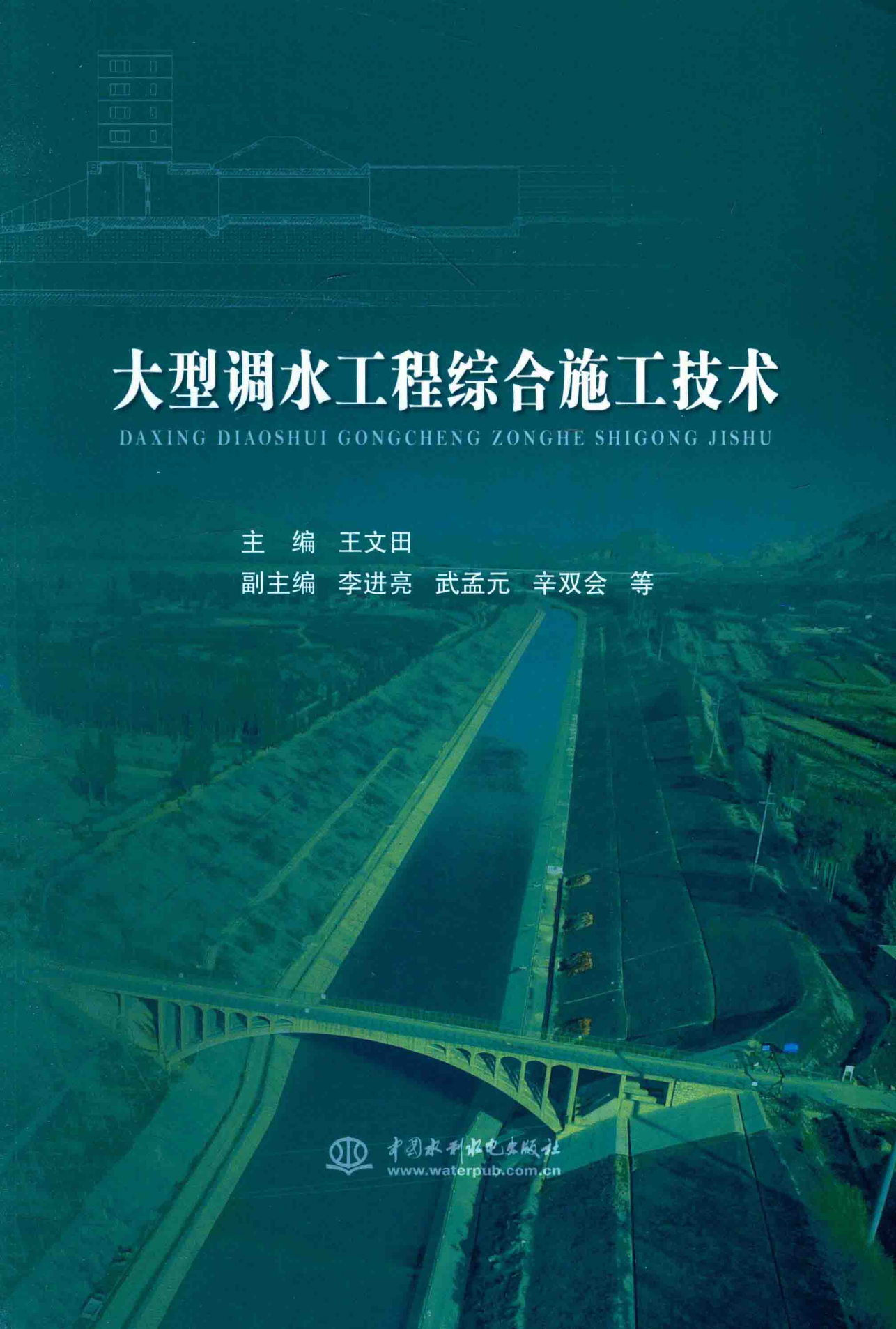




大型调水工程综合施工技术

DAXING DIAOSHUI GONGCHENG ZONGHE SHIGONG JISHU

主 编 王文田

副主编 李进亮 武孟元 辛双会 等



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大型调水工程综合施工技术

主 编 王文田

副主编 李进亮 武孟元 辛双会 等



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以南水北调中线干线工程 23 个施工项目为依托,全面系统地总结了渠道工程、倒虹吸工程、箱涵工程、渡槽工程、桥梁工程、穿越工程等渠系建筑物及地基与基础工程的施工经验。同时从施工工艺、施工方法、施工关键点控制等方面入手,着重总结介绍了施工中新材料、新技术、新工艺和新设备“四新”技术的应用情况。

本书内容系统全面,资料翔实,应用实例丰富,实用性强,可供从事跨流域调水、河道改造等水利工程施工和管理工程技术人员学习参考,也可作为高等院校水利工程专业教学或技术培训班的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大型调水工程综合施工技术 / 王文田主编. — 北京:
中国水利水电出版社, 2016. 4
ISBN 978-7-5170-4279-2

I. ①大… II. ①王… III. ①调水工程—工程施工
IV. ①TV68

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第084450号

书 名	大型调水工程综合施工技术
作 者	主编 王文田 副主编 李进亮 武孟元 辛双会 等
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 (发行部)
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 25.5 印张 608 千字 2 插页
版 次	2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷
定 价	78.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

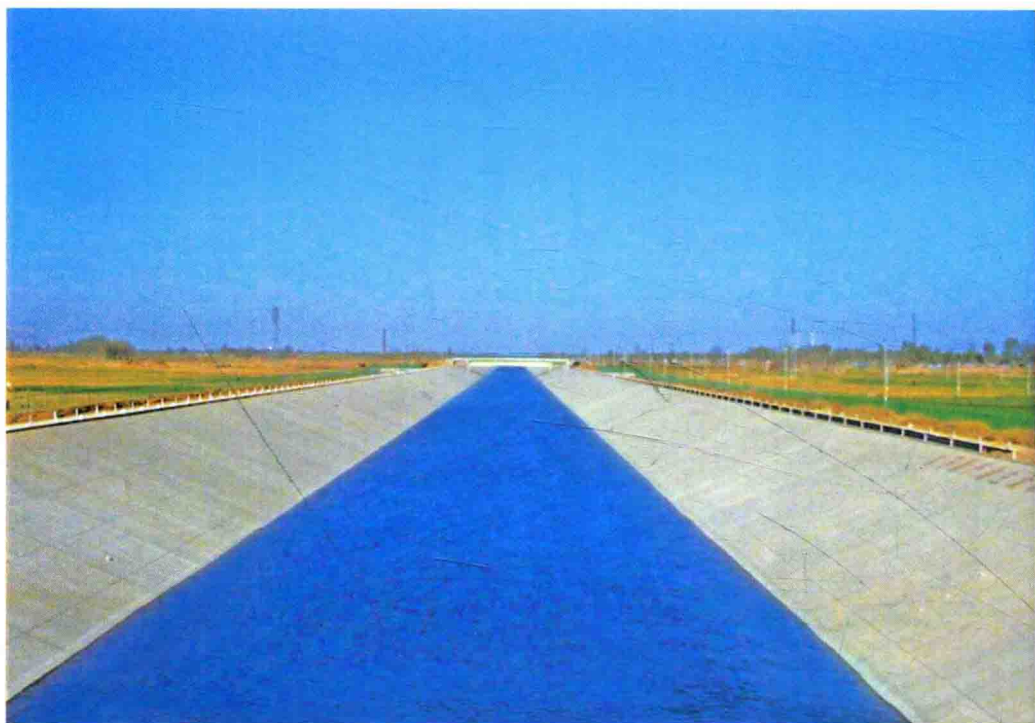
版权所有·侵权必究



河北省水利工程局南水北调施工项目部生活区



通水后的南水北调干渠



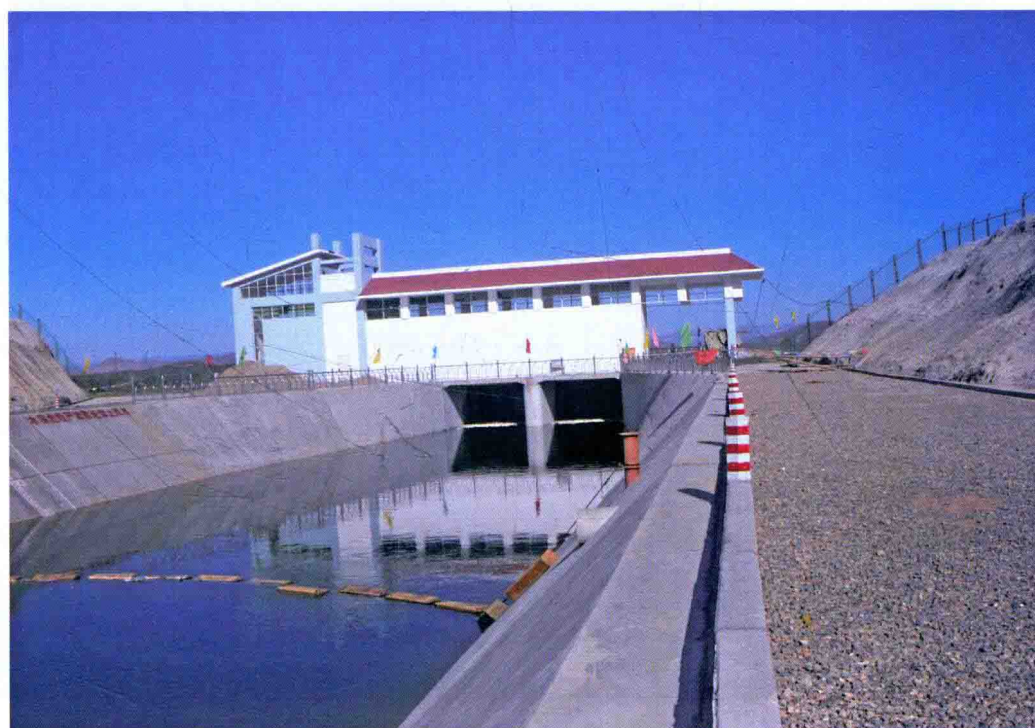
风景优美的通水渠道



渠道倒虹吸进口闸



倒虹吸外观验收



倒虹吸进口拦冰索



干渠跨渠桥梁及巡渠道路



分离式扶壁梯形渡槽

《大型调水工程综合施工技术》

编 委 会

主 任：王步新

副 主 任：刘治峰 王文田

委 员：郭永为 赵良恒 王立新 刘 杰 闫伟忠 刘 斌

主 编：王文田

副 主 编：李进亮 武孟元 辛双会 卢兴江 任建录 郜文英

参编人员（排名不分先后）：

霍小平 赵满江 郑杏厂 贾 军 臧孟军 高 翔

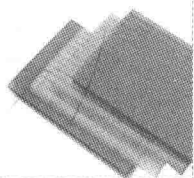
武彦东 张建辉 马巧果 张文虎 王少飞 张立斌

张利峰 刘维娜 贺 磊 彭 超 娄素丽 陈 警

宋明乐 邢艳芳 魏喜远 郭立红 田丽萍 李春强

王会兰 张 芳

序



欣闻《大型调水工程综合施工技术》编撰成集，这是从事南水北调中线工程施工技术人员的一件喜事，标志着由实践走向理论、由感性认识提高到理性认识，在技术积累方面前进了一大步。

南水北调工程是新中国成立以来的国家战略性大型调水工程，举世瞩目。中线干线工程全长 1432km，总投资 900 多亿元，纵贯京、津、冀、豫四省(市)，受益区覆盖了沿线 20 多座大中型缺水城市，并兼顾了沿线地区的生态环境和农业用水。有着近 60 年光荣历史的河北省水利工程局作为河北水利领军企业，能参与到南水北调这一造福子孙的伟大工程中，实乃幸事。

南水北调工程是国家重点工程，建设标准之高、施工难度之大前所未有的。俗话说：“工欲善其事，必先利其器。”为建设好这一功在当代、利在千秋的历史性工程，应始终坚持科技为第一生产力，加大科技创新力度；在实践中，通过精心施工和反复总结，实现了工程提质、提速、提效；通过新技术、新材料、新设备、新方法“四新”技术的运用，破解了施工中的一个又一个难题，并取得了多项技术成果：南水北调中线天津干线工程箱涵施工“超长距离大流量混凝土输水箱涵施工集成关键技术研究”科研项目荣获“河北省科技进步二等奖”，南水北调滹沱河倒虹吸工程“三轨多功能倒虹吸涵管混凝土施工系统的研究”科研项目荣获“河北省科技进步三等奖”，自主研发的“排振滑模式坡面砌筑机”荣获“河北省技术发明二等奖”，几年来共有九项依托我局承建南水北调的工程技术创新成果荣获省级科技进步奖励，渠道坡面衬砌机、多功能混凝土输送布料装置等七项产品和技术被国家知识产权局授权发明专利，系统编写的渠道衬砌和输水箱涵两个施工工法，成功申报成为水利部工法……每一个奖项和荣誉的背后都有一段水工人科技为先、治水兴企的感人故事。其中，许多施工经验和技术创新具有很好的借鉴和推广价值，这正是我们所欣慰的，因为她折射出了科技兴企的美好愿景。

历经十余载艰苦奋战，施工技术人员默默耕耘、辛勤工作，先后完成项目 23 个，总投资额近 40 亿元，承担了急、难、险、重的任务，创造了许多可

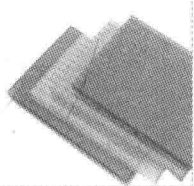
歌可泣的动人事迹，为国家、为人民、为水利事业做出了应有的贡献。如今《大型调水工程综合施工技术》出版，既是对他们劳动的纪念，更重要的是鼓励大家不断总结，开拓未来。

太行山前河川秀美留印记，创新路上墨迹飘飞书画卷。科技支撑发展，创新引领前行。水工人正朝着更高的目标迈进，走出一条科技兴企之路，为描绘祖国的秀美山川增色添彩。



2016年2月

前言



南水北调工程是当今世界规模最大的调水工程，是支撑中国北方地区经济社会发展和保障中国水资源安全的战略性工程，更是穿越了半个多世纪、寄寓着民族走向自强与复兴途程的历史性工程。从历史的角度来叙述，从古人对于治水的思考到孙中山先生的初步设想、毛泽东同志的伟大构想，直到今天付诸实施，这座工程体现了中华民族不屈不挠的人文精神。

“善治国者必先治水”，南水北调工程的实施凝聚着几代国家领导人的心血。2014年12月12日，南水北调中线一期工程正式通水，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平作出重要指示，强调南水北调工程是实现我国水资源优化配置、促进经济社会可持续发展、保障和改善民生的重大战略性基础设施。南水北调历经十一年的施工建设，梦想变为了现实。

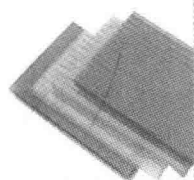
河北省水利工程局作为河北省唯一大型水利施工企业，承担了南水北调中线干线工程23个项目的施工，中标项目的合同总造价近40亿元，有数千人参与了南水北调中线工程的建设，极大地提升了全局的管理素质和施工技术能力。

作为亲临施工现场的建设者、历史丰碑的见证者，回顾十余年的建设历程，战酷暑、斗严寒，严格管理、精心施工，在施工中追求精品，应用新材料、新技术、新工艺和新设备，施工技术，多项达到了国际先进水平。

为了更好地总结施工经验和教训，特别是做好技术总结工作，我们组织相关技术人员编写了本书。在本书的编写过程中，参考了许多业内专家和学者的专著，同时也得到了水利行业广大同仁的鼎力支持，在此一并表示衷心的感谢。由于编写时间仓促，加之编者水平所限，疏漏、错误在所难免，敬请读者批评指正。

2016年2月于石家庄

目 录



序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 南水北调中线工程概述	1
1.2 南水北调中线一期主体内容	2
1.3 南水北调中线工程的意义	3
1.4 南水北调中线工程建设历程	3
1.5 河北省水利工程局进行的南水北调中线工程建设项目	4
第 2 章 渠道工程	11
2.1 土石方开挖	11
2.2 土方回填	45
2.3 渠道衬砌施工	58
第 3 章 倒虹吸工程	94
3.1 临时工程	94
3.2 钢筋混凝土倒虹吸施工技术	102
3.3 倒虹吸斜坡段施工技术	123
3.4 预应力钢筋混凝土倒虹吸施工技术	130
3.5 金属结构及机电设备安装	142
3.6 碎石土回填施工	159
第 4 章 箱涵工程	162
4.1 概述	162
4.2 施工工艺流程	163
4.3 箱涵钢筋混凝土施工	164
4.4 变形缝施工及水密性试验	172
第 5 章 渡槽工程	179
5.1 概述	179
5.2 拌和站及加工场场区建设	180
5.3 施工测量	181

5.4	桩基工程	182
5.5	渡槽下部结构	186
5.6	渡槽槽身	187
5.7	渡槽槽身预应力施工	194
5.8	渡槽槽身混凝土温度控制	197
5.9	渡槽施工的质量控制	202
5.10	青兰渡槽工程施工	206
第 6 章	桥梁工程	247
6.1	工程概述	247
6.2	基础工程及下部构造工程	247
6.3	桥梁上部结构施工	259
6.4	桥面及附属工程	311
6.5	施工关键控制点	332
第 7 章	穿越工程施工	336
7.1	浅埋暗挖法施工技术	336
7.2	穿朔黄铁路框架桥顶进防护施工技术	353
第 8 章	地基与基础工程	357
8.1	人工挖孔灌注桩施工	357
8.2	旋挖成孔灌注桩施工	359
8.3	振冲碎石桩施工	364
8.4	复合载体夯扩桩施工	369
8.5	渠道挤密桩施工	371
8.6	湿陷性黄土灌浆处理施工	374
8.7	倒虹吸管身地基固结灌浆施工	376
8.8	锥探灌浆工程施工	377
8.9	夯扩挤密碎石桩施工	379
附录 A	科研成果	383
附录 B	技术标准规范	395

第 1 章 概 述

1.1 南水北调中线工程概述

南水北调中线工程从长江最大支流——汉江中上游的丹江口水库引水，重点解决北京、天津、河北、河南 4 个省（市）的沿线 20 多座大中城市的缺水问题，并兼顾沿线地区的生态环境和农业用水。中线工程分二期实施，第一期工程建设主要目标为：丹江口大坝加高后，从丹江口水库自流引水，通过硬化明渠输水到河南、河北、北京、天津四个省（市）。中线一期工程干渠总长达 1432km（其中天津输水干线 156km），平均每年可调水 95 亿 m^3 。

同时，为减少中线工程从丹江口水库调水后，汉江中下游水量大幅减少和对湖北中部地区的不利影响，修建湖北省引江济汉等四项生态建设工程。

南水北调中线工程的前期研究工作始于 20 世纪 50 年代初，长江水利委员会与有关省（市）、部门进行了大量的勘测、规划、设计和科研工作。1994 年 1 月，水利部审查通过了长江水利委员会编制的《南水北调中线工程可行性研究报告》，并上报国家计划委员会，建议兴建此工程。

南水北调中线工程是整个南水北调工程的有机组成部分。

丹江口水库是南水北调中线工程的水源地，大坝按正常蓄水位 170.00m 加高可以减少弃水，增加供水，改善供水过程，提高汉江中下游防洪标准，但需要移民 25 万人。规划第一阶段从汉江丹江口水库引水，年均调水量 95 亿 m^3 ，南水北调中线一期工程计划于 2013 年年底建成，2014 年 10 月通水。

工程首先将丹江口水库大坝加高，抬高水库蓄水水位，利用新开的人工渠道（局部管道）输水。输水总干渠自丹江口水库陶岔渠首引水，在方城垭口穿江淮分水岭，从郑州西北的孤柏嘴处过黄河，之后大体平行于京广铁路（位于京广铁路以西），北上至北京团城湖，天津干渠从河北省徐水县西黑山处分水至天津外环河。输水工程全长 1432km，其中引水渠首至北京长 1276km，天津干渠长 156km。输水工程与河流全部立交，北京段、天津段采用管涵。

丹江口水库大坝加高后，防洪库容将由 77 亿 m^3 增加到 110 亿 m^3 ，将有效提高汉江中下游地区的防洪能力，再遇 1935 年洪水，汉江中下游地区基本不分洪，可以解除江汉平原的一大心腹之患。

1.2 南水北调中线一期主体工程内容

南水北调中线一期主体工程由水源区工程、输水工程和汉江中下游治理工程三大部分组成。水源区工程为丹江口水利枢纽后期续建,输水工程为引江总干渠和天津干渠建设。

汉江中下游治理工程为兴隆水利枢纽、引江济汉、部分闸站改造、局部航道整治工程。

1.2.1 水源区工程

丹江口水库控制汉江 60% 的流域面积,多年平均天然径流量 408.5 亿 m^3 ,考虑上游发展,预测 2020 年入库水量为 385.4 亿 m^3 。丹江口水利枢纽在已建成初期规模的基础上,按原规划续建完成,坝顶高程从 162m 加高至 176.6m,设计蓄水位由 157m 提高到 170m,总库容达 290.5 亿 m^3 ,比初期增加库容 116 亿 m^3 ,增加有效调节库容 88 亿 m^3 ,增加防洪库容 33 亿 m^3 。

为缓解调水对汉江中下游的不利影响,规划建设兴隆水利枢纽、引江济汉、部分闸站改造、局部航道整治工程。其中,兴隆水利枢纽的任务是枯水期壅高库区水位,改善库区沿岸灌溉和航运条件;引江济汉工程从长江荆州段龙洲垸引水至汉江潜江段高石碑,全长 67.1km,任务是满足汉江兴隆以下生态环境用水和河道外灌溉、供水、航运需水要求,可基本解决中线一期工程调水对汉江下游“水华”的影响,解决东荆河的灌溉水源问题,并从一定程度上恢复汉江下游河道水位和航运保证率,缩短从长江到汉江的通航里程共 637km。

1.2.2 输水工程

黄河以南总干渠线路受已建渠首位置、江淮分水岭的方城垸口和穿过黄河的范围限制,走向明确;黄河以北曾比较利用现有河道输水和新开渠道两类方案,从保证水质和全线自流两方面考虑,选择新开渠道的高线方案。

总干渠自陶岔渠首引水,沿已建成的 8km 渠道延伸,在伏牛山南麓山前岗垸与平原相间的地带,向东北行进,经南阳过白河后跨江淮分水岭方城垸口入淮河流域。经宝丰、禹州、新郑西,在郑州西北孤柏嘴处穿越黄河。然后沿太行山东麓山前平原,于京广铁路西侧北上,至唐县进入低山丘陵区,过北拒马河进入北京市境,过永定河后进入北京市区,终点是团城湖。

总干渠沟通长江、淮河、黄河、海河四大流域,需穿黄河干流及其他集流面积 10 km^2 以上河流 219 条,跨越铁路 44 处,需建跨总干渠的公路桥 571 座,此外还有节制闸、分水闸、退水建筑物和隧洞、暗渠等,总干渠上各类建筑物共 936 座,其中最大的是穿黄河工程。天津干渠穿越大小河流 48 条,有建筑物 119 座。

总干渠在黄河流域规划的桃花峪水库库区穿过黄河,穿黄工程规模大,问题复杂,投资多,是总干渠上最关键的建筑物。经多方案综合研究比较认为,渡槽和隧道倒虹两种型式在技术上均可行。由于隧道方案可避免与黄河河势、黄河规划的矛盾,且盾构法施工技术在国内都有成功经验可借鉴,因此结合两岸渠线布置,推荐采用孤柏嘴隧道方案。穿



黄河隧道工程全长约 7.2km, 设计输水能力 $500\text{m}^3/\text{s}$, 采用两条内径 8.5m 圆形断面隧道。

1.2.3 汉江中下游治理工程

为缓解调水对汉江中下游的不利影响, 规划建设兴隆水利枢纽、引江济汉、部分闸站改造、局部航道整治工程。其中兴隆水利枢纽任务是枯水期壅高库区水位, 改善库区沿岸灌溉和航运条件; 引江济汉工程从长江荆州段龙洲垸引水至汉江潜江段高石碑, 全长 67.1km, 任务是满足汉江兴隆以下生态环境用水、河道外灌溉、供水及航运需水要求, 可基本解决中线一期工程调水对汉江下游“水华”的影响, 解决东荆河的灌溉水源问题, 并从一定程度上恢复汉江下游河道水位和航运保证率, 缩短从长江到汉江的通航里程 637km。

1.3 南水北调中线工程的意义

南水北调中线工程可缓解华北部分地区水资源危机, 为北京、天津及河北、河南沿线城市生活、工业增加供水 64 亿 m^3 , 为农业增加供水 31 亿 m^3 , 可大大改善供水区生态环境和投资环境, 推动中国中部地区的经济发展。丹江口水库大坝加高能够提高汉江中下游防洪标准, 保障汉北平原及武汉市安全。

1.4 南水北调中线工程建设历程

南水北调中线工程的前期研究工作始于 20 世纪 50 年代初, 长江水利委员会与有关省(市)、部门进行了大量的勘测、规划、设计和科研工作。

自 1952 年开始, 长江水利委员会几代技术人员坚持开展中线工程的勘测、规划与设计工作。

1987 年, 提出了《南水北调中线工程规划报告》, 并于 1991 年对此报告进行了修订。

1992 年, 提出了《南水北调中线工程可行性研究报告》。

1994 年 1 月, 水利部审查通过了长江水利委员会编制的《南水北调中线工程可行性研究报告》, 并上报国家计划委员会建议兴建此工程。

1995 年, 国家环保局审查并批准了《南水北调中线工程环境影响报告书》。

1995—1998 年, 水利部和国家计划委员会分别组织专家对南水北调工程进行了论证和审查, 同时对中线工程丹江口大坝加高和不加高的多个方案进行了补充研究。21 世纪伊始, 根据中国经济、社会、生态环境以及水资源的变化, 长江水利委员会按照“先节水后调水, 先治污后通水, 先环保后用水”的原则, 以科学、严谨、求实的态度, 广泛征求各方面的意见, 再一次对南水北调中线工程规划进行了修订。

2003 年 12 月 30 日, 南水北调中线工程正式开工。

2013 年 11 月, 南水北调中线工程渠道衬砌工程完工。

1.5 河北省水利工程局进行的南水北调中线工程建设项目

河北省水利工程局是河北省规模最大、科技水平领先、最具实力的水利水电建设企业，具有国家水利水电工程施工总承包一级资质、市政公用工程施工总承包一级资质、土石方工程专业承包一级资质、地基与基础工程专业承包一级资质、机电设备安装工程专业承包一级资质、房屋建筑工程施工总承包二级资质，是拥有对外经营权、对外援助成套项目施工任务 A 级企业资格、AAA 级信用等级的大型国有企业，已通过质量管理、职业健康安全管理和环境管理三个体系认证。

河北省水利工程局在南水北调中线工程中中标完成的项目有 23 个，充分发挥了水利水电工程建设的生力军作用。

1.5.1 南水北调中线京石段应急供水工程古运河枢纽工程施工 (S1 标)

1. 工程简介

本工程位于石家庄市郊区，距市中心 7km，包括渠道、古运河暗渠和田庄分水闸。工程的起点即为京石段应急供水工程的起点，总干渠在古运河与太平河汇合口下游约 50m 处穿越古运河，同时穿越石家庄市北防洪堤（107 国道副线）及石太高速公路，交叉建筑物型式为穿河暗渠。工程等别为 I 等，主要建筑物级别为 1 级，主要建筑物的设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 300 年一遇。工程区地震基本烈度为 6 度，地震设计烈度为 6 度。

2. 主要建设内容

本工程包括上游渠道工程、古运河暗渠工程及田庄分水闸工程。

主要工程量：土方明挖 72.33 万 m^3 ，土方洞挖 2.58 万 m^3 ，土方回填 61.30 万 m^3 ，混凝土浇筑 7.61 万 m^3 ，钢筋制作安装 6439t。

1.5.2 南水北调中线京石段应急供水工程滹沱河倒虹吸工程施工第 I 标段 (S4 标)

1. 工程简介

本工程位于河北省正定县西柏堂乡新村村北。

2. 主要建设内容

本工程由进出口渠首段、穿河渠道倒虹吸、退水闸、附属建筑物四部分组成，其中倒虹吸由进口渐变段、进口闸室段、管身段、出口闸室段、出口渐变段五部分组成。倒虹吸管身段为钢筋混凝土箱涵结构，过水断面 3（孔） $\times$ 6m（宽） $\times$ 6.2m（高），水平段最大埋设 8.6m，设计输水流量 170 m^3/s ，加大输水流量 200 m^3/s ，退水闸设计流量 85 m^3/s 。

主要工程量：土方开挖 190.90 万 m^3 ，土方回填 138.78 万 m^3 ，混凝土浇筑 11.68 万 m^3 ，钢筋制作安装 11448.57t，金属结构制作安装 100.20t。

1.5.3 南水北调中线京石段应急供水工程渠道工程 (S8 标)

1. 工程简介

本工程位于河北省正定县、新乐市境内，工程等别为 I 等，主要建筑物级别为 1 级，邻近磁河倒虹吸河滩地渠道段设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 300 年一遇。其他