

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200160

我国非常规水源苦咸水资源及其分布特征研究

陈文, 郑自宽, 谢军健, 赵永刚, 扈家昱

(甘肃省水文水资源局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:分区域、分省(市、区)进行调查收集、查证、论证,统计得出我国地表苦咸水河流、苦咸水湖泊、地下苦咸水水文地质单元(盆地)名录与苦咸水资源特征;我国非常规水源苦咸水资源总量,包括地表苦咸水河流数量与年径流量,苦咸水湖泊数量与蓄水量,地下苦咸水水文地质单元(盆地)数量与地下苦咸水资源量;苦咸水分布区域面积,涉及的省(市、区)、县级行政区域;影响用水人口等结论;提出苦咸水资源开发利用的建议。为我国淡水资源短缺地区、苦咸水主要分布区域的水安全与保障及苦咸水资源的开发利用提供基础支撑。

关键词:非常规水源;苦咸水;资源量;分布特征

中图分类号:TV213;F323.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)05-0001-06

0 引言

我国苦咸水资源广泛分布(包括河流、湖泊及地下水),淡水资源短缺,现有16个省(市、区)人均水资源量(不含过境水)低于 $1\ 000\text{m}^3$ 的严重缺水线,有6个省(区)人均水资源量低于 500m^3 的极度缺水线。因此,我国水资源的合理有效供给和优化配置,以及非常规水源(苦咸水)的科学开发利用,是缓解淡水资源供需矛盾、统筹解决水资源问题的重要举措。

依据《地表水资源质量评价技术规程》(SL395-2007),当水体矿化度或氯化物、硫酸盐浓度超过标准限值($2\ 000\text{mg/L}$ 、 450mg/L 、 400mg/L)时称其为苦咸水。矿化度(溶解性总固体)指标常被用来评价水体质量的优劣,一般把矿化度小于 2g/L 作为水资源评价的独立界限,河南省地矿局曾提出将 $0\sim 2\text{g/L}$ 的水体划为淡水资源^[1]。

20世纪70年代开始,欧美国家开始研究微咸水利用的技术问题,以色列采用科学合理的技术开发,使苦咸水(微咸水)和淡水混合,在生活中饮用,在农林业灌溉中得到较广泛的利用;西班牙、瑞典等国家在利用海水灌溉实验中,用矿化度大于 5g/L 海水灌溉小麦、

蔬菜、玉米、烟草等作物获得成功。我国部分省(区)对境内典型的苦咸水河流、或苦咸水湖泊、或区部浅层地下苦咸水进行了调查和分析研究,但多为某一苦咸水河流、或苦咸水湖泊、或区部浅层地下苦咸水的研究,未见对全国苦咸水资源数量、特征及其分布情况的研究。本文研究我国现有非常规水源—苦咸水资源数量和分布区域及其特征状况,对支撑缺水地区持续发展,缓解区域水资源供需矛盾,促进苦咸水淡化技术研究和规模化利用,保障我国用水安全等具有重要意义。

1 苦咸水资源量

苦咸水河流与年径流量主要依据《中国河湖大典》(各苦咸水河流年径流量)、《第三次全国水资源调查评价》(评价为苦咸水河流的年径流量)以及有关区域专项调查评价成果和技术研究成果资料。苦咸水湖泊蓄水量主要依据《中国湖泊资源》、《中国湖泊志》、《中国湖泊分布地图集》、《中国河湖大典》以及有关区域湖泊专项调查成果与监测资料等。地下苦咸水资源量主要依据《鄂尔多斯盆地地下水勘查研究》、《华北平原地下水可持续利用调查评价报告》、《银川平原地下水资源合理配置调查评价》、《中国地下水资源图》、

收稿日期:2020-07-18

作者简介:陈文(1970—),男,甘肃平凉人,博士,教授级高级工程师,主要从事水文水资源勘测评价方面的工作。E-mail:gsswcw@163.com

通信作者:郑自宽(1962—),男,甘肃宁县人,学士,教授级高级工程师,主要从事水文水资源、水环境监测评价方面的工作。E-mail:gsqyzk@126.com

《全国地下水资源调查成果》、《第三次全国水资源调查评价》中矿化度在 2~10g/L 的水资源数量和分布范围面积。

我国现有苦咸水资源 $2\,599.51 \times 10^8 \text{m}^3$ ^[2-11], 其中, 苦咸水河流占 5.2%; 苦咸水湖泊占 88.3%; 浅层地下苦咸水占 6.5%(见表 1)。

2 苦咸水资源主要分布区域及其特征

苦咸水包括地表苦咸水河流、苦咸水湖泊和地下苦咸水(潜水、承压水)。据《中国河湖大典》、《第三次全国水资源调查评价》等涉及苦咸水的成果资料, 我国现有苦咸水资源主要分布于西北、华北、华东、华中、西南及东北等 6 大区域, 涉及省(市、区)19 个, 涉及县级行政区(县、区、市、旗、林区)500 多个; 苦咸水主要分布面积 $57.73 \times 10^4 \text{km}^2$ ^[2-11], 占分布有苦咸水的省(市、区)总面积的 7.9%; 影响用水人口约 5 200 万人, 占分布有苦咸水的省(市、区)总人口的 7%。

2.1 苦咸水河流分布及其特征

我国苦咸水河流主要分布于多年平均降水量小于 450mm 的西北干旱、半干旱地区, 以我国内陆河流域、黄河流域上中游地区最具代表性, 主要分布于甘肃、宁夏、青海、陕西北部的黄土梁峁区。在华北地区的内蒙古自治区与宁夏回族自治区交界处, 都思兔河也属苦咸水河流。分布统计见表 2。

2.2 苦咸水湖泊分布及其特征

苦咸水湖泊是指湖水的矿化度在 2.0~50.0g/L 的湖泊。通常是由于蒸发造成湖水盐分富集而形成, 多存在于干旱、半干旱地区的内陆区, 其湖区的年降水量多在 450mm 以下, 一般为 200~300mm。分布见表 3。

2.3 地下苦咸水分布及其特征

我国地下苦咸水分布因受不同地区的自然地质和地理条件影响, 地下水形成的主导因素各不相同, 使地下苦咸水的形成和分布有着显著差异。地下水按其埋藏条件的不同、形成特点和循环更新的特性不同

表1 我国分区域及省(市、区)苦咸水资源量统计

Table1 The statistics of bitter-salty water resources in different regions and provinces (cities, districts) in China

序号	区域	省(市、区)	地表苦咸水/ 10^8m^3			地下苦咸水/ 10^8m^3	苦咸水资源量合计/ 10^8m^3
			河流	湖泊	合计		
1	西北	甘肃	6.605	1.984	8.589	10.291	18.880
2		宁夏	1.864	1.032	2.896	5.742	8.638
3		青海	125.000	1 121.554	1 246.554	0.710	1 247.264
4		陕西	0.817	4.948	5.765	3.163	8.928
5		新疆	0	311.001	311.001	31.112	342.113
		小计	134.286	1 440.519	1 574.805	51.018	1 625.823
6	华北	内蒙古	0.126	75.952	76.078	11.284	87.362
7		河北	0	1.930	1.930	26.180	28.110
8		天津	0	0.978	0.978	7.380	8.358
9		山西	0	0.392	0.392	1.436	1.828
		小计	0.126	79.252	79.378	46.280	125.658
10	华东	山东	0	0	0	14.602	14.602
11		江苏	0	0	0	28.450	28.450
12		安徽	0	0	0	13.800	13.800
13		福建	0	0	0	0.100	0.100
14		上海	0	0	0	2.560	2.560
		小计	0	0	0	59.512	59.512
15	华中	河南	0	0	0	2.616	2.616
16	西南	西藏	0	763.131	763.131	0	763.131
17	东北	黑龙江	0	8.666	8.666	3.850	12.516
18		吉林	0	4.332	4.332	5.020	9.352
19		辽宁	0	0	0	0.900	0.900
		小计	0	12.998	12.998	9.770	22.768
	合计		134.41	2 295.90	2 430.31	169.20	2 599.51

表2 我国苦咸水河流分布统计
Table2 The statistics of bitter-salty water rivers distribution in China

序号	区域	省(区)	苦咸水河流 /条	流域面积 /10 ⁴ km ²	涉及县 (区、市)/个	苦咸水河流所在流域(水系)
1		甘肃	27	3.777	15	黄河流域的泾河水系(马莲河)、渭河水系(葫芦河、大咸河、散渡河)、 祖厉河水系、黄河水系(兰州段一级支流)
2	西北	宁夏	10	1.871	8	黄河流域苦水河水系、清水河水系
3		青海	3	13.770	4	长江流域通天河水系(通天河干流上游段及其支流沱沱河、楚玛尔河)
4		陕西	5	0.558	3	黄河流域陕北内流区、无定河水系
5	华北	内蒙古	1	0.833	2	黄河流域的都思兔河水系
	共计		46	20.81	32	

表3 我国苦咸水湖泊分布统计
Table3 The statistics of bitter-salty water lakes distribution in China

序号	区域	省(市、区)	苦咸水湖泊 /个	水面面积 /10 ⁴ km ²	涉及县(区、 市、旗)/个	苦咸水湖泊所在的水系
1		甘肃	3	0.0122	2	柴达木盆地水系(阿克塞、肃北)
2		宁夏	6	0.0087	4	黄河水系(平罗、大武口、惠农渠、贺兰)
3	西北	青海	120	0.945	13	黄河水系、青海湖水系、柴达木盆地、羌塘高原内陆湖区
4		新疆	44	0.217	17	羌塘高原内陆湖区、塔里木内流区、艾比湖水系、乌伦古湖水系、吐哈- 巴伊盆地、准噶尔盆地、独流入海水系
5		陕西	7	0.0081	3	黄河水系(陕北内流区的定边、神木、靖边)
6		内蒙古	266	0.223	26	黄河水系、鄂尔多斯内流区、阿拉善内流区、高原内流区水系
7	华北	河北	14	0.0103	3	海河水系-内陆湖水系(张家口市的张北、沽源、康保县)
8		天津	1	0.006	1	海河水系-大清河(静海县)
9		山西	2	0.003	1	黄河水系-涑水河(盐湖区)
10	西南	西藏	420	1.304	42	雅鲁藏布江水系、藏南内陆湖水系、羌塘高原内流区水系
11	东北	黑龙江	12	0.061	7	松花江流域嫩江水系(主要分布大庆市、齐齐哈尔市)
12		吉林	39	0.0365	28	松花江流域嫩江水系、二龙套河水系、洮儿河水系、霍林河水系
	共计		934	2.834	147	

分为地下潜水和承压水。

中国水文地质划分为两级水文地质区,第一级划分了6个水文地质区;第二级划分了35个水文地质亚区,并以第二级水文地质亚区作为地下水资源计算单元^[8]。本文是在水文地质亚区的基础上,参考《鄂尔多斯盆地地下水勘查研究》、《华北平原地下水可持续利用调查评价报告》和《第三次全国水资源调查评价》等专项成果中的浅层地下苦咸水(即矿化度>2g/L)水文地质单元(盆地)资料,得出相关水文地质亚区中具体(地貌名称)水文地质单元(盆地):我国现有浅层地下苦咸水水文地质单元(盆地)有61个(见表4)。

3 区域苦咸水形成的原因

苦咸水多分布于干旱、半干旱地区,具有降水量小、蒸发量大和较高浓度基质、含盐量的地质岩性等特点;其水文地质结构、气候条件和特定的水文化学环境是苦咸水形成与富集分布的主要原因^[12]。

苦咸水的形成原因根据不同分布区域而有所区别。在西北、华北干旱内陆地区,由于降水稀少,蒸发强烈,水资源天然匮乏,作为主要供水水源的地下水,普遍含盐、含氟量高。在东部沿海地区,由于用水量较大,导致水位降低,海水渗入地下水层,形成苦咸水。浅层地下苦咸水主要是在大陆盐化过程中,地下水中盐分的蒸发浓缩形成的,还由于人类不适当的经济活动,造成沿海地区海水入侵,不合理灌溉、排水、改良盐碱地等活动也会使地下水变咸,形成苦咸水^[13]。

3.1 气候条件

苦咸水化学成分分布特征与我国气候分带变化呈现良好的对应关系,既有纬度的变化,又有沿东西经度的规律性变化。具有规律性的典型代表区域为西部地区和华北平原^[14]。

西部地区降水量呈明显的由东南向西北递减的规律性。最具代表性的地域有柴达木盆地、河西走廊西端、腾格里沙漠等区域,多年平均降水量均小于

表4 我国地下苦咸水分布统计
Table4 The statistics of underground bitter-salty water distribution in China

序号	区域	省(市、区)	水文地质单元 (盆地)/个	范围面积 /10 ⁴ km ²	涉及县(区、市) /个	主要水文地质单元(盆地)
1		甘肃	3	3.375	16	鄂尔多斯盆地(陇东区域)、景泰川盆地、河西走廊盆地
2		宁夏	5	1.935	18	鄂尔多斯盆地(宁夏东部)、宁夏河谷平原区、 银川山间平原区、盐池内流区、黄土台塬区等单元
3	西北	青海	2	3.992	6	柴达木盆地、阿拉尔盆地
4		新疆	6	7.860	37	塔里木盆地、准噶尔盆地、伊犁谷地、 吐鲁番盆地、哈密盆地、巴伊盆地
5		陕西	2	0.268	13	关中盆地、榆林风沙滩单元
	小计		18	17.430	90	
6		内蒙古	14	5.829	46	鄂尔多斯盆地、河套平原区、河西荒漠区等 14 个单元
7	华北	河北	7	2.089	42	滦河地下水、潮白河~蓟运河地下水、永定河地下水、
8		天津	4	0.672	4	潮白河~蓟运河地下水、永定河地下水系、漳卫河地下水
9		山西	2	1.052	48	鄂尔多斯盆地、太原盆地
	小计		27	9.642	140	
10		山东	5	1.062	17	鲁北平原区、湖西平原区、小清河平原区、 潍坊滨海平原区及黄河滩区
11	华东	江苏	2	2.303	29	里下河滨海平原区、宿迁市东南~连云港西部区
12		安徽	1	1.030	8	淮北平原盆地
13		福建	1	0.210	2	诏安湾~东溪河口平原区
14		上海	2	0.131	14	黄浦江沿岸及沿海地下水潜水
	小计		11	4.736	70	
15	华中	河南	2	0.123	24	黄淮海平原区、南阳盆地
16		黑龙江	1	0.480	7	松嫩平原(白垩系)
17	东北	吉林	1	1.050	7	松嫩平原(白垩系)
18		辽宁	1	0.622	10	下辽河平原区(潜水)
	小计		3	2.152	24	
	共计		61	34.08	348	

100mm,柴达木盆地中心小于20mm,塔里木盆地的若羌为17mm。并且西北干旱地区的降水量具有明显的环状结构特征。由于降雨量少,西北盆地的平原大气降水直接补给地下水的量很少,且盆地又多为封闭性的,其地下水多为盆地周围山区的地表和地下径流补给而蒸发形成的。大部分地区蒸发量在1500~2000mm以上,地下水主要以蒸发和蒸腾方式排泄,导致盐分在地下水和土壤中聚集,形成水化学成分环带状变化规律。

华北平原属半干旱、半湿润区,多年平均降水量在400~800mm之间,多年平均水面蒸发量为1000~2000mm。蒸发量随着气温上升而增加,又大致随纬度增加而递减,这种降雨与蒸发时空分布的不均匀性,对本区域地下水(包括苦咸水)资源的时空分布与盐碱地的形成有着直接影响。地下水的矿化度逐渐增大,水化学类型由重碳酸盐型过渡到碳酸盐型和滨海区的氯化物型。

3.2 径流补排条件

苦咸水河流与其所在的流域地质岩性及径流补排系统中较高浓度盐类分子(离子)易被水体晰出挟带等

密切相关。苦咸水湖泊多系内流湖(只有水体流入无流出,其补给水源主要是降雨和地下水,而蒸发是其主要的排泄途径),使盐分积累在湖内,其补排条件决定了水体的咸淡属性。地下水赋存于不同深度、不同类型的含水层之中,不同含水层的孔隙性质决定地下水类型,地下苦咸水的形成亦受地下径流的补给和排泄条件的影响。

3.3 人类活动

地下苦咸水的形成也受到人类对地下水不当开采方式(过量超采)影响,废污水及固体废物不当排放方式的影响,致使地下水的补、径、排条件发生改变,影响地下水化学类型和水质。

4 苦咸水资源开发利用现状

目前,我国苦咸水开发利用总体状况:苦咸水河流和苦咸水湖泊的水资源开发利用量小,利用率低;开发利用多为浅层地下微咸水和半咸水;近年来,浅层地下苦咸水开发利用量趋于减少^[15](随着我国农村

饮水安全与提质增效工程、灌区续建配套与节水改造工程的实施,浅层地下苦咸水利用量在下降)。

(1)苦咸水河流径流量和苦咸水湖泊蓄水量的利用,多系旁河湖区域的小面积农业灌溉、畜牧业和水产养殖、生态用水(植树造林、草地、环境绿化),总用水量较小。

(2)我国近年开采利用地下水总量为 $445 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,其中约 80%的地下水(淡水)可直接利用;约 13%的(微咸水)经适当处理后可以利用;约 7%属地下苦咸水^[4],需采取必要的淡化工艺处理后利用。近年来,我国开采利用地下苦咸水较多的省(区)主要在华北和西北缺水地区(见表 5)。

表5 我国分省(区)开采利用地下水与苦咸水量统计

Table5 The statistics of the groundwater and underground bitter-salty water amounts for exploitation and utilization in different provinces (districts) of China

序号	省(区)	开采利用地下水总量 $/10^8 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	开采利用地下水苦咸水量 $/10^8 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$	利用地下苦咸水占开采地下水总量比例/%
1	河北	164.52	18.3	11.1
2	山东	97.81	4.31	4.4
3	内蒙古	76.23	3.25	4.3
4	新疆	32.15	2.43	7.6
5	甘肃	13.24	2.12	16.0
6	陕西	20.36	0.28	1.4
7	宁夏	3.01	0.25	8.3
8	河南	31.22	0.11	0.4
9	天津	6.46	0.10	1.5
	合计	445	31.15	7.0

注:本表依据第二次全国水资源调查评价成果中开采利用浅层地下水较多的省(区、市),开采浅层地下水约 7%为咸水($31.15 \times 10^8 \text{m}^3$),即为现状开采利用苦咸水资源量。

(3)苦咸水利用方式主要有直接利用和淡化处理利用两种。直接利用苦咸水的有农业灌溉、林草地灌溉及生态用水等,一般利用矿化度在 1.5~3g/L 的微咸水或 3~5g/L 的咸水。苦咸水淡化用于部分工业(对水质要求低)和缺乏淡水水源区域(县城、乡镇、农村)居民生活饮用水。根据工业生产对水质的不同要求,对苦咸水采取不同的淡化措施,使其满足用水工艺要求。生活饮用水对淡化处理工艺要求比较高,需要处理达到生活饮用水标准,方可饮用。

5 苦咸水资源开发利用建议

目前,我国水资源供需矛盾日益突出,亟待政府出

台相关政策,支持缺少淡水资源、且有苦咸水分布的地区,推广使用苦咸水淡化技术设备或装备供水。重点解决短缺淡水资源的县城、乡镇、居民点及分散农户的生活饮用水;充分利用苦咸水淡化技术解决部分工业生产(电力冷却、造纸、印染等)及农业灌溉(土壤透水性良好,细化灌溉技术,采取咸淡混灌、轮灌、交替灌)、畜牧业和水产养殖、生态绿化等用水需求。

(1)加强苦咸水淡化处理技术与设备研究。苦咸水淡化处理方法主要有电渗析(ED)、反渗透(BWRO)和纳滤(NF)等。近年来,苦咸水淡化技术得到社会普遍认可,淡化技术进步较大。但不同区域地表苦咸水、地下苦咸水的水质特点差别大,在苦咸水淡化处理工艺、技术设计、设备选型和维护保养等方面的针对性和实效性不强,亟待深入研发和政策补贴支持。

(2)推广纳滤技术在苦咸水淡化处理中的应用。纳滤技术用于苦咸水淡化处理是发展趋势。纳滤过滤是一个低压渗透过程,能耗较低,对一价盐截留率达到 80%,而对二价盐截留率达到 95%以上,既节约了能耗又有效脱除含盐量^[6]。研发国产化的纳滤膜,是促进苦咸水资源利用的产业需求。

(3)扩大苦咸水利用范围。对极度缺少淡水水源的地区,微咸水经处理后,可作为人畜饮用水源;推广适宜地区使用 2~5g/L 苦咸水农业灌溉^[7];推广利用苦咸水养殖和种植;利用苦咸水植树造林、绿化环境等。

(4)制定鼓励使用非常规水源(苦咸水)政策。国家水资源配置与管理部门,尤其是缺水地区的省级水资源管理部门应制定鼓励使用非常规水源(苦咸水)政策,按照优质优用的原则配置水资源,同时采取按比例以配额制的方法配置苦咸水使用数量,提高苦咸水利用率。根据不同地区水资源紧缺程度和苦咸水资源赋存情况,对苦咸水利用量或比例做出强制性规定,并配套相应政策,切实推进苦咸水资源充分利用。

参考文献:

- [1] 邓惠森.地下水按化学成份分类及矿化度分级的探讨[J].地下水, 1992,14(2):119-122. (DENG Huisen. Discussion on classification of groundwater according to chemical composition and mineralization degree [J]. Ground Water, 1992,14(2):119-122. (in Chinese))
- [2] 中国河湖大典编纂委员会. 中国河湖大典[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014. (Editorial Committee of Encyclopedia of Rivers and Lakes in China. Encyclopedia of Rivers and Lakes in China [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2014. (in Chinese))
- [3] 王洪道,窦鸿身,颜京松,等. 中国湖泊资源[M]. 北京:科学出版社, 1989. (WANG Hongdao, DOU Hongshen, YAN Jingsong, et al. Lake Resources in China [M]. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese))

- [4] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998. (WANG Sumin, DOU Hongshen. Record of Lakes in China [M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese))
- [5] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊分布地图集[M]. 北京: 科学出版社, 2015. (Nanjing Institute of Geography & Limnology Chinese Academy of Sciences. Atlas of Lake Distribution in China [M]. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese))
- [6] 张宗祜, 秦毅苏, 荆继红, 等. 中国地下水资源图[M]. 北京: 地质出版社, 2017. (ZHANG Zonghu, QIN Yisu, JING Jihong, et al. Map of Groundwater Resources in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017. (in Chinese))
- [7] 中国地质调查局. 全国地下水资源调查成果[C]. 2014. (China Geological Survey. Survey Results of Groundwater Resources in China [C]. 2014. (in Chinese))
- [8] 侯光才, 张茂省, 刘方. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008. (HOU Guangcai, ZHANG Maosheng, LIU Fang. Exploration and Research of Groundwater in Ordos Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008. (in Chinese))
- [9] 张兆吉, 费宇红, 陈宗宇, 等. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2008. (ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, CHEN Zongyu, et al. Investigation and Evaluation on Sustainable Utilization of Groundwater in North China Plain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008. (in Chinese))
- [10] 水利部, 国家发展和改革委员会. 第三次全国水资源调查评价成果[Z]. 2019. (Ministry of Water Resources, National Development and Reform Commission. Investigation and evaluation results of the third national water resources [Z]. 2019. (in Chinese))
- [11] 李雪菲, 赵庆英, 柴社立, 等. 吉林省西部主要湖泊的水化学特征及其水质评价[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(27): 6722-6726. (LI Xuefei, ZHAO Qingying, CHAI Sheli, et al. Hydrochemistry of the lakes in west Jilin Province and their water quality assessment [J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(27): 6722-6726. (in Chinese))
- [12] 管慧龙, 李肃清, 王荣莲. 内蒙古地区苦咸水成因分析与利用研究综述[J]. 内蒙古水利, 2016(4): 47-48. (ZHAN Huilong, LI Suqing, WANG Ronglian. Review on the genesis and utilization of bitter-salty water in Inner Mongolia [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2016 (4): 47-48. (in Chinese))
- [13] 杨昆, 张学发, 郑祥. 重视苦咸水资源开发, 促进我国北方缺水地区饮水安全保障和水源补充新途径[A]. 北京国际海水淡化高层论坛论文集[C]. 膜科学与技术, 2012. (YANG Kun, ZHANG Xuefa, ZHENG Xiang. Pay attention to the development of bitter-salty water resources and promote new ways of drinking water security and water supply supplement in water shortage areas of the north China [A]. Proceedings of Beijing International Desalination Forum [C]. Membrane Science and Technology, 2012. (in Chinese))
- [14] 郭有智, 杨昆, 边步华. 我国苦咸水现状和资源化利用[C]. 兰州: 全国苦咸水淡化研讨会, 2008. (GUO Youzhi, YANG Kun, BIAN Buhua. Present Situation and Resource Utilization of Bitter-salty Water in China [C]. Lanzhou: National Symposium on Brackish Water Desalination, 2008. (in Chinese))
- [15] 王建华, 柳长顺. 非常规水源利用现状、问题与对策[J]. 中国水利, 2019. (WANG Jianhua, LIU Changshun. The present situation, problems and countermeasures of the utilization of non-conventional water resources [J]. China Water Resources, 2019. (in Chinese))
- [16] 尚天宠, 高立国, 潘平, 等. 纳滤应用于苦咸水淡化处理的可行性分析[J]. 给水排水, 2008(7): 18-22. (SHANG Tianchong, GAO Ligu, PAN Ping, et al. Feasibility analysis of the application of nanofiltration in bitter-salty water desalination [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008(7): 18-22. (in Chinese))
- [17] 梅成瑞, 戴治家. 中国干旱区咸水资源农业利用的可行性分析[J]. 干旱区资源与环境, 1989, 3(1): 31-39. (MEI Chengrui, DAI Zhijia. Feasibility analysis of agricultural utilization of saline water resources in arid areas of China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1989, 3(1): 31-39. (in Chinese))

Study on the Unconventional Water Sources: Bitter-Salty Water Resources and Its Distribution Characteristics in China

CHEN Wen, ZHENG Zikuan, XIE Junjian, ZHAO Yonggang, HU Jiayu

(Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This paper obtained the lists of current bitter-salty water river and lakes, underground bitter-salty water hydrogeological units (basins) and the characteristics of bitter-salty water resources by carrying out the investigation, verification, demonstration and statistics of different regions and provinces (cities, districts). It fills the gap of the total amounts of bitter-salty water resources-unconventional water sources in China, which include the numbers and annual runoff of surface bitter-salty water rivers, the numbers and storage capacities of bitter-salty water lakes and the numbers of hydrogeological units (basins) of underground bitter-salty water and the underground bitter-salty water resources. Besides, it also includes the distribution area of bitter-salty water and the administrative regions of provinces (cities, districts) and county involved. In addition, it puts forward suggestions for the development and utilization of bitter-salty water resources.

Key words: unconventional water sources; bitter-salty water; resource amounts; distribution characteristics