

# 西部“一带一路”沿线城镇水资源与水环境的特征、制约及保障模式

文 刚, 张正洪, 田识琪, 黄廷林

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 介绍了西部“一带一路”代表性沿线城镇水资源与水环境的特征与现状, 系统分析了其存在的问题与制约, 并提出相应的绿色更新发展保障模式。具体从水资源量、降水、供水用水情况、用水效益、污水处理情况、再生水及雨水利用情况以及水质情况介绍了西部“一带一路”沿线城镇水资源与水环境的特征。该地区拥有全国 31.76% 土地面积, 但水资源总量仅占全国 10.6%。沿线城镇中 64.7% 的人均水资源量低于全国平均水平, 78.2% 的降水量低于全国平均水平且集中分布在夏秋两季。用水结构除省会城市外其它城镇均以农业用水为主, 占 86%。再生水利用率最低仅为 15.5%, 污水处理率基本达到 95% 以上。经分析, 水资源量匮乏且分布不均、利用难度大、水资源开发过载、用水结构不合理、非传统水资源利用率较低、部分地区水污染严重等问题深深制约着西部沿线城镇的绿色更新发展。针对以上问题, 本研究强调贯彻“四水四定”原则、优化调度和统筹配置水资源、推进水资源“开源节流”、强化水污染治理和水环境保护工作等保障模式。

**关键词:** 水资源; 水环境; “一带一路”; 保障模式

**中图分类号:** TU991.11<sup>+</sup>1; TV213.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2022)06-0807-12

## Characteristics, constraints and guarantee modes of water resources and water environment in cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

WEN Gang, ZHANG Zhenghong, TIAN Shiqi, HUANG Tinglin

(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** This study introduces the status quo of water resource and water environment of the representative cities and towns along the One Belt One Road in western China, systematically analyzes the issues and limitations, and proposes a corresponding guarantee model for a green renewal development. Characteristics of water resources and water environment in cities and towns along One Belt One Road in western China is specifically depicted in terms of water resources, precipitation, water supply and consumption, water efficiency, wastewater treatment, utilization of reclaimed water and rainwater, as well as water quality. The five provinces of “the Belt and Road” have 31.76% of the national land area, but the total amount of water resources only accounts for 10.6% of the country's total water resources. 64.7% of the cities and towns along the line have lower per capita water resources than the national average, 78.2% of the precipitation is lower than the national average, and is concentrated in the summer and autumn. Agriculture, the major pathway of water utilization except for provincial capitals, takes up to 86% of the water utilized. The lowest utilization rate of renewable water is only 15.5%, and wastewater treatment rate is over 95% for most cities and towns. According to the analysis, the lack and uneven distribution of water resources, the difficulty of utilization, the overload of water resources development, the unreasonable structure of water use, the low utilization rate of non-traditional water resources, and the serious water pollution in some areas deeply restrict the green renewal and development of towns along the western route. In view of the above problems, this study emphasizes the implementation of the four principles of economic and social development based on available water, the optimization of scheduling and overall allocation of water resources, the promotion of water resources “resource opening and resource saving”, and the strengthening of water pollution control and water environment

收稿日期: 2022-11-03

修改稿日期: 2022-11-18

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XZ-38)

第一作者: 文 刚(1983—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事饮用水水源水质安全保障研究。E-mail: hitwengang@163.com

protection.

**Key words:** water resource; water environment; “the Belt and Road”; guarantee modes

“一带一路”是2013年国家主席习近平提出建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的合作倡议,是中国扩大对外开放的重大战略举措以及经济外交的顶层设计。“一带一路”基于古代丝绸之路,对东西方文化交融有着举足轻重的作用,是连接亚欧贸易的重要桥梁<sup>[1]</sup>。

西部“一带一路”是指我国西北五省所处地区,其中包含以陕西西安为起点至新疆乌鲁木齐的各沿线城镇,大部分地区处于西北干旱半干旱区,以高原、盆地、山地为主,气温日较差、年较差大,太阳辐射强,风沙多。在当今,西部“一带一

路”沿线城镇的经济发展相较于我国其他地区存在明显差距。由于西北地区深居内陆,其固有的自然环境与近年来人为过度开发导致了各种水资源与水环境问题,对沿线城镇发展产生了显著的制约。

本研究以西北五省各市作为西部“一带一路”沿线城镇水资源水环境制约的研究对象,如表1所示,数据来源主要为各省水利厅和生态环境厅近年发布的水资源公报及生态环境公报,全国水资源公报及生态环境公报,以及中国城市建设年鉴。

表1 本研究涉及的西部“一带一路”省份(自治区)和55个主要城市

Tab. 1 Western “the Belt and Road” provinces(autonomous regions) and 55 major cities involved in this study

省(自治区)	主要城镇*(括号中内容为本文使用的简称)
陕西省	西安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、杨陵区、渭南市、韩城市、西咸新区、延安市、榆林市、汉中市、安康市、商洛市
宁夏回族自治区	银川市、石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市
甘肃省	酒泉市、嘉峪关市、张掖市、金昌市、武威市、兰州市、白银市、临夏市、定西市、天水市、平凉市、庆阳市、甘南藏族自治州(甘南州)、陇南市
青海省	西宁市、海东市、海北藏族自治州(海北州)、海南藏族自治州(海南州)、黄南藏族自治州(黄南州)、果洛藏族自治州(果洛州)、玉树藏族自治州(玉树州)、海西蒙古族藏族自治州(海西州)
新疆维吾尔自治区	乌鲁木齐市、克拉玛依市、吐鲁番市、哈密市、昌吉回族自治州(昌吉州)、博尔塔拉蒙古自治州(博州)、巴音郭楞蒙古自治州(巴州)、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州(克州)、喀什地区、和田地区、伊犁哈萨克自治州(伊犁州)、塔城地区、阿勒泰地区、石河子市

注:由于各个公报和统计年鉴的统计范围有差异,存在数据缺失情况,一些指标仅包含了部分城市的数据。

## 1 水资源与水环境的现状

西部“一带一路”地区涵盖三江源、黄河中上游以及天山、昆仑山等著名高山冰川,是中华水系的一条重要脉络。三江源地区囊括长江总水量的25%,黄河的49%和澜沧江的15%,故有“中华水塔”之称<sup>[2-3]</sup>。黄河流经青海、甘肃、宁夏、陕西,其流域面积涵盖西北五省57%的总人口以及60%的耕地,是西北地区的代表性河流和重要水源。冰川作为西北干旱区的固体水库,主要集中在祁连山、昆仑山、天山,融雪水是西北诸多河流的重要补给来源。

### 1.1 水资源量

水资源总量。西部“一带一路”沿线五省土地面积占全国31.76%,但水资源总量仅占全国

10.6%,水资源总量较少且分布不均,如图1所示。根据各省的水资源公报<sup>[4-6, 8, 10]</sup>,一些沿线城市如陕西铜川市、宁夏银川市、甘肃嘉峪关市和金昌市,以及新疆克拉玛依市的水资源总量小于5亿m<sup>3</sup>,远远低于其他沿线城市,而宁夏回族自治区也是我国水资源最少的省区,仅有9.3亿m<sup>3</sup><sup>[11]</sup>。同时,各省会城市的水资源量在省内排名比较靠后,这些城市可能更加依赖异地调水和当地蓄水工程来保障供水量。水资源类型上,地表水为各沿线城镇主要的水资源形式,青海省地下水资源量占比高于其他省份,其中,海西州的地下水资源量约占总量的三分之一。分布上,陕西关中和陕北地区、宁夏中部和北部、甘肃中部和河西走廊以及新疆北部呈现一条明显的浅色缺水带(图2),这可能与该地带的地理特征有关,由东南至



量占比约为 78.3%，平均降水量为全国的约 59%。如图 4 和图 5 所示，各省份的年降水量排序为陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆。空间分布上，沿西安往西北方向沿线城镇的降水量逐渐减少，特别是河西走廊前后临尤为严重的干旱少雨现状。

除此之外，有限的降水主要集中在夏秋季节，且多暴雨，秋冬季缺水十分严重(图 4)，水资源不仅难以满足农业灌溉和工业生产的需要，甚至许多地方人畜用水也存在困难。

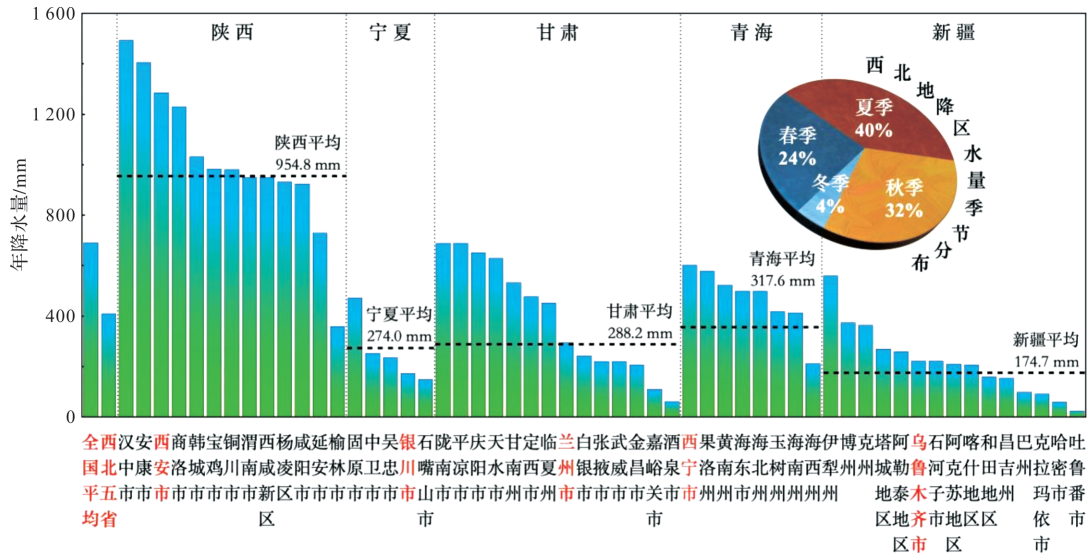


图 4 西部“一带一路”沿线城镇平均年降水量与降水季节分布情况

Fig. 4 Average annual precipitation and seasonal distribution of precipitation in cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

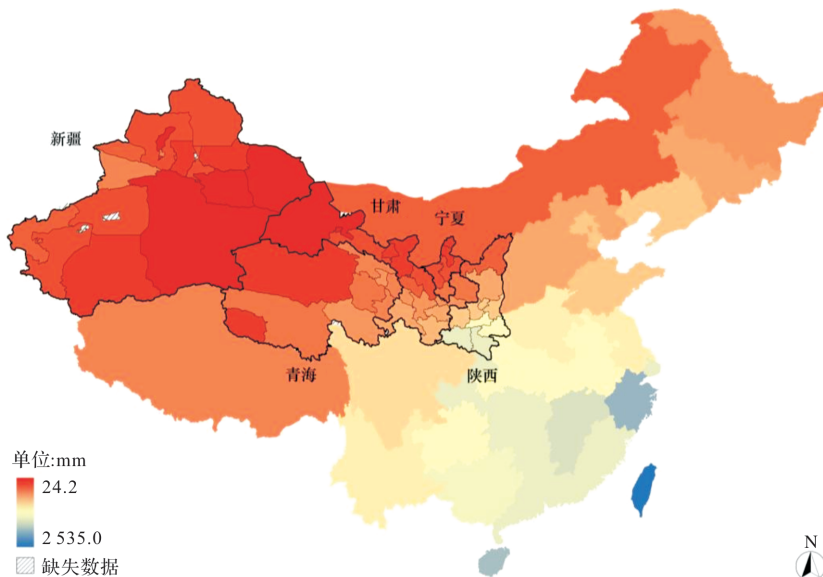


图 5 西部“一带一路”五省年降水量空间分布情况(与全国情况比较)

Fig. 5 Spatial distribution of annual precipitation in the five provinces along “the Belt and Road” in Western China (compared with the national situation)

### 1.3 供水和用水情况

供水状况. 2021 年西部“一带一路”沿线城镇供水总量为 848.95 亿  $\text{m}^3$ ，其中地表水占总供水量的 79%，地下水的 20%，其他水源(包括再生水、集雨工程等)约 1%(图 6)<sup>[11]</sup>。陕西省为供水结构

相对多样化的省份，地下水和其他水源供水量占比为五省中最大，达 37%，而宁夏则以地表水为主，占 91%。五省中，青海省的供水总量最低，仅为 24.55 亿  $\text{m}^3$ ，新疆维吾尔自治区最高，达 554.43 亿  $\text{m}^3$ 。



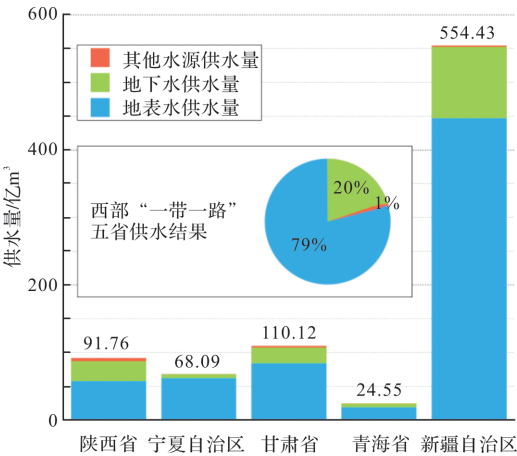


图 6 西部“一带一路”五省供水结构

Fig. 6 Water supply pattern of five provinces along “the Belt and Road” in Western China

用水状况. 2021 年西部“一带一路”沿线城镇的用水总量为 848.42 亿  $\text{m}^3$ <sup>[4-6, 8, 10]</sup>, 用水结构为农业用水占 86%、工业用水占 4%、生活用水占 5%、城镇公共用水占 1%以及生态环境占 4%(图 7). 可见, 各沿线城镇以农业用水为主, 这与各地的特色产业密切相关, 如喀什地区盛产甜杏、小茴香、石榴等作物和水果, 以及阿克苏作为我国最重要的棉花生产基地, 其棉花产量约占新疆的 80%, 导致农业用水量大. 由于水源类型、产业结构、经济发展状况等的差异, 不同城市用水量及用水结构明显不同, 如西安、兰州、乌鲁木齐作为省会城市, 人口基数较大, 城市活动较丰富, 生活用水量占比更高, 农业用水占比更低, 用水结构更均衡.

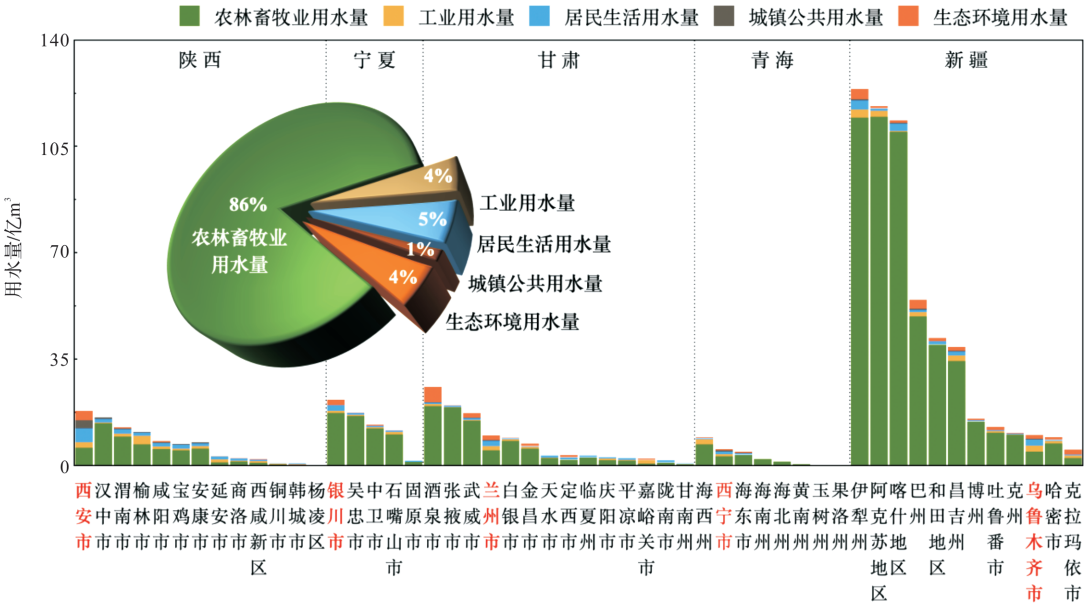


图 7 西部“一带一路”沿线城镇用水量及用水结构

Fig. 7 Water consumption and water consumption pattern of cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

1.4 污水处理和再生水利用情况

污水处理情况. 污水处理率按式 1 计算. 总体来看, 除新疆乌苏市(48.4%)、奎屯市(88.4%)、阿图什市(91.2%)、沙湾市(93.3%), 青海同仁市(86.8%)、茫崖市(92.3%)外, 五省绝大部分城市的污水处理率均达到 95% 以上<sup>[14]</sup>, 基本满足生活污水处理需求, 大大减轻了受纳水体的污染状况(见图 8). 值得注意的是, 新疆乌苏市的污水处理率不仅是西北五省最低, 也是全国最低的城市, 仅为 48.4%, 根据相关资料显示, 乌苏市无雨水管道, 仅有 1 座污水处理厂, 没有二、三级处理, 且正处于改建期<sup>[14-15]</sup>.

$$\text{污水处理率}(\%) = \frac{\text{污水处理总量}}{\text{污水排放量}} \quad (1)$$

再生水利用情况. 城市再生水可用于市政杂用、绿化、景观河湖补水等方面<sup>[13]</sup>, 有助于缓解西北水资源短缺现状. 目前, 西北“一带一路”五省的再生水生产能力为 452.7 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 占全国的 6.3%, 各省份的再生水生产能力如表 2 所示<sup>[14]</sup>. 再生水利用率按照式 2 进行计算, 各省再生水利用率如图 9 所示, 陕西省、甘肃省、青海省的再生水利用率低于全国平均, 新疆维吾尔自治区最高, 达到 45.9%, 甘肃省最低, 仅为 15.5%.

$$\text{再生水利用率}(\%) = \frac{\text{市政再生水利用量}}{\text{污水处理总量}} \quad (2)$$

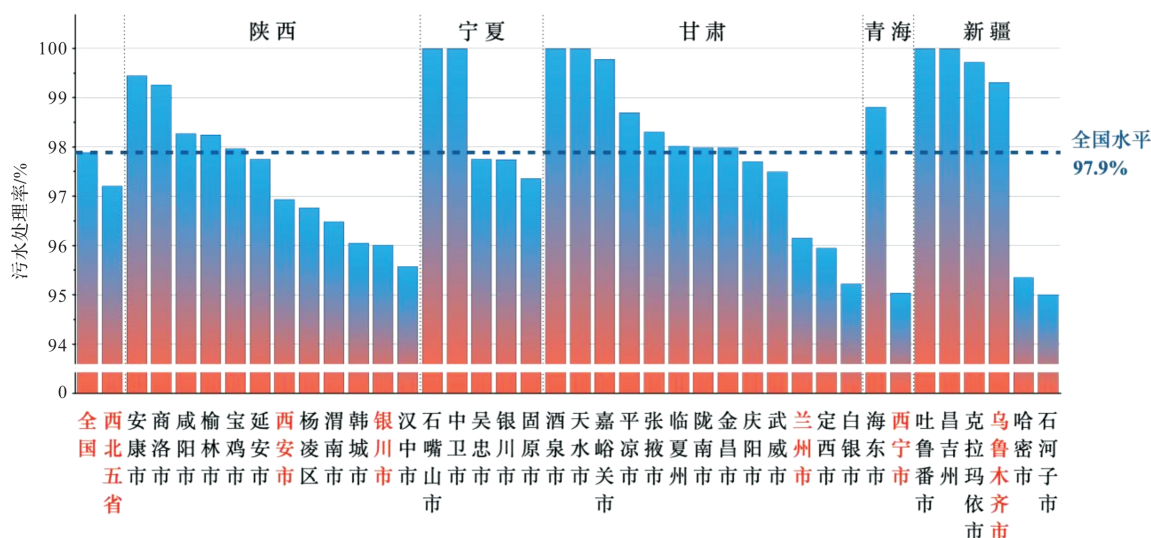


图8 西部“一带一路”各沿线城镇污水处理率

Fig. 8 Sewage treatment rate of cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

表2 再生水生产能力(单位: 万 m<sup>3</sup>/d)Tab. 2 Production capacity of reclaimed water(Unit: 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)

全国	西北	陕西	宁夏	甘肃	青海	新疆
7 134.9	452.7	142.8	58.8	61.4	19.1	170.6

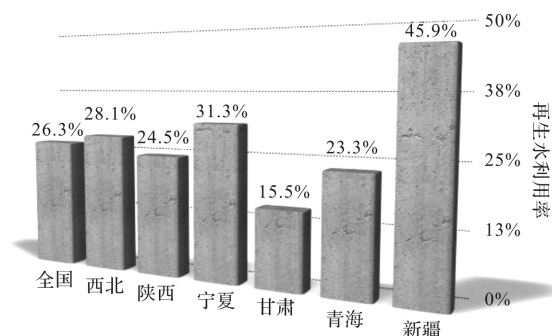


图9 再生水利用率

Fig. 9 Utilization rate of reclaimed water

### 1.5 水环境

西部“一带一路”五省份处于西北诸河流域和黄

河流域中上游,有冰川、河流、湖泊和沼泽等多种水体形式。根据2021年全国生态环境公报<sup>[16]</sup>,西北诸河水质基本为优,I-III类水质断面占96.3%,无劣V类;黄河流域水质良好,I-III类水质断面占81.9%,劣V类占3.8%,干流水质为优,主要支流水质良好。根据2021年各省份生态环境公报<sup>[17-21]</sup>,陕西红碱淖为重度污染<sup>[17]</sup>,宁夏苦水河、都思兔河为劣V类水质,氟化物超标<sup>[18]</sup>,甘肃马莲河部分河段为劣V类水质,主要污染源是六价铬,同时,肃北县城区饮用水源水质超标<sup>[19]</sup>,新疆喀什噶尔河部分河段为中度污染,主要污染指标为化学需氧量、氟化物、高锰酸盐指数,乌伦古湖为重度污染,其中氟化物、化学需氧量、总磷超标,全湖呈中营养状态,此外,新疆29.2%的地下水监测点为V类水质,硫酸盐、氯化物、钠超标,6个水源地超标,硼、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度超标<sup>[21]</sup>,见图10。

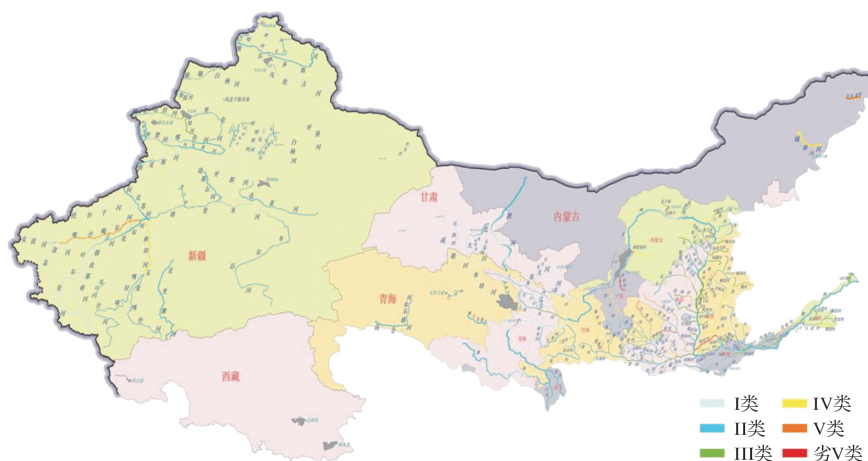
图10 西北流域水质状况图(摘自《2021年中国生态环境状况公报》<sup>[16]</sup>并经过二次处理)

Fig. 10 Water quality of Northwest watershed(Drawn from 2021 China Ecology and Environment Bulletin with modification)

## 2 水资源与水环境的问题

### 2.1 资源量匮乏且分布不均, 利用难度大

基于西部“一带一路”沿线城镇人均水资源量和年降水量数据<sup>[4-10]</sup>, 根据国家质检总局和国家标准委发布的《节水型社会评价指标体系和评价方法》(GB/T 28284—2012)中的划分标准<sup>[22]</sup>, 西部沿线城镇中丰水地区占 11%, 平水地区占 33%, 缺水地区占 56%(见图 11), 可见普遍处于干旱缺水状态。

由于干旱缺水, 使得西北地区自然景观荒漠

化和生态环境问题加剧, 成为我国土地沙漠化、次生盐渍化、水土流失、草原旱化矮化的重灾地区。该地区地处内陆, 远离海洋, 受高山阻隔降水量少, 有限的降水主要集中在夏秋季节, 春冬季节缺水严重。沿线城镇耕地分布不平衡, 有相当大一部分水资源分布在地势高寒、自然条件较差的人烟稀少地区及无人区, 而自然条件较好, 人口稠密且经济发达的绿洲地区水资源却十分有限, 水资源利用难度大, 导致经济社会发展及生态文明建设受到制约。

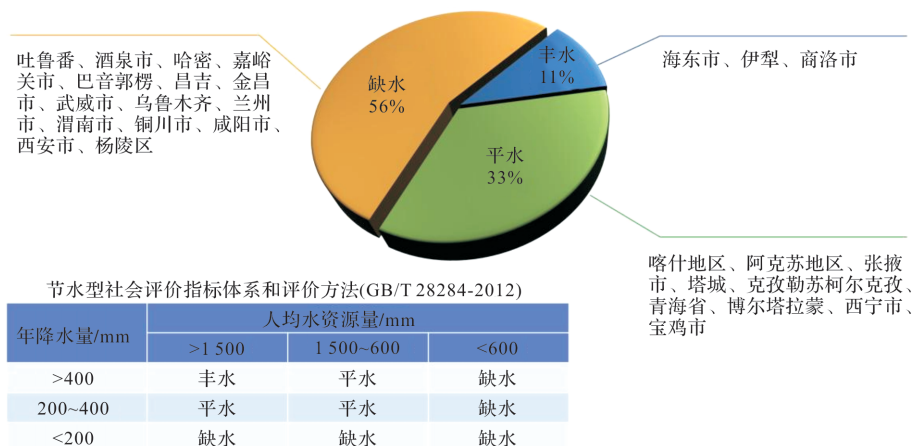


图 11 西部“一带一路”沿线城镇水资源量评价

Fig. 11 Evaluation of water resources of cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

### 2.2 水资源开发程度超过承载力负荷

水资源承载力。水资源承载力对水资源、经济社会和生态环境存在驱动和制约关系, 而后三者之间也存在相互支撑和限制等关系(图 12)。吴明艳等<sup>[23]</sup>基于熵权 TOPSIS 模型对 2004—2019 年西北五省的水资源承载力进行评估, 结果显示 16 年间西北五省区水资源承载力呈现逐年增长趋势, 但五省区水资源承载力空间差异性明显。近年来, 随着生态文明建设理念的不断深入, 国家也相继出台“水十条”等水资源管理制度, 其中指出“充分考虑水资源、水环境承载能力, 严格控制缺水地区、水污染严重地区和敏感区域高耗水、高污染行业发展”<sup>[24]</sup>, 使水资源承载力得到提升。

万元 GDP 用水量。该指标是节水型社会的核心指标之一, 其值越高说明地区发展技术水平低且节水意识淡薄。根据中华人民共和国水利部水资源公报(图 13), 全国万元 GDP 用水量为 57.2 m<sup>3</sup>, 西部沿线城镇中高于全国平均的城镇数量占比约为 58%, 多为经济欠发达地区, 甘肃河西走廊和

新疆部分地区占比大。其中, 新疆喀什、阿克苏、克州的万元 GDP 用水量远高于全国水平, 达 853~1 200 m<sup>3</sup>, 说明这些地区急需进行节水改革, 减缓水资源浪费现象。

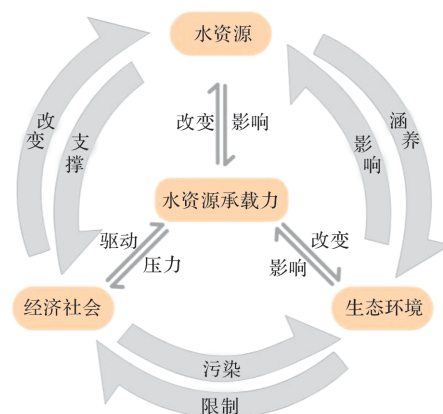


图 12 水资源承载力对地区水资源、经济社会和生态环境的约束

Fig. 12 Constraints of water resources carrying capacity on regional water resources, economic society and ecological environment



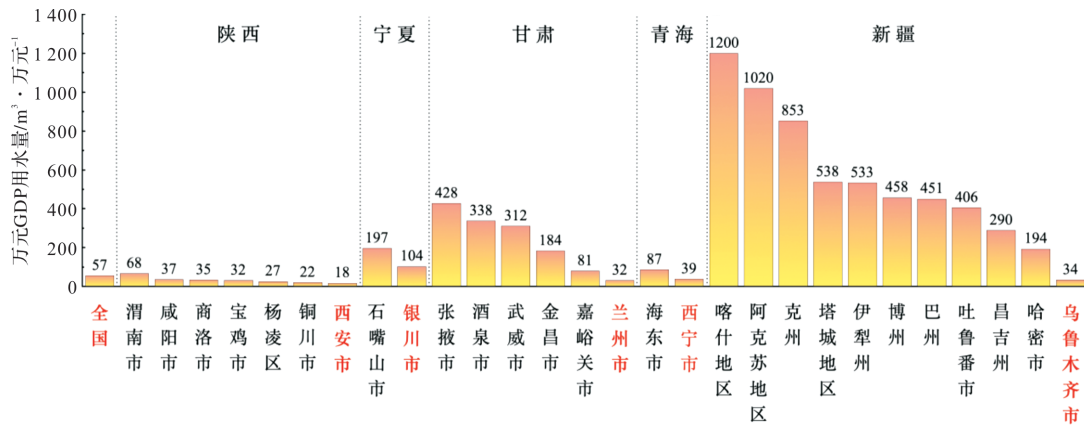


图13 西部“一带一路”各沿线城镇万元GDP用水量

Fig. 13 Comprehensive water consumption per 10 000-yuan GDP of cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

### 2.3 用水结构不合理, 呈现高水资源压力

西部“一带一路”沿线城镇用水结构极不均衡, 农业用水占总用水量的86%, 而工业用水则不到5%(图7). 从世界平均用水结构看, 农业用水占65%, 工业和城市用水分别为22%和7%, 沿线城镇农业用水比例偏高, 不仅说明水资源利用方式落后, 利用效率差, 同时也说明通过调整用水结构实现节约水量的潜力很大.

根据水资源开发利用程度分类<sup>[25]</sup>, 沿线城镇中, 高水资源压力占71%, 中高水资源压力占17%, 中低水资源压力占8%, 低水资源压力占4%(见图14), 说明当前西部沿线地区水资源呈现过度开发的现状; 而高水资源压力的城镇中包含古代丝绸之路上的重要城镇, 即西安、河西走廊、乌鲁木齐, 这无疑会成为制约西部“一带一路”沿线城镇社会经济和生态环境未来发展的重要因素.

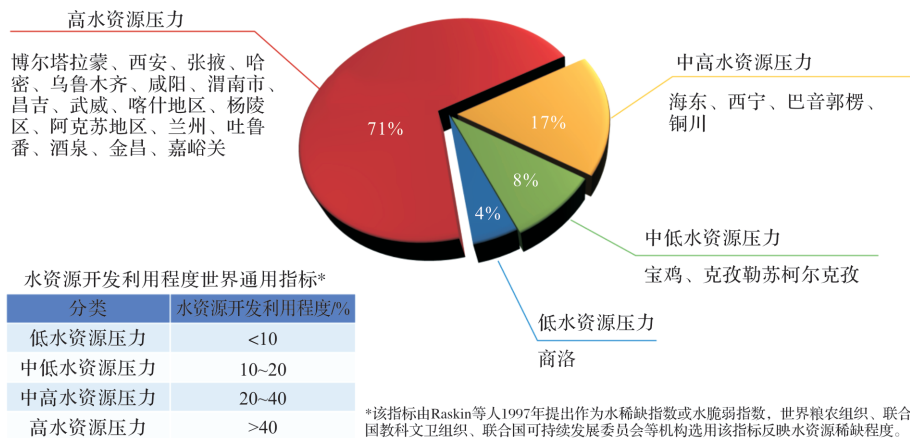


图14 西部“一带一路”沿线城镇水资源开发利用状况

Fig. 14 Development and utilization of water resources of cities and towns along “the Belt and Road” in Western China

### 2.4 非传统水资源利用率较低

根据《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》要求, 到2025年, 全国地级及以上缺水城市再生水利用率应达25%以上<sup>[26]</sup>. 可见, 西北五省中, 陕西(24.5%)、甘肃(15.5%)和青海(23.3%)在再生水利用方面仍需要加强(见图8). 尤其是干旱缺水的甘肃省, 其年污水处理总量达47 418万m<sup>3</sup>, 但再生水回用量仅有7 328万m<sup>3</sup>, 只占总处理水量的15.5%, 而兰州市仅为4.1%<sup>[14]</sup>. 此外, 西部沿线城镇目前对雨水的设计体系仍是“直接排放和疏导”的模式, 雨水的收集利用管理和设施不完善, 各级政府雨水利用意识薄弱, 城区可渗水面积小, 海绵城市建设落后, 造成对雨水资源的长

期浪费.

### 2.5 部分地区水环境问题严重

目前, 西部沿线城镇仍有部分地区存在严重的水环境污染问题, 根据各省生态环境公报, 化学需氧量和氟化物为最常见的两类超标指标, 此外, 高锰酸盐指数、六价铬、总磷、硫酸盐、氯化物、钠、硼、硫酸盐、溶解性总固体、总硬度等指标也存在不同程度的超标<sup>[16-21, 27-30]</sup>. 水源水质不达标主要原因有两方面, 一方面是西北地区工矿业粗放式发展, 产生大量的工业废水可能在处理未达标的情况下排入受纳水体, 导致不同程度的地表水和地下水污染, 直接或间接影响城市饮用水安全; 另一方面, 西北地区是我国农业和

养殖业的主要发展地,不少地方饮用水源保护区上游,甚至饮用水源附近村镇的农业污水以及养殖污水未经任何处理就直接排入水体中,造成水环境污染不断加剧。

### 3 水资源与水环境的保障模式

国际水协会(IWA)于2016年发布《水智慧城市导则》,提出水智慧城市理念<sup>[31]</sup>。该导则包括四个行动层次:有再生力的水服务、水敏城市设计、城市多流域相连和水智慧联盟。基于西部“一带一路”沿线城镇主要的水资源和水环境问题,结合IWA水智慧城市的理念,提出如下保障模式。

#### 3.1 贯彻“四水四定”原则,推进城市绿色更新发展

严格贯彻“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”原则。建设水资源水环境承载力监测预警机制,制定水资源与水环境承载力的统一评价方法,中华人民共和国水利部和各省水利厅在统计编撰水资源公报时应加入该指标的评价,指导构建与水资源水环境承载力相适应的现代产业体系;同时,在城市建设规划过程中强调水的重要地位,根据水资源承载状况确定土地用途,将涉水系统置于城市各类基建的总体框架中。从未来的发展趋势看,水资源保护利用重点将从水资源单要素控制向“水资源-水环境-水生态-水灾害”统筹转变<sup>[32]</sup>。

#### 3.2 深化水资源的优化调度、统筹配置、开源节流战略

优化调度水资源。强化全流域水量统一调度,细化完善干支流水资源分配。合理确定黄河、长江及澜沧江等干支流及河湖的生态流量,以湟水河、渭河、石川河、丹江、嘉陵江等主要支流为重点,制定实施生态流量保障方案,加强生态流量动态监管。正在统筹设计的“红旗河”西部调水工程将青藏高原的水输送至西北干旱缺水地区,调水规模预计达每年600亿 $\text{m}^3$ ,该工程对西北地区生态的改善以及未来对中华水塔的涵养,都将充分体现其在西北生态治理方面的重要价值<sup>[33]</sup>。

统筹配置水资源。目前,农业用水占西部干旱地区总用水量的绝大部分(86%),应推广农业节水技术、水权调配等方式适度将水资源向二、三产业进行调配,以支持地区工业发展和城镇化的推进。同时,可以尝试跨流域水权的交易进行水资源空间调配,或将某些高耗水产业向水资源丰富的地区进行转移。此外,由于西北地区地下水资源稀缺(图1),应开展地下水超采综合治理,保持重点区域地下水采补平衡。

深化开源节流战略。积极推动再生水、雨水、

矿井水、苦咸水等非常规水源利用,统筹涉水基础设施水再生能力。以西北省会城市为首,开展污水资源化利用试点示范,宣传优秀工程案例,带动沿线城镇实现再生水规模化利用。以省会城市及工业用水占比高的城市为重点,实施高耗水行业节水改造,推广应用一批先进适用的工业节水工艺、技术和装备,同时,推进城镇节水降损工程建设,推广普及生活节水器具,积极开展政府机关、学校、医院等公共机构节水技术改造,推进节水型城市建设。

#### 3.3 强化城镇水污染治理和水环境保护工作

深化重点行业工业废水治理。提高西部“一带一路”沿线城镇污水处理率,持续实施煤化工、焦化、农药、农副食品加工、原料药制造等重点行业工业废水稳定达标排放治理,完善工业园区污水集中处理设施及进出水自动在线监控装置建设,加强园区内工业企业废水预处理监管,并与生态环境部门联网,推动工业园区工业废水应收尽收、稳定达标排放。

完善城镇污水、污泥收集处理设施。加大城镇污水管网建设力度,推进城镇污水管网全覆盖,大力推进城中村、老旧城区、城乡结合部污水管网建设,提升污水收集效能。因地制宜推进城镇雨污分流改造,除干旱地区外,新建污水管网应该全部实行雨污分流。加快完成污泥处理处置设施达标改造,压减污泥填埋规模,优先解决重点生态功能区、生态脆弱区和污泥产生量大、存在二次污染隐患地区的污泥处理处置问题。

推动城市美丽河湖水生态保护和建设。恢复并增加水空间,扩展城市及周边自然调蓄空间,注重维持河湖自然形态,恢复和保持城市及周边河湖水系的自然连通和流动性。在城市建设和更新中,应积极开展河岸生态缓冲带和水生植被恢复等活水保质与生态修复措施,提升水体自净能力。

全面保护饮用水水源安全。以县级及以上城市集中式饮用水水源地为重点,加强饮用水水源地规范化建设,开展不达标水源治理。加强城市应急或备用水源建设。到2025年,县级及以上城市集中式饮用水水源地水质达标率应不低于90%,并完成乡镇级集中式饮用水水源地保护区划定与立标。到2030年,集中式饮用水水源安全得到全面有效的保障。

## 4 结语

本研究介绍了西部“一带一路”沿线城镇的水资源与水环境现状,分析了存在的问题及制约因素,并提出了实现绿色更新发展的保障模式。各

沿线城镇整体呈现水资源匮乏,分布不均且利用难度大的现状。农业用水占绝大部分用水量,用水结构极不均衡。同时,水资源压力高、用水效益低、非传统水资源利用不足以及污水直排导致的水环境问题制约着沿线城镇的发展。基于以上问题,本研究强调贯彻“四水四定”原则、优化调度和统筹配置水资源、深化开源节流战略、加强水污染治理和水环境保护的保障模式,以推动西部“一带一路”沿线城镇的绿色更新发展。

## 参考文献 References

- [1] 郑倩茹,杨庆存. 丝绸之路与人文精神——兼论人类命运共同体与世界和平发展[J]. 中国文化研究, 2022(3): 64-72.  
ZHENG Qianru, YANG Qingcun. The silk road and humanistic spirit: Concurrently discussing the community of shared future for mankind and world's peaceful development[J]. Chinese Culture Research, 2022(3): 64-72.
- [2] 谢绮丽,杨鑫,郝利娜. 2001—2020年三江源区植被覆盖时空变化特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 202-212.  
XIE Qili, YANG Xin, HAO Lina. Spatiotemporal variation of vegetation cover and its driving factors in Three-River Headwaters region during 2001-2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 202-212.
- [3] 强安丰,汪妮,魏加华,等. 近50年三江源地区云水资源分布及降水效率研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2020, 28(3): 574-593.  
QIANG Anfeng, WANG Ni, WEI Jiahua, et al. Study on cloud water resources distribution and precipitation efficiency in the Three River Headwaters region during the past 50 years[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2020, 28(3): 574-593.
- [4] 陕西省水利厅. 2021年陕西省水资源公报[EB/OL]. [2022-08-12]. <http://slt.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/fdzgkknr/zdggz/szygb/202208/P020220831370076157847.pdf>  
Shaanxi Province Department of Water Resources. 2021 Shaanxi Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-08-12]. <http://slt.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/fdzgkknr/zdggz/szygb/202208/P020220831370076157847.pdf>
- [5] 宁夏回族自治区水利厅. 2021年宁夏水资源公报[EB/OL]. [2022-04-02]. [http://slt.nx.gov.cn/xxgk\\_281/fdzgkknr/gbxx/szygb/202204/W020220402474063229719.pdf](http://slt.nx.gov.cn/xxgk_281/fdzgkknr/gbxx/szygb/202204/W020220402474063229719.pdf)  
Ningxia Water Conservancy. 2021 Ningxia Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-04-02]. [http://slt.nx.gov.cn/xxgk\\_281/fdzgkknr/gbxx/szygb/202204/W020220402474063229719.pdf](http://slt.nx.gov.cn/xxgk_281/fdzgkknr/gbxx/szygb/202204/W020220402474063229719.pdf)
- [6] 甘肃省水利厅. 2021年甘肃省水资源公报[EB/OL]. [2022-09-15]. <http://slt.gansu.gov.cn/slt/c106726/c106732/c106773/c106775/202209/2123327/files/5cf8c6e1bd31419680f2fd6ec6a9a1f5.pdf>  
Gansu Department of Water Resources. 2021 Gansu Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-09-15]. <http://slt.gansu.gov.cn/slt/c106726/c106732/c106773/c106775/202209/2123327/files/5cf8c6e1bd31419680f2fd6ec6a9a1f5.pdf>
- [7] 甘肃省水利厅. 2020年甘肃省水资源公报[EB/OL]. [2021-10-14]. <http://slt.gansu.gov.cn/slt/c106726/c106732/c106773/c106775/202209/2123327/files/5cf8c6e1bd31419680f2fd6ec6a9a1f5.pdf>  
Gansu Department of Water Resources. 2020 Gansu Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2021-10-14]. <http://slt.gansu.gov.cn/slt/c106726/c106732/c106773/c106775/202209/2123327/files/5cf8c6e1bd31419680f2fd6ec6a9a1f5.pdf>
- [8] 青海水利信息网. 2021年甘肃省水资源公报[EB/OL]. [2022-07-06]. <http://slt.qinghai.gov.cn/attachment/download?attachmentId=1544500579751956480>  
Qinghai Water Conservancy Information Network. 2021 Qinghai Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-07-06]. <http://slt.qinghai.gov.cn/attachment/download?attachmentId=1544500579751956480>
- [9] 青海水利信息网. 2020年甘肃省水资源公报[EB/OL]. [2021-08-16]. <http://slt.qinghai.gov.cn/attachment/download?attachmentId=1427099427994079232>  
Qinghai Water Conservancy Information Network. 2020 Qinghai Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2021-08-16]. <http://slt.qinghai.gov.cn/attachment/download?attachmentId=1427099427994079232>
- [10] 新疆维吾尔自治区水利厅. 2019年新疆水资源公报[EB/OL]. [2022-03-22]. <http://slt.xinjiang.gov.cn/slt/szygb/202203/14f291c909b945219903be01369d0191.shtml>  
Xinjiang Department of Water Resources. 2019 Xinjiang Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-03-22]. <http://slt.xinjiang.gov.cn/slt/szygb/202203/14f291c909b945219903be01369d0191.shtml>
- [11] 中华人民共和国水利部. 2021中国水资源公报[EB/OL]. [2022-06-15]. <http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202206/P020220615420151896249.pdf>  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. 2021 China Water Resources Bulletin [EB/OL]. [2022-06-15]. <http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202206/P020220615420151896249.pdf>
- [12] 周迪,周丰年,钟绍军. 我国人均水资源量分布的俱乐部趋同研究——基于扩展的马尔科夫链模型[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4): 867-873.  
ZHOU Di, ZHOU Fengnian, ZHONG Shaojun. "Club convergence" of per capita water resource distribution in China: Based on extended Markov chain model [J]. Arid Land Geography, 2018, 41(4): 867-873.
- [13] 黄欢欢. 基于多目标的城市再生水利用决策方法研究



- [D]. 北京:北京建筑大学,2019.
- HUANG Huanhuan. Multi-objective Decision Method of Urban Reclaimed Water Utilization [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2021 年城乡建设统计年鉴 [R/OL]. [2021-10-12]. <https://www.mohurd.gov.cn/file/2022/20221012/5683cd2a-1b26-4cd7-854f-22d40ce98636.zip>
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. 2021 Statistical Yearbook of Urban and Rural Construction [R/OL]. [2021-10-12]. <https://www.mohurd.gov.cn/file/2022/20221012/5683cd2a-1b26-4cd7-854f-22d40ce98636.zip>
- [15] 李长虹. 新疆乌苏市地表水质量及其污染评价[J]. 陕西水利, 2020(5):119-121,124.
- LI Changhong. Surface Water quality and pollution assessment in Wusu city, Xinjiang [J]. Shaanxi Water Resources, 2020(5):119-121,124.
- [16] 中华人民共和国生态环境部. 2021 中国生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-05-27]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202205/P020220608338202870777.pdf>
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2021 China Ecology and Environment Bulletin [EB/OL]. [2022-05-27]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202205/P020220608338202870777.pdf>
- [17] 陕西省生态环境厅. 2021 年陕西省生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-06-02]. <http://sthjt.shaanxi.gov.cn/d/file/newstyp/hbyw/hjzl/hjzkgb/20220602/1654136655115660.pdf>
- Department of Ecology and Environment of Shaanxi Province. 2021 Shaanxi Ecological and Environmental Conditions Bulletin [EB/OL]. [2022-06-02]. <http://sthjt.shaanxi.gov.cn/d/file/newstyp/hbyw/hjzl/hjzkgb/20220602/1654136655115660.pdf>
- [18] 宁夏回族自治区生态环境厅. 2021 年宁夏生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-05-20]. <https://sthjt.nx.gov.cn/hjzl/hjzkgb/202206/P020220929658306794525.pdf>
- Ningxia Department of Ecology and Environment. 2021 Ningxia Ecological and Environmental Conditions Bulletin [EB/OL]. [2022-05-20]. <https://sthjt.nx.gov.cn/hjzl/hjzkgb/202206/P020220929658306794525.pdf>
- [19] 甘肃省生态环境厅. 2021 年甘肃省生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-06-13]. <http://sthj.gansu.gov.cn/sthj/c114873/202206/2060986/files/49d4f8bcfedb4a6dabb5b2dd60189c88.pdf>
- Department of Ecology and Environment of Gansu Province. 2021 Gansu Ecological and Environmental Conditions Bulletin [EB/OL]. [2022-06-13]. <http://sthj.gansu.gov.cn/sthj/c114873/202206/2060986/files/49d4f8bcfedb4a6dabb5b2dd60189c88.pdf>
- [20] 青海省生态环境厅. 2021 年青海省生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-06-01]. <https://sthjt.qinghai.gov.cn/hjzl/qhssthjzkgb/202206/P020220601554422265026.pdf>
- Department of Ecology and Environment of Qinghai Province. 2021 Qinghai Ecological and Environmental Conditions Bulletin [EB/OL]. [2022-06-01]. <https://sthjt.qinghai.gov.cn/hjzl/qhssthjzkgb/202206/P020220601554422265026.pdf>
- [21] 新疆维吾尔自治区生态环境厅. 2021 年新疆生态环境状况公报 [EB/OL]. [2022-06-02]. <http://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/hjzkgb/202206/d91bdb3388b74917bcc308f0fbcacbe/files/1469ef7af10242f98bebd824047afd2.pdf>
- Xinjiang Department of Ecology and Environment. 2021 Xinjiang Ecological and Environmental Conditions Bulletin [EB/OL]. [2022-06-02]. <http://sthjt.xinjiang.gov.cn/xjepd/hjzkgb/202206/d91bdb3388b74917bcc308f0fbcacbe/files/1469ef7af10242f98bebd824047afd2.pdf>
- [22] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 节水型社会评价指标体系和评价方法: GB/T28284—2012 [S]. 北京: 中国质量标准出版传媒有限公司, 2012.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Evaluation Index System and Evaluation Method of Water-saving Society: GB/T28284—2012 [S]. Beijing: China Quality and Standards Publishing & Media Co. Ltd., 2012.
- [23] 吴明艳, 曾晓春, 刘兴德, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型的西北五省区水资源承载力评价研究 [J]. 中国农村水利水电, 2022(12):78-85, 92.
- WU Mingyan, ZENG Xiaochun, LIU Xingde, et al. Research on the evaluation of water resources carrying capacity in five northwest provinces based on entropy TOPSIS model [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(12):78-85, 92.
- [24] 卢佳友, 周宁馨, 周志方, 等. “水十条”对工业水污染强度的影响及其机制 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(2):90-99.
- LU Jiayou, ZHOU Ningxin, ZHOU Zhifang, et al. Effect and mechanism of the “Ten-point Water Plan” on the intensity of industrial water pollution [J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(2):90-99.
- [25] RASKIN P, GLEICK P, KIRSHEN P, et al. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world [M]. Stockholm: SEI, 1997.
- [26] 国家发展改革委. “十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划 [EB/OL]. [2021-06-06]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202106/P020210615582348125286.pdf>

- National Development and Reform Commission. "The 14th Five-Year Plan" for urban sewage treatment and resource utilization[EB/OL]. [2021-06-06]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202106/P020210615582348125286.pdf>
- [27] 朱美玲, 吴旭. 新疆水环境污染成本评估[J]. 环境生态学, 2020, 2(5): 85-91.  
ZHU Meiling, WU Xu. Cost evaluation of water environment pollution in Xinjiang[J]. Environmental Ecology, 2020, 2(5): 85-91.
- [28] 曹兴, 薛丽洋, 王亚变, 等. 渭河流域甘肃段突发水污染风险评估[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(3): 123-128.  
CAO Xing, XUE Liyang, WANG Yabian, et al. Risk assessment of sudden water pollution for Weihe River basin in Gansu Province[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2022, 58(3): 123-128.
- [29] 马玉坤, 朱翔, 彭福全, 等. 西北干旱区流域水污染特征与控制策略—以宁夏清水河流域为例[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(5): 1369-1377.  
MA Yushen, ZHU Xiang, PENG Fuquan, et al. Water pollution characteristics and control strategies in arid areas of Northwest China: a case study of Qing-shui River Basin in Ningxia[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(5): 1369-1377.
- [30] 高义凯. 陕西绿色信贷对水污染治理效果研究[D]. 西安: 西北大学, 2020.  
GAO Yikai. Study on the effect of green credit on water pollution control in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Northwest University, 2020.
- [31] International Water Association. The IWA Principles for Water Wise Cities[EB/OL]. [2016-08-24]. [https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/10/IWA\\_Brochure\\_Water\\_Wise\\_Communities\\_SCREEN-1.pdf](https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/10/IWA_Brochure_Water_Wise_Communities_SCREEN-1.pdf).
- [32] 王浩, 许新发, 成静清, 等. 水资源保护利用“四水四定”: 基本认知与关键技术体系[J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 1-10.  
WANG Hao, XU Xinfu, CHENG Jingqing, et al. Water resources protection and utilization "basing four aspects on water resources": basic cognition and key technology system[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(1): 1-10.
- [33] 院士专家共商新时代“红旗河”西部调水工程[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(1): 209.  
Academicians and experts discuss the "Hongqi River" Water Diversion Project in the new era[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(1): 209.

(编辑 吴海西 沈 波)

(上接第 796 页)

- [7] 范少言, 王晓燕, 李健超, 等. 丝绸之路沿线城镇的兴衰[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
FAN Shaoyan, WANG Xiaoyan, LI Jian Chao, et al. The rise and fall towns along the Silk Road[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010.
- [8] 徐玉倩, 王树声, 李小龙, 等. 以文凝边: 一种促进边疆治理的人文空间规划手段[J]. 城市规划, 2020, 44(10): 2.  
XU Yuqian, WANG Shusheng, LI Xiaolong, et al. Setting the border with text: a planning tool for humanity space to promote border governance[J]. City Planning Review, 2020, 44(10): 2.
- [9] 张金城. 宁夏府志·卷十九·艺文[M]. [S. l.]: 殷武卿. 揆文书院记, 1798(嘉庆三年).  
ZHANG Jincheng. Ningxia Fuzhi: Volume 19 Yiwen[M]. [S. l.]: Kui Wen Academy, 1798(Jiaqing 3 years).
- [10] 张金城. 宁夏府志·卷十九·艺文[M]. [S. l.]: 彭时. 重修儒学碑记, 1798(嘉庆三年).  
ZHANG Jincheng. Ningxia Fuzhi Volume 19 Yiwen[M]. [S. l.]: PENG Shi. Rebuild the inscription of Confucianism, 1798(Jiaqing 3 years).
- [11] 王伟章. 民间文化视阈中的青海湖祭海[J]. 青海社会科学, 2011(4): 186-192, 204.  
WANG Weizhang. Sacrificing to the sea at Qinghai lake from the perspective of folk culture[J]. Qinghai Social Sciences, 2011(4): 186-192, 204.
- [12] 王树声, 高元, 李小龙. 中国城市山水人文空间格局研究[J]. 城市规划学刊, 2019(1): 27-32.  
WANG Shusheng, GAO Yuan, LI Xiaolong. Study on the landscape pattern of humanity space in China[J]. Urban Planning Forum, 2019(1): 27-32.
- [13] 王树声. 中国城市人居环境历史图典[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
WANG Shusheng. Historical atlas of urban human settlements in China [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [14] 王树声. 文地系统规划研究[J]. 城市规划, 2018, 42(12): 76-82.  
WANG Shusheng. Research on cultural and land system planning [J]. City Planning Review, 2018, 42(12): 76-82.

(编辑 吴海西 沈 波)