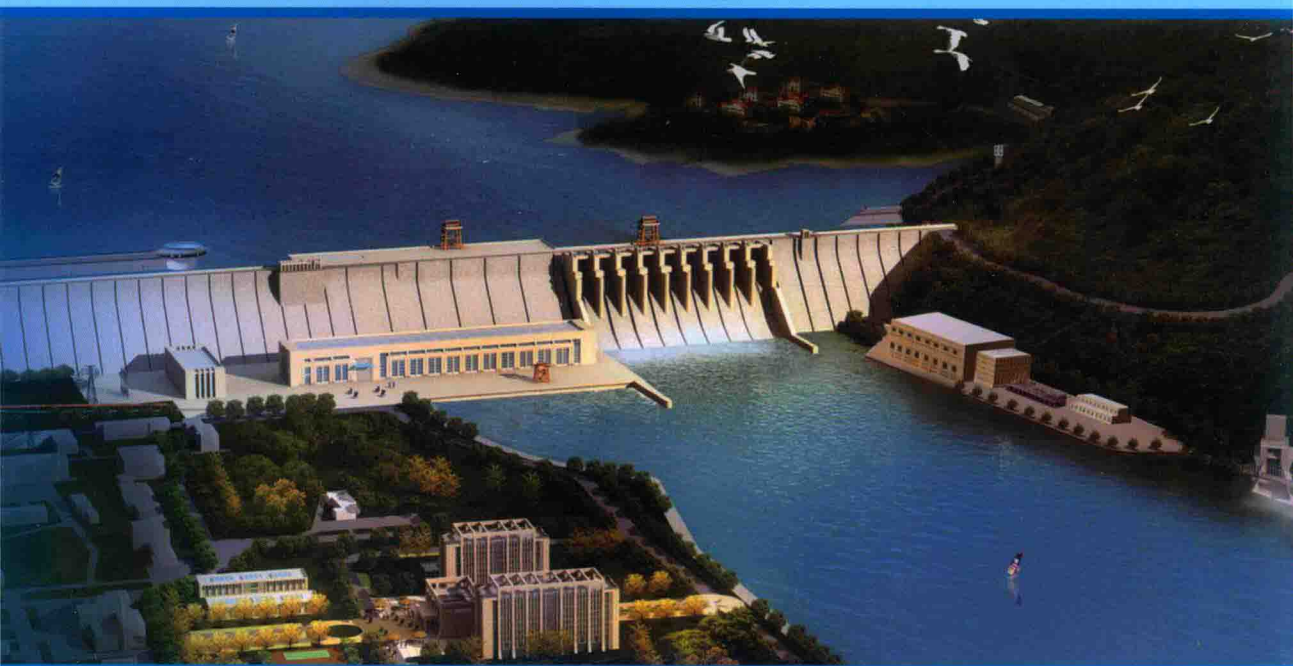


FENGMAN SHUIDIANZHAN CHONGJIAN GONGCHENG
ZHUI GUANKONG JISHU TANSUO YU SHIJIAN

丰满水电站重建工程 智慧管控技术探索与实践

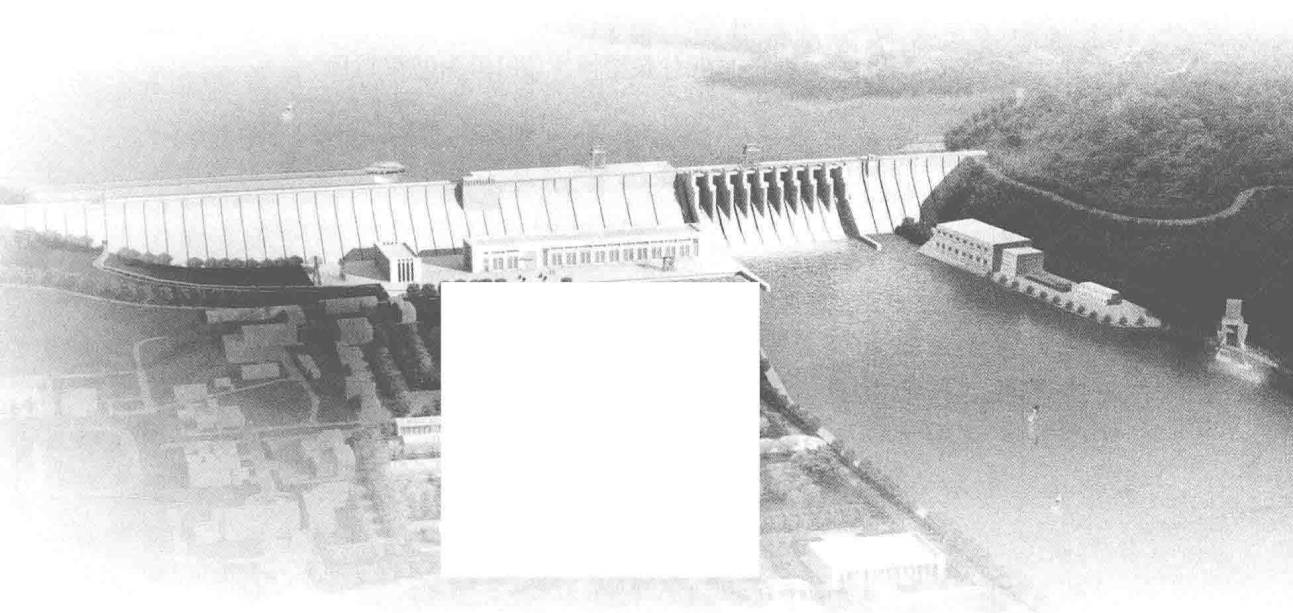
路振刚 王永潭 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

丰满水电站重建工程 智慧管控技术探索与实践

路振刚 王永潭 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

智慧建造技术是全面提升水电行业管控水平的重要手段与途径,也是泛在电力物联网建设的重要组成部分。本书系统地介绍了丰满水电站全面治理(重建)工程“智慧丰满”建设的全过程,适合具备一定数字化电站设计、建设和实践经验的读者群体,旨在引领水电行业智慧建造行业的发展,为该领域提供一套技术领先、通用性强、结构完整的智慧建造参考方案。

本书可供水电及其他领域工程建设设计、管理、施工人员使用,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

丰满水电站重建工程智慧管控技术探索与实践 / 路振刚,王永潭著. — 北京:中国水利水电出版社, 2019.6

ISBN 978-7-5170-7661-2

I. ①丰… II. ①路… ②王… III. ①水力发电站—重建—工程技术—研究—吉林市 IV. ①TV7

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第087743号

书 名	丰满水电站重建工程智慧管控技术探索与实践 FENGMAN SHUIDIANZHAN CHONGJIAN GONGCHENG ZHUIHUI GUANKONG JISHU TANSUO YU SHIJIAN
作 者	路振刚 王永潭 著
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	59.00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

序

丰满水电站被誉为“中国水电之母”，由于特殊历史时期的筑坝水平，大坝存在严重的裂缝、渗漏、冻融破坏及部分基础断层坝段不稳定等先天性质量缺陷，已对大坝安全造成严重影响，因此进行全面重建。

丰满重建工程是目前世界上首个‘百亿装机、百米坝高、百亿库容’的重建工程，工程建设举世瞩目。本工程地处东北严寒地区，气候条件恶劣（年均气温 4.9℃；极端温差 79.5℃），浇筑仓尺寸大（最大面积 1.8 万 m²）；年施工周期短（连续三年停工越冬），工程建设面临巨大技术挑战。

为破解高寒区碾压混凝土坝施工难题，提高混凝土坝施工和管控水平，有效保证丰满重建工程的施工质量、施工安全及施工进度，项目成员历时十年，在系统建设、模型构建、软硬件开发、施工与管控技术等方面开展了全面系统的研发与应用工作，形成了完整的智慧管控成套技术，并在丰满重建工程中全面应用，取得了良好效果，现场钻取三级配碾压混凝土芯样长度 23.18m，居世界首位。

本书是对丰满重建工程智慧管控技术的深度总结和高度提炼，主要内容包括开发了构件化、抽屉式的三维可视一体化平台，实现了施工数据的透彻感知、施工与建设管理信息的全面互联与深度融合；研发了混凝土坝施工的智能化碾压、温控、试验检测、质量验评、灌浆振捣、灌浆质量管控技术；全视频监控、施工定位、移动安监的安全管控技术及可视化进度仿真平台，实现了工程建造全环节、全过程数据的透彻感知、实时传递、全程可视、业务协同及智慧管控。

本书共分 5 章内容，从丰满重建工程的介绍、智慧管控平台的架构、智慧管控平台的功能设计及智慧管控技术的应用四个方面系统、全面地介绍了智慧管控技术在丰满重建工程的系统研发与全面应用。

本书的作者全程参与了丰满重建工程的建设过程，是从事水利水电建设和管理数十年的资深专家，一直致力于智慧化水利水电工程的设计、优化、

建设、管理与运营工作，亲历了我国水利水电行业从传统模式向智能化模式过渡的发展过程，是智慧管控先进技术的推动者和践行者。

该书的问世，展示了我国在混凝土坝智慧管控领域取得的重大进展，有助于提高混凝土坝的建造水平。因此，本书具有很好的理论研究价值和工程实践指导意义，是水利水电工程建设领域中不可多得的好书，可供水利水电工程技术人员学习、参考和使用。是为序。

中国工程院院士

Handwritten signature in black ink, appearing to be '陈忠' (Chen Zhong).

2019年4月

前言

当前，信息化、智能化建设方兴未艾，“互联网+”已广泛影响社会各领域的发展。国家电网有限公司以高度的社会责任感和历史责任感启动了“三型两网、世界一流”战略，全面部署泛在电力物联网建设，围绕电力系统各环节，充分应用移动互联、人工智能等现代信息技术、先进通信技术，全面实现业务协同、数据贯通和统一物联管理，全面形成共建共治共享的能源互联网生态圈。

水电站因其灵活的运行方式，在泛在电力物联网建设过程中发挥着不可或缺的重要作用。在新的历史机遇期，国网新源公司开展了抽水蓄能电站“两型两化”的建设，旨在全面提升水电行业的整体管控水平。在“互联网+”的迅速发展与应用背景下，大坝数字化进程与互联网技术充分融合，“数字大坝”从萌芽到成熟并逐步在大坝建设中得到实践应用。随着系统开发的深入，相关智能控制系统相继建成，实现了信息监测和控制的自动化、智能化，完成了“数字大坝”向“智慧大坝”质的跨越。

丰满水电站始建于日伪时期，是我国第一座大型水电站，被誉为“中国水电之母”，丰满水电站全面治理（重建）工程受到党和政府以及社会各界的高度关注，具有强烈的行业影响、民族情结和政治意义。为确保工程质量，保证施工过程的完整性及可追溯性，工程建设伊始，丰满建设局即确立了“数字化大坝”“智慧丰满”的建设目标。

在充分调研和借鉴三峡、糯扎渡等“数字化大坝”建设经验的基础上，提出了“智慧管控”的新理念，攻克了一系列关键技术难题，经历了质量监控系统、二维管控平台、三维静态模型、动态模型和信息集成5次版本升级，形成了目前的“智慧管控”平台，以数字大坝为基础，以物联网、智能技术、云计算与大数据等新一代信息技术为基本手段，以全面感知、实时传送和智能处理为基本运行方式，建立了动态精细化的可感知、可分析、可控制的智能化大坝建设运行体系，最终将丰满智慧管控平台打造成多业务融合、专业化管理、网络化传输、可视化管控、智慧化决策的综合型服务平台，为丰满重建工程建设

精细化管理提供支撑，使工程安全、质量、进度处于全面受控状态。

“智慧丰满”系统的研发、集成应用及本书的编写，得到了天津大学、中国水利水电科学研究院、北京易用视点科技有限公司、中水东北勘测设计研究有限公司、中国水利水电建设咨询北京有限公司、中国水利水电第十六工程局有限公司、中国水利水电第六工程局有限公司、北京尚优力达科技有限公司等单位和个人的大力支持和帮助，中国工程院钟登华院士还在百忙之中为本书做了序言，在成稿过程中，许多专家提出了宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢！

本书共分五章。第一章主要概述丰满水电站历史沿革、原水电站存在的先天性缺陷、丰满重建工程的立项过程、方案的比选以及丰满重建工程的概况，重建工程与新建工程的差异之处，使读者对原丰满水电站、丰满重建工程的由来及发展历程有个整体的认识。

第二章主要介绍了智慧丰满系统的模块化应用，涵盖了工程可视化、视频监控、移动安监、人员定位系统、标准管理、工程划分、质量验评、试验管理、碾压质量监控、智能温控、灌浆监控、核子密度仪、拌和系统、进度管控、辅助决策分析等模块，是智慧丰满系统的主要组成部分，展示了实现智慧丰满的基本理论和方法。

第三章主要介绍了智慧丰满系统平台的概况及平台发展历程，分数字化、智能化、可视化到智慧管控等四个阶段讲述了其一步一步从无到有、从粗到细的发展经历，展示了智慧丰满平台建设的整体架构。

第四章主要介绍了智慧丰满管控平台的功能方案，从标准管理、安全、质量、进度、施工模型信息、档案收集到碾压监控系统、智能温控系统、灌浆监控系统，详尽地介绍了实现上述功能的具体方法和途径。

第五章主要介绍了智慧丰满系统的关键技术和创新点，以及在系统开发和推行过程中遇到了一些亟待解决的问题，并对进一步完善智慧管控系统提出了展望。

希望本书能够给水电及其他领域工程建设提供参考和启示，促进基础设施建设领域从“粗放管理”向“精细管控”及“智慧建造”实现转变，为提升基础设施领域现场管控水平起到一定的促进作用。限于作者水平，不当之处，敬请指正。

作者

2019年4月

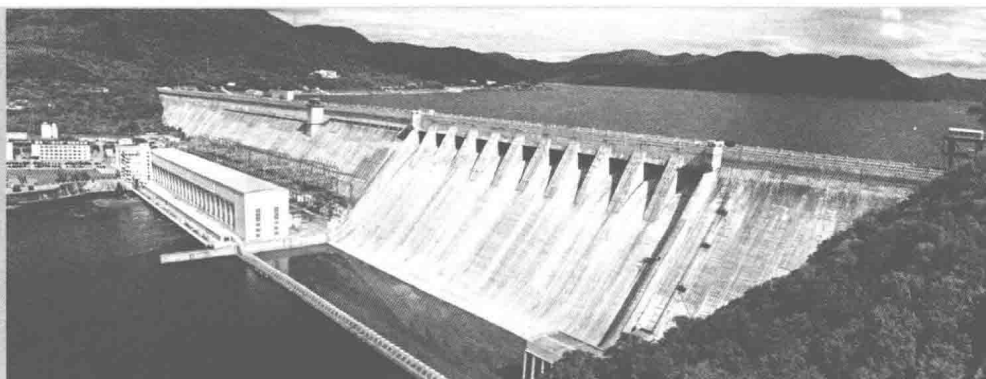
目 录

序 前言

第一章 丰满水电站工程概况	1
第一节 丰满水电站建设历史	1
第二节 丰满水电站的缺陷	2
第三节 丰满重建工程立项过程	4
第四节 丰满重建工程方案比选	5
第五节 丰满重建工程概况	6
第六节 丰满重建工程与新建工程的差异	8
第二章 智慧管控工程应用	13
第一节 工程可视化	13
第二节 视频监控	18
第三节 移动安监	20
第四节 人员定位系统	24
第五节 标准管理	26
第六节 工程划分	29
第七节 质量验评	32
第八节 试验管理	41
第九节 碾压质量监控	49

第十节 智能温控	53
第十一节 灌浆监控	58
第十二节 核子密度仪	61
第十三节 拌和系统	63
第十四节 进度管控	65
第十五节 辅助决策分析	75
第三章 智慧管控平台及架构	78
第一节 概述	78
第二节 丰满智慧管控平台建设历程	86
第三节 丰满智慧管控平台整体架构	103
第四章 丰满智慧管控平台功能方案	114
第一节 标准管理	114
第二节 施工安全管控	117
第三节 施工质量管控	129
第四节 施工进度管控	140
第五节 施工模型与信息集成管理	144
第六节 档案管理	148
第七节 碾压监控系统	149
第八节 智能温控系统	154
第九节 灌浆监控系统	160
第五章 结语	175
参考文献	181

第一章



丰满水电站工程概况

松花江发源于长白山天池，水系发达，水资源丰沛，有着巨大的综合开发利用价值。20世纪30年代，东亚第一大型水利工程——丰满水电站建成，并形成了当时全国第一大人工湖——松花湖。

第一节 丰满水电站建设历史

1937年11月，丰满大坝工程全面破土动工，1942年，完成大坝混凝土浇筑量的59%时即开始蓄水。

1943年2月15日、20日，两台厂用机组先后投入运行。3月25日、5月13日，第1号和第4号主机（各6.5万kW）先后投入运行，向吉林、长春、哈尔滨送电。截至1945年抗日战争结束时，丰满大坝混凝土共浇筑182.2万 m^3 ，仅占大坝应浇筑量的87%；4台机组正式运行，还有4台机组未投入运行（其中2台机组开始安装，2台机组已到货）。

1946年5月，国民政府接收丰满后，成立了丰满发电厂管理处和丰满工程处。

1948年3月9日，丰满水电局成立。在恢复生产时期，相继修复了内燃机、推土机、蒸汽机车、起重机及各种类型的大型设备。这些设备的恢复生产，对完成大坝的续建、改建起到了重要作用。1948年6月22日，开始浇筑停工多年的大坝混凝土，至1949年年底共浇筑9.985万 m^3 。

1950年2月至1951年4月，水电设计专家小组到丰满水电站进行了为期4个月的勘测、调查，确定了丰满水电站的技术方案。进行了大坝纵缝插筋灌浆，以恢复大坝的整体性；坝体和基础灌浆排水，以降低扬压力，减少渗漏；改造溢流面和护坦，以防止下游冲刷；安装闸门及启闭机，以控制蓄泄洪水。通过专家的技术指导，使原预计的施工期限4.5~5年缩短为2.5年，并收到了预期效果。至1953年，大坝灌注工程基本完成。

1953年2月4日，丰满水电站扩建工程开工。1953年4月27日，中国第一台自行安装的7.25万kW的7号大型水轮发电机组竣工投产，提前4天完成任务。同年5月3日，

7.25 万 kW 的 8 号水轮发电机组开始安装，7 月 27 日竣工投入运行。

1954 年 9 月，7.25 万 kW 的 6 号机组竣工投产；1955 年 3 月，7.25 万 kW 的 2 号机组竣工投产；1956 年 8 月，7.25 万 kW 的 5 号机组竣工投产；1960 年 5 月，6 万 kW 的 3 号机组竣工投产。至此，全站共新安装机组 6 台，加上原有的两台机组（ 2×6.5 万 kW），总容量达到 55.25 万 kW。

1988 年 4 月，丰满发电厂二期扩建工程正式开工。1991 年 12 月 19 日，9 号机组投产运行；1992 年 6 月 19 日，10 号机组投产运行。二期扩建共增加容量 17 万 kW，电厂总装机容量已达到 72.25 万 kW。

1995 年 4 月 18 日，将泄洪洞改为引水建筑物的丰满发电厂三期扩建工程开工，拟安装两台 14 万 kW 机组。1997 年 12 月 6 日，三期扩建的 12 号机组投入运行。1998 年 7 月 21 日，三期扩建的 11 号机组投入运行。至此，丰满发电厂装机容量跻身百万大厂行列。

经过二期、三期扩建，丰满发电厂共安装有 12 台水轮发电机组。由于历史原因，机组型号十分繁杂。机组部件分别来自苏联、美国、日本、瑞士及中国等多个国家，素有“水电博物馆”之称。全厂装机容量 1002.5MW，是东北电网的骨干电厂，在系统中承担着发电、调峰、调频、事故备用的任务，兼有防洪、灌溉、航运、城市及工业供水、养殖和旅游等综合利用功能，在东北地区经济社会发展中发挥了巨大的社会综合效益。

2002 年，丰满三期永庆反调节水库工程开工。在丰满大坝下游 10km 处建永庆坝，以实现经济运行，释放丰满发电厂 6 万 kW 基荷，增加了调峰能力。2004 年 7 月 15 日主体工程提前 6 个月竣工，2006 年 10 月工程全面竣工。

为彻底治愈历史特定时期遗留的低质量施工隐患和老化破损问题，从根本上提高大坝的抗震稳定能力，从 1988 年 4 月开始了丰满大坝加固工程，直到 1997 年该工程全部竣工。经过十年的努力，丰满大坝的整体稳定系数得到了提高，增强了抗冻性和耐久性，同时增加了防洪库容。

第二节 丰满水电站的缺陷

这座建于 20 世纪 30 年代的丰满大坝，存在着难以根治的先天缺陷。确保丰满大坝的安全已成为一种必然选择，电力监管部门、业主单位、电站属地政府均承受着极大的社会责任与压力。

一、战争特例——先天缺陷

建于战争时期的丰满大坝，受当时历史条件限制，大坝设计和施工技术水平较低，建筑材料、施工质量较差。大坝建成之始，即存在着诸多严重的先天性缺陷。特别是迫于战争需要，为尽快建成投产，1942 年的大坝混凝土浇筑质量明显下降，低强度的仓面遍布整座大坝，从而造成大坝整体性差；混凝土强度低，抗渗、抗冻等指标不满足规范要求；混凝土冻融冻胀和溶蚀破坏较严重，大坝整体安全裕度不足；个别坝段受断层带影响，抗滑稳定安全性不满足规范要求；大坝防洪能力不足，不能满足校核洪水标准要求；坝后电站厂房机电设备陈旧老化，厂房结构、引水钢管、金属结构等隐蔽工程材质低劣等。

二、历经改造——隐患难除

新中国成立后，丰满发电厂对大坝进行了持续的补强加固，特别是三次大规模的系统性改造，基本维持了大坝安全运行。1955—1974年主要进行了坝体帷幕灌浆，但由于坝内混凝土质量差，渗漏严重引起冻胀。丰满大坝在1986年汛期大坝泄洪时，溢流坝段仍被部分冲毁，冲走混凝土约 1000m^3 ，破坏范围约 700m^2 ，冲坑深度 $2\sim 3\text{m}$ 。1988—1997年，开展了坝体外包混凝土、上游面沥青混凝土防渗、大坝预应力锚索等全面补强加固工程。2008—2009年，为确保大坝全面治理工程实施前水库泄洪安全，采取了降低溢流坝段渗水压力的工程措施。

1995—1998年，国家相关部门对丰满大坝开展了历史上第一次安全定期检查工作，当时大坝虽被评定为正常坝且具有甲级注册资质，但在专家结论中仍提示业主单位：虽经加固，但原有缺陷未能根除，仍需制定合理有效的措施，继续对大坝进行补强加固，提高大坝整体性和耐久性。

2003—2005年，在丰满大坝第二次安全定期检查中，国家电监会大坝安全监察中心组织院士和权威专家对丰满大坝问题进行了全面梳理和诊断。经专家咨询和技术研讨，在第二次定期检查报告审查意见中明确提出：丰满大坝存在“坝体混凝土施工质量差，造成渗漏、冻胀，影响大坝耐久性，特别是防洪安全；大坝施工时未处理好的三条纵缝及若干条横缝，影响大坝整体性；大坝混凝土先天质量缺陷，加上坝体渗透压力长期居高不下，造成溶蚀、冻胀、开裂，使大坝稳定性和结构应力储备降低；大坝防洪校核洪水位工况下，必须考虑机组参与泄洪，不满足现行规范规定”等四个方面的主要问题。鉴定结论将丰满大坝安全等级评为“病坝”。在上报国家电监会备案后，电监会批复同意将丰满大坝安全等级评为“病坝”，注册等级为丙级，并要求国家电网公司（以下简称“国网公司”）为确保大坝安全运行落实相关工作措施。

为进一步了解大坝性态，东北电网公司委托设计单位于2007—2008年进行了大坝钻孔取芯调查。经调查发现，三类坝体不良混凝土平均占全孔段的 24.2% ；芯样含泥较多，且部分成粉状，由于这种现象随机分布在坝体混凝土之中，无法将其剔除。

纵然补强加固措施从未间断，但大坝先天缺陷却难以根除。正如在2009年方案论证比选会上两院院士潘家铮指出的那样：“丰满病坝的治理是个老大难问题，已经困扰我们几十年了。方案取舍实质上是值不值得多花30亿元换取工程安全保障度的增加和现代化改进，专家组的意见是肯定的。”

三、大坝安全——责任重于泰山

丰满水电站坝址控制流域面积 42500km^2 ，多年平均流量 $439\text{m}^3/\text{s}$ ，总库容 $109.88\text{亿}\text{m}^3$ ，水库具有多年调节性能，工程以发电为主，兼有防洪、灌溉、航运、城市及工业用水、养殖和旅游等综合利用功能。枢纽工程主要由混凝土重力坝及坝身溢洪道、泄洪洞、发电引水隧洞、坝后式厂房、岸边式厂房等组成，坝顶长度 1080m ，最大坝高 91.7m 。丰满大坝的安全直接关系到下游吉林、哈尔滨等11个县（市）人民的生命财产安全和黑龙江、吉林两省社会经济的持续发展。

丰满水电站一直得到党和政府的高度重视。新中国成立以来，历任党和国家领导人都曾亲临丰满水电站考察。这不仅是因为丰满水电站为新中国水电事业培养了大批人才，号称“水电之母”，更是因为丰满大坝在松花江防洪体系中的关键作用。

第三节 丰满重建工程立项过程

正确决策的基础是严谨科学的论证。站在对历史、对人民、对社会经济可持续发展负责的高度，国网公司全面贯彻落实国家发展和改革委员会（以下简称“国家发展和改革委员会”）“彻底解决、不留后患、技术可行、经济合理”十六字方针，以科学论证、比选方案来体现民主决策；以程序规范来扎实推进预可行性研究和可行性研究阶段等前期工作。工程实施后将确保松花江下游沿岸几千万人民生命财产安全和社会经济的可持续发展。

一、科学论证，体现民主决策

2006年2月，国网公司向国家发展和改革委员会报送了《关于丰满发电厂水库大坝全面加固工程按基本建设程序开展前期工作的请示》。2006年4月，国家发展和改革委员会复函同意按基本建设程序开展丰满发电厂水库大坝全面加固工程前期工作，并提出了“彻底解决、不留后患、技术可行、经济合理”十六字治理方针。

2008年5月，由中国水利水电建设工程咨询公司组织召开了丰满水电站大坝全面治理工程前期工作咨询会议。会议对所有全面治理方案进行了技术咨询，在充分讨论的基础上提出了《丰满水电站大坝全面治理工作咨询报告》。国家电网公司组织相关专家以及科研、设计单位和咨询机构就丰满大坝全面治理进行了多种方案的深入研究，积极寻求最有效、最可行的治理办法。在历时两年的时间里，从“加固”和“重建”两个方面论证了七个方案。在水电水利规划设计总院（以下简称“水规总院”）的主持下经过多次比选和论证，确定在“灌浆加固方案”和“重建方案”两者中最终选择确定全面治理方案。

2009年7月，国网公司组织召开了丰满水电站大坝全面治理工程方案论证会，会议成立了以潘家铮院士为组长，国内相关院士、设计大师和专家组成的13人专家组，全面开展了方案论证比选工作。在充分听取与会各方面代表意见的基础上，专家组认为丰满大坝存在的缺陷是先天性的，虽经多年补强加固和精心维护，但固有缺陷仍然无法彻底消除。与会专家对两个重点比选方案进行了充分论证，从方案的技术可行性、治理效果及可靠性、耐久性、施工难度、施工期环境影响、水库综合利用以及社会经济发展水平对安全生产的要求等多方面综合分析；并考虑进一步提高大坝的防灾减灾能力，保障松花江流域的防洪安全，专家组同意坝址重建方案作为丰满大坝的全面治理方案。2009年9月，水规总院会同吉林省发展和改革委员会（以下简称“吉林省发改委”）主持召开了丰满水电站全面治理（重建方案）工程预可行性研究报告审查会议，形成了审查意见。

2009年12月，国网公司向国家发展和改革委员会报送了《关于开展吉林丰满水电站全面治理工程（重建方案）前期工作的请示》。国家发展和改革委员会复函同意丰满大坝按重建方案开展前期工作，同时指出：“重建方案按恢复电站原任务和功能，在原丰满大坝下游附近新建一座大坝，治理方案实施后，不改变水库主要特征水位，不新增库区征地和移民，新

坝建设期间必须确保原大坝安全稳定运行。”在可行性研究阶段，国网公司委托科研单位，结合工程实际开展了《施工期新老坝相互影响研究》等一大批特殊专项科研工作，为工程建设提供了有力的科技支撑。按规范程序完成了大量的专题报告咨询，并取得了审查意见；完成了所有相关项目核准需单独审批的报告及批文。

2011年12月，水规总院会同吉林省发改委完成了丰满水电站全面治理（重建）工程（以下简称“丰满重建工程”）可行性研究报告审查。2011年12月30日，所有核准文件正式报国家发展和改革委员会。2012年6月，受国家发展和改革委员会委托，中国国际工程咨询公司主持召开了丰满重建工程项目申请报告评估会议，从而为项目核准创造了所有前提条件。

2012年10月11日，丰满重建工程项目获得国家发展和改革委员会核准。

二、创新理念，打造精品工程

丰满重建工程是在原大坝下游120m处新建丰满大坝，装机容量确定为148万kW，增加装机容量约48万kW，并增加了先进的环保设施。丰满重建工程在国内尚属首次，具有里程碑意义。该工程坐落在国家AAAA风景区内，又是人们了解电力发展的一个窗口。

丰满重建过程中必须以新的建设理念，充分应用最前沿的科技成果，最先进的环境理念和高度的人文精神，真正建成精品工程和典范工程，使之成为绿色能源基地、教育培训基地、旅游观光基地和经济可持续发展基地。

丰满大坝的安全事关吉林省和黑龙江省经济社会发展大局和下游几千万人民生命财产安全，责任重于泰山。丰满重建工程是一项百年大计工程，建成后将彻底解决丰满水电站大坝安全问题。电站装机容量更大，安全性更高，将为东北地区经济社会可持续发展发挥更好的作用。必须站在对历史负责，对人民负责，对经济社会发展负责的高度做好大坝重建工作，把丰满水电站建成优质精品工程，造福子孙后代，向党和人民交上一份满意的答卷。

第四节 丰满重建工程方案比选

根据国家发展和改革委员会办公厅发改办能源〔2006〕683号文的要求，按照“彻底解决、不留后患、技术可行、经济合理”的原则，本着穷尽所有可能方案的原则，东北电网有限公司组织科研、设计和高等院校等多家单位，历经两年多的时间，从治理和重建两个方面进行了大量的科研和设计工作，研究论证了多个全面治理方案。

一、加固治理方案

全面治理加固共研究了6种组合方案，分别为放空水库治理方案、坝体上游面贴聚氯乙烯（Polyvinyl chloride，简称PVC）膜的综合治理方案、上游面浮式拱围堰干地施工综合治理方案、坝内置换混凝土防渗墙综合治理方案、降水水位大围堰干地施工综合治理方案、坝体防渗灌浆综合治理方案。

二、重建方案

重建方案（方案 7）是在原大坝下游新建大坝，新、老坝轴线相距 120m，利用老坝挡水作上游围堰。新坝建成后，拆除部分老坝至死水位以下约 2m，拆除宽度约 500m，拆除体积约为原坝的 1/10。

三、方案筛选

全面治理方案的比选主要考虑以下几个方面：方案的可行性、可靠性和耐久性；能否彻底解决丰满大坝存在的主要问题；对库区上、下游环境及其他方面的影响；工程投资等。

从方案的技术可行性、可靠性、施工难度、施工期环境影响、水库综合利用、社会发展水平和对安全生产的要求等多方面分析，并考虑进一步提高大坝的防灾减灾能力，保障松花江流域的防洪安全，建议选择下坝址重建方案作为丰满大坝全面治理最终方案。

第五节 丰满重建工程概况

一、枢纽布置

丰满重建工程是按恢复电站原任务和功能，在原丰满大坝下游 120m 处新建一座大坝，并利用原丰满三期工程。电站枢纽建筑物主要由碾压混凝土重力坝、坝身泄洪系统、左岸泄洪兼导流洞、坝后式引水发电系统、过鱼设施及利用的原三期电站组成。

1. 大坝工程

碾压混凝土重力坝坝顶高程 269.50m，最大坝高 94.50m，坝顶总长 1068.00m，大坝共分 56 个坝段，左、右岸坝头均与上坝公路相连。由左、右岸挡水坝段，溢流坝段，厂房坝段组成。设计洪水标准为 500 年一遇，校核洪水标准为 10000 年一遇。

2. 发电厂房工程

发电厂房为坝后式地面厂房，主机间与安装间呈一列式布置，主机间右侧布置安装间，安装间右侧布置中控楼，上游侧布置电气副厂房，厂房坝段与上游副厂房之间布置有 6 台主变压器，并设有主变压器搬运道，500kV 开关站布置于中控楼右侧。过鱼设施位于右岸，采用升鱼机接上游鱼道的布置方式，由诱鱼系统、集鱼箱、升鱼机、集鱼池、上游鱼道及控制管理站等组成。

3. 泄洪兼导流洞工程

泄洪兼导流洞为深孔有压洞，全长 848.96m，由进口明渠段、洞内喇叭口渐变段、竖井式闸门井段、有压洞身段、出口闸室段、出口消能防冲段等部分组成。设计洪水标准为 500 年一遇，校核洪水标准为 10000 年一遇。

4. 大坝主体工程鱼道

大坝主体过鱼设施为“集鱼系统+升鱼机+放流系统”方案，整体布置于枢纽右岸，主要组成部分为环绕尾水渠鱼道集鱼系统、升鱼机系统、放流系统、观察室和辅助设施。

集鱼系统环绕厂房尾水渠布置，按照尾水水位变幅，鱼道全程共在 4 个高程设置 6 个

进口, 可结合工程实际运行调整开启方式。

升鱼机系统由运鱼箱、轨道运鱼车、坝顶固定门机等组成。在坝体廊道上方设置竖井直通坝顶, 由坝顶固定门机将运鱼箱通过竖井放置于坝前智能轨道车上, 智能轨道车沿右坝肩至老坝, 沿老坝下游新建轨道梁向左岸到 49 号坝段, 由老坝坝顶的吊运设备将运鱼箱放在运鱼船上。

5. 永庆反调节水库鱼道

永庆反调节水库鱼道工程设置在永庆村左岸, 采用垂直竖缝式鱼道, 由鱼道进口、梯身、鱼道出口等组成, 鱼道全长 579.49m。与大坝鱼道配合使用, 对于进一步打通松花江流域鱼类基因交流具有重大意义。

6. 鱼类增殖放流站

鱼类增殖放流站位于永庆反调节水库大坝左岸业主管理区内, 承担松花江上游流域增殖放流任务。鱼类增殖放流站需在丰满水电站主体工程竣工前完成建设并与水电站同时投入运行。

考虑到松花江鱼类放流的特点, 增殖放流工作分两阶段进行: 一是部分鱼类直接收集亲本、繁殖、鱼苗培育到一定规格后放流; 二是部分鱼类须通过研究, 待人工繁殖技术成熟后开始放流, 因此鱼类增殖放流站兼有开展研究的功能。

二、丰满重建工程景观规划

工程建成后将与原大坝、三期电站厂房共同存在。为保证新建工程与保留建筑物及周围景观的协调, 在加强厂区绿化的同时, 厂区建筑以及周围景观设计应体现本地的地域文化特点和对原坝建设的历史传承。为此, 建设单位专门聘请中国建筑设计院针对丰满重建工程开展了建筑规划与设计, 其目的如下。

(1) 保护水生态环境, 减少水电站建设带来的生态破坏和影响, 促进人与自然和谐相处、构建和谐社会。因此, 如何通过景观设计合理地恢复自然生态环境的破坏和影响; 如何保护水利风景区, 做到适度开发、科学开发, 使之保持人与自然和谐相处的良好态势、实现可持续发展。

(2) 增加旅游景点, 丰富旅游项目, 增加电站景观情趣。旅游的目的是新鲜、刺激、差异。不同的景区, 要有不同的景观元素。由于丰满水电站是丰满景区的一部分, 所以对于以水电站为主体开发的风景区或旅游景点, 要具有电站景观的特色。在景观设计中赋予每个景区适宜但又不同的景观元素; 对于原坝未拆除部分, 进行景观处理, 增加水电站景观情趣, 提升旅游价值。

(3) 综合利用, 增加经济效益和社会效益。通过对水利水电工程的详细分析, 研究其特点, 总结出实用的景观设计方法、途径; 保护生态平衡, 带动旅游发展, 增加经济效益和社会效益。

水电站的环境建设必须针对不同的环境现状, 利用可行的技术和措施, 进行个性化的水电站环境方案设计, 以期实现水电站建设的经济效益和生态环境的可持续协调发展; 做到“在保护中促进开发, 在开发中落实保护”的水电开发理念; 开发和保护并重, 寻求和谐的生态效益, 最大限度地减缓对生态环境的影响。景观规划设计效果如图 1-1 所示。



图 1-1 景观设计规划效果图

第六节 丰满重建工程与新建工程的差异

丰满重建工程不同于其他新建水电站项目，在施工布置、防洪度汛、新老坝施工相互影响等方面有其独特的特点。

一、施工布置

1. 施工总布置

一是受场地限制要因地制宜地布置；二是要考虑对周边已有设备设施的影响。新建水工建筑物占用原水电站部分厂区面积，需通过合理安排施工场地布置与水电站厂区的统筹规划相协调，尽量减小施工工厂规模并充分利用现有道路，施工附属设施充分利用当地资源，部分建筑物永临结合以减少重复建设。施工场地布置以混凝土拌和系统为主，其他临建设施为辅进行布置，减少了新增临时征地。工程总计新增临时征地约 105hm^2 ，其中石料场及生活营地、弃渣场及运输道路约 95hm^2 ，坝址区约为 10hm^2 （含加工厂及左岸拌和系统）。

2. 施工导流布置

利用老坝兼作上游围堰挡水，新增左岸导流洞。施工期导流采用原三期机组与导流洞联合泄流，围堰一次拦断河床，基坑全年施工的导流方案。下游围堰位于老坝和三期电站之间，与坝轴线约呈 60° 角，以让出三期机组尾水渠。导流标准：采用大汛 20 年一遇洪水，相应流量 $2500\text{m}^3/\text{s}$ ；度汛标准：采用大汛 100 年一遇洪水，相应流量 $5500\text{m}^3/\text{s}$ 。超过 20 年一遇洪水则由老坝溢洪道及新坝缺口泄洪，基坑过水。

二、施工期度汛及下游供水保障

1. 施工期水库调度及安全度汛

按导流设计，工程施工期间，若遇超过 20 年一遇洪水，原坝溢洪道泄洪，新建大坝