

古代异常钾盐蒸发岩的成因

——以柴达木盆地察尔汗盐湖钾盐的形成为例

张彭熹 张保珍

T.K.洛温斯坦 R.J.斯潘塞

科学出版社

序 言

蒸发岩是地球表面天然溶液中的成盐元素，在表生条件下所发生的蒸发沉积作用、成岩作用以及后生变化而形成的沉积岩中的一种特殊类型。由于它在人类生活、工农业生产中的重要地位，早在 19 世纪中期以来蒸发岩成因理论的研究，得到了广泛的重视。随着盐类矿床的不断发现和其基本资料的积累，蒸发岩理论研究得到了新的发展。

但是，在古代钾盐蒸发岩的成因理论研究中，关于成矿溶液的物质来源（海水或非海水）、沉积环境（深水或浅水）、形成方式（原生沉积物或成岩作用产物）等问题仍然存在着较大的争论。

其中一个主要问题是，在人们所熟知的世界上 50 余个显生宙古代钾盐蒸发岩中，有一半以上是所谓异常的或缺乏 $MgSO_4$ 盐的海相沉积蒸发岩。然而 $MgSO_4$ 盐是正常海水溶液蒸发析盐矿物序列的必然而重要的产物 (Hardie, 1984; Harvie et al, 1980)。众所周知，海水的主要化学组分在显生宙并未曾发生有意义的变化。那么，海水蒸发析盐矿物序列中的 $MgSO_4$ 盐那里去了！这种所谓异常钾盐蒸发岩的形成，很多学者如 Holland 等 (1986)、Wardlaw (1968)、瓦里亚什科 (1962) 等人归因于 $MgSO_4$ 母液从海水组分中丢失或是原生海相蒸发盐的成岩转化，或者是成盐卤水的变质作用。本书的作者们试图通过对柴达木盆地现代盐湖钾盐蒸发盐的研究，为上述争论的问题，提供一些非海相钾盐蒸发岩形成的佐证。

在古代钾盐蒸发岩成因上，无论是成矿物质来源、沉积环境的深水或浅水，还是形成方式上的原生或成岩转化的争论，其重要原因之一就在于还没有详细地研究过一个现代钾盐盆地。在世界上少有的几个钾盐大量聚集的地区中，中国西部柴达木盆地是其中之一，特别是盆地中部察尔汗盐湖目前正在形成钾盐蒸发盐。然而，正是这个察尔汗湖区的含盐岩系中的蒸发岩类矿物组合较为简单，它们主要是方解石（少量白云石、文石和菱镁矿）、石膏（硬石膏）、石盐、光卤石（少量钾石盐）。正所谓是“异常的”或缺乏 $MgSO_4$ 盐的被认为是古代钾盐蒸发岩矿物类型。它和非洲西部刚果 (Congo) 盆地早白垩世裂谷蒸发岩，泰国柯叻 (Khorat) 高原晚白垩世钾盐蒸发岩，美国新墨西哥州二叠纪沙拉多 (Salado) 以及加拿大萨斯喀彻温泥盆纪草原建造 (Prairie Formation) 钾盐蒸发岩一样，都是所谓异常的或缺乏 $MgSO_4$ 盐的钾盐蒸发岩。为此，我们想以此书详细报道察尔汗盐湖及其现代钾盐蒸发盐的研究结果，为上述争论问题提供一些现代钾盐蒸发盐形成的实际资料，并提出我们的一些观点。

从本世纪 50 年代中期以来，地质部、石油工业部等单位在柴达木盆地进行了大量的石油地质普查和勘探工作，从而接触到盆地内的一些盐湖区。随后，地质部海西地质大队对盆地内主要盐湖进行了普查，柴达木第一地质大队开展了察尔汗湖区的钾、镁盐资源的详查和勘探工作。

中国科学院自然资源综合考察委员会盐湖科学调查队于 1963 年在察尔汗湖区的达布逊湖滨发现了大面积现代光卤石沉积。中国科学院化学研究所、兰州地质研究所、青

海盐湖研究所；北京地质学院、武汉地质大学北京研究生院；地质矿产部地质科学研究院；化学工业部化学矿产地质研究院等单位自 50 年代末期至今在察尔汗湖区开展了矿床学、水文地质水化学、矿物学、沉积学、物理化学和地球化学等多方面的研究工作。从而在上述生产、科研单位的共同努力下，对察尔汗湖区积累了十分丰富的盐湖自然基本资料。这样就为在该湖区深入进行钾盐蒸发岩理论研究提供了可能。

1988 年以来中国科学院青海盐湖研究所与美国纽约州立大学宾汉姆分校 T. K. Lowenstein 博士、加拿大卡尔加里大学 R. J. Spencer 博士等人合作在该湖区开展了盐类沉积学、补给水的水文地球化学和各类水体的稳定同位素组成以及石盐矿物包裹体流质的研究，又积累了一些较为系统的资料，对湖区的基本地质问题和钾盐蒸发盐的形成机制有了进一步的了解。我们感到有必要总结这方面的资料，故而结合前人的工作经验，编写了此书。

本书除利用内陆盆地察尔汗盐湖的实际资料阐述非海相现代钾盐蒸发盐的形成机制外，试图通过该湖区盐类矿物包裹体流质的研究，利用环境因素，划分察尔汗湖区的盐类沉积层。这是因为该湖区是目前我国最大的钾盐卤水矿藏，它将在一定时期内成为中国的重要钾盐生产基地。钾盐卤水赋存于盐类沉积层中，对盐类沉积层的科学划分，将对钾盐卤水资源的合理开采是十分必要的。

众所周知，气候问题是当今世界重大的科学问题之一。第四纪古气候、古环境研究，愈来愈引起国内外学者的关注。盐类沉积很早以来就作为识别古气候、古环境的重要标志之一。本书在论述钾盐蒸发盐的形成方式的同时，试图通过对石盐包裹体流质的 δD 、 $\delta^{18}O$ 和物质成分研究，恢复察尔汗湖区近几万年来古气候和古湖演化历史，期望能为我国青藏高原北缘地区的近代古气候、古环境研究以及全球对比提供一些基本资料。

全书共分七章。第一章主要依据地质矿产部门的资料，简要地介绍柴达木盆地察尔汗湖区概况；第二章是察尔汗湖区的盐类沉积基本特征，重点论述该区石盐沉积特点和现代钾盐蒸发盐类型；第三章专门讨论察尔汗湖区的水化学、水的稳定同位素分布特征；第四章为察尔汗湖区的盐类矿物包裹体研究，着重阐述包裹体流质的 δD 、 $\delta^{18}O$ 和主要阳离子的分析方法和对所获结果的讨论；第五章主要是利用前人资料结合作者等的少量数据，讨论察尔汗盐湖的成盐时代；第六章根据上述各章研究的结果，特别是依据包裹体流质的 δD 、 $\delta^{18}O$ 和其物质成分，阐述察尔汗湖区距今五万年来的古气候、古环境演化历史；第七章为察尔汗湖区现代钾盐蒸发盐的形成，根据该湖区盐类沉积学、补给水的水文地球化学研究和包裹体流质、稳定同位素地球化学研究，阐明内陆盆地非海水成矿溶液的不同组成，既可形成所谓的异常钾盐蒸发岩也可形成正常海水析盐矿物系列的钾盐蒸发岩。

本项研究工作曾获得中国国家自然科学基金委员会和美国化学会石油研究基金 (ACS-PRF) 分别资助。本著作的编写由张彭熹、张保珍、T. K. Lowenstein、R. J. Spencer 四人共同完成。此外参加部分研究工作的有 Enrigue Casas、范海波、肖云、孙宁君、宋彭生、Kathy Schubel、钱桂敏、徐立明等人，全部图件由刘建华清绘，拍照复印由魏祥泰、杜祥芝完成，著作文稿写成后由中国科学院地学部叶连俊教授、中国科学院兰州分院范璞教授、中国科学院兰州地质研究所徐永昌教授、晋慧娟教授、马宝林教授审阅，在此一并致谢。

目 录

序言	v
第一章 柴达木盆地察尔汗盐湖概况	1
一、柴达木盆地及其现代盐湖钾盐蒸发盐分布简介	1
(一) 大浪滩干盐湖钾盐蒸发盐概况	3
(二) 马海干盐湖现代钾盐蒸发盐概况	4
(三) 昆特依钾湖现代钾盐蒸发盐概况	4
二、察尔汗盐湖的自然地理及地质概况	5
(一) 察尔汗湖区概况	5
(二) 察尔汗湖区的沉积地层	7
(三) 察尔汗湖区的钾盐概貌	9
第二章 柴达木盆地察尔汗湖区现代蒸发盐的基本特征	10
一、ZK-88-01 孔和 ZK-89-04 孔蒸发盐系地层剖面	10
(一) 下部含盐组	13
(二) 中部含盐组	13
(三) 上部含盐组	13
二、察尔汗湖区蒸发盐系的特征	14
(一) 碳酸盐沉积	14
(二) 硫酸盐沉积	16
(三) 石盐	16
(四) 钾盐	20
(五) 水氯镁石	22
第三章 察尔汗湖水化学及水同位素分布特征	23
一、察尔汗湖区水化学分布特征	23
(一) 察尔汗湖区各类水体的化学组成	23
(二) 察尔汗湖区水化学特征	29
二、察尔汗湖区水的稳定同位素分布特征	45
(一) 湖区各类水体的水同位素组成	45
(二) 察尔汗湖区水的稳定同位素分布特征	51
第四章 察尔汗湖区盐类沉积中石盐矿物流质包体研究	58
一、察尔汗湖区石盐矿物的流质包体氢氧稳定同位素分布特征	58
(一) 样品的制备与分析方法研究	58
(二) 察尔汗湖区原生石盐样品的选取及其包体水 δD 、 $\delta^{18}O$ 测定结果	63
(三) 察尔汗湖区石盐矿物包体水 δD 、 $\delta^{18}O$ 的分布特征	65
二、察尔汗湖区石盐矿物的流质包体中 Na^+ 、 Mg^{2+} 的分布特征	72
(一) 原生石盐矿物中流质包体的测定及分析结果	72
(二) 原生石盐矿物包体流质中 Mg^{2+} 、 Na^+ 的分布特征	74

第五章 察尔汗盐湖的成盐期	77
第六章 察尔汗湖区近五万年来的演化	84
一、察尔汗湖盆的形成.....	84
二、察尔汗湖区近五万年来的演化.....	87
(一) 察尔汗湖区距今五万年来的气候环境	87
(二) 察尔汗古湖的演化	91
(三) 近五万年来察尔汗古湖的水位变化	93
第七章 察尔汗湖区现代钾盐蒸发盐的形成	99
一、察尔汗湖区达布逊盐湖现代钾盐蒸发盐沉积及成岩作用过程中的钾盐蒸发盐	99
(一) 达布逊盐湖现代钾盐沉积及其 30 年来的变化.....	100
(二) 成岩作用过程中的钾盐蒸发盐	107
二、察尔汗湖区钾盐卤水的形成	118
(一) 湖区补给水的化学性质及其演化预测	118
(二) 湖区补给水的演化和钾盐卤水的形成	119
三、钾盐蒸发岩的沉积模式	121
(一) 关于成矿溶液的来 源	121
(二) 晚更新世的非常地质事 件	122
(三) 表面卤水与晶间卤水的相互作用	122
(四) “干盐湖”的聚钾过程.....	122
结束语	124
参考文献	127
图版	

Contents

Preface	v
Chapter 1. Outline of Qarhan Salt Lake in Qaidam Basin.....	1
1. Introduction of Qaidam Basin and distribution of its potash evaporites of modern salt lakes.....	1
(1) Outline of potash evaporites in Dalangtan playa	3
(2) Outline of potash evaporites in Mahai playa	4
(3) Outline of potash evaporites in Kunteyi Jia Lake.....	4
2. Survey of physical geography and geology of Qarhan Salt Lake	5
(1) Outline of Qarhan Lake area	5
(2) Deposit strata of Qarhan Lake area	7
(3) General picture of potash in Qarhan Lake area	9
Chapter 2. Basic features of modern evaporites of Qarhan Lake area in Qaidam Basin	10
1. Stratigraphic section of evaporites system in drill holes ZK-88-01 and ZK-89-04	10
(1) Lower salt-bearing group.....	13
(2) Middle salt-bearing group	13
(3) Upper salt-bearing group.....	13
2. Features of evaporites system in Qarhan Lake area	14
(1) Carbonate deposits	14
(2) Sulphate deposits	16
(3) Halite deposits	16
(4) Potash deposits	20
(5) Bischofite.....	22
Chapter 3. Characteristics of hydrochemistry and the distribution of water isotopes on Qarhan Lake area	23
1. Distribution characteristics of hydrochemistry in Qarhan Lake area	23
(1) Chemical composition of water bodies in different types in Qarhan Lake area	23
(2) Hydrochemical characteristics of Qarhan Lake area	29
2. Distribution characteristics of stable isotopes of water in Qarhan Lake area	45
(1) Isotopic composition of water bodies in the lake area	45
(2) Distribution characteristics of stable isotopes of water in Qarhan Lake area	51
Chapter 4. Studies on fluid inclusion of halite minerals in salt deposits in Qarhan Lake area	58
1. Distribution characteristics of stable isotopes of hydrogen and oxygen in fluid inclusion of halite minerals in Qarhan Lake area	58
(1) A study on the preparation of samples and the analytical method	58
(2) Selection of primary halite samples in Qarhan Lake area and results of δD , $\delta^{18}O$ determination of water in the inclusion	63

(3) Distribution characteristics of δD , $\delta^{18}O$ of water in halite mineral inclusions in Qarhan Lake area	65
2. Distribution characteristics of Na^+ , Mg^{2+} in fluid inclusions of primary halite minerals in Qarhan Lake area	72
(1) Results of determination and analysis of fluid inclusions in primary halite minerals	72
(2) Distribution characteristics of Na^+ , Mg^{2+} in fluid inclusions of primary halite minerals	74
Chapter 5. Formation period of Qarhan Salt Lake	77
Chapter 6. Evolution of Qarhan Lake area for the last 50 000 years	84
1. Formation of Qarhan Lake basin	84
2. Evolution of Qarhan Lake area for the last 50 000 years	87
(1) Climate environment of Qarhan Lake area for the last 50 000 years	87
(2) Formation and evolution of the ancient Qarhan Lake	91
(3) Change in water level of the ancient Qarhan Lake for the last 50 000 years	93
Chapter 7. Formation of modern potash evaporites in Qarhan Lake area	99
1. Sedimentation of modern potash evaporites in Dabsan Salt Lake in Qarhan Lake area and potash evaporites in the diagenesis process	99
(1) Modern potash sedimentation in Dabsan Salt Lake and its change for the last 30 years	100
(2) Potash evaporites in the diagenesis process	107
2. Formation of potassium-bearing brines on Qarhan Lake area	118
(1) Chemical properties of supply waters in the lake area and the prediction of their evolution	118
(2) Evolution of the supply water in the lake area and formation of potassium-bearing brines	119
3. Sedimentary model of potash evaporites	121
(1) About source of ore-forming solutions	121
(2) A special event in Late Pleistocene	122
(3) Interaction of surface brine and inter brine	122
(4) Accumulation process of potash in playa	122
Conclusion	124
References	127
Plates	

第一章 柴达木盆地察尔汗盐湖概况

察尔汗盐湖位于柴达木盆地中部,它是中国最大的盐湖,也是世界上仅有的几个在现代气候条件下正在形成钾盐蒸发盐的地区之一。因而,它是研究古代钾盐蒸发岩成因理论的良好场所,尽管该湖区现代钾盐蒸发盐的沉积规模远不及世界上著名的那些古代钾盐蒸发岩矿床巨大,且受现代气象水文条件的制约而现代钾盐沉积则时有时无(在一些气象水文年内可由表面湖水中通过一两年时间可自沉积一千多万吨钾盐。而在另一些气象水文年内,通过一、两年时间又使已形成的钾盐全部遭到消溶)。正因为如此,以现实主义的哲学思想,以将今论古的方法可能是解决目前存在于钾盐蒸发岩成因理论争论的有效方法之一。为了阐明该区钾盐蒸发盐的形成,本章将对柴达木盆地做一简介,因为它是一个封闭的内陆成盐盆地,其中一些湖区有远小于察尔汗钾盐沉积规模的,但是有相同的也有不同类型的现代钾盐沉积;继而将扼要介绍察尔汗盐湖的自然地理及察尔汗湖区的地质概况。

一、柴达木盆地及其现代盐湖钾盐蒸发盐分布简介

柴达木盆地位于青藏高原北缘,它是一个面积达12万平方公里的内陆山间断陷盆地。它的四周为阿尔金山、昆仑山和祁连山三大山脉所围绕,山区海拔均在5000m以上,而盆地内平均海拔高度在3000m左右。因而它是一个典型的高山深盆的沉积环境,盆地范围内地势为西北高而东南低。

柴达木盆地是集流面积为170000km²的闭流向心汇水盆地,由于其南部昆仑山区和东北部祁连山区腹地辽阔,所以盆地南缘和东北缘地表水系较发育,而西北部阿尔金山前缘几无地表径流。柴达木盆地内的河流多为间歇性河流,有些流出山口即潜入地下,常年性河流不多,盆地内较大的河流有巴音郭勒河注入可鲁克湖;塔塔梭河注入小柴达木湖;鱼卡河注入宗马海湖;阿拉尔河注入尕斯库勒湖;那仁郭勒河注入台吉乃尔湖;乌图美仁河注入涩聂湖;格尔木河注入达布逊湖;努尔河、柴达木河等注入南霍鲁逊湖;素林郭勒河等注入北霍布逊湖等。地下水多赋存于昆仑、祁连山山前洪积、冲积平原的地下砂砾层中,这里值得指出的是,存在于油气构造中的油田地层水和沿深大断裂带分布的深部水,它们是盆地内一种特殊类型的水体,这些深部水有的含盐量极高,有些则较淡,特别是分布于盆地中部的那些深部水通常盐分较高,它们的共同特点是多为CaCl₂型且富集稀散元素。因此,多数学者认为它们是盆地内诸多盐湖物质来源的一个重要方面。

关于柴达木盆地的地质情况、盆地发展历史以及盆地内盐湖的分布、成盐演化过程,张彭熹等人(1987)早有报道,不再赘述。本节只是给出柴达木盆地现代盐湖的分布(图1),扼要地介绍一些有现代钾盐蒸发盐沉积的盐湖简况;以兹为察尔汗盐湖现代钾盐蒸发盐的研究提供一些可供对比的背景资料。

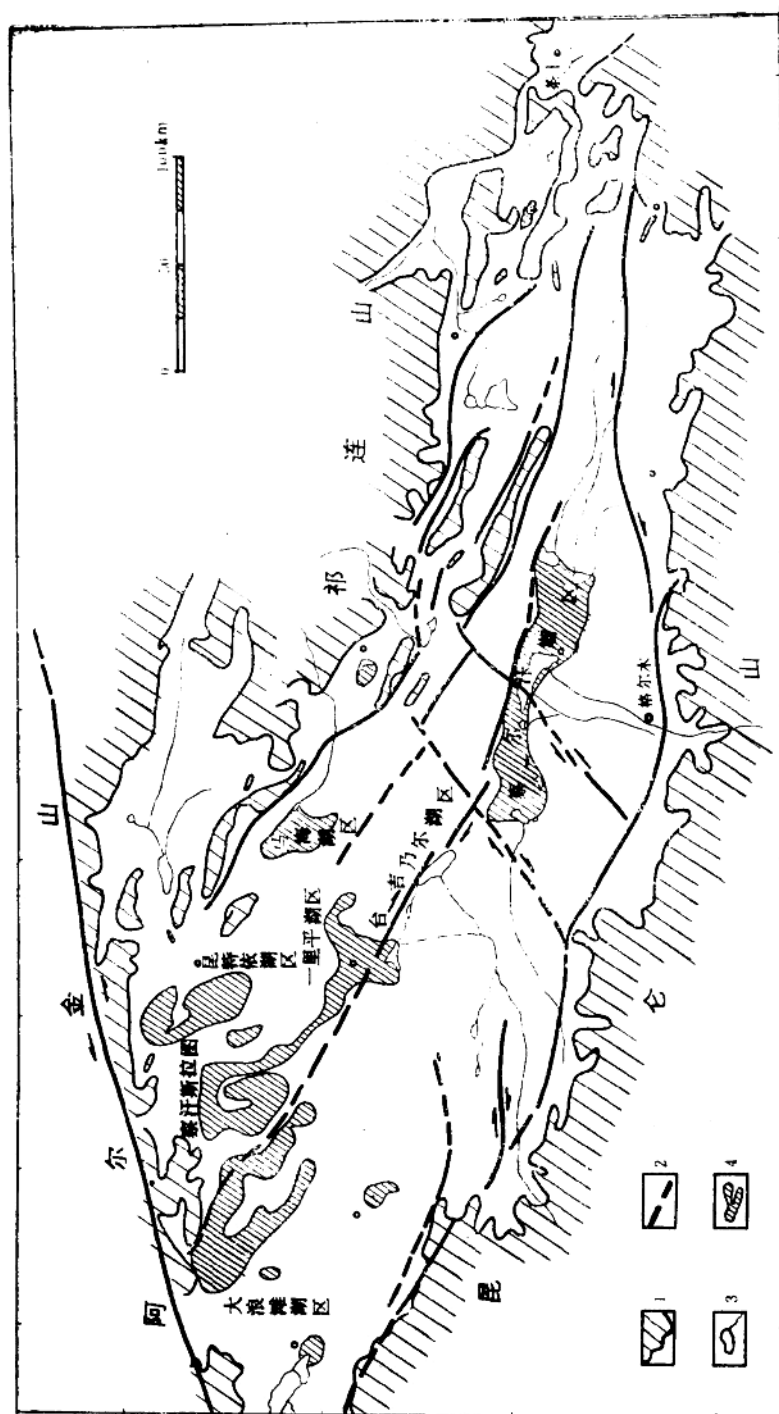


图 1. 柴达木盆地主要盐湖分布图

Fig. 1. Main Salt Lakes in Qaidam Basin.

1. 老山界限 2. 深大斷裂帶 3. 表面鹵水湖 4. 干盐湖

(一) 大浪滩干盐湖钾盐蒸发盐概况

大浪滩干盐湖位于柴达木盆地西北端, 阿尔金山山前拗陷带。其南为小梁山背斜构造, 东邻尖顶山构造, 西、北为梁西、黑北盐滩所围绕, 湖区面积约 500km^2 , 钾盐分布面积约为 74km^2 , 湖区西北部与阿尔金深大断裂带相邻。

根据青海省地质矿产局深井钻探得知(602m): 该区蒸发盐发育于碎屑岩系中, 主要岩性为蒸发盐类与砂质泥岩、淤泥、粘土组成互层, 下部以碎屑岩为主, 上部以蒸发岩为主, 钾盐赋存于顶部, 其盐类矿物主要为石盐、石膏(硬石膏)、芒硝(无水芒硝)、泻利盐、白钠镁矾, 钾盐类矿物主要有光卤石和少量钾石膏、软钾镁矾、无水钾镁矾, 还有少量水氯镁石。

另据中国科学院盐湖研究所 1965 年资料, 大浪滩 Ck-2 钾盐蒸发盐钻孔剖面如下(由上至下描述):

1. 含粘土、钾盐镁矾、光卤石的石盐盐壳。	0.28m
2. 石盐层。	1.02m
3. 含钾石盐粘土的石盐层。	1.49m
4. 软钾镁矾、钾石盐、粘土石盐层。	0.35m
5. 泻利盐、钾石盐、粘土软钾镁矾层。	0.59m
6. 含盐粘土层。	0.15m
7. 石盐、钾石盐、泻利盐层。	2.70m
8. 含钾石盐、泻利盐的石盐层。	0.97m
9. 含粘土、光卤石、泻利盐的石盐层。	1.03m
10. 石盐、泻利盐层。	0.91m
11. 含光卤石、泻利盐、粘土的石盐层。	0.68m
12. 含光卤石、泻利盐、石盐、石膏的粘土层。	2.01m
13. 含光卤石、泻利盐、粘土的石盐层。	3.12m
14. 石盐层。	4.72m
15. 泻利盐、石盐层。	1.39m
16. 含石盐的泻利盐层。	0.57m
17. 含粘土泻利盐的石盐层。	0.40m
18. 含钾石盐、石盐的泻利盐层。	0.22m
19. 含泻利盐的石盐层。	1.92m
20. 含粘土、石膏、石盐的泻利盐层。	1.71m
21. 石盐层。	2.00m
22. 含粘土、石膏、泻利盐的石盐层。	1.66m(未见底)

根据 Ck-2 钻孔所揭露的 30m 钾盐蒸发岩的赋存状况看: 钾盐以钾石盐、软钾镁矾为主, 其次为光卤石、钾盐镁矾, 主要钾盐层位集中于地表至埋深 7.53m 之间, 其下多为 MgSO_4 盐, 石盐则贯穿剖面的始终; 从沉积顺序看可大体划分为三层: 0—1.28m 为光卤石层, 主要矿物为光卤石、石盐, 伴生矿物为钾盐镁矾、钾石盐; 1.28—7.53m 为钾石盐层, 主要矿物为钾石盐、泻利盐、石盐, 伴生矿物为软钾镁矾; 7.53—30.76m

为泻利盐层，主要矿物为泻利盐、石盐，伴生矿物为光卤石、钾石膏、石膏。

从以上的叙述我们可清楚地看出：这个位于柴达木内陆盆地中的大浪滩干盐湖的现代钾盐蒸发岩的矿物序列，与正常海水蒸发析盐矿物序列很近似，同样与欧洲西部镁灰世成盐盆地的钾盐蒸发岩矿物序列，如德国的施塔斯福特钾盐矿床的矿石类型是一致的。而后者则被解释为海水成因的。

(二) 马海干盐湖现代钾盐蒸发盐概况

马海湖区位于柴达木盆地北缘中段，赛什腾山以南，冷湖背斜第三纪构造隆起带以北地区。盐类沉积区面积约2000km²，干盐滩的东缘分布有面积为11.0km²的宗马海表面卤水湖，干盐滩的南缘有面积为4.5km²的巴龙马海湖（1959，8实测）。宗马海湖有地表径流马海河补给，巴龙马海湖则由地下水补给。赛什腾-埃姆尼克深大断裂带由马海干盐湖北侧通过。

根据青海省地质矿产局资料，湖区地下埋深300—193.46m为碳酸盐粘土及含石膏的粘土，中夹薄层状砂层和石盐层；193.46—50m为含石膏砂质粘土与含粘土的石盐层组成互层；50m至地表则为土黄色、灰黑色含石膏的粘土淤泥，夹灰白色含砂石盐层和含盐砂质粘土层，盐层东厚西薄，顶部为含砂石盐沉积广泛分布于马海湖区。

湖区现代钾盐蒸发盐分布于宗马海湖西北约3km处，沿赛什腾山南麓盐滩边缘分布，形成东、西两个矿带，总计面积约5—6km²，裸露于干盐滩地表，表层为灰白色、黄褐色含光卤石粉砂的石盐、厚0.5m左右；其下为黄褐色含光卤石盐的砂质粘土，厚0.3—0.4m；再下为灰黄色含泥砂石盐，揭露5m未见底。

(三) 昆特依钾湖现代钾盐蒸发盐概况

昆特依湖区位于柴达木盆地北缘，为阿尔金山及冷湖、鄂博梁第三纪背斜构造带所围绕，湖区面积1680km²。钾湖位于昆特依干盐滩的东北部，它是由面积不等的（0.01—0.80km²）七个小湖组成，湖水极浅，平均水深0.05m，最大水深为0.20m，钾湖无地表径流补给，其补给水主要来自地下。

根据青海省地质矿产局的资料，钾湖现代钾盐蒸发盐有如下三种赋存状况：

(1) 钾湖湖底沉积：表层为乳白色水氯镁石沉积，厚0.01—0.10m，其下为含泥砂光卤石的石盐沉积，厚1m左右，最厚可达6.65m。

(2) 位于钾湖东侧呈零星块状或带状分布于地表的含光卤石、粉砂的石盐层。厚0.07—0.30m。

(3) 位于钾湖周围，光卤石半自形晶、巨粒，并混有粉、细砂。层厚0.20—0.50m，最厚可达2m。

此外，在柴达木盆地的大柴达木盐湖的西部盐滩和西台吉乃尔湖北岸含盐粘土中均见有分散状的钾盐蒸发盐。前者根据孙大鹏资料，钾盐矿物为软钾镁矾，与其伴生的盐类矿物有芒硝、白钠镁矾和泻利盐等。后者主要为光卤石。

综上所述，在柴达木这个内陆沙漠成盐盆地中，既有类似于海水正常蒸发析盐序列

的现代钾盐蒸发盐类型(如大浪滩), 也有所谓古代异常的钾盐蒸发岩矿物序列的现代钾盐蒸发盐类型(如马海、钾湖等)。盆地内这些钾盐蒸发盐均是更新世末期至今的产物, 而且目前正处于现代钾盐蒸发岩的形成过程中。从而它是古代钾盐蒸发岩成因理论研究的良好类比地区之一。

诚然, 上述盆地内各湖区的现代钾盐沉积规模, 除大浪滩外, 均极小。柴达木盆地现代钾盐聚集地应首推察尔汗湖区。上述简介只是为了进行类比, 有关察尔汗湖区的基本地质概况将在下节介绍。

二、察尔汗盐湖的自然地理及地质概况

(一) 察尔汗湖区概况

察尔汗盐湖是柴达木盆地内最大的干盐湖, 它也是中国重要的钾盐生产基地。湖区位于柴达木盆地中部第四纪强烈拗陷带的中心, 是现代盆地内最低洼的地区, 平均海拔 2 677m。

察尔汗盐湖的北界与涩北、盐湖、哑巴尔等背斜构造所构成的地表正地形的风蚀残丘接壤, 这些由风蚀丘陵组成的正地形, 海拔高出湖面 100—300m, 它们由湖相灰色、灰绿色泥岩、粉砂岩、砂质砾岩及含盐、含石膏的泥岩组成, 其时代为更新世沉积; 西北界为第四纪晚期形成的并由冲积、淤积粘土所组成的平缓隆起, 该隆起的地形将察尔汗与台吉乃尔两个湖区分离; 东北面和前古生界变质岩系所组成的埃姆尼克山的前洪积、冲积扇前缘接壤; 西南、南、东南方与昆仑山山前洪积、冲积平原为界。盆地内的三湖深大断裂带沿湖区北部通过。察尔汗湖区地势北高南低, 但高差不大, 全湖区最低洼处为围绕湖区的几个表面卤水湖, 湖面海拔高程为 2 675m。

根据青海省地质局第一地质队资料¹⁾, 察尔汗湖区面积为 5 856km², 地表盐类沉积东西长约 186km, 南北宽约 20—40km, 湖区走向为北西西向, 它与区域主构造线方向一致。

整个察尔汗湖区是由广阔的并富含晶间卤水的地表干盐滩联系着十个面积大小不等的表面卤水湖组成。这些卤水湖由西至东依次为: 涩聂湖、大别勒湖、小别勒湖、东陵湖、达西湖、达布逊湖、团结湖、协作湖、南霍鲁逊湖、北霍鲁逊湖(图 2)。这些表面卤水湖的湖水与赋存于地表干盐滩中的晶间卤水有着广泛的水力联系。

湖区地表水系主要是发源于昆仑山区的乌图美仁河、灶火河、托拉黑河、格尔木河、努尔河、诺木洪河、哈鲁乌苏河、柴达木河和素林郭勒河等, 它们由西南东三个方面补给湖区; 发源于祁连山的地表径流只有全集河, 该河流出山区十余公里后即潜入地下, 并以地下水上升泉的形式补给北部的协作湖(照片 1), 只有当一些特殊年份集中降水时, 该河水才以地表径流的形式补给协作湖。上述其它诸河流除乌图美仁河和格尔木河外, 其余诸河也为间歇性季节河, 只有在丰水季节河水才注入湖泊。常年性的乌图美仁河补给涩聂湖、格尔木河补给达布逊湖。此外, 在湖区南缘洪、冲积扇前缘地下水溢出带的泉水往往汇集成地表溪流, 它们从南缘补给湖区。再者是湖区北部的深大断裂带的

1) 青海省地质局第一地质队, 1967, 察尔汗盐湖钾镁盐矿床霍布逊至达布逊储量勘探报告。

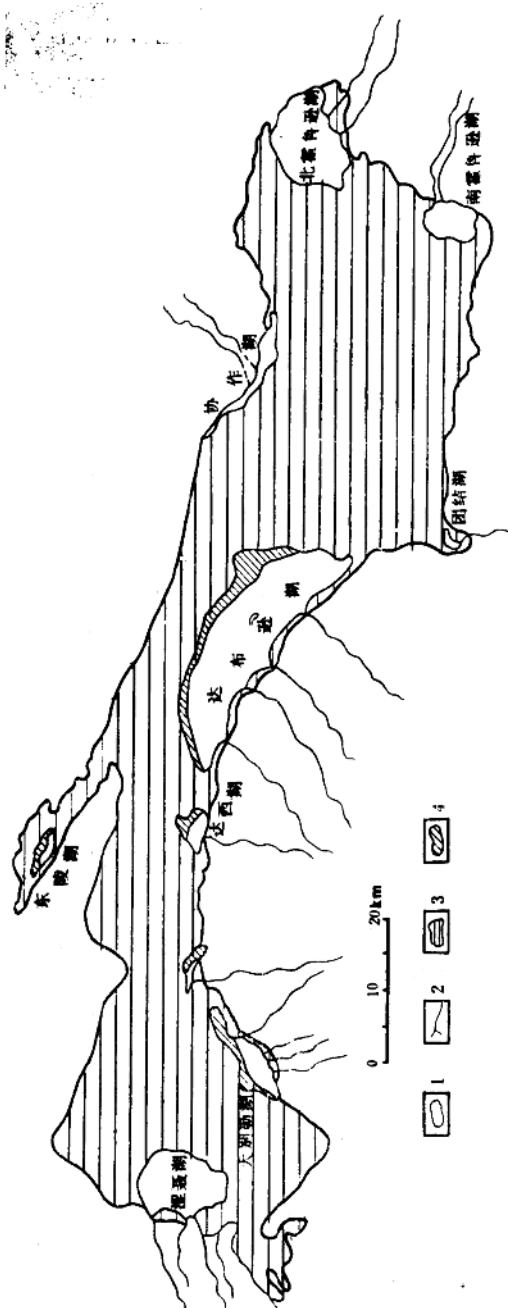


图 2 柴达木盆地察尔汗湖区概略图

Fig. 2. Schematic Map of Qarhan Lake Region in Qaidam Basin.

- 1. 湖泊 2. 水系 3. 干盐滩 4. 新盐沉积

地下深部水由北面补给湖区,正是由于这些深部水的补给,往往在察尔汗干盐滩的北部形成带状分布的盐溶区(照片2、3)。

察尔汗湖区属内陆高原干寒气候区。冬长夏短,多风少雨,蒸发强烈。根据青海省气象局察尔汗气象站近30年来的气象资料统计:该地年均气温为 5.2°C ,年均降水量为 24.1mm ,年均蒸发量为 3549.5mm ,平均风速为 4.5m/s ,风向以西北为主。湖区蒸发量是降雨量的147倍,这种极度干旱的气候条件,对钾盐蒸发盐的形成是非常有利的。

(二) 察尔汗湖区的沉积地层

根据青海省石油局的资料认为:察尔汗湖区有近3000m厚的“连续”的第四纪湖相沉积(杨藩,1981)。青海省地质矿产局第一地质队曾在该湖区的西部别勒滩地区进行了深孔钻探(910m)。后经中国地质科学院地质力学研究所对其岩芯的古地磁测试表明:从地表至井深848m岩芯段为正极性世。另据黄麒结合铀系年龄测试判断,该岩芯段属布容赫斯正极性期,井深848m以下岩芯段为负极性,属松山期。910m岩芯的岩性为一套砂、泥岩互层,在井深150m以上出现了厚度不等的数层腐殖层,依沉积速率推断,井深150m处约为100kaBP。因此可以认为察尔汗盐湖至少在近十万年来已进入浅湖阶段。只有在井深54.81m之上见到蒸发岩类沉积,井深56.68m处岩芯取样, ^{14}C 测试年龄为: $32200 \pm 1800\text{aBP}$ 。

根据青海省地质矿产局第一地质队资料,湖区内蒸发盐类沉积,被划分为三个含盐组,每一含盐组均由下部的含盐或不含盐的碎屑粘土层和上部的石盐沉积层组成。为了对察尔汗湖区的蒸发盐沉积的分布有个全面的了解,现将其1965年的资料,简介如下:

1. 下含盐组(时代属晚更新世)

厚21—42m

(1) 下部粘土碎屑层(Q_3^{11}) 为黄褐色粉砂质粘土或含粘土粉砂层。在湖区西南部和中南部别勒滩和达布逊地区,该碎屑层上部普遍夹数层黑灰色淤泥粘土及灰绿色含粘土粉砂,在淤泥粉砂层中见龟片状次生石膏。

(2) 下部盐层(Q_3^{11}) 为青灰色、黄褐色石盐层与含粉砂粘土层所组成的互层。石盐层呈致密块状,一般为中粒自形、半自形晶,粒状结构,该盐层中多数混有泥砂沉积,各别地段如别勒滩地区石盐层中含少量钾盐和石膏。在达布逊地区该沉积层为一厚约1—4m的粉砂粘土层分隔成上下两套盐层。该层在达布逊湖以东尖灭。 厚10—15m

2. 中含盐组(晚更新世)

厚16—26m

(1) 中部碎屑沉积层(Q_3^{21}) 为黄、灰褐色含盐及粘土的粉砂层。湖区南部该层普遍夹有淤泥薄层。 厚10—15m

(2) 中部盐层(Q_3^{21}) 为黄褐色、灰白色含粘土碎屑沉积物的石盐层与粉砂质粘土互层。在湖区中部本层也被粘土粉砂层一分为二,该上下两盐组在霍鲁逊与达布逊之

间尖灭，湖区东部该套盐层缺失。此盐层局部地区含钾石盐及光卤石，在中南部普遍夹有细粒状石膏薄层。 厚 10—20m

3. 上部含盐组 (全新世)

厚 24—34m

(1) 上部碎屑粘土层 (Q_1^{3s}) 为黄褐色、灰色粉砂和红褐色砂质粘土互层。本层在湖区边缘相变为细砂层，在达布逊及其以东地区的南部该层普遍含石膏。本层在湖区中部分布不稳定，有些地区缺失，致使中部盐层直接与上部盐层接触。 厚 2—15m

(2) 上部盐层 (Q_1^{3s}) 为灰白色石盐层和黄褐色含碎屑粘土的石盐层所组成的互层。该盐层中也并非为单纯的石盐层。根据化学工业部化学矿产地地质研究院资料，察尔汗区段的上部盐层，一般夹有 6—8 层碎屑层，最多可达 10 层，单层厚度一般为 0.2—0.4m，最厚达 1.89m，最薄 0.1m。上部盐层普遍含光卤石。 厚 5—20m

综上所述，察尔汗盐湖分布着晚更新世至今的三套蒸发岩与碎屑沉积层。它们在 5 000 余平方公里的范围内其分布特点是：下部蒸发岩系西厚东薄，在达布逊湖以东约 2—3km 横向变化为粘土粉砂沉积；中部蒸发岩系，在达布逊地区最厚，往西、往东均减薄，在达布逊湖以东相变为粉砂粘土沉积；上部蒸发岩系分布于整个察尔汗湖区（图 3）。如果这种分层比较接近实际的话，那么我们不难看出，察尔汗古湖（盐湖阶段）最早发育于现代察尔汗湖区的西部，中期湖盆沉降中心往东部迁移至达布逊湖一带，晚期则均衡下沉，所以上部蒸发岩系的分布遍及整个察尔汗湖区。

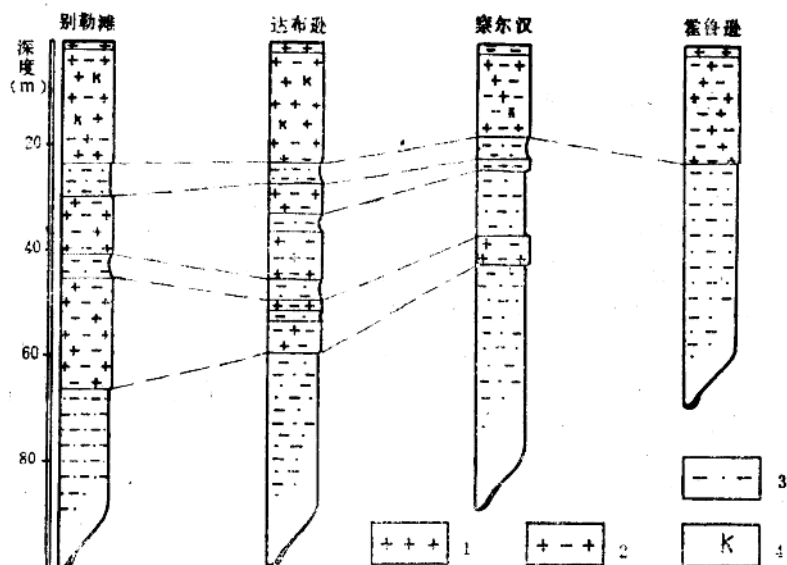


图 3. 察尔汗湖区各区段蒸发岩层对比图

Fig. 3. Chart of Evaporites at Different Parts of Qarhan Region.

(据青海省地质局第一地质队 1965 年资料改编)

1. 石盐 2. 石盐与碎屑沉积互层 3. 粘土质粉砂或砂质粘土层 4. 钾盐

我们认为第一地质队1965年根据全区勘探录井资料对察尔汗湖区蒸发岩系的划分,除全新世界限和具体分层界线稍有出入外,基本上是合理的。

随后,一些地质科研人员根据察尔汗湖区盐类和碎屑沉积旋回,将该湖区的蒸发岩系又划分为4层。即将1965年划分的中部盐层($Q_3^{s_2}$)重分为两层,定名为(s_2)、(s_3);把原上部盐层($Q_3^{s_3}$)改定为(s_4)层。本世纪80年代以来很多作者如袁见齐等(1985)、徐少康(1991)等多以此分层来讨论一些有关该湖区的地质问题。

1991年青海省地质矿产局盐湖勘探开发研究院杨谦¹⁾又根据上部所谓的 s_4 盐层在达布逊、涩聂两湖区附近地段,该 s_4 盐层的上部分布有一层较稳定的碎屑层,从而以此碎屑层为界,将该层以上的盐层又划分为 s_5 层,并圈定出其分布面积为约900km²。实质上所谓的 s_1-s_5 盐层,除个别地区的个别地段外,并非是纯石盐层,它们是石盐、含碎屑石盐和含盐碎屑层所组成的互层。正如我们1988、1989年在达布逊湖进行钻井所获得的岩芯而表明的那样,在40余米的碎屑岩系蒸发岩剖面中,含盐和不含盐的碎屑沉积层大于3cm者就有68层之多。因此,单纯地利用碎屑层分层,尤其是利用碎屑层进行层与层间的对比存在较大的困难,在这种情况下再进行盐层的细分意义不大,也没有这个必要。我们认为还是以其不同的沉积、成岩作用环境的差别来进行大层的划分较为合适。我们将在下章给予讨论。

(三) 察尔汗湖区的钾盐概貌

由于本书的重点是对察尔汗湖区现代钾盐蒸发盐的论述,本节只是引用前人资料做概貌性的介绍。

察尔汗湖区现代钾盐蒸发盐的赋存状况有两种类型。其一是赋存于地表的光卤石沉积,它们在某些干旱年份或某一年的干旱季节(如每年的6、7、8月份),形成并分布于达布逊湖北缘、东北缘,大、小别勒湖北缘,协作湖南缘以及涩聂湖东缘的卤水坑中,此外在广大干盐滩的低洼地带和盐壳的龟裂缝间,有由于毛细蒸发作用形成的球粒状光卤石集合体。但上述这些钾盐沉积极不稳定,每当丰水季节或大气降水后,钾盐即被溶解。其二是分布于干盐滩下的钾盐,根据青海省地质矿产局的资料,察尔汗湖区的钾盐自下而上可划分为7层(K_1-K_7),它们分布于中部盐层的上部和上部含盐组的各层中,呈似层状、扁豆状和小透镜体状,厚度自几厘米至几米不等,矿体面积从数平方公里到几十平方公里。它们的分布范围在察尔汗湖区的中、西部,而东部则没有。其矿石类型分为两大类:一为碎屑(粘土类)钾矿石,一为石盐钾矿石。矿石矿物以光卤石为主,钾石盐次之,产状呈块状、细脉状或侵染状,并将块状者定为原生;细脉状或侵染状定为次生钾矿石。矿层的KCl含量一般为3—7%。

上述资料表明,察尔汗湖区的钾盐集中于该区蒸发盐系的上部,并与石盐、砂质粘土共生,这与作者等人所见到的该区钾盐赋存情况是一致的。但是,其中是否有类似于达布逊湖现代光卤石那样的原生沉积,确是值得怀疑的。

1) 杨谦, 1991, 察尔汗盐湖盐层及钾矿层的分布规律, 青海省地质学会会刊, 第1期。

第二章 柴达木盆地察尔汗湖区 现代蒸发盐的基本特征

湖区的地质勘探资料表明, 达布逊湖北岸是察尔汗湖区蒸发岩系出露最全、盐类沉积旋回最完整的地区。作者等人为了了解察尔汗湖区的蒸发盐的基本特征, 故而选择了达布逊湖北岸进行揭露盐类沉积的全取芯钻探工作。

ZK-88-01孔选在距离湖水较近的新盐沉积带上, ZK-89-04孔选在北 30° 东相距ZK-88-01孔878 m的老盐滩上。为了了解晶间水的组成, 沿该剖面线又打了八孔浅钻, 其钻孔位置见图4。

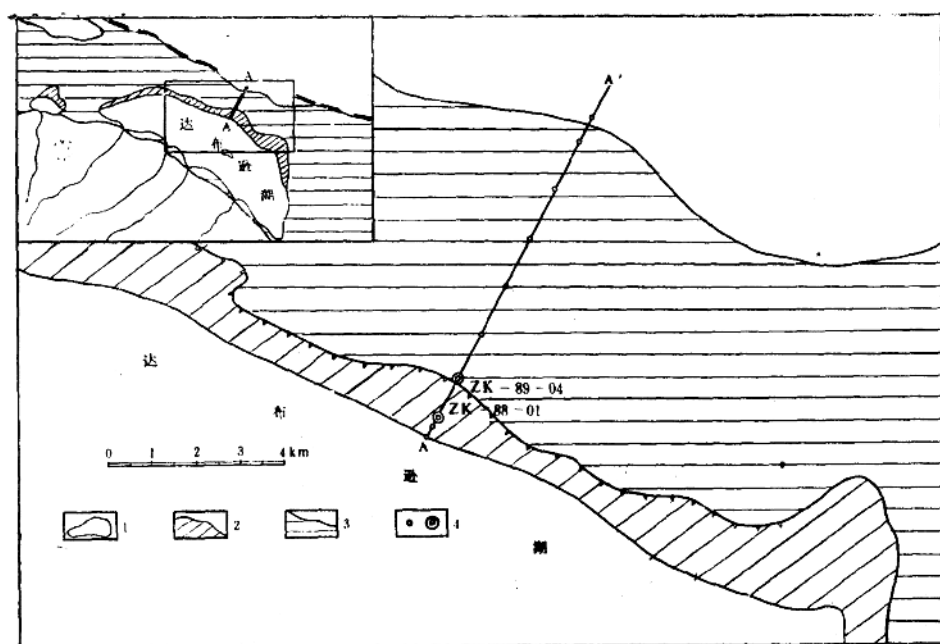


图4. 钻孔位置图 (ZK-88-01, ZK-89-04)

Fig. 4. Location Map of Cores ZK-88-01 and ZK-89-04.

1. 湖泊 2. 新盐沉积 3. 老盐沉积 4. 钻孔位置及编号

一、ZK-88-01孔和ZK-89-04孔蒸发盐系地层剖面

ZK-88-01孔进尺46.90m, ZK-89-04孔进尺45.12m。该两钻孔均打穿盐类沉积层,