

# 水利工程地基土地震动液化分析

徐 鑫

哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司 新疆哈密 839000

**摘 要:** 水利工程地基土在地震作用下的液化行为, 通过对地震液化机制的深入探讨, 分析液化对工程结构的潜在影响。采用现代地震工程学和数值模拟方法, 对液化地基土的力学特性进行了详细研究, 并提出了相应的工程防治对策。研究结果可为水利工程地基土的地震设计提供科学的依据。

**关键词:** 水利工程; 地震液化; 地基土; 力学特性; 数值模拟; 液化判别; 防治对策

## 引言

水利工程作为基础设施的重要组成部分, 其结构的抗震性能直接关系到工程的安全性和稳定性。地震液化是地震作用下地基土失去抗剪强度的现象, 对工程结构构成潜在威胁。深入研究水利工程地基土在地震条件下的液化机制, 分析液化引起的地基沉降和工程结构受力情况, 以期为工程设计和防治提供科学的依据。

## 1. 地震液化机制

地震液化是在地震作用下, 地基土失去抗剪强度并表现为喷水冒砂、丧失承载力、发生流动变形等液态特性的现象, 是水利工程中常见的地震灾害之一。地震液化机制是指在地震发生时, 地基土由于地震振动而导致孔隙水压升高, 土体失去抗剪强度, 从而呈现出液化的现象。这一现象在水利工程中可能导致地基土体沉降、工程结构倾斜等严重问题, 因此对地震液化机制的深入了解对于工程设计和防治至关重要。地震液化的机制主要涉及到孔隙水压的升高和土体失去抗剪强度两个关键因素<sup>[1]</sup>。地震振动会导致地下水位上升, 增大孔隙水压, 减小土体的有效应力。当土体的抗剪强度降至零时, 就发生了液化现象, 土体表现出液态特性。影响地震液化的因素复杂多样, 包括土体的天然结构、颗粒组成、松密程度、含水量、地下水位等。不同类型的土壤在地震作用下表现出不同的液化特性, 因此需要深入研究不同土质条件下的液化机制。地震液化机制的研究还需考虑地震的强度、频率等因素。强烈而频繁的地震振动可能导致更为严重的液化现象, 因此需要综合考虑地震的多个参数。通过对地震液化机制的深入分析, 可以为水利工程在地震条件下的设计和建设提供科学依据。进一步了解地震液化机制, 有助

于制定合理的工程防治对策, 降低水利工程受地震灾害影响的风险。

## 2. 地基土力学特性分析

地基土力学特性的分析是研究地基土在地震条件下的响应行为, 包括其抗剪强度、变形特性等方面。这一分析是确保水利工程在地震发生时能够维持结构的稳定性和安全性的基础。地基土力学特性的研究需要进行土力学参数的测定。这包括土体的抗剪强度、压缩模量、剪切模量等关键参数的实测。通过现场和室内试验, 获取土壤样本的力学特性数据, 为后续的数值模拟和工程设计提供可靠的基础。地震作用下地基土的反应是地基土力学特性分析的关键内容之一<sup>[2]</sup>。地震振动会导致地基土的临界状态, 使其失去抗剪强度, 引发液化现象。因此, 需要深入研究地震作用下土体的应力-应变关系, 以及在不同地质条件下的变形特性。地基土液化的力学模型的建立是土力学特性分析的重要组成部分。通过数值模拟, 可以模拟地震液化过程, 预测土体的变形行为, 为工程设计提供参考。这包括了采用合适的模型来描述地基土在地震作用下的非线性力学特性。地基土力学特性的分析需要考虑不同地质条件下的异质性。不同土层、土性的土壤在地震作用下可能表现出不同的力学特性, 因此需要对地基土进行详细的地质勘察和分类。

## 3. 土的液化判别

### 3.1 基本判别方法

土的液化判别分为初判和复判两个阶段, 初判主要是应用已有的地勘资料或较为简单的测试手段对土层进行初步判别, 以排除不会发生地震液化的土层, 复判是对于初判可能发生地震液化的土层再进行复判。

1) 初判: 符合下列规定的土可判为不液化, ①地层年代为第四纪晚更新世 Q3 或以前的土; ②土的粒径小于 5mm 颗粒含量的质量百分率小于或等于 30%; ③对粒径小于 5mm 颗粒含量质量百分率大于 30% 的土, 其中粒径小于 0.005mm 的颗粒含量质量百分率相应于地震动峰值加速度为 0.10g、0.15g、0.20g、0.30g 和 0.40g 分别不小于 16%、17%、18%、19% 和 20% 时; ④工程正常运用后, 地下水位以上的非饱和土; ⑤当土层的剪切波速大于其上限定剪切波速时。

2) 复判: 对于初判可能发生地震液化的土层, 主要采用以下三种方法进行土的地震液化复判。①标准贯入锤击数法。当工程运用时, 标准贯入点在当时地面以下某深度处的标准贯入锤击数小于液化判别标准贯入锤击数临界值时, 判为液化土 (本法适用于标准贯入点地面以下 15.0m 深度范围内, 大于 15m 可采用其他方法判定); ②相对密度复判法。当饱和和无黏性土 (包括砂和粒径大于 2mm 的砂砾) 的相对密度不大于液化临界相对密度时, 可判为液化土; ③相对含水率或液性指数复判法。当饱和和少黏性土的相对含水率大于或等于 0.9 时, 或液性指数大于或等于 0.75 时, 可判为可能液化土<sup>[3]</sup>。

### 3.2 先进技术判别方法

随着现代工程对地质勘察的要求越来越高, 勘察技术也在不断的发展创新, 为了更准确的判别土体的液化潜势, 目前发展的新型技术主要包括 CRR (剪切应力比) 法、CPT (锥形渗透试验) 法、地震液化潜势曲线法以及地震液化潜势指数法等。

CRR 法通过比较土体的残余抗剪强度与最大抗剪强度之比来判别液化, 当 CRR 小于一定阈值时, 通常认为土体可能发生液化。CPT 法是一种现场测试方法, 通过锥形探针测定土体性质, 得到的 CRR 值和孔隙水压力可用于液化判别。地震液化潜势曲线法则通过绘制地震液化潜势曲线, 将地震加速度与液化潜势指数相对应, 从而判断土体的液化可能性。地震液化潜势指数法则通过将土体的物理和工程性质转化为指数, 比较指数值和经验阈值来判别液化潜势。综合采用这些判别方法时, 还需要进行现场勘察、实验室试验和地震动力学分析, 以获取更准确的土体参数。

在土的液化判别过程中, 选择合适的判别方法至关重要, 这需要根据具体工程和地质条件进行合理选取。

## 4. 防治对策

### 4.1 地震动液化分析的基础阶段

在水利工程中, 地震是一种常见的自然灾害, 其可能导致地基土液化现象, 给水利工程的安全稳定性带来严重威胁。为了有效防治液化风险, 必须首先进行地基土地震动液化分析, 该过程的基础阶段至关重要。这一阶段涉及对工程所在地区的地质条件、地震条件进行深入研究, 以及对工程区地基土的液化进行判别, 必要时可使用地震动力学模型和数值模拟方法对地基土在地震作用下的液化潜在性进行准确评估。详细的地质调查是该阶段的核心, 通过分析地层构造、土层性质以及地下水位等信息, 建立地震动液化的地质背景。此外, 收集区域内的历史地震数据, 深入了解地震的发生频率和强度。

必要时运用先进的地震动力学模型和数值模拟方法, 对地震作用下的地基土动力响应进行模拟和分析。通过考虑地震波的传播、土体的动力特性等因素, 预测可能的液化区域和程度。这一步骤有助于定量评估潜在风险, 并为后续的防治措施提供科学依据。地震动液化分析的基础阶段是整个液化防治体系的基石, 它确保了后续阶段的有效性和科学性。只有在充分理解地质和地震条件的基础上, 才能更好地制定出切实可行的防治对策, 从而提高水利工程在地震灾害中的抗风险能力。

### 4.2 加固地基土的措施

加固地基土是有效防治水利工程地震动液化的重要一环。在应对水利工程地基土地震动液化的问题时, 实施加固地基土的措施至关重要。这一阶段旨在提高土体的抗液化能力, 减缓或避免液化的发生。为此, 可采取多种有效的加固措施。注浆技术是常见的加固手段之一。通过向地基土中注入固化剂, 改变土体的物理和化学性质, 提高土壤的稠密度和抗液化能力。注浆可以根据实际情况选择不同的固化剂, 如水泥浆、膨润土浆等, 以满足特定地质条件下的加固需求。

振实方法也是有效的加固手段。通过振动作用, 使地基土颗粒紧密排列, 增加土体的密实度, 提高土壤的抗液化性能。这种方法适用于一些土质较松散、孔隙度较大的地区, 能够有效地改善土体的力学性质。设置排水系统也是一项关键的加固措施。通过合理设置地下排水管道, 及时排除地基土中的过剩水分, 减小土体饱和度, 有助于提高土壤的抗液化能力。排水系统的设计应考虑工程的实际情况和地质特

征, 确保其在地震发生时能够有效发挥作用。加固地基土的措施应根据具体的工程地质条件和水利工程特点来选择和实施。这些加固手段的合理应用将有效提高水利工程地基土的抗震性能, 确保工程在地震发生时的安全稳定。

#### 4.3 优化水利工程设计

优化水利工程设计是在地震动液化分析的基础上, 通过合理调整工程设计方案, 以减小地基土液化的风险。为降低水利工程地基土液化的风险, 优化工程设计方案显得至关重要。这一阶段的关键在于充分考虑地震影响, 选择合理的地基土改良技术, 并在工程设计中采取措施以降低液化的概率。要在新建水利工程设计中充分考虑地震因素。结合地震动液化分析的结果, 合理选择工程的布局和建设地点, 避免在潜在液化区域兴建关键性水利工程。通过对工程场地的合理选址, 可有效减小液化的危险性。

#### 4.4 建立监测体系

建立监测体系是水利工程应对地震动液化风险的重要环节。为了更好地应对水利工程地基土地震动液化的威胁, 建立一套完善的监测体系至关重要。这一体系涵盖了多方面的监测手段, 旨在实时追踪地基土的变化, 及时获取关键信息, 为紧急处理和工程安全提供科学依据。应考虑设置地震动监测仪器。在水利工程关键位置和潜在液化区域布设地震动监测仪器, 实时监测地震动力学参数, 如振动频率、加速度等。这些数据将成为判定地基土液化风险的重要依据, 有助于及时预警和采取紧急措施。应考虑土体位移监测。通过在关键地点安装位移监测设备, 实时监测地基土的变形情况。一旦发现地基土发生明显的变形, 即可判断可能发生液化的危险性, 采取及时的处理措施。

应建立远程监测系统。通过远程监测技术, 将实时的监测数据传输至监测中心, 实现远程实时监控。这种方式能够提高监测的时效性和准确性, 使监测系统更加灵活和便捷。建立健全的数据分析和应急处理机制。监测体系不仅需要收集大量的数据, 还需要建立科学的数据分析模型, 以便更准确地判断液化风险。

#### 4.5 制定应急预案和培训人员

制定应急预案和培训人员是在水利工程面临地震动液化风险时的重要环节。为了有效应对水利工程地基土地震动液化可能带来的危险, 制定科学合理的应急预案至关重要。这一阶段的核心任务是根据地震动液化分析的结果, 设计应

急处理方案, 明确各类应急措施和责任分工。要建立水利工程的应急处理组织结构。明确应急领导小组、应急工作组等组织机构, 制定组织调度流程和应急响应机制。确保在发生地震动液化事件时, 能够迅速启动应急机制。

要制定详细的应急预案。应急预案应包括不同级别的应急响应措施, 明确涉及人员的撤离、安全防护、物资保障等方面的操作步骤。根据地震动液化分析的结果, 预先设定不同情境下的紧急处理方案, 以提高应对突发事件的效率。要进行定期的应急演练, 通过模拟地震动液化事件, 检验应急预案的可行性和有效性, 提高工程人员应对突发事件的紧急处理能力。培训水利工程人员。定期开展地震应急知识培训, 提高工程人员对地震动液化风险的认识, 加强应急意识, 提升应对突发事件的能力。培训还应涵盖现场救援技能、紧急通讯方法等方面, 使人员能够迅速有效地应对不同情况下的应急任务。制定科学合理的应急预案和开展高效的培训是在面对地震动液化风险时的关键准备工作。这一系列措施不仅为应对紧急情况提供了有力的保障, 也为工程的安全性和稳定性提供了最大程度的保障。科学合理的应急预案是应对地震动液化风险的基石。预案的制定需要充分考虑地震动液化分析的结果, 明确不同级别的紧急处理方案, 制定详细的操作步骤和责任分工。通过合理的组织结构和科学的应急措施, 预案能够在发生地震动液化事件时迅速启动, 有序组织各项紧急工作。

### 5. 总结

总而言之, 通过对地基土力学特性的综合分析, 可以更全面地了解水利工程在地震条件下的响应, 为工程设计提供科学的依据, 降低地震风险。地基土力学特性的分析对于水利工程在地震条件下的稳定性评估至关重要。地基改良方案的科学性和实际可行性需要充分的地质勘察和工程试验的支持, 以确保其在实际工程中的可靠性。

#### 参考文献

- [1] 屈中欣, 张广阔, 胡书新. 水利工程地基处理技术的应用分析 [J]. 建材与装饰, 2023, 000(041):148-149.
- [2] 潘永宏. 水利工程地质勘探中液化问题的分析 [J]. 水能经济, 2022.(1):2.
- [3] 《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487-2008) 2022版.