

软土地基加固处理技术研究综述

段晓沛

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300392

摘要: 简述了我国软土的分布及成因,分析了软土的成分以及结构,总结了软土典型的物理力学特性;归纳了软土地基常见的工程问题,论述了软土地基处理方法,并从微观结构方面论述了各种方法的作用机理;总结了当前软土地基处理工程存在的不足,提出了软土地基处理工程科技研究的发展展望。

关键词: 软土;软土地基处理;微观结构;作用机理;发展展望

Review of research on soft soil foundation reinforcement treatment technology

Xiaopei Duan

Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., LTD. Tianjin 300392

Abstract: The paper introduced briefly the distribution and the formation reasons of soft soil, analyzed the composition and structure of soft soil, summarized the typical physical and mechanical properties of soft soil; the thesis summarized the common engineering problems of soft soil foundation and also discussed the action mechanism of various methods from the microscopic structure; it summarized the deficiencies of soft soil foundation treatment projects and put forward the development prospect of soft soil foundation treatment engineering.

Keywords: Soft soil; Soft soil foundation treatment; Microstructure; Action mechanism; Development prospect

一、软土的分布及成因

软土的界定:泛指淤泥及淤泥质土,富含有机质,天然含水量大于液限,天然孔隙率 e 大于或等于1。根据含水量不同,软土的可分类:天然孔隙率 $e \geq 1.5$,称为淤泥;天然孔隙率 e 介于1~1.5的,称为淤泥质土。根据有机质含量不同,软土可分类为:当有机质含量5%~10%,称有机质土;当有机质含量10%~60%时,称泥炭质土;当有机质含量 $\geq 60\%$ 时,称泥炭。

国内软土主要分布在渤海湾地区(天津滨海新区、秦皇岛、唐山及连云港等)、长三角地区(宁波、杭州、上海等)、闽南沿海区、珠三角(广州、珠海、深圳等),内地主要分布在武汉、昆明、四川及重庆等地。根据成因类型划分,可分为滨海相、泻湖相、溺湖相、三角洲相、河漫滩相及湖泊相软土。各地区软土在形成过程中,受多种因素影响,因此在宏观土层分布上也有明显差异性:长江、黄河出海口与海洋交汇处,例如天津、上海、宁波等地,受数次海浸海退影响,滨海相沉积层厚度较大,夹粉砂薄层或透镜体与软土交错沉积,夹层可改善软土地基的渗透性;泻湖相一般软土层单一、均匀且厚度较大;溺谷相软土分布范围较窄,软土厚度较薄,横向变化较大。内陆河漫滩相软土主要是长江河漫滩成因,沉积大多是二元结构,下部为河床相沉积,上层为河漫滩相沉积,河漫滩相沉积以软土及粉土粉砂为主,常含有腐殖质夹层;湖泊相软土

例如云南滇池地区,软土分布比较规则并且水平层理明显,软土的成层一般较薄。

软土的成因不同,其工程特性差异也较大。南京大学阎长虹教授^[1]以江苏连云港滨海相、南京河漫滩相、吴江湖泊相、盱眙洼地相等四种典型成因类型的软土为实例,从矿物成分、颗粒组成、物理性质、力学性质等方面系统探讨不同成因软土工程性质,讨论其在工程地质上的异同性,研究结果表明:软土的成因类型及矿物成分、粒度成分、含水量控制着软土的工程地质性质。因此,在研究软土的工程特性时候应注重软土成因以及物理力学性质的基础研究。

二、软土的成分、结构及工程特性

根据文献^[2],通过X射线衍射仪分析确定沿海软土的物质成分:软土中非黏土矿物成分主要为石英、长石、云母和碳酸盐,分布区域不同含量不同,其中北方黄海渤海沿海,长石和碳酸盐含量较高,而东南沿海长石和碳酸盐含量明显减少;黏土矿物成分北方以伊利石为主,南方以高岭石为主。其矿物成分的差异主要由于沉积前风化程度不同。

软土的结构根据骨架颗粒的刚度和连结方式不同归纳分为4种类型:粒状胶结结构,这类软土通常属于粉质黏性土,此类土具有一定的强度,且在荷载的作用下变形较小,常见于北方黄海、渤海软土地表以下2~3m;粒状

链接结构, 此类土通常成为淤泥质亚黏土, 强度较前一类低, 压缩变形较大, 但在长期压力作用下变形逐渐减少并且随着颗粒间距离减小而趋于稳定, 常见于东海沿岸; 絮状链接结构, 此类土几乎没有砂粒, 粉粒也很少, 黏土含量较高, 有机质含量也较高。此类软土为沿海软土的典型结构, 强度很低, 变形也很大, 主要特征为在长期压力作用下流动变形较严重, 这类土常称为淤泥, 普遍存在于沿海地区; 黏土基质结构, 此类土一般存在于较深的土层中。

软土的物理力学特性主要是天然含水率高、孔隙率大、抗剪强度低、压缩系数高、渗透系数小, 具有触变性、流变性及其不均匀性。在荷载作用下, 软土地基承载力低, 地基沉降变形大, 容易产生较大的不均匀沉降, 而且沉降稳定历时较长。

1. 孔隙比大、含水率高

渤海湾地区软土含水率一般在 40%~60% 之间, 孔隙比在 1.0~1.3 之间; 长江三角洲地区软土含水率一般在 35%~55% 之间, 孔隙比在 1.1~1.5 之间; 珠江三角洲地区软土含水率一般在 50%~90% 之间, 一般大于液限, 高的可达 200%, 孔隙比在 1.4~2.1 之间。各地软土含水率一般大于 40%, 孔隙比大于 1.1。

2. 压缩性高, 变形量大

珠江三角洲地区软土压缩系数通常大于 1.5MPa^{-1} , 压缩模量 E_s 多在 1.0~2.0MPa, 其他地区软土压缩系数通常大于 1.0MPa^{-1} , 压缩模量 E_s 多大于 2.0MPa。根据文献 [3] 相关资料统计结果: 长江三角洲地区 5m 的填土沉降量为 1.5~2.0m, 渤海湾地区 5m 的填土沉降量为 1.0~1.5m, 珠江三角洲地区 5m 的填土沉降量为 2.0~3.0m。

3. 强度低

珠江三角洲地区软土十字抗剪强度多小于 20KPa, 一般容许承载力在 20~45KPa; 长江三角洲地区软土十字抗剪强度多小于 30KPa, 一般容许承载力在 50~70KPa; 渤海湾地区软土十字抗剪强度多小于 40kPa, 一般容许承载力在 50~80kPa。

4. 透水性差, 压缩稳定所需时间长

软土的颗粒组成以黏粒为主, 尽管孔隙比大, 但单个孔隙却很细, 并且随着固结压力的增大, 土中的孔隙水不断减少, 结合水膜变得越来越薄, 越来越多的黏土颗粒靠结合水膜连结形成新的团聚体^[4], 水在孔隙中流动也更困难, 同时, 当软土中含有有机质, 有机质可能氧化后产生气泡, 堵塞渗流通道也能够降低其渗透性, 因此软土的渗透性很低, 渗透系数一般在 $10^{-7} \sim 10^{-8}\text{cm/s}$ 数量级。渗透性差, 施

加荷载后, 水不能很快排出, 变形也只能慢慢发展。

5. 侧向变形较大

软土的侧向变形比一般土要大, 而且侧向变形与竖向变形之比在相同条件下也比一般土要大, 换句话说, 其泊松比要比非软土大。饱和软土受荷时, 初期水来不及排出, 土体体积不能收缩, 便从侧向向外挤出, 侧向膨胀的体积与竖向沉降的体积近于相等, 泊松比接近于 0.5。随着水的逐步排出, 土体体积收缩, 竖向沉降进一步发展, 而侧向可能略有收缩。这时的泊松比小于 0.5, 达到 0.4, 乃至 0.3 以下。从最终稳定的变形来看, 软土的泊松比一般高于非软土。

6. 触变性

引起此特性的主要原因是软土含有大量的弱结合水, 软土土颗粒周围外层弱结合水水分子间的排列比较疏松, 当原状土未被破坏时常具有一定的结构强度, 但一经扰动, 弱结合水发生迁移, 可能从浓度较低处迁移到浓度较高处, 从水膜较厚处迁移到较薄处, 也可能迁移到另一个土颗粒附近, 结合水的迁移引起土结构的破坏, 强度迅速降低或很快变成稀释状态^[5]。所以软土地基受振动荷载后, 易产生侧向滑动、沉降及其底面两侧挤出等现象。

7. 蠕变性

软土的蠕变性是指在一定的荷载持续作用下, 软土的变形随时间而增长的特性, 使其长期强度远小于瞬时强度。已有研究表明: 结合水是影响软土蠕变的主要因素。软土中小孔径、小孔隙占主导地位, 这为结合水的形成和存在提供了有利的条件。大量学者通过室内土工试验和电镜测试, 研究了软土蠕变特性及微观结构的演变特征表明^[6]: 在整个蠕变过程中, 弱结合水是蠕变变形的主控因素, 固结压力较小时, 主要是自由水的排出过程, 当固结压力达到一定的临界值时, 弱结合水转化为自由水排出。

8. 不均匀性

软土层中因夹粉细砂透镜体, 在平面及垂直方向上呈明显差异性, 易产生建筑物地基的不均匀沉降。

三、软土地基常见的工程问题及处理方法

有软土层分布、在荷载作用下易产生滑移或过大沉降变形的土质地基称为软土地基。软土地基常见的工程问题:

1. 地基承载力和稳定性问题

在静力和动力荷载作用下, 地基承载力不能满足要求时, 地基会产生局部或整体剪切破坏, 影响建筑物或者构筑物的正常使用, 引起建筑物或者构筑物破坏或边坡失稳。

2. 沉降、水平位移及不均匀沉降问题

在静力和动力荷载,地基产生变形,当道路沉降、水平位移或不均匀沉降超过相应的允许值时,将会影响建筑物或者构筑物的正常使用,甚至可能引起破坏。道路沉降量较大时,不均匀沉降往往也比较大,不均匀沉降对道路的危害较大。

软土地基处理是工程建设中的关键技术之一,在很大程度上控制着工程投资和工期长短。为了保证道路、桥梁、高层建筑等建筑物或构筑物的结构安全和正常使用,减小下述不利因素造成的影响,必须进行地基处理:

(1)当地基的抗剪强度不足以支撑上部结构的自重和外部荷载时,地基就会产生局部或整体的剪切破坏。

(2)当地基在上部结构的自重和外部荷载作用下产生过大的变形时,就会影响结构物的正常使用特别是超过结构物所容许的不均匀沉降量时,结构就可能开裂破坏。

(3)地基的渗漏量或水力比降超过容许值时,会发生水量损失,或因潜蚀和管涌可能导致失事,渗漏对地基处理施工和施工质量也有较大影响。

(4)在动力荷载作用下,可能引起软土地基失稳和震陷等危害。

对于软土地基来说,一般无法支承上部荷载和控制路堤变形,必须对地基进行处理,软土地基的处理方法:

(1) 浅层处理

①浅层换填法

浅层换填的深度一般定义为现状地面以下5m以内。常用的地基浅层处理方法主要有换填法、换填垫层法、加筋垫层法、抛石挤淤法等。

换填法就是将基础底面以下埋深浅、厚度较薄的软弱土层全部挖除,露出较好的地基土,然后用满足路基填筑要求的好土分层填筑碾压,达到路基要求的密实度。

②换填垫层法

如果挖除浅层软弱土层后,下面的土层含水率仍较大,直接分层填土很难压实,施工机械难以上去,这时候一般都先填筑一定厚度的砂砾、碎石、山皮土、拆房土、混渣等粒料垫层,碾压密实后再分层填筑好土,这种处理方法就是换土垫层法。

目前滨海地区如天津滨海新区、长三角地区会采用水泥或者石灰或者土壤固化剂原地处理一定厚度的软土层,然后再分层填筑路基。近年来,土壤固化剂得到了广泛的应用,日本称之为21世纪的新材料。土壤固化剂的固化原理是:①土壤固化剂与软土搅合后,土壤固化剂(常见

的水泥、石灰、硅粉或工业废料)与土中水发生一系列的物理化学反应,使黏土的结构发生变化,使土粒胶结成整体,从而是软土得到加固;②土壤固化剂(常见的有水玻璃、离子交换类固化剂、高分子类或者复合类固化剂)与孔隙水发生化学反应生成硅酸钙或者硅胶颗粒,堵塞颗粒间的孔隙或者裹覆土颗粒,减少土壤中的吸附水,从而改善软土的工程性质。近年来,随着固体废弃物的无害化处理,利用工业废料作为固化剂改善软土工程性质成为国内学者的重要研究方向。

③加筋垫层法

加筋垫层法是将抗拉能力很强的土工合成材料埋置于垫层中,利用土颗粒或碎石位移与拉筋产生摩擦力,使土与加筋材料形成整体,减少整体变形和增强整体稳定。由于土工织物受拉作用,调整了基底应力分布,地基侧向位移和沉降相应减少,地基稳定性就大大提高。

随着土工合成材料在环境岩土工程中的应用及新材料的开发,土工合成材料用于软基处理的工程应用逐步推广,土工合成材料主要有隔离、过滤、排水、加筋、保护、防渗六大功能,具有以下优点:①节约成本。防止回填料与软基细小颗粒相互掺混形成失效层,减少料损失;②有效分布交通荷载,增加底基层受力面积,从而增加承受荷载能力;③土工织物与粒料垫层形成整体结构层,使得上部荷载均匀分布在更大的受力面积上,从而减小完工后结构的不均匀沉降和变形;④减小开挖深度,最大限度减少现场准备时间。土工合成材料加筋垫层是将土工合成材料平铺于垫层上、下或之间以提高地基表面承载力,使上部荷载均匀分散到地基中。当地基可能出现塑性剪切破坏时,土工合成材料将起到阻止破坏面形成或减小破坏发展范围的作用,从而达到提高地基承载力的目的。此外,土工合成材料与垫层土之间的相互摩擦将限制地基土的侧向变形,从而增加地基的稳定性。

④抛石挤淤法

抛石挤淤就是把一定量和粒径的块石抛在需进行处理的淤泥或淤泥质土地基中,将原基础处的淤泥或淤泥质土挤走,从而达到加固地基的目的。

(2) 排水固结法

排水固结法是指给地基预先施加荷载,为加速地基中水分的排出速率,同时在地基中设置竖向和横向的排水通道,使得土体中的孔隙水排出,逐渐固结,地基发生沉降,同时强度逐步提高的方法。其加固原理是:饱和软黏土在外部荷载形成的附加应力作用下,产生超静水压力和有效

应力,在超静水压力作用下,孔隙水逐渐排出,孔隙体积减小,即地层发生固结。根据太沙基有效应力原理,随着孔隙水的排出,超静水压力不断减小,土颗粒骨架间的有效应力逐渐增大,土的抗剪强度也相应增大。

关于排水固结法的现状理论研究多聚焦在竖向排水板的真空预压法(PVD),其在工程应用案例也较多。其作用机理研究主要集中在以下几个方面:①涂抹效应和井阻效应;②真空预压下的侧向变形,是使用真空预压加固软土地基中产生侧向变形是目前工程中十分关注的问题;③有效加固深度。近年来,PVD方法的固结理论主要是基于大变形固结理论研究,基于大变形理论的PVD固结模型,与实际的土体固结情况更加相符,经过现场试验验证,与小变形理论的固结模型相比,具有更高的精度和适用性。而近两年,华中科技大学宋丁豹博士针对水平向排水板的真空预压法(PHD)的作用规律和作用机理做了系统性研究,建立了水平真空预压固结数学模型并推得了与有限元数值计算对比验证过的解析解,并创造性提出了渗流方向系数概念,大大提高了解析解的计算精度^[6]。

(3) 加固土桩法

加固土桩处理软土地基的加固机理主要是以下几个方面:①水泥的水解和水化化学反应,利用水泥与水泥颗粒与黏土中的水发生水解和水化反应,生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙及含水铁酸钙等钙化物促使水泥黏土具有一定强度;②离子交换和团粒化作用,水泥水化物与土团粒进行当量吸附交换,由于结合水膜薄,黏粒在净引力作用下,结合成团,结较小的土团粒形成较大的土团粒,从而使土体强度增大;③硬化作用;④碳酸化作用。

工程上常用的加固土桩主要有水泥搅拌桩、粉喷桩和高压旋喷桩,水泥搅拌桩和粉喷桩属于深层搅拌法,而高压旋喷桩则属于高压喷射注浆法。目前,国内外关于加固土桩的理论研究已基本完善,其设计方法和施工工艺也已趋于成熟。

(4) 刚性桩处理

刚性桩处理软土地基的作用机理是:软土地基由于刚性桩的加持,部分土体被置换,同时在桩顶设置加筋材料,在荷载作用下,桩、土和垫层协同作用,形成复合地基,共同承担荷载作用。

目前,刚性桩复合地基的主要研究方向为两方面:沉降和承载力。沉降计算研究的关键问题是确定复合地基内部的应力场分布,包括桩身、桩间土应力传递规律、桩侧摩阻力沿深度分布规律、下卧层附加应力分布以及桩土应

力比等,目前从室内试验、数值分析及理论解析、现场监测试验等方面对这些关键问题都做了深入的研究,通过理论研究和大量的工程实践对比论证,已有成体系的沉降计算规范公式直接指导设计和施工。承载力研究的关注点主要是极限承载力,现场荷载试验是确定复合地基承载力最准确的方法,目前规范提出的复合地基承载力计算方式已经通过大量的数值计算、可靠性理论、复杂度理论及神经网络、现场试验得到验证,已经在实际工程中普遍应用。

目前软土地基处理采用较多的有振动沉模现浇混凝土薄壁管桩、预应力混凝土管桩、塑料套管混凝土桩和支盘灌注桩。

(5) 泡沫轻质土

换填轻质材料作为一种软基处理技术,由于不需或很少对地基进行深层处理而大大缩短了施工周期,且具有良好的处理效果及经济性,在软土地基处理中备受关注。传统轻质材料多采用粉煤灰进行填筑,但随着粉煤灰来源的逐步萎缩、填筑高度受限,加之施工质量难以保证等原因,急需寻求超轻、强度高、自立性好的轻质材料。于是,近年来,雨后春笋般出现诸如现浇泡沫轻质土、聚苯乙烯泡沫(EPS)、泡沫塑料颗粒轻质土等轻质材料,这些材料在软基处理中效果在工程实践中得到了大量应用。

采用泡沫轻质土的主要目的是通过减轻施加于地基的附加应力,抑制软弱地基的破坏和沉降,从根本上消除软土地基的填方路堤、新旧路堤及路堤与结构物之间的工后沉降和差异沉降,减少地下结构物所承受的土压力、提高结构物的使用寿命。随着人类对环保问题的日益重视,减少水泥、石灰、碎石甚至土等材料的用量成为一种趋势,泡沫轻质土掺加50%~70%以上的泡沫替代这些材料,也必将成为环境、资源和岩土工程的综合性新型技术。

面临这种挑战,泡沫轻质土所具有的优良性能逐渐显现出来。首先,泡沫轻质土质量轻,干体积密度为5~15kN/m³,相当于普通填土的1/5~3/5,可减轻高填土填料的整体荷载,这样使得软基上的附加荷载大大减小;其次是泡沫轻质土强度高,整体性好,普通填土(包括钎灰处理后填土)无侧限抗压强度为0.2~0.3MPa,而泡沫轻质土无侧限抗压强度为0.5~1.6MPa,这种填料承受荷载能力较填土大大提高,且较好的整体性使其本身压缩沉降大大减小,而普通填土如压实不到位,其本身将产生较大的压缩变形;再次是,由于泡沫轻质土可现场浇注施工,施工速度快,施工质量更容易控制,这是软基深层处理所无法比拟的,对工期紧、预压期不能满足要求的软基处理尤

为适合,这也是在滨海地区软土地基处理中推广这项技术的目的所在。

(6) 电动化学加固

电动化学加固法是一种新型软基加固工法,它是将金属电极插入待处理的土层中后,通过输入直流电,同时在土中注入化学浆液,可快速提升土体强度的一种工法。

此工法的研究理论基础是双电层理论,其加固机理是:电动化学加固法是由电渗排水和化学注浆两部分组成,利用电渗所形成的酸性或碱性环境,通过添加外加剂的方式使土壤中某些化学成分和外加剂中的离子发生反应,从而生成可以挤占土壤孔隙的胶结产物,与此同时电极电解产生的离子与土壤中其他的金属离子发生反应生成沉淀、碱性环境下发生的火山灰反应所生成的胶体也可以有效提高土体强度^[8]。中国地震局工程力学研究所王宁伟教授,晏晓彤博士近年来通过室内试验和珠海软土处理的现场试验,给出了理论加固深度、加固面积与实际加固深度、加固面积的关系式。中国地震局工程力学研究所王宁伟教授,汤永强博士进一步通过室内试验、现场试验、微观机理分析和工程实践,确定了该方法在工程应用中的可行性和适用性:研究了电极化学加固法阳极和阴极附近土体强度提高的机制,阳极由于排水固结、阴极由于生成大量的胶凝物质使土体强度龄期得到大幅度提高;通过微观观测手段对加固前后土体进行土粒结构、矿物成分、化学成分分析,表明软土微观结构和矿物成分的变化特征^[9]。

四、软土地基处理技术研究目前存在的问题及发展展望

从20世纪七八十年代以来,我国的土木工程建设得到了突飞猛进的发展,岩土工程得到了空前的发展和进步。沿海地区的大多碰到的棘手岩土工程问题大多跟软土相关,我国对软土的相关研究可以追溯到上世纪六十年代,软土相关的理论研究和工程实践也基本成熟,但近年来也同样存在着一些普遍问题:

1.软土研究“多点开花”,地基处理技术“生搬硬套”,基础理论研究在难点、薄弱点方面存在缺陷,工程实践上以偏概全,过于追求工期和经济,同对处理效果的检测手段过于落后。以水泥搅拌桩为例,由于施工后桩基的完整性和施工质量难以准确判定成为其推广应用的诟病。PTC管桩的应用“生搬硬套”,应用于珠海等深厚软土地基,由于含水量过高桩在荷载作用下容易发生侧向变形、由于桩顶标高或者桩间距设计不当桩土垫层难以形成有效的

土拱效应,近年来PTC管桩在珠海地区被当地建设主管部门明确为谨慎应用。

2.在软土处理工程中,延续传统观念,采用水泥、石灰或者工业废渣进行处理,容易造成生态环境方面的污染问题,尤其是国内固体废弃物处理的技术水平不高,使地下水受到污染的情况比较普遍。

3.软土处理工程的总体水平不高,尤其是采用新技术的手段不够。软土处理技术简单粗暴,要么挖除更换要么打桩加固,机械设备相对落后,施工效率低,管理水平不高;在施工中对于环境的影响评价、控制和综合治理方面注意不够;现场测试、实时监控、管理信息化等方面与国际先进水平比较存在明显的差距。

4.软土处理工程在多方面的分散与不一致限制了研究的发展和工程实践。大量的地理信息系统资料、勘察钻孔资料、地下水观测资料、监测和检测资料分散到不同行业、部门、单位和个人手中,有的正在逐步流失。这些资料未被开发利用,而许多不同的部门和单位还在重复性的进行研究开发,造成社会财富和资源的巨大浪费。

21世纪前20年是我国经济发展的关键时期。安全、经济和可持续发展是软土处理工程发展的主要目标。基于以上发展存在的问题,对软土处理工程提出以下发展前景:

(1) 增强科技研究,提高管理水平,确保软土处理工程的安全性和经济性。

深基坑工程、地下工程及地基基础工程是软土处理工程建设事故的多发点,并且占工程造价和工期的比例很高。加强相关工程的基础研究工作,尤其注重软土处理的微观结构研究,提高现场测试,如采取新的验桩手段,提高实时监控的信息化技术、超前预报是达到工程经济和安全的保证。另外应同时积极采用专家系统、风险分析等理论和方法记性管理是十分必要的。

(2) 改变传统观念,工程与环境友好,走可持续发展之路。

遵循国家提倡的“双碳”目标,走绿色发展之路,树立工程与资源、环境和生态协调的意识。提高对工业废料的无害化处理水平,适度利用水泥或石灰等对环境和生态有影响的材料,提倡绿色设计和绿色施工,在工程建设中对于其对环境和生态的影响合理的论证、综合评价和分析,保持和改善生态环境,注重处理技术对环境的长期影响。

(3) 结合围海造陆、疏浚淤泥、盾构工程泥浆堆填、软土固化再利用、土工合成新材料利用等特殊工程,开展科学研究,指导实践,提高软土处理工程的科技水平。

围海造陆吹填工程无疑推动了我国沿海经济的发展,同时也向吹填软土处理工程提出严峻的挑战,港口、河流、湖泊及其他水环境中每年产生大量的疏浚淤泥,如何快速高效的处理吹填的淤泥已成为迫切的环境问题;随着各地地铁建设的加快,盾构产生的工程泥浆堆填时需要进行处理^[10],否则会带来新的工程地质灾害;沿海地区大多是平原,路基填料来源少,软土固化再利用目前是解决路基调料短缺的重要手段;土工合成新材料的应用对于改善软土工程的性质逐渐明显。

这些问题的研究和解决,一方面会有力地指导工程实践,另一方面也会大大提高我国软土处理工程研究的水平,实现我国岩土工程研究跨越式的发展。

(4) 建立全国和不同地区的共享信息平台,走统一管理和信息共享之路。

除了搜集现有的资料信息以外,还必须进行大量的补充试验、勘探和研究,对大量的信息进行归整、分析处理,建立科学的管理系统。

在规范和标准方面,能够统一的尽可能在全国范围内统一,有些内容可通过标准、规定、手册针对设计计算理论、采用参数、典型案例、工程经验给予较详细的介绍。

参考文献:

[1] 阎长虹等,不同成因软土工程地质特性研究.地质评

论.2015 年 5 月.第 51 卷第 3 期: 561-568.

[2] 高国瑞等,近代土质学.第 2 版.第 51 卷第 3 期: 259-267.

[3] 曾伟等,天津滨海软土路基综合处置技术.人民交通出版社股份有限公司.2022 年 4 月.第 1 版: 40-182.

[4] 房后国等,海积软土固结过程中微观结构变化特征分析.水文地质工程地质.2007 年第 2 期: 50-51.

[5] 徐新川等,天津滨海新区软土的微观结构特征和结合水特性研究.吉林大学硕士学位论文.2016 年 4 月: 34-42.

[6] 焦文灿等,广西北部湾海积软土结合水特性及蠕变释水机制研究.广西大学博士学位论文.2021 年 8 月: 4-5.

[7] 宋丁豹等,水平排水板真空预压法处理疏浚淤泥固结特性研究.华中科技大学博士学位论文.2021 年 7 月: 4-5.

[8] 晏晓彤等,珠海软土地基电动化学加固试验研究.中国地震局工程力学研究所博士学位论文.2022 年 6 月: 22-23.

[9] 汤永强等,软基电动化学加固机理及工程应用研究.中国地震局工程力学研究所博士学位论文.2021 年 6 月: 17-30.

[10] 杨凯等,工程泥浆和工程渣土可资源化的全过程处理处置研究.北京交通大学硕士学位论文.2020 年 6 月: 19-23