



长江三峡工程



(技术篇)

陆佑楣 曹广晶 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家科学技术学技术基金版基金资助出版

长江三峡工程



(技术篇)

陆佑楣 曹广晶 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书从工程技术的角度,对三峡工程建设进行了全面系统的总结。主要介绍了枢纽工程的施工规划、施工导流与通航、枢纽建筑物施工、机电安装等方面的内容,重点论述了建设过程中采取的重要技术方案、解决的主要难题,以及实施的工艺措施。对于公众普遍关心的三峡工程环境问题,本书从环境评价、应对措施及监测成果等方面,作了较系统的介绍。同时,本书还简要回顾了三峡工程论证决策历程和组织建设过程,并对工程建设质量和初期运行效益作了扼要分析。

本书图、文、表、照片并茂,内容丰富,语言平实,着重于工程实录和工程纪实,许多施工技术和施工措施,都是建设者长期实践经验的沉淀和总结,具有很强的实用性和针对性。可供水利水电工程技术人员阅读使用,也可供相关专业的研究人员和相近专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江三峡工程. 技术篇 / 陆佑楣等著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-5084-8256-9

I. ①长… II. ①陆… III. ①三峡工程—研究 IV.
①TV632. 71

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第258959号

审图号: GS (2010) 1159 号

书 名	长江三峡工程 (技术篇)
作 者	陆佑楣 曹广晶 等 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 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	北京外文印务有限公司
规 格	210mm×285mm 16开本 40.75印张 1226千字
版 次	2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	220.00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

《长江三峡工程(技术篇)》

编审委员会

顾问：李永安 潘家铮

主任：曹广晶 陈 飞 陆佑楣

副主任：杨 清 林初学 杨春锦 毕亚雄 樊启祥

于文星 沙先华 张 诚 袁国林 贺 恭

王家柱 秦中一 郭 涛

委员：张超然 郑守仁 陈文斌 杨 亚 梁福林

陆国俊 刘利人 张曙光 毕为民 王湘潭

程永权 于 滨 胡 斌 刘同良 钮新强

谭德骏 彭 冈 徐俊新 王世平 洪文浩

张成平 金和平 陈洪斌 孙志禹 金才玖

朱光明 孙长平 李文伟

序

经过数百位同志历时 3 年多的努力,《长江三峡工程(技术篇)》即将问世,这是一件值得庆贺的事。

三峡工程是当前世界上最大的水利枢纽工程,不仅土建工程、金属结构及机电工程规模之宏伟、数量之巨大是水利工程史上之冠,而且在技术上遇到的一系列困难问题,其难度之大也是罕见的。因此,在 20 世纪 80 年代三峡工程的论证中,不少同志担心以我国的技术力量和管理水平能否胜任这一建设任务,甚至有人担心三峡工程会不会变成“无底洞工程”或“豆腐渣工程”,这些担忧不是没有道理的。

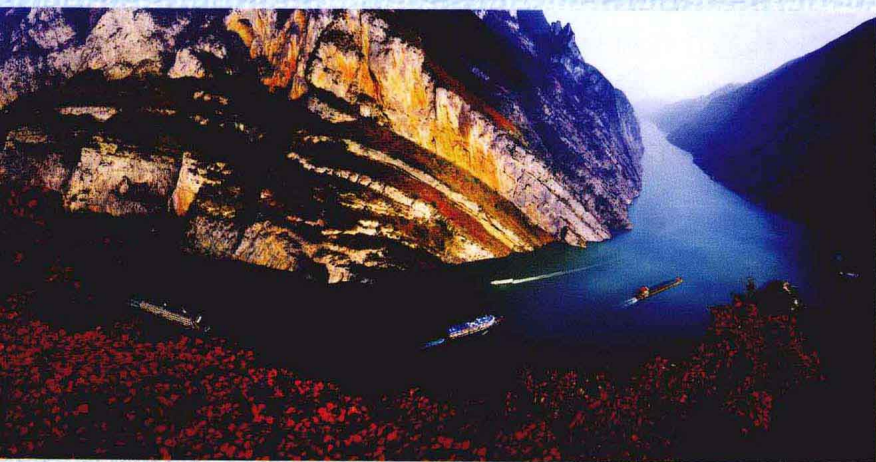
1993 年三峡工程开始筹备实施,1994 年正式开工,确实立刻就面临着巨大的难题。首先必须在极短时期内完成重大项目的技术设计和审定工作,还必须几乎同时提交招标设计和天文数字般的施工详图。三峡工程尽管经历了长期的研究论证,通过了可行性研究和初步设计审查,但以往主要工作集中在方向性问题的研究和对众所质疑问题的论证答复上,初步设计只能给出大的框架,而到具体招标施工还需补充大量的分析设计,对一些具体实施方案还有分歧,需作进一步比较、研究和计算。针对这一形势,国务院决定中国长江三峡集团公司负责技术设计的审查,设计单位和众多协作单位全力以赴、夜以继日地备战,终于优选出实施方案,完成了枢纽设计、施工设计和机电设计,及时提交了数以十万计的图纸文件,为三峡工程开工取得了主动。

三峡工程进入施工阶段后,更是面临一系列的严峻考验。三峡工程的建设者必须攻克摆在面前的重重难关,而且几乎都是与长江洪水赛跑,只许胜不可败,只要有一个环节失利,便会招致全局失败。例如:建造软基上的一期围堰的稳定安全、在 60m 水深和近万立方米每秒流量下的大江截流、必须在一个枯水期内完成的二期围堰防渗加高工程、连续 3 年超过 400 万 m^3 的混凝土浇筑、体积如此巨大的混凝土结构的全面温控防裂、史无前例的从高山中开挖而成的双线五级船闸施工、几十万吨巨大复杂的金属结构制作安装、26 台世界最大的 70 万 kW 水轮发电机组的制作安装及调试运行、全国最高的茅坪溪沥青混凝土心墙防护坝的设计施工、施工期的长江洪水调控和通航保证、在 5 个月内浇筑百米高的三期碾压混凝土围堰和以后的爆破拆除等。每一幕都是一场惊心动魄的“世纪之战”。

值得庆幸的是,“三峡人”以惊人的毅力,依靠坚强的决心、运用科技创新和高水平的管理,一步一个脚印地前进,硬是打赢了所有的战役,取得了质量优良、进度提前、造

价节约、成效显著的满堂红战绩，向党和人民交出了一份优秀答卷。这不能不说是工程史上的一个奇迹。

我国完成的水利水电工程已不少，多数都有创新和贡献，但往往竣工后人员星散，没有把全面总结工作摆到重要位置上，通常在事后补做，这是很可惜的。中国长江三峡集团公司有鉴于此，在第三期工程紧张进行中，就统筹规划，组织力量，及时启动，希望能为这座跨世纪工程留下一份较完整的总结，不仅有现实意义，也具有历史价值，可以说是“三峡史”中重要的组成部分。书成日，中国长江三峡集团公司领导要我写篇序，我就写了以上这些感触，也算是篇序吧。



潘家铮

2010年9月

自序

1993~2009年，伟大的中国人民在世界第三大河——长江干流上兴建了三峡工程。三峡工程无疑是人类的一次恢宏的造物实践，它不仅是中国人不倦探索、认识自然、运用规律、创造更适合于人类生存和可持续发展环境的伟大工程，更是人类跨越两个世纪的水利工程壮举。

如今，每一位造访者，不管他是政府官员还是平民百姓，也不论他是工程考察者还是旅游观光客，无论身处枢纽的任何部位，他都会被矗立在滚滚长江之上的巍峨大坝、巨大的发电厂房和奇妙的过船设施所深深震撼，都会为映衬它的险峻峡谷、叠秀山峦、澄澈江水和滴翠丛林而感叹不已。此时此刻，一切文字、绘画、影像及音乐等语言都将显得单薄，难以阐释它的雄浑和深邃。

关于建设长江三峡工程的构想始于20世纪初叶。1919年，中国民主革命的先驱者孙中山先生，首次提出了开发长江三峡河段水利资源的宏伟设想。后经几代中国人的开拓探索、调查勘测、试验研究、规划论证，最终在1992年3月5日召开的全国人大七届五次会议上通过了《关于兴建长江三峡工程的决议》，完成了这一重大创举的立法程序。1993年，三峡工程进入工程实施阶段；2003年6月，三峡水库初期蓄水，工程的防洪、发电和通航等效益逐步显现。

三峡工程具有规模宏大、技术复杂、施工艰难的特点。在包括数千名工程师在内的数万建设者的艰苦努力下，在众多科研院所、设备制造及材料供应商的参与下，经过6200余个日日夜夜的忘我工作，他们终于以自己的智慧、技能、勇气、毅力和刻苦精神，创造了人间的工程奇迹。

本书的宗旨不是描述工程的伟大，也不是用科普的形式向公众解释工程的原理，而是工程实录、工程纪实。希望同行业的工程师们、高等院校接受工程教育的大学生们，能够从中汲取成功的经验和挫折的教训，为未来的工程建设奠定技术基础，并取得更好的业绩。

本书主要对三峡水利枢纽的施工规划、施工导流与通航、枢纽建筑物施工、机电设备制造与安装等方面的工程技术进行了总结，并对公众关心的环境保护情况进行了较为系统的介绍。设计、招标、合同、质量、进度、投资和安全等管理方面的内容将在《长江三峡工程（管理篇）》中论述。

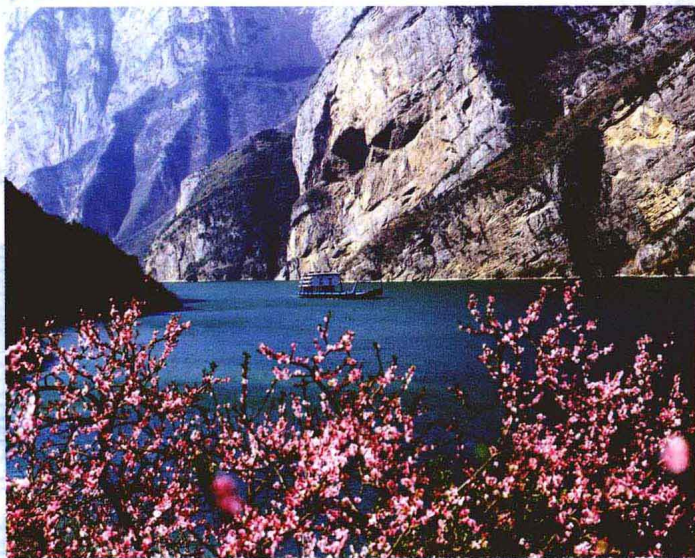
本书尽可能地减少文字叙述，尽可能多地使用工程师的语言，即使用工程图、表、数据和照片予以表达。我们相信本书的主要读者——工程师们是会欢迎的。

在本书出版时三峡工程尚未全面竣工，辅助快速通航的升船机、右岸扩容的地下电站尚在建设，这部分内容亦将在今后再版时补充。

本书的出版要感谢中国长江三峡集团公司科技与环境保护部的认真组织、三峡水利枢纽建设运行管理局的大力支持，还要感谢全体撰写人员的辛勤工作。

三峡工程是中华民族的百年梦想，是中国科技人员心血和智慧的结晶，许多人甚至为此献出了宝贵的生命。在此，我想特别纪念中国长江三峡集团公司原副总经理王家柱同志，他为三峡工程呕心沥血，直至生命的最后一刻，为三峡工程建设建立了不可磨灭的技术功勋！

谨以此书献给三峡工程全体工程师和建设者！



陆佑楣

2010年10月于三峡

前 言

三峡工程是当今世界上最大的水利水电枢纽工程，是一项非常复杂的系统工程，包括枢纽工程、输变电工程、移民工程三大部分。中国长江三峡集团公司是三峡工程的项目法人，主要负责三峡工程中枢纽工程的融资、建设与运营。自 1993 年开始动工，经过数以万计的建设者十余年艰苦卓绝的努力，三峡平湖已呈现在世人面前。截至 2008 年底，枢纽工程已全部完成国家批准的初步设计中规定的所有工程建设项目（除批准缓建的升船机外），26 台 700MW 水轮发电机组全部投入商业运行，总体进度较初步设计提前一年，并于 2009 年通过正常蓄水 175.00m 水位的验收。这标志着三峡工程已具备全面发挥防洪抗旱、发电、航运、供水等巨大综合效益的能力。

三峡工程的成功建设，与党中央国务院的正确领导、全国人民的大力支持、全体建设者的奋力拼搏和无私奉献分不开。三峡工程凝聚了中华民族的智慧，是铸就民族精神的伟大丰碑。在建好一流的三峡工程，留下宏伟的大坝、船闸和电站的同时，系统地总结建设中的经验与教训，也是非常重要和必要的，这既是给历史一个交代，也可资同行借鉴。为此，中国长江三峡集团在工程建设后期及时启动了撰写工作，拟从技术、管理等方面进行回顾和总结。

本书从工程技术的角度，对三峡工程建设进行了系统的总结。全书共分 10 章，主要介绍了枢纽工程的施工规划、施工导流与通航、枢纽建筑物施工、机电设备制造与安装等，重点论述了建设过程中采取的重要技术方案、具体的施工工艺措施。此外，还从环境影响评价、应对措施及监测成果等方面入手，对有关环境问题作了介绍。同时，简要回顾了三峡工程论证决策历程和组织建设过程，对工程建设质量和初期运行效益亦作了扼要分析。

在本书完稿之时，缓建的升船机、扩建的右岸地下电站仍在建设之中，故仅列 2 个附录分别介绍设计方面的内容，待再版时，再补充其他内容。

本书在内容组织上融设计、施工、运行于一体，采用图、文、表、照片相结合的方式，着重叙述了“是什么”、“怎么做的”和“做得怎样”，力图让读者从技术方案——施工过程——实际结果这条主线上，了解建设成果，从中受益。本书是工程建设实录，是从工程技术角度了解三峡工程的一个窗口，而不是三峡工程技术的百科全书。书中涉及的施工技术和施工措施，都是建设者长期实践经验的总结，具有较强的实用性和针对性。至于“为什么”的问题，限于篇幅，未深入展开。

历经 3 年多的努力，该书终于与读者见面了。在撰写过程中，先后有 300 多位工程技术人员和专家参与了技术资料的整理和审查，付出了艰辛和智慧。虽如此，但由于大部分工程师在完成三峡工程的相关工作后，即奔赴新的工作岗位，无法聚首在一起撰写探讨，且资料搜集存在诸多困难，要为广大读者奉献一部至臻完美的精品之作，尤感力不从心。很多地方，难免会有疏漏和瑕疵，亦不免有遗珠之憾，敬请读者谅解，并请指正。

在此，诚挚地向为三峡工程付出心血与汗水的所有决策者、管理者、咨询专家、研究设计人员、工程技术人员和身处一线的建设者们致以深深的敬意！感谢长江水利委员会以及参与三峡工程建设的各施工单位、监理单位对本书的大力支持和帮助！在本书的撰写过程中，孙志禹、李文伟、闫俊义、陈文夫、陈先明、陈永柏、王守运、张晔、徐军、刘玉山等做了大量的工作，感谢参加撰写的全体人员！

没有大家的艰苦努力，就不可能有本书的问世。



曹子品

2010 年 8 月于三峡

目 录



序

自序

前言

1 综述	1
1.1 引言	2
1.2 工程缘起	3
1.3 工程目标及预期效益	10
1.4 工程实施	14
1.5 枢纽初期运行	18
2 自然条件与工程特性	21
2.1 水文与气象	22
2.2 地质条件	32
2.3 枢纽布置	39
2.4 枢纽运行方式	48
3 施工规划	49
3.1 分期导流及分阶段施工	50
3.2 施工总进度	51
3.3 对外交通运输	62
3.4 混凝土原材料及配合比	68
3.5 主要施工工厂	71
3.6 施工总布置	91
3.7 安全监测	99
3.8 质量标准	102
4 施工导流与施工期通航	103
4.1 导流与通航方案	104
4.2 一期导流	106
4.3 二期导流	113
4.4 三期导流	129
4.5 施工期通航	154
5 大坝	157
5.1 布置与结构	158

5.2	主要技术问题	167
5.3	开挖与基础处理	178
5.4	渗流控制	185
5.5	混凝土施工	193
5.6	接缝灌浆	233
5.7	金属结构与启闭设备	236
5.8	大坝运行	255
6	电站厂房	271
6.1	布置与结构	272
6.2	主要技术问题研究	284
6.3	开挖与基础处理	290
6.4	混凝土施工	292
6.5	金属结构与启闭设备	308
6.6	厂房运行	322
7	船闸	331
7.1	布置与结构	332
7.2	主要技术问题	344
7.3	开挖及支护	349
7.4	混凝土施工	360
7.5	金属结构及启闭机设备	371
7.6	监控系统和辅助设施	387
7.7	系统联合调试	391
7.8	船闸运行	393
8	茅坪溪防护土石坝	405
8.1	布置与结构	406
8.2	坝体填筑	411
8.3	沥青混凝土心墙施工	412
8.4	监测与运行	419
9	电站机电设备	425
9.1	机电设备布置	426
9.2	水轮发电机组	429
9.3	厂房辅助系统及设备	487
9.4	电气设备	503
9.5	保护、监控和通信系统	514
9.6	机组启动试验与运行	536
10	生态与环境保护	557
10.1	可行性研究与论证阶段环境影响评价主要结论	558
10.2	生态与环境保护措施的实施	574
10.3	生态与环境主要监测项目的初步结果	588
附录 1	升船机	601
附 1.1	布置与结构	602

附 1.2	金属结构及机电设备	606
附 1.3	监控系统、辅助设施及公用系统	618
附录 2	地下电站	623
附 2.1	进水口	625
附 2.2	引水洞	629
附 2.3	排沙洞	629
附 2.4	主厂房及附属洞室	629
附 2.5	尾水洞及阻尼井	632
附 2.6	尾水平台及尾水渠	633
附 2.7	升压站	633
后记		635

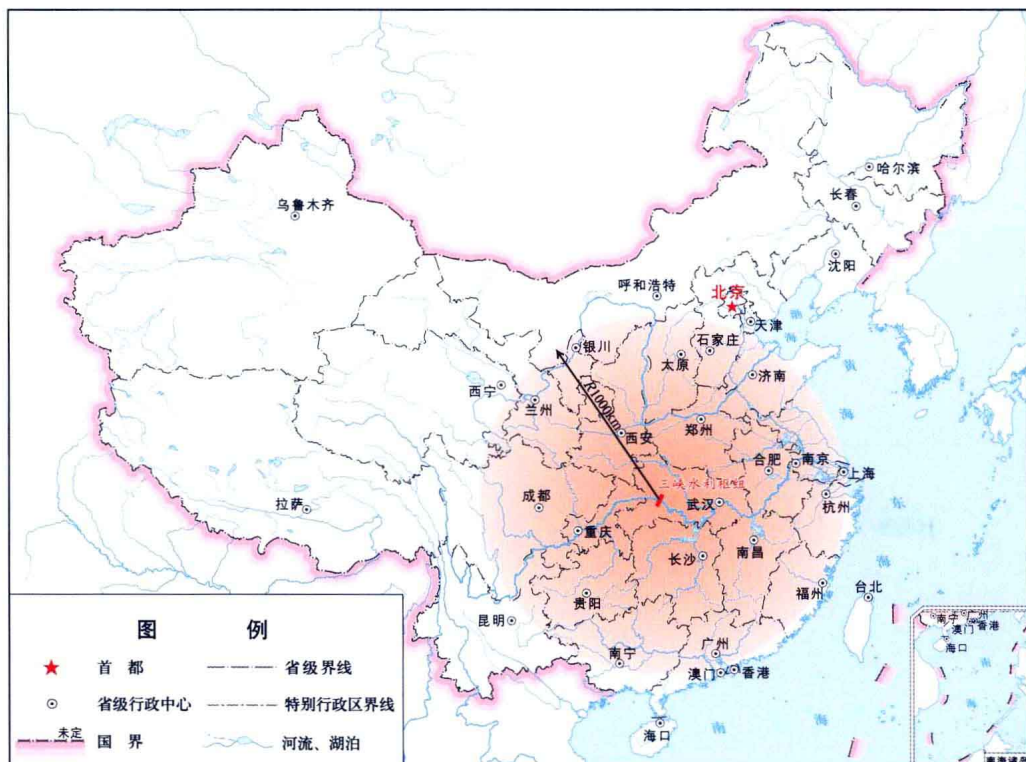
1 综述



1.1 引言

三峡工程是治理和开发长江的关键性骨干工程，主要由枢纽工程、水库淹没处理和移民安置工程（以下简称移民工程）及输变电工程三大部分组成。

三峡工程因水利枢纽位于长江干流三峡河段而得名。三峡河段是长江冲出西部高山峡谷、进入东部平原和丘陵地区的最后一段，全长 192km。它上起重庆市奉节县白帝城，结束于湖北省宜昌市南津关，其间包含瞿塘峡、巫峡和西陵峡三段峡谷。三峡水利枢纽大坝坝址（以下简称三峡坝址）地处西陵峡中段，位于湖北省宜昌市三斗坪镇，距下游已建成的葛洲坝水利枢纽 38km，三峡水利枢纽地理位置见图 1.1。



(a) 在全国所处位置



(b) 在三峡河段所处位置

图 1.1 三峡水利枢纽地理位置

三峡水利枢纽主要由大坝、电站厂房、通航建筑物和防护坝组成。大坝为混凝土重力坝,坝顶高程 185.00m,最大坝高 181m,坝轴线全长 2309.47m。左岸、右岸电站共安装 26 台 700MW 水轮发电机组,总装机容量 18200MW,多年平均年发电量 847 亿 kW·h;连同后期扩建的右岸地下电站(6×700MW)和电源电站(2×50MW)^①,三峡电站的最终总装机容量达 22500MW,多年平均发电量达 882 亿 kW·h,是世界上规模最大的水电站。通航建筑物包括船闸和升船机,其中船闸为双线五级连续船闸,可通过万吨级船队;升船机为单线一级垂直升船机,最大提升高度 113m,可通过 3000t 级船舶。防护坝为沥青混凝土心墙土石坝,坝顶高程 185.00m,轴线长 889m,最大坝高 104m。

按照工程规划,三峡电站发出的强大电力送往华中电网、华东电网、南方电网,涉及湖北、湖南、河南、江西、安徽、江苏、浙江、广东和重庆、上海的 8 省 2 个直辖市。三峡输变电工程主要包括 500kV 交流线路 6519km、交流变电容量 22750MVA、±500kV 直流输电线路 2965km 和直流换流站容量 18000MW。

三峡水库蓄水后将淹没耕地 25.73 万亩,园地 11.02 万亩,河滩地 5.8 万亩,直接受淹人口 84.46 万人^②,共需陆续搬迁移民约 124.55 万人^③。

三峡工程静态投资(1993 年 5 月价格水平)总额 1303.61 亿元,其中枢纽工程、移民工程和输变电工程分别为 500.92 亿元、479.95 亿元^④和 322.74 亿元。

1.2 工程缘起

1.2.1 流域背景

长江发源于青藏高原唐古拉山主峰各拉丹东雪山西南侧,干流自西向东流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏和上海 11 个省(自治区、直辖市),在汇集了 7000 余条支流后注入东海。长江干流全长约 6300km,是中国第一大河,长度居世界第三位。长江在宜昌以上为上游,长约 4500km;宜昌至湖口河段为中游,长约 950km;湖口以下为下游,长约 850km。长江干流各段有不同的称谓:从江源至当曲河口称沱沱河,当曲河口至巴塘河口称通天河,巴塘河口至岷江口称金沙江,自宜宾以下至入海口始称长江,其中宜宾至宜昌段又称川江,枝城至城陵矶(洞庭湖出口)段又称荆江。此外,有些国家又习惯称长江为扬子江(Yangtze River)。长江流域面积 180 万 km²,占全国陆地总面积的 18.8%,其中三峡水利枢纽控制流域面积约 100 万 km²,占流域总面积的 55.6%。长江流域多年平均年径流量约 9560 亿 m³,其中三峡坝址处年径流量约 4510 亿 m³,占流域总径流量的 47.2%,长江流域水系简图见图 1.2。

长江流域水能资源丰富,全流域理论蕴藏年发电量 24336 亿 kW·h,技术可开发年发电量 11879 亿 kW·h,经济可开发年发电量 10498 亿 kW·h,分别占全国水力资源总量的 40.0%、48.0%和 59.9%。然而,长江流域水能资源的开发程度并不高。在 1993 年三峡工程兴建之前,全流域已建、在建水电站总装机容量仅占技术可开发量的 9.0%、经济可开发量的 10.1%;年发电量占技术可开发量的 8.3%,占经济可开发量的 9.4%^⑤。长江流域水力资源开发情况见图 1.3。

长江流域的水力资源主要集中于上游高山峡谷地区,其中三峡河段水量丰富、落差集中、峡谷幽深,适合修建巨型水利枢纽。

自 11 世纪以来,长江流域一直是中国经济的中心地带。2000 年,流域内居民数量占全国人口总数的 33.4%,耕地面积占全国耕地总面积的 18.0%,粮食产量占全国粮食总产量的 35.4%,地区工农业

① 电源电站是确保三峡电站厂用电和枢纽永久建筑物安全稳定运行的主供电源,同时也是备用电源和保安电源。

② 数据源自 1991 年底至 1992 年初的库区淹没实物指标调查复核结果,参见《长江三峡工程水库淹没处理及移民安置规划大纲》。

③ 数据源自《关于长江三峡工程库区移民安置规划和工程概算调整方案的批复》。

④ 1993 年长江流域水电资源开发数据引自《长江年鉴 1993》。

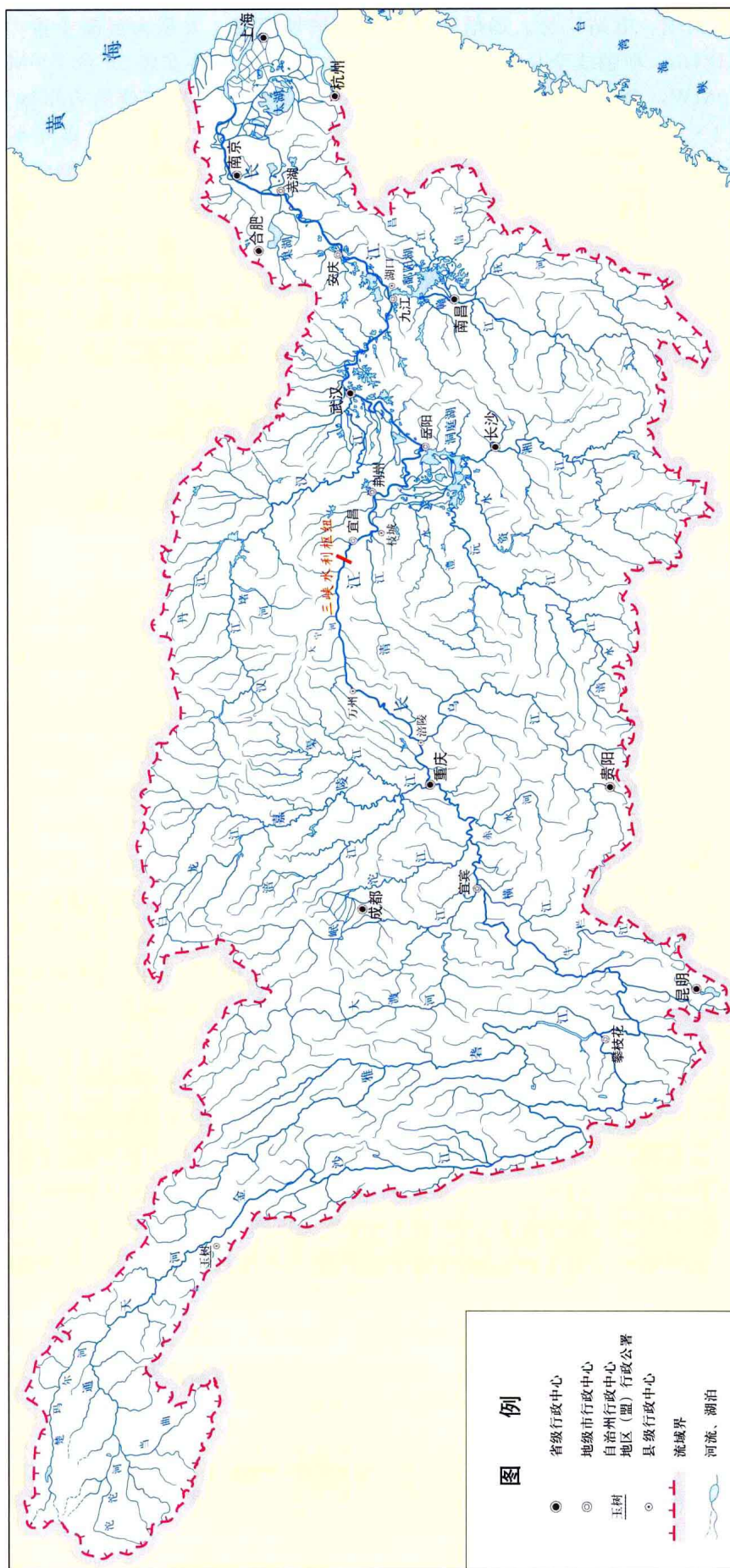


图 1.2 长江流域水系简图