

《工程哲学》 《工程演化论》 《工程方法论》 《工程知识论》 案例

水坝工程规划设计中的工程哲学

水坝工程案例研究课题组



目录 CONTENTS



- 1 水坝工程简介
- 2 都江堰的规划设计
- 3 三峡工程的规划设计
- 4 水坝工程的哲学思辨

第一节 水坝工程简介

1. 水坝工程的概念
2. 水坝工程的发展



1 水坝工程简介



从古至今，人类的繁衍生息和群落聚集无不逐水而居，世界四大文明古国都是孕育于大江大河的冲击平原。然而，全球水资源总量恒定且时空分布不均，于是人类探索采取一系列人工物来蓄水、引水、提水、调水，对天然水资源在时间上、空间上进行合理再分配，以提高利用效率，为农业灌溉、生活用水等提供便利，水坝就是其中重要的一种人工物。

1 水坝工程简介

The earliest water conservancy project in China

我国最早的水利工程

良渚水利工程

2016年3月,经专家实地考察确证:杭州良渚古城外围发现的水利系统,是迄今所知中国最早的大型水利工程,距今已经有4700—5100年。这个史前大规模水利系统,分布在100平方公里范围内的良渚古城外围,位于杭州市余杭区瓶窑镇境内,良渚古城的北面和西面,共由11条堤坝组成。其水坝的砌筑工艺是草裹泥,与战国以后河工普遍采用的“埝工”类似。用草混杂淤泥,包成一块块的泥包,良渚人就是用它堆筑成水坝。道理类似于现在抗洪救灾所用的水泥袋子。水利史专家指出,良渚水利工程的发现可以证明当时大洪水时代的确实存在。2019年,良渚古城遗址被联合国教科文组织列入世界文化遗产名录。

距今4700—5100年

Connecting the Erlang River (Xiangjiang River, Minjiang River)

连通二江(湘江、漓江)的
灵渠

灵渠位于广西壮族自治区兴安县城内,于公元前214年凿成通航。是世界上最古老的运河之一,有着“世界古代水利建筑明珠”的美誉。灵渠的凿通,沟通了湘江和漓江,打通了南北水上通道,为秦王朝统一岭南提供了重要保证。灵渠联接了长江和珠江两大水系,构成了遍布华东华南的水运网。自秦以来,灵渠对巩固国家的统一,加强南北政治、经济、文化的交流,密切各族人民的往来,都起到了积极作用。灵渠经历代修整,直至今天还发挥着航运和调水等重要作用。

公元前214年

Ancient and magical water conservancy project

古老而神奇的水利工程

都江堰

都江堰水利工程是世界上年代最为久远、唯一尚存且依然发挥着重大作用的古代水利工程。位于都江堰市城西的岷江干流上,始建于秦昭王末年(公元前256—前251年),是蜀郡太守李冰父子在前人鳖灵开凿的基础上组织修建的大型水利工程。由分水鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口等部分组成。2000年2月,联合国教科文组织将都江堰纳入《世界文化遗产名录》。

公元前256年

Beijing-Hangzhou Grand Canal

京杭大运河

京杭大运河开凿于春秋时期,完成于隋朝,繁荣于唐宋,取直于元代,疏通于明清。明清两代,京杭大运河成为南北水运主要通道。京杭大运河全长约1800千米,是迄今为止世界上开凿最早、规模最大、距离最长、持续发挥效益最久的人工运河,现已成为南水北调东线工程输水干线。

始于春秋时期

水坝工程的概念

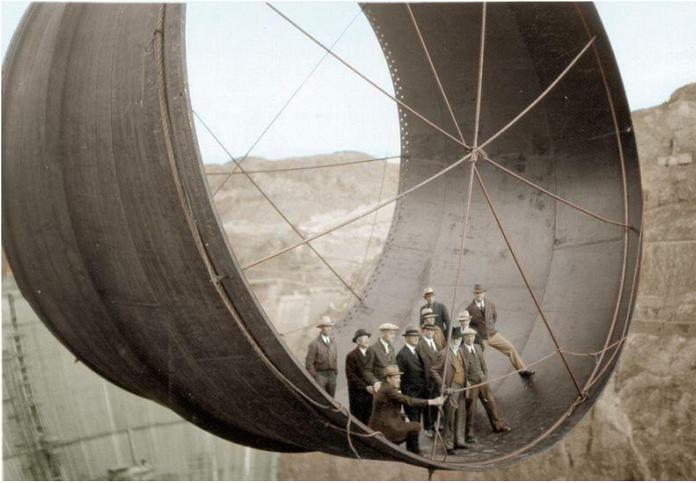


水坝工程指拦截江河水流，调蓄水量或壅高水位的人工挡水建筑物，这种建筑物可形成水库，调节径流，满足防洪、发电、航运、给水等需要，也通称“拦河坝”。坝是水利枢纽中的主体建筑物，在全部水利工程的工程量和投资中占有较大比重，工作条件和施工条件复杂。

水坝工程发展概述

- 世界水坝工程历史悠久，经历了一个与自然、经济、社会协同演化的过程。
- 美索不达米亚扎哥罗斯山脉丘陵地带发现了8000年前的灌渠。3000多年前建造的古城加瓦供水系统是迄今为止所发现的现存最早的水坝。大禹治水的传说在2000多年前出现，那时中国进入原始社会末期，农耕文明开始兴起。地中海、中东、东亚、中美洲等很多地区则在1200年前陆续出现了以石头和泥土修建的水坝。
- 欧洲文艺复兴之后，水利基础科学初步建立，人类历史上出现了第一次建坝高潮，同期出现了防渗心墙技术。
- 第二次工业革命后，人类历史上出现了第二次建坝高潮，水轮机的出现催生了水电大坝，同期筑坝理论和材料取得突破性进展，人类进入现代筑坝时代，堆石坝、重力坝、拱坝等各种形式的水坝相继涌现，提高了人类利用水资源的水平，也丰富了人类的水坝工程知识。

1 水坝工程简介



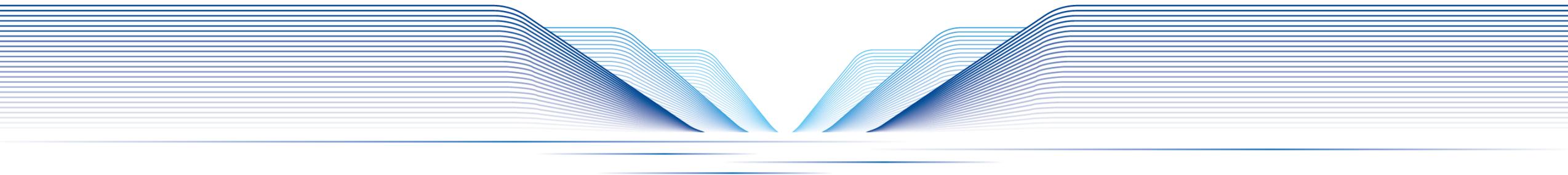
- 胡佛大坝在世界坝工技术史上具有里程碑意义。该工程始建于1931年，共动用了340万 m^3 混凝土，是当时世界上最大的水力发电厂，也是当时世界上最高的拱形坝；坝顶长只有379.2m，至今仍然是世界高坝中长度最短的大坝。
- 美国垦务局为了攻克胡佛水坝建设的各种难题，就坝体应力的详细分析、试载法的提出和完善、地震时坝体及水库的反应、坝体的温度变化和温度应力、柱块状分缝、接缝灌浆、水管冷却、缆机浇筑、特种水泥研制、大坝的监测和维护.....等问题组织了大批科学家和工程师进行攻坚。围绕胡佛水坝所出版的大量论文、资料和著作，成为各国坝工工程师的重要学习和参考资料，对世界混凝土坝的发展起到了重要的奠基作用。

1 水坝工程简介



- 20世纪20年代，世界水坝建设快速发展时期，中国方才开始以科学理论指导水坝工程建设，而且规模（高度）有限。
- **石龙坝**于1910年（庚戌年）在云南省昆明市西山区海口镇螳螂川上游开工建设，被公认为中国第一座水电大坝。
- **丰满水电站**位于吉林省吉林市松花江上，于1937年日本侵占东北时期开工兴建，是当时亚洲规模最大的水电工程。
- 新中国成立后，中国水坝数量迅猛增长，仅到了20世纪50年代前期就赶上了美国大坝的数量。
- 随着现代科技的发展，中国在水坝智能建造技术、低热水泥混凝土建造技术、百万千瓦水轮机组制造安装技术、大型升船机建造技术、流域梯级水库群联合调度等方面都有长足发展，部分领域已达到世界领先水平。

第二节 都江堰的规划设计



都江堰工程知识特点

- 人类祖先在实践中，对自然界的水的规律有了感性认识，认识到水可以储存和控制，尝试建造一些结构简单的水坝工程，逐步形成了古代水坝工程知识。
- 所有古代水坝的特征是完全凭借经验知识建造，无论土石坝还是重力坝均不例外。
- 中国在古代水坝工程建设方面曾创造了辉煌的历史，也积累了丰富的水坝工程知识。公元前256年，战国时期秦国蜀郡太守李冰率众修建都江堰水利工程，以无坝引水为主要特征，至今经过千百年历史演进，依然在灌溉田畴，造福百姓。

都江堰水利枢纽示意图



2 都江堰的规划设计

都江堰水利枢纽鸟瞰图



2 都江堰的规划设计

都江堰水利枢纽鸟瞰图



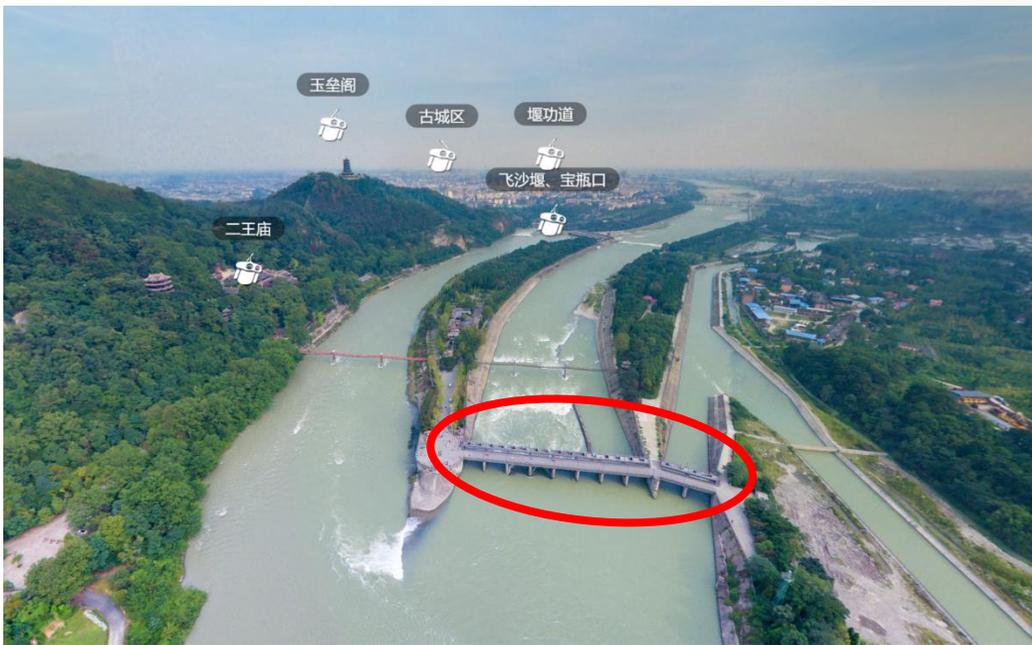
2 都江堰的规划设计



- 都江堰水利工程由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分和百丈堤、人字堤等构成。
- 古人通过登高望远的勘测方法掌握了都江堰区域地形地貌和工程地质概况，从而确定了都江堰堰址和筑堰形式（竹笼装卵石层叠累放）；
- 通过分析多年观测数据掌握了河流水文泥沙规律和水力学现象，从而巧妙设计了鱼嘴分水堤（四六分水、二八排沙）和内江泄洪道（飞沙堰）；
- 通过以火烧石（热胀冷缩原理）的方式开凿玉垒山，形成具有“节制闸”功能的引水口（宝瓶口）；
- 通过设置石桩人像和石马实时观测水位和泥沙淤积，制定高低水位和淘滩标准。
- 一系列蕴含工程知识的工程措施科学地解决了自动调控水量（内外江分水比夏季为4：6，春季为6：4）、自动排沙（利用水势将80%以上沙石从外江排走）、控制进水流量（防止过多水量进入成都平原）等问题，使都江堰成为人类治水史上的奇迹。

2 都江堰的规划设计

都江堰的现代化运行管理



1974年，修建外江节制闸，辅助调节水量



2002年，内江古法截流、清淤维修，重建鱼嘴

都江堰的现代化运行管理



- 2013年古法断流岁修，完成内江闸群维护、内江河道零星修补、二王庙顺埂护岸加固、凤栖窝砣镇、宝瓶口左右岸齿墙浇筑和山体加固等工程项目。
- 多年来，都江堰水利工程先后实施了渠首整治、渠系调整、闸群配套、平原及丘陵灌区扩建，现已发展成为引、蓄、提相结合的特大型水利工程系统，**灌溉面积由286万亩扩大到目前的1076万亩**，供水功能发展到生活、生产及生态供水的全方位服务。

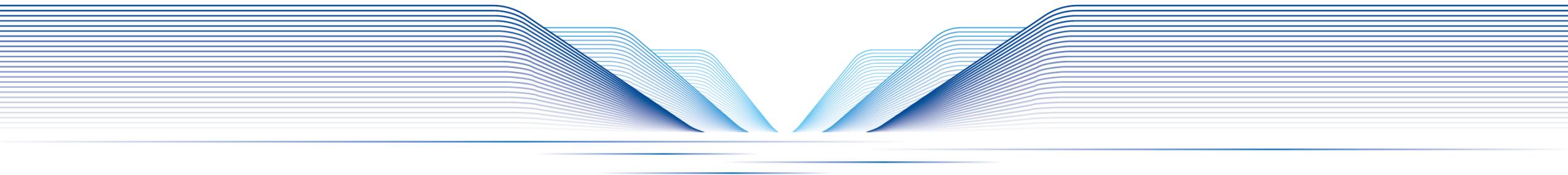
都江堰的哲学思辨



- 宝瓶口之三元论
- 乘势利导与工程造物
- 防洪灌溉与生活生态供水
- 深淘滩与凤栖窝砣镇
- 低做堰与节制闸

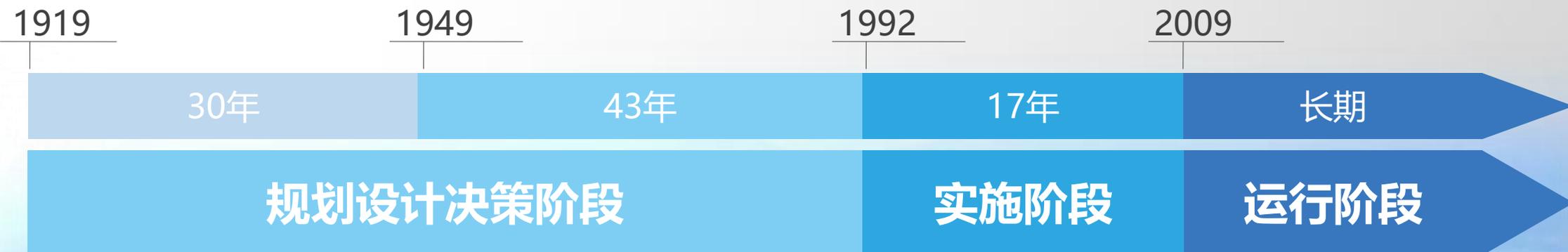
第三节 三峡工程的规划设计

1. 三峡工程全生命期
2. 三峡工程规划
3. 三峡工程设计
4. 三峡工程论证
5. 三峡工程评估



3 三峡工程的规划设计

三峡工程的全生命期



水坝工程决策和规划知识

- 水坝工程具有防洪、供水、灌溉等社会效益，往往被称为民生工程。因此，水坝工程的决策涉及多个方面，主要包括投资者、管理者、工程师、工人、政府、水坝移民、相关利益群体等。

以三峡工程为例，三峡工程是治理长江水患的关键性骨干工程，它涉及长江和长江流域的自然生态、人文环境、政治、经济以及工程本身的建设技术和基础科学的复杂关系，因此三峡工程的决策和规划是由工程共同体与利益相关者群体共同参与的。

- 与其他基础工程不同的是，现代水坝工程规划往往不是对单一工程进行规划，而是从全流域维度对整个梯级水坝群进行整体规划，从而确定每一个水坝工程的具体规划。

为了全面开发水能资源，2003年我国进行了全国水力资源复查，总体结论是全国水力资源理论蕴藏量年电量为60829亿千瓦时，技术可开发装机容量54164万千瓦，因此规划了13个水电基地，并对每个流域的水坝工程的装机规模进行了具体规划。

水坝工程勘测和设计知识

- 水坝工程是建造在江河断面上的人工物，其技术的复杂性和失事后的危害性，都要求在建坝前须对坝址附近的自然地理、水文地质与工程地质等条件进行全面而深入的了解，在这种勘测实践中应用的知识可称作水坝工程勘测知识。
- 水坝工程设计的内容主要是选定坝址、坝型和进行枢纽布置，以及确定坝体承受的荷载及其组合，据此进行坝体轮廓尺寸、整体和局部稳定、应力和应变、材料区分、细节构造、防渗防冲、地基处理等问题的设计。与其他基础工程不同的是，水坝工程设计绝不仅仅局限于工程实体本身，还需要结合所在流域的水文、泥沙、地质地震等具体情况才能开展工程设计。

3 三峡工程的规划设计



- **“75·8”溃坝事故**是对洪水设计知识认识不足而造成灾害的一个典型案例。1975年8月（简称“75·8”），受7503号台风影响，河南境内出现特大暴雨和洪水，导致淮河上游板桥和石漫滩两座大型水库、田岗和竹沟两座中型水库以及石龙山等58座小型水库垮坝。据不完全统计，这次灾害事故使29个县市的1100万人口受灾，110多万 hm^2 耕地遭受严重水灾，淹死26000多人，京广铁路被冲毁102 km ，中断行车18天，影响运输48天，直接经济损失近百亿元。
- 这起事故的原因是，我国与洪水灾害影响有关的水库规划设计一度都是照抄苏联规范标准，采用苏联的频率计算法，但是由于我国水文资料观测年限不长，算得的设计洪水数值一般都偏小，而实际发生的洪水往往远大于设计洪水，这有待于进一步积累数据、分析研究、改进规范。

三峡工程规划

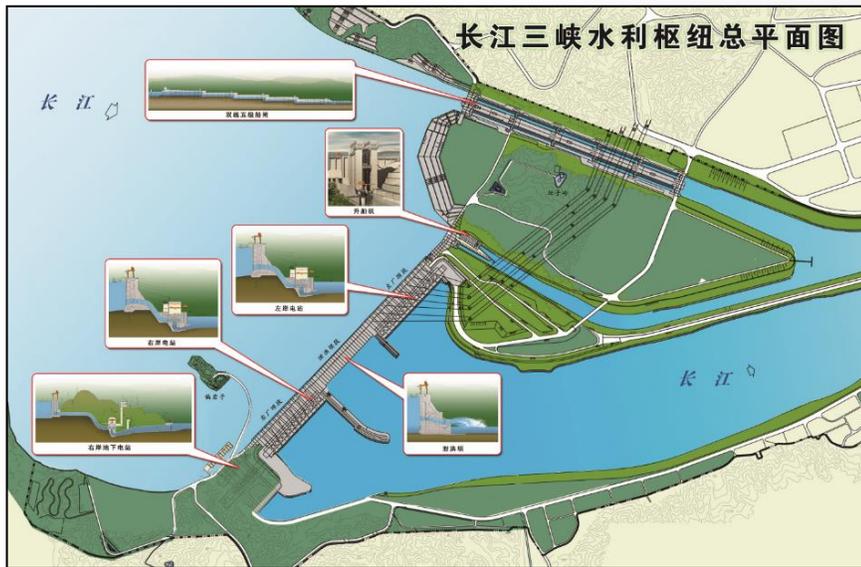
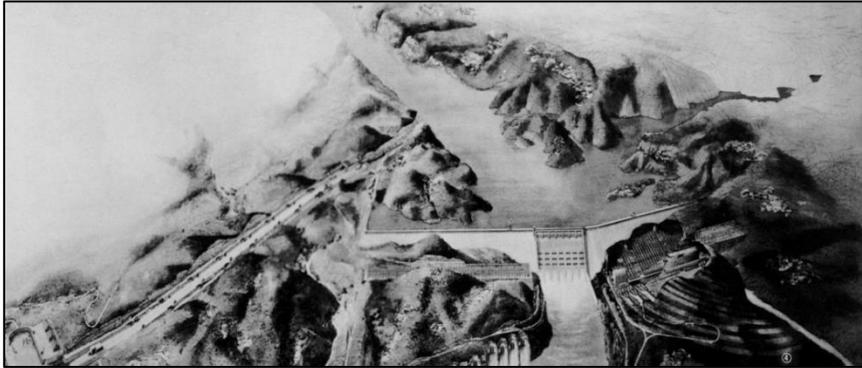


- 坝址坝线—三斗坪
- 水库水位—175米



- 防洪目标—百年一遇
- 通航标准—万吨级船队

三峡工程设计

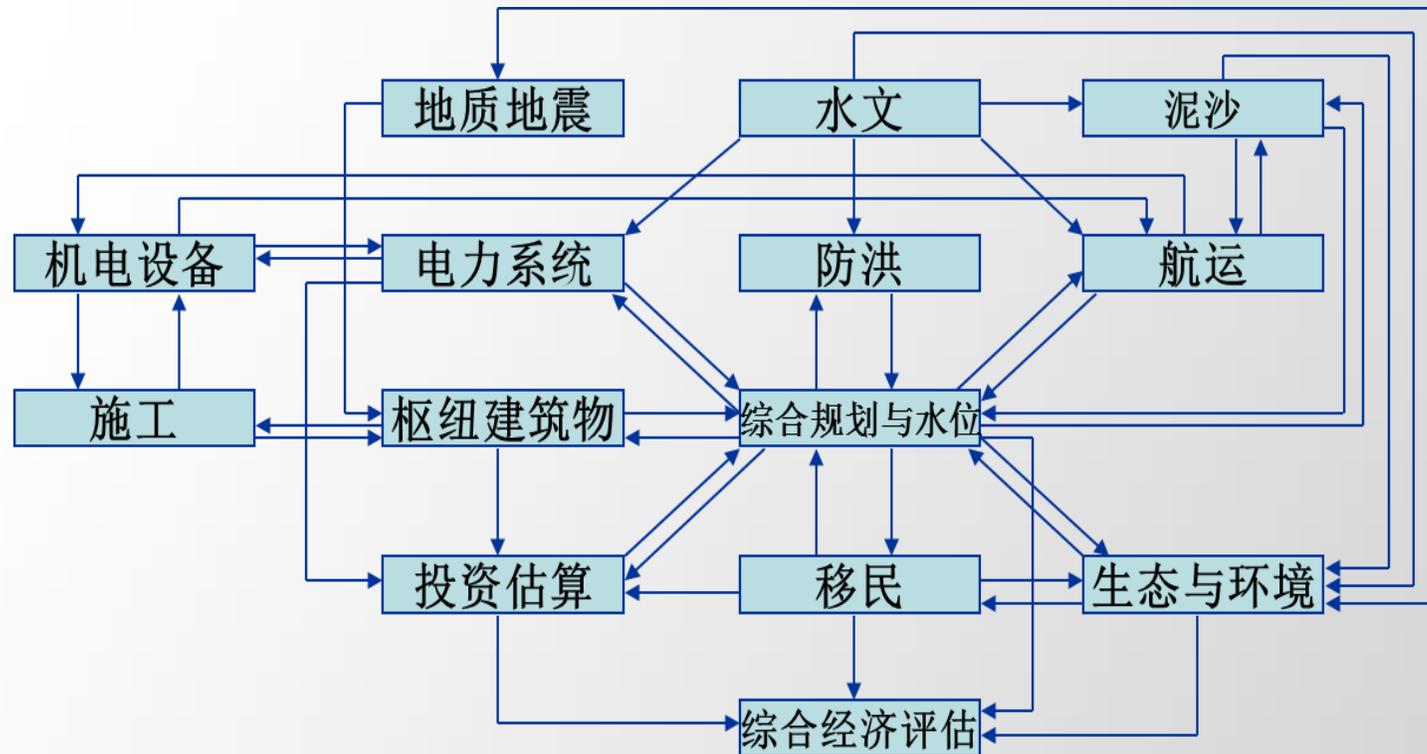


- 概念设计
- 可行性研究
- 初步设计
- 详细设计（升船机技术选型）
- 施工详图设计（混凝土浇筑方案）

三峡工程论证

- 三峡工程历经1950—1960年代的初步论证、1980年代的水位论证和1986—1991年代的重新论证，之后进入决策程序。历经多次论证，三峡工程最终论证结论认为：修建三峡工程技术上是可行的，经济上是合理的，建比不建好，早建比晚建有利，并推荐了175米正常蓄水位。

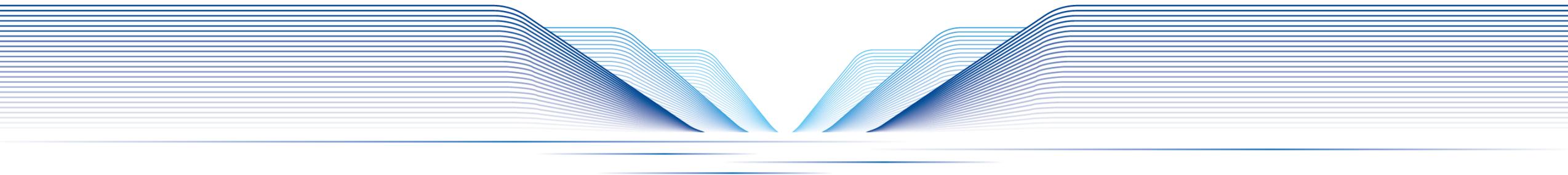
三峡工程论证框架图



三峡工程评估

- 2008-2010年、2013年、2015年，中国工程院先后三次组织实施了三峡工程论证及可行性研究结果的阶段性评估、三峡工程试验性蓄水阶段评估、三峡工程建设第三方独立评估。综合评估认为，三峡工程规模宏大，效益显著，影响深远，利多弊少。三次独立评估不仅对三峡工程原论证及可行性研究的结论进行了客观的评估，对三峡工程相关的热点问题进行了科学的分析，而且还认真总结了三峡工程建设的基本经验，提出了需要进一步关注的问题和今后工作的建议，促进三峡工程发挥更大综合效益，促进工程与自然和谐可持续发展。

第四节 水坝工程的哲学思辨



水坝工程与自然

- 水坝工程知识是人类在与自然的交互实践中产生的，随着人类对自然认识的深度和广度不断增强，不同时期水坝工程中所蕴含的人与自然的关系也不断发生变化。
- 史前时代，人类对于自然规律的认识还处于懵懂状态，暴雨、洪水、干旱等自然现象被认为是神灵的作用。即便到了农耕文明时代，人类仍然通过祭祀、占卜等方式祈求风调雨顺、趋利避害。这个时期，人类完全被动地受自然支配，因此在山川河流治理方面完全没有水坝工程这种人工物的概念。
- 经过农业革命，人类的生产力水平有了很大提升，出现了初级的工程造物活动，对自然产生了主动性的影响。但因生产力水平有限，人类还无法从根本上掌握对自然的主动权，因此大多采取乘势利导、顺势而为的方式利用和改变自然，并获得了一些水坝工程知识。中国战国时期的都江堰就是这一时期水坝工程的典型案例。
- 工业革命之后，人类的生产力水平有了质的飞跃，形成了系统的工程知识，完全掌握了对自然的主动权，形成了一系列创造性的人工物。十九世纪中叶，世界第一座在科学理论上设计的水坝佐拉坝诞生；二十世纪初，现代筑坝技术诞生，此后水坝工程迎来了发展的鼎盛时期，成为人类改造自然的重要形式之一。
- 进入二十一世纪，随着人类对自然规律的认识进一步加深，人类开始重新审视人与自然的关系，可持续发展的理念成为人类的共识。水坝工程更加重视对生态环境影响的研究，通过设计过鱼设施、实施生态调度等多种措施，寻求人水和谐的最佳契合点。

水坝工程与生态

- 由于人类认识的局限性，传统水坝工程存在着对生态环境重视程度不足的现象，古代和部分近代水坝工程往往是为满足某个单一目的不考虑其他影响而规划建设。近代社会以来，人类对水坝工程的认识逐步深化，开始更加理性、全面地看待水坝工程对生态环境的影响。20世纪六七十年代，人类开始科学地认识水坝工程的生态环境影响。例如，水库蓄水后有可能增加雾天天数，大坝下泄水流氧气过饱和对鱼类生存不利，以及下泄水体对江河下游冲淤关系变化的影响等。迄今为止，人类对于水坝工程生态环境影响的研究已有广泛而深入的发展，诸如水质、水流状态、地下水、泄洪雾化、泥沙淤积、河道及河口演变、盐水入侵、诱发地震、滑坡岩崩塌等方面，相应研究成果已经成为水坝工程优化运行的基础知识和指导方针。
- 生态是自然界各生物种群间和同种生物群体间相互生存依赖关系的状态。这一状态在自然界是不停地发生变化的，所谓的生态平衡是相对的，不平衡是绝对的，惟有这一不平衡才产生了时时刻刻向新平衡方向发展的自然推动力，造就了今天的地球环境和人类的生存状态。从哲学的角度看，人也是生态的一部分。水坝工程的防洪、供水等功能，也是改善人类生存环境的过程。因此，要用哲学的视角评价水坝工程，要用发展的眼光管理水坝工程。

水坝工程与人

- 工程是人类的造物活动，其目的是为了人类更好的生存发展。因此，工程与人的关系，是工程与各方面关系里最重要的一种关系。水坝工程对于人类的直接影响，主要表现在保护坝下游居民安居乐业和库区移民搬迁安置两个方面。
- 三峡工程移民搬迁安置近130万人，是世界上移民数量最多的水坝工程，同时也是防洪效益最显著的水坝工程之一，三峡工程的建成保护了江汉平原150万公顷土地和1500万人口。正是基于以人为本的人文态度和利大于弊的客观判断，三峡工程才得以决策实施。从巨大的防洪效益角度看，三峡工程是促进人类可持续发展的生态工程。
- 三峡工程建设前，三峡库区是全国18个集中连片贫困地区之一，人口集中在江边峡谷坡地，环境容量极其有限，三峡工程的建设对于这一地区来讲是唯一的发展机遇。移民搬迁后的居住条件、基础设施和公共服务设施明显改善，均高于搬迁前和湖北省、重庆市的平均水平，库区经济社会快速发展，社会总体稳定。当然，三峡移民搬迁安置还有不尽人意之处，比如迁出移民与当地融合和安稳致富、三峡库岸再造对沿岸居民生产生活的影晌、部分集镇垃圾污水处理工程滞后和配套不完善等问题。这些在经济社会发展不断出现的新问题，通过外部投入和移民自身的共同努力，可以向着良性的方向发展。

水坝工程与社会

- 工程是具有价值导向的，水坝工程也不例外。水坝工程设计成为单一功能坝（防洪坝、供水坝等）还是多功能坝，完全取决于经济社会发展的需要。
- 以三峡工程为例，1918年孙中山先生提出兴建三峡工程的设想，主要目的是利用长江水能发电支撑经济社会建设，因此当时三峡工程设计的主要功能是发电。
- 新中国成立后，长江洪患不断，严重制约了国民经济的发展，因此防洪成为三峡工程的首要功能。另一方面，水坝工程作为大型基础设施工程，在很大程度上受到社会财力、物力、人力、社会舆论等多方面因素影响。
- 三峡工程建成后，通过长江梯级水库群联合智慧调度，挖掘和拓展了三峡工程潜能，正在全面发挥防洪、发电、航运、水资源利用等巨大综合效益。
- 2020年11月1日，水利部、发改委宣布三峡工程完成整体竣工验收全部程序。根据验收结论，三峡工程建设任务全面完成，工程质量满足规程规范和设计要求的、总体优良，运行持续保持良好状态，防洪、发电、航运、水资源利用等综合效益全面发挥。

坚持新发展理念 勇攀科技新高峰
努力打造精品工程 更好造福人民

报告人：尚存良 水坝工程案例研究课题组成员
手机[Mob]：86-18601910911
地址[Add]：中国·北京市海淀区玉渊潭南路1号B座
邮箱[E-mail]：shang_cunliang@ctg.com.cn

电话[Tel]：86-010-57081731
邮编[P.C]：100038