

第二批国家级一流本科课程申报书  
( 虚拟仿真实验教学课程 )

课程名称：梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟  
仿真实验

专业类代码：0811

负责人：程雄

联系电话：13545709295

申报学校：三峡大学

填表日期：2021 年 4 月 15 日

推荐单位：三峡大学

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

## 填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。

4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。

5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。

6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

## 1. 基本情况

实验名称	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是●否
实验所属课程 (可填多个)	《水电站水库运行与调度》、《水文预报》		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	水文与水资源工程		
实验类型	○基础练习型 ●综合设计型 ○研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	<input type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	●中文 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 2 次： 1. 时间、人数：2020 年 4 月（春季学期），60 人 2. 时间、人数：2020 年 11 月（秋季学期），60 人		
有效链接网址	<a href="http://hee.ctgu.owvlab.net/vlab/qfd.html">http://hee.ctgu.owvlab.net/vlab/qfd.html</a>		

## 2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员（含负责人，总人数限 5 人以内）								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	程雄	1984.06	三峡大学	实验教师	副教授	13545709295	chengandxiong@163com	项目管理 在线教学
2	郭家力	1984.06	三峡大学	实验教师	副教授	18671725775	jlguo1984@163.com	实验规划 在线教学
3	刘冀	1980.12	三峡大学	实验教师	副教授	13972602647	liuji@ctgu.edu.cn	教学设计 在线教学
4	李英海	1981.12	三峡大学	实验教师	副教授	13872620536	liyingshai@ctgu.edu.cn	教学实施 在线教学
5	董晓华	1972.01	三峡大学	实验教师	教授	13972604917	xhdong@ctgu.edu.cn	实验设计 教学服务

2-1 团队其他成员						
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	余晓云	1979.02	三峡大学	实验室主任	实验师	实验平台技术支持
2	何勇	1989.02	华电电力科学研究院有限公司	水电与新能源部副主任	中级工程师	发电调度技术支持
3	鲍正风	1983.07	中国长江电力股份有限公司	三峡梯调中心水资源部主任	高级工程师	基础资料技术支持
4	吴亚良	1964.03	三峡大学	实验教师	副教授	虚拟仿真技术支持
5	刘依松	1965.07	三峡大学	实验教师	教授	实验教学技术支持
6	徐刚	1974.10	三峡大学	实验教师	教授	实验教学技术支持
7	王煜	1976.6	三峡大学	实验教师	教授	厂房仿真技术支持
8	殷德胜	1983.03	三峡大学	系主任	副教授	大坝仿真技术支持
9	何卫平	1987.06	三峡大学	实验教师	讲师	机组仿真技术支持
团队总人数：14人 其中高校人员数量：12人 企业人员数量：2人						
2-3 团队主要成员教学情况（限500字以内）						
<p>（近5年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）</p> <p><b>1、教学任务情况</b></p> <p>程雄和李英海承担本实验发电调度教学任务；刘冀和郭家力承担水文预报教学任务；董晓华承担对外推介服务。</p> <p><b>2、负责人教学研究</b></p> <p>① 水文及水资源专业预报调度虚拟仿真实验教学模式研究，三峡大学国家级实验教学示范中心，2020，主持在研；</p> <p>② 基于人才储备建设的水电调度专业研究生培养模式探讨，三峡大学高教所，2016，主持结题；</p> <p>③ 基于人才储备建设的水电调度专业研究生培养模式探讨. 教育现代化，2016，排第1</p> <p><b>3、负责人学术研究</b></p> <p>① 大规模水电站群超短期径流预报及快速负荷响应方法研究，国家青年科学基金项目，2017.01-2019.12，主持结题；</p> <p>② 大小水电超短期优化调度方法研究，梯级水电站运行与控制湖北省重点实验室，2017.01-2019.12，主持结题；</p> <p>③ 梯级水库多维度预报调度模型算法研发及咨询服务，华电电力科学研究院有限公司，2020.08-2021.06，主持在研；</p> <p>④ Forecasting Monthly Runof Time Series by Single-Layer Feedforward Artificial Neural</p>						



Network and Grey Wolf Optimizer. IEEE Access (SCI), 2020, 排第 1

⑤ Cheng Xiong, et al. Ultrashort-term scheduling of interbasin cascaded hydropower plants to rapidly balance the load demand. IEEE Access (SCI). 2020, 排第 1

⑥ 电力市场环境下大规模水电站群月度交易电量分解与校核方法, 中国电机工程学报 (EI), 2020, 排第 1

⑦ 快速响应负荷需求的跨流域水电站群超短期调度模型, 中国电机工程学报 (EI), 2018, 排第 1

#### 4、负责人教学奖励

① 2018 年获三峡大学第八届高教研究成果三等奖, 排第 1

② 2019 年获三峡大学水利与环境学院讲课比赛三等奖, 排第 1

③ 2018 年指导本科生参与科技创新活动获得一等奖 1 项 (第一指导教师)

注: 必要的技术支持人员可作为团队主要成员; “承担任务” 中除填写任务分工内容外, 请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

### 3. 实验描述

#### 3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

##### 1、实验的必要性及实用性

###### 1) 必要性

第一，实验平台缺乏。水文专业本科教学中有关预报调度的理论知识大多比较抽象和零散，**缺少相关平台让学生进行交叉学习及反复训练，学生遇到复杂实际问题很难将相关知识点有效串联起来**，从而使学生对未来水库预报调度工作的实际动手与操作能力受到很大限制。本实验采用逼真的三维仿真界面和简洁的二维统计图表相结合技术呈现水库预报调度原理及过程，将《水电站建筑物》、《水文预报》和《水电站水库运行与调度》等课程通过虚拟仿真实验项目构成系统连贯的实践教学链，能够有效实现在低成本和高安全性的条件下，将抽象和零散的知识有效串联的难题，帮助学生形成良好的水文预报调度知识体系。

第二，实验环境特殊。梯级水电站生产的现场作业有严格的安全制度，**学生即使进入生产现场实习，也只能看不能动，没有动手的机会**。而随着自动化程度以及设备可靠性程度的提高，梯级调度实习期间几乎看不到水流与电流转化过程，无法亲身经历水资源价值转化的全部过程。另外，一般梯级水电站调度涉及多个水库，空间跨度几十到几百公里，时间上从几小时到一年，诸多信息无法在一个集中的时间和地点呈现，高度的时空跨越性，导致缺乏开展预报调度的实验环境和条件。本项目提供了类真实的“梯级调度中心”，学生可以亲自上手反复训练，解决了学生无法亲手实践电站信息管理、径流预报和发电调度等大型综合训练的难题。

###### 2) 实用性

实验系统构建的虚拟仿真实验环境，全方位实现了电站信息管理、径流预报和发电调度涉及的大部分知识点的实验探究，将抽象难懂的电站基础信息和预报调度结果以图表和应用场景直观呈现，极具可观性和吸引力。解决了传统实习中受场地与安全性限制，学生不被允许操作调度台，只能隔着玻璃远距离观看等难题，提升了学生在教学过程中的参与度与理解度，凸显了虚拟仿真实验的优势。

依托虚拟仿真实验教学项目，切实拓展了以自主探究为主要形式的实验教学方法，通过学生自主设置预报和调度参数，自主实现对预报和调度结果的掌握，结合软件的多方案对比分析功能，学生能够直观看到不同实验效果的差异，有效调用了学生参与实验教学的积极性和主动性，增强了学生应用实验手段解决实际复杂问题的动手能力，为毕业后适应电网和流域集控中心的实际要求打下基础。

##### 2、教学设计的合理性

梯级水电站发电调度是水文与水资源工程专业的主要核心内容，是三峡大学

水电特色的集中体现，该虚拟仿真项目运用了专业课程中所学习的水文水资源“测、报、算”全套知识内容。本项目利用宜昌世界水电之都的地理优势，将虚拟仿真与实践教学进行深度融合，以典型水电站群为对象建设虚拟仿真项目，训练和培养作为水电调度人员的日常运行操作能力，不但解决了专业在实践教学中存在的瓶颈，还拓宽了实验的广度和深度，促使学生的知识、能力和素质全面提高。

### 3、实验系统的先进性

水库预报调度是实践性很强的领域，但生产实际中，水库预报调度却存在参数繁多、不确定性因素多、算法流程复杂，学生很难在本科阶段接触完整的预报调度过程，因此，在原有的短期参观式实习的基础上，将《水电站建筑物》、《水文预报》和《水电站水库运行与调度》等课程通过虚拟仿真实验项目构成系统连贯的实践教学链，加深了学生对水文专业课程的认知，帮助学生形成了良好的水库预报调度知识体系。

本项目采用逼真的三维仿真界面和简洁的二维统计图表相结合技术呈现水库预报调度原理及过程，以便多视角审视设计的合理性。实验采用分模块、分流程设计思路，最大程度拆解预报调度过程，以帮助学生突破参数繁多和流程复杂难题，从而对预报调度的全过程有完整、直观、深入的理解。本项目还针对实验过程中典型设备结构及工作原理不够直观的问题，开发了相应的三维场景和动画演示视频，以便学生查看、学习和掌握。同时，项目设计了单选题、多选题和问答题等不同题型的考核环节，以补充虚拟实验教学中难以覆盖的内容。实验面向电网和流域梯级集控中心调度的实际需求，培养具有卓越的工程实践能力、扎实的专业技术背景以及多学科交叉的水利电力调度复合型人才。

项目采用 B/S 架构，基于 WebGL 轻量化技术进行开发，通过云服务器端部署，对客户端的配置要求低，学生能利用各种网络资源进行在线学习，解决了传统案例教学中受场地与安全性限制，学生不被允许操作调度台，只能隔着玻璃远距离观看等难题，提升了学生在教学过程中的参与度与理解度。我校拥有该软件的自主知识产权。

#### 3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

近年来，随着我国水电规模急剧扩大，对水库预报调度方向的人才需求变得非常强烈，然而水库预报调度问题一直被公认是水资源领域最为复杂的问题之一，对调度员的专业知识特别是实践能力要求极高，需要进行针对性训练才能成为一名合格的调度员。但水文专业本科实验教学中有关预报调度的理论知识大多比较抽象和零散，由于缺少相关平台让学生进行交叉学习及反复训练，学生遇到复杂实际问题时不能将相关知识点有效串联起来，从而使学生对未来水库预报调度工作的实际动手与操作能力受到很大限制。

本项目是《水文预报》和《水电站水库运行与调度》实验的核心内容，**是国**

**家一流本科专业建设点所属课程**，该项目围绕梯级水电站群径流预报和发电调度问题，采用三维和二维技术相结合的方式联合开发电站基本信息仿真、降雨径流预报和发电调度方案制作三大功能场景，旨在让学生通过本实验达到以下目标：

1、了解典型大坝和水电站厂房类型及其关键特征，掌握不同类型水电站水库运行的基本原理。

2、掌握梯级水电站群径流预报与发电调度的基本参数与运行原理；

3、掌握梯级水电站群径流预报与发电调度系统的基本操作流程；

4、提高学生动手实践能力，为毕业后适应电网和流域集控中心的实际要求打下基础，培养具有卓越的工程实践能力、扎实的水文专业知识以及水利、电力交叉的复合型人才。

### 3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：《水文预报》40 学时，《水电站水库运行与调度》32 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

### 3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

首先设置电站基础参数，了解水电站水库的基本结构与属性特征，然后设置不同降雨量、不同蒸发量、不同暴雨中心点，利用单位线法对龙头电站进行降雨径流预报，最后以降雨径流预报结果为输入条件，利用改进逐次切负荷方法对梯级水电站群进行短期调度。

#### 1、降雨径流预报

根据龙头电站水文站点随机生成降雨数据，采用平均值法自动生成 24 小时降雨，设置日平均蒸发量和土壤前期含水量，计算龙头电站时段净雨过程，然后根据暴雨中心点在流域中的不同位置选择不同的单位线，计算龙头电站的地面径流（区间流量）过程，最后采用面积比法预测下游其它电站的区间流量。由于计算次洪径流深及径流分割计算过程比较复杂，本次实验进行简化，由学生从界面输入前期土壤含水量，另外地下径流过程需要考虑的因素也非常多，本次实验也进行了简化，仅考虑地面径流，省略地下径流，整个算法的流程如图 3-4-1：

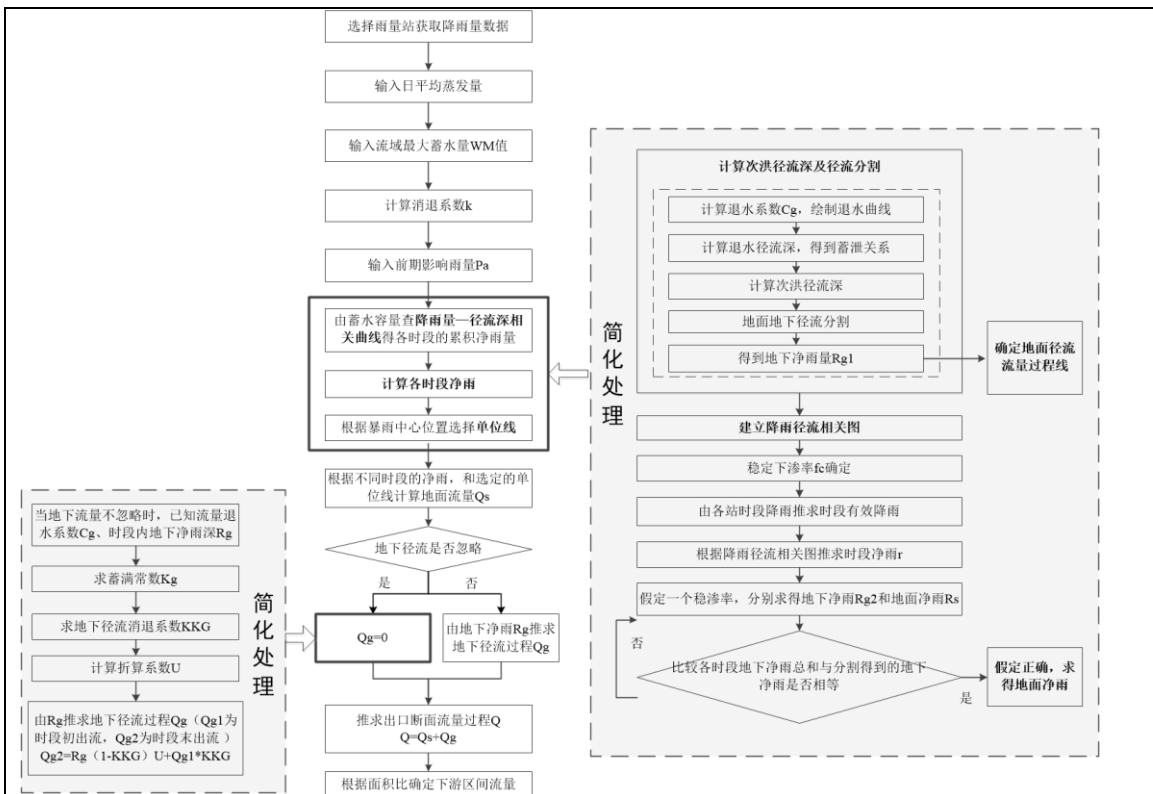


图 3-4-1 单位线法降雨径流预报的求解框架图

## 2、梯级水电站短期发电调度

通过输入不同的负荷需求与预报区间来水过程，以电网剩余负荷均方差最小为目标，采用逐次切负荷算法决策发电调度方案，重点掌握不同负荷需求、区间来水、起始水位和给定电量对梯级水电站群调度过程的影响，求解流程如下：

**步骤 1：** 定义迭代次数；

**步骤 2：** 根据梯级电站上下游依次给电站编号，定义龙头电站  $m=1$ ；

**步骤 3：** 根据日负荷图（轮到该电站参与平衡计算时的剩余负荷图）搜索出最高负荷，用最高负荷减去该电站的最大允许出力，以定出该电站的最初工作位置（红色虚线），如图 3-4-2；

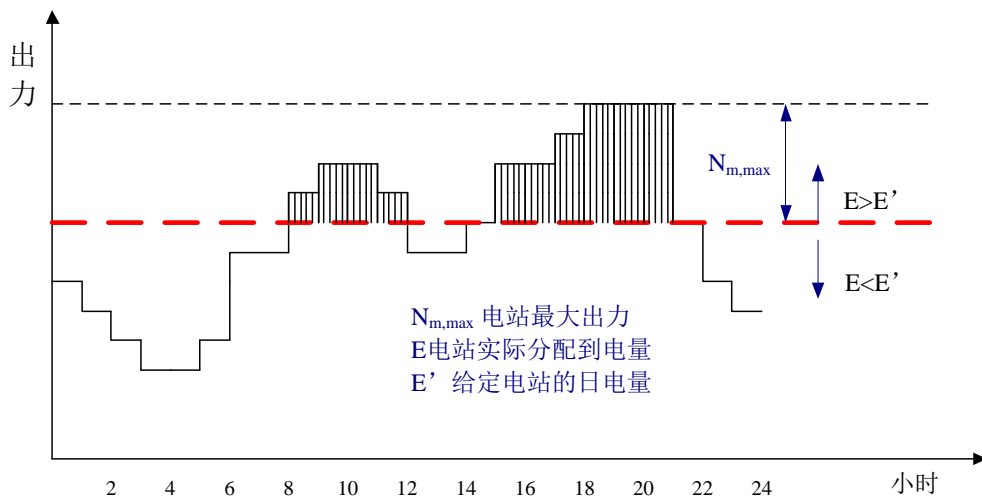


图 3-4-2 逐次切负荷法示意图

**步骤 4:** 处理电力约束条件, 若出力越上下限约束, 直接取上下限值;

**步骤 5:** 处理水力约束条件, 用以电定水算法处理水力约束, 若水位、库容、流量等超过上下限约束, 直接取其上下限, 然后用以水定电重新计算新的出力;

**步骤 6:** 若该电站的日电量大于给定值, 则按一定步长抬高工作位置 (红色虚线), 反之则降低工作位置, 让工作位置以上的负荷都由该电站带, 并将大于该电站最大允许出力时段的出力取其最大值;

**步骤 7:** 不断重复步骤 4-6, 步长取该电站分配到的平均出力与给定该电站的平均出力之差, 直到电站分配到的平均出力与给定该电站的平均出力相等, 或工作位置达到最低位置时为止;

**步骤 8:** 判断电站是否循环完毕, 若没有执行步骤 3; 否则执行步骤 9;

**步骤 9:** 计算剩余负荷和目标函数, 并保存目标值最小的调度方案;

**步骤 10:** 判断迭代次数是否完毕, 若没有执行步骤 2; 否则退出。整个算法求解框架如图 3-4-3:

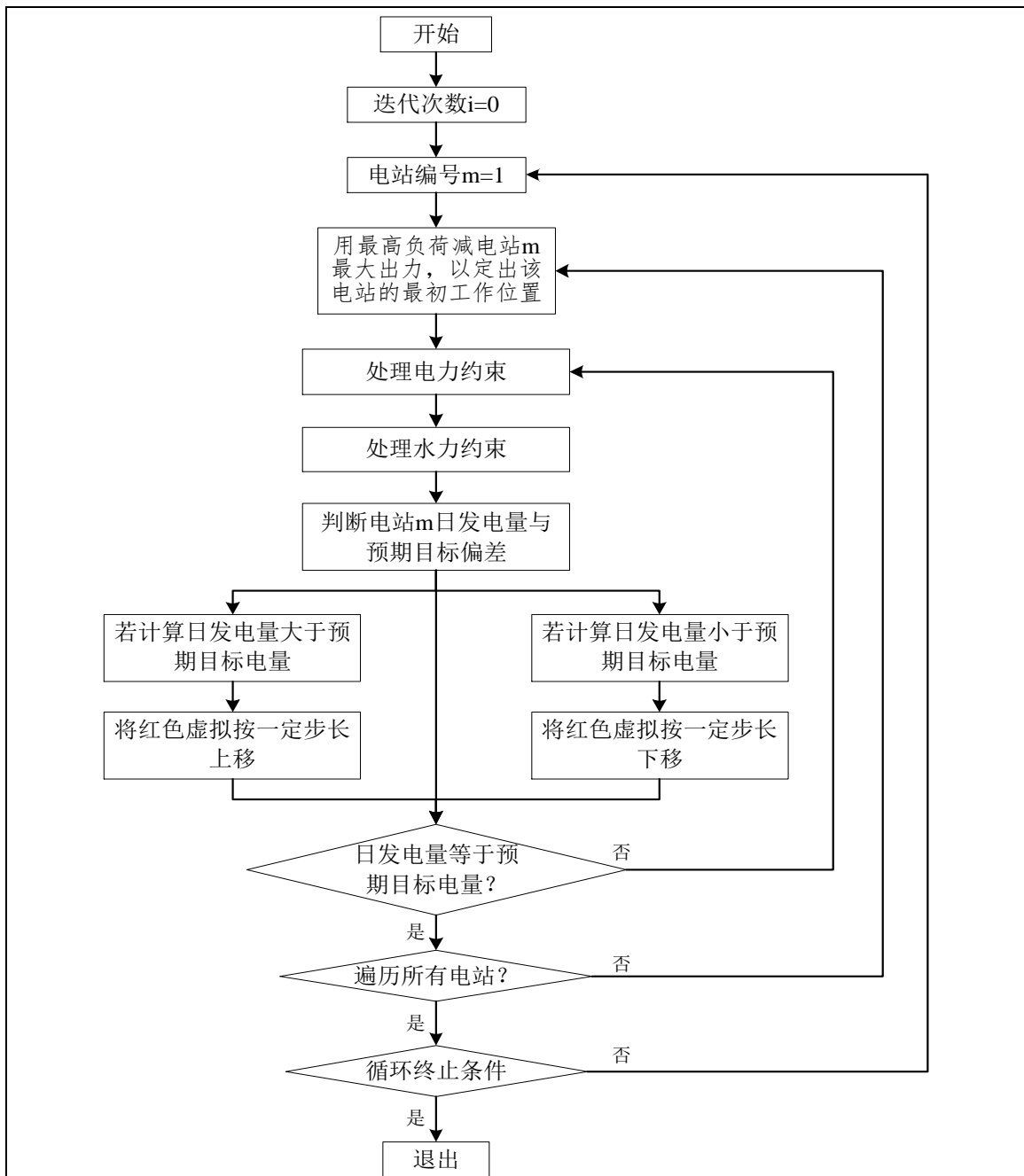


图 3-4-3 求解框架图

### 知识点：共 6 个

1、水电站水库基本信息仿真，了解不同类型大坝形状、枢纽平面布置、厂房横剖图和机组类型及结构；掌握水电站水库特征水位、电站机组发电参数；

2、水文站各仪器结构及工作原理，了解水文站的主要组成仪器的结构形状及工作原理，包括雨量筒、蒸发皿、流速仪和水尺，以及动画展示陆地水文循环的基本原理；

3、降雨径流预报过程及机理，重点掌握单位线法预报区间流量的基本原理，能够根据不同降雨量、不同蒸发量、不同前期含水量、不同暴雨中心位置等参数对地面径流过程对比分析。

4、以水定电原理，给定时段初水位、出库流量，计算出力、发电流量、弃水流量、末水位等。以水定电有两种模式，第一是允许主动调整，就是在给定出库流量偏大产生弃水而又没有蓄满的情况下，主动蓄水减少弃水。第二种是不主动调整，严格按照给定出库流量处理。

5、以电定水原理，给定时段初水位、平均出力，计算发电流量、弃水流量、末水位等。与以水定电类似，以电定水也有两种模式，即是否在给定出力较小产生不必要弃水的时候进行主动的调整。

6、水库发电调度计算原理。重点掌握以调峰为目标，利用改进逐次切负荷法求解梯级水电站发电调度计划的基本原理，并且能够对不同方案结果进行对比分析，重点掌握不同负荷模式、不同区间来水、不同调节性能电站对电站的水位与出力影响规律。

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

### 1、水电站结构布置仿真



图 3-4-4 溪洛渡电站平面布置



图 3-4-5 向家坝电站平面布置





图 3-4-6 三峡电站平面布置



图 3-4-7 葛洲坝电站平面布置图

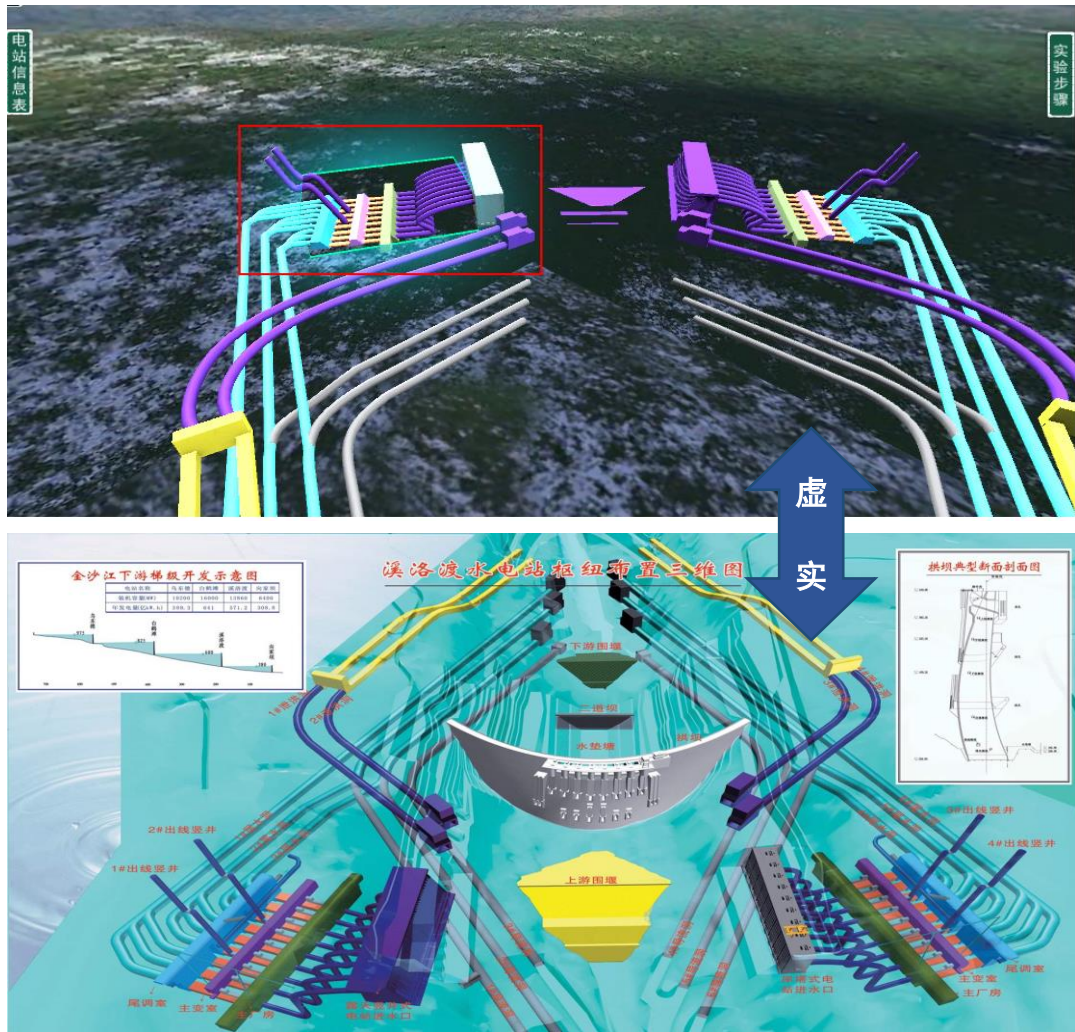


图 3-4-8 溪洛渡地下式厂房引水系统

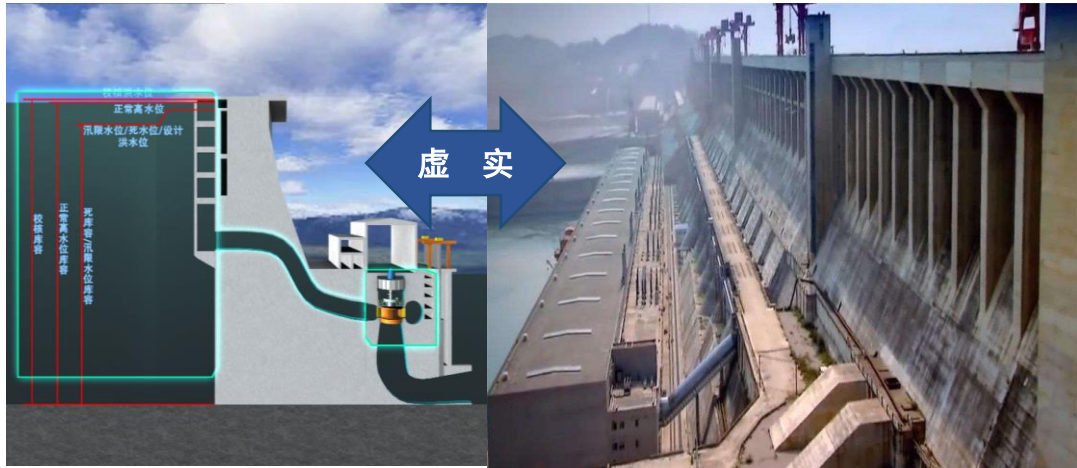


图 3-4-9 三峡电站重力坝厂房横剖图

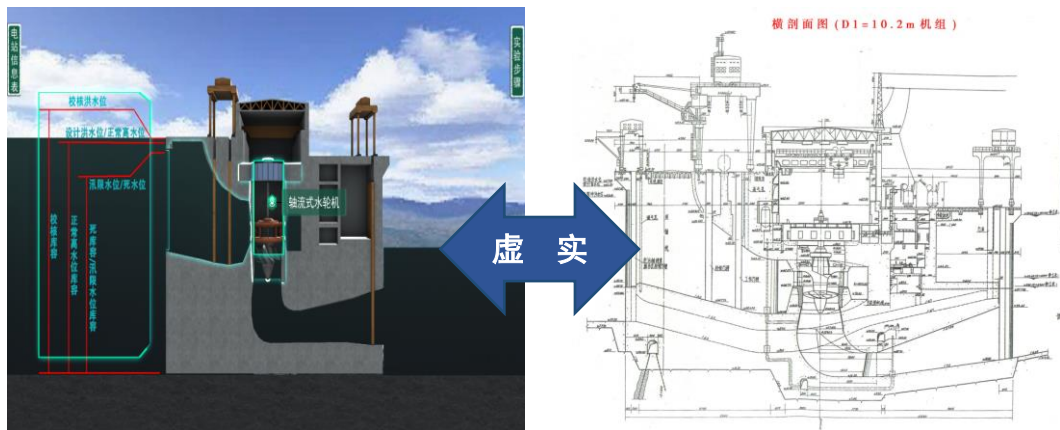


图 3-4-10 葛洲坝电站闸坝横剖图

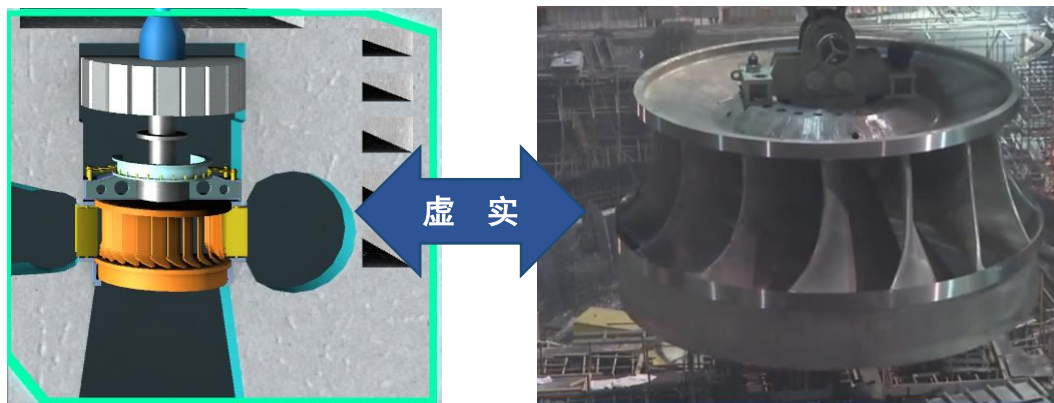


图 3-4-11 混流式水轮机结构





图 3-4-12 轴流式水轮发电机

2、径流预报仿真：该要素无实际项目对照。

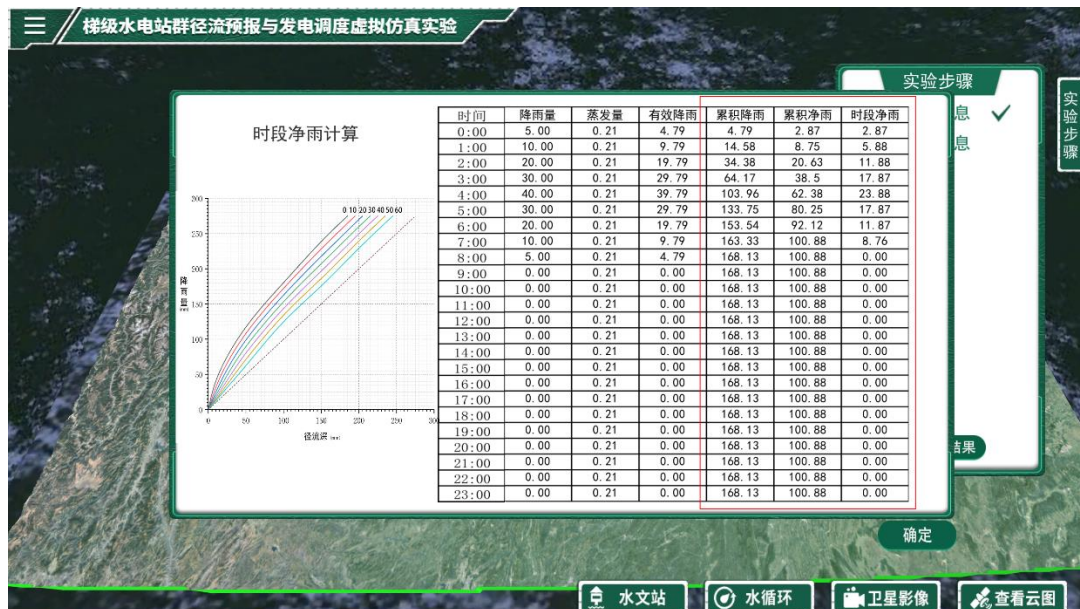


图 3-4-13 各时段净雨结果

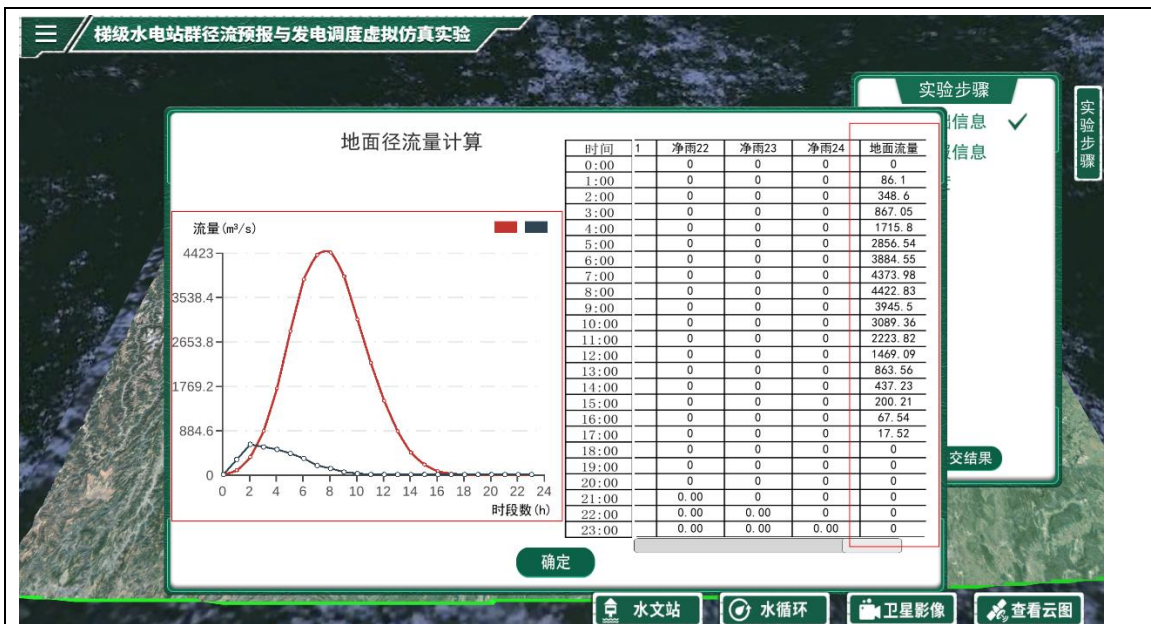


图 3-4-14 地面径流过程

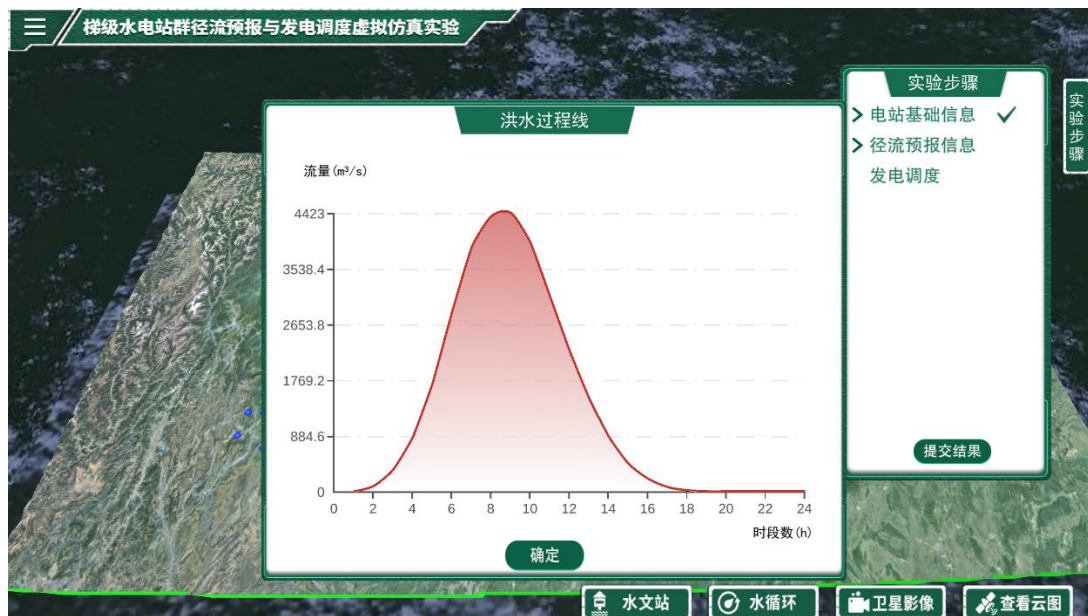


图 3-4-15 预报洪水过程线

### 3、发电调度仿真

方案管理

方案名称	时间	电站数	方案备注
测试1	2020年11月6日	4	

方案管理

方案编辑

方案对比

虚实

短期调度调节计算方案

方案号	起始时间	电站数	时段数	制单人	方案备注	特征	属性值
20101230001	2010-12-31 00	5	96	管理员	20101230	登录用户	管理员
20101229003	2010-12-30 00	5	96	管理员	2010122907	登录位置	本机地址
20101229002	2010-12-30 00	5	96	管理员	2010122907	方案号	20101220001
20101229001	2010-12-29 00	5	96	管理员	1229	制单人	管理员
20101220001	2010-12-20 00	5	96	管理员	20	制作时间	2010年12月20日12时38分
20101216001	2010-12-17 00	5	96	管理员	17号计划	修改时间	2010年12月20日12时38分
20101215001	2010-12-15 00	5	96	管理员	15	开始时间	2010年12月20日
20101213001	2010-12-14 00	5	96	管理员	1号	结束时间	2010年12月20日
20101125001	2010-11-26 00	5	96	管理员	2--电站空停, 来水很大	提交时间	
20101124001	2010-11-23 00	5	96	管理员	等差填充水位限制2号	计算方式	常规方法
20101122002	2010-11-23 00	5	96	管理员	演示方案25	计算模型	均匀调峰
						计算对象	全局
						电站数目	5
						计算时段	96
						执行方案	否
						方案备注	20

方案选择

制作时间 开始时间

起始: 2010年11月01日

结束: 2011年01月01日

显示风格 选择方案

显示方式

所有用户的方案

[管理员]的方案

所有提交的方案

新建日前计划

修改选择方案

删除方案

方案细节

刷新方案

帮助信息

系统样式设置

图 3-4-16 方案管理

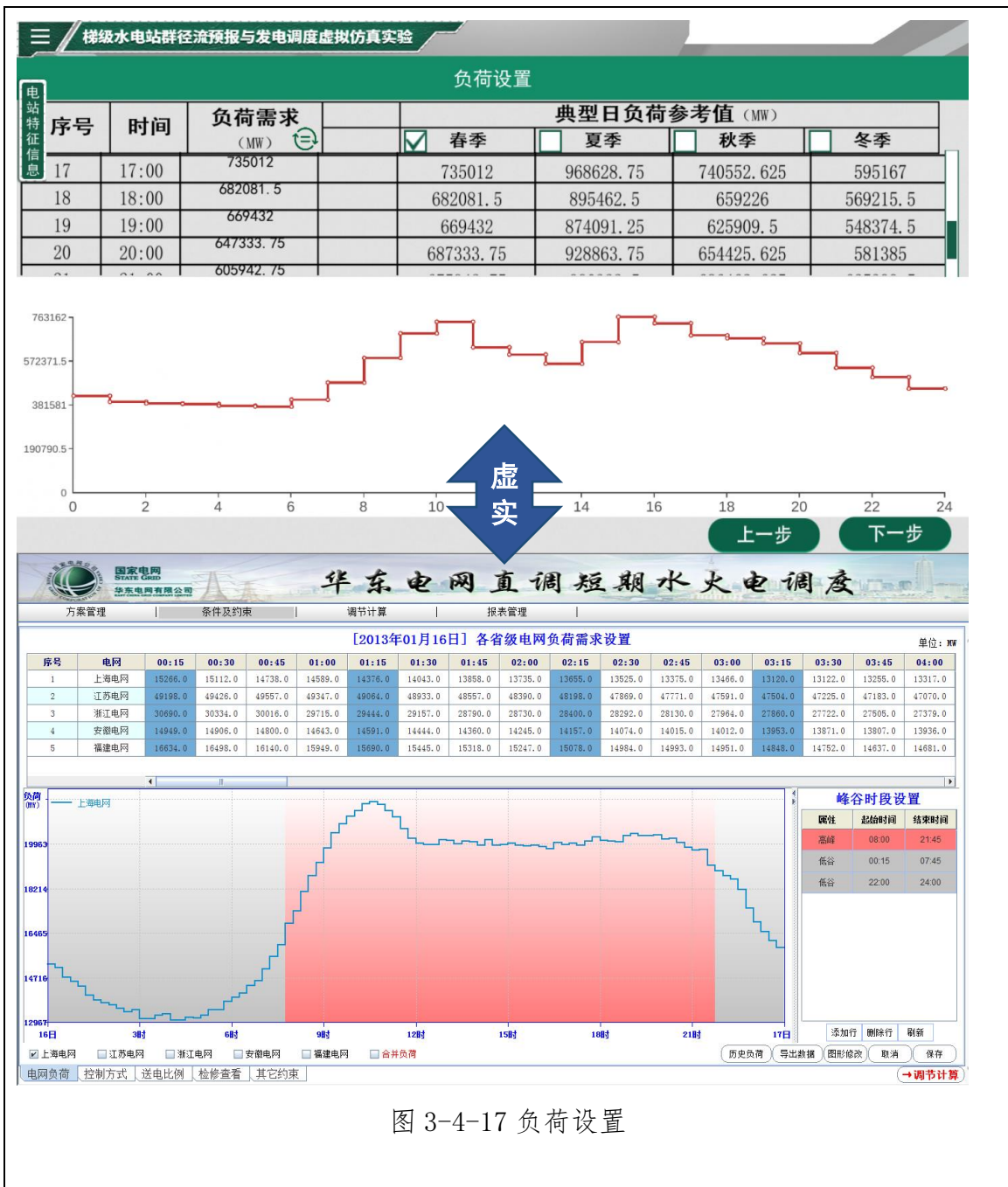


图 3-4-17 负荷设置





图 3-4-18 多库联调

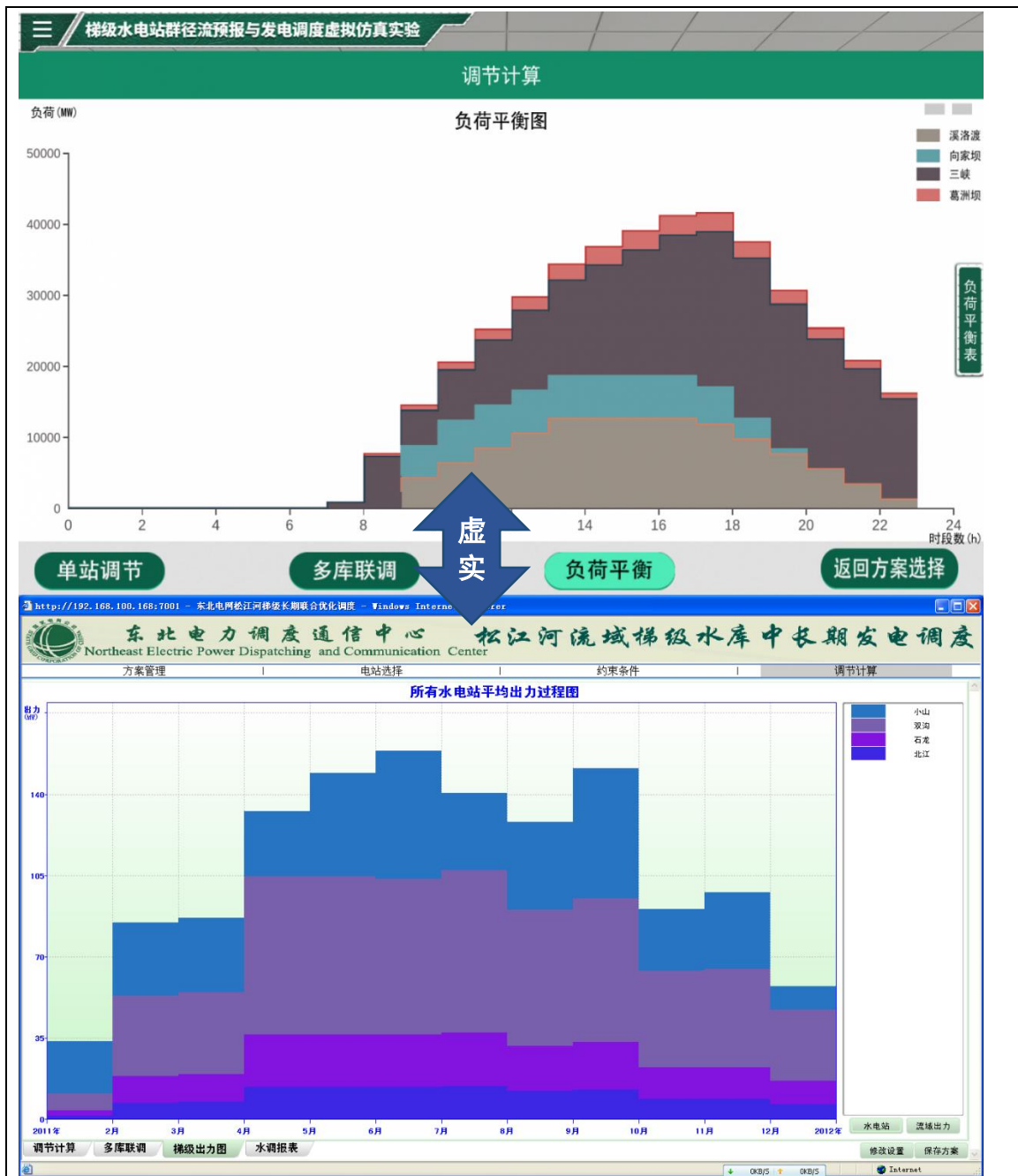


图 3-4-19 出力累计图

### 3-5 实验教学过程与实验方法

下面从实验材料、实验教学方法（包括教学方法、使用目的、实施过程与实施效果）和实验方面三个方面分别阐述。

#### 3-5-1 实验材料（预设参数等）

本实验是虚拟仿真实验，无需消耗真实的实验材料。项目以国内真实梯级水电站群为对象，开展三个方面的实验：（1）水电站水库信息设置；（2）降雨径流预报；（3）发电调度计算，这三个实验模块呈逐次递进关系，即前一个实验是后一个实验的基础。每个实验模块均包含有大量参数，这些参数的表现形式有显现预设、校正匹配、隐性预设和自主设定，其中显示预设是指直接显示在界面，用



户不能更改；校正匹配是指用户需要查找相关资料输入到界面，由系统自动校正输入是否正确；隐性预设是指保密性较高、不方便公开显示的参数，直接内嵌到软件系统，用户看不见；自主设定是指用户在允许范围内可以自由设定参数，下面分别介绍不同实验模块的实验参数：

### (1) 水电站水库信息设置

该实验模块主要是管理电站的基础参数，这些参数是电站的固有属性，部分参数之间存在很强的关联性，不易自主设置，详细参数列表如下：

参数名称	参数类型	参数值			
电站名称	显现预设	溪洛渡	向家坝	三峡	葛洲坝
所属流域		金沙江	金沙江	长江	长江
电站代码		001	002	003	004
调节类型		季调节	季调节	季调节	日调节
是否通航		是	是	是	是
区间面积		454400	4400	541200	0
保证出力 (MW)		6657	2750	4990	768
多年平均流量 (m <sup>3</sup> /s)		4650	4630	14300	14300
设计洪水位		604.23	370	175	66
汛限水位		560	370	150	63
电站最大发电流量 (m <sup>3</sup> /s)		7380	6640	31680	18150
机组台数		18	8	32	22
总装机		12600	6000	22400	2750
水位库容关系		二维曲线	二维曲线	二维曲线	二维曲线
控制面积 (km <sup>2</sup> )		校正匹配	454400	458800	1000000
上游电站	白鹤滩		溪洛渡	向家坝	三峡
下游电站	向家坝		三峡	葛洲坝	无
校核洪水位	609.67		381.86	180.4	66.5
正常高水位	600		380	175	66
死水位	540		370	145	63
单机最大出力 (MW)	770		750	700	125
单机最大发电流量 (m <sup>3</sup> /s)	410		830	990	825
耗水率关系	隐性预设	二维曲线	二维曲线	二维曲线	二维曲线
尾水泄量关系		三维曲线	三维曲线	三维曲线	三维曲线

注：上述参数绝大多数是实际数据，但考虑到实际工程的复杂性，个别参数与实际情况有差别，如单机容量，实际情况是每座电站包含多种型号和装机容量不同的机组，而本实验简化处理成相同型号、相同装机容量的机组。

### (2) 降雨径流预报

该实验模块主要是让学生掌握降雨径流预报过程及原理，为提高学生的动手能力以及减少参数输入的难度（与时段相关的参数），除部分关键参数需要学生进行自主设定外，大部分参数采用系统自动计算填充，学生需要对关键参数进行仔细斟酌和敏感性分析，详细参数列表如下：

参数名称	参数类型	参数值或参考范围
水文站各时段降雨量	显现预设	根据历年降雨随机生成
流域蓄水量 WM		60mm
单位线		预设三条单位线
降雨量—净流深关系		二维曲线
有效降雨		非固定值，系统根据不同参数自动计算
累积降雨		非固定值，系统根据不同参数自动计算
时段净雨		非固定值，系统根据不同参数自动计算
各时段净雨产流		非固定值，系统根据不同参数自动计算
洪水过程线		非固定值，系统根据不同参数自动计算
电站各时段平均降雨量		自主设定
日平均蒸发量	参考范围 0~10mm	
消退系数 K	根据日蒸发量和蓄水量用公式计算	
土壤前期含水量 Pa	参考范围 0~60mm	
累积净雨	用户查降雨量—净流深关系图得到	
净雨划分	用户自主选择不同单位线	

### (3) 发电调度参数

该实验模块主要是让学生掌握发电调度方案制作过程及原理，为提高学生的动手能力，除少数非关键参数是显现预设外，关键参数均需要学生自主设定，详细参数列表如下：

参数名称	参数类型	参数值或参考范围
起始时间	显现预设	0: 00
结束时间		24: 00
计算时段数		24
参与计算电站		溪洛渡、向家坝、三峡和葛洲坝
水位上下限	隐性预设	数据来源电站基础信息
出力上下限		数据来源电站基础信息
发电流量上下限		数据来源电站基础信息
方案名称	自主设定	文本字符
负荷需求 (MW)		默认值是春、夏、秋和冬典型日负荷，用户可在默认值基础上自主修改，参考范围：各小时负荷不出现数量级上的差异
电站区间流量(m <sup>3</sup> /s)		默认值是降雨径流预报结果，用户可在默认值基础上自主修改，参考范围 0~100000m <sup>3</sup> /s
起始水位(m)		参考范围：汛限水位~死水位之间
日发电量(MWh)		参考范围：(0.3~0.7)×装机容量×24
爬坡速率		参考范围：1~5 之间

### 3-5-2 实验教学方法（包括教学方法、使用目的、实施过程与实施效果）

#### 1、教学方法

本实验结合水文专业《水文预报》和《水电站水库运行与调度》两门的建设，采用虚拟仿真信息化教学平台，推进沉浸式、自主式、交互式和反思式等“四式融合”实验教学方法改革，解决了在真实环境中难以对水库调度过程开设实验的不足，并可通过网络实现实验资源的共享，极大地拓展了学生的学习资源和空间，丰富了学生学习模式。

##### ① 沉浸式三维漫游

学生进入虚拟的梯级水电站群和厂房内部结构实验室，体验气势宏大的三维水利枢纽、集控中心、厂房实验室内各仪器设备和空间布局，了解实验室各组成部分和设备名称，使学生熟悉实验环境，如临其境开展实验。

##### ② 自主式实验设计

在进行降雨预报和发电调度实验时，学生可自主设置任意时段降雨量、暴雨中心位置、蒸发量、土壤前期含水量、日负荷以及电站水库初始状态等参数，自主设计实验，做法相对灵活。还可自主设计非常规的极限参数组合，体验“与众不同”的后果，这种教学方式有助于锻炼学生的科研能力和创新思维。

##### ③ 交互式实验操作

在实验系统中，学生需要根据所学核心知识及原理、提示，对实验步骤和实验结果进行分析、判断与决策，系统具有错误提示和自动评价功能，学生通过人机交互，实现了边学习、操作、边考核，错误和不足之处可及时得到纠正。

##### ④ 反思式评价反馈

实验操作结束后，通过填写实验报告和评价反馈，学生可以反思自己的全部操作及参数输入情况，了解自己的知识能力缺陷。学生可根据评价结果和兴趣，反复进行虚拟仿真实验，进而提高学习效果。

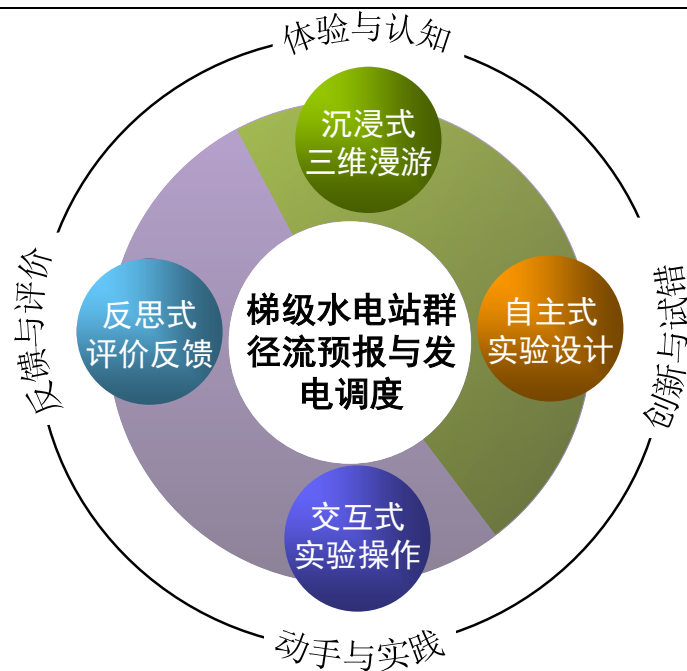


图 3-5-1 实验教学方法实施过程

## 2、使用目的

本实验采用上述教学方法，以“培养多学科交叉的水利电力复合型人才”为教学理念和如下目的：

### ① 激发学生的学习兴趣，强化学生的专业知识

在虚拟场景中，学生可以直接观察超大型水利枢纽布局、厂房和核心机组内部结构；与虚拟的不同大坝类型、不同厂房类型和不同水轮机类型的电站互动时，能够使學生深入细致地了解不同水电站的运行工况和工作原理；在虚拟的调度台练习制作径流预报和发电调度方案，提升了学生的参与度与理解度，使学生最大程度理解水库调度的真实场景。这种快速、直观和高效的学习方式不仅能够激发学生的学习兴趣，而且有助于学生从虚拟环境向真实环境快速过渡，为毕业后适应电网和流域集控中心工作打下坚实基础。

### ② 完善学生的知识体系，提升学生的动手能力

虚拟仿真实验解决了传统参观式实习，学生人数多，场地有限，学生不被允许操作调度台，只能隔着玻璃远距离观看的问题。在虚拟环境中，学生可以针对不同降雨时段、降雨量、蒸发量、前期含水量、暴雨中心位置、日负荷、电站初始约束等参数进行自主设计练习，学生通过分析和反思自己的全部操作及参数输入情况，了解自己的知识能力缺陷。这种模式能够完善学生的知识体系，促进学生在应用课堂学习的理论知识，去观察、分析、整理和总结实验中的各种问题，

全面提升学生的动手能力。

### ③ 巩固潜在的水电调度人才储备，提高水电类高校的科研水平

在虚拟场景中，本科生能提前接触到研究生阶段才能学到的专业知识，在一定程度上能够激发更多学生学习专业知识，巩固了潜在的水电调度方向的人才储备，这将有助于水电类普通高校的科研团队和学科建设，进而提升本科毕业生的就业竞争力。

## 3、实施过程

在仿真平台上，虚拟仿真实验教学一共设置了水文知识问答、电站信息设置、径流预报流程和发电调度计算四个模块（图 3-5-2）：



图 3-5-2 虚拟仿真实验教学的四个模块

各模块的功能如下：

**模块一：水文知识问答**，该模块共有 20 道随机抽取的选择题（单选和多选各 10 道）和 3 道问答题，选择题来源于 50 道题库，学生做完选择题后，系统自动判分，60 分以上为及格；问答题需要做完实验后，利用实验数据撰写实验报告，然后将实验报告上传到平台，由老师批阅给分；

**模块二：电站信息设置**，水电站水库的基础资料非常多，涉及水工和水文方面的内容，水工专业或水文专业的学生仅对自己专业知识比较熟悉，对非本专业概念比较模糊，采用三维仿真技术形象介绍了水电站水库的基础知识，并且预留了部分填空，学生需要仔细阅读电站简介后，填写正确答案才能进行下一步，通过此模块可以加深学生对电站简介和基础知识的了解；

**模块三：降雨径流预报**，此模块的功能是通过降雨信息预报电站的区间流量，

首先是采用经典的单位线法预报龙头电站，然后采用面积比法预报其它电站的区间流量；

**模块四：发电调度计算**，此模块的功能是模拟梯级水电站群集控中心在不同区间来水下，为响应电网调峰需求而制定出相应的发电调度方案，调度方案可以以单站和梯级联调方式展示，方案制定完后，学生可以将多组方案进行比较，并将实验报告提交给老师评阅。

第一课时：教师提前 1 周布置理论课预习任务，学生需要重点掌握水文预报和水库调度相关知识，然后学生通过网络登录虚拟仿真平台，预习本实验的实验目的、实验原理、实验设备和实验预设参数，并完成水文知识问答，答题不合格的同学给予反馈信息，并要求再次答题，直到合格，如图 3-5-3；

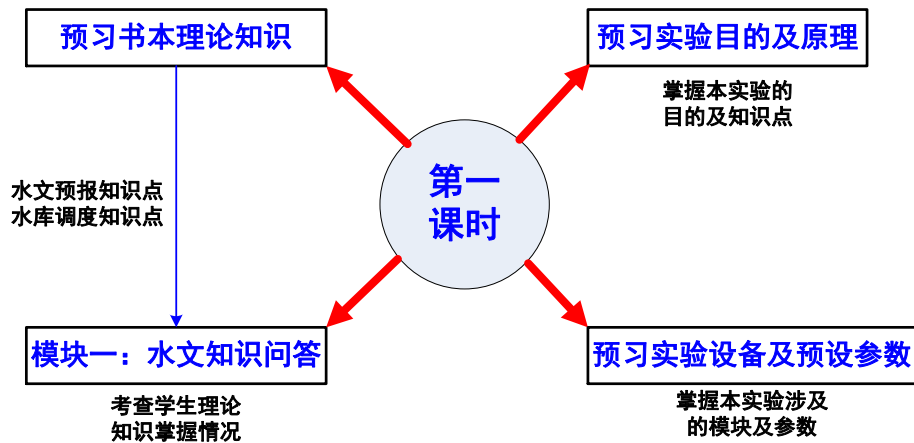


图 3-5-3 第一课时学习内容

第二课时：当学生完成理论学习和预习内容，考核合格后才能第二课时的实验，第二课时实验包括电站信息设置、降雨径流预报参数敏感性实验分析，如下所示：

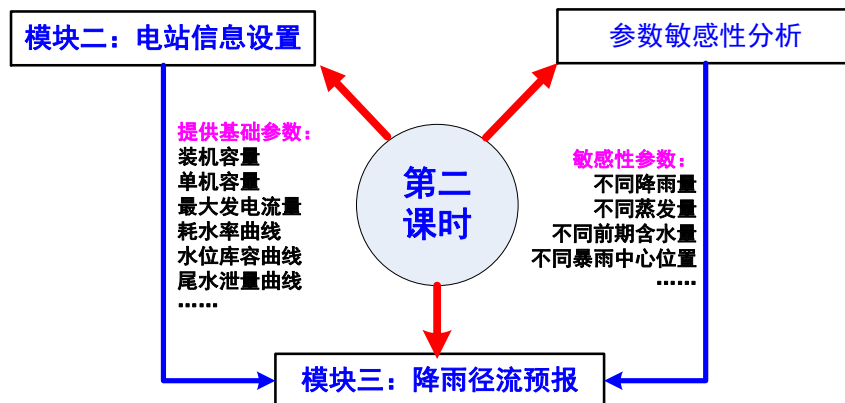


图 3-5-4 第二课时实验内容

第三课时：当学生设置好电站信息后，需要对发电调度相关参数敏感性实验分析，如下所示：

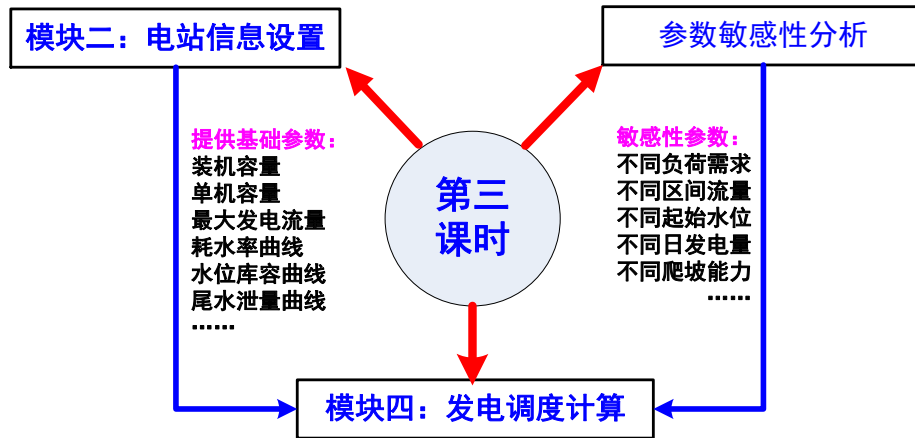


图 3-5-5 第三课时实验内容

第四课时：比较不同降雨预报方案的区间流量大小、洪峰流量特点和洪水涨退规律，以及不同发电调度方案的调峰电量、出力特点和弃水情况等，分析说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论，最后撰写实验报告，如下所示：

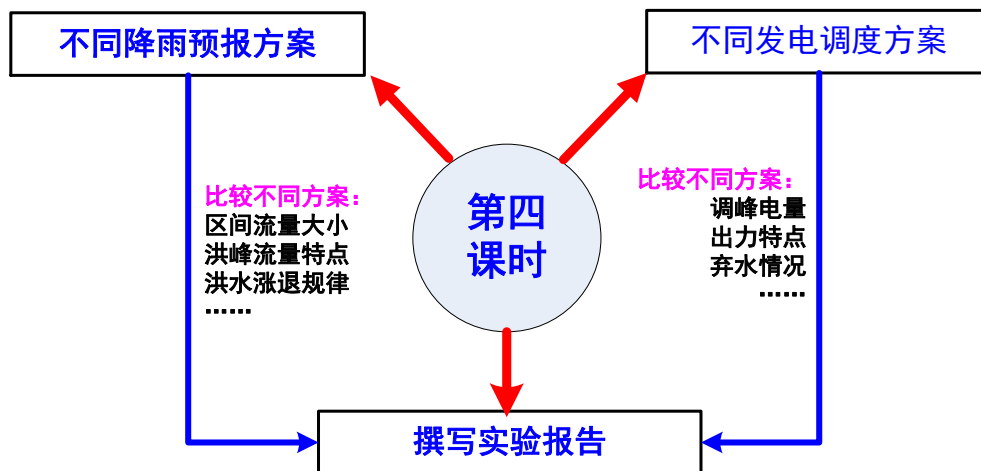


图 3-5-6 第四课时实验内容

#### 4、实施效果

目前该实验项目已服务师生及校外人数 300 人以上，在示范教学过程中，通过三维仿真及虚拟现实技术演示拱坝、重力坝和闸坝的形状及枢纽平面布置图，以及地下式、坝后式和河床式厂房的横剖结构图，学生通过电站、水库及机组参数设置进行互动操作，了解水电站水库的基本结构与属性特征，打通《水电站建筑物》、《水电站水库运行与调度》和《水文预报》课程的实践环节，增强了学生



应用实验手段解决实际问题的动手能力，提高学生的学习兴趣和积极，加深学生对水利工程的感性认知，丰富学生的知识体系。2020年春季学期由于疫情原因，学生不得反校，不能集中在实验室做实验，只能在家自主做实验；图 3-5-7~3-5-10 是本校学生在 2020 年秋季学期做实验场景；图 3-5-11 是学生对本实验评价情况。

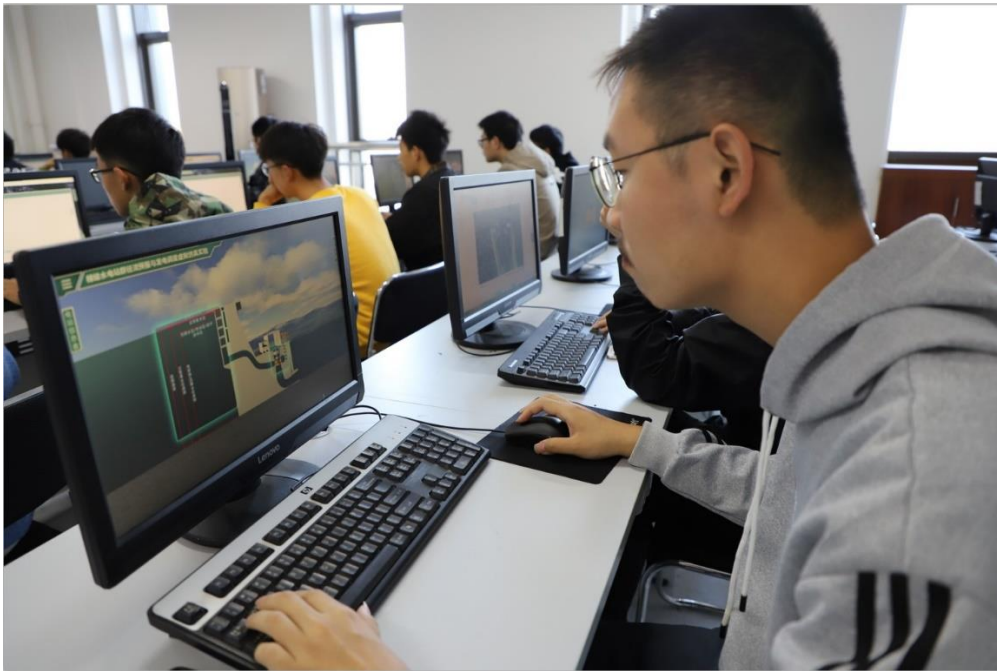


图 3-5-7 学生在认真操作虚拟仿真软件（2020 年秋季）



图 3-5-9 学生上机操作虚拟仿真软件（2020 年秋季）





图 3-5-10 教师在讲解虚拟仿真软件操作（2020 年秋季）



图 3-5-11 本实验的评价情况

另外，本项目于 2019 年 9 月上线测试运行，首先面向本校学生开放测试使用，使用过程中不断完善，于 2020 年 4 月正式开展本校学生实验，并于 2020 年 9 月正式面向社会开放使用，已经为大连理工大学和三峡梯级枢纽梯级调度通信中心水资源部等单位提供近 100 人次服务（含学生和社会学习者），教学和应用效果良好，图 3-5-12 分别各单位的应用证明。

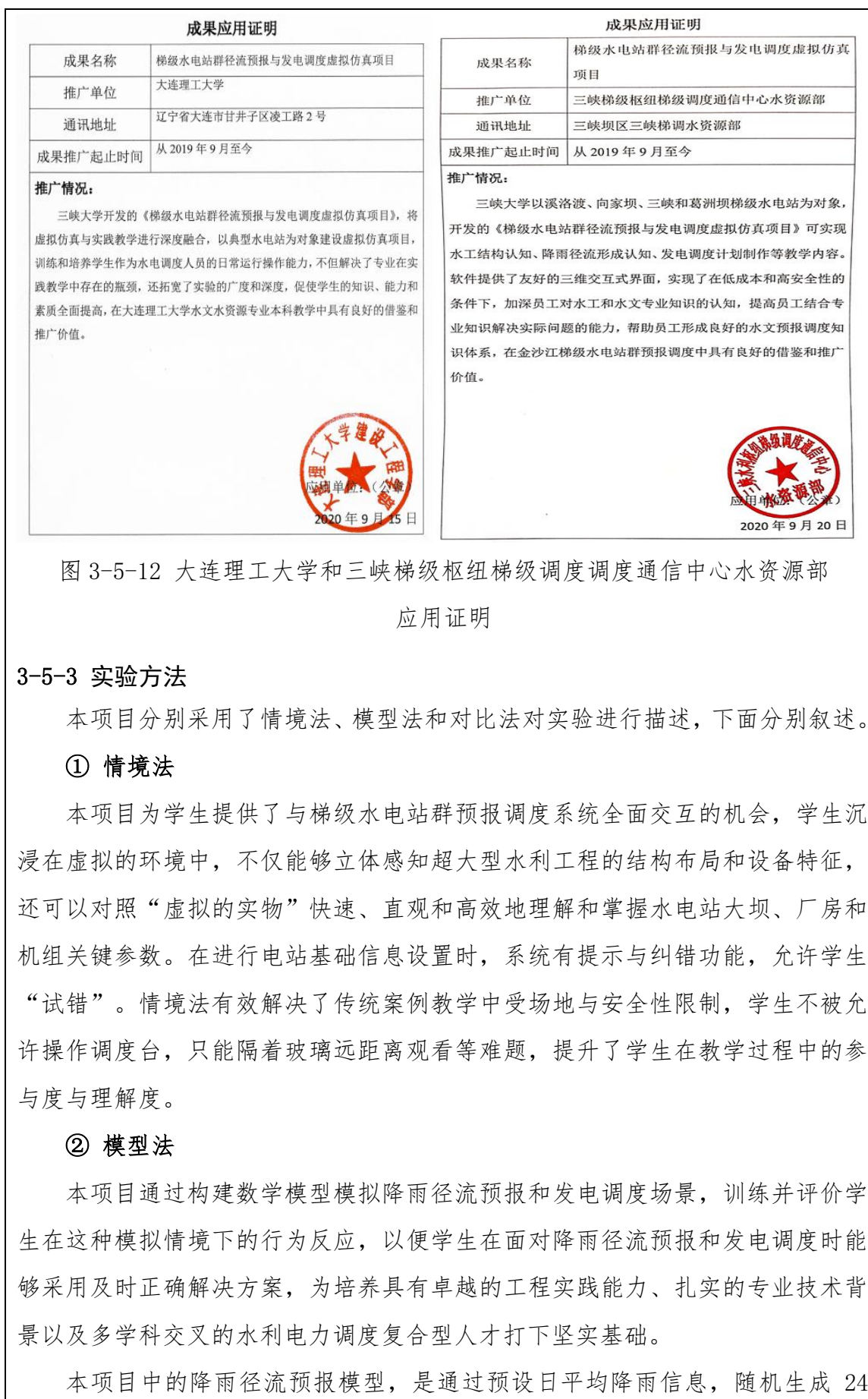


图 3-5-12 大连理工大学和三峡梯级枢纽梯级调度通信中心水资源部  
应用证明

### 3-5-3 实验方法

本项目分别采用了情境法、模型法和对比法对实验进行描述，下面分别叙述。

#### ① 情境法

本项目为学生提供了与梯级水电站群预报调度系统全面交互的机会，学生沉浸在虚拟的环境中，不仅能够立体感知超大型水利工程的结构布局和设备特征，还可以对照“虚拟的实物”快速、直观和高效地理解和掌握水电站大坝、厂房和机组关键参数。在进行电站基础信息设置时，系统有提示与纠错功能，允许学生“试错”。情境法有效解决了传统案例教学中受场地与安全性限制，学生不被允许操作调度台，只能隔着玻璃远距离观看等难题，提升了学生在教学过程中的参与度与理解度。

#### ② 模型法

本项目通过构建数学模型模拟降雨径流预报和发电调度场景，训练并评价学生在这种模拟情境下的行为反应，以便学生在面对降雨径流预报和发电调度时能够采用及时正确解决方案，为培养具有卓越的工程实践能力、扎实的专业技术背景以及多学科交叉的水利电力调度复合型人才打下坚实基础。

本项目中的降雨径流预报模型，是通过预设日平均降雨信息，随机生成 24

小时降雨量，然后采用单位线法预报龙头电站的区间流量，最后采用面积比法预测下游电站的区间流量。为避免数据太多，输入繁琐，该模型预设了部分参数，学生仅需要输入少量关键参数即可实现径流预报功能，此外还配备了水文循环动画和水文站三维图，进一步加深学生对水文预报理解能力。

本项目中的发电调度模型，是模拟梯级水电站群集控中心在不同区间来水下，为响应电网调峰需求而制定出相应的发电调度方案，调度方案可以以单站和梯级联调方式展示，方案制定完后，可以通过仿真运行的方式模拟电站水库的调度运行过程。

### ③ 对比法

本项目为学生提供足够多的预设参数，学生可以根据自己理解与偏好设置不同参数值，然后针对不同参数组合下的预报结果和调度方案对比分析，学生通过分析和反思自己的全部操作及参数输入情况，了解自己的知识能力缺陷。学生可根据评价结果和兴趣，反复进行虚拟仿真实验，进而提高学习效果。

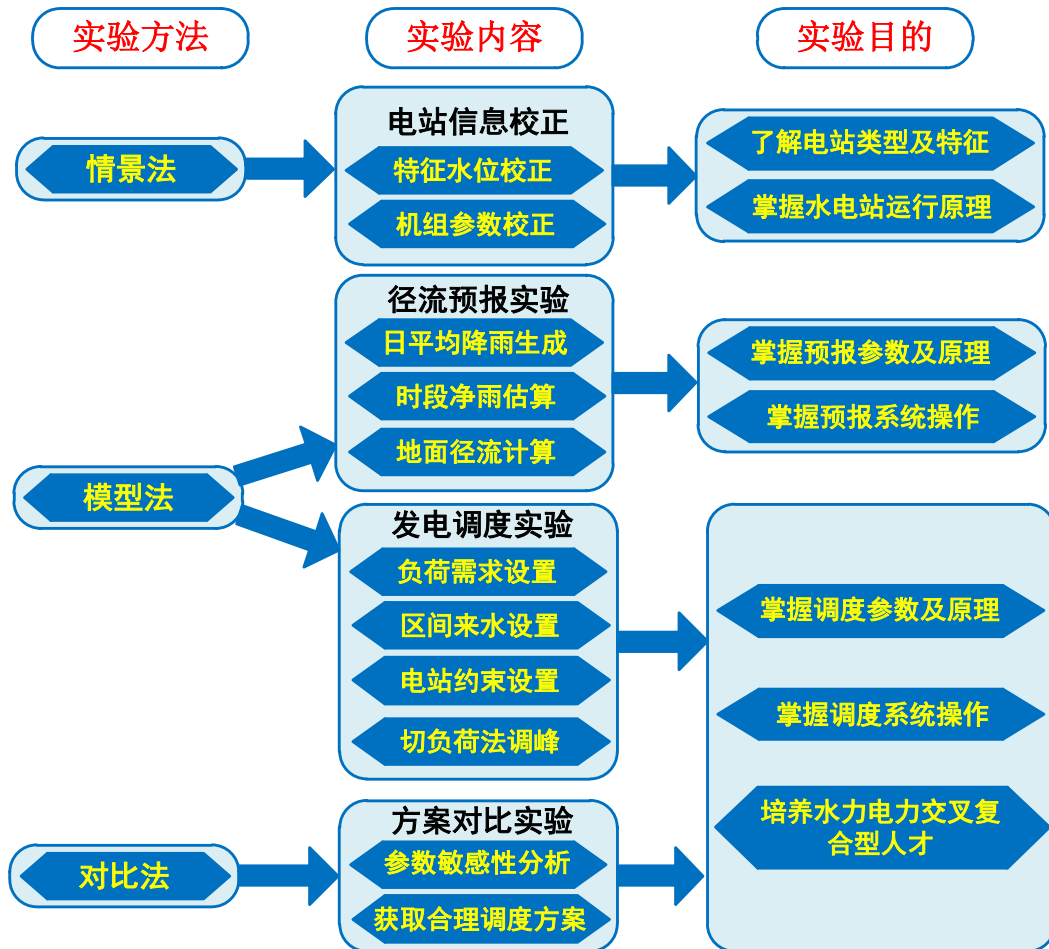


图 3-5-13 本项目采用的实验方法

**3-6 步骤要求**（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

（1）学生交互性操作步骤，共 19 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	阅读实验目的和实验要求，进入水文知识问答模块	0.05 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
2	完成 20 道预报调度选择题	0.5 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	30	
3	打开水电站平面面罩和横剖图	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	
4	设置水库特征水位参数	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
5	设置机组信息参数	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
6	设置所有电站的水库特征参数和机组信息	0.5 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
7	打开径流预报模块，设置龙头电站平均降雨量	0.05 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	
8	设置日蒸发量和前期降雨量参数	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	2	
9	设置累计降雨量，计算时段净雨量	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
10	设置不同暴雨中心位置	0.05 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	
11	计算下游其它电站区间流量，并对水文站和水循环进行认知实验	0.5 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
12	打开发电调度模块，新建调度方案	0.05 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	
13	设置负荷需求约束	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	1	
14	设置区间流量约束	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	3	
15	设置起始水位、日发电	0.1 学时	目标分值=步骤满分值×0.6	2	

	量和爬坡速度约束		分值×0.6	
16	核实单站、梯级计算结果以及负荷平衡情况	0.2 学时	目标分值=步骤满 分值×0.6	1
17	对不同调度进行对比分析	0.3 学时	目标分值=步骤满 分值×0.6	1
18	分析实验结果，并撰写实验报告	1 学时	目标分值=步骤满 分值×0.6	40
19	教师评阅实验报告	-	-	-
合计		4	目标分值≥60 达标	100

(2) 交互性步骤详细说明

本实验基本基本流程为：登录系统→水电站厂房漫游认知与参数设置→降雨径流预报练习→发电调度方案制作练习→实验方案对比分析→撰写实验报告→实验结束→退出系统→老师批阅试验报告并发布成绩。实验项目操作流程详见图 3-6-1。

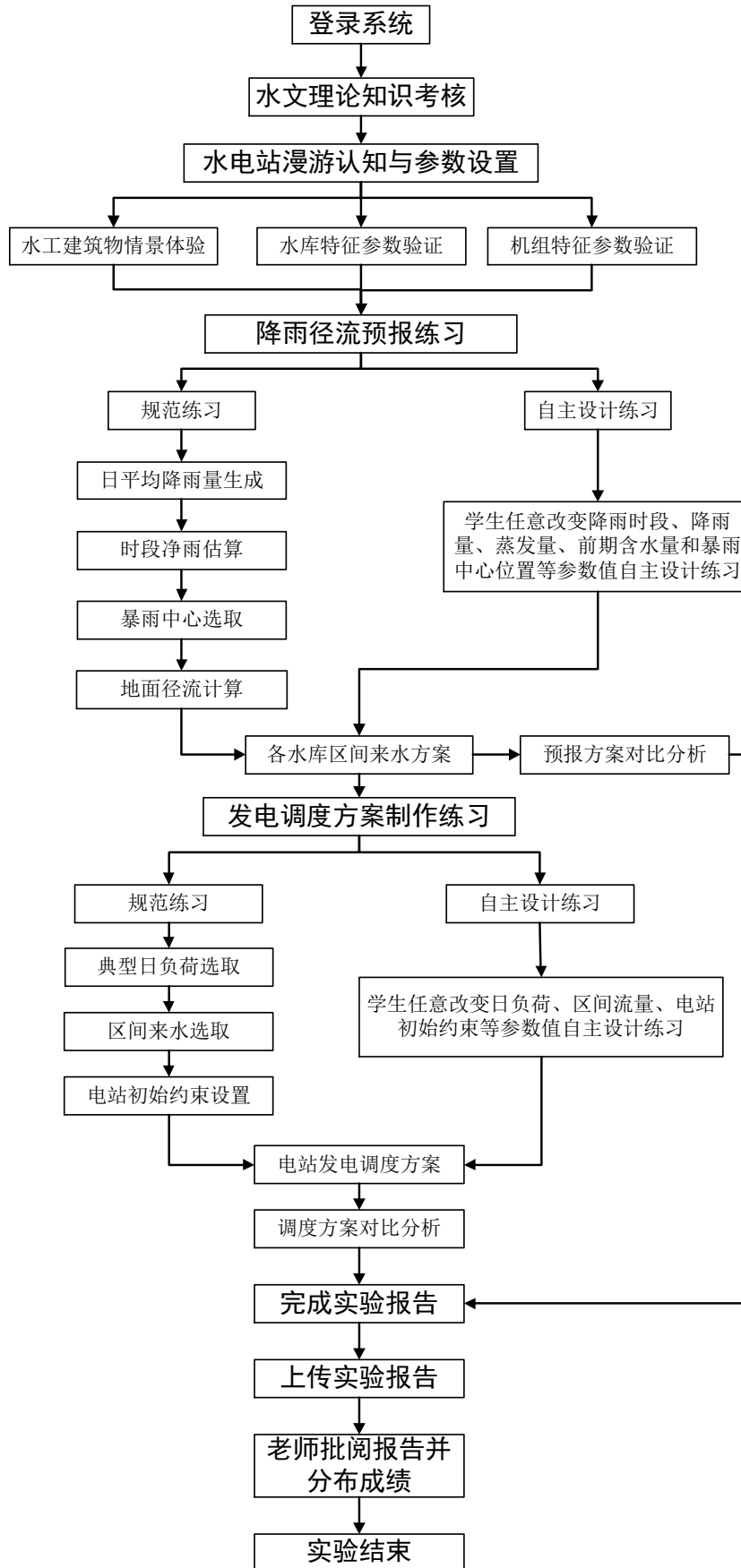


图 3-6-1 实验项目操作流程



**步骤 1:** 阅读完实验目的和操作帮助后，进入实验模块选择界面（如图 3-6-2），点击左侧的水文知识问答模块。



图 3-6-2 实验模块选择界面

**步骤 2:** 依次完成单选和多选题，共 20 道，满分为 100 分，成绩超过 60 分才能查看答案，如图 3-6-3：

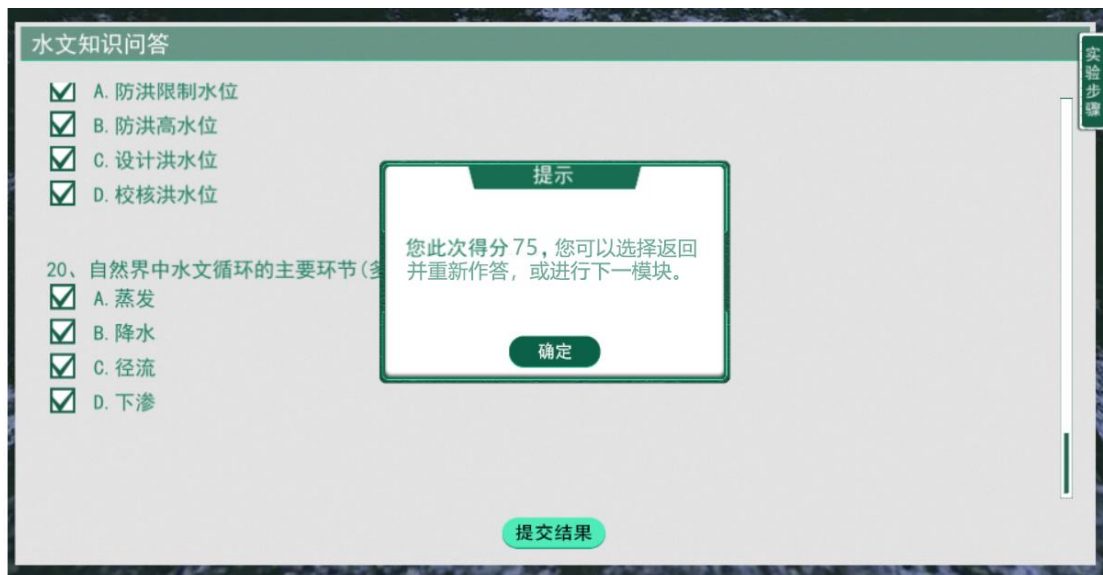


图 3-6-3 知识问答界面

**步骤 3:** 打开电站信息设置模块，左键双击流域图中电站（如图 3-6-4），会弹出该电站的平面枢纽布置图（如图 3-6-5），点击键盘上 A 或 W 或 S 或 D 键，可实现从不同角度观察大坝；单击大坝或厂房荧光区域即可打开大坝横剖面图（如图 3-6-6）。



图 3-6-4 电站流域分布图界面

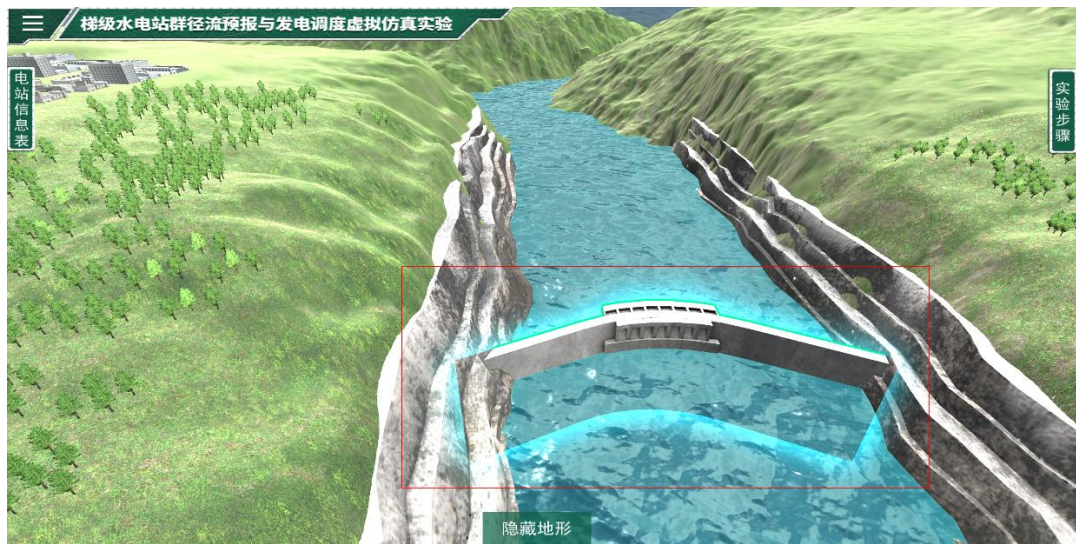


图 3-6-5 大坝平面布置界面

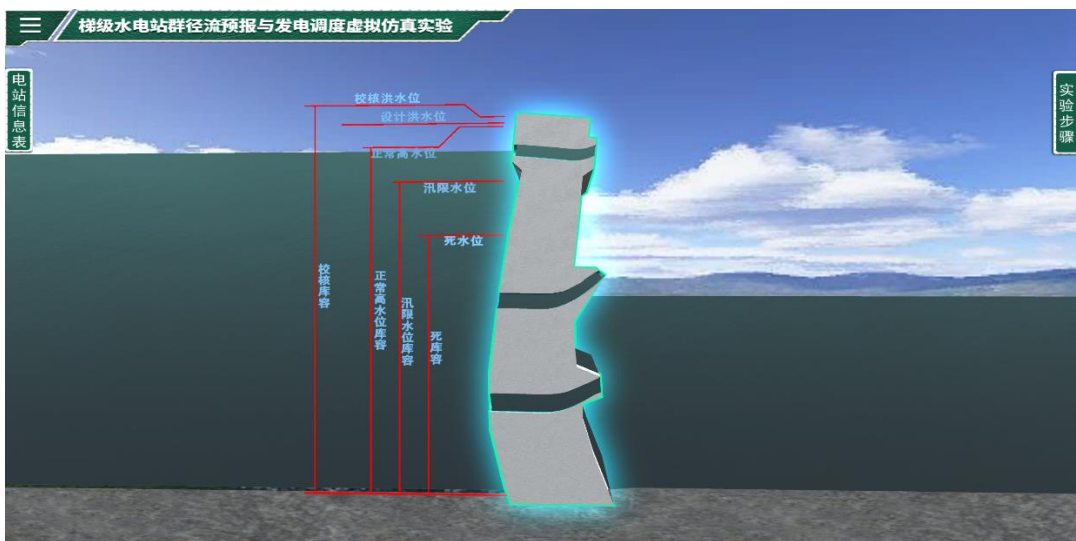


图 3-6-6 大坝横剖面界面



**步骤 4:** 设置水库特征水位参数，点击大坝横剖面图中荧光区域，会弹出水库特征水位参数对话框，输入相应参数。若不清楚具体参数，可以点击右上角的问号，会弹出电站简介（如图 3-6-7）。填写完毕后，点击提交结果，若参数输入错误，系统会提示要求重新输入；

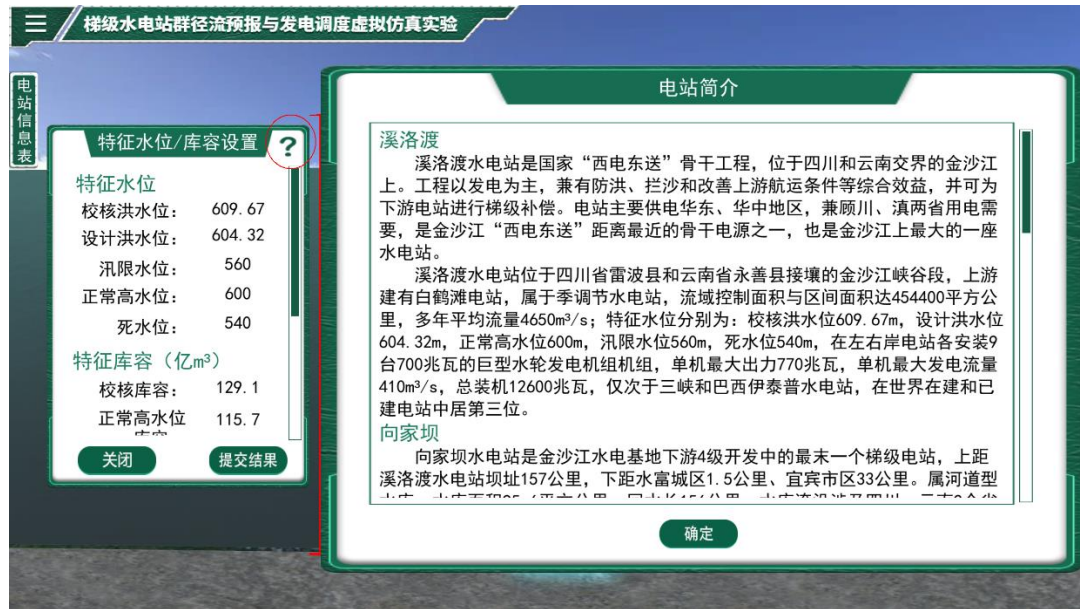


图 3-6-7 水库特征水位参数设置界面

**步骤 5:** 设置机组信息参数，本项目共有 4 座电站，其中溪洛渡电站为地下厂房，它的机组信息设置方法与其它 3 座稍有区别。① 若为溪洛渡电站，当水位参数设置完毕后（如图 3-6-8），点击右侧的实验步骤→返回总览→隐藏地形，即可打开厂房及输水系统布置图（如图 3-6-9），该图为三维图，点击键盘上 A 或 W 或 S 或 D 键，可实现从不同角度观察厂房和输水系统三维图，点击荧光区域可以打开厂房横剖图（如图 3-6-10），输入完成机组参数信息并提交；② 若为其它电站，如向家坝电站（如图 3-6-11），当水位参数设置完毕后，直接在横剖图中找到机组位置，点击进去，弹出机组信息设置对话框，完成相应参数输入后，点击提交结果。注意：上下游电站名称输入简称，如向家坝、三峡或葛洲坝。若参数全部正确，点击右侧的实验步骤，点击提交结果，然后点击返回总览进入下一电站操作；

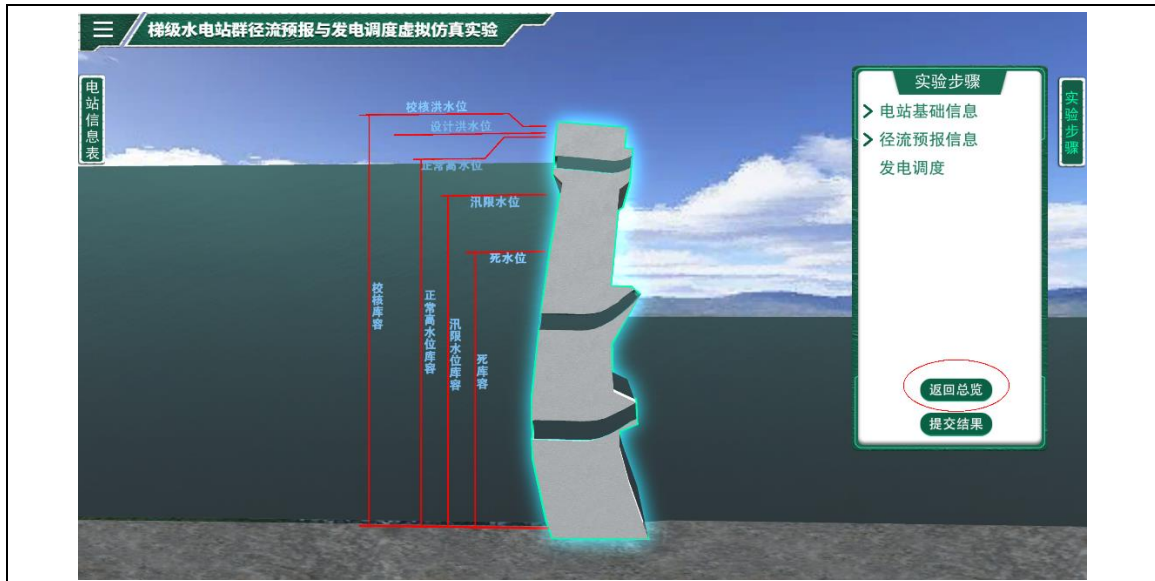


图 3-6-8 返回总览操作界面

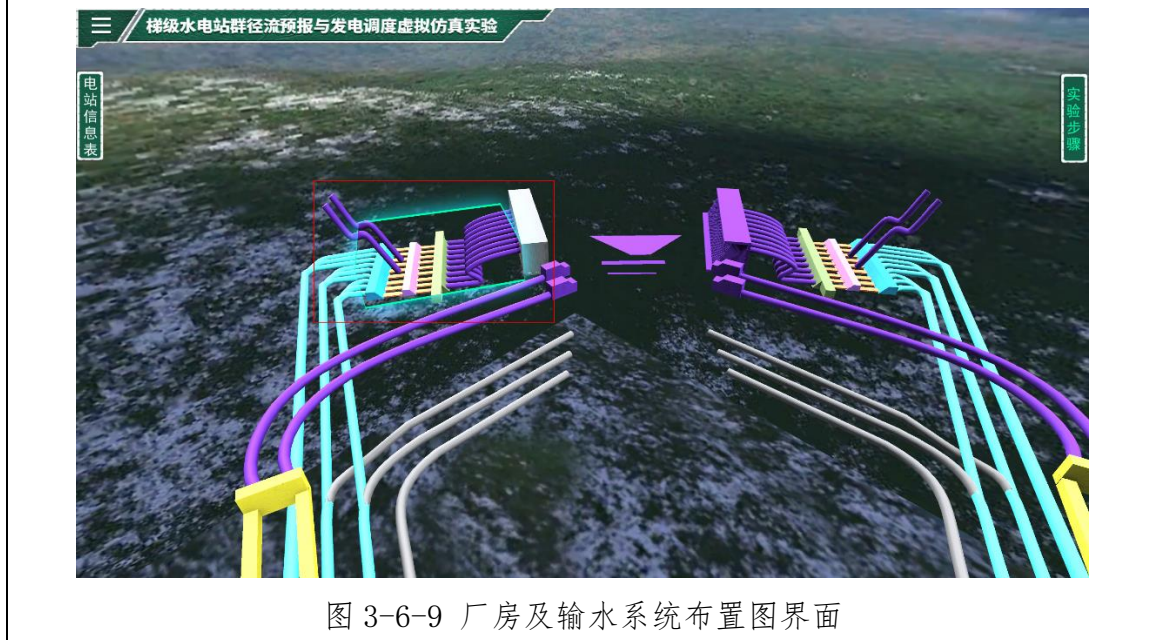


图 3-6-9 厂房及输水系统布置图界面

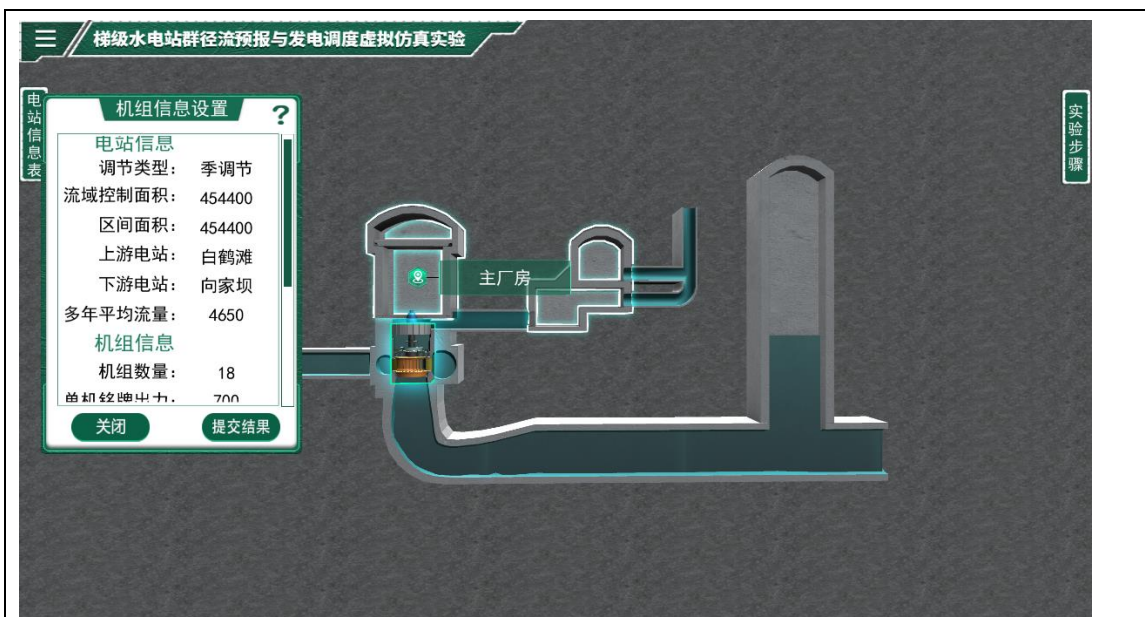


图 3-6-10 厂房横剖图界面

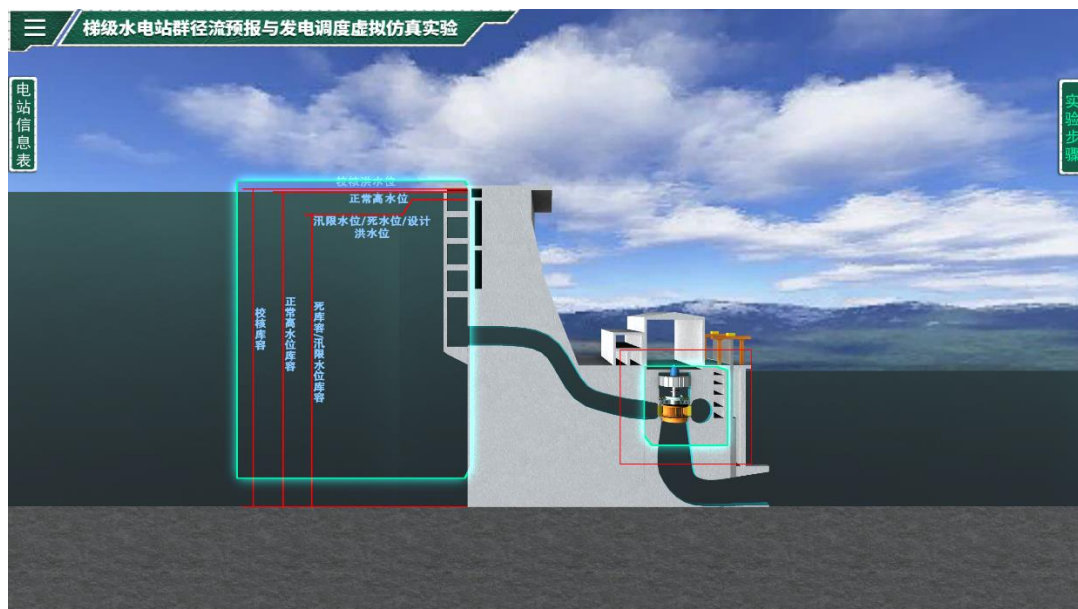


图 3-6-11 机组位置界面

**步骤 6:** 依次完成下游向家坝、三峡和葛洲坝电站的特征水位和机组信息输入，若全部正确，系统会提示进入下一模块（如图 3-6-12），注意葛洲坝电站没有下游电站，填写无。



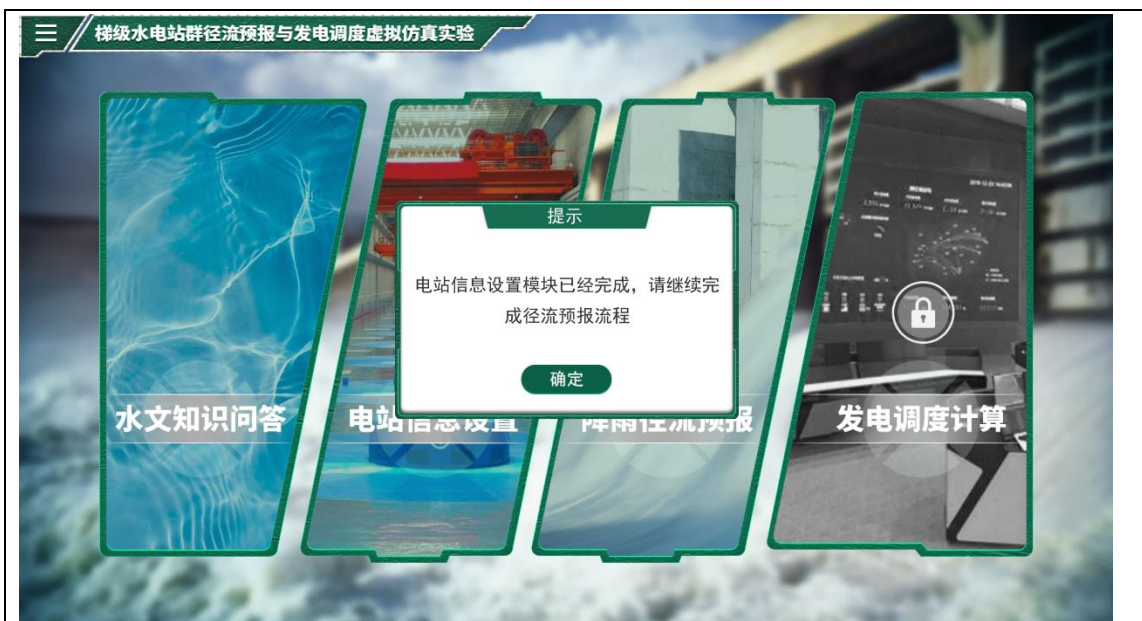


图 3-6-12 电站信息设置完毕界面

**步骤 7:** 设置径流预报模块，进入径流预报模块，呈现的是流域地图，蓝色点代表水文站（如图 3-6-13，本项目仅提供龙头电站区间流量预报操作，因此点击溪洛渡电站的任意 6 座水文站，根据季节随机生成分时段降雨（如图 3-6-14），该表格数据可以修改，点击右下角的确定按钮，可以计算出溪洛渡电站各时段平均降雨量（如图 3-6-15）。若对预报结果不满意，可以进行人工修改，如图 3-6-16 为修改后的平均降雨量。

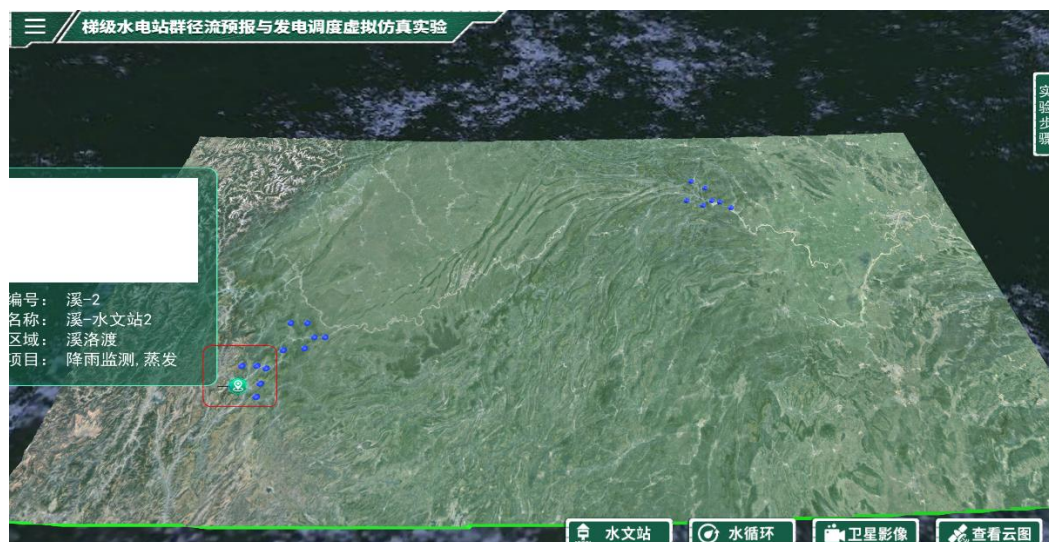


图 3-6-13 水文站分布界面



图 3-6-14 溪洛渡电站的水文站随机降雨量

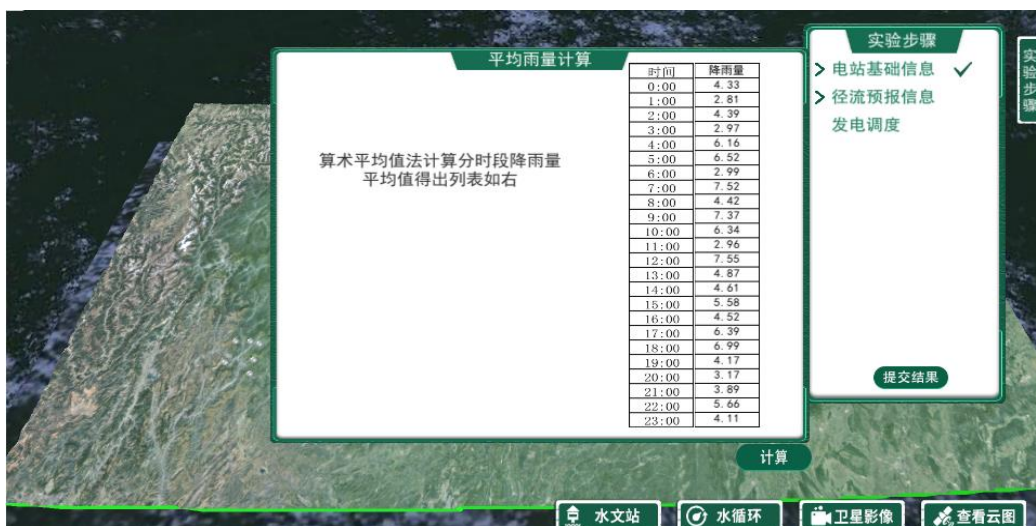


图 3-6-15 溪洛渡电站不同时间平均降雨量



图 3-6-16 修正后溪洛渡电站不同时间平均降雨量



**步骤 8:** 平均降雨量修改完毕后，点击确定弹出输入日蒸发量对话框（如图 3-6-17），输入 0~10 内任意数字，确定后弹出输入蓄水容量和 K 值，其中蓄水容量 60 为默认值，根据前面输入的蒸发量计算 K 值（如图 3-6-18），确定后弹出前期降雨量 Pa 值，输入 0~60 内任意数字（如图 3-6-19），完毕后确定。



图 3-6-17 输入值日蒸发量

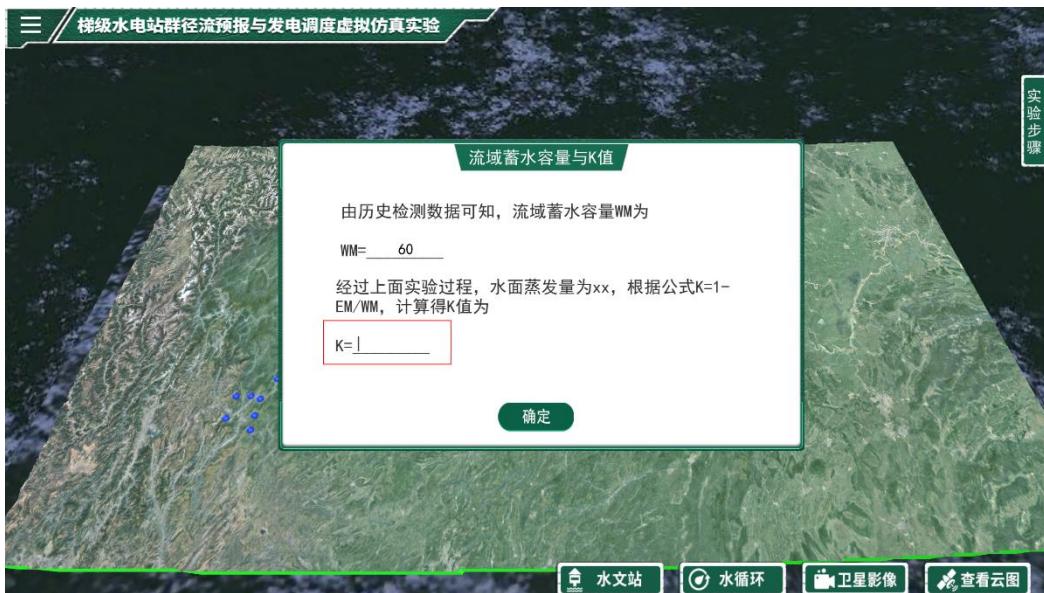


图 3-6-18 根据蒸发量计算 K 值



图 3-6-19 输入前期降雨量值

步骤 9: 计算时段净雨量, 如图 3-6-20, 左侧的降雨量—径流深相关图, 根据累积降雨量, 查蓄水容量为 60mm 的降雨量—径流深相关曲线得各时段的累积净雨, 点击图片可以放大, 累积净雨输入完毕后, 点击计算, 系统会自动计算时段净雨 (如图 3-6-21);

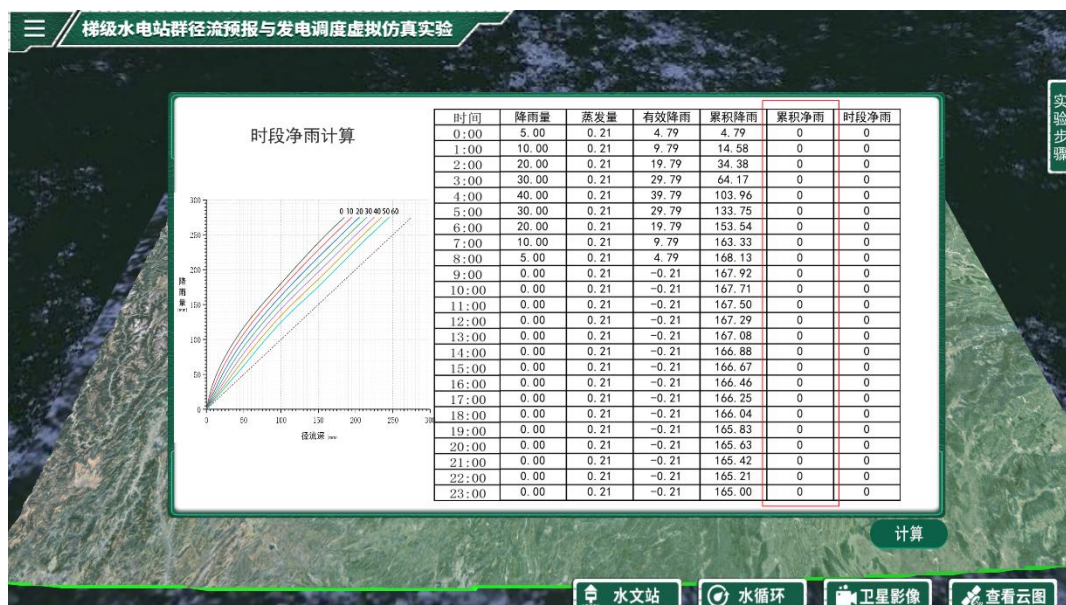


图 3-6-20 溪洛渡电站累积净雨输入界面



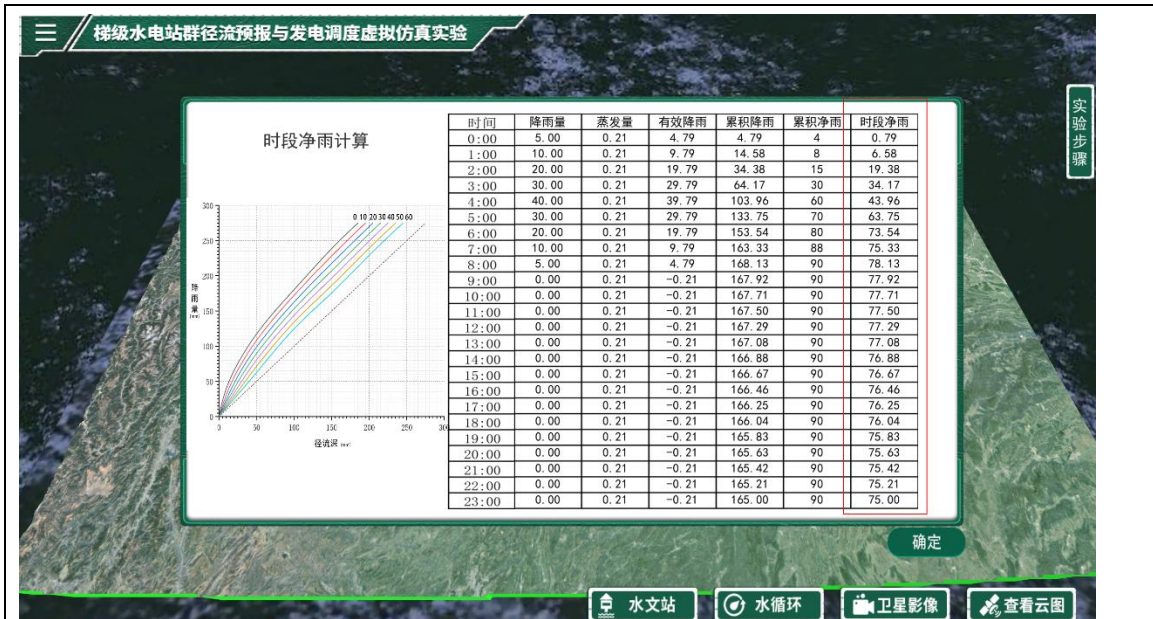


图 3-6-21 溪洛渡电站时段净雨计算界面

步骤 10: 根据暴雨中心位置不同, 选择不同的单位线计算地面流量, 如图 3-6-22, 然后根据不同时段的净雨, 系统自动计算地面流量, 如图 3-6-23 和图 3-6-24;

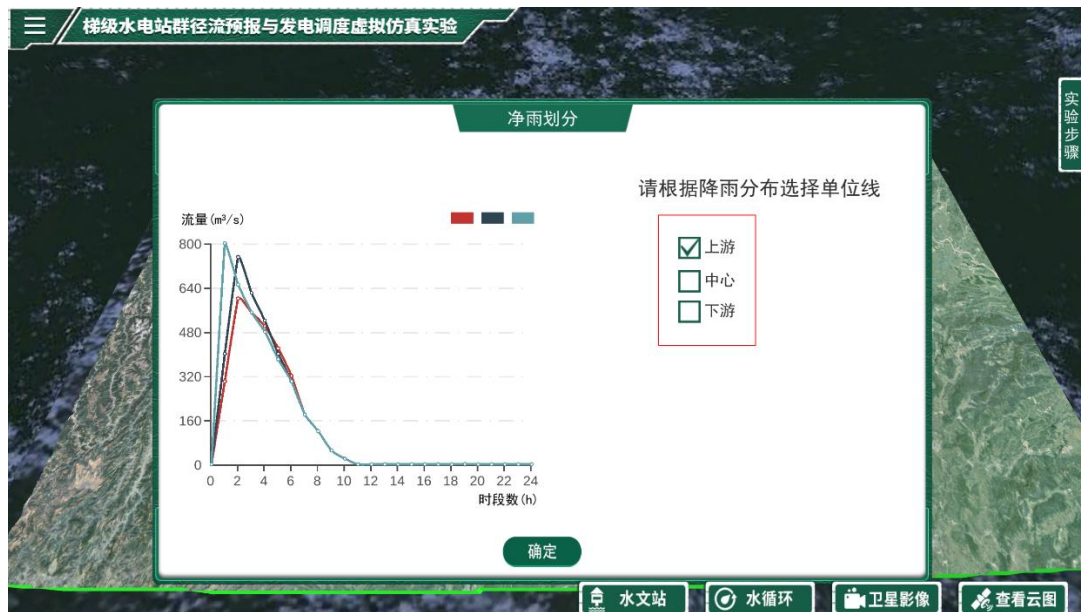


图 3-6-22 溪洛渡电站预报单位线选择



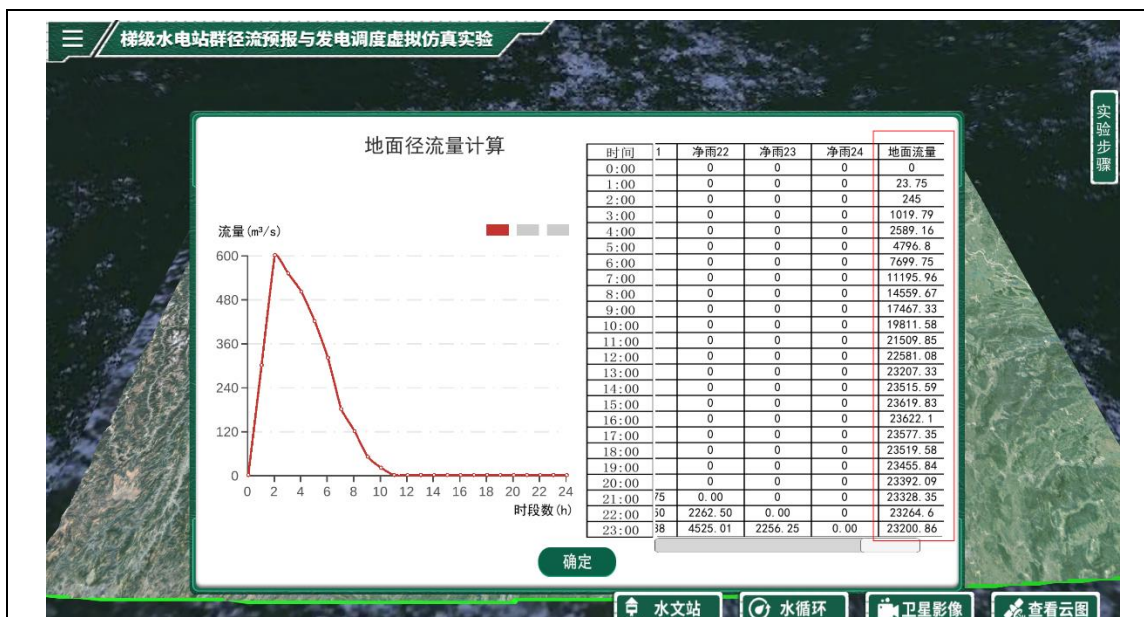


图 3-6-23 溪洛渡电站地面径流计算界面

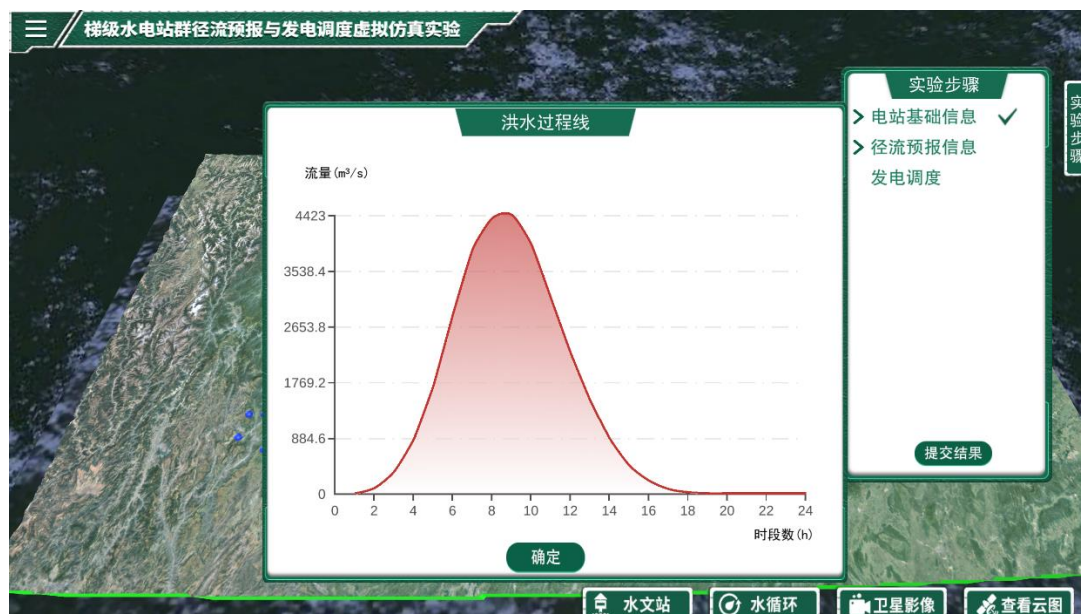


图 3-6-24 利用单位线预报得到的溪洛渡电站地面径流过程

步骤 11: 点击确定后, 系统会利用区间面积比的方法计算下游 3 座电站的区间流量 (如图 3-6-25), 本模块还提供了水文站和水循环认知实验, 点击下面的按钮可以显示水文站 (如图 3-6-26) 和水循环三维图 (如图 3-6-27), 可以进行三维旋转视角查看;

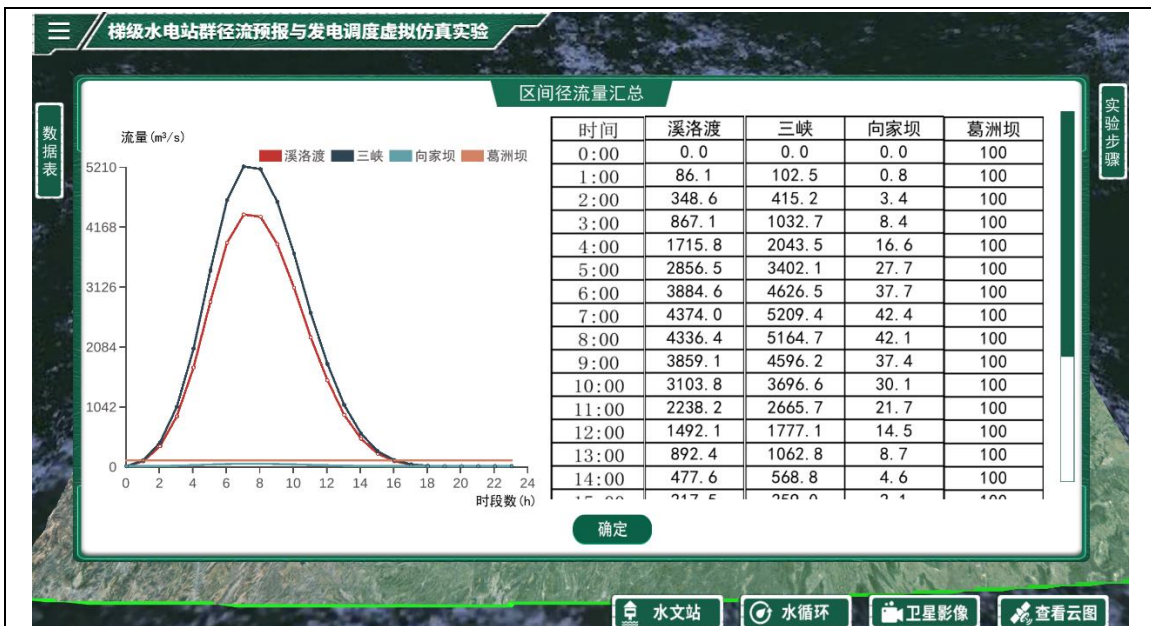


图 3-6-25 下游其它电站地面径流界面

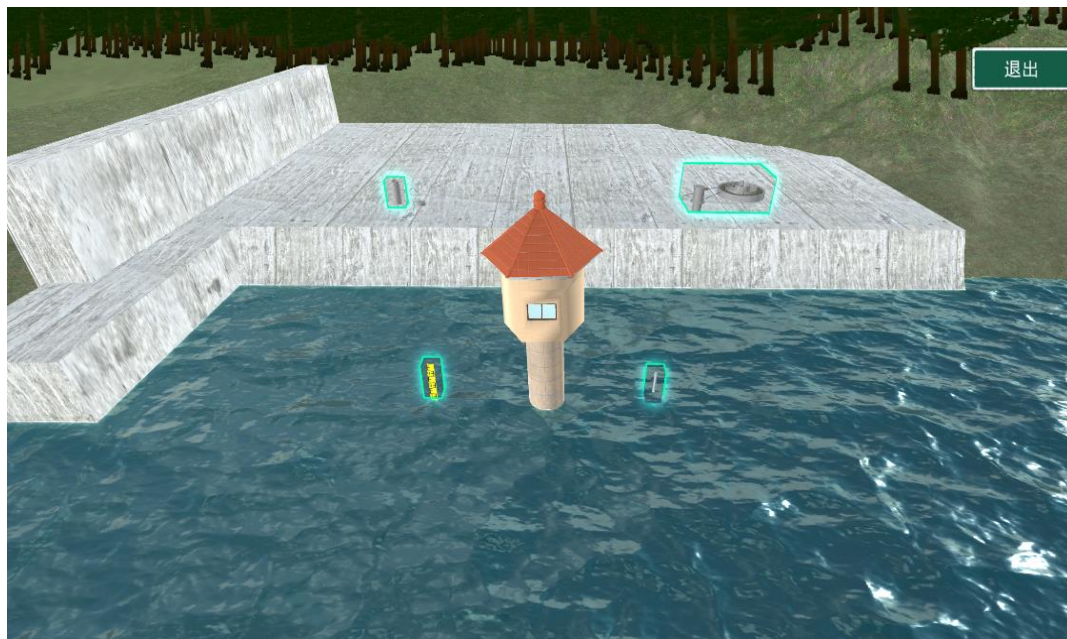


图 3-6-26 水文站点认知实验界面



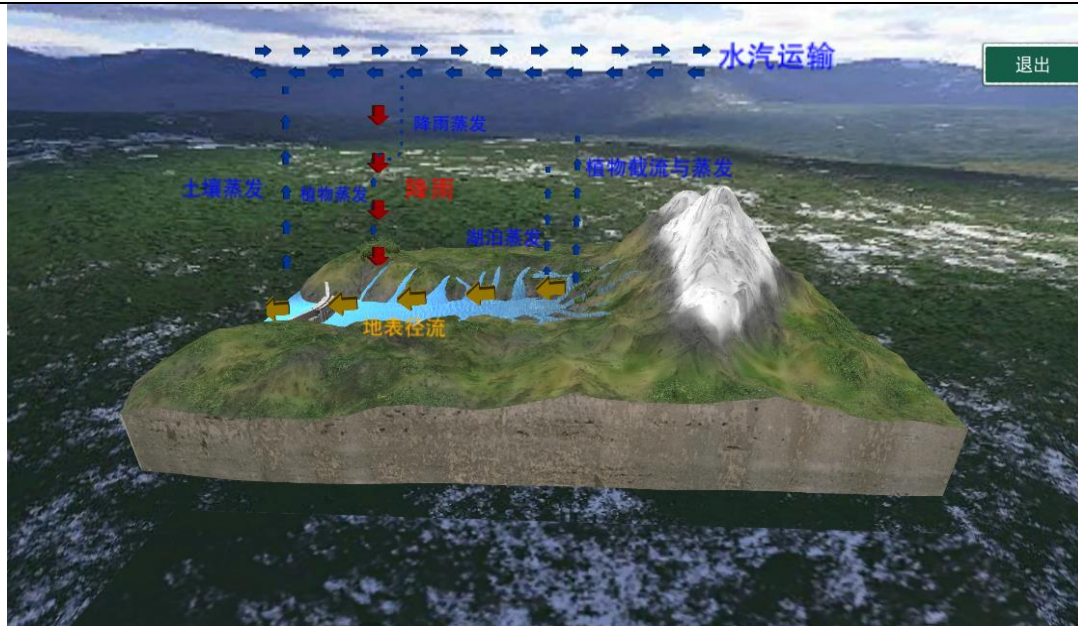


图 3-6-27 水文循环认知实验界面

**步骤 12:** 设置发电调度模块，进入发电调度模块后（如图 3-6-28），点击荧光区域的电脑进入方案设置界面（如图 3-6-29），点击右上角的按钮新建方案，给方案命名，然后将前面方框勾选，点击右下角的方案编辑，即可进入方案（如图 3-6-30），该界面左侧是方案的起始和结束时间、时段长等，中间表格是电站基本信息；



图 3-6-28 进入发电调度界面



图 3-6-29 新建方案界面



图 3-6-30 参与计算的电站总览界面

**步骤 13:** 选择典型日负荷，本项目提供了春、夏、秋和冬四种典型日负荷供选择（如图 3-6-31），可以根据需要负荷进行小范围的手动修改；

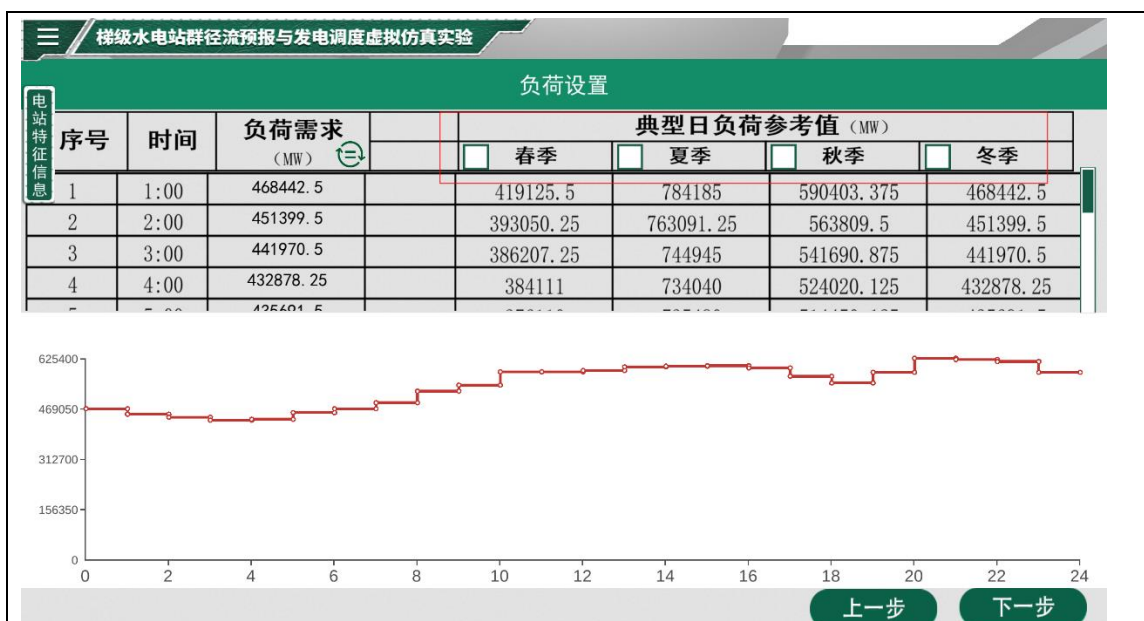


图 3-6-31 负荷设置界面

步骤 14: 设置区间流量, 预设值为降雨径流预报结果, 若对预报结果不满意, 可以手动修改区间流量 (如图 3-6-32)

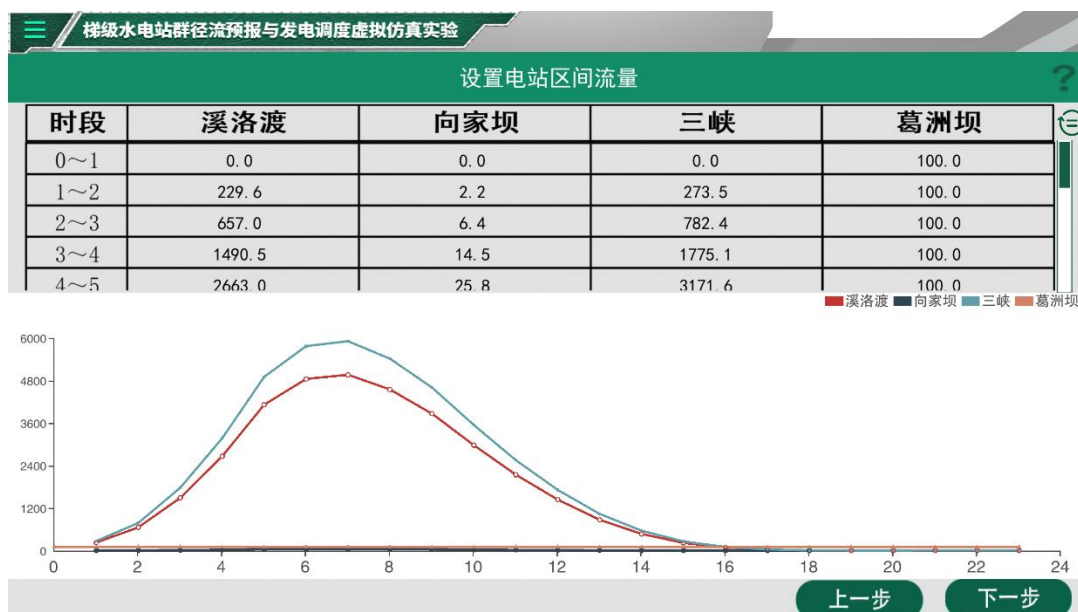


图 3-6-32 区间流量设置界面

步骤 15: 设置水库起始水位、日发电量和爬坡速率, 其中起始水位和日发电量预设了相应的参数, 参考左上角的特征信息及表格下方的说明对预设参数进行修改, 如图 3-6-33。

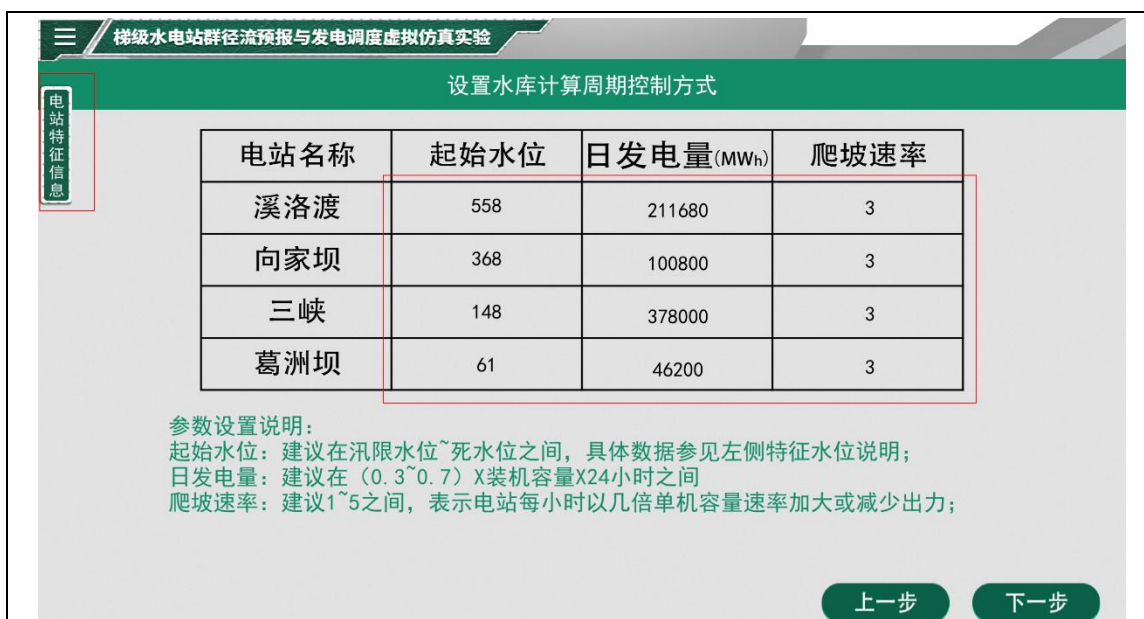


图 3-6-33 初始条件设置界面

**步骤 16:** 调节计算界面，利用前面设置的参数，点击下一步系统即完成自动计算，并以单站（如图 3-6-34），点击右上角的齿轮符号可以显示不同电站信息；点击多库联调按钮可以多座电站调度结果（如图 3-6-35），点击右上角的齿轮符号，可以设置部分参数显示或隐藏；点击负荷平衡（如图 3-6-36、3-6-37）可以显示负荷平衡情况。

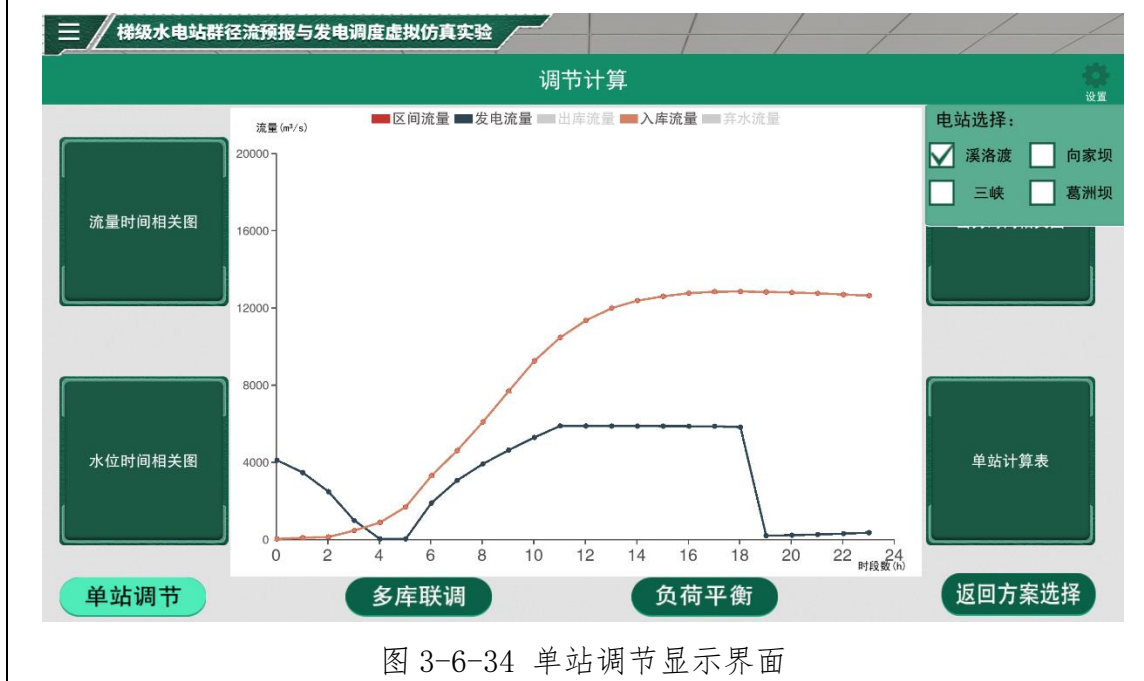


图 3-6-34 单站调节显示界面



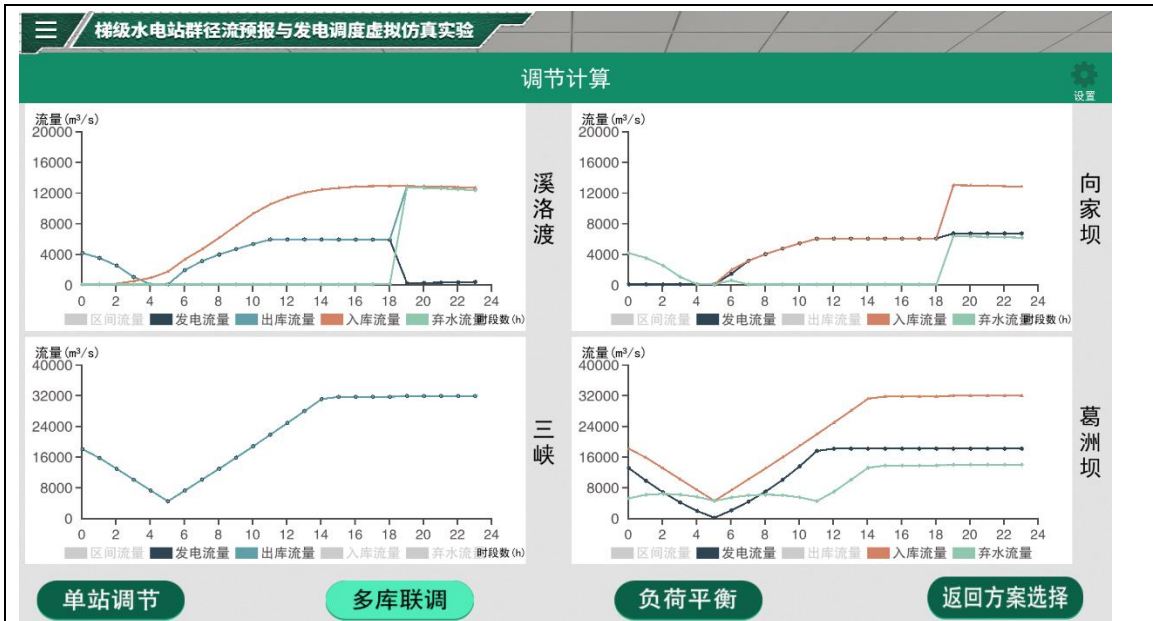


图 3-6-35 多库联调显示界面

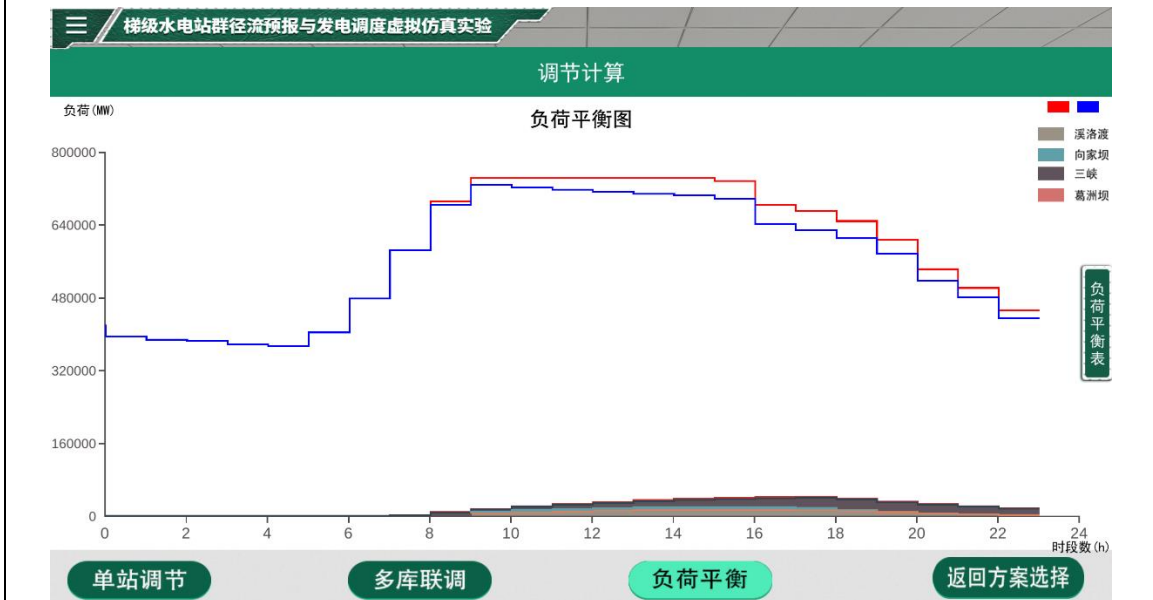


图 3-6-36 负荷平衡显示界面

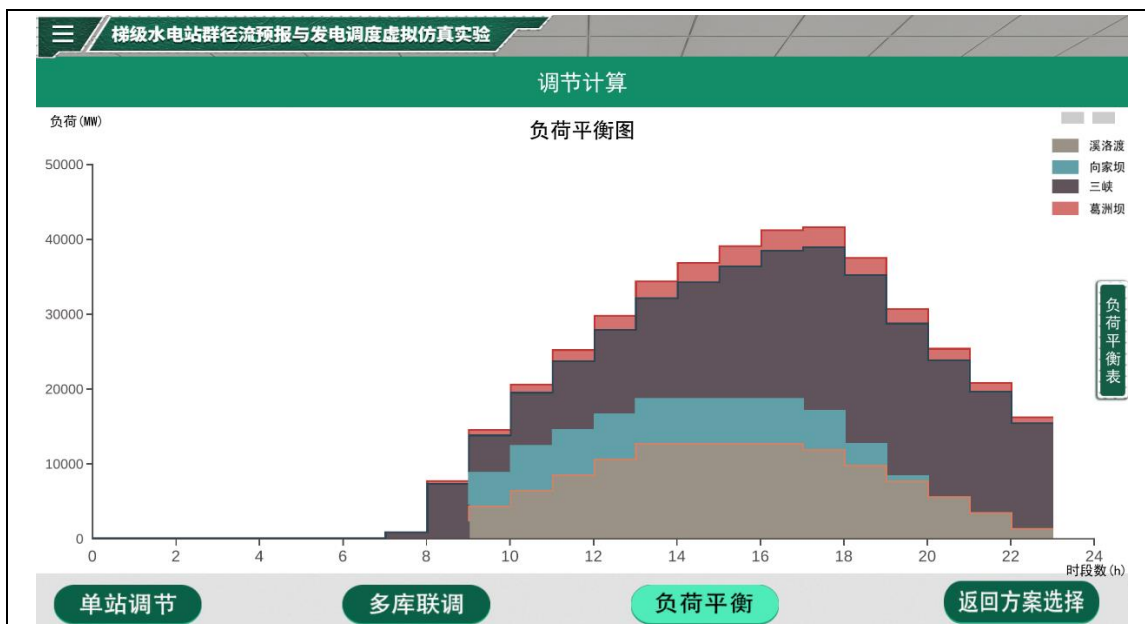


图 3-6-37 负荷平衡显示界面

**步骤 17:** 调度方案对比分析实验。自主选择或修改不同日负荷、区间来水以及水库初始约束条件，可以得到不同调度方案，在方案管理界面选择多个方案，如图 3-6-38，点击下方的方案对比按钮可以弹出对比界面，依次点击末水位、入库流量、弃水流量等属性可以查看相应的对比效果，如图 3-6-39 和 3-6-40，方便进行数据分析。

方案名称	时间	电站数	方案备注
测试1	2020年12月20日	4	
测试2	2020年12月20日	4	

图 3-6-38 方案对比选择图





图 3-6-39 方案对比表

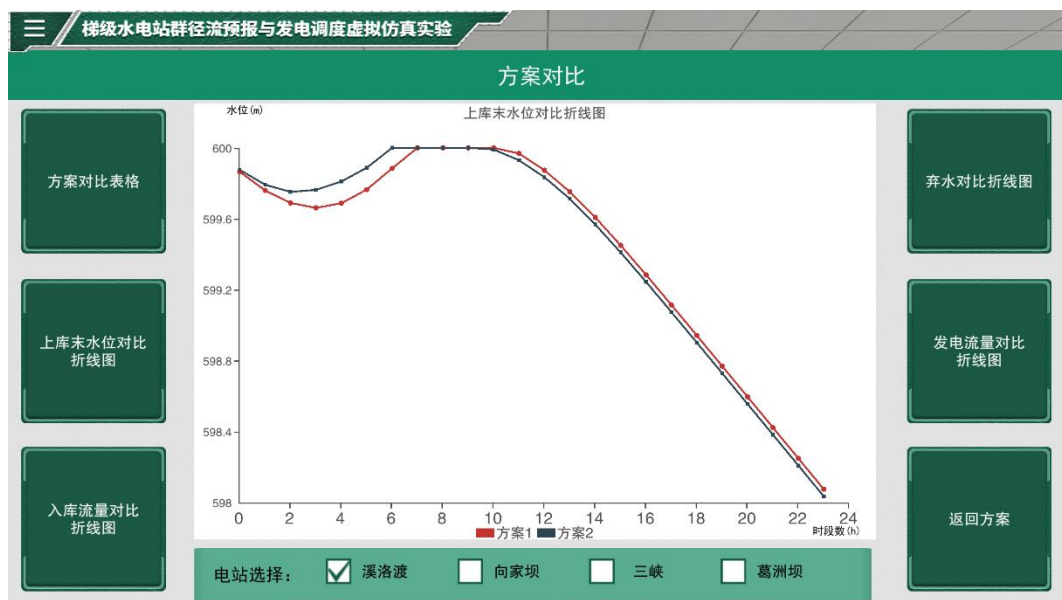


图 3-6-40 电站末水位对比图

**步骤 18:** 学生对计算结果进行分析评价, 找出结果不合理的原因, 完成实验报告, 若对实验结果不满意, 可以点击返回方案选择按钮, 可以重新对方案参数进行设置, 重新计算, 若实验结果比较理想, 直接完成实验报告并上传到平台 (如图 3-6-41), 实验课结束, 退出系统, 老师下载实验报告如图 3-6-42, 评阅实验报告界面如图 3-6-43, 批阅后发布成绩。



图 3-6-41 上传实验报告界面

总体成绩查询 导出学习记录 全部学习记录 实验空间学习记录

根据关键字查询... 查询

□序号	资源预约名称	学生姓名	分数	实验报告	访问次数	原计时	当次开始	当次结束	操作时间	操作
□461	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	李一帆	0	—	8	463.54分钟	2021-04-22 22:57:26	2021-04-23 00:18:35	2021-04-23 00:18:35	批改 成绩 得分历史
□462	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	李翔	0	下载	6	36.46分钟	2021-04-22 20:18:38	2021-04-22 20:19:22	2021-04-22 20:19:24	批改 成绩 得分历史
□463	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	杨成锐	0	下载	5	616.82分钟	2021-04-22 14:55:20	2021-04-22 23:24:09	2021-04-22 23:24:09	批改 成绩 得分历史
□464	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	陈津知	0	下载	4	198.84分钟	2021-04-22 20:29:30	2021-04-22 23:25:19	2021-04-22 23:25:19	批改 成绩 得分历史
□465	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	李启源	0	下载	6	556.21分钟	2021-04-23 07:21:24	2021-04-23 10:39:26	2021-04-23 10:39:26	批改 成绩 得分历史
□466	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	顾家辉	0	下载	6	76.16分钟	2021-04-22 22:32:54	2021-04-22 23:19:30	2021-04-22 23:19:34	批改 成绩 得分历史
□467	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	徐昕杰	0	下载	7	121.97分钟	2021-04-21 15:05:18	2021-04-21 16:27:28	2021-04-21 16:27:29	批改 成绩 得分历史
□468	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	刘宇	0	下载	6	170.22分钟	2021-04-23 10:16:22	2021-04-23 11:20:37	2021-04-23 11:20:38	批改 成绩 得分历史
□469	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	戴程锦	0	下载	9	74.81分钟	2021-04-23 11:22:07	2021-04-23 12:10:52	2021-04-23 12:10:54	批改 成绩 得分历史
□470	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	王欣智	0	下载	6	95.69分钟	2021-04-22 21:33:20	2021-04-22 21:33:27	2021-04-22 21:33:28	批改 成绩 得分历史
□471	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	周雪丽	0	下载	9	32.36分钟	2021-04-23 00:25:37	2021-04-23 00:27:15	2021-04-23 00:27:17	批改 成绩 得分历史
□472	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验	卢政鹏	0	下载	6	167.65分钟	2021-04-22 21:11:31	2021-04-22 22:30:16	2021-04-22 22:30:16	批改 成绩 得分历史

图 3-6-42 教师下载实验报告界面

步骤 19: 教师对实验报告进行批阅, 教师下载学生实验报告, 批阅后给学生打分, 如图 3-6-43 所示, 该生实验结束;

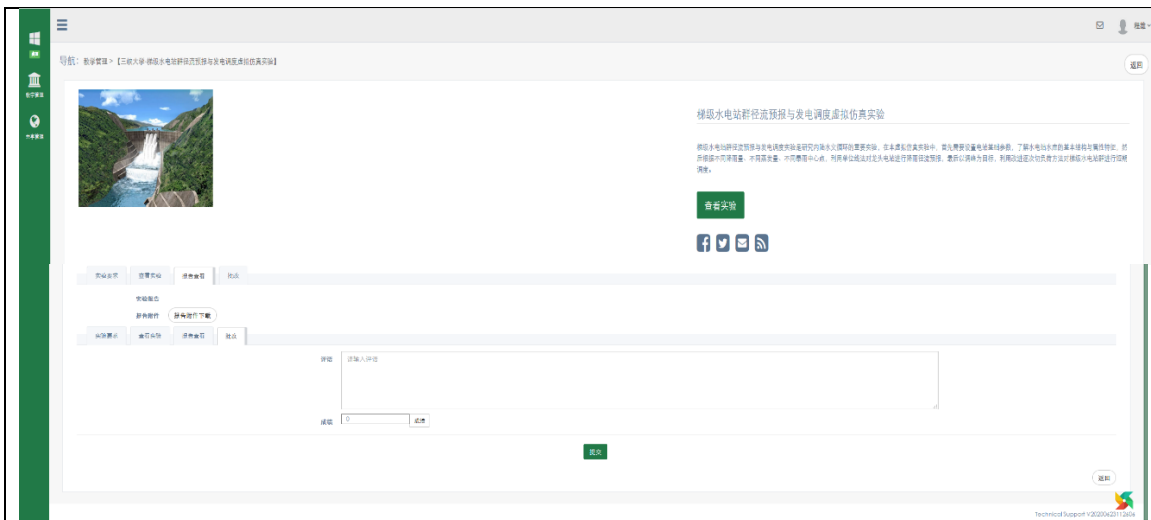


图 3-6-43 教师批阅实验报告并打分界面

### 3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

#### 3-7-1 降雨径流预报实验分析

由于不同时段降雨量和暴雨中心位置对地面径流出现时间、过程趋势、径流量影响均较大，下面分别对这两个参数进行敏感性实验结果分析：

① 假定暴雨中心在流域上游侧不变，当全天降雨量集中在 0:00~8:00，峰值发生在 4:00 时，如图 3-7-1 所示，各时段净雨计算结果如图 3-7-2 所示，可以看出净雨发生时段在 0:00~7:00，预报得到的地面径流和洪水过程在 0:00~9:00 呈逐渐递增趋势，然后 9:00 高峰过后呈逐渐递减趋势，如图 3-7-3 和 3-7-4。



图 3-7-1 全天降雨量集中在 0:00~8:00



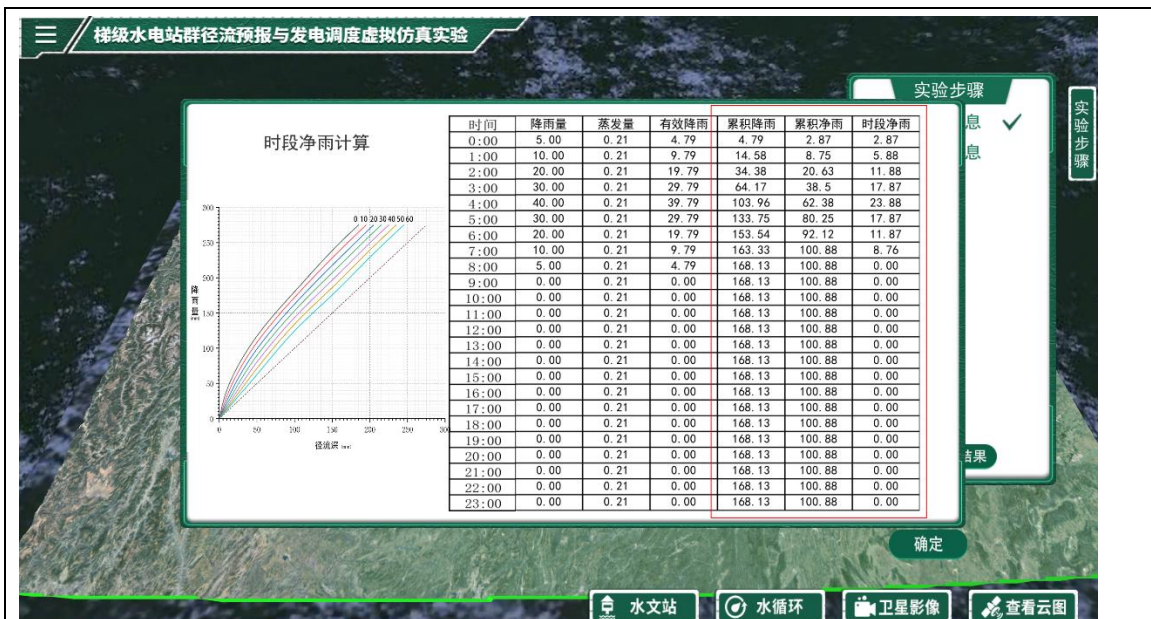


图 3-7-2 各时段净雨计算结果

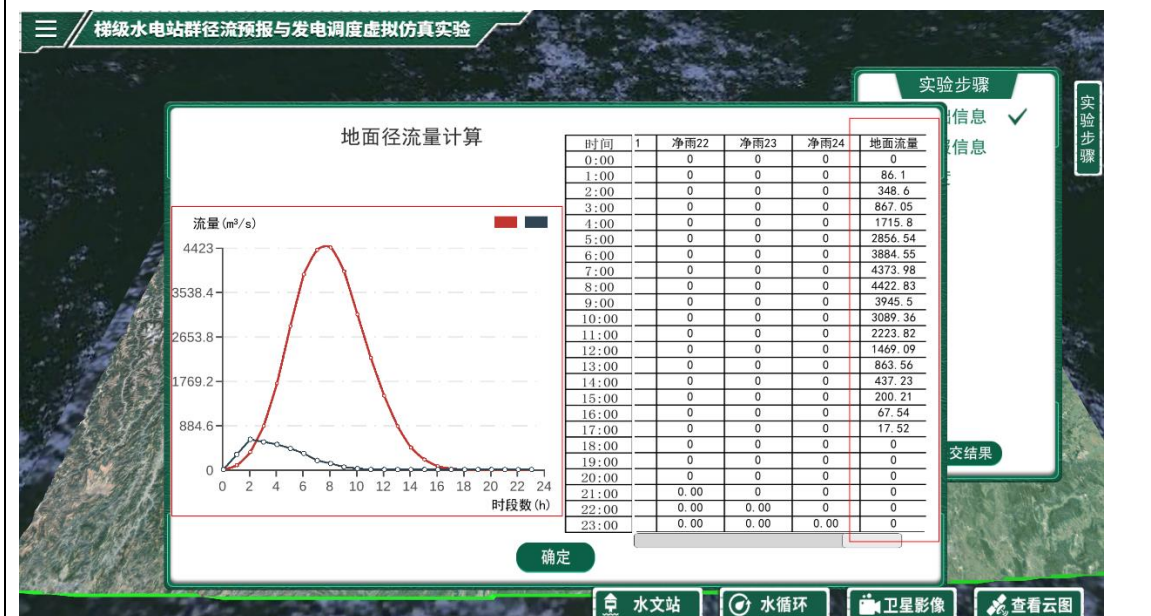


图 3-7-3 预报得到的地面径流过程

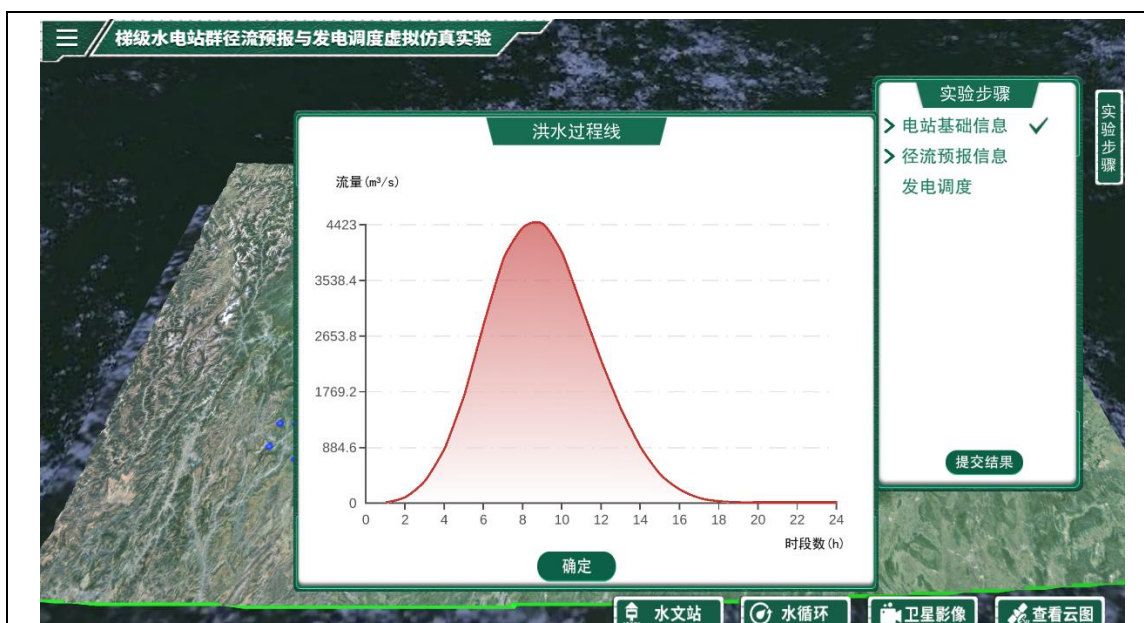


图 3-7-4 预报得到的洪水过程线

② 假定暴雨中心在流域上游侧不变，当降雨量主要集中在 8:00~16:00 时，峰值发生在 12:00 时，如图 3-7-5 所示，各时段净雨计算结果如图 3-7-6 所示，可以看出净雨发生时段在 8:00~16:00，预报得到的地面径流和洪水过程在 8:00~16:00 呈逐渐递增趋势，然后 16:00 高峰过后呈逐渐递减趋势，如图 3-7-7 和 3-7-8。

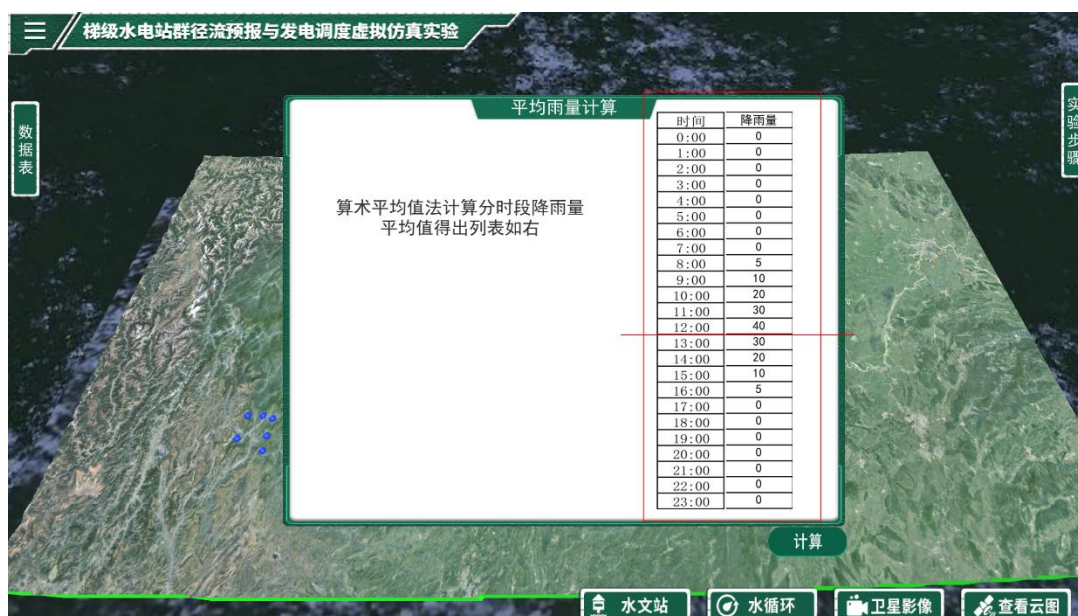


图 3-7-5 全天降雨量集中在 8:00~16:00



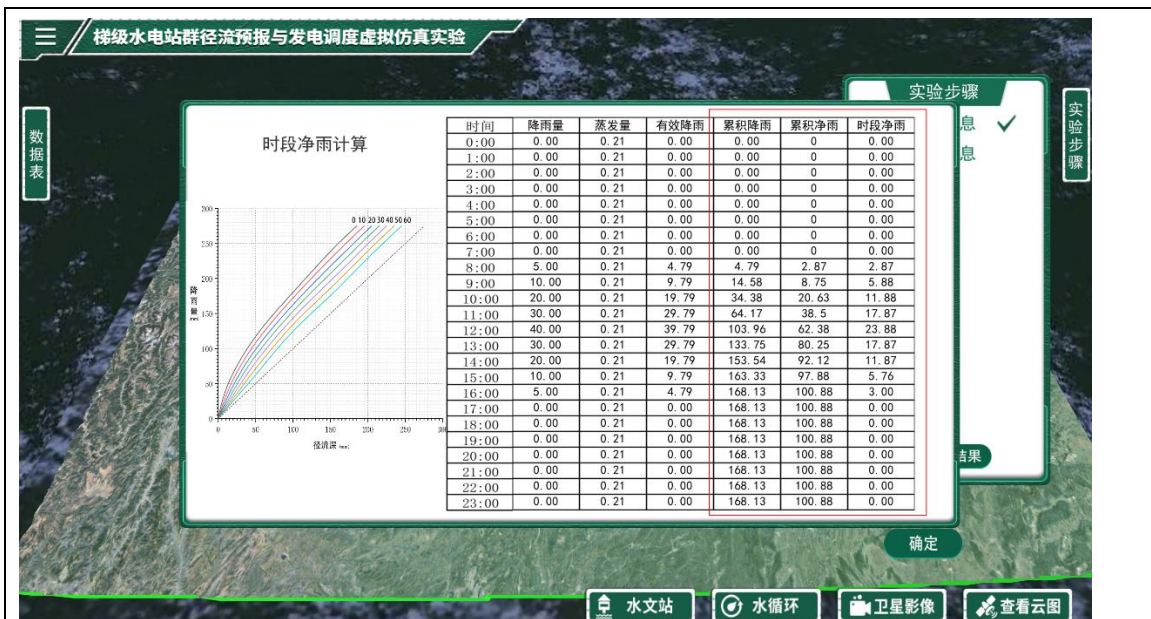


图 3-7-6 各时段净雨计算结果

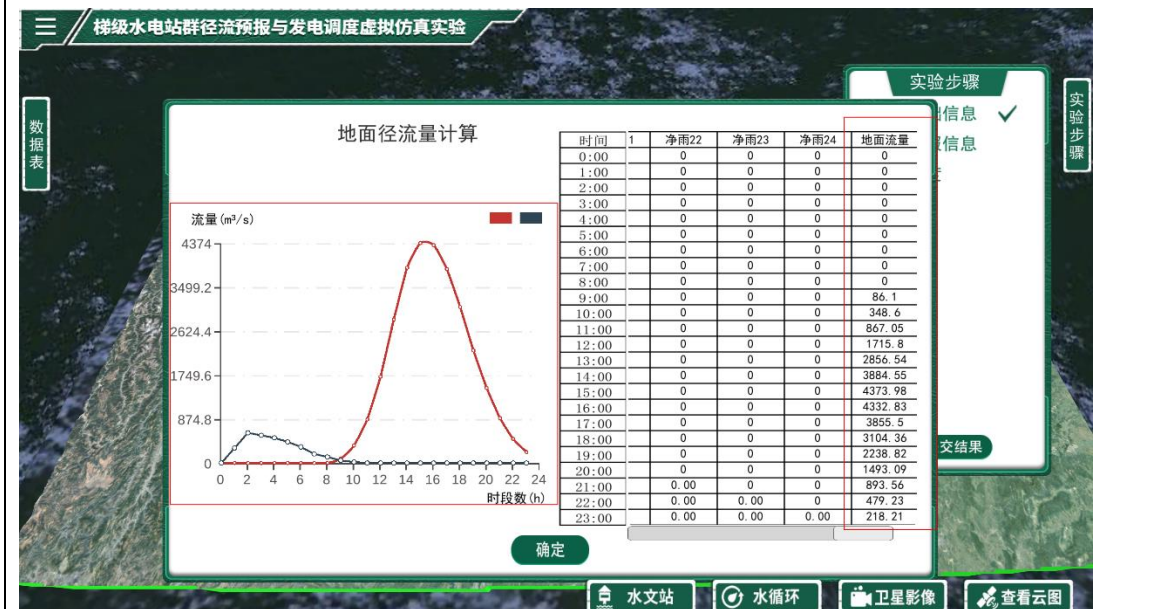


图 3-7-7 预报得到的地面径流过程

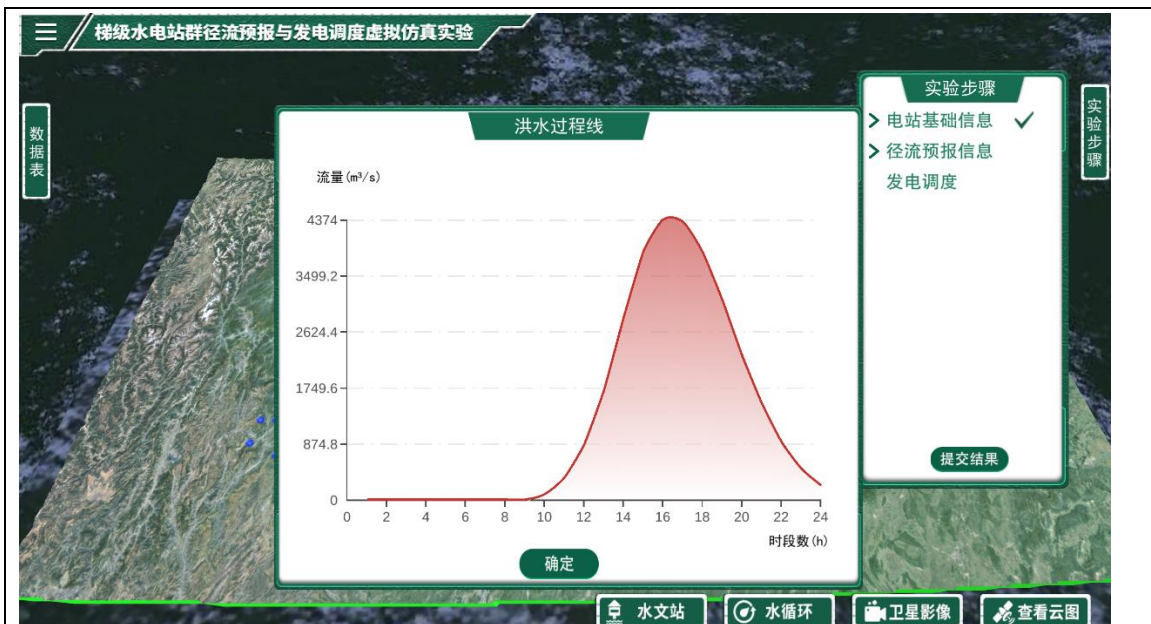


图 3-7-8 预报得到的洪水过程线

③ 假定暴雨中心在流域上游侧不变，当降雨量主要集中在 16:00~24:00 时，峰值发生在 20:00 时，如图 3-7-9 所示，各时段净雨计算结果如图 3-7-10 所示，可以看出净雨发生时段在 16:00~23:00，预报得到的地面径流和洪水过程在 16:00~23:00 呈逐渐递增趋势，由于预报周期为一天，24:00 之后没有显示出来，如图 3-7-11 和 3-7-12。

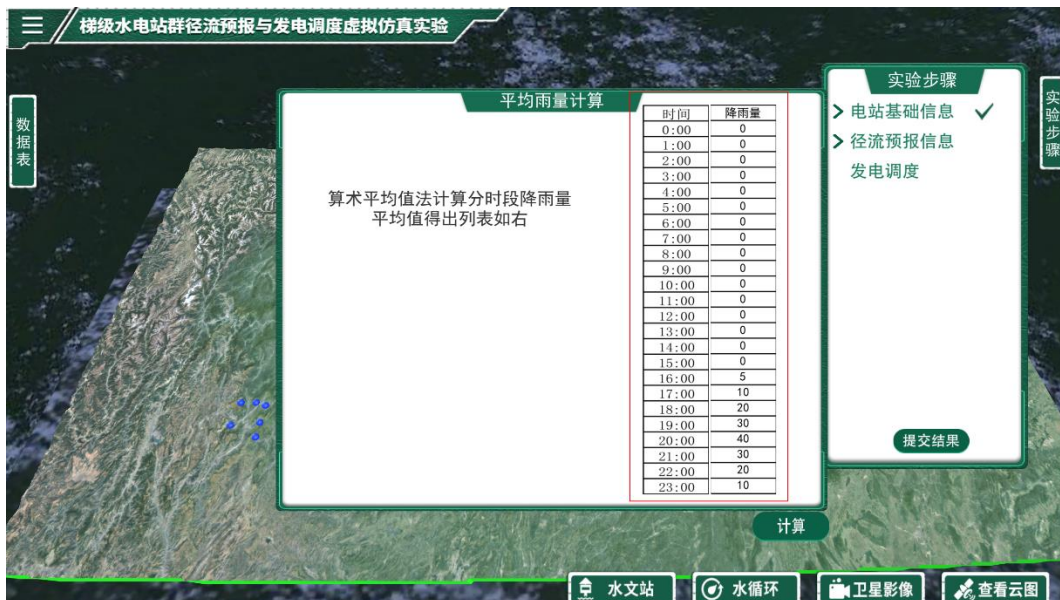


图 3-7-9 全天降雨量集中在 16:00~24:00



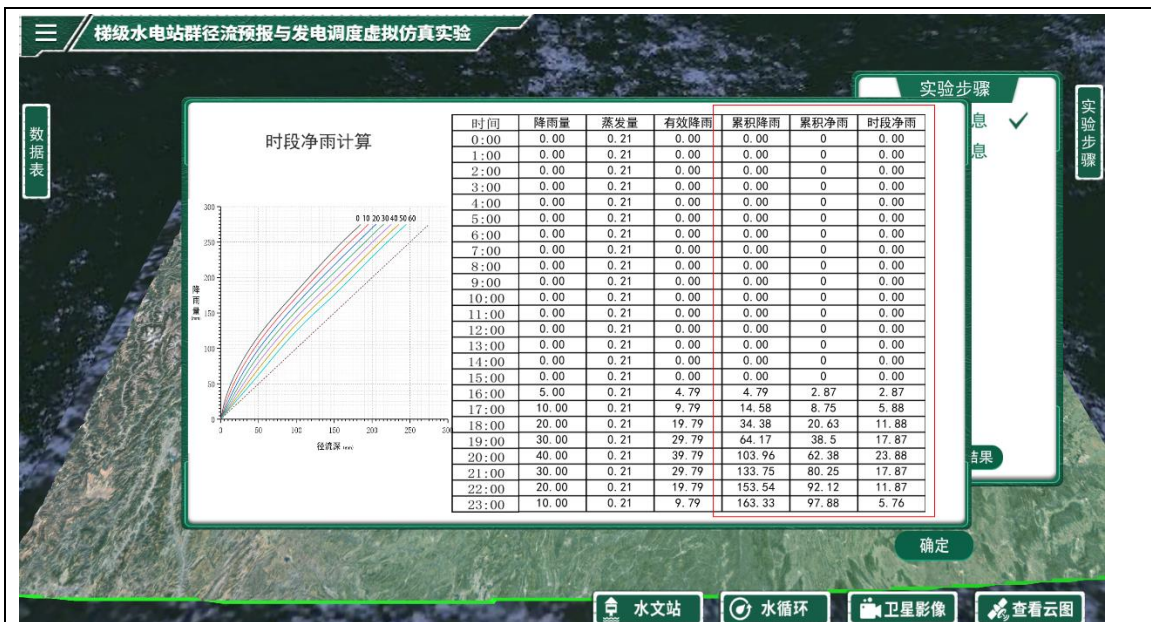


图 3-7-10 各时段净雨计算结果

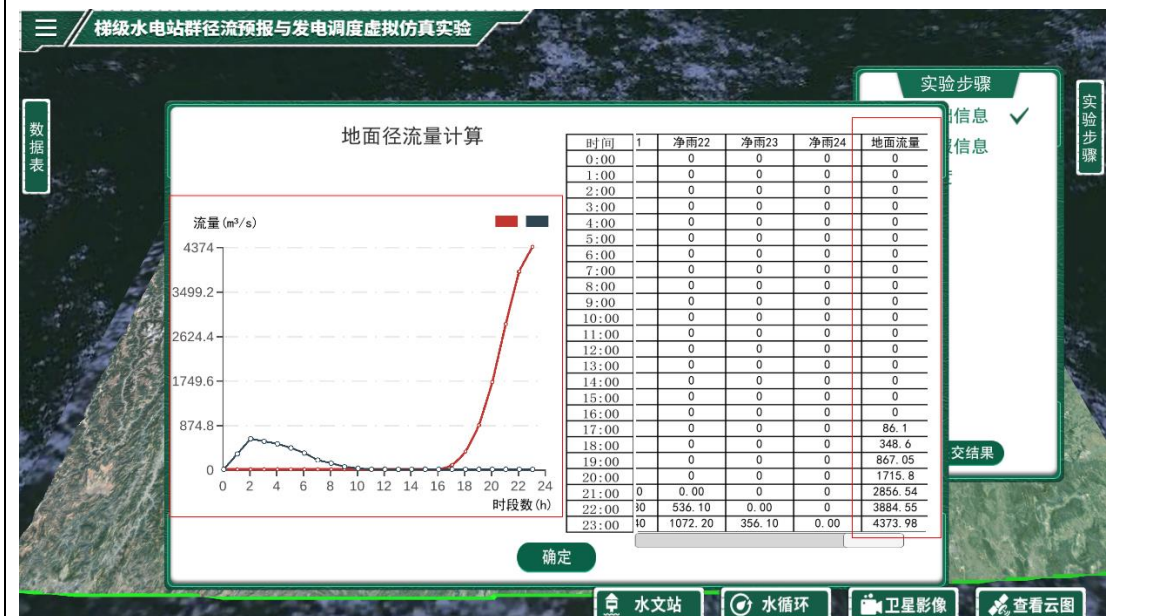


图 3-7-11 预报得到的地面径流过程

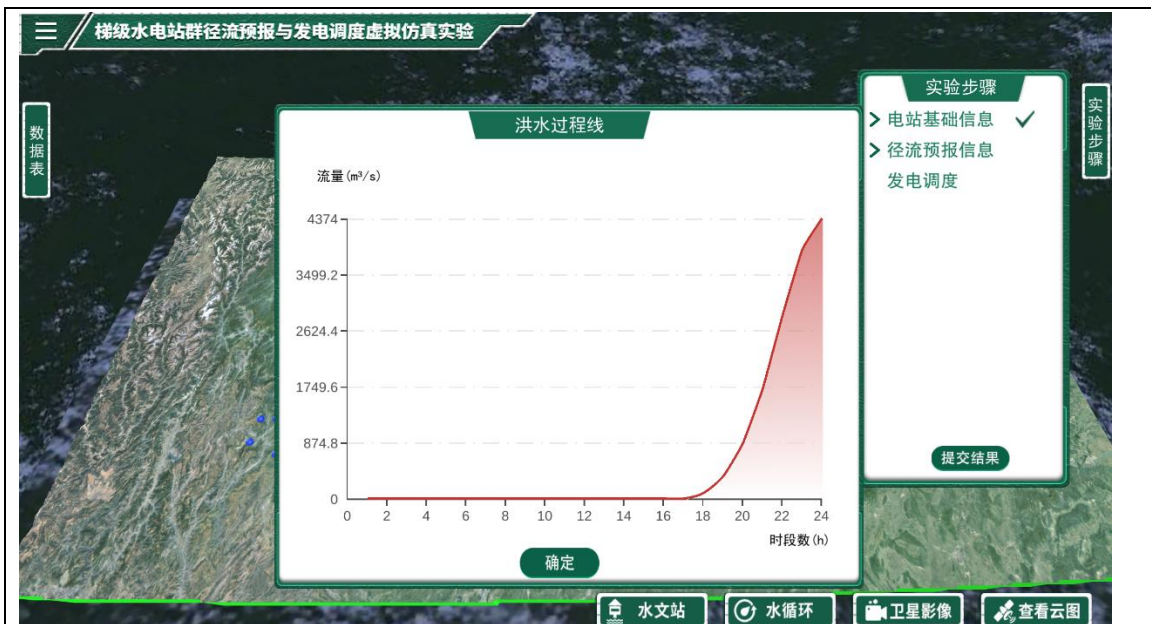


图 3-7-12 预报得到的洪水过程线

④ 假定暴雨中心在流域上游侧不变，当降雨量采用系统默认的随机生成时，全天都比较均匀，如图 3-7-13 所示，各时段净雨计算结果如图 3-7-14 所示，可以看出净雨发生时段在全天也比较均匀，预报得到的地面径流和洪水过程在全天没有出现比较明显的峰值，仍然是全天比较均匀，如图 3-7-15 和 3-7-16。

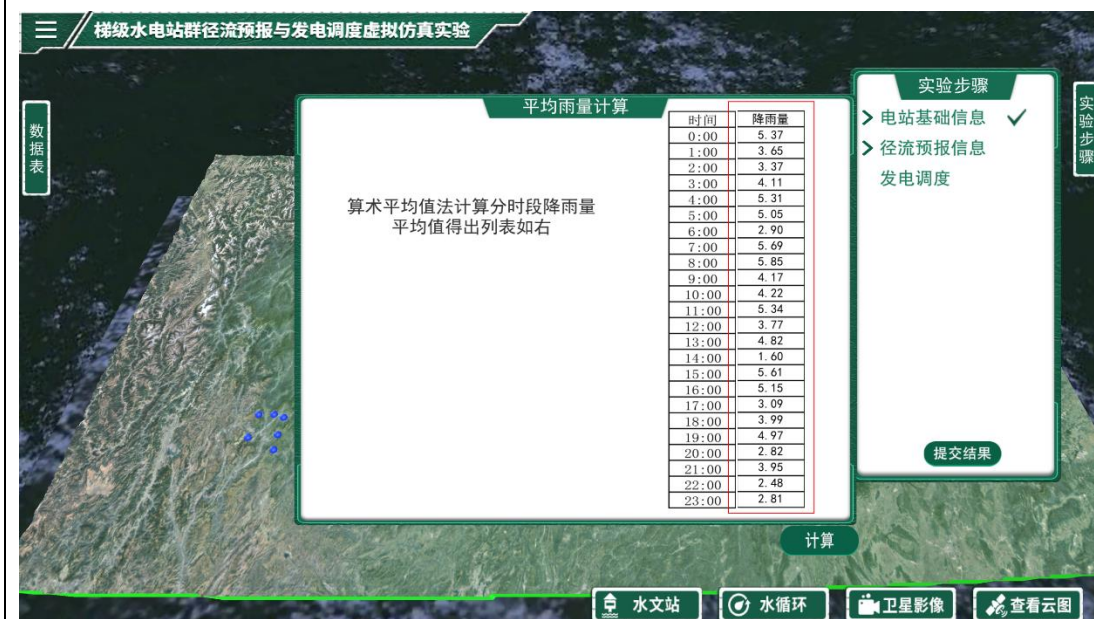


图 3-7-13 全天降雨量集中在 16: 00~24: 00



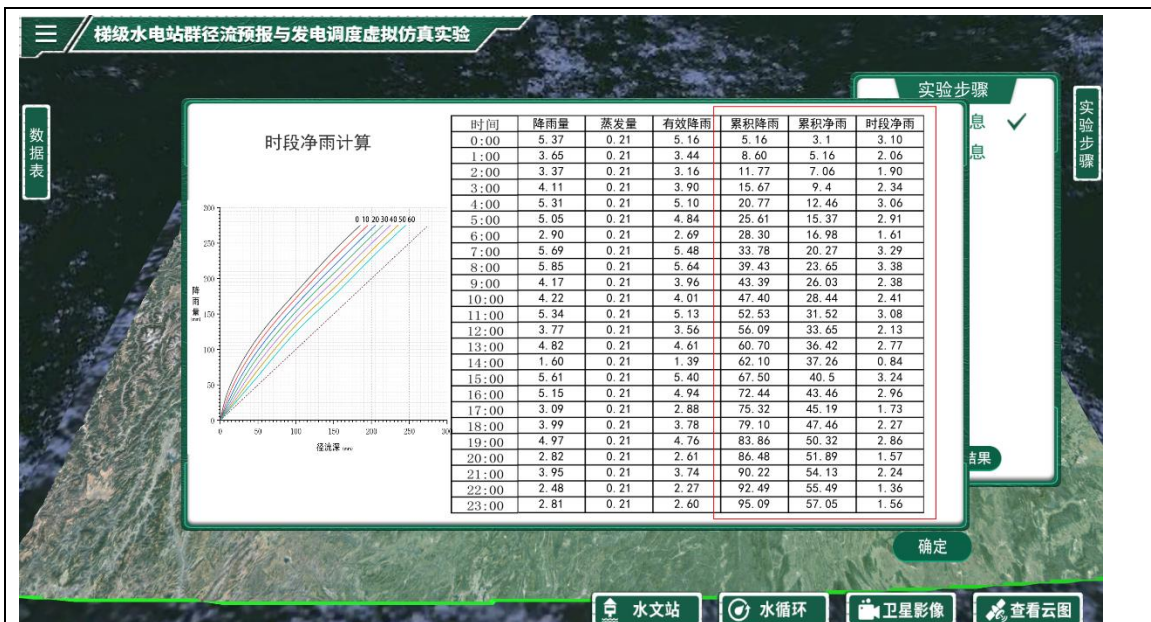


图 3-7-14 各时段净雨计算结果

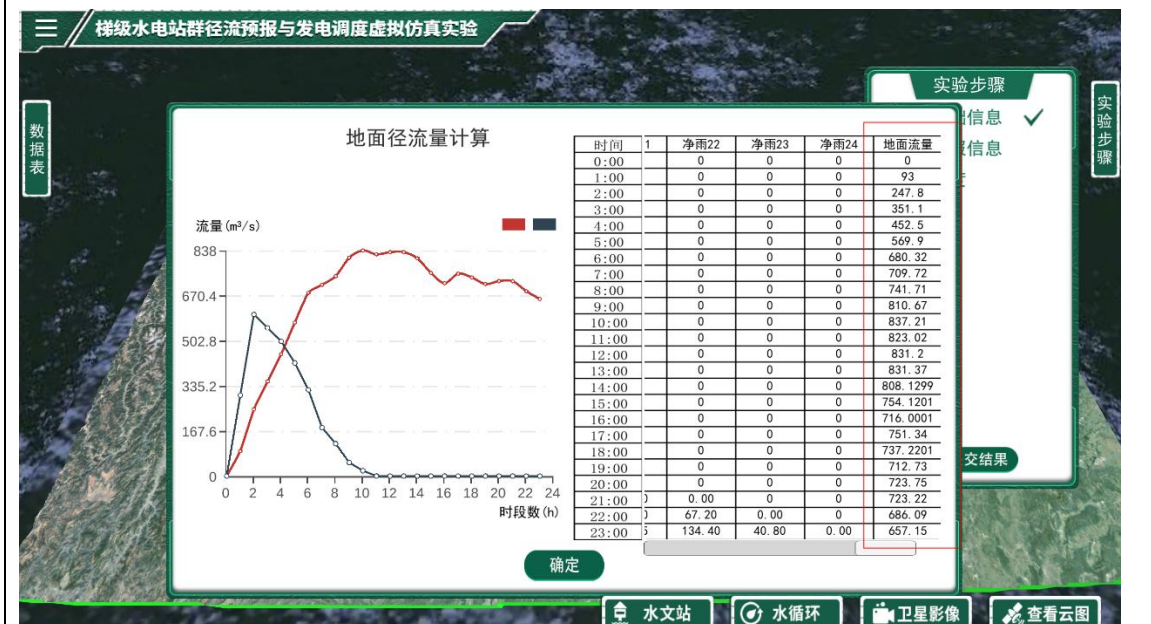


图 3-7-15 预报得到的地面径流过程

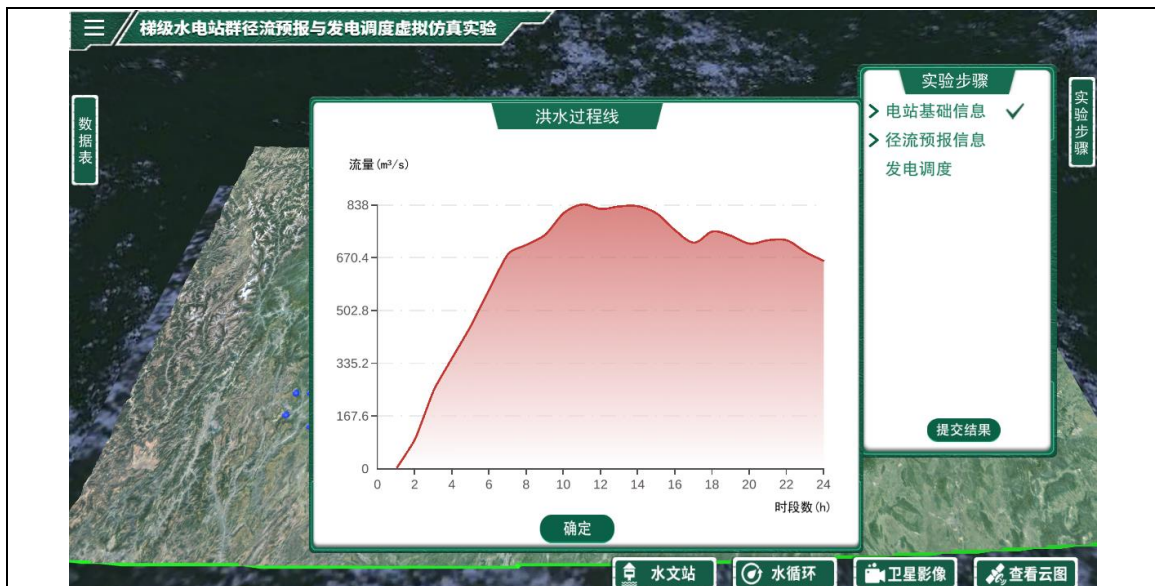


图 3-7-16 预报得到的洪水过程线

⑤ 当暴雨中心点位置不同时,单位时段内产生的单位净雨量在流域出口断面形成的地面径流过程线也不同,主要表现在产汇流时间、流量峰值形状以及历时长度等。图 3-7-17 是三种不同暴雨中心位置时的单位线,假定降雨量集中在 0:00~8:00 不变,根据暴雨中心点位置不同,选择不同单位线预报地面径流如图 3-7-18 上 (a)、中 (b)、下游 (c),可以看出暴雨中心在流域不同位置时,洪水过程线的峰值、出现时间、持续时间均存在较大差异,当暴雨中心点位于流域上游侧时,单位线的峰值比较靠后,且汇流曲线比较平坦;当暴雨中心点位于流域下游侧时,单位线的峰值比较靠前,且汇流曲线的尖窄;当暴雨中心点位于中游时,单位线和汇流曲线介于上述两种情况之间。

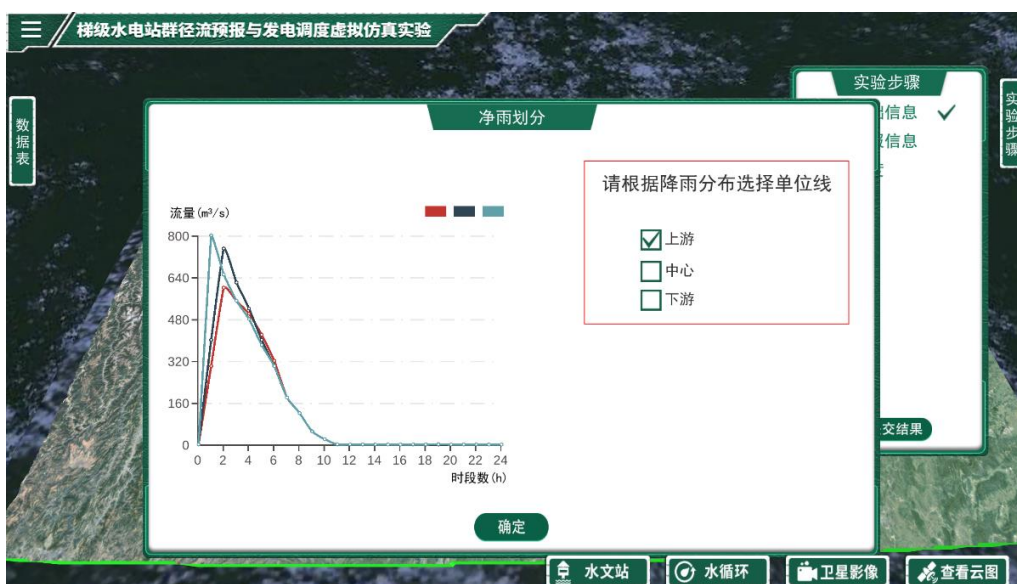
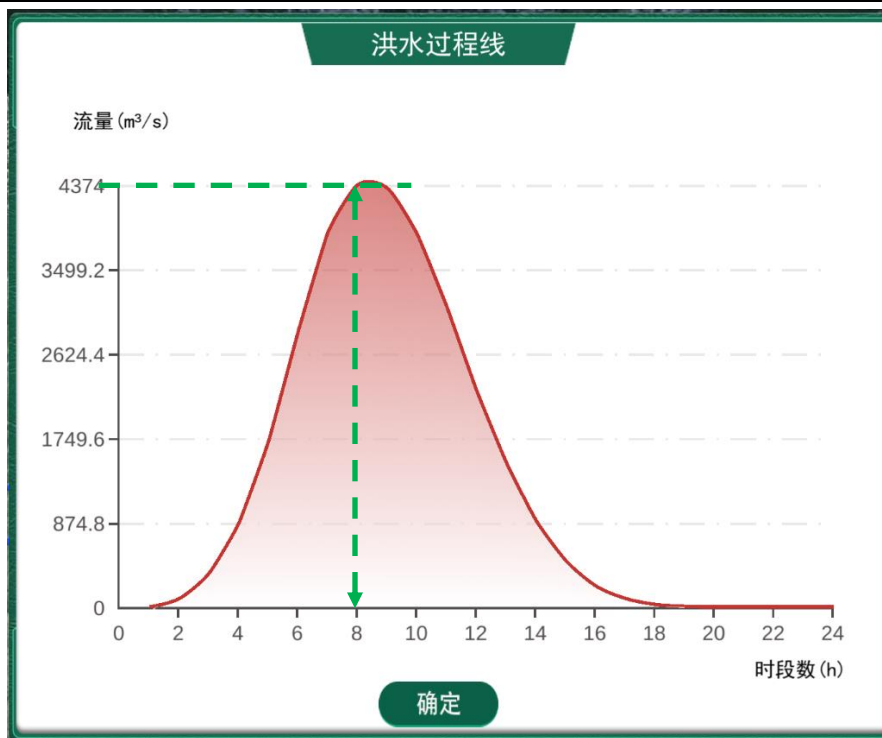
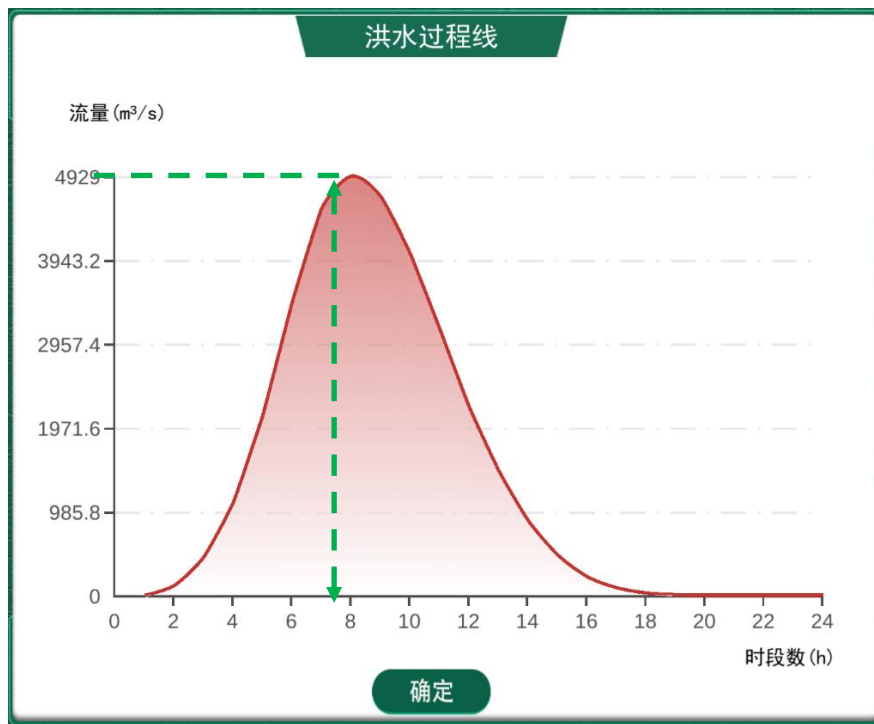


图 3-7-17 暴雨中心点位于流域上中下游时单位线过程

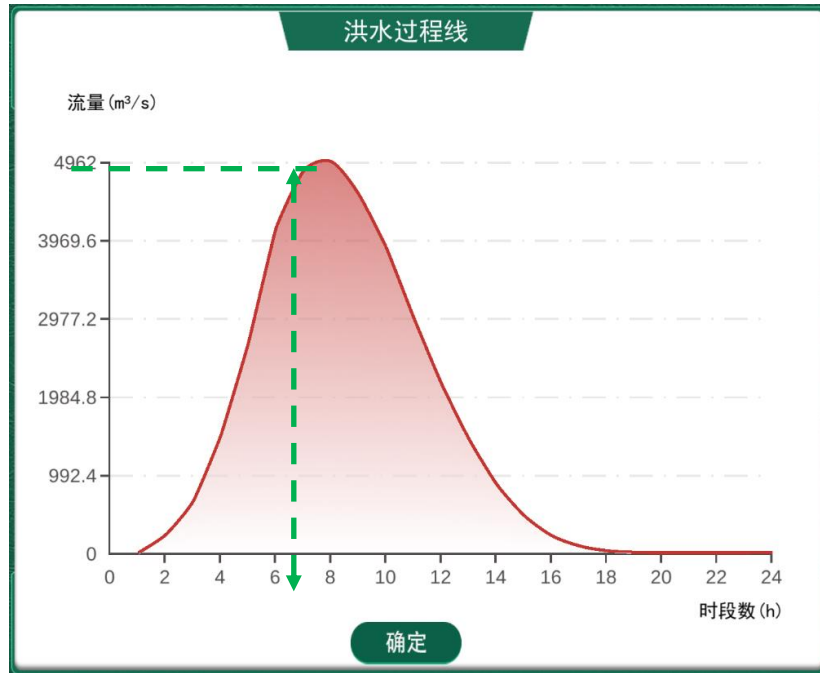


(a) 暴雨中心点在流域上游



(b) 暴雨中心点在流域中游





(c) 暴雨中心点在流域下游

图 3-7-18 是暴雨中心点位于上中下游时的预报径流效果

### 3-7-2 发电调度实验分析

水电机组由于开停机比较灵活，爬坡能力强，一般在电网承担调峰角色，即电网用电需求比较强劲时加大出力，用电需求比较低迷时减少出力甚至不发电，尽可能将电网峰谷差降低，以便留给火电的负荷需求过程尽可能平坦，如图 3-7-19(a) 所示。然而不同季节电网负荷需求存在很大差异，对于一、二线城市地区，电网负荷呈现单峰模式，即 8:00~20:00 为高峰，其它时段为低谷（如图 3-7-19(b)），而对于三、四线城市地区，电网负荷受人们作息时间影响较大，负荷呈现双峰或三峰模式（如图 3-7-19(c)）。不同负荷的高峰和低谷出现时间以及峰谷差数值不同，这种不同负荷模式对电厂的发电调度计划影响非常，再加上天然来水的随机变化以及不同电站库容调节能力差异，导致梯级水电站群发电计划一直在变化。

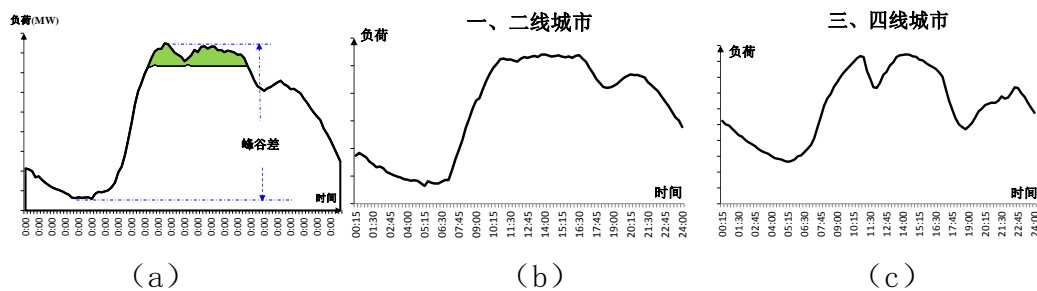


图 3-7-19 水电调峰及负荷需求示意图

本项目默认提供了4种不同负荷曲线，分别是春、夏、秋和冬季典型负荷，学生可以针对这种典型负荷进行手动修改，下面以春季负荷为基础，修改成两负荷模式：单峰模式和双峰模式，然后分别测试这两种负荷模式对梯级水电站群发电调度计划的影响；另外，各水库区间来水对梯级水电站群发电调度计划影响也较大，因此下面分别对**不同负荷**和**区间来水**参数进行敏感性实验操作：

① 双峰负荷模式实验。图3-7-20是负荷需求示意图，可以看出负荷需求高峰分别是10:00和16:00，电站出力过程如如图3-7-21，可以看出，在考虑电站爬坡约束和日电量约束后，电站出力基本上能在高峰时刻发电，起到很好调峰效果，另外从负荷平衡效果来看，四座电站的累计出力和负荷平衡图分别见图3-7-22和图3-7-23，可以看出负荷在10:00之后的高峰被“削掉”很多（红色是原始负荷曲线，蓝线是剩余负荷曲线），而在8:00~10:00这段时间被“削掉”很多较少，主要原因是电站受爬坡速率约束，电站出力需要慢慢增加。

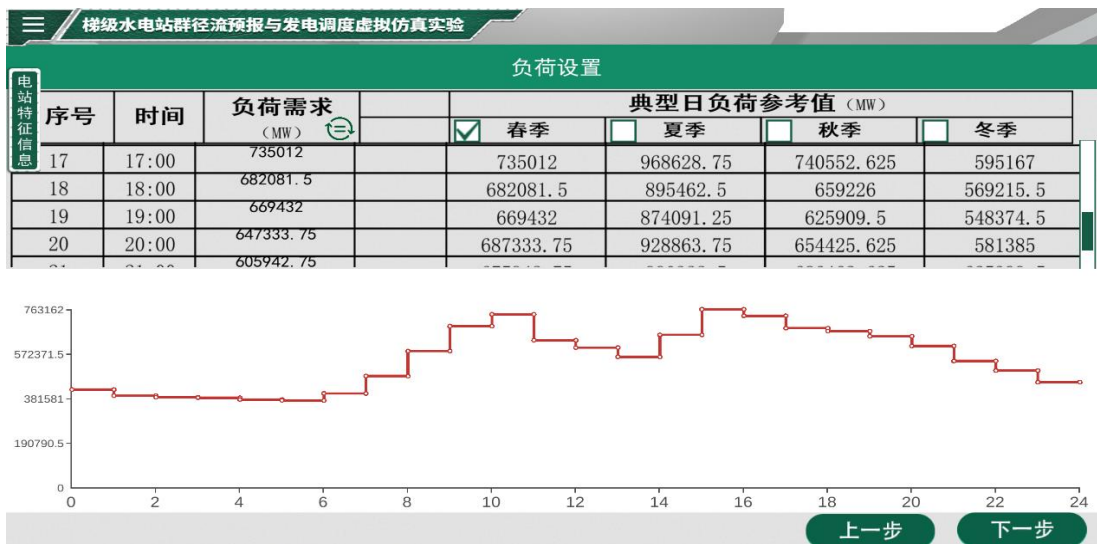


图 3-7-20 负荷需求示意图

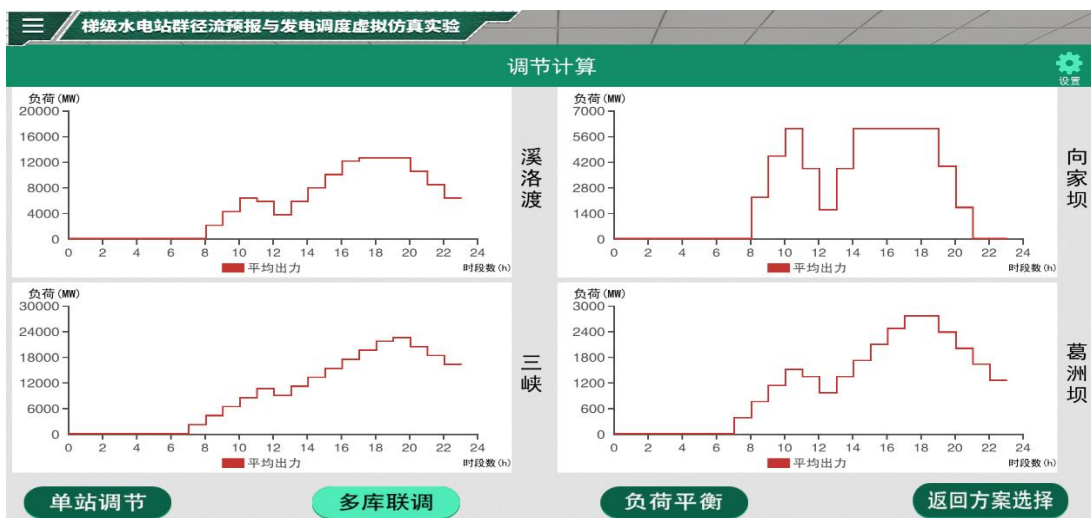


图 3-7-21 电站出力示意图

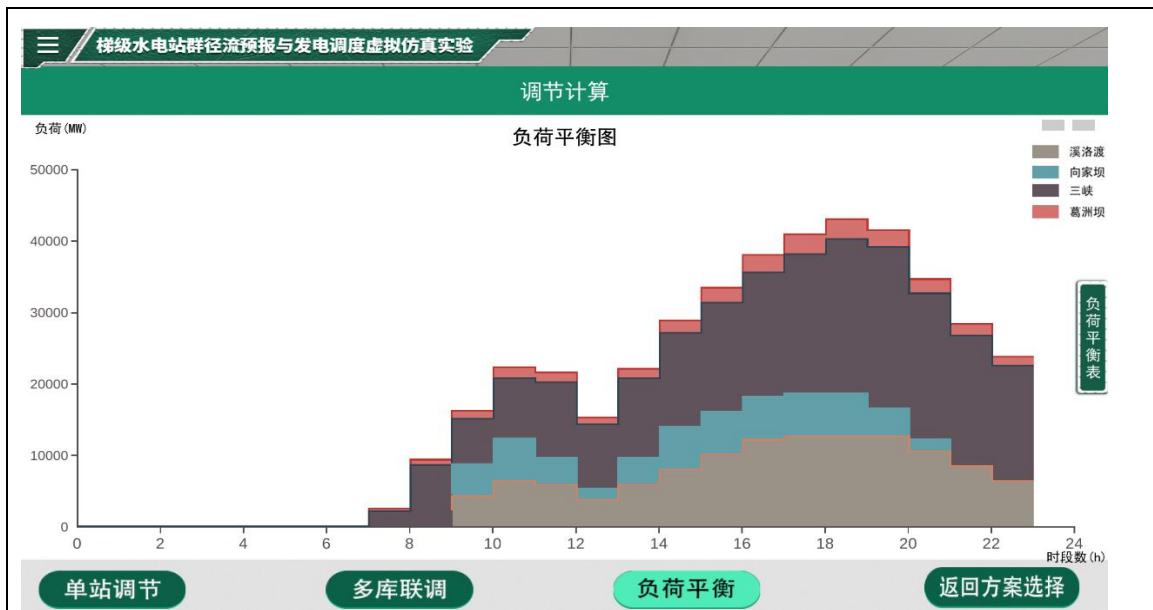
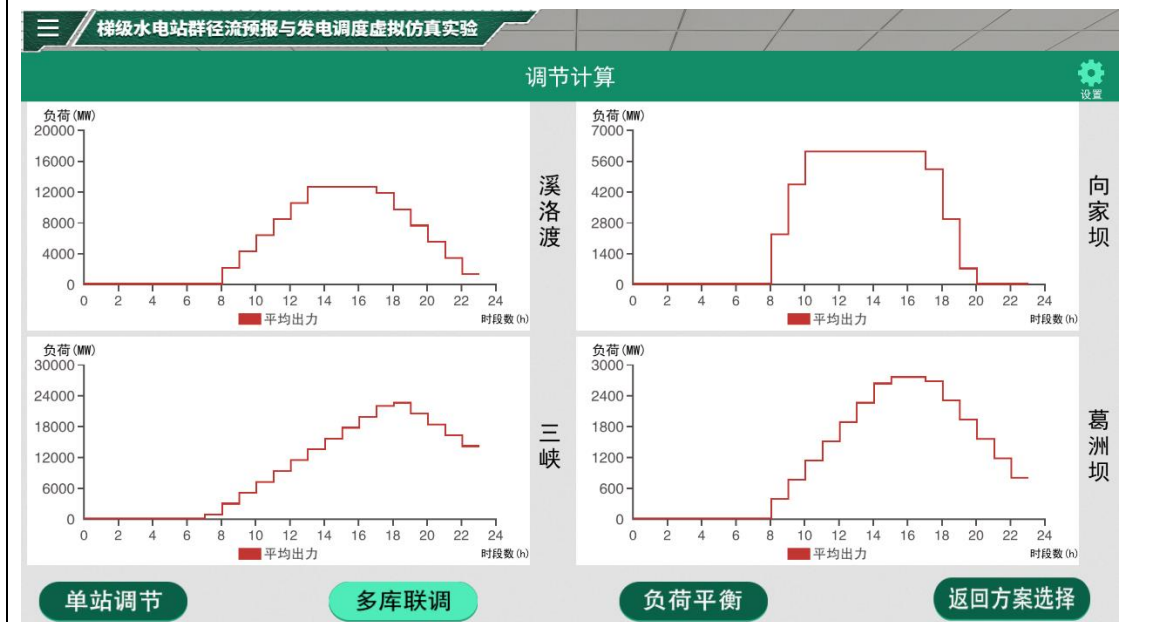
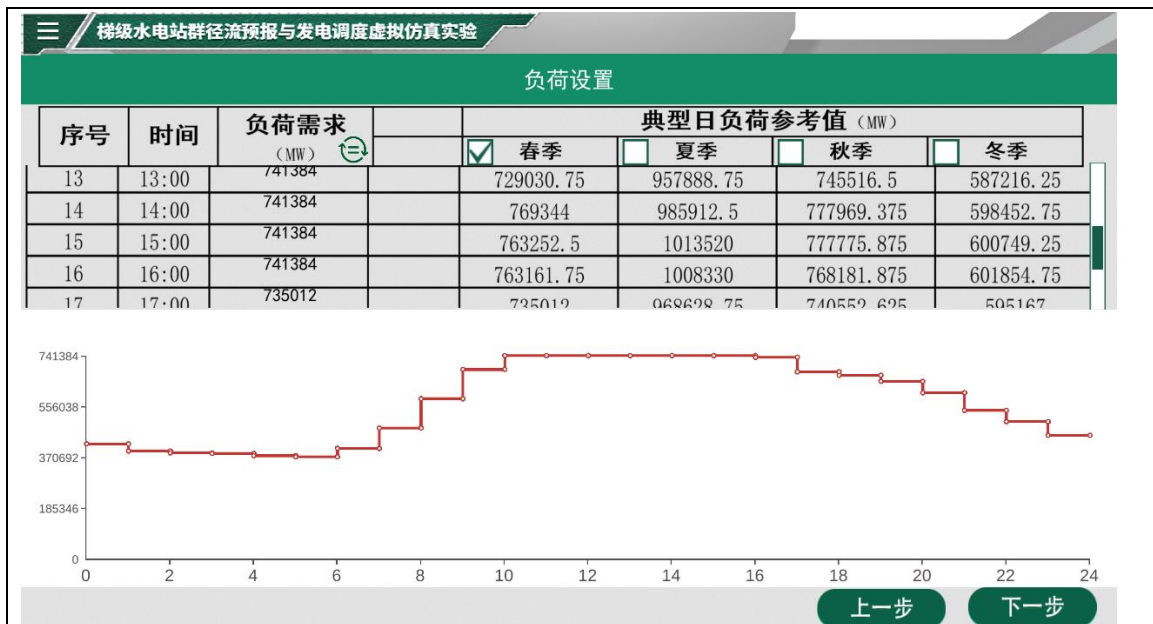


图 3-7-22 电站累计出力示意图



图 3-7-23 负荷平衡示意图

② 单峰负荷模式实验。图 3-7-24 是负荷需求示意图，可以看出负荷高峰为 10: 00~16: 00，电站出力过程如如图 3-7-25，可以看出，在考虑电站爬坡约束和日电量约束后，电站出力基本上能在高峰时刻发电，同样起到很好调峰效果；另外从负荷平衡效果来看，四座电站的累计出力和负荷平衡图分别见图 3-7-26 和图 3-7-27，可以看出负荷在高峰处被“削掉”很多（红色是原始负荷曲线，蓝线是剩余负荷曲线），而在 8: 00~10: 00 这段时间被“削掉”很多较少，主要原因是电站受爬坡速率约束，电站出力需要慢慢增加才能达到最大值。





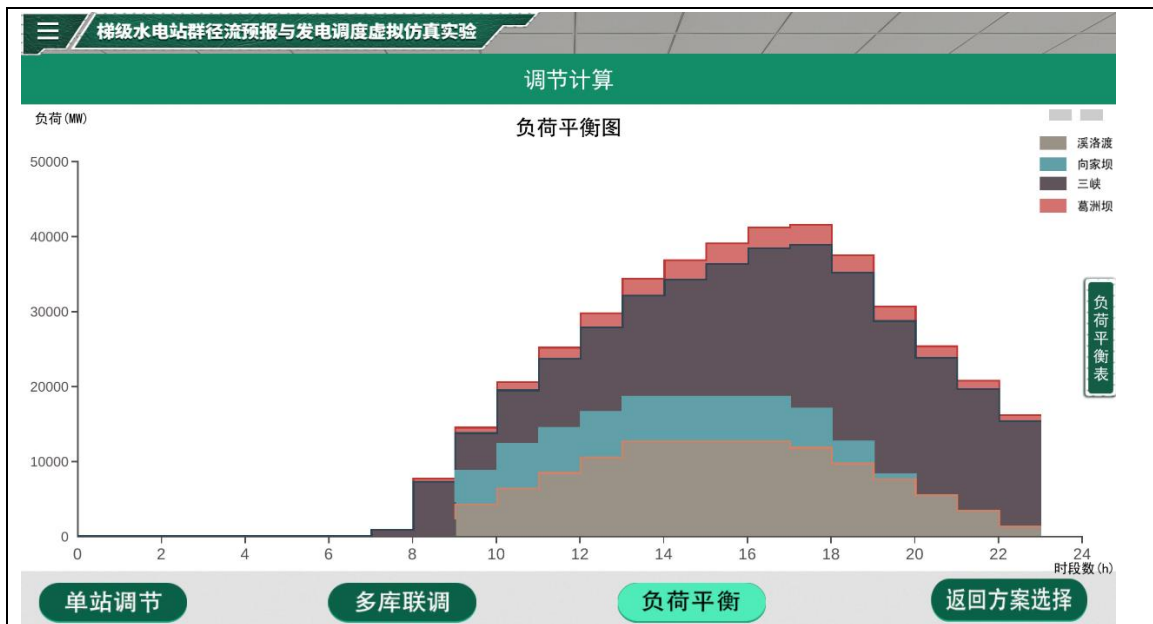


图 3-7-26 电站累计出力示意图

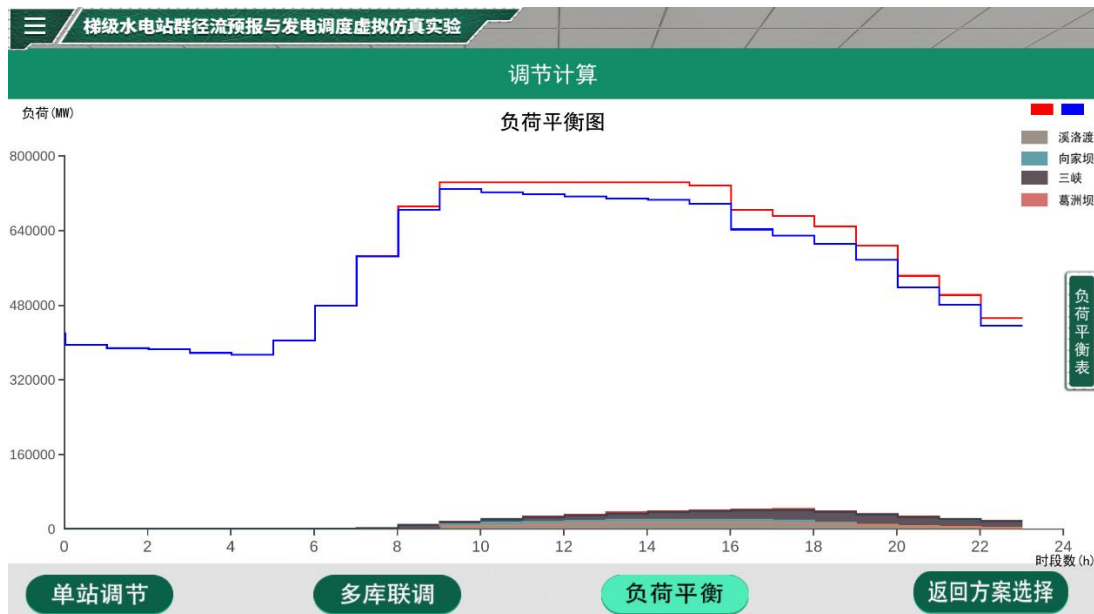


图 3-7-27 负荷平衡示意图

③ 不同来水过程对梯级水电站群发电调度计划的影响实验。以单峰负荷需求为例，图 3-7-28 溪洛渡电站的入库流量过程，图 3-7-29 是溪洛渡电站的末水位过程，图 3-7-30 是溪洛渡电站的发电出力过程。当来水比较少（12：00～24：00）时，随着发电出力增加，水库水位也在降低；当来水比较多时（4：00～12：00）且出力较少时，水库水位维持在较高位置；当来水介于两者之间时，电站的出力和水位过程存在不同变化规律，需要根据不同情况作具体分析。

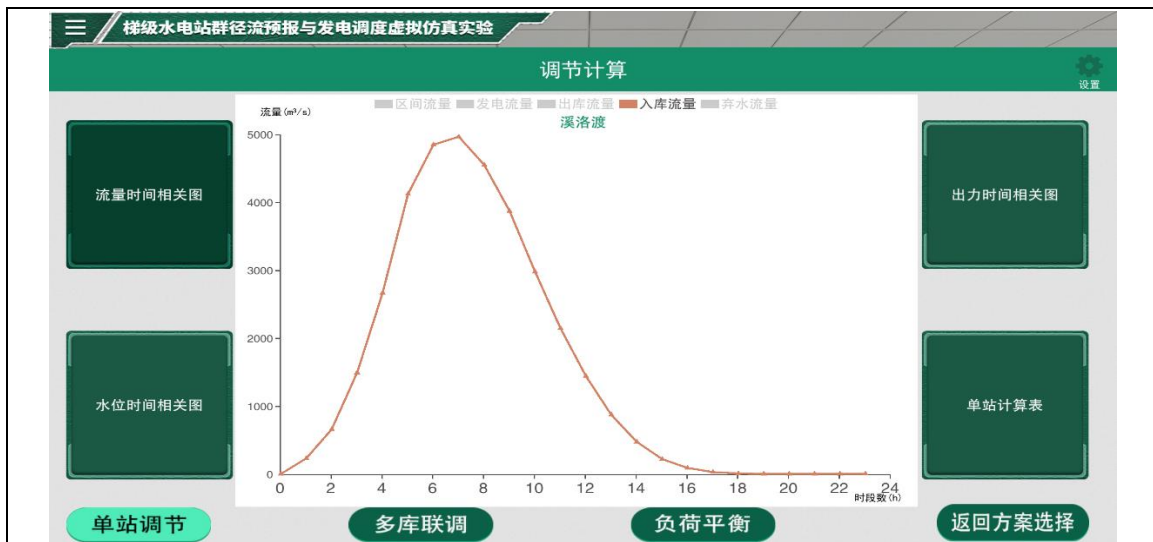


图 3-7-28 电站入库流量过程图

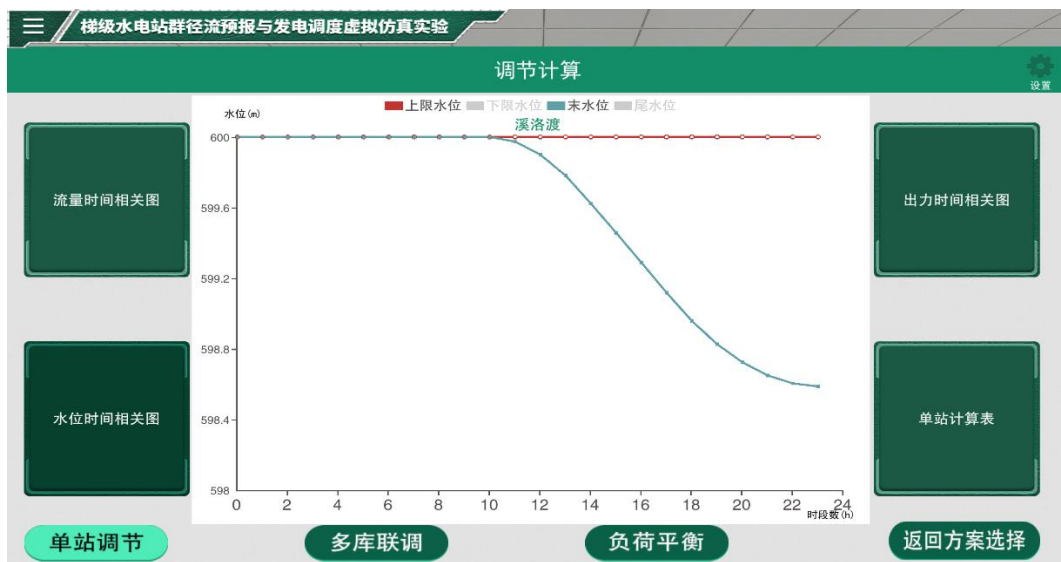


图 3-7-29 电站水位过程图

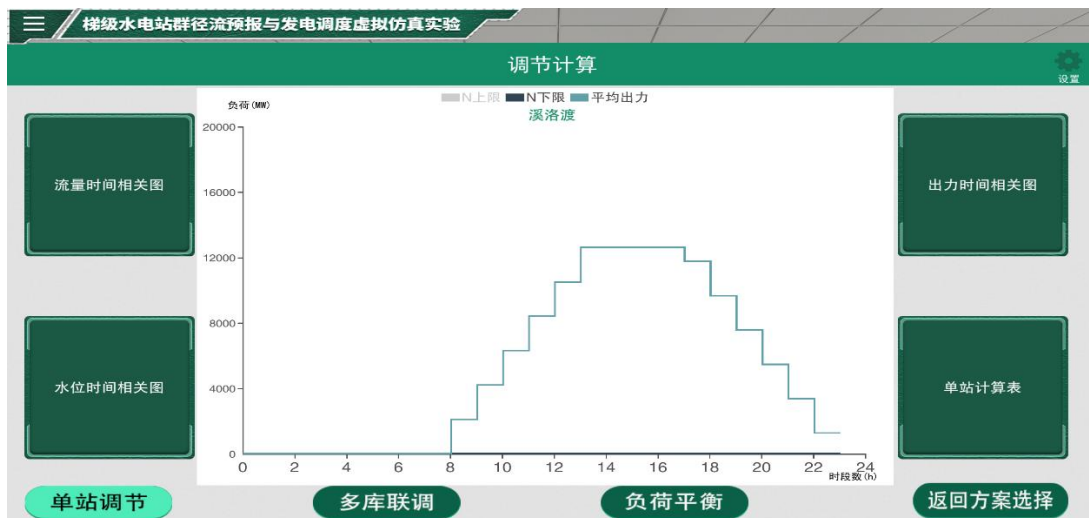


图 3-7-30 电站出力过程图

### 3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

水文与水资源工程专业本科三、四年级学生；

(2) 基本知识和能力要求

前置课程：《水文预报》、《水电站水库运行与调度》；

基本前置能力描述：具有查阅相关中英文文献的技能和综合分析复杂工程问题的能力，能够针对具体问题查阅关于水库调度相关的研究成果，制定研究方案。

### 3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2020年4月1日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校180人，外校100人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：1，具体专业：水文与水资源工程，

教学周期：3，学习人数：180人

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2020年9月1日

(6) 已服务过的社会学习者人数：100人；

## 4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限800字以内）

### 1、实验设计的特色

梯级水电站预报调度是水文与水资源工程专业的主要核心内容，是三峡大学水电特色的集中体现，该虚拟仿真项目运用了专业课程中所学习的水文水资源“测、报、算”全套知识内容，本项目利用宜昌世界水电之都的地理优势，将虚拟仿真与实践教学进行深度融合，以实际巨型水电站群为对象建设虚拟仿真项目，训练和培养学生作为水电调度人员的日常运行操作能力，不但解决了专业在实践教学中的瓶颈，还拓宽了实验的广度和深度，促使学生的知识、能力和素质全面提高。

### 2、教学方法的特色

在水库预报调度教学中，采用课堂理论教学、集控中心现场实习、虚拟实验操作体验紧密结合的教学方法，实现了传统教学与现代信息技术的有效融合。在虚拟实验的教学中进一步采用“讲解-示范-实践-考核”递进模式，具体包括：教师对相关理论知识进行讲解、老师对虚拟仿真实验进行示范操作、学生在线实践操作、老师答疑解惑、学生完成实验操作和实验报告、老师综合评分等多个环节。

### 3、评价体系的特色

在水库预报调度实验教学中，系统可以为每位学生提供个性化的训练场景，学生能够针对不同参数进行自主设定，并采取不同参数组合的形式对降雨径流预报和发电调度实验进行敏感性分析，以便逐渐加深对不同参数含意的理解，这为学生的个性化评价提供了条件。考核内容由三部分组成：客观选择题、客观操作步骤和主观实验报告，分数占比权重分别是 40%、30%和 30%，其中客观选择题主要考查学生理论知识学习水平，内容涵盖了水库预报调度相关知识，系统根据学生提交的答案能够自动判分；客观操作步骤主要考查学生能否按正确实验操作规范完成所有实验，系统可以自动判分；主观实验报告主要考查对实验数据分析处理的能力，可以提高学生动手和思考能力，这种主客观相结合的评价体系能够全方位考查学生对实验的掌握情况。

## 5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源：教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件 (演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源：实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式：热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 5 名提供在线教学服务的团队成员；9 名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供 8 小时/日的在线服务

## 6. 实验教学相关网络及安全要求描述

### 6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)

① 基于公有云服务器部署的系统，5M-10M 带宽



② 基于局域网服务器部署的系统，10M-50M 带宽

(2) 说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）

支持 100 个学生同时在线并发访问和请求，如果单个实验被占用，则提示后面在线等待，等待前面一个预约实验结束后，进入下一个预约队列。



### 6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

Windows 7 及以上

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(3) 支持移动端：是 否

### 6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量： M

下载链接：

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

浏览器推荐火狐（Firefox）浏览器 50.0 以上版本

#### 6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

##### (1) 计算机硬件配置要求

计算机硬件配置需求（最低）	计算机硬件配置需求（推荐）
中央处理器： Intel® Core™ i5-7400-3.0GHz-4 核 4 线程	中央处理器： Intel® Core™ i5-8500-3.0GHz-6 核 6 线程
内存： 8GB	内存： 16GB
硬盘空间： 100GB	硬盘空间： 500GB
图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 960	图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 1060
显存： 2G 及以上	显存： 4G 及以上
显示器： 16:9 分辨率 1280*720 及以上	显示器： 16:9 分辨率 1920*1080
网络带宽： 10Mbps	网络带宽： 50Mbps
操作系统： Windows 7	操作系统： Windows 10
	浏览器： 火狐（Firefox）

##### (2) 其他计算终端硬件配置要求

无

#### 6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

##### (1) 计算机特殊外置硬件要求

无

##### (2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：


#### 6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

##### (1) 证书编号：11010819283-00001

##### (2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

<b>信息系统安全等级保护 备案证明</b>	依据《信息安全等级保护管理办法》的有关 规定， <u>北京润尼尔网络科技有限公司</u> 单位 的：
	第 <u>2</u> 级 <u>虚拟仿真实验教学平台</u> 系统 予以备案。
证书编号：11010819283-00001	
中华人民共和国公安部监制	备案公安机关公章 2020年4月8日

## 7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
<p style="text-align: center;">系统架构图及简要说明</p>	<p><b>梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验</b>的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑,二者通过数据接口无缝对接,保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目,并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能,尽可能帮助用户实现自主的实验,加强实验项目的开放服务能力,提升开放服务效果。</p> <p>开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托,采用面向服务的软件架构开发,集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体,是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。总体架构图如下:</p>  <p style="text-align: center;">图 7-1 系统总体架构图</p> <p>如图 7-1 所示,支撑项目运行的平台及项目运行的架构共分为五层,每一层都为其上层提供服务,直到完成具体虚拟实验教学环境的构建。下面将按照从下至上的顺序分别阐述各层的具体功能。</p> <p><b>(1) 数据层</b></p> <p>梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验涉及到多种类型虚拟实验组件及数据,这里分别设置虚拟实验的基础元件库、实验课程库、典型实验库、标准答案库、规则库、实验数据、用户信息等来实现对相应数据的存放和管理。</p> <p><b>(2) 支撑层</b></p>

	<p>支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共享平台的核心框架，是实验项目正常开放运行的基础，负责整个基础系统的运行、维护和管理。支撑平台包括以下几个功能子系统：安全管理、服务容器、数据管理、资源管理与监控、域管理、域间信息服务等。</p> <p><b>(3) 通用服务层</b></p> <p>通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以使用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、实验资源管理、智能指导、互动交流、实验结果自动批改、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共等，同时提供相应集成接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。</p> <p><b>(4) 仿真层</b></p> <p>仿真层主要针对该项目进行相应的器材建模、实验场景构建、虚拟仪器开发、提供通用的仿真器，最后为上层提供实验结果数据的格式化输出。</p> <p><b>(5) 应用层</b></p> <p>基于底层的服服务，最终梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真实验教学与开放共享。该框架的应用层具有良好的扩展性，实验教师可根据教学需要，利用服务层提供的各种工具和仿真层提供的相应的器材模型，设计各种典型实验实例，最后面向学校开展实验教学应用。</p>	
实验 教学	开发技术	<input type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input checked="" type="checkbox"/> 二维动画 <input type="checkbox"/> HTML5 <input type="checkbox"/> 其他
	开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash <input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input checked="" type="checkbox"/> 其他
	运行环境	<p><b>服务器</b></p> <p>CPU 六核、内存 32 GB、磁盘 100 GB、显存 0 GB、GPU 型号：无</p> <p><b>操作系统</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他具体版本：</p> <p><b>数据库</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input type="checkbox"/>其他</p> <p><b>备注说明</b>（需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明）</p>



	是否支持云渲染：●是 ○否
实验品质 (如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等)	单场景模型总面数：900000 面 贴图分辨率：1024*1024 动作反馈时间：1 秒以内 显示刷新率：高于 30Hz (fps) 正常分辨率 1920*1080

## 8. 实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

### (1) 课程持续建设

日期	描述
第一年	预报模型方面，改进和完善已有的单位线法降雨径流预报实验模型基础上，新增水文专业认可度更高的新安江模型，提高预报精度，完善学生成绩评价体系，改善人机交互功能设计，使学生和教师都有更加完美的实验体验
第二年	调度模型方面，改进和完善已有逐次切负荷法调峰模型基础上，新增发电量最大模型和发电效益最大模型，以适应不同场景需求。
第三年	洪水演进方面，新增马斯京根模型、演后演算模型和合成流量模型，让学生体验不同洪水波演进过程，进一步提升径流预报水平。
第四年	评价模型方面，针对不同模块内容开发相应的评价方法，以评估不同模型的应用效果，方便学生做出科学的决策。
第五年	增强实验平台对优质资源的共享能力和稳定性，满足更多用户并发访问。

其他描述：根据学科发展和课程建设，未来将从预报模型、调度模型、洪水演进和评价模型四个方面持续拓展实验内容，如图 8-1 所示，进一步丰富实验场景，优化模型和算法，增加实验项目，开发形成系列虚拟实验，以满足学科交叉型人才培养需求。

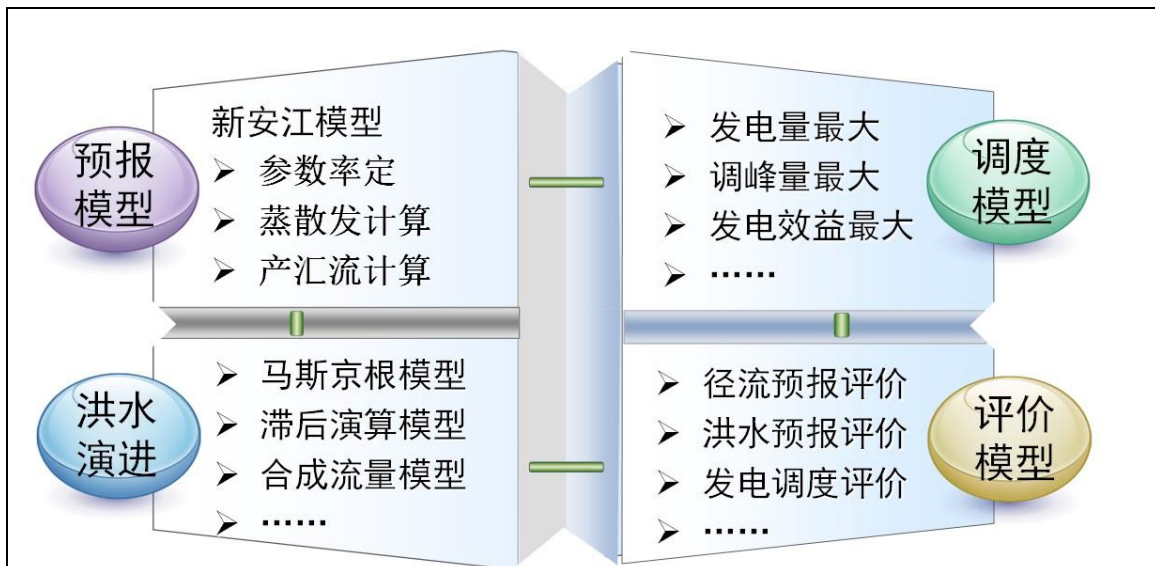


图 8-1 未来拓展方向

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	2	200 人/年	2	20
第二年	5	500 人/年	5	50
第三年	10	1000 人/年	8	100
第四年	15	1500 人/年	8	120
第五年	30	3000 人/年	8	150

其他描述：本项目确保被认定后 1 年内面向社会免费开放并提供教学服务，1 年后至 3 年内免费开放服务内容不少于 50%，3 年后内容不少于 30%。通过对预报、防洪、调度的深度融合，满足广大社会学习者的不同需求，扩大适用范围，使服务面更广，受益人数更多。

## 9. 知识产权

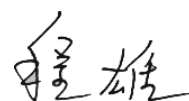
软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	梯级水电站群径流预报与发电调度虚拟仿真软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
<p>每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作权人填写栏进行填报。</p>	

著作权人	著作权人类型
三峡大学	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
程雄	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input checked="" type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
郭家力	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input checked="" type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
刘冀	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input checked="" type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
李英海	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input checked="" type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
董晓华	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input checked="" type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部
软件著作权登记号	2020SR1254549
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

## 10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：



2021年4月27日

## 11. 附件材料清单

### 1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

### 2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

〔由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。〕

### 3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）