

青海钾肥二期工程盐田渗透试验 与防渗措施探讨

王桓栋 王石军

(青海钾肥二期工程筹建处,青海格尔木市,816000)

摘要 在青海察尔汉盐湖,盐田生产是钾盐产品生产的“生命”之源,蒸发与渗漏是影响盐田生产的两个重要因素。本文从青海钾肥厂一、二期工程盐田场地的野外与室内渗透试验结果出发,较系统地分析了盐田场地土层渗透性、土层自身物理力学性质和外界条件对其渗透性的影响与改变;最后提出了对青海钾肥二期工程拟建盐田应采取的防渗措施。

关键词 盐田 土层 渗透

前 言

我国是农业大国,同时也是缺钾大国。自八十年代以来,年进口钾肥数量不断增大,截止1997年,国内生产钾肥量年平均不足40万吨,主要生产于青海察尔汗盐湖。

察尔汉盐湖系近代沉积氯化物型矿床,是我国最大的钾镁盐矿床,也是世界上大型盐湖矿床之一;各种盐类总储量600多亿吨,其中氯化钾总储量占全国已探明储量的97%,全国最大的钾盐生产基地—青海盐湖工业集团有限公司就建在这里。

钾盐资源主要赋存在晶间卤水中,所以盐湖资源开发离不开盐田建设,盐田渗漏与防渗措施是盐田建设和生产管理中不可忽视的重要环节,若防渗措施得当,不仅有利于提高盐田生产率和企业的经济效益,而且有利于保护资源,延长开发周期。

1 青海钾肥一期工程(现青海盐湖工业集团有限公司)盐田渗漏测试情况

《化工部青海钾矿察尔汉盐田工程地质勘察报告》(化工部化学矿山规划设计院,1982年2月)中在24KM²面积共做31个点现场渗水试验(就地取晶间卤水),其中23个点进行1.0米与0.5米高水柱的渗水量测量,7个点只进行0.5米高水柱渗量测量;室内渗透试验进行了76个土样(以下简称“试验一”)。

1.1 试验方法

采用双铁环法。试坑深度0.00~0.30m,试验就地取晶间卤水,测定结果表明为垂直渗漏。

1.2 试验地区地层特征:

整个场区由四个土层与四个盐层交错呈韵律分布,但不连续,表现规律为东北盐层较厚,向西南部盐层变薄直到缺失,由几个粉土与粉质粘土互层组成一个数米厚的土层;地下水东浅

西深,埋深 0.00~1.00m,其中东部 0.00~0.30m,中部 0.00~0.50m,西部 0.80~1.00m。

1.3 计算与试验结果

由渗水量转化为渗透系数不需公式,通过单位换算即可。

试验结果:见表 1。

表 1 青海钾肥一期盐田野外渗水试验与室内渗透试验结果表
(1981 年 10 月完成)

项 目	0.5 为高水柱	1.0 米高水柱	室内渗透试验结果
试验点数(个)	30	24	76 个土样(其中表层粘土层样 59 个)
渗漏量(mm/昼夜)	0.10~0.60	0.27~1.40	1.1~9.8×10 ⁻⁷ ~ ⁻⁸
对应渗透系数(cm/s)	1.15×10 ⁻⁷ ~6.94×10 ⁻⁷	3.12×10 ⁻⁷ ~1.62×10 ⁻⁶	
一般渗漏量(mm/昼夜)	0.40~0.50	0.70~0.90	
对应一般渗透系数(cm/s)	4.62×10 ⁻⁷ ~5.78×10 ⁻⁷	8.1×10 ⁻⁷ ~1.04×10 ⁻⁶	

说明:其中西部(现青海钾肥二期盐田东部堤坝附近)10 勘探线上五个点渗水量(1.0 米/0.5 米高水柱)分别为 0.2/0.73mm/昼夜,0.5/1.40mm/昼夜,0.4/0.85mm/昼夜,0.4/0.67mm/昼夜,0.6/0.8mm/昼夜,1.0 米高水柱渗水量平均为 0.89mm/昼夜,对应渗透系数 1.03×10⁻⁶cm/s(表 2)。

表 2 10 勘探线渗水试验点地层特性

试验点位	表层粘土不小于 0.005mm 粒级百分含量/表层粘土厚度	0.5m/1.0m 高水柱 渗水量	地下水埋深	盐壳厚度
单位	%/m	mm/昼夜	m	m
10-3	未做/0.70	0.2/0.73	0.97	0.30
10-8	75/0.65	0.5/1.4	0.57	无盐壳
10-13	79/0.65	0.4/0.85	未测得	无盐壳
10-17	77/0.40	0.4/0.67	0.40	0.30
10-23	76/0.60	0.6/0.8	0.22	无盐壳
10-27	81/0.60	0.4/0.73	0.72	0.20

1.4 盐田生产中渗漏情况:

青海钾肥一期盐田自 1986 年开始灌卤至今,已经 12 年,根据盐田的进、出物料平衡结合每年盐田生产情况可知渗漏很小,说明了青钾一期盐田在修建过程中堤坝四周采取挖隔离槽的办法防止水平渗漏是成功的;同时青钾一期盐田的光卤石池为提高池板承载力晒制了钠盐池板,由于池板土层的高度钠化,钠离子具有强烈的吸附作用,使水化膜增厚,过水断面减小,另加部分盐分结晶,降低天然孔隙比,故该措施大大降低了盐田池板的透水性(即减小垂直方向渗透)。

2 青海钾肥二期盐田场区工程地质初勘渗漏试验情况

《青海钾肥厂二期工程盐田工程勘察报告书(可行性研究报告)》(中国有色金属工业总公司西安勘察院落,化学工业部化工矿山设计研究院,1989年2月)在青钾一期盐田西侧紧靠达布逊湖南岸108KM²的面积上共进行30组1.0m高水柱现场渗漏试验,室内渗透试验若干,其中有三组淡水渗透试验数据(以下简称“试验二”)。

2.1 概述

青海钾肥厂二期拟建盐田场区位于昆仑山前达布逊湖南岸,紧靠青钾一期盐田西侧,后经优化,南移数百米,主轴近东西向,长22.5KM,南北宽2.4~3.5KM;地面标高2678.37~2680.51m,最大相对高差2.14m,地形相对平坦;地灾第四纪冲、洪积湖积平原;地表水主要有格尔木东河,该河因青钾一期工程盐田修建后改造,由西南向东北横穿二期盐田场区中部,其它分枝、干沟很多,水量具季节性变化;地下水的潜水型晶间高矿化卤水,局部微承压,埋深为0.5~3.1m,地下水位东浅西深,北浅南深,径流方向北东流向西南;地表水与地下水关系为河流补给地下水。

2.2 地层特性:

各试验点所处地层特征和盐田所在地区地层基本一致。地层层序为①盐壳层(主要分布在靠近达布逊湖岸一带),②粉质粘土与粉土互层夹薄层淤泥(主要分布在靠近达布逊湖岸一带),③岩盐层(极不稳定,常出现在②④⑤地层中),④粉质粘土与粉土互层(遍布全区),⑤粉质粘土与粉土互层夹薄层淤泥质粘土(仅在北面被揭露)。地层结构混杂,层位不稳定:按是否含有第②层(粉质粘土与粉土互层夹薄层淤泥)将场区分为两个工程地质区(②层位不连续,主要分布在盐田北边沿达布逊湖南岸一带,远离湖岸逐渐尖灭)。1992年盐田南移方案确定后青海钾肥二期盐田拟建区基本处在Ⅱ区东南内,表层为一层0.00~0.50m厚的盐壳,下面是第①地层(粉土与粉质粘土互层),单层厚度不一,呈千层饼状,在不同深度处有岩盐薄层赋存,该层中粉质粘土占互层总厚度为30%~70%,在水平方向上分布不均。

2.3 原位渗漏测试方法:

采用野外套管注水试验,用内径410mm,高1100mm的钢管放入深约0.50~0.60m的试坑内,周围用粘土充填密封,水面加机油以防蒸发,管内保持1.0m(比重为1.20)高水位。试验结果为水平与垂直渗透的综合值。

2.4 计算方法及试验结果:

计算方法:由渗水量转化为渗透系数的方法为:

$$\textcircled{1}K=Q/F \cdot I; \quad \textcircled{2}K=Q \cdot A; \quad \textcircled{3}K \cdot A \cdot a_1/a_2$$

其中①式为通用公式,②式适用于饱气带土层,③式适用于地下水位以下土层,是对②式的补充。

式中K为渗透系数;Q为日稳定渗水量;F为过水断面面积;I为水力坡度(此处视为1);A为与环内水位和毛细水平均上升高度有关的系数; a_1, a_2 为系数。 A, a_1, a_2 通过《冶金工业建设工程地质勘察技术规程及方法指南》第十篇查表得到。

各试验点渗漏结果见表3。

表 3 青钾二期拟建盐田场地渗透试验结果表(1.0m 高水柱, 1989 年 7 月完成)

试验点位	土层中易溶盐含量(%)	室内渗透试验值(cm/s)		野外渗漏测试转化值	
		水平 K_{H1}	垂直 K_v	公式①计算	公式②、③计算
78	14.45	5.52×10^{-7}	6.50×10^{-7}		5.56×10^{-8}
82	12.90	9.94×10^{-7}	7.30×10^{-7}		6.68×10^{-8}
114	12.80	1.69×10^{-7}	2.14×10^{-7}		8.85×10^{-8}
134	9.80	5.10×10^{-7}	3.30×10^{-6}	3.33×10^{-6}	9.74×10^{-8}
138	8.02	4.24×10^{-7}	1.48×10^{-7}	1.23×10^{-6}	3.59×10^{-7}
142	8.23	1.39×10^{-6}	1.91×10^{-6}	2.02×10^{-5}	5.89×10^{-7}
146	10.37	9.22×10^{-7}	3.63×10^{-6}	1.31×10^{-6}	3.84×10^{-7}
150	9.92	8.24×10^{-7}	2.98×10^{-6}	2.10×10^{-5}	6.15×10^{-7}
217	8.44	1.70×10^{-6}	1.10×10^{-6}	1.40×10^{-5}	4.10×10^{-7}
221	9.92	6.04×10^{-7}	4.34×10^{-7}	1.58×10^{-5}	4.61×10^{-7}
225	9.09	3.95×10^{-7}	3.45×10^{-7}	7.45×10^{-6}	2.18×10^{-7}
229	10.63	2.62×10^{-5}	7.12×10^{-5}	1.31×10^{-5}	3.84×10^{-7}
233	9.70	9.52×10^{-7}	1.72×10^{-6}	1.05×10^{-5}	3.07×10^{-7}
237	8.35	4.25×10^{-7}	6.06×10^{-6}	2.63×10^{-5}	7.69×10^{-7}
241	9.18	5.59×10^{-6}	3.44×10^{-7}	7.01×10^{-6}	2.05×10^{-7}
256	8.26	1.86×10^{-6}	2.66×10^{-7}	9.64×10^{-6}	2.82×10^{-7}
312	12.46	1.04×10^{-4}	2.73×10^{-5}	6.57×10^{-6}	1.92×10^{-7}
316	8.77	2.95×10^{-6}	3.96×10^{-6}	1.84×10^{-5}	5.38×10^{-7}
381	15.20	5.23×10^{-7}		2.63×10^{-5}	7.69×10^{-7}
386	11.46	2.21×10^{-5}	3.99×10^{-6}	3.07×10^{-5}	8.97×10^{-7}
390	10.45	1.51×10^{-6}	1.50×10^{-6}	6.84×10^{-6}	2.00×10^{-7}
394	7.95	2.27×10^{-7}	9.00×10^{-7}	4.03×10^{-5}	1.18×10^{-6}
398	10.71	1.63×10^{-5}	2.62×10^{-5}	4.03×10^{-6}	1.18×10^{-7}
402	10.65	3.70×10^{-6}	1.02×10^{-5}	1.49×10^{-5}	4.36×10^{-7}
406	8.12	6.08×10^{-7}	1.33×10^{-6}	1.58×10^{-5}	4.61×10^{-7}
410	7.43	2.47×10^{-7}	4.42×10^{-6}	3.07×10^{-5}	8.97×10^{-7}
414	10.20	3.00×10^{-7}	4.24×10^{-7}	4.38×10^{-6}	1.28×10^{-7}
422	14.20	3.93×10^{-8}	4.04×10^{-6}	1.75×10^{-5}	5.12×10^{-7}
462	11.96	8.29×10^{-7}	3.01×10^{-6}	1.75×10^{-5}	5.12×10^{-7}
472	14.88	2.36×10^{-5}	1.15×10^{-6}	1.75×10^{-5}	5.12×10^{-7}

说明:在 No. 114 点土层做了室内 1.0m 水位下的水平、垂直方向淡水渗透试验,渗透系数为 $K_v=1.60 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, $K_g=6.69 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, No 381, 406 点土层做了室内 1.0m 水位下垂直方向淡水渗透试验, $K_{v381}=5.85 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, $K_{v406}=1.31 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

2.5 各土层渗透系数计算结果

通过计算得到按地层特性划分的工程地质区现场与室内土工试验渗透系数平均值如表 4:

表 4 不同工程地质区段野外渗水试验与室内渗透试验数据对比表(1.0m 高水柱)

工程地质区	地层特性	现场渗水试验渗透系数			室内试验渗透系数(cm/s)	
		综合值	折算为垂直方向		水平方向 K_H	垂直方向 K_V
			$K(cm/s)$	水头降 (mm/昼夜)		
I	含有第②地层	8.85×10^{-7}	0.27	3.08×10^{-7}	7.30×10^{-7}	5.52×10^{-7}
II	不含第②地层	1.57×10^{-5}	1.38	1.60×10^{-5}	6.99×10^{-6}	4.41×10^{-6}

2.6 II 区土层击实前、后相应物理与水理性质见表 5:

表 5 ④地层土击实前、后有关物理、水理性质比较表

击 实 前 天 然 状 态				击 实 后 夯 实 状 态			
项目名称	代号	单位	平均值	项目名称	代号	单位	平均值
含水量	W_w	%	25.7	最佳含水量	W_{op}	%	20.1
天然湿重度/干重度	γ/γ_d	10KN/m ³	1.94/1.35	最大干容重	γ_{dmax}	10KN/m ³	1.67
孔隙比	e		0.718	孔隙比	e		0.585
淡水渗透系数	K_V, K_H	cm/s	11×10^{-7}	淡水渗透系数	K_V	cm/s	1.46×10^{-6}
卤水渗透系数	K_V	cm/s	4.41×10^{-7}	卤水渗透系数	K_V	cm/s	7.03×10^{-7}

3 青海钾肥二期工程盐田工程地质详勘渗透测试

1996 年 4 月~10 月为满足青海钾肥二期工程盐田工程施工图设计,对盐田所在区即 II 区进行了工程地质详勘,在盐田约 58KM² 的面积上做 33 个点,35 组渗漏试验(以下简称“试验三”),见《青海钾肥二期工程盐田工程地质勘察报告书(中国明达地质有限责任公司)》。

3.1 试验方法

原位渗透试验采用将特制的钢环垂直贯入地表下 1.0~1.5 米,保持环内土层不受干扰,向环内注入 1.0 米高卤水(比重为 1.25~1.30),使卤水在环内作垂直渗透,测定稳定渗水量(日水位降)。试验结果表现为地层的垂直方向透水性能。

3.2 地层特性

为粉土与粉质粘土互层即“试验二”所述第④层或工程地质 II 区。

3.3 计算方法与渗水试验成果

计算方法:由渗水量转变成垂直渗透系数的计算方法。

A: 卤水浸润深度到达地下水位时,采用 $K_V = 1.157 \times 10^{-6} H \times (L + L' - Z) / (h + z)$

式中 K_V —垂直渗透系数(cm/s); H —稳定渗水量(mm/昼夜); L —试环内土柱高度(m); L' —试环刃口埋深(试验深度下限值 m); Z —地下水埋深(m); h —试环内卤水高度(m),为 1.0。

B: 卤水浸润深度在地下水位以下,采用 $K_V = 1.157 \times 10^{-6} H \times L / (H_0 + L + h)$

式中 L —卤水浸润深度(m,由土工试验确定), H_0 —毛细水头压力,取毛细水上升高度 H_c 的一半(H_c 由塑限含水量法测定),其它参数物理意义同 A。

由上述方法计算出来的渗透系数为 $1.04 \times 10^{-7} \sim 3.49 \times 10^{-5} cm/s$,对应盐田各功能区平均值详见表 6。

表6 现场渗水试验综合计算成果表(1996年10月完成)

(1.0m 高水柱)

试验点号	地下水埋深(m)	对应渗水量(mm/昼夜)	试验深度(m)	试验深度内粉质粘土占有效地层百分比(%)	对应功能区	对应渗水量(mm/昼夜)	渗透系数平均值(cm/s)
ST1	0.70	0.30	0.30~1.20	60	光卤石池系	1.01	6.99×10^{-7}
ST8	0.90	0.40	0.30~1.20	47			
ST12	1.20	0.73	0.30~1.20	52			
ST4	0.50	0.70	0.25~1.25	29			
ST2	1.50	0.60	0.30~1.20	52			
ST2	1.50	1.45*	0.30~1.00	33	C ₃ 池		
ST9	1.10	4.87	0.40~1.40	33	C ₂ 池		
ST13	1.85	0.41	0.20~1.20	89			
ST5	0.70	0.80	0.40~1.40	66	C ₁ 池		
ST3	1.60	0.80	0.37~1.13	32			
ST3	1.60	2.00	0.30~1.00	50			
ST10	1.40	1.10	0.30~1.30	58			
ST14	1.80	0.40	0.30~1.30	43			
ST6	0.50	0.50	0.30~1.30	62	T尾盐池系	2.00	1.06×10^{-6}
ST7	0.90	1.88	0.35~1.50	62			
ST11	3.10	3.10	0.48~1.40	40			
ST15	2.50	2.52	0.40~1.40	43			
ST22	1.60	1.84	0.10~1.10	52	预留浓缩池系 PC ₂ S ₄ S ₃	1.08	4.33×10^{-7}
ST21	2.50	1.43	0.30~1.30	69			
ST20	2.20	1.38	0.00~1.50	29			
ST19	1.30	0.55	0.10~1.50	20			
ST18	1.50	0.65	0.00~1.00	61			
ST17	1.70	0.69	0.00~1.00	42			
ST16	1.70	0.84	0.00~1.00	43			
ST33	1.50	1.71	0.00~1.00	58	浓缩池系 PC ₁ S ₂ S ₁	1.53	5.63×10^{-7}
ST32	2.56	0.41	0.00~1.00	88			
ST31	2.60	0.96	0.30~1.30	36			
ST30	2.40	2.96	0.30~1.30	23			
ST29	1.60	1.29	0.30~1.30	17			
ST28	1.80	0.29	0.30~1.30	45			
ST27	1.90	1.19	0.30~1.30	53			
ST26	2.50	0.49	0.30~1.30	65			
ST25	2.40	4.49	0.00~1.00	29			
ST24	1.75	0.54	0.00~1.00	78			

3.4 现场渗水试验与室内渗透试验结果对比：

表 7 现场渗水试验与室内渗透试验结果对比表
(1.0m 高水柱)

项目	现场渗水试验计算的 渗透系数平均值 (cm/s)	室内试验渗透系数平均值(cm/s)	
		击实前	击实后
水平方向 K_H		1.13×10^{-5}	$4.0 \sim 7.9 \times 10^{-7}$
垂直方向 K_v	$1.04 \times 10^{-7} \sim 3.49 \times 10^{-6}$	2.64×10^{-6}	$3.2 \sim 8.0 \times 10^{-7}$

从表 7 中可看出室内渗透试验测出的该土层垂直渗透系数平均值为 $K_v = 2.64 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，基本上同现场原位测试结果是一致的；水平方向渗透系数平均值为 $K_H = 1.13 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，经击实后土层的渗透性为：垂直渗透系数减为击实前的几分之一，平均值为 $K_v = 3.2 \sim 8.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ；水平方向渗透降为击实前的几十分之一，渗透系数平均值为 $K_H = 4.0 \sim 7.9 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。

4 讨论、结论与建议

综上所述，盐田的渗漏数据是由盐田所处的土层本身(内因)决定的，同时受到试验方法、计算方法与试验时的外界条件(外因)的影响。

4.1 土的内部因素主要包括土的矿物成份及土粒的表面性质

A:青钾二期盐田主要建设在第④土层即所谓的工程地质Ⅱ区上，经分析土的矿物成份主要为水云母、绿泥石，土中含有大量盐份，因此三次工程地质勘察，尽管试验面积超过 100KM^2 ，范围广，试验点分散，现场原位测试与室内渗透试验平均值仍然同时表明了④土层的垂直渗透系数为 $n \times 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/s}$ ，对应稳定渗水量在 1mm/昼夜 左右，同时室内渗透试验的垂直渗透系数均较原位测试转化而来的渗透系数小：水平方向渗透系数为 $n \times 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ 。以上说明土层隔水性能较好(表 8)。

表 8 盐田所在场区不同时间野外、室内渗透试验数据综合表
(1.0m 高水柱)

试验时间	现场渗水试验		室内渗透试验		备注
	试验平均值 (cm/s)	主要反映方向	K_v (cm/s)	K_H (cm/s)	
1981 年冬	$8.1 \times 10^{-7} \sim 1.04 \times 10^{-6}$	垂直方向	$1.1 \sim 9.8 \times 10^{-7} \sim 10^{-6}$		①、②土层综合值
1989 年冬	1.57×10^{-7}	水平与垂直 方向综合	4.41×10^{-6}	6.99×10^{-6}	④土层
	8.85×10^{-7}		5.52×10^{-7}	7.30×10^{-7}	②土层
1996 年秋	$1.04 \times 10^{-7} \sim 3.49 \times 10^{-6}$	垂直方向	2.64×10^{-6}	1.13×10^{-5}	④土层
	10^{-6}		9.34×10^{-7}		②土层

B: 由于土层的分布不连续及土颗粒的各向异性,不同试验点渗透数据有差异;室内渗透试验表明水平方向渗透系数较大,是垂直方向渗透系数的几倍。

C: 盐田场地土层为粉土与粉质粘土互层,颗粒组成以粉粘粒居多。在同等条件下,稳定渗水量受岩性控制,粉粘粒百分含量越大,稳定渗水量就越小,如表 6 中 ST₉、ST₂₅ 试验点处地层中粉质粘土只占有效地层厚度的 30%,稳定耗水量近 5mm/昼夜;而与它们相邻的 ST₁₀、ST₂₆ 试验点处地层中粉质粘土占有效地层厚度的 60%,稳定耗水量分别为 1.10、0.40mm/昼夜。

D: 在土颗粒的作用下,土层渗透性与土中易溶盐含量成反比(卤水条件下)。易溶盐特别是 Na⁺ 的存在(强吸附作用),使结合水膜增厚,过水断面减小,渗透性能降低,渗透系数减小;另一方面一部分盐份浓缩结晶充填于土体骨架中,使天然孔隙比减小,也使渗透系数降低。如表 2 中 10-8、10-13、10-23 钻孔所在地地下水埋深不大,表层粘土较厚,土中粘粒含量也较高,同其它试验点相比由于表层缺盐壳层,渗水量大大提高,特别是 10-8 钻孔点 1.0m 高水柱稳定渗水量达 1.4mm/昼夜,将近平均值的两倍。

E: 土层中有机质也具有很大的吸附能力,由于它的存在,使土体孔隙中水形成很厚的水化膜,造成土层透水性能降低。如“试验一”中部分淤泥质粘土渗透系数为 $n \times 10^{-8}$ cm/s,“试验二”中表 3No 78、No82、No 114 现场渗水试验是在富含有机质的地层中进行的,渗透系数普遍较其它小, K_v 、 K_h 均为 $n \times 10^{-7}$ cm/s,现场渗水试验计算出的渗透系数值为 $n \times 10^{-8}$ cm/s。

F: 土层击实后,由于本身结构、物理力学性质遭到破坏,土颗粒内部排列方式发生了变化,由无序变为有一定顺序,同时孔隙比减小,因而无论从理论上还是试验结果上看,渗透系数都是减小的。但对于淡水除外,由于土层为盐渍土,击实后在淡水作用下,更容易湿化崩解,因而其渗透性能反而提高。

4.2 计算公式、试验方法对渗透系数的影响

由于三次现场原位测试采用了不同的试验方法和计算方法,因而数据有一定差异;即使同一试验如“试验二”由稳定渗水量计算为渗透系数采用不同的方法,得到的结果相差也很大,其中公式②、③考虑了试验环直径、毛细水压力、地下水位等因素的,比较符合实际。但因有气温的影响,结果仍然偏小。如室内渗透试验,对于同一土层第④粉土与粉质粘土互层,三次测出的垂直渗透系数基本上为 $n \times 10^{-6}$ cm/s,从理论上分析,它们也是等同的。

4.3 试验条件对渗透数据的影响

4.3.1 地下水埋深:

试验表明,在同等条件下,渗透与地下水埋深成正比。地下水埋深越大,该处地层渗透系数也越大。表 6 可以看出,东北部地下水埋深浅,渗透系数较小,西南部地下水埋深大,渗透系数也大;最北边预留浓缩池系平均稳定渗水量为 1.08mm/昼夜,而紧扣其南的基建浓缩池系平均稳定渗水量为 1.53mm/昼夜,再往其南东的尾盐池系平均稳定渗水量达 2.00mm/昼夜;尾盐池系四个渗水试验点自东向西依次为 ST₆、ST₇、ST₁₁、ST₁₅,地下水埋深分别为 0.5m、0.9m、3.10m、2.50m,渗水量紧跟地下水埋深,相应的为 3.50mm/昼夜、1.88mm/昼夜、3.10mm/昼夜、2.52mm/昼夜。同样,压实后的土层渗透性能也应与地下水埋深成正比,土压实后,土上层渗透性能小于下层,地下水位愈低,会导致土层孔隙真空负压愈大,透水性增加。

4.3.2 晒水深度:

试验表明,同等条件下,渗透与试验水柱高度成正比。由于晒水深度或试验水柱高度加大,水力梯度增大,导致渗透速度增加,渗透量也增多。“试验一”在 23 个点同时做了 1.0m、0.5m 高水柱现场渗水试验,结果说明,1.0m 高水柱稳定渗水量(一般 0.7~0.9mm/昼夜)平均为

0.5m 高水柱稳定渗水量(一般 0.4~0.5mm/昼夜)的 2 倍左右。

4.3.3 卤水浓度:

试验表明,同等条件下,渗透与试验卤水浓度成反比。卤水浓度愈大,粘度或稠度也越大,使土层孔隙中渗水流动阻力增加,渗透减少。“试验二”在三个地点同时做了淡水(比重 1.0)与卤水(比重 1.20)的渗透系数测定,结果表明,淡水渗透系数是卤水渗透系数的数倍。“试验三”所用卤水比重为 1.25~1.30,试验结果同一土层渗透系数平均值较“试验二”数据要小。

4.3.4 试验深度:

土工试验表明,一般卤水渗透影响深度范围为 0.5m 左右。现场渗水试验的试验深度是影响渗水量的一个重要因素。当试验钢环贯入深度较小时,卤水的垂直渗透路线短,卤水渗出试验环底沿土层的水平方向渗透,会导致稳定渗水量增大。“试验三”在 ST₂、ST₃ 点做了不同深度渗透试验的比较,尽管试验深度仅相关不到 0.20m,但稳定渗水量却相差 1.5 倍(详见表 6)。

4.3.5 试验时外界气温

试验时气温的变化,会导致土层中渗流卤水结晶析盐,降低土层的天然孔隙比,从而导致渗透系数减小。如表 3No. 78、No82、No 114 现场渗水试验计算出的渗透系数值为 $n \times 10^{-8} \text{cm/s}$,室内渗透试验的渗透系数 k_v 、 k_H 均为 $n \times 10^{-7} \text{cm/s}$,大于原位测试,违背了“现场测试应大于室内测试值”的一般规律,分析其原因就是温度的影响。

4.4 分析与建议

由于盐田渗漏是建造盐田的土层本身与外界条件综合作用的结果,因此在进行盐田建设和生产管理过程中,应结合不同地点的地层特性、渗透机理与条件,采取不同的处理措施。

A:从试验原理看,现场渗漏试验应是水平与垂直方向渗漏的综合反映,室内渗透试验则只反映垂直方向的渗透,同时根据土的各向异性,水平渗透应大于垂直渗透:从上述试验结果看,一般 $K_{\text{野外}} > K_{\text{垂直}}, K_{\text{野外}} > K_{\text{水平}}, K_{\text{水平}} > K_{\text{垂直}}$ 。

B:按照盐田的营运机制,在盐田中部主要是发生垂直渗漏而在盐田边缘则是水平与垂直方向渗漏的综合反映,以水平渗漏为主,这与“试验二”野外现场渗漏试验的机理是相似的。根据以上讨论分析笔者建议:对盐田中部有盐壳层的地区要给予保护盐壳层;对于拟建堤坝所在区,为了保证堤坝的稳定性,就是有盐壳也应予以剥离,并根据下部土层情况进行具体处理,如粉土层较厚,渗水量大,则应采取防渗措施,即破坏土层的自身结构,用“挖隔离槽”回填优质粘土层的办法降低其透水性能,隔离槽深度需根据粉土层厚度确定;对于表层粉质粘土较厚的,可就地推土成坝。

C:对于堤坝的建设,由于筑堤材料——就地土层为粉土与粉质粘土互层,水平渗透系数为 $n \times 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$,击实试验(参考表 5,表 7)表明,达到最终含水量时,水平渗透系数,为 $n \times 10^{-5} \sim 10^{-8} \text{cm/s}$,击实试验(参考表 5,表 7)表明,达到最优含水量时,水平渗透变为击实前十分之一至几十分之一,为 $n \times 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/s}$ 。因此施工时要严格控制压实系数(控制干容重〔已加碾的土壤干容重〕与最大干容重〔最优含水量时干容重,由击实试验确定〕之比),建议压实系数在 0.90 以上为好,同时要特别注意施工交接带的范围大小以及检查其过压、欠压与漏压签字情况,避免将来的“以小失大”。青钾二期盐田堤坝总长度 75KM,正常生产期间按平均 1.0m 晒水深度,经防渗处理后,假设渗漏(水平与垂直结合)减少折合水头降 4mm/昼夜,则可节约 10.95 万方卤水(相当于每年多生产 2000 吨钾肥),其直接与间接经济效益是不可估计的。

D:对于堤坝的建设,由于建设时就地取土,根据“试验二”现场测试结果,渗透影响范围为

0.5m。因此建设堤坝时建议在拟建堤坝的两侧留出一个合适的保护,以“保护界线”以外取土筑堤坝,一方面没有破坏堤坝两侧土层的天然状态物理力学性质,同时不致使堤坝附近的晒水深度加大,从而减少了盐田上周的渗漏量,提高了企业的经济效益;另一方面增加了堤坝的稳定性,提高了堤坝的使用寿命,降低了它的维修费用。

E:试验表明,对于表层粉质粘土较厚的,在一周内渗水量变为几 mm/昼夜,而表层粉质粘土较薄的,在一周内渗水量仍为几十 mm/昼夜。因此在盐田灌卤初期,渗漏量较大,应注意考虑渗漏对采卤量的影响。

F:从企业长期利益看,由于盐田建成转入生产阶段后,河流改道与盐湖资源的大规模开发必然会引起地下水位的下降,增大土层的透水性能;而土层盐化特别是高度钠化,能大大降低土层的渗透性,因此在盐田灌卤初期,根据生产富余时间情况,可适当考虑先期灌一部分高钠卤水,降低土层的天然孔隙比:一方面可减少采卤工作量,现假定正常生产年,青钾二期盐田光卤石池(面积 20KM²)由于其池板初期钠化,渗漏量减少折合水位降 0.5mm/昼夜(密度 1.25),每年可少出采卤水 365 万方(相当于生产钾肥 7.26 万吨);另一方面可减少资源损失,提高盐田单位面积产量,从而提高企业生产效益。

本文主要为已筹建整整 11 年,即将开工建设的青海钾肥二期盐田工程施工提出作者本人的见解,同时可供其它地层条件类似地区修建盐田参考,由于作者水平有限,如有欠妥之处,敬请专家同行给予指正,谢谢。

参考文献

- [1]化工部化学矿山规划设计院、化工部青海钾矿察尔汉盐田工程地质勘察报告,1982 年 2 月。
- [2]中国有色金属工业总公司西安勘察院,化学工业部化工矿山设计研究院,青海钾肥厂二期盐田工程勘察报告书(可行性研究阶段),1989 年 2 月。
- [3]中国明达地质有限责任公司,青海钾肥二期工程盐田工程地质勘察报告书,1996 年 10 月。
- [4]化学工业部化工矿山设计研究院,中以合资青海钾肥二期工程盐田及老卤排放初步设计,1996 年 7 月。

Discussion of Seepage Test and Seepage Controlling of Solar Ponds for Qinghai Potash Second Phase Project

Wang Hengdong WangShijun

(Preparation and construction office of Qinghai Potash second phase project. Geermu city Qinghai province, postcode 816000)

Abstract

In Chaerhan salt lake, solar ponds production is the beginning of “life” of potassium products. Evaporation and seepage are two important influential factors. In this paper, according to the result of the seepage tests which have been carried out in laboratory and in the solar pond of production for Qinghai potash first phase and second phase, permeability and physical character and their influential factors of soil on solar ponds field are analyzed systematically; In the end, the seepage controlling means for solar ponds of Qinghai potash second phase to be constructed are provided.

Keywords solar pond, soil, seepage.