

# ANSYS 在重力坝应力分析中的应用

韩永胜 梁秋生

(山东水利职业学院, 山东 日照 276826)

摘 要: 本文对重力坝应力分析的材料力学方法、弹性力学方法、结构模型试验方法以及有限单元法进行了比较, 重点阐述了有限单元法, 利用大型有限元工程分析软件 ANSYS 对某重力坝进行了应力分析与开裂区域研究。

关键词: 重力坝; 应力分析; 有限单元法; ANSYS

## 1 引言

重力坝主要依靠坝体本身自重来保持坝体的稳定, 故称为“重力坝”。其坝筑材料主要是混凝土或砌浆石或这两者的组合。在古代建造砌浆石坝的时候, 还没有现在那么高的数学力学基础理论, 也没有对这种坝起名叫重力坝, 更没有对这种坝进行应力分析。从 17 世纪和 18 世纪以 Hooke's law 为基础的材料力学出现和发展, 到 19 世纪初逐步创立了杆件系统的结构力学和一般弹性体的弹性力学, 再到 19 世纪上半叶和中叶混凝土出现和发展之后, 才开始将重力坝作为连续弹性体进行应力分析。最初采用材料力学方法, 而后发展到弹性力学方法, 对于边界复杂的坝体结构采用模型试验方法。近年来, 随着有限单元法的研究和电子计算机的发展, 对重力坝的数值解法越来越受到学者和工程师的青睐。

## 2 材料力学方法

材料力学方法基本假定是: (1) 坝体材料为均质和各向同性; (2) 在静力载荷应力计算中, 不考虑温度载荷引起的应力; (3) 坝体的永久横缝不传力, 将坝段看作独立的固定于岩基上的竖直悬臂梁, 不考虑基础变形对坝体应力的影响<sup>[1]</sup>。

材料力学计算得出: 重力坝最不利的应力位于坝踵(上游坝面底部)和坝趾(下游坝面底部)。这两处是应力控制的部位, 我国重力坝设计规范规定<sup>[2]</sup>, 用材料力学方法计算时, 重力坝上游坝面不允许出现

竖直方向拉应力, 坝基面上的压应力应小于坝基许用压应力。

## 3 弹性力学方法

19 世纪中下叶, 法国李维等学者和工程师为重力坝二维应力分析提供了弹性力学解法。但是由于弹性力学计算方法很繁琐, 目前, 中低型重力坝的设计基本上按规范规定的材料力学进行应力计算。

## 4 结构模型试验方法

用于测试应力的结构模型试验方法主要有光测法和脆性材料电测法两类。结构模型试验方法能适应复杂的边界形状和地基变形条件, 便于测量和研究重力坝孔口、坝踵和坝趾等角缘应力分布状态, 解决了材料力学方法不能解决、弹性力学方法难以解决的课题。在今天, 即使电子计算机发展很快、应用很广, 一些高重力坝的设计和计算仍采用结构模型试验方法, 作为与有限单元法计算结果相互验证的补充的手段。

## 5 有限单元法

有限单元法适用于孔口、角缘和地基变形等复杂的边界条件与载荷情况, 可以考虑各种材料的特性和组合, 后来又发展到进行温度场和温度应力的计算、非线性分析和动力分析等等。它出色地完成了材料力学方法和弹性力学方法所不能计算的课题, 对重力坝的应力计算发挥了很重要的作用。本文利用大型有限元分析程序计算了某重力坝的应力分布和开裂区域。

5.1 重力坝参数情况

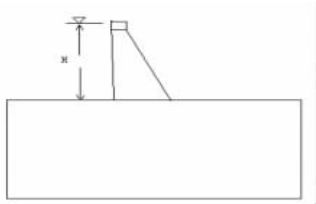


图 1 重力坝剖面示意图

如图 1 所示:坝高  $H=180\text{m}$ ,上游坡面垂直,下游坡面系数  $k=0.75$ 。根据规范和经验,坝基上游取  $1.5H$ ,下游取  $2H$ ,坝基深度取  $2H$ ,坝顶长  $1.5H$ ,坝顶宽、高都为  $0.1H$ 。上游库容  $100\text{m}$ ,下游水位  $80\text{m}$ 。重力坝材料用混凝土,材料力学性能如表 1 所示:

表 1 重力坝材料力学性能参数

材 料	弹性模量 (GPa)	泊松比	密 度 ( $\text{kg/m}^3$ )	抗拉强度 (MPa)	抗压强度 (MPa)
大坝混 凝 土	28.5	0.167	2400	1.96	22
基 岩	29	0.3	2600	/	/

5.2 模型建立与网格划分

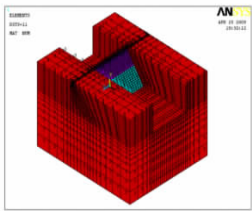


图 2 重力坝有限元模型图

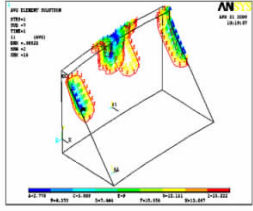


图 5 重力坝开裂示意图

根据重力坝参数在 ANSYS 中建立了有限元模型,并划分网格,如图 2 所示。其中坝体采用混凝土单元 SOLID65,应力应变模型为 D-P 模型,坝基采用岩石单元 SOLID45,应力应变模型为线弹性模型。单元数 8944 个,节点数 10977 个。边界约束条件采用底面所有自由度都约束,侧面采用法向约束。

5.3 载荷施加与静力求解

按照水工建筑物规范规定[3],本文取主要外载荷重力、静水压力、扬压力。其中静水压力包括上游静水压力与下游静水压力两部分,都采用三角形分布载荷。在这三种静力作用下,X、Y 方向位移见图 3,最大位移在坝顶处,为  $0.01636\text{m}$ 。

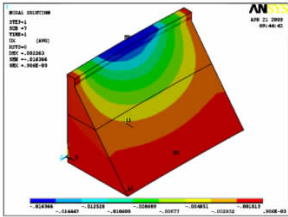
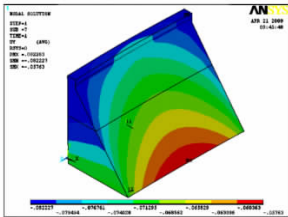


图3 (a)X方向位移图



(b) Y方向位移图

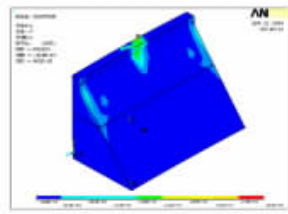
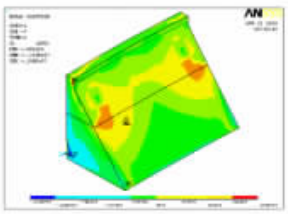


图 4 (a)第一主应变图



(b)第一主应力图

图 4 为第一主应变与第一主应力图。从图中可以看出,最大拉应变和拉应力出现在坝顶和下游与岩石连接处,这可能导致混凝土的开裂,最大拉应力为  $1.33\text{ MPa}$ ,虽然小于混凝土的抗拉强度  $1.96\text{MPa}$ ,但是在此处还是出现了裂纹,如图 5 所示,原因是素混凝土不能传递拉力。另外在坝踵处也有  $0.12\text{ MPa}$  的拉应力,在坝址处有应力集中现象,这些位置都是重力坝设计时需要特别注意的区域。

6 结论

本文分析了重力坝应力分析的几种方法,通过 ANSYS 程序算例实现了重力坝的变形分布、应力分布与开裂位置分析。说明了有限元法在重力坝设计中的应用价值,利用 ANSYS 大型程序可提高计算速度,且使计算结果更全面,在水工设计方面有着很广阔的前景。

参考文献:

[1] 麦家煊等.水工结构工程[M].北京:中国环境科学出版社,2005.  
[2] 中华人民共和国水利电力部.混凝土重力坝设计规范[M].北京:水利电力出版社,1979,9.  
[3] 陈胜宏等.水工建筑物[M].北京:中国水利水电出版社,2003.  
[4] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在 ANSYS 上的实践[M].陕西:西北工业大学出版社,1999.

收稿日期:2009-04-27

作者简介:韩永胜(1981-),男,山西人,山东水利职业学院助教,现从事计算力学与实验力学的研究与工程力学的教学工作。