

渤海海冰作为淡水资源的开发利用 与区域可持续发展*

王静爱, 苏 筠, 刘目兴

(北京师范大学 资源与环境科学系,

北京师范大学 区域地理研究重点实验室, 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 渤海海冰作为淡水资源估算结果及开发利用的可行性已确认, 而通过对比和区域分析, 在环渤海地区, 由海岸向内陆分期进行开发利用海冰作为淡水资源也完全是做得到的。这对于促进环渤海地区可持续发展、缓解淡水资源紧缺将起着重要作用。

关键词: 环渤海地区; 渤海海冰; 水资源- 人口- 经济

中图分类号: F061.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-0209(2003)03-0085-08

一、引言

“中国可持续发展水资源战略研究”^{[1][2]}提出, 中国水资源供求矛盾将影响国家整体性的可持续发展, 其中北方, 特别是环渤海地区, 淡水供求矛盾紧张, 已经成为这一地区可持续发展的关键因素。“中国 21 世纪水问题方略”提出, 21 世纪中国水资源供求矛盾进一步加剧, 最为缺水的工业城市聚集区是在环渤海的辽中地区、京津唐地区和胶东半岛^[3]。

中国人均占有淡水资源量只是世界的 1/4, 而环渤海地区的人均水资源拥有量又不到全国的 1/5。由于淡水资源严重短缺, 在这一地区, 尤其是大都市区超采地下水, 形成大范围漏斗, 局部地区地面沉降, 甚至出现海水入侵, 城市及工业发展的需水量已经超过当地水资源承受能力, 需从外地调水^{[3][4]}。环渤海地区扼居我国北方地区通向海洋的门户, 是我国政治、经济、文化和教育的中心地区, 政治经济战略地位十分重要。环渤海地区以渤海为地理中心, 包括辽宁、河北、山东、北京、天津等三省二市, 陆地面积 51.45 万平方公里, 占全国 5.4%; 大陆海岸线长 5 647 公里, 占全国 34.3%; 2000 年人口 2.19 亿, 占全国 18.15%; 其中, 非农业人口 7 190 万, 占全国的 21.43%; 国内生产总值 22 936 亿元, 占全国的 24.91%; 工业总值 21 118 亿元, 占全国的 24.8%; 石油、铁矿石探明储量占全国的 45%, 而水资源总量仅占全国的 2%。因此, 环渤海地区作为我国重要的人口、工业和城市集聚地区, 以及建国以来各主要发展时期经济建设的重点地区^[4], 缺水问题成为其可持续发展的重要制约因素。

* 收稿日期: 2003- 02- 15

作者简介: 王静爱(1955-), 女, 河北省定州市人, 北京师范大学资源与环境科学系, 教授。

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(02010)。

除了从区外调水措施外, 能否在华北地区开发出新的淡水资源, 成为众多研究者密切关注和追求的重大研究课题, 其中开发渤海海冰作为淡水资源缓解环渤海地区的缺水紧张的研究结果表明, 每年可采海冰作为淡水资源总量至少可达 400 亿 m^3 [5] [6]。本文基于渤海海冰作为淡水资源开发和利用的可行性, 对环渤海地区水资源的承载力、海冰作为淡水资源的区域流向, 即环渤海地区的人口、经济用水高值地域划分和海冰淡水开发利用区域布局等进行了分析, 以期为国家主攻开发海冰作为淡水资源, 提供决策依据。

环渤海地区水资源短缺可以归为三类: 即水量性短缺、水质性短缺和生产-生活的需求性缺水。水量性短缺主要受全球变暖 [7] 和北方干旱化趋向 [8] 的影响。水质性短缺主要受城市化、工业化和农业化过程中的水体污染和沿海地区的海水倒灌的影响 [2]。生产-生活的需求性缺水, 主要是人口多、城市密集、经济发达地区的快速发展导致水资源需求量猛增, 供求矛盾突出, 进而影响区域可持续发展。

根据 2000 年的人口-经济统计 [9] [10] [11] [12] [13] [14] 和 2000 年中国水资源公报 [15], 环渤海地区以占全国 2% 的水资源总量, 1.3% 的地表水资源量, 负载着占全国 28% 的大和特大城市、22% 的建成区面积、18% 的人口、21% 的灌溉面积、17% 的粮食总产量和 25% 的 GDP, 是全国水资源保障压力最大的地区, 也是水-土-人-经济最不匹配和供需矛盾最为尖锐的地区, 成为区域可持续发展的最大瓶颈, 这也就为渤海海冰资源开发和利用创造了广阔的前景。

二、环渤海地区水资源-人口-经济的均量 (单位占有量) 及地域差异分析

1993 年“国际人口行动”提出的“持续水—人口和可更新水的供给前景”报告认为: 人均水资源量少于 $1700m^3$ 为用水紧张地区; 人均水资源量少于 $1000m^3$ 的为缺水地区; 人均水资源量少于 $500m^3$ 的为严重缺水地区 [1]。环渤海地区水资源的人均量为 $246.8m^3$ 相当全国水资源人均量 $2239.9m^3$ 的 $1/10$, 是非常严重的缺水地区, 其中天津市、北京市、河北省、山东省和辽宁省水资源的人均量依次为全国水资源人均量的 $1/100$ 、 $1/20$ 、 $1/10$ 、 $1/13$ 和 $1/15$ 。环渤海地区的人口密度为 431 人/ km^2 , 相当于全国人口密度的 3.3 倍, 其中天津市、北京市、山东省、河北省和辽宁省的人口密度依次为全国的 6.7 倍、6.2 倍、4.4 倍、2.7 倍和 2.2 倍; 人均 GDP 为 9 989 元, 相当全国人均 GDP 的 1.4 倍, 其中北京市、天津市、辽宁省、山东省和河北省的人均 GDP 依次为全国的 2.5 倍、2.3 倍、1.6 倍、1.3 倍和 1.1 倍。由此可见, 环渤海地区是人口密集, 人均水资源和人均 GDP 极不匹配的地区, 而且不匹配程度的省市差异很大, 其中天津市、北京市、山东省的水量性短缺、水质性短缺和需求性缺水形势最为严峻。

为了进一步分析人均和地均人口和经济量在地域上的差异, 为划分人口、经济用水高值地域提供基础, 本文编制了以县(市)域为单元的人均 GDP (图 1)、人口密度、地均 GDP、以及播种面积单产量等系列地图。地图分析表明: 1) 环渤海地区的人口密度是表明人地关系和人水关系的关键因子。人口密度大于 1000 人/ km^2 的城市, 呈现群团状分布和沿线分布, 沿海高值区断续分布; 北部山地丘陵人口偏少, 人口密度小于 160 人/ km^2 , 仍高于全国 129 人/ km^2 的水平, 有 $1/3$ 的县域人口密度在 600 人/ km^2 以上。人口密度格局决定了人均 GDP 用水地域分布的基本格局。2) 人均 GDP 分布呈现环带状: 内环沿海-城市群高值区、中

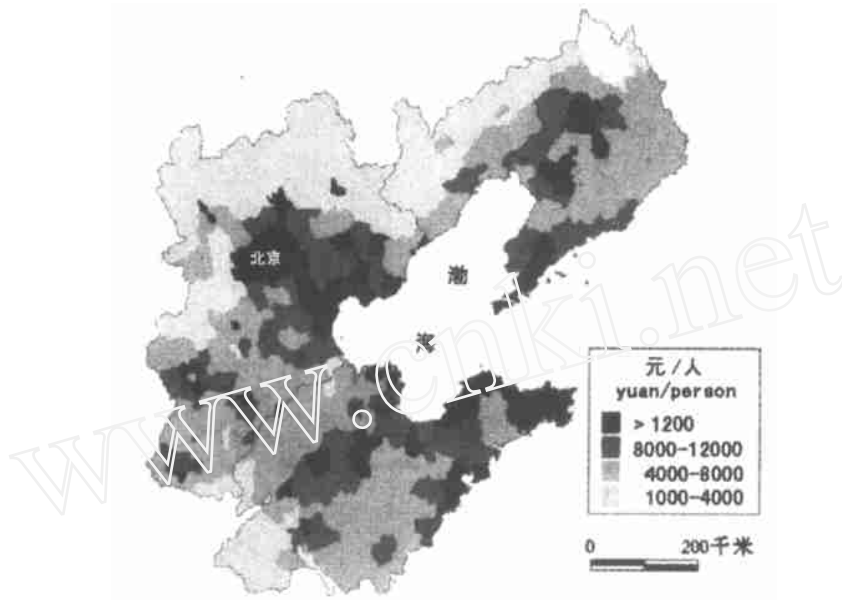


图1 环渤海地区人均GDP分布

环平原-丘陵中值区和外环低值区的格局，人均GDP相应为：大于7000元/人、4000-8000元/人和小于4000元/人。人均GDP高值区与大和特大城市吻合，中值区与农区吻合，低值区与山地、高原农牧区吻合，城乡差别还很大。人均GDP高值区在经济发展过程中，将追求更高的经济产出，水的短缺成为可持续发展的限制因素。地均GDP与人均GDP分布格局大体一致，所不同的是沿海高值带在渤海湾成为低值区。3) 环渤海地区总体看平均粮食单产347kg/亩，低于全国373.7kg/亩的水平，中低产田较多。耕地单产受降水、地形与土质限制，产量与地貌格局相对应，由山地、丘陵、平原产量递增，产量增加幅度较大，即相应为1800kg/ha、3000kg/ha、5000kg/ha，这一地区农田灌溉是提高单产的关键。在华北平原区，从滨海平原向冲积平原单产增加，幅度由1800kg/ha、3000kg/ha，这与土质和水质有密切关系。

三、环渤海地区“水资源-人口-经济系统”中的供水、用水分析

2000年全国供水总量为 $5.531 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中环渤海地区占11.94%，用占全国2%的水资源总量，提供了6倍的供水量。供水量中，地下水供水量特别突出，占全国地下水总供水量 $1.067 \times 10^6 \text{m}^3$ 的37%，是全国地下水供应量最大的区域。其中河北最多，占全国的15.6%，山东次之占12.35%，辽宁占6.23%，北京市地下水供应量占全国的2.5%（图2），成为全国著名的地下水开采区。地下水供水量明显多于地表水的供水量，其中河北省的这一指标高达27:1。正由于地下水开采严重超标，从而出现漏斗，造成地面沉降，沿海地区出现海水倒灌，使这一地区形成水资源供求矛盾日益严峻的局面。2000年全国总用水量 $5.498 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中环渤海地区占11.92%；农业用水量占全国农业用水量 $3.7835 \times 10^8 \text{m}^3$ 的11.98%，工业用水量占全国 $1.13913 \times 10^8 \text{m}^3$ 的10.56%；生活用水量占全国生活用水量 $574.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 的16.54%。生活用水比例和农业用水比例偏多。全国总用水量中农业用水最多，占68%。环渤

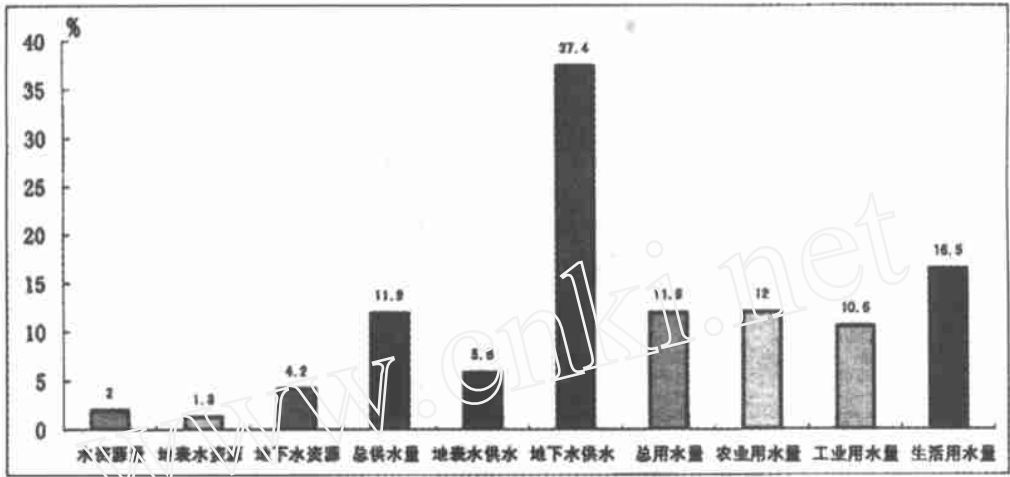


图 2 环渤海地区水资源及其利用占全国的比例

海地区的农业用水/工业用水/生活用水为 4.5 1.2 1, 农业用水最多, 占 69%, 略多于全国比例, 其中河北和山东农业用水分别占总用水的 76% 和 72%, 辽宁占 64%, 这三个省均为农业大省。目前面临的严峻问题: 农业用水在相当一段时期仍是用水大户, 总用水比例与这一地区都市的 GDP 用水量和城市化发展的用水量需求有较大距离, 工业用水量和生活用水量的供需矛盾相当尖锐, 严重制约这一区域经济的可持续发展。

中国人均水资源 2 239.9m³, 排在全世界 153 个国家和地区的 121 位, 预计 21 世纪中叶人均水资源接近 1 700m³, 北方人均 747m³, 是缺水地区, 环渤海人均 246.8m³, 为严重缺水地区。从人均水资源量排序看, 天津为 31.5m³; 北京 122.0m³; 河北 214.0m³; 山东 277.7m³; 辽宁 324.1m³, 地域差异明显。人均、亩均、单位经济用水量 (表 1) 分析表明: 首先, 环渤

表 1 环渤海地区单位指标用水量对比

区域	人均水资源量 (m ³ /人)		人均用水量 (m ³ /人)		灌溉亩均用水量 (m ³ /亩)		万元 GDP 用水量 (m ³ /万元)	
	数值	与全国相比	数值	与全国相比	数值	与全国相比	数值	与全国相比
全国	2 188	1	430	1	479	1	610	1
北京	122	0.05	290	0.67	290	0.61	160	0.26
天津	31	0.01	230	0.53	275	0.57	140	0.23
河北	214	0.10	310	0.72	252	0.53	420	0.69
辽宁	324	0.15	320	0.74	462	0.96	290	0.48
山东	278	0.13	270	0.63	261	0.54	290	0.48

海地区的人均用水量仅为全国人均用水量 430m³ 的 67.65%, 省域差异不大; 亩均用水量仅为全国 479m³ 的 59.30%, 除辽宁省亩均用水量略低于全国水平, 其余均不足全国水平的 50%; 前者表明人水关系的矛盾十分突出, 后者表明地水关系的矛盾亦十分突出, 节水灌溉技术的推广是提高用水量效率的关键。其次, 万元 GDP 用水量仅为全国 610m³ 的 48.37%, 其中京津最少, 分别为 160m³ 和 140m³; 辽宁和山东均为 290m³; 河北最多为 420m³。这反映了两方

面的问题，一方面说明单位经济用水矛盾突出，另一方面反映了不同省区（市）GDP的用水量效率，这与区域管理和技术能力相关。

图3是地均用水量分布，主要体现了人均用水量和地均与单位GDP用水量，从中可以看出：1) 城市为高值区，且京津为最多，表明GDP的用水量受城市化和工业化程度的制约。2) 次高值区与灌溉农业区吻合，也就是人口稠密的平原和沿海为高值区。3) 用水量差异极大，高低值相差100多倍，体现了水资源供应的地域差异基础之上，水资源因用水需求差异造成的集约利用的程度差异。4) 地均用水量的数量分布为： $< 5 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 的县域占17%； $5-12 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 的县域占26%； $12-22 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 的县域占36%； $> 22 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 的县域占21%；最高达 $400 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ 。5) 环渤海地区的地均用水量为全国的1/2，绝大多数县域还低于这个数，特别是辽东和辽西、冀北和冀东等地，受地形影响和水土流失威胁，形成山地、丘陵与高原的低值区。

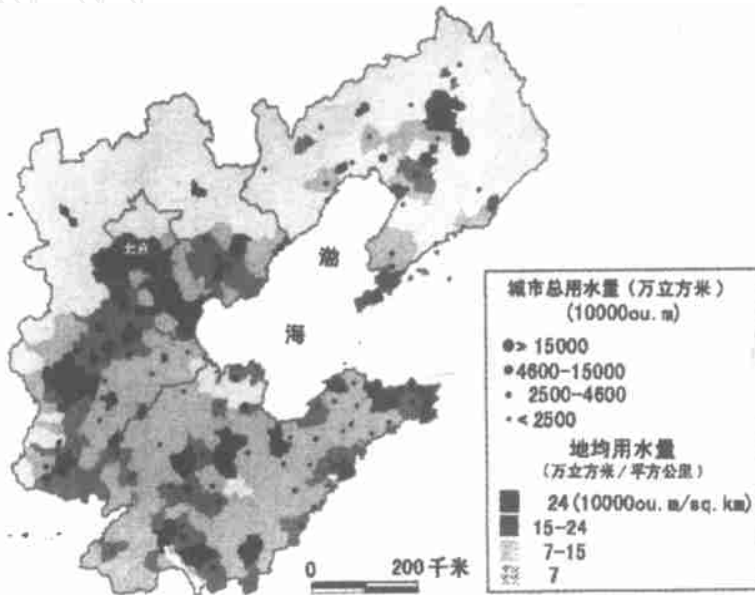


图3 环渤海地区用水量分布

四、渤海海冰作为淡水资源开发利用的区域评价

环渤海地区人口密集、城市化速度快且经济发达，现有的水资源量严重短缺，虽然南水北调工程可以缓解这个问题，但是从水资源战略储备和水资源成本角度看，开发利用渤海海冰作为淡水资源是从根本上保障可持续水资源供应的有效途径。渤海海冰充分利用自然冷温，从初冰至终冰可以保证有70天以上的冰期，而自然降水有5个月（4-9月），累加不足1个月的降水期，实际上农业用淡水要9个月。渤海至少有50天有冰，保证时间大大超过年降水的持续时间，这对春冬季节水资源短缺起重大补充作用。渤海的常年结冰厚度（图4）总体看，距海岸越近厚度越大，北部厚于南部，辽东湾厚度最大，且东部更厚。海冰作为淡水资源开发后的流向区位的区域选择主要取决于3个条件：一是距海岸的距离，也就是说直接有海冰的沿海地区区位最优；二是河网及供水管网的完善程度，河网距海边地势比降，以便于固体

海冰淡水运输和供应；三是有储备海冰或冰融水的空间，如水库、湖泊或洼地等。本文依据这三个基本条件对环渤海地区的各县市进行综合评价和赋值，其中权重最大的是距海远近，区位评价按照优越、较优越、中等和不优越分为四等（图4）。距海岸100公里为最佳海冰作为淡水资源流向区域，亦是最先利用海冰作为淡水的区域；沿供水网线向陆延伸至200公里以内的区域，区位较好，是中期海冰作为淡水资源利用区；距海岸200公里以外为最差海冰作为淡水资源流向区域，是远期可能利用海冰的区域。根据距海岸的远近，对水资源-人口-经济等进行区域估算（表2），以期从海冰作为淡水资源流向地区的需求角度，提出梯度利用海冰淡水资源的区域战略。在距海岸50公里的区域内，总水资源量占环渤海地区13%，为严

表2 环渤海地区得分带基本情况

指标 (%)	根据距海距离分带			
	50km 以内	50~ 100km	100~ 200km	200km 以外
大城市数占全区比重	31.25	6.25	37.5	25
城市总数占全区比重	19.83	22.41	34.48	23.28
人口数占全区比重	14.04	19.92	32.8	33.24
国内生产总值占全区比重	21.37	19.11	39.44	20.08
粮食产量占全区比重	8.91	23.01	29.25	38.83
用水量占全区比重	16.29	20.23	34.78	28.7
水资源量占全区比重	13	20.78	30.46	35.76



图4 渤海海冰厚度与海冰作为淡水资源流向区域的区位评价

重缺水地带，海冰淡水资源可以解决6.7万平方公里土地上的3000万人口和23个城市（包含2个特大城市和5个大城市）的缺水问题；可使占环渤海地区21.37%的GDP、15.15%第

一产业产值、23.48% 第二产业产值、20.8% 第三产业产值以及 10.5% 灌溉面积、19% GDP 用水量和 13.66% 人口用水量得以保证。在距海岸 100 公里的区域内, 总水资源量占环渤海地区 33.78%, 也为严重缺水地带, 海冰作为淡水资源可以缓解 17.2 万平方公里土地上的 7 000 万人口和 50 个城市(包含 5 个特大城市和 6 个大城市)的缺水问题; 一定程度上可使占环渤海地区 40.7% 的 GDP、32% 的灌溉面积和 32% 的粮食总产量的供水得以保证。在距海岸 200 公里的区域内, 就可覆盖占环渤海地区 63% 的土地, 67% 的人口和 78% 非农业人口、77% 的城市; 可使占环渤海地区 79.9% 的 GDP、60% 以上的第一产业产值和灌溉面积、80% 以上的第二产业产值和第三产业产值, 以及 75.6% 的 GDP 用水量和 66.8% 人口用水量供水得以保证。

综上所述, 渤海海冰作为淡水资源开发流向的区域战略为由近海岸向陆分期开发利用。距海岸 50 公里的区域覆盖了占环渤海地区 10% - 20% 的人口- 经济量, 是最可能率先加工、利用海冰淡水和迫切需要解决供水的区域; 距海岸 100 公里的区域覆盖了占环渤海地区 40% - 60% 的人口- 经济量, 在 50- 100 公里区域拟为近期利用海冰淡水的区域; 距海岸 200 公里的区域覆盖了占环渤海地区 60% - 80% 的人口- 经济量, 在 100- 200 公里的区域是中期可能利用海冰淡水的区域; 在 200 公里以外的区域是远期可能利用海冰淡水的区域。

五、结论与讨论

(1) 环渤海地区水量性缺水、水质性缺水和需求性缺水共同制约着区域经济发展的可持续性。环渤海地区水资源承载力为: 以占全国 2% 的水资源总量, 1.3% 的地表水资源量, 负荷着全国 28% 的大城市和特大城市、18% 的人口、21% 的灌溉面积、17% 的粮食总产量和 25% 的 GDP, 是全国水资源负荷最大和供需矛盾最为尖锐的地区, 成为区域可持续发展的最大瓶颈, 也是渤海海冰作为淡水资源开发和利用最有潜力的地区。

(2) 环渤海地区水资源的人均量相当全国水资源人均量的 1/10; 人均 GDP 相当全国人均 GDP 的 1.4 倍, 二者极不匹配, 其中天津市、北京市、山东省缺水形势最严峻, 渤海海冰作为淡水资源开发和利用, 无疑对这些省市水资源的战略储备有重要作用。

(3) 环渤海地区用占全国 2% 的水资源总量, 提供了 6 倍的供水量。其中地下水供水量占全国地下水总供水量的 37%, 是全国地下水供应量最大的区域。渤海海冰作为淡水进行开发和利用, 是地下水资源可持续利用的有效途径。

(4) 渤海海冰作为淡水资源开发利用流向的区域战略为由近海岸向陆分段分期利用。距海岸 100 公里为最佳海冰作为淡水资源流向区域, 也是最可能率先利用海冰作为淡水资源的区域; 沿河网和供水网线向陆延伸的区域, 至 200 公里以内的区域, 是中期海冰作为淡水资源利用区域; 距海岸 200 公里以外的区域, 是远期可能利用海冰作为淡水资源的区域。

(5) 渤海海冰作为淡水资源的开发还处在论证时期, 水资源的供需估算还很初步, 区域人口- 经济, 特别是城市的人口- 经济的进一步发展对水资源的需求还有待于系统研究。本文分析结果表明, 开发渤海海冰作为淡水资源, 市场前景广阔, 具有重大的经济和社会价值。区域经济和社会发展对可持续淡水资源供给保障要求愈来愈高, 进一步开展这一地区海冰作为淡水资源可行性研究仍是一项重要的任务。

(感谢史培军教授、顾卫副教授的指导以及赵金涛、杨春燕和赖彦斌等人的帮助。)

参考文献:

- [1] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 潘家铮, 张泽祯. 中国北方地区水资源的合理配置和南水北调问题 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [3] 刘昌明, 何希吾, 等. 中国 21 世纪水问题方略 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [4] 陆大道. 中国环渤海地区持续发展战略研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [5] 史培军, 范一大, 哈斯, 等. 利用 AVHRR 和 MODIS 数据测算海冰资源量——以渤海海冰资源测算为例 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (2).
- [6] 顾卫, 史培军, 刘扬, 等. 渤海地区负积温资源的时空分布特征 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (2).
- [7] 施雅风. 全球变暖影响下中国自然灾害的发展趋势 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5 (2).
- [8] 徐祥德, 吴正华. 华北干旱研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [9] 国家统计局. 中国统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [10] 北京市统计局. 北京社会经济统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [11] 天津市统计局. 天津社会经济统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [12] 河北省统计局. 河北社会经济统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [13] 辽宁省统计局. 辽宁社会经济统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [14] 山东省统计局. 山东社会经济统计年鉴 2001 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [15] 中华人民共和国水利部, 等. 中国水资源公报 2000 [Z]. 北京: 中国水利科技网, 2001.

(责任编辑 潘国琪 责任校对 潘国琪 林邦钧)

The Exploitation and Utilization of the Ice in Bohai Sea Used as Freshwater Resources and Region Sustainable Development

WANG Jing- ai, SU Yun, L U M u- xing

(Dep. of Resource and Environment Science; Key Laboratory of Region Geography of Beijing Normal University; Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, The Ministry of Education of China; BNU, 100875, China)

Abstract The evaluation of amount and the feasibility of exploitation and utilization of the ice in Bohai sea used as freshwater resource has been confirmed, through contrast and regional analysis, in the Bohai Rim, the region strategy of the exploitation and utilization trend of sea used as freshwater resource is from the zone near the coast to the zone inside the mainland in different subsection and different period. In details, the best inflow zone of the ice in Bohai sea utilized as freshwater resource is the coast zone within 100 kilometers; the metaphase zone is the zone extending to the land within 200 kilometers along river net and water supply net; and the zone outside 200 kilometers from the coast is the zone that sea ice utilized as freshwater resource at a specified future date. So this strategy will be important for promoting the sustainable development of the region around Bohai and moderating the serious shortage of freshwater resource.

Key words: the Bohai Rim; the ice in Bohai sea; water resource- population- economy