

水利工程施工中软土地基处理技术

崔 皓

荣泰建设集团有限公司 山东 青岛 266000

摘 要：本文探讨水利工程施工中软土地基处理技术。软土地基因高含水量、高压缩性等特性，易致地基沉降大、稳定性低，阻碍施工进度并增加成本。文中详细阐述了水泥粉煤灰碎石桩、预应力管桩等六种处理技术，涵盖原理、施工要点与适用范围。实际工程中，需综合地质、工程需求、成本及工期等因素，合理选用技术，提升地基性能，保障水利工程安全运行，且技术会随科技进步持续革新。

关键词：水利工程；施工；软土地基处理技术

引言

水利工程在国家基础设施体系里占据关键地位，对防洪、灌溉、供水等关乎民生与经济发展的领域起着决定性作用。然而，在水利工程施工进程中，软土地基频繁出现。由于软土地基本身特殊的工程性质，一旦处理失当，会对水利工程的质量、稳定性以及使用寿命造成严重威胁。因此，深入钻研软土地基处理技术，成为保障水利工程安全、高效运作的核心需求。

1 软土地基的特点

1.1 高含水量

软土常富含大量水分，其含水量普遍大于液限。这源于软土多在水动力微弱的湖泊、沼泽、河流漫滩等地沉积形成，在沉积进程中吸附了大量水分。高含水量致使软土颗粒被水膜分隔，颗粒间连接力减弱，进而导致土体抗剪强度降低，在承受外力时，易发生剪切变形。同时，土的压缩性增大，受荷载作用时更易产生较大压缩变形，影响工程稳定性。

1.2 高压缩性

软土的孔隙比较大，颗粒排列疏松。在外部荷载作用下，孔隙中的水分容易被挤出，土体颗粒发生重新排列，进而产生较大的压缩变形。其压缩系数通常较高，一般在 0.5MPa^{-1} 以上，部分软土甚至可达 1.0MPa^{-1} 以上，这意味着在较小的压力增量下，软土地基就能产生显著的沉降。

1.3 低强度

软土的抗剪强度较低，这主要是因为其颗粒间的连接力较弱，且含水量高。软土的内摩擦角和黏聚力都相对较小，其不排水抗剪强度一般在 20kPa 以下。这种低强度特性使得软土地基在承受建筑物荷载时，容易发生剪切破坏，导致地基失稳。

1.4 透水性差

软土的颗粒细小，孔隙直径小，且孔隙往往被水和黏粒充填，使得其透水性很差。渗透系数一般在 $10^{-7} \sim 10^{-5}\text{cm/s}$ 之间，这使得软土地基在排水固结过程中，孔隙水压力消散缓慢，地基沉降需要较长时间才能稳定。

1.5 触变性

软土具有触变性，即土体在原状结构下具有一定的强度，但一旦受到扰动，如振动、搅拌等，其结构被破坏，强度迅速降低，变为可流动状态。当扰动停止后，随着时间的推移，土体的强度又会逐渐恢复，但难以恢复到原状土的强度。这种触变性给软土地基的施工带来了一定的困难，施工过程中需要尽量减少对土体的扰动。

1.6 流变性

软土的流变性在水利工程长期运行中扮演着重要角色。在恒定荷载长期作用下，软土会发生蠕变，土体变形随时间不断累积，导致水工建筑物基础持续沉降，影响结构安全。应力松弛现象则使得土体在变形不变时，内部应力逐渐减小，改变了土体内部应力分布，可能引发结构局部应力集中。同时，随着荷载作用时间延长，软土抗剪强度逐渐降低，长期强度降低问题加剧，尤其在大坝、堤防等水利设施中，可能导致土体抗滑稳定性下降，增加滑坡等灾害发生概率。因此，在水利工程设计与施工中，必须充分考虑软土流变性，预留足够变形余量，并加强长期监测，确保工程长期稳定运行。

2 软土地基的危害性

2.1 导致地基沉降过大

由于软土地基的高压缩性，在水利工程建筑物的自重和外部荷载作用下，会产生较大的沉降。过大的沉降可能使建筑物的基础下沉，导致建筑物倾斜、开裂，影响建筑物的正常使用^[1]。对于水工建筑物，如大坝、水闸等，不均匀沉降可能使止水设施失效，引发渗漏问题，严重时甚至危及工程安全。

2.2 降低地基稳定性

软土地基的低强度特性使其在承受荷载时容易发生剪切破坏,降低地基的稳定性。在地震、水流冲刷等动力荷载作用下,软土地基的稳定性问题更为突出。地基失稳可能导致建筑物倒塌,造成巨大的经济损失和人员伤亡,同时也会对水利工程的防洪、灌溉等功能产生严重影响。

2.3 影响工程施工进度

软土地基的透水性差和触变性给施工带来诸多困难。在基础施工过程中,由于孔隙水压力消散缓慢,地基处理和基础施工需要较长时间才能达到设计要求的强度和稳定性,从而延长了施工周期。此外,软土的触变性使得施工过程中土体容易受到扰动,需要采取特殊的施工工艺和措施,进一步增加了施工难度和时间成本。

2.4 增加工程建设成本

为了处理软土地基,需要采用各种地基处理技术和相应的施工设备、材料,这无疑增加了工程建设的直接成本。同时,由于软土地基处理不当可能导致工程质量问题,需要进行返工、加固等后续处理,进一步加大了工程成本。此外,软土地基导致的施工进度延误,也会带来间接成本的增加,如人工、设备的闲置费用等。

3 水利工程中软土地基处理技术要点

3.1 水泥粉煤灰碎石桩技术

水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和形成的高黏结强度桩,与桩间土和褥垫层一起形成复合地基。通过桩体的置换作用和排水作用,提高地基的承载力,减小地基沉降。桩体在荷载作用下,首先承受荷载,将荷载传递到深层土体中,同时桩间土也承担一部分荷载,桩与桩间土共同工作,形成复合地基。施工前需进行场地平整,清除地表杂物和软弱土层。根据设计要求进行桩位放样,保证桩位偏差在允许范围内。采用长螺旋钻机或振动沉管机进行成桩,在成桩过程中要控制好钻进速度、提钻速度和混凝土的灌注量。混凝土应具有良好的和易性和流动性,坍落度一般控制在160~200mm。灌注混凝土时要连续进行,防止出现断桩、缩颈等质量问题。成桩后要进行桩身质量检测和复合地基承载力检测,确保达到设计要求。该技术适用于处理黏性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基。对淤泥质土,在采取一定的工程措施后也可采用。当软土地基的承载力较低、变形要求较高时,CFG桩复合地基具有较好的处理效果。

3.2 预应力管桩技术

预应力管桩是采用先张法预应力工艺和离心成型法

制成的空心圆筒体细长混凝土预制构件。在施工过程中,通过锤击或静压等方式将管桩沉入地基土中,利用桩与周围土体的摩擦力和桩端阻力来承担建筑物的荷载。预应力管桩具有较高的强度和抗裂性能,能够有效地将上部荷载传递到深层稳定的土层中。施工前应对管桩进行质量检验,检查桩身的外观质量、尺寸偏差、混凝土强度等。根据地质条件和设计要求选择合适的沉桩设备,如锤击桩机、静压桩机等。在沉桩过程中要控制好桩的垂直度,偏差不宜超过0.5%。锤击沉桩时要合理控制锤击能量和锤击频率,避免桩身损坏;静压沉桩时要控制好压桩速度,一般不宜超过2m/min。接桩时要保证接桩质量,采用焊接或机械连接方式,确保接桩处的强度不低于桩身强度。成桩后要进行桩身完整性检测和单桩竖向承载力检测。该技术适用于各种软土地基,尤其是对地基承载力要求较高、沉降控制严格的工程。在深厚软土层地区,预应力管桩可以穿越软弱土层,将荷载传递到下部坚实土层,能够有效地提高地基的承载能力和稳定性。

3.3 填垫层施工技术

填垫层是将基础底面下一定范围内的软弱土层挖除,然后分层回填强度较高、压缩性较低、透水性良好的材料,如砂石、灰土、素土等,并分层夯实或碾压,形成一定厚度的垫层。填垫层的作用主要有:提高地基的承载力,通过垫层材料的置换,将上部荷载扩散到下部较大范围的土层上,减少作用在软弱土层上的压力;减少地基沉降,垫层材料的压缩性比软弱土层小,能够有效地减小地基的总沉降量;加速地基排水固结,砂石等透水性好的垫层材料可以作为排水通道,加速下部软弱土层中孔隙水的排出,加快地基的固结速度。施工前要对垫层材料进行检验,确保材料的质量符合设计要求^[2]。砂石垫层宜选用级配良好的中、粗砂,含泥量不应超过5%;灰土垫层应选用熟石灰与黏土按一定比例拌和,石灰质量应符合Ⅲ级以上标准,黏土中有机物含量不宜超过5%。挖除软弱土层时要注意控制开挖深度和范围,避免超挖或欠挖。分层填筑时要控制每层的填筑厚度,一般不宜超过300mm,采用机械碾压或夯实,压实系数应达到设计要求。在施工过程中要注意做好排水措施,防止基坑积水影响垫层质量。该技术适用于浅层软土地基处理,当软弱土层厚度较薄,一般不超过3m时,采用填垫层处理较为经济有效。填垫层也可作为其他地基处理方法的辅助措施,如在CFG桩、深层水泥搅拌桩等施工前,先铺设一定厚度的砂石垫层,便于施工机械行走和排水。

3.4 深层水泥搅拌桩技术

深层水泥搅拌桩是利用水泥作为固化剂,通过特制的深层搅拌机械,在地基深部将软土和水泥强制搅拌,使软土与水泥发生一系列物理化学反应,形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩体。水泥土桩体与桩间土共同组成复合地基,提高地基的承载力,减小地基沉降。水泥与软土混合后,水泥中的硅酸三钙、硅酸二钙等矿物成分与土中的水分发生水解和水化反应,生成氢氧化钙、水化硅酸钙等水化物,这些水化物逐渐硬化,将土颗粒胶结在一起,从而提高了土体的强度。施工前要进行场地平整,清除地面障碍物。根据设计要求进行桩位放样,保证桩位偏差不超过50mm。采用深层搅拌桩机进行施工,在搅拌过程中要控制好搅拌速度、提升速度和水泥浆的喷射量。水泥浆的水灰比一般控制在0.45~0.55之间,水泥用量应根据设计要求确定。搅拌过程要连续进行,确保桩体的均匀性。成桩后要进行桩身质量检测,包括桩身完整性检测和桩身强度检测,必要时进行复合地基承载力检测。该技术适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土等软土地基。对于存在有机质含量较高的软土,在使用深层水泥搅拌桩技术时需要进行试验研究,确定水泥的适用性和合理的掺量。当软土地基的含水量较高、强度较低时,深层水泥搅拌桩能够有效地改善地基土的工程性质。

3.5 排水固结技术

排水固结法是在地基中设置排水体,如砂井、塑料排水板等,并施加预压荷载,使地基土中的孔隙水排出,土体发生固结,从而提高地基的强度和减小沉降。在预压荷载作用下,地基土中的孔隙水压力逐渐增大,孔隙水通过排水体排出,孔隙水压力逐渐消散,有效应力增加,土体发生压缩变形,强度提高。排水固结法主要包括堆载预压法、真空预压法以及真空联合堆载预压法等。对于砂井排水,砂井的直径、间距和深度应根据设计要求确定,砂井应采用中、粗砂,含泥量不超过3%。在施工过程中要保证砂井的垂直度和连续性,避免出现缩颈、断井等问题。塑料排水板施工时要注意保护排水板不被损坏,插入深度要符合设计要求。预压荷载的施加应分级进行,避免加载过快导致地基失稳。在预压过程中要对地基的沉降、孔隙水压力等进行监测,根据监测数据调整加载速率和预压时间。该技术适用于处

理厚度较大的饱和软土地基,对于新近沉积的欠固结软土效果尤为显著。当软土地基的工期允许时,排水固结技术能够有效地提高地基的稳定性和减小工后沉降。

3.6 强夯施工技术

强夯法是将重锤提升到一定高度后自由落下,给地基土以强大的冲击能,使地基土在冲击荷载作用下孔隙压缩,土体局部液化,在夯击点周围产生裂隙,形成良好的排水通道,孔隙水和气体逸出,土体迅速固结,从而提高地基的承载力,降低地基的压缩性。强夯法通过强大的冲击能量,使土体颗粒重新排列,孔隙减小,土的密实度增加,进而改善地基土的工程性质。在施工前要对场地进行平整,清除地表障碍物和软弱土层。根据设计要求确定夯锤的重量、落距和夯击点的布置。夯击时要控制好夯击次数和夯击遍数,一般根据现场试夯确定。在每遍夯击之间要留有一定的间隔时间,以便孔隙水压力消散。夯击过程中要注意观察夯坑的深度和周围土体的隆起情况,及时调整夯击参数。强夯施工完成后要进行地基承载力检测和地基土的密实度检测^[3]。该技术适用于处理碎石土、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。对于软土地基,在采取一定的辅助措施,如铺设砂垫层等,改善其排水条件后,也可采用强夯法进行处理。强夯法适用于处理浅层和中层地基,对于深层软土地基处理效果相对有限。

结束语

软土地基处理作为水利工程建设的重要环节,直接关系到工程的整体质量与效益。借助对多种处理技术的合理运用,能够有效应对软土地基带来的一系列问题。展望未来,随着科技的持续创新以及工程实践经验的不断积累,软土地基处理技术将不断突破与完善,为水利工程建设筑牢技术根基,助力水利事业迈向更高水平,为社会经济的稳定发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]何莉.水利工程施工中软土地基处理技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2020,(03):50.
- [2]杜婷婷.水利工程施工中软土地基处理的方法探讨[J].四川水泥,2020,(01):278.
- [3]饶艳,魏继中.水利工程软土地基处理技术解析[J].中国水能及电气化,2021(5):3