

# 关于混凝土重力坝断面设计的分析

王宏健

浙江省疏浚工程有限公司 浙江省 湖州市 313000

**摘要:**现阶段水利工程建设规模不断扩大,混凝土重力大坝数量增多。如果没有做好重力坝断面设计工作,将会直接影响到坝体结构承载力及稳定性,甚至会引发大坝坍塌问题。本文就针对此,结合具体施工案例,阐述混凝土重力坝断面设计方案,提出混凝土重力坝参数选取要点,对不同混凝土重力坝断面设计方案进行对比分析,以期对相关设计人员提供理论性帮助。

**关键词:**混凝土重力坝;断面设计;参数

**前言:**混凝土重力坝是现有水利工程重要结构形式,在实际应用期间主要就是依照坝体结构自身重力产生的抗滑力抵御水压,从而保障坝体稳定。重力坝自重产生的压应力,也可以抵消使压力产生的拉应力,强度优势更加明显。为充分发挥出混凝土重力坝结构积极作用,需要做好重力坝断面设计工作。结合水利工程具体施工条件与施工要求,选择适宜的重力坝断面设计参数,确保重力坝设计方案能够在推动工程有序开展中发挥出重要作用。

## 1 工程概况

本文以某地区以水利工程为例,该实际工程位于高山峡谷地带,地震烈度为6度,在工程设计期间可以忽视地震影响。水利工程大坝结构主要肩负起防洪发电的重要职责,防护对象重要性为中等,泥沙堆积高度为26.0米,最大风速为18m/s。

## 2 混凝土重力坝断面设计方案

### 2.1 混凝土重力坝断面设计基础参数

在设置重力坝断面设计基础参数时,需要首先计算出坝顶上方防浪墙的高程值。要求防浪墙顶高程应当由计算洪水位及较核洪水位分别计算<sup>[1]</sup>。依照校核洪水位计算设计技术参数过程中,需要收集累计频率为1%的波浪高度、波浪中心线高于净水位的高度,选取防浪墙顶层高层最大值。

### 2.2 重力坝断面设计参数选取

结合混凝土重力坝具体施工经验,明确上游坝坡坡率值、下游坝坡坡率值。结合交通及运营管理要求,控制坝顶宽度以及防浪墙高度。

假定重力坝断面尺寸,着重考虑重力坝坝体自重、降水压力、扬压力、波浪压力以及泥沙压力,注重计算出重力坝的抗滑稳定性以及抗剪强度值。计算环节需要关注接触面以上的总牵制力、接触面以上的扬压力、接触面,总水平力以及接触面摩擦系数,确保计算结果更加全面精准,能够从根本上提升后续断面设计水平。

### 2.3 重力坝断面得应力分析

从材料力学角度对边缘应力值进行计算,明确混凝土重力坝水平断面上的正应力值、剪应力值、水平正应力值以及主应力值<sup>[2]</sup>。其中,在计算水平截面正应力值过程中,需要明确计算截面上所得全部荷载的铅直分力总与、用于计算截面上所得全部荷载的截面垂直水流流向形心轴得力距总与、计算截面长度值。

在剪切力计算过程中,需要明确上游水面的水压力强度,上游坡率、下游水面使压力强度,下游坡率。

## 3 混凝土重力坝断面设计方法

### 3.1 混凝土重力坝断面设计要点

要求在混凝土重力坝断面设计环节使用结构优化设计方式。具体来说,在明确混凝土重力坝施工要求及现场特征等约束条件下,依照成本低、刚度大、技术可行性强等标准,对混凝土重力坝断面设计方案进行不断优化<sup>[3]</sup>。在实际断面设计时可以使用数学规划法以及优化准则方式。由于混凝土重力坝的结构形式较为简单,因此可以使用非线性数学规划方式,对混凝土重力坝断面展开详细设计。

如果水利工程内的混凝土重力坝结构体积大,水泥用量多,整体应力较低,无法充分发挥出材料整体强度性能。故在开展混凝土重力坝断面设计工作中,应当避免重混凝土重力坝在施工及后续运营期间出现沿坝体基面或者地基软弱部位滑动问题,最大限度减小坝体结构与地基结构的接触面积,控制重力坝扬压力值,实现最

**通讯作者:**王宏健,1992.10,汉,男,浙江省长兴县,浙江省疏浚工程有限公司,施工员,助理工程师,本科,313000,研究方向:水利工程施工。

优化设计重力坝断面方案目标。

为有效解决重力坝断面设计问题,还应当明确重力坝结构断面形状布局情况,做好重力坝形状几何参数的描述工作。通常情况下,非溢流混凝土重力坝的断面布局为4个、溢流混凝土重力坝的断面布局将更多。重力坝在实际运营期间需要承受住巨大的水压力以及自重力荷载,因此在设计断面尺寸过程中,还应当重点关注重力坝整体的稳定性以及强度值,现阶段重力坝断面设计过程中的应力分析工作主要采用材料力学法、有限元分析法,在具体设计期间需要结合工程具体施工要求以及施工现场环境特征,选择适宜的设计手段。

### 3.2 混凝土重力坝断面设计数学模型构建

在构建混凝土重力坝断面设计数学模型时,需要首先明确最优设计问题的一般提法,分别列举各类设计变量,在满足约束条件的情况下,找寻到目标函数最小设计点,获得数学规划法中的约束最优化解决方案。

在设定设计变量目标函数期间,目标函数可为设计人员评价工作提供重要标准,主要指代重力坝混凝土断面设计期间重要特征或指标,例如重力坝建设成本<sup>[4]</sup>。要求在结构优化环节,也需要确保优化设计满足现行施工条件与规定,细化设计期间的各项约束条件,进一步反映出设计规范、计算规程、施工现场特征以及具体施工规范等各方面要求,部分约束条件还应当反映出设计者的设计意图。

最优化设计也可以使用复形法。具体来说,复形法是计算非线性约束最优化问题的直接搜索方式,在非线性约束的设计空间下选择并改进设计点。复形指多个维度设计空间,共同多个可行点以及顶面构成的多面体。在使用复形法过程中,可以在受非线性约束条件的多维设计空间内,对复形各顶点函数值进行分别比较,逐一丢掉最坏点,确保目标函数能够不断改进,从而获得能够满足约束条件的新方案。该种方式设计原理较为简单,使用效果良好。

在使用复形设计方法时,需要首先确定原始可行点,形成初始复合形。在多维空间内由多个顶点组成初始复合形,每个顶点都必须满足所有约束条件。在迭代过程中,需要计算出多个顶点的目标函数值,确立初始复合顶点中心点。检验中心点是否满足约束条件,在不满足约束条件的情况下需要去掉坏点,并进行重新计算与再次检验。

### 3.3 设计变量选取

为构建起混凝土重力坝断面形状最优化设计模型,在重力坝断面设计环节,通常会设计成三角形形式,在其

中设置设计变量<sup>[5]</sup>。如果施工现场的下游折坡点增加,或者采用溢流坝结构,则需要曲线选定后,设置多个设计变量值。

### 3.4 结构重力分析

对混凝土重力坝进行应力分析,有效判定坝体结构在运行以及施工期间的强度值。坝体结构应力状态会受坝体轮廓、静力荷载、地基性质等因素影响。

混凝土重力坝通常会使用材料力学方式计算应力指标,并开展断面设计工作。要施工现场地质条件较为良好的情况下,中低重力坝可以只采用材料力学方式计算;如果施工现场条件复杂、重力坝高,需要在使用材料力学方法之外,配合使用有限元计算手段。

材料力学法应当结合现行施工规范要求,借助公式对坝体结构的应力指标进行计算。有限元计算主要就是基于计算经验,如材料力学法无法准确反映出积极影响,坝体下部应力值与精准计算结果存在较大差异,需要对混凝土重力坝、地基结构进行离散化处理,将结构物划分为多个有限单元,确保结构物能够适应复杂体积情况,确保结算结果精准全面。

### 3.5 建立约束条件

混凝土重力坝断面设计环节,约束条件主要包括几何约束、应力约束、坝体抗滑稳定性计算结果等多种类型。其中,几何约束下的实体重力坝上游坡通常选取1:0~1:0.2,下游坡一般选取1:0.5~1:0.9;应力约束下,混凝土重力坝体结构不允许出现主拉应力,坝体结构的主拉应力需要小于混凝土结构的允许压应力;在坝体抗滑稳定性计算工作开展期间,基岩重力坝断面设计环节需要着重校核沿坝基面的抗滑性能,明确抗剪切强度计算下的抗滑安全稳定系数值、坝体混凝土与坝基接触面的抗剪摩擦系数值、坝体上全部荷载对滑动平面的法项分力等参数。

### 3.6 基本组合荷载计算

在开展混凝土重力坝断面最优化设计工作时,荷载力需要考虑到基本组合形态,如自重力、静水压力、扬压力、泥沙压力、土压力等。以泥沙压力为例,泥沙压力计算时需要明确铅直面上泥沙对坝体某点的压力强度、泥沙整体浮容量、泥沙干容量、泥沙孔隙率、泥沙内摩擦角度;在扬压力计算过程中,应当结合现行混凝土重力坝设计规范,在断面设计过程中,结合施工现场地质条件特征、帷幕结构以及排水结构的具体布置情况,分别使用扬压力图形;在浪压力计算期间,需要明确当地的浪高以及波长,采用经验公式计算出吹程以及风速,而后根据重力坝结构水深特征计算出浪压力值。

### 3.7 建设优化设计数学模型

选取混凝土重力坝单坝宽度值,将断面面积设置为设计变量函数。约束条件主要为几何约束条件、应力约束条件。采用材料力学法或者有限元法计算出重力大各结构所需承载的应力值。

## 4 混凝土重力坝合理断面形式

### 4.1 简化断面与作用荷载

绘制混凝土重力坝基本三角剖面图,对剖面图进行细致分析,着重考虑到坝体结构荷载重力值、上游齐顶净水压力值、坝底扬压力值<sup>[6]</sup>。假定扬压力值的分布形态,设置折减系数,明确上游边坡长度与下游边坡长度,测量出上游面水平投影长度及下游面水平投影长度,制定合理的设计变量。

### 4.2 分析满足各项应力条件的断面

设置混凝土重力坝断面应力控制条件,避免混凝土重力坝踵竖向应力中存在拉应力。

### 4.3 设置满足稳定条件的合理断面

在混凝土重力坝断面设计过程中,不仅需要满足无拉应力,还应当使重力坝结构始终保持较强的稳定性。在设定混凝土抗滑稳定性过程中,可以采用抗滑公式或者抗剪计算公式,明确满足稳定条件的抗滑与抗剪数值。在实际施工中,混凝土重力坝按抗剪强度公式计算出的抗滑稳定性安全系数会受到工程建设规模以及坝体结构自身的荷载工况等因素影响。

### 4.4 设置能够同时满足应力及稳定条件的合理断面

将用于计算混凝土重力坝应力值以及稳定条件的公式结合在一起。经过实际计算发现,重力坝基面摩擦系数可直接影响到坝体结构的应力与稳定性。可以选取不同摩擦系数值,找到能够同时满足强度与稳定条件的计算曲线交点。结合国内外现有混凝土重力坝施工资料,发现重力坝结构摩擦系数是决定理想断面的重要因素,系数通常为0.5~0.8。

基于无拉应力原则、抗滑稳定性设计方式设计混凝土重力坝断面环节,发现在施工环境基岩条件良好的情况下,理想断面上游坡度值较小。在摩擦系数值为0.75以上时,重力坝最优断面为倒悬形式。在具体设计工作开展时,一般采用上游直立断面形式,实际断面与理想断面差别不大。如果施工现场中的基岩条件较差,理想断面上坡为缓坡,在摩擦系数值为0.5的情况下,上游缓坡会缓于下游坡。现阶段国内混凝土重力坝施工工作将研发重点放在胶凝砂砾石坝施工技术中,在降低对基岩要求的前提下,使上下游坡度值相等,切实增强重力坝结

构的稳定性。

针对混凝土重力坝断面抗滑稳定性能要求,如果重力坝断面为基岩条件较差的断面,上游坝需要采用缓坡设计或者折坡设计手段,切实保障使混凝土重力坝断面结构始终处于理想状态下建设与运营。

## 5 200米以上超高混凝土重力坝断面设计方案

随着水利工程建设规模不断扩大,200米以上的超高混凝土重力坝也成为工程实施重点。相较于与普通混凝土重力坝断面设计工作而言,超高混凝土重力坝依照无拉应力设计原则难以满足直升结构的稳定性<sup>[7]</sup>。国外针对超高混凝土重力坝采用的是压应力设计准则,使得相同情况下的重力坝断面大于无拉应力准则。因此为保障超高混凝土重力坝设计水平,可以使用高压水劈裂概念,分析高压水劈裂对重力坝结构安全性能造成的不利影响。结合施工现场具体建设要求,对超高混凝土重力坝设计方案进行切实优化,确保混凝土重力坝能够始终处于安全耐久运营状态,在增强地区水利服务质量水平中发挥出重要作用。

总结:总而言之,相较于水利工程其他坝体结构而言,混凝土重力坝具有施工便捷、便于施工导流等优势,但由于坝体断面尺寸大、用料多,实际应较低,在具体设计环节还应当选择具有较高强度的材料,切实保障坝体结构的稳定性,提升坝体结构承载力。采用最优化设计方案,设置重力坝断面目标函数以及约束条件。要求在重力坝断面设计环节,也需要简化断面及作用承载力,选择能够满足稳定条件的合理断面形式。

### 参考文献:

- [1]李根.基于复合形法的混凝土重力坝典型断面优化设计[J].东北水利水电,2021,39(04):1-2+17.
- [2]李燕.混凝土重力坝设计优化及施工模拟研究[D].长春工程学院,2020.
- [3]侯振宇,邓检强,朱银邦,朱新民,崔炜.非洲某碾压混凝土重力坝断面复核优化研究[J].广西水利水电,2020(05):55-57+61.
- [4]韩继阳,韩康,杜传阳.混凝土重力坝结构断面优化设计研究[J].陕西水利,2020(05):10-13.
- [5]董建.混凝土重力坝设计计算及稳定性分析[D].郑州大学,2018.
- [6]马秀伟,刘永智,刘鹏,蔺蕾蕾.中美混凝土重力坝典型断面设计对比分析[J].西北水电,2018(04):34-39.
- [7]窦仲毅.某碾压混凝土重力坝设计及溢流断面优化[D].西北农林科技大学,2017.