

柴达木盆地盐湖

张彭熹 等著

科学出版社

柴 达 木 盆 地 盐 湖

张 彭 熹 等 著

科 学 出 版 社

1 9 8 7

内 容 简 介

本书是专门论述我国一个地质单元中湖盆的形成、发展、成盐、演化以及成矿规律的著作。全书共分十章,主要内容为三部分,第一部分重点介绍了柴达木盆地盐湖的概况,论述了区域地球化学、水化学、盐湖沉积和盐类矿物以及卤水水化学特征,讨论了湖盆的演化和现代盐湖的形成;第二部分阐述了盐湖资源锂、硼、钾以及镁、锶、铷、铯、溴、碘、重放射性元素和重水的分布,并重点论述了锂、硼、钾的成矿条件;第三部分为盆地内的盐湖各论,简单地介绍了各盐湖的基本概况。

本书是目前国内盐湖研究工作中较为详尽和内容广泛的一部著作,可供与盐湖有关的科研和生产技术人员及地质院校师生参考。

柴 达 木 盆 地 盐 湖

张彭熹 等著

责任编辑 邵正华

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987 年 4 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16
1987 年 4 月第一次印刷 印张: 15
插页: 6 平 4
印数: 平 1—750 字数: 348,000

统一书号: 13031·3463

本社书号: 5089·13—14

定价: 布脊精装 5.60 元
平 装 4.10 元

前 言

我国是世界上盐湖众多的国家之一。在幅员辽阔的土地上,从西部边疆的西藏、新疆自治区经青海、甘肃、宁夏、陕西、山西直至东北边陲的内蒙古、黑龙江等省区都广泛地发育着数以千计的盐湖。这些盐湖蕴藏着极其丰富的盐类资源,除固体天然盐矿物原料如石盐、石膏、芒硝、天然碱、硼酸盐、天青石、钾镁盐外,尤为重要是盐湖卤水已构成巨大的多金属和非金属矿床。一些湖区卤水中的锂、硼、镁、钾都具有单独开采的价值,而铷、铯、锶、溴、碘等又都可考虑其综合利用问题,此外重放射性元素铀、钍以及重水的含量也较高。因此,开展盐湖及其资源的研究是十分必要的。

据史料记载,舜时期我国即在解池(今山西省运城县)开发湖盐,但是解放以前盐湖研究工作进行得不多。新中国成立以后盐湖研究工作得到蓬勃的发展。自五十年代中晚期以来,中国科学院综合考察委员会下属的“青海、甘肃两省生产力配置综合考察队”和“盐湖科学调查队”对柴达木盆地盐湖进行了大量的研究工作,侯德封教授、柳大纲教授和袁见齐教授都曾亲临柴达木盆地指导盐湖研究工作。地质矿产部第632石油地质普查大队、青海省地质局海西地质队、青海省地质局柴达木第一地质队等单位都对柴达木盆地的盐湖资源进行了广泛的普查和不同程度的勘探工作,积累了大量的宝贵资料。石油部冷湖石油局对该盆地的区域地质,特别是新生代地层、构造、沉积作了大量的地质测量工作,积累了非常宝贵的基础资料。自1957年以来,作者曾对盆地的区域地球化学及水化学开展了一些工作,也曾对一些重点湖区如大风山、一里平、台吉乃尔、大柴达木、察尔汗、大浪滩、昆特依等湖区开展了沉积学、水化学、矿物学及地球化学方面的研究工作。在此基础上综合分析整理了全盆地的有关盐湖的地质资料,著述了《柴达木盆地盐湖》一书。因此,没有冷湖石油局的中、新生代基础地质资料,讨论湖盆的形成和演化是不可能的。同样,没有青海省地质局各野外盐湖普查勘探队的基础地质资料,讨论盐湖资源的分布也是不可能的。因此,该书的出版是上述各单位野外队共同劳动的结晶。

全书共分十章,主要研讨内容归纳为三部分。首先扼要地介绍了柴达木盆地的盐湖概况,接着重点讨论了区域地球化学、区域水化学以及盐湖卤水水化学特征,概述了盐湖沉积及盐类矿物,最后,从地史发展的观点阐述了柴达木湖盆的形成、成盐演化以及现代盐湖的形成。第二部分专门讨论了盐湖资源的分布和形成条件,重点论述了盐湖中钾、硼、锂的形成条件和分布规律;提出了新的成盐成钾模式;此外,对镁、锶、铷、铯、溴、碘等元素的分布也作了一般性的介绍。第三部分为柴达木盆地盐湖的各论,简要地介绍了盆地内各盐湖的基本情况。

本书为中国科学院盐湖研究所研究成果之一,是该所从事柴达木盆地盐湖地学研究二十余年的工作总结。由张彭熹同志主编,其中第一章由陈克造执笔;第二章、第三章、第四章第一节、第六章第三节、第七章由张彭熹执笔;第五章由于升松执笔;第八章由高章洪执笔;第九章由雍保珍执笔;第十章由李家炎执笔;第六章前两节由孙大鹏执笔;第

四章盐类矿物部分由董继和执笔。全书统一由张彭熹修改定稿。此外，曾参加过该书编写工作的还有郑喜玉、关玉奎、支霞臣、唐渊等同志。全部图件由胡金泉、刘建华二同志清绘，部分照片由魏祥泰同志拍摄，文稿的清抄由张明刚、余俊清等同志负责。

由于我们的水平所限，书中的缺点和错误在所难免，我们衷心地希望和欢迎读者批评指正。

目 录

前言	iii
第一章 柴达木盆地盐湖概况	1
一、柴达木盆地自然地理简述	1
二、柴达木盆地盐湖的分布特征	3
三、柴达木盆地盐湖分区	10
第二章 柴达木盆地区域地球化学及水化学特征	14
一、柴达木盆地区域地球化学特征	14
二、柴达木盆地区域水化学特征	25
第三章 柴达木湖盆的演化及其现代盐湖的形成	32
一、柴达木盆地的形成	32
二、新生代柴达木湖盆的演化	34
三、柴达木盆地现代盐湖的形成	40
第四章 柴达木盆地盐湖沉积及盐类矿物	47
一、柴达木盆地盐类沉积特征	47
二、柴达木盆地盐湖盐类矿物	61
第五章 柴达木盆地盐湖卤水水化学特征	74
一、盐湖卤水的酸碱度	74
二、盐湖卤水的矿化度	77
三、盐湖卤水的水化学特征	80
第六章 柴达木盆地盐湖钾盐沉积的分布特征及其形成条件	92
一、柴达木盆地盐湖钾的分布	92
二、柴达木盆地盐湖钾盐沉积的形成条件	105
三、柴达木盆地盐湖钾盐沉积模式	129
第七章 柴达木盆地盐湖硼、锂的分布及其硼、锂资源的形成	132
一、盐湖硼、锂的分布	132
二、盐湖硼、锂资源的形成条件	143
第八章 柴达木盆地盐湖中镁、锶、钍、铯、溴、碘等的分布	158
一、柴达木盆地盐湖镁的分布	158
二、柴达木盆地锶的分布	162
三、柴达木盆地盐湖钍、铯的分布	164
四、柴达木盆地盐湖溴和碘的分布	167
第九章 柴达木盆地盐湖重放射性元素及水同位素的分布	172
一、柴达木盆地盐湖卤水中重放射性元素的分布	172
二、柴达木盆地盐湖卤水同位素的分布	173
第十章 柴达木盆地盐湖各论	180
一、茶卡盐湖	180

二、希里沟盐湖	182
三、柯柯盐湖	183
四、柴凯盐湖	185
五、小柴达木湖	186
六、大柴达木湖	188
七、马海盐湖区	192
八、牛郎织女湖	196
九、昆特依湖区	197
十、察汗斯拉图干盐湖	200
十一、大浪滩湖区	201
十二、尕斯库勒盐湖	206
十三、茫崖湖	208
十四、一里平干盐湖	209
十五 台吉乃尔盐湖区	211
十六、察尔汗盐湖区	217
结束语.....	230
参考文献.....	234

第一章 柴达木盆地盐湖概况

“柴达木”是蒙语“盐泽”之意，这个名字非常确切地表达出了柴达木盆地的自然景观。

诚然，在柴达木盆地有很多盐湖和沼泽，特别是在该盆地有人类活动历史的早期，湖泊与沼泽可能要比现在还要发育。目前，不少湖泊已经干枯，留下了含盐粘土沉积的遗迹；有些已成为无表面湖水的“干盐滩”；在一些与补给水源有较广泛联系的湖区，则就成为今日的众多盐湖。由于盆地边缘地下水位的上升，因此普遍地沼泽化了，特别是在盆地的南缘和东北缘山间小盆地中十分发育（照片1）。

本章不涉及盆地的沼泽，只是论述柴达木盆地盐湖的概况。为便于讨论，首先介绍一下柴达木盆地的自然地理概况。

一、柴达木盆地自然地理简述

柴达木盆地（以下简称为盆地）是我国内陆大型的山间盆地之一。它位于东经 $90^{\circ}00'$ — $98^{\circ}20'$ ，北纬 $35^{\circ}55'$ — $39^{\circ}10'$ 之间，居于青藏高原的东北侧。

盆地的四周为高大山系所围绕，构成了一个轴向为北西-南东向的不规则的菱形向心汇水盆地，盆地长轴约为650km，短轴约为250km，面积为 121000km^2 ¹⁾。以四周高山分水岭为界，汇水面积为 170000km^2 。

盆地南侧为昆仑山系的祁漫塔克山和布尔汗布达山，海拔高度一般在3500—5500m。盆地北侧由祁连山系的乌兰大坂山、马海大坂山、达肯大坂山和中吾农山等一系列北西西向的阶梯状山脉所耸峙，海拔均在3500—4500m以上。阿尔金山系东段的阿哈堤山、安南坝山位于盆地的西北侧，构成与塔里木盆地的自然分水岭，海拔一般在4500m以下。高山海拔在4800—5000m以上者终年积雪，特别是南侧昆仑山和东北侧祁连山系的腹地辽阔，构成柴达木盆地地表水、地下水的主要补给区。

盆地地表水系的分布，明显地受地形及新构造运动所制约。大体上呈向心状辐射水系分布，在第四纪新构造隆起区，迫使河流移向的现象屡见不鲜，如那仁郭勒河和塔塔棱河等。柴达木盆地计有河流三十多条，较大的河流多分布于昆仑山北麓及其东部地区，其次为祁连山南坡；西北部的阿尔金山一带河流不发育。由于补给水源主要是高山冰雪融化水，河流受季节影响较大，所以盛夏流量最大，冬季流量最小。全区除柴达木河、那仁郭勒河、巴音河等十一条水流较大外，一般河流出山不远即消失于山前砂砾层中，变为潜流，其中的一部分与地表径流一起汇集在盆地的各低洼地区，形成湖泊。

柴达木盆地现有湖泊三十三个。其中淡水湖泊一个，半咸水-咸水湖泊七个，盐湖二

1) 青海省地质局柴达木第一地质队资料。

十五个。此外,还有一些无表面湖水的“干盐湖”,如大浪滩、一里平、察尔汗等。湖泊表面水的总面积约为 1360km²,盆地各湖泊的基本要素列于表 1。

表 1 柴达木盆地湖泊一览表

类别	序号	湖 名	湖底沉积物	湖水面积 (km ²)	湖水深度 (m)	测量 日期	资料来源
淡水湖	1	克鲁克湖	腐植质粘土	110		1959.9	青海省地质局柴达木第一地质队
半咸水湖	1	尕斯库勒湖	细、中砂、淤泥	37.4	8—13	1959.3	同上
	2	托素湖	淤泥	140	3—4	1959.3	同上
	3	小苏打湖		1.0			同上
	4	大苏打湖		97.5	2	1959.4	同上
	5	冷湖	淤泥	2.2		1959.4	同上
	6	那北湖	淤泥	15	3		同上
	7	塔尔丁湖	淤泥	4	0.8	1961	同上
盐湖	1	茫崖湖	石膏	0.25		1959	同上
	2	尕斯库勒湖	石盐	103	0.65	1959.8	同上
	3	西台吉乃尔湖	石盐	82.4	0.3—0.4	1959.10	同上
	4	东台吉乃尔湖	石盐	116	0.60	1959.9	中国科学院兰州地质研究所
	5	涩聂湖	石盐、淤泥	68.8	0.38	1967.4	青海省地质局柴达木第一地质队
	6	东陵湖	水氯镁石	7.2	0.02—0.15	1966.9	同上
	7	大别勒湖	石盐	7.38	0.18	1967.4	同上
	8	小别勒湖	石盐	6.25	0.06	1967.4	同上
	9	达西湖	石盐		0.1—0.2	1980.8	中国科学院盐湖研究所
	10	达布逊湖	淤泥、石盐、光卤石	210	0.56	1965.8	同上
	11	团结湖	石盐	6			青海省地质局柴达木第一地质队
	12	协作湖	石盐	17	0.05—0.1		同上
	13	南霍布逊湖	石盐、亚砂土	16	0.29	1966.6	同上
	14	北霍布逊湖	石盐、淤泥、亚砂土	80	0.32	1966.3	同上
	15	昆特依湖	石盐	1.5	0.06	1959.6	青海省地质局柴达木第一地质队
	16	钾湖	光卤石、水氯镁石		0.05		同上
	17	牛郎织女湖	光卤石	1.0	0.1	1959	同上
	18	巴龙马海湖	淤泥、石盐	4.5	0.23	1959.8	同上
	19	德宗马海湖	淤泥、石盐	11	0.18	1959.8	同上
	20	大柴达木湖	石盐、淤泥	35.9	0.34	1963.8	中国科学院兰州地质研究所
	21	小柴达木湖	淤泥、石盐	35.91	0.26	1959.11	青海省地质局柴达木第一地质队
	22	柴凯湖	石盐	18		1959	同上
	23	柯柯盐湖	石盐	1.5	0.18	1959.8	同上
	24	希里沟湖	淤泥	19.5	0.50	1959.1	同上
	25	茶卡盐湖	石盐	104	0.25		同上
	26	大浪滩(干盐湖)	石盐				同上
	27	一里平(干盐湖)	石盐				同上

盆地内气候干旱,多风少雨,具有高原荒漠的气候特征。年平均气温为 2—4℃,年平均气压为 725mbar。以西风为主,最大风速为 20—22m/s。年日照时数可达 3200—3600h。

年降水量在 50mm 以下,盆地西部不足 20mm,东部稍高,只有德令哈和都兰地区有时年降水量大于 50mm,降水主要集中在 6、7、8 月份。全盆地年蒸发量在 2000—3000mm 之间,最高可达 3700mm,是世界上蒸发量最大的地区之一。在盆地中部和西部广阔区域内蒸发量和降水量之比可达百倍。这样的气候条件和上述的地形条件对盐湖的形成提供了理想的自然地理环境。

二、柴达木盆地盐湖的分布特征

(一) 盆地盐湖的特点

柴达木盆地盐湖的特点主要表现在下列三个方面:(1)湖面海拔高,湖水水深浅;(2)具有很高的含盐度,硼、锂及其它稀散元素较富集;(3)“干盐滩”占主导地位,表面湖水和“干盐滩”的晶间卤水有广泛的水力联系。

1. 湖面海拔高,湖水水深浅

柴达木盆地各盐湖湖面海拔均较高,它们的分布高程在 2675—3171m 之间,是世界较高盐湖区之一,其中涩聂湖最低,小柴达木湖最高。

湖水较浅是柴达木各盐湖的普遍规律。淡水湖、半咸水湖湖水深度较大,如盆地东部的尕斯库勒湖,湖水面积仅有 37.4km²,水深可达 8—13m,最大深度为 15m。盐湖表面湖水深度均较浅,一般为数十厘米,如盆地内最大的达布逊湖,湖水面积为 210km²,平均水深仅有 50cm,最大深度为 96cm (1964 年作者实测)。

湖底比较平缓,地形起伏不大。这种高海拔的浅水环境,有利于蒸发作用的进行。同时,由于季节不同,水补给量也就不同,所以造成湖缘线大幅度的扩大和收缩,成为柴达木盆地盐湖表面湖水面积多变的特点。

2. 表面湖水的含盐度极高

柴达木盆地诸盐湖其平均含盐量为 332.4g/L,比海水高出 10 倍,最高可达 526.46g/L (团结湖)。盆地内各盐湖的含盐量见第十章盐湖各论。

卤水中主要阳离子含量为 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} \approx \text{K}^+$,阴离子毫无例外的是 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 。这与世界上一些较大的淡水湖以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 为主是不同的^[1]。但是盆地内的淡水湖和半咸水湖包括青海湖在内,其主要离子相对含量顺序均与该区盐湖相似,它反映了盐湖物质主要来源方面的一致性。

这种含盐度极高的浓盐溶液与其它较淡的天然水溶液在沉积地球化学作用上有较大的区别。对于蚀源区地表径流带入卤水湖的碎屑矿物、粘土矿物、各种悬浮物质和胶体物质,在进入卤水区并与卤水混合时,上述这些物质很快便沉积了下来。同样,那些富含碳酸盐的真离子溶液的径流,在与卤水混合时,迅速地发生碳酸钙的沉淀。往往卤水湖在地表径流补给的近岸处,碳酸钙质“碎片”比比皆是,甚至在距补给源湖岸一定距离形成碳酸钙质沉积物堆积的小岛,达布逊盐湖中的小岛就是碳酸钙质碎片堆积而形成的(照片 2)。在盐溶洞或地下水通过含盐淤泥及沿裂隙通过盐层时,往往形成碳酸钙质结核(照片 3),它们在大、小柴达木湖十分发育,在平面上沿地下水通道——裂隙分布。

3. “干盐湖”(照片4,5,6)

无表面湖水或表面湖水较少的“干盐湖”是柴达木盆地盐湖的重要特点之一。全盆地各盐湖表面卤水总面积约 1000km^2 ，“干盐湖”和“干盐滩”总面积约为 10000km^2 ，它是表面卤水的 10 倍，占柴达木盆地总面积的十分之一。

在这些“干盐湖”和“干盐滩”的盐类沉积层中，均富含晶间卤水，由于各湖区盐类沉积厚度远大于表面湖水的厚度，所以晶间卤水的总量远远大于表面湖水的总量，从而“干盐湖”的晶间卤水成为柴达木盆地盐类资源的宝库(照片 7)。

“干盐湖”大都分布在无地表径流补给的盆地西部地区，如大浪滩、察汗斯拉图、昆特依、一里平等。“干盐滩”往往与毗邻的卤水湖连结在一起，本书所指的湖区是由在成因上有直接联系的表面卤水湖和“干盐滩”两部分组成。如著名的察尔汗湖区就是由分布面积为 5800km^2 的“干盐滩”及其周围分布的南霍布逊湖、北霍布逊湖、团结湖、协作湖、达布逊湖、达西湖、小别勒湖、大别勒湖、涩聂湖等组成(图 1)。

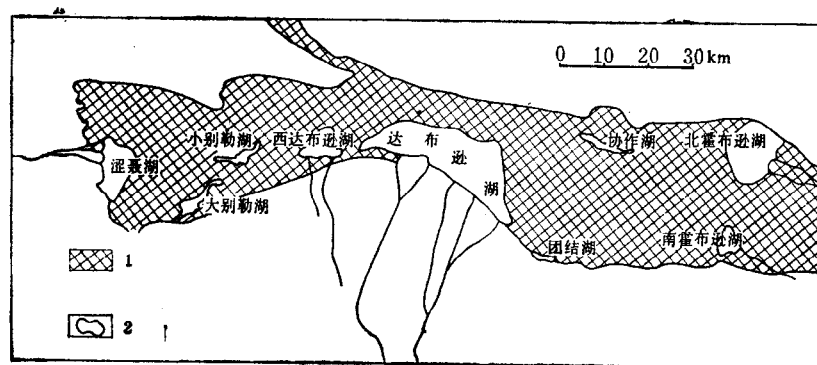


图 1 柴达木盆地察尔汗湖区略图
1. 干盐滩 2. 卤水湖

“干盐湖”晶间卤水的埋深一般为 $50\text{—}100\text{cm}$ ，晶间水埋深变化，视距表面湖水的远近而有所不同，距湖水近则埋深浅，反之则深。晶间水水位变化受干盐滩地表地形起伏的影响，具有一般潜水水位受地形控制而变化的特征。盐湖表面湖水与“干盐滩”晶间水存在着广泛的水力联系，融雪季节——丰水期湖水补给晶间水；蒸发季节——枯水期湖水水位下降，晶间水补给湖水。

由于表面湖水与晶间卤水水位差不是很大(通常不大于 $3\text{—}5\text{m}$)，加之卤水的盐度高、粘度大，所以湖水和晶间水的交换、转化速度是较为缓慢的。根据我们在达布逊湖区多年长期观测的结果证实，并不是湖水水位上涨，晶间水水位升高，事实恰好相反，湖水在高水位时，晶间水正是低水位时期，晶间水高水位时期正好是湖水低水位期；当然接近湖水的地带，晶间水水位变化与湖水同步。但是这种同步变化范围较小，根据我们 1965—1967 年实测最大影响范围沿湖缘线不超过 2km ，广阔的干盐滩晶间水水位变化滞后于湖水。

这种晶间水滞后于湖水的现象和两者之间的缓慢交换作用，在成盐作用早期阶段是一个重要的地质因素。达布逊湖区在丰水期时较淡的湖水补给晶间水，造成近湖缘线附近晶间卤水成分复杂化(湖水的 SO_4^{2-} 大于晶间水)，并溶解了干盐滩上部地段特别是潜水

面附近的易溶矿物(主要是干自析阶段析出的钾镁盐),从而使补给影响范围的前缘地段形成高钾镁卤水带,当相对水位稳定阶段时,经过较长期干自析,在晶间水的不同位置析出各种不同盐类,通常可在“干盐滩”的湖水补给晶间水同步影响范围的前缘地带的盐类沉积中发现钾盐,而在近湖水地段的盐类沉积中发现微粒分散的石膏。枯水期强烈的蒸发使表面湖水水位迅速下降,此时滞后高水位的晶间水补给湖水,从而使湖缘线至低水位之间的地段蒸发沉积了大量盐类矿物。达布逊湖北缘现代光卤石形成的重要因素之一,就是毗邻“干盐滩”晶间水与湖水相互补给的结果(如图2)。

当湖水水位激烈下降时,如图2中B高钾、镁的晶间卤水补给湖水,在湖水近岸边缘形成高钾镁带卤水,这样的卤水在蒸发作用下首先析出石盐,继之少量的钾石盐和大量的光卤石析出。融雪季节淡水补给量激增,湖水水位上涨,表层光卤石被溶解,与此同时提高了湖水前缘水体中的钾、镁含量,当其达到饱和时,光卤石停止消溶,此时高钾、镁湖水补晶晶间水,如图2中C。融雪季节过去,当淡水补给量减少到蒸发量以下时,湖水浓缩析出石盐,湖水水位下降,高钾镁晶间水再次补给湖水,在沉积了石盐之后析出了第二层光卤石如图2中D。如此往复进行,即有石盐——光卤石沉积的多次韵律,大层连续韵律基本上与年沉积周期相当,但由于新盐表面凹凸不平,浪击石盐堆积作用,风力影响和暂时降水等气候因素的短期作用等,所以在年韵律中,小的韵律也是很发育的,它一般不连续,横向变化大。图2中E从直观上看是一个超覆沉积关系,但实质上钾盐的沉积是在湖水水位下降时,晶间卤水补给所造成的假超覆现象。必须指出这种石盐、钾盐(光卤石)韵律的存在,是在湖水水质接近光卤石析出阶段和湖水水位升降幅度不大的范围内进行的,石盐和光卤石层较纯,一般不含或很少含泥砂物质。

有关钾盐的形成将在第六章中详细讨论,本节只是强调“干盐湖”这一柴达木盆地盐

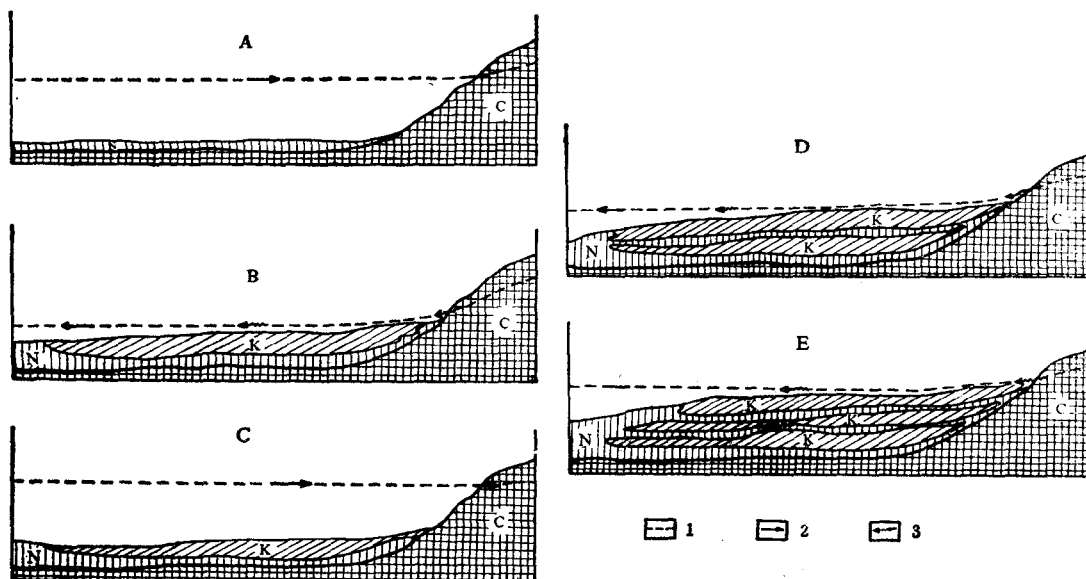


图2 达布逊盐湖现代光卤石沉积形成过程示意图

1. 湖水与晶间水水位线 2. 湖水运动方向 3. 晶间水运动方向 C. 根盐 N. 新盐(石盐) K. 光卤石

湖的特点,并扼要说明表面湖水与毗邻“干盐滩”存在着水力联系的重要性。总之,湖水与干盐滩晶间水的交换作用是一个重要的地质因素,它在成盐作用的早期阶段,一直改变着原盐沉积的矿物组合,并且控制着湖缘线附近湖水边缘的盐类沉积。

4. 盆地边缘盐湖盐溶发育

盐湖蒸发岩沉积与石灰岩沉积一样,在地下水的作用下,一般岩溶较发育,现代盐湖沉积也不例外。在柴达木盆地边缘的一些盐湖区,如大、小柴达木湖区,马海湖区,茶卡盐湖区等,由于地下水丰富,盐类沉积下伏的淤泥粘土沉积中含砂量不均一,或由于新构造运动造成下伏沉积层的破碎,从而形成地下承压淡水的通路,使得上覆石盐沉积层被溶解,成为盐溶洞(照片8)。盐溶的形态是多种多样的,但不外乎是三大类,即溶孔、溶洞和溶塘(照片9、10)。

溶孔在形成方式上分为两种,一为降水淋滤溶蚀盐岩;一为低矿化度潜水或承压水通过泉眼上升溶蚀盐岩。前者在地表干盐滩盐壳潜水面以上广泛分布,呈蜂窝状溶蚀小孔,往往在地表盐壳底部有盐钟乳、盐石笋和盐石柱(照片11),它们无论是在盆地中部还是盆地边缘的现代盐湖中均有广泛分布。后者为上升的水、气所形成,多分布于地下水溢出带与盐层接触处或地下水较发育的盐类沉积边缘地带,孔径较小,以无垂直穿透盐层做为与溶洞的主要区别。

溶洞为盐层的某一部位强烈溶蚀形成贯通盐层或大部贯通盐层的孔洞,前者为明溶洞,后者为暗溶洞。明、暗溶洞主要决定于盐层潜水水位与承压低矿化水水位之间的关系,承压水水位远高于湖区潜水水位,则形成裸露地表的溶洞,反之则成为暗溶洞,见示意图3。此外,水文地质条件的变异,特别是潜水面的升降变化,承压地下水补给水量

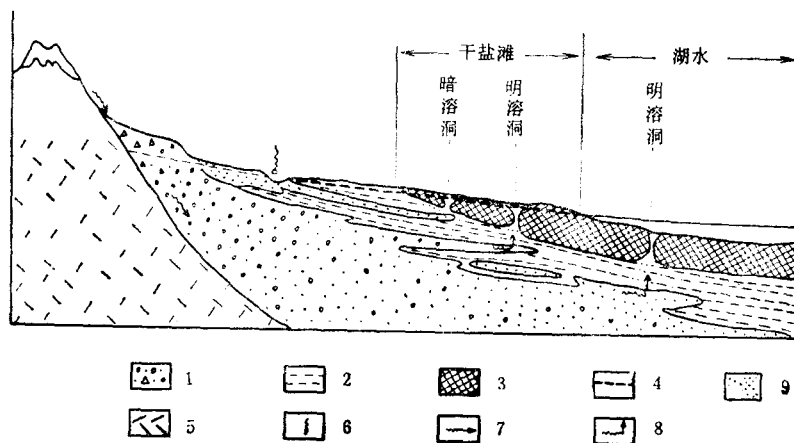


图3 盐溶形成条件示意图

1.砂砾 2.粘土 3.石盐 4.潜水位 5.基岩 6.上升泉 7.水流方向 8.承压水上升方向 9.砂

的改变和溶洞发育的各不同阶段,这对溶洞形态的影响均较大。在溶洞发育的晚期阶段,盐溶后生沉积物可以全部填满溶洞,沉积物主要为石盐层底板物质,如在大柴达木湖南岸盐滩中,后期阶段盐溶内后生沉积物主要是黑色含石膏的淤泥,因该盐层之下为腐植质淤泥沉积。在这个接近干枯的盐溶洞表面已不存在连续的水体,盐溶表面已成为半凸镜状,

中间部位已高出潜水面。环状分布的盐溶水矿化度极高(相对密度 1.213),与相邻的晶间卤水水质对比无甚大的差别,唯一的区别是硫酸根略高些,后生盐溶沉积球面上。由于强烈的蒸发作用,析出有 3—10cm 的盐类物质,下部为厚板状结晶石膏,上部特别是中央部位,有芒硝盐沉积(见图 4)。溶洞无论是在干盐滩上,或是在湖水区均有广泛的分布,

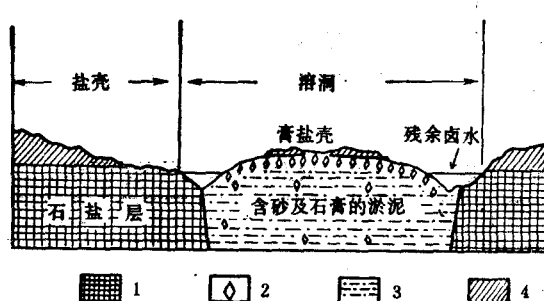


图 4 发育后期的盐溶示意图

1. 石盐 2. 石膏 3. 含砂淤泥 4. 盐壳

盐溶洞的广泛分布表明,在盐湖演化的历程中,曾经历了干旱气候条件下的大量成盐阶段,在形成一定厚度的石盐层以后,又经历了一个相对气候潮湿的过程,从而造成广泛发育的溶洞,而它们的出现必定是在地下水活动的地带。盆地中部盐湖,由于盐下沉积为不透水的粘土物质,所以溶洞极不发育,如东、西台吉乃尔湖。因此,我们可以根据在石盐层中有无盐溶后生沉积来推断成盐后的气候变异,但是必须搞清盐下沉积物的性质以及当时盐体所处的古地理位置。

溶塘分布于自流盆地地下水溢出带与盐层接触地带,或深埋于盐层下的古河床、古风成砂丘附近,它是溶孔和溶洞集中发育的地带,在大柴达木湖的东南隅和察尔汗干盐滩的北部边缘地带均有发现。除有群集的溶洞景观外,往往在地形上出现溶陷带,我们根据溶陷地形和溶塘带中溶洞的分布以追溯古河床和古沙丘的分布。

总之,除柴达木盆地中部地区的盐湖外,其它现代盐湖的盐溶非常发育,它指明了在盐溶没有发育以前,盆地曾经经历了一个比现代气候干旱得多的阶段。

(二) 盆地盐湖的分布特征

柴达木盆地盐湖的分布现状,是该区特定地质条件下湖盆长期演化的结果,它们在分布上,可大致归纳为如下两个主要特征。

1. 沿汇水中心区域地下水循环基准面分布

在柴达木盆地中,新生代的构造运动,使整个盆地分割成许多次一级的小盆地,如茶卡盆地、德令哈盆地、大柴旦盆地、小柴旦盆地、马海-冷湖盆地、阿拉尔盆地、乌图美仁-察汗乌苏盆地等。重要的是上新世末期和中更新世以来的新构造运动,前者使西部湖相地层褶皱,造成很多背斜构造,从而形成很多洼地;而后者在大、小柴旦区和盆地中部广大地区产生了一些不均一的隆起区,使得前述的一些盆地再一次被分割。这些盆地和洼地都成为现代的汇水流域,盐湖即分布于其低洼中心区。

盆地西部由于阿尔金山水系不发育,所以大多数为“干盐湖”,如大浪滩、察汗斯拉图、一里平等干盐湖。全盆地绝大多数具有表面卤水的盐湖,依赖于两大山脉水系的发育而存在,可以说祁连、昆仑两大山脉水系的发育控制着现代盐湖的分布,从属于两大山脉水系的现代盐湖列于表 2。

牛郎织女湖、钾湖、昆特依、巴龙马海等盐湖主要依靠地下水补给,但必须指出,盐湖在其演化的历史中,补给水源是多方面的,特别是盆地中部的一里平-台吉乃尔、别勒滩-察尔汗古湖绝非只是昆仑山水系的补给。目前属祁连山水系的全集河补给察尔汗盐滩北缘的协作湖就是一个现实的例证。

表 2 柴达木盆地主要盐湖的补给水系表

水系名称	地 表 径 流 名 称		注入盐湖名称
昆 仑 山 水 系	阿拉尔河,托斯克雅河		尕斯库勒湖
	那仁郭勒河	西台吉乃尔河	西台吉乃尔湖
		东台吉乃尔河	东台吉乃尔湖
	乌图美仁河,大、小灶火河		涩聂湖
	清水河	托拉亥河	大别勒湖
		清水河	小别勒湖
	格尔木河	西格尔木河	达西湖 达布逊湖 团结湖
		东格尔木河	
	鲁乌苏河,努尔河		南霍布逊湖
	索林郭勒河,柴达木河		北霍布逊湖
祁 连 山 水 系	茶卡河		茶卡盐湖
	希里沟河,察汗河		希里沟湖
	塔塔棱河		小柴达木湖
	鱼卡河	鱼卡东河	大柴达木湖
		马海河	德宗马海湖
	南八仙河		巴龙马海湖
	全集河		协作湖

2. 依区域主构造线方向展布

盐湖分布的另一特征是具有明显的方向性。柴达木盆地区域主构造线方向为北西和北东两组,尤以北西-南东方向最发育。盐湖的分布呈北西-南东向延伸,排列规则如一里平、西台吉乃尔湖、鸭湖、东台吉乃尔湖沿北西-南东向排列,形似串珠且各湖北岸陡直,我们依据盆地内深大断裂的走向、断裂带长度和盆地内诸盐湖的长轴走向长度做复合玫瑰图(图 5),可清楚地看出盆地内盐湖的分布,主要被构造因素所控制。可以认为:柴达木盆地盐湖绝非只是由于地质外营力作用所致,应该说它们是构造湖长期演化的结果。为此,对柴达木盆地进行构造单元的划分是十分必要的。早在 1959 年袁见齐教授把盆地内盐湖划分为三个带^[2],即盆地中部盐湖;大盆地边缘的盐湖(指位于盆地西部,老山与第三

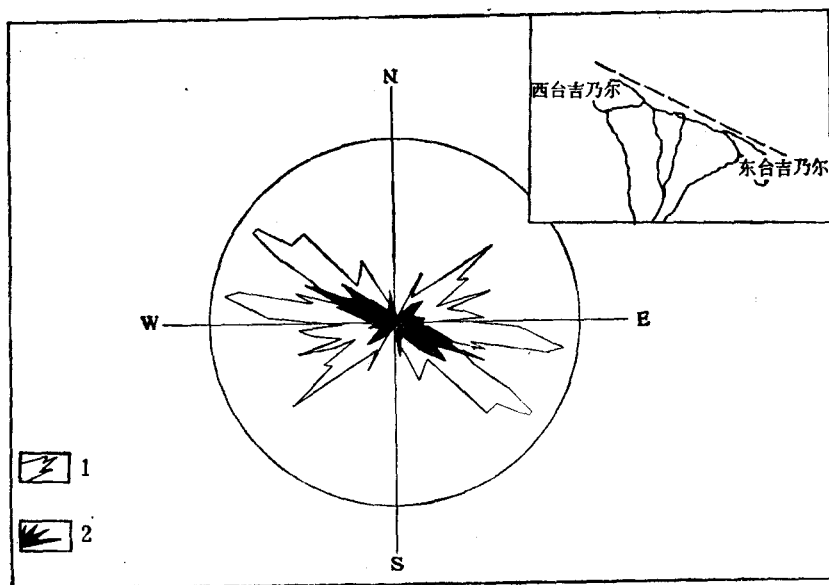


图5 盐湖长轴与区域主构造线方向组合玫瑰图

1. 深大断裂带走向玫瑰图 2. 盐湖长轴走向玫瑰图

系褶皱带间的盐湖);盆地北侧小盆地中的盐湖。

最近,宋建国、廖健等同志归纳了大量资料,提出了柴达木盆地构造单元详细划分的意见¹⁾。根据上述资料,结合盐湖特征,我们把盆地划分为:茫崖断陷、中部强烈拗陷和祁连山山前块断带,三个次一级构造单元。

茫崖断陷是一个新生代沉降区,沉降幅度在上新世达到高峰,晚期喜马拉雅运动形成紧密褶皱带,向西消失于乌图美仁附近。在昆仑山与褶皱带间分布着数十公里的宽广平缓地带。尕斯库勒湖、茫崖湖以及半咸水的塔尔丁湖、那北湖等均分布于该带。

盆地中部强烈拗陷带,为西起牛鼻子梁,东经一里平、台吉乃尔直到霍布逊湖一带的北西向三湖深大断裂带所控制的横贯盆地中部的广大地域。它是柴达木盆地自新生代以来的主要沉降区,北界大体位于赛什腾—埃姆尼克南缘深断裂一带,南界东段以布尔汉不达山北缘深断裂为界,西段与茫崖断陷毗邻,界于黄石—大风山凸起一线。之所以这样划分,主要考虑其是自第三纪到第四纪以来为盆地内历次沉降区的主体,是盆地内主要沉降中心依时间的早晚,自西北往东南迁移的界域,从而控制着柴达木古湖的演化、分割、迁移和各盐湖区的形成与分布。因此,在这一构造带内盐湖众多、盐类资源极其丰富,著名的察尔汗、一里平、台吉乃尔、昆特依等湖区均分布于该带。

祁连山山前断块带,为盆地东北部北西向的狭长地带,西起冷湖经南八仙、埃姆尼克山一线与盆地中部构造带接壤。该区断裂非常发育,沿山麓形成一条狭长的中、新生代断块带,中新生界地层广泛出露。由于北西和北东向断裂相互交叉,北西向深断裂层面扭动,因此断块差异升降运动显著,从而形成一些第四纪互不连通的断陷盆地,为湖泊的发育创造了良好的地形条件。这里的湖泊大都从属于祁连山水系。马海、柴达木、柯柯、茶

1) 宋建国、廖健, 1980, 柴达木盆地构造特征及油气区的划分和评价。

卡等盐湖区和半咸水、淡水的苏干、托素、克鲁克等湖均分布于该带。

总之,盆地内的盐湖多为构造湖,大都依区域主构造线方向分布。两大山脉水系的补给,是现代盐湖赖以生存的必要条件。因此,盆地内构造运动,特别是新构造运动和祁连、昆仑两大山脉所发育的水系是控制盐湖分布的两个主要因素。

三、柴达木盆地盐湖分区

鉴于上述盐湖分布的两大控制因素,我们依照柴达木盆地次一级构造单元划分为三大盐湖区,东北区从属于祁连山水系,西南区从属于昆仑水系,中部区在地史发展和湖泊演化的历程中先后接受着阿尔金山、祁连山、昆仑山脉水系的补给。由于三大盐湖区内不同区段存在着差异的地球化学背景,从而根据盐湖的发育程度、赋存的特征盐类或盐卤中的特征元素,可细分为亚区(图6)。

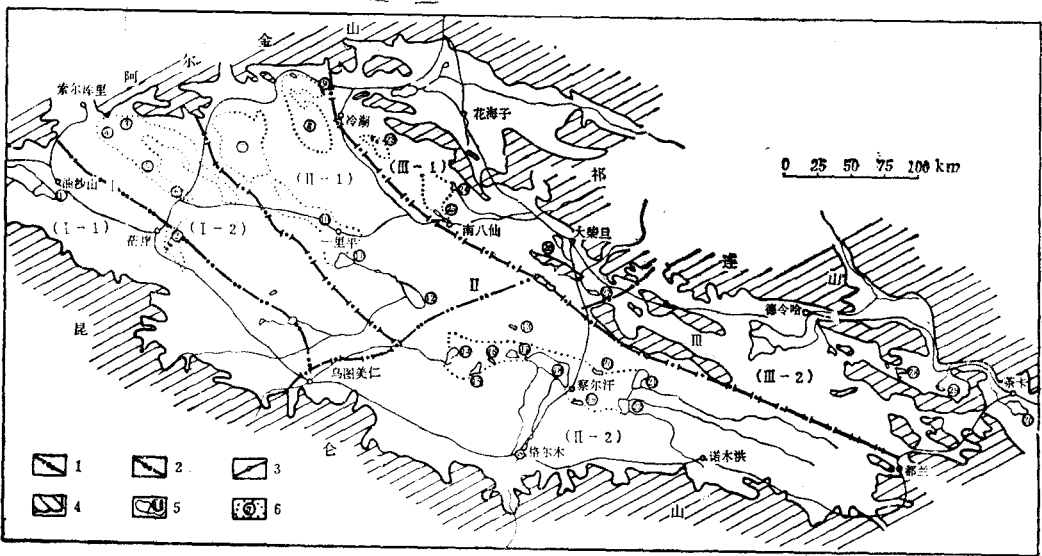


图6 柴达木盆地盐湖分区图

1.盐湖区界线 2.亚区界线 3.居民点公路 4.盆地界限 5.盐湖及编号 6.干盐湖及编号

区	I 茫崖断陷盐湖区		II 盆地中部强烈拗陷带盐湖区				III 祁连山前断块带盐湖区	
亚区	(I-1)	(I-2)	(II-1)	(II-2)		(III-1)	(III-2)	
盐 湖 名 称	1 尕斯库勒湖	3 大浪滩 (干盐湖)	7 察汗斯拉图 (干盐湖)	13 东陵湖	19 团结湖	23 牛郎织女湖	28 柯柯盐湖	
	2 茫崖湖	4 咸水泉 (干盐湖)	8 昆特依 (干盐湖)	14 涩聂湖	20 协作湖	24 德宗马海湖	29 希里沟湖	
		5 油泉子 (干盐湖)	9 钾湖	15 大别勒湖	21 北霍布逊湖	25 巴龙马海湖	30 茶卡盐湖	
		6 风南 (干盐湖)	10 一里平 (干盐湖)	16 小别勒湖	22 南霍布逊湖	26 大柴达木湖		
			11 西台吉乃尔湖	17 达西湖		27 小柴达木湖		
		12 东台吉乃尔湖	18 达布逊湖					