

# 水库洪水调度系统通用化模板设计与开发\*

周惠成, 梁国华, 王本德, 殷峻暹

(大连理工大学土建学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 采用水库调洪数值解法、多目标模糊优选决策模型、人机交互决策方法、面向对象技术和数据库技术, 设计与开发了模块化、接口通用化和通用的水库洪水调度系统。在实际应用中, 针对一个新水库, 用户使用这一系统, 输入水库防洪调度的基本资料, 可实现水库调度方案的迅速生成、制定、仿真模拟、评价与选择等过程。

**关键词:** 水库; 洪水调度; 通用化模板

中图分类号: TV 697.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6791(2002)01-0042-07

20 世纪 80 年代以来, 水库在防洪中的作用越来越突出, 江河防洪对水库削峰、错峰和蓄洪的要求越来越高<sup>[1]</sup>。近年来, 防洪决策支持系统在国内也得到迅速发展, 并得到了成功的应用<sup>[2]</sup>。现存系统架构齐全, 但这些系统主要集中在系统的总体框架上, 针对性不是很强, 还不能满足水库防汛的需要。我国 50 年来修建的大型水库 397 座, 中型水库 2 634 座, 由于目前设计与开发单位多, 各单位水平差距大, 相互间又很难协调, 导致开发成果的结构、功能、界面及软件环境标准不一致, 难于集成于省级和流域级的防洪调度系统中; 也会导致各级防汛指挥部门难以获得规范化的水库洪水预报调度信息, 既不利于防洪的统一调度决策, 又影响水库防洪效益的发挥; 还会导致低水平的重复开发, 浪费大量的人力、物力和财力。因此, 研究水库洪水调度系统通用化模板设计与开发, 具有重大的社会与经济价值。本文利用水库调洪数值解法、多目标模糊优选决策模型、人机交互决策方法、面向对象技术、数据库技术设计、计算机技术等多种技术和方法, 设计并开发了水库洪水调度系统开发模板。

## 1 系统设计与开发目标

水库洪水调度系统通用化模板设计与开发的目标, 是通过程序设计开发的模块化与通用化、接口统一化, 构建一比较通用的水库洪水调度系统。在实际应用中, 针对一个新的水库, 用户可使用这一通用化模板, 首先输入与水库防洪调度相关的基本资料 (如水库水位库容曲

\* 收稿日期: 2000-11-24; 修订日期: 2001-04-14

基金项目: 高等学校优秀青年教师教育科研奖励基金 (教人司 [2000] 26 号); 霍英东青年教师基金 (71072) 资助

作者简介: 周惠成 (1958 - ), 男, 吉林农安人, 大连理工大学教授、博士生导师, 主要从事水库调度和防洪决策支持系统研究。

线、水位泄量曲线与调洪原则等)；然后就可完成水库防洪调度的防洪形势分析、预报洪水过程输入与修改、调度方案制定与仿真、调度方案评价与选择、图表查询和输出调度方案等。

## 2 系统结构与流程

### 2.1 系统结构

水库洪水调度系统是以数据库为中心，采用调度系统总控界面对系统进行管理，用菜单和图标来实现系统的功能操作。洪水调度系统以预报库、调度库、系统实时水情雨情数据库、历史水情雨情数据库来进行系统数据资源管理，实现实时洪水预报调度、历史洪水及某一频率洪水的模拟调度与仿真。调度系统可使用洪水预报系统的预报成果，调度系统的成果也可供信息查询系统使用。本系统主要有方案制定、仿真调度、方案评价、成果管理、特征资料的查询与维护、帮助等功能模块，其系统结构如图 1 所示。

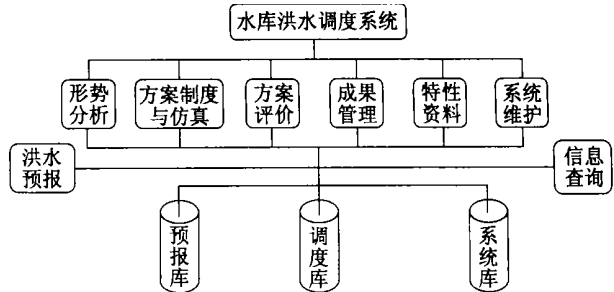


图 1 水库洪水调度系统结构

Fig. 1 Diagram of flood control system for reservoir

方案制定、仿真调度、方案评价、成果管理、特征资料的查询与维护、帮助等功能模块，其系统结构如图 1 所示。

### 2.2 系统工作与数据流程

水库洪水调度过程包括洪水形势分析、方案拟定、仿真与模拟、方案评价与选择、方案提交等过程。当进行洪水调度时，用户从实时水情雨情数据库提取实时数据以及从预报数据库中获取预报成果，然后进行洪水调度，并将调度成果传入实时数据库中的预报调度成果表，同时更新向上级部门传输的数据库表，为信息查询、防汛会商服务。在进行防洪形势分析、防汛会商时，为减少决策失误、降低决策风险，决策者可能要求对历史上与这场洪水类似的洪水或设计洪水进行模拟调度仿真，使决策者能充分了解当前的防洪形势，对防洪调度全面认识，作出更加合理的、科学的调度决策。为此，本系统还提供了从系统库提取历史水情雨情和设计洪水等多种接口。系统工作与数据流程如图 2 所示。

在系统时间设置好后，系统首先通过事务向预报数据库发出请求，预报数据库向本系统提供预报结果，如果预报系统没有预报信息，本系统自动提供预报信息输入界面；然后进行洪水形势分析；接着进行方案的制定、仿真模拟及评价选择；最后把调度成果传向系统库，为信息查询、防汛会商服务。

## 3 系统通用化模块设计思想及开发策略

### 3.1 复杂情况下的洪水调度通用化处理

水库洪水调度系统是以数据库为基础的，基于网络下的多用户系统，系统应具有适应各种复杂环境的功能。系统中因各个流域水库防洪特点不同，流域防洪系统对各个水库的要求也不

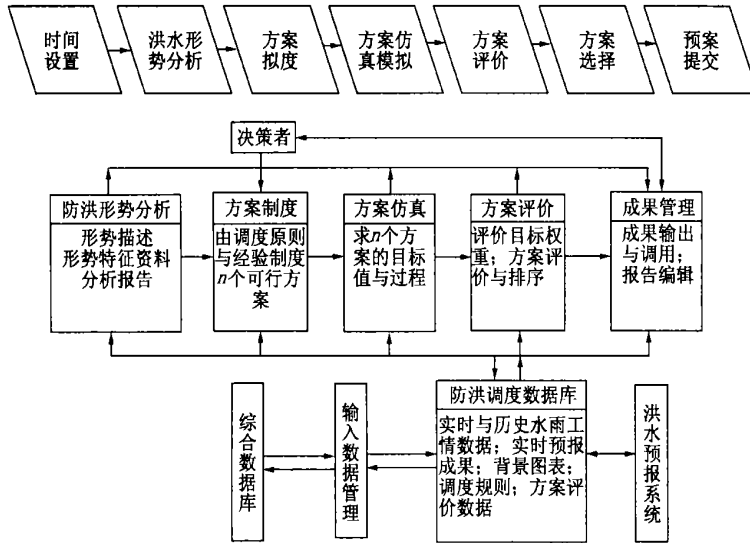


图2 水库洪水调度系统工作与数据流程图

Fig. 2 Flow chart of function and data for reservoir flood control system

一样，有的要求考虑下游组合、有的下游有蓄滞洪区，有的要求多库联合调度（并联或串联）、有的在防洪的同时又要考虑互利。只有解决好这些复杂的防洪调度问题，才能实现系统的通用化、模板化，而解决这些问题有效途径之一是精心设计与管理数据库表。系统数据库设计充分考虑到应用的需求，充分利用和挖掘数据库的功能，因为一流的数据库设计会使整个应用系统便于维护，编程简单，加快系统开发速度。因此，数据库表结构设计是系统设计中最重要的工作。好的数据库表结构及相互关系可以使系统适应各种复杂环境变化，表述各防洪控制点间洪水演进的相互关系。下面以基本表（STCD-UNIT）的结构定义为例（如表1所示）说明上述问题。该表的主键为STCD，通过STCD及其属性来自动识别防洪控制点之间的上下游之间的关系以及洪水演进模型等复杂问题，其中上下游之间的关系包括控制站点数及代码，生成水库防洪调度方案是否考虑下游组合流量等。

表1 控制点属性表（STCD-UNIT）部分表结构定义

Table 1 Definitions of table structures for controlled points

列名	数据类型	说明
STCD	CHAR (11)	控制点代码
FLOW-PERIOD	INTEGER	时段长
V-UNIT	LONG	库容单位
N-UP-RES	INTEGER	上游控制站点数
S-UP-RES-NO	VARCHAR (100)	上游控制站点代码
SUBSYS-NO	INTEGER	子流域代码
NO-DOWN	CHAR (11)	下游控制站代码
TOTAL-DOWN	INTEGER	考虑下游组合
ROUT-METHOD	INTEGER	演进到下游模型
S-ROUT	VARCHAR (120)	演进到控制点代码及模型
I-POWER	INTEGER	是否考虑发电

### 3.2 调度方案生成模块的通用化处理

系统设计了自动和文献 [3] 的启发式与人机交互式相结合两种方式推求水库的洪水调度方案：

- (1) 自动生成方案 根据实时预报的洪水过程，自动生成洪水调度规划方案；

(2) 启发式与人机交互式相结合生成方案 根据当前洪水形势以及决策者的意愿, 可按时段泄常量和交互启闭泄流设备的任意组合进行调度。方案的生成非常直观、方便, 每要生成一个新方案, 调度人员只需在屏幕上填一张表即可; 每要修改一个方案, 调度人员也只需在屏幕上重填一张表即可。

### 3.3 调度规则的通用化、模块化处理

洪水调度方案的拟定是水库防洪调度决策的关键, 是水库洪水调度的核心。洪水调度方案的生成是防洪调度决策的最基本功能, 其基础是各种防洪调度模型和洪水演进模型。针对水库防洪调度实际情况, 依据水库(群)规划调度规则, 生成规划方案。在此基础上, 进行人机交互制定新方案, 或者按决策者的指令方案制定新方案, 使决策者能够参与方案制定的全过程。

然而, 水库调度规则与调度方式千变万化, 各不相同, 难以用统一的语言来描述和用统一的方式来表达。针对这一复杂情形, 系统采用了缺省方法生成规划方案, 即当库水位低于防洪汛限水位时, 水库不泄流; 当库水位大于防洪汛限水位, 低于防洪高水位(或正常高水位)时, 来多少泄多少, 直到入库流量大于水库的泄流能力, 然后敞泄; 当库水位高于正常高水位时, 全部开启泄流设备, 确保大坝的安全。如果不满足防洪的实际需要, 则可通过人机交互的方法修改这一方案生成新方案; 也可以通过系统提供的调度规则通用数据接口, 用 DLL 库进行联结, 实现通用和异同的巧妙处理。从而简化系统应用, 便于系统维护。

### 3.4 方案评价模块的通用化处理

水库防洪调度系统属于多目标系统, 一般有四个目标: 水库在调节一次洪水过程中, 最高水位越低越好, 此目标等价于占用的拦洪库容越小越好; 水库调洪末水位越接近于理想水位越好, 此目标等价于调洪末库容越接近于理想库容越好; 在调节一次洪水过程中, 水库最大下泄流量, 或河道控制点通过的最大组合流量越小越好; 对发电为主的水库还要考虑在调节一次洪水过程中, 发电量越多越好。很显然, 第一个目标反映的是水库本身的防洪安全; 第二个目标是考虑两次洪水的衔接和兼顾兴利蓄水; 第三个目标是水库的下游防洪安全; 第四个目标是考虑发电效益。

水库多目标调度决策模型<sup>[4]</sup>, 主要是考虑水库防洪调度不同水情、不同阶段防洪目标的复杂性, 通过全面分析水库防洪各个阶段的调度目标, 采用模糊数学理论、水库防洪调度模糊迭代方法<sup>[5]</sup>, 确定各阶段的目标权重值, 进而把各阶段的目标合成为综合目标, 通过优选获得最满意的调度方案。在实际水库调度中, 因各个水库的条件不同, 防洪目标也不同, 为了实现方案评价模块通用化, 系统提供了四个目标, 可实现四个目标的自由组合。

### 3.5 洪水调度数据源接口通用化处理

在实际洪水调度中, 为了避免决策失误, 决策者不仅要求调度人员进行实时洪水预报调度, 而且还要求调度人员模拟调度历史上类似的洪水或者不同频率的设计洪水, 快速判断在当前情况下是否能够安全渡汛。因此, 洪水调度系统设计了多个数据源接口, 通过创建数据库事务对象可实现多种数据源的自由选择。

## 4 系统采用的关键技术

### 4.1 调洪数值解法

水库调洪演算方法很多, 主要有图解法、试算法和数值解法等。本系统水库调洪演算采用

龙格-库塔数值解法<sup>[6]</sup>，当水库的下泄流量随着库水位的变化而变化时，已知时段内的平均入库流量、时段初的库水位与出库流量，求解水库时段末水位和出库流量。数值解法的优点是在计算机实时洪水调度计算过程中，不存在如其它算法在试算或迭代过程中可能出现的计算不收敛的“死循环”情况，计算精度高、速度快，适用于多泄流设备、变泄流方式、变计算时段等复杂情况下的调洪计算，便于应用计算机进行求解。此法不需作图与试算，便于编制通用的程序模块。

#### 4.2 人机交互决策方法

系统建立了强大的人机交互决策支持体系，易于决策者参与决策过程。系统可根据决策者的意愿在极短时间内实时、动态生成洪水调度预案，并对多个预案进行评价；在可行预案基础上，可进行实时精细调整。系统还可对综合预报结果进行人工输入或经验修正，拟定未来的洪水模拟调度预案。

#### 4.3 采用数据库技术进行模块化管理

良好的库表设计使系统能有效适应复杂的环境变化。主要表现在两方面：通过单元属性定义，系统不仅可解决单库洪水调度问题，还可通过对水库上下游特征的定义，解决复杂的流域多库洪水调度问题和跨流域洪水调度问题；可自动进行上下游洪水演进自动判别、优先选择满意方案组合，适应不同流域的复杂洪水变化情况；对下游有分蓄洪区防洪作用的水库，系统通过单元属性的定义，也能进行分蓄洪区洪水调度。

#### 4.4 利用面向对象技术实现功能扩展

流域洪水调度系统是一直面向调度人员和决策者的人机交互系统，对不同流域，因使用者个人的工作习惯、流域自然特征等不同，在系统界面功能和模型使用上等有可能需要进行一些调整和扩充。考虑到这些情况，系统程序设计选择了面向对象的开发工具，利用面向对象的思想将流域洪水调度系统的各个部分按对象进行划分，通过对象对系统进行建模，形成通用的、规范化的洪水调度系统通用模块，使系统较易实现软件的重组、移植、扩充，能广泛应用于不同的洪水调度系统。例如，对于洪水调度规则，难以用统一的方式表示，系统把调度规则划分成一个模块，如果系统提供通用化的调度规则模块不满足用户的要求，可通过对此模块进行处理。如某水库的调度规则为：当水库水位低于汛限水位时，水库不泄流；当水库水位大于

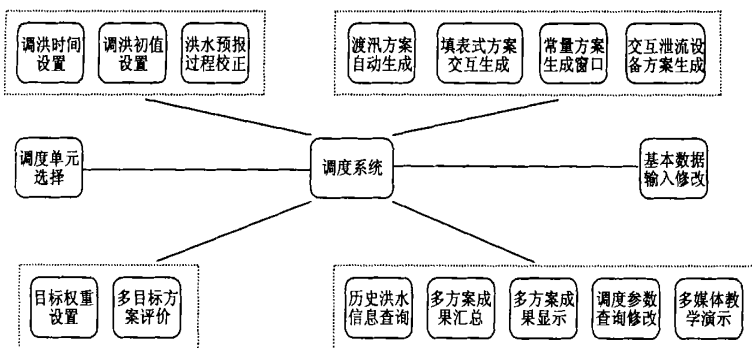


图 3 洪水调度系统对象建模关系图

Fig. 3 Relation map of modeling objectives for flood control system

汛限水位低于防洪高水位时，一日内的预报净雨小于 20 mm，水库泄流来多少泄多少，直到泄流能力为 400 m<sup>3</sup>/s，然后泄 400 m<sup>3</sup>/s，净雨大于 20 mm 小于 50 mm，泄量与下游区间组合不超过下游控制点的安全泄量 2 000 m<sup>3</sup>/s，净雨大于 50 mm，保护大坝；当水库水位大于防洪高水位时，一日内的预报净雨小于 30 mm，来多少泄多少，净雨大于 30 mm，保护大坝。因此在这种情况下，必须修改调度规则模块，用 DLL 库联结到系统中，实现系统的功能扩展。系统对象关系如图 3 所示。

## 5 应用实例

双牌水库位于湖南省湘江流域主要支流潇水中下游，距双牌县城 4 km，是一座具有防洪、发电、灌溉、航运等综合利用的大型水利枢纽。

为了生成双牌水库洪水调度系统，首先，输入水库洪水调度属性表参数，如测站编码（国家防汛工程水库统一编码，水库 11 位，河道站 9 位）、测站名称（指水库名或河道控制站名，如双牌水库）、库容单位（如 1 000 000，100 000 000 等）、河流名称、时间步长、水库到下游控制站的演进方式（如马斯京干，系数法等）、子系统号（1，2，3 等，表示测站所在流域）、流域名称、上游到水库的演进方式、上游水库编号、上游水库数、是否考虑发电、水库发电流量计算方法，是否有调度规则、是否考虑下游组合、下游水库编码等。水库洪水调度基本参数如

图 4 水库洪水调度基本参数

Fig. 4 Fundamental parameters of reservoirs flood-control

图 4 输入界面所示。其次，输入与双牌水库防洪调度相关的基本资料（如水库特征水位、特性曲线与水库调洪原则等）。再次，输入洪水过程线。数据输入完毕，可实现双牌水库洪水调度方案的迅速生成、制定、仿真模拟、评价与选择等过程。洪水调度方案生成界面如图 5 所示。由于篇幅的关系，其它模块的界面不再列举。

通用化模板已在湖南省双牌水库等十几个省的二十几座大型水库的洪水调度中的实际应用表明，系统具有良好的实用性、通用性、扩展性、可移植性。但仍需进一步改进，如由于各个水库的调度规则不同，系统所采用的通用处理方法，有时很难满足各水库的具体要求，这种情况下只能用动态连接库 DLL 做出特殊处理。另外，目前全国还没有统一的测站编码，系统与外界的数据信息交换只能通过设置内码和外码实现，减缓了系统的运行效率。

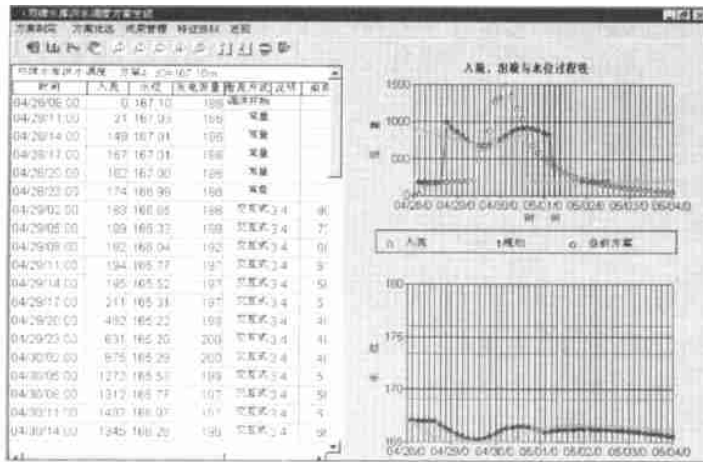


图5 水库洪水调度方案生成

Fig. 5 Schemes creating of reservoirs flood-control

该模板符合《水库防洪调度系统设计与开发规则》、《国家防汛指挥系统工程总体设计大纲》、《国家防汛指挥系统总体设计实施纲要》所规定的开发标准。

#### 参考文献:

- [1] 黄思平, 等. 水库工程对 1998 年长江防洪作用分析[J]. 人民长江, 1999, (2): 24 - 26.
- [2] 胡四一. 长江防洪决策支持系统总体设计[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 283 - 294.
- [3] 程春田, 王本德. 启发式和人机交互式相结合的水库防洪模糊优化调度模型[J]. 水利学报, 1995, (11): 71 - 76.
- [4] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1998, 201 - 206.
- [5] 程春田, 李登峰. 水库防洪调度模糊迭代方法与应用[J]. 水利学报, 1999, (8): 16 - 20.
- [6] 陈守煜. 水库调洪计算的数值解法及其程序[J]. 水利学报, 1980, (2): 44 - 49.

## Development of generalization module for the reservoir flood-control system\*

ZHOU Hui-cheng, LIANG Guo-hua, WANG Ben-de, YIN Jun-xian

(Department of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** The reservoir flood-control system are successfully designed and developed based on the numerical calculation of reservoir flood-control, the decision-making model of multi-objective fuzzy optimal selection, the decision-making method of man-computer, the Object-Oriented technology and the database technology. The system is a generalized module and interface. For a new reservoir, its flood-control software can quickly be produced as long as the basic data needed by the flood-control reservoir are input.

**Key words:** reservoir; flood-control; general module

\* The project is supported by Fok Ying Tung Education Foundation, P. R. C(No. 71072).