

从国际水问题看我国节水灌溉革命

Revolution of China's Water-Saving Irrigation Seen from the International Water Problems

张启舜

(中国水利水电科学院,国际灌排委员会副主席 北京 100044)

一、世界水问题的现状和未来

1. 世界水问题

Biswas 的研究表明,全球用水增长率超过人口增长率(图 1)。近几十年来全球用水增长的速度是人口增长速度的 3 倍,若按此趋势发展,全世界人口增长 1 倍就意味着用水量增长 6 倍。

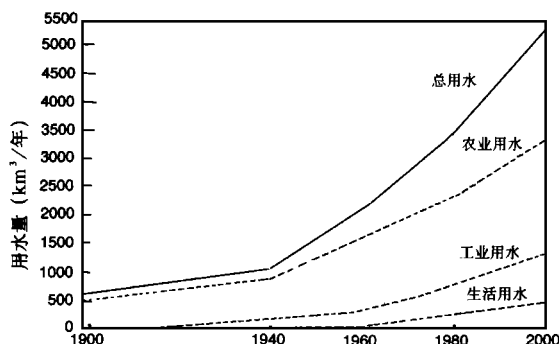


图 1 预计 21 世纪各部门用水量增长过程

1996 年 FAO 根据全球作物的耗水量计算得到全球农业最小耗水量为每年 3 200km³。

Postel 的进一步分析结果表明,全球人类所消耗干物质(生物量)为每年 150 亿吨,据此求得全球人类通过光合作用在耕地上所需的最小水量为 7 500km³(平均按每吨水产生 2 公斤干物质计算),同时为人类服务的牧草场及提供牲畜的水量为 5 800km³(按 1996 年全球共有 13 亿头牛、9 亿头猪、120 亿只鸡计算),再考虑无效灌溉的蒸发损失为 500km³,计算出全球需水量 13 800km³,按当时全球人口 57 亿计算,人均年耗水量 2 420m³(包括雨水量)。而目前的情况是全球还有 10 亿人缺水,草场退化 20%,渔业产量衰减 8%,耕地增长已接近为零(增长值与减少值相等)。

因此,人类对水的依赖性在进一步增长,草原需要灌溉,林牧副用水也需增长,耕地对灌溉的依赖从原来的 17%灌溉地生产 40%的粮食到未来 60%的粮食将来自灌溉地。所以,全球面临的水问题将日益严峻。

根据 FAO 的计算,每人每天平均需要 2 700 单

位卡路里(其中 2 300 来自植物,400 来自动物)。计算得出人均最小用水量 1 000m³(其中人均生活和工业用水量为 200m³)计算,2025 年全球将有 55%的人缺水,主要分布在亚洲、中东和非洲。

2. 世界水危机与粮食问题

在 2015 年前,世界人口将以每年 8 000~8 500 万人增长,到 2025 年人口将比现在增长近 1 倍。到 2025 年,作物总耗水量将达到 6 400km³,灌溉水量需较 1995 年增加 2 000km³。(表 1)

另外全球城市化的发展趋势,尤其是在发展中国家,城市化水平将从目前的 35%增长到 54%~57%,即农业人口将有 23 亿转移到城市,生活用水量将大幅度增加。

根据目前的平均水平,当人均水量小于 1 700m³时,其粮食则将依赖进口。目前全世界有 24 个国家均因缺水而进口粮食,占世界粮食市场的 1/4,到 2025 年将有 30 亿人因缺水而需进口粮食,所以粮食贸易某种意义上是缺水贸易。

表 1 1995 年与 2025 年作物耗水的估计

年份	作物需水量 (km ³ /Yr.)	直接来源于雨水 (km ³ /Yr.)	灌溉水 (km ³ /Yr.)	灌溉水所占 比例(%)
1995	3 200	2 300	900	28
2025	6 400	3 450	2 950	46
增加(%)	100%	50%	227%	

目前为满足供水需求的大量引水工程已造成世界范围的河流干枯,地下水的利用造成了地下水超采,如在中国华北地区、印度旁遮普邦、美国西部、东南亚、墨西哥、北非和中东等地区。今后的发展令人忧虑。1998 年联合国的文件已经预言下个世纪第一位的问题是人口问题,第二位是水问题。法国总统希拉克在 1999 年 3 月 86 个国家参加的水的部长级会议上说:“人类本世纪为能源而战,而下世纪将为水而战”。1999 年又是“马尔萨斯人口论”发表 200 周年,一些悲观论者又在借人口与水问题而渲染“悲观的世界”论。

3. 从 1998 年世界水利部长级大会到 2000 年世界水论坛

联合国可持续发展委员会把水问题作为实施可持续发展中的首要任务。1997 年的联合国大会及

可持续发展委员会提出了世界水资源评价,并决定1998年召开一系列的国际会议来研究制定相关的对策。其中包括在津巴布韦的哈拉雷召开的“淡水资源综合管理”大会,在德国彼得斯堡召开的“国际边界河流”圆桌会议,法国巴黎召开的世界各国家部长级大会以及在联合国总部召开的可持续发展委员会专门会议。在这一系列的会议中,讨论了可持续发展中的水的地位和作用、水的环境和生态、水利用中的资金筹集、群众参与水管理等问题,并通过近期行动计划,旨在加强全球水信息系统、水管理的机构建设和解决融资问题等,并要求各国政府在2002年提出水的可持续发展的行动计划报告。

根据这次大会的精神,为进一步落实水在可持续发展中有关问题,由联合国教科文组织、世界银行、荷兰政府及有关水的非政府组织发起,于2000年3月在荷兰海牙再次召开世界水大会论坛,主题是水、生命和环境,主要包括三个部分,即水与粮食供应和农村发展、供水与卫生、水与生态环境(可能将水的灾害调节问题单列出来)。

二、我国水问题在世界水问题中的地位

基于我国的自然地理条件,我国的水问题表现在水多为患、水少为愁、水脏为忧、水环境问题严重为难,真是“患难忧愁”。水环境问题包括水土流失、

河湖枯萎、地下水位下降以及湿地日益消失等。但是这四大问题中缺水是问题的核心,而且是日益严重不可逆转的问题,必须认真对待。这是由于我国的人口和资源、自然地理环境所决定的。水与粮食的关系问题有以下几个比较突出的方面。

1. 由于我国人均占有的土地少,因此粮食对灌溉的依赖性很大。表2列出了中国耕地与世界耕地的对比。我国与美国和欧洲年降雨量相当,但灌溉比例大得多。而且随着我国城市化水平从30%增大到50%,相当一部分农业用水将转向供应城市,因此农业灌溉用水的严重性也日益增长。

2. 我国的水资源空间分布很不均匀(见表3),而且主要产粮区黄淮海地区的人均水量仅351~742m³,远低于人均1000m³的最小值。所以要谨慎对待全国平均人均占有水资源量为2400m³的数据。

表2 中国与世界耕地比较

国家	耕地		灌溉面积	
	总面积(10 ⁶ ha)	人均面积(ha)	总面积(10 ⁶ ha)	占耕地(%)
中国	95.89	0.089	44.46	46.4
世界	1375.7	0.28	220.32	16.0
加拿大	46.70	1.82	6.35	1.4
美国	187.87	0.78	18.1	9.6
前苏联	227.8	0.81	19.95	8.8
法国	176.05	0.31	11.7	6.6
德国	11.96	0.22	4.86	4.1
英国	7.02	0.12	1.55	2.2

表3 中国水土资源基本概况

地区与流域	面积(10 ⁴ km ²)	降水量(10 ⁸ m ³)	径流量(10 ⁸ m ³)	耕地(10 ⁸ 亩)	人口(10 ⁸ 人)	人均水量(m ³ /人)	地均径流量 (10 ⁴ m ³ /km ²)	人均耕地 (亩/人)	地均降水量 (10 ⁴ m ³ /km ²)
东北	126.6	6377	1927	2.87	1.15	1690	15.3	2.50	50.37
海河	32.0	1781	421	1.59	1.21	351	13.2	1.31	55.65
黄海	79.8	2838	744	1.83	1.02	742	9.6	1.80	35.5
淮河	33.0	3691	961	2.17	1.94	500	29.2	1.12	111.84
长江	181.0	19360	9610	3.36	4.14	2356	53.1	0.82	106.96
东南	24.0	4216	2590	0.35	0.66	3918	108.0	0.53	175.60
珠江	58.3	8976	4710	1.02	1.42	3370	80.0	0.72	153.80
西南	85.3	9346	5850	0.24	0.21	29180	69.0	1.14	109.56
内陆	340.0	5321	1300	0.82	0.26	5190	3.80	3.08	15.65
全国	960.0	61859	28120	14.2	12.0	2317	29.4	1.18	64.46

3. 目前我国河流水资源开发利用程度已经很高,特别是黄河、淮河、海河已达50%以上,超过世界上一般认为的极限值(表4)。

4. 目前我国人均年用水量仅450m³,远低于世界平均水平744m³,因此节水的潜力是有一定限度的。

5. 由于人均耕地很少,为了解决吃饭问题,复种指数很高(表5),加之降雨在年内分布得不均匀,所以农作物对水的依赖性很高。

6. 水环境问题已相当严重,突出表现在黄河断流和地下水位下降,见表6和表7。

7. 我国的水资源总量中有30%的国际河流,这57条河流的流域面积约覆盖我国国土面积的30%。今后这些水资源的利用可能会遇到一些新的挑战,在进行水资源的规划时应予以特殊对待。

基于以上认识,全世界有不少人出于各种动机正在研究中国的水问题,其中最突出的有美国的布朗先生和Mead研究所。他们的重点有两方面:预估

中国2030年的农业缺水量和粮食的亏缺量。表8为布朗先生与中国水科院王浩博士的预估结果。其差别主要是对农业用水的估计。

表4 水土资源利用情况(1993年水平)

地区与流域	水资源				耕地			
	利用量 10 ⁸ m ³	利用率 %	农业用水 10 ⁸ m ³	比重 %	灌溉率 10 ⁴ 亩	水田 10 ⁴ 亩	水浇地 10 ⁴ 亩	雨浇地 10 ⁴ 亩
东北	498.2	24.8	370.0	73.8	0.166	3070	1690	23840
海河	409.6	96.8	312.0	75.8	0.600	280	9320	6300
黄河	387.7	52.1	312.0	80.5	0.370	750	6070	11380
淮河	569.0	58.8	452.0	79.6	0.600	5600	7600	8500
长江	1659.4	17.2	1100.0	65.9	0.650	19000	2700	11800
东南	286.1	18.0	207.0	72.4	0.820	2600	200	700
珠江	794.7	16.8	545.0	68.2	0.700	6400	720	3080
西南	68.0	11.6	62.0	90.5	0.670	1100	500	800
内陆	582.0	45.0	560.0	96.1	0.920	1200	6100	700
全国	5255.0	18.8	3910.0	74.3	0.520	4000	34900	67100

表 5 中国作物复种指数

区域和流域	面积 10^4km^2	降雨量 10^8mm	耕地 10^8m^2	人口 10^8	复种指数
中国东北	126.6	6 377	1 913	1.15	0.98 - 1.03
海河平原	32.0	1 781	1 060	1.21	1.50 - 1.70
黄河平原	79.8	2 838	1 220	1.02	
淮河	33.0	3 691	1 446	1.94	
长江	181.0	19 360	2 240	4.14	1.98 - 2.18
中国东南	24.0	4 216	233	0.66	1.58 - 2.03
珠江	58.3	8 967	680	1.42	1.96 - 2.34
中国西南	85.3	9 346	160	0.21	1.58 - 2.03
内陆河	340.0	5 321	533	0.26	0.93 - 1.02
全国平均	960.0	61 859	9 467	12.0	1.56

表 6 黄河断流天数 (1987~1997)

年份	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
天数	17	5	24	0	16	83	60	74	122	136	226

表 7 地下水开采造成的漏斗区和地面沉降

地区	北京	天津	河北平原	唐山	太原	西安	苏州 - 常州
漏斗面积(km^2)	800	9 080	2 600	2 400	216	1 000	1 413
最大沉降量(m)	0.6	2.63	1.0	0.15	1.8	1.5	1.1

表 8 中国水资源需求量估计

部门	1995年		2030年	
	布朗	王浩	布朗	王浩
生活	310	428	1 340	1 190
工业	520	761	2 690	2 222
农业				
包括林、牧、渔	4 000	4 110	6 650	4 280
总量	4 830	5 300	10 680	7 697

图 2 为 Mead 研究所对我国粮食进口的估计,其中自由贸易是指由于我国粮食生产的成本将比世界粮食成本高,可以通过自由贸易降低粮食成本(目前我国的粮食价格已与国际市场价格相当);环境影响是指目前的粮食产量对中国水环境状况的影响;从保护环境的角度考虑,应当限制水的开发。因此布朗先生认为中国的水问题将影响世界粮食安全。

三、节水灌溉是世界第二次绿色革命的中心

1. 世界第一次绿色革命的成就

为了解决人口增长与粮食的要求,自 60 年代印度就发起了以水、肥、农药高投入为内容的绿色革命,其中灌溉面积的增长起到了决定性的作用。近 30 年来,由于世界灌溉面积以每年 2~3% 的速度增长,保证了粮食每年增长 3%,以满足世界人口年增长率 2% 的需要。目前全球 40% 的粮食来自仅占 17% 的灌溉地。我国的情况也基本如此。除 1978~1988 年是由于农村体制改革和肥料大量投入而增加粮食外,其它年份主要取决于灌溉。

随着灌溉农业的发展,在社会、经济和环境等各方面产生了一系列的问题,其中比较突出的有灌溉成本无法回收、灌溉引起地下水位下降、河流枯萎等环境问题。因此从 90 年代开始全世界的灌溉面积发展速度已下降到 1.1%,今后的发展如何?从

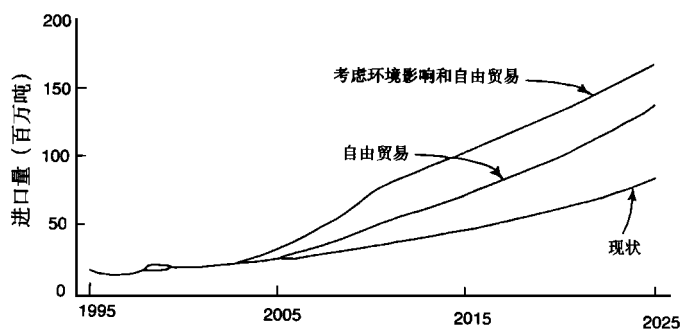


图 2 中国未来进口粮食的估计(美国研究结果)

需要看,要求加速灌溉的增长,但从可能的趋势看是在降低。目前全世界都在推动以节水为中心的第二次绿色革命。

从我国的情况看,黄淮海广大地区人均水资源量已接近以色列,而由于经济发展水平以及以色列的粮食 85% 均来自进口等条件的差别,我国的节水灌溉革命必须走新的道路。

2. 平原地区的“绿色水”的合理利用

我国广大平原地区,雨水还是比较充沛的,这也是我国今后发展的潜力。合理利用和调度地表水、土壤水、地下水是今后节水灌溉革命的方向。根据该地区的降雨与作物生长的水分函数计算,有 1/3 的年份是基本不缺水的,1/3 的年份是部分缺水的,只有 1/3 的年份严重缺水需要灌溉。因此,改变目前的灌溉制度是节水革命的重要途径。从表 1 看出,从降雨形成的土壤水,是作物需水的主要来源,但是真正为作物蒸腾进行光合作用水称为绿色水(green water),其中的生产水(production water)仅是很少一部分,其余的土壤水为蓝色水(blue water),通过地表及地下径流流向大海。所以如何通过水利措施调节好土壤水(调控地下水位),以及通过农业耕作措施(如平整土地、深翻、覆盖等)保持好土壤水,应当是今后黄淮海平原地区发展节水灌溉的重要方向。

3. 山区的集雨和雨养农业的改进

我国广大的山区尚有 200mm 以上的降雨量,如何改变目前的全部依靠自然降雨的雨养农业(rain feed)为集雨农业(harvesting rainfall)是山区推行节水灌溉的方向。雨养农业由于天然降雨的作物需水的时机不同,因而同样存在着无效的蒸发损失。根据观测结果,人工的雨养农业比天然雨养农业可以减少蒸发损失 30%。其集水措施包括水利措施中的建立小水窖,农业措施中的等高耕作、梯田等。目前全球 63% 的耕地处在干旱半干旱地区,而且不少属于山区。山区耕地在我国大体占耕地的一半左右,是今后发展节水灌溉革命的重要地区。

4. 喷滴灌的发展潜力在何处

我国由于经济发展水平的限制,现代化灌溉(喷滴灌)的面积仅占 1.7%,虽然近年来发展迅速,但是差距还是很大(澳大利亚、德国、以色列均为 100%,南非 59%,美国 27%)。根据近年来各国发展的经验教训,发展喷滴灌必须因地制宜,特别对于土地不太平整的山区耕地,因土地平整任务很大,宜发展喷灌,对于小面积的山区耕地(例如每块耕

地小于 6 亩),宜大力发展低价的简易滴灌。不宜在平原地区过份强调发展喷灌,亦不应不恰当地在大农业中强调发展滴灌。我国土地面积广大,发展喷滴灌的潜力很大,关键是做到因地制宜,大步而又稳步地发展。

5. 逐步落实水的综合管理和先进的管理技术

近年来国际上推行实施水的大范围的综合管理(Integrated Water Resources Management),其内容包括:流域上下游统一、地表水与地下水统一、社会经济政策相协调、生态环境相协调、水量与水质统一、全成本核算、用水信息统一和公众参与等八大方面。把现在的供水管理(Water Supply Management)转变到需水管理(Water Demand Management)的轨道上来。典型经验表明,通过先进的管理措施,节水潜力可达 50%左右。利用遥感技术进行灌区规划和田间适时灌水,已经在世界上先进的地区推广,这是 21 世纪节水革命的一个重要方向。

四、我国节水灌溉革命中的几个不同的认识问题

1. 应充分认识到我国水环境欠账日益增大,现有的灌溉制度必须改变

应当看到,几十年来我国的节水灌溉是有成效的,对保证粮食增产起到了重要的作用。但是同时也应看到地下水超采及河道干枯等水环境问题也日益加重,因而我国的粮食增产是不稳固的,特别是有些地区还在超采深层地下水来发展喷灌,这种节水是不可能持续的,必须从灌溉制度上加以革命。国外在这方面的典型教训是沙特阿拉伯,几十年来为了保证粮食的自给,依靠自身的经济实力大力开采地下水,使 1994 年沙特国的粮食产量达到 500 万吨,一跃从粮食进口国变为粮食出口国,出口量达 40%。但当他们认识到环境问题的重要性,停止开采地下水时,1996 年粮食产量仅 190 万吨,50%的粮食又依靠进口。所以我国不少地下水超采地区应当首先改变灌溉制度,而不是仅仅改进灌溉技术,否则总有一天大自然会惩罚我们。据估计,目前全世界地下水超采的恢复费用已达 6 000 亿美元,恢复是很困难的。1996 年河北发大洪水时,所补充的 20~30 亿 m^3 水量,仅是河北省地下水超采总量的 1/10;何况这种洪灾代价太大,是要力求避免的。

2. 干旱半干旱地区的水土保持工程是要耗水的

大量的观测资料表明,在干旱半干旱地区,不论林草还是地坝等水土保持工程均是要耗水的,它们是“用水户”而不是“供水户”。因此在水资源计算时应当计入这一项。当然水土保持对改善当地生态环境是十分必要的,但是同样也要认真贯彻节水。盲目地发展耗水的水土保持工程,同样也不符合生

态、环境的要求。目前不仅在干旱半干旱的山区,像北京这样的平原地区也存在类似的问题,应认真加以对待。

3. 要从整体上讲节水效益,不能只从一二项节水技术的推广来看节水效益

我国农业灌溉水的利用效率很低,仅 0.4 左右,因此分区分类拟制全国的节水灌溉规划是十分重要的。农业节水包括工程技术、非工程的管理技术、政策与机构建设等各方面。从工程技术上讲,在不同地区,不同的灌溉方式对应不同的节水方式。如我国南方的灌溉水利用效率低主要是由于工程老化不配套和缺少调节水的工程。我国灌区有 1/4 为井灌区、1/4 为自流河灌区、1/4 为提水河灌区,1/4 为综合灌区。各种灌区的节水方式不同,笼统地讲节水潜力是无意义的。例如在缺水和水环境问题已很严重的地区,应讲同等水量条件下的大面积的增产效益,因为大面积的非充分灌溉可能比充分灌溉更为有效。另外在平原地区推广大面积的平整土地、利用雨水,会比推广数万亩的喷灌面积更为有效;即使在大力推广喷灌的地区,也应把地下水位的超采作为制约因素来考虑。

4. 应当重新进行包括雨水资源在内的全面的水资源评价

以往的水资源评价是根据历史的径流资料进行全流域供水与需水平衡的分析计算,这是在降雨、产流和汇流不变的条件下提出的方法。但是近几十年来,我国面上的水土保持和人为破坏对下垫面的改变很大,另外从雨水利用和全流域水管理的角度出发,必须对水资源重新进行新的评价。突出表现在黄河流域的水资源利用中,基于过去水资源评价的结果所进行的水的调度和分配都失去了指导意义,出现了上、下游用水的矛盾。类似的情况在海河、辽河流域均有发生。只有重新评价全流域水资源(包括雨水资源),重新进行农、林、牧、渔水资源在上、下游的分配,才能对我国 21 世纪的农业灌溉及节水革命有切实可行的指导意义。

5. 应重视节水灌溉的社会伦理和法律问题

节水的效益往往是社会效益,因为当地的节水往往是为社会,不是为自己。对于环境的影响也是社会性的。因此水价的问题很大部分也应当属于社会问题。1995 年在英国牛津大礼堂进行过水是否是商品的大辩论,一部分人坚持水不是商品,认为假如水是商品,则首先应当划清水权属于谁;水权又牵涉到水的生态和环境的标准如何界定,即哪一部分水是可以进行商品交换的。地下水因为边界不清,划界更为困难。所以随着节水的深入开展,这一类的问题也会逐步提出,需要在实践中探讨。另外涉及到国际河流则问题更复杂了。

总之,我们应当认识到我国人民是在一个较世界平均条件差的环境下生存,因此对于农业节水灌溉,我们尤其必须而且也应当能够创造出一套适合我们自己的运行方式。(责任编辑 王宏章)

(上接第 36 页)

总之,天山、祁连山自身水资源的调节与增量是西北有关省、区可持续发展的重要课题,国家应将其纳入近 10 年的计划,把天山、祁连山“水塔功

能”的强化与保护长江、黄河视作同等重要的行动,为我国西北部的大开发、大发展创造重要的条件。

(责任编辑 王宏章)