

不同盐度洪水对盐湖路基溶蚀影响的室内研究*

董亚萍 李 权 戈 桦 陈大福

(中国科学院青海盐湖研究所 西宁 810008)

摘要 对不同盐度洪水与铁路路基岩盐作用进行了相图分析。通过静、动态浸蚀岩盐试验,获得不同浓度卤水浸泡不同组成岩盐过程的溶蚀速度,盐溶解量及盐抗压强度变化的规律。为铁路岩盐路基的防洪及采取防护措施提供科学依据。

关键词 盐度 岩盐 盐溶解量 盐抗压强度

自五十年代后期,根据青藏铁路建设的需要,开展了察尔汗盐湖地区修建铁路的科学技术研究,取得了一系列成果。在此基础上,经设计、施工,创造性地采用当地岩盐作为填料修筑了跨越察尔汗盐湖 32 公里岩盐路基。1985 年该线交付运营,为开发柴达木盆地资源,支援国防建设作出了重要贡献。

察尔汗盐湖总面积为 5856 平方公里,湖周边有十一个卤水湖,汇水面积 16.55 万平方公里。注入湖区的常年性河流有格尔木河、柴达木河、素棱郭勒河、乌图美仁河等,其中流量最大的格尔木河注入达布逊湖,该河、湖距铁路路基较近,对其危害性最大。格尔木河有水文记载的 34 年平均流量为 $25.09\text{m}^3/\text{秒}$,平均年径流量为 7.92 亿立方米。有关部门一直非常重视盐湖铁路路基的稳定性问题。对察尔汗开采钾镁液体矿对铁路路基稳定性影响等进行了专题研究^[1]。而洪水泛滥时铁路路基影响尚未进行深入系统研究。

1989 年 6~9 月间,格尔木河发生了历史上前所未有的特大洪水。7 月 22 日的特大洪峰流量达 $680\text{m}^3/\text{秒}$ 。来势迅猛奔流直下,使达布逊湖泛滥成灾,湖面积由原来 220 多平方公里增加至 500 多平方公里^[2]。湖水流向公路、铁路,使 14 公里的盐湖铁路路基受到浸蚀,有 6 公里长的路基被溶蚀,造成路基下沉^[3],铁路停止运营。一些电站、工厂的生产和生活设施被淹没或被破坏。据有关部门统计,格尔木地区造成的经济损失达 2500 万元^[4]。根据青海省水文总站提供的观测资料表明,格尔木河水 1989 年径流量为 16.4 亿立方米,为以往 34 年平均值的 2.07 倍。观测结果表明每隔 5~6 年出现一次丰水年高值,称谓一小周期,每隔 10~12 年出现一次洪水期,称谓一大周期。因此预防洪水对青藏铁路路基的危害是长期的任务。保障盐湖铁路路基的稳定性,是盐湖科学工作者面临的重要研究课题。

中国科学院青海盐湖研究所受兰州铁路局科学技术研究所的委托,承担“铁道部科技发展计划项目:青藏线盐湖路基防蚀技术研究”中的子项目,进行室内试验确定不同盐度洪水对路

* 本工作系青藏线盐湖路基防蚀技术研究子课题

基溶蚀的影响。

原理及相图分析

察尔汗盐湖上的岩盐路基主要成份是石盐、含少量钾、镁盐及硫酸盐,尚含有一定量的沙粘土。石盐与其它杂质结成盐块,构成干盐湖的盐壳。

洪水的主要组成,主要是达布逊湖水被淡水稀释后的稀卤水。而后流经盐壳,溶解石盐,到达路基的部分。其组成与湖水稀释度,流动过程中溶入石盐的量及种类有关。

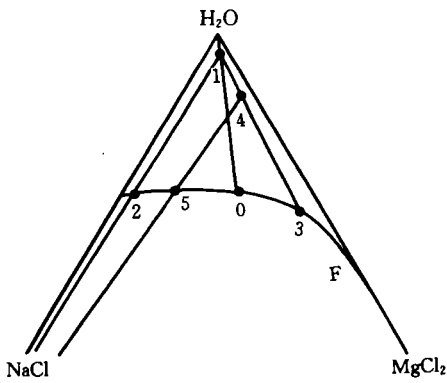


图 1 NaCl—MgCl₂—H₂O 体系相图(25℃)

洪水与路基岩盐相互作用,有溶解和渗透浸蚀两种破坏因素,使固相转入液相,路基岩盐量减少,孔隙增大,甚至溶成洞穴。受高浓度盐卤浸泡,被溶解的石盐量少,甚至不溶解,但盐块机械强度降低;危害性最大的是水或石盐不饱和卤水对岩盐的溶解。影响溶解速度的因素主要有洪水的盐类组成和浓度等。影响晶体溶解的物理、化学过程及在溶解过程中晶体颗粒大小、数量、形状及溶液浓度等诸因素在不断变化,使溶解过程复杂化,难于得到严格的数学描述,而只能结合实际,通过试验确认。

可以采用适当的盐类溶解度相图进行分析。岩盐的可溶性组份是 NaCl、少量的 KCl、MgCl₂、MgSO₄,个别地区岩盐由于受到氯化钾生产排放氯化镁卤水的影响,含 MgCl₂ 量较多。根据湖水和岩盐组成,可用 NaCl—KCl—MgCl₂—H₂O 体系相图进行分析。考虑到在洪水期间达布逊湖水受到严重稀释,其中 KCl、MgSO₄ 含量很少,为了简化和直观进行相图分析,根据洪水期水溶液温度情况,确定以 NaCl—MgCl₂—H₂O 体系相图(25℃)进行相图分析。水溶液中 KCl 含量与 MgCl₂ 含量合并绘图。1989 年洪水期前后达布逊湖水和察尔汗湖晶间卤水组成及相图点见表 1 和图 1。把达布逊湖水 6 月组成点 O 与 H₂O 连线,在洪水期间,受到不同程度稀释后的湖水——即本试验称谓不同盐度洪水的组成落在 O—H₂O 直线上某一点。例如图(1)中的点 1,该点 1 洪水对路基影响有两个途径。一是直接流向路基,在流向路基过程中与以石盐为主体的盐盖作用溶解石盐,浸泡路基后将继续溶解石盐至饱和状态,在溶解石盐过程中点 1 组成向点 2 移动至达到饱和不再变动。二是点 1 洪水流入察尔汗湖采卤和输卤渠道,与晶间卤水点 3 兑卤,得到点 A 组成稀卤水,该卤水流经盐盖到达路基,点 A 卤水溶解石盐直至饱和点 5 不再变动。

表 1 达布逊湖和察尔汗晶间卤水分析结果

编 号	时间年月	组 成 (%)					
		比重	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄
D-1	89.8	1.2260	10.11	1.87	14.21	0.14	0.38
D-2	89.9	1.1970	16.82	1.03	5.80	0.13	0.45
D-3	89.12	1.1760	15.23	0.88	5.25	0.10	0.45
察尔汗湖 晶间卤水	89.6	1.2500	5.87	2.27	20.72	/	0.14

注:D指达布逊湖水。

1989 年主要来自格尔木河的洪水注入达布逊湖,使湖水突发性上涨,由于湖区地势平坦,沿湖边自然地地形向洼处流去,使达布逊湖水面面积扩大。浸入岩盐路基的途径主要有:(1)铁路路基与湖面高度差很小,距离湖区近处约 6 公里,大量洪水直接流向路基。(2)青海钾肥厂一条采卤渠道距达布逊湖很近,洪水注入渠道,沿渠道流向东南方向的输卤渠道并溢出,使察尔汗火车站以北地区的路基受到严重破坏。根据 1989 年 12 月卫星遥感解释资料,达布逊湖四周老盐滩被淹情况^[2],见图 2。

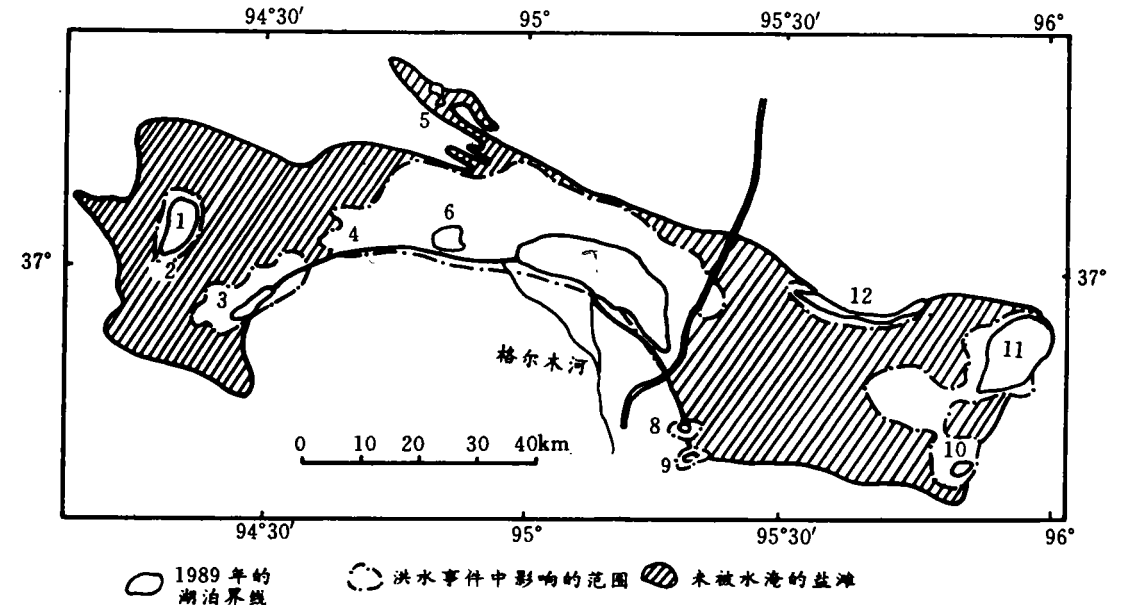


图 2 1989 年洪水事件对察尔汗盐湖的影响

1 湟聂湖 2 南湟聂湖 3 大别勒湖 4 小别勒湖 5 东陵湖 6 达西湖
7 达布逊湖 8 新团结湖 9 团结湖 10 南霍布逊湖 11 北霍布逊湖 12 协作湖

中科院盐湖研究所“七·五”国家重点科研项目,“察尔汗盐湖首采区采卤过程中水动态水化学变化规律专题研究报告”中记录了 1989 年洪水期前后观测的结果^[5]。观测点位置见图 3。

从图 2、3 及文献资料可知,图 3 中Ⅱ、Ⅲ线是洪水灾害最严重的地段。Ⅰ线是靠近路基的地段,由于该处地势较高,又受两条采卤渠道及盐堤的阻隔,洪水未到达路基,影响甚小。通过文献资料^[2]记载的 1989 年洪水期间达布逊湖卤水组成数据绘制的相图,从分析计算结果可知,在洪水期间流入各取样点的达布逊湖水被稀释了 44 倍。

实验原料

1. 固体试样

依据兰州铁路局科学技术研究所选定的三个取样点,在铁路东、西各取 1 份试样,取样点位置见图 3。6 个固体试样的组成见表 2。

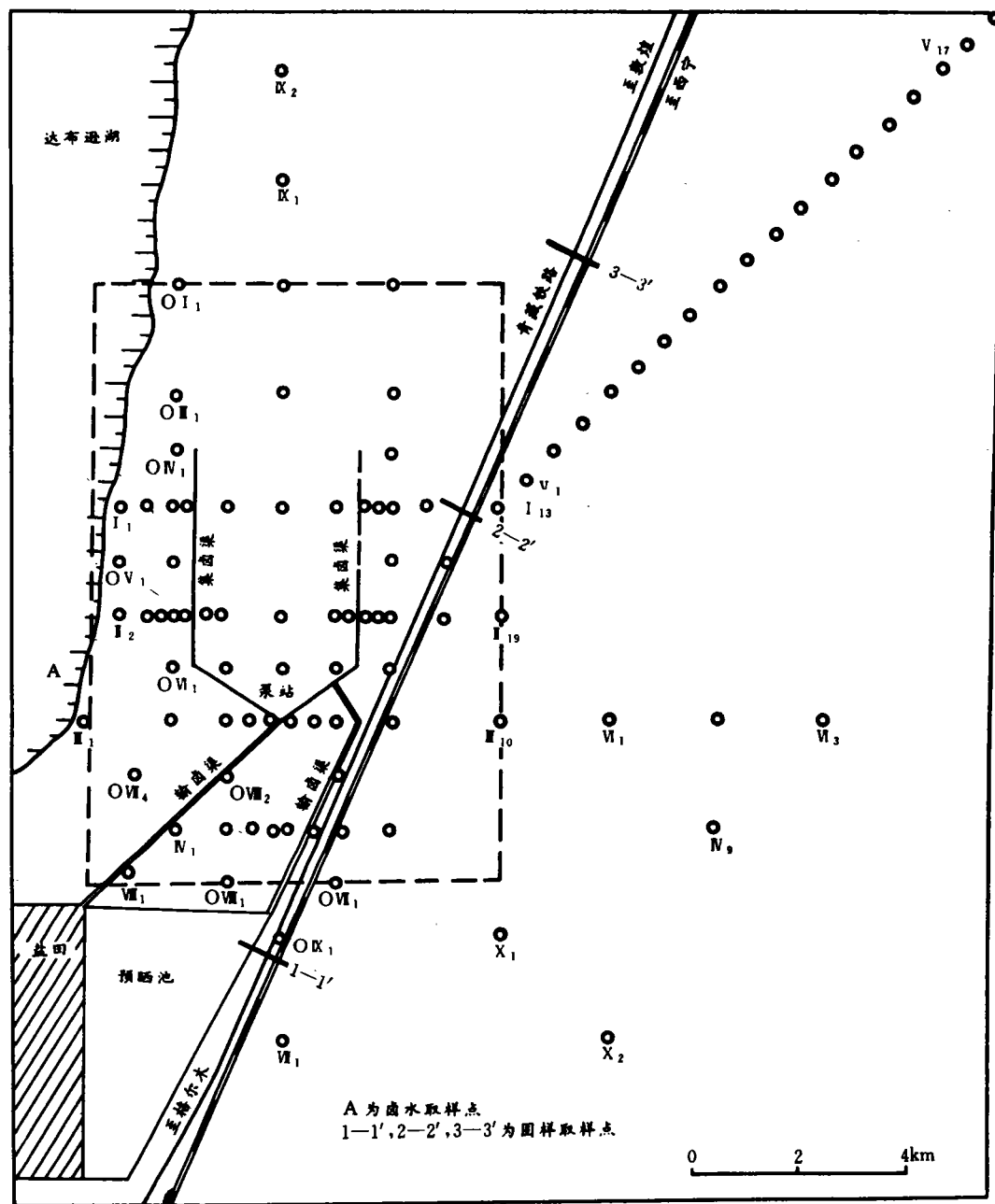


表 2 矿样原始组成

取 样 点		编 号	化合物组成(%)						
			NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	水不溶物	水
K748+0.4km	西	1-1	84.42	0.21	0.57	0.075	1.53	11.76	1.44
	东	1'-1	87.58	0.63	0.91	0.28	2.96	5.31	2.33
K739+0.5km	西	2-1	88.48	0.059	0.25	/	1.39	9.83	0.2
	东	2'-2	84.97	0.055	0.13	0.33	1.49	12.87	0.16
K732km	西	3-1	61.14	0.71	4.26	0.26	2.17	24.11	7.35
	东	3'-1	66.20	0.48	1.58	0.21	1.87	25.59	4.09

从表 2 数据可知, 由于受各钾肥厂排放氯化镁老卤的影响, 3 号试样中 MgCl_2 含量、水份及粘土量较多, 盐块的机械强度很低; 1、2 号试样含 KCl 和 MgCl_2 很少, 盐块含粘土量及水份量少。此类岩盐块从外观看有两种: 一是由岩盐颗粒结成盐块。中科院盐湖研究所以往的工作记载^[6], 该岩盐颗粒形状不规则, 多呈立方体, 颗粒大小不等, 平均粒度区间为 2.66~3.46 毫米, 孔隙度 10~35%。另一种是岩盐结成致密盐块, 几乎无孔隙可见, 该种盐块坚硬, 受压强度高。岩盐坚硬性分类已有报道^[1], 分为松软、软、中硬、硬四个类别。测定察尔汗盐盖卤水浸没部分或地表湿润部分抗压强度为 $\delta_{ya}=6.5\sim19.4\text{kg/cm}^2$, 属于软类别; 察尔汗干燥盐盖抗压强度为 $\delta_{ya}=60\sim110\text{kg/cm}^2$, 属中硬类别; 古盐矿床岩盐抗压强度为 $\delta_{ya}=201\sim411\text{kg/cm}^2$, 属硬类别^[8]。

2. 液体试样

1993 年 8 月从达布逊湖东岸图 3 中 II、III 线之间的 A 点附近采取实验用卤水, 卤水组成见表 3 中的 H-5。表中其余的卤水为按不同稀释倍数配制的实验所需原料液。

表 3 不同浓度卤水的组成

编号	比重	组 成 (%)					
		NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	
O-1	1.000	/	/	/	/	/	
O-2	1.0524	4.38	0.42	2.91	0.12	0.098	
O-3	1.1073	8.35	0.81	5.55	0.22	0.19	
O-4	1.1592	11.96	1.16	7.95	0.31	0.27	
O-5	1.2101	15.20	1.47	10.10	0.40	0.34	

注: O-1-H-5 分别代表试验中的五种浓度卤水。

实验方法

实验室试验尽可能结合洪水侵蚀铁路岩盐路基的现场条件, 进行了不同盐度洪水、不同组成和不同结构岩盐块的静态浸泡、动态浸泡、全浸泡及半浸泡等条件试验。发洪水季节都为夏季, 水温一般为 15~25℃, 对石盐溶解影响较小, 没有进行该项条件试验, 全部试验在室温下进行。

1. 固体试样处理

根据实验室条件及测定抗压强度的需要, 把固体试样均加工成边长 4~5 厘米立方体。通

过锯、锉等使固体试样表面平整。

2. 静态浸泡试验

将固体试样放入容器中,按固:液=1:3的重量比,加入不同浓度液体原料,其中分为全浸泡和半浸泡两种状态,按规定时间取液相样品分析 Cl^- 、 Mg^{2+} 含量,测定溶液比重。

3. 动态浸泡试验

将固体试样放入容器中,按固:液=1:3的重量比,加入不同浓度液体原料,使固体试样全部浸在液体中,放在振荡器上使其摇动,运动线速度为 6.6 米/分。按规定时间取液相样品,分析 Cl^- 、 Mg^{2+} 含量,测定溶液比重值。

4. 受压强度试验

浸泡前后的固体试样,用液压式万能材料试验机(WE-30, 山东济南材料试验机械厂制造)进行抗压强度测定。

5. 分析方法

Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 分析采用资料^[9]的方法。

溶液比重:采用比重瓶法。

实验结果和讨论

1. 从表 2 可以看出,六个固体试样,从化合物组成含量可分为三组:1-1 和 2'-1;1'-1 和 2-1;3-1 和 3'-1。在静态全浸泡、半浸泡试验中,其组成变化情况用三个样即可说明。为简单明了起见,分别选择 1-1、2-1 和 3-1 三个样为代表,分别用图表示它们在不同浓度卤水中浸泡的实验结果。

2. 固相试样被不同浓度卤水全浸泡试验结果见图 4。随浸泡时间延长,液体比重升高,溶液中 NaCl 浓度增大, MgCl_2 浓度变化不明显,不同浓度的卤水对岩盐的溶解速度,在前 3 日有明显差异,随着溶液中盐浓度增大,岩盐的溶解速度降低;卤水中 MgCl_2 浓度增大, NaCl 溶解量减少,3 日之后液体比重、 NaCl 浓度缓慢增加,在 6~8 日之间达到溶解平衡。

从试验结果可知,3 号试样因 MgCl_2 含量较多,在浸泡过程中,溶液的比重、 NaCl 浓度升高,在前 4 日变化明显,4 日之后缓慢升高。在 6~8 日之间达到溶解平衡。随着浸泡时间的延长,H-1、H-2、H-5 卤水中 MgCl_2 浓度增高。H-5 是 NaCl 饱和卤水,而对 MgCl_2 是不饱和的,故仍然可以溶解岩盐中的 MgCl_2 ,同时析出固相 NaCl 。这从 NaCl 线可以看出在前 8 日溶液中 NaCl 浓度降低, MgCl_2 浓度升高,而溶液比重没有明显变化。

3. 固体试样半浸泡实验结果用图 5 即可代表。由于半浸泡试验中液/固重量倍数比较小,溶解达到平衡的时间缩短。从图 5 中可以看出,随着浸泡时间的延长,溶液比重、 NaCl 浓度增高,在 2 日之内变化明显,2~3 日溶解达到平衡,固相试样外观呈蘑菇状。

在半浸泡试验中,3 号固体试样的浸泡结果和 1、2 两样略有不同,随浸泡时间的延长,溶液比重、 MgCl_2 浓度增高,在 4 日时溶解达到平衡。H-5 是 NaCl 饱和卤水,在浸泡过程中,有固相中 MgCl_2 溶解、液相中 NaCl 析出过程,而溶液比重无明显变化。

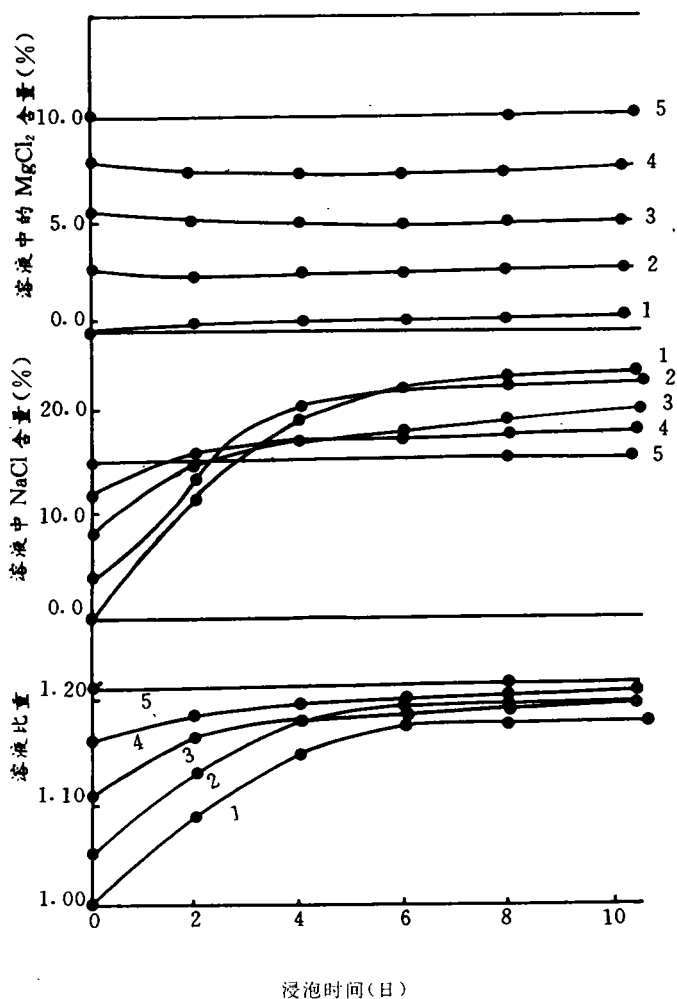


图 4 1-1 固相试样被不同浓度卤水全浸泡试验结果
(1~5 分别代表试验中的五种浓度卤水)

4. 静态全浸泡试验的固体试样,在浸泡前后受压强度的测定结果见表 4。

表 4 固体试样浸泡前后受压强度测定结果

固样编号		1-1	1'-1	2-1	2'-1	3-1	3'-1
浸泡前受压强度 (Kg/cm ²)		30.42	110.0	91.67	52.29	<1	<1
浸泡后受压强度 (Kg/cm ²)	H-3 卤水	10.15	31.95	18.57	18.80	—	—
	H-4 卤水	18.16	26.41	32.50	16.26	—	—
	H-5 卤水	22.23	67.50	63.33	24.60	—	—

从表 4 中数据可以看出,固体试样浸泡前后受压强度有明显变化,1'-1 和 2-1 试样岩盐块较致密,在饱和卤水中浸泡后,受压强度变化较小。随着卤水含盐量的降低,浸泡后的固体试样受压强度降低幅度较大。由于 H-1 和 H-2 卤水浸泡固体试样时,固相被溶解而无法进行受压强度测定,3 号试样在浸泡 12 小时即全部破碎无法进行测定。

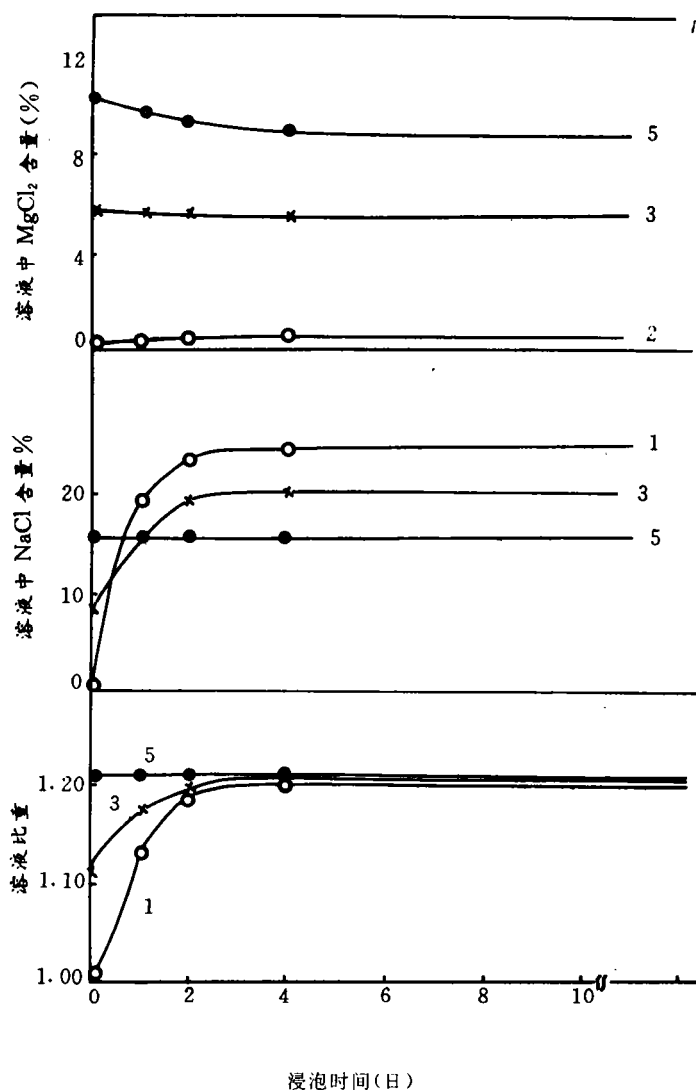


图 5 1-1 固相试样被不同浓度卤水半浸泡试验结果

5. 从不同浓度卤水溶解固体试样中 NaCl 量的数据(表 5)可知,随着卤水含盐量的降低, NaCl 溶失量增加;固体试样中含 MgCl₂ 量增加,NaCl 溶失量减少。

不同浓度卤水对不同组成的固体试样中 NaCl 溶解量,可以用相图 6 进行定量计算。

$$x = \frac{100 \times M_{\text{NaCl}\%} - 100 \times H_{\text{NaCl}\%}}{1 - H_{\text{NaCl}\%}} \times 100\%$$

$$y = \frac{x}{1 - x} \times 100\%$$

式中 x 为 100 克 M 卤水中溶解 NaCl 量(克);

$M_{\text{NaCl}\%}$ 为 M 点卤水中 NaCl 含量的百分数;

$H_{\text{NaCl}\%}$ 为洪水中 NaCl 含量的百分数;

y 为 100 克 H 点洪水中溶解 NaCl 量(克)。

6. 动态浸泡试验结果见图 7。在动态浸泡条件下,岩盐溶解速度加快,浸泡 2 日,溶解达到平衡。在 2 日内,随浸泡时间延长,溶液比重、NaCl 浓度增加、MgCl₂ 浓度降低。溶解达到平衡后溶液组成与静态平衡溶液组成是一致的。动态浸泡溶解速度加快,溶解 NaCl 量不变。

表 5 不同浓度卤水溶解 NaCl 量

编号	比重	矿样编号及溶解 NaCl 量(g/100g 卤水)		
		1-1	2-1	3-1
H-1	1.0000	35.96	35.96	31.75
H-2	1.0524	24.88	25.34	23.26
B-3	1.1073	15.26	16.58	15.11
H-4	1.1592	8.06	8.17	7.54
H-5	1.2101	—	—	—

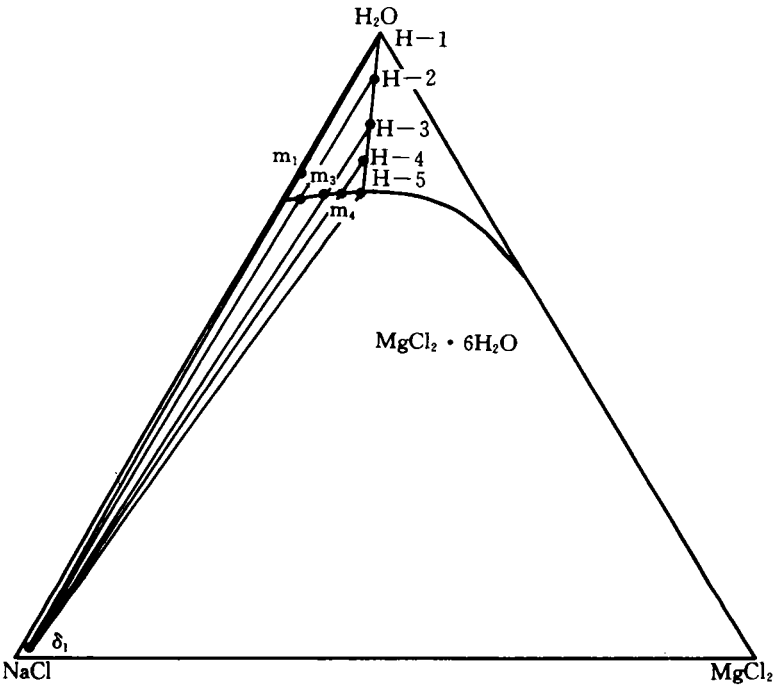


图 6 NaCl-MgCl₂-H₂O 体系相图(25℃)

结论

1 不同地区采挖的岩盐块,化学组成有差异,受压强度相差甚远,修建和维护路基所用岩盐块要有选择,盐块含镁盐少,孔隙度小的为佳。

2 受到氯化镁老卤浸泡过的岩盐块,其中 MgCl₂ 含量增加,具有吸湿性,岩盐块强度小。特别是该种盐块,受 NaCl 饱和卤水浸泡,仍可将其中的 MgCl₂溶解出来,这一液固相转变过程,对路基稳定性是有不良影响的。

察尔汗火车站一带,由于受各钾肥厂排出的氯化镁老卤的影响,岩盐块含 MgCl₂ 量多,受

压强度甚低。因此,各钾肥厂排放的老卤不加处理,就地乱排放,不仅会破坏盐湖钾资源,也将导致对铁路路基的严重损害,必须尽快解决。

3 不同盐度洪水对同一种岩盐块的溶解速度,静态条件下有差异,随着洪水中含盐量的增加,平衡时间缩短,平衡时间为 6~8 日,相差只有 2 日左右。动态条件下,差异较小,平衡时间为 1~2 日。半浸泡条件下,由于液固重量倍数小,溶液很快达到平衡,平衡时间为 2~3 日。

4 同一盐度洪水对不同组成,不同孔隙度的岩盐块,溶解速度有差异,3-1 和 3'-1 试样比 1-1、1'-1、2-1 和 2'-1 试样溶解速度快。由于孔隙度影响,1-1 和 2'-1 比 1'-1 和 2-1 试样溶解速度稍快,但达到平衡时间相差只有 1 日左右。

在发生洪水期间常伴有大风推波助澜,洪峰冲击力极强,将会造成严重灾害,不能指望路基受大量洪水淹没会维持多久,必须采取有效措施防止洪水侵入路基。

5 不同盐度洪水,对 NaCl 的溶失量不同,随着洪水含盐量的降低,NaCl 溶失量增加。实验结果证明可以用 $\text{NaCl}-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ 体系相图进行定量计算。

6 岩盐块受不同盐度洪水浸泡,受压强度降低,随着卤水浓度的降低,受压强度降低幅度增大。

7 该项研究可作为察尔汗盐湖铁路路基维护及采取防洪措施的水盐浸蚀部分的科学依据。

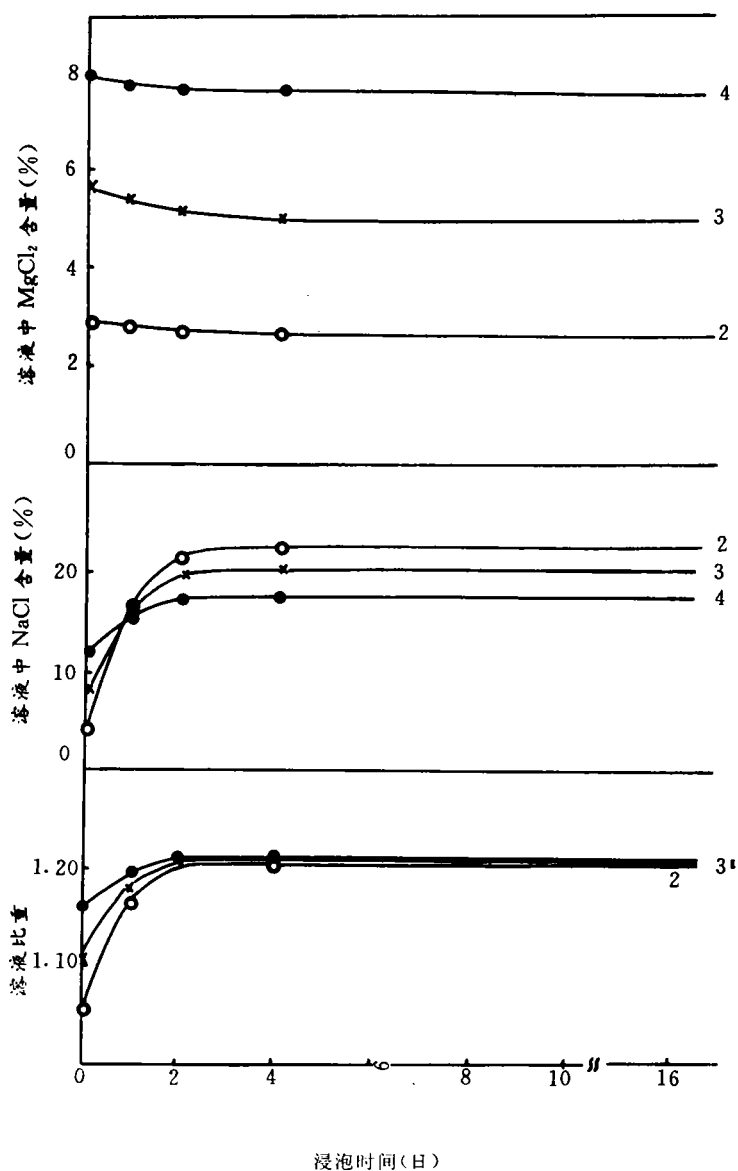


图7 1-1固相试样被不同浓度卤水动态全浸泡试验结果

参 考 文 献

- [1]中国科学院青海盐湖研究所,科技成果汇编,32,(1966~1983).
- [2]唐渊,盐湖研究,1990,(4):52.
- [3]青海“万丈盐桥”面临严峻考验,《人民日报》,1990年3月15日.
- [4]格尔木市“关于格尔木市地下水位上升和达布逊湖水泛滥成灾问题的报告”,1990年10月.

- [5]中国科学院青海盐湖研究所,“察尔汗盐湖首采区采卤过程中水动态水化学变化规律专题研究报告”,1990年10月.
- [6]陈连禹、鲍永恩、何贵山,盐湖科技资料,1981,第一、二辑,43.
- [7]延平,盐湖科技资料,1974,第一、二辑,103.
- [8]А. Н. Анлрсичев《Разработка Кадийних Месторож Пенйй》Непателство《Непра》. Москва,1966.
- [9]中国科学院青海盐湖研究所分析室编著,《卤水和盐的分析方法》,科学出版社,1988年.

Study on the Dissolution and Corrosion of Railway Basis Salt Lake Zone by Different Saliferouss Water at Room Condition

Dong Yaping Li Quang Ge Huan Cheng Dafu
(*Qinghai Institute of Salt Lake, Academia Sinica, Xining 810008*)

Abstract

The phase diagram of saliferous water—railway basis saltstone system was analysed. The dissolution and corrosion rate of different concentration of brine to different composition of saltstone, the dissolvability data and changing way of salt anti—pressure strength were obtained by static and dynamic testing. At last, references of water—proof and protection of railway base were given.

Keywords Phase diagram, Saliferous water, Saltstone, railway base.