

水利堤防工程软土地基处理环节的优化策略

陈建勇

常德市鼎城区尧天坪镇水利管理站

摘要：我国现阶段的河湖堤防主要以土质堤防为主，由于上世纪九十年代以后，随着我国经济技术的相应发展，大型工程机械逐步普及，相关施工技术、工艺、效率才得以大幅提升。在此之前，堤防工程的修筑主要靠人工完成，机械设备简陋，工艺技术落后，工程质量难以得到保证。而河湖堤防大面积分布于我国中东部平原地区，地质多为泥沙冲积形成，以软土地层为主，近年来，城市堤防已开始采用混凝土防洪墙来提升堤防的总体防洪能力，因而在修筑堤防工程时对软土地基的处理就显得尤为重要。

关键词：水利堤防工程；软土地基；处理；优化对策

一、水利堤防工程软土地基特点

在河湖堤防修筑前，对软土地基进行相应处理，使基础强度及整体承载力能够保障堤防工程上部结构的整体稳定十分关键，如果软土地基的处理未达到相应的标准，将会导致堤防开裂、滑坡等十分严重的后果。水利堤防工程中常见软土包括软粘土、粉土、淤泥质粘土、淤泥质粉土、泥碳以及泥碳质土。常具有天然含水量大（ $\geq 35\%$ 或液限）、天然孔隙比大（ ≥ 1 ）、有机质含量高（约5-25%）等特点，同时具有压缩性高、抗剪强度低（十字板抗剪强度 $< 35\text{kpa}$ ）透水性差的物理力学性质。

二、堤防工程软土地基失稳的破坏机理

由于水利工程中河湖堤防大多为梯形断面，结构尺寸庞大，地基基础一旦出现滑动与不均匀沉降，将直接导致堤防出现裂缝、滑坡、崩塌，堤防附属建筑物（比如水闸、涵洞、泵站）出现倾斜、下沉的现象，严重影响行洪安全，将会给堤防保护范围内的人民群众带来灾难性的损失。软土地基出现滑动的主要原因是地基基础地质不均、自身的压缩性高、抗剪力度小，在堤防工程上部建筑的荷载重压之下出现变形破坏。此外，由于河湖堤防水位常年随季节变化，河湖水位时高时低，水流流速时缓时急，河道堤防所承受的冲击压力也不断变化，还有地震、降雨以及堤防在高水位下堤基基础出现管涌、渗漏等都是导致地基失稳的主要原因。

三、水利堤防工程软土地基处理环节常用方法、适用条件及优化对策

（一）水利堤防软土地基处理方法分类

根据堤防工程软土地基的加固原理，软土地基处理方法可分为置换、排水固结、灌入固化物、振密挤密、刚性桩等五类，如下表所示：

| 序号 | 处理方法 | 方法分类 |
|----|-------|----------------------------|
| 1 | 置换 | 换填法、抛石挤淤法、强夯置换法 |
| 2 | 排水固结 | 堆载预压、真空预压、堆载-真空联合预压、降低地下水位 |
| 3 | 灌入固化物 | 深层搅拌桩、高喷灌浆、固结灌浆 |
| 4 | 挤密压密 | 强夯法、挤密砂石桩法 |
| 5 | 刚性桩 | 钻孔灌注桩、预制沉桩 |

（二）水利堤防软土地基处理常用方法适用条件及优化对策

（1）换填法施工

当前，在我国河湖堤防工程项目建设中的软土地基，换填法为主要方法之一，该方法主要是通过挖除实际施工中的一些软弱

土层，换填强度高、压缩性较小的土质，如矿渣、灰土、山卵石等，以起到提高地基整体承载力的作用。该工法适用于深度小于2米的各种软弱土地基的处理，缺点是对换填挖除的不合格土料难以再次利用，需提供较大的储存场地，不适用于大量方的软土地基处理。

（2）抛石挤淤法

抛石挤淤法是利用投石块的方法来挤出土中的淤泥，进而提升堤防地基的承压能力。具体的施工流程：挑选符合施工标准的石块（石块尺寸宜为300-800mm），将其投入到需要挤淤的地基中，抛填时宜从堤防中部开始，中部向前突出再向两边扩展，以使淤泥向两旁挤出。

抛石挤淤法可操作性较强，成本低，尤其适用于河湖低洼地段，淤泥深度不大、抛投石块能沉达底部的泥沼及积水地段，是一种应用较为广泛的方法。但此种方法不适用厚度超过3m，且表层硬壳被挖除的具有触变性的流塑状的饱和淤泥或淤泥质土的处理。对于4m以上的软土层的处理，难以下沉到下层较硬的持力层，容易出现基础不均匀沉降，危害堤身安全。

（3）深层搅拌法

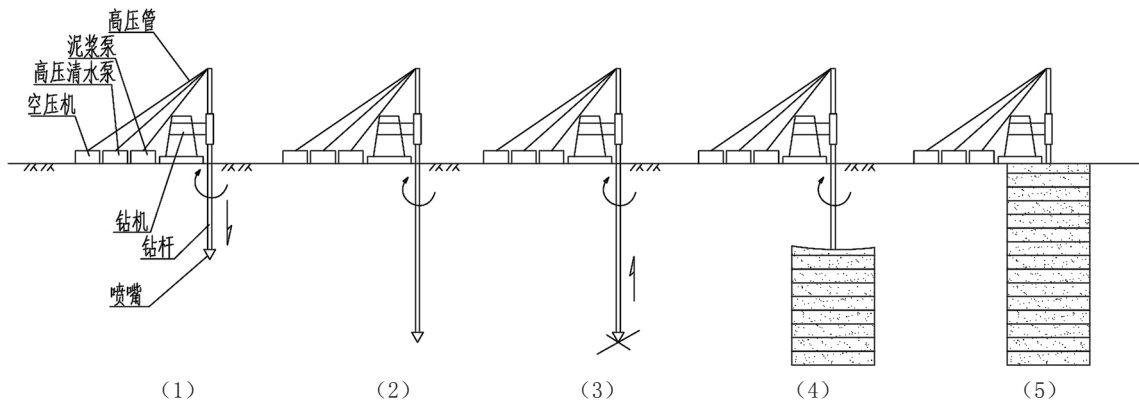
搅拌桩施工是利用深层搅拌桩机将水泥浆液或石灰、水泥粉与地基土原位搅拌形成水泥土复合地基，以提高地基的整体强度与稳定性，避免地基出现过大的沉降，是现阶段被普遍采用的软土地基的处理方法之一，处理效果稳定。深层搅拌桩主要有单轴、双轴及三轴搅拌桩，其中三轴搅拌桩具有结构强度高、稳定性好、施工技术成熟等优点因而被大面积使用。按天然地基含水量的不同，施工工艺可分为浆液搅拌法（含水量小于30%时适用）与粉体搅拌法（含水量大于30%且小于70%时适用）。

据目前实际应用情况，深层搅拌法主要适于含水率较高的黏性土、粉土、沙土等软土地基施工。在深层搅拌法地基加固前应预先提取现场土样进行水泥土试验配比，确定不同水泥品种、掺入量对水泥土强度的影响，从而经济、合理的获得与地基土加固相适用的水泥品种、掺入比，为施工工艺提供可靠的参数。

（4）高压喷射灌浆

高压喷射灌浆是通过钻机钻孔，将装有高压喷嘴的注浆管下放到设计高程，而后采用气泵、高压清水泵、泥浆泵将水泥浆液通过喷射管路至喷嘴喷射，高压水流对土体进行切割、破碎、混合，形成圆柱或是墙面状的水泥土复合凝结体，从而大幅提高地基强度与防渗能力的施工技术。按照喷嘴的喷射方式不同可分为旋喷、摆喷、定喷；按照喷射介质与管路可分为单管法（介质仅为水泥浆液）、双管法（介质为水泥浆液与压缩空气）、三管法（介质为水、水泥浆液、压缩空气）。三管旋喷法成本较高，成桩、成墙质量稳定，在进行堤防工程软土地基处理时，常用三管旋喷法来提升地基的承载力；而摆喷、定喷法成本相对较低，常适用于堤防工程的防渗墙施工。在高等级堤防（1、2级堤防、城市防洪墙）工程中，为提升防渗墙的可靠度，常采用桩距0.8~1.2米的旋喷套接桩作为堤基基础的防渗墙。

高喷灌浆适用于软弱土层的加固，对粘性土、黄土、砂类土和淤泥等土层均具有良好的加固效果；不适用于有较多漂石、块石或粒径过大的砾石层以及有大量有机物的腐殖土层，其施工占用空间少，振动小，但由于喷射提升时有大量的水泥浆液从孔口回流至地面，容易造成环境污染，且施工成本高。



(1) 钻机就位下钻 (2) 钻至设计高程 (3) 旋喷开始 (4) 旋喷提升 (5) 旋喷结束成桩
三管旋喷法示意图

为最大限度的降低高喷灌浆的施工成本，建议使用新式钻喷一体施工机械，从而可以免除钻孔期间泥浆护壁、下套管等工程费用，同时还可以大幅提高施工效率。在施工过程中，如因地下土层中有较大的裂隙引起不返浆，应在水泥浆液中添加粉煤灰、细砂等其他辅助材料以降低施工成本，待空隙填满后再正常喷射。

(5) 钻孔灌注桩施工

钻孔灌注桩基础具有很大的竖向与侧向单桩刚度（端承桩）或群刚度（摩擦桩），具备很强的整体抗倾覆能力，在荷载作用下，不会产生较大的不均匀沉降，桩身通过软弱土层直接去支撑于底部岩层、卵石层等坚实地层，使桩端具备足够的抗压承载能力，在桩群整体受荷的情形下，可确保河湖堤防工程上部建筑的稳定，避免上部建筑出现倾斜、沉降。因而在堤防建筑物工程（水闸、泵站、城市砼防洪墙等）基础中普遍采用。

灌注桩常用成孔方式有冲击钻、回转钻、旋挖钻、长螺旋等几种，其中冲击钻、回转钻及旋挖钻成孔时通常需采用泥浆护壁，对环境影响较大。冲击钻成孔适用于各种地质的土层（包括坚硬岩层），但其施工效率偏低，施工周期长，人工成本高；长螺旋灌注桩施工效率高，且成孔时无需泥浆护壁，施工噪音低，质量稳定，但其仅能适用于地下水位以上的粉土、素填土、粘性土、中等密实以上的砂土。因此在选择灌注桩成孔方式时，要依据地质条件、施工工期、地下水位的的情况综合考虑。

(6) 排水固结法

排水固结法的排水系统由水平及竖向排水体组成，水平排水体一般为厚50cm的砂垫层，竖向排水体常选用袋装砂井或塑料排水板。利用这种方法能够排出软土地基中大部分多余水分，使软土地基孔隙比减小，土体发生固结变形，提前完成土体沉降，提升土体抗剪强度、有效应力，使地基整体承载力得到提升。排水固结法的预压可采用堆载预压、真空预压及堆载—真空联合预压。堆载预压适用于各类土层，尤其是对深层软土加固效果较好，缺点是需控制好加载速率，堆载常需要分级加载，因而要有大量的堆载材料，施工工期长，成本较高；而真空预压施工设备简单、施工灵活、相对工期较短、成本低，常成为预压的首选方案。但由于其需在加固土体上覆盖一层不透气的薄膜，利用真空泵在膜下抽取真空，因而要求所加固土体区域不能有透土层或夹砂层，影响抽取真空及加固效果。同时真空度的维持受客观环境的影响较大，对深层软土的加固效果较差。因而在使用排水固结法处理软土地基时需根据现场施工条件合理选择预压方案。

(7) 强力夯实

强夯法是利用大型强夯机具，用5-40t重锤从6-30米高度自由下落夯击土层，在地基一定深度内改变了地基土的孔隙分布，使地基迅速固结，土体产生强制压密，从而提高强度及承载力的方法，强夯法适用土质范围广，可直接处理砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基；对高饱和度的粉土与黏性土等地基，则需在夯坑内回填砂砾石、碎石或其他粗颗粒材料进行强夯置换，是一种简单、快速、廉价的地基处理方法。

但强夯法处理软土地基也有其局限性，不得用于不允许对工程周围建筑物及设备有一定振动影响的地基加固，必需采用时，应采取防振、隔振措施。

四、选择堤防工程软土地基处理方法时应考虑的因素

在选择软土地基处理方法时，必须在满足地基承载力、沉降要求及稳定性的前提下，充分考虑工程地质条件、施工交通条件、施工材料、机械的作业条件以及环境条件，结合施工工期、人工与机械成本、施工可操作性、施工工法的可靠度综合选择。而且在施工期间，所采取的施工方法也很重要，要时刻监测地基周边状况，如地下水的水位、水温及颜色变化，轴线位移、地表是否出现隆起或是沉降。在根据相应软土地基特点，采取相应措施进行加固的时候，我们同时也要重点注意，堤防基础除具备足够的强度、承载力以外，还应同时满足对堤防基础抗渗性的要求，必要时应辅以充填灌浆、黏土芯墙、水泥土搅拌防渗墙、高喷防渗墙等工程措施，以避免地基中形成渗水通道，导致堤防后期运行过程管涌、渗漏等险情发生。

总之，在对河湖堤防工程软土地基的处理上，要因地制宜对不同工程进行实地考察，针对不同地质、环境，施工条件制定相应的解决方案和优化策略，在实施的过程中，严格把控施工质量，只有保障了施工的质量，才能确保后期安全运行。

参考文献

- [1] 沈春来. 浅析水利堤防工程软土地基工作模式[J]. 科技创新与应用, 2015(13):168.
- [2] 张慧慧. 水利堤防工程软土地基处理施工技术探讨[J]. 中国科技纵横, 2017(2):98-99.
- [3] 李丙立, 安根凤. 水利工程施工中淤泥软土地基处理环节的优化[J]. 中国新技术新产品, 2013(10):13.
- [4] 李强. 水利管理及堤防工程维护探析[J]. 陕西水利, 2017(03).