

南水北调西线工程 地质条件研究

王学潮 陈书涛 张辉 等编著



黄河水利出版社

86.8479
125

南水北调西线工程地质条件研究

王学潮 陈书涛 张 辉 等编著

黄 河 水 利 出 版 社

内 容 提 要

本书共分九章,探讨了西线调水区区域地质背景、引水方案工程地质条件、存在的主要工程地质问题、引水方案综合比较等重大问题,从区域地质、水文地质、岸坡稳定、断裂活动性、地震活动、冻土冻害、深埋长隧洞的主要地质问题等方面阐述了工程区的工程地质特征,进行了调水区的区域稳定性评价。书中还对通天河、雅砻江、大渡河三条引水河段的工程地质条件进行了论述。

本书可供从事工程地质、规划、设计等工作的工程技术人员使用,也可作为有关科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

南水北调西线工程地质条件研究 / 王学潮等编著.
郑州:黄河水利出版社, 2005.6
ISBN 7-80621-778-9

I.南… II.王… III.南水北调-水利工程-工程
地质条件-研究-中国 IV.P642.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 035606 号

策划组稿:王路平 ☎ 0371-66022212 E-mail: wlp@yrp.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1 / 16

印张:25.5

彩插:2

字数:600 千字

印数:1—1 100

版次:2005 年 6 月第 1 版

印次:2005 年 6 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-778-9 / P·36

定价:90.00 元

序 一

南水北调西线工程是从长江上游干、支流调水入黄河上游的跨流域重大调水工程,是补充黄河水资源不足、解决我国西北地区干旱缺水状况的重大战略举措,被誉为中国 21 世纪的战略工程。该工程的实施必将为我国西部的长远发展奠定坚实的水资源基础。

由于各种原因,该地区工程地质综合研究程度一直较低,而这一地区又是我国地质条件最为复杂的地区之一。为建设好南水北调西线工程,从面上讲,首先应加强该地区区域地壳稳定性研究,以选择相对稳定的“地块”进行水利工程建筑物(大坝、引水隧洞等)布置。这一问题对于西线工程来讲,是一个影响全局的战略性问题,在工程的可行性研究阶段首先应该解决好。就工程本身而言,对于规划的引水线路,无论是抽水方案还是自流方案,都不可能完全避开活动断裂的影响,显然,应加强西线调水区主要发震断裂在工程寿命期内的可能活动性及活动特征(包括活动分段性、活动方式、活动周期及活动速率等)等内容研究。再就是优化引水线路,选择不会发生突发性位错的区域作为引水隧洞工程布置区,同时尽可能地将引水隧洞布置在地层岩性条件相对较好的地区。在青藏高原地区进行水利水电工程建设,冻土的影响是不容忽视的,特别是冻土对大坝坝基、库岸边坡、引水明渠的影响甚大。这也是在这类地区进行前期工程地质勘察所必须考虑和解决的重要工程地质问题。根据调水区工程规划,大渡河、雅砻江和通天河的调水方案均采用长隧洞穿越长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山,隧洞长度都在几十公里以上,穿越的地层岩性以及地质构造复杂,深埋长隧洞的施工可能会遇到诸如涌水、岩爆、高地应力、高地温等问题。除了这些常见的工程地质问题外,对于南水北调西线工程这种人类迄今为止还未遇到过的规模如此宏大、地质条件如此复杂、涉及面如此之广的调水工程,我们可能还会遇到一些其他的工程地质问题 and 环境地质问题。因此,对调水区的工程地质条件和工程地质问题及早进行研究,无论是对西线工程本身的实施,还是对我国地学研究,都是一件非常有意义的事情。

王学潮等同志系统地总结了多年来在南水北调西线工程地区从事工程地质勘测和科研的成果,并吸纳了前人的有关资料,编写成内容丰富、很有研究深度的《南水北调西线工程地质条件研究》一书。该书的主要特点是科研与生产紧密结合,对工程区的断裂活动性和冻土灾害这两大工程地质问题有详细论述,并对各调水方案可能遇到的主要工程地质问题进行了研究。它是迄今为止对南水北调西线地区内容最为全面的区域地质调查研究成果,不仅对南水北调西线调水工程的规划、建设有重要的实用价值,对广大工程区内的其他工程开发建设和区域性工程地质、环境地质研究也有参考价值。尽管本书在一些工程地质问题的研究方面还需要进一步深化和完善,但相信该书的出版、发行对有志于西线工程地质研究的同志会起到很好的帮助。

众所周知,在青藏高原从事工程地质勘察是十分艰苦的劳动,加之调水区地质工作点多、线长、面广和地质条件复杂,隧洞埋深大,传统的地质勘察手段面临着很大的挑

战。因此，建议有针对性地开展适合南水北调西线工程的地质勘察方法的探索研究，进一步推广应用新技术、新方法和新理论，用新的思维和新的手段研究探索工程中遇到的新问题。希望通过南水北调西线工程地质勘察工作的进一步开展，研究探索出在如此复杂的自然条件下进行大规模跨流域调水工程地质勘察的新方法和新途径。

中国工程院院士 刘广均

2005年5月

序 二

跨流域调水是实现水资源在一个国家或一个特定区域内优化配置的重要手段,世界各国尤其是一些发达国家普遍采用了这一手段。截至 20 世纪末,世界上先后有 20 多个国家实施了跨流域调水工程。从 20 世纪 50 年代开始,我国的水利工作者对南水北调工程进行了研究,目前已形成了东、中、西三条线路,并与长江、淮河、黄河、海河四大流域相互连接,构成了我国水资源开发、配置、利用“四横三纵”的总体战略格局。

与东线和中线相比,西线调水区域海拔为 3 000 ~ 4 500 m,高寒缺氧,交通不便,工作条件非常艰苦。50 年来,黄河水利委员会从事西线调水的研究工作,范围达 115 万 km^2 。为了描绘江、河携手的宏伟蓝图,一代又一代黄河人前赴后继,克服许多难以想像的困难,在上百次的勘察中,取得了大量地形地质、水文气象、自然环境、经济社会等方面的宝贵资料,为西线调水工程的规划研究奠定了良好的基础。

南水北调西线工程区的地质条件极其复杂。调水工程区多为陡倾岩层,地层褶皱非常强烈,北西—南东向断裂构造较为发育,其中部分为活动断裂。整个工程区位于可可西里—金沙江强地震带内。工程区多年冻土和季节性冻土普遍存在,冻土的土力学特性直接影响到水工建筑物的安全与稳定。这些不利的地质条件将会给调水工程带来一系列棘手的问题,如调水线路穿越活断层的处理问题、隧洞进出口的高边坡稳定问题、深埋长隧洞的高地应力和高地温问题等。此外,西线工程区的岸坡失稳变形问题也不容忽视,特别是对于工程区内的峡谷型库区,若发生岸坡大范围失稳破坏,极有可能在坝址上游库腰段造成阻塞,一旦阻塞出现“垮坝”,将会对其下游水工建筑物造成毁灭性破坏。

王学潮等同志撰写的《南水北调西线工程地质条件研究》系统评价了西线工程区的地质条件,回答了人们普遍关心的影响西线调水工程的有关地质问题,特别是提出了一些深埋长隧洞工程值得重视的地质问题,如高地温、高压涌水、高地应力和岩爆问题,以及断层带涌水、碎屑流及软岩问题等。这些意见将对西线工程的可行性论证提供有益的帮助。

相信此书的出版将对西线调水工程下一步的地质勘察以及有关科研工作的开展起到积极的推动作用。

水利部黄河水利委员会主任

李国英

2005 年 5 月

前 言

黄河是我国西北和华北地区的重要水源。由于水量贫乏,黄河下游河段连续多年出现断流。随着我国国民经济的发展,用水量不断增加,黄河水资源的供需矛盾日益尖锐,已成为制约国民经济发展的重要因素。据预测,正常来水年份在充分节水的前提下,至2010年黄河流域缺水达40多亿 m^3 ,至2030年缺水将达110亿 m^3 ,全面节水也难以解决这一严重的缺水局面。因此,解决问题的根本出路是跨流域调水,建设南水北调西线工程(以下简称西线工程),以丰补欠,调水补源。

西线工程是从长江上游干、支流调水入黄河上游的跨流域调水重大工程,是补充黄河水资源的不足、解决我国西北地区干旱缺水的重大战略措施,对加快我国西部的资源开发,逐步缩小东西部差距,加强民族团结,保障社会稳定,推动我国经济可持续发展,实现我国西部大开发的战略目标等具有非常重要的意义。西线工程的主要目标是解决西北地区的缺水问题,同时促进黄河的治理开发,必要时相机向黄河下游供水,缓解黄河下游断流等生态环境问题。供水范围主要是青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西六省(区),以及黄河上中游地区和渭河关中平原。随着西北地区经济建设速度的逐步加快和黄河上中游支流开发和集雨工程的发展,将进一步加大支流的用水,减少黄河干流的水量。西线工程除补充这部分水量外,还可解决干流扬黄、自流引黄、黄河冲沙和生态用水。供水对象主要是生态环境,同时兼顾农业灌溉用水。但是,鉴于黄河流域的缺水情况和我国经济的承受能力,西线调水工程宜由小到大、先易后难、分期开发、逐步扩展。

西线工程位于青藏高原东北部,调水区范围在北纬 $31^{\circ}20'$ ~ $35^{\circ}20'$ 、东经 $95^{\circ}00'$ ~ $102^{\circ}30'$ 之间,西起长江源头,东至若尔盖,南抵甘孜、德格,北界花石峡、黄河,主要涉及四川省甘孜、阿坝藏族自治州以及青海省果洛、玉树藏族自治州和甘肃省玛曲县,面积约30万 km^2 。调水区海拔一般在3000~4500m之间,受高海拔、深切割、大起伏复杂地形的影响,空气稀薄缺氧,空气中的含氧量相当于海平面的60%~72%,气压低,地面气压为600~700hPa;降雨量少而不均,气温低,日温差大,年平均气温 $-4.9\sim 3.3^{\circ}\text{C}$ 。该区人口92%是藏族,余为汉、回、蒙、羌等民族,人口平均密度为1.7人/ km^2 ,玛多、曲麻莱两县仅为0.35人/ km^2 。区内没有大型工矿业,仅在部分县城有一些小型水电站、机械修配厂及畜产品和木材加工厂。该区牧业、水力、渔业及砂金资源较为丰富,其中水力、渔业资源尚待开发。

调水区地域广阔,公路密度小,交通运输不便。区内干线公路主要有西宁—玉树的西玉公路(214国道)、成都—马尔康—甘孜的317国道,四川和青海之间的省际公路即成都—康定—石渠—歇武公路和成都—阿坝—达日—花石峡公路均与西玉公路相接,各州县之间均有公路相连。从上述干线公路至部分引水枢纽有季节性便道,可勉强通行汽车,大部分调水线路区由于山高谷深、河流纵横、湖沼遍布而不通汽车,主要靠牦牛和

马匹运输。

从 1952 年水利部黄河水利委员会(以下简称黄委)首次组织查勘通天河引水线路到现在,西部调水研究工作已断续进行了 50 多年。1987 年以前,在黄委、中国科学院等有关单位组织的历次大规模考察活动中,研究范围涉及东至四川盆地西部边沿、西达黄河长江源头河段、南抵云南石鼓、北到甘肃定西,面积约 115 万 km^2 ,研究的引水河流有怒江、澜沧江、金沙江、通天河、雅砻江、大渡河、岷江、涪江、白龙江等,提出了从怒江、澜沧江、通天河、大渡河等河流年调水 220 亿~1 400 亿 m^3 的宏伟设想,研究的引水方案上线有通天河—卡日曲线路,下线布设在西藏沙布—金沙江虎跳峡—大渡河康定—岷江茂汶—甘肃定西一线,在上、下线之间比较了大量的方案。通过这些考察和各种方案的优化比选,对西部调水的宏伟设想逐步有了明晰的思路,对工程的总体布局有了全面的认识,对工程的复杂性和艰巨性也有了深刻的体验。通过对数条引水线路的分析、对比、优化,逐渐形成了现在的自长江干、支流通天河、雅砻江、大渡河三条河上游引水至黄河上游的三大引水线路格局。

目前,西线工程的总体布局已基本形成,并按照“由近及远、从小到大、先易后难、分期建设”的规划思路开展工程的前期工作。但由于工程区地层岩性单一,主要为一套厚层的碎屑岩建造,无稳定明显的标志层,地表被大面积草甸土层覆盖,基岩裸露差,给整个野外地质勘察和研究工作带来了很大困难。同时,调水区自然环境恶劣,交通不便,国土资源尚未进行大规模的开发,经济落后,基础地质工作薄弱,工程地质研究程度总体上比较低。过去主要的研究工作基础有五个方面。

(1) 区域地质方面。

20 世纪 60 年代,青海和四川两省地矿部门在该区开展了区域地质调查,编制有 1:100 万、1:50 万的地质图和构造体系图等图件。1:20 万区域地质调查始于 20 世纪 70 年代,至 1992 年调水区所有 1:20 万图幅的区调工作全部结束。上述区调报告和系列图件对该区的地层岩性、地质构造等作了合理的划分和阐述,是调水区工程地质勘察研究的基础。1989 年,根据国家计委的要求,青海省地矿局承担了“南水北调西线工程超前期工作区域工程地质及区域稳定性评价”任务。通过艰苦的野外调查和专题研究,获得了丰富的地壳演化、构造地球物理、地应力、地质构造现代活动性等方面的资料,于 1994 年提交了《南水北调西线工程区域工程地质及区域稳定性评价报告》及配套的 1:50 万“区域地质构造图”、“区域稳定性评价图”等图件。这些成果通过对构造应力场特征、现代地壳活动性等,特别是对断层活动性进行了深入的分析研究,对区域稳定性作出了综合评价,为调水工程规划提供了科学依据。

(2) 水文地质方面。

20 世纪 80 年代初期,中国人民解放军某部出版了石渠地区、色达—壤塘地区、红原地区 1:50 万区域水文地质普查报告。1987~1992 年,为配合西线调水规划研究,青海省地矿局相继完成了 1:20 万扎陵湖幅、达日幅、称多幅、玛多幅区域水文地质普查和东风幅、主峰幅、麻多幅简易水文地质工程地质调查任务。此外,地矿部 906 队于 1988 年出版了 1:100 万玉树幅区域水文地质普查报告。西线调水区水文地质研究程度总体上还很低,大部分仍是空白区。

(3) 地震地质和活断层研究方面。

1971 年兰州地震大队、1980 年兰州地震研究所和青海省地震局分别对青海托索湖(冬给措纳湖)地区 1971 年、1963 年、1937 年三次大地震进行了地震形变带及强震构造背景考察。1980 年兰州地震研究所和青海地震局、1983 年青海地震局分别对青海省达日县 1947 年 7.75 级地震进行了宏观考察。1990 年国家地震局承担了南水北调西线调水区区域地震烈度区划图(1:50 万)任务,于 1994 年提交了《南水北调西线工程地震烈度区划工作报告》,并编制了 1:50 万地震烈度区划图(50 年超越概率为 10%)。

2001~2003 年,国家地震局、中国科学院地质与地球物理研究所和遥感应用研究所联合进行了调水区活动断层的遥感解译、验证和现场考察等工作,提出相应的研究报告。对调水区发育的主要活动断层的展布特征、活动时代、断层的滑动方式、最大的潜在位移量等进行了深入研究,并对断层活动性进行了综合定量评价。

(4) 冻土方面。

1988~1990 年中国科学院兰州冰川冻土研究所承担了西线工程雅砻江调水区长须一达日抽水线路的工程地质勘察任务,对线路区的冻土分布和特征进行了重点调查和研究。1993 年黄委勘测规划设计研究院又与该所合作,采用遥感技术,结合野外调绘和验证,于 1994 年完成了《西线工程通天河—雅砻江调水区冻土遥感调查研究》。

(5) 工程地质方面。

1979 年、1981 年黄委勘测规划设计研究院在多次实地考察的基础上分别提交了《通天河至黄河源地区南水北调地质查勘报告》、《西线南水北调工程通天河、雅砻江、大渡河至黄河上游地区地质查勘报告》及《西线南水北调工程通天河、雅砻江、大渡河至黄河上游地区引水线路查勘报告》。1989 年青海省地矿局提交了《南水北调西线工程环境地质初步论证报告》和 1:100 万系列地质图。

1988~1996 年,根据国家计委的要求,黄委勘测规划设计研究院在西线调水区开展了全面系统的工程地质勘察工作,其中 1988~1990 年,开展了雅砻江调水方案引水河段、枢纽和引水线路地区的工程地质勘察,1990 年完成了《雅砻江调水区工程地质勘察报告》。这些报告从调水区宏观区域地质环境到引水枢纽和引水线路等主要工程地质条件,均作了较好的论证。1991~1994 年,又相继开展了通天河、大渡河调水方案引水河段、枢纽及引水线路的工程地质勘察工作,并完成相应的单项勘察报告。1994~1996 年,在综合分析上述勘察成果和研究资料的基础上,编写了《南水北调西线工程规划研究阶段工程地质勘察报告》。

1997~2000 年,黄委勘测规划设计研究院对整个西线调水区的工程地质条件又进行了大规模的勘察和研究,编写了《南水北调西线工程规划阶段工程地质勘察报告》,对西线调水区的地质条件进行了系统的评价和研究。

在地域辽阔、地形地貌及地质条件十分复杂和基础地质研究极为薄弱的条件下,在低气压、低气温、空气稀薄和缺氧的高海拔环境中,广大科研工作者开展了大量艰苦细致的野外考察工作,克服了生活和生理上诸多困难,取得了大量第一手资料和研究成果。本书就是在上述区域地质、区域稳定性、水文地质、冻土、地震地质、活动断层等调查成果或专题报告的基础上,从不同侧面对调水区的区域地质条件作了系统分析和论述,

是参加过西线工程的科研和生产人员集体智慧的结晶。先后参加过西线工程勘察和研究工作的主要人员有：潘伯敏、高广礼、齐宝庆、马昕、张启富、李金都、叶世强、王学潮、陈书涛、张辉、秦建普、李今朝、李林民、戴其祥、吴伟功、肖扬、符新阁、史明华、付友苏、刘振红、石守亮、杨金魁、杨伟、吴祖国、赵自强、屈龙、孙万里、孟令超、陈东亮、陈兴亮、凌霄、范雪宁、宋爱华、刘杰、张金炳、孙树林、石昆法、郭启良、伍法权、张裕明、汪良谋、董瑞树、向宏发、冉永康、沈军、王峰、于泳、马文涛、魏永明、魏成阶、蔺启中、李海波、曾群柱、李书德、王绍令、梁凤仙、张长庆、张以第、施希德、俞洪新、李长辉、张守智、张举贤、蔡少峰等。他们对本书的完成付出了辛勤的劳动，书中引用了有关单位未发表的资料和成果，在此一并表示感谢。

本书编写人员分工为：第一章第一节由屠晓峰、崔荃、王学潮同志编写，第一章第二节由王学潮、杨金魁同志编写；第二章第一节由王学潮、李今朝同志编写，第二章第二节由王学潮、秦建普同志编写，第二章第三节由刘振红、王学潮同志编写，第二章第四节由陈书涛、张辉同志编写；第三章由王学潮、张辉、刘振红同志编写；第四章由王学潮、张辉、李金都同志编写；第五章第一节、第二节、第四节由石守亮、王学潮同志编写，第五章第三节由王学潮、刘振红同志编写，第五章第五节、第六节由陈书涛同志编写；第六章第一节、第二节由赵自强、王学潮同志编写，第六章第三节由王学潮、张辉同志编写，第七章第一节、第二节由陈书涛、张辉、秦建普同志编写；第八章第一节由刘振红同志编写，第八章第二节由石守亮同志编写，第八章第三节由张辉、刘振红同志编写，第八章第四节由张辉、秦建普同志编写，第八章第五节、第六节由陈书涛、张辉、秦建普同志编写；第九章由王学潮、陈书涛、张辉同志编写；南水北调西线工程大事记由谈英武同志编写；杨伟、齐菊梅、黄建都等参加了本书的编写工作。本书由王学潮同志统一定稿。

感谢中国工程院院士刘广润教授、水利部黄河水利委员会主任李国英同志为本书作序，感谢李清波教授级高级工程师为本书的顺利出版提供的大力支持。由于水平有限，书中肯定有很多缺点甚至错误，欢迎读者提出批评意见。

作者

2005年5月

目 录

序 一	刘广润
序 二	李国英
前 言	
第一章 南水北调西线工程及地理条件	(1)
第一节 南水北调西线工程概况	(1)
第二节 西线工程的自然地理条件	(12)
第二章 区域地质条件	(20)
第一节 地壳结构与大地构造特征	(20)
第二节 地层与岩浆岩	(37)
第三节 应力场特征	(50)
第四节 水文地质条件	(63)
第三章 冻土冻害与外动力地质现象	(73)
第一节 冻土的分布及类型	(73)
第二节 调水区冰缘地貌	(81)
第三节 冻土构造和工程地质特性	(84)
第四节 冻土的形成和冻害对调水工程的影响	(89)
第五节 外动力地质现象	(93)
第四章 断层活动性研究	(105)
第一节 活动断层及遥感解译	(105)
第二节 断层活动性评价	(110)
第三节 南北向横向构造	(140)
第四节 断层位移随深度变化的数学模拟试验研究	(145)
第五节 断层活动规律及工程效应	(150)
第五章 地震活动特征	(166)
第一节 区域地震活动特征	(166)
第二节 地震活动趋势和潜在震源区研究	(182)
第三节 达日地震活动研究	(195)
第四节 地震危险性分析	(202)
第五节 影响区域稳定性的地质因素	(210)
第六节 区域稳定性综合评价	(221)
第六章 深埋长隧洞地质勘察与问题分析	(240)
第一节 深埋长隧洞工程勘察阶段	(240)
第二节 深埋长隧洞关键地质问题勘察	(248)

第三节 西线工程深埋长隧洞主要地质问题	(255)
第七章 通天河、雅砻江调水方案工程地质条件	(267)
第一节 通天河调水方案工程地质条件	(267)
第二节 雅砻江调水方案工程地质条件	(286)
第八章 大渡河调水方案工程地质条件	(314)
第一节 达曲引水河段地质条件	(314)
第二节 泥曲引水河段地质条件	(333)
第三节 杜柯河引水河段地质条件	(351)
第四节 玛柯河引水河段地质条件	(362)
第五节 阿柯河引水河段和自流线路区地质条件	(370)
第六节 斜尔尕—贾曲抽水方案	(376)
第九章 结 论	(382)
附录 南水北调西线工程大事记	(388)
参考文献	(390)
主要参考资料	(393)
附图 1 黄委 1958 ~ 1961 年西部调水线路示意图	
附图 2 南水北调西线工程引水河段图	
附图 3 南水北调西线工程代表性方案示意图	
附图 4 南水北调西线工程第一期工程布局图	

第一章 南水北调西线工程及地理条件

第一节 南水北调西线工程概况

我国的水土资源分布严重不平衡,南方水多地少,北方水少地多。南方各流域水资源总量占全国的 81%,耕地只占全国的 36%;北方各流域水资源总量只占全国的 19%,而耕地却占全国的 64%。随着社会和国民经济的发展,北方地区缺水问题日趋突出,并严重制约了国民经济的发展。

黄河,作为我国西北、华北地区重要的供水水源,以其占全国河川径流量 2%的有限水源,承担着本流域和下游引黄灌区占全国 15%的耕地面积和 12%的人口及 50 多座大、中城市的供水任务,同时还负有向流域外部分地区远距离调水的任务。目前,黄河供水区年均耗用黄河河川径流量约 307 亿 m^3 ,其中流域外耗用 106 亿 m^3 。黄河供水范围和供水人口已经超过了黄河水资源的承载能力,下游河段频繁断流就是黄河水资源供需失衡的集中表现。

将黄河以南的长江水系的水通过水利工程调入黄河以及黄河以北地区,称为南水北调工程。南水北调工程就是针对我国水资源在空间上(地区间)与时间上(年、季间)天然分布和分配的极端不均性而规划的全国水资源统一调配的基础水利工程,即在空间上从有余水的地区向缺水的地区调水,在时间上则是对水资源的调蓄,进而进行不同流域之间的水资源的人工再分配,以满足地区间经济发展对水资源的需求,克服我国水资源分布与分配的时、空不均性;同时,亦要通过水资源的再分配来解决国土整治和开发中区域水资源的供需矛盾。从地理区域的位置出发,将我国西部地区长江上游的干流和支流的多余水量调入黄河的水利工程,称为南水北调西线工程(简称西线工程);与此对应,我国目前规划的跨流域调水工程还有南水北调中线工程、南水北调东线工程。

西线工程是从长江上游干、支流调水到黄河上游的一项跨流域的重大水利和环境保护工程。为了适应黄河流域经济社会发展的需要,实施西部大开发战略,改善生态环境,解决黄河水资源不足的问题,在大力节水、合理利用水资源的同时,实施从邻近水资源丰沛的长江上游干、支流调水到黄河上游的西线工程势在必行。西线工程是补充黄河水资源不足,解决我国西北地区干旱缺水问题的重大战略措施,是西部大开发的重大基础设施;以水资源的可持续利用,支撑西北地区经济社会的可持续发展;也是为黄河流域和邻近的河西走廊等地区生态环境改善提供水源保证的重要途径。西线工程也与黄河治理开发关系密切,利用一部分水量供给黄河中游水沙调控体系,为水库塑造理想人工水沙过程产生积极作用,从而为黄河河道的减淤冲刷,遏制河道泥沙的不断淤高创造条件;还可以从根本上解决黄河下游断流问题。同时,长江、淮河、黄河、海河和南水北调西、中、东线三项工程组成“四横三纵”的南水北调工程总体格局,形成水资源网络,优化水资源配置,可缓解我国北方地区严重缺水的形势。

一、南水北调工程的提出和研究过程

根据我国地理位置和南方水多、北方水少的水资源分布特点,早在新中国成立初期,水利部黄河水利委员会(以下简称黄委)就提出了从长江水系引水到西北地区和华北地区的调水设想。

1952年黄委组织查勘了从长江上游的通天河引水入黄河的调水线路。同年10月,毛泽东同志视察黄河听取黄委主任王化云同志关于引江入黄的查勘情况汇报时说:“南方水多,北方水少,如有可能,借点水来也是可以的。”这一讲话成为日后众多文献的引用经典。

1954年,在水利部黄河规划委员会编制的《黄河综合利用规划技术经济报告》第一卷第六章第七节“其他河流引水”中明确提出从通天河、汉水引水到黄河的可能性和设想。

1956年,北京电力设计院编写了《桃花峪—北京输水线路总干渠初步规划要点》,提出了长距离南水北调的方案。1955~1957年间,治淮规划中提出并开始研究引江、引汉等多种方案。长江流域规划办公室(以下简称长办)在1953年开始了南水北调中线黄河以南河段的综合考察与查勘,1956年研究长江中、下游两条引水线路的战略布局,编写有《引江济黄济淮规划意见》,其中主要成果编入1958年制定的《长江流域综合规划要点报告》。1958年黄委勘测规划设计院也派人进行中线丹江口至郑州段查勘,编写有《引汉济黄线路查勘报告》;同时,还进行了黄河至北京、北京至秦皇岛段的引水线路查勘,并分别编写有查勘报告。

1958年3月,毛泽东同志在中共中央召开的成都会议上,听取长办工作汇报时,再次提出引江、引汉济黄和引黄济卫问题。

1958年8月,中共中央在北戴河召开的政治局扩大会议上,通过并发出了《关于水利工作的指示》,指出:“除了各地区进行的规划工作外,全国范围的较长远的水利规划,首先是以南水(主要指长江的水系)北调为主要目的,即将江、淮、河、汉、海各流域联系为统一的水利系统规划……和将松辽各流域联系为统一的水利系统规划,应即加速制订。”这是“南水北调”一词第一次出现在中央正式文献中。

1958~1960年,中共中央先后召开了四次全国性南水北调会议,制订了1960~1963年南水北调工作计划,提出在3年内完成南水北调工程初步规划要点报告的目标。

1978年9月,中共中央政治局常委陈云同志就南水北调问题专门写信给原水电部部长钱正英同志,建议广泛征求意见,完善规划方案,把南水北调工作做得更好。同年10月,原水电部发出了《关于加强南水北调规划工作的通知》。1978年五届全国人大一次会议上通过的《政府工作报告》中也正式提出,“兴建把长江水引到黄河以北的南水北调工程”。

1979年12月,原水电部正式成立了部属的南水北调规划办公室,根据水电部文件的要求,“南水北调规划工作按西线、中线、东线三项工程分别进行。西线规划由黄河水利委员会负责,并与其他各部门及有关省、市、自治区积极协作配合,作出调水工程的综合规划。”

二、西线工程研究概况

西线调水工程研究工作自 1952 年起至今已 50 余年,不同时期的调水方案体现了不同时期的鲜明特点。按照研究的时间和内容大体可分为五个阶段:

(1) 20 世纪 50 年代初的初步探讨阶段。

(2) 20 世纪 50 年代末~60 年代初的大规模大范围初步调查研究阶段。

(3) 20 世纪 70 年代~80 年代的总结分析和集中研究通天河、雅砻江、大渡河三条河调水阶段。

(4) 1987~2000 年的超前期规划研究和规划阶段。

(5) 2001 年至今的项目建议书阶段。

(一) 第一阶段(20 世纪 50 年代初)

1952 年 8 月,黄委组织查勘了从长江上游通天河引水入黄的线路,编写有《黄河源及通天河引水入黄查勘报告》。在这一阶段,曾多次对通天河及引水坝址进行查勘,对引水线路也进行过大范围的研究。研究的引水坝址上至楚玛尔河以上的告滴沟、路马日,下至金沙江的石鼓。以上线路的范围从青海的柴达木盆地到甘肃兰州以东的定西。调水河流不仅仅为通天河,而且涉及到澜沧江和怒江。

由于受当时的各种因素及条件所限,提出的各项技术指标和实施时机不太现实,超出了当时的科技发展水平。但这一阶段提出的从通天河引水到黄河的主体设想,到目前仍然是西线工程总体规划的基础。

(二) 第二阶段(20 世纪 50 年代末~60 年代初)

1958~1963 年,中共中央先后召开了四次全国性南水北调会议,制订了 1960~1963 年间南水北调工作计划,提出 3 年内完成南水北调初步规划要点报告的目标。

1959 年 2 月,中国科学院、原水电部在北京召开了“西北地区南水北调考察研究工作会议”,确定的南水北调指导方针是“蓄调兼施、综合利用、统筹兼顾、南北两利、以有济无、以多补少、水尽其用、地尽其利”。同时,确定西线调水工程的查勘工作以黄委为主,包括引水地区、引水线路的勘测,综合考察以中国科学院为主,科学研究问题由水利部水电科学院负责。中国科学院和原水电部共同组织了统一的南水北调研究组,参加单位除中科院以及水电部直属有关局、院和科研、勘测、设计部门外,还有北京电力设计院、长办、黄委、昆明电力设计院、西北电力设计院、成都电力设计院、清华大学、武汉大学、华东水利学院、南京大学等,长江以北除东北三省以外的 14 个省(市、自治区)的水利部门也派人参加,开展了大规模的南水北调综合考察工作。

黄委于 1958~1960 年组建了金沙江引水查勘队和 3 个勘测设计工作队,共计 400 多人,担负西部地区南水北调查勘任务。查勘范围东至四川盆地西部边缘,西达金沙江岗托,南抵四川西昌,北到甘肃定西、天水。先后编写有《金沙江引水线路查勘报告》、《中国西部地区南水北调积柴、积洮输水线路查勘报告》,同时提出了 4 条可供进一步比较研究的引水线路,即由金沙江玉树附近引水至积石山附近黄河支流贾曲的玉积线、由金沙江的恶巴附近引水至甘肃洮河的恶洮线、由金沙江翁水河口引水至甘肃定西大梁营的翁定线、由金沙江石鼓引水入渭河的石渭线。

代表性方案有从怒江沙布引水到甘肃定西的怒定线、从怒江沙布引水到甘肃洮河的怒洮线。配合引水线路的规划,还提出从黄河输水到各地区的输水线路,有从黄河积石山(阿尼玛卿山)到柴达木盆地的积柴线、从黄河积石山到洮河的积洮线、从甘肃定西到新疆的定新线、从甘肃定西经景泰和内蒙古终止于归流河的定蒙线、引黄入晋线路、从甘肃定西到鄂尔多斯的定鄂线。

这一时期方案的特点是研究范围大、调水量多、工程规模大、引水线路以明渠自流为主。调水方案的研究范围从长江中下游扩展到长江上游乃至更西部的怒江、澜沧江流域,供水研究范围扩展到新疆和内蒙古(见书后附图 1)。经过多次对调水地区地形、地貌、地质、社会经济状况等综合考察,提出了我国西部地区从长江上游调水的多种方案,初步探讨了调水的影响。14 个省(市、自治区)还根据各自的规划,分别提出了本省(市、自治区)对南水北调的要求。

(三)第三阶段(20 世纪 70 年代~80 年代)

1978 年第五届全国人大《政府工作报告》中正式提出“兴建把长江水引到黄河以北的南水北调工程”。1978 年原水利电力部下达水电规字[78]42 号文,指示黄委开展查勘工作,西部调水的前期工作又得以继续进行。1978 年 10 月 17 日,原水利电力部发出《关于加强南水北调规划工作的通知》。

在此情况下,1978 年、1980 年黄委两次组织南水北调西线查勘,重点对通天河、雅砻江、大渡河引水线路进行查勘,查勘范围东到四川省若尔盖县,西达青海省治多县,南到四川省甘孜、炉霍县,北到黄河,面积约 10 万 km^2 。分别编写有《西线南水北调通天河、雅砻江、大渡河至黄河上游地区引水线路查勘报告》、《南水北调西线引水工程研究情况简介》等报告。1985 年黄委又派出查勘队对黄河源和引水线路重新进行查勘。

(四)第四阶段(1987~2000 年)

1987 年黄委提出《南水北调西线引水工程规划研究情况报告》,该报告在总结 1958~1961 年调水工作的基础上,提出先从靠近黄河的通天河、雅砻江、大渡河调水 200 亿 m^3 的调水方案。

1987 年 7 月 8 日,国家计划委员会正式下达《关于开展南水北调西线工程超前期工作的通知》,决定开展从通天河、雅砻江、大渡河调水的超前期工作,文中将这一工程布局称为南水北调西线工程。通知中写道:西北地区干旱缺水,严重制约了该地区经济的发展。为了创造开发西北地区的条件,经研究决定将南水北调西线工程列入“七五”超前期工作项目。要求 1988 年底完成南水北调西线工程初步研究报告;1990 年底完成南水北调西线工程雅砻江调水线路的规划研究报告;“八五”期间继续完成通天河和大渡河调水线路的规划研究工作,并于 1995 年完成南水北调西线工程规划研究综合报告。

按照国家计委和水利部的任务要求,黄委于 1989 年提交了《南水北调西线工程初步研究报告》。该报告总结了 30 年来的工作成果,明确了引水河段,提出了从通天河调水 100 亿 m^3 、从雅砻江和大渡河各调水 50 亿 m^3 、三条河流共调水 200 亿 m^3 的方案,为进一步开展规划研究工作提出了轮廓意见,经水利部审查同意,在此基础上补编了《南水北调西线工程超前期工作任务书》。

1992 年 9 月,水利部通过了黄委提交的《雅砻江调水工程规划研究报告》。1996

年上半年,黄委提交了《南水北调西线工程规划研究综合报告》,上报水利部,从而结束了历时 10 年的超前期规划研究工作。

在国家有关部门和沿黄各省区的配合下,黄委在 1987~1996 年的 10 年间,在位于北纬 $31^{\circ}30'$ ~ $35^{\circ}30'$ 、东经 $93^{\circ}00'$ ~ $103^{\circ}30'$ 之间约 47 万 km^2 的调水区范围内,深入开展了大量测绘、地质和综合查勘工作,取得了丰富翔实的资料,为开展方案规划研究工作奠定了基础。在这一阶段,随着工作的进一步深入,调水工程布局和规模逐步与科技的发展水平相适应。在 10 年的超前期规划研究工作中,完成了通天河、雅砻江、大渡河调水区大量的勘测工作,包括:不同比例尺航空摄影、地形图测绘,不同比例尺工程地质图勘察,若干比例尺地质遥感解译,区域地质调查,地质构造调查,地震基本烈度复核。这些基础工作相当一部分填补了国家空白,为南水北调西线调水工作提供了基础资料,保证了西线工程超前期规划研究工作的顺利完成。

1996 年下半年开始规划阶段的工作,按照规划任务书的要求,在超前期规划研究工作的基础上,又完成了大量的内业研究和测量、地质、物探、钻探等勘测工作,全面开展规划工作,其中包括地质遥感、地质测绘、地质钻探、各类物探、坑槽探、地质平洞、地应力测试及其他试验工作;进一步比选了调水工程方案,在研究海拔 3 800~4 200 m 处引水坝址和输水线路的同时,着重研究海拔 3 500 m 左右的引水坝址和输水线路;增设专用水文站,进行水文分析计算;重点研究了可调水量、调水对生态环境影响和调水入黄河后供水范围,并对调水工程的关键技术问题开展了专题研究。

通天河引水河段主要集中在楚玛尔河口—玉树区间,通过大量的方案研究、分析计算,通天河调水方案的受水河段主要集中在黄河扎陵湖、鄂陵湖、黄河源头地区以及达日河等,调水方案的主要形式为抽水方案。

雅砻江引水河段主要集中在甘孜以上的宜牛—热巴河段,距黄河最近,地理位置优越,地形、地质条件好,水量丰沛稳定,环境影响小,是从雅砻江调水较为有利的河段;引水方式有抽水和自流两种。调水工程的基本形式为在雅砻江上建引水枢纽,通过不同类型的引水线路输水,穿过分水岭巴颜喀拉山引水到黄河或其支流。方案的共同特征是,各引水线路在通过江、黄分水岭时都采用隧洞的形式。这是由于分水岭巴颜喀拉山地势高缓,分水岭垭口比引水枢纽高 800 m 以上,若规划的引水线路想通过垭口,势必需修筑高坝或高扬程抽水,致使工程量大而投资多。因此,选择单薄分水岭处开凿隧洞引水,较逐级建坝高扬程抽水翻过分水岭垭口,从技术和经济上都更为合理一些。自流方式穿越分水岭隧洞长度为 90~130 km;抽水方式当扬程为 300~400 m 时,穿过分水岭的隧洞长度为 30~50 km。

大渡河上游河源区分为东源足木足河和西源绰斯甲河,抽水方案的引水河段主要集中在这两条河段上,可分为足木足河单独调水和足木足河与绰斯甲河联合调水两种类型。自流方案是联合雅砻江的支流达曲、泥曲,在大渡河支流的杜柯河、玛柯河和阿柯河上建坝蓄水,开凿隧洞输水入黄河,这称为联合自流方案。

(五)第五阶段(2001 年至今)

主要是针对大渡河联合自流方案而进行的。进入项目建议书阶段以来,相继开展了地质勘察、规划、水工设计、施工、环境评价等方面的工作,确定了各调水河流的调水