

甘肃盐池地区芒硝及原盐矿床成因探讨

申建梅,张光辉,聂振龙,王金哲,严明疆

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,石家庄 050061)

摘要:通过从盐矿区地下水的水文地质地球化学、元素含量入手,对盐矿区的地质、水文地质条件及地下水的循环规律进行了阐述,结合自然地理条件论证了芒硝及原盐矿床的成因,对于指导盐矿的远景开发具有一定的意义。

关键词:盐矿;干旱;成因

中图分类号:P642.13 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1683(2008)03-0088-04

Mechanism of Forming Glauber's Salt and Crude Salt in Yanchi of Gansu

SHEN Jian-mei, ZHANG Guang-hui, NIE Zhen-long, WANG Jin-zhe, YAN Ming-jiang

(Institute of Hydrogeology and Environmental, Chinese Academy of Geology Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: The paper elaborated the law of geology, hydrogeology and groundwater cycle by analyzing hydrogeology, hydrogeochemistry and element content in salt-mine area, and demonstrated the reasons of forming glauber's salt and crude salt deposit on physical geography. The results indicated it is of important significance for the plan of salt mining.

Key words: salt-mine; aridity; cause of formation

1 研究背景

芒硝是轻工、化工工业原料。在化学工业中主要用来制取无水硫酸钠和制造硫化碱,还可用来制取泡花碱、硫酸钡等。它们广泛地被应用于化工、轻工、纺织、建材、医药等20多个行业。在中国,目前芒硝主要用于洗涤剂 and 硫化碱工业,其次是用于纸浆、人造纤维、玻璃工业。

盐是世界上利用最普遍的非金属矿物原料,是人们生存的必需品。随着化学工业的发展和新的应用领域的开拓以及人口的逐年增加,对盐的需求量越来越大,因此在国计民生中盐占有相当重要的地位。盐在工业上用途也很广,是化学工业最基本的原料之一,被誉为“化学工业之母”。据《世界经济导报》报道,科学家们充满信心地预言,在不久的将来以盐作为新能源的“盐坡太阳池”将会遍地开花。随着科学技术的飞速发展,盐的应用范围愈来愈广,新的用途将不断出现。

芒硝和盐的产生与地下水咸化、矿化具有密切的关系,因此,研究地下水咸化、矿化可为当地的经济的发展提供科学依据。甘肃高台盐池地区具有丰富的芒硝和原盐,其中芒硝储量为3000万t,原盐储量1168万t,占甘肃省储量的70%。因此,研究该地区的芒硝与原盐矿床成因,对于指导盐矿的远

景开发具有一定的社会和经济意义。

2 自然地理概况

盐池位于甘肃酒泉东盆地东部北缘。隶属张掖市高台县,距高台县城西61km。矿区地理坐标为:东经 $99^{\circ}10' \sim 99^{\circ}22'$,北纬 $39^{\circ}43' \sim 39^{\circ}45'$ 。

盐池矿区面积大约32km²,矿体水平产出,主要矿产为芒硝和原盐。芒硝矿床探明储量 299.75×10^8 kg,占甘肃省芒硝储量的一半以上;原盐储量 32×10^4 kg,是甘肃省最大产盐区。

盐池矿区地势南北高、中间低。北部为低山丘陵,南部为细土平原及风积沙丘。北部低山丘陵主要由震旦系变质岩、白垩系砂岩及含砾砂岩组成,局部分布侏罗系砂岩和第三系砂砾岩,沿北西或北西西方向呈梁状分布,海拔高程1400~1600m,相对高差20~50m。南部风积沙丘由中粉砂构成,呈链状或垄岗状,部分地段为蜂窝状砂堆,呈南北向展布,一般高5~10m,最高达20m。下垫层为细土平原的亚砂土,亚黏土等。在低洼处,地下水位埋藏较浅。盐池矿区一带地势最低,海拔低于1330m,形成微向东倾斜的狭长封闭型凹地,地下水及雨洪水易汇集,为水盐集聚提供了良好条件^[1]。

收稿日期:2008-01-14 修回日期:2008-03-17

基金项目:国家青年科学基金课题:“西北内陆干旱区地下水更新性及同位素模型偶合研究”(40602032)

作者简介:申建梅(1965-),女,河北正定人,研究员,博士,主要从事水文地球化学和同位素水文学研究。

3 气象与水文

盐池地处中纬度地带,属大陆性温带干旱气候,温差大,雨量小,蒸发量大,湿度小,太阳辐射强,具有典型的干旱沙漠气候的特点。根据正义峡和高台气象资料,多年平均降水量:高台 103.5 mm,正义峡 66.1 mm;多年平均蒸发量:高台 1 906.1 mm,正义峡 2 005.6 mm,蒸发量是降雨量的 18~30 倍。该区降水量、蒸发量随高程变化关系曲线见图 1。随着地面标高的降低,降水量随之减少,蒸发量则随之增大。这加大了低洼地带水盐蒸发浓缩和盐矿富集强度。

区内无常年性河流,仅在雨季形成暂时性洪流,汇集于盐池封闭的凹地内。

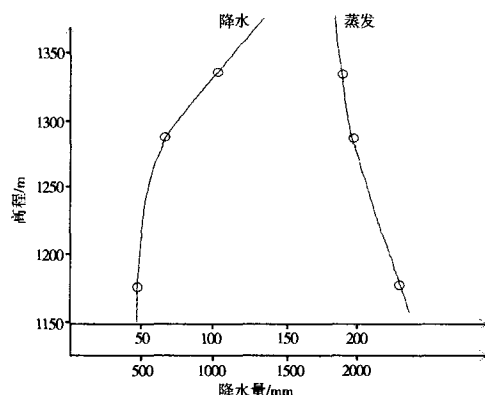


图 1 降水量、蒸发量随高程变化关系曲线

Fig 1 The relation between altitude and rainfall and evaporation

4 矿区水文地质条件

4.1 水文地质条件

地形、气候、水文、岩性等自然地理及地质因素综合的影响并决定本区的水文地质条件。潜水和承压水含水层主要分布在第四纪的沉积物中;盐池南部潜水主要存在于山区坚硬岩层的裂隙及山麓平原疏松岩层的孔隙中;盐池北部边缘及某些隆起地区第四纪前的岩层中,水资源匮乏,仅仅在多雨季节有上层滞水。与盐类矿物沉积有关的区域地层—前寒武纪片岩、片麻岩,侏罗纪煤系,白垩第三纪红色岩系,在盐池及附近地区多被第四纪风成砂覆盖。其盐池矿床水文地质条件如下。

4.1.1 黄褐色砂质亚黏土 该层为矿床的覆盖层,厚度一般小 0.5 m,有时缺失,矿体直接裸露地表,最大可达 1 m。该层一般不含水,或含周边水,涌水量 < 0.1 L/s。

4.1.2 矿层晶间卤水含水层 含水层为芒硝颗粒或芒硝晶体。其孔隙中卤水呈潜水产出。含水层厚 0.5~3 m,涌水量 0.03~0.17 L/s。

4.1.3 黑色、杂色淤泥相对隔水层 该层在芒硝层以下,厚 3 m 左右。

对于晶间卤水来说,该层具有隔水层作用,但本身亦含有淤泥卤水或咸水。淤泥卤水涌水量微弱,从盐份动态上与晶间卤水维持平衡关系,对晶间卤水起到保护作用,系为硝层的周边水和盐下水,水质为盐水或卤水,涌水量 < 0.2 L/s。

4.1.4 灰黄色亚砂土相对隔水层 亚砂土主要分布在湖盆硝层以下和盐湖南岸阶地上。该层含较弱淡质潜水—承压水,与上部淤泥卤水形成水盐动态均衡,乃是晶间卤水外围及最下部的平衡层。涌水量 1.8~2.0 L/s。

4.1.5 亚黏土隔水层 从供水井剖面来看,该层厚 50 m,是良好的隔水层,把深层高水头自流水与矿床和卤水隔开。该层对矿床起到重要的保护作用。

4.1.6 砂砾石高水头自流含水层 该层是本区的主要含水层,呈广阔的、区域性的分布。在盐湖盆地中该层水普遍具有正水头,在阶地上水头接近地表。该承压水区向南连接祁连山前平原潜水带,向北终断于盐池隐伏断层,水量大,水质亦佳。

该层埋深一般在 50~60 m,厚 15~25 m,水头一般超过地表(在盐湖盆地中)2~3 m,降深 5 m 涌水量为 6~11 L/s,是矿田供水的主要水源。

4.2 地下水补给与排泄

盐池矿区地下水主要补给来源是祁连山冰雪融水和大气降水。冰雪融水从祁连山区进入盐池矿区的地表径流在山前地带因沉积物孔隙度很大,而又未胶结大量渗入地下成为潜流。潜流自西南方向侧向径流补给矿区地下水,见图 2。潜流自西南向东北运移,在清古堆和营盘井子一带,地下水流向由东北转为向北运移,而西草泉以南的地下水流向则向东偏转。南部地下水埋藏较深地带,多以潜流形式向北、东北方向流动。向北流动的地下水,由于水位埋深越来越浅,除耗于陆地蒸发外,均汇集于盐池洼地,形成天然盐场。向东北径流的地下水,一部分形成泉露地表,一部分以潜流方式补给河谷平原潜水。

深层承压水的向上的顶托越流补给。深层自流水水头一般高出盐湖地面 1~2 m。顶托补给从理论上是存在的。但因有厚 50 m 的黏土隔水层存在,其顶托补给量甚少。

自然状态下地下水的消耗唯一途径是蒸发。由于矿床处于强烈的蒸发作用下,地下水补给源带来的盐份和开采深层自流产带来的盐份,成为盐湖资源的再生部分。

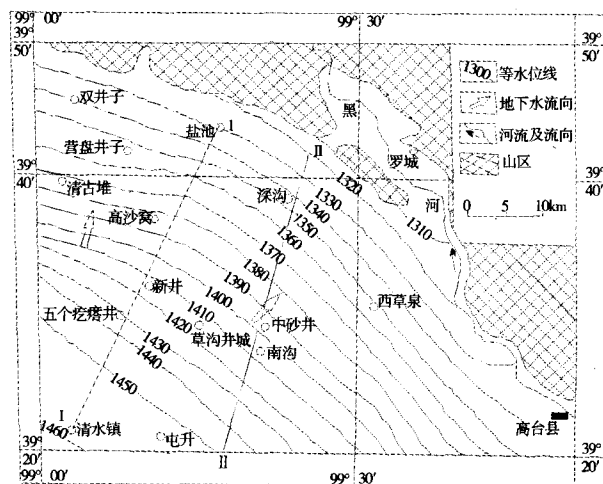


图 2 酒泉东盆地东部潜水电位线图

Fig2 The hydroisobath in east basin of Jiuquan

5 矿区地下水化学特征

区内地下水量承受大陆盐渍化的影响,其化学成分沿着地下水水流的方向具有明显的分带规律。由南部的补给区至北部的排泄区,地下水水质越来越差,水化学类型由重碳酸盐类型向硫酸盐及氯化物类型过渡。从许三湾—常丰剖面 I 和清水镇—盐池剖面 II 的水化学特征反映共性规律,见表 1,表 2。在地下水由南向北径流过程中, HCO_3^- 逐渐被 SO_4^{2-} 和 Cl^- 所替代; Ca^{2+} 逐渐被 Mg^{2+} 和 Na^+ 所替代,水化学类型由南部的重碳酸型水,变为北部的氯化型水。

表 1 许三湾—常丰地下水水化学类型一览
Tab 1 Chemical types of the ground water in Xu Sanwan-Changfeng

位置	水化学类型	矿化度
许三湾车站	$\text{HCO}_3-\text{Mg}-\text{Ca}$	0.45
羊房子	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Mg}-\text{Ca}$	0.98
中砂井鼓堆窝	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Cl}-\text{Mg}-\text{Ca}$	0.54
东湾	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Mg}$	0.34
深沟	$\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Mg}-\text{Na}$	0.64
罗城乡常丰村	$\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Mg}$	3.33

表 2 清水—盐池地下水水化学类型一览
Tab 2 Chemical types of the ground water in QingShui-Yanchi

位置	水化学类型	矿化度/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
清水车站	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Ca}-\text{Na}$	0.38
红卫车站	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Mg}-\text{Ca}$	0.36
五个疙瘩井	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Mg}-\text{Na}-\text{Ca}$	0.53
新井	$\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Mg}-\text{Na}$	0.48
高沙窝	$\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}-\text{Mg}$	0.65
盐池乡西矿	$\text{Cl}-\text{Ca}$	1.27

区域地下水在迳流过程中,受地层岩性、埋藏条件、含水层透水性等因素的影响。使其矿化程度也呈现出分带现象,见图 3。由南向北矿化度逐渐增高。南部戈壁和灌溉绿洲区为地下水的主要补给区,同时也是盐份的淋滤径流区,地下水矿化度为小于 1 g/L 的淡水,向北为盐份的过路带,矿化度为 $2 \sim 3.5 \text{ g/L}$ 的微咸水,北部地带则大于 50 g/L 的咸水,在补给量少地下水径流不畅的高台盐池地区,由于地下水埋深浅,蒸发浓缩过程使该地区表层潜水矿化度升高,盐份源源不断的浓缩析出形成矿化度高达 350 g/L 以上的卤水。

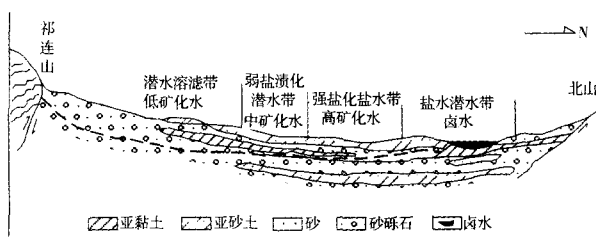


图 3 区域地下水水化学分带示意图

Fig3 The cent of district groundwater water chemistry takes the sketch map

6 盐矿成因分析

6.1 盐矿沉积环境

本区处于河西走廊“盆地系列”中的酒泉东盆地的北部边缘。中新生代以来,祁连山及其周围的山体(金塔南山)强烈上升成为隆起的断块山地,与之相反,走廊地区相对沉降,沉积了巨厚的松散岩类。中生代之后形成南北两条断裂,使北部金塔南山抬升,南部沉陷接受沉积。到晚更新世末期形成了本区目前的地貌景观—盐池凹地。

矿床形成于晚更新世末期^[2]。第四纪时期,首先沉积了底部砂砾岩(Q_2),其上又沉积了厚达 $80 \sim 90 \text{ m}$ 的黏土层(Q_3)。黏土层有效的阻隔了湖盆地与深部承压水之间的联系,造成了封闭的自然环境。但浅埋的潜水通过周边渗透的形式补给湖盆。由于盐湖地处内陆干旱地区,湖盆又无地表水注入,在蒸发量远远大于降水量的条件下,潜水矿物质浓度不断增高,经过长期浓缩积盐过程,形成芒硝—石盐矿床的沉积。后来受北山上升的影响,盐池湖盆隆起,湖水逐渐干涸。在此期间,湖盆接受大量的盐类沉积,形成了风化学与盐湖化学的混合沉积物(Q_3^{ash}),局部夹小透镜状芒硝矿体,上面被黄褐色石英砂及黏土的混合盐化沉积(Q_3^{sh})和强烈蒸发形成的盐碱壳覆盖。

6.2 盐矿形成气候环境

气候环境是塑造矿床形成基本条件,为了恢复矿床形成时期的古气候环境,引入古气候指数 C 的概念,对盐池地区古气候变化进行定量分析。由于沉积环境气候的影响,在不同水热条件下,元素迁移与富集能力不同, Mn 、 Cr 、 V 、 Co 、 Ni 等元素属于湿润气候型元素,在暖湿条件下,迁移能力强,趋于集中。而 Ca 、 Mg 、 K 、 Na 、 Ba 等元素属于干旱气候型元素,在干旱条件下,趋于集中。因此 C 值越大,气候越潮湿,反之则越干旱^[3]。

$$\text{古气候指数 } C \text{ 值} = \frac{\sum (\text{Mn} + \text{Cr} + \text{V} + \text{Co} + \text{Ni})}{\sum (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Ba})}$$

在西矿地层剖面 P2 中,根据元素分析结果,见表 3。古气候指数 C 值随着深度增加为低—高一—低值,见图 4。说明气候为干冷—暖湿—干冷。孢粉资料也表明盐池地区晚更新世以来,气候总体趋势是由草原景观向干旱方向发展^[4],地层孢粉中的木本植物和蕨类植物很少或基本消失,草本植物达到 80% 以上,且以耐旱成份为主,塑造了以蒿、藜为主的荒漠草原的植被环境。这种气候环境有利于湖泊趋于干涸,湖水咸化,最终形成盐矿床^[5-6]。

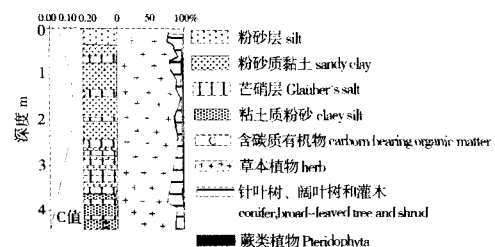


图 4 P₂ 剖面孢粉含量与古气候

Fig 4 The Spore-pollens contents in the P2 section and Ancient climate

表 3 剖面 P2 元素分析结果
Tab 3 chemical element analysis result of Section P2

深度/m	元素/(mg·L ⁻¹)										C 值
	V	Mn	Cr	Co	Ni	Ba	K	Na	Ca	Mg	
0.1	138	1 154	253	26.2	170.7	735	2 030	25 030	1 019.82	1 040.31	0.058
0.9	198	1 255	318	26.8	151.7	846	1 050	13 175	381.24	606.86	0.127
1.9	173	1 454	329	24.8	142.8	600	900	11 430	381.24	462.36	0.154
4.4	86	193	26	3.7	9.4	107	589.5	163 850	2 859.31	693.54	0.002

综上所述,从地下水的补给、径流、排泄条件来看,盐池矿区具有易接受侧向补给,垂直排泄(蒸发)的特点。南部祁连山山体高大,降水量丰富,出山河流较多(如马营河、丰乐河等),在径流过程中渗漏补给地下水,形成地下径流由南向北运移,进入本区,经历漫长途径的地下水径流,将南部携带来的大量盐份聚积。由于北山的阻挡,同时随着祁连山山前洪积冲积扇裙的边缘部分,地势的变化,岩性的变化,径流条件恶化,潜水埋深逐渐变浅,最后在盐池溢出地面,形成潜水的终积带,主要以蒸发消耗为主要排泄途径,因而水矿化度急剧增高,成为高矿化的氯化物水,在局部地区形成矿化度高达 350 g/L 以上的盐湖,经过地质岁月的沉积蒸发,形成了现代矿床。

盐矿的形成不仅应具备特定的地质、地貌、构造条件和相应的自然地理环境,而且必须要经历漫长的地质年代,高台盐

池的形成正是地质、地貌和气候条件共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 张光辉,聂振龙,张翠云.黑河流域地下水同位素特征及对古气候变化响应[J].地球学报,2006,27(4):341-348.
- [2] 曹兴山.甘肃第四纪气候期划分[J].干旱区研究,1996,13(3):28-40.
- [3] 关有志.科尔沁沙地的元素、黏土矿物与沉积环境[J].中国沙漠,1992,12(1):9-15.
- [4] 李栋梁,刘德祥.甘肃气候[M].北京:气象出版社,2000.
- [5] 杨振京,刘志明,张俊牌,等.银川盆地中更新世以来的孢粉记录及古气候研究[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(3):43-48.
- [6] 徐恒力,周爱国,肖国强,等.西北地区干旱化趋势及水盐失衡的生态环境效应[J].地球科学,2000,25(5):499-504.

(上接第 83 页)

6.2 戗堤稳定情况的判断

(1)从堤头纵向边坡的坡比变化判断抛投料的稳定性。堤头纵向坡度在正常无流失的情况下约为 1:1.5 左右,当纵向坡比逐渐变陡达到 1:1 或更陡时,将会发生坍塌。

(2)从流态变化判断抛投料的稳定性。采用上挑角进占,若抛投料能在水中站稳,这时必然形成急流并挑出去,在挑角下游形成回流区,而且有小跌水现象,当抛投料粒径较大而水深较浅时,跌水现象更加明显;若填料抛投下去后,见到跌水顺水流由上而下移动,则说明抛投的块体正被急流冲走。

(3)从进占速度判断抛投料的稳定性。按戗堤的实际断面计算,每进占 1 m,约需抛投料 1 000 m³,如抛下 1 000 m³ 填料不见堤头向前延伸,则说明抛投的块体正被急流冲走。

(4)从堤头附近的情况判断堤头稳定性。当堤头附近范围内出现裂缝,缝宽逐渐增大时,表明堤头有失稳定现象;如果堤头部位高程在逐渐下降,说明堤头发生“沉陷”,出现这些现象应引起高度重视,及时改变抛投方式。

6.3 安全进占的技术措施

(1)进占时尽量采取全断面整体推进,在采取上挑角进占

时,一方面要尽量减少挑出的长度,另一方面要注意跟紧补抛。

(2)采用自卸汽车直接抛填时,控制大型自卸汽车距堤头不少于 2 m,采用堤头集料,推土机赶料回填时,自卸车距堤头前沿边线 8 m 卸料。戗堤侧边 2.5 m 为安全警戒距离,此范围内不允许停放任何机械设备,堤头指挥人员也不允许在此范围内滞留。

(3)在堤头、堤侧以及各危险部位分别设置安全警示牌,堤头指挥人员穿救生衣,现场准备救生圈,加强专职安全员巡视工作。

7 结语

雅砻江锦屏一级水电站是干流下游河段的控制性水库梯级电站,锦屏一级水电站大江截流顺利实施,将对雅砻江上其他电站的截流提供施工经验。

参考文献:

- [1] 周厚贵,王光谦,夏军强,等.锦屏一级水电站截流施工水流数学模型计算研究报告[R].宜昌:中国葛州坝集团,北京:清华大学,2006.