



中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会
中国水电工程顾问集团公司成都勘测设计研究院 编
中国水电工程顾问集团公司中南勘测设计研究院

水文泥沙研究新进展

——中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会
第八届学术讨论会

陈五一 夏军 朱鉴远 主编

SHUIWEN

NISHA

YANJIU

XINJINZHAN



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水文泥沙研究新进展

——中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会
第八届学术讨论会

陈五一 夏军 朱鉴远 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第八届学术讨论会的论文集，该书收录了水文部分和泥沙部分共 60 多篇专家学者的近期研究科研成果论文。本书具有时效性，可供相关专业人员学习和借鉴。

本书适合水文水资源、泥沙、环境生态等方面的专家、学者以及相关工程人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

水文泥沙研究新进展：中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第八届学术讨论会 / 陈五一，夏军，朱鉴远主编. — 北京：中国水利水电出版社，2010.11
ISBN 978-7-5084-8021-3

I. ①水… II. ①陈… ②夏… ③朱… III. ①泥沙—工程水文学—学术会议—文集 IV. ①TV12-53
②TV14-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第214116号

书 名	水文泥沙研究新进展 ——中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第八届学术讨论会
作 者	陈五一 夏军 朱鉴远 主编
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 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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 25.5印张 605千字 2插页
版 次	2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	68.00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

《水文泥沙研究新进展》编委会

主编 陈五一 夏 军 朱鉴远

委员 (以姓氏笔画为序)

万文功 朱鉴远 陈松生 何根寿 李维涛

陈五一 陈振虹 杨百银 赵太平 张俊华

曹文洪 夏 军 梅志宏 谢 平 魏希侃

中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会 第八届学术讨论会

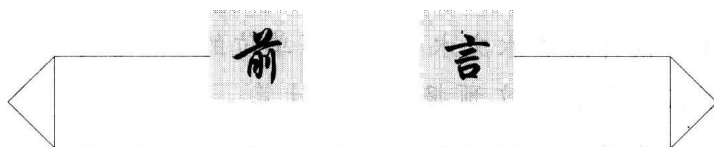
主办单位：中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会

承办单位：中国水电工程顾问集团公司中南勘测设计研究院

协办单位：中国水电工程顾问集团公司

水利部水利水电规划设计总院

中国水电工程顾问集团公司成都勘测设计研究院



地球上自从有了陆地与海洋，大气和水，就产生径流和泥沙运动。

地球自从有了人类文明，人类就开发利用水资源。

至 2005 年年底，世界上已建大坝（坝高超过 15m 或库容超过 300 万 m^3 ）共有 5 万多座，还有 10 万座库容超过 10 万 m^3 的小坝以及几百万座库容小于 10 万 m^3 的坝。这些坝的总库容接近 7 万亿 m^3 ，其中 98% 为大坝库容。有效库容达 4 万亿 m^3 ，相当于世界河流年径流量的 10%。水库总面积为 50 万 km^2 ，相当于地球天然湖面的 1/3。这些大坝和水库 95% 是在 1950 年以后投资建设的。目前已建最高的坝坝高 335m，为前苏联的罗贡心墙土石坝。全世界水电装机总容量为 7.46 亿 kW，水电年发电量达 2.8 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。水库因泥沙淤积，库容损失率为 1%。到 2005 年底，中国有 2.2 万多座大坝占全世界 44%。中国水电装机达到 1.1652 亿 kW，年发电量达到 3952 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 时，均约占世界 1/7。

尽管如此，随着人口急剧增长和经济开发，人们仍然面临水危机。据 2009 年 3 月联合国教科文组织发布的《世界水资源开发报告》，预测到 2015 年，全球将有近一半的人口得不到安全的饮用水。水危机成为未来 10 年人类面临的最严重的问题之一。该时，全球将有一半的人口生活在水贫困中。环境变化和水问题是全球面临的两大难题。我国由于人口众多和自然条件限制，水资源问题突出，形势严峻！

为使得宝贵的水资源能获得科学有效的利用，水文研究是人们开发利用水资源研究的基础。泥沙研究是减少淤积带来的负面影响，使人类修建的水利水电工程能充分有效的发挥作用。

中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会召开的全国第八届学术讨论会，其宗旨为团结全国水文泥沙科技工作者，推动水文泥沙学科的科技进步和发展，为中国人民作出新的贡献。会议主题为水文、泥沙学术交流，工程技术经验总结，以及发布科研新成果。

会议共收到论文 82 篇，收入本论文集有 57 篇。论文来自流域机构、科研院所、高等院校、设计院和水文水资源局等单位的 141 位水文泥沙科技研究人员。内容涉及水文测验、水文预报、水量计算、流域产沙、河床演变、工程泥沙、数学模型，新科技研究与开发等诸多方面。

本次会议论文集的出版得到了国内知名水文泥沙专家的支持并参与论文的审稿。中国水利水电出版社宋晓编辑及其同仁，为论文的出版付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中难免存在差错或错误，欢迎作者和读者赐教指正。

编者

2010 年 10 月

目

录

前言

纪念石龙坝水电站兴建 100 周年——回顾我国水电站泥沙设计进展

..... 陈五一 朱鉴远 (1)

水 文 部 分

水库水量平衡因子计算方法研究 ... 封光寅 章厚玉 张雄丽 孟新华 罗媛 饶勇 (15)

山区地表水与地下水联合调算模型研究..... 于京要 李振平 及晓光 (20)

西南四江洪峰流量与流域面积关系指数的研究..... 李晓伟 何学铭 王宏声 (24)

数字水系集水面积阈值确定方法研究..... 张阳 (28)

走航式 ADCP 在襄阳站流量测验中应用情况分析

..... 罗媛 李水泉 赵义军 耿文杰 (33)

GPS RTK 测量精度评估试验研究 夏定华 马耀昌 张美富 李光辉 (39)

LISST-100X 现场激光粒度分析仪含沙量推算方法研究 ... 杜耀东 宋星原 罗鹏 (52)

水文序列突变点识别方法研究..... 孙贵山 (58)

岔巴沟流域产洪产沙分析..... 马文进 王秀兰 郭银 罗荣华 曹胜利 白跃虎 (65)

枯期洮河径流预报模型研究..... 苏军希 (72)

湟水流域泥沙预报模型研究..... 刘根生 (78)

黄河上游水资源量计算评价..... 兰云龙 王海龙 刘睿 (82)

兰州市小沟道泄洪能力调查分析..... 康学成 孙静 赵明旭 (87)

黄河兰州段水量水质预报模型研究..... 刘根生 (91)

浅析日平均含沙量的推算方法在水文资料整编中的具体应用..... 田忠学 李智峰 (97)

河北省向北京市应急供水水文监测分析 赵银岐 张金堂 王秀兰 (102)

对浮标法测洪技术的改进与应用 梁艳琴 赵银岐 董丽娟 (108)

太行山崇陵流域暴雨输沙特性及抗蚀能力分析 王朝华 赵银岐 梁艳琴 (111)

自由设站法图根控制测量实测精度研究 夏定华 李光辉 高玉杰 (117)

南水北调中线水源区水情测报系统的构建与维护

..... 陈兴农 胡家庆 郭焕林 蔡东安 魏伟 (122)

基于小波消噪的季节性水文预测模型研究	渠庚 郭小虎 闵凤阳 (127)
浅谈水文泥沙二三事	焦恩泽 张清 (132)

泥 沙 部 分

弯道水流的紊动特性研究	童思陈 许光祥 钟亮 (141)
泥沙沉降计算公式对比分析	茹玉英 王开荣 (149)
电站下游非恒定流清水冲刷水沙运动特性研究	郭志学 余俊华 刘兴年 黄尔 (153)
水沙数学模型在长江河床冲刷计算中的应用	郭炜 崔占峰 刘娟 (167)
水库泥沙淤积特性的初步研究	高建 童思陈 (174)
南水北调东荆河节制工程复杂分汊河网水力分析	方崇惠 王伟 方波青 (181)
水库下游清水冲刷实例研究	黄尔 谭建 刘兴年 郭志学 (188)
长江河口水下三角洲冲淤变化趋势	郭小虎 李义天 (197)
南水北调中线穿黄工程线路比选方案试验研究	马秀琴 李会云 黄建成 (202)
三峡水库蓄水后长江中下游九江河段局部河床演变浅析	郭炜 刘娟 (208)
三峡工程运用初期青岩子河段冲淤演变研究	张杰 (216)
长江中游石首河段航道整治一期工程防洪评价研究	谷利华 岳红艳 张杰 (223)
三峡水库蓄水后长江宜昌至沙市河段冲淤变化影响因素分析	熊超 彭玉明 郭焕林 (230)
长江三峡工程坝区泥沙模型验证实验研究	徐海涛 范北林 王军 黄建成 (237)
库区泥沙淤积对梯级水电站群优化调度影响研究	彭清娥 黄尔 刘兴年 (246)
百龙滩水电站库区泥沙淤积现状及预测分析	万洪杰 秦军 (253)
武汉地铁三号线汉江越江隧道工程隧址断面冲深预测和防洪评价研究	岳红艳 谷利华 张杰 (259)
荆岳铁路专线洞庭湖大桥河工模型试验研究	张慧 谷利华 李会云 (266)
汉江兴隆水利枢纽工程对坝区河段河势影响分析	黄建成 徐海涛 陈义武 (271)
衢江姚家枢纽船闸上下游引航道通航水流特性试验研究	刘同宜 黄建成 刘运化 王峰 (278)
小湾坝址下游河道淤积情况及清淤必要性分析	甘启娣 韩兵 (283)
古贤水库初议	焦恩泽 江恩惠 张清 (292)
丹江口水库的修建对库区航运的影响	章厚玉 杨德安 刘长久 耿文杰 饶勇 (303)

沂沭泗流域河湖采砂影响分析	赵艳红 孔祥光 (313)
基于多维水沙调控的黄河口泥沙综合处理设想	王开荣 茹玉英 (318)
龙羊峡、刘家峡两库调水制造洪水冲刷黄河内蒙古河道的可能性及冲沙效率分析	赵昌瑞 喇承芳 陈建宏 李蓉 (322)
基于 MIKE21 的黄河口流场验证及嵌套模型论证	杨迎宾 童思陈 王万战 黄国鲜 (329)
长江口北支近期水流泥沙输移及其含盐度的变化特性	李伯昌 陈鹏 余文畴 (337)
常州市感潮河道澡港河泥沙测验及整编方法分析	仲兆林 潘杰 (344)
长江上游干流近期水沙变化规律分析	蔺秋生 陈飞 黄莉 (349)
长江下游控制站大通水文站来沙特性分析	韦立新 曹双 包伟静 (356)
黄河兰州以上河段泥沙级配变化规律分析	马勇 陈国梁 郭西军 (363)
2009 年利用并优化桃汛洪水冲刷潼关高程原型试验效果分析	林秀芝 侯素珍 李婷 楚卫斌 (369)
推悬比估算	朱鉴远 (375)

论 文 转 载

李仪祉先生年谱	胡步川 (379)
李仪祉先生与近代水利	张含英 (391)
李仪祉先生永垂不朽	汪胡楨 (394)

纪念石龙坝水电站兴建 100 周年

——回顾我国水电站泥沙设计进展

陈五一 朱鉴远

摘要：我国第一座水电站——石龙坝水电站于 1910 年 7 月 17 日开工，至今已有 100 年历史。伴随 100 年水电站历史，泥沙问题也随之出现。有人称泥沙淤积是水电站的“痼病”，泥沙磨损是水轮机的“癌症”。目前被认为最有效解决水库泥沙问题的手段是通过水库泥沙调度，排沙减淤控制泥沙淤积。自从我国制定了世纪第一个泥沙设计规范，水利水电工程在泥沙设计领域有据可依，有章可循。

关键词：纪念；石龙坝；泥沙；调度

1842 年，英国 J. 阿斯普丁取得了硅酸盐水泥的专利权。

1867 年，德国西门子公司制造出直流电发电机。

1873 年，英国物理学家麦克斯韦尔出版了《电磁学论》。

1878 年，法国建成世界上第一座水力发电站。

1879 年，瑞士建成世界第一座抽水蓄能电站——勒顿抽水蓄能电站。

1882 年，美国在威斯康星州福克斯河上建成美洲第一座水电站——亚普尔顿，装机 25kW。

1913 年，德国北海之滨建成世界第一座潮汐电站。

1910 年 7 月 17 日，我国第一座水电站——云南昆明石龙坝水电站正式开工，1911 年 10 月 30 日（中国重阳节）建成发电。总装机 480kW。2006 年 5 月 25 日，石龙坝水电站被国务院列为全国重点文物保护单位。

1935 年，中国建成第一座抽水蓄能电站——云南中滩抽水站。

1985 年，中国建成中国第一座潮汐电站——浙江温岭江厦潮汐电站，总装机 3900kW。

1 中国第一座水电站——石龙坝

明崇祯十一年（1638 年），徐霞客游历螳螂川写道：“峡中螳川之水涌过一层，复腾跃一层，半里之间，连坠五六级，此石龙坝也。”

1900 年 8 月 16 日，八国联军占领北京。1901 年 9 月 7 日，清政府签署了《辛丑条约》。全国及云南省掀起反对帝国主义侵略，要求“实业救国”、“收回权利”的爱国运动高潮。

1908 年，法国人以滇越铁路通车需用电为由，胁迫清朝云南政府准其在石龙坝修建

第一作者简介：陈五一（1961— ），男，四川西阳人，土家族，博士，教授级高级工程师，四川省设计大师，主要从事水工结构和泥沙研究。

水电站。激起云南各界人士的愤怒。同年云南劝业道道台刘岑舫主动同云南商会总经理王筱斋商谈：因官府当局无力出资，提出以商界为主自办石龙坝水电站。云南省商会与云贵总督李经羲协商：拒绝法人提出修建石龙坝水电站的要求，最终达成“官家只认维持保护之职，办事概归商家主持”的协议。李经羲还说：“从今起，二十五年内不许外人来滇办电！”石龙坝水电站建设资金自筹，“专集华股，不招洋商”，抵制外来资本入侵。1908年末，昆明街头贴出告示：“各商号市民均请注意：今有法人企于我滇池出口之螳螂川办电，为吾国吾民之利权所在，为壮我民族之实业，经与云贵总督府初议，拟由本省官商合资自办。兹鉴政府财力所限，如愿意入股集资者，不分卑贱多寡，望即与劝业道索函取章，共促办电早成。”1909年掀起了愿意集资入股办电的热潮。消息传至时任浙江提学使兼布政使任内的云南状元袁嘉谷（云南明清唯一状元），其寄语云南同乡，愿以“状元”之名义同云南的有识之士联名向官府禀报办电之策划。袁嘉谷的支持，昆明城内百姓与各巨商头目为之大震，一时间凑银成风。1910年1月，“云南耀龙电灯股份有限公司”挂牌成立。随后，公布入股之权利和计算方法。1910年夏历正月二十日，清政府农工商部批准，正式成立云南省民办的“耀龙电灯公司”。王筱斋为总董事长，左益轩任第一任公司总经理。因此，我国第一座水电站——石龙坝水电站，具有爱国主义的意义。

石龙坝水电站位于滇池出口水道螳螂川上，距昆明约40km。1910年7月17日鸣炮开工，1911年10月30日（中国重阳节）建成发电。装机两台，每台240kW，总装机480kW。23V高压输电至昆明水塘子，1912年4月12日正式向昆明送电。从开工至送电仅一年零九个月，其中因螳螂川涨水、铁路运输中断和辛亥革命等停工4个月，实际工期约17个月。工程总投资50万余银元，发电后12年还清本息。

滇池总容积14.6亿 m^3 ，多年平均下泄流量15.5 m^3/s 。螳螂川滚龙坝至石龙坝集中落差30余m。于滚龙坝上段筑拦河石坝，长55m，高2m。设控制闸门共16孔，闸墩高2m，宽1m，厚3.3m。开挖引水渠1条，渠长1478m，宽3m，深2m，设计流量8 m^3/s 。前池修建溢流堰，排沙闸。发电车间建筑面积345 m^2 ，安装2台240kW水斗式发电机组。

滇池下泄为清水，但坝址上游螳螂川两岸每年有4000~7000 m^3 泥沙进入河道。为此，在沿河两岸山沟筑有拦沙坝、沉沙坑，以减少进入河道泥沙，保持水质。引水渠利用天然地形，转弯处设置石砌斜形拦沙坎，减少引水渠的含沙量。进水口设有排沙闸、拦污栅，以清除泥沙和浮渣。此外，还建立岁修制度，每年农闲对螳螂川中滩至石龙坝河段进行清淤疏浚。

水电站设备由中标引进。发电机为德国西门子电气公司制造，水轮机为德国海登海姆的福依特公司于1909年收到订单1910年制造。

参加建设有德国工程师毛士地亚和电机工程师麦华德（1915年10月5日病逝，按照麦华德生前愿望和德国外交使臣的意图，按照德国出殡仪式将麦华德安葬于昆明北郊殷家箐中一个四面环山的开阔地里）两人。参加建设能工巧匠，除云南本省外，还来自苏、浙、粤、桂、川、湘、赣七省，包容了汉、回、白、彝等民族共1000余人。施工制度严格，施工条件艰巨。几十吨重的机组拆卸分散由海运、火车、舟船运至螳螂川。在无起重、运输设备状况下，用滚木推撬14里，滑行了1个半月，才将机器平安运到石龙坝厂房安装。

1923 年还清本息后,即进行第一次扩建,1926 年完工,总装机达 1032kW。后又改建为日调节。

1927 年 1 月德国《西门子杂志》第一期载文写道:“在中国这个大国的内地,还很少能够找到现代工业设施。但是,我们认为,由于它有着极为丰富的自然资源和 4 亿人口,工业的发展必然会得到认真考虑。一般的中国人比其他任何人民都守旧,墨守于祖辈的东西。因此对于那些可以改善他们从祖辈以来就习惯了的简朴生活的革新,他们自己是很难接受的。但是,在这个国家偏僻的内地,在那远离世界贸易潮流和西方文化隔绝的地方,也已有人准备将西方技术成就移植到自己的土地上。一些卓越的知识分子和有关方面敢于开拓的人士就是这么说的……”

1936~1937 年,扩建后总装机达 2440kW,为我国当时最大的水力发电工程。

抗日战争期间,石龙坝的电力又成为军工生产的供电支柱,并担负防空报警电源。

1943~1945 年,进行第五次扩建,总装机达 2920kW。

至 1949 年,石龙坝水电站总装机占当时全国总装机 16.3 万 kW 的 1.79%,年发电量 1574 万 kW·h,占当时全国发电总量 7.1 亿 kW·h 的 2.22%。

云南耀龙电灯公司对石龙坝水电站管理制度严格,机构精减,定期检修。财务管理,极其严密,如规定“非因公应酬,公司不能承认”,账务“随时考核”等。

1950 年被中国人民解放军接管。同年 3 月转成国有资产。从此结束了几十年来“商办”、“官商合办”的历史。

1957~1958 年,又进行扩建,水电站设计水头达 31m,引用流量达 12.4m³/s。总装机达 6000kW。

至 20 世纪末,石龙坝水电站在电网中已失去作用,它正在转变为一个“发电、文物、旅游、教学”的多功能水电站。

石龙坝水电站,富有传奇色彩事件有三。

首推一车间的那台运行百年的水轮发电机。

1910 年安装的两台机组,1958 年,一台拆到富源县黄泥河水电站,至今仍在那里。另一台,于 1958 年第一次告别石龙坝,拆装到开远的六郎洞水电站效力。第二次又转到绿水河电站出力发电。第三次又被转到了石屏县,谁料装不起来无法运行。第四次又到通海县水电站投入运行。第五次,1987 年石龙坝水电厂花巨资购回这台机组,并安装回一车间。这台机组在外流浪 29 年后,总算辗转返回故里。

令德国人完全没有想到的是,这台机组居然运行了近百年,直到今天还能够发电。前来参观的西门子公司人员激动不已,纷纷拍下珍贵照片留念。西门子总部提出不惜巨资购回这套设备,作为历史见证的“古董”,但被中方人员婉拒。

但又据报道,该机组经大修后,于 20 世纪末尚运行良好。后螳螂川水质严重污染,机组被腐蚀一个大洞,已无法修补。

第二传奇是“高压木管”。

1943~1945 年扩建。此时滇越铁路中断,无法进口钢材。工程师采用木头代替钢材外加固箍,制成两根高压木质引水管。水电站的高压钢管,在中国人手里变成“高压木管”,创造世界水电建设史上的经典趣闻。可惜“高压木管”如今已不在石龙坝。据说如

今一根在沾益縣天生壩發電廠，仍在使用中。另一根躺在彌勒縣白馬河電廠，已經閒置。

第三傳奇是炸不垮。

抗日戰爭期間，石龍壩的電力成為軍工生產的供電支柱，並担负防空報警電源。因而遭到日軍轟炸。1939~1941 年日本飛機曾四次轟炸石龍壩。其中 1940 年 12 月 16 日上午 9 時，七架日本飛機投下九枚炸彈，也未能阻擋水電站對軍工生產的供電。遭炸之後上報材料：“員工既無傷害，機器並無損害。”至今，侵華日軍轟炸石龍壩水電站的炸彈殼猶存，大小與家用的煤氣罐差不多。炸出的彈坑有半個足球場大，現在已被改造成一個小湖。當年中國軍隊在廠區設有幾處防空炮台，今天雖是面貌斑駁，仍然挺立在山坡上。

石龍壩水電站，有三塊在 20 世紀 50 年代後被嚴重毀壞如今修復的石碑。三塊滄桑的石碑，記錄了前輩們魄力、決心和氣度，字里行間是一絲不苟的嚴謹。

如今稱“功建名垂”碑，記錄了工程人員及工匠頭人姓名。在石龍壩水電站左益軒總經理、毛士地亞和麥華德工程師之後是 28 名同事。再之後是所有工種負責人名字。計有石工頭、木工頭、鐵工頭、水工頭、車工頭、炸石工頭、售賣木料、售賣石灰、售賣磚瓦、售賣土基、運機器車工頭、清運河沙、賣運小石頭、量石頭人、電焊、包抬電焊、收沙、打壩（碑文字迹不清），共約 80 多人。一些人的姓名之後還注有籍貫。讓人驚訝的是，工頭名字竟占主導，主要領導只有 3 人。碑文找不到一個有功官員的名字。如，雲南勸業道道台劉岑舫，雲南商會總經理、公司總董事長王筱齋，雲貴總督李經羲，狀元袁嘉谷以及清政府農工商部有關官員等。

“用實明核”碑，記錄電站建設過程的費用開支。實際是一個公開的石刻賬本。不僅記錄了每一項工程所耗費的資金，甚至小到招用了幾個馬夫，幾個茶房，幾個小工的花費都清楚記載，而且精確到“毫”。讓人感到驚訝、感嘆。

“永垂不朽”碑，記錄電站建設經過。全文如下：

商辦雲南耀龍電燈公司石龍壩工程記略

公司之開辦創議於前清，勸業道劉岑舫先生初擬官商合辦，因集股無多複撓他故。劉君乃於前清宣統元年己酉冬十月，決計與商會總理□□□□□□□□□□□□□□□□王筱齋君迭次磋商，改歸商辦，故定名為商辦耀龍電燈公司。旋由商會開議，公舉□王君為總董。庚戌春三月□王君有南京賽會之役，啟行在即，遂重托□陳柄熙君代表擔任，□陳君愛於五月複由商會開會組織辦法，公舉□左益軒君為總理，□施雲卿君為協理，眾議以□左君駐石龍壩擔任壩中一切工程事件。而□左君對於實業公益之事素主熱心，以此事為地方利權所關，遂不憚煩難慨然允許，務求達於成立之目的。乃亟亟於六月初二日偕同德國工程師□毛士地亞君到壩踏勘河建機房各地點，勘定之後，即由□左君派人分頭鳩工它材迅速趕辦，遂於七月興工。蓋此事□左君意在速成，以為早開燈一日，公司早獲權利一日，故其招集泥、木、石大小各類工人日約千餘名，崩山炸石不顧危險，分段趕作猛力進行，其最要者嚴計親則。所有各辦事人及各項工人，每夜均系四鐘開飯，天明出工日入方息，自開工以來，賴左君督率有方鼓勵有術，故各項工人踴躍從命，年餘來不避雪雨風霜，亦不計年節星期，一鼓□作氣銳意前驅，只期兼（？）程以並進，不辭險阻之艱難。以故長千四百七十八密達之河，高數丈之石機房，以及滾龍壩瀉水河，正河大石壩封面迎送水，公司住房暨造橋、築路、開井、運機器等項工程，未幾即次第落成。自宣統二年七月興工至民國元年壬子四月開燈，全功告竣通計一年有九月。中間除因漲水不能工作暨鐵路斷壞紅毛泥載運不到，以及光復時洋工程師往河內避亂，共耽延

四月有餘，其實只一年有五月即行告厥成功。噫，慘淡經營煩費苦心，向使非□左君之不辭勞怨、辦事認真及諸同人之協力襄助，焉能有如是告竣之速耶？壩中各項工程約計共用款九萬餘金，其細目均另碑登載，茲因工程浩大，創辦匪易，□左君及各執事人之勳勞，實不容忘用(?)，特紀其大略，勒諸石上以誌不朽云。

中華民國三年歲次甲寅仲夏月 吉立

注释：

1. 原文无标点。
2. □为原碑文中空格，除一处外，其余均出现在人名之前，应该是尊重之意，其中商會總理王筱齋的名字前空了整整一列。
3. 字词释义：總理即总经理，協理即副总经理，密達即公尺，红毛泥即水泥，光复指南推翻清朝的重九起义。

2 水电站泥沙问题

江河都含有泥沙，仅数量多少的差异。江河上修建的水电站也都有泥沙问题，仅影响程度不同。

有些水电站，由于泥沙淤积致使水库渗漏问题得到改善或解决。如，乌江渡水电站，由于泥沙淤积而解决水库渗漏问题，受益匪浅；黄河小浪底枢纽，利用异重流淤积，解决了坝基渗漏问题。

对大多数水电站，泥沙带来的是不利影响，有时是很大的。

泥沙对水电水利工程不利表现为：①泥沙淤积对水电站和用电部门的经济效益的影响（图 1）；②对航运事业的效益影响；③对水库安全的不利影响；④对水电站水轮机磨损（图 2）；⑤对水库上游河段、下游环境的影响；⑥对水库库区环境的影响；⑦水库排沙对下游的影响；⑧对水生物、鸟类的影响；⑨淤积物演变为污染源对环境的影响（图 3）。

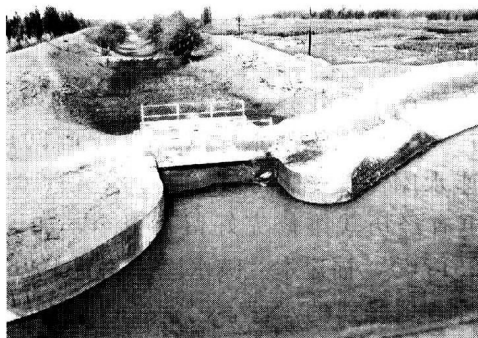
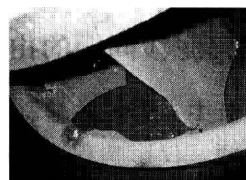
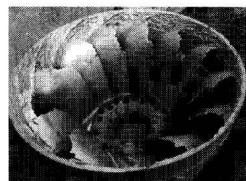


图 1 泥沙淤积不能过水的渠道



使用 4 个月被损毁的叶片



使用 1 年被损毁的水轮机转轮

图 2 某水电站被卵砾石
损毁的水轮机

朱鉴远等，根据入海、流出国境和湖泊的水系终点水文站测验的天然河道输沙量资料，进行全国输沙量统计。对未控制流域和无泥沙测验直接入海中的小河流，由类比的输

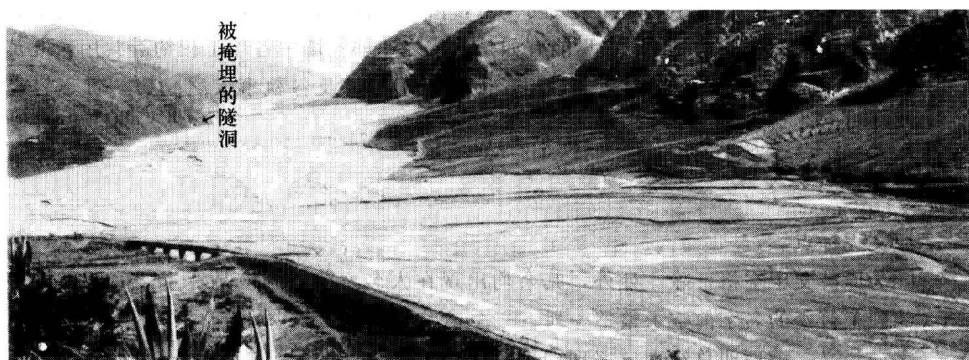


图 3 云南小江河道泥沙淤积，导致沿江铁路被淹埋

沙模数估算。由此推算全国河流的总输沙量。中国（包括台湾）多年平均每年直接输入海洋泥沙总量为 19.8 亿 t。由国际河流流出国境的输沙总量为 1.82 亿 t。输入国内内陆湖泊 0.32 亿 t。全国每年流入海洋、湖泊和流出国境的泥沙总量为 21.9 亿 t。其中黄河、长江每年入海输沙量分别为 10.8 亿 t、4.33 亿 t，两者占 69%。全国河流总平均含沙量约 $1.21\text{kg}/\text{m}^3$ 。

根据全国第 2 次遥感资料统计，中国水土流失总面积为 382 万 km^2 ，占国土面积 39.8%。其中 165 万 km^2 为水力侵蚀，191 万 km^2 为风力侵蚀，26 万 km^2 为冻融侵蚀。1950~1996 年，人们治理了 70 万 km^2 的水土流失面积，但又增加 66 万 km^2 水土流失面积。

全国河流总输沙量 22 亿 t 同 50 亿 t 总侵蚀量相比，河流泥沙平均输移比为 0.4。即全国约 40% 被侵蚀物质由水流输入海洋、湖泊或输出国境；60% 仍然留在陆地，仅地区发生变化，即泥沙“搬家”。

3 枢纽工程泥沙问题的由来

江河水流中夹带泥沙输移是自然属性。人类在修建水库拦截地表径流的同时，就存在泥沙淤积问题，仅影响程度、时间长短不同。

古代水利工程，由于包括泥沙在内的各种各样原由，大部分已湮废。例如，中国第一座低坝引水工程——智伯渠（建于公元前 453 年），练湖水库（建于公元 304~306 年）等。也有一些尚有残存，例如，中国第一座水库——安徽芍陂（建于公元前 613~前 591 年），浙江鉴湖（建于公元 104 年）等。更有经历代维修完好留存至今，如无坝引水工程——四川都江堰（建于公元前 256~前 251 年），福建木兰陂水库（建于 1075 年）等。

近代，大约在 20 世纪 30 年代以前设计各地修建的水库，泥沙淤积并不严重。例如，印度于 1892 年建成的巴特加（Bhatagarh）水库（库容约 1.5 亿 m^3 ）；埃及于 1902 年修建的老阿斯旺（Aswan）水库（初期库容 9.8 亿 m^3 ，1933 年改建为 50 亿 m^3 ），运行后淤积很少；澳大利亚 1920 年建成的伯令切克（Burrinjuck）水库，运行 14 年淤积量仅占原始库容 0.51%。上述工程并非都位于输沙量、含沙量少的河流上，或者库容很大。例如，阿斯旺水文站年输沙量为 1.34 亿 t，含沙量 $1.6\text{kg}/\text{m}^3$ ，而是取决于运行方式和枢纽的泄

流能力。这些早期为农业灌溉修建的水库，大多具有季节性蓄水的特点，一般在汛期以后蓄水，在汛期一般不拦截地表径流。枢纽的泄流能力很大，汛期洪水能敞泄而过。即使滞洪也仅几天，绝大部分泥沙被排往下游。例如，老阿斯旺水库在洪峰期，泄水孔全部敞开；泄流设施分 4 层共 180 个泄水孔，总泄量可达 $14600\text{m}^3/\text{s}$ ，大于入库最大洪峰流量 $13500\text{m}^3/\text{s}$ 。巴特加水库规定年径流量 7/8 下泄后，才关闸蓄水。古代修建的福建木兰陂因设置冲沙闸，采取“未旱先蓄，未涝先排”，即今“蓄清排浑”的泄洪排沙运行方式，解决了水库泥沙淤积问题，致使木兰陂成为世界上唯一一座运行近千年，尚未遭受泥沙淤积的古代水库工程。

综合上述，分析古代、近代水利工程，若水库容积很大，入库输沙量较少，水库可长期使用，如芍陂、鉴湖等；若水库容积较小，入库输沙量较大，采用季节性、汛期以后蓄水，也可解决泥沙淤积问题，如福建木兰陂水库、印度巴特加水库等。

随着世界人口增长和生产经济发展，人类对水的需求量日益增高。1940~1980 年，全球用水量翻了一番，1980~2000 年又翻了一番。于是，人们必须控制和有效地利用宝贵的地表径流。随着坝工技术的发展，高坝大库愈来愈多。例如，世界上约 85% 的大坝是 20 世纪 50 年代中期以后建成的。在此情况下，早期季节性、汛期以后蓄水方式，因其径流利用率很低，不但不能满足水力发电的要求，更不能适应当前人们对水的需求量。解决上述矛盾，只有放弃季节性汛后蓄水方式，采用汛期蓄水调节径流的运行方式。这种运行方式改变了河道泥沙输移，导致泥沙在水库中淤积，致使一些水库泥沙淤积严重，库容损失率加快，最终又影响水资源的利用。另一方面，随着人口增加，流域内的经济开发，有时还在库周后靠移民定居，又加剧了水土流失，入库输沙量增加又使水库淤积趋向严重。尚有一种情况，较早修建的一些水库，已接近工程老化期，泥沙问题也逐渐暴露出来。因此，当前水利水电工程中的泥沙淤积，引起了人们普遍地关注。

4 中国泥沙研究进展概况

4.1 古代对泥沙认识和研究

中国上古既有“随高堙痺”，“疏川导滞”的传说。有人认为大雨治水采用了“分流放淤”的方法。

秦代修建的都江堰利用弯道环流解决引水与排沙的矛盾关系，数千年一直采用“深掏滩，低作堰”解决取水口淤积问题。宋代的汴河采用“狭河工程”，解决了河道淤积碍航问题。明代中期潘季驯提出“筑堤束水，以水攻沙”，就是沿用至今的“束水攻沙”。其早于西方近代水力学理论 300 余年。

关于泥沙资源利用，淤灌在春秋已有记载。我国古代引水灌溉工程，绝大多数为淤灌。如引漳十二渠、郑国渠、白渠等。西汉民谣“泾水一石，其泥数斗，且灌且粪，长我禾黍”。北宋，引洪淤灌已很发达。对淤灌的四季土壤肥力已有明确的了解。潘季驯在束水攻沙的同时，将“淤滩固堤”作为治河策略之一。清朝冯祚泰总结了前人经验，针对黄河含沙量大的特点，提倡留沙放淤。他在《沙宜留》中说：“浊流之最可恶者莫如沙，而最可爱者亦莫如沙。”“然诚熟研流沙之法，因祸而得福，转败而为功，无用之用为大有用，其可爱又孰如知。”“黄河来源万里，即以沙为万里之供输也。会以千七百一川，即以

千七百一川之沙辇载而遗我也。我听其滔滔入海，已有舍掷之叹。而又听其堆而为碛，散而为滩，浅而遏流怒焉。恶之，谓沙之不速去。一旦溃决之后，又享沙之利。沙负人乎，人负沙乎？”他由“祸、福”转化关系，主动治理观点出发，提出利用黄河泥沙多的特点放淤，使之“可以淤洼，可以肥田，可以固堤，可以代岸”。

4.2 近代泥沙研究

近代引进西方水力学的观点，进行泥沙研究和工程泥沙处理。

我国第一座水电站石龙坝引水螳螂川。螳螂川出自滇池，区间每年有 $4000 \sim 7000 \text{m}^3$ 泥沙进入河道。为此，石龙坝修建防沙排沙设施和建立河道清淤疏浚岁修制度。

20 世纪 30 年代、40 年代在多沙河流上修建的枢纽工程，也都考虑到泥沙问题。取水口一般采用“印度式”。即由泄洪闸泄洪，冲沙闸排沙的引水防沙建筑结构。

20 世纪 50 年代以后，由于三门峡泥沙问题的出现，以及官厅等大水库的修建，泥沙问题愈来愈引起人们重视。在水利水电高等院学建立教学机构，培养泥沙专业人才。水利水电科研院（所）都建立相应研究机构，从事泥沙基本理论研究。水电部（现水利部和原国电公司）直属设计院，建立泥沙室（组），进行水电站泥沙设计。中国水力发电学会成立了水文泥沙专委会，担负全国泥沙研究成果的交流，推广新技术的应用，推动泥沙科技的进步和发展。水电水利规划设计总院编制了《水电水利工程泥沙设计规范》，由国家经贸委颁发执行。

4.3 泥沙研究成果

我国采用近代水力学原理研究泥沙，初始于 20 世纪 40 年代，晚于西方约 60 年。先驱为沙玉清、张瑞瑾，后有巨匠钱宁为集大成者。《泥沙运动力学》（钱宁、万兆惠著）、《河床演变学》（钱宁、张任、周志德著）在国内外出版，国际泥沙研究培训中心和国际河流泥沙协会本部均设于中国，“钱宁奖”在世界获得公认和颁发，标志着我国现代泥沙研究在世界行列中已执牛耳。我国从事泥沙研究人才已济济一堂。两院院士中从事泥沙研究者多达 6 位——钱宁、林秉楠、窦国仁、谢鉴衡、韩其为、王光谦。年轻一代更是人才辈出。

泥沙基本理论研究成果主要有如下 5 个方面：

（1）地表侵蚀与泥沙输移。主要研究流域地表侵蚀机理，植被与气候、土壤和人类活动关系，产沙过程模拟。

（2）挟沙水流基本特性的研究。主要开展悬移质、推移质的运动特性、规律和定量等方面的研究。

（3）水流输沙能力的研究。主要研究：非均匀床沙输沙特性，河流的挟沙能力，建立挟沙力计算公式。

（4）泥沙数学模型。主要研究有：不平衡输沙方程，天然河道一维数学模型的研制和应用计算，平面二维泥沙数学模型研制和工程局部地区的应用计算，三维泥沙数学模型的研制和验证，泥沙数学模型在三峡工程设计中的应用。

（5）高含沙水流动力学。主要研究高含沙水流运动机理和基本方程。

泥沙学是一门新兴学科，由于泥沙运动的复杂性，诸多方面尚处于“不完善”和“百