

# Geochemical Research on Ancient Salt Rock in Zhaoji Sag, Hongze Basin

Haixiang Zhao<sup>1</sup>, Jing Ji<sup>1</sup>, Hongbing Tan<sup>1</sup>, Qian Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing Jiangsu

Email: zhao.haixiang@gmail.com

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2017; accepted: Nov. 7<sup>th</sup>, 2017; published: Nov. 14<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

There are debates about the genesis of the salt rock in member 4 of Funing Formation from Zhaoji Sag, Hongze Basin. Therefore, it is really important to confine the source of the salt. In this paper, we analyzed trace element concentrations of salt rock samples collected from two drill cores in the Zhaoji Sag. Combined with the geology and sedimentary characteristics and fossil research by previous literature, we believe that the salt was mainly from the neighbor Huaian uplift while seawater also played an important role in this process. Therefore, it is possible to find potassium deposit in this area.

## Keywords

Zhaoji Sag, Member 4 of Funing Formation, Salt Rock, Source

---

# 洪泽盐盆赵集次凹古盐岩地球化学研究

赵海香<sup>1</sup>, 嵇静<sup>1</sup>, 谭红兵<sup>1</sup>, 刘倩<sup>2</sup>

<sup>1</sup>河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>南京大学内生金属成矿机制研究国家重点实验室, 江苏 南京

Email: zhao.haixiang@gmail.com

收稿日期: 2017年10月25日; 录用日期: 2017年11月7日; 发布日期: 2017年11月14日

---

## 摘要

关于洪泽盐盆赵集次凹中沉积的阜宁组四段盐岩的成因, 目前多有争议, 对成盐物质来源的限定显得尤

为重要。本文通过对赵集次凹两个钻井岩芯的微量元素地球化学研究,结合测井资料、沉积特征以及孢粉化石资料等,发现盐类物质主要来源于邻区淮安凸起,但是残余海侵水也是盐类来源的重要一部分,因此具有一定的找钾前景。

## 关键词

赵集次凹, 阜宁组四段, 盐岩, 物质来源

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

据前人研究发现,含盐系地层成盐物质来源一般可以分为三种:1)海侵水或者是残留海水;2)更早的含盐系地层风化淋滤;3)深部卤水[1][2][3]。而对成盐物质来源的研究对指导找盐矿有着重要的意义。洪泽盐盆是我国重要的盐矿开采基地,盐岩主要赋存在古近系古新统阜宁组阜四段地层中,对成盐物质来源研究不多,并且存在不同的认识[4][5]。王伟锋和张伟[4]认为盐类物质主要由盐盆东部淮安盆地早白垩世沉积的盐岩地层提供,并没有海水的参与,而舒福明[5]认为盐类来源于地表岩石风化淋滤和海侵残留水共同作用的结果。同时海相成分的参与是成钾矿床的必要条件。由于我国钾盐资源匮乏,找钾工作十分必要。因此对成盐物质来源的限制尤其是判断是否有海水参与显得十分重要。本工作通过对洪泽盐盆赵集次凹中盐岩样品 Br 等元素地球化学的分析,试图揭露该地区成盐物质来源中是否有海水参与,并揭示该区是否有找钾前景。

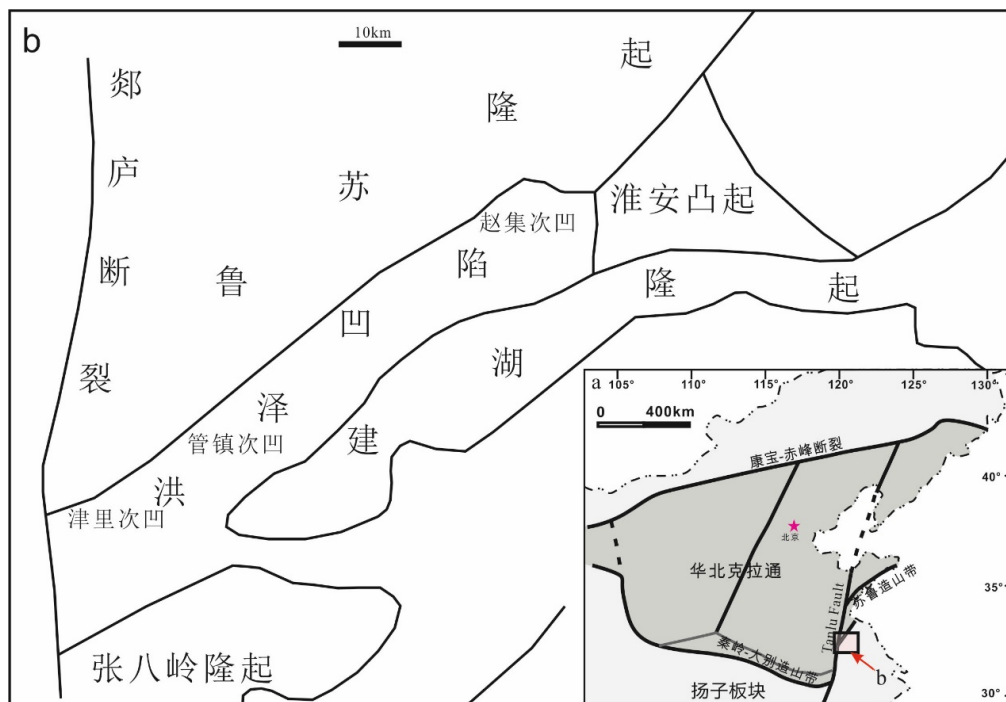
## 2. 区域地质概况

洪泽凹陷在地质单元上位于下扬子板块苏北盆地西北部,北邻鲁苏隆起,南接建湖隆起和张八岭隆起,东邻淮安凸起,西以郟庐断裂带为界(图1),走向北东,是一南断北超、南厚北薄的中新生代箕状断陷。从晚白垩纪仪征运动开始,洪泽盆地开始接受沉积,地层沉积超过 5800 米[6]。其东部的淮安凸起在早白垩世时期为一断陷盆地,沉积了巨厚的浦口组含盐地层[5][7],仪征运动以后开始抬升,使浦口组含盐系地层遭受剥蚀。洪泽凹陷由北东到南西依次分布有赵集次凹、管镇次凹以及津里次凹。其中赵集凹陷最深,对成盐是最有利的。

## 3. 盐矿地质特征

赵集次凹由北向南倾斜,为一典型的南断北超箕状断陷,钻井资料显示,矿区内地层主要由中生界地层构成,从下到上分别为上白垩统泰州组、古第三系阜宁组、戴南组、三垛组、上第三系盐城组和第四系东台组。中、新生界地层由南向北逐渐抬升,厚度逐渐减薄直至尖灭。深凹带为盐类物质聚集的良好场所。盐岩地层分布具有环带状特点,由内向外依次为硫酸盐相、碳酸盐相、碎屑岩沉积。

石盐岩、无水芒硝矿主要分布于古近系古新统阜宁组阜四段地层( $E_1f_4$ )中。岩盐矿层走向近东西向,倾向近南,矿层水平,倾角较小,平均  $5^\circ$  以下。该段含盐系又可分为五个亚段:盐上膏盐亚段、上盐亚段、中淡化亚段、下盐亚段和盐下膏盐亚段。上盐亚段盐质较纯,是该区主要勘探、开发石盐矿层目的层,平均埋深 1800 米以深,段内岩盐工业矿层较多,最大单层厚度近 40 米,矿层总厚度逾 100 米。下盐亚段岩盐、芒硝矿互生,是主要勘探、开发无水芒硝矿层目的层。



**Figure 1.** (a), Location of Hongze depression; (b), Tectonic map of Hongze depression and location of Zhaoji Sag

**图 1.** (a) 洪泽凹陷大地位置图, (b) 洪泽凹陷构造及赵集次凹位置简图

#### 4. 样品及分析方法

所分析的盐岩样品取自赵集次凹两个钻井(18 井和 21 井)岩芯, 其中 18 井取样深度 1752~1770 m, 21 井取样深度为 1690~1718 m, 获得 30 多件盐岩及含盐泥岩样品, 对其中的 29 件样品进行了微量元素测试。所选盐岩纯度高, 除三个样品外其余样品水不溶物接近 0%。样品水溶后, 取上清液, 蒸干后加入浓  $\text{HNO}_3$ , 再次蒸干后, 加入 1% 的  $\text{HNO}_3$ , 以铊作为内标, 稀释至 50 ml 后, 上机测试。测试在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成。测试仪器为 ICP-MS M90。测试结果见表 1。两个取样钻井柱状剖面图以及所测 Br 元素含量如图 2 和图 3 所示。

#### 5. 盐岩元素地球化学

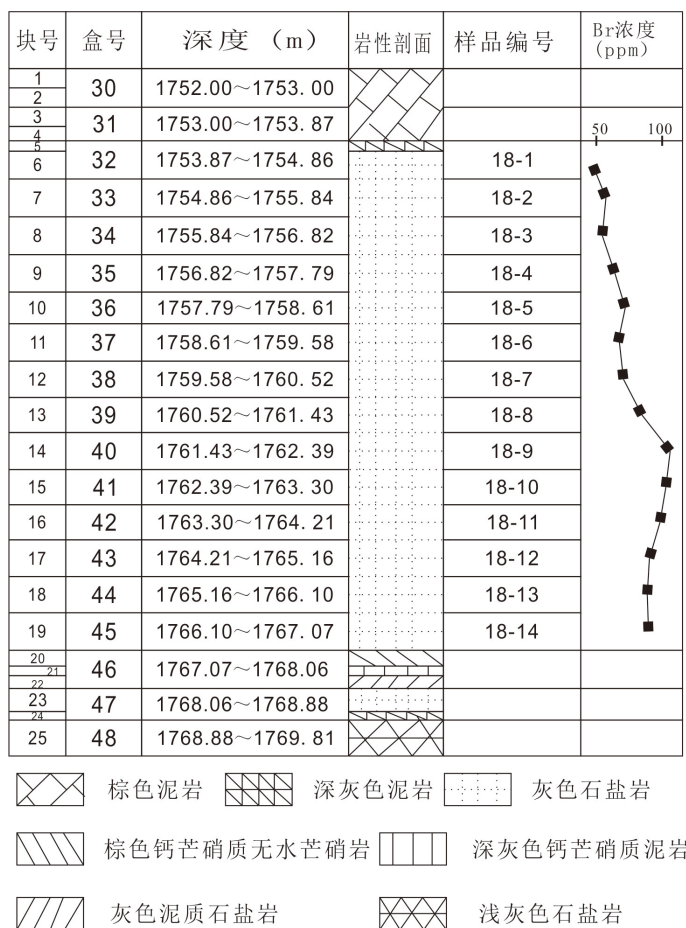
18 井中 14 件盐岩样品 Br 含量在 48.97~168.91 ppm 之间, 平均 111.64 ppm, 随深度增加 Br 含量呈递增的趋势(图 2 和图 3)。21 井中 15 件盐岩样品 Br 含量在 24.03~132.37 ppm, 平均 89.88 ppm, 随深度增加呈递减的趋势。

研究显示, 海相成因的石盐岩通常比陆相成因的石盐岩具有更高的 Br 含量, 海相成因的石盐岩 Br 含量通常高于 60 ppm, 而陆相成因的石盐岩 Br 含量通常低于 10~20 ppm [5] [8] [9]。本研究中石盐岩 Br 含量在 24~169 ppm 之间, 说明海水有参与到盐矿形成过程。化石研究发现, 在管镇次凹中发现了海相多毛纲虫管化石、底栖有孔虫、新单角介、鲱鱼化石, 表明阜宁组受过海侵影响[5] (舒福明, 2004)。

但前人通过化石研究发现, 本区阜宁组存在大量的陆相介形虫、轮藻、孢粉等化石, 表明本区总体环境为陆相湖盆(李道琪, 1984)。据孢粉分析, 阜宁组二段和三段盐岩岩芯样品中发现了上白垩统浦口组典型分子: 阜宁百岁兰粉和假耳无突肋纹孢, 因此, 认为盆地东部淮安凸起发育的巨厚的白垩统浦口组含盐系地层, 经过风化淋滤剥蚀后, 成为赵集次凹的主要盐类来源[5] [7] [10]。

**Table 1.** Br and other trace elements concentrations from 18 and 21 drill cores  
**表 1.** 18 和 21 井 Br 和其它微量元素含量

样品号	水不溶物%	Br	Li	Rb	Cs	Pb	Zn	Cu	Ni	V	Sr	Ba	Mn
18-1	6.16	48.97	0.96	1.18	1.05	0.16	0.00	0.00	0.18	2.08	17.62	10.36	3.97
18-2	0	69.31	0.59	0.71	0.86	0.12	0.00	0.19	0.00	2.59	44.23	10.69	3.52
18-3	29.36	63.69	1.44	0.40	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	2.18	417.19	15.55	3.88
18-4	0	83.24	0.61	0.49	0.43	0.12	0.27	0.43	0.16	2.79	175.24	7.26	3.48
18-5	0	99.21	0.51	0.84	1.31	0.11	0.00	0.15	0.04	2.91	13.21	10.29	3.42
18-6	0	87.96	0.66	0.85	0.91	0.11	0.00	0.00	0.03	2.91	24.67	6.79	3.39
18-7	0	96.48	0.49	0.73	0.96	0.10	0.00	0.00	0.00	2.96	12.96	8.11	3.44
18-8	0	125.01	0.48	0.70	0.83	0.13	0.00	0.00	0.00	2.99	3.85	5.39	3.31
18-9	0	168.81	0.44	0.98	0.85	0.12	0.00	0.00	0.00	3.23	36.63	8.08	3.44
18-10	0	162.08	0.45	0.71	0.83	0.15	0.75	0.04	0.01	2.79	1.80	7.18	3.28
18-11	0	152.99	0.47	0.65	0.94	0.14	2.75	0.33	0.00	3.06	12.59	7.41	3.38
18-12	0	136.65	0.42	0.76	1.28	0.11	0.00	0.00	0.00	2.98	48.24	9.88	3.30
18-13	0	133.30	0.45	0.79	1.02	0.10	0.00	0.53	0.09	2.85	19.00	7.40	3.36
18-14	0	135.29	0.40	0.82	0.96	0.10	0.24	0.30	0.07	3.16	40.23	7.44	3.27
21-1	0	132.37	0.37	0.88	0.57	0.14	0.00	0.00	0.28	3.04	7.62	5.19	3.31
21-2	0	121.95	0.36	0.91	0.91	0.11	0.74	0.01	0.76	3.05	1.30	6.98	3.38
21-3	0	118.91	0.53	0.90	1.22	0.10	0.08	0.00	0.82	3.10	1.00	4.46	3.41
21-4	0	131.03	0.48	0.79	1.12	0.11	0.00	0.01	0.61	3.02	2.18	7.38	3.49
21-5	0	112.86	1.53	0.18	0.00	0.39	0.00	0.02	0.60	2.61	1.09	0.00	3.66
21-6	0	128.87	0.67	1.20	1.50	0.12	0.18	0.00	1.07	3.14	6.97	7.31	3.65
21-8	0	87.72	0.41	0.93	1.17	0.10	0.00	0.01	0.41	3.10	7.20	8.50	3.91
21-11	0	99.74	0.51	0.90	0.65	0.16	1.63	0.94	0.43	2.81	79.04	5.16	3.80
21-13	96.27	24.03	5.28	0.30	0.00	0.06	0.00	0.00	0.08	0.39	7.95	0.00	3.50
21-14	0	67.25	0.42	0.80	0.64	0.17	3.68	0.84	0.24	3.08	7.44	3.90	3.93
21-15	0	73.90	0.38	0.74	0.86	0.10	4.66	0.61	0.06	3.21	35.34	8.53	4.30
21-16	0	59.46	0.45	0.82	0.79	0.09	2.27	1.76	1.01	2.34	187.65	5.93	4.09
21-17	0	67.85	0.48	0.75	0.77	0.09	0.00	0.08	0.24	2.85	46.59	5.44	4.01
21-18	0	59.94	0.39	0.72	0.71	0.09	3.19	2.73	0.22	2.71	38.13	5.25	4.05
21-20	0	62.33	0.46	0.72	0.69	0.10	0.00	0.38	0.00	2.90	130.25	7.74	3.68
东濮凹陷[10]			2.7	3.3		66.3	43.7	38.1	22.6	8.3	792.7		8.1



**Figure 2.** Orebody columnar section and Br concentration variations of samples from 18 drill core

**图 2.** 18 井盐矿岩性剖面图及相应深度 Br 浓度变化曲线图

除了海侵残留水以及先存盐岩地层的风化淋滤两种来源以外,深部卤水也被认为是盐类物质的重要来源。本区微量元素分析结果(表 1)显示,赵集次凹中的盐岩微量元素含量明显不同于深部卤水来源的东濮凹陷中盐岩微量元素含量[11][12],深部卤水来源的盐岩 Pb、Zn、Cu 等微量元素含量通常比较高[7],因此基本可以排除赵集次凹中盐类物质的深部卤水来源。

Br 的电价、离子半径、晶格能系数类似于 Cl,常以类质同象替换 Cl 进入氯化物,极少形成独立矿物。海水中 Br 含量约为 65 ppm,在蒸发过程中不断浓缩富集,Br 便以类质同象形式替换石盐中的 Cl,等温蒸发实验证明,蒸发浓缩过程中,Br 在液相中的浓度逐渐增加,相应的在固相中的含量也不断增大,因此,晚期结晶出的氯化物一定比早期结晶出的氯化物 Br 含量高[9][13]。从 Br 含量分析结果来看,21 井随着取样深度变浅,Br 含量增加,说明这可能是一个基本不间断的沉积序列(沉积阶段从早到晚),是从同一母液中沉积出来的盐岩。而 18 井取样深度更深,Br 含量与 21 井变化趋势相反,即随着取样深度变浅,Br 含量降低,这说明蒸发沉积过程中可能有外来淡水的加入,使得 Br 含量变低。

根据孢粉分析结果,阜宁组沉积时期植物为常绿阔叶-针叶混交林带,属于干旱炎热的气候,古地磁资料也显示阜宁组古纬度在 10.5°~23.9°N 之间,属于中低纬度地区,古气候应属热带气候范围,满足盐岩沉积的气候条件。因此,推测在这种气候条件下,抬升的淮安凸起被淋滤剥蚀随河流进入赵集次凹,与海侵残留水混合使得盆地中的古卤水浓度越来越高,从而沉积出盐岩。

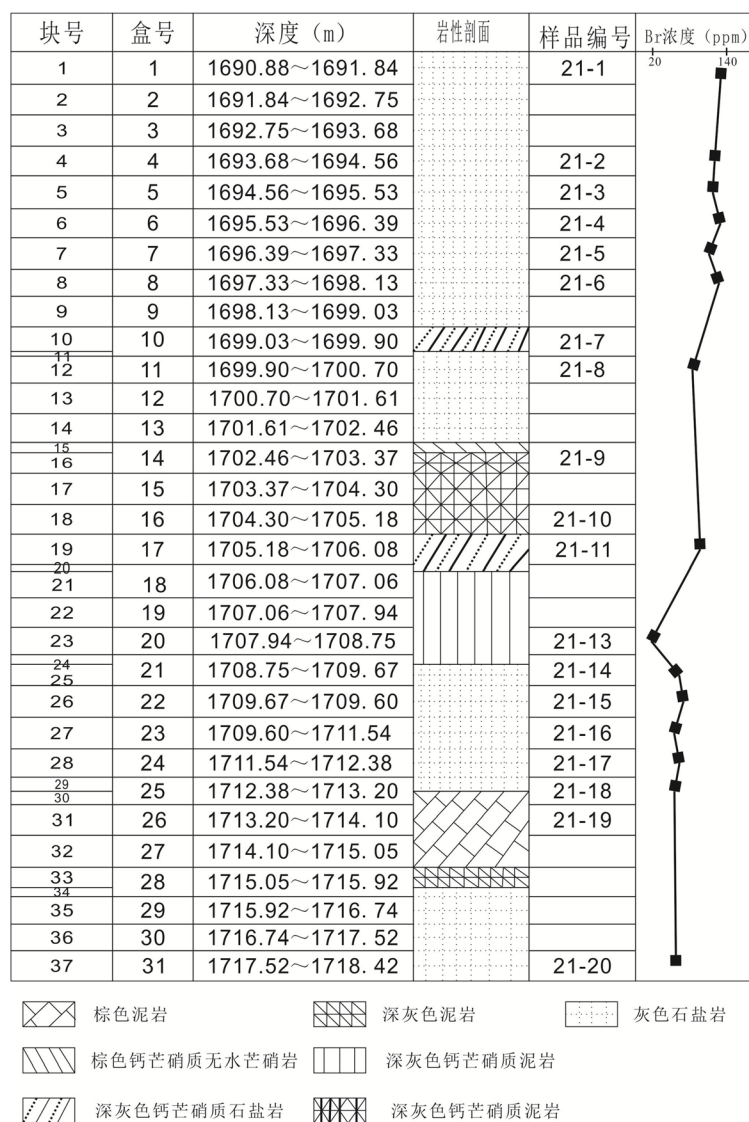


Figure 3. Orebody columnar section and Br concentration variations of samples from 21 drill core

图 3. 21 井盐矿岩性剖面图及相应深度 Br 浓度变化曲线图

由于 Br 含量越高代表盐岩样品的沉积阶段越晚, 而沉积阶段越晚, 生成钾盐的可能性越大, 因此, 要寻找钾盐应该把 1690~1700 米层段以及 1760~1770 米层段作为主要的找钾目标层, 在盆地深凹处寻找钾盐。

## 6. 结论

根据沉积特征以及微量元素地球化学研究发现, 洪泽盐盆赵集次凹产于阜宁组四段的古盐岩地层的成岩物质来源主要包括东部淮安凸起的含盐系地层, 高 Br 含量暗示海相来源也是重要的一部分, 因此具有找钾前景。

## 致 谢

感谢江苏油田新源矿业公司对样品采集的大力支持。

## 基金项目

本文受国家自然科学基金项目(41203011)和中央高校基本科研业务费专项基金(2016B07814)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 167-172.
- [2] 胡光明, 纪友亮, 张亚京. 陆相盐湖层序地层学研究简述[J]. 盐湖研究, 2006, 14(1): 55-59.
- [3] 徐磊, 操应长, 王艳忠, 等. 东营凹陷古近系膏盐岩成因模式及其与油气藏的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 30-35, 39.
- [4] 王伟锋, 张美. 洪泽凹陷赵集次凹阜宁组四段盐岩深水再沉积成因探讨[J]. 沉积学报, 2015, 33(2): 242-253.
- [5] 舒福明. 洪泽凹陷赵集次凹阜宁组四段盐岩沉积特征及成因[J]. 安徽地质, 2004(2): 81-85.
- [6] 邱海峻, 许志琴, 乔德武. 苏北盆地构造演化研究进展[J]. 地质通报, 2006, 25(9): 1117-1120.
- [7] 赵彦彦, 林春明, 汪亚军, 等. 苏北淮阴凹陷上白垩统浦口组盐岩成因探讨[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 468-476.
- [8] Holser, W.T. (1979) Trace Elements and Isotopes in Evaporites. *Marine Minerals*, **6**, 295-436.
- [9] 董继和. 石盐中微量元素的研究及其应用[J]. 矿物学报, 1984(1): 29-34.
- [10] 牟荣. 盐阜坳陷淮阴凹陷上白垩统浦口组沉积构造[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(6): 692-695.
- [11] 金强, 黄醒汉. 东濮凹陷早第三纪盐湖成因的探讨——一种深水成因模式[J]. 华东石油学院学报: 自然科学版, 1985(1): 1-13.
- [12] 高红灿, 陈发亮, 刘光蕊, 等. 东濮凹陷古近系沙河街组盐岩成因研究的进展、问题与展望[J]. 古地理学报, 2009, 11(3): 251-264.
- [13] Sun, D., Li, B. and Wang, K. (1993) A Preliminary Investigation on Evaporating Experiments (25°C) for Qinghai Lake Water, China. *Seventh International Symposium on Salt*, **1**, 561-570.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojs@hanspub.org](mailto:ojs@hanspub.org)