

# 引黄工程水力学仿真系统研究

赵喜萍

(山西省万家寨引黄工程管理局)

**摘要:** 本研究以大型跨流域梯级引水工程——万家寨引黄工程为背景, 针对该工程“等流量控制”的运行原则要求, 不仅要实现具有自动监测、控制和数据获取的 SCADA 系统; 而且要基于该 SCADA 系统并通过水力学动态仿真来解决整个工程的预测控制及优化调度的问题.

**关键词:** 引黄工程, 水力学仿真, 研究

## Hydraulic Simulation System Research for Yellow River Diversion Project

Zhao Xiping

(ShanXi WanJiaZai Yellow River Project Corporation, Wanjiazai, 030012, ShanXi, China)

**Abstract:** This research based on the background of Yellow River Diversion Project ---one of the largest cascade inter-basin water diversion project in China. The operation of the project aimed at "flow control requirement", not only to achieve the automatic monitoring, control and data acquisition SCADA system, but also through hydraulics dynamic simulation to provide optimization and predictive control solution.

**Key Words:** Yellow River Project, Hydraulic Simulation, Research

### 1、研究背景

山西省万家寨引黄工程是目前国内已建工程中最大的跨流域引水工程, 是一项维系国家能源重化工基地发展的生命工程。该工程位于晋西北塞外黄土高原, 从黄河万家寨水库取水, 分别向太原、大同和朔州三个能源基地供水, 以解决三地的缺水危机。该工程引水线路总长约 452km, 包括总干线、南干线、联接段和北干线 4 个部分, 沿线设有 6 座大型水泵站 (包括泵站内所有开关设备)、7 座大型取水分水闸、3 座大型调节阀站、70 多座大型阀室, 4 座水库、450 多公里的隧洞、管道、渡槽

等水工建筑物。该工程于 1993 年 2 月经国务院批准立项, 2002 年 6 月被列为国家重点水利建设项目。

1999 年 2 月山西省政府批准引黄工程全线自动化投资概算 (3.9 亿) 和自动化初步设计审查。引黄工程全线自动化包括计算机监控系统 (CSCS)、通信系统和水力学仿真应用系统三大部分。其中计算机监控系统由 SCADA (监测控制和数据获取)、ITVS (工业电视监视) 和 HMS (水力量测) 三个子系统构成; 水力学仿真应用系统建立在计算机监控系统之上, 由培训、分析仿真器和在线实时仿真及其高层应用功能模块等部分组成。

本项目的研究背景和仿真对象——引黄工程，是一个大流量、高扬程、长管道、级间串联、梯级泵站与封闭式输水隧洞相连接、泵间串联、梯级泵站与封闭式输水隧洞相连接、泵站内多台机组并联、沿线调蓄能力极为有限的复杂系统。该工程规模宏大，系统复杂，其水力过渡过程计算和调节控制方式，不仅在国内，即使在国外也是罕见的工程难题。为此，山西省万家寨引黄工程总公司从 1996 年开始，先后委托武汉水利电力大学、清华大学、中国水科院三家单位分别对“引黄工程水力学过渡过程计算”进行研究，但仅获得了可对引黄工程中的水力学过渡过程进行分段计算和分析的研究成果。1998 年，山西省万家寨引黄工程总公司委托北京仿真中心，在国内首次开展了为工程设计、机电设备和自动化监测监控系统设备的国际招标而服务的水力控制计算机仿真系统研究，但该研究只完成了工程前期的离线仿真，未研究工程建成后，基于 CSCS (SCADA、ITVS 和 HMS) 系统通过在线实时水力学动态仿真，实现整个工程预测控制及优化调度的难题。为解决大型梯级引水工程全线自动监测、控制和调度管理的技术难题，保证工程安全、可靠、经济地运行，2001 年 1 月，引黄工程总公司着手开始基于 CSCS (SCADA、ITVS 和 HMS) 系统的在线实时水力学态仿真研究，其阶段研究成果在引黄工程计算机监控系统的设计、实施和工程的试运行中得到了应用和验证。2004 年 10 月基于引黄工程 CSCS 的大型梯级引水工程水力学仿真系统项目完成了全部的开发研究及安装调试工作，通过了完工验收，工程质量优秀，从而

成功地投入了运行。参加工程验收的国际国内著名的水力学权威专家认为：引黄工程控制预测仿真系统（YRCFS）的成功运行，在梯级引水发电工程调度及自动检测与水力学仿真技术相结合方面具有重大突破。

## 2. 主要研究内容及创新

国内外文献报道中的大型引水工程计算机仿真系统，均为静态仿真或培训仿真系统，例如山西省万家寨引黄工程总公司委托北京仿真中心研发的“引黄工程全系统运行计算机仿真系统”。该系统是一个较完整的分析型、研究型的仿真系统，能改变参数、边界条件、运行方式和控制模式，并可进行全系统多种工况的仿真。静态仿真或培训仿真系统用于验证和辅助工程设计，提出现有工程设计中影响运行的重大问题，对重大主辅设备运用提出特殊技术要求，作为全线自动化监测控制系统设计的参考依据。

本项目以大型跨流域梯级引水工程——万家寨引黄工程为背景，针对该工程运行的“等流量控制”要求，不仅要实现具有自动监测、控制和数据获取的 SCADA 系统，而且还需解决基于 SCADA 系统，通过水力学动态仿真，实现整个工程预测控制及优化调度的难题。为此，项目组经过国内外调研和技术交流，提出了基于大型梯级引水工程计算机监控系统（SCADA、HMS、ITVS）的水力学仿真系统的架构，设计了大型梯级引水工程水力学在线仿真平台（YRDMP）。YRDMP 以丹麦 DHI 的 MOUSE 软件作为大型梯级引水工程水力学和控制系统的建模工具，以自行设计开发的动态

集成监视接口软件 DIMS, 实现了与计算机监控系统 (SCADA、HMS、ITVS) 在广域网环境下的无缝集成。

以 YRDMP 为基础, 建立了引黄工程全线 452 公里的水力学仿真计算和水力学数学模型, 其中包括变速水泵和定速水泵、闸门、阀门等输水设备以及 6 座大型水泵站 (包括泵站内所有开关设备)、7 座大型取水分水闸、3 座大型调节阀站、70 多座大型阀室、4 座水库、450 多公里的隧洞 (包括无压和有压隧洞)、管道、渡槽以及沿线所有竖井、堰和溢洪道等输水建筑物的水力学仿真模型以及全系统实时控制模型, 研制了具有实时动态仿真和静态培训仿真功能的长距离、大流量、多梯级大型引水工程的水力学仿真系统, 并且实现与引黄工程计算机监控系统 (SCADA、HMS、ITVS) 广域网环境下的实时动态通信。在此基础上, 按照工程实际需要开发了仿真预测、安全分析、事故分析与处理、调度管理和优化等高层应用功能支持模块, 构成引黄工程控制预测仿真系统 (YRCFS)。现系统已运行一年多, 其主要技术创新点如下:

(1) 提出了基于大型梯级引水工程计算机监控系统 (SCADA、HMS、ITVS) 的水力学仿真系统的架构, 设计了大型梯级引水工程水力学在线仿真平台 (YRDMP);

(2) 解决了明渠非恒定流水力特性的仿真计算、技术难题; 基于 YRDMP, 首次建立了引黄工程全线 452 公里输水线路的水力学仿真模型;

(3) 提出了复杂泵站的建模方案及优

化运行策略;

(4) 建立了 5 级梯级泵站的实时控制模型, 全线等流量控制模型; 并通过精确的水力学仿真计算, 进行预测控制, 科学有效地进行调度和指导运行。

(5) 设计了状态评估器, 它通过比较特定点的实际监测数据与仿真计算数据, 进行渗漏监测, 评估工程安全和测量设备 (传感器) 的工作状态。

(6) 基于水情预报系统 (HFS) 和水资源调度系统 (HRDS), 建立了年调节水库的优化调度模型, 通过模型计算和预测调度控制, 实现了工程的长期优化调度和运行。

### 3. 主要功能模块及技术指标

#### (1) 实时模型状态评估器 (SE)

SE 包括一个预测模块, 基于当前运行方式, 并考虑从数据采集和监控系统 (SCADA) 传来的下一个调度周期后阀门、水泵计划运行情况, 给出下一个调度周期的水位和流量值。当通过仿真来预测输水系统将超出运行极限值时, 则发出一个报警信号。运行极限值包括诸如水泵气蚀或水位越限等。SE 将为操作人员提供整个输水调度系统的实时信息, 如水位、流量等。YRCFS 系统将每隔一定时间作一次状态分析仿真, 仿真运行的周期时间小于 15 分钟。

#### (2) 预测处理模型 (PPM)

预测处理模型 (PPM) 定时生成整个输水系统下一个调度周期的优化运行计划, 调度人员在定义和修改控制策略参数时可以把它作为决策支持工具。调度人员可以先通过 PPM 制定运行计划和控制策略, 再

从数据接口管理系统(DIMS)中执行 MOUSE 仿真,以测试该策略是否令人满意,确保下一周期稳定运行,同时确保运行过程中的限制条件(水位限值或压力限值)不超限。PPM 还通过下列条件来检查提出的调度方案的安全性:

a. SCADA 传送来的下一个调度周期有关闸门、水泵运行情况;

b. 预测的气象条件和取水量(本功能由水力仿真系统通过与 SCADA 接口的水情预报系统和水资源调度系统实现),如果不能获取这些信息,YRCFS 系统将采用操作人员提供的调度方案运行。

通过使用 PPM 模型,操作员能够研究与某个特定运行策略相关的水力学因素和经济因素。为了确保正确地启动仿真,PPM 模型将采用 MOUSE 仿真结果作为它的初始条件。

#### 4. 项目的推广和应用

引黄工程水力学仿真系统自 2004 年 10 月通过最终验收并投入运行以来,通过在线水力学动态仿真、预测控制及优化调度,基本上实现了全线自动化运行调度,使整个输水系统在正常运行和充水、正常开停机工况下能够实现全线安全、稳定、经济运行。仿真计算成果与引黄一期工程运行状态相吻合,并在调度管理上实现了少人值守,无人值班。主要作用如下:

(1)系统提供的长期优化调度功能,能够根据汾河流域水情测报和供水需求,以汾河水库的水位基本保持在月平均变化的最低水位为优化目标,自动形成引黄工程的输水计划,并通过 CSCS 系统有效地控制

整个工程经济高效的运行。这既保证了按需向太原不间断向太原,又将整个工程运行成本降到最低限度。

(2)系统提供的状态评估功能,可以在调度中心通过报警信息动态的监视设备的运行状况,及时发现和处理设备故障,保证工程安全可靠的运行。使引黄工程试验中心原来用于工程沿线的运行测试人员较以前的非自动化调度减少了 90%。

(3)调度管理方面,太原调度中心的调度人员正常情况下,没必要向以前那样通过 CSCS 的 MMI 进行运行调度,而是通过仿真系统监视工程的运行状况,并对工程的运行方式、运行工况进行分析、研究和优化,极大的降低了调度人员的劳动强度,规范了工程调度规程。

从调度运行数据来看,水力学仿真系统投入运行一年多以来,按需求累计引水 1.2 亿方(120,000,000m<sup>3</sup>),没有发生弃水现象。无论是汛期还是枯水期,都能够通过水力学仿真预测实现全线自动化调度,保证了整个工程安全,可靠,经济的运行,同时也保证了按需不间断的向太原供水,获得了显著的社会效益和经济效益。

**(作者简介:**赵喜萍,1968 年生,引黄工程自动化和水力学仿真国际项目经理,博士研究生,享受国务院特殊津贴专家,目前负责引黄工程输水调度运行。)

2006-10-14