

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2017.02.001

心墙堆石坝 4D 施工信息模型及应用

钟登华¹, 贾晓旭¹, 杜成波^{1,2}, 崔 博¹, 任炳昱¹, 吴斌平¹

(1. 天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;
2. 雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要: 为实现质量、进度、成本等多源施工信息动态可视化集成、满足堆石坝施工全过程直观动态分析的需要,在分析了心墙堆石坝施工信息多源特性的基础上,提出了堆石坝 4D 施工信息模型(3D 几何模型+时间+多源施工信息)定义、构架,研究了堆石坝 4D 施工信息模型的实现方法,包括心墙堆石坝三维可视化建模方法、多源施工信息集成方法、堆石坝施工过程 4D 可视化分析方法等。实际工程应用表明,基于 3DGIS 平台能实现堆石坝多源施工信息集成与交互式查询分析及施工过程 4D 可视化分析,可为堆石坝现场施工控制与管理提供重要理论与技术支持。

关键词: 多源施工信息;4D 施工信息模型;3DGIS;心墙堆石坝;施工信息集成;4D 可视化

中图分类号:TV52 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2017)02-0095-09

4D construction information model for core rock-fill dam and its application

ZHONG Denghua¹, JIA Xiaoxu¹, DU Chengbo^{1,2}, CUI Bo¹, REN Bingyu¹, WU Binping¹

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Yalong River Hydropower Development Company, Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract: In order to realize the dynamic and visual integration of multi-source construction information, including quality, schedule, and cost, and to meet the need for visually analyzing the whole construction process of a core rock-fill dam, a 4D construction information model for a core rock-fill dam (3D geometric model+time dimension+multi-source construction information) is proposed based on analysis of the multi-source characteristics of the construction information. The established method of the 4D construction model was studied, including techniques for the establishment of a 3D model of the core rock-fill dam, the integration of the multi-source construction information, and the 4D visualization method in the construction process of the rock-fill dam. Practical engineering applications show that the integration and interactive analysis of multi-source information and 4D visualization of the construction process are realized based on 3DGIS, which can provide theoretical and technical support for site control and management of the rock-fill dam.

Key words: multi-source construction information; 4D construction information model; 3DGIS; core rock-fill dam; integration of construction information; 4D visualization

施工信息在堆石坝施工中不断产生、传递,作为施工过程特征及变化的唯一媒介,能否充分认知并合理利用施工信息事关工程建设成败。传统依靠实地勘测、现场人工采集、计算机录入存储的信息集成方式效率较低,加之施工信息的多源性、动态特性使人们很难直观和全面分析施工信息进而指导现场。随着信息技术的发展,开展心墙堆石坝多源施工信息管理与可视化集成研究,为堆石坝施工管理提供理论与技术支撑。

收稿日期: 2016-11-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB035904);国家自然科学基金(51439005);“十二五”国家科技支撑计划(2013BAB05B05)

作者简介: 钟登华(1963—),男,江西赣县人,中国工程院院士,教授,博士,主要从事水利水电工程施工仿真与实时控制分析技术研究。

E-mail: dzhong@tju.edu.cn

国内围绕大坝施工信息动态可视化集成方面的研究已开展较多,钟登华等^[1]基于 Unity3D 引擎,研发出网络环境下的沥青混凝土心墙堆石坝施工过程三维可视化分析系统,为心墙堆石坝施工组织设计提供了先进的进度控制手段。肖培伟^[2]开发的堆石坝施工过程动态仿真系统,根据工程施工仿真计算获得的数据,可生成任意时刻的工程施工形体。张社荣等^[3]建立了大坝边坡施工期 4D 施工安全信息模型,实现了安全状态随施工进度的实时动态更新及边坡施工形象面貌信息与实时结构安全状态信息的动态耦合可视化分析。徐锡用等^[4]研究了基于 GIS 技术的水利水电工程施工可视化管理系统,实现施工场地布置及其动态变化过程的可视化管理与分析以及施工进度形象直观展示。国外关于多源施工信息集成的研究主要集中在土木建筑领域,Zhang 等^[5]研究了 4D 施工资源信息模型,并研制了相应的信息管理系统,实现了建筑工程施工资源、成本的动态管理。Chen 等^[6]研究了基于 BIM 的施工质量管理模型并在某地铁项目施工中进行了应用分析。Kim 等^[7]针对 4D 信息模型中模型动态更新费时费力的问题,研究了基于现场施工图像信息的模型自动更新方法。Ciribini 等^[8]将 BIM 技术引入到某建筑项目施工布置优化中,将 BIM 模型同施工工序信息建立关联,通过仿真模拟来进行施工方案比选。Mahalingam 等^[9]提出将 4D 模型与施工进度计划方法组合,建立施工管理 4D CAD 模型,实现施工进度的现场管理。

目前的研究成果基本能够实现堆石坝施工信息动态可视化集成,但现有研究往往集中在某一或某几类的施工信息,缺乏对施工信息多源性的深入分析,对多源施工信息动态可视化集成研究不足^[14],匮乏统一的平台去集成多源施工信息,难以对堆石坝施工全过程进行直观动态分析。

针对上述问题,首先分析了心墙堆石坝施工信息多源特性,在此基础上提出堆石坝 4D 施工信息模型定义、构架,通过研究堆石坝 4D 施工信息模型实现方法,包括堆石坝三维可视化建模方法、多源施工信息集成方法、施工过程 4D 可视化分析方法等,实现三维可视化模型同多源施工信息的动态关联。结合实际工程,基于 3D GIS 平台实现了堆石坝多源施工信息的动态集成与可视化分析,为堆石坝施工管理提供有力支持。

1 心墙堆石坝 4D 施工信息模型的提出

1.1 心墙堆石坝施工信息多源性

堆石坝施工信息多源性表现为内容多源,堆石坝施工不仅重视施工质量、进度、成本目标,随着经济和社会的发展,也不断重视施工安全、施工环境、施工资源目标,是一个多目标复杂系统。按照不同施工目标,可将施工信息分为施工质量信息、进度信息、成本信息、资源信息、环境信息、安全信息。每类施工信息均包含丰富的内容,如施工质量信息涵盖堆石坝施工过程中各工艺、环节质量标准信息、施工过程控制信息、验评信息等;施工进度信息包含实际进度信息、计划进度信息等;施工资源信息包括施工材料、人员、机械投入及其变化信息等。施工信息除具有内容多源性,还具有来源广泛、形式多样的特性,通过研究堆石坝 4D 施工信息模型及其建立方法,实现多源施工信息动态可视化集成,为堆石坝施工管理提供支持。

1.2 心墙堆石坝 4D 施工信息模型定义及构架

心墙堆石坝 4D 施工信息模型是指在堆石坝 3D 模型的基础上附加施工进度为时间维度,动态集成施工质量、进度、成本、资源等多源施工信息而形成的扩展模型,用以实现堆石坝施工过程动态可视化分析与多源施工信息的交互式查询分析。多源施工信息是 4D 施工信息模型的核心,围绕堆石坝施工多目标,多源施工信息涵盖质量、进度、成本、环境、资源、安全信息,堆石坝施工过程复杂且高度动态变化,多源施工信息按照时间维度发展,通过整合这些信息,动态关联到三维几何模型上,形成 4D 施工信息模型。堆石坝 3D 模型是 4D 施工信息模型的基础,提供了施工场景、分区属性、形体参数等信息,这些信息贯穿于整个堆石坝施工期,是多源施工信息可视化表达的载体模型。

心墙堆石坝 4D 施工信息模型原理如图 1 所示,通过对多源施工信息的有效集成,采用信息化、可视化等手段

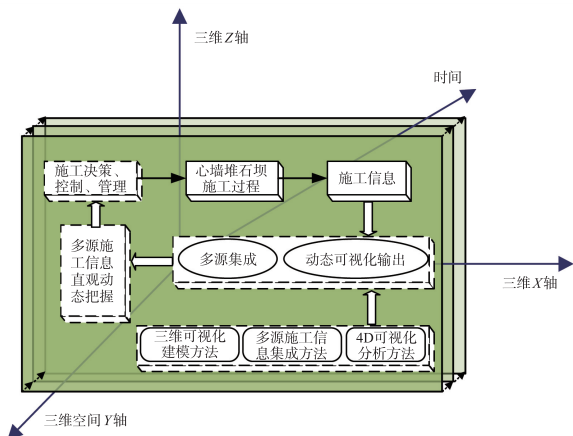


图 1 堆石坝 4D 施工信息模型原理

Fig. 1 Principle of 4D construction information model of rock-fill dam

实现信息的动态可视化输出,为施工管理人员提供多源施工信息交互式查询分析与堆石坝施工过程 4D 可视化分析的工具,辅助施工决策、管理。整个堆石坝施工过程在这个闭路循环中不断演进,施工过程朝着多目标优化的方向不断演进。

3D 模型是 4D 施工信息模型的基础,采用三维可视化建模方法建立堆石坝 3D 几何模型并实现模型数据的有效管理;采用信息技术、网络技术等实现多源施工信息的采集、传输、存储,开发统一的标准接口实现多源施工信息服务的获取,并动态关联到 3D 几何模型上,形成 4D 施工信息模型;基于 GIS 可视化平台实现多源施工信息动态集成、多源施工信息的交互式查询分析以及堆石坝施工过程 4D 可视化分析。

2 心墙堆石坝 4D 施工信息模型数学模型

综合考虑堆石坝施工信息多源性及信息集成与可视化分析的需要,建立堆石坝 4D 施工信息模型数学模型,如图 2 所示。

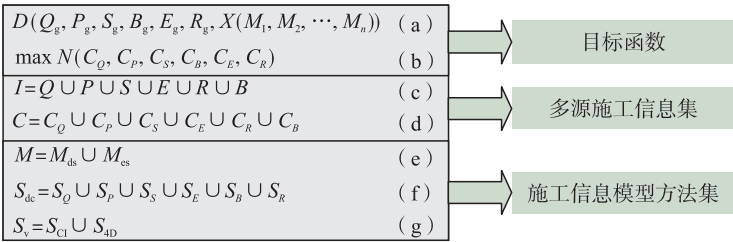


图 2 心墙堆石坝 4D 施工信息模型数学模型

Fig. 2 Mathematical model of 4D construction information model of core rock-fill dam

目标函数:(a)式定义决策函数 D ,研究 4D 施工信息模型是为堆石坝施工管理提供理论与技术支撑,为工程管理人员提供多源施工信息集成与可视化分析平台,辅助施工多目标管理; $Q_g, P_g, S_g, B_g, E_g, R_g$ 分别定义心墙堆石坝的施工质量、进度、安全、成本、环境、资源目标, $X(M_1, M_2, \dots, M_n)$ 定义指导现场的可行施工措施、决策。(b)式定义效用函数 $N(C)$, $N(C)$ 越大表明施工信息集成度与可视化程度越高,施工人员对施工过程特征及变化把握越准确,相应的工程决策越科学。

多源施工信息集:(c)式定义多源施工信息集 I ,包含施工质量信息 Q 、进度信息 P 、安全信息 S 、成本信息 B 、环境信息 E 及资源信息 R 。(d)式定义通过 GPS 技术、物联网技术等各种先进技术集成的施工信息集 C ,包括施工质量集成信息集 C_Q 、施工进度集成信息集 C_P 、施工成本信息 C_B 、施工安全集成信息集 C_S 、施工环境集成信息集 C_E 、施工资源集成信息集 C_R 。

施工信息模型方法集:(e)式定义心墙堆石坝建模方法 M ,包含堆石坝三维建模方法 M_{ds} 、三维模型数据组织方法 M_{es} 。(f)式定义多源施工信息动态集成方法集,包含上述各类信息的动态集成方法。(g)式定义心墙堆石坝多源施工信息可视化分析方法集,包含堆石坝施工过程 4D 可视化分析方法 S_{4D} 、多源施工信息同三维模型动态映射方法 S_{Cl} 。

3 心墙堆石坝 4D 施工信息模型实现方法

3.1 心墙堆石坝三维建模方法

堆石坝 3D 模型是 4D 施工信息模型的基础,并提供了施工场景、大坝分区属性、形体参数等基本信息,本文将 CATIA 引入心墙堆石坝三维建模中,建立的模型具有精度高、易于更新的特点^[10]。运用 CATIA 的零部件设计、创成式设计分别建立各种建筑物实体、开挖面等,最后在基础骨架上完成各类模型的组装。

3.1.1 地形可视化建模方法

施工区三维地形模型是整个场景的基础,各类水工建筑物均布置其上,同时也是地形填挖的受体。目前对地形表面的模拟多采用 2 种模型:TIN(不规则三角网)及 GRID(规则网格模型)。TIN 是由分散的地形点按照一定规则构成的三角网,其能充分表达地形高低起伏的变化细节,心墙堆石坝往往建在高山峡谷地区,地形起伏较大,采用 TIN 模型来描述坝区数字地形 DTM 较为合适^[11]。CATIA 地形建模流程:由原始地形等高线数据生成 asc 格式的 点云数据,这步通常可由二次开发工具生成得到;将点云数据导入到 CATIA 平

台后,对点云数据进行检查(包括过滤、除杂等)以保证数据的准确性;应用 mesh 生成命令构建地形 mesh 面,对 mesh 面进行优化处理,最终生成地形模型。

3.1.2 骨架关联设计建模方法

骨架设计即为确定水工建筑物空间位置的点、线、面,即工程布置方案,也是进一步设计的基础。在总骨架驱动下,完成如隧洞、廊道、大坝骨架等水工构筑物骨架设计,并向下层级驱动和关联,直至到达最底层的具体零件设计。零件设计用来进行水工建筑物实体建模,通过草图特征或基本形体的交、并等布尔运算形成实体模型。最后根据骨架信息,将设计好的建筑物实体模型进行组装。采用骨架关联设计的优点是便于修改,即某层级的结构物布置发生变化,设计方案能够自动更新,心墙堆石坝主要骨架元素包括上下游围堰中心线、坝轴线等。

3.1.3 参数化建模方法

参数化建模是 CATIA 建模的精髓,参数化设计以约束来表达三维几何模型的形状特征,将模型中主要的定位、定形及装配尺寸定义为自变量,将这些尺寸变化规律抽象为函数公式,当修改这些尺寸时,联动更新其余相关尺寸,提高模型的修改效率^[12]。参数化建模有以下优势:(a)模型的可变性:以尺寸驱动修改图形的功能为三维建模设计提供了非常有效的手段。(b)模型能够被重复利用,通过改变尺寸参数,模型能被重复利用,大大提高建模效率。

3.2 堆石坝三维模型数据可视化

3.2.1 堆石坝三维模型数据组织

利用 3DGIS 空间模型数据管理的优势实现堆石坝三维模型数据的高效管理。3DGIS 用图形数据和属性数据来描述空间实体对象,图形数据描述的是实体的几何空间数据及拓扑关系,属性数据描述的是实体的属性及两者的关联标识 ID,通过 ID 将构图元与描述该图元的属性一一关联起来^[11]。堆石坝三维模型重构流程如图 3 所示。

为满足空间数据加载效率要求,采用缓存技术对地形、枢纽构筑物两类数据源进行处理。缓存技术是指将空间数据按照一定的规则切成一个个切片(Tile),即瓦片,再通过特定的金字塔文件索引目录来组织这些文件的技术。每个切片都被存储为一个几何文件和一个属性文件,内部通过 ID 保持几何信息与属性信息的关联,创建三维空间数据缓存实质是对数据的重采样,建立一系列不同分辨率的切片集合,在应用时,根据场景的远近动态请求相应分辨率的切片文件来构建场景。对 TIN 地形数据源,通过缓存技术生成 TIN 缓存,对于枢纽构筑物模型数据源采用缓存技术生成 OSGB 缓存。不同的是,OSGB 缓存将形体数据和模型纹理数据进行切片化处理后,存储在同一个 Tile 文件中,TIN 缓存中的形体切片及影像切片存放在不同的 Tile 文件中,缓存文件经服务器发布,可向客户端提供多种地图服务。

3.2.2 堆石坝三维模型数据可视化

堆石坝三维模型可视化实现过程见图 4,客户端向地图服务器发送服务请求,根据客户端操作如前进、后退等实时计算出场景相机与模型相对距离,加载相应分辨率的缓存文件,实现场景的构建。服务层处理用户指令并进行数据组织。数据层包含空间数据库和属性数据库,空间数据库存储场景地形模型、正摄影像数据、模型数据,属性数据库用以存储模属性 ID 等信息。

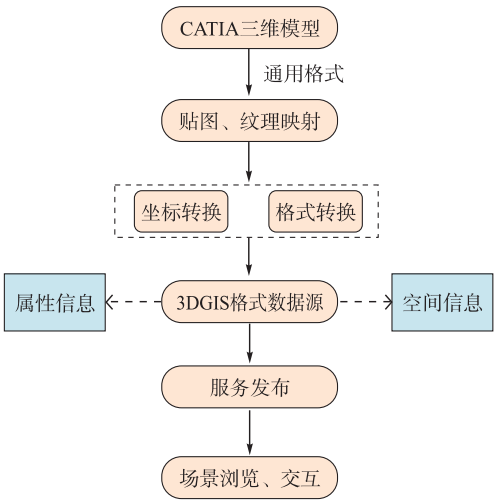


图 3 堆石坝三维模型重构流程
Fig.3 Process of reconstruction of 3D model of rock-fill dam

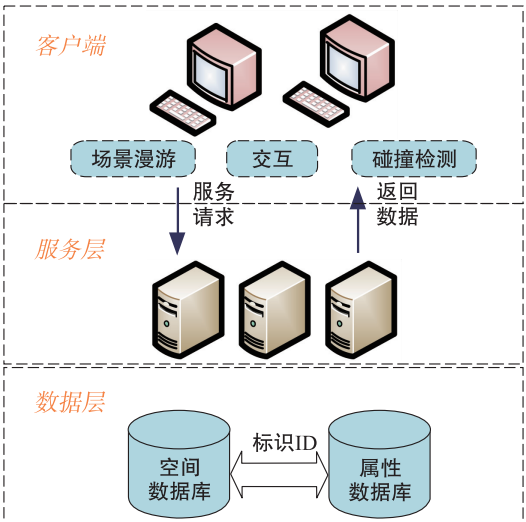


图 4 堆石坝三维模型可视化实现过程
Fig.4 Process of visualization of 3D model of rock-fill dam

3.3 多源施工信息集成方法

传统的堆石坝三维可视化研究中,大都建立不同时刻的三维形象面貌,未能实现堆石坝施工过程的实时可视化分析,且模型关联的信息量有限,4D施工信息模型相较于传统的堆石坝3D可视化分析更有优势。多源施工信息的有效集成并同3D模型动态关联整合,是4D施工信息模型的核心,4D施工信息模型同3D模型的区别在于其不仅要为堆石坝施工过程分析提供随施工进度变化的3D模型,还要形成以模型为基础的堆石坝多源施工信息动态视图,即信息也随时间进度动态变化。

3.3.1 多源施工信息集成框架

多源施工信息集成框架见图5,包含信息源层、信息存储层、数据与应用服务层、多源施工信息集成与可视化应用层。

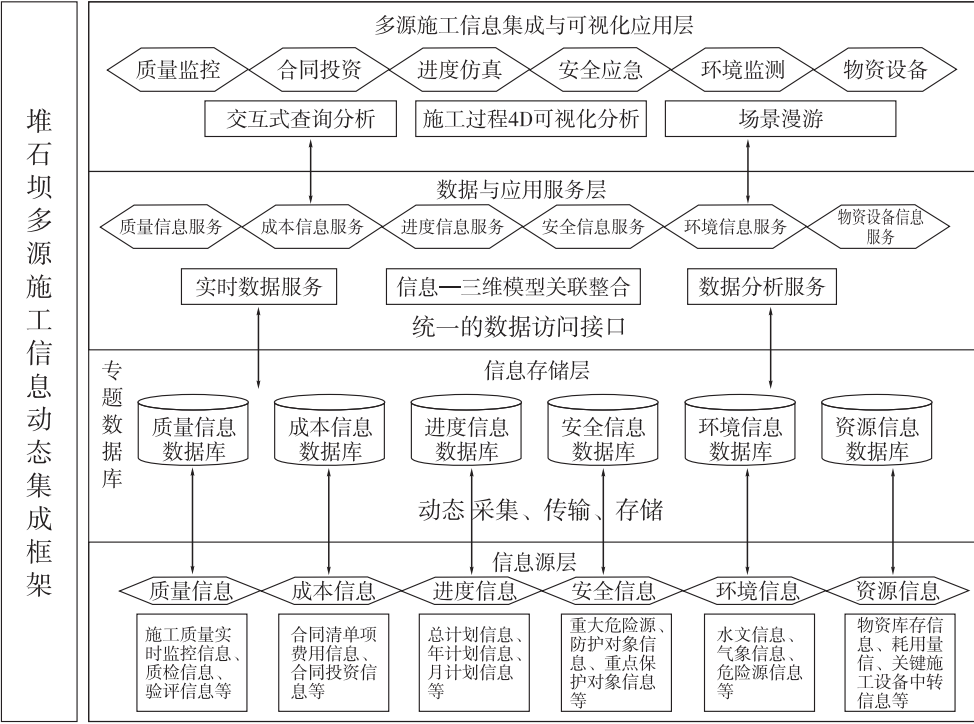


图5 多源施工信息动态集成框架

Fig.5 Framework of dynamic integration of multi-source construction information

- a. 信息源层。它是信息集成的核心对象,是构成“3D+时间维度+多源施工信息”模式的基础,堆石坝多源施工信息涵盖施工质量信息、进度信息、投资信息等,每类信息均包含丰富的内容,如施工质量信息涵盖堆石坝施工质量控制过程信息与成果信息。
- b. 信息存储层。将施工信息按照不同的业务主题来构建数据仓库并存储,堆石坝海量施工信息常以各种符号、文字、图片等形式的数据被采集、传输直至存储,可分为结构化信息和非结构化信息,结构化信息是可以数字化的数据信息,可通过计算机和数据库技术进行管理,非结构化信息指信息的形式相对不固定,通常是各种形式的文件,如各种文档附件、视频流信息。
- c. 数据与应用服务层。通过开发统一数据接口,实现从各专题数据库系统实时动态获取信息服务,包含实时数据信息服务、数据分析服务等,并实现信息同堆石坝三维模型的整合。围绕堆石坝施工的各业务主题数据库往往数据种类、格式千差万别,构成了异构数据库系统,数据接口访问技术具有较大的灵活性,可不考虑源数据系统平台差异和数据异构性。
- d. 多源施工信息集成与可视化应用层。基于GIS平台强大的数据管理与空间分析的优势,可使耦合空间要素的堆石坝多源施工信息可视化表达,实现堆石坝施工信息的交互式查询分析、堆石坝施工过程4D可视化分析等功能。

3.3.2 多源施工信息集成原理

多源施工信息集成原理见图 6,多源施工信息常以文字、图片、符号等数据格式被采集、传输直至被存储,按照业务主题的不同存储为多个异构数据端。如面向堆石坝施工质量实时监控建立的质量监控数据端,面向堆石坝施工投资管理建立的投资数据端。多源施工信息服务端用以连接堆石坝信息源与客户端,采用 XML 作为多源异构施工信息交换的中间格式,基于 Web service 技术实现可视化应用层同源端信息层的信息交换。关键技术包含信息采集与传输技术、信息存储技术、基于 xml\Web Service 的数据交换技术。

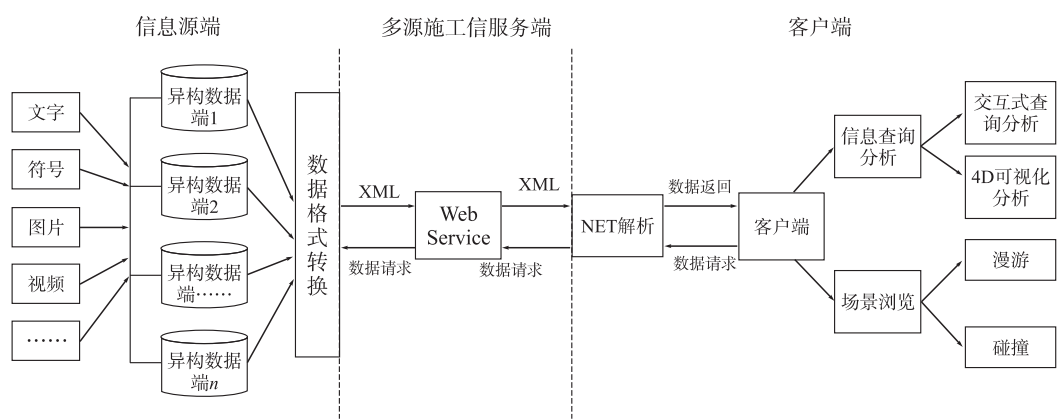


图 6 多源施工信息集成原理

Fig. 6 Principle of integration of multi-source construction information

3.3.2.1 多源施工信息采集与传输技术

多源施工信息采集指将施工过程信息记录为可被感知的文字、图片、音频等数据的过程,科技进步使得越来越多的先进技术手段用于施工信息采集当中。如应用多种卫星组合定位技术(GPS 卫星与 GLONASS 卫星组合定位)来自动采集机械位置信息,提高了定位精度和稳定程度^[13];应用多种类型传感器(温度传感器、流量传感器)可采集施工质量、安全、环境等维度的信息^[14];应用 PDA 技术采集坝面压实质量数据并实现远程传输,克服了信息采集易受人为因素影响的弊端^[15]。

多源施工信息传输是利用一定的方法和技术手段将施工信息传到指定对象的过程,传统依靠人工传递方法效率低下且易使信息丢失,通信技术与计算机技术越来越多地应用到信息的远距离传输当中,如针对坝面碾压实时监控位置信息的传输,采用 GPRS 网络传输方案^[16];采用移动通信网络技术与短距离无线网络技术相结合的组网方案实时采集和传输灌浆实时信息和成果信息^[17]。

3.3.2.2 多源施工信息存储技术

堆石坝施工过程中产生大量动态数据信息,这些信息产生于大坝不同施工环节且结构差异性较大,对这些数据信息存储时应用数据仓库模型的数据集成方案。数据仓库是面向主题的、集成的、与时间相关的、不可修改的数据集合。数据仓库的集成性表现为数据仓库中的数据是从原有分散在各处的源数据按照一定的主题和规则进行抽取、筛选和清理等操作后集成到数据仓库中的,根据主题不同建立包括堆石坝碾压质量监控信息数据仓库、堆石坝安全信息数据仓库、堆石坝投资管理信息仓库等多类型数据仓库,实现多源施工信息的存储。

3.3.2.3 基于 xml\Web Service 的数据交换技术

围绕堆石坝施工的各业务主题数据库中数据种类、格式千差万别,采用 XML 作为施工信息数据的交换工具,可不必考虑数据模型的异构性数据合成等问题,XML 是一种数据格式描述的元语言标准^[18],在不同领域的系统集成中广泛应用。在 XML 文件与数据库之间添加数据转换程序组件,将多源施工信息数据库模式映射到 XML 模式(图 6)。Web Service 目前主要应用与 .NET 和 Java 平台,可对外发布各种类型的数据,将数据以 XML 的形式进行封装,本文中将多源施工信息转换为 XML 格式后,通过 Web Service 服务的方式向可视化应用层提供信息服务。

3.3.2.4 模型-信息动态映射方法

3D 模型作为信息可视化的载体,动态关联多源施工信息形成 4D 施工信息模型。模型与施工信息动态

映射是通过编码映射来实现的,以实体为基础进行施工信息的动态集成管理是4D施工信息模型的精髓。通过手动或自动的方式建立施工信息结构化编码同模型构件的关联,形成4D施工信息模型。4D施工信息模型涉及的空间模型数据有堆石坝等枢纽建筑物三维模型、地形模型及附属建筑物等数据,空间模型数据存储时具有ID属性,利用内部ID同多源施工信息建立映射。

本文提出一种基于施工业务实体对象的可视化集成化编码SWBS,以SWBS为依据,形成围绕实体的多源施工信息视图。SWBS编码实质是在现有工程WBS编码、合同结构编码基础上增加实体标识字节,使得多源施工信息能关联相应业务实体。如通过填筑单元工程实体SWBS,可链接施工质量信息如实时监控信息、验评信息,进度信息如开关仓时间等。SWBS将堆石坝施工项目划分为单位工程、分部工程、分项工程、单元工程和其他业务实体对象,并可由下向上收敛,实现各业务信息的汇总分析。将SWBS编码同模型ID关联,实现多源施工信息同模型的动态映射。

3.4 堆石坝施工过程4D可视化分析方法

堆石坝4D可视化分析是以3D模型为基础,关联施工进度信息实现施工面貌的动态更新。通过数据接口读取的施工进度数据,获取各模型对象施工状态,以更新堆石坝3D模型面貌,实现堆石坝施工过程4D可视化分析,若堆石坝施工单元*i*对应的任意时刻*t*的施工面貌为 $f_i(t)$,则堆石坝整体施工面貌集合可表示为

$$F(t) = \sum_{i=1}^j f_i(t)$$

(1)

引入VTK外部组件解决堆石坝三维模型在3DGIS平台按高程动态显示的问题,VTK是一个基于面向对象方法设计的、功能强大的可视化和图形图像处理类库,抽取VTK图形切割相关的类库并封装,以供调用。其过程是通过数据接口获取各分区当前施工高程值,用该高程值赋给VTK切割函数变量,然后调用VTK组件读取模型文件,按相应高程切割各分区模型,保留高程以下的实体,将切割结果以KML(一种地图浏览的文件格式)格式添加到场景,并实现后续一系列交互功能。

4 工程应用

4.1 堆石坝施工过程4D可视化分析

通过标准数据接口获取总计划、月计划、实际进度等信息,将施工进度信息传递给堆石坝4D施工信息模型,动态更新堆石坝形象面貌,推进施工时间进度,改变模型系统状态,以完成4D场景的更新。可选择不同的进度显示类型进行查询演示,采用颜色、透明度等表现方式来显示实际进度与计划进度对比情况,并可进行施工过程回放,直观动态把握堆石坝施工进度情况。图7(a)为大坝在2015年11月的进度形象面貌,该时刻大坝基坑开挖清理基本完成;图7(b)为2016年8月大坝施工形象面貌,并可交互式查询施工块体工程量及相关属性信息,实现4D远程交互。

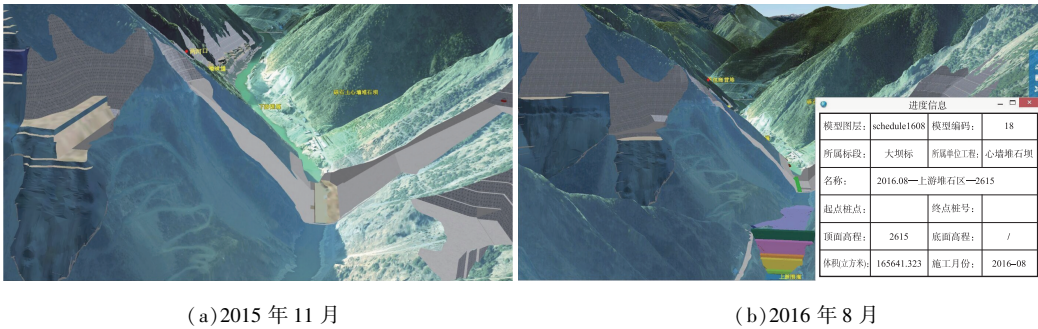


图7 堆石坝施工面貌

Fig.7 Construction visage of rock-fill dam

4.2 多源施工信息动态集成与交互式查询分析

4.2.1 施工质量信息动态集成与交互式查询

以堆石坝施工质量监控信息集成与交互式查询为例,碾压质量实时监控应用GNSS技术、网络技术、数据库技术以碾压机械为监控对象,实时采集碾压机械位置、碾压遍数、振动状态等信息,实现对堆石坝

施工过程的精细控制。为实现监控信息直观可视化分析,通过开发 Web Service 数据接口,实现客户端应用层同数据库端的数据交换,并以 XML 作为中间数据传输格式,通过 Web Service 服务实时获取坝面碾压施工监控信息,在 3DGIS 场景中初始化堆石坝当前进度面貌,并可交互式查询碾压轨迹、报警信息、图形报告等信息,如图 8 所示。

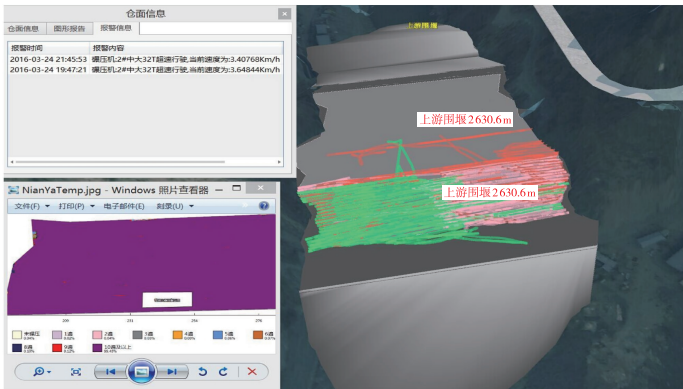


图 8 查询仓面施工质量信息界面

Fig.8 Query interface of quality information of storehouse surface

4.2.2 施工投资与物资信息交互式查询分析

通过开发标准数据接口获取堆石坝多源施工信息服务,通过编码互联实现施工成本信息同堆石坝 3D 模型的动态整合,实现施工投资信息的交互式查询分析。图 9 为堆石坝成本 4D 动态分析过程,通过输入堆石坝施工合同标段、起止时间来查询施工成本情况,并自动关联至 3D 模型,可以看出,随施工进度的推进,自开工累计的投资不断增加。图 10 为交互式查询施工应急物资图,通过与分布区域模型交互,查询该区域内存储应急物资种类、规格及数量信息。

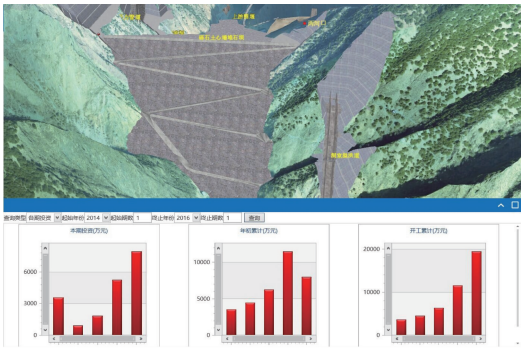


图 9 堆石坝合同投资交互式查询界面

Fig.9 Interactive query interface of contract investment of rock-fill dam



图 10 施工应急物资交互式查询分析界面

Fig. 10 Interactive query interface of emergency materials

5 结 语

当前堆石坝施工信息集成研究主要集中在某一类或某几类施工信息,缺乏对施工信息多源性的深入分析。本文提出堆石坝 4D 施工信息模型并研究了其实现方法,包括可视化建模方法、多源施工信息集成方法等。工程实例应用表明,本文方法能够实现多源施工信息的动态高效集成,为堆石坝施工管理提供多源施工信息交互式查询分析及堆石坝施工过程 4D 可视化分析的工具,提高了堆石坝施工管理与决策水平。

参考文献:

[1] 钟登华,陈永兴,常昊天,等. 沥青混凝土心墙堆石坝施工仿真建模与可视化分析[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2013,46(4):285-290. (ZHONG Denghua, CHEN Yongxing, CHANG Haotian, et al. Construction simulation modeling

- and visual analysis of rockfill dam with asphalt concrete core[J]. Journal of Tianjin University(Science and Technology),2013,46(4):285-290. (in Chinese))
- [2] 肖培伟.堆石坝工程施工过程动态仿真[D].成都:四川大学,2005.
- [3] 张社荣,薛烈,撒文奇,等.水电站边坡施工期4D安全信息模型研究与应用[J].计算机应用研究,2014,31(7):2053-2057. (ZHANG Sherong, XUE Lie, SA Wenqi, et al. Study and application on 4D safety information model of slope during construction period in hydropower station[J]. Application Research of Computers,2014,31(7):2053-2057. (in Chinese))
- [4] 徐锡用,马斌,焦青青.水利水电工程施工可视化管理系统研究[J].施工技术,2007,36(12):43-45. (XU Xiyong, MA Bin, JIAO Qingqing. Research on visualization management system of construction of water resources and hydroelectric project[J]. Construction Technology,2007,36(12):43-45. (in Chinese))
- [5] ZHANG Jianping, FAN Zhe, WANG Yangli, et al. Resource dynamic management and cost real-time monitoring in building construction based on 4D-BIM[J]. Construction Technology,2011,40(4):37-40.
- [6] CHEN L J, LUO H. A BIM-based construction quality management model and its applications[J]. Automation in Construction, 2014,46(10):64-73.
- [7] KIM C, KIM B, KIM H. 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring[J]. Automation in Construction,2013,35(14):44-52.
- [8] CIRIBINI A L C, VENTURA S M, PANERONI M. Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building:a BIM pilot project[J]. Automation in Construction,2016,71(1):62-73.
- [9] MAHALINGAM A, KASHYAP R, MAHAJAN C. An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects[J]. Automation in Construction,2010,19(2):148-159.
- [10] 万云辉,李小帅,王青.基于CATIA软件的混凝土面板堆石坝三维设计研究[J].人民珠江,2015(2):40-42. (WAN Yunhui, LI Xiaoshuai, WANG Qing. Three-dimensional design of concrete faced rockfill dam with CATIA software[J]. Pearl River,2015(2):40-42. (in Chinese))
- [11] 刘东海,钟登华,周锐,等.基于GIS的水电工程施工导流三维动态可视化[J].计算机辅助设计与图形学学报,2002,14(11):1051-1055. (LIU Donghai, ZHONG Denghua, ZHOU Rui, et al. GIS-Based three-dimensional dynamic visualization of construction diversion for hydroelectric project[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics,2002,14(11):1051-1055. (in Chinese))
- [12] 钟登华,张琴娅,杜荣祥,等.基于CATIA的心墙堆石坝施工动态仿真[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2015(12):1118-1125. (ZHONG Denghua, ZHANG Qinya, DU Rongxiang, et al. Dynamic construction simulation of core rockfill dam based on CATIA platform[J]. Journal of Tianjin University(Science and Technology),2015(12):1118-1125. (in Chinese))
- [13] 刘玉玺.碾压混凝土坝施工信息模型原理与应用研究[D].天津:天津大学,2015.
- [14] 许小东,燕乔,吴长彬.水布垭面板堆石坝周边缝渗流监测新技术[J].人民长江,2010,41(14):87-89,107. (XU Xiaodong, YAN Qiao, WU Changbin. Analysis of new technology form on monitoring peripheral joint seepage of shuibuya concrete faced rock-fill dam[J]. Yangtze River,2010,41(14):87-89,107. (in Chinese))
- [15] 王立明,刘玉玺,崔博.猴子岩大坝施工信息PDA采集系统设计及应用[J].人民长江,2014,45(8):78-80. (WANG Liming, LIU Yuxi, CUI Bo. Design and application of PDA Data collection system in construction information collection of Houziyan[J]. Yangtze River,2014,45(8):78-80. (in Chinese))
- [16] 马洪琪,钟登华,张宗亮,等.重大水利水电工程施工实时控制关键技术及其工程应用[J].中国工程科学,2011,13(12):20-27. (MA Hongqi, ZHONG Denghua, ZHANG Zongliang, et al. Key technologies of real-time construction control for major hydraulic and hydroelectric engineering[J]. Science China,2011,13(12):20-27. (in Chinese))
- [17] 闫福根,钟登华,任炳昱,等.基于B/S结构的三维交互式灌浆可视化系统的研制及应用[J].水利水电技术,2014,45(11):66-69. (YAN Fugen, ZHONG Denghua, REN Bingyu, et al. Development and application of B/S structure-based 3D interactive grouting visualization system[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(11):66-69. (in Chinese))
- [18] 唐智勇,吴刚.基于Web Service柔性异构数据集成系统设计与查询处理[J].微电子学与计算机,2010,27(8):36-40. (TANG Zhiyong, WU Gang. Query disposal and design of dynamically adjustable heterogeneous data integration based on web service[J]. Microelectronics & Computers,2010,27(8):36-40. (in Chinese))