

北京段南水北调实时水量调度系统设计与开发

张弘

(大连市排水处, 辽宁 大连 116011)

摘要: 南水北调中线全线通水后, 北京市将形成复杂的供水系统。为适应新的供水系统, 基于 J2EE 分层架构, 开发了北京市实时水量调度系统。针对中线实际水量调度的情况, 阐述了实时水量调度系统的设计思想、关键技术以及对水动力学模型接口的封装, 展示了实时水量调度系统结合 GIS 平台与 Flash 的实现方案。该系统技术先进、实用可靠、界面友好, 集地理信息系统、计算、显示、查询为一体, 将为实时水量调度提供有效的技术支持。

关键词: 北京段南水北调; 实时水量调度系统; 水动力学模型; J2EE

中图分类号: TV 68 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)04-0760-05

Design and development of real time water quantity dispatching system of South to North Water Diversion Project in Beijing

ZHANG Hong

(Dalian Municipal Drainage Department, Dalian 116011, China)

Abstract: After the Middle Route of South to North Water Diversion Project has been constructed, a complex water supply system will be formed in Beijing. In this paper, the real time water quantity dispatching system of Beijing was developed based on J2EE layered architecture to adapt to the new water supply system. In view of the actual water quantity dispatching, the design concept and key technology of real time water quantity dispatching system, and the packaging of hydrodynamic model interface were described. The realization scheme of real time water quantity dispatching system based on GIS platform and Flash were displayed. The system is technologically advanced, practical and reliable, and user friendly. It combines the geographic information system, calculation, display, and query as a whole, which can provide effective technical support for real time water quantity dispatching.

Key words: South to North Water Diversion Project of Beijing; real time water quantity dispatching system; hydrodynamic model; J2EE

南水北调中线工程是解决我国北方地区水资源严重短缺, 实施我国水资源优化配置的特大型基础设施项目^[1]。2014年, 北京市开始接纳来自南水北调中线工程的外调水。届时, 北京市将形成“26213”的供水格局, 即由两大动脉(南水北调中线总干渠和密云水库至第九水厂输水干线)、六大水厂(第九水厂、田村水厂、第八水厂、第三水厂、第十水厂、郭公庄水厂)、两个枢纽(团城湖调节池和大宁调压池)、一条环路(以五环路为环带的供水环路系统)和三大应急水源地(怀柔地下水应急水源地、平谷地下水应急水源地和张坊应急供水工程)组成的复杂供水系统^[2], 图1。目前, 北京市调水部门未将南水北调纳入水量调度系统, 中线全线通水后, 现有的调度系统无法完成准确、高效的调度。因此, 北京市



图1 北京市南水北调供水格局

Fig. 1 The water supply pattern of South to North Water Diversion in Beijing

收稿日期: 2014-08-08 修回日期: 2015-05-22 网络出版时间: 2015-07-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150723.1241.013.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379027; 51109025); 中央高校基本科研业务费专项(DU T13JS06)

作者简介: 张弘(1981-), 女, 辽宁大连人, 工程师, 主要从事城市水环境、城市排水等方面研究。E-mail: jinsifan@mail.dlut.edu.cn

供水调度部门急需建立一套实用、可靠、先进的实时水量调度系统,为调度人员提供灵活、方便的计算分析手段。

本文根据调水部门的迫切需要,建立了北京市实时水量调度系统。该系统以 J2EE 分层架构为基础,以水动力学模型为核心,把边界条件、控制条件、可变参数及模拟结果简化到网页界面中,使用者只需输入当前的调度状态与配水方案,在较短时间即可完成调度计算以及结果分析,从而为决策者提供决策支持。

1 系统设计

1.1 系统设计的原则

实时水量调度系统是为方便实际调度而研制的。在计算准确、快速的前提下,必须以使管理、决策人员能直接操作使用为目的,具备操作简便、容错功能强、显示信息全面、分析综合性强等特点^[3]。用户不必掌握水动力学模型的计算方法等专业性强的知识,只需根据界面的逐步提示,通过鼠标、键盘等简单操作,就可进行实时调度计算。计算成果应当在时间、空间多个维度采用图文并茂的方式进行展现,且内容全面,重点突出,直观易懂。此外,系统应具备二次开发和与其他系统相联接的接口。

1.2 系统的开发平台及关键技术

(1) 开发平台。

系统采用 JAVA 企业级应用平台 J2EE 作为开发平台,程序员只需进行业务逻辑的开发,其它与系统开发、部署和管理等相关的复杂问题得以简化,从而提高了开发效率,系统性能也得到很大提高^[4-5]。同时,系统对 Google Maps API 进行二次开发,通过 GIS 平台将 Google Map 服务器上的免费在线地图资源与本地矢量数据无缝集成为一个统一的空间数据环境,极大地丰富了系统的信息量和表现力^[6-7]。

(2) 关键技术。

系统利用 Java 跨平台语言并结合 JavaScript、JSP、AJAX 等技术设计开发服务器端应用程序与客户端用户界面,同时以 Tomcat 为 J2EE 服务器,使系统能广泛适用于 Windows、Linux 等操作平台。对于客户端用户来说,只需安装 Flash 插件即可,而升级与日常维护等工作均在服务器端完成,与客户端无关,减少了用户的工作量^[8]。系统完成后: 1 克服了以往数据成果和空间位置相脱离的情况; 2 克服了以往水动力学模型软件操作复杂,专业要求高的弊端,利用 JAVA 和 C++ 的混合编程,将水动力学模型进行封装,通过界面的简单操作即可实现模型计算及综合分析; 3 实现了图形曲线和表格数据的联动显示功能; 4 在 WEB GIS 平台中预留了与实时监测信息的接口,为以后接入实时监测系统做准备。

1.3 系统的总体设计

北京市南水北调实时调度系统的总体架构见图 2。从中可以看出,系统从逻辑上分为 5 层:数据层,数据持久层^[9],业务逻辑层,控制层和客户端;物理上部署在 4 个位置:本地数据部署在数据库服务器,互联网数据部署在 Google 地图服务器,业务逻辑层、控制层和数据持久层部署在 J2EE 服务器,客户端部署在客户端。客户端是用户与系统交互的界面,主要包括 Web 浏览器和 Flash 控件,负责用户请

求的接收与服务器端反馈信息的显示;控制层采用 Java Servlet 接收和处理客户层传递的用户请求,分配到相应的业务逻辑层组件进行处理,并将处理结果封装成 JSP 页面返回给客户层;业务逻辑层是整个系统的核心部分,包括水动力学模型和 GIS 平台,负责接收控制层传递的客户请求,执行模型运算等逻辑操作,并将数据返回数据持久层或控制层;数据持久层采用 Hibernate 对数据层进行封装,将数据库中的数据映射成持久化对象,实现业务层和数据层的分离^[10];数据层分为本地数据和互联网数据,其中互联网数据通过对 Google Maps API 的二次开发,接受 Google 地图服务器提供的数据。

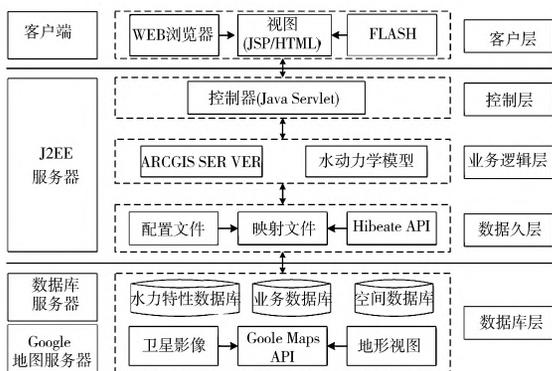


图 2 系统总体架构

Fig. 2 Overall framework of the system

1.4 系统的功能设计

北京市南水北调实时调度系统的功能主要分为三部分:

(1) 实时调令制定; (2) 综合数据库管理; (3) 工程信息查询,其功能结构见图 3。从图中可以看出:实时调令制定包括调度指令计算与调度指令模拟,是整个实时调度系统的核心。其中,调度指令计算是指系统根据调度规则、当前的配水方案以及目标配水方案,依据闸门特征曲线,计算闸门开度变化,即调度指令。调度指令模拟是指根据水动力学模型、当前的管网水头信息以及调度指令,模拟管网中水头、流量等数据的变化过程,为选择合理的调度方案提供科学依据,即为调度工作提供决策支持。综合数据库管理主要实现调度模型参数、GIS

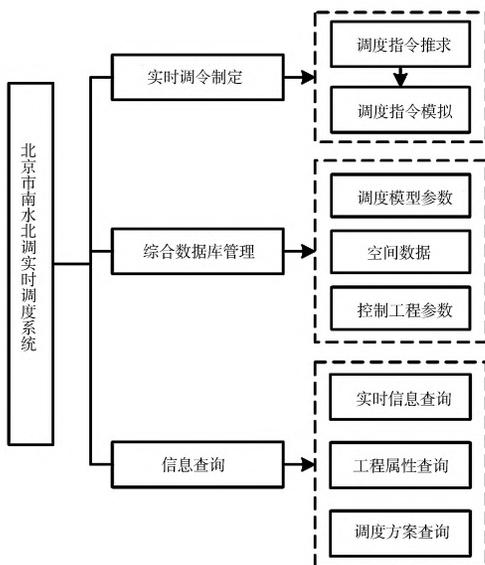


图 3 系统功能结构

Fig. 3 Functions of the system

空间数据、控制工程参数等信息的增加、删除、修改等。信息查询包括实时信息查询、工程属性查询以及调度方案查询等,其中管网实时信息查询分为 GIS 查询与示意图查询。

1.5 系统数据库设计

系统涉及到的数据主要包括管网高程数据、分水口特性数据、闸门特性数据、空间数据、模型参数数据及模型计算成果数据等,其中空间数据存储在 Geodatabase 数据库中,通过 GIS 平台进行管理,其它属性类数据采用 MySQL 进行管理。从数据安全的角度出发,管网高程数据、分水口特性数据、闸门特性数据等基础数据和实测数据存储在水利特性数据库中;模型参数数据、模型计算成果数据等存储在业务数据库中。

2 系统模型接口

水动力学模型是系统实现实时调度功能的核心,模型以可执行文件的形式嵌入到系统中,部署在服务器端。系统采取策略模式^[1]将管网的水力特性参数、拓扑结构以及调度规则等封装在具有共同接口的独立类中,有效避免了系统升级需对现有程序进行大量修改的问题。同时,系统采用接口通讯技术^[2],通过模型接口调用水动力学模型,将系统与模型程序分离,进而使得水动力学模型的改进、更新与系统的维护、升级和改造更加简单、快捷。

图 4 所示为实现管网水力特性的策略模式类结构图。HydParameter 类定义了所有关于管网水力特性的接口,其各个子类具体实现了不同工况下管网水力特性的封装。ParameterPump 类继承 HydParameter 类并实现启用惠南庄泵站时的管网水力特性的封装,ParameterArtesian 继承 HydParameter 类并实现关闭惠南庄泵站自流时的管网水力特性的封装,ParameterJM 继承 HydParameter 类并实现考虑京密引水渠时管网水力特性的封装。LoadParameter 类实现对 HydParameter 对象的引用,并负责分析管网水力特性数据。若系统需要增加其它的工况时,只需要增加一个继承了 HydParameter 类并实现了相关管网水力特性封装的子类即可,而所有的类都不用修改。

中,系统通过改变管网的颜色提示管道是否有水,并对超过安全水头的区域予以高亮警示。此外,系统还通过箭头提示用户管道中水流的方向。



图 5 基于 GIS+ Google 的实际地形

Fig. 5 The actual topographic map based on GIS+ Google

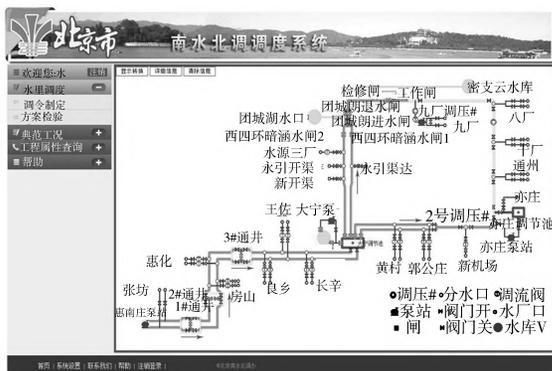


图 6 基于 Flash 的工程示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the project based on Flash

3.2 实时水量调度

实时水量调度是本系统的核心功能,也是日常操作中使用最频繁的功能,具体流程见图 7。从中可以看出,进行实时水量调度时,首先用户在客户端输入当前的调度情况以及配水方案;然后系统将输入信息发送至服务器端,进行水量平衡验证;接着系统根据闸门属性计算闸门开度过程,同时,系统自动调用已封装的各类属性信息,进行数据分析;再与客户端输入信息以及闸门开度过程一起作为水动力模型的

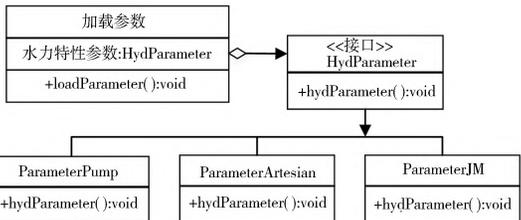


图 4 策略模式在模型参数中的应用

Fig. 4 Application of strategy pattern in the model parameters

3 系统实现

3.1 工程信息查询

系统将数据成果与空间位置信息相结合,提供两种方式查询管网的实时运行信息。(1) 基于 GIS+ Google 的实际地形图(图 5);(2) 基于 Flash 的工程示意图(图 6)。接入实时监测系统后,用户可以通过点击对应的分水口,查询分水口的实时水头、流量以及分水口的工程特性等信息。实际运行

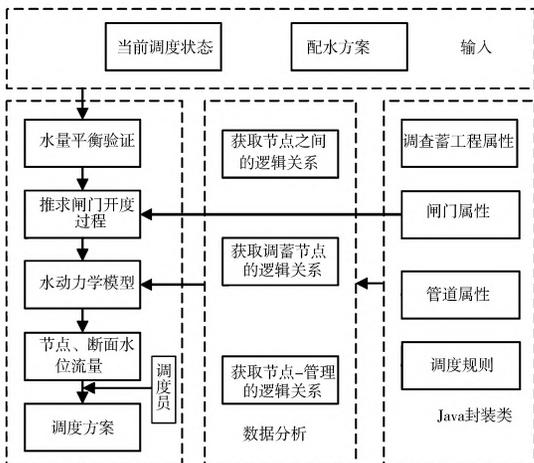


图 7 实时水量调度流程

Fig. 7 Real-time water quantity dispatching process

输入条件,通过水动力模型对管网进行仿真模拟;最后,调度员根据模型模拟的结果制定调度方案。具体页面见图 8,用户只需输入当前系统的调度状态以及配水方案,点击鼠标,即可完成调度计算,避免输入大量数据造成失误,同时提高了调度效率。



图 8 实时水量调度界面

Fig. 8 Real time water quantity dispatching interface

3.3 调度成果查询

调度成果查询主要基于 Flash 和 AJAX 开发,用户可通过动画、图形以及报表等形式查看调度成果。

(1) 正常运行工况。

正常运行时,即惠南庄泵站开启,整个管网系统通过控制与大宁蓄水池相连的 5 个闸门来调节水量平衡。用户主要关注管网中各段的水头随时间变化的情况,系统通过 Flash 动画的展示各分段水头随时间变化过程,图 9。用户可以查询某一时段管网水头分布,也可以直接观看水头变化过程的动画。

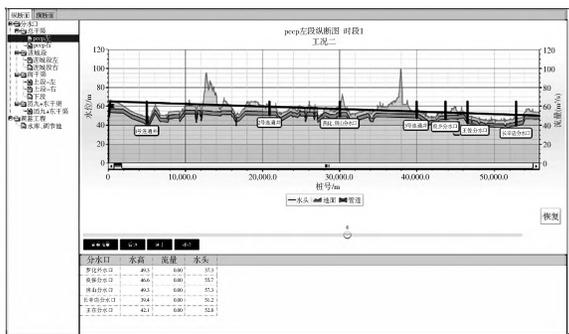


图 9 纵段水头变化

Fig. 9 Water head variation of longitudinal section

(2) 自流工况。

自流输水时,管网以小流量输水,关闭惠南庄泵站,改为自流,通过调节闸门来控制大宁调节池的水位,进而调节供需水平衡。用户主要关注大宁调节池的水位变化,系统以图表结合的方式展示大宁调节池水位随时间的变化,图 10。

(3) 汛前抽水工况。

汛前抽水时,大宁调节池与大宁水库之间的泵站开启,以一定的流量将大宁水库的水抽出,输入整个管网,直至大宁水库降至汛限水位。该工况通过控制大宁泵站抽水量以及与大宁调节池相连的 4 个闸门来调节水量平衡,用户主要关注大宁水库、大宁调节池以及团城湖的水位变化以及三者

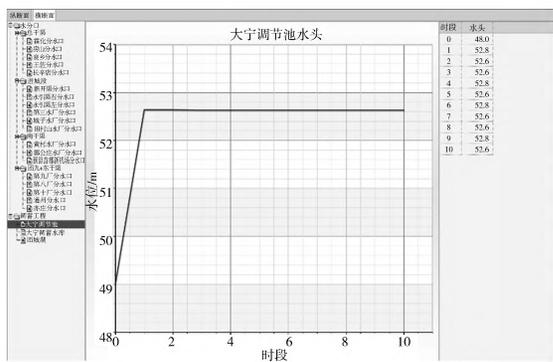


图 10 大宁调节池水位变化

Fig. 10 Water level variation of Daning regulation pool

之间的水位差。系统以图表结合的方式展示三者水位变化,以动画的方式对比三者的水位相对变化,见图 11、图 12。

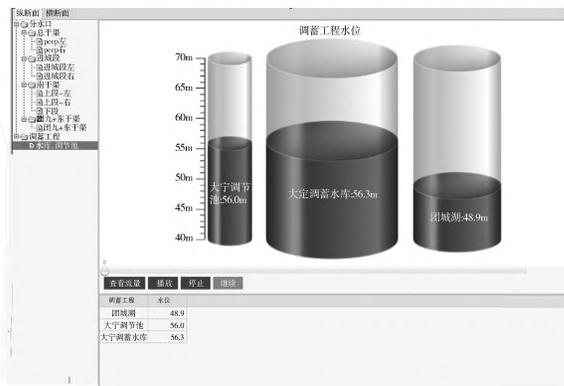


图 11 调蓄工程水位对比

Fig. 11 Comparison of water levels of different storage projects

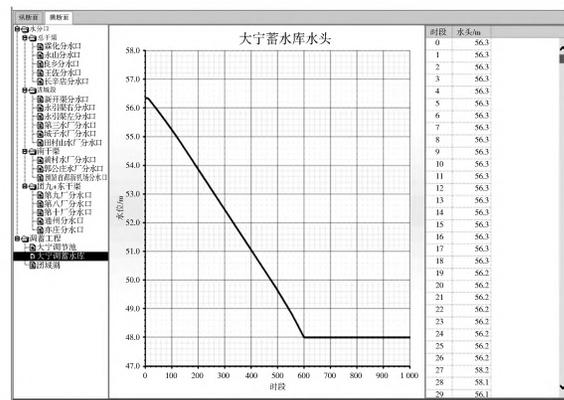


图 12 大宁水库水位变化

Fig. 12 Water level variation of Daning reservoir

(4) 汛后蓄水。

汛期过后,需要将大宁水库蓄至正常蓄水位,通过控制大宁调节池与大宁水库之间的闸门,来调节大宁水库的进水量,同时通过调控与大宁调节池相连的 4 个闸门,调节整个管网的水量平衡。该工况用户主要关注的情景与汛前抽水相同。

4 结语

本文从调度工作的业务需求出发,以一维水动力学模型为核心,采用 J2EE 作为系统的开发平台,结合 GIS 平台的矢

量数据与 Google Map 中网络地图资源,应用 JavaScript、JSP、AJAX 以及 HTML5 等先进的网络界面技术,开发了北京市南水北调实时水量调度系统。系统在建立时充分考虑了用户需求,将操作界面及流程简化,使用者利用简单的界面操作就可以进行管网调度模型计算。系统界面友好,操作简单,功能齐全,可为南水北调水进京后的调度工作提供如下技术支撑:(1)以管网工情实时监视为核心的管网调度的数字化管理;(2)以不同工况下管网实时调度的仿真模拟为基础的决策支持。

参考文献(References):

[1] 王银堂,胡四一,周全林,等.南水北调中线工程水量优化调度研究[J].水科学进展,2001,12(1):72-80.(WANG Yir tang, HU Sr yi, ZHOU Quar lin, et al. Optimal water operation for the Water Transfer Project from South to North (Middle Route)[J]. Advances in Water Science, 2001(1): 72-80. (in Chinese))

[2] 章燕喃,田富强,胡宏昌,齐子超.南水北调来水条件下北京市多水源联合调度模型研究[J].水利学报,2014(7):844-849.(ZHANG Yar nan, TIAN Fu qiang, HU Hong chang et al. Joint operation model of multiple water sources in Beijing[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014(7): 844-849. (in Chinese))

[3] 周潮洪,常守权.永定河实时调度系统的建立[J].水利学报,2003(8):101-104,110.(ZHOU Cha o hong, CHANG Shou quan. Establishment of real time flood dispatch system of Yongding River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003(8): 101-104, 110. (in Chinese))

[4] 陈炼钢,施勇,钱新,等.J2EE耦合GIS&FLEX的淮河流域水环境预警与管理系统研发[J].水力发电学报,2013,2:108-113.(CHEN Lian gang, SHI Yong, QIAN Xin. Et al. Water environment early warning and management system for Huai River basin based on J2EE coupling of GIS and FLEX[J]. Journal Of Hydroelectric Engineering, 2013, 2: 108-113. (in Chinese))

[5] 陈云华,曾碧,曾洪周.基于J2EE与ArcGIS的测绘成果管理系统研究与实现[J].微电子学与计算机,2011,28(1):83-87.(CHEN Yun hua, ZENG Bi, ZENG Hong-zhou. Research and implementation of surveying and mapping production management system based on J2EE and ArcIMS[J]. Microelectronics & Computer, 2011, 28(1): 83-87. (in Chinese))

[6] 江宽,龚小鹏.Google API开发详解[M].北京:电子工业出版社,2010.(JIANG Kuan, GONG Xia o peng. Detailed explanation of google API development[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010. (in Chinese))

[7] 李垠,左德霖,侯建明,等.基于Google Map的地震综合信息服务系统构建研究[J].大地测量与地球动力学,2011,31(S1):118-121.(LI Yin, ZUO De lin, HOU Jiar ming, et al. Research on comprehensive earthquake information service system based on Google Map[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011(S1): 118-121. (in Chinese))

[8] 程春田,申建建,武新宇,等.大规模水电站群短期优化调度方法0:应用软件系统[J].水利学报,2012,43(2):160-167.(CHENG Chur tian, SHEN Jiar jian, WU Xir yu. et al. Short term optimal operation methods of large scale hydropower plants IV. Decision support system[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(2): 160-167. (in Chinese))

[9] 王国利,彭勇,何斌,等.基于B/S+C/S模式的防洪调度决策支持系统研究及其应用[J].大连理工大学学报,2010(2):258-263.(WANG Gu o li, PENG Yong, HE Bin, et al. Study of B/ S & C/ S-based flood control decision making support system and its application[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2010(2): 258-263. (in Chinese))

[10] 梁国华,李娜,彭勇,等.基于Hibernate的辽河流域防洪调度系统[J].水利水电科技进展,2008,28(6):62-65.(LIANG Gu o hua, LI Na, PENG Yong, et al. Flood control system for Liaoh e Basin based on the Hibernate framework[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(6): 62-65. (in Chinese))

[11] 彭勇,周惠成,梁国华.洪水预报调度软件的设计模式研究[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(9):179-183.(PENG Yong, ZHOU Hu i cheng, LIANG Gu o hua. Desgin pattern for the software of flood forecast and operation[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(9): 179-183. (in Chinese))

[12] 程春田,廖胜利,武新宇,等.面向省级电网的跨流域水电站群发电优化调度系统的关键技术实现[J].水利学报,2010,41(4):477-482.(CHENG Chur tian, LIAO Sheng-li, WU Xir yu, et al. Key technologies to optimize operation system for large scale hydropower stations in provincial power grid[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(4): 477-482. (in Chinese))

(下接第 812 页)

[13] Kheder G F, Rawi R S A, Dhahi J K A. Study of the behavior of volume change cracking in base restraint concrete walls[J]. ACI Materials Journal, 1994, 91(2).

[14] 蔡建波.用杂交元求解有冷却水管的平面不稳定温度场[J].水利学报,1984(5):18-25.(CAI Jian bo. With hybrid element solving plane unstable temperature field of cooling water pipe

[J]. Journal of water conservancy, 1984(5): 18-25. (in Chinese))

[15] 李菊根.有限元外推法及其在温度场计算中的应用[J].水电站设计,1993,9(2):36-36.(LI Ju gen. Finite element extrapolation method and its application in temperature field calculation[J]. Journal of hydroelectric power station design, 1993, 9(2): 36-36. (in Chinese))