

687143

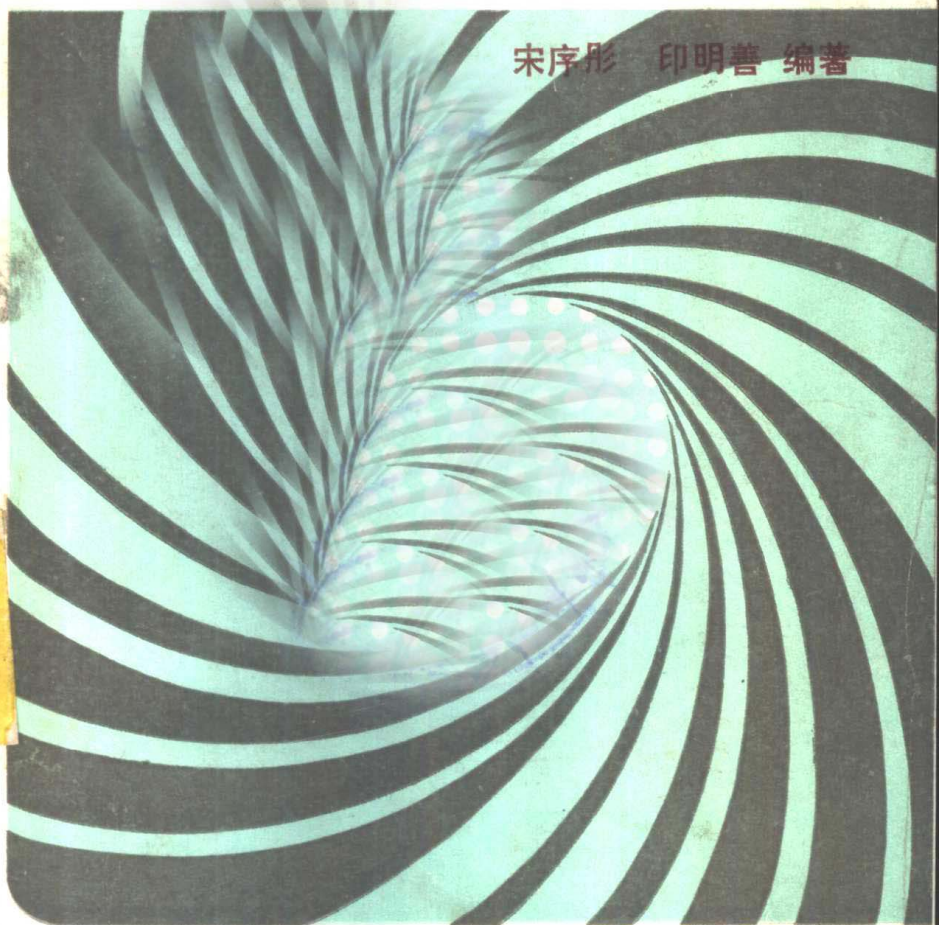
5231

3007

苦咸水淡化

太阳能和电渗析淡化法

宋序彤 印明善 编著



31

07

5251
5251

苦 咸 水 淡 化

太阳能和电渗析淡化法

宋序彤 印明善 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书着重介绍了太阳能和电渗析法淡化苦咸水的基本原理、设备构造、性能特点、工艺计算、运行管理、常见故障和设备维修等内容,同时对涉及到的一些基础知识也作了介绍。书中还附有不少实物照片。

在绪论中,还简要介绍了我国苦咸水的分布、特点和含盐量的快速测定法,对于其他苦咸水淡化方法也作了简要叙述。

本书可供广大苦咸水地区的工矿企业、城镇、农村从事水处理工作的人员学习,对于给水排水和环境保护的工程技术人员也有参考价值。

苦 咸 水 淡 化

太阳能和电渗析淡化法

宋序彤 印明善 编著

责任编辑 杨淑兰

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1983年2月第一次印刷 印张: 4 1/4 插页: 1

印数: 0001—2,100 字数: 91,000

统一书号: 13031·2135

本社书号: 2914·13—4

定 价: 0.65 元

前 言

我国西北五省区(甘肃、青海、宁夏、新疆和陕西),华北东部和某些滨海地区有大面积苦咸水地域分布。特别是西北几省区,由于干旱缺雨,蒸发量大,形成了很多缺水或仅有苦咸水的地区,极大地影响了这些地区资源的开发、工农业生产的发展、国防建设和居民生活用水。直到目前,这一问题在上述大部分地区仍未得到妥善解决。因此,介绍和普及有关苦咸水淡化技术知识,研究和推广行之有效的经济合理的苦咸水淡化方法,已成为摆在我们面前的迫切需要解决的问题。

目前国外在生产中已广泛采用蒸馏、电渗析、反渗透和太阳能等多种方法淡化苦咸水。我国近年来在这方面也进行了大量的研究工作,取得了可喜的成果,其中太阳能淡化法和电渗析淡化法发展较快,技术较为成熟,并积累了相当丰富的经验。为了更广泛地普及这两项技术,我们编写了本书。在编写过程中,除述及了必要的基础知识外,还结合作者在苦咸水地区所进行的工作,着重讨论了苦咸水淡化设备的构造特点、工艺性能和操作管理要点,以供有关人员参考。书中第一篇太阳能淡化法由印明善同志执笔,绪论和第二篇电渗析淡化法由宋序彤同志执笔。

本书第一篇太阳能淡化法的部分内容来自中国科学院兰州化学物理研究所在西北试验场进行太阳能淡化苦咸水工作得到的有关资料,并承北京市环境保护科学研究所太阳能组审阅。第二篇电渗析淡化法部分内容吸取了国内有关单位淡

7066.1.8

化苦咸水方面的资料，并承一些电渗析器制造厂提供了多种电渗析器的照片；在定稿过程中，曾经上海市合成树脂研究所叶婴齐同志、北京市环境保护科学研究所刘录声同志和成都市市政工程设计院吴济华同志等审阅，并提出宝贵意见，在此一并表示诚挚谢意。

由于作者水平所限，书中错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

绪论	1
一、苦咸水和它的淡化意义	1
二、苦咸水淡化的一般方法	5
(一) 蒸馏法	5
(二) 冰冻法	6
(三) 电渗析法	7
(四) 反渗透法	7
(五) 其他淡化法	8
三、苦咸水总含盐量的简便检测法	9
(一) 应用电导率检测总含盐量	9
(二) 应用离子交换法检测总含盐量	12

第一篇 太阳能淡化法

一、什么是太阳能	14
二、怎样利用太阳能	15
三、太阳能淡化苦咸水的工作原理和流程	17
(一) 工作原理	17
(二) 蒸馏器中太阳辐射能的转换	17
四、太阳能蒸馏器的建造	19
(一) 蒸馏器的类型	19
(二) 蒸馏器的设计和施工	23
五、大气变化的影响	27
(一) 太阳辐射	27
(二) 风速	29
(三) 气温	30

(四) 降雨·····	31
六、设计因素的影响·····	32
(一) 苦咸水的深度·····	32
(二) 密封·····	33
(三) 淡水的泄漏·····	34
(四) 蒸馏器的隔热·····	35
(五) 顶棚设计·····	36
(六) 吸热材料·····	37
七、操作技术的影响·····	38
(一) 换水·····	38
(二) 苦咸水的预处理·····	39
(三) 去垢·····	39
(四) 玻璃顶棚的清洁·····	39
八、蒸馏器的造价·····	40
九、太阳能淡化苦咸水(海水)的优缺点·····	40
十、太阳能蒸馏器今后的发展趋势·····	43

第二篇 电渗析淡化法

一、概述·····	45
二、电渗析淡化苦咸水的基本原理及物理化学 过程·····	48
(一) 电渗析淡化苦咸水基本原理·····	48
(二) 电极反应和法拉第定律在电渗析过程中 的应用·····	53
(三) 几种迁移过程和对电流效率的影响·····	55
(四) 极化和极限电流密度·····	59
三、电渗析淡化设备和选择·····	65
(一) 膜堆部分·····	65
(二) 电极部分·····	79

(三) 夹紧装置部分·····	82
(四) 其他辅助设备·····	83
四、电渗析器的安装和系统选择·····	84
(一) 电渗析器的安装·····	84
(二) 电渗析淡化苦咸水系统选择·····	96
五、电渗析淡化苦咸水的一般工艺特性·····	103
(一) 电流强度与脱盐率、电耗和电流效率的关系·····	104
(二) 流速与脱盐率、脱盐量、电耗和压力损失的关系·····	105
(三) 进口含盐浓度与极限电流、脱盐率、脱盐量、电流效率和电耗的关系·····	108
(四) 温度与极限电流、脱盐率的关系·····	110
(五) 电渗析器各级脱盐率的关系·····	111
(六) 浓、淡水系统浓差对电流效率和电耗的影响·····	112
六、电渗析淡化站的设计要求和运行管理·····	113
(一) 水的预处理·····	113
(二) 电渗析淡化站的设计要求·····	116
(三) 电渗析器的运转和维护·····	118
(四) 电渗析器极化、结垢的防止和消除·····	121

附图 1—4

绪 论

在地面水或地下水中，当各种盐类总的浓度大于1000毫克/升时，通常称它为苦咸水或矿化水、高矿化水。水的苦咸味道，来自水中所含的各种盐类。当水中含有较多的硫酸镁和硫酸钙时，水呈苦涩味；当水中含有较多的氯化钠时，水则呈咸味。水中含盐量太少时，饮用起来也觉得淡而无味。但水中含有适量的碳酸钙或碳酸镁时，反而觉得甘甜可口。饮用含有少量盐分的水，对人体的健康是有益的。为日常生活饮用目的而淡化苦咸水，一般要求含盐量低于500毫克/升或1000毫克/升。为工业用淡化的苦咸水，应根据工艺具体要求，确定淡水含盐量（或硬度）标准。

一、苦咸水和它的淡化意义

地球上的水总共为十三亿六千万立方公里左右，而覆盖地球表面71%以上的海洋却聚集着全部水量的97.2%。海水虽多，但因含盐量过高，而不能直接饮用。陆地上的河流、湖泊等贮存的地面水约有一小半是苦咸水，而地下水也有相当一部分含盐量较高，它们主要分布在干旱、缺雨的荒漠和半荒漠地区。地球上可供人们使用的淡水只占总水量的0.64%左右。

我国苦咸水主要分布在西北干旱地区，主要包括甘肃、新疆、宁夏和内蒙古西部的干旱沙漠草原地带。这里年平均降雨量小于250毫米。内蒙古西部和新疆塔里木盆地等地区年

平均降雨量还不足100毫米，蒸发量高于降雨量几倍，甚至几十倍。据粗略统计，宁夏回族自治区苦咸水分布面积约占全区总面积的54.1%，甘肃约占全省总面积的43.9%。藏北高原和青海柴达木盆地，地形平坦，地下径流不良，受强烈的蒸发作用影响，也分布着大面积苦咸水地区。华北平原中部和东部，地下水也有较高含盐量，这一带属平原较低洼部分，地下水位距地表很浅，受强烈蒸发和海水浸灌影响，也形成了苦咸水。四川西部部分地区，地下水含盐浓度也较高，而且随着地层深度的增加，含盐浓度增加。另外，我国沿海一带，尤其是河流入海三角洲冲积层地区及滨海地区，都有苦咸水分布。

水在自然界循环中，经大气降雨（或雪）后，在地面和地下径流、渗透时，将土壤和岩石中可溶解的盐类带走。特别是在干旱、缺雨地区，受蒸发作用的影响，水中盐份不断浓缩，矿化度逐步增高，形成了苦咸水。滨海地区往往受海水直接影响，也会形成苦咸水。人类在生产中，由于灌溉不当或大量工业含盐水的排放，也会使局部地区水质恶化，含盐量增高。

在地下水运动较强烈、大气降水补给又较充裕的地区，大部分易溶盐类经过长久的历史年代已被冲走，水的含盐浓度较低，一般小于1000毫克/升。反之，在运动较为缓慢的循环区或停滞区，含盐量较高，一般在1000—5000毫克/升范围，而个别地区可高达几万、甚至几十万毫克/升。以甘肃和内蒙古河西九个县、旗的945个苦咸水水源为例，它们的含盐浓度范围统计见表1。

由于地面水和地下水流经的土壤和岩石成份不同，由于所处的地理、地质条件和相互补给条件不同，使得苦咸水有着多种不同的化学组成。一般说来，低含盐量水以重碳酸根

含盐浓度范围统计表

项 目	含盐浓度范围(毫克/升)			
	1001—2000	2001—5000	5001—10000	>10000
水样个数	603	310	30	2
占总水样个数比例	63.8%	32.8%	3.2%	0.2%

(HCO_3^-) 和钙、镁 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 离子为主, 随着含盐浓度的升高, 硫酸根 (SO_4^{2-})、氯根 (Cl^-) 和钾、钠 (K^+ 、 Na^+) 离子所占比例逐渐增加。表 2 列举了我国一些苦咸水的不同化学组成。

苦咸水对于人民的生产和生活都带来了极大的危害。不少苦咸水地区, 人们长年饮用涝池或水窖贮存的雨水和雪水, 用水量受到很大限制, 卫生条件也较差。例如甘肃省会宁县, 历史上以“山干水苦, 风多雨少”而著称。据记载, 一九二九年大旱, 全县四处逃水荒, 死亡人口近三分之一。解放后, 在党和政府的领导下, 采取了一些引水、打井、打窖等措施, 并着手总结、研究宜于普及的苦咸水淡化方法, 但是干旱、缺水的面貌仍没有得到根本改变。不少有着丰富苦咸水资源的地区, 仍然存在着“水流着, 人看着”的现象, 生产和生活用水问题仍然得不到妥善解决。个别农村地区在旱情严重时, 还曾靠国家派汽车拉运淡水, 渡过水荒。不少工矿企业和边远地区单位仍长年用汽车拉运淡水。例如新疆某矿区, 有丰富的苦咸水, 但矿区四千余人, 每日靠汽车拉运淡水二十余车次。个别单位为拉水甚至需往返百余公里, 使得每吨水价值高达十几元。这些都极大地影响了该地区资源的开发和利用, 影响了人民的生产和生活。因此, 研究和推广行之有效的苦咸水淡化方法确是一个需要急待解决的问题。

• • •

表2 我国一些地区苦咸水水源的化学组成举例*

离子组成 水源地	含盐总量 (毫克/升)	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺ +K ⁺		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		备注
		当量 (毫克/升)	百分比 (%)	当量 (毫克/升)	百分比 (%)	当量 (毫克/升)	百分比 (%)	当量 (毫克/升)	百分比 (%)	当量 (毫克/升)	百分比 (%)	当量 (毫克/升)	百分比 (%)	
天津塘沽	1040.7	8.0	2.8	3.7	2.1	317	95.1	464	53.4	48	7.0	200	39.6	
内蒙古阿拉善右旗	1666.1	46.4	9.0	52.1	16.7	440.2	74.3	359.4	22.9	440	35.6	320	35.1	
甘肃景泰县	2686.9	132.1	15.2	136.7	25.7	589.6	58.9	480	18.1	586	28.1	750	48.8	
内蒙古阿拉善右旗	3487.5	85.7	8.0	56.4	8.6	1027.6	83.4	490	14.9	1375.7	53.4	500	26.3	
青海乐都县	4546.0	468.1	33.1	195.7	22.8	716.2	44.1	286.8	6.8	2069.9	61.0	801.9	32.0	
宁夏同心县	5096.0	217.8	13.7	92	20.0	1142.7	66.3	323.4	6.7	2319.4	61.2	900.7	32.1	
甘肃金塔县	5152.5	278.5	18.1	112.8	12.0	1237.5	69.9	558.6	11.9	2720	73.6	245	9.0	
甘肃会宁县	10640.0	378.2	11.6	555.6	28.2	2987	60.2	209.3	2.2	3325.7	41.5	3177	55.4	
新疆乌鲁木齐某矿井	18282.0	526.7	9.0	626.8	17.6	4932	73.4	643.8	3.6	7007.9	49.9	4810	46.4	
新疆塔里木河	31751.3	107.6	1.0	841.5	13.1	10265	86.0	117.2	0.3	6052	23.6	14368	76.1	

* 表中所列水中主要离子含量,未包括全部离子。

二、苦咸水淡化的一般方法

目前国外发展的苦咸水淡化方法主要有蒸馏法、电渗析法、反渗透法、冰冻法、离子交换法、水合物法以及萃取法等，但只有前三种方法已广泛在生产中应用，其他还处于研究、试用阶段。各种方法都有其不同特点和适应性。下面分别加以叙述。

(一) 蒸馏法

苦咸水受热汽化后，经冷凝而得到淡水，这就是蒸馏法的基本原理。这一淡化过程使水经历了由液相变为汽相，再变回到液相的转化过程。所得淡水含盐量低，一般不超过100毫克/升。由于这种方法所耗能量受原水含盐量的影响小，因而它特别适合于淡化高浓度苦咸水和海水。目前世界上由海水制取淡水的装置大部分都是采用蒸馏法。它尤其适于与热电厂、原子能发电厂或其他有余热的生产装置联合建设，适于大规模工业化生产。由于这种方法处理的是高含盐量的热水，因此，设备的腐蚀相对其他方法更严重些。同时，由于淡化过程中部分水不断浓缩，在设备传热面上易于析出某些难溶盐类，形成垢物。这些问题通过各种技术措施得到了不同程度的解决，使得它已在工业生产中得到广泛的应用。

根据蒸馏法所采用的工艺流程、设备和能源的不同，又可分为多级闪急蒸馏法、竖管多效蒸馏法、蒸汽压缩蒸馏法和太阳能蒸馏法等。多级闪急蒸馏法近些年来发展较快，技术较成熟，世界上已建造的日产十余万吨淡水的大型厂即采用此法。我国也正在这方面积极进行研究和试验。太阳能蒸馏法以太阳辐射热为能源，这种方法设备简单、管理方便、操作

费最少、制水成本低廉，适宜解决人口分散、交通不便的某些地区的用水问题。但其设备单位面积产水量还需进一步提高。

（二）冰冻法

由于苦咸水结冰时，水呈冰晶析出，水中盐类被排除在冰晶之外，将冰晶熔化即得淡水。这一淡化过程使水经历了由液相变为固相、再变回液相的转化过程。它同蒸馏法一样，由于淡化所耗能量受原水含盐浓度影响较小，它更适宜淡化高浓度苦咸水和海水。冰的熔化热仅为水的汽化热的七分之一，与蒸馏法相比耗能量较低。苦咸水在低温下操作，设备腐蚀和结垢问题都会极大地减轻。国外不少国家在积极研究冰冻法，陆续建立了一些中、小型淡化实验厂，并主要在海水淡化方面进行研究。

冰冻法又可分为人工冰冻法和自然冰冻法。人工冰冻法是人工制冷使水结冰，与盐分离，它又可分为直接冰冻法和间接冰冻法。直接冰冻法是将冷冻剂直接与水混合，冷冻剂汽化时吸热使水结冰。间接冷冻法是用低温冷冻剂通过热交换器使水结冰。

自然冰冻法是借助冬季低气温使水结冰，达到与盐类分离的目的。我国苦咸水地区人民在长期同苦咸水作斗争的过程中，除采用各种方法贮存天然雨（或雪）水外，早就曾采取贮存冬季苦咸水天然冰的方法解决分散居民淡水供应问题。实践证明，天然冰融冰水的脱盐率一般可达60—80%。淡水获得率约为40%，可使含盐量降低至1000毫克/升以下。这种淡化方法简便易行，成本低廉。我国西北苦咸水地区全年结冰期大都在110天以上。近些年来，某些农村地区还曾结合当地情况，总结了静水和动水冰冻淡化以及打冰、藏冰等方面的经验。但这种方法淡水产量较小，还难以满足较大

城镇居民点或工矿企业单位大量生产和生活用水的需要。

(三) 电渗析法

电渗析装置一般是由阴、阳离子交换膜相间排列，形成多个隔室，苦咸水在各隔室中流动，在外加电场作用下，水中阴、阳离子分别向相反方向迁移。阴、阳离子分别透过阴、阳离子交换膜，并分别被阳、阴离子交换膜阻挡，从而使淡水隔室中苦咸水得到淡化。淡化过程中水不发生相的变化，只是让占水很小一部分的盐类分离，因此耗能量较小。耗能量随水的含盐量增加而增加，因此它更适用于淡化比海水含盐量低的苦咸水。与其他一些淡化方法相比，制水成本较低。这项技术近十年来在国内外都发展较快，技术较为成熟，在国内已得到了推广和应用。国外数个日产万吨淡水的大型电渗析淡化厂已投入正常运行多年，国内也正在逐步发展较大规模的淡化厂。

(四) 反渗透法

当苦咸水和淡水用半透膜隔开时，这种膜可以透过水分子，但阻止盐分透过，由于浓度差的缘故，则产生淡水向苦咸水一侧渗透的渗透压。若增加苦咸水一侧的压力，当它大于这一渗透压时，淡水则向渗透压相反的方向渗透，盐分仍被阻止在苦咸水一侧，使苦咸水得到了淡化，这就是反渗透法的基本原理。它与电渗析法同样都是用膜进行盐类的分离，统称为膜法。淡化过程中水也不发生相的变化，因此耗能量也较小。这种方法的设备和操作都较简单，它不仅在苦咸水淡化方面得到了广泛的应用，而且作为一种分离、净化和浓缩手段在许多工业部门得到了应用。

反渗透淡化设备有多种形式，主要可以分为管式、平板

式、卷式和中空纤维式四种。近些年来，国内外对反渗透膜和设备都进行了广泛的研究，发展较快。国外已建成了许多不同规模的淡化厂，并主要用于苦咸水淡化。近几年来还已在建设日产万吨、十万吨级淡水的反渗透淡化厂。国内也正研制了多种不同性能的反渗透设备，并正逐步在生产中试用。反渗透法即将走向大规模生产和应用的新阶段。

（五）其他淡化法

用离子交换法也可淡化苦咸水。它是借助阴、阳离子交换树脂可与苦咸水中阴、阳离子交换的原理去除水中盐类，使水得到淡化。饱和了的树脂用酸、碱再生后可循环使用。由于该法耗用酸、碱量较大，因此用于含盐量较高的苦咸水淡化时，制水成本较高。目前在生产中，它主要是用于淡水脱盐制取工业用纯水方面。为了降低制水成本，进一步在苦咸水、甚至海水淡化方面应用，正在研究用热水或二氧化碳再生树脂的新方法。

另外，溶剂萃取法、水合物法等也都处于研究试用阶段。它们分别利用水能溶于萃取剂和某些气体与水能形成气体水合物的原理，将淡水从苦咸水中分离出来，萃取剂和水合剂可以重复使用。这些方法都有耗能量较低，设备腐蚀、结垢较轻等优点，但都还有不少技术问题待解决，距生产中推广应用还都有相当一段距离。

近些年来，由于生产的发展，对淡水需求量不断增加，大量工业废水的排放，使某些水源遭受了不同程度的污染，很多国家淡水资源的不足成为越来越严重的问题。也有些国家，由于大规模向干旱缺水的荒漠地区开发，对淡水需求量也在不断增加。这些都对进一步发展苦咸水淡化技术提出了新的要求。一些国家成立了专门的有关水资源的机构，对全国

水资源的管理和开发进行研究和监督，同时还建立了一些淡化试验场，不仅对单项淡化技术进行全面系统的研究，而且还把多种淡化手段结合起来应用，进一步达到提高产水量和降低制水成本的目的。总之，努力发展苦咸水（包括海水）淡化技术是增加供水水源、解决淡水资源不足的一个重要途径，这一结论越来越被人们所认识。我国苦咸水（包括海水）淡化技术近十余年来也发展较快，对多种淡化方法进行了广泛的研究，已积累了一定的物质条件，建立了一支专业队伍。可以预计，在我国实现四个现代化的进程中，这项技术也必将得到更快的发展。

三、苦咸水总含盐量的简便检测法

对苦咸水进行淡化，必须解决总含盐量的检测问题。通常可以采用化学分析的方法分别测定出水中各种盐类离子的含量，它们的总和即为水的总含盐量。但是这样做往往需要多种化学试剂和仪器设备，并需耗用较长时间。在苦咸水淡化工作中，为了经常掌握淡化设备运行情况，及时掌握原水和淡化水总含盐量的变化，就需要经常简便、快速地检测水中总含盐量。这里介绍两种方法供选用。

（一）应用电导率检测总含盐量

苦咸水由于溶解有多种盐类，而使它能够导电。其导电性能的好坏用电阻率或电导率来衡量。电阻率即单位体积水的电阻值，常用 ρ 表示，单位为欧姆·厘米。电阻率的倒数即为电导率，常用 κ 表示，单位为微姆欧/厘米或写作微姆/厘米。电导率和电阻率关系可用下式表示：

$$\kappa_t = \frac{1}{\rho_t} \times 10^6 \quad (1)$$

• • •