

青海省察尔汗盐湖盐溶研究

张兆广, 李百贤

(青海省柴达木综合地质 勘查大队, 青海 格尔木 816000)

摘 要: 察尔汗盐湖是一个以卤水钾镁盐矿为主的大型综合性盐类矿床, 盐湖中有盐溶存在。主要从介绍水文地质背景开始来探讨盐溶的成因、分布规律、发展过程及对矿床的影响等问题。

关键词: 盐溶; 分布; 形态; 成因; 发展; 影响

中图分类号: P641.464

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2008)03-0019-06

察尔汗盐湖位于柴达木盆地的中东部, 是我国内陆高原上一个大型的现代盐湖钾镁盐矿床。盐湖矿区东西长 168 km, 南北宽 20 ~ 40 km, 面积 5 856 km², 自东向西依地质特征分为霍布逊、察尔汗、达布逊及别勒滩四个连续的区段。盐湖中有盐溶存在。

1 水文地质背景^[1-3]

察尔汗盐湖位于柴达木盆地中东部, 因深居内陆, 四周环山, 属典型的高原大陆性干旱气候。据察尔汗气象站资料, 多年平均降雨量 22.0 mm, 而蒸发量却高达 3 560.1 mm, 故降雨量对地下水的补给基本无意义。矿区内地下水主要来源于南、北山区, 但因南、北两地自然地理、地质构造及地貌条件不同, 使地下水径流排泄及水化学特征有较大的差异。

南部昆仑山, 海拔 3 200 ~ 6 000 m, 气候垂直分异明显, 高山区降雨量大, 地表水系发育, 山区地表及地下水的排泄, 成为盆地地下水主要补给区。昆仑山山前洪积砾石带直接接受山区地表及地下水的补给, 水量丰富, 径流条件好, 水化学类型以 HCO₃·Cl-Mg·Ca·Na 型为主, 矿化度一般 1 ~ 3 g/L。在砾石带前缘岩性颗粒变细, 地势较低, 地下水径流受阻相应水位

抬高并溢出地表成泉, 部分消耗于蒸发, 部分又在迳流过程中渗入地下, 只有少量可进入盐湖; 由于地层变化, 此带地下水开始形成上部潜水及下部承压水。至冲积平原, 地形平坦, 岩性颗粒更细, 地下水迳流条件更差, 上部潜水受蒸发及植物叶面蒸腾作用而浓缩, 并开始有了盐类聚集。至湖积平原含水层厚度变薄, 层数增多, 岩性颗粒更细。在盐湖边缘地带, 上部普遍分布有浅层微承压性潜水, 含水层岩性为粉砂、粉细砂、中细砂等, 厚度 6.98 ~ 17.68 m, 单位涌水量 0.005 5 ~ 0.006 8 L/s·m, 渗透系数 0.015 ~ 0.488 m/d。该层水延伸至矿区直接与盐层接触, 并补给矿床, 但进入矿区前矿化度高达 300 g/L 以上, 对盐层已失去溶解能力。本层水之下的承压含水层, 其顶板有较厚的粘土、粉砂粘土与上部盐层相隔, 与矿床无直接补排关系。总之, 矿区南部地下水对矿区现有盐溶的形成无关。

察尔汗盐湖北部的锡铁山及埃姆尼克山海拔 3 000 ~ 4 500 m, 处在雪线以下, 雨雪贫乏, 水系不发育, 基岩裂隙水富水性极弱, 不能大量补给山前第四系地层, 使得山前洪积砾石带地下水水量较贫乏。全集河出山口后的河水渗漏成为地下水补给的主要来源 (见图 1)。因北部第四系沉积物的分布空间狭窄, 且有新构造运

收稿日期: 2008-03-18

作者简介: 张兆广 (1978-), 男, 工程师, 从事盐湖矿产的勘查、开发与研究及水文地质、环境地质勘查与评价工作。

动隆起,破坏了山前地带地貌及岩性分带规律,其湖积物颗粒远比南部为粗。同时因地下水径流途径短,水力坡度大,因此在协作湖附近地下水仍保持较低的矿化度。本层水向湖心延伸,含水层岩性颗粒变细,至矿床边缘,出现以粉砂粘土为主的隔水层,含水层分为上部潜水和下部承压水。上部潜水直接与矿床接触,在矿化

度较低地段对盐层具有溶蚀作用。下部浅层承压水,延伸至矿区盐层下,由于隔水顶板较薄,隔水性能差,且有局部缺失,本层水通过一定通道上升,补给上部盐层,因矿化度较低,溶解盐层后形成盐溶洞。第二层盐下承压水,由于隔水顶板较厚,隔水性能较好,它与矿区盐溶的形成无直接关系。

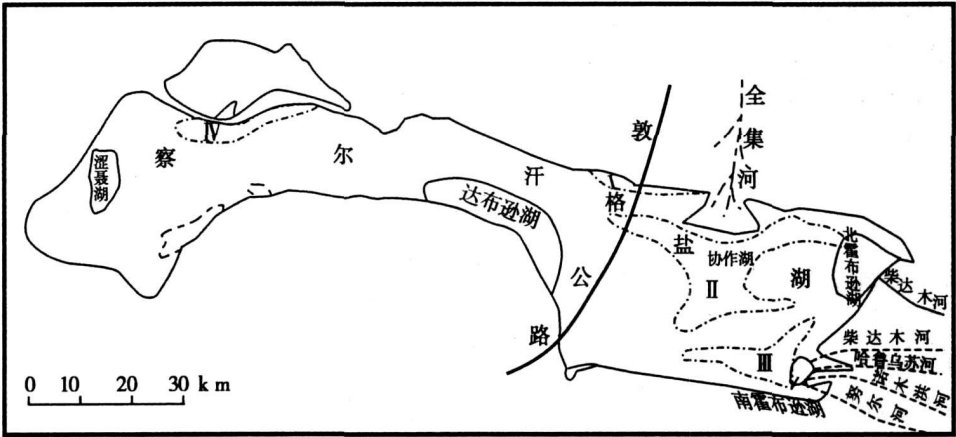


图 1 察尔汗盐湖盐溶分布图
Fig 1 Salt karst distribution map of Qarhan salt lake

盐湖东部的素棱郭勒河、哈鲁乌苏河等河流,流程较长,在进入盆地后,由于河床浅缓,流速减小,在强烈蒸发作用下,矿化度逐渐增高。在近湖地带,同一河流的不同支流,其河水矿化度有较大差异,流量小者矿化度可达 100 g/L 以上,流量大者矿化度仅 4.96 g/L。这些河流进入矿区后注入南、北霍布逊湖,目前湖水已成高浓度卤水(矿化度达 300 g/L 以上),对矿区现有盐溶的形成无关。但河流沿途渗漏补给地下水,使沿河地带地下水具有较低的矿化度。该层地下水可分为两层,第一层为浅层承压水,含水层岩性以粉砂为主,本层水至矿区延伸于盐层之下,与盐层之间无良好的隔水层,且含有气体,给地下水的垂直排泄创造了条件。南霍布逊湖西部盐溶洞的形成,本层水起主要作用。第二层承压水,埋藏较深,且上部有厚层粘土、粉砂粘土作隔水顶板,它与矿区盐溶洞的形成无直接关系。

2 盐溶的分布及形态

盐溶是指盐岩层被低矿化度水的溶蚀过程和所形成的外部形态的总称。

盐溶主要分布在全集河冲洪积扇的前缘及南霍布逊湖的西侧,呈片状分布,总面积 600 km² 以上,根据分布范围分成四个区。第 I 盐溶区位于察尔汗盐湖北缘,敦格公路两侧,呈北西—南东向条带状分布,面积 46 km²;第 II、II 盐溶区位于南、北霍布逊湖西侧,两区南北相对,面积分别为 300 km² 及 120 km²;第 IV 盐溶区位于察尔汗盐湖的北西部,面积约 160 km² (见图 1)。

因盐溶区面积较大,低矿化度水的水力性质及盐层被溶蚀程度不同,因而盐溶的形态类型较复杂,盐溶形态大致可分为 3 种类型,即溶蚀沟(溶蚀洼地)、溶蚀漏斗、盐溶洞。

1)溶蚀沟。因溶蚀而形成的平缓浅沟,一

般宽数十米至百余米,最宽可达 300 m;深约数十厘米。有些地段底部见有水上涌,并有新的盐类及粘性土沉积,有些地段已被新盐堵埋或完全干涸。在溶沟中有溶洞分布。溶蚀沟主要分布在第Ⅰ、Ⅳ盐溶区。

2)溶蚀漏斗。因溶蚀而形成的浅坑,位于晶间潜卤水水面之上,直径一般在 0.3 m左右,深度小于 0.3 m;其底部结有石盐和石膏,较浅者,底部多见有残留的粉砂。溶蚀漏斗在全矿区均有分布,一般不具地域性的分布规律。

3)盐溶洞。它是盐溶中的主要形态,也是对矿床的工程地质条件影响较大的盐溶现象。它在各盐溶区均有分布。盐溶洞又可分为明盐溶洞和暗盐溶洞两种。①明盐溶洞。下部盐层被溶解,潜水位以上的盐层坍塌,在地面有开口者,称为明盐溶洞,洞内充有高浓度卤水。又可

根据洞的形态,将其分为筒状、漏斗状、倒漏斗状、裂隙状及蜂窝状盐溶洞,形态大小见表 1。盐溶洞多为筒状,直径 0.3~5.4 m;深度大多超过 2.5 m;溶洞口呈椭圆—圆形(见图 2)。洞内卤水晶莹嫩绿,多数洞口、洞壁及底部有新盐沉积。筒状盐溶洞主要分布在Ⅰ、Ⅱ区,漏斗状主要在Ⅲ、Ⅳ区,裂隙状主要在Ⅰ区的南部及Ⅱ区的北部,蜂窝状仅在Ⅱ区中部零星分布。有些溶洞中生长着新盐,除石盐外还有石膏、重晶石、天青石及铁的氧化物。有的溶洞底部可见缕缕水线上涌,新生石盐多的盐溶洞已被填满。②暗盐溶洞。下部盐层被溶解,但潜水面以上之盐层未坍塌,地面无开口者,为暗盐溶洞。其形态以水平暗洞为主,筒状及倒漏斗状暗溶洞次之。暗溶洞均在明溶洞区分布。

表 1 明盐溶洞形态分类表
Table 1 Morphological classification table of opening salt karst cave

形态	占盐溶洞比例 / %	直径 /m			深度 /m			洞口形态
		最大	一般	最小	最大	一般	最小	
筒状	71	3.10	0.6—1.0	0.16	17.24	2.50—3.00	0.35	圆、椭圆形
漏斗状	19	8.20	0.5—0.8	0.25	13.00	2.00—3.00	0.65	圆、椭圆形
裂隙状	9	5.0	0.5—0.8	0.30	13.57	0.55—3.00	0.50	弯曲缝状
蜂窝状	1	20.5	2.0—7.0	1.52	11.20	1.70—6.67	1.55	盆状

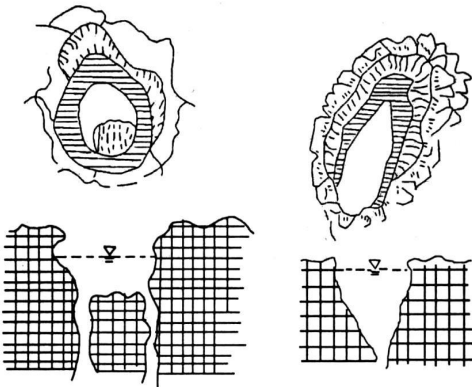


图 2 盐溶洞形态示意图

Fig 2 Schematic diagram of salt karst cave morphology

3 盐溶成因

察尔汗盐湖盐类化学沉积物绝大部分为石盐,而且具有较好的孔隙性,为盐溶的发展提供

了介质条件。盐的溶蚀是在淡水或低矿化度水的作用下进行的。盐溶分布区淡水和低矿化度水来源主要为下部承压水,其次为大气降水。

盐湖区气候干旱,大气降水对盐的溶蚀作用较小,它只能在盐类沉积表层形成一些盐溶现象。

1)溶蚀漏斗。溶蚀漏斗就是大气降水汇集到盐层表面地形低洼处溶蚀盐层形成的,其深度一般不超过潜水面。因为降水在小的汇水洼地四周向溶蚀漏斗内流动过程中要溶蚀表面盐层,矿化度增高,溶蚀作用逐渐减弱。在降水量不大时,它在流动过程中就有可能达到饱和而失去溶蚀能力。在特殊情况下,即降水量较大时,它在流动过程中达不到饱和,就会产生一定溶蚀作用,由于这种水密度小,它可暂浮于晶间卤水潜水面之上,对潜水面附近盐层进行溶蚀,但其深度不会太大。雨后溶蚀漏斗内表面卤水强烈蒸发,浓度增大,新盐析出,被溶蚀的

潜水面以下的空洞很快被新盐填平。

2)盐溶洞。盐溶洞的形成是下部低矿化度承压水溶蚀盐层的结果。其证据为①盐溶洞分布区盐下均埋藏有低矿化度承压水;②有些盐溶洞内见有泉水自底部上涌;③有些溶洞底部存在有大量的有机质和杂色(灰绿、黑灰、锈黄色)淤积物,通过周围地层资料对比,证明这

些物质是下部承压水携带上来的;④下部承压水对盐溶形成的主导作用,可以从反映水动力条件的地下水矿化度得以佐证。一般情况下,盐溶水的矿化度均低于附近晶间孔隙水,并且 K^{+} 、 Mg^{2+} 含量相对较低,而 Na^{+} 含量则较高(见表 2),这是受盐下低矿化度水稀释的结果。

表 2 盐溶洞与其附近钻孔水质分析结果对照表

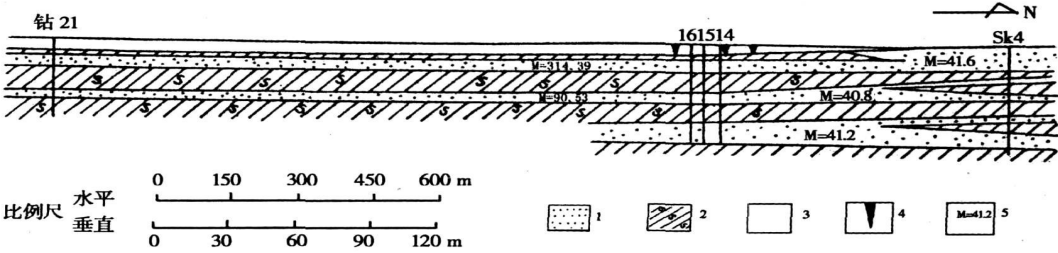
Table 2 Comparison table of water quality analysis result in salt karst caves and nearby drilling cores

序号	取样点	分 析 成 果 /(mg/L)						矿化度 /相对			PH	备注	
		K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃	(g/L)	密度		值
1	RD01	2320.0	8.875×10 ⁴	6713.0	1.718×10 ⁴	6.100	1.965×10 ⁵	1474.0	177.9	314.10	1.210	8.07	盐溶水
	Sb7	1270.0	1.013×10 ⁵	6851.0	6645.0	3.500	1.965×10 ⁵	1165.0	77.36	313.80	1.202	7.88	地下水
2	RD02	3180.0	8.260×10 ⁴	4738.0	1.898×10 ⁴	8.800	1.973×10 ⁵	2091.0	201.1	311.10	1.207	8.05	盐溶水
	ZK39207	4540.0	6.525×10 ⁴	4495.0	3.196×10 ⁴	14.20	2.026×10 ⁵	1412.00	356.8	310.79	1.207	7.90	地下水
3	S105—1	518.0	3.875×10 ⁴	3.870×10 ⁴	5.251×10 ⁴	15.50	2.216×10 ⁵	312.8	255.3	355.10	1.234	8.23	盐溶水
	S105	655.0	1578.0	8.075×10 ⁴	7.914×10 ⁴	34.30	3.729×10 ⁵	197.6	642.0	535.90	1.370	8.42	地下水
4	ZK28002 S112	3480.0	6.725×10 ⁴	1.154×10 ⁴	2.820×10 ⁴	11.40	2.051×10 ⁵	497.2	262.4	316.43	1.209	8.14	盐溶水
	ZK28002 Sb1	3260.0	6.700×10 ⁴	1.315×10 ⁴	2.498×10 ⁴	9.20	2.038×10 ⁵	600.9	344.3	319.07	1.214	3.83	地下水
5	ZK36002 S113	2580.0	8.150×10 ⁴	9316.0	1.690×10 ⁴	7.80	1.940×10 ⁵	703.8	188.9	305.26	1.203	7.84	盐溶水
	ZK36002 SD1	2150.0	8.050×10 ⁴	1.204×10 ⁴	1.724×10 ⁴	7.00	2.007×10 ⁵	926.1	182.8	314.37	1.209	8.13	地下水

在盐溶洞分布区,盐下均有低矿化度承压含水层(见图 3)。其中第一层承压水对溶洞的形成起主要作用,第二层承压水因隔水顶板较厚,隔水性能较好,对溶洞的形成无直接关系。

第 II 盐溶区盐溶的形成与全集河密切相关,是全集河水下渗后,转化为穿过哑叭尔构造

的低矿化度承压自流水,通过弱透水层形成越流,溶蚀上部盐层所致。第 II 盐溶区即位于全集河冲洪积扇及其左右来的低矿化度承压水的排泄区。第 II 盐溶区主要受盐湖南东部沿哈鲁乌苏河、努尔河方向来的盐下低矿化度承压水的影响。



1 中粗砂、中细砂; 2 淤泥质粘土; 3 石盐; 4 盐溶洞; 5 地下水矿化度 (g/L)

图 3 盐溶区水文地质剖面图

Fig 3 Hydrogeology profile of salt karst area

盐下低矿化度承压水上升通道主要有三个。其一,在盐溶分布区,盐下第一承压含水层隔水顶板较薄,在较短的距离内岩性变化较大,

且有局部缺失现象,盐下承压水必然要在隔水层薄弱处或局部缺失处上升;其二,在隔水顶板粉砂粘土层内有小的孔洞,它们彼此之间相互

连通, 盐下承压水中普遍含有气体, 气体的上升给承压水上升增加了动力, 这也是下部承压水上升的一种通道; 其三, 新构造运动在盐湖内产生一系列隐伏断裂, 承压自流水及深循环水沿构造线上升溶蚀上部盐层。在第 I、IV 盐溶区盐溶的分布与构造线基本一致。

3) 溶蚀沟。察尔汗盐湖北部第 I、IV 盐溶区的溶蚀沟, 它的形成主要与下部低矿化度承压水及深层循环水有关。深层循环水是一种相对高矿化度、高钙的 CaCl_2 型水, 它至今仍通过断裂补给盐湖, 它的物质组分非常特殊, 含有较高的锶、钡、铁、锰等, 在溢出地表后, 经蒸发浓缩形成天青石、重晶石等。据构造资料, 在第 I、IV 盐溶区均存在一条与盐溶区轴向大体一致的隐伏断裂, 并见有地下水上升, 在其中采集的化学沉积物, 经分析含有较高的石膏、天青石、重晶石等。另据资料, 察尔汗盐湖晶间卤水的水化学类型从盐类沉积开始一直到第四系盐层沉积完成的整个过程中, 湖水始终是氯化物型的。表明在整个成盐过程中, 氯化物型水占有绝对优势, 同时也证明, 深循环水的补给量在过去比现在要大得多。

另外, 大气降水也会对溶蚀沟的发展起到一些微小的作用。

4 盐溶发展过程

大气降水作用形成的溶蚀漏斗, 它发展到潜水面后, 因为低矿化度水暂浮潜水面之上, 一般不再往纵深发展, 但要往侧向发展, 其发展速度与降水量有关。由于本区气候干燥, 降水量稀少, 目前它的发展速度极为缓慢。

盐溶洞的发育规律, 受盐下低矿化度承压水补给量和矿化度的控制, 它的发育过程大致分为四个阶段, 发展、平衡、趋于衰亡、衰亡。不同发育阶段的盐溶洞具有不同的特征。

1) 发展阶段的盐溶洞。

由于盐下低矿化度承压水补给量稳定, 盐溶洞浓度较低, 对盐层具有溶解能力, 使盐溶洞继续发展。洞内无新盐沉积, 溶蚀现象明显。溶沟、溶槽发育是本阶段盐溶洞之特征。在第 I、II 盐溶区极少数盐溶洞目前处于缓慢发展

阶段, 特别在丰水年发展速度加快。

2) 平衡阶段的盐溶洞。

盐下低矿化度承压水补给量减小, 盐溶水达到饱和状态, 或上部达到饱和、析盐状态, 或枯水年以结盐为主, 丰水年以溶解为主。它们在洞壁上都有新盐析出, 或洞底暂时有薄层新盐结晶。II、III 盐溶区部分盐溶洞处于平衡阶段。

3) 趋于衰亡阶段的盐溶洞。

盐下低矿化度承压水补给量继续减少, 盐溶水矿化度增高, 溶解速度小于新盐结晶速度, 洞底产生新盐堆积。此阶段盐溶洞主要特征是水面、洞口、洞壁及洞底有新盐堆积, 溶蚀作用不发育。矿区大部分盐溶洞处于趋向衰亡阶段。

4) 衰亡阶段的盐溶洞。

盐下低矿化度承压水上升通道被堵塞 (或补给量甚微), 洞内盐类沉积逐渐增厚, 其结果全被新盐填满, 盐溶洞的生命也就停止了。矿区内少数盐溶洞处于衰亡阶段。

5 盐溶对开采的影响

盐溶对矿床的影响主要有 3 个方面: (1) 盐溶分布区沉积物以石盐为主, 被溶解的盐增加了卤水中的 Na^+ 、 Cl^- 含量; (2) 由于低矿化度水的补给, 稀释了盐溶分布区的液体矿, 降低了其品位; (3) 形成盐溶的低矿化度水中含有 K^+ 、 Mg^{2+} 离子, 它的补给增加了盐湖中的钾、镁元素。前两个方面是不利因素, 而最后一个方面是有利因素。

据中国科学院青海盐湖研究所在 752 渠做的抽水试验表明, 在大规模抽水的情况下, 盐溶的发展速度是缓慢的。

近几十年来直接影响盐溶形成的全集河多年平均流量变化不大。1967 年河水流量 $0.432 \text{ m}^3/\text{s}$, 1983 年为 $0.313 \text{ m}^3/\text{s}$, 第 I 盐溶区的盐溶基本上没有发展。在这种情况下, 正如前人所得出的结论, 大规模地抽取晶间卤水, 必然导致潜水位下降, 水力坡度增大, 承压水越流补给量增加, 溶蚀作用增强, 加速盐溶的发展。但固体盐类的大量存在, 固液相转化的巨大调节作用, 无疑使开采条件下盐溶发展速度减慢。

因此我们认为即使是气候稍转湿润, 盐湖又处于大规模开采条件下, 盐溶的发育过程加快, 但其速度也是缓慢的。而且对形成协作湖一带盐溶的全集河水的下渗, 也可以采用人工调节全集河流流量的措施加以控制。目前, 全集河水已被引入矿区用于生产。

6 结 论

通过实地调查和室内资料综合研究, 基本查明了察尔汗盐湖盐溶的形态类型及分布规律, 对盐溶的发展过程有了初步认识, 主要盐溶的成因类型基本查明。我们认为现有盐溶洞多数处于趋向死亡阶段, 少数处于平衡阶段, 个别在缓慢发展, 有些已经死亡; 溶蚀沟有些地段已

停止发展, 有些地段还在继续发展着; 溶蚀漏斗在目前气候条件下在极缓慢的发展着。从整个盐湖考虑, 盐溶的存在对固体盐矿的储量影响不大, 对液体钾镁盐矿的影响有害因素大于有利因素, 但根据盐溶的发育规律及发展趋势, 它对矿床的影响在逐渐减小。

参考文献:

[1] 察尔汗盐湖周边水对盐湖钾矿影响的研究[R]. 北京: 中国地质大学钾盐研究室, 1989—1991.
[2] 察尔汗盐湖矿产开发区环境地质调查报告[R]. 格尔木: 青海省柴达木综合地质勘查大队, 1994
[3] 关于察尔汗盐湖能否修铁路的研究[R]. 北京: 铁道部, 1967.

Salt Karst Research of Qarhan Salt Lake
in Qinghai Province

ZHANG Zhao-guang, LI Bai-xian
(Qinghai Qaidam Integrated Geological Survey Brigade, Golmud 816000, China)

Abstract: Qarhan salt lake is a large multiple salt deposit with the primary composition of potassium and magnesium brines. The salt karst can be found in the lake area. The paper introduces the hydrogeology background and then discusses the cause of salt karst, distribution, development process and its effect on the deposit.

Key words: Salt karst; Distribution; Morphology; Cause; Development; Effect

《盐湖研究》合订本征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊, 由中国科学院青海盐湖研究所主办, 科学出版社出版, 1993年创刊并在国内外公开发行。《盐湖研究》自公开发行以来, 深受广大读者的厚爱, 为了便于我刊读者和文献情报服务单位系统收藏, 编辑部藏有 94—95年、96—97年、98—99年、2000年、2001—2002年、2003年、2004—2005年、2006—2007年合订本, 每年册仅收取工本费 90元。数量有限, 欲购者请与《盐湖研究》编辑部联系, 联系电话: 0971—6301683。