

柴达木盆地沙下盐湖 的卤水化学及矿物沉积特征 ——以察尔汗盐湖区北部外围地带为例

胡 东 生

(中国科学院盐湖研究所, 西宁 810008)

摘要 对柴达木盆地察尔汗盐湖区外围沙下盐湖的卤水及沉积进行了综合研究。沙下盐湖卤水化学组成与地表径流和开放性盐湖卤水之间存在明显的差异性, 具有高 $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 、低 $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ 、贫 $\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 等特征。沙下盐湖析盐层位含有新生矿物并夹带碎屑矿物, 其盐类矿物组合为: 石盐 + 羟氟镁铝石 + 光卤石。25℃等温蒸发相图表明, 其卤水演化方向往光卤石析出区迁移, 在穿越上覆盖层通道中卤水发生的物理化学反应与独特的沉积特征, 可以作为继续寻找沙下盐湖的指导。

关键词 卤水化学组成 沉积矿物组合 沙下盐湖 柴达木盆地

在柴达木盆地中东部的察尔汗盐湖区外围地带发现沙下盐湖, 意味着该地区盐湖资源储量的扩充, 这对柴达木盆地以及我国广大的干旱-半干旱区内陆盆地的盐类卤水找矿, 展示了广阔的前景。对盐湖资源与环境的理论研究和环境增益都有一定的指导意义。本文对沙下盐湖的卤水组成及沉积特征等方面进行初步研究。

1 沙下盐湖的地质概况

沙下盐湖位于察尔汗盐湖的北面, 处在盐湖构造-哑巴尔构造与盐湖北堤(盐湖区北部溶沟带)之间的过渡地带。其南面与察尔汗盐湖区呈缓坡状接触, 北面边界与雅丹地貌景观互为穿插, 西面边界延长至东陵湖盐滩的东缘, 东面边界在青藏公路以东可向协作湖的西部盐滩延展。沙下盐湖长约 60km, 宽约 10km, 面积约 500km²; 总体形态为矩形, 呈北西西向展布; 潜水位一般埋深为 0.5~2.5m, 含水层厚度约为 5~10m。综合资料表明, 沙下盐湖的地质结构是复杂的, 其展布范围的地表景观以沙丘带和雅丹谷地为主体; 水体补给来源主要依靠北部第三纪地层的泉线及潜流。沙下盐湖潜水位以下物质成分主要为粉砂淤泥质岩系, 发育有水平层理; 潜水位以上物质成分以粘土粉砂质岩系为主, 层理不发育。由于沙下盐湖的

• 国家重大科技攻关项目(编号:85-802-1)基金资助课题。

收稿日期:1994年6月29日;接受日期:1994年8月22日。

作者简介:胡东生,男,1951年,副研究员。1977年毕业于西北大学地质系。主要从事盐湖资源与环境研究工作,发表“近代察尔汗盐湖的变迁”等论文40余篇。

地质位置处于察尔汗现代盐湖区与第四纪早期隆起构造带之间的过渡地带,形成了沙下盐湖上覆地层结构的多元性。根据地球物理测量分析,察尔汗现代盐湖区的基底是柴达木新生代沉积盆地中的一个次级舌状盆地^[1],其基底是深厚的泥质岩系建造。盐湖区北部新构造隆起褶皱带则位于舌状盆地的边缘。由此表明,现代盐湖的盐系盖层沉积建造与基底结构具有密切的关系。

另外,地球重力测量资料表明,察尔汗盐湖区新生代沉积基底的陷中心位置发育在次级盆地中段的北部边缘。而察尔汗盐湖区中段现代层沉积中心则展布在次级盆地的南部边缘。这种现象是基底构造活动的不均匀性和深部对表层的时空转变关系的滞后性所造成的。这就意味着,受新生代沉积次级盆地基底沉降中心所控制的察尔汗盐湖区的盐系盖层沉积中心曾发生过迁移,盖层建造沉积中心的迁移必然要影响到物质补给形式的改变。由此可知,沙下盐湖的发育是新生代沉积次级盆地边缘构造活动的结果,并使其北部第三纪地层组成的中低山系遗留的古水系统(现已干涸及消亡)汇集到第四纪盖层沉降中心而来,形成局部性的次级汇水中心,出现沙下盐湖的原始水体。第四纪晚期随着基底构造的倾斜作用(主要表现为基底断裂的新构造活动),盐湖区现代沉积中心南移,并且区域气候环境向持续干旱化发展,展布在第三纪地层中低山系区的古水系发生萎缩,沙下盐湖转变为脱离地表径流而呈现为主要依靠周边潜水以及深部水等补给的形式。

由上可知,沙下盐湖形成过程中其水体补给形式及性质发生了一系列的复杂转变。发育初期(发生于第四纪早期)由于补给水系尚有地表径流的汇入,水量也比较充沛,水体矿化度较低,呈现为淡水-半咸水状态;其后(发生于第四纪晚期)随着地表径流的丧失,补给形式转变为地下径流及周边潜水等的渗透,沙下湖水体向半咸水-咸水状态发展。沙下盐湖形成以后其水体的支出主要依靠上覆多孔隙盖层的毛细管蒸发作用,它与湖表暴露水体的蒸发过程有很大差别。后者(开放性盐湖卤水)的蒸发作用是完全无干扰的物理化学反应过程,它的蒸发界面是自由大气,其蒸发作用的产物即蒸发盐可以用湖水的主要化学组成通过等温相图计算直接得到。而沙下盐湖水体的蒸发作用是一种不充分有干扰的物理化学反应过程,它的蒸发界面是疏松盖层面,其水体在蒸发过程中要上升穿插上覆盖层碎屑物质的复式结构,然后才能到达析盐相共结点的平衡位置。由此可见,沙下盐湖的卤水演化方向和盐类沉积特征要比一般盐湖(开放性盐湖卤水)复杂得多。

2 沙下盐湖的卤水化学

根据沙下盐湖东南部取样(潜水位深度 1.65m)的水化学分析结果,并且与其周边地带的盐湖卤水进行了对比(表 1)。表明沙下盐湖卤水化学组成具有明显的差异特征。按卤水难溶盐水化学分类,沙下盐湖水体也属氯化物型,相对密度为 1.135, pH 为 5.8,矿化度为 194.07g/L,化学成分具有高 Na^+ 、高 Cl^- 、低 Mg^{2+} 、低 Ca^{2+} 、低 SO_4^{2-} 、贫 K^+ 、贫 CO_3^{2-} 、贫 HCO_3^- 等特点。用 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 和 SO_4^{2-} 的比例系数计算结果比较如下。沙下盐湖: $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 为 0.175, $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 为 0.060, SO_4^{2-} 为 1; 东陵湖: $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 为 7.620, $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 为 0.054, SO_4^{2-} 为 0.166; 协作湖: $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 为 4.054, $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 为 0.070, SO_4^{2-} 为 0.158; 达布逊

湖(枯水期): Mg^{2+}/Na^+ 为148.548, Ca^{2+}/Cl^- 为0.0002, SO_4^{2-} 为5.250;达布逊湖(丰水期): Mg^{2+}/Na^+ 为0.423, Ca^{2+}/Cl^- 为0.007, SO_4^{2-} 为3.968;达布逊湖晶间卤水: Mg^{2+}/Na^+ 为1.112, Ca^{2+}/Cl^- 为0.010, SO_4^{2-} 为1.864。以上数据表明,沙下盐湖卤水性质既与淡化湖水有显著差别,又与晶间卤水也有很大区别。从卤水化学组分整体特征而言,沙下盐湖卤水与有地表径流补给的湖水相对较疏远,与主要为地下渗流补给的湖水相对较亲近。

表1 沙下盐湖与周边盐湖卤水化学成分对比

单位:mg/L

Tab.1 Brine chemical composition of the undersand lake and the periphery salt lakes

地点	矿化度 (g/L)	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	相图指数			相图点	难溶盐系数		水化学类型
											2K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻		Ka	Kb	
沙下盐湖	194.07	5.8	53.34	0.76	9.33	7.29	122.09	1.25	—	0.01	4.53	94.43	1.04	1	14.0	43.5	CL
东陵湖	379.84	6.9	9.42	18.11	71.78	14.48	265.83	0.21	0.02	—	7.11	92.87	0.02	2	180.5	1656.3	CL
协作湖	358.47	5.5	16.00	7.72	64.87	17.66	252.02	0.20	0.002	—	3.47	96.51	0.02	3	220.2	1554.0	CL
达布逊湖 ^①	268.70	7.3	59.09	8.18	25.02	1.19	169.88	4.98	0.02	0.18	10.22	88.36	1.42	4	0.54	20.46	SM
达布逊湖 ^②	470.10	5.3	0.80	0.71	118.69	0.08	342.83	6.57	0.42	—	0.24	99.37	0.45	5	—	71.2	SM
达布逊湖 ^③	331.85	6.7	41.87	19.04	46.54	2.19	219.67	2.33	—	0.22	10.98	92.66	0.35	6	2.2	81.9	CL

① 丰水期;② 枯水期;③ 晶间卤水

依据卤水亚型随机图式^[2]分析,沙下盐湖与其周边盐湖卤水的阴离子域类型均为Cl型水,而其阳离子域类型均有差异。按照离子域随机图式类型划分如下:沙下盐湖为(Na⁺+K⁺)-Mg²⁺-Ca²⁺-Cl⁻型,东陵湖为Mg²⁺-(Na⁺+K⁺)-Ca²⁺-Cl⁻型,协作湖为Mg²⁺-(Na⁺+K⁺)-Ca²⁺-Cl⁻型,达布逊湖(枯水期)为Mg²⁺-Cl⁻型,达布逊湖(丰水期)为(Na⁺+K⁺)-Mg²⁺-Cl⁻型,达布逊湖晶间卤水为Mg²⁺-(Na⁺+K⁺)-Cl⁻型。其对比系统卤水化学离子域演化途径可以表达为,阴离子域中Cl在其演变中起主要控制因素;阳离子域中经过亚稳定态则为先丧失Ca²⁺(钙盐析出,主要为CaCO₃和CaSO₄),继而丧失(Na⁺+K⁺)离子(钠盐、钾盐析出,先析出NaCl,后析出KCl),终而达到富Mg²⁺稳定态(镁盐析出,主要为MgCl₂·6H₂O)阶段。

卤水化学演化相图的位相变化(图1)表明,在对比系统中沙下盐湖卤水为起点,达布逊湖(枯水期)卤水为终点,中间经由达布逊湖(丰水期)卤水、达布逊湖晶间卤水、协作湖卤水和东陵湖卤水的变化相位点;其卤水整体系统是由(Na+K)Cl阶段向MgCl₂·6H₂O阶段而演化的。其中,协作湖和东陵湖已转变为半隐伏状的受阻蒸发空间,其补给来源主要依赖潜水渗流和深部水。从对比系统卤水演化相图路线也可以精细解析如下二个亚级系列。

(1) 贫钙系列 达布逊湖(丰水期)卤水—达布逊湖晶间卤水—达布逊湖(枯水期)卤水,代表着开放性(以及与其有直接水力联系的)边缘晶间卤水在自由空间中完全蒸发的演变路线。

(2) 含钙系列 沙下盐湖卤水—协作湖卤水—东陵湖卤水,代表着封闭性湖水(以及依靠地下渗流补给的半隐伏状的湖表卤水)在受阻扰动不完全蒸发的演变路线。

综上所述,沙下盐湖水体化学组成与周边盐湖卤水既有相似之处又有差异之处。反映了其卤水来源的多元性,这也与沙下盐湖的发育条件和长期演变存在密切的联系。沙下盐湖卤水演化的主体路径表明,是属于封闭性和依靠周边地下水地下渗流补给的盐湖类型。这种卤水

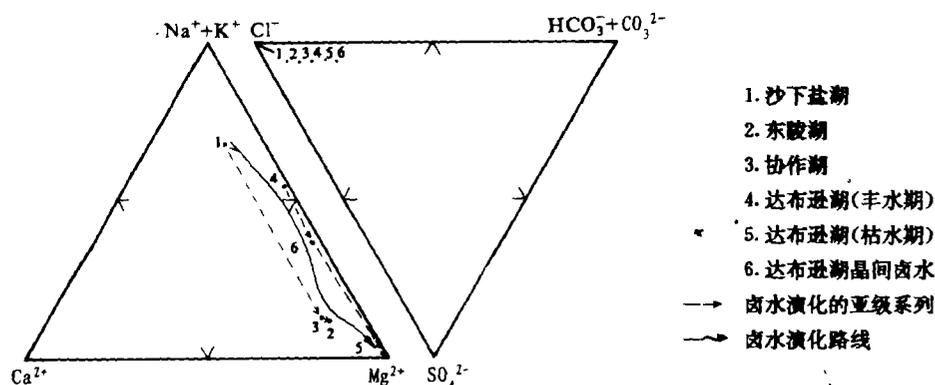


图1 沙下盐湖与周边盐湖卤水化学演化趋势相图

Fig. 1 Trend facial map of the brines chemical evolution for the undersand lake and the periphery salt lakes

化学组成及其演变过程必然要影响到其成盐方式和沉积特征。

3 沙下盐湖的矿物沉积特征

综合分析证明沙下盐湖的成盐作用是复式成盐建造系统,其成盐方式主要受沙下盐湖不同构造部位的不同成盐作用所控制。如在沙坪部位发育蒸发泵作用形成的次生板状盐壳;在上覆砂层中发育构造膜作用形成的富盐层位;在低缓沙丘凹陷带发育萨布哈作用形成的次生蜂窝状盐壳;在沙丘凹陷带和雅丹谷底发育渗透回流作用形成的间歇析盐现象。沙下盐湖复式成盐作用的成盐深度和沉积层位也有不同的表现形式。如蒸发泵作用和萨布哈作用的成盐层位呈暴露地表状;构造膜作用的成盐层位呈掩埋状;渗透回流作用的成盐层位呈迭加状。根据不同地段的野外工程揭露,沙下盐湖析盐沉积层矿物组成比较复杂(图2)。经光学显微镜鉴定和X衍射系统分析,沙下盐湖的盐类沉积矿物组合为:石盐+羟氯镁铝石+光卤石;碎屑矿物组合为:石英+长石。沙下盐湖的这种盐类矿物组合在我国盐湖沉积中是特有的,在国外盐湖矿物研究中尚未见报道。而其夹裹的碎屑矿物组合则反映了盖层中风成砂堆积的沉积特征,盐类矿物与碎屑矿物相互伴生是沙下盐湖复式成盐作用的典型特色。

从沙下湖卤水五元体系25℃准稳定相图(图3)可知,其卤水已进入光卤石析出区,并且靠近水氯镁石析出区的边缘,表明了沙下盐湖水体演变的最终阶段。与其周边盐湖卤水相比,沙下盐湖卤水的析盐位置与东陵湖和协作湖比较相近,与达布逊湖(晶间卤水、丰水期以及枯水期)的析盐位置相差较远。这种析盐变化关系与其卤水化学组成的变化趋势是一致的。诚然,这种等温结晶相图只是代表着自由界面的卤水蒸发析盐状态,但还不能完全充分表达沙下盐湖复杂的析盐过程。首先,沙下盐湖卤水是上覆盖层沉积掩埋的呈封闭状态;其次,沙下盐湖的蒸发作用要经过盖层沉积物孔隙通道的输送;最终,卤水上升达到饱和析盐的层位。由此可知,沙下盐湖水体在蒸发过程中必然要越过上覆地层碎屑物质之间的孔隙,也就必然存在卤水与碎屑物之间的物质交换和固液反应。

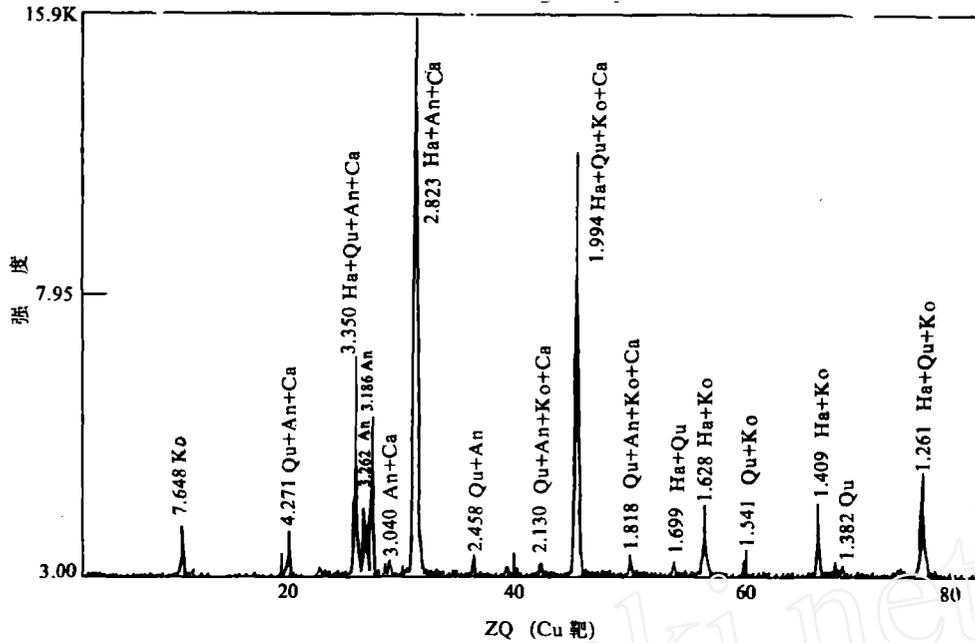


图 2 沙下盐湖析盐沉积层矿物组成 X 衍射图谱
 Ko:羟氯镁铝石;Ca:光卤石;Ha:石盐;Qu:石英;An:长石
 Fig. 2 X-ray diffractogram spectrum
 of salting sedimentary layer mineral composition in undersand lake

野外地质调查资料表明,沙下盐湖盖层中粗碎屑矿物主要为石英、长石,细碎屑矿物主要为粘土矿物。根据察尔汗盐湖区粘土矿物^[3]的研究,其矿物组成为:伊利石+绿泥石+蒙脱石+高岭土。粘土矿物由于粒度细反应比面大,很容易和卤水发生物理化学反应。那么,沙下湖卤水在其蒸发析盐过程中,其上升卤水和上升通道中的粘土矿物必然会发生物理化学反应。根据沙下湖卤水演化路线和盖层粘土矿物构成,其固液反应如下:卤水+粘土矿物→石盐+羟氯镁铝石+光卤石。从而表明,沙下盐湖盐类沉积矿物组合中羟氯镁铝石是次生矿物,主要反应过程表现为卤水中的K与粘土矿物中的Al发生置换反应,如伊利石(K、Al₂[(OH)₂(Si、Al)₄O₁₀])为其主要反应矿物,并生成较稳定的独立矿物羟氯镁铝石(Na₄Mg₆Al₄Cl₁₂(OH)₂₂),以新生矿物的形式出现。另一方面由于沙下盐湖水体在蒸发上升过

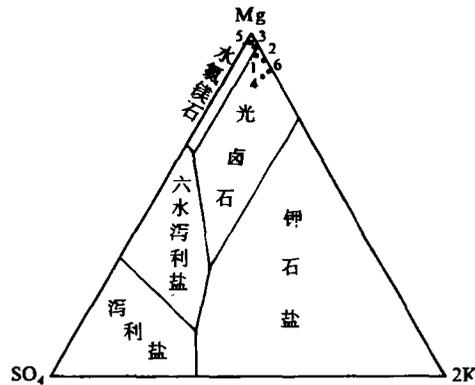


图 3 沙下盐湖与周边盐湖卤水 Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻-H₂O 五元体系 25℃ 准稳定相图
 1. 沙下盐湖; 2. 东陵湖; 3. 协作湖;
 4. 达布逊湖(丰水期); 5. 达布逊湖(枯水期);
 6. 达布逊湖晶间卤水
 Fig. 3 Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻-H₂O
 five unit system of 25℃ metastable facial map for
 the undersand lake and the periphery salt lakes

程中,其卤水和粘土矿物的反应进行的不完全,所生成的新生矿物(羟氯镁铝石)的含量很低。沙下盐湖盐类矿物沉积中,石盐为 80%,羟氯镁铝石约为 3%,光卤石约为 2%,并夹有 15%左右的碎屑矿物。

综上所述,沙下盐湖蒸发沉积岩层中,具有新生盐类矿物并夹带原生碎屑矿物。这种复式矿物组合结构是沙下盐湖的地质条件所决定的。其盐类矿物组合偏离正常卤水结晶路线,有新生反应矿物的出现,形成独特的沙下盐湖盐类矿物组合。其碎屑矿物中以粘土矿物的置换反应参与了沙下盐湖卤水蒸发析盐过程,这也是一般盐湖蒸发沉积中所不具备的。这些蒸发盐类矿物组合及其反应机制的揭示,为进一步深入研究沙下盐湖的地质环境演变提供了依据。

4 结 论

(1) 沙下盐湖是一种隐域性盐湖,在空间上具有复式成盐建造特征,它的发育是基底构造活动和盖层沉降中心以及区域气候环境复合作用的结果。

(2) 沙下盐湖由于地质结构的多元性,影响到其卤水带有明显的变异性,其水体化学组成具有高 Na^+ 、高 Cl^- 、低 Mg^{2+} 、低 Ca^{2+} 、低 SO_4^{2-} 、贫 K^+ 、贫 CO_3^{2-} 等特点。

(3) 沙下盐湖析盐层位盐类矿物组合为:石盐+羟氯镁铝石+光卤石;碎屑矿物组合为:石英+长石+粘土矿物。

(4) 沙下盐湖析盐层位中含有的新生矿物——羟氯镁铝石,是沙下盐湖特定环境条件下析盐过程中出现的标型矿物,可以作为确认和评价沙下盐湖存在及其演化的指示矿物。

(5) 根据察尔汗盐湖区沙下盐湖的地质结构和卤水化学变异及其沉积矿物组合特征,在柴达木盆地中西部有利地段有进一步工作和发现新的沙下盐湖的必要和可能。

致谢 林乐枝、山发寿、董继和等参加了部分试验及野外作业,于昇松研究员等给予支持,谨表谢忱。

参 考 文 献

- 1 Hu Dongsheng. The structural characteristics of orefield in Qarhan Salt Lake. *Chinese Sciences Bulletin*, 1991, 11: 915~919
- 2 A 莱尔曼主编(王苏民等译). 湖泊的化学地质学和物理学. 北京:地质出版社, 1989. 244~247
- 3 徐 昶. 我国盐湖粘土矿物及其意义的初步研究. *中国科学(B 辑)*, 1990, (3): 303~312

**BRINE CHEMISTRY AND MINERAL SEDIMENTARY
CHARACTERISTICS OF UNDERSAND SALT LAKES
IN Q AidAM BASIN: AN EXAMPLE FROM
THE PERIPHERAL ZONE OF QARHAN SALT LAKE**

Hu Dongsheng

(Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008)

Abstract

There are undersand salt lakes around Qarhan Salt Lake of Qaidam Basin. Their brine chemical compositions are obviously different from those of surface flows and open salt lakes, with higher $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$, lower $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$, poor $\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ etc. Salt-forming beds of undersand salt lakes contain neogenic minerals with detrital minerals carried, of which salt mineral assemblage is: halite + kosenerite + carnallite. The facial map of isothermal evaporation at 25°C indicates that the evolution direction of their brine tends to immigrate to carnallite area. When their brine passes through the channel of covering strata, physical and chemical affection may occur, and special sedimentary characteristics be observed. All these indicative characteristics may provide evidences for further exploitation of undersand salt lakes.

Key Words Brine chemical composition, sedimentary mineral assemblage, undersand salt lake, Qaidam Basin