

Key Technical Issues and Research Progress in Hydropower Development

流域水电开发 重大技术问题及主要进展

—— 雅砻江虚拟研究中心 2014 年度学术年会论文集

陈云华 主编



黄河水利出版社

流域水电开发重大技术问题及 主要进展

——雅砻江虚拟研究中心 2014 年度学术年会论文集

主 编 陈云华

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

流域水电开发重大技术问题及主要进展:雅砻江虚拟研究中心2014年度学术年会论文集/陈云华主编. — 郑州:黄河水利出版社,2014.3

ISBN 978-7-5509-0723-2

I. ①流… II. ①陈… III. ①水电资源-资源开发-西南地区-文集 IV. ①TV213-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第024594号

策划编辑:王文科 电话:0371-66025273 E-mail:15936285975@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:36.5

字数:889千字

印数:1—2 000

版次:2014年3月第1版

印次:2014年3月第1次印刷

定价:150.00元

序 言

根据国家发改委授权,雅砻江流域水电开发有限公司负责实施雅砻江流域水能资源开发,全面负责雅砻江梯级水电站的建设和管理。雅砻江干流规划开发 21 级电站,规划可开发装机容量约 3 000 万 kW。目前,雅砻江下游二滩、锦屏一级、锦屏二级、官地水电站先后投产,筹建项目有两河口、杨房沟水电站;正在进行前期勘探的项目有中游的卡拉、牙根一级、牙根二级、楞古和孟底沟等 5 个水电站;正在规划中的还有上游的新龙等 9 个梯级电站;雅砻江流域水电站群呈现出全江联动、首尾呼应、压茬开发的良好态势。

雅砻江流域属深山峡谷,河谷深切,地质条件复杂,以锦屏一级 305 m 世界第一高拱坝、锦屏二级世界最大规模深埋长大隧洞群、两河口 300 m 级超高土石坝为代表的一批世界级水电工程建设难度位居世界前列;同时雅砻江是中国唯一一个由单一主体完整开发的大型流域,全流域梯级电站统筹建设和运行管理也面临着一系列世界级技术难题。近年来,雅砻江公司以国家自然科学基金雅砻江水电联合研究基金研究团队为基础,通过建设雅砻江虚拟研究中心这一科研平台,积极开展产学研合作的科技攻关和自主科技创新,取得了一系列科技成果。这些成果的取得,得益于广大科研工作者的共同努力,也将为我国水电事业的发展做出重要贡献。随着雅砻江流域水电开发的进一步推进,还将遇到各种各样的技术问题,需要继续依靠广大科研工作者和研究单位的力量,来共同攻克这些技术问题。

为总结这些科技成果,展望未来研究需求与方向,雅砻江虚拟研究中心决定召开 2014 年度学术年会。本次学术年会的主题是流域水电开发重大技术问题及主要进展。在各专家、学者及有关单位的大力支持下,经过专家评审,筛选出 69 篇论文正式出版。论文集主要涉及以下几个方面:

- (1) 近年来围绕雅砻江流域水电开发开展的相关科研工作及主要成果;
- (2) 行业相关研究领域热点及最新研究进展;
- (3) 雅砻江流域水电开发实施进展、科技创新实施进展及下一步展望。

这次会议由雅砻江流域水电开发有限公司主办,同时得到了国家自然科学基金委员会工程与材料科学学部及雅砻江虚拟研究中心各成员单位中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司、华东勘测设计研究院有限公司、清华大学、上海交通大学、同济大学、四川大学、天津大学、河海大学、武汉大学、华中科技大学、山东大学、大连理工大学、成都理工大学、三峡大学、中国水利水电科学研究院、水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院、长江水利委员会长江科学院、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国科学院生态环境研究中心、水利部中科院水工程生态研究所等单位的大力支持,在此一并表示感谢。

编 者

2014 年 3 月于成都

目 录

序 言

第一篇 流域开发综合管理

- 雅砻江流域数字化平台建设规划及关键技术问题 陈云华(3)
- 雅砻江流域水电开发重大科技创新及主要进展 吴世勇 周济芳 申满斌 等(12)
- 雅砻江流域梯级开发的系统安全性问题 任青文 田英 熊瑶(21)
- 基于交易成本理论对水电开发企业支持性业务管理模式的思考
..... 袁尚南 强茂山 阳波(30)
- 水电工程数字流域基础地理信息平台若干关键技术研究 仇欣(37)
- 雅砻江流域大坝安全信息管理系统综述 冯永祥 李啸啸 张晓松(45)

第二篇 水电站建设与管理

- 卸荷岩体力学理论研究进展及展望 李建林(55)
- 雅砻江锦屏一级水电站岩石工程关键技术问题研究与实践 宋胜武 冯学敏(80)
- 锦屏一级高拱坝左岸基础处理与效果评价 王继敏 杨弘 蒋学林(106)
- 基于湿度扩散理论的松动圈形成机理 唐春安 唐世斌(124)
- 锦屏一级高拱坝坝肩稳定三维地质力学模型综合法试验研究
..... 张林 吴世勇 陈媛 等(135)
- 略论国内外地应力分级方案的适用性 邓建辉 陈菲 魏进兵 等(146)
- 水岩作用下绿泥片岩的试验研究 周辉 李震 张传庆 等(152)
- 水电施工企业一线项目部管理模式及其效率分析 陈文超 强茂山 夏冰清(160)
- 堆石混凝土技术应用进展 金峰 黄绵松 安雪晖 等(167)
- 高堆石坝宏观变形机理研究进展 周伟 常晓林 胡超 等(173)
- 土石坝工程新技术探讨 刘汉龙(184)
- 锦屏高边坡和坝基长期变形对拱坝的影响 潘元炜 杨强 刘耀儒 等(194)
- 水电站厂房动力安全问题探讨 马震岳 陈婧 王刚 等(207)
- 水库诱发地震研究进展与思考 李碧雄 邓建辉 张茹 等(217)
- 锦屏一级拱坝施工期工作性态反演仿真分析 张国新 张磊 陈秋华 等(225)
- 锦屏一级高拱坝温控防裂研究与实践 刘毅 张国新 段绍辉 等(241)
- 锦屏一级特高拱坝温控防裂新技术研究与运用 宁金华 段绍辉 郑江 等(253)
- 官地水电站大坝工程重大设计与施工技术问题的解决方案
..... 钟谷良 赵云亮 李积伦(260)
- 重力坝抗滑稳定预警研究 杨志勇 裴亮 徐建江(271)

锦屏一级地下厂房洞室群围岩稳定性综合分析	黄书岭 邹爱清 王继敏 等(277)
锦屏二级水电站绿片岩流变力学特性及其硐室稳定性研究	杨凡杰 周辉 李震 等(296)
地连墙结构在水电工程深厚覆盖层地基处理中的应用	幸享林 王波 廖成刚 等(303)
基于多影响因子的库区地质灾害敏感性分析	刘永亮 宋书志(312)
基于动态确权的可拓评价模型在边坡安全评价中的应用	冯宇强 陈绪高(320)
杨房沟混凝土双曲拱坝防震抗震设计研究	徐建军 殷亮(327)
锦屏二级水电站深埋长隧洞综合地质超前预报实践	黄世强(337)
对现行规范中拱座稳定计算公式修正方法的探讨	庞明亮 胡云明 饶宏玲(343)
坝身表、深孔无碰撞泄洪消能技术在锦屏一级高拱坝中的应用	张公平 周钟 唐忠敏(349)
混凝土坝施工期数字监控方法、系统与应用	张国新 刘毅 王继敏 等(360)
锦屏二级水电站引水隧洞支护设计与实践	潘益斌 何江 房敦敏 等(371)
卡拉水电站坝基绢英岩化板岩影响分析及加固设计	吴伟伟 李英勇 高雅芬 等(376)
卡拉地下厂房位置及轴线方向选择	鲍利发 陈建林(384)
锦屏二级水电站地下厂房岩壁吊车梁开挖优化	方丹 万祥兵 陈建林(389)
高山峡谷地区复杂施工枢纽布置规划设计	李军 周垂一(393)
杨房沟水电站泄洪消能建筑物设计	于青(398)
卡拉水电站近坝滑坡体防治设计	李英勇 吴伟伟 史彬(405)
锦屏一级高拱坝左岸基础处理技术	蒋学林(412)
浅谈水电工程监测基准网与施工控制网一体化设计	叶式穗 何涛(424)
探讨复杂环境围堰拆除爆破专项技术	樵 平 李武诚(429)
二滩库区滑坡泥石流流发展及水库泥沙淤积分析	杨银辉(437)
两河口水电站场内外交通桥梁工程关键施工技术与思考	施召云 郭怀俊(442)

第三篇 电力生产与运行

基于实时/历史数据库的水电机组数据交换平台研究	刘广宇(451)
BP 人工神经网络双决策控制下的梯级水电站群优化调度规则研究	王金龙 黄炜斌 马光文 等(457)
雅砻江公司集控中心计算机监控系统安全性配置浅析	陈鹏 蒲瑜(467)
锦屏二级水电站引水隧洞运行期外水压力特性研究	杨弘 曾雄辉 李志力(472)
雅砻江锦屏二级水电站应急处置方案及运行水位研究	丁义 蹇德平 王小锋 等(479)
流域电站集控模式下防误闭锁功能设置思考	张晓辉 唐杰阳 毛成钢 等(484)
集控模式下监控系统关键参数异常波动的预警机制及实现	逯俊杰 蒲瑜 王定立(487)

大型水轮发电机组在孤网运行模式下的控制方式思考	··· 朱华林 张强 李莎 等(490)
二滩大坝安全监测自动化系统试运行评价	····· 宋明富(495)
二滩水电站 500 kV 线路保护改造分析	····· 余海涛(499)
接地变二次电阻偏小的注入式定子接地保护解决方案	····· 任保瑞 王思良(506)
水轮机调速器测频单元硬件配置及软件逻辑设计探讨	··· 王秀梅 蒲华东 吴建荣(512)
某大型水电站机组励磁系统非线性电阻烧伤处理分析	····· 徐亮 纪可可 莫瑶(517)
二滩水电站中孔闸门控制系统改造	····· 莫瑶 纪可可 张璇 等(522)
基于不同条件下的压力钢管排水方式选择	····· 文习波(526)
水电站技术供水系统分析及新技术推广应用探索	····· 文习波(530)
官地水电站顶盖泄压排水管破裂漏水原因及处理探析	····· 谭斌忠 车军(536)

第四篇 环境保护与征地移民

雅砻江锦屏梯级水库生态调度	····· 陈端 陈求稳 李若男(543)
短须裂腹鱼的人工繁殖技术研究	····· 甘维熊 王红梅 邓龙君 等(552)
二滩水库水温模型验证	····· 李娟 姜跃良 吉小盼(556)
水电工程环评公众参与调查的现状问题及对策	····· 肖静 朱丹丹(565)
雅砻江两河口水电站建设征地移民安置规划主要成果、特点和创新	····· 杨智慧(570)

第一篇

流域开发综合管理

雅砻江流域数字化平台建设规划及关键技术问题

陈云华

(雅砻江流域水电开发有限公司 四川 成都 610051)

摘要:雅砻江流域水电开发有限公司为通过应用信息技术提升流域开发管理的效率和决策的科学性,规划建设雅砻江流域数字化平台。雅砻江流域数字化平台综合利用 3S 技术、产品全生命周期管理、物联网、三维虚拟现实等技术,通过实现流域重要信息的采集、传输、存储和三维虚拟现实环境下的集成管理和分析应用,构建流域开发辅助管理和决策支持系统。本文对雅砻江流域数字化平台总体框架和系统建设规划进行了全面介绍,重点阐述了数字化平台各业务应用系统的功能需求,分析了数字化平台与雅砻江流域水电开发有限公司信息化建设的关系。对实现提升流域开发管理的效率和决策的科学性目标至关重要的几个关键技术问题,如多源、多时空海量数据采集与融合管理技术、流域陆气耦合高精度分布式水文预报模型、复杂市场环境下的联合优化调度技术、流域高坝群的安全监控与预警预报技术,基于物联网的水电工程全生命周期管理技术等,本文也进行了分析。

关键词:雅砻江 数字化平台 应用系统 建设规划 关键技术

1 引言

雅砻江是长江上游金沙江最大的支流,干流规划装机约 3 000 万 kW,在全国十三大水电基地中排名第三。雅砻江流域梯级补偿效益特别显著,当两河口、锦屏一级和二滩三大控制性水库全部形成后,联合运行可使中下游梯级电站实现多年调节,平枯期电量大于丰水期电量,成为全国技术经济指标最为优越的梯级水电站群之一,同时还将对下游长江干流电站发挥显著的梯级补偿效益。雅砻江流域水能资源开发对于国家能源结构调整和保障能源安全具有重要意义,在流域开发过程中,还将带动区域社会经济发展和生态环境保护,提升长江流域防洪和公共安全管理水平,具有显著的社会经济综合效益。

我国《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》指出,要“推动信息化和工业化深度融合,加快经济社会各领域信息化”。雅砻江流域水电开发有限公司是国家授权负责实施雅砻江流域水能资源开发的大型国有企业,正在建设雅砻江流域数字化平台,希望通过实现流域信息资源的共享和数字化、可视化集成管理,为雅砻江流域梯级电站的规划设计、建设和运行管理提供辅助服务和决策支持,提高水电开发管理的水平和社会经济效益,既符合国家重大战略需求和提升水电行业信息化、现代化水平的需要,也是雅砻江公司自身发展的内在需求。

2 雅砻江流域数字化平台总体框架

雅砻江流域数字化平台建设综合利用 3S 技术(地理信息 GIS、遥感技术 RS、全球定位

技术 GPS)、产品全生命周期管理、物联网技术、三维虚拟现实与交互式仿真等现代高新技术,通过实现流域重要信息的采集、传输、存储和三维虚拟现实环境下的集成管理和分析应用,构建流域开发辅助管理和决策支持系统。雅砻江流域数字化平台建设包括雅砻江公司在雅砻江流域水电开发、生产经营管理过程中的各个业务,涵盖信息采集、传输、存储、信息标准与服务管理、应用系统的建设和集成等,总体框架如图 1 所示。

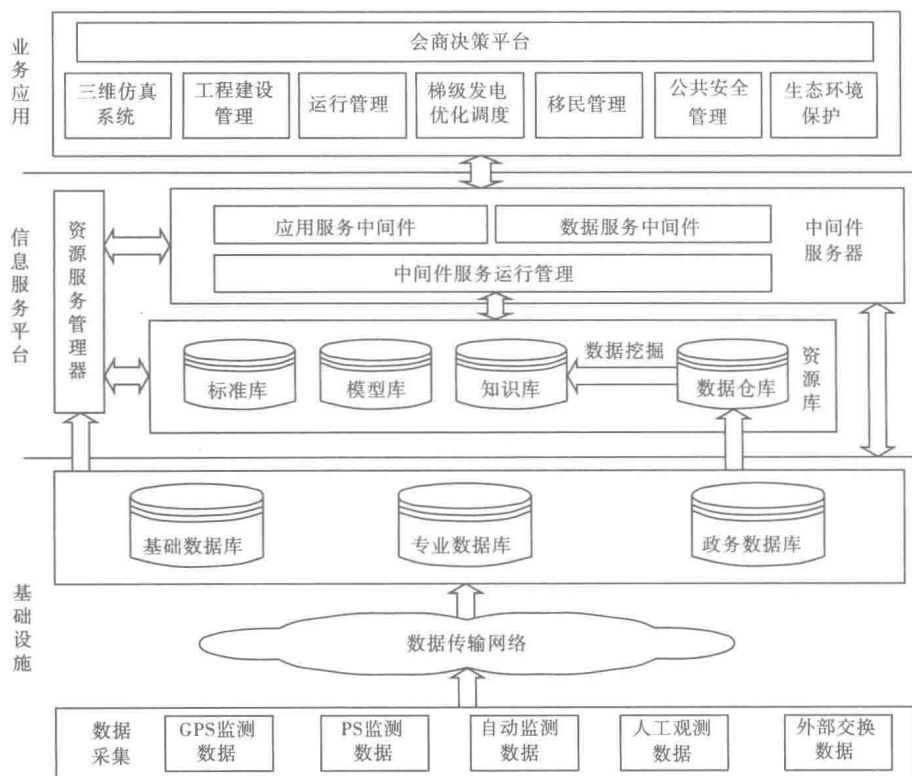


图 1 雅砻江流域数字化平台总体框架

3 雅砻江流域数字化平台建设规划

3.1 基础设施

基础设施主要是处理各类信息从采集数据到数据处理和存储的过程,是雅砻江流域数字化平台建设的基础。根据雅砻江流域综合开发和流域管理工作业务需求,广泛采集雅砻江流域数字化平台所需的各类信息资源,包括空间地理信息、气象水文、工程建设、安全监测、运行信息等,通过覆盖全流域的通信及计算机网络,快捷、及时地将采集数据传输到数据存储与处理系统。

3.1.1 数据采集系统

雅砻江流域数字化平台所需的信息从信息来源来看,分为企业自建的数据采集系统,专项采集数据,工程勘察设计和施工过程中产生的数据,以及来源于其他部门的外部信息。企业自建的数据采集系统包括水情、雨情、视频监控、工程安全监测、设备运行等数据;专项采集数据是指为建设雅砻江数字化平台专门采集和处理形成的流域空间地理信息数据;工程勘察设计和施工过程中产生的数据主要包括工程枢纽布置、工程进度、质量、造价及各类科

研和技术数据及文档;外部购买的数据包括流域社会经济统计信息、卫星图片、气象预报信息等。

雅砻江流域数字化平台所需的信息采用实时采集、定期及不定期调查、外部信息交换与共享等方式采集,应用 GPS、图形数字化、GIS、卫星遥感、航空遥感、地面遥感、自动化监测数据采集系统等多种技术手段,并根据管理需求进行数据动态更新。

3.1.2 通信和计算机网络

通信和计算机网络是为适应雅砻江流域水电开发有限公司信息资源开发与业务应用需要而构建的数据传输系统。数据传输通信方式包括光纤、网线等有线传输及卫星、移动通信等无线传输方式。信息采集传输系统结构如图 2 所示。

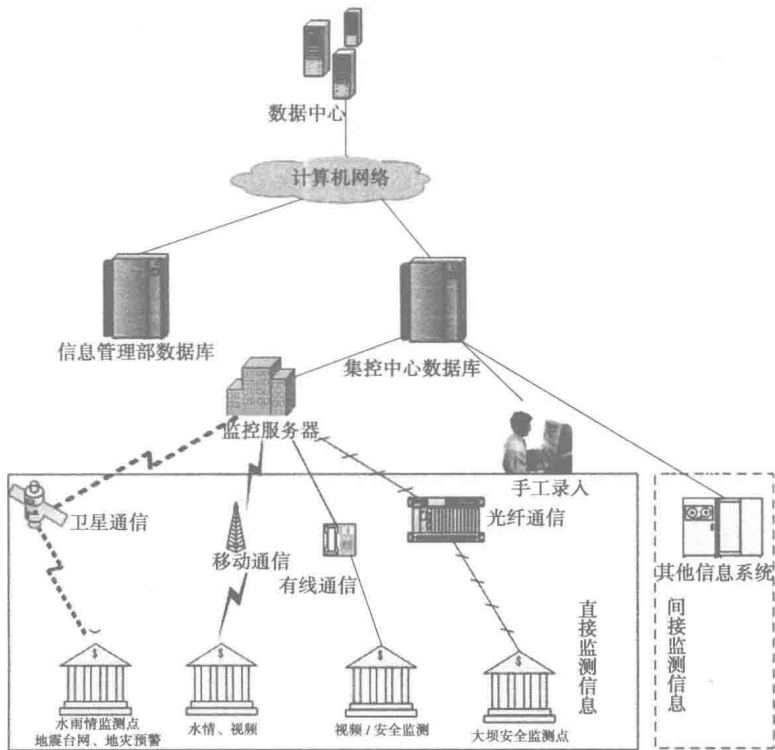


图 2 雅砻江流域数字化平台信息采集传输系统结构图

3.1.3 数据存储管理

数据库的建设是雅砻江流域数字化平台建设的重要组成部分,需建立包括元数据标准、数据模型标准、数据编码、数据访问和交换标准、数据安全标准、数据更新标准等在内的一系列数据管理标准。数据中心是流域开发管理信息汇集、存储与管理、交换和服务的中心,由高性能、大容量、智能化的网络存储设备构成,通过有序汇集和管理流域基础信息数据,提供数据服务。

3.2 信息服务平台

信息服务平台是雅砻江流域数字化平台信息资源的管理者,也是服务的提供者。信息服务平台由数据仓库、知识库、模型库和数据存取接口、服务中间件、虚拟仿真环境等部分组成。信息服务平台是一个开放的资源共享和应用集成以及可视化表达的公用服务平台,是业务应用的重要支撑,是实现雅砻江流域数字化平台资源共享、统一标准的保障。

3.3 业务应用

根据流域开发管理的需要,雅砻江流域数字化平台的业务应用系统包括:流域基础地理信息与枢纽三维可视化交互平台,水电工程建设信息管理与决策支持系统,水电站运行信息管理与决策支持系统和流域开发综合信息管理与决策支持系统。通过集成各业务应用系统,建设流域重大问题决策会商平台,为决策者提供虚拟可视化交互环境和各个业务应用系统的专业分析结果,对流域开发的重大问题、矛盾冲突等进行会商决策。

3.3.1 流域基础地理信息与枢纽三维可视化交互平台

以雅砻江流域空间数据为基础,应用大范围 DEM 数据、遥感影像数据、航拍数据和地形、河流、道路、水电工程等数据及实景照片资料,采用建模软件实现雅砻江流域范围地形地物和工程建筑物的建模,建立以三维可视化、信息查询、仿真模拟为目标的三维可视化交互平台,实现相关数据的可视化集成管理,提供业务管理及决策支持虚拟现实环境。流域基础地理信息与枢纽三维可视化交互平台是其他应用系统开发的基础平台,通过流域和工程建筑物、设备的虚拟漫游,系统本身可以用于虚拟踏勘、汇报演示、快速熟悉工程及设备的培训等方面,将提高工程考察和设计工作效率、增强汇报展示效果、改善培训效果、促进信息沟通、提升企业科技形象。

3.3.2 水电工程建设信息管理与决策支持系统

水电工程建设信息管理与决策支持系统结合水电工程施工过程,实现对工程属性静态信息和施工过程动态信息的管理,对施工计划和进度、施工质量、合同和投资、施工安全、机电设备安装、物资运输等进行可视化管理。系统所需信息包括建筑物结构设计、单元工程划分、空间位置等静态信息;以及记录施工过程各种指标和数据变化过程的动态信息,如混凝土施工的温控、质量检测、安全监测、设备物资运输位置等各种信息,并对各种信息加以分析利用,实现施工过程仿真、形象进度的对比分析、质量监控、投资分析、设备物资及材料运输跟踪等功能,可以全面直观地反映工程建设情况,便于设计交底和施工方案预演等,可以辅助施工过程的实时监控,并为工程管理决策提供支持,还可以用于施工培训、工作汇报沟通等方面,有利于提高工程建设管理的水平。

3.3.3 水电站运行信息管理与决策支持系统

水电站运行信息管理与决策支持系统按照数字化电站的要求,通过全面采用信息技术,以计算机监控系统、视频监控系统、设备在线监控系统等为基础,实现电站信息方便的可视化查询与分析管理。水电站运行管理与决策支持系统承接建设期逐步形成的水电工程建筑物及设备设施三维数字化模型,集成生产运行管理的相关基础信息,包括工程建筑物和设备空间位置和结构、基本属性和图纸、设备实时运行状态、巡检记录、历史缺陷和检修交待、备品备件库存、安全监测等信息,并对信息加以挖掘和利用,结合远程和移动应用,可以用于生产人员快速熟悉电厂设备设施和安装检修过程的培训、辅助设备的巡检和检修维护管理、运行值班的状态分析和远程监控、应急演练等方面,能有效提高生产效率,并对生产管理的决策提供有效支持,有利于提高水电厂生产管理的水平。

3.3.4 流域开发综合信息管理与决策支持系统

除水电工程施工或水电站运行管理涉及的工程枢纽区域外,在大尺度的流域空间内,存在与流域开发管理相关的重要信息,如区域内水文气象、调度运行、地质灾害风险、环境保护对象、移民实物指标和安置规划等,对这些信息的管理和分析应用将对梯级水电站的运行调

度、公共安全管理、环境保护、移民安置等发挥重要作用。流域开发综合信息管理与决策支持系统主要包括:流域水情预报与梯级电站联合优化调度决策支持系统,流域公共安全信息管理与决策支持系统,流域环保水保信息管理与决策支持系统和流域征地移民信息管理与决策支持系统。

3.3.4.1 流域水情预报与梯级电站联合优化调度决策支持系统

流域水情预报与梯级电站联合优化调度决策支持系统利用基础地理信息和流域水文预报、水流模拟技术,实现高精度水情测报和梯级水电站群优化调度及调度效益评估等目标,提高流域梯级系统调度安全性和综合利用效益。系统所需的基础信息包括水情和雨情、河道地形和库容特性、调度约束条件等。系统可实现基于数字流域的水文模拟预报、梯级联合调度优化计算,利用流域基础地理信息系统和工程三维数字化模型,对水情测报过程和调度方案进行三维动态演示,可更方便地对比不同的预报和调度方案,可以辅助调度方案决策和解释上报,争取获得最优的梯级调度方案。

3.3.4.2 流域公共安全信息管理与决策支持系统

流域公共安全信息管理与决策支持系统结合流域安全应急指挥系统建设的需要,通过对区域地质构造等风险源的基础信息,降雨、水情和工程安全监测等实时的监控信息,应急物资储备等资源信息和人口、交通等综合信息的集成管理和应用,可以进行灾害风险评价和危险区划,对灾害可能造成的危害程度进行分级,实现工程和流域安全的预警预报,利用流域基础地理信息与枢纽三维可视化交互平台进行平时的虚拟应急预案演练和突发情况下应急救援方案的沙盘推演辅助决策;利用灾害发生前后地形地貌的变化资料对灾情进行快速评估。系统可为流域防灾应急演练、突发灾害应急指挥、灾害综合治理方案决策提供支持,帮助企业提升安全和应急管理水平。

3.3.4.3 流域环保水保信息管理与决策支持系统

流域环保水保信息管理与决策支持系统在常规生态环境和水土保持监测的基础上,辅助遥感和全球定位系统等环境信息采集手段,获取环境保护对象和设施的空间、属性与状态信息和建立生态环境信息库,在流域基础地理信息系统和工程三维数字化模型的基础上集成各种环境管理对象的空间、属性信息,随时间变化的状态信息等,可以实现直观的环境要素信息监控和分析、生态环境景观仿真、生态系统分析和评价、环境演化趋势预测、生态保护成果管理与展示等功能,为流域水电开发环保水保管理提供决策支持服务,同时也用于公司环保水保宣传和汇报展示,帮助企业提高环保水保管理水平。

3.3.4.4 流域征地移民信息管理与决策支持系统

流域征地移民信息管理与决策支持系统基于流域三维地理信息可视化平台,集成管理征地移民实物指标信息、移民搬迁安置过程跟踪信息、水库蓄水进度及人口社会经济数据、移民设施建设信息等各种征地移民相关的空间数据和非空间数据。系统实现直观的三维漫游、淹没区分析、实物指标调查和数据管理、移民安置规划方案分析、移民数据查询和统计报表等功能,应用于移民安置规划方案决策支持及移民搬迁安置的跟踪管理,以及移民工作宣传和汇报展示,方便企业与政府和公众的信息沟通,能够帮助提高企业征地移民工作管理水平。

4 雅砻江流域数字化平台与企业信息化建设的关系

4.1 雅砻江流域数字化平台是企业信息化的组成部分

水电企业的信息化建设可分为三个层面,分别是基础数据管理信息化,业务流程管理信息化和辅助管理与决策支持信息化。基础数据管理信息化是建立数据采集系统和数据库,把某一部分专业基础信息采集和管理起来,实现分析查询等信息管理功能,如安全监测信息管理系统、流域水情测报系统、电站计算机监控系统等,是水电企业信息化的重要基础。业务流程管理信息化是将企业管理审批流程在计算机和网络上实现,能严格按照规定流程执行操作,历史过程文件方便可查,如办公自动化系统、工程建设管理信息系统和生产管理信息系统等,帮助管理者高效和规范地实施管理决策审批。辅助管理和决策支持信息化是通过三维可视化虚拟环境以及对基础数据和业务流程信息的集成管理和挖掘利用,提供直观高效的辅助管理和决策信息支持服务,帮助管理者及时作出科学的决策和进行过程管理实时控制。

雅砻江流域数字化平台是在企业信息化第三个层面上开展辅助管理和决策支持信息化建设的一次重要探索。未来系统实际使用过程中,流域开发管理人员首先通过雅砻江流域数字化平台,利用流域基础信息分析的决策支持功能在虚拟现实环境下作出管理决策,再到业务流程管理信息化系统中去完成实施决策所需的管理流程。

4.2 已有信息化系统是雅砻江流域数字化平台建设的重要基础

在雅砻江流域数字化平台建设目标提出之前,雅砻江公司已经和正在开展各种信息化系统建设,已经实现了部分流域基础信息的采集、传输、存储和数字化管理,流域各工程和公司总部间的通信网络已基本形成,工程建设管理信息系统和生产管理信息系统实现了工程建设管理和电力生产管理相关业务流程的信息化,相关信息化系统为雅砻江流域数字化平台建设奠定了基础。

雅砻江流域数字化平台建设需充分利用已有信息化系统形成的信息资源和通信网络,通过数据接口实现与其他信息化系统的数据共享,并根据实际需要补充一些流域重要基础数据的采集功能,使得数字化平台具有全面的信息采集和感知能力;在管理丰富的流域基础数据的基础上,数字化平台要对有关数据进行深入的挖掘应用,具备强大的数据分析处理能力,能够更自动地实现预警预报等服务功能;在流域基础地理信息系统和枢纽建筑物三维数字化交互平台的虚拟现实环境下,更直观地展现基础数据及其分析成果、工程重要工作和状态变化过程,虚拟推演和对比分析不同实施方案,可以提供更有力的决策支持;结合远程和移动终端的应用,可以更为便利地利用信息资源,为关键的工作过程管理提供辅助工具。

5 雅砻江流域数字化平台建设原则、实施方式和进度安排

5.1 建设原则

雅砻江流域数字化平台是一项复杂庞大的系统工程,建设应遵循“统一规划、分步实施、急用先行、试点推广”的原则。

雅砻江流域水电开发有限公司前期已组织开展了数字化平台建设总体规划,并以规划内容为基础组织申报了国家“十二五”科技支撑计划“数字流域关键技术”项目“雅砻江流域数字化平台建设及示范应用”课题(课题编号:2013BAB05B05)。国家正式批复的课题任务

书是雅砻江数字化平台建设规划的最终指导性文件,明确首期将在 2016 年前初步完成雅砻江流域数字化平台的试点建设和示范应用。

流域基础地理信息与枢纽三维可视化交互平台是各个应用系统开发的基础,也是制约整个平台建设进度的关键,雅砻江公司已先行推动相关工作,与雅砻江流域主要水电项目的勘察设计单位——成都勘测设计研究院共同推进了流域三维空间基础地理信息系统和试点项目枢纽三维数字化模型的建设工作。

由于国内外还没有流域水电开发数字化管理的成熟经验,初期需要借助国家科技支撑计划课题实施进行试点建设和示范应用,验证技术方案的可行性,而实现技术路线的全面贯通,需要选择一定的流域和工程范围作为试点区域,试点成功后再向全流域推广。其中,水电工程建设信息管理与决策支持系统结合雅砻江中游两河口水电站开展试点;水电站运行信息管理与决策支持系统结合雅砻江下游锦屏一级水电站开展试点;流域开发综合信息管理与决策支持系统结合雅砻江中下游流域开发管理开展试点。

5.2 实施方式和进度安排

雅砻江流域数字化平台是典型的应用导向型信息化系统,雅砻江公司是平台的应用主体,公司业务管理人员对于自身应用需求最为了解,需要在平台开发的方案设计和实施过程控制中发挥关键作用,以保证系统的实用性。因此,雅砻江流域数字化平台的实施方式为:雅砻江公司主导完成各应用系统规划设计,确定需求和解决方案;统一建设流域基础地理信息和枢纽三维可视化平台;通过招标确定建设单位,在三维可视化平台上分别开发各应用系统并进行整合集成。

根据雅砻江流域数字化平台建设总体规划和国家科技支撑计划课题任务书安排,雅砻江公司将在 2014 年上半年前基本完成流域基础地理信息和枢纽三维可视化平台建设,并完成数字化平台框架和数据标准体系设计,完成各应用系统规划设计,启动应用系统开发招标工作;2014 年内完成各应用系统建设招标,确定应用系统建设单位,开始系统开发工作;2015 年底前完成各应用系统建设和数字化平台整合集成工作;2016 年以后根据试点和示范应用情况推广建设数字化平台,并持续开展运行维护服务。

6 雅砻江流域数字化平台建设关键技术问题

雅砻江流域数字化平台建设涉及大量的基础信息采集、挖掘应用和物理过程模拟分析,要实现提升管理水平、创造社会经济效益的目的,结合目前相关领域的研究现状,需要研究解决一系列关键技术问题。

6.1 多源、多时空海量数据采集与融合管理技术

雅砻江流域数字化平台所需的多源、多时空海量数据,如流域地理信息、水情气象信息、工程监测信息、设备状态信息、电网约束信息等获取技术;海量异构数据的存储管理和融合表达技术,包括各种数据信息存储方式以及在三维虚拟现实环境下的综合表达方法。随着数据量的爆炸性增长,数据安全性、数据分析能力、数据处理灵活性等问题更显突出,数据采集与融合管理的难度不断增大,成为雅砻江流域数字化平台建设的关键技术问题。

6.2 流域陆气耦合高精度分布式水文预报模型

水情预测预报是流域水资源开发利用、梯级水电优化运行、充分发挥电站经济效益的基础。现有预报方法和模型对流域水情变化规律描述在过程模拟、水沙来源模拟等方面存在

不足,预见期受降水汇流过程制约,模型参数率定困难。雅砻江流域数字化平台建设获取的流域地形地貌信息可以应用于分布式水文模型以及水流模拟模型,将提供更多的流域下垫面基础信息,可用于短期洪水预报和中长期径流预测,结合现代气象预报技术,可提高流域水情预报的准确性和精度,延长预见期,将丰富梯级水电调度的基础信息,有利于优化调度的实施。应用3S技术,建立与地理信息系统耦合的流域水文和水流模型,摸清流域产汇流规律,制订科学合理的预报方案,实现高水平的水情预报是需要研究解决的重要问题,也是创造经济效益的关键。

6.3 复杂市场环境下梯级电站联合优化调度技术

流域梯级水电站群联合优化调度需兼顾防洪、发电等传统效益与河流生态环境效益等,约束条件众多,是一个大规模、多尺度、多目标、强耦合的复杂非线性约束优化问题,求解极其困难。雅砻江下游在建的梯级电站将在2015年前后全部投产,电力同时供应川渝和华中、华东地区,且梯级电站调度主体包括四川省电网和国家电网,面临复杂的市场环境。为实现流域内梯级补偿,提高系统的可靠性及综合利用效益,需要开展雅砻江流域梯级水电站群复杂市场环境下梯级联合优化调度技术研究。充分考虑电价、调峰、调频等因素,建立流域梯级联合发电优化调度模型,研究多种高效、可行的优化算法,制定中长期优化调度规则,开发实时发电优化调度系统,搭建基于WebGIS的梯级水电站群联合调度可视化决策支持平台,指导整个梯级水库群的运行管理。

6.4 流域高坝群安全监控与预警预报技术

随着流域高坝大库水电工程的建设,对工程安全监控技术也提出新的要求,复杂环境下部分敏感信息缺乏有效的监测手段,或现有监测手段难以适应工程提出的更高要求,如高速水流达40 m/s以上泄洪洞空化空蚀敏感量识别与探测技术,高地应力、高水压、超长水工隧洞长期监测敏感量识别与探测技术等。为保障梯级枢纽安全,对于重要的结构建筑,要实时掌握其工作性态,必须加强在线监测、状态诊断和预警预报。基于智能传感器实时采集的振动、变形、位移等监测数据,开发远程状态诊断系统进行数值模拟和状态诊断,提出安全控制指标和预警规则,对于水电站安全运行具有重要意义。

6.5 水电工程全生命周期管理技术

大型流域水电开发涉及梯级水电站规划、设计、建设和运行管理全过程,由一个整体目标框架下许多相对独立而又相互关联的管理目标组合而成,具有管理对象的综合性、多样性和多时空分散性等特点。构建基于流域大型水电站群全生命周期管理的雅砻江流域数字化平台,需要全面梳理流域水电开发管理的关键要素和各时期管理的特点,形成科学完整的系统架构。

7 结论与展望

雅砻江流域数字化平台是独立于现实雅砻江之外的一条虚拟的雅砻江,不但可以虚拟再现真实的雅砻江及各种丰富的基础信息,提供可视化的信息服务和决策支持功能,还可以超越时空限制在虚拟的雅砻江上进行多种方案的演练模拟,承担现实中不能完成的任务。雅砻江流域数字化平台建设是国家提高水资源调控、水利管理和工程运行信息化水平的要求,也是雅砻江公司全面提高流域开发管理决策科学性和管控效率、提升企业核心竞争力的内在需要。