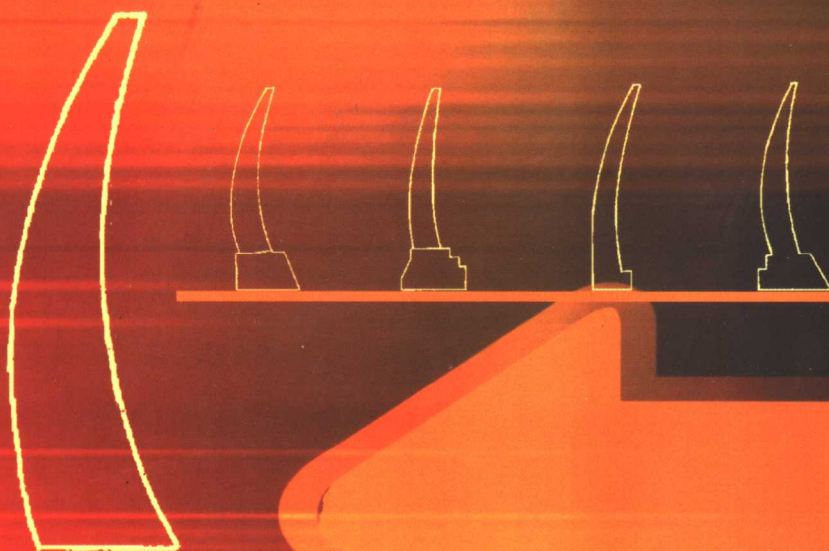


中国水电西北勘测设计研究院 组编

Analysis and Studies on Project and Major
Technical Issues of Super-High Arch Dams

特高拱坝枢纽分析 与重点问题研究

李瓚 陈飞 郑建波 等编著 安盛勋 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

特高拱坝枢纽分析 与重点问题研究

中国水电西北勘测设计研究院 组编
李瓚 陈飞 郑建波 等 编著
安盛勋 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要分析研究了特高拱坝枢纽建设 70 余年来, 各建坝国家在这个领域里所建工程的特点、经验、教训的主干; 对我国目前已建、在建五座特高拱坝枢纽的一些特点, 进行了讨论; 另外, 就特高拱坝枢纽设计中会遇到的一些主要问题, 进行了某些有针对性的研究与探讨。全书共分六个部分, 其中前三个部分分析了三个特高拱坝主要建造国家或地区的有关问题; 第四部分分析了第二、第三世界中亚洲、南北美洲地区同类工程的相应问题, 这些工程的建设, 常与前述三个部分的不少国家有关; 第五部分是针对我国五座同类枢纽的著述; 第六部分是特高拱坝枢纽中几个一般性问题的讨论。本书主要特点反应在以下几个反面: ①从特高拱坝枢纽走过的道路与发展分析研究问题; ②科技无国界, 正、反经验与教训均属本领域内人类共同财富, 共同享有; ③就所论问题, 尽可能强调系统性; ④从实际中提出, 认识与分析研究问题; ⑤这类工程的建设、运用涉及面广, 本书更多的是从设计观点研究问题; ⑥强调从“地质与基础”观点认识特高拱坝枢纽; ⑦不论对国外还是国内, 本书主要分析讨论, 均仅在于由各作者的认识水平出发从“总结”意义上“就事论事”, 试图对提高我国特高拱坝枢纽设计水平尽一点力。本书主要供从事这项工作的设计、地质和施工工程师阅读, 也可供管理、试验、运行部门的专家, 高校及科研单位的教学与研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

特高拱坝枢纽分析与重点问题研究/李瓚 陈飞 郑建波等编著. —北京: 中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-1975-3

I. 特… II. 李… III. 高坝: 拱坝-水利枢纽-设计-研究 IV. TV642.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 122213 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 61.75 印张 1531 千字

印数 0001—1000 册 定价 120.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



坝有高低之分，什么叫“特高拱坝”似无定论。本书以 200m 作为界线，我认为基本合理。因为：一是拱坝设计规范中说，超过 200m 高的拱坝，要做专门研究；二是根据我的分析，拱坝坝高超过 200m 后，一些问题就突显出来了。当然，随着今后建设事业和科技水平的发展，我们也许要修建四五百米高的拱坝，那时可以再做调整，或者在“特高拱坝”之上，再设一类“非常高拱坝”，这些可以留给我们的后代去处理。

为什么要研究特高拱坝的设计问题？回答很简单，是国家建设的需要。中国在 20 世纪八九十年代就建成了二滩特高拱坝，但那时仅此一座，而在新世纪中，我国要全面建设小康社会、实施西部大开发战略、优化能源结构、大力开发水电、实现“西电东送”、全国连网，就需要在西部修建许多座“特高拱坝”：小湾、溪洛渡、拉西瓦、构皮滩、锦屏……工程之多，规模之大、问题之复杂，都列世界前茅。史无前例的建设任务，要求我们认真研究解决特高拱坝及其枢纽的设计问题，而这些问题的研究解决，又将极大地推进建设的速度。科技研究面向生产建设、生产建设依靠科技发展的政策，在这里将得到最完美的贯彻。实践出真知，我们深信在新世纪中，中国的拱坝技术必将达到世界领先水平。

特高拱坝与通常的拱坝有区别吗？应该承认，它们间确实存在区别。量变到质变，这是辩证法的基本规律之一，拱坝亦不例外。假设我们按常规的原则、方法、手段、判据，设计和建设了一座 100m 高的薄拱坝，能够正常安全运行，如果我们将它按比例放大，建一座 300m 高的拱坝，是否有同样的安全度、也可以正常运行呢？答案显然是否定的。反过来说，高 200m 的柯尔布赖恩坝蓄水后出了事，如果缩小到 100m 高，很可能就没有事。这里确实存在非线性因果关系，有从量变引起质变的问题，特高拱坝的设计问题确实值得深入研究。

为什么会出现这种情况？可以举出很多原因。从材料强度和结构潜力上来说明，是较易使人理解的原因之一。低拱坝坝体和地基内的应力水平较低，与混凝土及岩体的强度相比，材料的强度特别在抗压强度上有很大潜力，自重也起到较显著的影响。如果坝体或地基内某些部位出现拉应力而开裂，由于拱坝是高度超静定结构，能自然进行应力的转移与调整，重新达到平衡状态，维持安全运行。而对特高拱坝来说，材料的各项性能都已充分利用，潜力有限，个别地方的失效，可能产生不可逆转的、向最终破坏方向发展的变化。另外，特高拱坝的泄洪、消能、冲刷、抗震、坝肩稳定、施工影响……都有其特殊之处，需要较彻底的查明和采取措施解决。

回顾拱坝设计和计算技术的发展过程，从最初的简单估算和模型试验，进展到当前的水平，应该讲成绩是惊人的。在各国科学家和工程师的努力下，目前，我们已建立了较科学的设计理论，拥有功能强大的分析软件，能对拱坝的工作状态做一定的仿真计算，包括对地质

构造、渗流影响、分缝条件、温度变化、徐变作用、地震过程等复杂因素的考虑，还能进行体形优化和搞自动化设计。这与数十年前繁重、艰苦而低效的做法相比，真有天渊之别。尽管如此，由于问题的极端复杂性，我们仍不能宣称我们已能预测和解决所有的重大问题了。最明显的例子就是，按照现代理论设计和施工的奥地利柯尔布赖恩拱坝在蓄水后发生严重的坝身断裂，几致失事。虽然有关专家在事后做了各种补充复核计算，声称找到了原因，但问题在于未能在设计中得到预报和避免，属于“事后诸葛亮”性质，怎么能设想在新世纪我国兴建的特高拱坝中出现问题，由事后诸葛亮来做解释呢！何况有些问题，例如并非高坝的法国马尔帕塞拱坝的破坏问题至今事后诸葛亮们还不能达成一致共识，这就更值得我们警惕了。

从以上的说明中可以认为，特高拱坝的设计远未达到“自由王国”的境界，我们绝不能掉以轻心，但又不能见难而退，正确的态度只能是知难而进、抓住重点、总结经验、深入钻研，力求使我们的认识一步步接近实际、使一些重大问题一步步得到明确和解决。这些问题包括：特高拱坝的合理的设计原则、标准和要求，尽可能精确地仿真计算特高拱坝在运行后的工作状态，估算特高拱坝的安全概率、探索其破坏机理，特高拱坝的精确动力分析和抗震措施，特高拱坝的泄洪、消能、抗冲等水力学问题，特高拱坝的地质缺陷处理和稳定分析问题，特高拱坝的多目标优化设计，特高拱坝的模型试验问题，适用于特高拱坝的材料、施工工艺等。总之，特高拱坝的设计不能墨守成规地进行，必须在总结经验教训的基础上有所创新和前进，必须是一种动态的、反馈的、优化的设计。

上述任务当然不是靠编一本书能解决的，但本书尽可能广泛地搜集了各国特高拱坝枢纽的设计实践，分析其特点及发生的事故，介绍了我国已建、在建、待建特高拱坝的情况和问题，最后并集中刊载我国著名专家对一些专题的论述。这些材料对今后我国特高拱坝枢纽的设计和科研极为可贵。应当感谢三位编著者的辛勤劳动和有关单位及领导的支持，使我们能得到这样一本有益的参考书，因此我也不嫌啰唆地写了上面这些话，算是推荐和介绍。是为序。

潘家铮

2003年6月5日

前言

在国家西部大开发战略性政策的指引下,加快了西部地区能源、交通等基础设施建设的步伐,成为“大力发展水电”的良好契机,特别是“西电东送”战略步骤的实施,在2000年初,我院设计工作已停止近6年多的黄河拉西瓦水电站的设计重新启动。适时,《黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结》(第二卷)定稿交付出版。负责编写该书的李瓚、陈飞、郑建波三位老专家,考虑到拉西瓦设计的技术要求,觉得有系统清理、分析并编撰世界上200m以上高拱坝设计特点分析专集的必要;同时,也可供其他同类型工程参考借鉴。我院郑合顺院长对此提议给予了肯定,并指示院里在财力、人力上给予支持。经过近半年时间的努力工作,组织完成一本技术含量较高、有一些工程特色的专集,尽管有相当难度,但经过努力还是可能的。经反复酝酿,决定编撰的专集由三大部分内容构成,第一部分是国外200m高拱坝枢纽设计的特点和分析;第二部分是国内5座200m以上高拱坝枢纽设计特点的介绍;第三部分邀请国内著名专家教授就高拱坝设计的一些专门技术问题撰写文章论述,并把200m以上的高拱坝定名为“特高拱坝”。

在中国水电顾问集团公司有关领导同志的积极支持和赞同下,一些兄弟单位专家给予了大力配合,共同完成了这本书的编撰工作,并将之定名为“特高拱坝枢纽分析与重点问题研究”。我们认为有必要将国内外近一个世纪中设计建设的约20座特高拱坝枢纽的设计特点和一些重点技术问题的专论介绍出来,他们成功的经验和失败的教训,对我国水电建设将是有益的。

由于收集资料手段和时间因素所限,一些工程近年新发表的成果也可能没有收集到,材料多寡不一,但将各个工程的设计主要特点尽量全面真实的提供读者,这一点应该是基本做到了;至于对工程设计特点的分析,是由撰写人的认识水平来表达的,不可能也没有必要遵循一个什么样的标准去统一认识,相反,在技术领域内切实地提倡百家争鸣,进行有益的探讨,认为是值得倡导的。我们站在历史的台阶上,用现代人的技术水平,回过头来去审视近一个世纪近20座特高拱坝枢纽设计建设的成败,进行总结和回味,对我们的同行们在21世纪设计建设同级别的工程,或许将是十分有意义的事。

李瓚、陈飞、郑建波三位专家从事水电事业四五十年,他们的毕生精力都献给了水电建设事业,从他们倡导编撰本书始,就全身心投入,不顾年高多病,呕心沥血,孜孜不倦。其他撰稿专家也都非常认真地将他们负责的工程和多年科学研究的成果介绍给读者,以期对我国特高拱坝的建设做出贡献。他们这种对水电事业的热爱,对技术问题的探索精神十分值得我们敬仰和学习的。在此,衷心地感谢为本书撰写文章的各位著名专家教授付出的辛勤劳动。

总之，在中国水电顾问集团公司领导的支持下，在许多著名专家教授的关照下，和我院一些同志的共同努力下，经过近两年的分析研究、编撰和修改，目前本书文稿基本完成，近期可交付出版。最后除再次衷心感谢对本书给予支持和关心的领导和同行们，应该说明的是，由于我们的水平和经验所限，错误和不足之处在所难免，希望读者们批评指正。

安盛勋

2003年5月 西安

编 者 的 话

随着我国西部大开发基本国策的确立，西南、西北等地区水电水利建设事业得到蓬勃发展，我国特高拱坝枢纽建造的步伐加大加快了。继 20 世纪末二滩水电站投运以来，现今又有小湾、构皮滩、溪洛渡和拉西瓦四座水电站相继开工；一批后续可能建造特高拱坝的工程，诸如白鹤滩、锦屏、虎跳峡等项目的前期工作，也已全面展开。这种大好形势是近一个世纪以来，任何一个国家所绝对没有的。

到目前为止，包括我国二滩水电站在内，世界范围内约建成 20 多座特高拱坝枢纽，取得了比较丰富的经验，也不可避免地出现了一些失误和问题。面对这种势态，为了 21 世纪我国特高拱坝枢纽建设搞得更顺当些，少走弯路，就主要方面、在分析的基础上，清理一下人们在这方面所走过的历程，研究一下一些比较重要的问题可能是有益的。在包括上级部门在内的有关单位领导同志的关照下，我院组织了有关专业人士，进行了这方面的工作，《特高拱坝枢纽分析与重点问题研究》一书，就这样问世了。

本书涉及问题较大较多，为此我们先后邀请了多位著名专家学者承担有关部分的写作。他们是中国水利水电科学研究院（简称水科院，全书同）朱伯芳院士、高季章教高（院长），大连理工大学林皋院士，清华大学周维垣教授、陈兴华教授、杨若琼教授、杨强教授、沈大利高级试验师，中国水电成都勘测设计研究院（简称成勘院，全书同）王洪炎教高（原该院总工）、肖白云教高（原成勘院副总工、溪洛渡设总）、计家荣教高（原二滩处主任工程师），长江流域规划办公室设计院（简称长办，全书同）方镇国教高（原构皮滩设总），中国水电昆明勘测设计研究院（简称昆明院，全书同）姚群钦教高（原昆明院总工）、方占奎教高（原昆明院副总工并主管小湾地质工作的副设总）、喻建清教高（原昆明院一分院副总工），中国水电西北勘测设计研究院（简称西北院，全书同）吴熹教高（原西北院副总工并原拉西瓦设总）、刘钊教高（原西北院拉西瓦地质总负责人）17 位专家。其中《黄河拉西瓦特高拱坝枢纽设计》一文，请了西北院现任副院长兼总工安盛勋教授级高级工程师、现任副总工兼设总姚栓喜教授级高级工程师进行核改。非常遗憾的是，同窗挚友王洪炎总工，在写作过程中与世长辞了，没能完成他的心愿，将多年在二滩特高拱坝枢纽建设中的亲身感受奉献世人。实质上，这是一本内容有一定系统的论文集。

本书共分六个部分。第一部分共 5 篇文章，分析了美国特高拱坝枢纽设计中的主要得失，它是世界上最早修建特高拱坝的国家。第二部分共 8 篇文章，主要分析研究了二战后欧洲各国特高拱坝枢纽建设。对于特高拱坝枢纽设计，他们完全放弃了美国人的主导思路，充分使用了双曲技术，把大坝设计得很薄并取得整套的这种枢纽建设经验。可值得注意的另一方面是，这段时期中，特高拱坝枢纽的失事和重大事故，也出现在他们的这类工程上，有的

是非常惨痛的。第三部分共 6 篇文章，主要分析了前苏联特高拱坝的情况，当时他们的建设步伐很大，有很多成功经验，但也存在一些问题和教训。第四部分共 6 篇文章，主要讨论了亚洲、南北美洲几座特高拱坝的有关问题。第五部分 7 篇文章，由各工程主要设计者，就我国特高拱坝枢纽的勘测、设计、施工和运行，分析了各工程的重大技术问题。第六部分共 6 篇文章，研究一些一般性问题，这些对我国今后特高拱坝枢纽的设计，可能是有广泛意义的。

鉴于特高拱坝枢纽设计的继承性，书中对非特高拱坝（坝高 $\geq 150\text{m}$ ）枢纽的相关典型问题也有所涉及。

本书由西北院组编，院领导对此十分重视，给予了全面的指导与支持。由西北院李瓚教高（原西北院副总工）、陈飞教高（原西北院副院长、总工）、郑建波教高（原西北院副院长、副总工）3 人组成编写组。此外，西北院科技处给予了多方支持，该处芦安民、陈明莉、罗绮，先后参加了本书的资料收集；还有部分国外特高拱坝的基本资料参考了由向世武主编的《水库滑坡译文集》和《高拱坝译文集》；刘琦凤同志参与了稿件编辑及出版工作。

本书由现任西北院副院长兼总工安盛勋教高，对全书做了认真仔细的审查。

这里要向中国水电顾问集团公司、水科院、清华大学土木水利学院、大连理工大学、成勘院、长办、昆明院和云南华能澜沧江水电有限公司致谢，他们在书稿编写过程中给予了诸多支持与方便。

本书承蒙中国工程院副院长、原电力部总工、两院院士潘家铮同志为之作序，特在此表示衷心感谢。

由于特高拱坝枢纽设计所涉及的问题广泛、复杂，请允许我们代表全体作者表示由衷地期盼同行专家和广大读者赐教指正。

李 瓚 陈 飞 郑建波

2003 年 5 月 西安

目 录

序

前 言

编者的话

第一部分 美国特高拱坝枢纽设计特点分析	(1)
第一篇 胡佛大体积重力拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (2)
第二篇 软岩上格兰峡特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (30)
第三篇 计划分期加高修建的罗斯特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (48)
第四篇 世界最长的奥本特高前倾双曲拱坝枢纽设计特点与教训	李瓚、郑建波 (57)
第五篇 美国特高拱坝枢纽基本设计特点分析	李瓚、郑建波 (71)

第二部分 欧洲特高拱坝枢纽设计特点分析	(85)
第六篇 世界第一座双曲特高拱坝莫瓦逊坝的枢纽设计特点	郑建波、李瓚 (86)
第七篇 瓦依昂特高拱坝枢纽设计特点及水库灾难性滑坡事故	郑建波、李瓚 (103)
第八篇 鲁松特高拱坝枢纽设计特点与左坝头问题	李瓚、郑建波 (147)
第九篇 康特拉特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (152)
第十篇 阿尔曼德拉特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (159)
第十一篇 姆拉丁其特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (168)
第十二篇 宽河谷中柯尔布赖恩特高拱坝枢纽设计特点及事故处理 ..	李瓚、郑建波 (181)
第十三篇 欧洲特高拱坝枢纽基本设计特点分析	李瓚、郑建波 (221)

第三部分 前苏联特高拱坝枢纽设计特点分析	(233)
第十四篇 契尔盖特高拱坝枢纽设计特点和运行	陈飞、李瓚 (234)
第十五篇 世界最高的英古里特高拱坝枢纽设计特点	陈飞、李瓚 (250)
第十六篇 萨扬·舒申斯克特高拱坝枢纽设计特点和运行中出现的现象	陈飞、李瓚 (284)
第十七篇 胡顿特高拱坝枢纽设计特点	陈飞、李瓚 (315)
第十八篇 托克托古尔特高大体积重力坝枢纽设计特点	陈飞、李瓚 (329)
第十九篇 前苏联特高拱坝枢纽基本设计特点分析	李瓚 (346)

第四部分 亚洲、南北美洲特高拱坝枢纽设计特点分析	(363)
第二十篇 软岩地基上德兹特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (364)
第二十一篇 卡比尔特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (377)
第二十二篇 岩溶地区埃尔卡洪特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (387)
第二十三篇 窄深峡谷内泽马攀特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (407)
第二十四篇 伯克特高拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (418)
第二十五篇 丹尼尔·约翰逊大跨度特高连拱坝枢纽设计特点	李瓚、郑建波 (428)
第五部分 中国特高拱坝枢纽设计特点分析	(443)
第二十六篇 雅砻江二滩特高拱坝枢纽设计特点及若干技术问题的讨论 王洪炎、计家荣	(444)
第二十七篇 小湾特高拱坝枢纽的设计	姚群钦、方占奎、喻建清 (471)
第二十八篇 从对工程地质条件的认识与理解看小湾拱坝枢纽设计的主要地质制约	李瓚 (500)
第二十九篇 乌江构皮滩水电站枢纽布置中的几个主要问题	方镇国 (592)
第三十篇 黄河拉西瓦特高拱坝枢纽设计	吴熹、刘钊 (612)
第三十一篇 金沙江溪洛渡水电站设计	肖白云 (638)
第三十二篇 中国特高拱坝枢纽的基本特点	李瓚 (664)
第六部分 特高拱坝枢纽设计中的某些一般性问题	(713)
第三十三篇 论拱坝应力控制标准	朱伯芳 (714)
第三十四篇 特高拱坝的抗震问题	林皋 (726)
第三十五篇 特高拱坝的泄洪消能	高季章 (752)
第三十六篇 特高拱坝整体稳定的地质力学模型试验研究	周维垣、陈兴华、杨若琼、沈大利、杨强、李瓚 (804)
第三十七篇 特高拱坝枢纽的失事、事故、重要病害及教训	李瓚 (827)
第三十八篇 特高拱坝枢纽设计中一些值得注意的问题	李瓚 (863)
附录 I 本书所用坝名、人员、河流名和地名中英文对照表	(952)
附录 II 本书所用坝名、人名、河流名和地名中俄文对照表	(956)
参考文献	(957)
后记	(965)

Contents

Preface

Foreword

Editor's Notes

Part I analysis on the design features of high arch dams in the United States (1)

- Chapter 1 Project design of Hoover massive gravity arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (2)
- Chapter 2 Project design of Glien Canyon arch dam on soft foundation Li Zan & Zheng Jianbo (30)
- Chapter 3 Project design of Ross arch dam planned to be raised in stages
..... Li Zan & Zheng Jianbo (48)
- Chapter 4 Project design and lessons of Auben double-curvature arch dam
..... Li Zan & Zheng Jianbo (57)
- Chapter 5 Analysis on the basic design features of high arch dams in the United States
..... Li Zan & Zheng Jianbo (71)

Part II Analysis on the design features of high arch dams in Europe (85)

- Chapter 6 Project design of Mauvoisin double-curvature arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (86)
- Chapter 7 Project design of Vaiont arch dam and its reservoir bank landslide
..... Li Zan & Zheng Jianbo (103)
- Chapter 8 Project design of Lusongt arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (147)
- Chapter 9 Project design of Kontla arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (152)
- Chapter 10 Project design of Almandla arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (159)
- Chapter 11 Project design of Mratinje arch dam Li Zan & Zheng Jianbo (168)
- Chapter 12 Project design and accident treatment of Kolnbrein arch dam in wide valley
..... Li Zan & Zheng Jianbo (181)
- Chapter 13 Analysis on the basic design features of high arch dams in Europe
..... Li Zan & Zheng Jianbo (221)

Part III Analysis on the design features of high arch dams in the former USSR ... (233)

- Chapter 14 Project design and operation of Chirkey arch dam Chen Fei & Li Zan (234)
- Chapter 15 Project design of Ingury arch dam Chen Fei & Li Zan (250)
- Chapter 16 Project design and occurrences in operation of Sayano-Shushenskaya arch dam

.....	Chen Fei	& Li Zan	(284)
Chapter 17	Project design of Khudun arch dam	Chen Fei	& Li Zan (315)
Chapter 18	Project design of Toketogul high massive arch dam	Chen Fei	& Li Zan (329)
Chapter 19	Analysis on the basic design features of high arch dams in the former USSR	Li Zan	(346)
Part IV Analysis on the design features of high arch dams in Asia and North and South America			
Chapter 20	Project design of Dez arch dam on soft rock foundation	Li Zan & Zheng Jianbo	(364)
Chapter 21	Project design of Kabir arch dam	Li Zan & Zheng Jianbo	(377)
Chapter 22	Project design of Elkahong arch dam in karstic area	Li Zan & Zheng Jianbo	(387)
Chapter 23	Project design of Zemapan arch dam in deep narrow valley	Li Zan & Zheng Jianbo	(407)
Chapter 24	Project design of Bok arch dam	Li Zan & Zheng Jianbo	(418)
Chapter 25	Project design of Danil Johnson high big-span multiple arch dam	Li Zan & Zheng Jianbo	(428)
Part V Analysis on the design features of high arch dams in China			
Chapter 26	Project design and technical issues of Ertan arch dam on the Yalong River	Wang Hongyan	& Ji Jiarong (444)
Chapter 27	Project design of Xiaowan arch dam on the Lancangjing River	Yao Qunqin, Fang Zhankui & Yu Jianqing	(471)
Chapter 28	Major restraints on Xiaowan project design from the viewpoint of engineering geological conditions	Li Zan	(500)
Chapter 29	Major issues in project layout of Goupitan hydropower station on the Wujiang River	Fang Zhengguo	(592)
Chapter 30	Project design of Laxiwa arch dam on the Yellow River	Wu Xi & Liu Zhao	(612)
Chapter 31	Project design of Xiluodu hydropower station on the Jinsha River	Xiao Baiyun	(638)
Chapter 32	Analysis on the basic design features of high arch dams in China	Li Zan	(664)
Part VI General problems in project design of super - high arch dams			
Chapter 33	On standard of arch dam stress control	Zhu Bofang	(714)
Chapter 34	Seismic problems for high arch dams	Lin Gao	(726)
Chapter 35	Flood releasing through dam and energy dissipation for high arch dams	Gao Jizhang	(752)
Chapter 36	Geomechanical model test research for overall stability of high arch dams	Zhou Weiyuan, Cheng Xinghua, Yang Ruoqiong, Yang Qiang, Shen Dali, Li Zan	(804)
Chapter 37	Lessons of failures, accidents and major faults from high arch dam projects	Li Zan	(827)
Chapter 38	Major concerns in project design of high arch dams	Li Zan	(863)
Appendix Bilingual lists of dam, river, people and place names			
References			

第一章

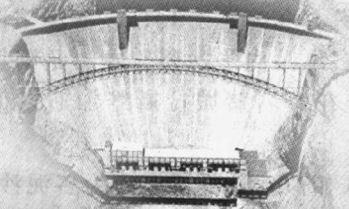
美国特高拱坝枢纽设计特点分析

重点分析

第一部分

美国特高拱坝枢纽设计特点分析

特高拱坝枢纽分析与重点问题研究





胡佛大体积重力拱坝枢纽 设计特点

李 瓚 郑建波

【摘 要】 胡佛工程是世界上最早建成的特高拱坝枢纽，对后世影响很大，但也有来自各方的批评。本文试探性地对该坝基本体型设计思想进行了分析，它们是：坝要厚大；垂直重力作用为主，是大坝结构安全的主要依托；水平传力作用为辅，但尽一切可能发挥其作用，是大坝结构安全的重要环节；少挖多填。另外，对该特高拱坝枢纽的总布置格局，尽量简化坝体结构和临时与永久建筑物的结合观点进行了讨论。

【关键词】 大体积重力拱坝；剪摩安全系数；水平传力系统

胡佛大体积重力拱坝（下称胡佛坝，全文同）是美国工程技术界为人类贡献的第一座特高拱坝，该工程具有当时规模最大的水电站和水库。工程的建成在世界范围内改变和刷新了一系列坝工和水利水电枢纽工程的主要技术纪录，在历史上是一座具有划时代意义的拱坝枢纽工程，美国人称之为“土木工程界的七大奇迹之一”。

一、基本地质条件，坝址确定与枢纽布置

（一）基本地质条件与坝址确定

科罗雷多河是美国西部的一条国际性大河，流域面积占全美的 $1/13$ ，该河经墨西哥注入加利福尼亚湾。胡佛坝建造于该河的“黑峡”峡谷，右岸是内华达州，左岸是阿里桑那州，是“大峡谷”下游几个相对较短的峡谷之一，坝址在著名赌城拉斯维加斯东偏南约48km处（见图1-1）。

流域地处干旱和半干旱地区，与我国西北大部分地区相似，科罗雷多河为多泥沙河流。胡佛坝工程浩大，最大坝高222m，水库蓄水量367亿 m^3 ，大坝体积248万 m^3 ，电站总装机容量1340MW。工程于1931年5月11日开工，合同规定7年后于1938年4月11日全部建成，要求5年零4个月后第一台机组发电。工程实际于1936年5月1日提前2年高质量完成。虽然如此，但规划设计工作开始得很早，主要在20世纪20年代完成。对此划时代工程，美国垦务局等单位极其慎重，进行了长期和大量的工作。

事实上，20世纪之初，在垦务局建立之前，美国地质测绘部门的水文分局就已经对该



图 1-1 胡佛坝地理位置和坝址区岩石情况

(a) 地理位置图；(b) 坝址岩石情况

河进行了勘察。1902 年 10 月，J.B. 林平柯特提出在波尔德和黑峡谷内有若干合适的坝址，可在波尔德峡谷上游获得大水库，并建议开展测量工作^[13]。当然，这些都是从综合利用角度提出的。如果还要前推，该河的开发甚至可以追溯到 1849 年，当时，从荒漠土地的灌溉要求出发，就已经有人提出了建造工程的可能性。

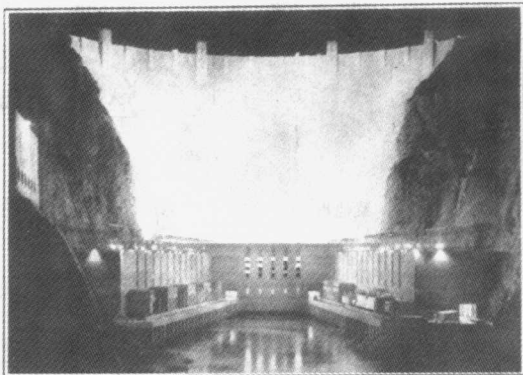
该工程在约 32km 的河段范围内有两个坝段，一个是偏上游的波尔德峡谷坝段，另一个是偏下游的黑峡谷坝段。前者有 5 个坝址，后者有 2 个坝址，并已进行了较多工作。

上游的波尔德峡谷坝段，峡谷较深，约为 450~600m，一般河谷水位宽 60~150m。岩石为前寒武系的片岩、石英闪长岩和花岗岩，地质勘探工作证实，岩石被断层裂隙和岩脉切割相对严重；同时，山高谷深，坝址交通及施工不易，最终被放弃。

胡佛坝坝址最后选定于偏下游的黑峡谷内。谷岸高度较波尔德峡谷低，约为 300~450m，一般水位的河谷宽 80~150m（见图 1-2），河谷由第三系的火山岩（熔岩和角砾岩）组成。该地层在平均高于河水面 80m（平均在 274~304.9m 高程左右）处，岩性有所改变，下面岩石呈暗红色，为胶结良好的熔岩（过去称用过凝灰角砾岩、安山岩），岩石单轴湿抗压强度平均值为 119.5MPa（77.3~154.7MPa）。其上为浅色的红灰色熔岩，混有角状碎块，耐风化性相对下部熔岩较弱。以上两个时期的熔岩的间歇面胶结很好，几乎分辨不出。坝址河道 NE~SW 向，岩层走向 NNW，倾向 NE，倾角 $\angle 20^\circ \sim 65^\circ$ ，即倾上游偏左岸。峡谷内主要构造走向 NW，基本垂直河流，倾向 SW（下游）。坝址区有两条具有重要意义的横河断层（见图 1-3），相距 275m，地勘工作表明，至少在河谷切深 270m 至现今河床高程为止，断层



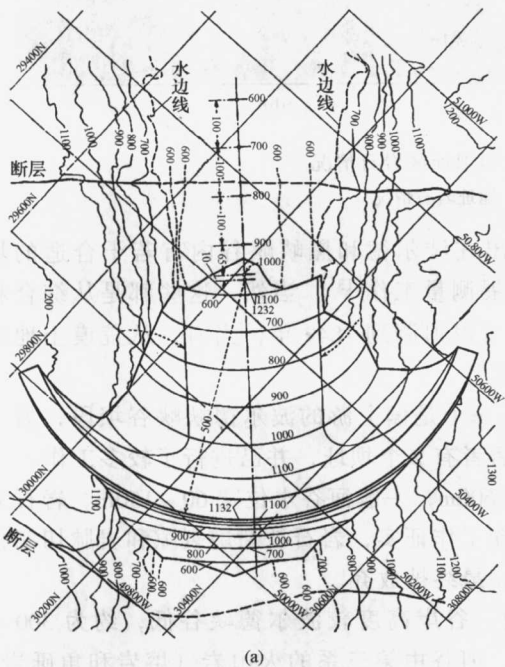
(a)



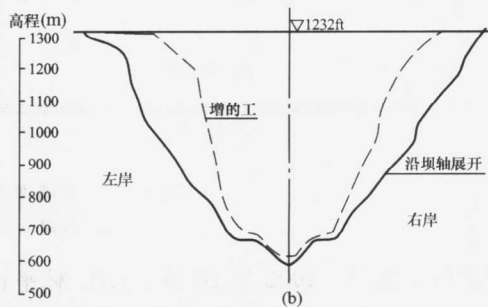
(b)

图 1-2 建成前后胡佛坝坝址情况

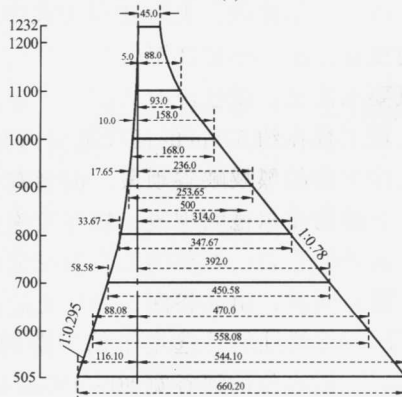
(a) 开工前的胡佛坝坝址 (从下游看上游); (b) 建成后的胡佛大坝枢纽 (夜景)



(a)



(b)



(c)

图 1-3 胡佛坝基本体型 (单位: ft. 1m = 3.28ft)

(a) 平面; (b) 立面; (c) 拱冠典型剖面

没有错动过。胡佛坝址岩石条件理想, 坝肩谷坡较完整。

大坝建造于一个较平直的“U”形谷河段, 谷底宽 80~110m, 两岸在 274~366m 高程以下十分陡峻, 左岸坡度约 80°, 右岸约 70°。该高程以上岸坡逐渐变缓, 左、右岸坡度分别为 45°和 55°, 谷顶宽约 250m。河床坝基及两岸坝肩主要由熔岩组成, 岩石非同寻常的坚韧和耐