第 9 卷◆第 8 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

水利工程建筑物结构设计关键问题研究

张子奇　张腾
中水东北勘测设计研究有限责任公司
DOI:10.12238/hwr.v9i8.6508

[摘　要] 水利工程建筑物结构设计对于保障水利工程的安全性、稳定性和耐久性至关重要。本文深入探讨了水利工程建筑物结构设计中的关键问题,包括结构选型、荷载分析以及抗震设计等方面。通过对这些问题的研究,分析了当前设计中存在的不足,并提出了相应的解决策略。旨在提高水利工程建筑物结构设计的水平,为水利工程的可持续发展提供有力支持。
[关键词] 水利工程；建筑物结构；结构设计；关键问题
中图分类号：TU318　文献标识码：A

Study on key problems of structural design of hydraulic engineering buildings

Ziqi Zhang　Teng Zhang
Zhongshui Northeast Survey and Design Research Co., Ltd.
[Abstract] The structural design of hydraulic engineering buildings is very important to ensure the safety, stability and durability of hydraulic engineering. In this paper, the key problems in the structural design of hydraulic engineering buildings are deeply discussed, including structural selection, load analysis and seismic design. Through the study of these problems, the shortcomings in the current design are analyzed, and the corresponding solutions are put forward. It aims to improve the level of structural design of water conservancy projects and provide strong support for the sustainable development of water conservancy projects.
[Key words] water conservancy project; Building structure; Structural design; the key to the question

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着不可替代的作用。水利工程建筑物结构设计是水利工程建设的核心环节, 其设计质量直接关系到水利工程的运行安全和效益。然而, 在实际设计过程中, 由于各种因素的影响, 如地质条件复杂、荷载作用多样、抗震要求高等, 使得水利工程建筑物结构设计面临着诸多挑战。因此, 深入研究水利工程建筑物结构设计的关键问题, 具有重要的现实意义。

1 水利工程建筑物结构选型关键问题

1. 1结构选型的影响因素

水利工程建筑物结构选型是一个综合性决策过程, 受到多种因素的交织影响。地质条件是首要且关键的因素。不同的地质构造和岩土特性对结构的承载能力和稳定性提出了截然不同的要求。例如, 在岩石地基上, 由于其具有较高的承载力和稳定性, 可选择结构形式相对灵活, 如重力坝可充分利用岩石的支撑作用, 减少坝体断面尺寸；而软土地基则情况复杂得多, 其承载力低、压缩性高且可能存在不均匀沉降问题。此时, 若建设水利工程建筑物, 需要谨慎选择能够适应地基变形的结构形式, 像桩基础可将上部荷载传递至深层稳定岩土层, 扩大基础则通过增大与地基的接触面积来分散压力, 确保结构安全。

工程的使用功能是决定结构选型的直接因素。不同的水利工程具有不同的功能需求, 如挡水、泄水、输水、发电等。对于以挡水为主要功能的枢纽工程, 重力坝凭借其依靠自身重量维持稳定的特性, 成为常见的选择；而对于需要兼顾泄水功能的工程, 则可能需要采用重力坝与溢洪道等结构相结合的方式, 以满足不同工况下的运行要求。同时, 施工条件也是影响结构选型的重要因素。施工场地的地形地貌、交通状况以及施工设备等都会限制或促进某些结构形式的采用。例如, 在山区狭窄的河谷中, 施工场地有限, 可能更适合采用拱坝, 因为它可以利用两岸山体的支撑作用, 减少坝体体积和施工难度；而若施工设备先进、运输便利, 则可以为采用大型预制构件的结构形式提供条件。

材料供应同样对结构选型有着重要影响。当地材料的种类、质量和供应能力直接关系到结构建设的成本和可行性。如果当地有丰富的石材资源, 那么在满足设计要求的前提下, 土石坝可能是一个经济合理的选择；若当地水泥、钢材等建筑材料供应充足且价格合理, 则混凝土结构的应用将更加广泛。此外, 材料的性能也会影响结构选型, 如高性能混凝土具有高强度、高耐久

文章类型：论文|刊号（ISSN)：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

性等特点,可使结构更加轻薄、坚固,为结构选型提供更多的可能性。

1.2常见结构形式及特点

水利工程建筑物常见的结构形式各有其独特的优缺点和适用范围。重力坝是一种古老而可靠的结构形式,它依靠自身重量维持稳定,结构简单,施工方便,对地形地质条件的适应性较强。重力坝的坝体体积较大,能够承受较大的水压力,因此在高水头、大流量的水利工程中得到广泛应用。然而,重力坝对混凝土材料的要求较高,需要大量的优质混凝土,工程造价相对较高。而且,坝体体积大意味着水泥用量多,水化热产生的温度应力可能导致坝体出现裂缝,需要采取严格的温度控制措施。

拱坝则是一种充分发挥材料性能的结构形式。它利用拱的作用将荷载传递给两岸山体,具有超载能力强、节省材料的优点。拱坝的坝体厚度较薄,外形美观,在一些对景观有要求的工程中具有一定的优势。但拱坝对地形地质条件要求较高,两岸山体必须坚实完整,能够提供足够的支撑力。同时,拱坝的施工难度较大,需要高精度的施工技术和严格的质量控制,以确保拱的合理形状和应力分布。

土石坝是由土料、石料或混合料经过抛填、碾压等方法堆筑而成的挡水建筑物。它具有就地取材、施工简单、适应地基变形能力强等优点。土石坝的坝体材料来源广泛,可充分利用当地的土石资源,降低工程造价。而且,土石坝对地基的要求相对较低,能够适应一定程度的不均匀沉降。然而,土石坝的坝体填筑质量要求较高,需要严格控制土料的含水量、压实度等指标。此外,土石坝容易发生渗漏问题,需要设置完善的防渗体系,如心墙、斜墙等,以保证坝体的防渗性能。

1.3结构选型的优化策略

在进行结构选型时,应树立综合优化的理念,充分考虑各种因素的相互作用。首先,要开展详细的地质勘察和水文分析工作,准确掌握工程场地的地质构造、岩土特性、水位变化规律等信息,为结构选型提供科学依据。通过地质勘察,可以了解地下是否存在断层、溶洞等不良地质现象,从而避免在这些区域采用不合适的结构形式；水文分析则能确定设计洪水标准、水位变幅等参数,为结构的尺寸和强度设计提供参考。

对于不同的结构形式,从安全性、经济性、施工可行性等方面进行综合评估。例如,对于一个小型的水库工程,如果当地石材资源丰富,且对工程造价较为敏感,那么土石坝可能是一个较好的选择;而对于一个大型的水利枢纽工程,需要满足多种功能需求且对结构的可靠性要求极高,则可能需要采用重力坝或拱坝等结构形式。在比选过程中,可以运用价值工程、层次分析法等决策方法,对各方案进行量化评价,选择最优方案。

2 水利工程建筑物荷载分析关键问题

2.1荷载类型及作用特点

水利工程建筑物在其服役期间会承受多种荷载作用,这些荷载类型多样且作用特点各异。永久荷载是长期作用在结构上的不变荷载,其中结构自重是最为常见的永久荷载。它的大小取决于结构的材料密度、体积以及形状等因素。例如,对于混凝土重力坝,其自重是维持坝体稳定的关键因素之一。坝体体积越大,自重也就越大,对坝基的压力也相应增加。土压力也是永久荷载的重要组成部分,当水利工程建筑物与土体接触时,土体会对结构产生侧向压力。土压力的大小与土的性质、填土高度以及挡土结构的位移情况有关。在挡土墙设计中,准确计算土压力对于确保挡土墙的稳定性至关重要。

可变荷载是指在结构使用期间其值随时间变化的荷载。水位变化引起的水压力是典型的可变荷载。在水利工程中,水库的水位会随着季节、降雨等因素而发生变化。当水位上升时,水对建筑物的作用力增大；水位下降时,作用力减小。这种水压力的变化会对结构的应力分布和变形产生影响。温度变化引起的温度应力也是可变荷载之一。由于水利工程建筑物通常处于露天环境中,受到日照、气温变化等因素的影响,结构内部的温度会发生变化。当温度变化受到约束时,会在结构中产生温度应力,可能导致结构出现裂缝。此外,风荷载、雪荷载等也会对水利工程建筑物产生作用,尤其是在一些高耸的水工结构物中,风荷载的影响不容忽视。

2.2荷载组合原则与方法

在进行水利工程建筑物结构设计时,需要考虑各种荷载的组合情况,以确保结构在各种可能的荷载作用下都能安全可靠地工作。荷载组合的原则是要考虑最不利荷载组合,即找出对结构安全最不利的荷载组合方式。这需要对各种荷载的作用特点、出现概率以及它们之间的相互作用进行深入分析。

常见的荷载组合方法有基本组合和偶然组合。基本组合是将永久荷载与可变荷载进行组合。在进行基本组合时,需要考虑可变荷载的标准值和组合值系数。可变荷载的标准值是指其在设计基准期内可能出现的最大值,而组合值系数则是考虑了多个可变荷载同时作用时,其效应并非简单叠加,而是存在一定的折减。例如,在计算水工建筑物的应力时,可能会同时考虑水压力、温度应力和风荷载等可变荷载,通过合理确定组合值系数,得到最不利的荷载组合效应。

偶然组合则是将永久荷载与偶然荷载进行组合。由于偶然荷载的出现概率较低,但在发生时对结构的影响巨大,因此在偶然组合中需要考虑偶然荷载的代表值。例如,在进行水利工程建筑物的抗震设计时,需要将永久荷载与地震作用进行组合,计算结构在地震作用下的内力和变形,以确保结构在遭遇地震时能够保持足够的强度和稳定性。

在进行荷载组合时,还需要根据结构的重要性和使用要求,确定不同的安全等级和荷载分项系数。安全等级越高,荷载分项系数取值越大,意味着对结构的安全性要求越高。例如,对于重要的水利枢纽工程,其安全等级通常较高,荷载分项系数的取值也会相应增大,以确保结构在极端荷载作用下的可靠性。

2.3荷载分析中的不确定性处理

荷载分析中存在许多不确定性因素,如荷载的大小、作用位置、作用时间等。这些不确定性因素会给结构设计和安全评估

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

带来困难。为了处理这些不确定性,可以采用概率统计方法和可靠度理论。

概率统计方法通过对大量实测数据进行分析,确定荷载的概率分布和统计参数。例如,对于水位变化引起的水压力,可以通过长期的水位观测数据,统计分析水位的变化规律和概率分布。同样,对于风荷载,可以通过气象观测数据,确定风速、风向的概率分布。通过这些概率分布和统计参数,可以更准确地描述荷载的不确定性。

可靠度理论则是在概率统计的基础上,考虑结构的抗力和荷载效应的不确定性,计算结构的可靠度指标。结构的抗力是指结构抵抗破坏的能力,它也与材料的性能、施工工艺等因素有关,存在一定的不确定性。可靠度指标反映了结构在规定的时间内、规定的条件下完成预定功能的概率。通过可靠度分析,可以评估结构在不同荷载作用下的可靠程度,为结构设计和安全评估提供科学依据。

在实际工程中,还可以采用一些简化的方法来处理荷载分析中的不确定性。例如,在设计中引入安全系数,通过增加结构的承载能力来抵消荷载不确定性带来的影响。安全系数的取值需要综合考虑荷载的不确定性程度、结构的重要性以及工程经验等因素。同时,在结构设计和施工过程中,还需要加强质量控制和监测,及时发现和处理可能出现的问题,确保水利工程建筑物的安全可靠运行。

3 水利工程建筑物抗震设计关键问题

水利工程建筑物大多位于地震多发地区,地震作用会对结构造成严重破坏,甚至导致工程失事。因此,抗震设计是水利工程建筑物结构设计中的重要环节。我国现行的水利工程抗震设计规范对水利工程建筑物的抗震设计提出了明确的要求,包括抗震设防标准、抗震计算方法、结构构造措施等。设计人员应严格按照规范要求进行抗震设计,确保结构在地震作用下具有足够的强度和变形能力。

目前,水利工程建筑物抗震计算方法主要有静力法、反应谱法和时程分析法等。静力法是一种简化的计算方法,适用于结构刚度较大、地震作用较小的情况。反应谱法考虑了地震动的频谱特性,能够较好地反映结构在地震作用下的最大反应,适用于大多数水利工程建筑物的抗震计算。时程分析法则是通过输入地震波,对结构进行动力时程分析,能够更准确地反映结构在地震作用下的响应过程,适用于重要水利工程建筑物和复杂结构的抗震计算。

除了进行抗震计算外,还需要采取一系列结构抗震构造措施,提高结构的抗震性能。例如,在混凝土结构中,应设置足够的箍筋和拉筋,提高结构的延性和抗剪强度。在砌体结构中,应设置构造柱和圈梁,增强结构的整体性。此外,还应注意结构的连接部位和薄弱环节的抗震设计,如坝体与基岩的连接、溢洪道的闸墩等。通过采取这些构造措施,可以有效提高结构的抗震能力,减少地震灾害对水利工程建筑物的破坏。

4 结束语

水利工程建筑物结构设计是一个复杂的系统工程,涉及到多个方面的关键问题。在结构选型方面,需要综合考虑各种因素,选择合适的结构形式,并进行优化设计。在荷载分析方面,要准确识别和计算各种荷载,合理进行荷载组合,处理荷载分析中的不确定性。在抗震设计方面,要严格按照规范要求进行抗震计算,并采取有效的结构抗震构造措施。通过深入研究和解决这些关键问题,可以提高水利工程建筑物结构设计的水平,确保水利工程的安全可靠运行,为国家的经济发展和社会稳定做出贡献。

[参考文献]

[1]陈希.水利工程建筑物结构设计的技术关键探究[J].水上安全,2024,(20):187-189.

[2]李劲飞.水利工程建筑物结构设计关键问题探讨[J].工程建设与设计,2020,(14):132-133.

[3]杨兴.对水利工程建筑物结构设计关键问题的研究[J].河南科技,2018,(10):94-95.

[4]王军.水利工程建筑物结构设计关键问题研究[J].门窗,2017,(08):162.

[5]马光怡.水利工程建筑物结构设计存在的问题及对策[J].黑龙江科技信息,2017,(12):223.

作者简介:

张子奇(1993--),男,汉族,吉林榆树人,工程师,大学本科,研究方向：水利水电工程。