

土石坝填筑数值模拟中分层数影响研究

江德军¹, 黄会宝¹, 柯虎¹, 乔蓓²

(1. 国电大渡河流域水电开发有限公司 库坝管理中心, 四川 乐山 614900; 2. 特变电工新疆新能源股份有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要:对土石坝的填筑施工过程进行模拟, 计算其最终的位移、应力及应变场具有重要意义。目前常采用分层加载的方式模拟土石坝的施工过程, 而分层加载数即填筑层数的拟定对计算结果影响巨大。采用有限元软件 MIDAS/GTS 对某水库大坝进行了不同填筑层数的施工过程模拟, 以探究填筑层数对大坝最终位移场的影响。计算结果表明, 当模拟中分层过粗时将会导致模拟结果失真; 对于百米级土石坝, 当分层数达 10 层左右时, 可满足计算精度要求。

关键词:施工过程模拟; 填筑分层; 数值模拟; 土石坝

中图法分类号: TV641

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.S1.042

目前在建的大坝中, 土石坝数量最多, 而且高坝大库多采用土石坝坝型。土石坝是一种当地材料坝, 采用土石结构碾压而成, 在坝体的施工过程中, 随着坝体填筑高度的增加, 上覆土压力加大, 必然伴随着土体孔隙水压力的逐步耗散, 导致土体被压缩而产生沉降变形, 坝体越高, 沉降变形就越明显。在此情况下, 受地形及地基条件的影响, 坝体极有可能产生不均匀的沉降, 导致大坝出现裂缝, 危及大坝的安全。而坝体的应力和变形状态与坝体的沉降和稳定又密切相关, 因此进行土石坝的应力和变形模拟计算就显得尤为重要。目前对土石坝施工过程的模拟计算多采用分层加载的方法进行, 但是对于百米级的高坝, 在模拟过程中应将大坝分为多少级加载, 每层的加载厚度以多少为宜, 加载级数太少对最终结果有怎样的影响还没有定论。

本文以某心墙坝为例, 采用有限元软件 MIDAS/GTS, 应用邓肯-张模型模拟心墙坝的施工过程, 旨在探究不同的分层厚度对土石坝施工过程模拟结果的影响, 同时也探讨分层模拟过程中合理的层厚。

1 土石坝逐级施工分级加载模拟

在土石坝的实际施工过程中, 坝体是分层施工填筑碾压密实的, 即在坝体填筑完第一层进行碾压密实

后, 接着进行第二层的填筑, 以此类推, 直到整个坝体填筑完成。在进行土石坝施工过程的数值模拟时, 也要按照施工程序逐层加载。由此可知, 在进行填筑过程模拟时, 当第 i 层填筑时, 只有第 i 层及其以下各层坝体来承担这部分荷载, 而上层还未填筑的各单元是无任何作用的。这样, 参与有限元计算的模型网格随施工加载层数的增加而增加。

为了能够在模拟中更好地反映出土体的非线性特性, 就要求分层尽可能多一些, 即荷载增量尽可能的小。但是, 荷载的分层数越多, 模拟计算的工作量就越大。可以预见的是, 当分层数达到某一值后, 精度就能达到要求, 其后再增加分级数, 也不会显著地提高计算成果的精度, 因此, 对分层数量的探究具有重要的意义。

2 算例分析

2.1 工程概况

某水利枢纽位于河流干流河口以上 1.5 km 处, 是一座以向城市供水为主, 兼顾灌溉、发电、防洪等综合效用的大型水利工程。水库总库容达 2 亿 m^3 , 电站装机为 2 万 kW, 多年平均发电量 7 308 万 kW·h。枢纽

工程由黏土心墙砂砾石坝、泄洪洞、溢洪洞及引水洞、坝后电站厂房等建筑物组成。

大坝坝顶高程 600 m,顶宽 11 m,坝顶长 440 m。坝基面高程为 472.5 m,最大坝高为 127.5 m。坝顶上 游侧混凝土防浪墙高 1.2 m,防浪墙底部深入心墙。大坝上游坡坡比为 1:2.2,在 565 m 及 515 m 高程处 各设一道戕台,宽度分别为 3.0 m 和 5.0 m,下游坡坡 比为 1:1.8,在 570,540 m 和 510 m 高程处各设一戕 台,宽度依次为 2.0,3.0,3.0 m。在下游坝坡设置之 字形上坝道路,道路宽 12 m,上坝道路坡比为 1:1.5。

心墙顶部高程 598 m,顶部宽度为 7 m。河床段心 墙的坡比为 1:0.3,在心墙底部基础接触面铺设厚约 2 m 的高塑性土。在心墙上下游侧均设置两道反滤层, 防止渗透破坏,其中第一道为细砂反滤,第二道为混合 砂砾料反滤。下游侧第一道反滤层水平宽度为 2 m, 第二道水平宽度为 3 m,上游侧第一道反滤层水平宽 度为 1 m,第二道水平宽度为 2 m。

2.2 计算模型与基本计算参数

本文采用 MADIS/GTS 岩土工程软件中的 E-B 模型对上述算例进行施工过程的模拟计算。根据地勘 结果,大坝及地基的各层材料 E-B 参数如表 1 所示。

表 1 坝体材料物理力学指标

坝料	K	n	R_f	K_{ur}	K_b	m	ν	$\gamma/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	$c/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	$f_i/$ ($^{\circ}$)
心墙料	421	0.56	0.78	842	299	0.25	0.4	21	22	21.1
坝壳料	1225	0.3	0.73	2450	300	0.16	0.3	19	14	39.4
反滤区	1145	0.19	0.78	2290	254	0.1	0.3	17.9	18	34.6
覆盖层	1250	0.3	0.6	2500	388	0.29	0.3	21	200	36

鉴于基岩与混凝土防渗墙的变形较小,故本文对 其采用线弹性模型。其中基岩的弹性模量为 20 GPa, 泊松比为 0.30;混凝土防渗墙弹性模量为 25.5 GPa, 泊松比为 0.167。本文计算 4 种工况:① 大坝填筑过 程分 6 次加载;② 大坝填筑过程分 10 次加载;③ 大坝 填筑过程分 15 次加载;④ 大坝填筑过程分 20 次加 载。计算模型如图 1 所示。

3 结果分析

本文采用 MIDAS/GTS 建模计算,根据大坝施工 顺序依次激活单元模拟施工过程,共计算了大坝分 6, 10,15,20 次填筑时,施工结束后大坝的变形情况。计 算时首先将基岩、覆盖层作为初始状态,计算地基的初 始应力,并将计算出的地基位移场清零,之后按照大坝 的填筑顺序依次激活各层单元来模拟坝体的施工过 程。限于篇幅,本文仅给出大坝分 6 层和分 15 层填筑 时施工结束后的水平向、竖向位移云图(图 2)。

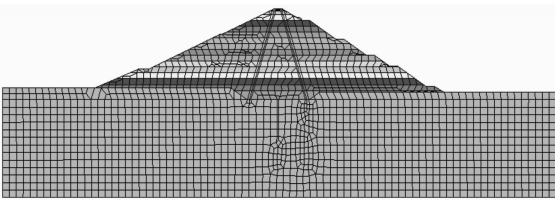


图 1 大坝模型网格

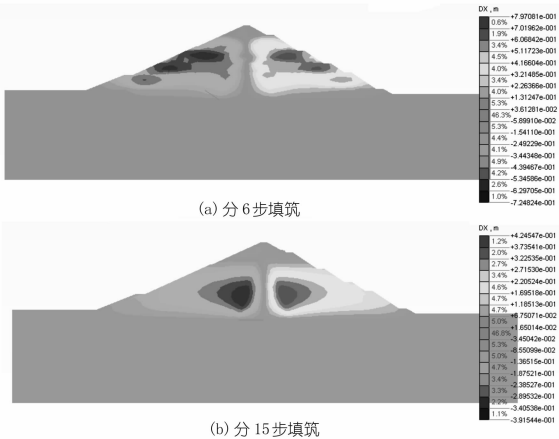


图 2 施工结束后大坝的水平向位移云图(单位:m)

由图 2 所示结果可以看出,分 15 步填筑明显较分 6 步填筑的最终水平向位移云图规整,分层越多规律越 好,越接近实际。分层较少时,上下游最大水平位移发 生部位位于 1/2 坝高靠近坝坡附近;分层较多时最大 水平位移发生在坝体的中下部且靠近心墙部位。

图 3 给出了分 6 步填筑和分 15 步填筑时的大坝 最终竖向位移云图。分 15 步填筑明显较分 6 步填筑 的最终竖向位移云图规整,分层越多规律越好,越接近 实际。分 6 层填筑时竖向发生最大位移的区域较小, 且最大位移发生位置相对较高;分 15 层填筑时竖向发 生最大位移的区域较大,且最大位移位置位于坝顶向 下 1/3 坝高至 1/2 坝高区域。

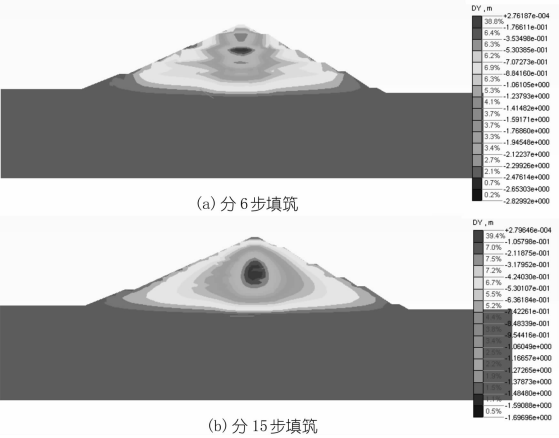


图 3 施工结束后大坝的竖向位移云图(单位:m)

为总氮。

(3) 在高水位运行期,营养性物质为上游寸滩至奉节断面的主要污染物,且营养性物质整体上呈下降趋势;库尾和库首断面受好氧性有机污染物污染明显,库中断面较轻;库首的主要污染因子是好氧性有机物。

为了维护好三峡库区水质安全,相关部门应该针对以上特点采取相应措施:减少周边农田农药化肥的使用,同时采用滴灌的灌溉方式,以有效防止过多的灌溉用水携化肥等流入长江。严格管理居民生活污水经污水处理厂处理达标后再汇入河道。减少江边工业企业数量,降低工业污染对河道的影响,并对不能搬离的企业生产过程进行严格的监管,严禁工业废水未经处理直接向江内排放。

参考文献:

[1] 刘辉,卓海华,陈水松.三峡水库试验性蓄水期间水环境质量监测分析[J].人民长江,2012,43(1):55-57.

[2] 郑守仁.三峡工程设计水位175 m 试验性蓄水运行的相关问题思考[J].人民长江,2011,42(13):1-7.

[3] 孟春红,赵冰.三峡水库蓄水后水文特性和污染因素分析[J].人民长江,2007,38(8):26-27.

[4] 余明星,邱波,夏凡,等.三峡水库蓄水前后干流水质特征与变化趋势研究[J].人民长江,2011,42(23):34-38.

[5] 熊超军,刘德富,纪道斌,等.三峡水库汛175m试验蓄水过程对

香溪河库湾水环境的影响[J].长江流域资源与环境,2013,(5):648-656.

[6] 杨浩,曾波,孙晓燕,等.蓄水对三峡库区重庆段长江干流浮游植物群落结构的影响[J].水生生物学报,2012,36(4):715-716.

[7] 米武娟,吕平毓.三峡水库重庆段整体水质变化趋势分析[J].人民长江,2011,42(11):74-76.

[8] Ying Ou-yang. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis[J]. Water Research, 2005,39: 2621-2635.

[9] 鲁斐,李磊.主成分分析法在辽河水质评价中的应用[J].中国环境管理,2007,(3):13-16.

[10] 郭翔云,崔慧敏.主成分分析法在白洋淀水质评价中的应用[J].海河水利,2005,(5):55-56.

[11] 周广峰,刘欣.主成分分析法在水环境质量评价中的应用进展[J].环境科学导刊,2011,(30):74-78.

[12] 张鹏.基于主成分分析的综合评价研究[D].南京:南京理工大学,2004.

[13] 刘慧芬,关鹏,王志超.主成分分析法在水质评价中的应用[J].内蒙古水利,2013,(4):44.

[14] 李坤峰,谢世友,张润甲.重庆水资源承载力影响因子评价[J].人民长江,2009,40(7):4-6.

[15] Bernard Parinet, Antoine Lhote, Bernard Legube. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management - application to a tropical lake system[J]. Ecological Modelling,2004,178:295-311.

(编辑:常汉生)

(上接第131页)

图4给出了不同分层数与最终位移的关系曲线。

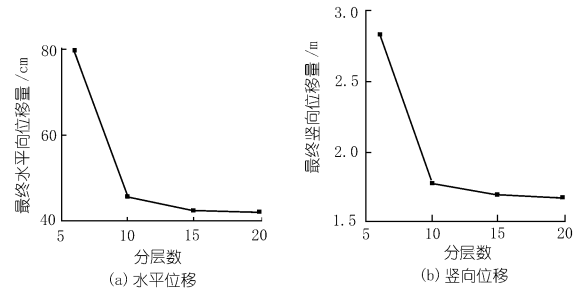


图4 分层数与最终位移量关系曲线

从图中可以看出,4种计算工况下大坝上游侧向下游的最大水平位移分别为72.48,42.43,39.15,38.79 cm。类似的大坝下游侧向上游的最大水平位移分别为79.71,45.73,42.45,42.15 cm。由此可以看出,随着分层厚度的减小大坝的水平向位移无论上游侧还是下游侧均呈现减小趋势,可认为填筑层为6层为失真的状态,分层数为10,15和20时,水平位移相

差不大。4种计算工况下大坝的竖向位移分别为2.83,1.780,1.70,1.68 m。由此可以看出随着分层厚度的减小,大坝的竖向位移呈现减小趋势,即随着分层数的增加大坝的最终竖向位移呈现减小趋势。

4 结论

(1) 大坝填筑过程模拟中分层越细,其计算结果越接近实际,当分层过粗时可能会得出完全失真的结果。

(2) 大坝的最终位移(水平位移与竖向位移)均随着分层数的增加而减小,且呈现明显的非线性递减趋势,开始时递减速率快,随着分层数的增多逐渐趋于平缓。

(3) 对于百米级的土石坝,进行施工过程数值模拟时,分层数在10层左右即可达到模拟的精度要求,此后分层数继续增多对模拟的精度影响较小。

(编辑:郑毅)