

21世纪中国缺水形势分析及其根本对策——藏水北调

An Analysis on China's Water Shortage in the 21st Century and Its Solutions

陈传友 马 明

(中国科学院自然资源综合考察委员会 北京 100101)

一、前 言

中国是世界水资源大国,水资源总量 2.8124 万亿 m^3 , 占全球径流资源的 6% 左右,仅次于巴西、前苏联和加拿大,居第四位。但人均水资源量很少,人均占有水资源只相当世界人均水平的 1/4,世界排名 110 位,被列为全球 13 个人均水资源贫乏的国家之一。中国又是世界上用水量最多的国家,1993 年全国淡水取用量达到 5 255 亿 m^3 , 大约占世界年取用量的 12%, 是美国 1995 年淡水供应量 4 700 亿 m^3 的 1.1 倍。

由于用水量不断加大,近些年来中国淡水供应不足已见端倪,缺水呼声此起彼伏。

华北平原缺水 据北京市水利局资料,北京地区由于地表水不足,地下水长期超采。全市平原区累计超采 40 亿 m^3 ,超采区面积占平原区面积的 41%,其中一半为严重超采区,形成 1 000 多 km^2 的水位下降漏斗区。东郊漏斗中心地下水埋深达 40m;西郊部分地区地下水含水层已近疏干。城市供水亦出现不足。

1994 年 6 月,低压供水时间累计长达 52 天,共计 400 小时,低压区面积近 300 km^2 。城市边缘地区不得不靠开采深层地下水来维持。

西北缺水 黄河断流日甚一日。70 年代黄河平均断流河长为 242km,80 年代为 256km,90 年代达到 392km。90 年代以前,断流一般在河口地区。1992~1994 年上延到山东济南附近;1995 年发展到河南夹河滩以上,断流河长达 683km;1997 年延伸到河南开封以上,断流河长超过 700km,占黄河下游干流长的 90% 以上。不仅如此,黄河入海水量不断减少,1990 年至 1994 年,年平均入海水量只有 184 亿 m^3 ,相当于 80 年代年平均入海水量 286 亿 m^3 的 64%、70 年代年平均入海水量 371 亿 m^3 的 59%、60 年代年平均入海水量 492 亿 m^3 的 37%。黄河断流和水量的减少已给豫鲁两省带来深重的灾难,而且影响了华北乃至全国经济的持续发展。

云贵高原缺水 据贵州省水利厅资料,由于水资源开发利用程度低,可供水量不足(开发量仅占资源量的 7.5%),灌溉面积受到极大的限制。全省人均有效灌溉面积仅 0.3 亩,制约了粮食生产的发展,全省农村还有 400 万人饮水困难。据专家推算 2000 年以前全省缺水 30~40 亿 m^3 。

东南沿海缺水 厦门市长期以来可供水量匮乏,70 年代初兴建“北溪引水”工程,一举改变了干旱的面貌。但随着社会经济的发展,用水量仍日益紧张。为此福建省水利部门专门研究了厦门的供水问题,并提交了“厦门特区城市供水水源规划”报告,报告中提出到 2000 年,北溪引水量应在现有基础上增加 20%,才能解决市区供水。

在矛盾的面前,人们议论纷纷。有的认为中国不缺水(指淡水供应量,下同),矛盾主要是浪费造成的,只要狠抓节水,就可以解决中国的用水问题;有的则认为,从发展来看中国可供水量不足,解决矛盾的方法只能是开源节流两手抓,不可偏废。对于决策者来说,虽仅一字之差,却可能导致不同的对策。所以对这个问题的必须认真分析,从长计议。下面谈几点看法供国人参考。

二、来水量分析

分析水形势,首先应了解中国有多少水资源可供河道外开发利用。以往在回答这个问题时,一般不考虑环境用水,河道内航运、发电、养殖用水也涉及不多。

众所周知,水是组成人类生态环境的重要因子,如果过量采用,势必破坏生态系统平衡,导致水环境恶化。为了保证社会经济可持续发展,无论是河流水还是地下水,都存在一定的取用限量。至于限量多少,国内外尚无定论。中国属季风气候,径流分布年际或年内都极不均匀。一般来说,河流来水汛期大约占全年的 70%,枯水期占 30% 左右。因此维持河流中枯水期水位的那部分水量,是参与组成生态环境的最低值。如果此要求得不到满足,就必然对生态系统造成不可逆转的影响。由此可见,中国河川径流量的开采限度不能超过河道年来水量的 40% (国外一般小于此值)。按这一原则,中国河川径流可供开发量为 10 000 亿 m^3 。《中国水资源利用》一书中分析,中国北方平原区地下水平均可开采量约 1 000 亿 m^3 (南方地下水已经计入河川径流中)。以上两项合计,可供开发利用的水资源约为 11 000 亿 m^3 ,其中北方五片约 2 000 亿 m^3 ,南方四片约 9 000 亿 m^3 。

另外,水是具有多功能的资源,除河道外用水,还有河道内航运、发电、养殖用水。河道内利用水虽然不

消耗水量,但要求维持一定的水深和必要的流量,因此扣除必要的河内用水后,中国实际可供开发利用的水量小于 10 000亿 m³。到 1993年,中国已开发利用 5 255亿 m³,占可开发量的 52. 5%。从全国来看还有一定的可开发潜力。但是中国幅员辽阔,各地区开发利用程度相差极大,其中北方除东北外,海滦河流域已开发利用 142. 2%,黄河流域已开发利用 58. 6%,淮河及山东半岛地区已开发利用 76. 8%,西北内陆区已开发利用 50% (表 1)。以上数据均超过一般公认的开发利用极限。今后不仅无源可开,而且还要千方百计减少当地水资源利用量,努力遏制生态环境的进一步恶化。中国南方各片水资源丰富,开发利用程度不算高,但是珠江、东南沿海诸河,河内用水方兴未艾,再加上区位条件所限,水资源利用只适宜就地少量调济,主要是满足当地社会经济发展用水,外援条件很差。长江是中国水资源最多的大河,年径流占全国的 1/3以上,可供开发量近 4 000亿 m³。到目前为止,已

开发利用达 1 700多亿 m³。长江是中国内河航运的主动脉,目前干支流货运量不足 3亿吨 (1986年值),小于美国密西西比河 3. 5亿吨的水平。而前者的水量是后者的 1. 7倍。三峡以及上游一系列的水电站建成后,长江的枯水期流量要求有较多的提高。这不仅是航运的要求,也是电站设计的需要。此外长江流域的城市建设将有较快的发展。城市用水还会有较多的增加。考虑上述因素后,长江流域可供开发量,特别是可供外援量就不会太多了,初步估计仅 500~ 600亿 m³左右。西南是中国富水区,水资源总量为 5 853亿 m³,占全国总资源量 20%,其中雅鲁藏布江多年平均径流量为 1 654亿 m³,澜沧江为 740亿 m³,怒江为 689亿 m³。上述资源中可能开发的水量约 2 300多亿 m³,目前已经开发的水量不到 100亿 m³;而无论是现在还是将来,流域内开发利用量都不会很大,所以是中国地表水开发潜力最大的地区,在中国具有重要的战略意义。

表 1 1993年中国用水状况分析 水量:亿 m³ 面积:亿亩 占比重: % 灌溉定额: m³/亩

区 域	水资源量	开发利用量	开发利用率 (%)		农业用水				工业用水		城乡居民生活用水	
			占资源量	占径流量	灌溉面积	灌溉率	灌溉定额	用水量	用水量	占总水量 (%)	用水量	占总水量 (%)
东北诸河	1 928	498. 2	25. 84	30. 14	0. 476	16. 6	772	367. 7	96. 7	19. 4	33. 9	6. 8
海滦河流域	421	409. 6	97. 29	142. 22	0. 96	60. 4	323	310. 5	64. 4	15. 7	34. 7	8. 4
黄河流域	744	387. 7	52. 11	58. 65	0. 68	37. 5	457	312. 0	48. 9	12. 6	26. 8	6. 9
淮河及山东半岛	961	569. 0	59. 21	76. 79	1. 32	60. 8	343	453. 1	63. 7	11. 1	52. 3	9. 1
西北内陆	1 300	582. 0	44. 77	50. 00	0. 73	91. 3	766	559. 4	14. 6	25. 0	8. 1	1. 3
北方	5 354	2 446. 5	45. 69	55. 77	4. 16	45. 1	480	2 002. 7	288. 2	11. 7	155. 8	6. 3
长江流域	9 613	1 659. 4	17. 26	17. 44	2. 77	64. 8	504	1 093. 0	418. 8	25. 2	147. 5	8. 8
东南沿海	2 592	286. 1	11. 04	14. 90	0. 28	80. 0	740	207. 2	49. 9	17. 4	29. 0	10. 1
珠江及华南	4 710	794. 7	16. 87	16. 96	0. 71	69. 8	761	542. 0	165. 3	20. 8	87. 4	11. 0
西南诸河	5 850	68. 0	1. 16	1. 16	0. 16	66. 7	385	61. 5	3. 3	4. 8	3. 2	4. 6
南方	22 765	2 808. 2	12. 34	12. 78	3. 32	67. 0	573	1 903. 7	637. 3	22. 6	267. 1	9. 5
全国	28 124	5 254. 7	18. 69	19. 85	7. 49	52. 7	522	3 906. 4	925. 5	17. 6	422. 9	8. 0

三、用水现状分析

中国是农业国。广大北方干旱半干旱地区没有水利灌溉,农作物很难良好生长发育;南方虽然降水量较多,但由于大面积种植水稻,耗水量大,如不施加人工灌溉,农业不可能稳产、高产。所以生产条件决定了中国是世界上最大的灌溉农业国。到 1993年,农田灌溉面积达到 7. 49亿亩,约占世界灌溉面积的 22%;灌溉用水 3 906亿 m³,占全国总用水量的 74. 4%,为全球农业用水的 17. 5%,平均每亩灌溉定额 522m³/亩。但中国灌溉定额各地差异很大,且分布极不合理。东北与华北相比,湿度大同小异,华北温度高于东北,而灌溉定额东北是华北的 2. 4倍;长江流域的平均降水比东南沿海少得多,但灌溉定额仅是后者的 68%。不仅如此,灌溉定额普遍偏高。为了从理论上说明这个问题,笔者根据中国农业气象专家通过试验研究确定的中国各地农作物最大蒸散量,大致估算出各地农作物的实际需要补充水量。最大蒸散量是指在土壤供水

充足的条件下,作物蒸腾量和棵间土壤蒸发量之和。该量与大气有效降水量之差就是农作物需要灌溉的水量 (对水田可能偏低,对水浇地可能偏高),其中有效降水量是指大气总降水量减去径流深。计算结果见表 2。由表看出,除海滦河流域接近计算值外,其余各片都超过 20~ 60%。

中国属贫水国家。农业生产只能走低耗水、高产量的节水型道路。但目前实为其反。中国水分生产效率很低。1993年全国灌区 1m³水产粮仅 0. 85kg,低于世界上一般公认的 1m³水 1kg 粮的水平,更低于 1m³水 2kg 粮的先进水平。国内生产也不平衡。西北内陆地区 1m³水仅能生产 0. 21kg 粮食;淮河及山东半岛地区, 1m³水生产 1. 5kg 粮,相差 7倍多。北京市近 10多年来,由于采取综合节水措施, 1m³水生产粮食由 1980年的 0. 73kg,上升到 1990年的 2. kg。如果全国平均达到 1m³水 1kg 粮的平均水平,那么农业供水量就可以大大地减少了。

中国是发展中国家,工业起步较晚,因此工业用水量不大。1993年全国工业用水 925. 5亿 m³,占世界

表 2 农作物合理灌溉定额的确定

区 域	农作物 需水量 (mm)	降水量 P= 75% (mm)	径流深 P= 75% (mm)	有效降 水量 (mm)	作物亏 缺水量 (mm)	实际需 水定额 (m ³ /亩)	调整后 合理定额 (m ³ /亩)	现状灌 溉定额 (m ³ /亩)	节水率 (%)
东北诸河	810	419	104	315	495	330.0	330	772.4	57.3
海滦河流域	855	426	63	364	492	327.7	320	323.4	- 1.1
黄河流域	810	329	72	258	552	368.1	370	457.5	19.1
淮河和山东半岛	900	671	151	520	380	253.5	260	343.3	24.3
西北内陆河	810	101	32	69	741	494.1	500	766.2	34.7
长江流域	990	877	479	398	592	394.4	400	503.7	20.6
东南沿海诸河	1 200	1 443	874	569	631	420.5	450	740.1	39.2
珠江及华南诸河	1 320	1 328	711	617	703	468.8	500	761.2	34.3
西南诸河	720	944	632	312	408	271.8	300	384.7	22.0

工业取用水量的 8% ,占全国总用水量的 17.6%。由于经营管理、工艺技术、政策法规等水平和因素的影响,用水浪费严重。不同地区、不同部门,生产同一种产品,用水量相差数倍、数十倍。衡量工业用水水平的主要指标是万元工业产值或万元 GDP 产值的用水量。1993 年中国工业平均万元产值用水量为 19m³,或万元 GDP 用水量 26m³,其中低的不到 100m³,多的超过 500m³,天壤之别!从世界工业化国家来看,美国 1980 年万元 GDP 产值(折合人民币)用水量为 93m³,只相当中国 1993 年用水量的 35%。

城乡居民生活用水在总用水量中所占比重不大。1993 年全国用水量为 422.9 亿 m³,占总用水量的 8% ,其中城市人均日用水量 164 升,在世界城市生活用水中不算是差的。但也要看到中国城市发展较快,水利设施建设赶不上用水增长的速度,加上水源污染日趋严重,使城市用水出现紧张的局面。农村人均生活用水 71 升/人·日。随着农村生活水平的不断提高,用水量还会有所加大,但总量在国民经济用水中所占比重仍将很小。

上述分析的结论是:如果按田间、产品的实际需要,中国目前可供水量并不缺乏;但问题是由于人材、资金、科学技术、政策法规等多种因素的制约,用水量比实际需要量大得多,形成了理论上有富裕、实际上缺水的矛盾现象。

四、用水预测分析

目标是预测的根据。专家们预言,下世纪中叶以前,中国人口将达到高峰值 16 亿,经济发展要求达到中等发达国家水平,城镇人口可能接近总人口的一半。届时供水将主要满足 16 亿人口所需的粮食生产用水、工业现代化用水和城乡居民生活用水。

目前中国粮食生产超过 4 500 亿 kg,人均消耗水平约 380kg,略低于中等发达国家意大利 400kg 的水平,高于印度,与韩国持平。30 年后若按人均粮食 450kg 计算,中国粮食生产要求达到 7 200 亿 kg,比目前多 2 700 亿 kg,任务十分艰巨。分析后认为基本上满足上述粮食生产的有效途径是扩大灌溉面积(在其它措施配合下)。据有关资料介绍,全国现有耕地中最有可能发展的灌溉农田约 9 亿亩,再考虑宜农荒地中

适宜发展灌溉的面积,全国灌溉面积最大极限值在 11.5 亿亩左右。根据需水与可能,预计 30 年左右须增加灌溉面积 2.1 亿亩,以满足生产粮食 7 000 亿 kg 的要求。全国灌溉面积达到 9.59 亿亩,其中北方灌溉面积新增 1.72 亿亩,达到 5.888 亿亩,灌溉率从现在的 45.1% 提高到 61.1% ;南方新增 0.38 亿亩,达到 3.702 亿亩,灌溉率由目前的 67% 提高到 74.6%。如果沿用 1993 年灌溉定额,那末 30 年后中国农业用水将达到 5 210 亿 m³,比现在用水多 1 300 亿 m³。这显然是不可能办到的。如果经过 30 年努力,使现有灌溉农田一半的灌溉定额达到上述理论计算值,还有一半维持现有灌溉水平,而新扩大的灌溉农田全部实现上述理论值,则计算的结果是 30 年后全国农田灌溉用水将达到 4 146 亿 m³,与现有农业用水相比略有增加,其中北方地区增加较多,接近 400 亿 m³;南方变化很小。

工业用水取决于国民经济增长和工业用水水平。中国经济要在 30~ 40 年内进入中等发达国家的水平,就必须保持较高的发展速度。中国科学院国情研究第四号报告《挑战与机遇》中预计:中国 1990~ 2000 年 GDP 平均增长率为 9.3%,2000~ 2010 年为 8%,2010~ 2020 年为 7%,2020~ 2030 年为 6.3%。按此预测,中国 2030 年 GDP 将达到 50 万亿元,人均 GDP 为 3.125 万元,折合 3 600 美元,为 1993 年全国 GDP 的 14 倍。如果采用中国 1993 年的用水定额预测,30 年后仅工业用水一项即高达 13 000 亿 m³。这是因为没有考虑目前工业用水浪费的事实和科学技术进步对用水的影响,而且此项用水超过了中国水资源的承载能力,因而是不可可能的。为了保证中国经济可持续发展,今后的工业用水必须严格执行节水措施,把用水定额降下来,使之达到合理的程度。从世界工业化国家发展历史可以了解到,一般在工业发展的初期,因基础、原材料、电力等高耗水工业比重大,工业用水量较多;当初步实现工业化后,受供水能力、经济效益和市场的影晌,工业生产要求全面实施节水技术,同时工业向高精尖高产值部类转移,工业用水量不但不会继续增加,还必然出现零增长或负增长现象。美国 50~ 60 年代工业用水经历了快速增长时期,5 年平均增长率都在 15% 以上,多数在 20% 以上,最高的达到 37.9% ;70 年代增长速度放慢,到 1980 年上升到历史

上最大值,工业用水 2 528亿 m^3 〔或 3 523亿 m^3 (含咸水)〕,GDP 值为 47 270亿美元,每万元 GDP (折合人民币)用水 93 m^3 。1995年美国工业用水 2 171亿 m^3 (趋于稳定),GDP 按 1993年不变价约 40余万亿元 (折合人民币),每万元 GDP 用水量接近 50 m^3 。根据中国工业发展速度,大约经过 30年时间,全国万元 GDP 用水平均定额可参用美国 1995年的指标。计算结果,2030年前后中国工业用水 2 500亿 m^3 左右,比中国 1993年工业用水多 1 575亿 m^3 。也就是说如果没有这么多水作保证,中国的 GDP 产值难以达到既定的目标。

按《中国设市预测与规划》,2000年、2010年,中国市镇人口占总人口比重将由 1993年的 28%分别上升到 33%和 42%。按此趋势,2030年前后中国市镇人口比重无疑将达到 50%左右,即 8亿居民生活在城镇。根据中国国情并参考国际用水标准,2030年前后,中国城镇人口每人每天用水 250升 (包括市政用水),全国城镇用水 730亿 m^3 ;农村人均用水按城镇一半计,用水量为 370亿 m^3 。两项合计 1 100亿 m^3 。

预测分析表明:如果按当前的用水水平预测,30年后中国用水量将超过水资源承载能力,这既不合理,又不可行;只有通过努力,采取一切节水措施,把用水定额降下来,力争 30年内农业平均灌溉定额由现在的 522 m^3 下降到 432 m^3 ;万元 GDP 用水量由 1993年的 267 m^3 下降到 50 m^3 ,届时全国用水可达 7 750亿 m^3 。这就接近了中国水资源的承载能力。这与目前供水量相比,差值仅为 2 250亿 m^3 ,其中北方约 1 200 m^3 。

五、对 策

通过分析不难看出,中国 30年内即使采取一切节水措施,仍然会出现缺水局面,预计最大缺口达到 2 250亿 m^3 。解决矛盾的方法,只能是开源节流两手抓。两者在某种意义上是相辅相成、互为补充,决不能替代。

1. 节流

农业是中国用水大户,为此首先要提高农业输水效率。目前灌区输水多用土渠,且相当一部分经过第四纪地层,渗漏严重,渠系有效利用系数很低。今后要因地制宜改造和完善现有灌区,发展塑料、混凝土、粘土、石料等衬砌,提高渠系有效利用系数。

其次从灌溉技术入手,狠抓田间水资源利用率,尽快改变传统的灌溉方式,结合国情大力发展管灌、推广喷灌。在有条件的地区,特别是果木、蔬菜、部分经济作物,发展滴灌,提高水分生产率。

中国工业用水发展很快,但重复利用和污水资源化工作,远远跟不上形势的要求。到目前为止,重复利用率不到 50%,且集中在大中城市;污水处理程度很低。80年代末,全国污水处理厂才 70多个,总处理能力 200多万吨,年处理量不到 10亿 m^3 。即使像首都北京,处理能力也很差。1990年全市近 11亿 m^3 污水中,只有 0.57亿吨经过处理。大量污水、废水进入河道和地下,既污染了水域,又浪费了资源。由此可见,提高工业用水重复利用率,扩大城市废污水处理能力,是提高工业节水的有效措施。

中国城市生活用水虽然不多,但由于种种原因也

存在浪费现象。首先城市管网漏失率高,一般在 7~8%,有的达到 10%或更多。仅解决好这一项,每年即可减少自来水损失 15亿 m^3 。其次要抓好生活用水器具的改造和革新,防止淋浴室、便器水箱漏水。目前全国便器水箱 3 500万套,其中 23%漏水,年损失 4亿 m^3 ,相当石家庄市一年用水量。

此外,要研究和推广海水、微咸水代用及雨水利用的方法和技术,要加强水资源的管理,从行政、经济、法制三方面同时入手,把中国节水工作推向一个新的阶段。

2. 开源

中国 30年后缺水 2 000多亿 m^3 ,南北方均在 1 000亿 m^3 左右。分析后认为,南方缺水主要属于工程型缺水性质,只要就地增加调控工程,便可解决水源问题。北方缺水主要属于资源型缺水性质,只能从外流域调水才能有望解决。为此,东北水利水电勘测设计院、“松辽委”等有关单位为了解决辽河中下游的缺水问题,通过多年研究提出了引松济辽方案;为了解决乌鲁木齐等地区的缺水问题,新疆水利厅等有关单位,先后提出“引济”、“引伊”调水工程;为了解决华北等地用水,“长委”、“黄委”、“淮委”相继提出南水北调方案。上述措施都正在研究,论证和报请国家立项之中;但即使全部实施也只能解决北方部分缺水问题,大约还有 400~500亿 m^3 的水量尚无着落。中科院综考会水资源区域调控组,在青藏高原长期工作的基础上,提出了藏水北调方案,试图一举从根本上解决北方的缺水问题。下面就此作扼要论述:

西藏的西南和南面,大江大河较多,从北向南依次有金沙江 (含通天河)、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江 (简称四江)。“四江”水量丰富,具备调水条件。“四江”多年平均径流量 4 513亿 m^3 (出口处),75%年份的来水量为 4 023亿 m^3 ,即使在海拔 3 500m 以上,年来水量也大于 800亿 m^3 ,故有水可供北调。

“四江”与黄河上游的两湖 (扎陵湖、鄂陵湖)的直线距离分别为 100 200 400 600多 km,调水距离不算太远,为调水提供了地形条件。根据调水的目的、任务和 5条选线原则,该方案在大约 45万 km^2 的调出区,以 1/10万地形图为主要依据,配合其它图件,选出从雅江永达 (海拔 3 670m)开始沿东北方向行进,经拉萨河上的旁多 (海拔 3 996m)、迫隆藏布江上的嘉黎 (海拔 3 954m)、怒江上的热玉上游 (海拔 3 580m)、澜沧江上的囊谦上游 (海拔 3 760m)、通天河上的治家 (海拔 3 990m)到黄河上游两湖的调水线路。线路全长 1 171km;沿途隧洞 17条,累计长 298km,其中最隧洞不到 33km。

全线有 6个调水点 (表 3)。6点控制集水面积 223 262 km^2 ,年来水量 624.3亿 m^3 。扣除各种用水后,可调出 435亿 m^3 ,基本可以满足北方经济发展对水的需要。

由表可见,“四江”调水点均在海拔 4 000m 左右,但要进入黄河上游两湖仍然存在一定的高程差,只有提水才能完成调水的任务。为此提水动力成为调水关键因素。在中国电力结构中,水电比重小,核电刚刚起步,发电主要靠燃煤;国家不可能为调水兴建巨大的水电站或核电站,故调水用电只能从水电上开拓新路。

表 3 藏水北调方案的调水参数

调水点名称	所属河流	海拔高程 (m)	集水面积 (km ²)	年来水量 (亿 m ³)	调水量 (240天计)		余水量 (亿 m ³)	调水量占 河口水量 (%)
					年平均流量 (m ³ /s)	年径流量 (亿 m ³)		
治家	金沙江上游	3 990	125 000	99.3	386	80	19.3	5.6
囊谦上游	澜沧江上游	3 760	13 800	45.0	145	30	15	4
热玉上游	怒江干流	3 580	65 000	20.0	627	130	70	19
松曲口	雅江支流	3 950	3 862	40.0	168	35	5	12
旁多	雅江支流	3 996	16 700	60.0	145	30	30	
永达	雅江干流	3 670	111 400	180.0	627	130	50	
合计	/	/	223 262	624.3	2 098	435	189.3	

水头和流量是构成水电的两大要素。深入分析后发现,黄河上游具备巨大的发电水头。从两湖到黄河上游的龙羊峡水面落差 1 660m,到刘家峡为 2 560m,到青铜峡为 3 104m,分别为最大提水扬程的 4 5 和 6 倍。为了缩短水流的行程,集中发电落差,建议从两湖沿东北方向开挖长约 170km 的人工暗渠,经黑海南侧,绕苦海的北侧,进入黄河上游支流曲什安河。在该河的下游,龙羊峡上游的南木塘附近,利用有利地形集中落差 900~ 1 200m,兴建巨型水电站(一级或二级)。当调水未进入黄河之前,由于缺乏径流,南木塘水电站无法启动运行,故为此提出“借水发电、以电抽水、水电循环、滚动开发”的模式。

这种模式,首先是向两湖借水。两湖海拔 4 260~ 4 280m,现已连通,其中鄂陵湖水面积 610km²,储水量 108亿 m³;扎陵湖水面积 52km²,储水量 47亿 m³。两湖共计水面面积 1 137km²,储水量 155亿 m³。借水量决定调水量,与调水成正比。水流出湖后沿人工渠注入电站发电,并及时把发出的电力,首先输送到通天河治家附近提水。由于发电水头大于提水扬程许多,故可形成水电循环和向两湖还贷的结局。如果治家附近的水量不能满足北方用水要求时,可再一次向两湖借水,以同样的原理把澜沧江、怒江、雅江的水调入北方。借水期的长短决定调水线路的长度和渠道纵坡。初步估计,如果调治家的水,借期约 7天左右;如果调雅江的水,则借期不到 20天。为了保证借水的可靠性和增加两湖的调节性能,建议在两湖湖口增修闸门,控制水位,调节径流。

为了充分发挥调水的作用,避免资金的积压和浪费,建议工程可分三期完成。

一期工程:以解决黄河断流为目的,调水量两倍于黄河目前缺水量,约 52亿 m³。为此先向两湖借水 250m³/s (折合年调水 52亿 m³),借水期 7天,电站装机 300万 kW,出力约 240万 kW,发电后及时输至治家

提水。提水扬程暂定 400m (扬程与坝高和输水隧洞长度有关),提水需电力 140万 kW,尚余 100万 kW 的电力供西北使用。发电尾水进入龙羊峡水库,经水库调节放入下游,解决黄河断流。

二期工程:待北方社会经济发展后,进一步出现缺水时,再兴建二期工程,补调金沙江、澜沧江、怒江水量 193亿 m³,解决整个北方(考虑由黑海放水入柴达木以至塔里木盆地)经济发展用水。

三期工程:为了全面解决中国北方缺水问题,等国力大为增强,且进一步出现缺水问题时,兴建第三期工程,以补调雅江水 190亿 m³,完成藏水北调的艰巨任务。到那时,中国除黑龙江外,其它大江大河均联成网络,有利于中国抗旱防洪,充分发挥水的多功能作用;由于大量清水入黄,黄河必将刷深,地面河将向地下河转化,泥沙淤积、洪患均会有所好转。不仅如此,调水以后,北方水电比重大大增加,电力质量改善,节约大量煤炭,同时可与西南联网,汛期西南多发、北方多蓄水(黄河上水库多),南电北送;枯水期北方放水发电,北电南送,进一步提高发电能力。到那时,中国东有三峡工程、西有“大调水”工程,在一定程度上控制了两条巨龙,让她们更好地为中华民族的振兴服务。

主要参考文献

- [1] 刘善建,人口·粮食·水,水问题论坛,1997(2)
- [2] 陈志恺,爱好、用好、保护好有限的水资源,水问题论坛,1996(2)
- [3] 黄祖培,贵州的水,水问题论坛,1994(3)
- [4] 中国科学院国情分析研究小组,机遇与挑战,科学出版社,1995
- [5] 刘昌明等,中国 21世纪水问题方略,科学出版社,1996
- [6] 陈传友,解决黄河断流的一条新思路,光明日报,1998年 (责任编辑 王宏章)

(上接第 6页)

术公司的科学家杰夫·特纳决定将蜘蛛蛋白质的基因转移到山羊的乳房细胞中,然后利用这种山羊的乳汁生产出蜘蛛蛋白,再模仿蜘蛛吐丝的独特方法生产人造蜘蛛丝纤维。这种纤维既可以生物降解,又有足够的强度阻挡枪弹,可能在坦克和飞机的装甲上应用,又可能代替引起白色污染的各种高强度塑料包装材料和商业用

鱼网。有人将这种纤维制成的材料称为“生物钢”。

特纳预计,几个月后,就可能用转基因山羊生产蜘蛛蛋白质。他确信人工蜘蛛蛋白完全有可能变成超强材料,其中的关键是如何模仿蜘蛛独特的拔丝技巧。

(刘先曙)