DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2020.05-04

浇筑层数对重力坝仿真结果影响研究

肖智斌,周贤茂

(江西省吉安县水利局, 江西 吉安 343100)

摘 要: 混凝土重力坝的结构形式决定其主要依靠自重产生的抗滑力来满足稳定要求,同时依靠自重抵消由静水压力引起的拉应力以满足强度要求,因此工程的数值仿真结果与计算时自重荷载的施加方式直接相关.本文采用有限元法对某重力坝工程进行数值仿真,系统分析了不同分层浇筑情况对坝体应力与位移结果的影响.研究结果表明,分层浇筑的施工过程将极大程度的影响自重荷载的加载路径和结构整体的变化趋势,浇筑分层越细,实际沉降分布规律越趋近连续,坝体的竖直向变形随分层数量的增加而降低,但变形幅度的影响随浇筑层数增加而降低;同时坝体最大拉应力均随浇筑层数的增加而增大,且近乎成线性变化,这意味着不考虑分层浇筑的仿真结果将无法真实反映坝体的变形破坏情况.

关键词:重力坝;分层施工;有限元数值模拟;影响性分析

中图分类号:TV312;TV314 文献标识码:A 文章编号:1004-4701(2020)05-0332-06

混凝土重力坝作为主要挡水建筑物,在水利工程 中被广泛应用。重力坝主要依靠坝体自重产生的抗滑 力来满足稳定要求,同时依靠坝体自重产生的压力来 抵消由于水压力所引起的拉应力以满足强度要求,其 结构形式决定了自重荷载的施加方式直接影响工程的 数值仿真结果。常规的有限元静态仿真分析中通常将 各类荷载一次性施加在仿真对象上,忽略了荷载的时 间差异,特别对于混凝土重力坝而言,其分层浇筑的施 工过程将极大程度的影响自重荷载的加载路径和结构 整体的变化趋势。

当前已有大量学者对水利工程中分层浇筑问题展 开研究,但多数成果集中于土石坝的变形稳定分析以 及重力坝的温控仿真,少有关于重力坝分层浇筑情况 对结构应力变形状态的影响分析^[1-3]。赵飞等利用 ANSYS 模拟大坝浇筑过程,研究了混凝土分层浇筑对坝体变 形和应力的影响,但忽略了分析分层高度对仿真结果 的影响,因此所得结果适用于单独的工程案例,而无法 成为共性问题的参考^[4]。本文采用有限元法对某工程进 行仿真分析,通过合理的分组划分坝体单元,采用分块 求解技术模拟重力坝分层浇筑过程,系统分析不同分 层浇筑情况对重力坝仿真结果的影响,以期为重力坝 施工设计提供可靠的理论依据。

1 工程概况

某水电站位于云南省,工程主要挡水建筑物为碾 压混凝土重力坝。工程最大坝高160.00m,坝顶长640.00m, 最大坝底宽度150.00m。选取其中某非溢流坝段进行分 析,该坝段断面模型如图1所示,为考虑分层浇筑施工 过程,将坝体分为39组单元,并建立薄层单元模拟建



收稿日期:2020-08-19

作者简介:肖智斌(1982-),男,大学本科,工程师.



图 1 某重力坝有限元模型示意图

基面,坝段单宽 30.00m,地基范围按不同方向各取两倍 坝高,取坝顶上游处 A 点作为位移分析特征点。为取得 较为精细的模拟结果,坝体有限元网格竖直向尺寸约为 1.00m,有限元模型共 98 087 个结点,86 440 个单元。

2 计算参数及仿真理论

2.1 材料参数

某重力坝的材料参数如表1所示。

参数名称	混凝土参数数值	地基参数数值
密度/(kg•m-3)	2 400	2 750
弹性模量/GPa	25.5	15.0
抗压强度/MPa	25	10
泊松比	0.167	0.270
拉压比	0.096	0.100

表1 材料参数

2.2 仿真理论及仿真条件

本文主要围绕不同分层浇筑高度对重力坝仿真结 果的影响展开研究,采用国内自主编译的 Fortran 程序 进行计算。计算时在地基两侧施加法向固定约束,地基 底部施加三向固定约束,分层施加自重荷载,并在浇筑 全部完成后施加静水荷载,其坝前水深取 154.00m。

重力坝的分层浇筑过程采用分块求解技术,将有 限元模型中的单元组定义为"生死单元"。所谓"生死单 元"即是判断该组单元是否参与运算,将当前运行块参 与运算的单元定义为"生",此时该组的单元节点信息、 材料信息以及荷载信息将会被激活,而当前运行块不 参与运算的单元则定义为"死",此时该组的单元节点 信息、材料信息以及荷载信息将会被设置为0。计算时 根据施工顺序,第一块为地基自重沉降处理,即只有地 基一组单元为"生",坝体单元均为"死",计算后将地基 自重沉降产生的位移清零,保留应力结果作为第二块 运算的初始地应力;第二块将第一层浇筑单元与地基 共同运算,计算后由自重沉降产生的位移和应力结果 均作为第三块运算的初始值,不做清零处理;依次类推 完成坝体浇筑计算,在最后一块运算中加入静水荷载, 完成全部仿真计算。

通过改变分层浇筑高度,将计算组合设立为8种 工况进行仿真分析,各计算工况下的浇筑高层以及计 算运行块数如表2所示。

表 2 计算工况

工况名称	浇筑层数/层	计算运行块/个
Cas1	1	3
Cas2	2	4
Cas3	3	5
Cas4	4	6
Cas5	7	9
Cas6	10	12
Cas7	13	15
Cas8	20	22

3 仿真结果分析

3.1 位移结果影响分析

某重力坝不同浇筑层数对坝体自重沉降分布的影 响见图 2,如图所示,浇筑分层数量不同将直接影响坝 体各个部位的变形规律及沉降数值。图 2(a)中坝体自 重采用常规仿真方式一次性求解,刚性坝体整体沉降 使得沉降最大值出现在坝体顶部,而通过图 2 (b) 至图 2 (b) 可以看出,坝体沉降最值均出现在第一块浇筑层 的顶部,因此浇筑分层越细,实际沉降分布规律越趋近 连续,也印证了按实际浇筑分层模拟重力坝施工过程 的重要性。

不同浇筑层数对坝体位移的影响见图 3 与图 4,其



图 2 不同浇筑层数对应坝体自重作用下沉降分布图(mm)

相应数值见表 3。如图 3 所示,坝体自重沉降最值与静 水荷载下竖直向位移最值随浇筑层数的变化趋势一 致,静水荷载作用下竖直向变形幅度随浇筑层数增加 而降低。自重沉降最值与静水荷载下竖直向位移最值 变化幅度的拐点出现在 case4 工况,case4 工况的坝体 自重沉降相比 case1 工况降低了 25.36%,而 case8 工况 相对 case4 工况仅降低了 6.29%; case4 工况的静水荷载下竖直向位移相比 case1 工况降低了 6.21%, 而 case8 工况相对 case4 工况仅降低了 4.54%。如图 4 所示, 特征点 A 处的变化更为明显, 当 case2 工况开始考虑分层时, 自重沉降相比 case1 工况降低了 55.68%, 静水荷载下竖直向位移降低了 73.32%。特征点处位移变



图 4 不同浇筑层数对特征点 A 位移的影响

工况名称 -	位移最值			特征点 A		
	自重沉降	静水荷载水平向位移	静水荷载竖直向位移	自重沉降	静水荷载水平向位移	静水荷载竖直向位移
Cas1	30.24	25.70	25.13	30.21	25.70	22.94
Cas2	26.73	26.22	25.04	13.39	26.22	6.12
Cas3	24.34	29.91	24.36	8.76	29.91	1.49
Cas4	22.57	30.68	23.57	7.99	30.68	0.73
Cas5	22.07	39.18	23.25	1.51	39.18	-5.75
Cas6	21.60	39.18	22.88	1.51	39.18	-5.75
Cas7	21.38	39.18	22.70	1.51	39.18	-5.75
Cas8	21.15	40.76	22.50	0.52	40.76	-6.74

表 3 不同浇筑层数对应坝体位移值

化幅度的拐点出现在 case5 工况, 自重沉降相比 case2 工况降低了 88.72%,静水荷载下竖直向位移由向下变 为向上,这是由于整体自重沉降对坝顶部位的影响随 分层浇筑的块数增加而降低,静水荷载作用下坝体整 体向下游面倾斜,上游面坝顶将不可避免的出现竖直 向上移动。

3.2 应力结果影响分析

不同浇筑层数对坝体应力分布的影响见图 5,由图 5(a)至图 5(e)可见,当浇筑分层块数较少时,坝体顶部 和底部均易形成高拉应力区,此时结构的易损部位无 法判断,亦无法在施工过程中改善结构的应力集中。而 由图 5 (f) 至图 5 (h) 可见, 当浇筑分层越来越细致后, 高 拉应力区逐步缩减至下游坝坡及坝趾局部区域,此时 可以在施工过程中对重点易损部位加以改善。

不同浇筑层数对坝体应力最值的影响见图 6,其 相应数值见表 4。如图所示,不论自重荷载作用下还 是静水荷载作用下,坝体最大拉应力均随浇筑层数的 增加而增大,且近乎成线性变化,在图6(a)中前部出 现的突变是由于从整体到分层施载方式的变化引起应 力分布改变而产生的。自重荷载作用下 case8 工况相 对 case4 工况增加了 17.32%,静水荷载作用下 case8 工况相对 case4 工况增加了 13.97%, 这意味着不考虑 分层浇筑的仿真结果将无法真实反映坝体的受拉破坏 情况。

mm







MPa

表 4 不同浇筑层数对应坝体应力值

工况名称	自重作用下拉应力最值	静水荷载作用下拉应力最值
Cas1	0.127	1.160
Cas2	0.126	1.160
Cas3	0.135	1.164
Cas4	0.132	1.207
Cas5	0.134	1.237
Cas6	0.137	1.273
Cas7	0.141	1.297
Cas8	0.149	1.322

4 结 语

本文采用有限元法对某工程进行仿真分析,通过 合理的求解技术模拟重力坝分层浇筑过程,系统分析 不同分层浇筑情况对重力坝坝体应力与位移结果的影 响。 研究结果表明,分层浇筑的施工过程将极大程度的 影响自重荷载的加载路径和结构整体的变化趋势,浇 筑分层越细,实际沉降分布规律越趋近连续。浇筑层数 对自重沉降变化的影响较大,文中 case4 工况的坝体自 重沉降相比 case1 工况降低了 25.36%,而随后变形幅 度随浇筑层数增加而降低,case8 工况相对 case4 工况 降低了 6.29%,这也印证了按实际浇筑分层模拟重力坝 施工过程的重要性;同时坝体最大拉应力均随浇筑层 数的增加而增大,且近乎成线性变化,这意味着不考虑 分层浇筑的仿真结果将无法真实反映坝体的受拉破坏 情况。

参考文献:

- [1] 周爱红,袁颖,何国峰. 模拟填筑层数及水位对坝体变形及 稳定性的影响[J]. 长江科学院院报,2015,32(05):110~114.
- [2] 王建魁,李朋. 碾压混凝土重力坝施工分层厚度分析[J]. 水 科学与工程技术,2018(05):48~52.
- [3] 牛玉坤. 永定桥水库碾压混凝土重力坝施工分层研究[D]. 华北水利水电大学,2017.
- [4] 赵飞,范书立.重力坝分层浇筑模拟对应力变形结果影响分析[J].人民长江,2012,43(19):68~71.

编辑:张绍付

Influence of layered pouring on simulation results of gravity dam

XIAO Zhibin, ZHOU Xianmao

(Water Resources Bureau of Jian County of Jiangxi Province, Jian, 343100, China)

Abstract: The structural form of the concrete gravity dam determines that it mainly relies on the anti-sliding force generated by its own weight to meet the stability requirements, while relying on its own weight to offset the tensile stress caused by the hydrostatic pressure to meet the strength requirements, so the numerical simulation results of the project and the application of the self-weight load during calculation. The way is directly related. This paper uses the finite element method to simulate a gravity dam project, and systematically analyzes the effects of different layered pouring conditions on the stress and displacement of the dam. The research results show that the construction process of layered pouring will greatly affect the loading path of self-weight load and the overall change trend of the structure. The finer the pouring layer, the closer the actual settlement distribution law to continuous, and the vertical deformation of the dam. It decreases with the increase of the number of pouring layers, but the influence of the deformation amplitude decreases with the increase of the number of pouring layers, and it changes almost linearly, which means that it is not considered. The simulation results of layered pouring will not truly reflect the deformation and failure of the dam. **Key words:** Gravity dam; Layered construction; Finite-element simulation; Impact analysis