

编者按：众所周知，中国西北地区可持续发展的最大制约因素是水资源总量不足和地区分布不平衡。针对这一问题，最近中国工程院邓铭江院士提出了“水三线”建设的空间格局与水资源配置方略，即通过建设水量调配重大基础工程，以期跨越“胡焕庸线”、“阳关线”和“奇策线”，支撑西北地区经济社会稳定发展、生态文明建设和保障国家安全。西北“水三线”建设构想将是一项国家宏伟系统工程，涉及自然环境与经济社会人文要素的方方面面，它的建设需要进行充分的学术研究和论证。因此，本期刊出《中国西北“水三线”空间格局与水资源配置方略》，以期引发国内外学者的关注与探讨。

中国西北“水三线”空间格局与水资源配置方略

邓铭江

(新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 乌鲁木齐 830000)

摘要：水是西北地区可持续发展的生命线，中国西北地区占国土总面积35.9%，水资源约占全国水资源总量的5.7%。从水文气象、生态景观与社会经济的演变角度，面向水资源优化配置、生态环境与社会经济协调发展，探索提出西北“水三线”的划分格局，即“胡焕庸线”“阳关线”和“奇策线”。“水三线”是西北水资源合理开发利用的优化配置线、西北生态文明与环境保护的特征分区线、“一带一路”建设的战略制导线和边疆长治久安、社会稳定的国家安全线。针对西北地区水资源开发利用存在的问题、面临的挑战以及西北稳定发展的地理与历史之忧，本文通过对西北调水方案的初步分析，提出了西北“水三线”建设的空间格局与水资源配置方略，即通过建设南水北调大西线这一重大的基础工程，跨越“胡焕庸线”，促进中国东西部地区间适度均衡发展；跨越“阳关线”，促进河西走廊社会经济发展；跨越“奇策线”，增强新疆水资源及环境承载能力，建设和谐美丽、长治久安的西北边疆，形成以西北“水三线”建设为构架的水资源梯度配置格局，支撑西北地区经济社会稳定发展、生态文明建设，促进国土资源、人口分布、产业经济的空间均衡、优化布局、协调发展，为“一带一路”建设提供水资源保障。

关键词：西北“水三线”；阳关线；奇策线；空间格局；水资源配置；协调发展；中国

DOI: 10.11821/dlxb201807001

1 引言

水是干旱区发展的生命线。对于西北地区来说，合理利用当地水资源与适度跨流域调水是解决水资源短缺和提高民生福祉的有效途径之一^[1]，国际上不少国家把调水战略和加强水资源管理作为优化区域水资源配置、提高用水效率的重要举措^[2-3]，这其中既面临着机遇，也隐藏着挑战^[4]。20世纪初以来，美国先后兴建的中央河谷工程、加利福尼亚州水道工程、科罗拉多引水渠等重大调水工程，将大量的水资源长距离调至其西部地

收稿日期：2018-03-29；修订日期：2018-06-28

作者简介：邓铭江(1960-)，男，博士，湖南耒阳人，中国工程院院士，教授级高级工程师，主要从事干旱区水资源研究与水利工程建设管理工作。E-mail: xjdmj@163.com

1189-1203 页

区,为区域水资源合理调配、经济社会繁荣发展、生态环境保护等发挥了巨大作用^[5-7]。中国早在秦朝时期就修建了泾惠渠前身——郑国渠,使陕西省关中地区成为旱涝保收的粮仓,隋唐时期开凿的京杭大运河在南粮北运等方面发挥了战略作用,这些亘古辉煌的水利工程沿用至今。21世纪初又先后建成了南水北调东线与中线工程、新疆北部供水一期工程等,调水距离均超过1000 km;正在建设的新疆北部供水二期工程、滇中引水工程隧洞总长分别达到516 km、612 km。古今中外调水工程的成功典范均告诉我们,基于现有的工程技术手段,在综合国力日益强大的时代背景下,正确处理好调水与管水之间的辩证关系,从国家宏观战略高度,将水资源调度与区域经济社会发展有机耦合起来通盘考虑^[8],提出适合西北地区经济社会发展特点的水资源空间配置方案,对于推进西北地区可持续发展和社会稳定具有十分重要的战略意义。基于这种战略思考,本文提出了西北“水三线”建设的空间格局与水资源配置的战略构想。

2 西北地区 水三线 的划分及其战略意义

西北地区是指新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西和内蒙古六省、自治区范围内的黄河流域片内、内陆干旱区和半干旱草原区^[9],该区北和西以国境线为界,东以大兴安岭为界,南以昆仑山、巴颜喀拉山、秦岭为界,东西长3800 km,南北宽2100 km,面积345万km²,占全国国土总面积35.9%。其中,山地和丘陵占64%,平原及山间盆地占36%。多年平均地表径流总量为1425.8亿m³,径流深41.3 mm。沙漠面积93万km²,荒漠化土地面积218.3万km²,占全国荒漠化土地81.6%,占区域总面积63.3%。森林面积11.57万km²,覆盖度仅为3.25%。自然环境呈现出山原起伏、荒漠广布、干旱缺水、生态脆弱、环境退化等自然地理特征^[10]。

(1) 黄河流域片区。该区处于半干旱和半湿润区,总面积约63万km²,年降水量200~800 mm,区内除阴山山脉、秦岭山脉和青藏高原的河源区外,绝大部分是黄土高原。由于地形陡峻,沟壑阶地发育,厚层黄土分布的塬上没有稳定的大面积森林生长,因而成为黄河泥沙的策源地。

(2) 内陆干旱区。该区处于贺兰山以西的干旱和极干旱区,总面积约253万km²,除海拔很高的山区外,大部分地区年降水量均在200 mm以下,个别地方在10 mm以下,区内包含准噶尔盆地、塔里木盆地、吐鲁番盆地、柴达木盆地、青海湖盆地、河西走廊、阿拉善高原等内陆河独立流域单元。

(3) 半干旱草原区。该区绝大部分处于半干旱地区,总面积约29万km²,区内由于没有高大的山脉,多年平均年降水量200~400 mm,由西向东递增,不能形成常年有水的河流,只有一些分散的、季节性的溪流,景观上表现为荒漠草原、草甸草原和部分河流尾间湿地。

2.1 西北“水三线”的划分

1935年,中国现代人文地理学和自然地理学的奠基人胡焕庸先生首次提出,中国人口地理分布沿“爱辉—腾冲”一线(即被后世称道的“胡焕庸线”)呈现“东南半壁36%的土地供养了全国96%的人口,西北半壁64%的土地仅供养4%的人口”这一人口分布规律^[11]。国内外研究表明“胡焕庸线”还是中国社会经济、生态景观、气象降水等方面的天然分界线,近百年来甚至近千年来该分界线两侧的各种状况几乎没有发生大的变化^[12]。而在国土面积占全国陆地面积1/6强的新疆,以北疆的奇台县和南疆的策勒县为两

点连线, 将新疆划分为面积大致相等的东南半壁和西北半壁, 存在着“西北半壁水资源占全疆93%、人口占87%、GDP占89%、灌溉面积占87%”的显著特点, 简称为“奇策线”。沿“胡焕庸线”向西到敦煌市作一条大致平行线, 即形成本文所称的“阳关线”, 是中国极度干旱区(年均降水小于100 mm)与干旱区的地理分界线。其中:“奇策线”与习惯将新疆以天山划分出的南疆和北疆相比, 在兼顾新疆南北经济发展和水资源配置差距的同时, 更加突出了新疆东西部水资源空间分布的巨大差异和经济社会发展的巨大差距。从水文气象与流域水资源的角度, “胡焕庸线”“阳关线”和“奇策线”共同构成了西北“水三线”(图1)。这3条线作为西北地区重要地理界线, 其基本属性如表1所示。

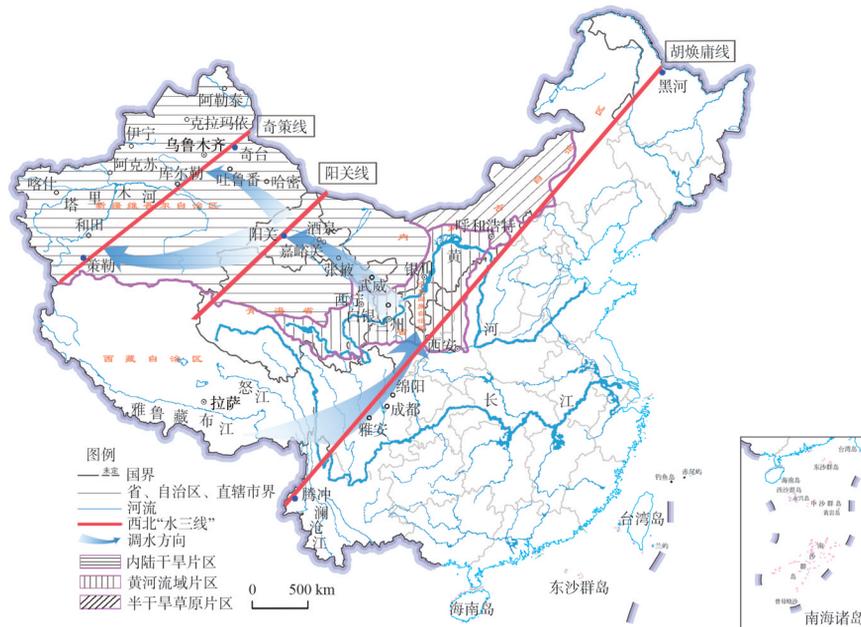


图1 中国西北“水三线”划分的空间格局示意图

Fig. 1 The spatial pattern of "three water lines" in northwest China

表1 中国西北“水三线”的基本属性比较

Tab. 1 Comparison of the basic properties of "three water lines" in northwest China

界线名称	经过流域	经过地区	对应的等降水量线(mm)	对应的地貌分界线	对应的植被分界线	对应的人文地理分界线	对应的文化地理分界线
胡焕庸线	黄河、长江流域	陕西北部, 内蒙北部, 甘肃东部, 东北北部	400	半干旱和半湿润地区分界线, 地势第二、三级阶梯分界线	森林草原景观	中国重要的人口地理界线	黄河文化
阳关线	内陆河流域	甘肃西部, 青海西部	100~200	极度干旱区和干旱地区	荒漠戈壁景观	古丝绸之路南北线分界地区	西域文化
奇策线	塔里木河流域、准噶尔盆地内流区	新疆南北疆	< 100	极度干旱区和干旱地区	沙漠草原景观	新疆人口、经济与水资源分界线	丝路文化

2.2 西北“水三线”的基本内涵及对西北水—生态—经济—安全的战略意义

西北“水三线”的基本内涵是：立足中国西北地区干旱缺水，土地荒漠化加剧，区域发展不协调、不充分、不平衡等现实问题，实施大西线调水工程，以水资源梯度配置为先导，跨越“胡焕庸线”、“阳关线”和“奇策线”对国土空间发展的资源环境瓶颈束缚，构建西北水资源配置的空间战略格局，支撑西北地区经济社会稳定发展、生态文明建设，促进国土资源、人口分布、产业经济的空间均衡、优化布局、协调发展，为“一带一路”建设提供水资源保障。

无论是自然客观存在抑或社会经济发展形成的西北“水三线”，很长一段时间来都是一个客观事实。无论从西北水资源合理开发利用、经济社会发展的角度，还是从生态环境保护与边疆长治久安的视角，跨越西北“水三线”资源环境瓶颈束缚都具有十分重要的战略意义。

(1) 西北水资源合理开发利用的优化配置线。充分发挥青藏高原区亚洲“水塔”的作用，根据“水三线”区域内水资源分布的空间特征，遵循“水三线”的水文气象、地形地貌、自然梯度规律，推动青藏高原水资源充足区依势向西北干旱地区配置水资源，合理构建中国西北水资源战略配置格局。

(2) 西北生态文明与环境保护的特征分区线。依据“水三线”区域的自然本底与建设需求，按照宜林则林、宜草则草、宜牧则牧、宜农则农的原则，对西北地区生态环境保护的重点地区、重点流域和重点方向进行环境修复，建设西北地区生态文明。

(3) 国家“一带一路”倡议的战略制导线。以“一带一路”建设为引领，以“水三线”为构架，大力发展高效绿洲生态经济，推动西北地区经济社会发展和人口适度集聚，提升城镇化发展水平，形成由“关中平原城市群—兰西城市群—河西走廊酒嘉玉城市群—天山北坡城市群”构成的串珠式城市群，缩小东西部发展差距，为西北地区脱贫攻坚与全面建成小康社会提供水资源保障，完整构建中国“黄河流域—内陆河流域—中亚—欧洲”互联互通、协同发展的战略制导线。

(4) 边疆长治久安、社会稳定的国家安全线。因势利导地建设好“水三线”，从水安全角度确保国家实现西北稳定繁荣、边疆长治久安、经略东南发展的战略利益，为维护民族团结和社会稳定奠定坚实基础，为国家安全建立战略纵深与稳定大后方。

2.3 西北地区经济社会发展面临的现实问题

2015年西北地区总人口10174万人，占全国的7.4%，城镇人口5237万人，城镇化水平51.5%。耕地面积1517万 hm^2 ，灌溉面积1097万 hm^2 ，粮食总产量4759万t。二、三产业比重达到91%，GDP为51987亿元，占全国的7.7%，人均GDP为5.1万元（表2）^[13]。

表2 2015年中国西北地区社会经济主要指标统计

Tab. 2 Output of land resources and basic reserves of mineral resources in northwest China

地区	人口 (万人)	耕地面积 (万 hm^2)	灌溉面积 (万 hm^2)	城镇人口 (万人)	粮食总产 (万t)	GDP (亿元)	人均GDP (元)	第一产业 增加值 (亿元)	第二产业 增加值 (亿元)	第三产业 增加值 (亿元)
新疆	2360.0	506.7	620.0	1114.5	1501.3	9324.8	39511.9	1559.1	3596.4	4169.3
宁夏	668.0	128.9	50.8	368.9	372.6	2911.8	43589.4	237.8	1379.6	1294.4
陕西北部	2948.3	237.0	117.2	1589.6	975.1	15588.7	52873.5	1218.3	7901.1	6469.3
甘肃北部	2340.5	320.2	128.3	1049.8	1056.3	6475.2	27666.3	883.8	2421.8	3169.6
青海北部	501.0	55.8	25.9	199.8	96.1	4917.2	98147.5	241.3	3076.1	1599.8
内蒙古西部	1356.4	268.2	154.9	914.3	757.2	12768.9	94137.7	647.5	6168.1	5953.4
合计	10174.2	1516.9	1097.1	5236.9	4758.6	51986.6	51096.6	4787.7	24543.2	22655.7

农村人均可支配收入 8810 元，为全国平均水平的 77%；城市居民可支配收入 21856 元，为全国平均的 83%；有国家级贫困县、旗 169 个，占全国的 28%。

(1) 资源开发面临的现实—资源组合不匹配。水资源、耕地资源、矿产资源、森林资源和能源等五大要素中，水、土资源是人类生存的基础要素，矿产、能源和森林资源是社会发展的核心资源。西北地区是中国土地资源的主要储备地，又是矿产资源的主要贮藏地，其石油、天然气、煤炭、铬矿等矿产资源探明储量分别占全国的 38.5%、53.7%、35.3% 和 58.6% (表 3)^[13]，但水资源量仅占全国的 5.7%，属于资源性缺水地区，资源组合不佳，特别是水、土两大资源配置失调，严重制约经济发展水平，这正是长期以来西北地区地广人稀的根本原因。

表 3 中国西北地区土地资源产出与矿产资源基础储量状况

Tab. 3 Output of land resources and basic reserves of mineral resources in northwest China

地区	粮食产量 (万 t)	棉花产量 (万 t)	油料产量 (万 t)	石油探明 储量(万 t)	天然气探明 储量 (亿 m ³)	煤炭探明 储量 (亿 t)	铬矿探明 储量 (万 t)	GDP (亿元)
全国	62143	560	3537	349611	51940	2440	420	676708
西北	4759	359	437	134644	27880	861	246	51987
内蒙古西部	757	0	194	8209	8149	493	56	12769
陕西北部	975	4	63	38445	7587	127	0	15589
甘肃北部	1056	4	72	24110	272	33	141	6475
青海北部	96		31	1397	1397	13	4	4917
宁夏	373		15	2371	273	37	0	2912
新疆	1501	350	63	60113	10202	159	45	9325
全国占比(%)	7.7	64.0	12.3	38.5	53.7	35.3	58.6	7.7

(2) 生态环境面临的现实—土地荒漠化加剧。地处中国地势二级阶梯的西北地区，多为山地高原地貌，既是中国的江河源，也是风沙的策源地。由于远离海洋，气候干旱，地表植被覆盖率低，生态环境脆弱。新疆、甘肃大面积的沙漠戈壁和阿拉善高原吹起的沙尘暴，影响到大半个中国；陕、甘、宁境内黄土高原的水土流失，已成为黄河流域的心腹大患；多年来不适当地开发利用，使得沙尘暴的发生频率增加、强度提高。西北地区风沙危害、水土流失及土地荒漠化，是一个关系到中华民族生存与发展的全局性问题。

(3) 经济发展面临的现实—区域发展不平衡。西北地区地域广阔，资源丰富，但经济社会不发达，仍是潜力巨大、亟待开发的地区。如果说沿海地区经济发展阶段已进入后工业化时代，那么西北地区的许多区域目前仍然处于工业化初期或者工业化中期的重化工业阶段，发展不协调、不充分和不平衡的矛盾十分突出，是中国贫困人口聚集及今后扶贫攻坚的重点区域。加快经济发展，共享改革发展成果，既是社会主义共同富裕目标的要求，也是中华民族伟大复兴的战略需求。

(4) 社会稳定面临的现实—民族交融不充分。西北地区作为中国少数民族集聚地，是中国经济发展水平、经济增长活力、人民物质文化生活水平均相对较低的地区。复杂的民族、宗教问题与欠发达的经济问题交织在一起，使得西北地区成为当前及今后一段时间内亚欧大陆上一块不安宁的地方。极端宗教的暴力性、泛伊斯兰主义的排异性、泛突厥思想的普遍性是影响民族融合、社会和谐最大的思想文化障碍，而突破水资源瓶颈，改善生态环境，提升绿洲承载能力，优化社会发展布局，改造民族结构，促进交融发展，则是民族—宗教—社会融合发展的必要条件。

3 西北地区水资源开发利用面临的问题与挑战

3.1 水资源开发利用及其评价

(1) 水资源总量短缺, 开发利用程度高。从水资源总量分析, 中国西北地区多年平均地表水资源量 1425.8 亿 m^3 , 地下水资源量 699.6 亿 m^3 , 扣除两者的重复量, 水资源多年平均总量只有 1592.5 亿 m^3 (表 4)。其中, 内陆干旱区为 986.2 亿 m^3 , 半干旱草原区为 107.3 亿 m^3 , 黄河流域区为 499 亿 m^3 。从水资源开发利用程度分析, 按 2015 年的供水量计, 全国水资源的开发利用程度 (供水量与水资源总量的比值) 为 22.6%, 西北地区为 59.8%, 其中黄河流域为 62.6%, 内陆河流域为 56.3%, 远高于全国平均水平, 尤其是石羊河流域、黑河流域、塔里木河流域、准噶尔盆地内流区水资源开发利用程度分别高达 154%、112%、91%、92%。

表 4 中国西北地区水资源统计(亿 m^3)
Tab. 4 Water resources in northwest China (10⁸ m^3)

地区	水资源总量	地表水资源量	地下水资源量	地表与地下不重复量
新疆	833.3	788.7	332.1	44.6
宁夏	11.6	9.5	18.6	2.1
陕西北部	110.8	90.7	60.9	20.1
甘肃北部	189.1	181.8	77.6	7.3
青海北部	331.0	322.9	111.3	8.1
内蒙古西部	116.7	32.3	99.2	84.5
西北地区合计	1592.5	1425.8	699.6	166.7

注: 数据来源于新疆、宁夏、陕西、甘肃、青海、内蒙古等西北六省区 2015 年水资源公报, 数据为多年平均值。

(2) 用水量大, 用水结构不合理。从供水量分析, 2015 年西北地区总供水量达到 952.6 亿 m^3 , 其中地表水 722.7 亿 m^3 , 占 75.9%; 地下水 222.9 亿 m^3 , 占 23.4%; 污水回用及雨水利用 7 亿 m^3 , 占 0.7%。从流域分布分析, 黄河流域总供水量为 320 亿 m^3 , 内陆河流域总供水量为 632 亿 m^3 。从用水量分析, 2015 年西北地区全部用水量中, 农业用水 830.7 亿 m^3 , 占 87.3%; 工业用水 54.1 亿 m^3 , 占 5.7%; 生活用水 40.3 亿 m^3 , 占 4.2% (表 5)^[14]。农业用水量过大, 用水结构不合理, 是导致西北地区水资源短缺的最主要原因之一。全区人均综合用水量 936 m^3 (黄河流域为 459 m^3 , 内陆河流域 2047 m^3)^[14], 是全国平均年

表 5 2015 年中国西北地区水资源利用情况统计
Tab. 5 Statistics of water resources utilization in northwest China in 2015

地区	供水量(亿 m^3)				用水量(亿 m^3)				
	地表水	地下水	中水	小计	农业	工业	生活	生态	小计
新疆	456.9	119.4	0.9	577.2	546.4	15.0	10.0	5.8	577.2
宁夏	59.4	5.3	0.2	64.9	57.7	4.4	2.1	0.7	64.9
陕西北部	32.8	30.0	1.7	64.5	37.3	11.8	12.7	2.6	64.5
甘肃北部	88.7	26.5	1.6	116.8	94.8	11.3	7.5	3.1	116.8
青海北部	13.8	2.8	0.0	16.7	12.1	1.6	2.2	0.3	16.2
内蒙古西部	71.1	38.9	2.5	112.5	82.3	10.1	5.7	14.4	112.5
西北地区合计	722.7	222.9	7.0	952.6	830.7	54.1	40.3	26.9	952.1

注: ① 数据来源于新疆、宁夏、陕西、甘肃、青海、内蒙古等西北六省区 2015 年水资源公报; ② 所列的生态用水, 系指水利工程直接提供的用水。

用水量的2.11倍(表6),在水资源十分短缺的情况下,人均用水量反而很大,水资源浪费现象严重。

(3)用水效率低下,单位水产出低于全国平均水平。从用水效率分析,受客观(处于干旱和半干旱区)和主观因素的综合影响,西北地区农田综合灌溉定额为505 m³/亩,是全国平均值的1.29倍;万元GDP的用水量为183 m³/万元,是全国平均用水量的2.05倍。从西北地区内部分析看,不同地区用水效率差异性极为显著,单位水GDP产出量为55元/m³,仅为全国平均产出量的49%,宁夏为45元/m³,新疆更低,只有16元/m³(表6)。

表6 中国西北地区2015年用水效率指标分析

Tab. 6 Analysis of the quota of the annual water utilization in northwest China in 2015

地区	人均年用水量(m ³ /人)	农田灌溉定额(m ³ /亩)	万元GDP用水量(m ³ /万元)	工业万元增加值用水量(m ³ /万元)	单位水GDP产出量(元/m ³)	单位工业用水增加值产出量(元/m ³)
全国	444	390	89	48	112	210
西北	936	505	183	22	55	453
内蒙古西部	830	354	88	16	113	611
陕西北部	219	212	41	15	242	668
甘肃北部	499	493	180	47	55	214
青海北部	323	311	33	5	304	1961
宁夏	971	757	223	32	45	314
新疆	2446	588	619	42	16	240
西北/全国(倍比)	2.11	1.29	2.06	0.46	0.49	2.16

3.2 水资源开发利用面临的问题与挑战

西北地区水资源开发利用中存在的主要问题集中表现为“二失衡、三失调”:水—土资源失衡、水—矿资源失衡、水—生关系失调、水—沙关系失调和水—盐关系失调。

(1)水—土资源失衡。一方面,水土资源匹配失衡,青藏高原是水多光热资源少、西北干旱区是地多光热资源丰富但水少;另一方面,水土资源开发过度,随着人口增加,水土平衡、供需平衡矛盾日益突出。西北地区733万hm²可利用荒地资源^①,藏水入疆的宜农土地开发潜力为332万hm²,增加水资源可以将耕地资源开发利用的潜力转化为现实的经济和发展优势。但现实情况是,西北地区水土资源匹配极不平衡,经济优势转换效率低,而水资源难以支撑土地资源的大规模开发,两者严重失衡。

(2)水—矿资源失衡。西北地区是中国矿产资源的战略储备基地和开发利用基地,著名的克拉玛依油田、神府—东胜煤田、白云鄂博超大型矿床等在中国国民经济建设中具有重要位置,新疆和青海柴达木盆地众多盐湖是中国已探明的最大钾盐产地,钾盐占全国储量的97%,罗布泊已建成目前中国最大的钾盐基地。近年来,新疆塔里木地区与玛纳斯区域的石油、天然气勘探与开发取得了突破性进展,是“西气东输”的主要“气”源地。这些自然资源的开发利用,均需要消耗大量的水资源。

(3)水—生关系失调。绿洲化和荒漠化是西北地区两种并存且呈相反方向的环境演变趋势,而水生态和水环境恶化首当其冲。^①水资源过度开发,挤占生态用水,导致河道断流,湿地湖泊萎缩干涸,荒漠绿洲衰败;^②城镇工业废水处理达标率低,40%以上的废水直接排入河道或地下水体,草原和农田面源污染以及高矿化度的农田排水,造成

^①数据来源:新疆、宁夏、陕西、甘肃、青海、内蒙古等西北六省区土地利用总体规划(2006-2020),各省区人民政府。

生态环境质量持续下降,河流水体污染加剧,水环境污染事件增多;③地下水超采十分普遍,已从浅层地下水过渡到对深层地下水的掠夺性开采,地下水水位持续下降,引发土地沙化、天然植被衰退、湖泊湿地萎缩等。

(4)水—沙关系失调。黄河流域地表水利用率已达到72%,远超出水资源承载能力,“水少、沙多、水沙关系不协调”是其面临的尖锐矛盾。河道外约667万 hm^2 的农田灌溉得不到有效保障,河道内生态环境用水被大量挤占,导致河床淤积,二级悬河加剧,水环境恶化,防洪、防凌形势严峻等一系列问题。1999年实施水量统一调度以来,在严格限制上中游用水的情况下,虽然没有出现断流,但生态基流较小,远没有达到功能性不断流的要求。近30年由于气候因素和流域下垫面条件变化,黄河天然来水呈递减趋势,水环境压力越来越大,下游滩区淤积游荡并呈溯源递进趋势^[15]。

(5)水—盐平衡失调。西北内陆干旱区诸多河流80%以上的地表水被引入灌区,各种以水流为载体的物质如盐分、化肥、农药残余等污染物,不断在土壤中累积,加之长期“重灌轻排”,灌区地下水位上升,更加剧了潜水蒸发和地表土壤积盐,导致约1/3灌区土壤次生盐渍化。水是盐渍化形成的动力,要将土壤中盐分“洗出”并保持脱盐状态,灌排比例应达到2:1~4:1,这是干旱区农业用水的重要组成部分^[16]。目前从流域—灌区—农田—土壤剖面尺度,普遍处于恶性循环的积盐过程,在干旱区,灌溉与排水、供需平衡与盐平衡,两者之间任何一方的失衡都将影响农业可持续发展。

4 西北 水三线 建设的水资源配置方略

4.1 西北稳定发展的地理与历史之忧

在中国发展的历史版图上,有一条难以逾越的红线,就是著名的“胡焕庸线”。同时有两个难以破解的难题,一个是屯垦戍边发展边疆经济,而另一个是生态环境保护。

(1)“胡焕庸线”之困。中国著名地理学家胡焕庸,1935年将地图上东北角的黑河和西南角的腾冲两点连接成线,直观而又清晰地揭示了中国人口历史分布规律,即:自宋代以来的千年历史中,东南半壁36%的土地供养了全国96%的人口;西北半壁64%的土地仅供养4%的人口。最新的国家版图和统计显示^[17]:“胡焕庸线”东南侧43%的国土面积,集聚了全国94%的人口和96%的GDP,压倒性地显示出高密度的经济、社会功能;而西北侧地广人稀,受生态胁迫,其发展经济、集聚人口的功能较弱。如何跨越“胡焕庸线”转移东南半壁人口到西北地区,急需从水战略层面提出破解良方。

(2)塞防固边之忧。为了巩固西北塞防,中国自古以来就有屯垦戍边的历史传统。最早可以追溯到秦汉时期,汉武帝时就曾派60万将士在内蒙古河套地区屯垦戍边,并在河西走廊设置了酒泉、武威、张掖、敦煌四郡,揭开了河西地区农业开发的序幕。半个多世纪以来,新疆、青海、甘肃境内的内陆河流域都成为了屯垦戍边的重要目的地,大规模的水土开发导致几乎所有的内陆河流都处于水资源过度开发利用状态,人工绿洲在不断扩大的同时,荒漠绿洲也遭受了巨大破坏,荒漠化和水土流失日趋严重。

(3)生态安全之患。1999年开始,国家不断投入巨资实施西部大开发战略,但受“绿洲经济,灌溉农业”单一经济结构的影响,开发就是开荒的农耕思想极为普遍。20多年来,一方面是东西部差距缩小的效果并不明显,另一方面是西北地区生态环境遭受严重损害。目前,中国西北地区的人口压力已经日甚一日,继续扩大规模强化屯垦戍边

已无资源环境条件,在大力推进“新型城镇化”、“维稳戍边”的新背景和现有水资源条件下,对西北边疆地区的人口容量和水土资源开发的适宜规模,要始终保持清醒的认识,不能不顾地理条件、资源禀赋与环境承载能力,而空谈人口经济与稳定发展。

4.2 西北调水方案概评

(1) 南水北调西线方案。南水北调工程前期工作始于1952年,经过长时间众多方案的比选,最终确定了分别在长江下游、中游和上游调水的东线、中线和西线3条调水路线,实现长江、淮河、黄河和海河4大流域水资源的合理调配,构成中国“四横三纵、南北调配、东西互济”的水网格局,最终实现年总调水量448亿 m^3 。2002年国务院批复了《南水北调西线工程总体规划》,从海拔3500 m左右的通天河、雅砻江、大渡河干支流调水170亿 m^3 入黄河,2005年编制了一期工程项目建议书,从雅砻江、大渡河干支流调水80亿 m^3 ^[18]。

(2) 大西线调水方案。南水北调西线调水工程只考虑“藏水入黄”,为区别于此,大家将调水量更大并考虑“藏水入疆”“藏水入蒙”的方案称之为大西线调水方案。许多学者专家出于对中国战略发展的重视和对西部大开发的关心,提出了各种调水设想,并由此引发社会的广泛热议和质疑。主要代表性方案有:中国科学院陈传友的藏水北调、青海99课题组西线调水99方案、张世禧的西藏大隧道、郭开的朔天运河、李国安的雅水北调长隧洞方案、林一山的西部远景调水设想、王博永的“大西线”等^[19]。这些方案具有如下特点:①围绕“五江一河”(雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、金沙江、雅砻江、大渡河)等相关河流作为水源开展研究,水系及水源组合复杂,调水距离长;②引水高程起点不同,调水规模巨大,水源点多在2500~4200 m布置,海拔高则对环境影响大,海拔低则水量充沛,调水量少则300亿 m^3 ,多则2000亿~3000亿 m^3 ;③供水范围广泛,西至青海柴达木盆地、甘肃河西走廊乃至南疆塔里木盆地,东至华北平原、海河流域乃至更远的松花江流域;④工程建设极具挑战,不是几百米的高坝大库,就是高扬程大流量的扬水泵站、上千公里的超长隧洞、数千公里的运河^[20-23]。

(3) 近期大西线调水的演化方案。近年来,国内部分专家团队在吸收不同方案合理成分的基础上,已从较多方面进行了修正,如:考虑调水区社会经济、生态环境等因素后,最大调水量降至400亿~600亿 m^3 ,引水高程控制在海拔2500~3500 m,供水范围基本确定为西北干旱、半干旱区和黄河流域,筑坝高度、隧洞尺度、工程规模等都相应减小,工程难度明显降低,加之现代工程科技和重大设备的创新突破,其可行性显著提高。最为典型的是近期被热议的“红旗河”方案^②和“四江自流”方案^③。

“红旗河”方案从雅鲁藏布江大拐弯海拔2558 m处开始,以隧洞、明渠和水库相结合的方式,沿青藏高原东南部边缘,依次经过怒江、澜沧江、金沙江、雅砻江、大渡河、岷江、渭河、洮河、黄河,然后经河西走廊进入新疆;并包括3条支线,即:通往延安的红延河,通往内蒙古的漠北河,通往吐哈盆地的春风河。输水线路在入黄河支流渭河之前为隧洞输水,入黄河后向河西走廊及新疆采用明渠输水。工程调水量600亿 m^3 ,调水比例21%,全程自流,输水工程全长约6188 km。

“四江自流”方案是在《南水北调西线调水工程总体规划》及一期工程项目建议书基础上提出的,调水起点水位3460 m,从雅鲁藏布江、怒江、澜沧江和金沙江“四江”引水,修筑隧洞串通“五江一河”,经洮河入黄河并进入刘家峡水库(考虑到对长江流域生

② 赵勇等. “红旗河”西部调水工程为脱贫攻坚、一带一路服务. 新华社, 2018.2.

③ 张金良等. 黄河及西北内陆河治理关键问题思路与对策研究. 黄河勘测规划设计有限公司, 2018.1.

态和发电影响,暂不从四川境内的雅砻江、大渡河调水);隧洞总长1303 km,全线自流,年调水量400亿 m^3 ,调水比例38%。西部受水区输水渠道总长3600 km,由三部分组成,即:河西输水干渠,经洮河至玉门市;过玉门市后又分成南北两条线,北线沿吐哈盆地输水至库尔勒,南线沿塔里木盆地南缘输水至和田。

(4)推动大西线调水工程前期研究工作。国内许多学者提出了不同的大西线调水方案,利用中国西南地势高、西北和华北地势逐渐降低的地形特点,把西南诸河之水调到严重缺水的西北等地区^[24]。“红旗河”方案引水高程低,避开三江源生态环境敏感区,沿青藏高原东南部边缘自流引水,控制可调水量多。“四江自流”方案是在国务院已批准的《南水北调西线调水工程总体规划》基础上提出的,有一定的勘测设计基础。纵观各方案,其工程规模、调水距离、技术难度、环境影响、工程投资等方面均需进一步深入开展研究,建议相关部门应尽快组织开展勘测设计及方案比选等前期工作,争取早日纳入国家战略决策的议事日程。

4.3 西北“水三线”建设与战略跨越

针对西北稳定发展的地理与历史之忧,基于大西线调水方案的初步分析,提出西北“水三线”建设的战略构想,即:跨越“胡焕庸线”建设大西线调水工程,跨越“阳关线”加快建设河西生态经济走廊,跨越“奇策线”建设和谐美丽新疆,形成以西北“水三线”建设为空间构架的水资源梯度配置方略,支撑西北地区社会稳定、经济发展和生态文明建设,全方位保障国家安全。

4.3.1 跨越“胡焕庸线”建设大西线调水工程

(1)大西线调水工程是跨越“胡焕庸线”最有效的战略性工程。气候和资源禀赋、交通和物流设施、信息和网络技术、绿洲和城镇发展是跨越“胡焕庸线”的四大关键要素,人口和产业聚集是两个必要条件,而水资源则是最根本保障。水是生命之源、生产之要、生态之基,通过跨流域跨区域调水,解决西北国土水资源短缺和地区发展不平衡问题,改善人居、扩大绿洲、发展三产、促进消费与就业,使全国国土空间得以均衡发展,从而改变西部落后的面貌,进一步建设强大美丽的中国。

(2)“一带一路”倡议是跨越“胡焕庸线”最有效的地理经济战略。通过丝绸之路经济带和欧亚大陆桥的东西联动和互联互通,实施“走西口”战略,推动“东水西流”“南水北流”,带动人口和产业在西北地区聚集,跨越“胡焕庸线”对中国生态环境、地理经济、文化交流的诸多制约,跨越现有点一轴布局的绿洲型经济框架格局,在西部形成新的产业布局体系、空间结构体系和城镇体系,让古丝绸之路重新焕发生机活力,进而带动中国经济更大的繁荣发展^[25]。

(3)大西线调水是实施国家战略不可或缺的重大工程。西部大开发战略要求紧紧抓住基础设施和生态保护两大关键,统筹推进新型城镇化与新型工业化、信息化、农业现代化协调发展。丝绸之路经济带倡议提出以沿线中心城市为支撑,以重点经贸产业园区为合作平台,共同打造国际经济合作走廊。区域协调发展战略要求“加大力度支持革命老区、民族地区、边疆地区、贫困地区加快发展,强化举措推进西部大开发形成新格局”^[26]。实施大西线调水工程,跨越“胡焕庸线”对于保障国家能源和粮食安全,推进国家战略和美丽中国建设,支撑边疆稳定和谐发展意义十分重大、影响极其深远。

4.3.2 跨越“阳关线”加快建设河西生态经济走廊

(1)河西走廊是中国西部最具发展潜力的天然走廊。河西走廊是中国三大天然走廊之最,东起甘肃省乌鞘岭、西至古玉门关、南临祁连山和阿尔金山、北靠巴丹吉林、腾

格里两大沙漠,东西长约1120 km、南北宽40~100 km、是呈西北—东南走向的狭长型天然陆地通道;行政区划上包括嘉峪关、酒泉、张掖、金昌、武威5市,总面积27.6万km²,占甘肃省的60.4%,总人口占甘肃省总人口的18.5%,经济总量占全省经济总量的26.3%,是甘肃省经济社会发展中最具活力和潜力的地区。河西走廊气候干旱,自然生态环境十分脆弱,年降水量仅50~200 mm,多年平均地表水资源量87.6亿m³,地下水资源量为26.9亿m³,可利用水资源量80.3亿m³,水资源和生态环境极大制约着区域发展^[26]。

(2) 河西走廊是古丝绸之路走廊、综合性工业走廊和生态脆弱走廊。自古以来,河西走廊就是丝绸之路必经通道。新中国成立以后,兰新线、312国道相继建成贯穿其间,建设成为了一条拥有5个国家级商品粮基地生产县的“粮食走廊”、“制种走廊”和“酒文化走廊”,也发展成为集有色冶金、钢铁、石油、电力、核工业等大中型企业为主体的工业基地和航空航天基地,筑成了西北地区综合性工业走廊,形成了由5个地级市组成的串珠状城镇体系^[26]。但由于生态环境本底极端脆弱加上人类活动的影响,众所周知的“石羊河生态危机”“黑河下游断流”“月牙泉干涸”“祁连山生态破坏”等新闻报道也真实地反映出“饥渴多病”的河西走廊是一条产业亟待升级换代、生态环境急需修复保护的“脆弱走廊”。

(3) 跨越“阳关线”将河西走廊建成具有国家战略意义的绿色生态经济走廊。河西走廊是一条事关国家和地区生态及经济安全、具有战略意义的生态经济走廊和旅游走廊,建设好这条生态经济走廊,需要实施跨流域调水——藏水西出玉门关,跨越阳关入新疆,覆盖河西走廊全境及漠北高原,辐射走廊内的中心城市,并为向新疆哈密、吐鲁番输水提供条件,带动受水区沿线经济繁荣发展,推进走廊内生态经济综合开发的战略转变,即:由“古丝绸之路走廊”转变为“新欧亚大陆桥走廊”,由开发移民走廊转变为生态移民走廊,由粮食走廊转变为畜牧走廊、制种走廊和草业走廊,由单一工矿走廊转变为复合型生态工业走廊,由串珠状城镇走廊转变为生态城市走廊,由生态脆弱走廊转变为“生态重建走廊”,由战争要道走廊转变为战略要冲走廊,由“饥渴多病的生存经济走廊”转变为“健康宜居的生态经济走廊”^[26]。

4.3.3 跨越“奇策线”建设和谐美丽新疆

(1) 疆域辽阔,水资源匮乏且时空分布严重失衡。新疆国土面积166万km²,1/6的国土面积仅有全国3%的水资源,是中国最干旱的地区,有水就有绿洲,无水皆为荒漠。全疆绿洲面积仅14.3万km²,其中人工绿洲6.2万km²,荒漠绿洲8.1万km²;荒漠面积107万km²,占全疆国土面积的64%。新疆总人口2385万,灌溉面积约620万hm²,农业用水占94%以上^[27]。新疆河川总径流量879亿m³中,约226亿m³流出境外,210亿m³消耗于生态,水资源可利用量十分有限,而且呈“北多南少,西多东少”的区域分布格局,以天山为界,单位面积产水量北疆是南疆的2.6倍;以“奇策线”为界,西北半壁和东南半壁国土面积相等,西北半壁水资源占93%,而东南半壁仅占7%,水资源区域分布相差十分悬殊。

(2) 跨越“奇策线”的水资源约束建设美丽和谐新疆。以“奇策线”为界,西北半壁地表水资源734亿m³,占93%;人口2070万人,占89%;GDP 8868亿元,占89%;灌溉面积538万hm²,占87%^[27]。而东南半壁则是油气、煤炭、有色金属和稀有金属的富集区,新疆石油、天然气储量约占全国陆地资源量的1/3,煤炭储量占全国的41%,主要集中分布在水资源奇缺的吐哈盆地及天山与准噶尔盆地的东部、塔里木盆地的东南部。因此,新疆全面、均衡发展迫切需要从区外引入新水源,跨越“奇策线”的资源环境束缚。

(3) 突出南疆, 提出解决南疆稳定发展问题的快捷调水方案。习近平总书记在第二次新疆工作会议上提出: “新疆一盘棋, 南疆是‘棋眼’。南疆问题集中, 困难突出, 是新疆工作的重点难点, 是反恐维稳的主战场。做活这个‘棋眼’, 才能全盘取胜”。这充分表明了解决南疆问题的重要性和紧迫性。南疆五地州总人口为1094万人, 汉族人口不足10%, 人工绿洲人口密度为264人/km² (约为全国平均人口密度的2倍, 与海南省、江西省相当), 贫困人口集中, 生存环境恶劣, 水资源极度匮乏。解决南疆问题的快捷调水方案, 宜采取通天河调水工程, 建设“新楼兰工程”, 构建塔里木河盆地“环式”水资源配置格局。

通天河调水方案拟从歇玛水库左岸引水, 开挖隧洞穿越昆仑山后, 进入格尔木河右岸支流雪水河, 随后沿柴达木盆地边缘开挖明渠, 一路向西北至阿尔金山垭口, 并进一步开挖隧洞穿越阿尔金山后进入塔里木盆地; 工程输水干线总长980 km, 全线自流引水^[28]。对比国内已建和在建的调水工程, 工程难度不大, 单方水成本较低, 是解决南疆问题最快捷的方案。但该方案存在的主要问题, 一是水源点位于国家“三江源”自然保护区, 二是影响南水北调西线二期工程水源。

“新楼兰工程”依托通天河调水工程, 以若羌为中心建设包含铁干里克、且末、民丰等昆仑山北麓的广大区域^[29-30], 重点开发高效节水种植面积66.7万hm², 并通过城镇化、工业化和旅游业发展, 可“南进移居”300万人与当地少数民族融合发展, 初步实现南疆民汉人口结构7:3的一期调控目标; 将喀什噶尔河、叶尔羌河、和田河等流域过于密集的人口, 特别是山区贫困人口迁至“新楼兰”, 并扩大地方和兵团在该区域的生产布局; 构筑南疆“环式”水资源配置框架体系, 形成环塔里木盆地的生命水链, 连同环形高等级公路、环形高等级铁路、环形特高压输电线路、环形绿洲及城市群的建设, 为南疆稳定发展注入新的活力^[30]。

5 结论与讨论

(1) 水是西北干旱区发展的生命线, 合理利用当地水资源与适度跨流域调水是解决西北水资源短缺和民生福祉的有效途径之一。以中国重要的人口地理分布界线——“胡焕庸线”为依托, 作为东南富水和西北缺水的第一条线, 以河西走廊水文气象与景观特征分界的“阳关线”为第二条线, 以新疆水资源与社会经济特征分界的“奇策线”为第三条线, 首次提出中国西北“水三线”划分的空间格局。“水三线”涵盖西北地区的内陆干旱区、半干旱草原区和黄河流域等三大片区, 是西北水资源合理开发利用的优化配置线、西北生态文明与环境保护的特征分区线、国家“一带一路”建设的战略制导线和边疆长治久安、经略东南发展的国家安全线。

(2) 干旱缺水、生态环境退化是西北地区发展不协调、不充分、不平衡的重要原因。西北“水三线”地区的自然环境特征表现为干旱缺水、山原起伏、荒漠广布, 生态脆弱、环境退化; 面临的社会经济发展现实为资源组合不匹配、土地荒漠化加剧、区域发展不平衡、民族交融不充分。水资源开发利用存在着资源性缺水, 开发利用程度高, 用水结构不合理, 用水效率效益低, 水—土资源失衡、水—矿资源失衡、水—生关系失调、水—沙关系失调和水—盐关系失调等问题和挑战。

(3) 积极组织引导、科学推进大西线调水工程, 是破解西北地区稳定发展的地理与历史之忧的重要举措。针对西北稳定发展的地理与历史之忧, 基于大西线调水方案的初

步分析, 建议积极推动工程前期工作, 提出了西北“水三线”建设的战略与跨越方案, 即: 跨越“胡焕庸线”建设大西线调水工程, 跨越“阳关线”振兴河西走廊和漠北高原, 跨越“奇策线”建设和谐美丽新疆, 提出快捷解决南疆问题的通天河调水方案和“新楼兰工程”, 构建塔里木河盆地“环式”水资源配置格局, 形成以西北“水三线”建设为构架的水资源梯度配置方略, 支撑西北地区经济社会稳定发展、生态文明建设和保障国家安全。

(4) 西北“水三线”建设的战略构想是对“一带一路”倡议的具体落实。西北“水三线”与“一带一路”倡议建设的核心区高度重合。“水三线”与“一带一路”倡议的内容虽不尽相同, 但战略构想基本一致, 历史与未来一脉相承, 为支撑国家由内到外、由近及远、陆海联通、生态文明、民心相通、设施连通、政策沟通等发展目标提供了重要的水源保障。可见, 西北“水三线”是国家“一带一路”倡议的战略制导线。以“一带一路”建设为引领, 以“水三线”为构架, 可大力发展高效绿洲生态经济, 推动西北地区经济社会发展和人口适度集聚, 提升城镇化发展水平, 缩小东西部发展差距, 为西北地区脱贫攻坚与全面建成小康社会提供坚实的水资源保障。

(5) 西北“水三线”战略利于未来民族融合发展。宗教问题始终是人类生存过程中不可回避的问题, 南疆多发的暴恐事件, 表面看是宗教问题, 实质上还是发展不平衡的问题。实施“水三线”战略, 其核心就是为西北多民族地区的交融平衡发展提供平台和空间, 特别是在南疆人口密集的绿洲, 县以下乡村96%的维吾尔族构成, 人多水少地少的现实, 极难再承载更多人口或融入其他民族成分, 亟待另辟蹊径。通过2~3代人甚至更长时间的交融发展和全民族综合素质的提高, 使伊斯兰信众自觉皈依平和化、世俗化和现代化, 这就是我们带给人类未来实实在在的贡献。

参考文献(References)

- [1] Gohari A, Eslamian S, Mirchi A, et al. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. *Journal of Hydrology*, 2013, 491: 23-39.
- [2] Tal A. Seeking sustainability: Israel's evolving water management strategy. *Science*, 2006, 313(5790): 1081-1084.
- [3] Miller F, Bolitho A, Jamieson N, et al. A plan to push limits? Investigating the ecologically sustainable development dimensions of Melbourne's Central Region sustainable water strategy. *Australian Geographer*, 2014, 45(1): 19-35.
- [4] Bao C, Fang C. Water resources flows related to urbanization in China: Challenges and perspectives for water management and urban development. *Water Resources Management*, 2012, 26(2): 531-552.
- [5] Li Yunhui, Chen Xianyun, Shen Yanchen. Study on economic benefits and ecological problems of water diversion project in U.S.A. *Journal of Economics of Water Resources*, 2006(1): 74-76, 84. [李运辉, 陈献耘, 沈艳忱. 美国调水工程社会经济效益与生态问题研究. *水利经济*, 2006(1): 74-76, 84.]
- [6] Kurian M. The water-energy-food nexus: Trade-offs, thresholds and transdisciplinary approaches to sustainable development. *Environmental Science & Policy*, 2017, 68: 97-106.
- [7] Thevs N. Water scarcity and allocation in the Tarim Basin: Decision structures and adaptations on the local level. *Journal of Current Chinese Affairs*, 2011, 40(3): 113-137.
- [8] Davies E G R, Simonovic S P. Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in Water Resources*, 2011, 34(6): 684-700.
- [9] Qian Zhengying, Shen Guofang, Pian Jiazheng. *Water Resources Allocation for Ecological Environment Construction in the West Region and Its Research on Sustainable Development Strategy*. Beijing: Sciences Press, 2004. [钱正英, 沈国防, 潘家铮. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [10] Shi Yulin, Ren Zhenhai, Lei Zhidong, et al. *Research on Land Desertification and Utilization of Soil and Water Resources in Northwest China*. Beijing: Science Press, 2004. [石玉林, 任阵海, 雷志栋, 等. 西北地区土地荒漠化与水土资源利用研究. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [11] Hu Huanyong. On population distribution in China. *Acta Geographica Sinica*, 1935, 2(2): 13-21. [胡焕庸. 论中国人口

- 之分布. 地理学报, 1935, 2(2): 13-21.]
- [12] Wu Jing, Wang Zheng. Agent-based simulation on the evolution of population geography of China during the past 2000 years. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(2): 185-194. [吴静, 王铮. 2000年来中国人口地理演变的Agent模拟分析. 地理学报, 2008, 63(2): 185-194.]
- [13] National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *National Bureau of Statistics of China 2016 (No.35)*. Beijing: China Statistics Press, 2016. [中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2016(总第35期). 北京: 中国统计出版社, 2016.]
- [14] Water Resources Department of the Ministry of Water Resources. *China Water Resources Bulletin in 2015*. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2017. [水利部水资源司. 2015年中国水资源公报. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.]
- [15] Zhang Mei, Yang Huijuan, Chen Hongli. Necessary and precept of inter-basin water diversion to the Yellow River. *Yellow River*, 2013, 35(10): 87-90. [张玫, 杨慧娟, 陈红莉. 跨流域向黄河调水的必要性与方案. 人民黄河, 2013, 35(10): 87-90.]
- [16] Chen Xi. *Land Use/Cover Change in Arid Areas in China*. Beijing: Science Press, 2008: 367-402. [陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化. 北京: 科学出版社, 2008: 367-402.]
- [17] Li Jiaming, Lu Dadao, Xu Chengdong, et al. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 148-160. [李佳铭, 陆大道, 徐成东, 等. 胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化. 地理学报, 2017, 72(2): 148-160.]
- [18] Shen Funsheng, Tan Yingwu. Plan Outline of West Line of South-North Water Transfer Project. *Yellow River*, 2010, 23(12): 4-5, 10. [沈凤生, 谈英武. 南水北调西线工程规划纲要. 人民黄河, 2010, 23(12): 4-5, 10.]
- [19] Zhang Hongwu. Discussion on development and utilization of Tibet water. *Water Resources Planning and Design*, 2011(1): 1-4. [张红武. 西藏之水开发利用问题的探讨. 水利规划与设计, 2011(1): 1-4.]
- [20] Lin G C S. Water, technology, society and the environment: Interpreting the technopolitics of China's South-North Water Transfer Project. *Regional Studies*, 2017, 51(3): 1-6.
- [21] Wilson M, Li X Y, Ma Y J, et al. A review of the economic, social, and environmental impacts of China's South-North Water Transfer Project: A sustainability perspective. *Sustainability*, 2017, 9(8): 1489.
- [22] Changming L. Environmental issues and the South-North Water Transfer Scheme. *The China Quarterly*, 1998, 156: 899-910.
- [23] Gu W, Shao D, Jiang Y. Risk evaluation of water shortage in source area of Middle Route Project for South-to-North Water Transfer in China. *Water Resources Management*, 2012, 26(12): 3479-3493.
- [24] Lin Yishan. "Lin Yishan" Water Collection (Part One and Part Two). Wuhan: Changjiang Press, 2011. [林一山. 林一山治水文集(上下). 武汉: 长江出版社, 2011.]
- [25] Ma Haitao. China's new urbanization plan is a breakthrough against Hu Huanyong Line. *Science*, 2015, 67(3): 39-42. [马海涛. 突破胡焕庸线: 新型城镇化助推国土空间利用质量的均衡. 科学, 2015, 67(3): 39-42.]
- [26] Fang Chuanglin. *Ecological Economic Corridor in Western China*. Beijing: The Commercial Press, 2007. [方创琳. 中国西部生态经济走廊. 北京: 商务印书馆, 2007.]
- [27] Xinjiang Statistics Bureau. *Xinjiang Statistical Yearbook (2016)*. Beijing: China Statistics Press, 2016. [新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴(2016). 北京: 中国统计出版社, 2016.]
- [28] Wei Jianhong. Expand the survival and development space of China by using "east water to west". *Water and China*, 2013(8): 22-25. [魏剑宏. 利用“东水西调”拓展我国生存与发展空间. 水与中国, 2013(8): 22-25.]
- [29] Zhang Xinshi. Towards a New Loulan. *New Tempo Science*, 2007(3): 23. [张新时. 走向新楼兰. 科学之友, 2007(3): 23.]
- [30] Deng Mingjiang. Prospecting development of south Xinjiang: Water strategy and problem of Tarim River Basin. *Arid Land Geography*, 2016, 39(1): 1-11. [邓铭江. 南疆未来发展的思考: 塔里木河流域水问题与水战略研究. 干旱区地理, 2016, 39(1): 1-11.]

"Three Water Lines" strategy: Its spatial patterns and effects on water resources allocation in northwest China

DENG Mingjiang

(Xinjiang Ertix River Basin Development and Construction Management Bureau, Urumqi 830000, China)

Abstract: Water is the lifeline of socio-economic sustainable development in northwest China. The land area of northwestern region accounts for 35.9% of China's total, but it has only about 5% of water resources of the whole country. This study proposed the "Three Water Lines" (Heihe-Tengchong Line, Yangguan Line, and Qitai-Cele Line) of northwest China under the perspective of the evolution of hydro-meteorology, ecological landscapes and socio-economic development. The "Three Water Lines" were the optimal configuration lines of the rational development and utilization of water resources, the characteristic zoning lines of ecological civilization and environmental protection, the guiding lines of "the Belt and Road Initiative" strategic focus, and the national security lines of long-term stability of the border areas. Facing the existing problems and challenges in the development and utilization of water resources in northwest China, this study proposed the "Three Water Lines" strategy and its spatial pattern coupling with the analysis of scenarios of water diversion of northwest China. The west route of the South-North Water Transfer Project is a fundamental project for the implementation of the "Three Water Lines" strategy. It is essential to overcome the constraints of the socio-economic development through the new strategies: (1) breaking through the "Heihe-Tengchong Line" will promote balanced development between the eastern and western regions of China; (2) Breaking through the current "Yangguan Line" will boost social and economic development in the Hexi Corridor, (3) Breaking through the "Qitai-Cele Line" will enhance water resources and environmental carrying capacity. A new spatial pattern of water resources allocation along the gradient was formed by the "Three Water Lines" strategy. The new water resources allocation patterns will be able to support stable development of socio-economy and ecological civilization construction, optimize population distribution and the layout of socio-economic development, and provide a reliable guarantee of water resources for the implementation of "the Belt and Road Initiative".

Keywords: northwest China; "Three Water Lines" strategy; "Yangguan Line"; "Qitai-Cele Line"; spatial pattern; water resources allocation; coordinated development; China