

三维正向设计在土石坝沉降监测中的应用

李 菁， 冯 立

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:土石坝沉降监测的三维正向设计主要是通过三维环境布设监测测点、并对测点的监测成果进行动态展示,利用三维模型对大坝沉降成果进行监测分析。该方法对于分析和掌握大坝沉降的整体分布和沉降变化趋势非常重要。对三维正向设计无需对软件进行二次开发的方法进行了讨论,该方法实用且易于掌握,并可对其他类似方面的监测三维正向设计提供一种解决思路。

关键词:沉降监测;三维正向设计;沉降分布图;监测 UDF 模板;知识工程;土石坝

中图分类号:TV697.3;[TV221.2];TV522;TV7;TV698.1 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)02-0110-04

Application of Three-dimensional Forward Design in Settlement Monitoring of Earth and Rock Filled Dam

LI Jing, FENG Li

(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: The three-dimensional forward design of settlement monitoring of earth-rock dam is mainly to use the three-dimensional model to monitor and analyze the settlement results of the dam by arranging monitoring points in the three-dimensional environment and dynamically displaying the monitoring results of the monitoring points. This method is very important for analyzing and mastering the overall distribution of dam settlement and the trend of settlement. This paper expounds the three-dimensional forward design method which has no requirements for secondary software development. This method is practical, easy to be mastered and provides a solution to similar projects in which three-dimensional forward design is applied.

Key words: settlement monitoring; three-dimensional forward design; settlement distribution map; monitoring UDF templates; knowledge engineering; earth and rock filled dam

1 概 述

在水电工程土石坝监测设计与资料分析过程中,沉降监测设计及相关资料分析是监测人员关注的重点之一,对掌控土石坝的沉降发展及稳定性评价至关重要。

目前,土石坝的沉降监测主要分为外部变形监测和内部变形监测^[1],必须在最大坝高或河床处、地形突变处、地质条件复杂处至少选取 3 个监测横断面;在坝顶上下游两侧,下游坝坡 1/2 坝高以上宜布置 1~3 个监测纵断面,在 1/2 坝高以下宜布置 1~2 个监测纵断面,外部变形监测主要采用外部变形观测墩沿监测断面在坝顶及坝后马道布置;内部变形监测主要采用水管式沉降仪在每个监测断面分 3~5 个高程布置测线,每条测线间距 20~50 m 布置测点。

在土石坝监测设计中,沉降测点的数量一般为 150 个以上,测点之间的空间关系复杂。在二维环境进行监测设计时采用大比例图例表示,存在仪器位置表达不完全准确、仪器之间相对位置不直观的问题。

在土石坝沉降监测资料分析中,通常需要绘制沉降变形分布图以辅助设计人员了解大坝变形的分布规律,但传统二维 CAD 绘制水管式沉降仪的沉降分布图只能按横断面展示而无法展示同一高程的沉降分布规律,局限性较大。此外,每次沉降测值变化时 CAD 无法同步数据,需要手工修改沉降分布图,重复工作性强;当需要云图展示水管式沉降仪沉降分布时,只能在 CAD 中先描点、再导入 suffer 软件进行绘制,导入导出数据增大了工作量。

阐述了应用土石坝变形监测最重要的两种仪

器进行三维正向设计的过程。采用三维设计软件及其自带的知识工程模块,不但可以准确地展示各测点的空间位置关系,还可以生成沉降分布图,且其随着沉降数据的变化而更新,方法简单易行,高效、准确。

2 土石坝沉降监测三维正向设计思路

由于沉降监测正向设计的特殊性,很多使用场景需要二次开发,其开发周期长,目前已完成的、可进行全生命周期监测的三维设计仅有基于CATIA二次开发的水电站平面监测控制网监测模块^[2]。而土石坝沉降监测三维正向设计无需二次开发即可实现所需的要求,在已有的水工或地质专业模型中进行土石坝沉降三维监测正向设计^[3],实现参数化的全生命周期监测三维模型。以某砾石土心墙坝1:1000三维模型为例,介绍了土石坝沉降监测三维正向设计的步骤。

2.1 监测测点的设计

该砾石土心墙坝为在深厚覆盖层上修建的、高达240 m的高土石坝,坝顶高程为1 697 m。在坝顶上游设置有1.2 m高的防浪墙并与心墙可靠连接,防浪墙顶高程为1 698.2 m。

坝体基本剖面:砾石土直心墙坝顶高程为1 697 m,心墙上、下游侧为反滤层,反滤层外侧设置过渡层,过渡层外侧为堆石体坝壳。根据坝基地质条件,确定心墙最低建基面高程为1 457 m,最大坝高240 m,坝顶长度为497.94 m。

坝体分为土质防渗体、反滤层、过渡层及坝壳四大区。土质防渗体采用砾石土直心墙,坝壳采用堆石填筑,心墙与上、下游坝壳堆石之间均设有反滤层、过渡层,下游堆石体与覆盖层坝基间设有水平反滤层。

根据该工程规模及相关规范,所采用的沉降监测方式主要为表面位移监测和内部变形监测。

大坝表面位移测点按间距30~80 m设置,测点桩号为(纵)0+000.00、(纵)0+080.00、(纵)0+137.00、(纵)0+193.00、(纵)0+223.29、(纵)0+253.72、(纵)0+290.00、(纵)0+330.00、(纵)0+360.00、(纵)0+394.00、(纵)0+444.00、(纵)0+490.72。水平位移测点与垂直位移测点同墩布置。

上游坝坡1 585 m高程在桩号(纵)0+253.00、(纵)0+330.00、(纵)0+394.00、(纵)0+

444.00、(纵)0+490.00处各布置了1个简易水准测点,共布置了5个临时沉降测点;在1 615 m、1 645 m、1 695 m高程各布置了1排外部变形观测墩;在大坝坝顶上下游侧各布置了1排外部变形观测墩;下游坝坡在1 510 m、1 545 m、1 585 m、1 615 m、1 645 m、1 672 m高程处各布置了1排外部变形观测墩。共布置了97个外部变形观测墩,5个简易水准点。

下游堆石区内部沉降监测采用水管式沉降仪。分别在坝(纵)0+137.00、(纵)0+193.00、(纵)0+253.00、(纵)0+330.00、(纵)0+394.00桩号剖面,下游坝壳1 645 m、1 615 m、1 585 m、1 530 m、1 5130 m高程布置了17个沉降观测条带,在每个观测条带下游坝坡出口位置各设观测房一座,并采用外部变形观测值进行基准校核。

2.2 监测测点骨架的建立

由于设计过程存在一定的不确定性,监测测点的位置经常需要根据水工模型进行动态调整,从而需要监测测点与水工模型具有关联性。

监测测点骨架的设置是参考结构骨架设计^[4] TOP-DOWN而来,主要为各监测测点中心点、中心线、监测测线的参考几何因素,监测测点的布置需参考骨架,而更改骨架可以迅速调整监测测点的位置,实现实时更新,节约设计时间。

监测测点骨架的建立首先在结构树根据测点类型和部位建立几何图形集,该工程需建立2个几何图形集,分别为外部变形观测墩定位坐标图形集和水管式沉降仪定位坐标图形集。

根据监测设备的几何特征,其外部变形观测墩采用各测点墩底面中心点坐标作为骨架参考点。水管式沉降仪采用安装高程面、测线长度及终点坐标作为骨架参考点。需要注意的是:由于监测测点众多,在建立监测测点骨架时,需要对每一个几何元素进行重命名(如外部变形观测墩TP77被命名为TP77-中心点),以便于后续设计工作的开展。

2.3 监测仪器建模

在三维环境下进行监测测点模型的布置可以采用阵列、零件模板、工程链接等方法。根据该工程的具体情况,需要大量重复在水工模型不同部位布置同一类型的监测仪器,故最终采用零件模板方法较为合适。

鉴于监测仪器的建模采用 CATIA 零件模板 (User Define Feature), 即 UDF, 将监测仪器几何特征的创建过程记录下来以达到重复利用的目的。

由于该工程用于土石坝沉降监测的外部变形观测墩形状尺寸固定, 因此, 新建了一个 part, 再新建了一个平面和中心点, 在新建平面上建立了外部变形观测墩底面, 再根据该底面偏移平面建立了观测墩顶面, 最后按比例绘制出一个多截面实体。建模时, 选取观测墩底面中点为输出特征即可。

水管式沉降仪在土石坝内部按高程布置测线, 每条测线的长度及测点数量不完全相同, 测线与水平面具有一定的角度, 建模时, 一般选取下游侧测线的终点测点为起点, 采用知识工程阵列的方法批量建立水管式沉降仪测点, 模型输出特征为测线端点和水管式沉降仪数量。

2.4 监测测点的布置

监测测点的布置是三维正向监测设计中的重要一环。由于该工程的外部变形测点及水管式沉降仪的自身体积较大, 在大比例尺水工模型中也可以清晰展示, 最终采用 1:1 的比例在三维水工模型中进行布置。

完成监测骨架及监测仪器建模后, 在土石坝三维模型中进行监测测点的布置就变得非常便捷, 只需在对应的坐标点选取所需要的监测 UDF 模型即可快速导入。为便于在三维环境中展示, 应对所有实例化 UDF 模型插入平行于屏幕的编号替换默认白色字体及颜色以便于后期分布图使用; 同时, 对结构树对应的 UDF 模型进行重命名 (如外部变形观测墩被命名为 TPi), 从而完成监测测点的布置。

2.5 沉降分布图的绘制

沉降分布图的主要设计思路沿用二维环境的分布图方法。但利用三维环境可以更好地展示下游坝坡外部变形沉降分布的情况, 同时可以拟合沉降曲面, 提高工作效率。

(1) 沉降分布曲线建模。沉降分布曲线是将每个监测测点的沉降值连成一条曲线, 从而可以直观地找到同一高程上沉降的最大点, 依此分析沉降量和沉降分布规律。

沉降分布曲线需要选取测点中心点为端点,

垂直 Z 轴方向做直线 (直线长度为沉降测值), 之后将相同高程的沉降直线端点用折线连接, 最后需对每条沉降直线在结构树上进行编号以方便后续工作。

(2) 沉降分布曲面建模。传统的 CAD 沉降分布图只能展示沉降分布曲线。而在三维环境下其可以生成沉降分布曲面, 从而更直观地分析堆石区内部的沉降分布规律。

对于同高程、不同断面的水管式沉降仪沉降测值, 若测点数量比较多, 可以利用 CATIA 自由曲面设计模块先将同一高程已有的几条沉降曲线拟合成曲面, 再利用外形分析功能查询曲面与测点高程平面的关系, 即可生成曲面的云图, 展示同高程变形分布。

2.6 沉降分布图的更新方法

在实际工作中, 需要对历次沉降分布测值进行对比分析。如该工程在一期蓄水后沉降量有所变化, 因而需要分析对比蓄水前后的沉降分布, 而传统的 CAD 只能手动重新绘制沉降分布图, 其工作效率低下且易出错。

为实现沉降分布图的自动更新功能, 可以利用 CATIA 的参数化关联设计, 将沉降曲线和沉降数据以参数化的方式建立并保持关联, 当沉降数据更新时, 沉降分布图可以同步调整, 进而提高了工作效率。

具体的操作方法: 进入知识工程模块, 新建一个单值长度的参数类型, 设定其长度为第一次沉降测值, 所对应的沉降曲线需要先对尺寸进行约束, 再右键打开编辑公式选项, 选取长度参数, 将尺寸与参数进行关联, 并由当前参数创建设计表^[5]导出表格, 后续更新设计表数据后即可利用 excel 表格驱动沉降分布图的修改。

2.7 沉降监测数据分析

根据三维模型获取的数据及历次变形分布规律可以得出以下结论:

(1) 上游坝坡最大累计沉降量发生在桩号 (纵) 0+287.23, 1 695 m 高程的 TP77 测点, 累计沉降量为 212.1 mm, 一期蓄水以来变化量为 204.3 mm (下沉)。下游坝坡累计最大沉降量发生在桩号 (纵) 0+253.83, 1 615 m 高程的 BM43 测点, 累计沉降量为 505.45 mm, 一期蓄水以来变化量为 49.30 mm (下沉)。坝顶最大累计沉降

量发生在心墙顶部桩号(纵)0+253.72的BML17测点,累计沉降量为197.3 mm,一期蓄水以来的变化量为173.9 mm(下沉)。

各测点沉降量随坝体填筑高程的增加逐渐增大,其整体分布呈现出由河床中部向两岸递减的趋势。各层的沉降速率分布为:填筑初期沉降速率相对较大,后期渐缓;同一时段内高高程沉降速率较大,低高程沉降速率较缓,符合变形规律。

(2)上游坝坡测点向上游变形,累计变形量位于-47.93~-6.6 mm范围。下游坝坡大部分测点向下游变形,累计变形量位于4.33~167.77 mm范围。坝顶上游堆石区大部分测点向上游变形,累计变形量位于-45.66~6.6 mm范围。坝顶心墙测点向上游变形,累计变形量位于-63.12~-12.63 mm范围。坝顶下游堆石区测点向上游变形,累计变形量位于-61.75~1.18 mm范围。

坝体表面位移随填筑高程的增加而持续增加,变形趋势符合一般规律;顺河向位移具有河床中部大、两岸岸坡小的分布特征,左右岸位移分布表现为由两岸向河床中部靠拢的趋势,总体符合坝体表面变形的一般规律。

(3)大坝心墙内部累计最大沉降值为2 261.5 mm,发生在(纵)0+256.00断面心墙1 590.5 m高程处,该处蓄水后至今沉降了130.1 mm;堆石体内部累计最大沉降量为2 716.1 mm,发生在桩号(坝)0+138.00、(纵)0+330.00,1 550 m高程的C95测点处,该处蓄水后至今沉降了28.4 mm。

对比同类工程大坝心墙填筑期的沉降变形,瀑布沟水电站大坝(含覆盖层)心墙和堆石的最大沉降量分别占其心墙和堆石填筑高度的比例约为0.8%和1.15%,糯扎渡水电站大坝(无覆盖层)心墙和堆石的最大沉降量分别占其心墙和堆石填筑高度的比例约为1.21%和0.5%,长河坝水电

站心墙及堆石区的沉降量同期均与瀑布沟水电站相近;与糯扎渡水电站相比,其心墙最大沉降量占心墙填筑高度比偏低,堆石的最大变形占堆石填筑高度比偏高。

3 结 语

由于所监测的三维实体模型较小且测点很多,其在大比例尺的水工模型中无法显示。目前,三维正向监测设计工作的开展对CATIA软件二次开发的依赖性较强,受开发周期制约导致三维监测正向设计起步较晚。

文中阐述的土石坝沉降监测的三维正向设计方法对于部分自身体积较大的监测仪器在水工模型中可以清晰地表达,即可利用软件自带功能进行一些有针对性的监测设计,且其设计过程简便,特别是沉降分布图的绘制,可以减少大量的重复工作,提高效率,减少人工失误,对其他方面的三维正向监测设计,如土石坝超孔隙水压力三维正向设计、边坡变形三维正向设计等具有一定的参考价值。今后,应进一步探索三维监测正向设计方法,比如利用点云数据精确建模,继续挖掘监测三维正向设计的价值。

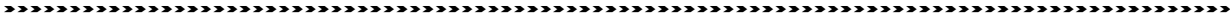
参考文献:

[1] 税思梅,伍文峰.长河坝特高土石坝安全监测设计[J].水电站设计,2019,35(1):34-37.
[2] 孙璇,何涛,李菁.基于CATIA二次开发的水电站平面监测控制网三维设计[J].四川水力发电,2016,35(3):71-72.
[3] 孙再征.基于Dassault 3DE的选煤厂BIM正向设计方法研究[J].煤炭工程,2020,52(7):45-48.
[4] 王小平,张亨,刘增强,等.基于CATIA的岸边式水电站厂房三维设计[J].人民黄河,2011,33(5):145-146.
[5] 王小平,王陆,蔺志刚.基于CATIA设计表的水工建筑物关联设计[J].水利水电技术,2013,44(1):53-55.

作者简介:

李 菁(1984-),女,四川成都人,工程师,学士,从事监测设计工作;
冯 立(1986-),男,重庆市人,工程师,学士,从事监测设计工作。

(责任编辑:李燕辉)



由水电七局承建的大运会项目通过竣工验收

2022年4月27日,由水电七局承建的第31届世界大学生运动会赛场周边基础设施配套项目(一期)(简称:大运会项目)通过竣工验收。该项目包括锦江西12路(瑞祥南巷-云龙路)、青岛路西段(瑞祥路-云龙路)、锦江西50路(天津路西段-益州大道)、瑞祥东街(锦江西14路-天津路西段)。项目自2020年12月27日开工建设以来,项目部通过优化技术方案,合理调整施工计划,在保证质量安全的前提下加快施工进度,按期完成了所有施工任务,为迎接大运会的举办奉献了七局力量。

(供稿:水电七局)