

南水北调中线工程

施工组织与管理

——以河南新卫Ⅱ标段为例

林山



陕西新华出版传媒集团

陕西科学技术出版社



南水北调中线工程施工组织与管理

——以河南新卫Ⅱ标段为例

林山 等◎编著

陕西新华出版传媒集团
陕西科学技术出版社

内容简介

本书以水利工程施工组织设计和管理理论为基础,以南水北调中线河南新卫Ⅱ标段工程为实例,参考国内外大型调水工程的建设施工管理经验,全面、系统地介绍了新卫Ⅱ标段工程的设计、施工和管理等方面的内容。

全书内容共分为五大章节,具体内容包括新卫Ⅱ标段工程项目总体概况、设计、工程施工组织管理(施工现场管理体系、施工现场总平面布置、施工进度计划、施工技术管理、施工进度管理、施工质量管理、施工成本管理、施工合同管理、施工安全管理、文明施工管理、施工现场信息管理和施工应急管理)、工程施工技术方案以及工程总结和经验。

本书可供高等院校相关专业师生阅读和学习,也可供施工单位的管理和技术人员参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

南水北调中线工程施工组织与管理:以河南新卫Ⅱ标段为例/林山等编著. —西安:陕西科学技术出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5369-6565-2

I. ①南… II. ①林… III. ①南水北调-水利工程管理-河南省 IV. ①TV68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 278411 号

南水北调中线工程施工组织与管理——以河南新卫Ⅱ标段为例

出 版 者	陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社 西安北大街 131 号 邮编 710003 电话 (029) 87211894 传真 (029) 87218236 http://www.snstp.com
发 行 者	陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社 电话 (029) 87212206 87260001
印 刷	西安西法大印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本
印 张	12.25
字 数	220 千字
版 次	2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5369-6565-2
定 价	36.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

南水北调中线工程是解决京津及华北地区缺水问题，缓解黄淮海流域日益严重的水资源短缺，改善生态环境的一项规模宏大、影响深远的战略性基础设施。南水北调中线一期工程于 2003 年 12 月 30 日正式开工建设，于 2014 年 12 月 12 日正式通水，总投资 920 亿元。工程从丹江口水库调水，沿京广铁路线西侧北上，全程自流，向河南、河北、北京、天津供水，包括丹江口大坝加高，渠首、输水干线、汉江中下游补偿等内容。干线全长 1432km，年均调水量 95 亿 m^3 。工程移民迁安近 42 万人，其中丹江口库区移民 34.5 万人。

南水北调中线工程点多、线长，一期总干渠共布置各类建筑物 1796 座，工程涉及范围广、地质条件复杂。其中，渠首大坝加高、湍河渡槽、膨胀土处理、方城六标工程、沙河渡槽工程、焦作高填方工程、穿黄工程和穿漳工程构成中线工程的八大施工难点。为克服八大施工难点，各施工承包单位引进先进技术，采取多种技术对其进行处理。如为克服膨胀土处理技术难题，施工单位建设试验段工程，提前开展现场试验，提出了既经济可靠又便于实施的膨胀土处理措施，为其他膨胀土渠段设计和建设提供依据。南水北调中线工程建设在项目法人的主导下，实行直接管理与委托管理相结合，大力推动代建制管理的新的建设管理模式。代建制建设管理模式，满足了南水北调工程建设管理的实际需要，不仅提高了工程建设管理的效率、降低了建设管理成本、提高了管理水平，而且为今后运行管理的资源配置预留了空间。

新卫Ⅱ标工程，为南水北调中线一期工程总干渠黄河北一渠河北段工程第 7 个设计单元的一部分。工程位于河南省卫辉市境内，全长 12.72km，设计桩号Ⅳ126+780~Ⅳ139+500。工程涉及 19 座建筑物，其中：河渠交叉建筑 1 座，左排倒虹 3 座，渠渠交叉倒虹 1 座，分水闸 1 座，公路桥 7 座，生产桥 6 座。工程施工任务明确，建设工期紧张，管理工作繁重，地质条件复杂，施工技术要求严格。工程于 2009 年 5 月开工建设，2013 年 12 月主体工程完工，各项技术指标均达到通水标准。新卫Ⅱ标工程在施工过程中主要遇到的施工难点是膨胀岩（土）换填，膨胀岩（土）换填段长 10.094km，占渠道总长的 79.4%。膨胀岩（土）换填工程的特点是：工程量大、施工占线线路长、换填区域分散、施工作业面多、施工工艺复杂，且可利用开挖料不能满足渠道换填施工要

求。针对这一施工难点，施工技术人员共同攻坚克难，解决技术难题，保证工程施工顺利进行。本书从施工单位的角度，力求全面、系统地对新卫Ⅱ标工程施工组织与管理进行总结。

全书共分为五大章节，主要包括工程基本情况的介绍、规划工程设计与施工、工程施工组织管理以及经验启示等。其中，第1章主要阐述了工程建设背景、国内外调水工程的建设情况以及工程的基本概况、自然地质条件等；第2章论述了工程的设计，包括输水渠道设计、倒虹吸工程设计、公路桥和生产桥设计以及分水闸设计；第3章主要从工程管理体系、工程成本、质量、进度、合同、信息、安全以及文明施工管理等方面，对工程的施工组织管理进行了介绍；第4章以工程施工为主线，以施工先后为顺序，阐述了施工项目每一个环节的重点施工技术；第5章对工程施工进行了全面总结以及经验启示分析。本书与一般科技著作的不同之处在于：本书不是全面介绍跨流域调水工程施工组织与管理的专门性著作，而是以新卫Ⅱ标工程的实际施工为载体，重点阐述工程施工的技术方案以及施工管理方法。书中数据翔实可靠，技术方法针对性强，且在工程实施中得到了实践证明，作者希望新卫Ⅱ标工程运用的方法技术能为其他类似工程提供有益借鉴。

在本书编著过程中，林山全面负责了书稿大纲拟订、内容编写（约13万字）和统稿工作，郭利、马彪负责资料整理并参加了第1章和第5章的编写工作；西安理工大学刘建林、朱记伟、胡再强教授对大纲拟订和内容撰写给予了热心的指导；西安理工大学研究生卢平、陈密、许优凡等参与了文字校对与资料整理工作。在本书的编写出版过程中，得到了中国水电四局第二分局工程施工技术与管理人员以及陕西省水利科技计划项目、陕西科学技术出版社的大力支持，在此致以诚挚的谢意。由于作者水平有限，书中错误疏漏之处敬请批评指正！

编著者

2015年10月

目 录

第 1 章	工程总体概况	(1)
1.1	工程建设背景	(1)
1.2	国内外调水工程建设情况	(3)
1.3	工程基本概况	(17)
1.4	工程自然条件	(20)
1.5	工程施工管理概况	(23)
第 2 章	工程设计	(25)
2.1	设计概述	(25)
2.2	输水渠道工程设计	(26)
2.3	倒虹吸工程设计	(28)
2.4	路桥工程设计	(32)
2.5	分水闸工程设计	(37)
第 3 章	工程施工组织管理	(39)
3.1	施工组织管理概述	(39)
3.2	施工现场管理体系	(41)
3.3	施工现场总平面布置	(47)
3.4	施工进度计划	(55)
3.5	施工技术管理	(57)
3.6	施工进度管理	(65)
3.7	施工质量管理	(69)
3.8	施工成本管理	(76)
3.9	施工合同管理	(78)
3.10	施工安全管理	(81)
3.11	文明施工管理	(85)
3.12	施工现场信息管理	(86)
3.13	施工应急管理	(89)

第4章	工程施工技术方案	(93)
4.1	施工方案概述	(93)
4.2	施工难点	(94)
4.3	土石方明挖工程	(94)
4.4	土石方填筑工程	(99)
4.5	道路工程	(105)
4.6	砌体工程	(113)
4.7	桥梁及涵洞工程	(115)
4.8	混凝土工程	(131)
4.9	闸门及启闭机安装	(142)
4.10	钢结构制造和安装	(160)
4.11	通信及监控管道工程	(165)
4.12	水土保持工程	(173)
4.13	施工技术总结	(176)
第5章	总结与经验	(178)
5.1	总结	(178)
5.2	经验	(180)
参考文献		(183)

第 1 章 工程总体概况

南水北调中线一期工程总干渠黄河北—渠河北段是南水北调中线一期工程总干渠的Ⅳ渠段，从河南温县穿黄工程末端开始，于河南汤阴县渠河左岸结束，全段总长 195.249km（不含潞王坟试验段 1.5km），共划分 9 个设计单元，布置各类建筑物 335 座。新乡和卫辉段是第 7 个设计单元，渠段起点位于新乡市凤泉区前郭柳村西南孟坟河渠倒虹吸出口，设计桩号为Ⅳ115+900，终点位于沧河倒虹吸出口，设计桩号为Ⅳ144+600。新乡和卫辉段被已开工的潞王坟膨胀岩试验段设计单元分隔成两段，潞王坟试验段长 1.5km，起点设计桩号为Ⅳ120+498.3，终点设计桩号为Ⅳ121+998.3。新乡和卫辉段全长 27.20km，其中渠道长 25.416km，建筑物长 1.784km。新乡和卫辉段渠段起点设计水位 98.935m，与辉县段末点相接；终点设计水位 97.061m，总水头差 1.874m，扣除其中潞王坟试验段占用的 0.075m 水头后，新乡和卫辉段设计水头为 1.799m。

新卫Ⅱ标段工程，为南水北调中线一期工程总干渠黄河北—渠河北段工程第 7 个设计单元的一部分。工程位于河南省卫辉市境内，全长 12.72km，设计桩号为Ⅳ126+780~Ⅳ139+500。其工程建设背景、基本概况、工程地质和气象水文等介绍如下。

1.1 工程建设背景

南水北调工程是解决我国水资源分布不均衡、优化资源配置的大型水利基础设施。工程目的是促进中国南北经济社会与人口、资源、环境的协调发展。南水北调工程有东线、中线和西线三条调水线路，工程线路示意图如图 1-1 所示，建设背景如下。

1. 我国水资源时空分布不均匀

我国是人均水资源短缺的国家，水资源在时间、空间上分布极不均衡。我国有 45% 的国土处于降水量少于 400mm 的少水地区，黄淮海流域的径流量仅为全国的 6.6%，而耕地面积却占全国的 40%。我国水资源的年内、年际分布同样很不均匀，降水多集中在汛期，汛期的降水量达到全年的 70%~80%。随着人口的增加、经济社会的发展以及人们对水量和水质需求的不断增长和提高，使得水资源供需矛盾更加突出，不仅制约了当地经济社会正常发展，甚至

影响到国家的可持续发展战略。因此，南水北调工程是解决我国水资源不均衡的自然选择，也是化解水资源供需矛盾的重要策略。

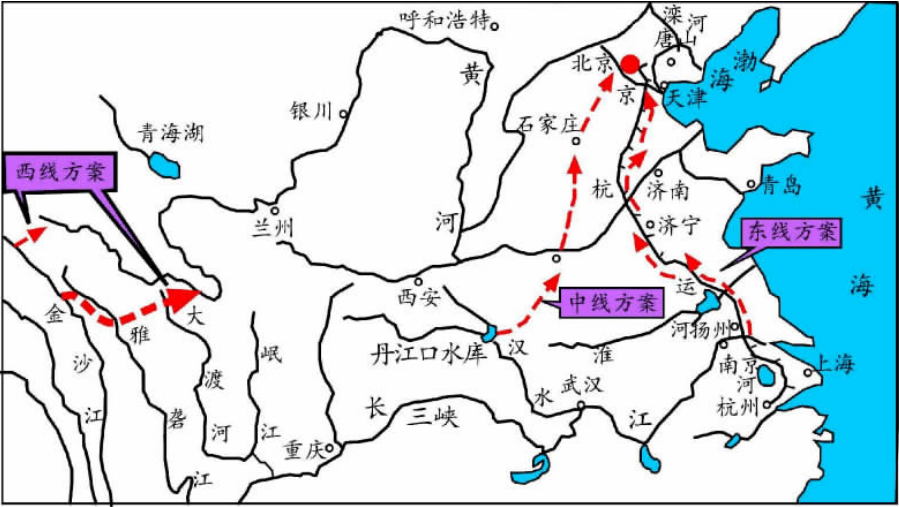


图 1-1 南水北调工程线路示意图

2. 我国缺水地区地下水超采严重

党的十六大报告提出“全面建设小康社会，加快推进社会主义现代化”的奋斗目标。随着城镇化的快速推进，不少城市供水紧张，在巨大用水需求下，许多城市被迫靠长期超采地下水维持发展，累计超采地下水上千亿立方米，导致出现地面沉降、海水倒灌、湿地干涸等生态环境问题。南水北调工程的实施，不仅可以大大缓解沿线城市的用水紧张状况，还能增加回灌水量，有效控制超采地下水，促进地下水发育，形成区域内水循环，进而控制地面沉降，稳定地表形态，补充淀、泊、洼、塘的水源，从而扭转淀、泊、洼、塘生态环境逆向演替的局面。

3. 实现水资源优化配置的需要

水作为人类生产与生活中重要的资源之一，不能以其他资源替代，也不能替代其他资源。因此水资源调配是人类生产生活的需要，调配的范围和规模要和社会发展的需要及生产力水平相适应。北方的矿产、能源、土地、光热及劳动力等综合资源丰富，而水资源贫乏，随着社会和国民经济的发展，更多地开发利用当地资源必然受到水资源不足的制约，需要从丰水地区引进新水源进行资源优化配置，因而南水北调工程具有深远的战略意义。

4. 促进城市化进程的需要

我国缺水地区居民用水方面存在两个方面的问题：一是供水量不足，居民生活用水日趋紧张，随着城市化水平的提高，这个问题将越来越突出（城镇人口用水标准高于农村，且用水集中）；二是水质不好，特别是有些严重缺水的地区长期饮用深层高氟地下水，将严重影响人民身体健康。南水北调工程的实施，可满足受水区城市的生活和工业用水，给城市优质生活用水提供保障。由于供水量增加，对促进受水区城市化进程将起重大作用。

1.2 国内外调水工程建设情况

调水是解决水资源时空分布不均的有效方式。广义地讲，调水工程就是为了将某水源地多余的水调出或为某缺水地补偿水资源，从而更有效地利用水资源。一般是指从水源地（河流、水库、湖泊、海湾）取水并通过河槽、渠道、倒虹（或渡槽）隧洞、管道等输送给用水区或用水户而兴建的工程。而在两个或多个流域之间通过开挖渠道或隧洞，利用自流或提水方式，把一个流域的水输送到另一个流域或多个流域，或者把多个流域的水输送到一个流域，称为“跨流域调水”，为之兴建的工程称为“跨流域调水工程”。据不完全统计，目前世界上至少有 40 个国家和地区建成了 350 余项规模不一的调水工程，其中不包括干渠长度在 20km 之内、年调水量在 1000 万 m^3 以下的工程。世界上的大型江、河都有调水工程的踪迹。

1.2.1 跨流域调水工程的发展历程

跨流域调水是解决水资源空间分布不均、提高受水区水资源保证率、缓解缺水地区水资源供需矛盾、实现水资源合理配置的有效措施，是促进缺水地区经济发展与水资源综合利用的重要途径。

在国内，最早的跨流域调水发生在春秋时期，距今已有 2500 多年的历史。据史料记载，公元前 486 年修建的引长江水入淮河的邗沟工程，是我国最早的跨流域调水工程；公元前 214 年修建的灵渠，连接了长江与珠江水系；公元前 361 年开挖的鸿沟，沟通了黄河与淮河的联系；始建于 2260 多年前的都江堰引水工程引水灌溉成都平原，成就了四川“天府之国”的美誉；而 1400 年前开凿的京杭大运河，更形成了联系海河、黄河、淮河、长江以及钱塘江等多条河流的跨流域调水工程。新中国成立后，特别是改革开放以来，为解决缺水城市和水地区的水资源紧张状况，我国又修建了 20 余座大型跨流域调水工程，如江苏江水北调、天津引滦入津、河北引黄入卫、山东引黄济青、甘肃引大入秦、山西引黄入晋、辽宁引碧入连等重要的调水工程，21 世纪又修建了南水

北调工程。这些调水工程的建设均为受水区提供了稳定、可靠的水源，在推动区域经济快速发展、促进社会安定和改善生态环境方面更是发挥了非常重要的作用，有力地支撑了我国社会和经济的快速发展。在国外，最早的跨流域调水工程可以追溯到公元前 2400 年的古埃及。为满足今埃塞俄比亚高原南部的灌溉和航运需要，古埃及兴建了世界上第一条从尼罗河引水的跨流域调水工程，在一定程度上促进了埃及文明的发展与繁荣。随着 18 世纪后期工业革命的到来，人类改造自然的能力大为提高，而人口的快速增长，城市化建设的不断加快，对调水工程的建设也起到了极大的推动作用。至 19 世纪末，国外某些国家又先后兴建了一些小型的跨流域调水工程，如加拿大的韦兰运河工程和美国加利福尼亚州圣地亚哥市的科罗拉多河引水工程等。20 世纪 50 年代以后，国外提出了许多调水规划。据调水工程的资料统计，1940~1980 年为国外长距离、大型跨流域调水工程的建设高峰期，世界上许多大型的跨流域调水工程多在这一时期建设。

跨流域调水工程建设的内涵经历了不同的历史发展阶段，从早期多以军事、航运结合灌溉为主的调水工程建设，到如今的以城市生活和工业用水为主，并兼顾农业灌溉用水的需要。跨流域调水工程不单是一项简简单单的水利工程，它涉及经济、社会、资源、环境等诸多因素，是一项十分复杂的系统工程。因此，回顾总结国内外已建跨流域调水工程的历史过程，分析研究调水工程的自身特点，吸收借鉴国内外已建调水工程的施工与管理经验，对今后更好地做好跨流域调水工程的建设具有重要的意义。

1.2.2 国外典型的调水工程

国外跨流域调水工程具有十分悠久的历史，但真正大规模、长距离的跨流域调水工程建设则始于 19 世纪中叶以后。其中较为典型的当属美国加利福尼亚调水工程、澳大利亚雪山工程、以色列北水南调工程、印度萨尔达-萨哈亚克工程以及巴基斯坦西水东调等工程。此外，加拿大、苏联、印度、法国、英国、德国、西班牙、墨西哥、罗马尼亚等国家或地区都兴建了许多不同规模的跨流域调水工程。在此我们主要简要介绍国外几个典型调水工程。

1. 美国加利福尼亚调水工程

加利福尼亚州调水工程主要分为两大部分：一个是联邦投资兴建和管理的中央河谷工程，另一个是加利福尼亚州自己投资兴建和管理的加利福尼亚州水道工程。这两项工程相辅相成，共同把加州北部丰富的水资源调到南部缺水地区。

1) 中央河谷工程 加利福尼亚州的中央河谷包括北部的萨克拉门托河流域和南部的圣华金河流域两大流域。中央河谷工程于 1935 年由罗斯福总统授

权垦务局兴建,1937年开工建设,1940年6月部分工程开始首次送水,1982年大部分工程完工。中央河谷工程所规划工程项目竣工后,每年的供水能力可达到 100亿 m^3 。

中央河谷工程通过在萨克拉门托河上游修建沙斯塔水库,将汛期多余的洪水拦蓄起来,在灌溉季节将水经萨克拉门托河下泄至萨克拉门托-圣华金三角洲,经三角洲横渠过三角洲到南部的特雷西泵站,再经该泵站将水分成两支:一支经三角洲-门多塔渠道注入弗里恩特水库,再通过弗里恩特-克恩渠和马德拉渠分别输送至圣华金河谷南部和北部地区;另一支通过康特拉科斯塔渠输送至旧金山湾地区。三角洲横渠、特雷西泵站、三角洲-门多塔渠道是中央河谷工程的关键工程。为了加州长远的发展需要,美国国会还批准了该工程的其他附属项目,并继续由垦务局施工。

中央河谷工程主要设施包括:20座坝和水库,11座水电站,800km输水干渠、隧洞以及其他相关设施。

2) 加利福尼亚州水道工程 加利福尼亚州水道工程是美国当时规模最大的已建调水工程,也是全世界屈指可数的巨型水利及水电开发系统工程之一。该调水工程的规划是1951年由加利福尼亚州议会通过,1959年由州议会颁布《伯恩斯-波特法案》,同意发行17.5亿美元的公债而兴建的。工程从北到南延伸约960km,经由加利福尼亚州萨克拉门托河到达佩里斯湖,向加州南部洛杉矶地区供水,年调水量 52.2亿 m^3 ,调水总扬程达1151m。

加利福尼亚州水道工程北起萨克拉门托河左岸支流费德河,在费德河上筑坝引水,通过奥洛维尔水库的径流调节作用,水流沿费德河和萨克拉门托河的河道流向萨克拉门托河和圣华金河的三角洲。通过在三角洲地区以及沿程修建提水泵站,将费德河、萨克拉门托河及圣华金河富余的水量调往旧金山湾以及加州南部地区。

加利福尼亚州水道工程的储水、提水、输水、配水及动力系统,由29座坝及水库、17座泵站、10座电站(其中一座为地热电站)、长1086km水道及其他辅助设施组成。工程建设分两期完成:第一期工程为主体工程,已经于1973年完成,共兴建了18座水库、15座水泵站、5座发电厂和870km长的输水渠道;第二期工程主要包括北支渠二期工程、沿海支渠二期工程、东支渠扩建工程以及渠道电站的建设等工程。

2. 澳大利亚雪山调水工程

雪山调水工程是世界上最复杂的大型水电工程,也是澳大利亚最大的一项水利建设工程。1947年澳大利亚联邦政府、新南威尔士州政府和维多利亚州政府三方成立了专门委员会,专门研究综合开发利用雪山水资源的可能性,并

于 1948 年提出了雪山调水工程方案。1949 年,澳大利亚政府通过了《雪山水电法》,并随后组建了雪山水电管理局,负责该工程的建设。该工程位于澳大利亚大陆东南部,于 1949 年开工,1974 年工程全部建成运行,历时 25 年,当时的投资额为 8.2 亿美元。

雪山调水工程是在斯诺伊河及其支流上修建水库,拦蓄径流,通过自流和抽水经隧洞和明渠使南流入海的斯诺伊河水西调至墨累河,北调至马兰比吉河支流蒂默特河,发展下游的灌溉及城市供水,并利用两河在雪山地区不足 100km 范围内的 800m 落差,建梯级电站,达到调水与开发水电相结合的目的。

雪山调水工程共建大小水库 16 座,输水隧洞 135km,明渠 80km,水电站 7 座,泵站 1 座、规划年调水量 23.6 亿 m^3 ,其中调给马兰比吉河 13.8 亿 m^3 ,调给墨累河 9.8 亿 m^3 ,维多利亚州和新南威尔士州各得一半,并保证一定下泄水量,干旱期为南澳州供水,供水量由维多利亚州和新南威尔士州各负担一半。水电装机 375 万 kW,年发电量为 51.3 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,提供调峰用电,首先满足首都堪培拉用电需求,其次是新南威尔士州、维多利亚州和南澳州。

3. 以色列北水南调工程

北水南调工程,是以色列最大的水利工程项目,也是以色列中南部的供水命脉和生命线,亦称以色列国家输水工程,其目的是把北方较为丰富的水资源输送到干旱缺水的中南部地区。北水南调工程由以色列塔哈尔公司设计,由具有水资源开发利用和管理等行政职能的麦克洛公司负责建设和管理。以 1953 年开挖 6.5km 长的艾拉本隧洞为标志正式开工建设,1964 年建成并投入运行,前后历时 11 年,总投资约 1.47 亿美元。

北水南调工程首部建地下厂房,岩洞内安装三台水泵,从加利利湖抽水,每台泵抽水流量为 $6.75\text{m}^3/\text{s}$,总抽水能力 $20.25\text{m}^3/\text{s}$ 。工程设两级泵站,第一级提升 250m,第二级提升 150m;再经两道倒虹吸,第一道跨越 150m 深凹槽,第二道槽深 50m,输水隧洞总长 9.31km,明渠 33km。水在调节池经检测化验,沉沙灭菌消毒处理,达到饮用水标准后,输入内径 2.8m、长 77km 主干管道。调水管道向南到达 130km 处的特拉维夫东北部后,主干管分为东西两支继续向南延伸,直达内格夫沙漠。

至 20 世纪 80 年代末,北水南调工程输水管线南北已延长到约 300km,主干管采用 2.2~2.8m 的管径,沿途设多座泵站加压,并吸纳全国主要地表水和地下水源,同时向外辐射出供水管道,与各地区的供水管网相连通,形成全国统一调配的供水系统。至 80 年代后期,通过北水南调输配水系统年供水量达 12 亿 m^3 ,其中调到南部地区的水量达 5.0 亿多 m^3 ,高峰日供水 450 万 m^3 。

4. 印度萨尔达-萨哈亚克工程

印度萨尔达-萨哈亚克调水工程位于印度北方邦，于1968年开始建设，1982年全部竣工。它从发源于尼泊尔境内喜马拉雅山南麓的卡克拉河和萨尔达河取水并送水到恒西平原，供水渠长260km，设计流量 $650\text{m}^3/\text{s}$ ，灌溉面积约160万 hm^2 。

取水首部工程包括在两条河上各建一座由低拦河坝和进水闸组成的引水枢纽，同时在两河之间建一条连接渠，长14.5km，设计流量为 $480\text{m}^3/\text{s}$ ，用于从卡克拉河调水入萨尔达河。输水总干渠自萨尔达河引水，26~104km段为双线并行输水，其余均为单线输水，设计引水流量 $650\text{m}^3/\text{s}$ 。

总干渠共设节制闸4座，分水闸12座。为保证输水安全，每隔40~60km设退水闸一座，退水流量为相应总干渠设计流量的1/2。总干渠与现有河渠交叉处共设大型建筑物2座，其中渠渡槽1座、河涵洞1座。由于总干渠两侧村庄较稀疏，公路桥间距为2~4km。

5. 巴基斯坦西水东调工程

巴基斯坦西水东调工程是当今世界上调水规模最为宏大的工程，是从印度河及其支流杰赫勒姆河和杰纳布河（西三河）向拉维河、萨特莱杰河和比阿斯河（东三河）实施跨流域调水，解决东三河流域下游地区320万 hm^2 土地灌溉用水的一项工程。

西水东调工程主要由大型调蓄水库、控制性枢纽和输水渠道3部分组成。具体是在印度河干流和支流杰赫勒姆河上分别兴建了塔贝拉和曼格拉水库，总库容209.5亿 m^3 ；同时在各引水渠首和引水渠穿越河道处共建设6座控制枢纽；并从西水东调工程的3处引水口延伸出总长度为593km的8条输水渠道向下游自流引水。该工程于1960年开工建设，到1977年基本建成，工程资金投入大，仅曼格拉和塔贝拉两座大坝就花费了33亿美元。

西水东调工程的成功实施，进一步改善了巴基斯坦印度河平原的灌溉体系，有力地推动了东三河流域广大平原地区的农牧业和工业发展，并使巴基斯坦由原来的粮食进口国逐渐变成不仅粮食实现自给，而且每年还可以出口小麦150万t、大米120万t的国家。

1.2.3 国内典型的调水工程

我国水资源南多北少，水资源供应及当地降水形势与经济社会发展需求不同步，与人口、资源和生产力布局不相匹配。新中国成立以来，随着我国人口的快速增长，经济社会发展增速，许多地区水资源短缺矛盾日益加剧，我国陆续建设了一批跨流域调水工程。早期修建的调水工程大都分布在东南沿海和西

北地区,其中20世纪70年代以前修建的调水工程多以农业灌溉为主要目标。随着国民经济和社会的飞速发展,许多城市水资源相对稀缺程度加剧、水污染严重,后期规划建设的调水工程多以城市生活和工业用水为主,而且原来许多以农业灌溉为主的工程也逐步让位于城市供水。较为典型的主要有引滦入津、引大入秦、引黄入晋和引黄济青等调水工程。

1. 引滦入津工程

引滦入津工程是中国大型供水工程,将河北省境内的滦河水跨流域引入天津市,主要是为了解决天津市工业及生活用水问题。工程于1982年5月11日动工,1983年9月11日建成通水,总工期为16个月。

工程水源地位于河北省迁西县滦河中下游的潘家口水库,由潘家口水库放水,沿滦河入大黑汀水库调节。引滦工程总干渠的引水枢纽工程为引滦入津工程的起点,穿越分水岭之后,沿河北省遵化县境内的黎河进入天津市境内的于桥水库调蓄,再沿州河、蓟运河南下,进入专用输水明渠。分两路进入天津市:一路由明渠入北运河、海河,另一路由暗渠、暗管入水厂。输水总距离为234km,年输水量为10亿 m^3 ,最大输水能力为60~100 m^3/s 。

整个工程包括取水、输水、蓄水、净水、配水5个方面的工作,主要由引水枢纽、引水隧洞、河道整治工程、于桥水库、尔王庄水库、泵站、输水明渠及其渠系建筑物等215项工程组成。

2. 引大入秦工程

引大入秦工程是把甘肃、青海两省交界处的大通河水跨流域东调120km,引到兰州市以北60km处干旱缺水的秦王川盆地的一项大规模自流灌溉工程。工程于1976年开工建设,由于受建设资金和施工技术条件限制,于1980年停工缓建。1985年工程复工建设,1995年主体工程建成通水。

引大入秦工程包括渠首引水枢纽,总干渠,东一、二干渠,电灌分干渠,黑武分干渠,69条支渠及斗渠以下田间配套工程。干支渠长达1265km,其中总干渠、干渠、抽水分干渠合计总长205.7km。总干渠从天祝县境内的天堂寺渠首引水,全长87km。其中隧洞33座,总长75.14km。总干渠到香炉山后设总分水闸,将水分至东一、东二干渠经45条干渠流入灌区。东一干渠全长49.5km,设计引水流量为14 m^3/s ;东二干渠全长54.3km,设计引水流量为18 m^3/s ,加大流量为21.5 m^3/s 。

工程规划灌溉面积为5.87万 hm^2 ,工程总投资达22.69亿元。

3. 引黄入晋工程

引黄入晋工程位于山西西北部,从黄河干流的万家寨水库取水,分别向太原、大同、朔州3座城市和能源基地供水,年供水量12亿 m^3 。工程的任务是

解决山西省水资源紧缺和能源基地建设用水及部分城市居民的生活用水。

引黄入晋工程的水源工程为万家寨水利枢纽，工程由总干线和向大同、朔州两市供水的北干线以及向太原市供水的南干线和连接段组成。引水线路总长 449.8km，工程分两期实施：一期工程自 1993 年至 2002 年，建成输水线路全长 285.6km，经总干线、南干线及连接段实现向太原年引水 3.2 亿 m^3 ；二期工程自 2002 年至 2011 年 9 月建成，经总干线、北干线向朔州、大同年供水 5.6 亿 m^3 ，向太原年供水 6.4 亿 m^3 。

4. 引黄济青工程

引黄济青工程是山东省 20 世纪 80 年代兴建的一项大型跨流域调水工程，目的是解决青岛市及工程沿线地区水资源供需矛盾。1984 年 9 月，引黄济青工程可行性研究报告获得论证通过，1985 年 10 月国家计委批准了工程设计任务书，1986 年 1 月山东省人民政府会同水电部、建设部审查批准了初步设计。1986 年 4 月 15 日正式开工，1989 年 11 月 25 日全线通水。

引黄济青工程自博兴县打渔张引黄闸取黄河水，经沉砂池后进入引黄济青输水干渠。干渠经博兴、广饶、寿光、寒亭、昌邑、高密、平度、胶州、即墨 9 个县（市、区），到达终点棘洪滩水库，工程全长 275km。

输水干线沿途共穿越天然河沟 90 余条，为防止污染均采用立交方式。渠道倒虹吸 34 座，总长 5356m；输水河渡槽 2 座，总长 160m。穿过总干渠的河道倒虹吸 51 座，排水及灌溉渡槽 13 座，铁路桥 2 座，公路桥 28 座，生产桥 165 座。沿线共有水闸 64 座，涵洞 20 座。

1.2.4 调水工程施工技术

跨流域调水指修建跨越两个或两个以上流域的引水（调水）工程，将水资源较丰富流域的水调到水资源紧缺的流域，以达到调剂地区间水量盈亏，解决缺水地区水资源需求的一种重要措施。其工程建设涉及的技术范围广，且要求高。渠道系统工程主要的施工技术有：TBM 技术、预应力混凝土桥梁施工技术、大体积混凝土施工技术和渠道衬砌关键技术等。

1. TBM 施工技术

TBM（Tunnel Boring Machine）是目前国际上最先进的隧洞施工机械，它依靠机械的强大推力和剪切力破碎岩石，使隧洞掘进、出渣、衬砌、灌浆等工序平行作业，实现一次成洞。其工作原理如下：

1) 开挖原理 在推力作用下，安装在刀盘上的盘形滚刀紧压岩面，随着刀盘的旋转，盘形滚刀在绕刀盘中心轴公转的同时绕自身轴线自转，在刀盘强大的推力、扭矩作用下，滚刀在掌子面固定的同心圆切缝上滚动，当推力超过

岩石的抗压强度时, 盘形滚刀下的岩石直接破碎, 盘形滚刀贯入岩石, 掌子面被盘形滚刀挤压碎裂而形成多道同心圆沟槽, 随着沟槽深度的增加, 岩体表面裂纹加深扩大, 当超过岩石的剪切强度和拉伸强度时, 相邻同心圆沟槽间的岩石成片剥落。

在掘进时, 支撑系统把 TBM 主机牢固地锁定在开挖的隧洞洞壁上, 承受刀盘扭矩和推进的反力。推进油缸以支撑系统为支点, 把推力施加给刀盘, 推动刀盘破岩掘进。崩落在隧洞底部的岩渣被随刀盘旋转的均布在刀盘上的铲斗、刮板收集到主机内的皮带机上, 通过主机皮带机转载至后配套皮带机, 利用编组列车运送出洞。

2) 单护盾模式掘进原理 TBM 在软弱围岩地层中掘进时, 支撑系统与主推进系统不再使用, 伸缩护盾处于收缩位置。刀盘掘进时的反扭矩由盾壳与围岩的摩擦力提供, 刀盘的推力由辅助推进油缸支撑在管片上提供, TBM 掘进与管片安装不能同步。此时 TBM 作业循环为: 掘进—辅助油缸回收—安装管片—再掘进。

3) 双护盾模式掘进原理 TBM 在围岩稳定性较好的地层中掘进时, 撑靴紧撑洞壁为主推进油缸提供反力使 TBM 向前推进, 刀盘的反扭矩由两个位于支撑后的反扭矩油缸提供, 掘进与管片安装同步进行。此时 TBM 作业循环为: 掘进与安装管片—撑靴收回换步—再支撑—再掘进与安装管片。

TBM 具有速度快、质量优、费用低、施工安全等优点。随着科学技术的发展, TBM 的类型不断增多、适用范围不断扩大, 从微型隧道到巨型隧道, 从松散软土到淤泥极坚硬的岩石都可应用, 并且适用的地质条件也更为复杂, 详见表 1-1。

2. 预应力混凝土桥梁施工技术

预应力混凝土连续梁桥常用的施工方法主要有两大类: 一是现场浇筑, 二是预制拼装。现场浇筑施工又分为原位逐孔现浇和悬臂现浇, 其中逐孔现浇又分为落地支架法和滑模或移动模架现浇两种。预制拼装分为整孔预制拼装和节段预制拼装, 整孔拼装是指梁段整孔预制, 整体吊装; 节段预制拼装是指预制节段逐段拼装, 梁段间采用湿接缝或胶接缝连接。

移动模架法是利用施工设备在桥位上现浇来进行逐孔施工, 周期循环, 直到全部完成, 多用于桥下通航或者桥下存在的既有交通不能中断的情况下。悬臂浇筑法采用移动式挂篮作为主要施工机具, 以桥墩为中心, 对称向两侧逐段浇筑梁段混凝土, 待混凝土达到要求强度后, 张拉预应力束, 再移动挂篮, 进行下一节段的施工。转体施工法是异位现浇施工的延续, 是在非桥梁设计轴线位置现浇完成后转体到桥轴线位置的一种施工方法。顶推施工法是预制拼装施