

# 大坝结构抗震性能分析与设计优化策略

蔡晨旭 于明俭

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 大坝作为重要的水利工程设施,其抗震性能对于保障人民生命财产安全和水利工程正常运行至关重要。本文首先介绍了大坝结构抗震性能分析的重要性,然后从大坝结构抗震设计原则、抗震性能分析方法、抗震设计优化策略等方面进行了深入探讨,旨在提高大坝结构的抗震能力,确保其安全稳定运行。

**关键词:** 大坝结构;抗震性能;设计优化;水利工程

## 引言

大坝是水利工程中的核心建筑物,其稳定性和安全性直接关系到下游人民生命财产的安全以及水利工程的正常运行。随着全球气候变化和极端天气事件的增多,地震等自然灾害频发,对大坝结构的安全性提出了更高的要求。因此,开展大坝结构抗震性能分析与设计优化策略研究,对于提高大坝结构的抗震能力,确保其安全稳定运行具有重要意义。

### 1 大坝结构抗震设计原则

大坝结构抗震设计应遵循“安全第一、预防为主”的原则,充分考虑地震作用的不确定性,采取合理的设计方法和技术措施,确保大坝结构在地震作用下的整体稳定性和安全性。具体来说,应遵循以下原则:(1)场地选择与基础处理:优先选择地质条件良好、地震活动相对较弱的场地建坝,同时加强基础处理,提高地基的承载力和抗震性能。(2)结构体系与布置:合理选择大坝结构体系,确保结构受力明确、传力路径直接,避免应力集中和薄弱环节。同时,优化结构布置,减轻地震作用对大坝结构的不利影响。(3)材料选择与强度设计:选用高性能材料,确保大坝结构在地震作用下的强度和稳定性。同时,合理设计材料强度,充分考虑地震作用的动力特性和材料性能的退化。(4)抗震构造措施:采取有效的抗震构造措施,如设置抗震缝、抗震墙等,提高大坝结构的整体性和变形能力,减轻地震作用对结构的破坏。(5)抗震分析与验算:采用先进的地震分析方法和计算模型,对大坝结构进行抗震分析和验算,确保结构在地震作用下的安全性能。

### 2 大坝结构抗震性能分析方法

#### 2.1 静力分析法

静力分析法是大坝结构抗震性能评估中的一种基础且重要的方法。该方法的核心思想是将复杂的地震作用简化为等效的静力荷载,进而通过计算大坝结构在这一

静力荷载作用下的内力和变形来评估其抗震性能。这种简化使得分析过程更为直观和易于操作,特别是在处理较低地震烈度和较简单结构形式时,静力分析法显示出其独特的优势。在静力分析法中,地震作用通常被转化为水平或垂直方向的静力荷载,这些荷载的大小和方向根据地震烈度、地震波的传播特性以及大坝结构所在地的地质条件等因素综合确定。随后,利用结构力学的基本原理和方法,计算大坝结构在静力荷载作用下的应力分布、变形情况以及可能的破坏模式。静力分析法的优点在于其计算过程相对简单,易于理解和实施。然而,它也存在一定的局限性,特别是在处理高地震烈度或复杂结构形式时,静力分析法可能无法准确反映地震作用的动态特性和结构的非线性行为。因此,在使用静力分析法进行大坝结构抗震性能评估时,需要充分考虑其适用范围和限制条件<sup>[1]</sup>。尽管如此,静力分析法仍然是大坝结构抗震设计中的重要工具之一。通过合理的简化和假设,静力分析法能够为工程师提供有价值的抗震设计参考,帮助他们在设计阶段就充分考虑地震作用对大坝结构的影响,从而采取有效的措施提高大坝的抗震性能。在未来的研究中,可以进一步探索静力分析法与其他先进抗震分析方法的结合使用,以期在更广泛的范围内提高大坝结构的抗震设计水平。

#### 2.2 反应谱法

反应谱法是大坝结构抗震分析中一种常用且有效的方法,它基于地震动特性的研究,利用地震反应谱来计算大坝结构在地震作用下的动力响应,这些响应主要包括位移、速度、加速度等关键参数。通过这些参数,工程师能够深入了解大坝结构在地震作用下的行为表现,为抗震设计和加固提供科学依据。反应谱法的主要优势在于它综合考虑了地震动的动力特性和大坝结构的动力响应。地震动具有复杂的频谱特性和时间历程,而大坝结构本身也具有特定的自振周期和阻尼特性。反应谱法

通过将这些因素相结合,能够更准确地模拟大坝结构在地震作用下的真实响应,从而提高抗震设计的可靠性和准确性。在实际应用中,反应谱法适用于一般工程结构的抗震分析,特别是那些需要考虑地震作用动力特性的结构。对于大坝这类重要的水利工程结构,反应谱法能够提供更为全面的抗震性能评估,帮助工程师更好地理解 and 把握结构在地震作用下的性能表现。需要注意的是,反应谱法虽然具有广泛的应用价值,但在使用过程中也需要结合具体的工程实际和地震环境进行合理的调整和优化。同时,随着科技的进步和抗震设计理论的发展,反应谱法也需要不断地更新和完善,以适应新的抗震设计需求和挑战。反应谱法作为大坝结构抗震分析的重要手段之一,能够有效地评估大坝在地震作用下的动力响应和抗震性能。通过合理利用反应谱法,工程师能够制定更为科学和有效的抗震设计方案。

### 2.3 时程分析法

时程分析法是大坝结构抗震分析中的一种高级且精确的方法。该方法通过输入地震动时程曲线,即地震波随时间的变化记录,来模拟大坝结构在地震作用下的全过程响应。这种模拟不仅涵盖了结构在各个时刻的内力变化,还包括了变形、位移、速度、加速度等多方面的动态行为。时程分析法的显著优势在于其能够真实、全面地反映大坝结构在地震作用下的性能表现。由于输入的是实际地震波数据,因此时程分析法能够考虑地震动的频谱特性、持续时间、能量分布等复杂因素,从而更准确地评估大坝结构在地震中的安全性。特别适用于重要工程和复杂结构的抗震分析,时程分析法能够提供更为详尽和深入的结构响应信息。对于大坝这类关乎国计民生的重要水利工程,其结构复杂、受力状况多变,采用时程分析法进行抗震分析能够更为精确地把握结构在地震作用下的薄弱环节和潜在风险。然而,时程分析法也存在一定的挑战和限制。首先,它需要大量的计算资源和时间来完成模拟分析;其次,对于地震动输入的选择和处理也需要较高的专业知识和技能。因此,在应用时程分析法时,需要综合考虑工程的重要性、复杂性以及分析成本等因素<sup>[2]</sup>。时程分析法是大坝结构抗震分析中的一种重要方法,它能够真实反映结构在地震作用下的性能表现,为重要工程和复杂结构的抗震设计提供有力支持。随着计算技术的不断发展和抗震设计理论的日益完善,时程分析法将在未来大坝结构抗震分析中发挥越来越重要的作用。

## 3 大坝结构抗震设计优化策略

### 3.1 基于性能的抗震设计

基于性能的抗震设计是一种先进且实用的大坝结构抗震设计理念。它强调在设计过程中,根据大坝结构的重要性和使用功能,设定明确、量化的性能目标,然后采用相应的抗震设计方法和措施,以确保结构在不同地震烈度下均能达到预期的安全性能。这种设计方法的核心在于对大坝结构性能目标的精准把控。不同的大坝,由于其重要性、地理位置、使用功能等因素的差异,对地震作用的抵抗能力和安全性能要求也不尽相同。因此,在基于性能的抗震设计中,工程师需要综合考虑这些因素,为每一座大坝量身定制合适的性能目标。为了实现这些性能目标,工程师需要运用多种抗震设计方法和措施。例如,通过优化结构布局、选择高强度材料、设置抗震构造等措施来增强大坝结构的整体性和抗震能力;同时,还可以采用隔震、耗能减震等先进技术来减轻地震作用对大坝结构的不利影响。此外,基于性能的抗震设计还强调对大坝结构在地震作用下的全过程性能进行模拟和评估。通过利用先进的数值分析方法和实验手段,工程师可以模拟大坝结构在不同地震烈度下的响应和破坏过程,从而更准确地评估其安全性能,并为后续的抗震设计优化提供科学依据。基于性能的抗震设计为大坝结构的抗震设计提供了一种新的思路和方法。它不仅能够确保大坝结构在地震作用下的安全性能,还能提高设计的针对性和经济性。

### 3.2 隔震与耗能减震技术

隔震与耗能减震技术是现代结构工程中重要的抗震手段,对于大坝这类关键性水利工程结构尤为适用。通过设置隔震层、耗能元件等专门设计,这些技术能够显著减少地震能量向上部结构的传递,从而有效减轻大坝结构在地震作用下的响应。隔震技术主要通过在大坝基础与上部结构之间设置隔震层,利用隔震材料的特殊性质来吸收和分散地震能量。这样,当地震波到达大坝时,隔震层能够发挥“隔离带”的作用,将大部分地震能量阻隔在基础部分,减少对上部结构的直接冲击。耗能减震技术则侧重于通过安装耗能元件,如阻尼器、耗能支撑等,来耗散地震能量。这些元件在地震作用下能够产生塑性变形或摩擦耗能,从而降低结构的地震响应<sup>[3]</sup>。通过这种方式,耗能减震技术能够有效保护大坝结构免受地震破坏。这些隔震与耗能减震技术在大坝结构抗震设计中具有广阔的应用前景。随着材料科学和工程技术的不断进步,新型的隔震材料和耗能元件不断涌现,为大坝结构的抗震设计提供了更多选择。未来,随着这些技术的进一步发展和完善,相信它们将在大坝结构抗震设计中发挥越来越重要的作用,为保障人民生命财产安全和

水利工程的正常运行贡献更大力量。同时,也需要继续加强相关研究和实践,不断探索和创新隔震与耗能减震技术的应用方式和方法,以适应不同大坝结构和地震环境的实际需求。

### 3.3 多道防线设计

多道防线设计是大坝结构抗震设计中的重要策略,它强调在结构中设置多重抗震防线,以确保当某一道防线在地震中受损或失效时,其他防线能够继续发挥作用,从而维护大坝结构的整体稳定性。这种设计理念充分考虑了地震作用的不确定性和大坝结构的重要性,为大坝在极端地震事件中的安全提供了有力保障。在实际应用中,多道防线设计可以通过多种措施来实现。例如,设置多道抗震缝是大坝结构中常见的做法之一。这些抗震缝能够有效地将大坝划分为多个相对独立的部分,每个部分都能够承担一定的地震作用。当某一部分受损时,其他部分仍能够保持完好,继续发挥抗震作用。此外,设置抗震墙也是多道防线设计中的重要手段。抗震墙通常具有较高的刚度和强度,能够在地震中承担大部分的水平荷载。通过设置多道抗震墙,可以形成多重抗震防线,当某一道墙受损时,其他墙仍能够继续发挥作用,确保大坝结构的整体稳定性。多道防线设计的优点在于它提高了大坝结构在地震中的冗余度和可靠性。当地震发生时,即使某一道防线失效,其他防线仍能够继续发挥作用,防止大坝结构发生整体倒塌或严重破坏。这种设计理念充分体现了“以防万一”的思想,为大坝结构的安全运行提供了坚实保障。多道防线设计是大坝结构抗震设计中的关键策略之一。通过合理设置多重抗震防线,可以显著提高大坝结构在地震中的安全性能。

### 3.4 加强监测与预警系统建设

加强监测与预警系统建设是确保大坝结构安全运行的不可或缺的一环。一个完善的监测与预警系统能够实时监测大坝结构的状态以及地震活动情况,为工程师提供宝贵的数据支持,以便他们及时发现异常并采取相应的措施。大坝结构作为重要的水利工程,其安全性直接关系到下游人民的生命财产安全和社会的稳定发展。因此,建立一个高效、可靠的监测与预警系统至关重要。

该系统应包括多种传感器和监测设备,能够全方位、多角度地监测大坝结构的位移、变形、应力等关键参数,以及地震波的传播情况和震源位置等重要信息。通过实时监测,工程师可以及时了解大坝结构在正常运行和地震作用下的反应和性能,从而对其安全性进行评估。一旦发现异常或潜在风险,工程师可以迅速采取措施,如调整运行方式、加固结构等,以确保大坝结构的安全和稳定。此外,预警系统也是大坝结构抗震设计中的重要组成部分。它能够在地震发生前或发生时,根据监测到的地震活动数据,预测地震的可能影响,并及时向相关人员发出预警信息。这样,相关人员可以迅速采取行动,如启动应急预案、疏散人员等,以减轻地震可能带来的损失<sup>[4]</sup>。加强监测与预警系统建设是大坝结构抗震设计中的关键环节。一个完善的系统不仅能够为工程师提供实时的数据支持,还能够为相关人员提供及时的预警信息,共同保障大坝结构的安全运行。在未来,随着科技的不断进步和监测技术的不断发展,相信大坝结构的监测与预警系统将更加完善、高效和智能化。

### 结语

本文从大坝结构抗震设计原则、抗震性能分析方法、抗震设计优化策略等方面进行了深入探讨,为提高大坝结构的抗震能力提供了有益的参考。未来在大坝结构抗震性能分析与设计优化策略的研究中,还需要关注新材料、新技术、新工艺的应用,推动大坝结构抗震性能的不不断提升。同时,加强国际合作与交流,借鉴其他国家和地区的成功经验,共同推动全球大坝结构抗震设计水平的提高。

### 参考文献

- [1]孔宪京,屈永倩,邹德高等.强震作用下面板堆石坝跨尺度面板开裂演化分析[J].岩土工程学报,2020,42(06):989-996.
- [2]邓铭江,孙奔博,许佳.高沥青混凝土心墙坝抗震安全评估研究进展[J].水力发电学报,2023,42(03):82-91.
- [3]孔宪京,陈健云,邹德高.高坝抗震安全理论发展趋势研究[J].水力发电学报,2020,39(07):1-11.
- [4]李静,陈健云,徐强.高拱坝抗震安全性能评价指标探讨[J].人民长江,2019,50(09):129-136.