填海造地大量采用的方法是:由挖泥船将海底淤泥打成含固量小于20%的泥浆,然后用泵送方式将泥浆注入到围栏坝内,泥沙沉积、浮水流走。为了适应我国泵送高含水量泥浆的习惯做法,我们在日本技术的基础上提出了新的技术方案,即:将围栏坝内的拟填筑场地分格,挖泥疏浚部分仍采用现有挖泥船泵送泥浆的技术,将泥浆注入围栏坝内的某格后,在泥沙沉积初步稳定达到适宜含水率时,采用泵将适宜含水率的泥浆输送入气动传输的管道中,加入固化剂后,采用日本技术中的管道气动传输搅拌的技术,制备和传输固化土至填筑场地,进行浇注固化土的填筑施工。当不具备泥浆沉积脱水条件时,则可以采用旋流器脱水技术,将挖泥船泵送的高含水量泥浆脱水至适宜含水量,然后再输入至气动传输管道,加入固化剂后,采用管道气动传输搅拌技术制备传输固化土,进行浇注固化土施工<sup>[6-7]</sup>。

#### 4 结语

日本将气动传输技术引入了固化土制备与运输工程中,形成了“管道气动搅拌传输固化土技术”,是适合于大体积量地基填筑的高效的处理技术。其主要的施工工艺流程是:将疏浚淤泥挖起后将其打碎加水调和成均匀的适当含水量的泥浆并输送到管道中;向管道中输入固化剂并通入压缩空气,固化剂与疏浚淤泥在压缩空气的推动下沿管道输送并在输送过程中拌合均匀;最后将由管道传输来的固化土摊铺或浇注在拟填筑的场地上。

“管道气动搅拌传输固化土技术”的主要用途有:

1) 场地填筑,利用疏浚淤泥可短期内建造几

乎不会发生沉降的地基;

2) 降低岸壁后的土压力,缩小堤体断面;

3) 抗震加固,防止液化;

4) 护堤腹部增强,防止填埋后的疏浚土被吸出;

5) 表层改良;

6) 水下还填,海底建筑物的防护。

“管道气动搅拌传输固化土技术”是一种制备与传输固化土的高效方式。将疏浚淤泥制备成固化土并送达填筑场地,单台机组处理效率可达1 000 m<sup>3</sup>/h,吹送距离可达1.5 km。因此,“管道气动搅拌传输固化土技术”是一种适合于大体积量疏浚淤泥处理的高效的处理技术。

#### 参考文献:

- [1] 董志良,张功新,李燕,等. 大面积围海造陆创新技术及工程实践[J]. 水运工程, 2010(10): 54-66.
- [2] 刘莹,王清. 江苏连云港地区吹填土室内沉积试验研究[J]. 地质通报, 2006, 25(6): 762-765.
- [3] 陈萍,张振营,李小山,等. 废弃淤泥作为再生资源的固化技术与工程应用研究[J]. 浙江水利科技, 2006(6): 1-3.
- [4] 北詰昌樹,新舍博,渡辺雅哉,等. 管中混合固化处理土の工学的性質(その1)—現場強度のばらつきと強度比—[C]. 第42回地盤工学研究発表会, 2007.
- [5] Kitazume M. Design, execution and quality control of ground improvement in land reclamation[C]. Kolkata Proc of the 13th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2007.
- [6] 程寅,黄新. 一种吹填淤泥造地的施工装置[P]. 中国专利: 201010153656.9, 2011-12-21.
- [7] 范一镨,李战国,皮进,等. 一种吹填淤泥围海造地的施工工艺及其装置[P]. 中国专利: 200910083099.5, 2011-12-14.

(本文编辑 郭雪珍)