

“十三五”国家重点图书出版规划项目

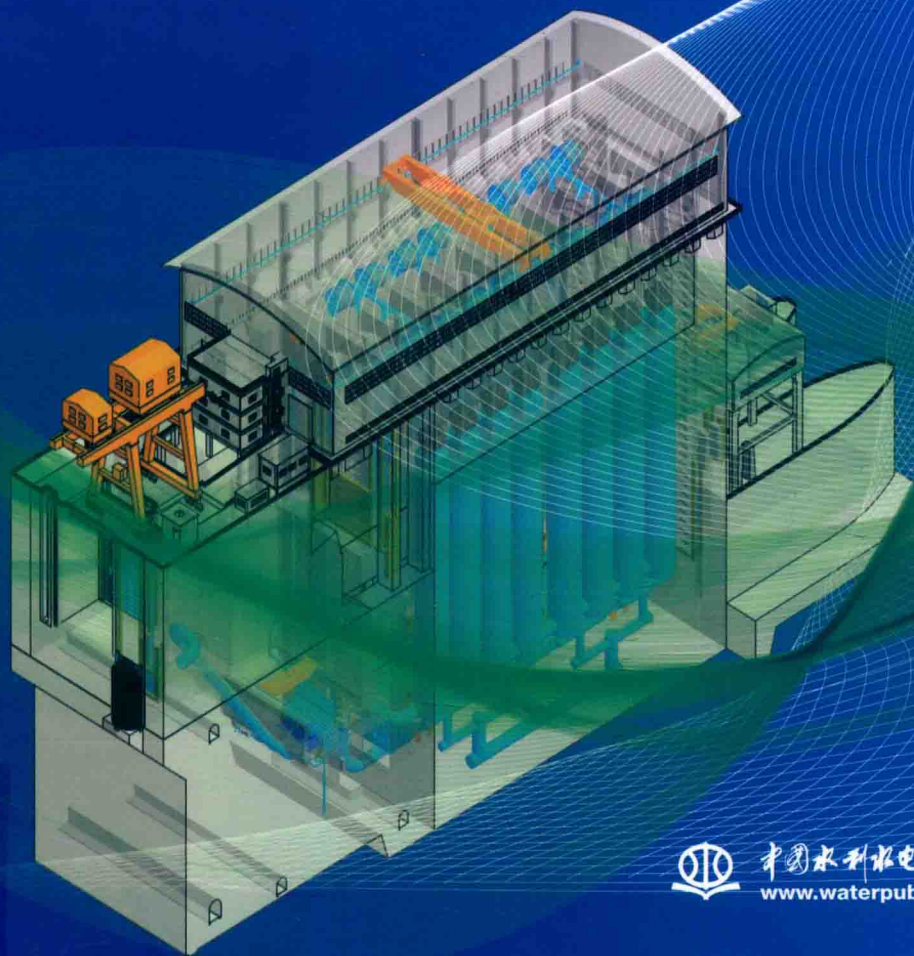
水利水电工程信息化 BIM 丛书 | 编委会主任 张宗亮

HydroBIM-

SHENGCHUANJI SHUZHUA SHEJI

HydroBIM- 升船机数字化设计

李自冲 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利水电工程信息化 E

HydroBIM- 升船机数字化设计

李自冲 主编

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书既是对中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司十多年来水力式升船机设计及 BIM 技术研究与应用成果的系统总结,也是对新型水力式升船机进行的探索和思考。全书共 9 章,主要内容包括:升船机的整体布置及系统组成、升船机数值仿真技术运用、水力系统 HydroBIM 设计、机械系统 HydroBIM 设计、上下闸首 HydroBIM 设计、土建结构 HydroBIM 设计以及监控及检测系统。

本书可供水力式升船机设计人员借鉴,也可作为高等院校相关专业师生教学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

HydroBIM-升船机数字化设计 / 李自冲主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2018.9
(水利水电工程信息化BIM丛书)
ISBN 978-7-5170-6384-1

I. ①H… II. ①李… III. ①升船机—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①U642.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第063801号

书 名	水利水电工程信息化 BIM 丛书 HydroBIM-升船机数字化设计 HydroBIM-SHENGCHUANJI SHUZHUA SHEJI
作 者	主编 李自冲
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京博图彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 11 印张 204 千字
版 次	2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	70.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

“水利水电工程信息化 BIM 丛书”

编 委 会

主 任 张宗亮

副 主 任 曹以南

编 委 (以姓氏笔画为序)

马仁超	王 冲	王 娜	王小锋	王处军
刘 涵	严 磊	李 忠	李自冲	余俊阳
张礼兵	张宗亮	陈为雄	周志军	郑 勇
赵志勇	闻 平	曹 阳	曹以南	梁礼绘

《HydroBIM—升船机数字化设计》

编写名单

主 编 李自冲

副 主 编 曹以南 马仁超

参编人员 王处军 吴德新 凌 云 朱国金 陈瑞华
谢思思 曹慧颖 李 斌 代 敏 崔 稚
李 荣 生永贞 余俊阳 魏 源 丁 波
廖照邦 陈 琪

编写单位 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

信息技术与工程深度融合
是水利水电工程建设发展
的重要方向！

中国工程院院士

马洪琪

2016年6月

从 书 序

中国的水利建设事业有着辉煌且源远流长的历史，四川的都江堰枢纽工程、陕西的郑国渠灌溉工程、广西的灵渠运河、京杭大运河等均始建于公元前，公元年间相继建有黄河大堤等各种水利工程。新中国成立后，水利事业开始进入了历史新篇章，三门峡、葛洲坝、小浪底、三峡等重大水利枢纽相继建成，为国家的防洪、灌溉、发电、航运等作出了巨大贡献。

诚然，国内的水利水电工程建设水平有了巨大的提高，糯扎渡、小湾、溪洛渡、锦屏一级等大型工程在规模上已处于世界领先水平，但是不断变更的设计过程、粗放型的施工管理与运维方式依然存在，严重制约了行业技术的进一步提升。解决这个问题需要国家、行业、企业各方面一起努力，其中一项重要工作就是要充分利用信息技术，在水利水电建设全行业实施信息化，利用信息化技术整合产业链资源，实现全产业链的协同工作，促进水利水电行业的更进一步发展。当前，工程领域最热议的信息技术，就是建筑信息模型（BIM），这是全世界普遍认同的，已经在建筑行业产生了重大、深远的影响。这对同属于工程建设领域的水利水电行业，有着极其重要的借鉴和参考意义。

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司（以下简称“电建昆明院”）1957年正式成立，至今已有60多年的发展历史，是世界500强中国电力建设集团有限公司的成员企业。自2005年开始三维设计及BIM技术应用探索，在秉承“解放思想、坚定不移、不惜代价、全面推进”的指导方针和“面向工程，全员参与”的设计理念下，开展BIM正向设计及信息技术与工程建设深度融合研究及实践，在此基础上凝练提出了HydroBIM，作为水利水电工程规划设计、工程建设、运行管理一体化、信息化的最佳解决方案。HydroBIM即水利水电工程建筑信息模型（Hydroelectrical and Hydraulic Engineering Building Information Modeling），是学习借鉴建筑业BIM和制造业PLM理念和技术，引入

“工业 4.0”和“互联网+”概念和技术，发展起来的一种多维（3D、4D-进度/寿命、5D-投资、6D-质量、7D-安全、8D-环境、9D-成本/效益……）信息模型大数据、全流程、智能化管理技术，是以信息驱动为核心的现代工程建设管理的发展方向，是实现工程建设精细化管理的重要手段。电建昆明院 HydroBIM[®] 商标已正式获得由国家工商行政管理总局商标局颁发的商标注册证书。HydroBIM 与公司主业关系最贴切，具有高技术特征，易于全球流行和识别。

经过十多年的研发与工程应用，电建昆明院已经建立了完整的 HydroBIM 理论基础和技术体系，编制了 HydroBIM 技术标准体系及系列技术规程，研发形成了“综合平台+子平台+专业系统”的 HydroBIM 集群平台，实现了规划设计、工程建设、运营维护三大阶段的工程全生命周期 BIM 应用，并成功应用于能源、水利、水务、城建、市政、交通、环保、移民等多个业务领域，极大地支撑了传统业务和多元化业务的技术创新与市场开拓，成为了转型升级的利器。HydroBIM 应用成果多次获得国际、国内顶级 BIM 应用大赛的重要奖项，电建昆明院被全球最大 BIM 软件商 Autodesk Inc. 誉为基础设施行业 BIM 技术研发与应用的标杆企业。

电建昆明院 HydroBIM 团队完成了“水利水电工程信息化 BIM 丛书”的策划和编写。该丛书是第一套出自实战、实际应用的工程师之手，以数字化、信息化技术给出了水利水电项目规划设计、工程建设、运行管理完整解决方案的著作，对大土木工程也有很好的借鉴价值。在十多年的 BIM 研究及实践中，他们秉承“正向设计”理念，坚持信息技术与工程建设深度融合之路，在信息化基础之上整合增值服务，为客户提供多维度数据服务、创造更大价值，他们自身也得到了极大的提升，丛书就是他们十多年运用 BIM 等先进信息技术正向设计的精华大成，是十多年来三维设计及 BIM 技术研究与应用创新的系统总结，既可为水利水电行业管理人员和技术人员提供借鉴，也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

丛书于 2018 年被列入“十三五”国家重点图书出版规划，包括：《HydroBIM-数字化设计应用指南》《HydroBIM-厂房数字化设计》《HydroBIM-升船机数字化设计》《HydroBIM-闸门数字化设计》等。丛书有着开放性的专业体系，随着信息化技术的不断发展和 BIM 应用的

不断深化，丛书将根据 BIM 技术在水利水电工程领域的应用发展持续扩充。

丛书的出版得到了中国水电工程顾问集团公司科技项目“高土石坝工程全生命周期管理系统开发研究”(GW-KJ-2012-29-01)及中国电力建设集团有限公司科技项目“水利水电项目机电工程 EPC 管理智能平台”(DJ-ZDXM-2014-23)和“水电工程规划设计、工程建设、运行管理一体化平台研究”(DJ-ZDXM-2015-25)的资助。感谢马洪琪院士为丛书题词，感谢丛书编写团队所有成员的辛勤劳动，感谢清华大学马智亮教授、欧特克软件(中国)有限公司大中华区技术总监李和良先生和中国区工程建设行业技术总监罗海涛先生等专家对丛书编写的支持和帮助，感谢中国水利水电出版社为丛书的出版所做的大量卓有成效的工作。

信息技术与工程深度融合是水利水电工程建设发展的重要方向。BIM 技术作为工程建设信息化的核心，是一项不断发展的新技术，限于理解深度和工程实践有限，丛书中难免有疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

丛书编委会

2018 年 7 月

我国幅员辽阔、流域众多，水利资源十分丰富，丰富的水利资源为航运、发电、供水、灌溉、养殖业等提供了优越的自然条件。

为充分利用水利资源，人们往往需要在自然河流上修建水坝，修建水坝后如何解决船舶的过坝问题，是广大水利工作者需要解决的问题。通航建筑物是解决筑坝和航运矛盾的主要手段，通航建筑物根据其型式又分为船闸和升船机两大类。升船机相比于船闸，具有克服水坝集中落差大、运行通过速度快的特点。

升船机又称“举船机”，是利用机械装置升降船舶以克服航道上集中水位落差的通航建筑物，由承船厢、支承导向结构、驱动装置、事故装置等组成，能为船舶提供快速过坝通道。

水力式升船机是世界首创、中国原创，具有中国完全自主知识产权的新型升船机。水力式升船机具有原理新颖、安全可靠、机构简洁、节能环保的特点。2016年12月景洪水电站水力式升船机正式投入试运行，标志着世界首台水力式升船机成功建成，在世界通航领域具有里程碑意义。水力式升船机是集水动力、结构、机械、液压、电气等于一体的复杂系统，根据其特性，可以分为水力系统、机械系统（塔楼金属结构设备）、闸首金属结构设备、土建结构、监控及检测系统、辅助系统等。

BIM (Building Information Modeling) 是建筑信息模型的简称，最初由建筑行业提出，后逐渐拓展到整个工程建设领域。BIM以三维数字技术为基础，集成了工程项目各种相关信息，最终形成工程数据模型，是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达。BIM具有单一工程数据源，可解决分布式、异构工程数据之间的一致性和全局共享问题，支持建设项目全生命周期中动态的工程信息创建、管理和共享；同时又是

一种应用于设计、建造、管理的数字化方法，这种方法支持工程项目集成管理环境，可以使工程项目在其整个进程中提高效率并减少风险。

水力式升船机的设计是一项复杂的系统集成工程，在升船机的设计过程中采用 BIM 技术，可快速、高效地完成升船机设计，具有设计质量和设计效率高、设计成果直观的特点。

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司（以下简称“电建昆明院”）是景洪水力式升船机的工程设计单位，设计过程中应用 BIM 技术，成功解决了水力式升船机的水力学问题、抗倾斜数字模拟等技术问题，并采用三维制图完成工程设计，为水力式升船机和 BIM 技术的结合探索出了行之有效的解决方法。

在此背景下，电建昆明院对水力式升船机 BIM 技术应用研究开展了大量工作，取得了一些成果，本书即为成果之一。本书系统介绍了水力式升船机的整体布置、数值仿真技术应用、水力系统 HydroBIM 设计、机械系统 HydroBIM 设计、闸首 HydroBIM 设计、土建结构 HydroBIM 设计等，目的是使读者了解 HydroBIM 技术在水力式升船机设计中的应用内容及方法。

景洪水电站水力式升船机作为一种新型升船机，是世界高坝通航领域的重大创新。景洪升船机整个建设实践过程充满了挑战，是一次对水力式升船机不断探索、不断总结、不断深化认识的过程。广大建设、设计、科研、施工和管理人员夜以继日、团结奋进、在攻坚克难中追求卓越，解决了景洪升船机建设过程中一个又一个的技术难题。

编者有幸参与了景洪升船机的设计，回想整个设计过程，深感创新之不易，对一直热情关心和大力支持的领导、同仁和朋友表示衷心的感谢。在此，特别感谢项目业主华能澜沧江水电股份有限公司，科研单位水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院、中国水利水电科学研究院、机械科学研究总院中机生产力促进中心以及河海大学，制造单位中信重工机械股份有限公司，安装单位中国葛洲坝集团股份有限公司景洪项目部，以及监理单位华电郑州机械设计研究院有限公司给予的大力支持！

由于时间和水平所限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2018年7月



丛书序
前言

第 1 章 概述	1
1.1 升船机的主要功能	1
1.2 升船机的原理及特点	2
1.3 HydroBIM 的设计流程	3
1.4 升船机 HydroBIM 设计	6
第 2 章 升船机的整体布置及系统组成	10
2.1 升船机的整体布置	11
2.2 升船机的系统组成	15
第 3 章 升船机数值仿真技术运用	17
3.1 抗倾斜数值模拟	17
3.2 水力系统数值模拟	40
第 4 章 水力系统 HydroBIM 设计	52
4.1 水力系统的功能	52
4.2 水力系统的组成	52
4.3 输水系统进口及设备布置	55
4.4 充泄水系统	56
4.5 输水系统出口及设备布置	73
第 5 章 机械系统 HydroBIM 设计	75
5.1 机械系统的功能	75
5.2 机械系统的组成	75
5.3 承船厢总成	76
5.4 卷筒及同步系统	94

5.5	浮筒及动滑轮装置	100
5.6	钢丝绳组件	102
第6章	上下闸首 HydroBIM 设计	106
6.1	闸首金属结构设备的组成	106
6.2	闸首金属结构设备的功能	106
6.3	上闸首事故闸门	108
6.4	上闸首工作大门	109
6.5	下闸首检修闸门	111
第7章	土建结构 HydroBIM 设计	112
7.1	上闸首土建结构	114
7.2	塔楼土建结构	124
7.3	下闸首土建结构	141
7.4	引航道	148
7.5	结构安全监测	151
第8章	监控及检测系统	154
8.1	监控检测系统总体要求	154
8.2	运行检测系统	154
8.3	检测量的分类	154
8.4	升船机的主要检测部位	155
8.5	计算机监控系统	155
第9章	结论与展望	158
参考文献	160

第 1 章

概 述

1.1 升船机的主要功能

升船机又称“举船机”，是利用机械装置升降船舶以克服航道上集中水位落差的通航建筑物，能为船舶提供快速过坝通道，由承船厢、支承导向结构、驱动装置、事故装置等组成。

升船机作为一种升降船舶的机械设施，其原始雏形为在黏土滑道上用人工木绞盘作为动力工具，拖运小型船舶过坝的设备。最早的机械化升船机是 1788 年在英国开特里建造的斜面干运升船机。现代化大型升船机出现在 20 世纪，自 1934 年在德国建造了尼德芬诺垂直升船机以来，升船机发展到一个新

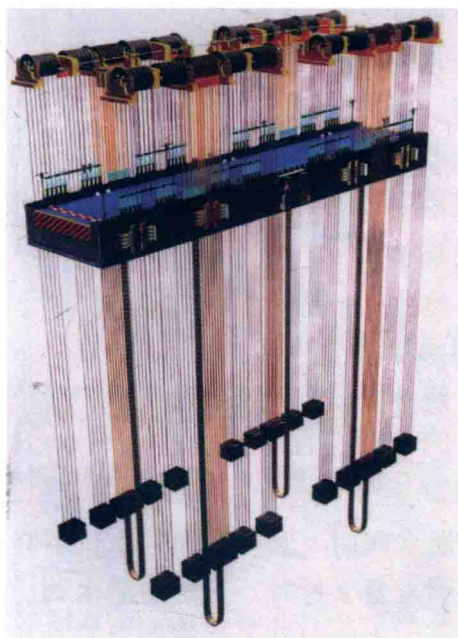


图 1.1 电动钢丝绳卷扬式升船机

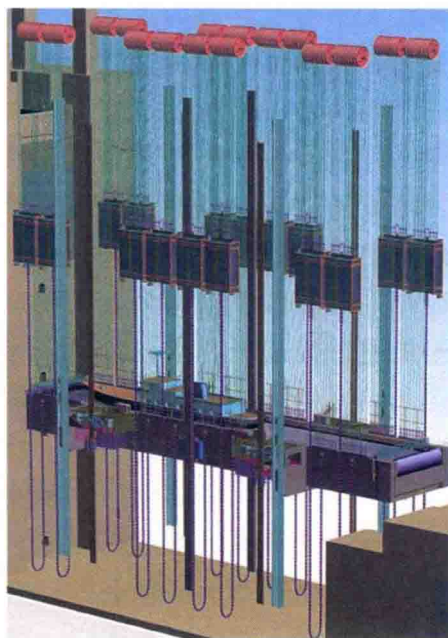


图 1.2 齿轮齿条式升船机



图 1.3 水力式升船机

阶段，提升的船舶吨位显著增大，提升高度增加，类型不断增多。目前国内升船机按动力驱动方式划分，可分为电动钢丝绳卷扬式升船机、齿轮齿条式升船机和水力式升船机三种型式。各类型升船机的示意图见图 1.1~图 1.3。

鉴于水力式升船机的独特性，本书主要介绍 HydroBIM 在水力式升船机设计中的运用。

1.2 升船机的原理及特点

水力式升船机的基本原理是将平衡重做成重量和体积合适的浮筒，浮筒井（简称竖井）布置在升船机塔楼中，承船厢布置在两侧塔楼的中间，悬吊承船厢的钢丝绳布置在承船厢两侧，钢丝绳绕过升船机塔楼顶部的卷筒、动滑轮后固定在钢丝绳固定端均衡梁上。平衡重浮筒的结构重量及配重重量分别大于承船厢结构重量和承船厢水体重量，利用充泄水工作阀门实现竖井内水位的升降，改变平衡重浮筒的入水深度实现浮筒的浮力变化，利用此浮力变化在承船厢重与浮筒重之间产生的差值来驱动承船厢升降运行。承船厢在升降过程中由于漏水等原因造成的载荷变化，可以通过竖井内平衡重浮筒淹没水深的自动改变予以适应，保证在任意位置承船厢侧的载荷与平衡重的载荷保持相对的平衡。水力式升船机通过控制竖井水位的升降来控制承船厢的运行。承船厢的运行速度由输水系统中充、泄水的流速来控制。

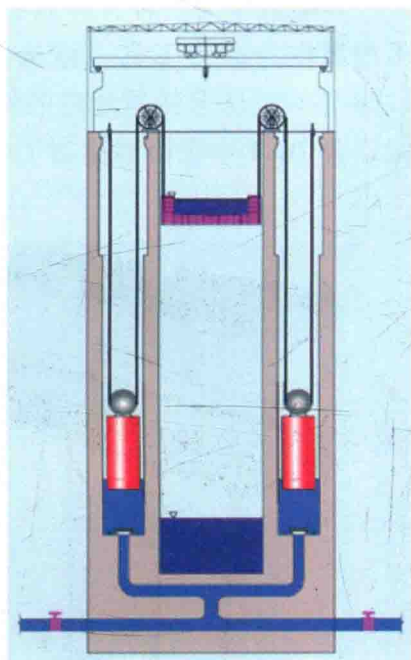


图 1.4 水力式升船机原理图

如图 1.4 所示，当承船厢需要上行时，上游的充水阀门处于关闭状态，打开下游的泄水阀门，竖井里面的水位下降，浮筒随之下降从而驱动承船厢上行；当承船厢需要下行时，下游的泄水阀门处于关闭状态，打开上游的充水阀门，竖井里面的水位上升，浮筒随之上升从而驱动承船厢下行。

水力式升船机与传统型式升船机相比,具有以下较为明显的优点:

(1) 具有很高的运行安全保证措施。在承船厢严重漏水甚至空厢状态等多种事故工况下仍可正常运行,方便快速疏散乘客,同时具有水力和机械两套同步系统,进一步确保升船机的运行平稳和安全可靠。

(2) 机构简约、控制简化、运行可靠安全。由于以水力驱动代替电力驱动,水力式升船机节省了主提升机及其控制设备、低速大扭矩减速箱及配套设备、复杂的安全装置和控制系统等,避开了升船机设计、制造、安装及其维护等方面的难题。同时,水力式升船机的所有控制都集中在充泄水阀门的启闭,操作灵活、简单、使用方便。

(3) 可轻松地实现与下游引航道的入水对接。能适应承船厢初始载水水深较大的变幅,即对承船厢误载水深的要求较低;能适应下游水位的较大变幅。

(4) 工程投资小,综合运行维护费用低。水力式升船机取消了主提升电机、低速大扭矩减速箱等设备,工程投资减少,相应的维护成本较低,因此具有较强的经济优势。

(5) 承船厢在升降过程中由于漏水等原因造成的载荷变化,可以通过竖井内平衡重浮筒淹没水深的自动改变予以适应,保证在任意位置承船厢侧的载荷与平衡重的载荷保持平衡,这是水力式升船机的本质安全,也是水力式升船机的最大优点。

水力式升船机是我国具有自主知识产权的一种高坝通航过坝建筑物型式,世界上尚无类似工程实例,本项目将填补国内外空白,为高坝通航过坝增加一种安全可靠的解决手段。水力式升船机是我国自主研发的一种新型升船机,依靠“水的浮力”驱动承船厢的运行,具有机构简单、安全可靠、绿色环保、运行平稳、易于维护保养等优越性。水力式升船机为解决在航运河道上修建水电站大坝和通航之间的矛盾起到了积极的作用,提供了一种安全、经济、快速的解决方式。

1.3 HydroBIM 的设计流程

HydroBIM 基本的设计流程见图 1.5。

由图 1.5 可看出,HydroBIM 设计主要包括三维设计及数值化分析。

1.3.1 三维设计

三维设计的主要优点如下:

(1) 设计成果直观。三维设计采用实体建模方式,三维设计模型与工程图

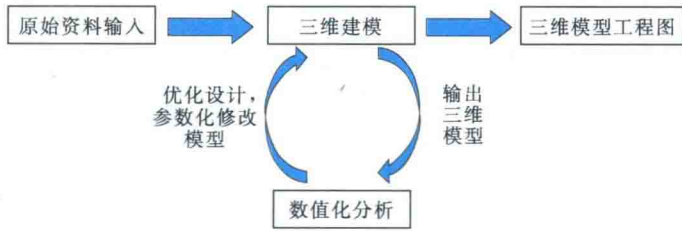


图 1.5 设计流程

一一对应，真正实现了所见即所得的设计手段，模型的唯一性带来工程图纸的唯一性。所设计的产品在制造前便直观地展现在工程设计人员面前，工程设计人员能最直观地研究所设计的产品，通过直观的设计模型激发设计人员的优化设计冲动和激情。直观的设计模型也便于后续制造及施工单位提前了解产品，便于设计交底，便于设计产品的推介。

(2) 设计质量高。通过软件的碰撞检查、逻辑校验，可以大大提高设计的图纸质量，完全杜绝尺寸错误、干涉等二维设计中常出现的低级设计问题。同时由于三维设计的这一特点，校核、审查人员也无需将大量的时间花在尺寸校核上，而可以将主要精力放在产品的方案设计上。

(3) 参数化驱动，提高设计效率。三维设计具有参数驱动功能，通过修改模型参数，既可快速地完成设计图纸的修改，又不会出现二维设计修改中常出现“顾此失彼”的现象。通过参数化设计减少重复性劳动，提高生产效率。

目前在水电设计行业广泛采用的三维设计软件有 Bentley 平台、Catia 平台、AutoDesk 平台、SolidWorks 平台，这些设计平台均能适应金属结构设计。三维设计主要采用了 AutoDesk 平台，利用其 Inventor 软件进行三维建模。

在建模过程中，为提高设计效率，设计中大量使用 Inventor 软件内一个重要的衍生功能键，实体零件、可见二维和三维草图、定位特征、曲面、各类参数都可以加入到衍生零件中去。

衍生功能可用现有的 Inventor 零件 (ipt 或 iam 格式文件) 作为基础创建新的衍生零件。衍生几何图元的位置和方向与基础零件相同，且可实现衍生零件与基础零件的继承和关联。特别是可以以原零件为基础按比例放大缩小或以指定工作平面为基准进行镜像衍生。设计参数的关联，是所有客观的设计过程中必然会涉及的、基本功能的要求，但这种关联可能不是很具体的数据，而是某个图样。例如总体设计提出的一种方案，而表达方式是一个二维的草图。因此在零件造型过程中有好几个并列进行的具体零件部件设计，都与这个总体草图相关联，人们希望做到：“多个几乎同时进行的设计，共同基于这个草图，并在这个草图发生修改后，所有利用这个草图衍生的零件都能够跟随改变。”