

# 浅谈强夯技术在大厚度湿陷性黄土地区水利工程地基处理中的应用

闫 鹏

宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司 宁夏 银川 755000

**摘要：**目前，强夯技术在大厚度湿陷土地基处理中展现出了显著的优势和广阔的应用前景。基于此，本文简要介绍了大厚度湿陷土地基的特点，分析了强夯技术原理及施工工艺，并重点讨论了强夯技术在大厚度湿陷性黄土地区水利工程地基处理中的应用。

**关键词：**强夯技术；大厚度湿陷土；地基处理；应用

## 引言

湿陷性黄土是一种具有特殊工程性质的土体，其遇水易软化、变形，给水利工程地基处理带来了极大的挑战。传统的地基处理方法如桩基、换填、浸水等，虽然在一定程度上能够解决地基承载力和湿陷性问题，但施工成本高、周期长，且可能对周围环境造成较大影响。因此，寻找一种高效、经济、环保的地基处理方法显得尤为重要。

### 1 大厚度湿陷土地基的特点

大厚度湿陷土地基是一种在地质工程中经常遇到且具有特殊性质的土体。这种地基的特点主要表现在其湿陷性、厚度大、分布广泛以及工程处理难度大等方面。

(1) 湿陷性是大厚度湿陷土地基最为显著的特点，当这种地基受到水的浸湿时，其结构强度会显著降低，并产生大量的下沉变形。这种下沉变形具有下沉量大、速度快的特点，往往给建筑物带来严重的危害。湿陷性变形通常分为三个阶段：压密变形阶段、湿陷变形阶段和饱和黄土的固结变形阶段。在湿陷变形阶段，地基的变形量最大，速度最快，对建筑物的安全构成严重威胁。

(2) 大厚度湿陷土地基的另一显著特点是其厚度大，这种地基的湿陷性土层往往较厚，甚至可以达到几十米。这种厚度大的特点使得地基处理起来更加困难，需要采取更为复杂和有效的工程措施来消除其湿陷性<sup>[1]</sup>。同时，厚度大的湿陷性土层也意味着地基的承载力和稳定性受到更大的挑战，需要更加谨慎地进行设计和施工。(3) 大厚度湿陷土地基在我国分布广泛，尤其在西北地区最为显著。这些地区的气候条件、地形地貌以及地质构造等因素共同影响了湿陷性黄土的形成和分布。在这些地区，湿陷性黄土往往覆盖在下卧的非湿陷性黄土层上，形成了一种特殊的地质结构。这种分布广泛的特点使得

大厚度湿陷土地基的处理成为了一个普遍存在的问题，需要采取针对性的措施来应对。(4) 由于大厚度湿陷土地基具有湿陷性显著、厚度大以及分布广泛等特点，使得其工程处理难度大大增加。在处理这种地基时，需要综合考虑多种因素，如地基的承载力、变形要求、地下水位以及施工条件等。

## 2 强夯技术原理及施工工艺

### 2.1 强夯技术原理

强夯技术作为一种高效且广泛应用的地基处理方法，其核心在于利用重锤自由落体产生的巨大冲击力，对地基土体实施深度压实和固结，以达到提升地基承载力、减小土体压缩性、增强地基稳定性的目的。这一技术不仅适用于处理多孔隙、粗颗粒、非饱和土等，还对于细颗粒的饱和土，尤其是湿陷性黄土等具有显著效果。强夯技术的原理主要基于动力密实、动力固结以及动力置换三大机制。动力密实原理是指当重锤以一定速度冲击土体时，产生的冲击波和应力波在土体中传播，迫使土颗粒重新排列，孔隙体积减小，土体变得更为密实。这一过程对于颗粒较大的非饱和土尤为有效，可以显著提升其强度和承载力。动力固结原理则针对细颗粒的饱和土，特别是湿陷性黄土。在强夯过程中，土体受到冲击后，孔隙水压力急剧上升，导致土体局部液化<sup>[2]</sup>。随着孔隙水压力的消散，土体中的水分被挤出，土体结构重新固结，有效减少了沉降和湿陷性，动力置换原理则是通过强夯将碎石、砂砾等硬质材料压入软土层中，形成置换层或碎石桩，从而显著提高地基的承载力和稳定性。在实际应用中，强夯技术的施工工艺包括施工准备、夯击试验、施工顺序安排、夯击操作执行以及施工后质量检测等多个环节。施工顺序的安排需遵循“先深后浅、先边缘后中心”的原则，即先对深层土层进行夯

击,再逐步向浅层过渡。

## 2.2 施工工艺

(1)强夯技术的施工工艺首先始于施工准备阶段,这一阶段的主要任务是清理场地,确保地面平整无杂物,为后续的夯击作业提供良好的基础。清理工作通常包括移除地表植被等障碍物,并对地面进行必要的整平处理。同时,夯点的布置需考虑地基的实际情况,如土质类型、地下水位、地形起伏等因素,以确保夯击效果的最大化。(2)选择合适的夯击能级是确保强夯效果的关键,这需要根据地质勘察报告和试验结果,综合考虑地基土体的类型、厚度、承载力以及工程对地基的要求等因素<sup>[3]</sup>。一般来说,对于颗粒较大的湿陷性土,可以选择较高的夯击能级。(3)夯击遍数是指对同一夯点进行夯击的次数,它直接影响地基的压实程度和承载力提升。夯击遍数的确定通常需要通过现场试验和数据分析来完成。在试验阶段,选取具有代表性的夯点进行不同遍数的夯击,然后检测土体的密实度、沉降量等指标,以确定最佳的夯击遍数。(4)为了避免夯击过程中产生的侧向挤压力对相邻夯点造成不利影响,通常采用由内向外、隔行跳夯的方式进行。即先对地基内部的夯点进行夯击,再逐步向外扩展;并且,在相邻两行夯点之间保持一定的间隔,待前一行夯点完成一定遍数的夯击后,再进行下一行的夯击。这种夯击顺序可以有效减少土体之间的相互作用,提高夯击效率和质量。(5)夯击完成后,还需要进行一系列的夯后处理工作,这包括场地整平、碾压等工序,旨在进一步巩固夯击成果,提高地基的平整度和稳定性。

### 3 强夯技术在大厚度湿陷土地基处理中的应用

以宁夏引黄灌区抗旱减灾调蓄工程沙坡头区看透山调蓄水库工程为例,介绍强夯技术在地基处理中的应用。

#### 3.1 地质条件

在项目区场地上部,广泛分布着一层具有显著湿陷性的壤土,这种土壤在遇水或受潮时,会发生显著的体积缩小,即湿陷现象,这对建筑物的地基稳定性和安全性构成了严重威胁。通过一系列的试验和计算结果,我们确定了该壤土层的湿陷下限深度,即自现状地面起算,其深度范围在15.0米至26.2米之间。这一深度范围表明,湿陷性壤土在场地中占据了相当大的比例,且影响深度较深,对于地基处理提出了严峻的挑战。进一步的分析显示,该场地的湿陷性不仅限于自然状态,而且在自重作用下也会发生显著的湿陷。根据计算结果,自重湿陷量在658.5毫米至1704.0毫米之间,这一数据表明,即使在无外部荷载作用的情况下,土壤也会因自重而发生

显著的沉降。而考虑到外部荷载(如建筑物重量)的影响,总湿陷量更是达到了1212.0毫米至2403.0毫米的惊人水平,这一结果无疑加剧了地基处理的难度和紧迫性<sup>[4]</sup>。此外,从湿陷等级的角度来看,该场地被判定为IV级自重(很严重)湿陷场地,这意味着该场地的湿陷性不仅严重,而且难以通过常规的地基处理方法进行有效控制。湿陷等级的划分是基于湿陷量的大小和湿陷深度的综合考量,IV级自重湿陷场地意味着土壤在自重作用下就能发生极大的沉降,且沉降过程难以预测和控制。

#### 3.2 强夯方案设计

工程设计对坝基以下湿陷土进行全部处理,结合区内外强夯处理地基的典型案列,本工程坝基湿陷土处理根据湿陷深度不同,采用20000kN·m至25000kN·m超高能级强夯加固处理地基(其中14米至16米湿陷土基础处理采用20000kN·m超高能级强夯加固处理,16米至21米湿陷土基础处理采用25000kN·m超高能级强夯加固处理)。

##### 3.2.1 强夯能级采用25000kN·m超高能级强夯加固处理地基

该方案共分为五个施工遍数,每一遍的施工内容和参数都经过精心设计和计算,以确保加固效果的最大化。在第一和第二遍强夯施工中,采用25000kN·m的单击夯击能,这是整个强夯方案中的核心环节,为了确保夯击效果,选用直径在2.2米至2.6米之间的夯锤,以产生足够的冲击力。这两遍的施工顺序采取隔行跳点的方式,即先对第一行的夯点进行夯击,然后再进行第二行的夯击,以此类推,直至完成所有夯点的夯击。这种施工方式可以有效避免夯击过程中产生的侧向挤压力对相邻夯点造成的不利影响,确保夯击效果的均匀性和一致性。在第三遍强夯施工中,我们降低了夯击能级至12000kN·m,并在第一、第二遍相邻四个主夯点的中间进行插点夯击。而插点夯击的方式同样需要精确控制夯击能和夯锤直径,以确保加固效果。第四遍和第五遍强夯施工则采用了2500kN·m的满夯能级,对地基进行全面加固,这两遍的施工要求夯击数不少于2击,且夯印需要搭接1/3,以确保地基浅部填土的充分夯实。满夯施工后,场地表面会出现一定的虚土层,这时我们需要使用压路机对场地进行碾压密实,并整平地表面,为后续施工提供良好的基础。根据我们的计算和模拟分析,该强夯方案的有效加固深度可达16米至21米,能够充分满足项目区场地对地基承载力和稳定性的要求。

##### 3.2.2 强夯能级采用20000kN·m超高能级强夯加固处理地基

在第一和第二遍的强夯施工中,采用了20000kN·m

的单击夯击能,这是整个加固处理方案中的核心环节,这两遍的施工顺序采取隔行跳点的方式,即先对第一行的夯点进行夯击,待其沉降稳定后再进行第二行的夯击,直至完成所有夯点的夯击。这种施工方式有助于减少夯击过程中产生的侧向挤压力,避免对相邻夯点造成不利影响。在第三遍的强夯施工中,我们降低了夯击能级至 $10000\text{kN}\cdot\text{m}$ ,并在第一、第二遍相邻四个主夯点的中间进行插点夯击。这一步骤的目的是进一步巩固前两遍的夯击成果,同时填补夯点之间的空隙,提高地基的整体性和均匀性,插点夯击的方式同样需要精确控制夯击能和夯锤直径,以确保加固效果。第四遍和第五遍的强夯施工则同样采用了 $2500\text{kN}\cdot\text{m}$ 的满夯能级,对地基进行全面加固。满夯施工后,场地表面会出现一定的虚土层,这时我们需要使用压路机对场地进行碾压密实,并整平地基表面,为后续施工提供良好的基础。整个强夯方案的有效加固深度预计在14米至16米之间,这一深度范围能够充分满足项目区域对地基承载力和稳定性的要求。

### 3.3 应用效果分析

在项目地基处理中,采用 $20000\text{kN}\cdot\text{m}$ 至 $25000\text{kN}\cdot\text{m}$ 超高能级强夯技术方案后,其应用效果在多个方面均展现出显著的优势,不仅有效提升了地基的承载力和稳定性,还带来了可观的经济效益。一方面,在项目区域,由于自重湿陷性黄土的广泛分布,地基的承载力受到了极大的限制,给工程设计和施工带来了极大的挑战。然而,经过强夯处理后,地基的土体结构得到了显著改善,土壤的密实度和强度均得到了大幅度提升。具体而言,强夯过程中产生的巨大冲击力使得土壤颗粒重新排列,孔隙率降低,土体变得更加紧密,从而显著提高了地基的承载力。这一变化不仅满足了工程设计对地基承载力的要求,还为后续的施工和建筑物的安全使用提供了坚实的基础。另一方面,强夯技术有效消除了湿陷性黄土的湿陷性,大大降低了地基沉降的风险。湿陷性黄土在遇水或受潮时容易发生显著的体积缩小,即湿陷现

象,这会导致地基的沉降和不均匀沉降,对建筑物的稳定性和安全性构成严重威胁。但强夯处理通过施加巨大的冲击力,使土壤颗粒之间的连接更加紧密,形成了更加稳定的土体结构,从而有效消除了湿陷性。这一变化不仅提高了地基的抗湿陷能力,还降低了地基沉降的风险,为建筑物的长期安全使用提供了有力保障。此外,除了上述两个方面的应用效果外,强夯技术在大厚度湿陷性黄土地区水利工程地基处理中还展现出了较好的经济效益。其中,强夯技术作为一种直接、高效的地基处理方法,相较于其他地基处理方法(如桩基、换填、浸水等),具有施工周期短、施工成本低的优势。强夯施工不需要大量的人力和物力投入,且施工过程中产生的噪音和振动对周围环境的影响较小,有利于工程的快速推进。另外,强夯处理后的地基具有较高的承载力和稳定性,能够满足工程设计对地基的要求,避免了因地基问题而导致的工程延期或返工等额外成本。

### 结语

综上所述,通过合理设计强夯方案、优化施工参数、加强施工质量控制和效果评估,强夯技术能够显著提高大厚度湿陷土地基的承载力和稳定性,为工程安全提供有力保障。未来,随着科学技术的不断进步和工程实践的深入,强夯技术在大厚度湿陷土地基处理中的应用将更加成熟和完善,为建筑工程的安全和可持续发展贡献更多力量。

### 参考文献

- [1]马军.黄土湿陷性道路路基强夯治理措施[J].工程技术研究,2021,6(8):69-70.
- [2]腊润涛,张荣.强夯法处理湿陷性黄土地基的效果评价[J].公路,2020,65(1):54-57.
- [3]刘永奎.强夯法在湿陷性黄土路基中的应用及数值模拟[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020,21(08):225-226.
- [4]李阳阳,李延民,徐竹芳,等.强夯法处理湿陷性黄土地基的研究[J].湖北工程学院学报,2021,39(03):104-108.