

南水北调工程

朱尔明

(水利部 北京 100761)

摘要 我国水资源自然分布不均,北方缺水的影响越来越严重,实施南水北调势在必行。南水北调东线、中线和西线的总体规划布局中,三条调水线路有各自的主要任务和供水范围,可相互补充,不能相互代替。南水北调东、中、西三线工程全部实施后,多年平均调引长江水 500~600 亿 m^3 ,将产生巨大的社会、经济与环境效益。近期的实施步骤是优先建设中线调水工程,相机实施东线调水工程的第一步方案。调水工程中的主要技术问题已基本清楚,技术上是可行的,有一些技术问题已达到或超出当今世界水平,有待深入研究。

关键词 跨流域调水 南水北调工程 水资源 水利规划

水是生命的源泉,是不可替代的宝贵资源,也是社会经济发展和保护生态环境必不可少的重要因素。没有水也就没有人类社会的发展和存在。我国多年平均水资源总量为 28124 亿 m^3 ,其中河川径流量为 27115 亿 m^3 ,居世界第 6 位。但人均占有水资源量仅为世界人均占有量的 1/4,居世界第 109 位。我国水资源的自然分布呈现南方水多、北方水少、时空分布不均的特点,北方水资源严重短缺,为适应缺水地区的社会经济发展,必须对水资源进行合理调配。南水北调工程是我国优化配置水资源的重大举措,是解决华北、西北地区缺水的一项战略性基础设施工程。

1 南水北调工程建设的必要性

1.1 我国水资源自然分布不均

我国水资源分布,具有南方水多北方水少的特点,与生产力布局不相适应。长江流域及其以南的河川径流量占全国的 83%,耕地面积占全国 38%,其中长江流域年径流量为 9513 亿 m^3 ,占全国的 35%,耕地面积只占全国的 25%,人均和亩均水量均超过全国平均水平,属丰水区;淮河流域及其以北地区的

年径流量占全国的 17%,耕地面积占全国的 62%,其中黄河、淮河、海河三大流域和胶东地区的河川径流量为 1573 亿 m^3 ,约占全国的 6%,耕地面积却占全国的 40%,人均和亩均水量远低于全国平均水平,属缺水地区,尤以海河流域更为突出,年径流量只有 264 亿 m^3 ,不足全国的 1%,而人口和耕地却分别占全国 10%和 12%,缺水十分严重。长江流域与海河流域相比,长江流域的人均水量是海河流域的近 10 倍,亩均水量为 17 倍。江、淮、黄、海四大流域及全国的人均、亩均水量见表 1。

我国北方缺水不仅因为水资源少,而且河川径流的年际变化很大,年径流最大与最小的比值,南方为 2~4 倍,北方为 3~8 倍,淮河为 15 倍,海河则高达 20 倍。更为严重的是连续丰水年和连续枯水年交替发生,黄河出现过连续 11 年枯水年(1922~1932 年),平均年径流量只有多年平均量的 70%。海河出现过连续 8 年枯水年(1980~1987 年),平均年径流量只有多年平均量的 57%。淮河也有类似现象。华北地区降雨受季风影响,七、八两月的降雨量占全年的 50%~60%,且多以暴雨形式出现,调蓄困难,可利用的径流不多,造成汛期常

作者简介:朱尔明,男,水利部总工程师、河海大学名誉教授。

常发生洪涝灾害,非汛期却又严重缺水。

表1 全国及江、淮、黄、海流域人均、亩均水量

区 域	总面积 /万 km ²	耕地面积 /亿亩	人口 /亿人	年径 流量 /亿 m ³	地下 水量 /亿 m ³	重复水量 /亿 m ³	水资源 总 量 /亿 m ³	人均地 表水量 /m ³ ·人 ⁻¹	亩均地 表水量 /m ³ ·亩 ⁻¹	人均水量 /m ³ ·人 ⁻¹	亩均水量 /m ³ ·亩 ⁻¹
全 国	960	14.36	11.43	27115	8288	7279	28124	2372	1888	2460	1958
长江流域	180	3.55	3.97	9513	2464	2363	9614	2396	2680	2422	2708
淮河流域	26.9	1.79	1.45	621	393	173	841	428	347	580	470
黄河流域	75.2	1.83	0.96	580	405	323	662	604	317	690	362
海河流域	31.9	1.69	1.16	264	265	131	398	228	156	343	236

注:1hm² = 15 亩

1.2 北方缺水的影响越来越严重

华北和西北地区,幅员辽阔,地势平坦,光热资源充足,矿产资源丰富,是我国重要的能源、原材料和重化工基地,农牧业生产和土地开发潜力很大,在我国社会、经济中占有十分重要的地位。但该地区水资源严重不足,已成为制约社会、经济发展的关键因素。由于水资源长期供不应求,已产生了一系列社会、经济与环境问题,且日趋严重。

a. 因缺水影响工农业生产和人民的正常生活。80年代初期连续干旱,京、津和京广铁路沿线许多大中城市的部分工厂因缺水而停产,经济损失很大。城市居民生活不得不实行定时、定量、低压供水。不少地区因缺水限制能源、原材料和化工等耗水较多的工业发展。一些拟建项目因缺水而举棋不定或被迫另择建设地点。一些地区为保证城市供水不得不挤占农业灌溉用水,不仅使农业生产受到很大影响,而且加剧了地区之间、工农业之间的矛盾,影响了社会安定。

b. 因缺水被迫大量超采地下水。早在80年代中期,华北平原与胶东地区的地下水开发利用程度就已经很高,但为了经济发展的需要,这些地区在地表水资源严重匮乏的情况下,不得不对地下水资源进行超量开采,因而造成大面积地下水漏斗区。深层地下水位下降,造成了北京、天津、沧州、衡水等城市地面沉降,使建筑物、堤防发生裂缝。胶东烟台、潍北等地,地下水位已下降至海平面以下,导致海水入浸淡水含水层。

c. 一些缺水严重的地区,长期开采饮用有害的深层地下水,使氟骨病和甲状腺病等地方病蔓延,人民健康受到严重威胁。许多

地方大量污水未经处理就重复使用,造成环境恶化和农副产品被污染。

1.3 实施南水北调势在必行

京津华北等地区水资源短缺,要解决这些地区的缺水问题,必须贯彻开源与节流并重的方针,大力推广节水措施。80年代以来,华北等地区积极采取了加强节约用水管理、限制高耗水工业发展、地下水回灌、污水利用以及兴修水利设施和加强水资源的调配等一系列措施,取得了显著成效,1987年北京、天津水的重复利用率已分别达到77.6%和72.5%,接近发达国家的水平(1985年日本为74%,美国为87%)。人均生活用水量不仅低于发达国家水平,而且也低于国内南方大城市的水平(1993年北京、天津人均生活用水量分别为85.6 m³和45 m³,同期上海为87.3 m³、武汉为112.7 m³、广州为187.6 m³)。因此,进一步挖掘当地水源和节水潜力是有限的。随着人口增长、工农业生产和城市发展,用水量不断增加,供需矛盾日益突出。据初步测算,到2000年,南水北调工程供水区年缺水量将超过200亿 m³。为从根本上缓解我国北方水资源紧缺的矛盾,除进一步研究和搞好全面节约用水,挖掘当地各种水源潜力外,尽快实施从邻近长江流域丰水区调水是十分必要的紧迫任务。

2 南水北调工程总体布局

经多年的勘测、规划、研究,按照长江与北方缺水区之间的地形、地质状况,分别在长江下游、中游和上游规划了三条调水线路,形成了南水北调东线、中线和西线的总体规划布局。三条调水线路有各自的主要任务和供

水范围,可互相补充,不能互相代替。

2.1 东线调水工程

从长江下游扬州附近抽引长江水,利用和扩建京杭大运河逐级提水北送,经洪泽湖、骆马湖、南四湖和东平湖,在位山附近穿过黄河后可自流,经位临运河、南运河到天津。输水主干线长 1150 km,其中黄河以南 660 km,黄河以北 490 km。全线最高处东平湖蓄水位与抽江水位之差为 40 m,共建 13 个梯级泵站,总扬程 65 m。

东线工程的供水范围是黄淮海平原东部地区,包括苏北、皖北、山东、河北黑龙港和运东地区、天津市等。主要任务是供水,并兼有航运、防洪、除涝等综合利用效益。

江苏省于 1961 年开始建设江都泵站,经不断扩建延伸,现江苏江水北调工程向北调水能力为:抽江 $400\text{ m}^3/\text{s}$,年抽江水量约 33 亿 m^3 ,可送水到南四湖 $30\text{ m}^3/\text{s}$,水量 2~4 亿 m^3 。抽水泵站装机容量 14 万 kW。东线调水工程可在此基础上,逐步扩大调水规模,并向北延伸。工程规划的总规模为抽江流量 $1000\text{ m}^3/\text{s}$;年供水量 186 亿 m^3 ,其中过黄河 $400\text{ m}^3/\text{s}$,90 亿 m^3 ;抽水泵站总装机容量为 88 万 kW,年平均用电量 35 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。根据受水区供需水量预测,规划的工程规模拟分三步实施。详见表 2。

2.2 中线调水工程

从汉江丹江口水库引水,输水总干渠自陶岔渠首闸起,沿伏牛山和太行山山前平原、京广铁路西侧,跨江、淮、黄、海四大流域,自流输水到北京、天津,输水总干渠长 1246 km,

天津干渠长 144 km

中线工程的供水范围是北京、天津、华北平原及沿线湖北、河南两省部分地区。主要任务是城市生活和工业供水,兼顾农业及其它用水。输水总干渠不结合通航。

汉江是中线调水工程的水源地。汉江流域多年平均天然径流量 591 亿 m^3 ,目前流域内各种用水的实际耗水量为 37 亿 m^3 ,仅占 6%,水量较为丰富,有余水可北调。丹江口水库多年平均天然入库径流量 409 亿 m^3 ,约占全流域 70%。现水库已建成初期规模,发挥了防洪、发电、灌溉、航运等效益,也初步具备了调水条件。按原规划完建后期工程后,可提高汉江中下游防洪标准,增大北调水量。可行性研究阶段,考虑调水和汉江中下游提高防洪标准的需要,推荐加高丹江口大坝至后期规模,近期先实施汉江中下游局部补偿,调水 145 亿 m^3 ,最终实施中下游全面治理,调水 220 亿 m^3 。中线工程分期实施方案见表 2。

2.3 西线调水工程

西线调水工程从长江上游干支流调水入黄河上游,引水工程拟定在通天河、雅鲁江、大渡河上游筑坝建库,采用引水隧洞穿过长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山入黄河。年平均调水量为 145~195 亿 m^3 ,其中通天河为 55~100 亿 m^3 ,雅鲁江 40~45 亿 m^3 ,大渡河 50 亿 m^3 。西线工程的供水范围包括青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西和山西六省(区)。主要任务是补充黄河水资源的不足和解决西北地区、华北西部地区工农牧业生产和城乡人畜用水。

表 2 南水北调工程特性指标

线路	供水范围	工程分期	线路长度 km	调水规模		调水方式		输水方式	年用电量 /亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$
				流量 / m^3/s	水量 /亿 m^3	抽水扬程 /m	自流落差 /m		
东线	黄、淮、海 平原东部 地区	第一期	660	500	70	65		扩建京杭运河	8.5
		第二期	1150	700	118	65			30
		第三期	1150	1000	186	65			35
中线	京、津、冀 豫、鄂	第一期	1390	350	75		100	立交渠道	
		第二期	1390	630	145		100	立交渠道	
		第三期	1390	800	220		100	立交渠道	
西线	青、甘、宁 蒙、陕、晋	第一期 ^①	131		45		自流	隧洞	
		第二期 ^②	288.7		145		自流	隧洞	
		第三期 ^③	29.8		195	458		隧洞	71

注:①坝高 175 m,雅鲁江;②坝高 302 m,通天河;③坝高 246 m,大渡河。

根据引水坝址与黄河之间的地形、地质条件,多年来研究了许多不同工程规模和自流、抽水不同的引水方式。西线调水工程地处海拔 3000~4500 m,由于长江上游各引水河段的水面高程较调入黄河的水面高程低 80~450 m,因此,西线调水工程需要修建高坝和开挖超长隧洞,筑坝高度为 175~300 m,隧洞长度 30~160 km。西线工程分期实施意见见表 2。

3 南水北调工程的综合效益

南水北调东、中、西三线工程全部实施后,多年平均调引长江水 500~600 亿 m^3 。这将缓解华北、西北地区水资源紧缺的矛盾,促进调入地区的社会经济发展,改善城乡居民的生活供水条件,产生巨大的社会、经济与环境效益。

3.1 社会效益

供水区内,首都北京是全国的政治、经济和文化中心,天津是华北最大的工业基地与重要的外贸港口;河北、河南则处于承东启西的华北经济圈;山东是高速发展的经济大省;西北地区和华北西部地区是我国的能源、原材料和重化工基地。纵横供水区内的京广、陇海、京浦、焦枝、京九、兰新等铁路沿线有众多的工业城镇,是我国生产力布局的重要区域。南水北调工程实施后,由于供水条件的改善,不仅可以促进供水区的工农业生产和经济发展,而且提供了更好的投资环境,可吸引更多的国内外资金,加大对外开放的力度,为经济发展创造良好的社会条件。同时可以缓解城乡争水、地区争水、工农业争水的矛盾,有利于社会的安定团结。也可以避免一些地区长期开采饮用有害深层地下水而引发的水源性疾病,遏止氟骨病与甲状腺病的蔓延,有利于提高人民的健康水平。

3.2 经济效益

南水北调工程全部实施后,年平均调水量 500~600 亿 m^3 ,有效利用水量约 400 亿 m^3 。东线和西线的调水量按 40% 供工业和城镇用水,60% 为农业及其它用水;中线调水

量按 70% 供工业和城镇用水,30% 为农业及其它用水。按照工业产值分摊系数法推算工业及城镇供水效益,按灌溉效益分摊系数法测算农业及其它供水效益。综合各项效益,按 1995 年价格水平,南水北调工程年平均经济效益为 600~800 亿元。

3.3 生态与环境效益

南水北调工程的水源水质好,增加供水区城市生活、工业用水,改善卫生条件,有利于城市环境治理和绿化美化,促进城市化建设。增加农牧业灌溉用水,改善农牧业生产条件,调整农牧业种植结构,提高土地利用率。还可改污水灌溉为清洁水灌溉,减轻耕地污染及对农副产品的危害。

提高北方供水能力后,可以减少对地下水的超采,并可结合灌溉和季节性调节进行人工回灌,补充地下水,改善水文地质条件,缓解地下水位大幅度下降和漏斗面积的进一步扩大,控制地面沉降造成对建筑物的危害。调水后通过合理调度,还可向干涸的洼、淀、河、渠补水,增强水体的稀释自净能力,改善水质,恢复生机,促进水产和水生生物资源的发展,使区域生态环境向良性方向发展。

3.4 调水的影响

南水北调工程规模大,社会、经济、环境效益显著。有利影响主要在供水区,不利影响主要在水源区。长江多年平均径流量 9513 亿 m^3 ,调出水量占 6% 左右,从长江总体来讲,调水的影响很小。但从局部来看,调水对调出点区有一定的影响。其影响和对策措施简述如下。

a. 东线调水工程。规划调水总规模为 1000 m^3/s ,为长江平均流量的 3.3%,多年平均调水量仅为长江水量的 2%,比重都很小,对长江下游的水位,河道冲淤变化和拦门沙,不会有大的影响,遇长江枯水,可通过调度管理予以减免。如果东、中、西三线全部实施后,长江口盐水入侵影响将有所增大,应采取相应措施,减小影响。废黄河以北地区,存在局部地区土壤次生盐碱化,只要采取渠道防渗和灌区排水等措施,可以减免其不利影响。根据试验和江水北调的实践,钉螺分布最北不超过江苏

宝应县境,调水不会形成新钉螺区。输水沿线的水质保护,必须按国家有关法规,实行综合治理和监督管理,防治水污染。

b. 中线调水工程。调水量约占汉江水量的 25%,占长江汉口站水量的 2%,调水量对长江干流影响较小,对汉江中下游有一定影响。调水后丹江口水电站发电量有所减少,但容量效益有所增加,加高大坝增加水库的调蓄能力,提高下游防洪标准,枯水期平均下泄流量略有减少,中水期有所缩短。因此,调水对汉江中下游有一定影响,可以通过补偿措施和汉江综合开发予以解决。中线调水的不利影响主要在水库区和输水渠沿线的土地占用和移民搬迁的影响,可以通过妥善的土地调整和移民安置解决。

c. 西线调水工程。三条引水线年平均可调水量分别占金沙江渡口站的 17.5%、雅砻江口的 7.5%、大渡河口的 10.6%,三条江河总调水量 195 亿 m^3 ,分别占长江干流宜宾站径流量的 7.8%、占宜昌站水量的 3.9%。西线三条河位于高原山地待开发区,工农牧业用水量很少,富余水量较多。因此西线调水不会给调出区的工农牧业生产和人畜饮水带来什么影响。金沙江、雅砻江、大渡河是我国西南地区的三大水电基地,调水后将损失部分电能;调水将给局部河段的漂木造成一定困难;水库淹没部分草场和迁移少量人口,需要做好新草场的开发和安置好移民。

综上所述,南水北调工程的综合效益是显著的,不利影响是局部的,通过防范和补偿措施,其不利影响可以减小到最低限度。对于一些现在还难以预测的影响问题,可在今后实践中继续研究解决。因此,调水的影响不制约工程的决策。

4 南水北调工程的实施步骤

南水北调工程是我国四化建设中一项规模宏大的战略性基础设施工程,是解决我国北方地区特别是京津华北地区缺水的一项重大工程措施,对于保证和促进北方地区的社会经济发展和环境改善都具有十分重要的战略意义。党的十四大文件和政府工作报告都

把实施南水北调工程列入重要议事日程。

南水北调工程规模巨大、技术复杂、涉及面广、影响深远,工程建设的实施必须贯彻既积极又慎重的方针,做到充分论证,科学决策。1995 年 6 月,国务院第 71 次总理办公会议明确了近期南水北调的主要目标:解决京津华北等地区严重缺水的状况,以解决沿线城市用水为主。这就为南水北调工程的实施步骤指明了方向。具体工程的实施安排,要根据供水的主要目标、资金筹集和前期准备工作等情况,分别轻重缓急进行部署。

西线调水工程是从长江上游引水到黄河上游,有关单位已进行了大量超前期规划研究工作,为深入开展规划设计工作提供了许多基础资料,创造了良好条件。但由于西线工程地处高寒地区,需建高坝和打超长隧洞,工程的复杂性和艰巨性需要有较长的前期准备工作。因此,目前正在研究进一步加快西线调水工程的前期工作步伐,为促进西线工程在 21 世纪前期尽早实施提供科学的决策依据。

东线调水工程,规划设计研究的时间长,方案比较成熟。东线工程的水源充足,输水工程大部分利用现有河道改扩建,设计施工相对比较简单,可以分步实施,分期受益。但东线工程的位置较低,其供水范围只能是黄淮海平原的东部,而不能解决西部京广铁路沿线的供水问题。东线工程主要供水苏、皖、鲁、冀、津五省市部分地区。其中江苏省现有“江水北调”工程已可送水到山东省边界,沿线泵站的改造增容将于今年完成。泰州引江河工程也已开始实施建设,江水北调的能力将逐年有所提高,基本上可以解决江苏、安徽近期的供水问题。南水北调东线工程的实施,是属于提高两省的供水保证率和适当扩大灌溉面积的问题;河北省东部和天津市均在东线和中线的供水范围,两省市都赞成先建设中线工程,后建设东线工程;山东省水资源紧缺的矛盾日趋严峻,特别是胶东地区,现在主要靠引黄河水,已满足不了用水增长的需要,急需引江水补充。因此,东线工程分步实施的重点应该是先研究解决苏鲁两省的供水方案。

中线调水工程输水渠线所处位置地势较高,自流输水,覆盖面大,主要供水目标是京津和华北平原西部地区,该地区的大部分城市成条带状集中分布在输水干渠沿线,由该工程就近向其供水十分便利。

中线调水工程从丹江口水库引水,水质好(水库水体的综合评价为Ⅱ类水),新建总干渠为专用供水渠道,渠线布置在沿线城市的上游地区,且与交叉河流全部采用立交方案,有利于保护水质,可以满足城市生活和工业用水对水质的较高要求。

中线调水工程,经可行性和本次论证认为:输水渠线布置总体格局合理,技术措施可行,综合效益显著,移民、土地占用和环境影响等问题可以妥善解决。沿线京、津、冀、豫、鄂五省(市)对中线调水工程的建设均持十分积极的态度,多次向党中央、国务院报告,请求尽快实施中线调水工程,并承诺按要求分摊中线调水工程的投资。因此,中线调水工程得到了有关省、市的一致认同,社会基础较好。

综上所述,从国务院确定的“南水北调是为了解决京津华北等地区严重缺水的状况,是以解决沿线城市用水为主”的主要目标来看,东、中、西三条调水线路中,中线调水工程能够较好地满足这一要求。因此,建议国家优先实施中线调水工程。根据山东胶东等地区需水情况,相机实施东线调水工程的第一步方案。

因此,南水北调工程的实施步骤应该是:近期优先建设中线调水工程,相机实施东线调水工程的第一步方案。远景的实施顺序,可根据当时主要供水目标的需求状况,进行论证比较选择。

5 南水北调工程关键技术研究

南水北调的每条输水工程都是我国继三峡工程以后最大的超大型水利工程。东线和中线的调水线路长度均在1000 km以上,西线调水工程要建175~300 m高坝,开凿100 km以上的超长隧洞;每条线的调水流量为600~

1000 m³/s,水量为150~200亿 m³。无论是调水线路的长度,还是调水的规模都超过目前世界上已建成的最大调水工程。40多年来,各有关方面做了大量工作,积累了丰富的勘测、规划、设计和科研成果,为科学决策提供了重要依据。调水工程中的主要技术问题已基本清楚,技术上是可行的,设计和施工方面没有解决不了的技术问题。但是工程规模巨大,大型建设物数量多,工程地质条件复杂,环境影响范围广,调度运行管理要求高,许多技术问题已达到或超出当今世界水平,有待深入研究,以便工程顺利建设,确保工程安全运行。主要研究内容有下面六个方面。

a. 区域性特殊土的岩土力学研究:膨胀土、黄土和软岩的工程地质特性与力学特性;强地震区饱和沙土液化及其对工程的影响;软土地基加固技术研究等。

b. 主要水工建筑物的结构和工程力学研究:穿黄隧洞的结构分析;跨河越岭巨型输水建筑物的新结构、新材料、新工艺及可靠度分析;混凝土坝加高和结构、材料和施工技术;水工结构抗震安全性研究等。

c. 长距离巨型输水系统的水力学及泥沙研究:总干渠的运行控制模式;输水明渠最优等容量控制断面;穿黄隧洞的非恒定流分析;交叉建筑物的水力学和泥沙问题;冬季输水问题;输水系统安全监测研究等。

d. 施工技术的研究:泥水盾构施工技术;高寒地区筑坝技术;深埋长隧洞施工技术;大型薄壳渡槽高强混凝土及施工工艺研究等。

e. 水质保护与环境问题研究:水源区的水质保护与生态建设;调水对水源区下游水质与生态环境的影响及对策措施;输水渠道的水质管理与保护技术;输水沿线的生态变化与对策措施;供水区供水、排水、污水处理;输水系统自然灾害规律、预测及防灾研究等。

f. 水资源高效利用与优化配置研究:有效水量的研究;水资源优化调配;多水源、多用户联合调控技术;水量实时监控调度自动化技术;调水工程信息系统研究等。

(收稿日期:1996-12-06 编辑:马敏峰)