

文章编号: 1007-6301 (2001) 03-0227-07

西北干旱地区水资源与生态环境保护

汤奇成¹, 张捷斌²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 西北干旱地区的水资源主要是地表水。地表水具有时空分布不均、河川径流补给来源的多样性和与地下水转换频繁等许多特点。西北干旱地区的生态环境在人工绿洲内部有所改善, 但在绿洲外, 正在进一步恶化, 包括土地沙漠化、冰川退缩、湖泊干涸、下游河道断流、沙尘暴频次增加、天然草地大面积退化、天然植被遭到破坏等。这些问题都需要用水来解决。当前生态环境恶化的典型事例有 3 处: 塔里木河下游、黑河额济纳地区和石羊河民勤地区。

关 键 词: 干旱地区; 水资源; 生态环境保护

中图分类号: P344; X144 **文献标识码:** A

1 引言

西北干旱区的水资源对于开发大西北战略至关重要。西北干旱地区, 包括新疆的全部、甘肃的河西走廊、青海的柴达木盆地和青海湖内陆流域、内蒙古的西部和宁夏的一部分, 亦即贺兰山以西的广大地区。

关于水资源的定义, 目前比较一致的看法是: 水资源是地球表层可供人类利用又更新的气态、液态和固态的水, 是指较长时间内保持动态平衡, 可通过工程措施供人类利用, 可以恢复的淡水, 通常指降水、地表水和地下水^[1]。西北干旱区平原地区, 降水较少, 一般年降水量在 200 mm 以下, 可以暂不考虑。因此, 干旱地区的水资源实际是由地表水和地下水两部分组成。

2 西北干旱地区水资源概况

据最近的估算, 干旱地区的水资源总量为 $1\ 130.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1)。

表 1 西北干旱地区水资源 (10^8 m^3)

Tab. 1 Water resources of Chinese Northwest Arid land (Unit: 10^8 m^3)

地 区	地表水资源	地下水资源	水资源总量	地 区	地表水资源	地下水资源	水资源总量
新疆北部	439.0	43.38	482.38	柴达木盆地	44.1	7.80	51.90
新疆南部	445.0	42.26	487.26	青海内陆湖流域	24.8	2.08	26.88
河西走廊	70.0	11.60	81.60	合 计	1 022.9	107.12	1 130.02

收稿日期: 2001-07; 修订日期: 2001-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (79870088)

作者简介: 汤奇成 (1934-), 男, 研究员。主要从事水文水资源的研究工作。

表中没有计及内蒙古和宁夏的水量，这是因为那里虽然有绿洲分布，但主要是引黄河及其支流灌溉所形成。本身不产生或很少产生径流，可以忽略不计。

由表 1 还可以看出：水资源的空间分布很不均匀，其中新疆即占 86%，说明西北干旱地区的水资源主要集中在新疆。但在新疆境内，空间分布仍然不均匀。如从策勒—库勒—奇台划一直线，此线的东南与西北两部的面积大致相等，西北部的水资源量占新疆的 93%，而东南部只占 7%。西北部约有 $230\times10^8\text{m}^3$ 水流到邻国，其中主要是伊犁河和额尔齐斯河，从邻国进入新疆的水量只有 $90\times10^8\text{m}^3$ ，其中主要是阿克苏河^[2]。

同样可以看出，在总水资源中，地表水资源要占总水资源量的 90%，而地下水资源只占 10%，这个比例与全国的水资源情况相一致。因此，研究地表水资源及其特点显得特别重要，而地表水资源主要是河川径流。

3 河川径流的基本特点

西北干旱地区河川径流资源的主要特点^[3]：

3.1 径流的形成与散失

一般平原地区的年降水都在 200 mm 以下，降水最少且有长期记录的新疆托克逊站，多年平均年降水量只有 7.1 mm，是我国年降水量最少的地区。平原地区如此稀少的降水不可能形成或只能短暂地形成一些径流，其量微不足道，而且很快地渗漏或蒸发掉，所以称为径流散失带。

但是在西北干旱区的周边及中央的山地，能够截获较多的水汽，形成较多的降水，特别是天山和阿尔泰山。最多的记录是位于新疆伊犁河流域新源县巩乃斯乡的中国科学院天山积雪雪崩观测站，海拔 1 776 m，1968~1995 年平均年降水量为 832.2 mm。正是山地丰沛的降水，才发育了众多的冰川和河流，所以山地是径流的形成带。

3.2 河川径流补给来源的多样性

除了雨水和地下水补给外，与我国东部地区不同，还有高山冰雪融水（冰川融水）补给和季节积雪融水补给，以及由以上 4 种补给组成的各种混合型的补给。因为有了高山冰雪融水补给及其与雨水补给的耦合效应，即在天气晴朗炎热的年分，融水多而雨水较少；相反，在阴雨天较多的年分，雨水多而融水较少，反映在河流出山口的径流量变化方面，年际变化与我国东部地区相比要小得多，也就是很少有大规模的涝年和旱年，这对水资源的利用有利。

但是雨水和融水均出现在夏季（6~8 月），河川年径流量大都高度集中在这几个月，一般要占全年的 50%~60%，最高的如新疆玉龙喀什河可占 80%左右。因此除了新疆阿勒泰、塔城等少数地区外，大部分地区春季河流水量很少，春旱是西北干旱地区农业的主要威胁之一。由于水量高度集中于夏季，故此时常有洪水发生，与我国东部地区不同，洪水的类型除暴雨洪水外，还有高山冰雪融水洪水，季节积雪融水洪水，特别是冰湖溃决洪水。一些较大的河流最多出现的是混合型洪水。西北干旱地区的洪灾虽然发生的概率很小，其规模和总损失也不大，但对平原的绿洲有直接的威胁。1958 年库车地区出现的暴雨洪水，将库车城冲毁了 1/3 数据

3.3 地表水与地下水转换频繁

总的来说，山区是地下水补给了地表水，而在山前平原的地下水则主要是通过河流在出山口后的河道渗漏、农田渗漏等补给了地下水。经研究，包括新疆，河西走廊和柴达木盆地，80%左右的山前平原地下水来自地表水通过不同途径的渗漏所形成。这些地下水在平原的某些地方还可以溢出为泉水，成为平原河流。这种地表水与地下水的转化在河西走廊即可进行多次。

西北干旱地区这种地表水与地下水相互转化的特点，为人们利用水资源提供了有利的条件，即在上游引用了地表水，则其渗漏量形成的地下水还可以在下游引（提）用。所以在靠近沙漠的河流最下游的农田防渗工程很重要，因为从这里再下渗的水量，直接进入沙漠或盐湖最终消耗于蒸发而无法再加以利用。

4 生态环境存在的问题

目前，西北干旱区的生态环境，在人工绿洲内部有所改善，但在绿洲之外，却进一步恶化。这里包括土地沙漠化，冰川退缩，湖泊干涸，下游河道断流，沙尘暴频次的增加，天然草地大面积退化，天然植被遭到破坏等等。如果这些问题不能得到有效的控制和改善，环境的恶化就很难逆转，现有的绿洲也很难永续利用。

上述生态环境出现的种种问题，都需要用水来解决。植树造林种草需要水，湖泊干涸盐化需要水补充，草地退化需要水灌溉，土壤盐渍化需要水洗盐等等。

当前生态环境恶化的典型事例，主要集中在河流的下游，其中突出的有3处：①塔里木河下游的绿色走廊正在濒于消亡；②黑河下游的额济纳地区；③石羊河下游的民勤地区。就是当前河流下游没有发生重大生态环境问题的地区，或迟或早也会产生上述三地的情况。

4.1 塔里木河流域

塔里木河是中国最长的内陆河，也是世界第三大内陆河，全长2 437 km，有三个源流，即叶尔羌河、和田河与阿克苏河。三河汇合后始称塔里木河，干流全长1 321 km，其中肖夹克至英巴扎为上游，英巴扎至卡拉为中游，卡拉至台特马湖为下游。

随着用水量的不断增加，台特马湖早于1972年完全干涸。从卡拉大西海子水库以下320 km河道在20世纪70年代干涸，使得塔里木河中下游的生态环境严重恶化，具体表现为：

(1) 河水水质盐化^[4]。1958年前塔里木河是一条淡水河，阿拉干以上河水矿化度均低于1 g/L，1991年阿拉尔站水质监测结果，全年矿化度均超过1 g/L。其中有3个月超过5 g/L，其原因是阿拉尔站接纳了大量的农田排水。初步估算每年排入量约 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，带入盐分约 $7 \times 10^4 \text{ t}$ 。

(2) 沙漠化土地面积扩大。由1959年的1 371 hm^2 增加至1992年的1 487 hm^2 。而且沙漠化强度不断提高，在轻度沙漠化土地面积减少的同时，中度、强度和极强度沙漠化土地面积1992年比1959年分别增加了2.82%、3.12%、3.56%。1982年调查，218国道从尉犁到罗布庄段受沙害的路段共115处，其中阿拉干至罗布庄段有95处，1996年再次调查，受沙害路段达197处，比1982年增加了71.3%，阿拉干到罗布庄段为145处，增加了

52.6%。

(3) 塔里木河下游地区的地下水位急剧下降。由于河道断流使地下水位下降,水质恶化,胡杨林等植被大量死亡,“绿色走廊”有被沙漠吞食的危险,现在库鲁克沙漠与塔克拉玛干沙漠已成合拢的趋势。

由于塔里木河干流中下游的年降水量很少,天然植被完全依赖地下水供应水分,据塔里木河中游英巴扎断面的资料^[5],地下水位在 1~3 m,地下水矿化度 2~5 g/L 时,胡杨林生长良好;地下水位在 1~3 m,地下水矿化度小于 15 g/L 时,红柳生长良好;当地下水位降至 6 m 以下时,胡杨林生长不良或枯死,8 m 以下则红柳生长不良或衰败。

自 2000 年起,由大西海子放水至塔里木河下游,第一次放水 $1\times10^8\text{m}^3$,沿河床流淌了 102 km,停留在英素与阿拉干之间,第二次放水 $2\times10^8\text{m}^3$,已经使沿岸的地下水位有明显的上升^[6]。2001 年准备第三次放水,预计 9 月水流可到达台特马湖。可以设想,随着水量的增加,“绿色走廊”的恢复将大有希望,初步估算每年如有 $3\sim4\times10^8\text{m}^3$ 的水输送到台特马湖附近即能保证“绿色走廊”不再濒临消失,为 218 国道以及将来的新青铁路的建设提供了良好的条件。

4.2 黑河流域

黑河是甘肃河西走廊最大的河流。在出山口莺落峡处的多年平均年径流量为 $16\times10^8\text{m}^3$ 。它发源于青海,流过甘肃河西走廊,最后进入内蒙古额济纳旗的东西居延海。

位于黑河下游的额济纳旗是一个极度干旱荒漠中的孤岛式绿洲,年降水量仅 50 mm 左右,其生态环境及农牧业用水完全依赖于黑河的来水,额济纳绿洲是以荒漠河岸林为主的天然绿洲,目前保存面积 8 160 km^2 。但近半个世纪以来,特别是近 10 年来,黑河下泄水量大幅度减少;从甘肃与内蒙古交界处的狼心山进入额济纳的多年平均年径流量从 $8\sim10\times10^8\text{m}^3$,减少到 $3.05\times10^8\text{m}^3$,其中 1992 年仅剩 $1.83\times10^8\text{m}^3$,河道的断流期也从 50、60 年代的每年 100 天左右延长到 90 年代的 200 天左右。50 年代末,黑河的终端湖西居延海和东居延海分别有 267 km^2 和 35.5 km^2 的水域面积,但自从上游来水减少后,西居延海已于 1961 年干涸,而且形成沙漠;东居延海也于 1992 年完全干涸。由于没有河水通过多种渠道的补给,当地的地下水也因此水位持续下降,水质逐渐恶化,目前已有 60% 的井供水不足,10% 的水井干涸。地下水的矿化度普遍增高 1~3 g/L,两湖地区的井水含氟量和含砷量普遍超标。

水源条件的改变,使额济纳绿洲急剧萎缩,植被退化,荒漠速度加快而且向四周蔓延。额济纳河沿岸与 50 年代相比,胡杨、沙棘林现在已减少 54.6%,红柳林减少 33%^[7]。荒漠化土地迅速扩张,额济纳东河与西河两岸的灌丛沙丘逐渐活化;古日乃湖与拐子湖周边已形成重盐土和斑状梭梭残林沙地。额济纳河沿岸 $1.02\times10^4\text{hm}^2$ 的灌溉耕地已因沙化、盐化而弃耕 $0.4\times10^4\text{m}^2$ 。近 20 年来,额济纳绿洲已新增沙质荒漠化土地 3 500 km^2 ,绿洲内外有 34% 的草地严重退化,由于生态环境的恶化,原有的 130 多种可食牧草现仅存 20 多种。荒漠草地的产草量和载畜量分别下降了 43% 和 45%。羊和骆驼的平均体重普遍下降 50% 左右。十多年前还可见到的野驴、盘羊、黑鹳、猓狸、天鹅等珍稀动物已经绝迹,生态平衡遭到严重破坏。

由于生态环境的严重恶化,突发性灾害频繁发生。1993、1994、1995、2000 年连续发生 14 次特大沙尘暴,额济纳地区为主要尘源之一,致使该地及其周边地区深受其害。

额济纳绿洲生态环境急剧恶化的主要原因是多年来人们对水土资源不合理的开发利用造成的。其突出表现为上、下游缺乏统一的研究和规划。由于人口迅速增加和经济的发展，黑河上、中、下游地区，特别是中游地区大量开垦荒地，筑坝引水、不断扩大灌溉面积。黑河上、中游工农业用水量大量增加，致使河川径流量、下泄量减少，而下游是径流散失的地区，本身不产生径流，而且随着流域面积的增加，由于蒸发和渗漏使水量逐渐减少，导致额济纳绿洲生态环境急剧恶化。

为了改变额济纳旗的现状，已成立了专门机构，加大黑河进入内蒙古境内的水量，2000 年进入内蒙古境内的水量已达 $6.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

4.3 石羊河流域

石羊河流域位于甘肃河西走廊的最东部，是中国干旱地区灌溉农业最发达和水资源开发利用程度最高的内陆河流。

整个流域地势南高北低，自西南向东北倾斜。上游祁连山区海拔 1 940~5 254 m，降水较多，为本流域的河流发源地和水源地。北部为辽阔的山前平原，中部有走廊北山隆起，将山前平原分为南、北盆地，南盆地为武威—永昌盆地，北盆地为民勤—潮水盆地，海拔在 1 400~1 700 m 间，分布着大片绿洲。从山区发源的河流出山口后，通过河道、渠系和田间渗漏转化为地下水，地下水又在冲积扇扇缘以泉水形式出露，转化为地表水，并在武威和民勤交界处的黄花寨子附近汇成石羊河，向北流入民勤盆地，成为民勤盆地主要灌溉水源。石羊河流域地表水和地下水之间大量的反复转化，地下水主要补给来源由河（渠）水入渗的特点，使水资源在开发利用和上、下游的分配等方面存在着十分复杂的相互牵制现象。

4.3.1 石羊河流域 50 年代经过旧灌区的改造和改建，大大提高了灌溉效益，有效面积达到 $16.1 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，保灌面积 $6.87 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，渠系利用系数为 0.3~0.35。泉水溢出带的泉水量每年达 $8.6 \times 10^8 \text{m}^3$ ，灌溉面积为 $3.33 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。石羊河下游的民勤绿洲， $4.67 \times 10^4 \text{hm}^2$ 耕地的用水量也得到保证。

60~70 年代初，山区修建水库，渠道加以衬砌，使渠系有效利用系数提高到 0.35~0.45，有效灌溉面积进一步扩大为 $20.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，当时河流正处在相对枯水年份，加上渠系利用系数的提高，引起了地下水位的下降和泉水量的减少。民勤绿洲因地表水源的大幅度减少而大量开采地下水，井灌面积从 1965 年的 $0.64 \times 10^4 \text{hm}^2$ 猛增至 1973 年的 $3.44 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

70 年代中后期，石羊河流域的山区河流除杂木河外均修建了山区调节水库，渠系有效利用系数已提高 0.45~0.86。由于地下水位继续下降，泉水量更加减少，民勤绿洲的地表水进一步减少，已全部变为井灌为主的地区。

80 年代至今，进入民勤盆地的石羊河的年水量由 1980 年的 $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$ ，进一步逐年减少，80 年代的平均值为 $1.97 \times 10^8 \text{m}^3$ ，到了 90 年代，1990 年为 $1.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ，1992 年更进一步降至 $0.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1994 年虽略回升至 $1.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ，但以后又继续下降。

4.3.2 民勤地区位于石羊河流域的最下游，是一块深入沙漠的绿洲，风沙和沙漠化为主要威胁。50 年代民勤盆地地表水和地下水均很丰富，大部分地区的地下水位在 1~3 m 之间，湖区北部地区小于 1 m，有利于植物的生长和沙丘的固定。50 年代开始利用浅层地下水的有利条件，大力营造了以沙棘和梭梭为主的乔灌木林，使本地的林地面积达到 $7.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，

成为稳定绿洲生态系统的重要保证。

20 世纪 90 年代后，民勤绿洲的地下水位，均已降至 4~5 m 以下，有 $0.3\times10^4\text{hm}^2$ 沙棘完全枯死， $0.58\times10^4\text{hm}^2$ 沙棘谢顶衰退，占原沙棘面积的 21%，并且还在继续扩大。民勤坝区的地下水位一般已降至 6 m 以下，外围沙漠区降至 4~5 m，土地旱化非常严重，除渠道两侧、灌溉地区外，其余的灌木林大都枯死或严重衰退，沙漠化已十分严重。此外湖区北部因地表水源短缺，地下水水质恶化和土壤的严重盐渍化，80 年代末已有 $0.67\times10^4\text{hm}^2$ 耕地弃耕，至 1995 年弃耕面积已增至 $2.6\times10^4\text{hm}^2$ ，成为不毛之地和沙源地。民勤绿洲的存在危在旦夕。

据研究，石羊河流域现在的有效灌溉面积为 $30.7\times10^4\text{hm}^2$ ，比石羊河流域水资源可能负担的灌溉面积超出 $6\times10^4\text{hm}^2$ ，水土资源严重失衡。为维持现有的灌溉面积，每年要超采 $3.0\sim3.5\times10^8\text{m}^3$ 的地下水，过度 and 超量地使用流域的水资源，所引起的严重后果必然要转嫁到下游的民勤绿洲^[8]。

民勤缺水问题已引起人们的关注，现已初步拟定了几个有关民勤补水的方案。

5 水资源合理利用与生态环境保护

以上所列塔里木河中、下游，黑河下游和石羊河下游所存在的问题给我们以很大的启示，在西北干旱地区，水资源的利用与生态环境保护密切相关，绿洲的可持续发展也与生态环境保护密切相关。

要改变干旱区的生态环境，至少不向坏的方向发展，必须要有水。为此，我们主张将总水资源量划分成两部分，一部分为生态环境用水，另一部分为国民经济用水。

生态环境用水包括的方面很广，大体可分为绿洲生态环境用水与天然生态环境用水两部分。绿洲生态用水包括湖泊的生态用水、农田防护林网、乔灌木防沙带的用水，以及为防止破坏植被需要种植的薪炭林、改良盐碱地的用水，用材林和城市的公共绿地、水体和风景名胜等几大部分。天然生态用水包括：① 河谷林的生态用水；② 荒漠河岸林的生态用水；③ 沼泽和低地的生态用水等。

具体到每个绿洲，既有绿洲本身的生态用水，还要考虑绿洲周围荒漠的生态用水，用水量视各地情况而异估计占总水资源量的 10%~20% 或更多。另外一种是按自然地帯为维护生态平衡所需的生态用水，如张兴有对柴达木盆地的估算^[9]，生态用水要占总用水资源的 60% 以上。

贾宝全等对新疆生态用水的估算约占全疆水资源的 26% 左右^[10]。安芷生认为西北内陆干旱区耗水量最少为 $388\times10^8\text{m}^3$ ，约占总水资源的 34%^[11]，而且每个地区一般应有 30% 的水资源量作为生态用水。

由此可见，虽然各家对生态环境用水的具体数值有所不同，但都认为生态环境用水是西北干旱地区遏制环境日益恶化的主要手段，必须进一步加强研究。

参考文献：

[1] 陈家琦. 水资源学概论[M]. 北京：中国水利水电出版社，1996.
[2] 周丰超 等. 新疆河流水文水资源[M]. 乌鲁木齐：新疆科技卫生出版社，1998.

[3] 汤奇成 等. 中国干旱区水文及水资源利用[M]. 北京：科学出版社，1992.

[4] 樊自立. 塔里木河流域资源环境及可持续发展[M]. 北京：科学出版社，1998.

[5] 毛德华 等. 塔里木河流域水资源、环境与管理[M]. 北京：中国环境科学出版社，1998.

[6] 刘晏良 等. 塔里木河中下游实地踏勘报告[M]. 北京：中国统计出版社，2000.

[7] 中国科学院地学部. 西北干旱区水资源考察报告[J]. 地球科学进展，1996，5(2)：1-4.

[8] 陈隆亨，曲耀光. 河西地区水土资源及其合理利用与生态环境保护[M]. 北京：科学出版社，1992.

[9] 中国科学院地理研究所. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护[M]. 北京：科学出版社，2000.

[10] 贾宝全 等. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报，2000(2)：243-250.

[11] 安芷生. 在中国科学院第 10 次院士大会上的讲话[D]. 科学时报，2000-6-13.

Water Resources and Eco-environment Protection in the Arid Regions in Northwest of China

TANG Qi-cheng¹, ZHANG Jie-bin²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
2. Institute of Xinjiang Ecology and Geography, CAS, Urumchi 830011, China)

Abstract: This paper presents basic water resource and environment issues in the arid regions in the northwest of China. The first part reviews the water resources situation. The major water resource in the arid region in Northwest of China is surface water. Runoff distribution and relative features are the second part. There are many characteristics of surface water, such as heterogeneity of temporal and spatial distribution, diversity of runoff alimentation, and frequent exchanging between surface water and groundwater. At the third part, as is the most important part of this paper, the ayther studys the general eco-environment situation in the arid regions in the Northwest of China through three typical inland watersheds. The situation is improved in the oasis but worsening outside oasis. Worsening cases include land desertification, glacial recession, lake drying up, river drying up in the lower reaches, higher frequency of dust devil, large area degradation of natural grasslands and natural vegetational cover damage. Water is needed to meet these challenges. At last part of this paper, a suggestion is given to the eco-environment construction in the arid region. The suggestion is that water use should be divided into two parts; for ecological use purpose and for national economics use purpose, respectively. As to different typical cases of eco-environment deterioration occurred in the lower reaches of Tarim river, Erjina region of Heihe river and Minqing region of Shiyang river, these water use insights should be dealt with carefully with different stress respectively.

Key words: Arid regions; Water resources; eco-environment protection