

# 南水北调工程与黄河水沙资源综合利用

South-to-North Water Transfer Project and Comprehensive Utilization of Water and Sand Resources of the Yellow River

田 园

(华北水利水电学院北京研究生部,教授 北京 100044)

## 一、华北、西北内陆地区及黄河流域的水资源潜力

### 1. 华北地区的水资源潜力

海滦河平原是当前国内水荒问题最突出的地区,但水资源仍有一定潜力。该区河水灌溉面积约4 800万亩,每年利用河川径流约170亿立方米,渠系水的有效利用系数一般为0.5左右。采用地面灌水方法,水到田间还有深层渗漏,这样估算起来,即有一半以上的水补给了地下水。在河水灌区里打井,把渗漏的水量开发出来用于灌溉,可以扩大灌溉面积一倍以上。

在华北地区,为保证农田有较高产量和良好的生态环境,大约需要多少水?1989年对黄淮海平原18处旱涝碱综合治理试验区及水资源均衡试验场的水均衡观测资料进行了分析,认为在种植旱作物地区,年产量达到800~1 000斤/亩以上,在此情况下的农业正常用水量(即耕地和非耕地蒸腾蒸发量的加权平均值):黄河以北海河平原区为550~650毫米(复种指数1.5~1.7),黄河以南黄淮平原区为650~750毫米(复种指数1.7~1.9)。1990年对华北地区四个不同类型的大型灌区进行了调查研究。根据各灌区提供的资料分析,当灌区实际耗水量接近上述农业正常用水量时,产量高而稳定;当灌区实际耗水量低于上述农业正常用水量时,产量较低,并随实际耗水量的增加而提高;当灌区实际耗水量高于上述农业正常用水量时,产量有随实际耗水量的增加而降低的明显趋势。

海河平原各地多年平均降水量为500~600毫米,种植旱作物的农业正常用水量为550~650毫米,年平均缺水50~100毫米左右,折合成每亩耕地(土地利用系数0.67)缺水约50~100立方米。黄

淮平原年平均降水量650~1 000毫米,基本不缺水,南部地区还有余,只是在旱年或连续数年干旱时,农业才会缺水。

在黄淮海平原,凡是有条件开发地下水的地方,都应普遍打井灌溉。地下水不足时引河水补源,并利用地下水对水资源供需进行多年调节。依此原则配置水资源,则现有河水灌区的用水量可扩大灌溉面积二倍以上。

海滦河流域城市工业污废水排放量每年约31亿立方米,大部分未经处理,也未很好利用。若能进行处理并很好地利用起来,则是一项重要的水资源。

### 2. 西北内陆地区水资源潜力

西北内陆地区指内蒙古阿拉善旗、甘肃河西走廊、新疆准噶尔盆地和塔里木盆地,以及青海柴达木盆地等内流区。这些地方属于干旱荒漠区,盆地内部降水量小于200毫米,塔里木盆地有些地方的年降水量小于10毫米,河流靠融雪补给。该地区土地总面积245.64万平方公里,总耕地面积5 867.07万亩,宜农荒地19 727万亩,总人口1 646万人。现有灌溉面积4 854万亩,年引用河水483亿立方米,开发地下水87亿立方米,灌区每亩平均年用水895立方米,当地可开发利用的地面水有1 024亿立方米,地下水有260亿立方米。水资源利用率:地面水为47%,地下水为33.6%。

上述数字表明,该地区地上水和地下水的开发利用程度均不高,而且灌溉上浪费比较严重。若农业上采取以井为主、井渠结合的灌溉方式,则灌溉面积可扩大一倍以上。

### 3. 黄河流域水资源潜力

依据黄河水利委员会的资料,1934~1985年,花园口水文站(黄河下游的起始站)每10年的河道平均径流量及中上游地区灌溉年平均耗水量如表1。

表 1 黄河花园口站年径流量及上、中游地区灌溉耗水量 (单位:亿立方米)

| 年 代             | 1934~1939 | 1940~1949 | 1950~1959 | 1960~1969 | 1970~1979 | 1980~1985 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 花园口实测径流量        | 573       | 547       | 473       | 514       | 375       | 471       |
| 中上游灌溉耗水量        | 50.6      | 54.7      | 104       | 137       | 157       | 171       |
| 年灌溉用水 10 年平均增长量 |           | 4.1       | 49.3      | 33        | 20        | 14        |

70 年代末,黄河上中游地区灌溉面积达 4 600 万亩,平均每亩用水量 410 立方米,其中宁蒙河套灌区灌溉面积近 1 000 万亩,亩用水定额 800~1 000 立方米。黄河下游 80 年代豫、鲁二省引黄灌溉面积达 3 000 万亩,年引黄河水 100 亿立方米,每亩平均用水量 350 立方米。

宁蒙河套平原年降水量 150~200 毫米,土地利用系数和复种指数均较低。农业正常用水量,旱作物区约 500 毫米,水稻区约 600~650 毫米。照此计算,河套灌区在开发利用地下水情况下,每亩引黄水量也可节约一半,或者说,利用现有的引黄水量可再扩大灌溉面积一倍。

黄土高原其他河水灌区,主要从黄河支流上引水灌溉。由于地形破碎,径流系数高,需要引用河水量相对较多。但只要创造条件开发地下水灌溉同样可减少河水用量,扩大灌溉面积。例如,陕西省的泾惠渠及洛惠渠灌区,实行井渠合灌前后对比,灌溉面积都扩大一倍左右。

豫鲁两省 3 000 万亩引黄灌区,大部分没有开展井灌。这些灌区地下水位高,排水系统淤积,渍涝和次生盐渍化的威胁严重存在。曾对个别引黄灌区的引水和排水实测资料进行过分析对比,其每年灌溉的退泄水与汛期排泄的径流量之和与年灌溉引水量几乎相等。可见,这类灌区的农业正常用水量和当地多年平均用水量相差不多。改变灌溉方式,实行以井灌为主、引河水补源的用水原则,降低地下水位,提高雨水利用率,就可以把引黄水量大幅度降下来,并且可收到防止涝、碱,减轻淤积,稳定和提提高农作物产量的良好效果。

50 年代以后,黄河上中游地区灌溉用水量的增长量呈递减趋势。这是因为条件好的灌区早期已经开发,越到后来工程越艰巨,投资效益越差。姑且以每 10 年灌溉用水量增加 14 亿立方米的不变速度,估计 1985 以后 50 年(即到 2035 年),花园口站逢枯水年型(1970~1979 型)10 年平均年径流量还有 305 亿立方米。黄河下游为保证输沙,每年需保持 200 亿立方米的水量入海。照此估算,即使遇到枯水周期,到 2035 年黄河下游也还有 105 亿立方米的水量可引。

以上是针对农田灌溉及河川径流利用率分析水资源的潜力。工业用水的浪费现象也很普遍,节水潜力也很大。依据《中国水资源利用》一书中的数

据,1980 年上述地区一般工业用水定额如表 2。

表 2 工业用水量和用水定额

| 流域               | 海河    | 黄河    | 内陆河   |
|------------------|-------|-------|-------|
| 一般工业用水量(亿立方米)    | 36.91 | 22.37 | 6.48  |
| 工业用水定额(立方米/万元产值) | 536   | 642   | 1 260 |

北京市 1980 年工业产值 203.87 亿元,用水量 7.6 亿立方米,折合万元产值用水量 375 立方米,水的重复利用率 61.4%。通过提高工艺,加强管理,1984 年达到工业总产值 274.71 亿元,用水量降到 6.82 亿立方米,万元产值用水量降到 248 立方米,水的重复利用率提高到 70.3%。北京市工业用水在全国并非最先进,将表 2 中数据与北京相比,可见工业节水潜力也是很大的。

## 二、水资源挖潜、引黄和南水北调

以上分析说明,华北、西北内陆,以及黄河流域水源都还有很大潜力。当前有些地方出现的水荒现象是由于水资源的配置不合理和用水的浪费造成的,并非已到了“山穷水尽”的地步。解决各地用水问题的战略措施,应遵循以下步骤:

第一,调整当地水资源的配置,同时工农业采取综合节水措施。主要内容是:在适宜开发地下水的地方打井灌溉,节约的地面径流用于不宜打井的地方;工业上采取先进生产工艺和水重复利用技术,减少用水量;农业上采取先进灌溉技术,适应水源条件改变作物种植制度和栽培技术,培育耐旱品种等。这些基本措施(不管是否从外流域调水)不仅是为了节水,而且也是为了增产和防灾。

第二,进一步提高当地水资源的利用率。如扩大河川径流的引水规模,修建蓄水工程,拦蓄利用洪水和暴雨径流,净化利用城市和工业污水,以及改造利用劣质地下水等。

第三,进一步开发利用黄河水资源。黄河 80 年代以来,每年有 300 多亿立方米水量入海,其中枯水期(10 月至翌年 6 月)入海水量还有 100 多亿立方米。未来几十年甚至更长时间,黄河不会缺水。但是近十多年来每年 5、6 月份黄河下游总有一段时期断流。这种情况并不说明黄河缺水,而是由于上游干流水库的调度仅服从发电的需要,而未顾及工农业供水的需要。改变中上游水库的调度方式,使

之服从工农业用水的需要,同时也改变下游地区农田灌溉的用水方式,即5、6月份利用地下水灌溉,则黄河断流现象可以扭转。

在研究一个流域和一个地区的水资源在未来一定时期内是否紧缺时,必须同时考虑两种基本情况:一是水资源对社会经济发展的制约作用,即发展工农业所需的水资源供应问题;二是社会经济发展对水资源开发利用的制约作用,即水资源开发所需的资金和技术问题能否及时解决,以及有了水能否利用好,使之发挥应有的效益。

黄河上中游不乏需要灌溉的耕地和沙漠,但需要开发灌溉的耕地多数是田高水低,地形和地质条件复杂。在这些地区发展灌溉,技术复杂,投资多,效益相对较差,工程建成后经营管理也有许多问题不易解决。许多实例可以说明问题的复杂性。例如,宁蒙河套灌区,解放后国家投资建设,规模有很大发展,但至今工程的配套和土壤盐渍化问题仍未解决;黄河上中游地区沿岸修建了多处高扬程灌区,其中一些重点大型灌区的建设,拖延一二十年尚不能全部竣工,有的工程虽部分发挥了效益,但土壤次生盐渍化现象已经萌生,如甘肃省景泰川灌区。沙漠地区有了水不等于一定能变成绿洲。如不加强经营管理,有了水将会出现大大小小的许多沼泽和盐碱滩,难以得到预期效果。而在这些灌区加强经营管理又谈何容易!

在黄河上中游地区开发新灌区时,首先要把握现有灌区的技术改造、工程扩建和经营管理搞好,充分发挥效益,在此基础上再考虑新灌区的开发,避免因上中游水资源开发计划不切实际,而贻误下游水资源的开发利用。

黄河下游引黄工程的发展也应遵循相同的程序。第一步,调整现有引黄灌区的水资源配置,把单纯引黄灌溉改造成以井为主、井渠结合的灌区。第二步,把现有灌区技术改造节余的水量及进一步增加的引黄水量,用于黄河以北的工农业发展。第三步,当黄河流域及黄淮海平原经济事业的发展和环境改造工程所需水量已非黄河水可以满足时,实施南水北调工程。

第四,南水北调工程的实施。南水北调工程的实施应当分作几个阶段:

第一阶段是工程准备阶段。对西北内陆地区而言,这是调整当地水资源配置和提高当地水资源利用率的阶段。对黄河流域及黄淮海平原地区而言,在此阶段黄河水资源开发利用程度扣除输沙入海水量,基本上已无剩余。在此阶段还应作好南水北调工程各条线路的勘测、规划设计和经济论证。

第二阶段是东线和中线工程的实施。第一步是解决黄河以南地区的供水问题。该阶段黄河水资源

已基本不能满足本流域及黄淮海平原工农业发展的需要,应当调整黄河下游水资源的配置,把黄河南岸引黄灌区逐步改为井灌区。南水北调东线和中线工程,首先考虑黄河以南城市、工业区和航运用水,以及部分地方旱作改水稻的用水,腾出黄河水全部供给黄河以北地区。第二步,黄河水资源已不能满足流域中上游和下游北岸地区的用水,将中线和东线调水工程跨越黄河向海河平原调水。

第三阶段是西线工程的实施。当西北内陆地区当地水资源开发程度已很高,配置也比较合理,并采用了先进的节水措施,仍不能满足工农业用水需要时,实施向西北内陆调水的西线工程;当黄河水资源加南水北调中线和东线的调水量已满足不了本流域及黄淮海平原的用水时,实施向黄河上游调水的南水北调西线工程。

南水北调工程不论东线、中线还是西线,都是巨型工程,投资和运行费用巨大,对社会经济和生态环境的影响意义深远,应当依据水量调入地区的水资源开发利用程度、效益水平和经济发展水平,决定实施步骤。要拟订先进的科学用水和污水资源化指标,达不到指标,不搞跨流域调水。

### 三、黄河下游水沙资源的综合利用

黄河水含沙量高,过去如此,今后长期内也难有根本的变化。水土保持可以减少输入到黄河中的泥沙,但对减少的程度,期望值不应太高。水土保持的生物措施起固沙防冲作用,但即使黄土高原的植被恢复到史前状况,也避免不了水土流失。广阔的黄淮海大平原在史前时期已基本形成,泥沙的来源是黄河在100多万年的第四纪时期内从黄土高原水土流失区带来的。水土保持的工程措施,包括修梯田、水平沟埂、谷坊、淤地坝,以及拦洪滞淤水库等设施,对减少入河泥沙有显著效果,但所有工程的有效使用年限都不是很长。工程的修建、更新、管理养护,除需要投资和技术外,还需要大量的劳动力,这就限制了工程措施的普遍运用。淤地坝可以拦淤和发展农业生产,作用显著。但淤地坝推广范围至今仍不大,这里有深刻的社会经济原因。

黄河的泥沙给下游带来的影响,一是河床不断淤积抬高,形成地上悬河,经常决口泛滥;二是给引黄工程造成灌溉渠、排水沟及河道淤积,妨碍排水和引起渍涝和土壤盐渍化。过去河务部门为防河道洪水泛滥,沿河两岸挖土筑堤,在堤防两侧形成宽深的取土坑,洪水漫滩时,可能冲断取土坑的土埂,顺堤行洪,导致主流改道,危及大堤安全。近年来河务部门采取了新的加固堤防措施,即利用吸泥船或泥浆泵,从河中抽取泥浆,排放到大堤两侧,使之沉淀,培厚加高大堤。这种办法比动员群众挖土筑堤

简便。即使如此,仍不能解决河床淤积,悬河越悬越高,越高越险的危局。引黄灌区为防止渠系淤积,利用河道沿岸洼地筑沉沙池处理泥沙。经过 30 多年的使用,沿岸洼地基本上都已淤平,复耕之后变成稻麦双收的良田,再用这些地方淤沉沙,群众已不允许。所以,黄河下游的引黄灌区,目前都陷于处理泥沙束手无策的困境。而泥沙问题能否有效解决,是关系引黄灌区兴衰的大事。出路何在呢?最好的办法是引黄灌区泥沙处理与加固黄河大堤相结合,并在黄河滩地和两岸 5~10 公里的地带内,汛期引浑水种稻,使滩地和沿岸地面与河床同步升高,甚至升高速度超过河床,逐渐变黄河下游为相对的地下河。这样,在上中游采取水土保持生物和工程措施,减轻水土流失,拦洪滞沙;下游以黄河之沙治黄河之淤,将是比较全面的治理黄河的策略。

黄河下游水沙资源综合利用与河道治理相结合,还有一项重要措施应及早筹划,即黄河下游汛期的引黄工程应当与非汛期的引黄工程分成两套系统。汛期的引黄工程,仍利用现有的引黄口门,分散引浑水种稻;输水总干渠应与黄河大堤平行,兼做沉沙池,机械清淤培堤。非汛期引黄工程集中从黄河出山口处引水。北岸一支沿太行山脚下直到北京市,给京广路沿线城市及卫河、南运河以西地区农业供水;另一支循滩地上的老滹河东行,穿过沁河后,顺文岩渠、金堤河及徒骇河、马颊河,给卫河、南运河以东地区供水。南岸输水干渠沿邳岭东行,过京广路顺贾鲁河继续东行,接惠济河,向黄河以南、废黄河以西地区供水。非汛期黄河南北的引黄

输水干渠也是以后南水北调工程在当地的输水干渠,因此其水位和断面的设计,要能满足两阶段输水的需要。

非汛期的引黄工程为什么要集中从黄河出山口处集中引水,而且渠系要与汛期引黄渠系分开呢?原因有以下几方面:首先,黄河干流上的三门峡水库和正在兴建的小浪底水库,在正常情况下,都采取“蓄清排浑”的运用方式,即汛后开始蓄含沙量较低的水,来春供灌溉用,汛期高含沙量洪水随来随排,仅起自然滞洪作用。非汛期泄放的清水,在山峡河段的卵石河床上带不起泥沙,所以从出山口处引水可引到清水,没有泥沙处理问题。其次,非汛期水库泄放的清水,出山口后经过下游的沙质河床,冲刷河床和滩地,又逐渐增大水流含沙量,进入山东省境内,水流含沙量达到饱和与超饱和状况,重新落淤。这就是黄河河床非汛期河南段冲刷,山东段淤积的基本原因。非汛期从出山口处集中引出清水,有利于减轻或防止非汛期山东河段河槽淤积。第三,小浪底水库即将建成,建成后初期运用的 25 年左右,预留的沉沙库容淤满之前,水库大量泄放清水,将引起河南省境内滩地不断坍塌。故应当在小浪底水库投入运用之前,即建成山口处的集中引水渠系,引出清水向两岸供水,以避免河南境内滩地的淘刷坍塌。这阶段引黄既有丰富的水量,又是清水,要切实把握好这一自然机缘。第四,汛期利用现有的涵闸,就近引浑水种稻,便于泥沙处理。第五,枯水期集中引黄有利于借水行舟,恢复和发展黄淮海平原的航运。(责任编辑 肖庆山)

## 彩图说明

### 中国水利水电科研院的研究设施

我国作为水力资源丰富的国家之一,建国以来在水利水电科研方面取得了可喜的进展,并具有独立设计长江三峡大坝这样大规模的水利水电工程的实力。这和中国水利水电科学研究院以及其他水利水电研究机构 30 多年来相继投资建造了一批相当规模和较高水平的科研设施是密切相关的。其中水利水电科研院的科研设施主要包括:

河道实验室(见封底图):该实验室有 7 600 平方米,可进行枢纽和取水口水沙运动规律、工程布置优化及取水防沙、水库冲淤、河道演变规律及其治理、防洪和河口港口泥沙影响的研究。

水力学实验室(见封底图):该实验室面积 5 000 多平方米,其中安装有高速循环水洞、减压箱、数据采集与处理及其他相关设备。可以进行气蚀、水工建筑物模型实验、掺气消能研究、海岸工程及水电工程中的流体动力学问题的研究。

结构振动实验室(见封底图):该实验室设有先进的模拟地震振动台,可进行大坝、核电站、高层建筑、油罐等关键工程及设施的抗地震模拟试验,并可模拟各种波谱的地震运动。

土工离心模型实验室(见封三图):实验室中设有大型离心机,用微机自动控制,用于研究各种土工模型,例如土石坝、边坡、挡土墙、地基、地下建筑物、隧道、码头及钻井平台等。其规模在亚洲居前列。

力学实验室(见封三图):该实验室约 580 平方米,主要研究各种土石材料的力学特性、土动力学特性;进行地质力学模型实验;研究地下水运动规律、土壤渗流控制及渗透变形、固结灌浆及防渗等。

爆炸模拟实验室(见封三图):该实验室的主体结构为钢筋混凝土爆炸试验洞体(直径 9 米,高 10.35 米),并附设主控室、电测间、高速摄影间、脉冲 X 光室、动力光弹实验室、点爆炸模拟实验室、模型制作间、炸药加工间和炸药库。总建筑面积约 650 平方米。

混凝土结构模型实验室(见封三图):该实验室主要进行水工混凝土的力学、热力学、变形、耐久性等性能试验;粉煤灰、外加剂、碾压混凝土和其他特种混凝土的应用研究;水工结构的光弹应力分析;大坝基础稳定性研究和结构模型实验等。

此外,还有其他一些科研设施,如水力机械实验室、水电站控制系统实验室、冷却水实验室、水质分析实验室、水资源开发实验场、节水综合实验站、灌溉排水实验室、水资源数据库系统及计算中心等。

(本刊记者 刘先曙)