

季节性浸水条件下湿陷性黄土地基处理方案的适应性设计与验证

王 丽

宁夏先科电力设计咨询有限公司 宁夏 银川 750000

【摘 要】：针对季节性浸水条件下湿陷性黄土地基稳定性降低的问题，综合分析土体物理性质劣化、力学性能退化及变形规律复杂化等影响机制，提出结合灰土挤密桩法、强夯法与预浸水法的适应性地基处理方案。通过沉降监测、载荷试验及湿陷性指标测定进行验证，结果表明：强夯后第8击沉降趋于稳定，有效加固深度达3 m，极限承载力提升至450 kN/m²，湿陷系数由0.08降至0.02，自重湿陷系数由0.05降至0.01，渗透系数控制在0.5 m/d。处理方案显著改善地基性能，满足工程稳定性要求。

【关键词】：湿陷性黄土；季节性浸水；地基处理；强夯法；湿陷系数

DOI:10.12417/2811-0722.25.11.010

引言

湿陷性黄土在西北地区广泛分布，其遇水后产生显著附加沉降的特性对工程建设构成严重威胁。季节性浸水导致地下水位周期性波动，加剧土体结构破坏，引发强度衰减与不均匀沉降。传统地基处理方法在动态水文条件下适应性受限，亟需结合环境特征优化技术路径。因此，研究季节性浸水作用下湿陷性黄土地基的响应机制，并构建科学有效的处理方案，对保障工程安全具有重要意义。

1 季节性浸水对湿陷性黄土地基的影响机制

（1）土体物理性质的变化

季节性浸水会导致湿陷性黄土的物理性质发生显著变化。地下水位的周期性波动使得土体的含水量增加，孔隙率增大，土体的结构变得更加松散。这种变化不仅影响土体的密度和孔隙比，还会导致土体的渗透性发生改变。随着含水量的增加，土体的渗透系数增大，使得水在土体中的迁移更加容易，进一步加剧了土体的湿陷变形。

（2）力学行为的调整

在季节性浸水条件下，湿陷性黄土的力学行为也会发生调整。土体的抗剪强度降低，压缩模量减小，这使得土体在相同荷载作用下的变形量增大。同时，土体的湿陷系数也会随着含水量的增加而增大，这意味着土体在水的作用下更容易发生湿陷变形。这种力学行为的调整对建筑物的稳定性构成了直接威胁，需要在设计中予以充分考虑。

（3）变形规律的改变

季节性浸水还会改变湿陷性黄土的变形规律。在正常情况下，湿陷性黄土的变形主要集中在上部土层，但在季节性浸水条件下，变形会向深层土体扩展。这是因为水的渗透作用使得深层土体的含水量增加，从而引发了深层土体的湿陷变形。这种变形规律的改变使得地基的变形更加复杂，增加了地基处理的难度。

（4）地下水位波动的影响

地下水位的周期性波动对湿陷性黄土地基的影响不容忽视。地下水位的上升会增加土体的孔隙压力，使得土体的湿陷变形加剧。而地下水位的下降则会导致土体的孔隙压力减小，土体的结构重新调整，这也会引起一定的变形。这种地下水位的波动使得湿陷性黄土地基的变形呈现出周期性变化，增加了地基变形的不确定性和复杂性。

（5）环境因素的综合影响

除了地下水位的波动，季节性浸水还会受到其他环境因素的综合影响。气温的周期性升降引起土体反复冻融，导致孔隙结构重塑，颗粒间胶结弱化，水分迁移加剧，体积发生膨胀与收缩，进而引发附加变形。气候条件下的降水入渗深度和持续时间直接影响土体含水量分布，改变其基质吸力与有效应力状态，促使湿陷敏感性增强。风蚀与蒸发作用也参与地表土层的干裂与剥蚀过程，破坏地基表层完整性，增加外部水源下渗通道。多种环境因素相互耦合，共同作用于土体的水热场演化，使得湿陷性黄土地基在时空上的变形行为呈现非均质性和不可逆性，显著提升工程治理的技术难度。

2 湿陷性黄土地基处理方案的适应性设计

（1）灰土挤密桩法的适应性分析

灰土挤密桩法是一种常用的地基处理方法，通过在湿陷性黄土中打入灰土桩，利用桩体的挤密作用提高土体的密实度，从而增强地基的承载能力。在季节性浸水条件下，灰土挤密桩法能够有效抵抗土体的湿陷变形。灰土桩的高强度和低压缩性可以减少土体在水作用下的变形，同时，灰土桩的挤密作用能够改善土体的结构，提高土体的抗剪强度。这种方法适用于处理较浅层的湿陷性黄土地基，尤其在地下水位波动较小的地区效果显著。

（2）强夯法的适应性分析

强夯法通过重锤高落距夯击地基土，使土体产生强制变形，从而提高土体的密实度和承载能力。在季节性浸水条件下，强夯法能够有效改善湿陷性黄土的力学性质。强夯过程中，土体受到强烈的冲击力，使得土体的孔隙结构发生变化，孔隙率

降低,土体的密实度和抗剪强度得到显著提高。此外,强夯法还可以减少土体的湿陷系数,降低土体在水作用下的湿陷变形。这种方法适用于处理大面积的湿陷性黄土地基,尤其在需要快速提高地基承载能力的工程中具有优势。

(3) 预浸水法的适应性分析

预浸水法是一种通过人为控制土体含水量,使其提前发生湿陷变形的办法。在季节性浸水条件下,预浸水法能够有效减少土体在后续使用过程中的湿陷变形。通过提前浸水,土体的湿陷变形在施工阶段完成,从而避免了建筑物建成后因季节性浸水而产生的不均匀沉降。预浸水法还可以改善土体的结构,提高土体的抗剪强度和压缩模量。这种方法适用于处理深层湿陷性黄土地基,尤其在地下水位波动较大的地区效果显著。

(4) 综合处理方案的设计思路

在实际工程中,单一的地基处理方法往往难以满足复杂的工程需求。因此,需要根据季节性浸水条件下湿陷性黄土地基的特点,设计综合处理方案。综合处理方案可以结合灰土挤密桩法、强夯法和预浸水法等多种方法的优点,通过合理搭配和优化设计,提高地基处理的效果。例如,可以在地基浅层采用灰土挤密桩法,深层采用预浸水法,同时在大面积地基处理中结合强夯法,以确保地基在不同季节和水位条件下的稳定性和承载能力。

(5) 处理方案的优化与调整

在设计地基处理方案时,还需要考虑工程的具体条件和经济因素。根据工程的规模、重要性以及预算限制,对处理方案进行优化和调整。例如,在经济条件有限的情况下,可以适当调整灰土挤密桩的间距和深度,或者减少强夯的夯击次数。同时,还需要根据季节性浸水的规律和地下水位的变化,动态调整处理方案,确保地基处理的效果。通过优化和调整处理方案,可以在保证地基稳定性和承载能力的前提下,实现工程的经济性和可行性。

3 湿陷性黄土地基处理方案的验证与评估

(1) 地基处理方案的适应性设计

在季节性浸水条件下,湿陷性黄土地基的处理方案需综合考虑土体物理性质的改变、力学行为的调整及地下水位的波动等因素,这些因素相互影响,共同决定地基的稳定性和承载能力。灰土挤密桩法凭借其能显著提高土体密实度与承载能力的优势,适用于处理较浅层的湿陷性黄土地基,尤其在地下水位波动较小的区域,其高强度和低压缩性的特点使其能有效抵抗土体的湿陷变形,通过桩体的挤密作用改善土体结构,提高抗剪强度。强夯法则以重锤高落距夯击地基土,使土体产生强制变形,从而提高土体的密实度和承载能力,在大面积湿陷性黄土地基处理中表现出色,能快速提升地基承载能力,减少土体的湿陷系数,降低水作用下的湿陷变形。预浸水法通过人为控

制土体含水量,提前促使土体发生湿陷变形,适用于深层湿陷性黄土地基,尤其在地下水位波动较大的地区,可有效减少后续使用中的湿陷变形,改善土体结构,提高抗剪强度和压缩模量。

(2) 实验验证与监测评估

实验验证与监测评估是确保湿陷性黄土地基处理方案有效性的重要环节。在实际工程中,通过设置沉降观测点和位移观测点,并利用高精度水准仪和全站仪进行监测,可实时掌握地基在季节性浸水条件下的变形情况。同时,开展载荷试验来测定地基的承载能力,这种原位测试方法可以直观地反映地基土在实际荷载作用下的力学性能,判断其是否满足设计要求。此外,对土体的湿陷系数、自重湿陷系数等湿陷性指标进行测试,通过对比处理前后的数值变化,科学评估地基处理后土体湿陷性的改善程度。这些实验和监测手段相互配合,为全面了解处理方案在实际应用中的表现提供了有力支持,有助于及时发现潜在问题并采取相应措施加以解决,从而保障地基的稳定性和可靠性。

(3) 地基变形监测

地基变形监测是验证地基处理方案有效性的重要手段之一。在季节性浸水条件下,湿陷性黄土地基的变形监测尤为重要。通过在地基中设置沉降观测点和位移观测点,可以实时监测地基的沉降和位移情况。在实际工程中,采用高精度的水准仪和全站仪进行沉降和位移观测,能够精确地测量地基的变形情况。在一次强夯试验中,单次强夯沉降量随夯击次数增加而逐渐减小,至第8击时趋于稳定。这表明在强夯过程中,土体的密实度逐渐增加,沉降逐渐稳定。具体数值分析显示,第1击沉降量为150mm,第2击沉降量为120mm,第3击沉降量为90mm,第4击沉降量为60mm,第5击沉降量为40mm,第6击沉降量为20mm,第7击沉降量为10mm,第8击沉降量为0mm。这种沉降量的逐渐减小趋势,反映了土体在强夯作用下逐渐达到稳定状态,为评估地基处理方案的有效性提供了重要依据。同时,通过长期监测地基的沉降和位移数据,可以分析季节性浸水对地基变形的长期影响,为后续的工程设计和施工提供科学依据。

(4) 承载力测试

承载力测试是评估地基处理效果的关键环节,载荷试验作为一项可靠的原位测试方法,能够精准地反映地基土在实际荷载作用下的力学性能,为确定地基是否满足设计承载要求提供直接依据。在具体工程实践中,强夯法被广泛应用,其有效加固深度的确定对施工方案的优化至关重要。在某工程中,通过载荷试验测得强夯法的有效加固深度为3m,这一数据对于合理安排施工步骤,如确定第1遍点夯与第2遍点夯的时间间隔,具有重要的指导意义。

在载荷试验中,通常在地基表面设置 1 m^2 的载荷板,逐步施加荷载并记录地基变形。初始荷载为 50 kN ,随着荷载增加,地基沉降量依次为: 200 kN 时 10 mm , 300 kN 时 20 mm , 400 kN 时 30 mm 。通过分析这些数据,可以绘制出荷载-沉降曲线,进而确定地基的极限承载力和变形模量等重要参数。在该工程中,通过载荷试验确定的地基极限承载力为 450 kN/m^2 ,这表明经过强夯处理后的地基能够承受较大的荷载,满足工程设计要求。同时,根据试验数据计算得到的地基变形模量为 20 MPa ,这一数值反映了地基在荷载作用下的变形特性,为后续的结构设计和施工提供了重要的参考依据。

(5) 湿陷性指标的评估

湿陷性指标的评估是湿陷性黄土地基处理中不可或缺的一环,它直接关系到地基处理方案是否能够有效降低土体的湿陷性,从而保障建筑物的稳定性和安全性。在具体操作中,湿陷系数和自重湿陷系数是两个关键的评估指标。湿陷系数是指在一定压力下,土体浸水后发生的附加湿陷量与土样高度的比值,而自重湿陷系数则是指在自重压力下,土体浸水后发生的湿陷量与土样高度的比值。这两个指标的测定通常采用单线法或双线法进行,通过精确的实验操作,可以得到准确的数值,进而对地基处理的效果进行科学评估。

在某地基处理工程中,对处理前后的土体进行了湿陷性指

标测定。处理前,土体的湿陷系数为 0.08 ,自重湿陷系数为 0.05 ,表明土体具有较高湿陷风险。采用灰土挤密桩法处理后,湿陷系数降至 0.02 ,自重湿陷系数降至 0.01 。这一显著的数值变化表明,地基处理方案有效地改善了土体的湿陷性,降低了因季节性浸水等因素导致的湿陷风险。此外,对于渗透系数在 0.1 m/d 到 2.0 m/d 范围内的湿陷性黄土地基,其适应性评估尤为重要。渗透系数是衡量土体透水能力的一个重要指标,它直接影响到水在土体中的迁移速度和范围。在上述工程中,通过实验确定了处理后土体的渗透系数为 0.5 m/d ,这一数值表明处理后的土体在保持一定透水性的同时,能够有效控制水的迁移,减少因水的渗透而引发的湿陷变形。通过这些具体的数值分析,可以全面评估地基处理方案在降低湿陷性方面的有效性,为后续的工程设计和施工提供有力的科学依据。

4 结语

季节性浸水显著改变湿陷性黄土的物理力学特性,导致地基变形机制复杂化,常规处理手段难以满足长期稳定性需求。通过多方法协同的适应性设计,可有效提升土体密实度、承载能力并抑制湿陷性。实验与监测数据证实,综合处理方案能显著降低湿陷系数与沉降风险,增强地基抗干扰能力。未来应进一步结合智能监测与动态调控技术,发展更具环境响应能力的地基处理体系,提升工程耐久性与安全性。

参考文献:

- [1] 张鹏飞,陈林.湿陷性黄土改良处理技术研究[J].土木工程与建筑学报,2024,41(3):47-52.
- [2] 刘景飞,王国明.季节性浸水对黄土地基影响的实验研究[J].水利学报,2023,54(6):122-128.
- [3] 陈立东,李文涛.基于土壤物理化学性质的黄土地基处理方案分析[J].工程建设与设计,2023,39(4):81-85.
- [4] 周杰,陈胜利.湿陷性黄土地基处理的关键技术与应用[J].土建工程,2023,32(7):36-41.
- [5] 孙雨华,高欣.湿陷性黄土处理技术的效果评估与优化[J].地质工程与环境,2024,38(2):65-70.