

西北干旱区水资源供需分析与 可持续利用对策研究

郑水红 王守荣

(国家气候中心, 北京 100081)

摘 要 水资源是西北干旱区人类生存和经济发展的基础资源及重要制约因素。作者在分析西北干旱区内陆河水资源条件、水资源开发利用现状、未来西北地区气候与水资源变化趋势、西北干旱区不同时期水资源供需平衡及主要水环境问题的基础上, 提出了西北干旱区水资源可持续利用对策建议。

关键词: 西北地区; 干旱; 水资源

P4 A

1 引言

西北干旱区指贺兰山以西, 昆仑山系以北的广大地区, 包括新疆全境、甘肃河西走廊、青海柴达木盆地及内蒙古西部等地, 土地面积约占全国土地面积的四分之一, 占全西北土地面积的73%。西北干旱区远离海洋, 深居亚洲内陆, 属温带、暖温带干旱区, 为典型的大陆性气候, 日照充足, 温差变化大, 雨雪稀少, 气候干燥, 蒸发作用强烈, 是我国内陆河集中分布区, 区内共有大小内陆河676条^[1]。西北干旱区内陆盆地与高山相间分布的地形格局, 决定了所有发源于高山地区的河流形成由高山向平原、盆地汇集的向心系水系。水资源系统的主要特征表现为区内每一条内陆河水系由于地质构造、自然条件垂直分带规律, 从源头到尾间都要流经两个性质完全不同的径流区, 即径流形成区和径流散失区。山地水系统是降水量大于蒸发量, 产生径流; 山前平原和荒漠水系统是蒸发量大于降水量, 不产流, 为径流耗散区。山区相对较多的降水及冰川积雪融水是山前地带水资源的主要来源, 因此内陆河流域的出山口径流基本代表了内陆盆地的水资源总量。每条内陆河流域都是以地表水和地下水为纽带形成上下游之间联系并制约的独立水循环系统, 地表水与地下水的多次相互转化是内陆盆地水资源循环的基本方式。

2 西北干旱区内陆河流域水资源

“九五”国家科技攻关项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”采用1956~1995年的40年系列对西北地区水资源进行了评价。西北干旱区内陆河流域(包括新疆的国际河流)水资源及其分布见表1。

从表 1 可以看出,西北干旱区内陆河多年平均降水量 3 763.7 亿 m³,多年平均降雨深 153.0 mm,多年平均水资源总量为 1 073.5 亿 m³,其中地表水资源 981.4 亿 m³,地下水资源 528.4 亿 m³,地表水与地下水重复量为 436.3 亿 m³,不重复量仅 92.1 亿 m³,径流系数为 0.29。水资源的空间分布很不均匀,其中新疆占 80%,说明西北干旱区的水资源主要集中在新疆。在总水资源中,地表水资源占 91.4%,而地下水仅占 8.6%。

表 1 西北干旱区内陆河水资源及其分布							亿 m ³
省区		面积 (万 km ²)	降水量	地表水资源量	地下水资源量	水资源总量	产水系数
新疆	北疆	39.5	1047.4	403.7	149.0	430.0	0.39
	南疆	104.9	1327.4	370.2	212.9	399.6	0.28
	东疆	21.0	140.9	20.5	21.0	27.4	0.15
	全疆	165.4	2515.7	794.4	382.9	857.0	0.34
甘肃		21.5	354.4	58.4	56.9	65.1	0.18
青海		37.4	652.2	128.3	69.8	133.8	0.21
内蒙古西部		21.7	241.4	0.4	18.8	17.3	0.07
合 计		246.0	3763.7	981.4	528.4	1073.5	0.29

3 西北干旱区内陆河水资源利用现状

西北干旱区自 20 世纪 40 年代以来,随着干旱区人口增加和工农业经济规模的日益扩大以及城市进程的加快,人们对地表水资源的开发强度也随之增大。从 70 年代开始,干旱区流域开始普遍开采地下水。西北水资源开发利用程度高,西北内陆河流域因水资源可重复利用,利用率更高,一些经济发达、人口密集的地区和流域,引水量都大大超过了水资源总量,如新疆的乌鲁木齐河流域引水率高达 168.3%,甘肃河西石羊河流域为 160%^[2]等,均出现水资源开发利用过度的现象。西北内陆河 2000 年水资源利用程度见表 2。从表 2 看出,2000 年西北内陆河流域实际供水量 577.6 亿 m³,水资源总量利用率为 52.7%,地表水开发利用率 51.3%,地下水开发利用率 11.3%。其中河西走廊、准噶尔盆地和塔里木盆地水资源总量利用率分别为 93.9%、66.3%和 79.1%,大大超过干旱区 50%的界限。

表 2 2000 年西北干旱区内陆河水资源利用状况							
省 区	供 水 量/亿 m ³				地表水开发利用率 (%)	地下水开采利用率 (%)	水资源总量利用率 (%)
	地表水	地下水	其他	合计			
新疆	425.5	54.2	0.3	480.0	53.6	10.0	55.8
甘肃	55.2	21.6		76.8	>100	41.3	>100
青海	7.0	1.1		8.1	5.7	1.4	6.1
内蒙古	5.7	7.1		12.8	70.3	10.5	20.6
合 计	493.4	84.0	0.3	577.6	51.3	11.3	52.7

注:资料来源,中国工程院“西北水资源”项目组,西北地区水资源及其开发利用现状评价报告(阶段报告)

4 未来西北地区气候、水资源变化趋势

大气降水形成地表水、地下水、土壤水和生态用水等,所以水资源与气候关系十

分密切,特别是西北干旱区内陆河,山区相对丰沛的降水及冰川积雪融水是径流的主要补给源。

气候变化是由自然变化和人类活动共同造成的。采用国际上通用的全球和中国区域气候模式,考虑气候的自然变化和人类活动造成的气候变化两个方面的综合影响,预测未来50年由于自然和人类的联合作用,将可能造成西北地区气温有明显变暖的趋势。在2010年,自然的降冷作用与人类产生的增暖作用基本相互抵消,增温不明显,其后,由于人类活动引起的增暖作用越来越明显,2030年西北地区气温可能上升 $0.9\sim 1.3^{\circ}\text{C}$,到2050年气温可能上升 $0.9\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ 。综合影响的结果,西北地区降水将可能明显增加,2010年降水可能增加 $5\%\sim 16\%$,2030年降水可能增加 $8\%\sim 18\%$,到2050年降水可能增加 $14\%\sim 27\%$ 。见表3。

气候变化对径流有明显的影响,对于以降水为主要补给源的山区,径流变化主要取决于降水的变化,气温升高的影响次之。对于以冰川积雪融水为径流主要补给源的山区,气温升高将使冰川积雪消融,短期可使山区径流量增加,但随着冰川变薄后退及小冰川的消失,冰川对年径流的调节作用将减弱。基于高寒山区径流对气候变化敏感性研究成果,可以粗略地判断,如果未来西北地区气温升幅由2010年的 0.1°C 增至2050年的 2.1°C ,降水增幅由2010年的 $5\%\sim 16\%$ 增至2050年的 $14\%\sim 27\%$,则未来的西北地区的年径流量将呈增加趋势,其增幅约为几个百分点至十几个百分点。如果未来气温升高 2°C ,而降水只增加几个百分点,径流将减少^[1]。

表3 未来10~50年西北各省区降水变化的综合预测

%

年份	陕西	宁夏	甘肃	青海	新疆	内蒙古	西北
2010	1~11	1~11	3~13	13~22	1~21	11~20	5~16
2030	7~17	8~18	11~21	9~19	8~18	4~14	8~18
2050	23~32	25~34	29~38	6~15	4~34	-1~8	14~27

注:预测的气候变化是相对于目前气候(指大约1990年或1961~1990年)

5 西北干旱区内陆河水资源供需平衡分析

水资源是西北干旱区生存和发展的基础资源及重要制约因素。流域水资源同时支撑着生态环境系统和社会经济系统,在水资源不足的情况下,两者间将产生竞争性,必须合理协调生态用水与生活、生产用水之间的关系。现代水资源评价按不同口径划分为广义水资源、径流性水资源、国民经济可利用量和生态环境需水量。广义水资源指能够直接或间接为人类及生态环境所利用的水资源,包括有效降水(可为天然生态系统和人工生态系统所直接利用)和径流性水资源。径流性水资源包括地表水和地下水,即狭义水资源,这部分水量可以通过工程进行开发利用,又可划分为生态需水量和国民经济可利用量。我国西北干旱区降雨中大约有70%是能够直接或间接为人类及生态环境所利用的广义水资源,无效降水只占30%左右^[2]。

水资源供需应进行统一规划,合理配置。按照一般水需求计算,总需水量划分为两个部分,一部分为生态环境用水,包括人工生态和天然生态用水,另一部分为国民经济用水,包括人类生活用水、工业用水和农业用水。人工生态系统的需水量在经济

各部门需水预测中考虑，因此，水资源供需平衡分析分国民经济和天然生态环境两部分。西北干旱内陆河区进行了 50%保证率的各个水平年的水资源供需平衡分析，结果见表 4^[4]。从平衡结果可以看出，随着西北干旱区人类生存和经济的发展，水资源将难以支撑各部门对水的需求，出现了不同程度的缺水，需水量超过了供水量的承载能力。西北干旱区存在着资源型缺水。

表 4 西北内陆河流域各水平年 50%保证率供需平衡表 亿 m³

水平年	省区	国民经济			天然生态		
		需水量	供水量	缺水量	需水量	供水量	缺水量
现状	新疆	433.25	399.99	33.26	208.10	190.28	17.82
	甘肃	76.34	74.98	1.38	5.62	4.36	1.26
	青海	8.72	8.72	0.00	20.07	20.07	0.00
	内蒙	5.72	5.73	0.00	6.25	3.74	2.51
	小计	524.03	489.39	34.64	240.04	218.46	21.58
2010 年	新疆	465.02	456.51	8.51	210.10	210.10	0.00
	甘肃	78.05	76.40	1.65	8.96	7.34	1.62
	青海	10.24	10.24	0.00	20.27	20.27	0.00
	内蒙	5.33	5.33	0.00	7.21	7.21	0.00
	小计	558.64	548.48	10.16	246.34	244.72	1.62
2020 年	新疆	485.49	473.52	11.97	210.10	210.10	0.00
	甘肃	78.27	77.12	1.15	8.98	8.31	0.67
	青海	11.98	11.98	0.00	20.07	20.07	0.00
	内蒙	5.75	5.75	0.00	7.21	7.21	0.00
	小计	581.49	568.37	13.12	246.36	245.69	0.67

上述水资源供需关系的预测没有考虑气候变化对水资源的影响，未来 10 年内气候变化对天然来水的影响不显著，供水需水预测可不考虑这个因素。到 2020 年西北降水增加与气温升高可能使年径流增加，但气温升高将导致灌溉用水及生态用水增加。

另外对西北干旱区内陆河水资源进行承载能力分析：衡量水资源承载能力大小的主要依据是承载的人口数量和经济发展水平，根据西北各个地区水资源可利用量（地区水资源总量中减去生态用水量的其余部分）、人类生存和发展对水资源的人均年需水量（利用人均生活需水、人均 GDP 需水算出），采用最大可承载人口量方法，计算不同水平年（现状、2010 年、2020 年）西北各个内陆河地区最大人口可承载数量，将最大人口承载量数量与现状人口数量和人口数量的预测值相比，得出不同水平年的人口超载数量。分析表明西北干旱地区人口超载的地方有新疆东疆和河西内陆河地区，新疆东疆 1997 年、2010 年、2020 年人口分别超载 25 万人、32 万人、39 万人，超载率为 27%；河西内陆河地区 2010 年和 2020 年分别超载 20 万人和 55 万人，超载率约 10%。尚有人口承载潜力的地区包括新疆北疆、南疆、柴达木盆地和青海湖地区^[5]。超载的原因是水资源紧缺，人口和经济发展对水资源的需求超过了水资源的承载能力。

6 西北干旱区水资源可持续利用对策建议

西北干旱区气候干旱，降水稀少，生态环境十分脆弱。近 20 年来不适当的人类活

动导致内陆河流域水资源过度开发利用,对水资源系统和生态环境系统产生了严重干扰,引起了一系列水环境问题。如内陆河流域水量减少或下游河道断流,湖泊不断萎缩、甚至干涸消失,地下水位下降,湿地缩小,水土流失加剧,土地沙漠化、盐碱化、盐渍化,草场退化,下游荒漠植被消亡,水污染加重,整个生态系统出现了严重退化。上述生态环境的种种问题,都需要用水来解决。

水资源是西北干旱区保证整个流域生态-经济系统和人地关系系统持续发展的决定因素,西北干旱区应走一条人口、经济、环境和资源相互协调的可持续发展道路。针对当前西北干旱区水资源开发利用现状及存在的问题,提出下列水资源合理开发利用的对策与建议:

6.1 以高效节水农业为主,加快全面建立节水型社会

西北地区最重要的生态问题是缺水,西北干旱区、半干旱区尤为突出,各行业间争水用水和河流上中下游用水矛盾尖锐,加上生态建设用水的新需求,使水资源形势更加严峻。解决的办法一是节流,二是开源,但应将节约用水和节水工程技术开发作为主要措施。农业是西北干旱区最主要的用水部门,各业中的用水大户,其引水量占可利用水资源量的90%以上。农业经营十分粗放,存在大水漫灌的现象。水资源利用效率不高,单位GDP和农业耗水量不同程度高于全国平均水平。西北干旱区引水率高而有效利用率低,造成水资源浪费,并破坏生态环境。为了保证经济发展和维护生态用水,必须从现在的粗放、低效利用向合理、高效利用转变。要依靠科技进步,全面开展节约用水,建立节水型社会。节约农业用水,全面推广高效农业节水技术,提高渠系利用系数,推广农田地膜覆盖和压沙等减少局部蒸发的措施以及先进的节水农业灌溉技术,提高用水效率,形成高效节水型农业生产发展新局面;节约工业用水主要是提高水的重复利用率,采用节水设备和工艺,采取严格的水量定额分配和污染控制要求,促进企业更有效地节水,降低万元产值用水量;生活节水,推行节水型厕所,杜绝生活用水中的跑、冒、滴、漏,提高生活用水效率,降低生活用水量。要努力发展、使用节水农业技术、节水工业技术、生活节水技术和废水资源化技术,努力建成包括节水农业、节水工业和节水城市的节水型社会经济体系。

6.2 加强当地水资源的开发利用,积极实施跨流域调水

降水是西北干旱区水资源的主要来源,降水量的变化直接影响水资源的变化。西北干旱区的水资源尚有进一步开发利用的潜力,要解决西北干旱区水资源不足问题,必须管好、用好当地的水资源。

充分合理利用大气降水。依据当地降水规律发展生物技术,更有效地直接利用大气降水和土壤水,加强水土保持、小流域治理,改善植被状况,使降水更多地转化为土壤水、地下水和江河基流。开发利用雨水资源,在修建水利工程难度大,经济效益差的地方,推广雨水集流技术,减少雨水资源无效蒸发,提高雨水资源利用率。

建设山区水利枢纽工程,增强水资源调蓄能力。干旱区的河川径流,大多依靠降水和冰雪融水补给,因此水量季节分配极不均匀,春旱、夏洪、秋少、冬枯是普遍现象,必须修建水库对径流进行调节。以前大多修建平原水库,缺少控制性调蓄工程,如新疆有大小河流570条,上游山区基本上没有控制性水利枢纽工程。西北内陆河地区平原水库过多,蒸发渗漏的损失大。应根据西北干旱区绝大多数内陆河流现阶段地

表水开发还不充分的实际情况,把平原地区的水库或改造或废弃,把水利建设的重点放在山区建立一批水利枢纽工程,增加对出山口径流的调蓄能力,解决年内径流分配不均的问题。在地质条件许可的地方,还可建立地下水库。

合理开发利用地下水。西北内陆干旱区的地下水资源较为丰富,2000年地下水开采利用率仅为11.3%,世界干旱区地下水利用率为60%~70%以上,开发潜力很大。但开发地下水应强调因地制宜,合理规划,浅深结合,以浅为主,同时要适度开采。根据考察和观测,组成干旱区天然绿洲的主要乔、灌木生长良好的地下水位为2~4 m,要保持这一“生态水位”,在进入地表水和地下水联合开发利用阶段的内陆河流域地下水的开采量以不超过其天然补给量的50%为宜^[2]。开发地下水的重点是新疆塔里木盆地、青海柴达木盆地周边和河西走廊的疏勒河流域。

开发利用国际河流的水资源。目前国际河流的开发利用程度相对很低,尚具有相当的开发潜力。如新疆伊犁河、额尔齐斯河、阿克苏河、额敏河应加快边境地区的水利工程建设。国际流水资源按照国际惯例不能全部利用,水资源要有50%的出境量,新疆出境水239.6亿m³,境内可利用的水资源量有100多亿m³,应加快开发利用。

积极实施跨流域调水。西北干旱区土地、矿产及能源丰富,气候干旱少雨,是世界上干旱缺水最严重的地区之一。从长远考虑,不可能靠当地水资源量解决问题,必须实施跨流域的水资源配置。南水北调西线工程是一项投资大、工程周期长的大型水利工程,可缓解并解决西北远景水资源短缺,是一项战略性和根本性的措施,应作好前期准备工作,争取南水北调西线工程早日上马。新疆水资源分布是北疆多,南疆少;西部多,东部少,可进行北水南调和西水东调。河西走廊地区可通过“引大济西”工程、景泰电灌工程向河西地区调水,缓解河西地区的资源性缺水。

6.3 加强山区森林保护,保障流域水源供给

西北干旱区内陆河流域大都发源于昆仑山、天山等高山地区,山区是整个内陆河流域水资源系统的径流形成区,高山区良好的植被生态系统是全流域水资源系统和生态系统平衡发展的根本保证。在山区森林资源的开发利用中,应认真贯彻执行国家有关“以营林为基础,普遍护林、大力造林,采育结合,永续利用”的林业建设方针,采取积极措施,保护山区水源涵养林,严厉禁止一切毁林开荒,毁林采石、采沙、采土及其他毁林行为;应结合西部经济大开发中生态环境建设战略,加快退耕还林、还草、还牧的步伐,防止过渡放牧,将人类活动影响降低到最低限度;加大森林防火、防病虫害的工作力度;为使被毁森林得到尽快恢复,目前一些山区采取封山育林措施很有效,且投资少,应加以推广。

6.4 以流域为单元,强化流域统一管理和合理配置利用水资源

西北干旱区要重点加强水资源调配,应建立流域水资源管理机构,对各内陆河流域水资源进行统一规划和管理,联合调度地表水和地下水,对上、中、下游用水进行合理配置。流域上中游以节水为中心,加强现有灌区配套工程建设,压缩农田灌溉面积,限制水稻等高耗水作物种植面积,合理开发地下水,逐步增加进入下游的水量。下游要严禁垦荒,确保生态用水,逐步恢复绿洲生态系统。要进行水资源价值核算,建立一个合理、有效、灵活的水资源价格体系,充分利用价格经济杠杆的作用,促进水的节约使用。

为进一步了解西北干旱区水循环特征,摸清各主要流域水资源家底,必须加强科学研究工作,加强气候-陆地生态系统-社会经济系统及其相互作用的综合研究,建立气候-水文-山盆生态系统动力学模式,为合理开发利用水资源提供科学依据。

6.5 加强开发利用空中云水资源,搞好人工增雨作业

大气降水是西北干旱区水资源根本的来源。一个地区的降水量主要来源于空中水汽的输送和转化。自然降水只消耗大气中水汽通量的一小部分。在西北地区全年区域水汽总输入量中只有15%能形成降水,85%的水汽都越境而过。西北地区年总水汽蒸发量中,只有7%左右在区域内重新形成降水,返回到地面,而93%蒸发的水汽流出境外^[6]。理论计算,西北地区的入境水汽转化为降水的比例若在现有的基础上增加10%,则年降水量可达到261mm。如何将大气中余下的部分水汽再转化为降水,人工增雨就是实现这个目的的一项技术,是一项有广阔应用前景的高新技术。西北干旱区内部及周围分布有天山、昆仑山、阿尔泰山和祁连山等高大山体,西北地区降水大部分集中在高山迎风坡,主要是迎风面上的地形云降水。国内外已有的人工增雨试验结果表明,地形云是人工增雨效率较高的催化作业对象;只要云的物理条件合适,增雨量可达10%~30%^[6]。要获得更多更有效益的降水,就要科学规范化实施人工降雨。我们不能等干旱发生了再搞人工增雨,要采取主动方式,建立人工增雨基地,制订长期的增雨技术方案,加强对适合催化作业的降水云系的预测和监测,不断完善催化技术,提高人工增雨的转化效率,增加人工增雨缓解西北干旱区水资源短缺的贡献率。我们应在云水资源集中的天山、昆仑山、祁连山、阿尔泰山等地区进行人工增雨,充分开发利用空中云水资源,增加降水量,这不仅对增加地表水、地下水、冰川和积雪很重要,而且是增加天然植被生态用水最有效的措施。

6.6 按照自然生态特点,走生态型经济发展道路

西北干旱区水资源的承载能力较低。西北干旱区的历史和现实都一再表明,在水资源制约和生态环境脆弱的条件下,要实现可持续发展,其唯一可行的途径,是在水资源承载能力之内进行生态型经济建设。根据水资源条件和自然条件,建设以生态农业、生态工业、生态旅游等以生态产业为主的生态经济体系,走生态型经济发展道路。

改变传统的农业生产方式,积极发展生态农业,不断提高农业生产的科技含量。利用当地特有的土壤、气候条件,调整作物结构,生产特色农产品,大力发展草地畜牧业。调整现有的产业结构,由资源工业向科技工业、生态工业转变。重点发展以本地农产品为原料的轻工、食品工业和富有地方特色的手工艺品等等。优化工业结构,改进落后的生产方式,淘汰产生污染的生产技术和设备,严格禁止高耗水、高污染的建设项目,大力推行清洁生产,提高资源、能源利用率。西北干旱区独特的地理环境和自然风光使旅游资源丰富多彩,极具特色,有中国乃至世界可数的高山雪峰、内陆湖泊(如天山天池、青海湖等)、现代冰川(如乌鲁木齐天山一号冰川等)、大漠戈壁(如塔克拉玛干沙漠等),众多的兄弟民族形成了绚丽多姿的民族风情等等,应发展生态旅游,科学制定旅游规划,合理有序地开发生态旅游资源。

6.7 控制人口增长,进行必要的生态移民

西北干旱区人口增长过快,超过了水资源和土地资源的承载能力,出现了满负荷、超负荷现象。人口过载是导致生态环境恶化的主要原因。人口不应再大量增加,必须

落实计划生育、控制人口增长的基本国策,控制人口数量,提高人口素质。对水、土条件不适合太多人生存的地区,可将人口移到水、土资源生存条件较好的地区,有组织有计划的进行生态移民,实现人口、经济、资源和环境的协调发展。

参 考 文 献

- 1 秦大河总主编,中国西部环境演变评估(第二卷),北京:科学出版社,2002,16~62.
- 2 秦大河总主编,中国西部环境演变评估(第二卷),北京:科学出版社,2002,29,33~34.
- 3 王浩、王建华、秦大庸等,现代水资源评价及水资源学学科体系研究,地球科学进展,2002,17,13~17.
- 4 杨立彬、王煜、何宏谋等,从水供求关系看西北地区的开发建设,西北水资源与水工程,2001,12,38~41.
- 5 王煜、杨立彬、张新海等,西北地区水资源承载能力研究,水科学进展,2001,12,526~528.
- 6 周秀骥,加强开发利用西北地区空中水资源研究的设想和建议,中国科学院2002科学发展报告,北京:科学出版社,2002,186~188.

Analysis on Supply and Demand of Water Resource and Study on Relevant Strategies of Sustainable Utilization in the Arid Region of the Northwest China

Zheng Shuihong and Wang Shourong

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract The water resource is the basic resource and important restrictive factor for human existence and economic development of arid region in Northwest China. The condition of water resource of the inland river in arid region of the northwestern China and its utilization status are analyzed. Also, the change trend of both climate and water resource in future and the balance between supply and demand of water resource during different period as well as major problems on water environment in the above area are considered. Finally, several relevant strategies on sustainable utilization of water resource are proposed.

Key words: Northwest China; drought; water resource