

核废水持续排放入海，关注其后续影响

主要观点：

2011 年 3 月 11 日，地震&海啸冲击日本福岛第一核电站部分正在运行的机组，内外部断电导致反应堆冷却系统停转，3 个机组先后发生氢气爆炸产生核泄漏。应对事故过程中，持续向反应堆注入冷却剂，冷却剂接触燃料碎片形成具有高浓度放射性的污水，后地下水和雨水与放射性污水混合形成新的污染水。事故发生后，相关部门组织核电站退役，退役计划持续推进过程中，核废水源源不断产生，为应对巨量核废水，日本政府 2021 年正式宣布将核废水排海，本文详尽阐述了核废水的产生及排海可能对水产养殖、淡水资源和海水提盐的影响。

► 直接&间接途径共同作用，核素实现大面积蔓延

研究显示，发生核事故后，放射性核素可以通过大气运动、海洋表层和内部以及生物运动实现大面积蔓延。核电站发生严重事故后：（1）空气中放射性粒子先会随着烟羽进行抬升，因大气湍流开始扩散，再分别通过重力作用和雨水作用形成干、湿沉降入海；（2）放射性液体流出物会随着核泄漏和核倾倒直接排放入海，或者在没有烟羽抬升的情况下，空气中的可溶性核素会在接近水面时被水体大量吸收；（3）入海的人工放射性核素通过海水扩散、生物摄食、动物洄游、食物链传递和颗粒沉降等方式在近海乃至远处大洋各介质中发生迁移，对海洋生态环境造成污染。放射性核素入海后，一部分在本地沉积并进入本地食物链，随着食物链逐渐富集放大；另一部分放射性核素则会随着洋流和海洋鱼类的洄游行为扩散至其他海域。

► 废水入海，海水养殖首当其冲

研究表明，放射性核素的慢性辐射会对鱼类的发病率、繁殖能力及死亡率和寿命产生负面影响，较高的辐射剂量甚至会威胁整个种群的生存。从水产资源的分布来看，据 FAO 数据，2020 年，海洋贡献了 68.76% 的水产产量，海洋水产品中有 74.16% 来自太平洋，其中捕捞量 0.22 亿吨，养殖量 0.44 亿吨

（66.21%），在太平洋的水产品分布中，有 60.49% 来自太平洋北部（包括 FAO 主要捕鱼区中太平洋西北部和东北部）。而福岛第一核电站刚好位于太平洋北部，核废水排海将直接影响北太平洋渔场，进而通过水循环、大气循环和食物链影响全球，进而影响全球的海水和淡水水产养殖业，但是影响时间和程度还有待未来验证。

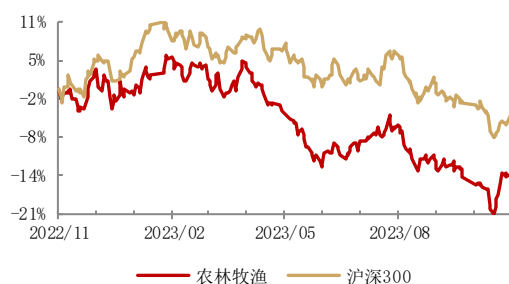
► 长期来看，淡水资源&海水提盐也将受到影响

核废水排放后对淡水资源的影响在全球水循环中体现。蒸发是水循环中最重要的一环之一。由蒸发产生的水汽进入大气并随大气活动而运动，大气中的水汽主要来自海洋，核废水排放入海后，放射性核素将通过大气循环被输往全球。由于核废水排

评级及分析师信息

行业评级：推荐

行业走势图



分析师：周莎

邮箱：zhousha@hx168.com.cn

SAC NO: S1120519110005

联系电话：0755-23947349

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

放到水分蒸发到凝结输送到陆地需要经历相当的过程，其对淡水资源的影响尚不可知，但一旦排放，放射性核素对水资源的影响只是时间早晚的问题，各国需要加强对于淡水资源核素的检测。由于海水提盐需要直接用到海水，日本核废水排放后，将会由远及近影响海水，势必会对海水提盐带来影响，但由于放射性核素在蔓延的途中会有沉淀和稀释，其影响程度不同。

投资建议

日本核废水排海后带来了一系列连锁反应，包括韩国民众疯抢海盐、中国全面禁止进口日本水产品等，深层次来看，是污染物排海对于消费者选择的影响和对某些产品消费信心的打击，但这也为淡水养殖大国中国提供了新的机遇，淡水产品作为海产品的替代品，核废水排海情况下消费者有望转向消费更多淡水产品，淡水养殖企业或水产品加工企业有望受益，受益标的如国联水产、百洋股份、大湖股份等。淡水养殖的长期发展势必会带动水产饲料需求的增长，长期来看也可关注水产料或特水料有关的公司，如粤海饲料、海大集团等。另外也可以关注核废水排海下中国食用盐出口情况的变化及食用盐生产相关公司。

风险提示

人民币汇率波动的风险，原料价格及产品价格波动风险，食品安全风险。

正文目录

1. 地震&海啸冲击，福岛核事故积累巨量核废水	5
1.1. 供电中断，冷却功能丧失引发反应堆氢气爆炸	5
1.2. 退役之路漫漫	6
1.3. 核废水排海前的工作	9
1.4. 排海核废水是否真的安全？日方说法	10
1.5. ALPS 有效性存疑	12
2. 直接&间接途径共同作用，放射性核素实现大面积蔓延	13
3. 水产养殖：废水入海，海水养殖首当其冲	15
3.1. 世界水产看亚洲	15
3.2. 亚洲水产看中国	17
3.3. 过量核素对鱼类种群有毁灭性威胁	19
4. 淡水资源：短期影响较小，关注长期发展	20
4.1. 全球淡水供给：总量平稳，分布不均	20
4.2. 全球淡水需求：用水量急剧增加，用水主力为农业	21
4.3. 供需失衡，多国面临水资源危机	22
4.4. 中国水资源分布：受降水影响，分布极为不均	23
4.5. 放射性物质对淡水资源的影响	26
5. 放射性物质对海水提盐的影响	26
6. 投资建议	28
7. 风险提示	28
8. 参考文献	29

图表目录

图 1 地震发生后福岛第一核电站 1-4 号机组情况	5
图 2 污染水净化流程	6
图 3 日本核废水处理关键系统——多核素去除设备（ALPS）	7
图 4 福岛第一核电站的污水储罐	7
图 5 核废水存储情况	7
图 6 日本核废水排海时间线	9
图 7 核废水排海程序	9
图 8 关于多核素去除设备等处理水（ALPS 处理水）排放入海辐射影响评估结果（建设阶段）	10
图 9 海水淡化设备入口处的氚（ ^3H ）浓度趋势	11
图 10 ALPS 处理水等的放射性浓度	11
图 11 核事故后人工放射性核素的主要迁移扩散路径	13
图 12 福岛核事故释放的放射性核素在太平洋的传输	13
图 13 核废水排放宏观扩散分析（120 天）	14
图 14 核废水排放宏观扩散分析（1200 天）	14
图 15 核废水排放宏观扩散分析（2400 天）	14
图 16 核废水排放宏观扩散分析（3600 天）	14
图 17 1950-2021 年世界水产品产量（百万吨）	15
图 18 世界水产品消费情况	15
图 19 世界水产品主要来源于海洋	16
图 20 海洋、内陆水产品贡献量大致相同	16
图 21 各区域对世界水产产量的贡献（百万吨）	17
图 22 中国水产产量主要由养殖贡献（百万吨）	18
图 23 中国海、陆主要养殖品种（百万吨）	18
图 24 中国 2022 年淡水养殖面积	18
图 25 中国 2022 年海水养殖面积	18

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

图 26	海水主要养殖品种	19
图 27	淡水主要养殖区域	19
图 28	各大洋水产品产量贡献情况 (亿吨/鲜重)	20
图 29	太平洋渔业资源集中在北&中部 (亿吨/鲜重)	20
图 30	2020 年世界可再生内陆淡水资源分布	21
图 31	2020 年淡水资源拥有量前十的国家	21
图 32	1961-2019 世界人均可再生内部淡水资源变化	21
图 33	2015 年各大洲人均可再生淡水资源 (立方米)	21
图 34	1901-2014 全球淡水用量及占总量比例情况	22
图 35	世界淡水使用分类	22
图 36	2020 年各国淡水用量占可用水量比例情况	23
图 37	全球淡水压力情况	23
图 38	2022 年我国水资源情况	24
图 39	2022 年全国供水&用水情况 (亿立方米)	24
图 40	2022 年全国年降水量等值线	24
图 41	2022 年水资源一级区降水情况	24
图 42	全国水资源一级区示意图	25
图 43	2022 年水资源一级区水资源总量 (亿立方米)	25
图 44	2022 年水资源一级区地表水资源量 (亿立方米)	25
图 45	2022 年水资源一级区地下水资源量 (亿立方米)	25
图 46	水资源总量分布图 (亿立方米)	26
图 47	2022 年水资源总量前十的省级行政区	26
图 48	我国盐产能结构	27
图 49	我国原盐产能结构	27
图 50	2017-2021 我国食用盐产量及表观需求量	27
图 51	2017-2022 年我国食用盐进出口情况	27
图 52	2022 年我国食用盐出口情况	28
图 53	我国主要从澳大利亚进口食用盐	28
表 1	储槽内 ALPS 处理水等及铯处理水的储存量	8
表 2	ALPS 出口处核素辐射浓度	11
表 3	联合国粮农组织对水资源压力情况的定义和分类	22

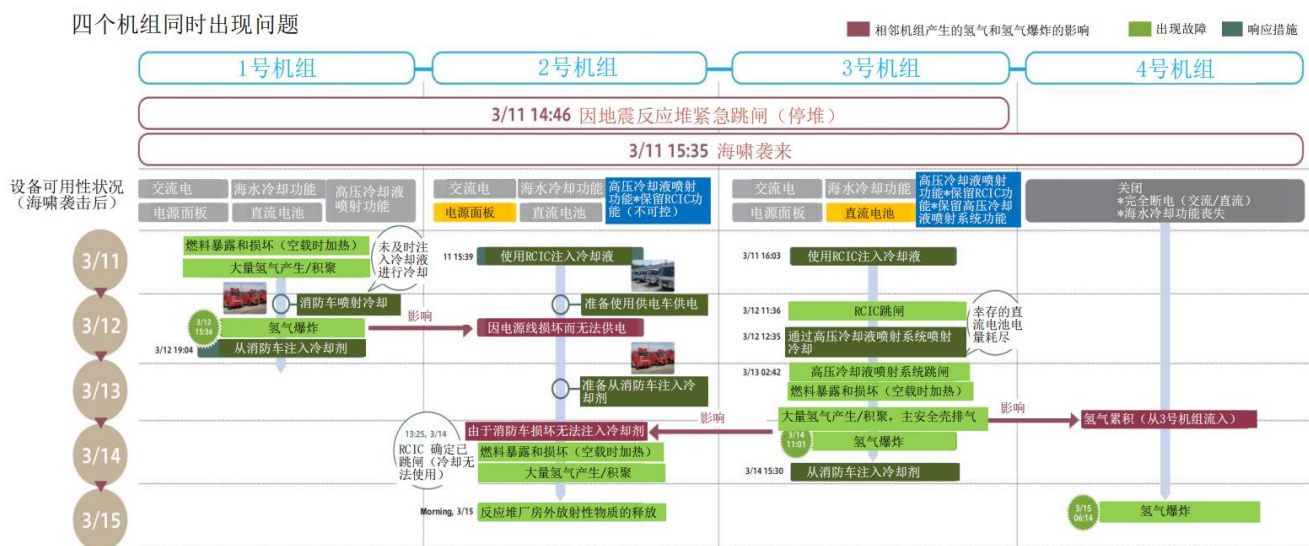
1. 地震&海啸冲击，福岛核事故积累巨量核废水

2011年3月11日，日本东北部太平洋海域发生里氏9.0级强烈地震，地震后继发最高达23米的海啸。据日本产经新闻报道，日本警察厅统计结果显示，截至3月30日上午，日本受灾的12个都道县确认遇难人数11232人，警方接到家属报失踪人数16361人，共计27593人。据NHK报道，截至2023年3月1日，因日本“3·11”大地震和海啸等灾害已确认的死亡人数和失踪人数，加上因避难等原因死亡的“震灾相关死亡”人数，共计22212人。其中，至今仍有2523人失踪。此次地震还引发福岛第一核电站核泄漏，日本原子能安全保安院根据国际核事件分级表将福岛核事故定为最高级7级，与“切尔诺贝利”事故同级。

1.1. 供电中断，冷却功能丧失引发反应堆氢气爆炸

福岛核电站由福岛一站、福岛二站组成，共10台机组（一站6台，二站4台），均为沸水堆。2011年3月11日，福岛第一核电站1-3号机组正在运行，4-6号机组因定期检查而未运行，日本东北部太平洋海域发生里氏9.0级强烈地震，地震发生后核反应堆保护系统及时发挥作用使反应堆自动停堆，但地震和海啸切断了核电站内外供电系统，导致反应堆冷却系统功能完全丧失余热无法排出，反应堆堆芯融化和乏燃料池温度过高产生大量的氢气和蒸汽。为避免发生更大的核泄露事故，只得释放压力容器中含有放射性物质的蒸汽，大量冷却水泄露，导致环境污染致使大量居民疏散。事故发生后，福岛第一核电站操作员采取多种响应措施但均宣告失败。第1号、3号和4号机组发生氢气爆炸。应对事故过程中，持续向反应堆注入冷却剂，冷却剂接触燃料碎片形成具有高浓度放射性的污水，后地下水和雨水与放射性污水混合形成新的污染水。

图1 地震发生后福岛第一核电站1-4号机组情况



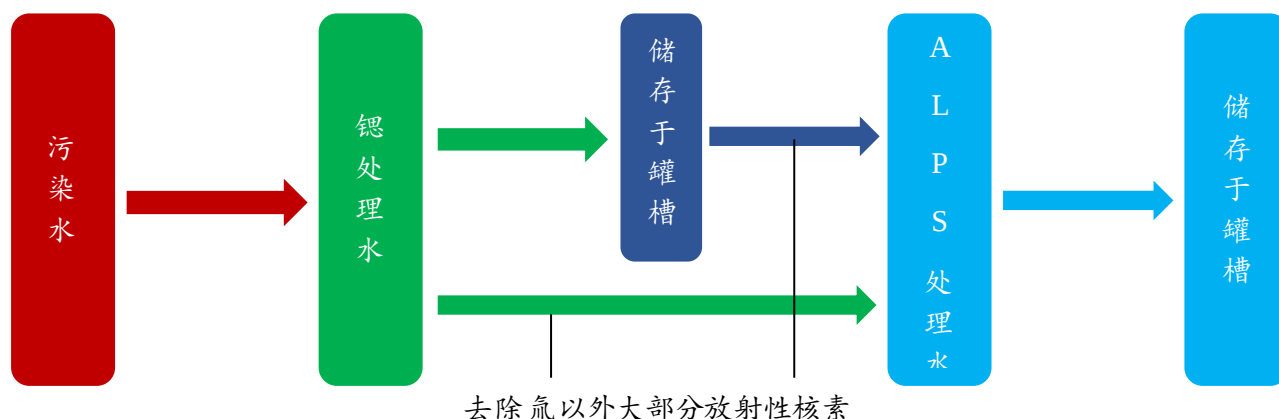
资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

1.2. 退役之路漫漫

2011 年 4 月，东电宣布了“福岛第一核电站事故的终结之路”，并在冷却（反应堆冷却和乏燃料池冷却）、抑制（封闭、储存、处理和再利用被放射性物质污染的水以及抑制大气和土壤中的放射性物质）、监测和净化（在疏散命令、计划疏散和紧急疏散准备区域中测量、减少和公布辐射水平）三个领域进行了研究。据东电，由于这些努力，所有反应堆的温度在 2011 年 12 月被带到冷关闭状态（低于 100° C）。此外，现在可以在站点边界保持足够低的暴露剂量。

2011 年 12 月，日本政府制定了“东京电力控股公司福岛第一核电站 1-4 号机组退役中长期路线图”，并正在根据该路线图进行退役工作。2012 年 4 月，决定 1-4 号机组退役，2014 年 1 月，5 号和 6 号机组退役。主要退役举措包括污染水对策、燃料清除、燃料碎片清除、废物对策等。针对污染水，东电根据三项基本政策采取措施。首先是清除污染源：为了降低受污染水中含有放射性物质的风险，东电首先使用铯吸附装置，重点去除铯和锶，它们占受污染水中所含放射性物质的大部分。然后，用多核素去除设备（ALPS）去除除氚以外的大多数放射性物质，经过 ALPS 处理过的水被存储于罐槽中。

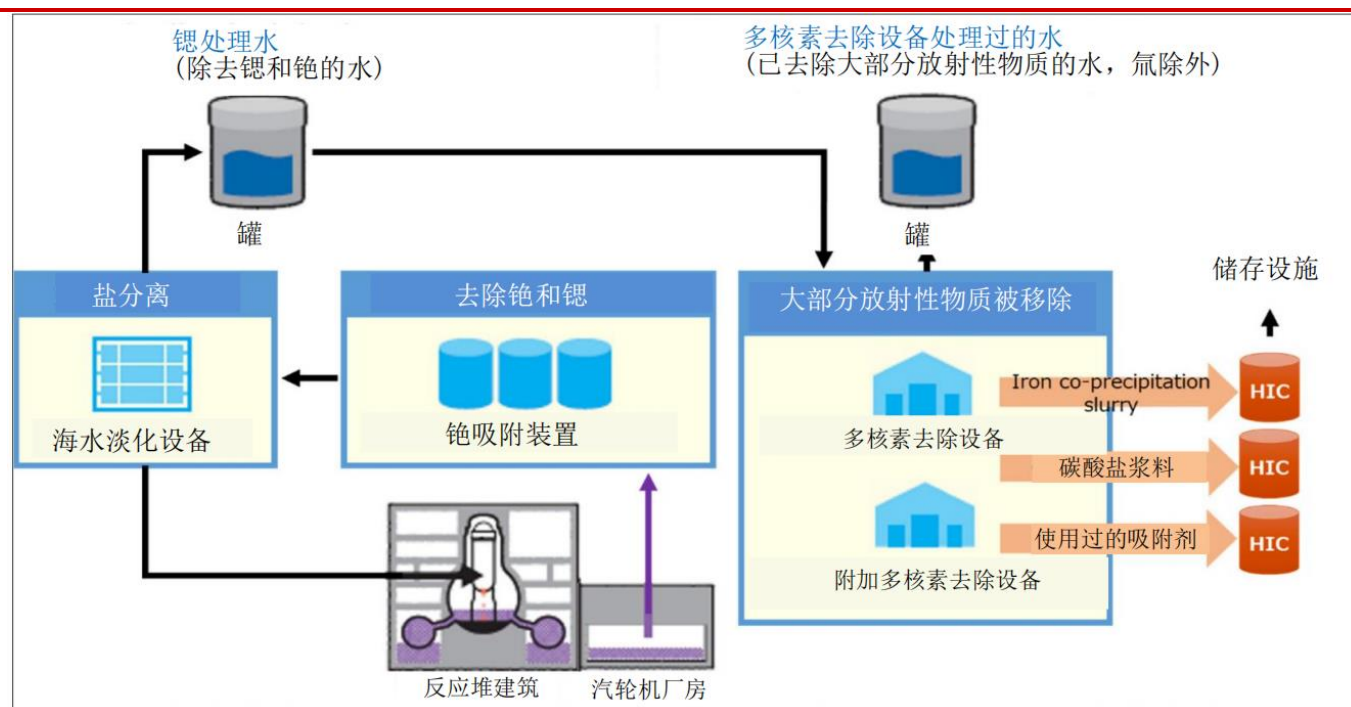
图 2 污染水净化流程



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

使用铯吸附装置去除铯和锶后的水将继续使用 ALPS 进行处理，ALPS 是东电核污染水处理的关键装置。根据政府的基本政策和东电对政府政策的回应，“ALPS 处理水”被定义为：用多核素去除设备（ALPS）处理过的水，以使除氚以外的放射性物质的浓度充分满足安全监管标准。经过多核素去除设备处理的水（以下简称“处理水”）随后储存在水箱中。多核素去除设备能够降低污染水中除氚外的大多数放射性物质（62 种）的浓度。净化和处理过程产生两种类型的废物。一种是液体和固体的粘稠混合物，称为“浆料”（“铁共沉淀浆料”和“碳酸盐浆料”），另一种是“使用过的吸附剂”。这些废物储存在被称为“HIC”的聚乙烯储存容器中。

图3 日本核废水处理关键系统——多核素去除设备（ALPS）



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

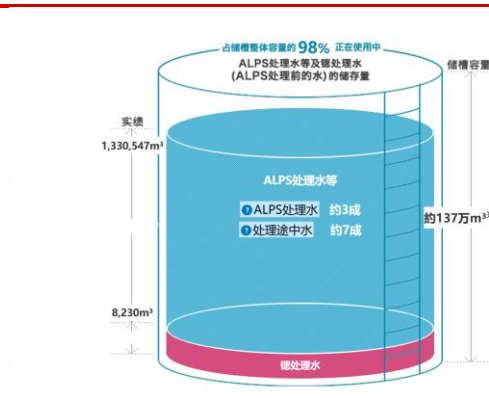
经过铯/锶过滤设备和 ALPS 处理过的水储存在现场的储槽中，目前厂区内共有 1073 座储槽，为了降低核废水泄露的风险，事故发生后最初使用的法兰罐被更可靠的焊接罐完全取代，另外还采取了一些措施防止水流出水箱区域，例如在水箱周围建造堤坝等。截止 10 月 12 日，储槽罐内共有 133.56 万立方米废水，占储槽整体容量（137 万立方米）的 97%，包括 8318 立方米的铯处理水和 132.73 万立方米 ALPS 处理水等，其中达标水仅 3 成。

图4 福岛第一核电站的污水储罐



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

图5 核废水存储情况



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

处理水可粗分为两类：ALPS 处理水等和铯处理水。其中 ALPS 处理水又可以分为两类，ALPS 处理水和处理途中水，其中 ALPS 处理水是指除氟外告示浓度比总和小于 1(安全相关规定标准值以下)，处理途中水是指除氟外告示浓度比总和为 1 以上(不符合安全相关规定)，这意味着即使经过 ALPS 处理，污染水也不一定能够达到安全相关规定标准。截至 2023 年 9 月 14 日，ALPS 处理水等体积为 1331094 立方米(其中 ALPS 处理水约 3 成)，铯处理水体积为 8231 立方米，两者总量占储槽整体容量的 98%。

表 1 储槽内 ALPS 处理水等及铯处理水的储存量

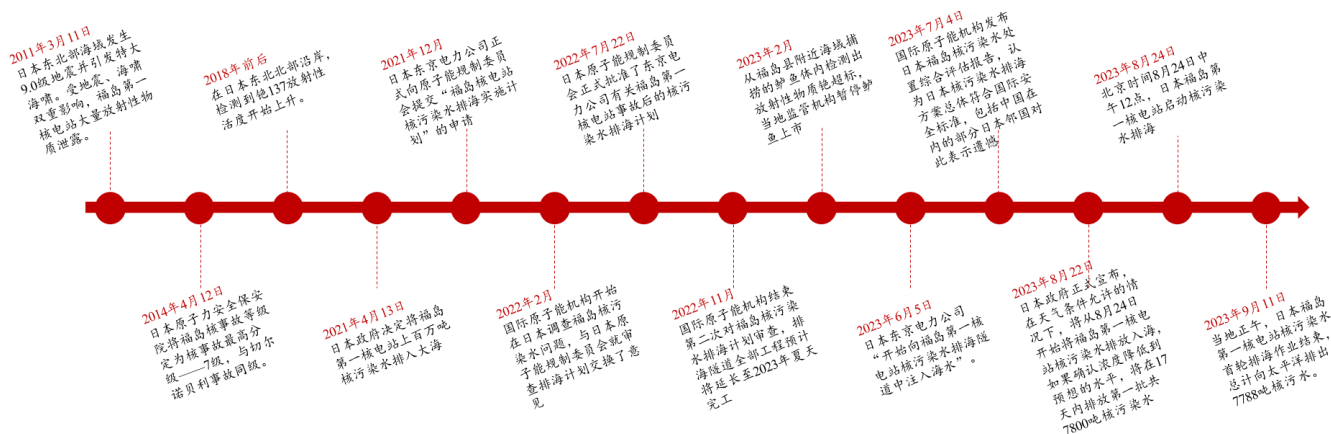
类型	ALPS 处理水	处理途中水	铯处理水
定义	除氟外告示浓度比总和小于 1(安全相关规定标准值以下)	除氟外告示浓度比总和为 1 以上(不符合安全相关规定)	待 ALPS 处理的水(已去除铯&铯)
数量(截至 2023 年 9 月 14 日)	1331094 立方米(其中 ALPS 处理水约 3 成)		8231 立方米
总量	1338376 立方米(占储槽整体容量的 98%)		
储槽数量(截至 2023 年 5 月 18 日)	1033 座		27 座

资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

关于减少污染水：为防止雨水渗入地下，从建筑物周围的水井抽取地下水，并在建筑物周围的土壤中形成冰墙，以减少流入建筑物的地下水量。受损的建筑物正在采取措施防止雨水流入，通往大海的地下水由沿海建造的钢墙筑坝，并在海边用井抽水以防止溢出，从而使港口的环境更加安全。污染水量从对策前的约 540 立方米/天(2014 年 5 月)减少到约 180 立方米/天(2019 年度值)和约 140 立方米/天。2022 财年-2024 财年，将反应堆大楼的积水量减少到 2020 年年底的一半左右，到 2025 年年底将污染水量控制在 100 立方米/天以下。关于不泄露受污染的水：通过安装海边的防渗墙来防止可能被污染的地下水流入海洋并影响环境，在地下水排水沟中，海堤上的井抽取被海边不透水墙堵塞的地下水。泵送的地下水在确认符合废水标准后被净化并排放到海洋中，从而减少了接近反应堆建筑的地下水量。发电厂港口内外的放射性物质浓度逐渐降低，与事故发生后相比已降至 100 万次(铯)以下。此外，处理过的储水罐从法兰式储罐到焊接罐的转移已经完成，降低了泄漏风险并实现了更稳定的管理。

由于核废水存放接近饱和，且长期占用土地，日本政府于 2021 年 4 月 13 日正式宣布将核污染水排放入海。

图 6 日本核废水排海时间线

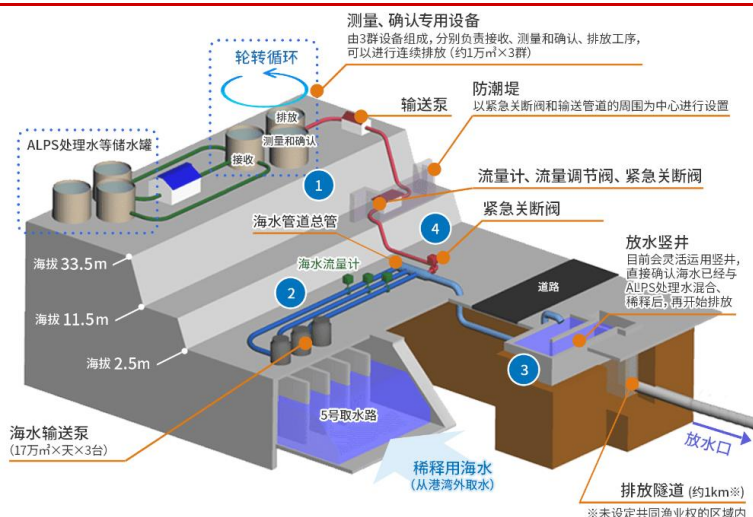


资料来源：财联社，华西证券研究所

1.3. 核废水排海前的工作

排海的核废水是指经过 ALPS 处理过的污水，但是在排放前，还要进行一系列处理：①在稀释排放前测量（包括第三方机构测量）ALPS 处理水中含有氚、62 种核素以及碳 14，确认 62 种核素以及碳 14 已经净化至浓度确实低于释放到环境中的相关规定标准值以下。②使用 100 倍以上海水充分进行稀释，使得经海水稀释后的氚浓度低于 1,500 贝克勒尔/升。此外，全年的氚排放量要求低于 22 兆贝克勒尔的水平。③为了避免港湾内的放射性物质影响，稀释用水是从港湾外进行取水。为了抑制排放出去的水重新循环进入取水所得的海水中，是经由海底隧道（约 1km）进行排放。④用于稀释的海水泵停止时，迅速关闭紧急关断阀，停止排放。或者如果海域监测中确认到异常数值时，也会暂停排放。核废水自 2023 年 8 月 24 日首次排放，将持续 2 年。

图 7 核废水排海程序

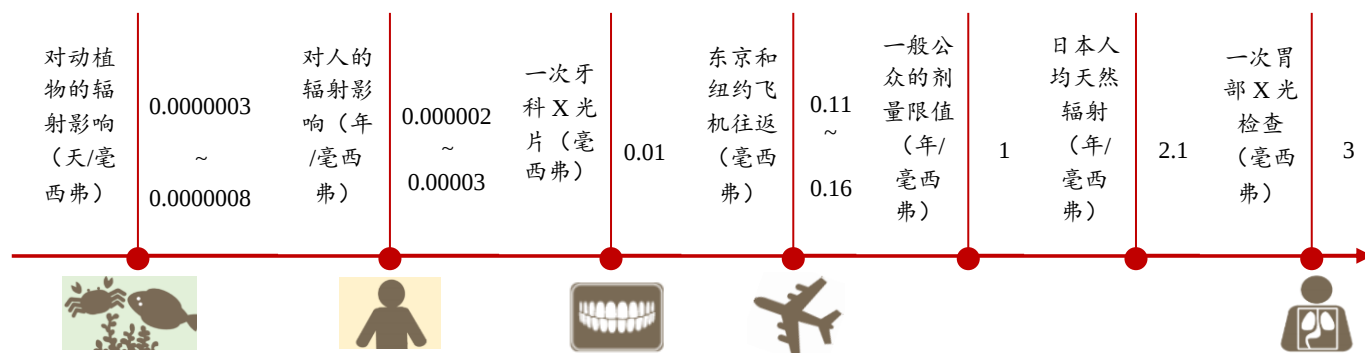


资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

1.4. 排海核废水是否真的安全？日方说法

日方说法。2021 年 11 月，东电就 ALPS 处理水排放入海对人和环境辐射影响进行了评估，其对人的影响评估结果是一般公众剂量限值（全年 1 毫西弗）的约 50 万分之一~约 3 万分之一，相当于天然辐射影响（日本平均：全年 2.1 毫西弗）的约 100 万分之一~约 7 万分之一。相较于国际放射防护委员会（ICRP）倡导的标准值，对动植物（扁平鱼、褐藻类）影响评估结果是其约 300 万分之一~约 100 万分之一，对螃蟹的影响评估结果是其约 3,000 万分之一~约 1,000 万分之一。结果远远低于剂量限值（年 1 毫西弗/人）和向海洋排放 ALPS 处理水的剂量约束值（年 0.05 毫西弗/人）以及国际放射防护委员会（ICRP）所倡导的按不同生物物种设定的标准值，表明对人和环境的影响极小。

图 8 关于多核素去除设备等处理水（ALPS 处理水）排放入海辐射影响评估结果（建设阶段）



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

日方核废水中包括了哪些放射性核素。

据日本东京电力公司和林武辉等(2021)，东电披露了 ALPS 出口 13 种核素放射性浓度情况，其中浓度最高的为氚，尽管 2018 年以来，海水淡化设备入口检测到的氚辐射浓度呈稳定下降趋势，2019 年以来，其浓度区间仍在 10^5 ~ 10^6 Bq/L，高于日本法律允许排放浓度限值 (6×10^4 Bq/L) 和饮用水中核素浓度指导值 (10^4 Bq/L)。林武辉等(2021)指出，部分时期 ALPS 处理后福岛核废水中 5 中放射性核素 (^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{125}Sb 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs) 浓度高于日本法律允许排放浓度限值，部分时期 ALPS 处理后福岛核废水中 7 种放射性核素 (^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{125}Sb 、 ^{129}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) 浓度高于饮用水中核素浓度指导值，部分时期 ALPS 处理后福岛核废水中 ^{14}C 较为接近饮用水的浓度指导值 (100Bq/L)。

半衰期短较短的核素可以通过储存放置而衰变降低浓度水平，无需采取复杂的化学分离去除， ^{54}Mn 、 ^{89}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{106}Rh 和 ^{134}Cs 的半衰期小于 2 年，经过 10 年的储存衰变后将使核素浓度水平下降 96% 以上，而拥有较长半衰期且浓度超标的 7 中放射性核素 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{125}Sb 、 ^{129}I 和 ^{137}Cs) 需要采取化学分离手段，需要特别注意处理效果和排海后的危害。

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

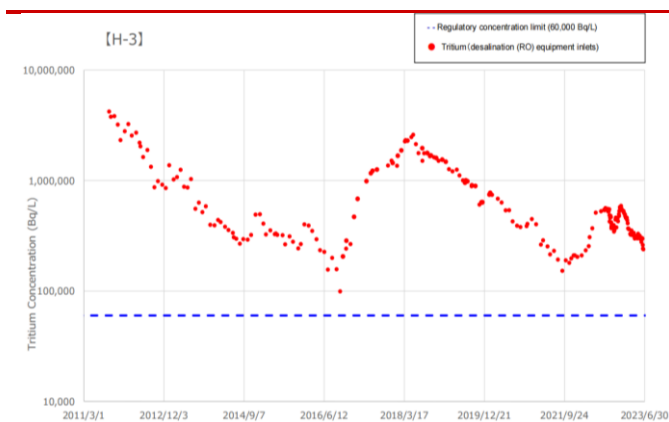
表 2 ALPS 出口处核素辐射浓度

核素	半衰期	ALPS(Bq/L)		日本法律允许排放浓度限制(Bq/L)	WHO 中饮用水的核素浓度指导值(Bq/L)
		处理前浓度	处理后浓度		
氚(³ H)	12.3	10 ⁵ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁷	6×10 ⁴	10 ⁴
碳 14(¹⁴ C)	5730	10-100	10-100	6×10 ³	100
锰 54(⁵⁴ Mn)	0.85	100-10 ⁴	<~0.1	100	100
钴 60(⁶⁰ Co)	5.27	10-10 ⁵	<~0.1-100	200	100
锶 89(⁸⁹ Sr)	0.14	<10 ³ -10 ⁶	<0.1	300	100
锶 90(⁹⁰ Sr)	28.8	10 ⁴ -10 ⁸	<~0.1-10 ⁴	30	10
锝 99(⁹⁹ Tc)	2.14×10 ⁵	1-100	<1	10 ³	100
钌 106(¹⁰⁶ Ru)	1.0	10 ² -10 ⁵	<1-10 ³	100	10
铑 106(¹⁰⁶ Rh)	29.8s	10 ⁴ -10 ⁵	10-100	3×10 ⁵	10 ³
锑 125(¹²⁵ Sb)	2.71	10 ² -10 ⁶	<1-10 ³	800	100
碘 129(¹²⁹ I)	1.57×10 ⁷	10 ² -10 ³	<~0.1-10 ³	9	1
铯 134(¹³⁴ Cs)	2.06	10 ² -10 ⁵	<~0.1-100	60	10
铯 137(¹³⁷ Cs)	30.2	10 ² -10 ⁵	<~0.1-100	90	10

资料来源：日本东京电力公司官网，林武辉等(2021)，华西证券研究所；注：数据截止 2023/6/30

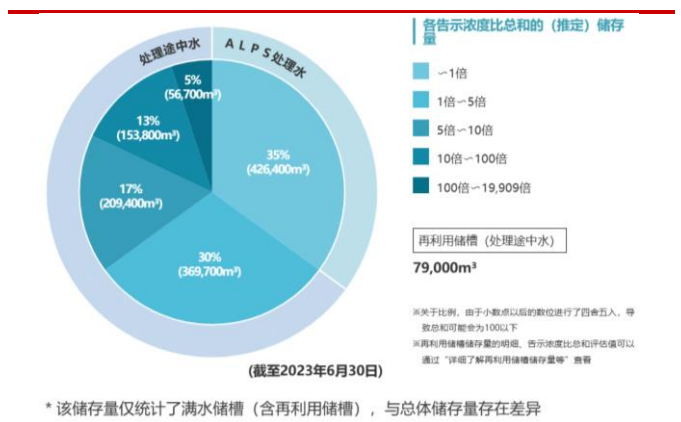
目前废水包括锶处理水（去除铯和锶）和 ALPS 处理水等（从锶处理水中去除氚以外的大部分放射性核素），ALPS 能够去除放射性核素（不包括氚）使其浓度降低至一定标准。排放前，会进行 ALPS 二次处理，直至氚以外的放射性物质浓度符合日本的国家标准，然后用海水进行稀释，确保充分符合有关氚的规定标准。

图 9 海水淡化设备入口处的氚(³H) 浓度趋势



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

图 10 ALPS 处理水等的放射性浓度



资料来源：日本东京电力公司官网，华西证券研究所

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

1.5. ALPS 有效性存疑

ALPS 是日本核废水排海中的重要一环，东电方面宣称 ALPS 能够有效去除福岛核污水中除氚以外的放射性核素，或将核素浓度降低到法律限制以下，以达到后续排海的目的，而由于氚不能通过 ALPS 去除，在核废水排放前，会利用海水进行稀释以降低排海废水中氚的浓度。2013 年 3 月，东电宣布对 ALPS 处理的废液进行热测试以检查该设备的处理效果，后因操作失误暂停，但停工后检查无异常便重启设备对废水进行处理，东电方面宣称 ALPS 利用化学和物理特性来净化污染水，例如使用化学品进行沉淀处理和使用吸附剂进行吸附，以降低法律要求浓度限制的 62 种放射性物质。截止 2015 年 5 月，东电完成了储存在储罐中的高浓度污染水的净化处理，核电站退役工作中，污水是不断产生的，经过处理，污染水量从 2014 年 5 月前的 540 立方米/天，减少到 2019 年约 180 立方米/天和约 2020 年约 140 立方米/天。但到目前为止，从以下方面来看，ALPS 的有效性是存疑的：

(1) ALPS 运行初期性能不稳定，曾有泄露和浓度超标现象：ALPS 运行之初，浓盐水、铯处理水和 ALPS 处理水等均存放在螺栓式储存罐中，但储存的“水”被发现多次泄露。后相关部门提出系列措施防止处理水泄露，包括：(a) 加快浓盐水的处理进度；(b) 铯处理水和 ALPS 处理水被转移到泄露风险更低的焊接罐中。ALPS 能够将除氚以外的 62 种放射性物质浓度降低至排放标准以下，但截止 2019 年 12 月 31 日，储存在罐体中的约 70% 的 ALPS 处理水浓度超标，主要原因在于 ALPS 运行初期净化性能不足叠加罐体环境的额外暴露剂量远远高于储存的监管标准，储存在罐中的 ALPS 处理水的浓度取决于 ALPS 的运行条件(吸附剂更换频率等)和预处理水质。在这种情况下，组委员会决定了以下原则：将储存在水箱中的经 ALPS 处理过的水(需要再净化)未经正常净化程序排放到环境中，在稀释之前应进行二次处理，以满足监管标准。根据东电的数据，截止 2023 年 10 月 5 日，133.05 万立方米的 ALPS 处理水等中，仍有约 7 成为处理途中水(经过多核素去除设备等净化处理之后的水中，不符合安全相关之规定标准的水)。

(2) 部分放射性元素 ALPS 不能去除或不能完全去除。ALPS 并不能去除氚，根据东电数据，2018 年 3 月中旬后，海水淡化设备入口的氚浓度呈现下降趋势，一度从高于 10^6Bq/L 下降至略高于 10^5Bq/L ，2021 年 9 月 24 日浓度开始上升，后开始下降，浓度维持在 $10^5\text{--}10^6\text{Bq/L}$ ，且事故发生以来，污水中的氚浓度始终高于监管要求($6\times 10^4\text{Bq/L}$)。东电声称的符合监管标准将氚排除在外，排海前氚浓度的降低依赖海水稀释。另外，ALPS 也不能完全去除 ^{14}C ，经过处理后的福岛核污水 ^{14}C 浓度低于排放浓度限制但仍然接近饮用水的浓度指导值，根据林武辉等(2021)， ^{14}C 具有很高的生物富集因子，可以进一步被生物富集进入细胞中(如 DNA 等)，并可能对海洋生物造成辐射影响。ALPS 对福岛核废水中 ^{129}I 去除效果比较差，特别是 2019 年以前 ALPS 处理后的大量福岛核废水中 ^{129}I 浓度仍然高于日本法律允许排放的浓度限制和 WHO 中饮用水的浓度指导值。

(4) 放射性核素来源多样，挑战 ALPS 处理能力。林武辉等(2021)指出，核事故后的早期阶段直接利用海水冷却的核废水组成和中后期采用淡水冷却的核废水组成有很大差别，特别是高盐海水中众多干扰元素将导致早期利用海水冷却的核废水去除放射性核素的技术难度更大，此外，长时间滞留于受损反应堆且含有大量 α 衰变核素的积水中元素和放射性核素组成也极为复杂且独特，放射性核素来源途径多样，需要谨慎评估 ALPS 再处理后的福岛核废水中放射性核素浓度能否满足排放限值要求。

(5) 数据披露上，近期针对 ALPS 处理后放射性核素浓度，东电仅披露 13 种核素，远少于核废水中所含核素。曾有报道称，福岛核废水中含有 64 种放射性核素，对于 ALPS，东电声称其可以对除氚以外的 62 种核素进行净化，目前东电披露的 ALPS 处理后的浓度数据中，仅包含 13 种核素，并且给出了总 α 和总 β ，没有公开的福岛核废水中 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 和 ^{241}Am 等其他极毒放射性核素的浓度水平和去除情况，也进一步增加了福岛核废水排海背景下海洋辐射环境风险和海洋影响评估的难度。

2. 直接&间接途径共同作用，放射性核素实现大面积蔓延

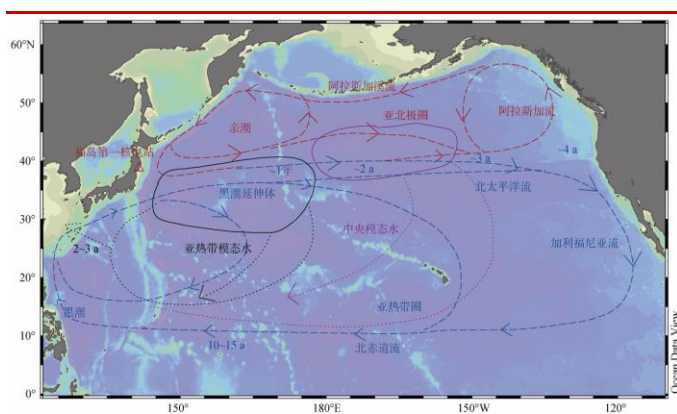
大气沉降&直接入海，核事故后放射性核素大面积蔓延。董宇辰等（2022）对核事故后人工放射性核素的主要迁移扩散路径进行了详细的说明，文中提到，核电站发生严重事故后：（1）空气中放射性粒子先会随着烟羽进行抬升，因大气湍流开始扩散，再分别通过重力作用和雨水作用形成干、湿沉降入海；（2）放射性液体流出物会随着核泄漏和核倾倒直接排放入海，或者在没有烟羽抬升的情况下，空气中的可溶性核素会在接近水面时被水体大量吸收；（3）入海的人工放射性核素通过海水扩散、生物摄食、动物洄游、食物链传递和颗粒沉降等方式在近海乃至远处大洋各介质中发生迁移，对海洋生态环境造成污染。放射性核素入海后，一部分在本地沉积并进入本地食物链，随着食物链逐渐富集放大；另一部分放射性核素则会随着洋流和海洋鱼类的洄游行为扩散至其他海域。

图 11 核事故后人工放射性核素的主要迁移扩散路径



资料来源：董宇辰等（2022），人工放射性核素在海洋鱼类中的富集、分布及放射损伤研究进展，华西证券研究所

图 12 福岛核事故释放的放射性核素在太平洋的传输



资料来源：吴俊文等（2022），福岛第一核电站事故及核污水排海进入中国海路径及其影响，华西证券研究所

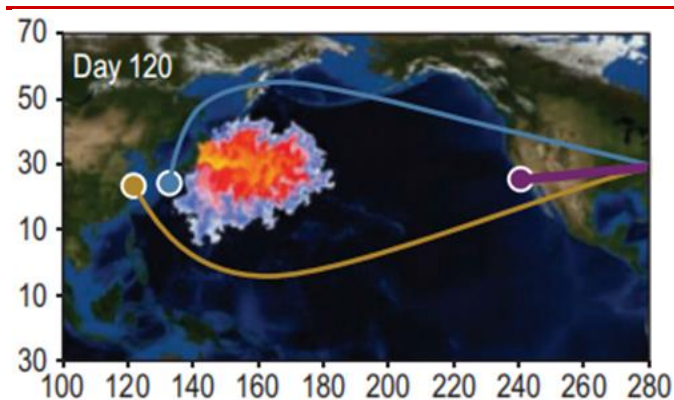
海洋表层&内部输送将成为福岛核废水排放后放射性核素的主要传播途径。我们可以从吴俊文等（2022）关于福岛第一核电站释放的放射性物质直接进入中国海的途径的研究中得到关于福岛核事故放射性物质扩散的启发，福岛核事故放射性核素的蔓延主要有三个途径：（1）大气输送：福岛核事故中先后发生 3 次氢气爆炸，大量放射性物质进入大气，进入大气的人工放射性核素可通过西风带产生全球性影响（Hsu 等，2012）；（2）海洋表层输送：福岛第一核电站位于西北太平洋沿岸，核事故后冷却水携带的放射性核素直接排入太平洋，排入海洋的放射性物质分布格局受控于西北太平洋的洋流运动和海洋生物地球化学过程。（3）海洋内部输送：亚热带模态水（STMW）和中央模态水（CMW），对于泄漏放射性核素的输送和扩散起着重要的作用。

放射性核素传播，生物作用不容忽视。目前已有大量文献证据显示核事故后，放射性核素在广泛的海洋物种中被发现，淡水鱼类也有涉及（Sundbom 等，2003；Fowler&Fisher，2005；Buesseler，2012；Buesseler 等，2012；Johansen 等，2015；Belharet 等 2016；Buesseler 等，2017；Horiguchi 等，2018；董宇辰等，2022）。关于放射性核素对海洋生物和淡水鱼影响的途径，Sundbom 等（2003）研究了切尔诺贝利-137 在淡水鱼中的长期动态变化，结果发现放射性铯-137 在高营养级鱼类中有“延迟积累”现象，说明人工放射性核素是随食物链次第向更高营养级富集的。Fowler&Fisher（2005）研究显示，一旦释放到环境中，放射性核素可以通过海水吸收或食物摄入迅速融入海洋生物。Buesseler（2012）将底层鱼类的高铯含量归因于沉积物对其食物来源（底栖动物）的持续污染。Johansen 等（2015）发现，某些物

种铯-134 和铯-137 的持续升高与放射性物质沉积物相关的食物链和摄食习惯有关。Horiguchi 等 (2018) 研究发现食用受污染的猎物对底栖鱼类的持续污染起了很大作用。以上文献表明, 含有放射性核素的沉积物通过影响海洋生物的食物影响海洋生物, 且继续在食物链中传递。

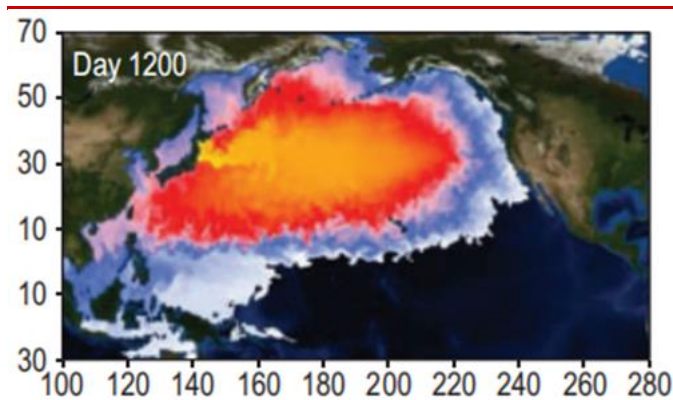
Liu 等 (2022) 从宏观角度模拟了福岛核废水排放后的扩散情况, 下图显示了宏观角度下, 北纬 30 度附近的三个沿海城市 (宫崎、上海和圣地亚哥) 及附近水域 4000 天内污染物浓度的变化情况, 在这三个城市中, 污染物首先出现在宫崎附近, 其次是上海和圣地亚哥, 这主要是由城市到福岛之间的距离决定的。从污染强度来看, 各区域污染物浓度先快速上升后趋于稳定, 虽然污染物最后达到圣地亚哥, 但其附近水域的污染物稳态浓度高于其他两个城市, 这种现象由日本附近强烈的洋流造成。结果表明, 在污染物排放初期, 应重点关注核污染物对亚洲沿海水域的影响, 然而, 在随后的阶段, 由于与北美相邻的沿海水域的污染物浓度仍然高于大多数东亚海岸, 因此考虑污染物对北美的影响是重要的。

图 13 核废水排放宏观扩散分析 (120 天)



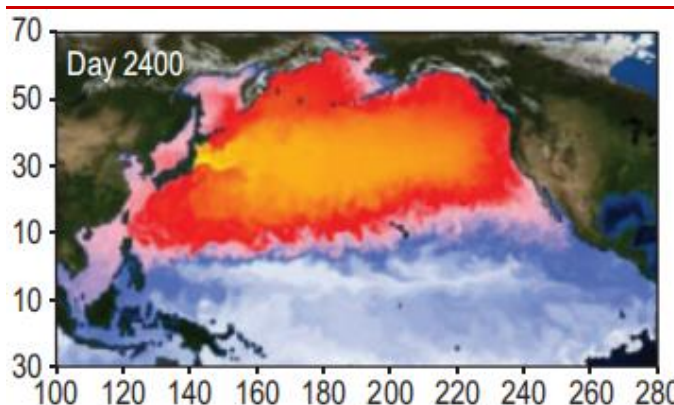
资料来源: Liu 等 (2022), Discharge of treated Fukushima nuclear accident contaminated water: macroscopic and microscopic simulations, 华西证券研究所

图 14 核废水排放宏观扩散分析 (1200 天)



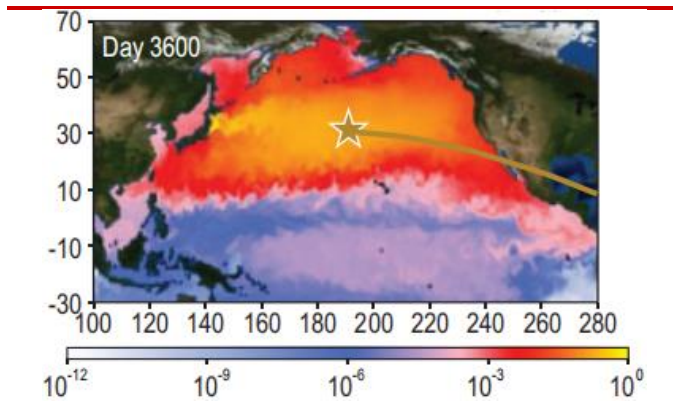
资料来源: Liu 等 (2022), Discharge of treated Fukushima nuclear accident contaminated water: macroscopic and microscopic simulations, 华西证券研究所

图 15 核废水排放宏观扩散分析 (2400 天)



资料来源: Liu 等 (2022), Discharge of treated Fukushima nuclear accident contaminated water: macroscopic and microscopic simulations, 华西证券研究所

图 16 核废水排放宏观扩散分析 (3600 天)



资料来源: Liu 等 (2022), Discharge of treated Fukushima nuclear accident contaminated water: macroscopic and microscopic simulations, 华西证券研究所

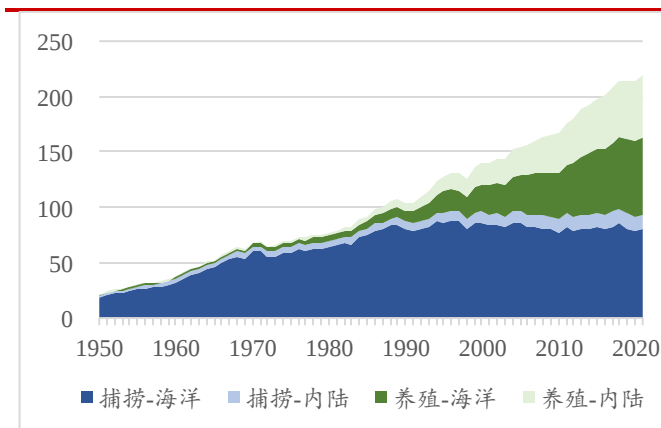
3. 水产养殖：废水入海，海水养殖首当其冲

3.1. 世界水产看亚洲

受益于水产养殖业的增长，1950-2020 年全球水产品产量快速增长，由 20.78 百万吨增长至 214.54 百万吨，CAGR+3.39%，其中捕捞量由 20.14 百万吨增长至 91.83 百万吨，CAGR+2.19%，养殖量由 0.64 百万吨增长至 122.71 百万吨，CAGR+7.80%。根据 FAO《2022 年世界渔业和水产养殖状况》，2020 年，全球水生动物产量估计为 1.78 亿吨，比 2018 年 1.79 亿吨的历史记录略有下降，其中捕捞量为 0.9 亿吨，占比 51%，养殖量为 0.88 亿吨，占比为 49%，根据联合国粮农组织 FishStatJ 数据库数据，我们估算 2021 年全球水生动物产量约为 2.19 亿吨（注：包含所有水生生物种），其中捕捞量占比为 43%，养殖量占比为 57%。在总产量中，63%的水产品（1.12 亿吨）来自海洋（其中 70%来自捕捞，30%来自养殖），37%的水产品（6600 万吨）来自内陆水域（其中 83%来自养殖，17%来自捕捞）。

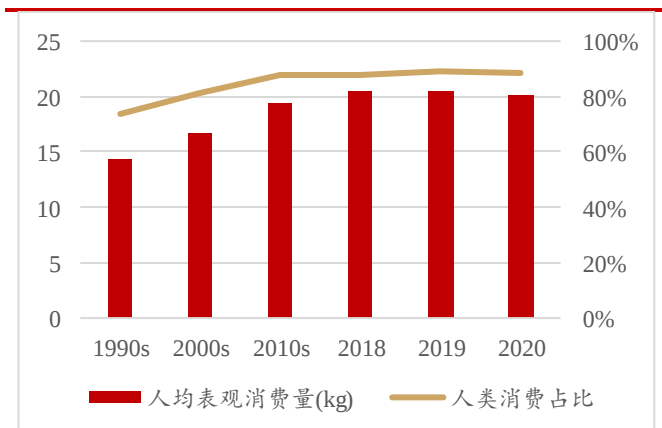
世界绝大部分水产品用于人类消费，水产品人均表观消费量显著提升。1990 年代以来，世界水产品 70%以上用于人类消费，且近年来逐渐提高。1990 年代，水产品人类消费占比为 73.71%，2000 年代提升至 81.38%，2010 年代提升至 88.12%，2018-2020 年在 87.60%-88.53%波动。从水产品人均表观消费量来看，1990 年代以来，人均表观消费量呈现显著稳步提升状态，1990 年代，水产品人均表观消费量为 14.30kg，2010 年代提升至 19.50kg，2018-2020 年维持在 20.5kg 左右。

图 17 1950-2021 年世界水产品产量（百万吨）



资料来源：FAO，华西证券研究所；注：包含所有水生生物种；世界数据采用各大洲数据加总

图 18 世界水产品消费情况

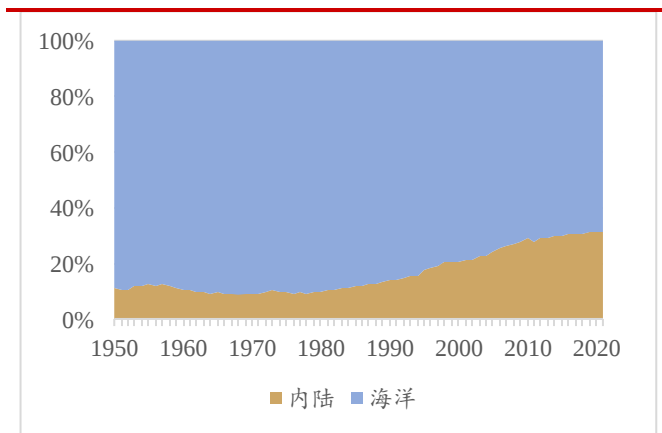


资料来源：FAO，华西证券研究所

世界水产品主要来源于海洋。1950-1997 年，海洋水产品占比超过 80%，过去几十年来，水产养殖的扩张推动了内陆水域水产品产量的整体增长，1950 年，内陆水产品产量仅占渔业和水产养殖总产量的 12%，尽管有一些波动，但直到 20 世纪 80 年代末这一份额一直保持相对稳定。而后，随着水产养殖产量的增长，内陆水产品产量占比在 20 世纪 90 年代逐渐增加到 18%，并在 21 世纪初增加到 28%，在 2010 年代增加到 34%，尽管有这种增长，海洋依然为水产品的主要来源。水产养殖方面，海洋和内陆水产品产量差距相对水产总量来说较小。1994 年以来，内陆水产养殖量占比维

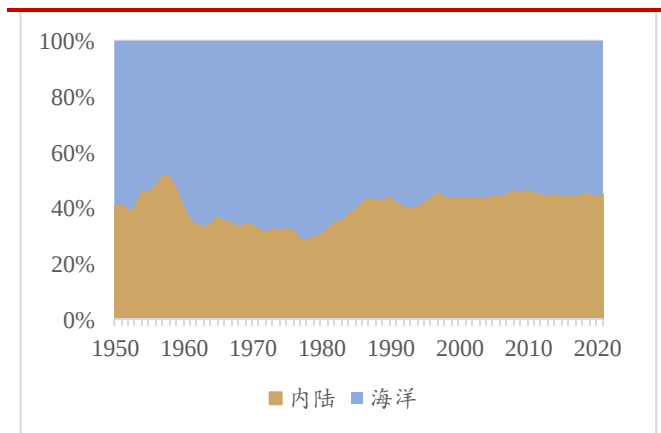
持在 40%以上，但目前尚未突破 45%（最高为 2010 年，内陆水产养殖产量占比 46.30%）。

图 19 世界水产品主要来源于海洋



资料来源：FAO，华西证券研究所

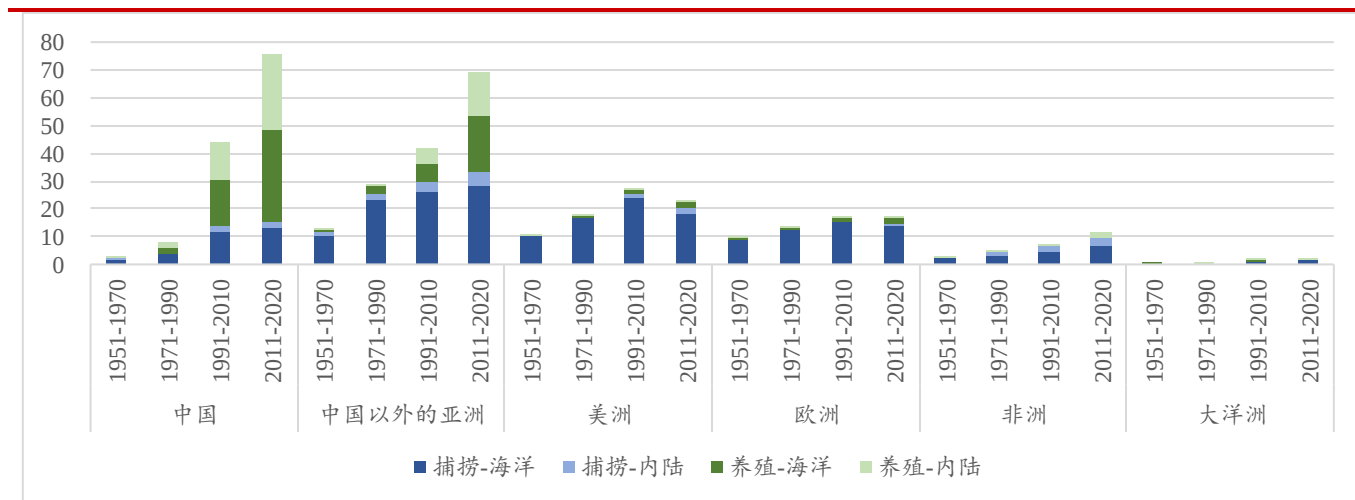
图 20 海洋、内陆水产品贡献量大致相同



资料来源：FAO，华西证券研究所

世界水产看亚洲，亚洲水产看中国。2020 年，亚洲是水产品主要生产国，水产品产出占世界总量的 74.42%，其中中国占比为 39.12%，其次是美洲（10.83%）、欧洲（8.11%）、非洲（5.78%）和大洋洲（0.83%）。总体而言，在过去几十年中，各大洲的水产品捕捞量和养殖量都有显著增长，例外的是欧洲（水产品产量从 20 世纪 80 年代末开始逐渐减少，但在直到 2018 年的几年中有所恢复，然后再次下降）和美洲（自 20 世纪 90 年代中期的高峰期以来出现了几次起伏）。从水产品的大洋分布来看，2020 年，这五个国家的水产品产量约占世界总量的 62.02%。2020 年，51%的水产品来自太平洋，11.53%的水产品来自大西洋，6.24%的水产品来自印度洋。2020 年，中国依然是世界水产品主要生产国，产量占总产量的 39.12%，其次是印度尼西亚（10.16%）、印度（6.20%）、越南（3.83%）和秘鲁（2.71%）。据 FAO，不同地区的产量取决于以下几个因素：（1）这些地区周围国家的发展水平；（2）捕捞和水产养殖管理措施；（3）非法、未报告和无管制捕鱼的数量；（4）渔业种群的状况；（5）内陆水域的可用性和质量以及捕捞物种的组成。

图 21 各区域对世界水产产量的贡献（百万吨）

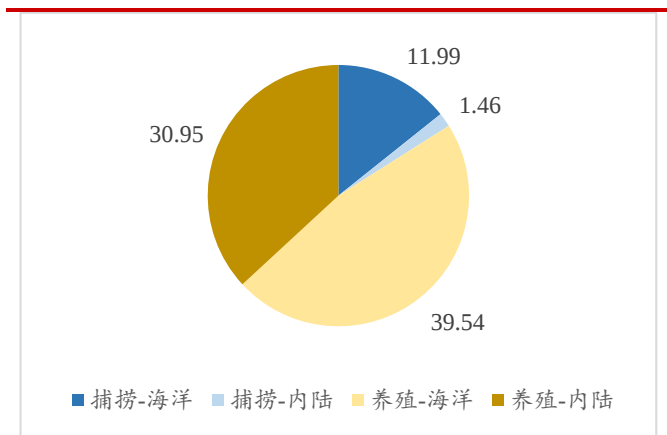


资料来源：FAO，华西证券研究所

3.2. 亚洲水产看中国

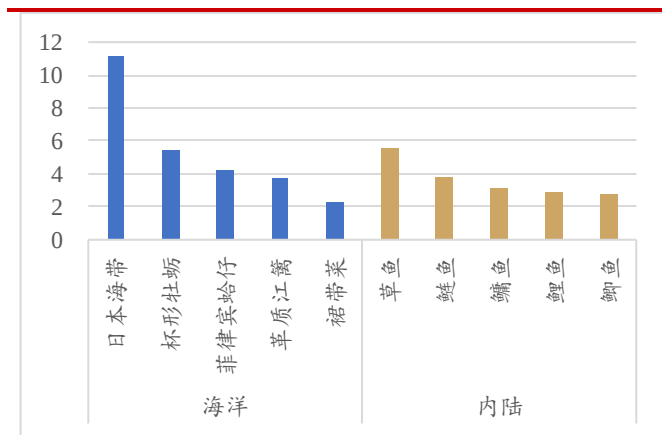
中国是世界水产品的主要来源国，2020 年，中国水产品产量占世界总产量的 39.12%，位居世界第一，其中捕捞量占比为 15%，养殖量占比为 57%，可见中国是世界水产养殖大国。据 FAO，2020 年中国水产品产量为 83.93 百万吨，其中捕捞量 13.45 百万吨，占比 16.02%，养殖量 70.48 万吨，占比 83.98%。水产养殖中，海洋养殖产量为 39.54 百万吨，占总产量的比例为 47.11%，内陆养殖产量为 30.95 百万吨，占总产量的比例为 36.87%。从养殖品种来看，2020 年，中国海洋养殖品种共计 45 个，产量前五的品种分别为日本海带（11.16 百万吨）、杯形牡蛎（5.42 百万吨）、菲律宾蛤仔（4.22 百万吨）、革质江篱（3.69 百万吨）和裙带菜（2.26 百万吨），占海洋养殖产量的 67.66%。2020 年，中国内陆水产养殖品种共计 44 个，产量前五的品种分别为鲢鱼（3.81 百万吨）、鳙鱼（3.13 百万吨）、鲤鱼（2.90 百万吨）、鲫鱼（2.75 百万吨）和鲫鱼（2.75 百万吨），占内陆水产养殖总量的 58.68%。

图 22 中国水产产量主要由养殖贡献（百万吨）



资料来源：FAO，华西证券研究所

图 23 中国海、陆主要养殖品种（百万吨）

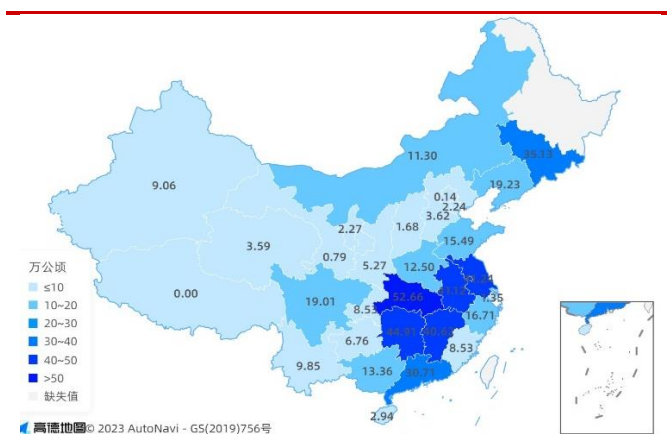


资料来源：FAO，华西证券研究所

2022 年，全国水产养殖面积 710.75 万公顷，同比增长 1.40%。其中，海水养殖面积 207.44 万公顷，同比增长 2.41%；淡水养殖面积 503.31 万公顷，同比增长 0.99%；海水养殖与淡水养殖的面积比例为 29.2：70.8。2022 年，我国淡水养殖面积 503.31 万公顷，其中湖北省 52.66 万公顷，排名全国第一，占全国淡水养殖面积的 10.46%，其次为湖南省（44.91 万公顷，占比 8.92%）、江苏省（41.24 万公顷，占比 8.19%）、安徽省（41.12 万公顷，占比 8.17%）和江西省（40.62 万公顷，占比 8.07%），前五大省份淡水养殖面积占比为 43.82%。2022 年，中国大陆有 10 个省市有海水养殖，海水养殖面积合计为 207.44 万公顷，面积最大的省份为辽宁省，海水养殖面积 67.72 万公顷，占总面积的 32.65%，其次为山东省（61.75 万公顷，占比 29.77%）、江苏省（17.22 万公顷，占比 8.30%）、福建省（16.80 万公顷，占比 8.10%）和广东省（16.66 万公顷，占比 8.03%），前五大省份海水养殖面积占比为 86.84%。

海水养殖中，超过 60% 的面积用于贝类养殖，其次为甲壳类，养殖面积占比为 14.47%，藻类和鱼类养殖面积合计超过 10%。淡水养殖中，主要为池塘，面积占比超过 52.15%，其次分别为水库和湖泊，面积占比分别为 28.76%和 13.68%。

图 24 中国 2022 年淡水养殖面积



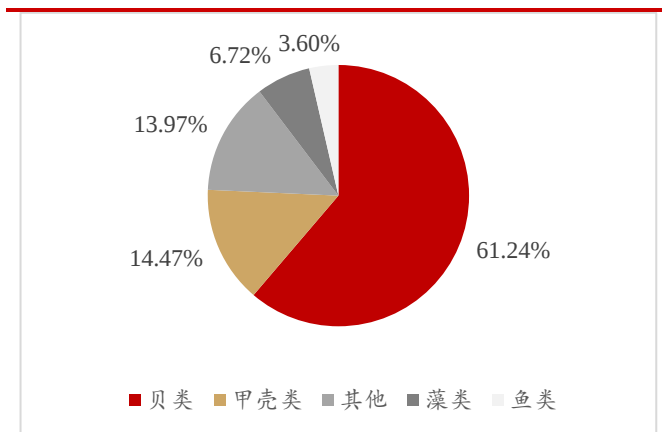
资料来源：中国渔业统计年鉴，华西证券研究所

图 25 中国 2022 年海水养殖面积



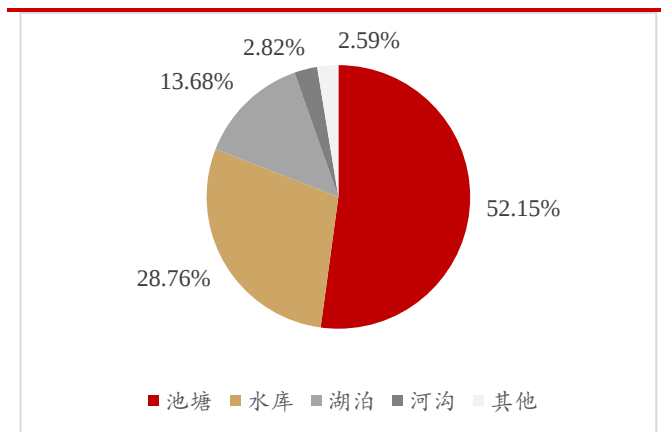
资料来源：中国渔业统计年鉴，华西证券研究所

图 26 海水主要养殖品种



资料来源：《2022 年全国渔业经济统计公报》，华西证券研究所

图 27 淡水主要养殖区域



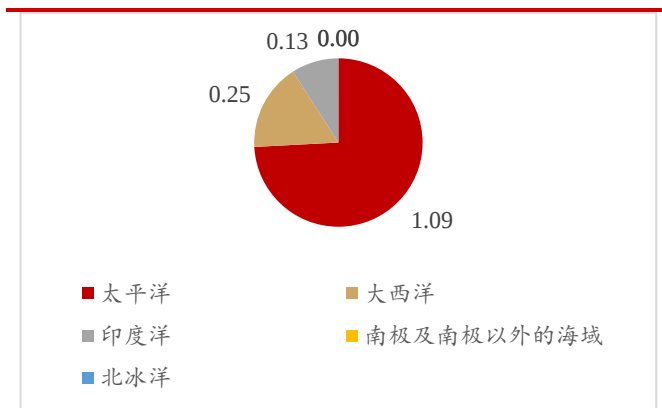
资料来源：《2022 年全国渔业经济统计公报》，华西证券研究所

3.3. 过量核素对鱼类种群有毁灭性威胁

研究表明，放射性核素的慢性辐射会对鱼类的发病率、繁殖能力及死亡率和寿命产生负面影响，较高的辐射剂量甚至会威胁整个种群的生存。发病率方面：Sazykina 和 Kryshev (2003) 研究揭示慢性辐射对鱼类发病率的影响具体体现在以下方面：(1) 血液成分的负面变化；(2) 对细菌/病毒感染的免疫反映减弱和延迟；(3) 对寄生虫侵害的抵抗力减弱；(4) 器官和组织等功能的负面变化。Kryshev 等 (2008) 模拟了长期暴露于电力辐射对鱼类种群造成的影响，结果显示，当辐射剂量为 10 mGy/天时，鱼群死亡率不受影响，但当高于 20mGy/天时，鱼群死亡率增加。**繁殖能力方面：**Kryshev 和 Sazykina (1998) 研究克什特姆事故对乌拉尔湖鱼类的放射性影响时发现，湖泊生态系统中最脆弱的环节是在早期发育阶段暴露于有害剂量辐射的底栖和植食性鱼类种群，这尤其会干扰鲤鱼和金鱼的繁殖过程。Sazykina 和 Kryshev (2003) 辐射对鱼类繁殖的影响包括对生育能力和繁殖力的影响，对生殖的影响表现为对生物体生命系统的损害，具体表现为：(1) 鱼类胚胎发育异常和死亡率增加；(2) 性腺形态和功能异常；(3) 不孕；(4) 畸形影响；(5) 受辐射生物健康后代减少。Kryshev 等 (2008) 的模拟实验表明，当辐射剂量为 10 mGy/天时，鱼群的繁殖能力降低了 23%。**寿命长短与种群存续方面：**Kryshev 等 (2008) 研究显示当辐射剂量高于 25mGy/天，鱼群不能维持种群规模，较高的辐射剂量会对生存造成显著的辐射影响。Sazykina 和 Kryshev (2003) 概述了慢性辐射暴露对鱼类的影响，结果显示超过一定阈值的辐射会对鱼类的免疫系统和生殖系统产生负面影响，5-10mGy/天剂量的慢性终身照射将导致鱼的寿命缩短。

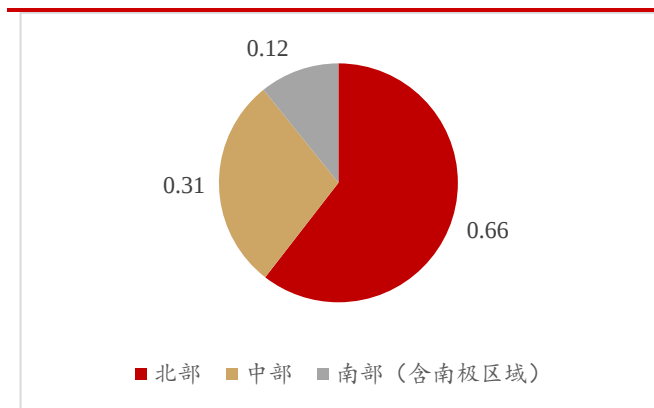
2020 年，太平洋贡献了 51%的水产品产量，其中 33.79%为捕捞，66.21%为养殖。从水产资源的分布来看，据 FAO 数据，2020 年，海洋贡献了 68.76%的水产产量，海洋水产品中有 74.16%来自太平洋，其中捕捞量 0.22 亿吨，养殖量 0.44 亿吨 (66.21%)，在太平洋的水产品分布中，有 60.49%来自太平洋北部 (包括 FAO 主要捕鱼区中太平洋西北部和东北部)。而福岛第一核电站刚好位于太平洋北部，核废水排海将直接影响北太平洋渔场，进而通过水循环、大气循环和食物链影响全球，进而影响全球的海水和淡水水产养殖业，但是影响时间和程度还有待未来验证。我们认为放射性核素对水产养殖的影响聚焦在两个方面：一方面是对水产资源的直接影响，包括水生动植物的生长、繁殖和种群的延续，如受到广泛关注的变异生物；另一方面是对消费者的影响，鱼类作为重要的蛋白来源，是居民饮食的重要组成部分，但放射性核素蔓延将带来信任危机，从而影响水产品的需求。

图 28 各大洋水产品产量贡献情况 (亿吨/鲜重)



资料来源: FAO, 华西证券研究所

图 29 太平洋渔业资源集中在北&中部 (亿吨/鲜重)



资料来源: FAO, 华西证券研究所

核素扩散, 海水养殖首当其冲。我国海水养殖种类丰富, 据《2022 年全国渔业经济统计公报》, 2022 年海水养殖水产产量为 2275.70 万吨, 其中鱼类 192.56 万吨, 甲壳类 195.25 万吨, 贝类 1569.58 万吨, 藻类 272.39 万吨, 其他类 272.39 万吨, 贝类贡献了最大产量, 2022 年产量占比为 68.97%。各项研究显示, 日本核废水排海后最终会扩散至我国各个海域, 但是放射性核素对海水养殖的影响还要看最终扩散后我国海域的放射性核素的浓度。核污水排海之后, 扩散至我国, 受到半衰期、稀释和沉淀等影响, 浓度会有所减轻, 但最终浓度几何, 对我国海水养殖业的影响程度到底有多大, 还有待观察。

短时间内, 淡水养殖或将受益于核废水排海。核废水排海后, 放射性核素可以通过水文运动被动迁移 (洋流、大气运动等), 也可以通过生物主动迁移 (鱼类洄游、动物洄游、光合作用等) 进入淡水养殖区域, 但福岛核废水排海后放射性核素进入淡水养殖区域需要经历较长时间和多道关卡, 在半衰期和沉淀、稀释等作用影响下, 预计对淡水养殖污染较小。由于核废水排放后直接影响海洋, 进而会直接影响海洋捕捞和海水养殖, 一方面海产品直接受到影响, 另一方面消费端海产品更容易受到信任危机, 从而利好淡水产品的消费, 因此我们认为目前来看, 淡水养殖将受益。

4. 淡水资源: 短期影响较小, 关注长期发展

据世界气象组织, 地球大约 70% 的面积被水体覆盖, 但 97% 的水在海洋中, 只有 3% 是淡水, 而其中 2/3 的淡水存于北极和南极的冰川中, 只剩下 1% 的淡水主要流入地下, 一小部分流入湖泊和河流。据世界银行, 2020 年, 世界可再生内陆淡水资源总量为 42808.60 十亿立方米, 其中中国 2812.90 十亿立方米, 占比 6.57%。

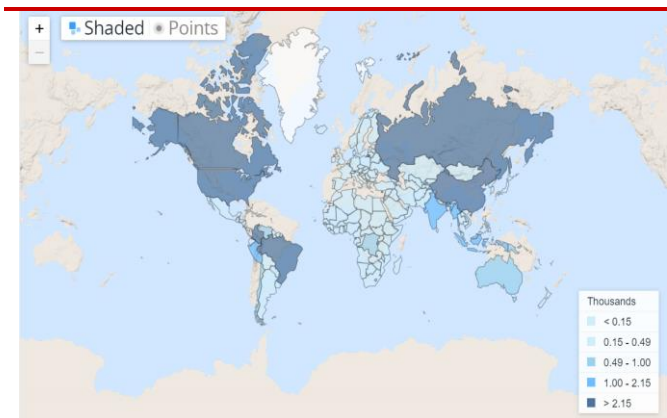
4.1. 全球淡水供给: 总量平稳, 分布不均

总量平稳, 分布不均。总体来说, 世界可再生内陆淡水资源总量相对平稳, 1992-2020 年, 世界可再生内陆淡水资源总量在 42600.00 十亿立方米-42808.60 十亿立方米区间内变化, 近年来有所增长。但淡水资源分布极端不均匀, 从国家层面来看, 2020 年, 可再生内陆淡水资源拥有量前十的国家分别为巴西、俄罗斯、加拿大、美国、中国、哥伦比亚、印度尼西亚、秘鲁、印度和缅甸, 淡水资源拥有量分别为 5661 / 4312 / 2850 / 2818 / 2813 / 2145 / 2019 / 1641 / 1446 / 1003 十亿立方米, 占全球淡水资源总量的比例分别为

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

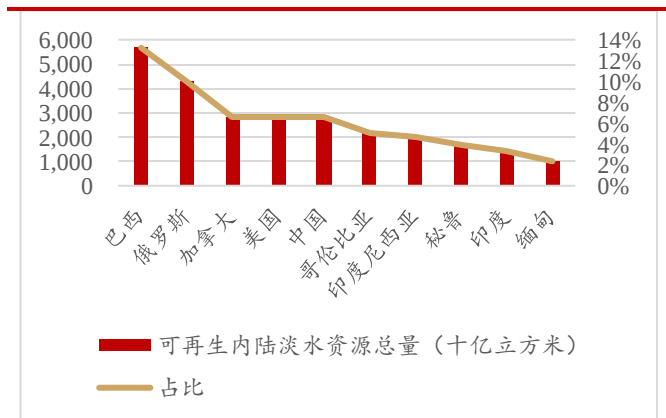
13.22%/10.07%/6.66%/6.58%/6.57%/5.01%/4.72%/3.83%/3.38%/2.34%，排名前十的国家淡水拥有量占世界总量的超过 60%，显示出全球淡水资源分布的极端不公平。

图 30 2020 年世界可再生内陆淡水资源分布



资料来源：FAO，华西证券研究所

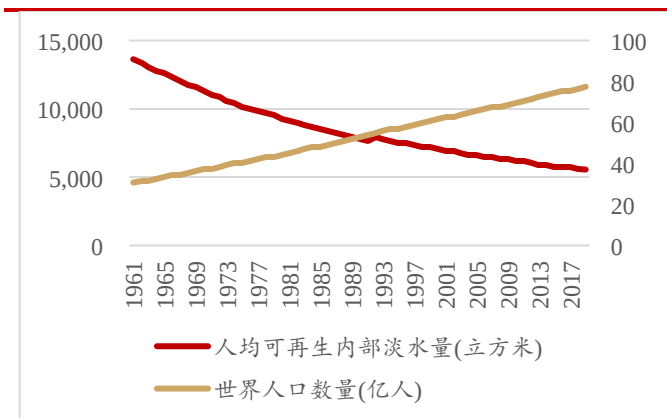
图 31 2020 年淡水资源拥有量前十的国家



资料来源：FAO，华西证券研究所

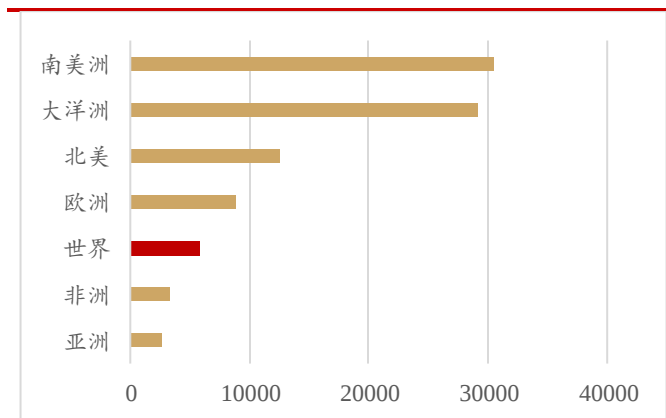
人口快速增长，世界人均可再生内部淡水资源拥有量降幅超过 50%。为了保持水资源的可持续水平，取水率必须低于淡水补充率。可再生内部淡水资源是指该国的内部可再生资源（内部河流流量和降雨产生的地下水）。因此，可再生的内部流量是水资源安全或稀缺的一个重要指标。如果淡水抽取率开始超过可再生能源流量，资源就会开始减少。1961-2019 年，世界人均可再生内部淡水资源呈现快速下降趋势，从 13631.56 立方米/人下降至 5555.38 立方米/人，降幅接近 60%，CAGR-1.54%。世界人均可再生内部淡水资源下降主要源于世界人口的快速增长，1961-2019 年，世界人口由 30.72 亿人增长至 77.43 亿元，增幅超过 150%，CAGR+1.61%。

图 32 1961-2019 世界人均可再生内部淡水资源变化



资料来源：FAO，华西证券研究所

图 33 2015 年各大洲人均可再生淡水资源(立方米)



资料来源：FAO，华西证券研究所

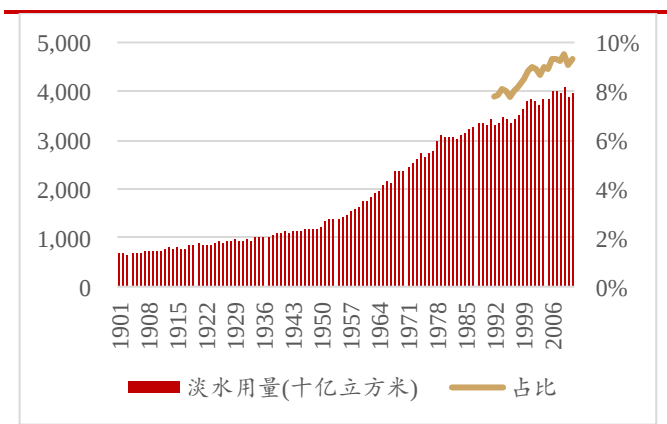
4.2. 全球淡水需求：用水量急剧增加，用水主力为农业

随着全球人口增长和经济向资源密集型消费模式转变，自 1900 年以来，全球淡水使用量——农业、工业和市政用途的淡水用量——增加了近 6 倍。20 世纪 50 年代

以来，全球淡水使用量急剧上升，但自 2000 年以来似乎趋于平稳，或用量增速有所放缓。从全球淡水用量占淡水总量的比例来看，1992-2014 年，占比由 8% 增加至 9%（2009 年一度达到 10%）。

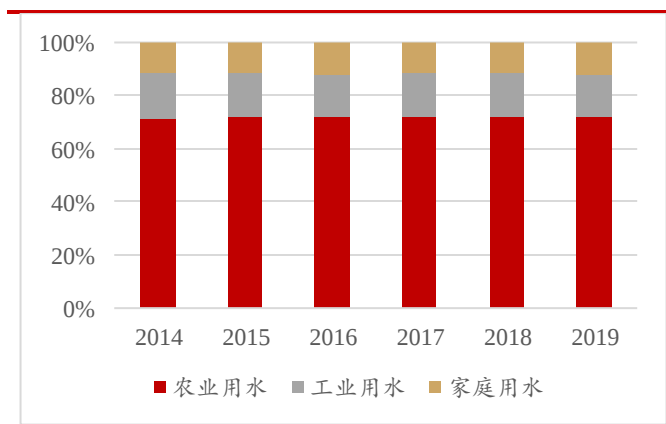
从世界用水分类来看，水是全球农业的重要投入品，2014-2019 年，世界农业用水占总用水量的比例维持在 72% 左右。2010 年，印度是世界上最大的农业用水国，年用水量近 7000 亿立方米，随着人口和粮食总需求的持续增长，印度的农业用水量一直在快速增长，在 1975 年至 2010 年间几乎翻了一番。中国是世界第二大农业用水国，2015 农业用水量约为 3850 亿立方米，其农业淡水量在最近一段时期内大致趋于平稳。2015-2019 年，世界工业用水量占比为 16%，在全球范围内，美国是最大的工业用水国，年工业用水量超过 3000 亿立方米，远远超过世界第二大工业用水国中国，其年工业用水量为 1400 亿立方米。2014-2019 年世界家庭用水量占比维持在 12%。

图 34 1901-2014 全球淡水用量及占总量比例情况



资料来源：世界银行，华西证券研究所

图 35 世界淡水使用分类



资料来源：世界银行，华西证券研究所

4.3. 供需失衡，多国面临水资源危机

随着全球人口的增长和水需求（农业、工业和家庭用水需求的增加）的增加，水压力和缺水风险成为普遍关注的问题。据世界银行，我们可以使用淡水使用量占内部可再生水资源总量的比例来衡量水资源压力，联合国粮农组织按照以下方式对水资源压力情况进行了分类：当水资源使用量占总量的比例小于 25%，则该国不存在水资源紧张情况；25%-50% 压力较轻；50%-70% 压力中等；75%-100% 水资源压力高；大于 100% 则为极高。

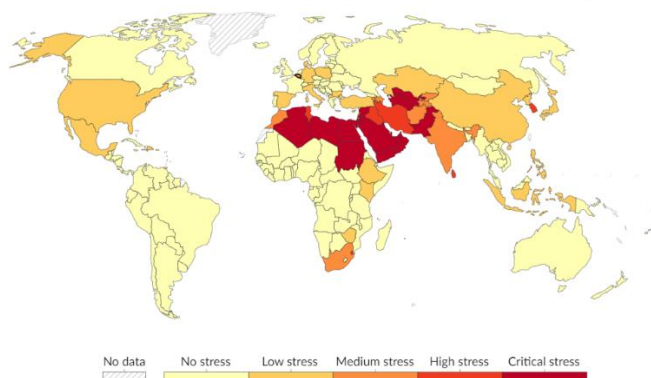
表 3 联合国粮农组织对水资源压力情况的定义和分类

水资源压力	无	较轻	中等	高	极高
淡水用量/可再生淡水资源总量	<25%	25%~50%	50%~75%	75%~100%	>100%

资料来源：世界银行，华西证券研究所

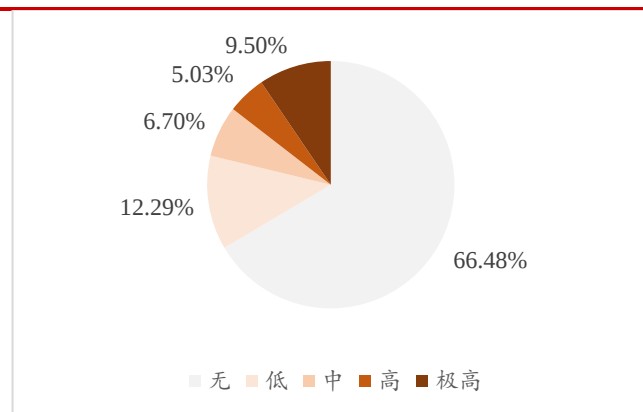
据世界银行数据，2020 年，中东、北非和南亚的几个国家水资源紧张程度极高，水资源紧张情况最高的科威特淡水使用量占可用淡水资源的比例超过了 3800%。另外也有许多国家，如沙特阿拉伯、埃及、阿拉伯联合酋长国、叙利亚、巴基斯坦和利比亚，其淡水使用量占水资源总量的比例远远超过 100%——这意味着这些国家要么从现有的含水层资源中不可持续地进行开采，要么通过海水淡化生产出很大一部分水。南亚的大多数国家都面临着严重的水压力；东亚、美国以及南欧和东欧大部分地区水资源压力为中到高。北欧、加拿大、拉丁美洲大部分地区、撒哈拉以南非洲和大洋洲的水压力通常为低或低至中等。我们对 2020 年 179 个国家的水资源压力情况进行了统计，66.48% 的国家不面临水资源紧张压力，12.29% 的国家压力较低，6.70% 的国家压力中等，14.53% 的国家面临高或极高的压力。

图 36 2020 年各国淡水用量占可用水量比例情况



资料来源：世界银行，华西证券研究所

图 37 全球淡水压力情况

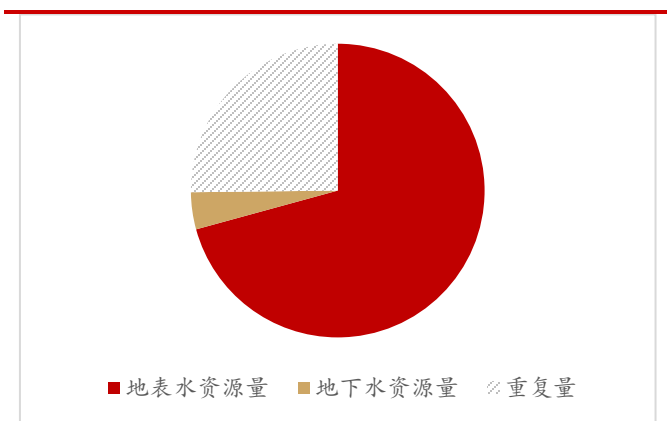


资料来源：世界银行，华西证券研究所

4.4. 中国水资源分布：受降水影响，分布极为不均

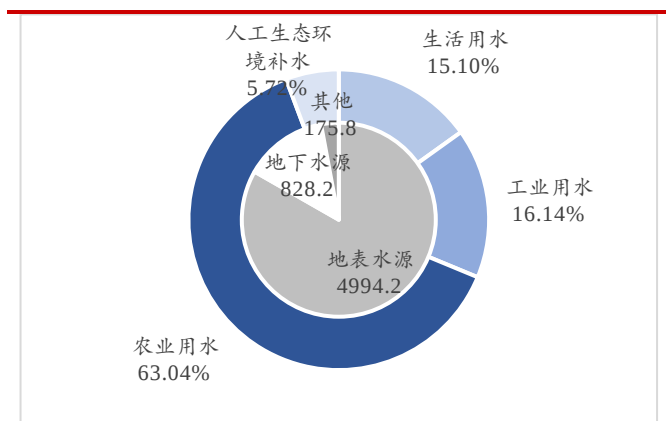
地表水资源是我国水资源的主要构成部分，2022 年地表水源供水占比超过 80%。据《2022 年中国水资源公报》，2022 年全国水资源总量为 27088.1 亿 m^3 ，比多年平均值偏少 1.9%，比 2021 年减少 8.6%。其中，地表水资源量为 25984.4 亿 m^3 ，地下水资源量为 7924.4 亿 m^3 ，地下水与地表水资源不重复量为 1103.7 亿 m^3 。2022 年，全国供水总量和用水总量均为 5998.2 亿 m^3 ，占全国水资源总量的 22.14%，较 2021 年增加 78.0 亿 m^3 。其中，地表水供水量为 4994.2 亿 m^3 ，地下水源供水量为 828.2 亿 m^3 ，其他（非常规）水源供水量为 175.8 亿 m^3 。用水结构中，农业用水量最大，占总用水量的 63.04%，其次是工业用水，占比 16.14%，生活用水和人工生态环境补水占比分别为 15.10%/5.72%。

图 38 2022 年我国水资源情况



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

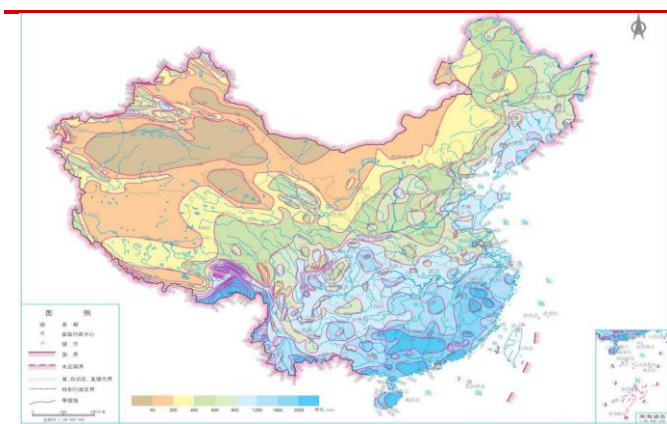
图 39 2022 年全国供水&用水情况(亿立方米)



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

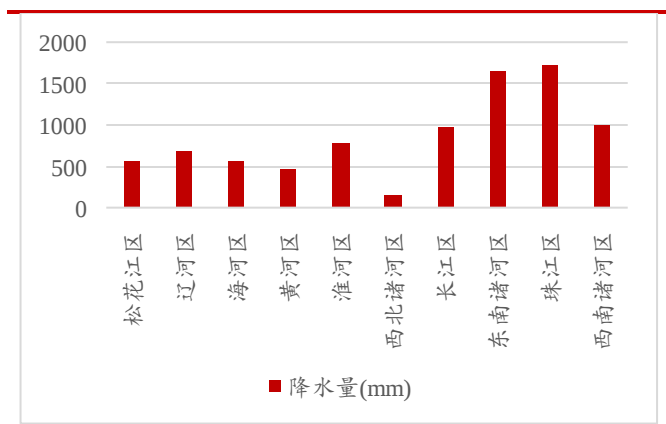
我国降水量从东南沿海向西北内陆逐渐渐少。按照《2022 年水资源公报》，我国有 10 个水资源一级区，其中北方 6 区指松花江区、辽河区、海河区、黄河区、淮河区区和西北诸河区，南方 4 区指长江区（含太湖流域）、东南诸河区、珠江区和西南诸河区。水资源总量是指当地降水形成的地表和地下产水总量，即地表径流量与降水入渗补给地下水量之和，因此降水量对于水资源总量至关重要。我国降水量呈现东南多西北少的现象，从水资源一级区的降水量情况来看，2022 年，南 4 区降水量为 1145.8mm，北 6 区降水量仅 340.6mm。从细分区域来看，2022 年珠江区降水量为 1729.3mm，居 10 区之首，东南诸河区降水量为 1649.8mm，为全国第二，西南诸河区和长江区降水量分别为 994.2mm/969.6mm，排第三、四位。北方 6 区降水均偏少，淮河区 2022 年降水量为 783.1mm，居北 6 区之首，西北诸河区 2022 年降水量仅 154.5mm。

图 40 2022 年全国年降水量等值线



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

图 41 2022 年水资源一级区降水情况



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

我国水资源分布受降水量的深刻影响，主要分布在南 4 区，2022 年南 4 区水资源量占水资源总量的 78.01%，从细分区域来看，2022 年长江区水资源量为 8590.5 亿立方米，据 10 个水资源一级区之首，分别占全国水资源总量/南 4 区水资源量的 31.71%/40.65%，珠江区水资源量为 5423.0 亿立方米，分别占全国水资源总量/南 4 区水资源量的 20.02%/ 25.66%，西南诸河区水资源量为 5166.0 亿立方米，分别占全国水资源总量/南 4 区水资源量的 19.07%/24.45%，东南诸河区水资源量为 1953.0 亿立方米，分别占全国水资源总量/南 4 区水资源量的 7.21%/9.24%。北 6 区水资源量

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

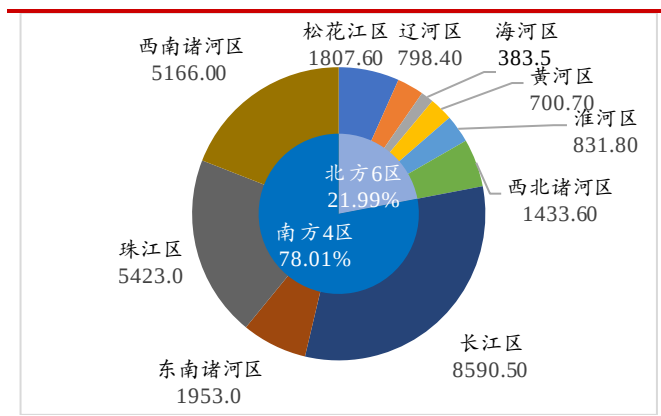
相对较少，2022 年北 6 区水资源量占全国总量的 21.99%，其水量仅为南 4 区的 28.18%。

图 42 全国水资源一级区示意图



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

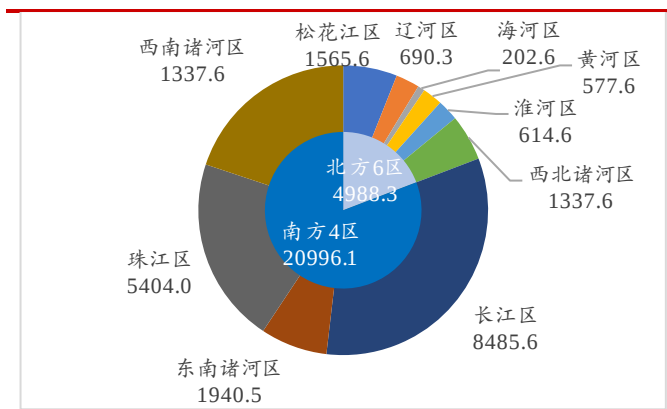
图 43 2022 年水资源一级区水资源总量(亿立方米)



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所

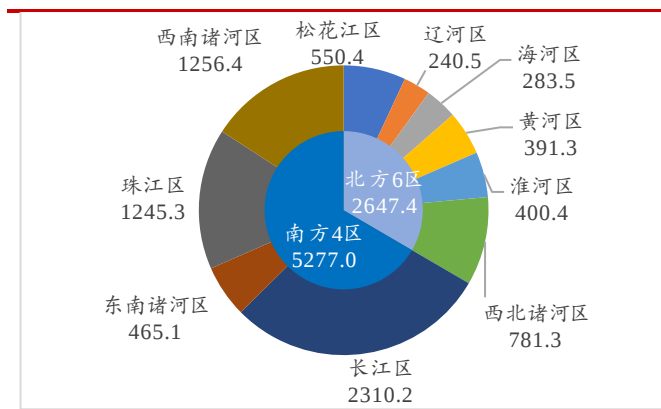
北 6 区和南 4 区的地表水分布相比地下水分布更加不均匀。2022 年北 6 区地表水资源量占水资源总量的不到 20%，南 4 区地表水资源量占地表水资源总量的超过 80%，主要原因在于：(1) 南 4 区降水更多；(2) 河网更丰富。2022 年北 6 区地下水资源量占地下水资源总量的 33%，南 4 区占比为 64%。

图 44 2022 年水资源一级区地表水资源量(亿立方米)



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所；注：不考虑地表地下重复量

图 45 2022 年水资源一级区地下水资源量(亿立方米)



资料来源：《2022 年水资源公报》，华西证券研究所；不考虑地表地下重复量

从水资源量的省级行政区划分布来看，中国南部和西部省份以及黑龙江水资源量较多，中部、东部及北部省份水资源量偏少。2022 年，西藏自治区水资源总量 4139.7 亿立方米，占全国水资源总量的 15.28%，为我国水资源量最多的省级行政区，占比较第二名多 7.07pct，广东、四川和广西水资源量均略高于 2200 亿立方米，占全国水资源总量的比例在 8.15%-8.21%。水资源拥有量前五的省级行政区占全国水资源总量的接近 50%，水资源拥有量前十的省级行政区占全国水资源总量的接近 70%，反映我国水资源分布极为不均。

图 46 水资源总量分布图(亿立方米)

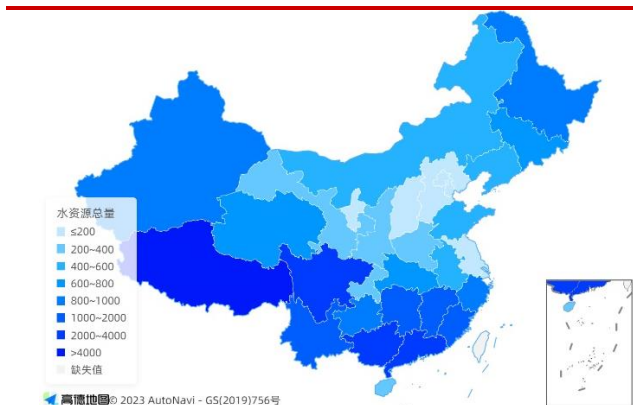
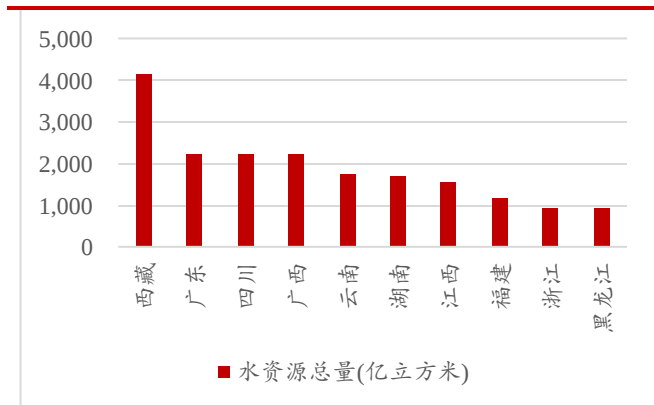


图 47 2022 年水资源总量前十的省级行政区



总结来看，我国淡水资源主要为地表水，2022 年地表水源供水占比超过 80%。从水资源的分布来看，水资源分布与降水量情况及河网分布具有密切联系，受地形及地理位置影响，我国东南降水多，西北降水少，水资源一级区中，南 4 区水资源量占比超过 78%，从水资源量的省级行政区划分布来看，中国南部和西部省份以及黑龙江水资源量较多，中部、东部及北部省份水资源量偏少，水资源拥有量前十的省级行政区占全国水资源总量的接近 70%，我国水资源分布极为不均。

4.5. 放射性物质对淡水资源的影响

核废水排放后对淡水资源的影响在全球水循环中体现。全球水循环是多环节的自然过程，全球性水循环涉及蒸发、大气水分输送、地表水和地下水循环以及多种形式的水量储蓄。降水、蒸发和径流是水循环过程的三个最主要环节，这三者构成的水循环途径决定这全球的水量平衡，也决定这一个地区的水资源总量。蒸发是水循环中最重要的一环之一。由蒸发产生的水汽进入大气并随大气活动而运动，大气中的水汽主要来自海洋，大气层中水汽的循环是蒸发-凝结-降水-蒸发的周而复始的过程，海洋上空的水汽可被输送到陆地上空凝结降水，核废水排放入海后，放射性核素将通过大气循环被输往全球。由于核废水排放到水分蒸发到凝结输送到陆地需要经历相当的过程，其对淡水资源的影响尚不可知，但一旦排放，放射性核素对水资源的影响只是时间早晚的问题，各国需要加强对于淡水资源核素的检测。

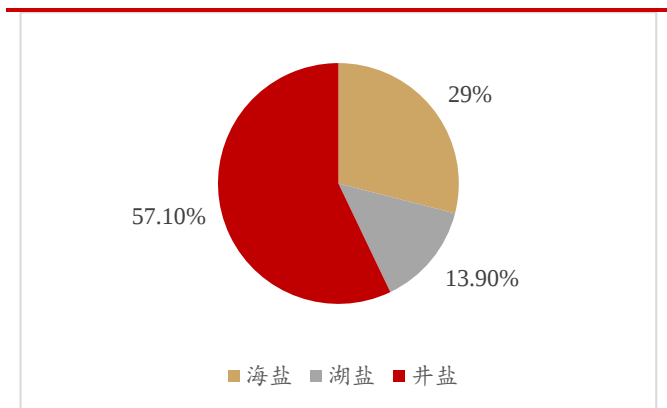
5. 放射性物质对海水提盐的影响

据前瞻网，根据盐产品的原料来源，可分为海盐、湖盐和井矿盐，其中海洋是指将海水引入露天的盐田中经滩晒工艺制得的盐，其生产供需包括纳潮、制卤、结晶、收盐、堆坨等，通常需占用大量的滩涂资源。据光明网，日本核废水消息推出后，韩国海盐需求量激增，部分消费者和零售商开始囤积海盐，韩国政府向市场投放储备海盐，以应对海盐市场的波动。

韩国由于资源结构，食用盐消费中以海盐为主，而我国目前尚无需担心核废水排放会带来食用盐紧缺。据中国盐业协会，我国已是世界第一产盐大国，目前全国盐产

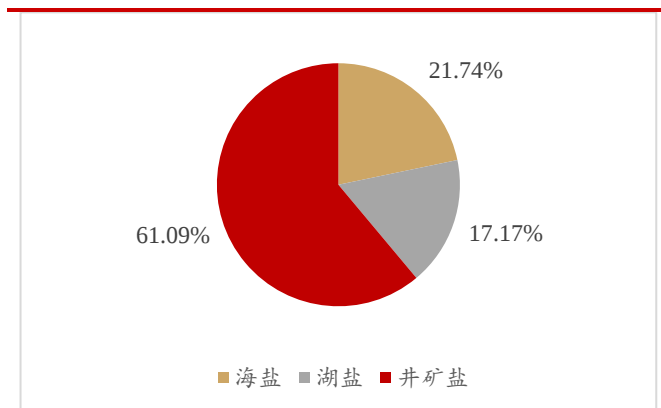
能 12062 万吨，其中海盐占比 29.00%，湖盐占比 13.90%，井矿盐占比 57.10%；原盐产量 9775 万吨，其中海盐占比 21.74%，湖盐占比 17.17%，井矿盐占比 61.09%。食盐产能 5000 万吨，近年食盐产量和消费量维持在 1200 万吨左右。我国三大盐种的产能产量足以满足全国人民的用盐需求，根据市场需要，食盐定点生产企业随时可以将原盐加工成食盐；食盐定点批发企业也有能力保障产品配送。

图 48 我国盐产能结构



资料来源：中国盐业协会，华西证券研究所

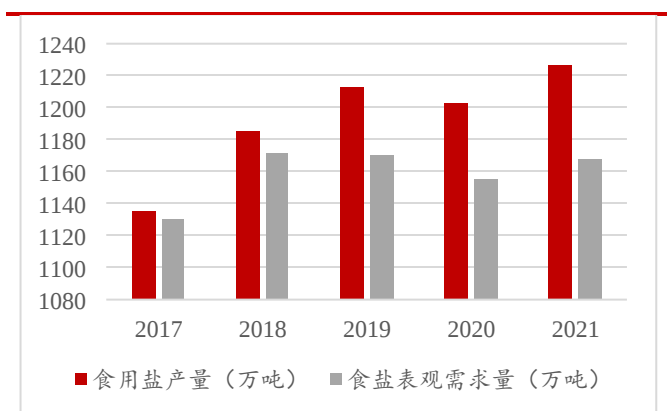
图 49 我国原盐产能结构



资料来源：中国盐业协会，华西证券研究所

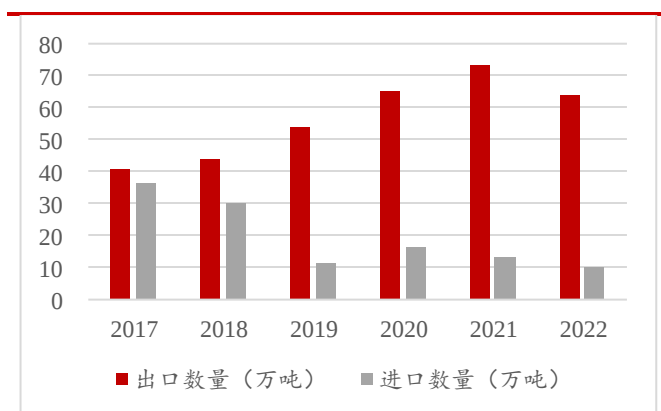
从我国食用盐供需情况来看，我国食用盐行业处于供大于求的情况。据观研天下数据，2021 年我国食用盐产量为 1227.3 万吨，食用盐表观需求量为 1167.5 万吨。我国食用盐对外贸易中，主要以出口为主，2017-2022 年，我国食用盐进口总体呈现下降趋势，2017-2021 年，食用盐出口量从 40.82 万吨增长至 73.12 万吨，2022 年回落至 64.07 万吨。中国大陆食用盐主要出口至东亚/东南亚的岛国、半岛国家或沿海国家，另有部分出口至中国香港和中国台湾，其中韩国出口数量占总出口量的 41.60%，是我国食用盐第一大出口国，前五大出口国出口量占比为 88.29%。我国的食用盐主要从澳大利亚进口，2022 年进口量占进口总量的 94.11%，其次是俄罗斯，进口量占比为 3.70%。

图 50 2017-2021 我国食用盐产量及表观需求量



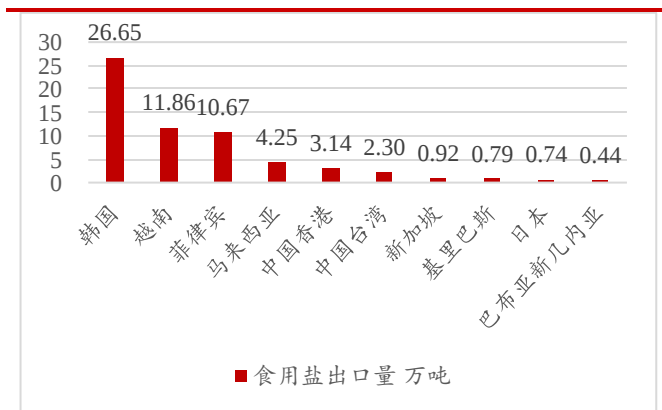
资料来源：观研天下，华西证券研究所

图 51 2017-2022 年我国食用盐进出口情况



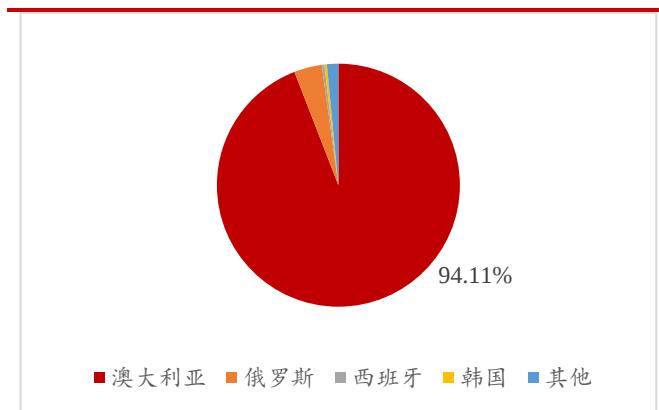
资料来源：海关总署，华西证券研究所

图 52 2022 年我国食用盐出口情况



资料来源：海关总署，华西证券研究所

图 53 我国主要从澳大利亚进口食用盐



资料来源：海关总署，华西证券研究所

由于海水提盐需要直接用到海水，日本核废水排放后，将会由远及近影响海水，势必会对海水提盐带来影响，但由于放射性核素在蔓延的途中会有沉淀和稀释，其影响程度不同，我们判断，从水平来看，离核废水排放点越近的受污染越严重，越远的地方受污染程度较轻；从垂直面来看，由于核素沉淀，底层海水相比于表层海水来说受污染更严重，因此海水提盐虽然会受到核废水排放的影响，但影响程度及范围还有待后续研究和验证。目前我国食用盐供给充足，尚无需担心食用盐紧缺的情况，另外对于我国食用盐生产企业来说，核废水排海影响海水提盐的背景下，也存在着机遇，核废水排放，韩国民众出现恐慌性抢盐且韩国是中国食用盐第一大出口国，受核废水排海持续影响，中国食用盐出口量有望增加，含有出口业务的食用盐生产企业有望受益。

6. 投资建议

日本核废水排海后带来了一系列连锁反应，包括韩国民众疯抢海盐、中国全面禁止进口日本水产品等，深层次来看，是污染物排海对于消费者选择的影响和对某些产品消费信心的打击，但这也为淡水养殖大国中国提供了新的机遇，淡水产品作为海产品的替代品，核废水排海情况下消费者有望转向消费更多淡水产品，淡水养殖企业或水产品加工企业有望受益，受益标的如国联水产、百洋股份、大湖股份等。淡水养殖的长期发展势必会带动水产饲料需求的增长，长期来看也可关注水产料或特水料有关的公司，如粤海饲料、海大集团等。另外也可以关注核废水排海下中国食用盐出口情况的变化及食用盐生产相关公司。

7. 风险提示

人民币汇率波动的风险：对于有出口业务的公司主要采用美元结算，若人民币对美元汇率短期内大幅波动仍可能对公司的经营业绩产生影响。

人民币汇率波动的风险，原料价格及产品价格波动风险：水产品养殖受市场预期、饲料价格、养殖季节性和周期性等因素影响，如果出现原料供应不稳定会对相关企业产能利用带来不利影响，产品价格波动也会影响公司盈利能力。

食品安全风险：随着经济发展和消费观念改变，消费者对食品安全越来越重视，国家也陆续出台多项政策保障食品安全，若企业管理不善出现食品安全问题将导致企业出现声誉风险进而影响业绩。

8. 参考文献

- [1]. 林武辉,余克服,杜金秋等.日本福岛核废水排海情景下海洋生态环境影响与应对[J].科学通报,2021,66(35):4500-4509.
- [2]. 董宇辰,秦松,陈柯旭等.人工放射性核素在海洋鱼类中的富集、分布及放射损伤研究进展[J].大连海洋大学学报,2022,37(06):1066-1075.DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2021-316.
- [3]. 吴俊文,陈吉生,赵化德等.福岛第一核电站事故及核污水排海进入中国海路径及其影响[J].海洋科学,2022,46(06):135-144.
- [4]. Sundbom M, Meili M, Andersson E, et al. Long-term dynamics of Chernobyl 137Cs in freshwater fish: quantifying the effect of body size and trophic level[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(2): 228-240.
- [5]. Fowler S W, Fisher N S. Radionuclides in the biosphere[M]//Radioactivity in the Environment. Elsevier, 2005, 6: 167-203.
- [6]. Buesseler K O. Fishing for answers off Fukushima[J]. Science, 2012, 338(6106): 480-482.
- [7]. Johansen M P, Ruedig E, Tagami K, et al. Radiological dose rates to marine fish from the Fukushima Daiichi accident: the first three years across the North Pacific[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(3): 1277-1285.
- [8]. Belharet M, Estournel C, Charmasson S. Ecosystem model-based approach for modeling the dynamics of 137 Cs transfer to marine plankton populations: application to the western North Pacific Ocean after the Fukushima nuclear power plant accident[J]. Biogeosciences, 2016, 13(2): 499-516.
- [9]. Buesseler K, Dai M, Aoyama M, et al. Fukushima Daiichi-derived radionuclides in the ocean: transport, fate, and impacts[J]. Annual review of marine science, 2017, 9: 173-203.
- [10]. Horiguchi T, Kodama K, Aramaki T, et al. Radiocesium in seawater, sediments, and marine megabenthic species in coastal waters off Fukushima in 2012–2016, after the 2011 nuclear disaster[J]. Marine environmental research, 2018, 137: 206-224.
- [11]. Sazykina T G, Kryshev A I. EPIC database on the effects of chronic radiation in fish: Russian/FSU data[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2003, 68(1): 65-87.
- [12]. Kryshev A I, Sazykina T G, Sanina K D. Modelling of effects due to chronic exposure of a fish population to ionizing radiation[J]. Radiation and environmental biophysics, 2008, 47: 121-129.
- [13]. Kryshev I I, Sazykina T G. Radioecological effects on aquatic organisms in the areas with high levels of radioactive contamination: environmental protection criteria[J]. Radiation Protection Dosimetry, 1998, 75(1-4): 187-191.
- [14]. YI LIU, XUE-QING GUO, SUN-WEI LI, et al. Discharge of treated Fukushima nuclear accident contaminated water: macroscopic and microscopic simulations[J]. 国家科学评论 (英文版), 2022, 9(1): 9-11.

分析师与研究助理简介

周莎：FRM，四川大学应用数学系本科，南开大学应用数据系硕士；四年消费行业买方研究经历，五年农林牧渔卖方研究经历；曾先后任职于红塔红土基金、国海证券、招商证券、国金证券、太平洋证券，带领团队获得2018年中国证券报金牛奖农林牧渔行业第二名。2019年10月加盟华西证券研究所，担任农林牧渔行业首席分析师。2020年获得中国证券报金牛奖、第二节新浪金麒麟农林牧渔新锐分析师第二名、第八届金牌分析师农林牧渔行业第三名、东方财富最佳分析师农林牧渔行业第一名。2021年度获得21世纪金牌分析师农林牧渔行业第五名、第九届金牌分析师农林牧渔行业第四名。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%
行业评级标准		
以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

华西证券免责声明

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。