

文章编号: 1000-8241(2015)02-0167-04

大型水封洞库水幕系统的连通性评价

李印 陈雪见 任文明 杨征 郭书太

中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊 065000

摘要: 大型水封洞库建设的成败在于水幕系统的建设, 水幕系统用于改善储油洞室周围的水封条件, 提高储油洞室的密封性。在水幕巷道挖掘完成后, 需要通过试验检验水幕系统的水力联系, 根据试验结果确定是否需要增设水幕孔数量, 以确保洞库的水封效果。以某地下石油储备库水幕系统的建设为例, 详细阐述水幕系统有效性试验的前期准备、试验步骤、数据采集与解译, 给出了水幕系统连通性综合判定原则, 通过比对有效性试验实测的孔隙水压力值和水封状态下的理论值, 评价水幕系统的连通性, 并提出水封效果的改善方法, 可供业内同行借鉴。(图 6, 参 9)

关键词: 水封洞库; 水幕系统; 有效性试验; 水力联系; 连通性评价

中图分类号: TE822

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.02.011

Connectivity evaluation of water curtain system of large-scale water-sealed storage cavern

LI Yin, CHEN Xuejian, REN Wenming, YANG Zheng, GUO Shutai

China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang, Hebei, 065000

Abstract: The success of large-scale water-sealed storage cavern lies in the construction of water curtain system. Water curtain system is used to enhance the sealing performance of the oil storage cavern by improving the water seal conditions around the cavern. After the completion of water curtain tunnel excavation, it is necessary to test the hydraulic connection of the water curtain system and then determine if more water curtain holes are required to ensure the water seal effect of the cavern. Taking the water curtain system construction of an underground oil storage as an example, this paper elaborates the preparation, test steps, data acquisition and interpretation of validity test for the water curtain system, and presents the comprehensive principles to judge the connectivity of water curtain system. Through comparing the measured value of pore water pressure under validity test and the theoretical value with water seal condition, the connectivity of the water curtain system is evaluated, and then the improving method of water seal effect is proposed, providing a reference for the industry peers. (6 Figures, 9 References)

Key words: water-sealed storage cavern, water curtain system, validity test, hydraulic connection, connectivity evaluation

目前大型地下岩洞储油库主要采用水封洞库的形式, 即采用地下水压力将储存介质封闭在储存空间中, 因而对于地下水封洞库而言, 保持稳定的水头压力, 确保地下洞库的储存介质不能穿过岩层裂隙外逸至关重要^[1-2]。为了保持储油洞室上部有稳定的地下水位, 控制储油洞室周围的地下水流和水压, 保证储油库的水封效果, 在储油洞室上部应该设置水幕系统, 必要时洞罐外侧和相邻洞室之间可设置垂直水幕系统^[2]。该系统是一项辅助工程, 用于改善储油洞室周围的水封条件, 提高储油洞室的气密性。关于水封洞库水幕系统的布

置, GB 50455—2008《地下水封石洞油库设计规范》和 NB/T 1003—2012《国家石油储备地下水封洞库工程项目建设标准》描述如下: 水幕孔直径宜 76~100 mm, 间距宜 10~20 m, 最终间距应根据水幕系统有效性试验结果确定^[3-4]。但标准中未详细阐述布置缘由, 及实际建设过程中的优化方法。国家二期石油储备库的初设方案、部分储库的施工方案皆采取最保守方案布置水幕系统: 水幕孔间距为 10 m, 水幕孔直径为 100 mm。虽然水幕系统保守设计能够很好地保证洞库的水封性, 但是水幕孔间距布置过密, 不利于洞库的整体施

工,会增加库区的围岩裂隙,破坏围岩质量,影响工程的稳定性,同时导致整个洞库涌水量攀升,需要大量注浆止水弥补多余水幕孔带来的负面效应。

我国大型地下岩洞储油库建设较晚,水封技术研究尚处于初期阶段,特别是关于水幕系统究竟如何设计和建设,才能更加有效地提高水封效率,从而节省建设费用,缩短建设工期等研究甚少^[5-7],至今尚无系统介绍。鉴于此,根据某地下水封洞库中水幕系统的实际建设案例,系统阐述了水幕系统的连通性评价方法,以供业内同行借鉴。

1 水幕系统连通性评价的重要性

水封理论起源于人们对天然油气藏的认识,自然中的石油和天然气在未开采之前,就是储藏在储油岩体内相互沟通的孔隙中,四周被地下水或不透土层包围。由于油比水轻,且油水不能互溶,因而形成天然的地下油气藏。油气藏围岩裂隙中的地下水即自然形成水幕系统。当今,多采用人工水幕保持地下洞库的水封性(图1,其中 p_1 为水幕孔注水压力; H 为水幕孔与洞顶高差; p_g 为油品饱和蒸汽压; F 为断面形状系数; S 为安全系数)。

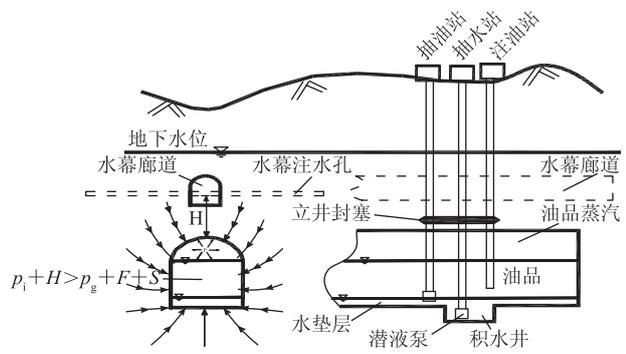


图1 水封洞库布置示意图^[8]

但是在地下水封洞库中,水幕系统是一把双刃剑:一方面,该系统可以有效控制洞库水封效果,防止油品泄漏;另一方面,如果水幕孔布置过多,会造成库区岩体破碎,对整个洞库的稳定性不利,亦会增大施工工作量(注浆、排水等),同时增加洞库的运营成本。通过水幕系统建设过程中的连通性评价,可以在确保水封效果的前提下,了解各水幕孔间的水力联系,查明不利的水文地质特性,并根据其结果采取相应措施,如通过增加另外的注水孔以改善水封效果,从而实现水幕系统的优化设计。

2 水幕系统连通性试验步骤

连通性试验是在水幕孔中注入充分的水量,注水压力相当于储库施工前的静水头压力,以检查储库施工段的地下水侵入或渗水效果。在开展水幕系统有效性试验前,需要在测试区域修建临时隔水围堰,并监测试验期间的涌水量。在试验期间,临近试验区的水幕巷道和主洞室应停止所有注浆和支护工作,避免引起地下水扰动,影响分析结果。试验分为5个步骤:

(1)水幕孔单孔试验:水幕孔钻孔施工结束后立即进行水幕孔的单孔压水试验^[9],试验方法不同于国内现行的吕荣试验。通过单孔试验,采集单个水幕孔的渗透性参数。

(2)单孔试验结束后,保持所有水幕孔处于稳定供水状态,供水压力不低于施工前的静水压力,并监测各水幕孔的流量和压力,监测频率为1次/天。

(3)待主洞室第一层开挖结束后,正式开始水幕系统的有效性试验。有效性试验阶段①:关闭所有水幕孔的供水阀门,监测孔口压力的消散数据。监测周期为一个星期,监测频率如下:1次/h(0~8h),1次/4小时(8~16h),1次/8h(直至试验结束)。

(4)有效性试验阶段②:继续关闭奇数(或偶数)水幕孔供水阀门,打开偶数(或奇数)水幕孔供水阀门,记录奇数(或偶数)水幕孔孔口压力,记录偶数(或奇数)水幕孔流量和压力数据。监测周期和频率与步骤3相同。

(5)有效性试验阶段③:与步骤4类似,但是倒置关闭和打开的水幕孔,监测周期和频率与步骤3相同。

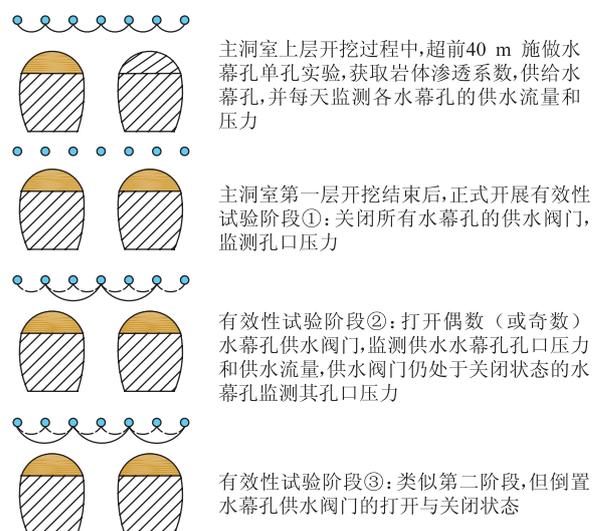


图2 水幕系统连通性试验操作步骤示意图

3 数据处理及连通性评价

在有效性试验中,水文地质监测重点应侧重两个方面:①围岩体内的孔隙水压力,其可以反映较低饱和带的范围;②水幕孔的供水流量,用于计算整个洞库的水量平衡关系,洞库中侵入的水量应与水幕孔中的注水量和天然补给量平衡。

以某地下石油储备库为例,根据有效性试验采集的水幕孔流量数据(图3,各颜色曲线代表不同水幕孔的试验过程)和孔隙水压力数据(图4,各颜色曲线代表不同水幕孔的试验过程),可以大致判断各水幕孔的压力和流量波动情况。有效性试验结果分析通常只需前3个阶段的数据,为了使分析结论更精确,施做了5个阶段,其中阶段④重复阶段②,阶段⑤重复阶段③。

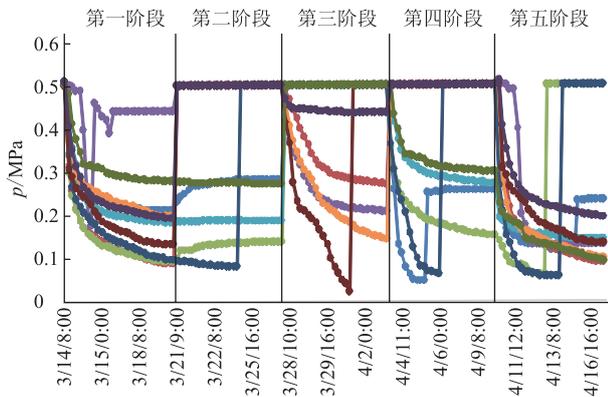


图3 压力监测示意图

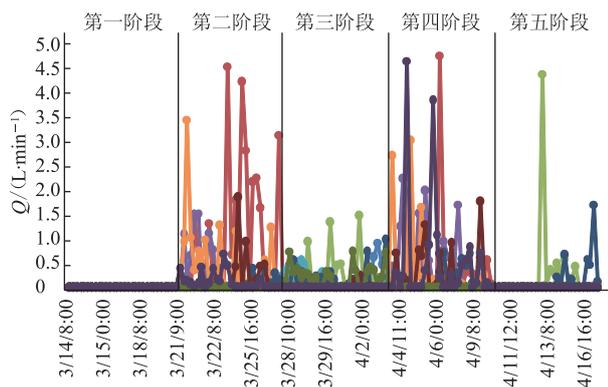


图4 流量监测示意图

在进行水幕系统补水效率评价之前,需要建立整个洞库的三维渗流场模型。利用 Feflow 有限元软件计算有效性试验理论值(图5);根据收集到的水文地质参数验证并校正模型的边界条件与初始条件等参数的设定,建立工程数值模型;模拟不同阶段(有效性试验阶段①、阶段②、阶段③)洞库区的数值模型;选取具有代表性的3个相邻水幕孔拉取压力剖面线,剖面线

的两段水幕孔处于供水状态,中间水幕孔处于未供水状态,压力最低值一般位于中间区域,通过有限元软件计算该值,其值即为有效性试验判定过程中的理论值。通过上述过程,依次得出阶段①、阶段②、阶段③的孔隙水压力的理论值。

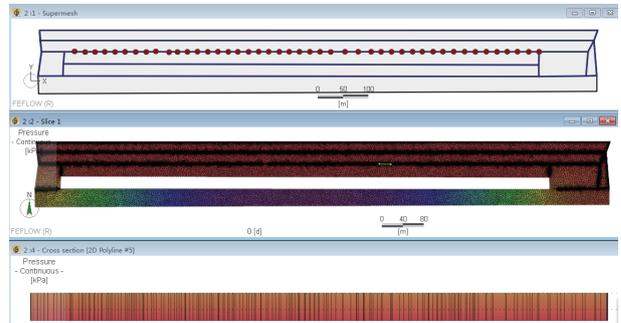


图5 有效性试验理论值数值模拟图

与补水效率试验得出的实测压力值进行比对,再结合试验过程中收集的辅助水文地质参数综合评价水幕系统的补水效率,包括:地面观测孔中水位的变化;试验区附近围岩孔隙水压力的变化(通过设置地下压力计孔采集该数据);试验区渗水点监测;试验区涌水量监测。据此得出该洞库连通性判定结果(图6)。

结合工程案例,给出如下水幕系统连通性综合判定原则:

(1)在试验期间,水幕孔间实测孔隙水压力不低于理论值,查看地面水位孔水位波动情况,若无剧烈抬升,可以判定该区域水力连通性良好,无需增设水幕孔。

(2)试验期间水幕孔间实测孔隙水压力不低于理论值,查看地面水位孔水位波动情况,若因降雨等导致水位大幅抬升,则应在水位稳定后开展局部有效性试验,以正确评价设计压力下水幕系统的连通性。

(3)试验期间水幕孔间实测孔隙水压力小于理论值,查看前期单孔试验数据,若单孔压水试验数据显示渗透性较差,则基本可以判定该区域水力联系较差,应增设水幕孔以保持水幕系统的水封效果。

(4)试验期间水幕孔间实测孔隙水压力小于理论值,查看前期单孔试验数据,若单孔压水试验数据显示渗透性良好,则试验区域水力联系情况不明。查看周边区域的渗水量和涌水量数据,一般而言,该情况下周边区域的渗水量和涌水量数据会激增,应加大注水压力并延长观测时间重新开展局部有效性试验。若实测孔隙水压力仍然小于理论值,则增设水幕孔。

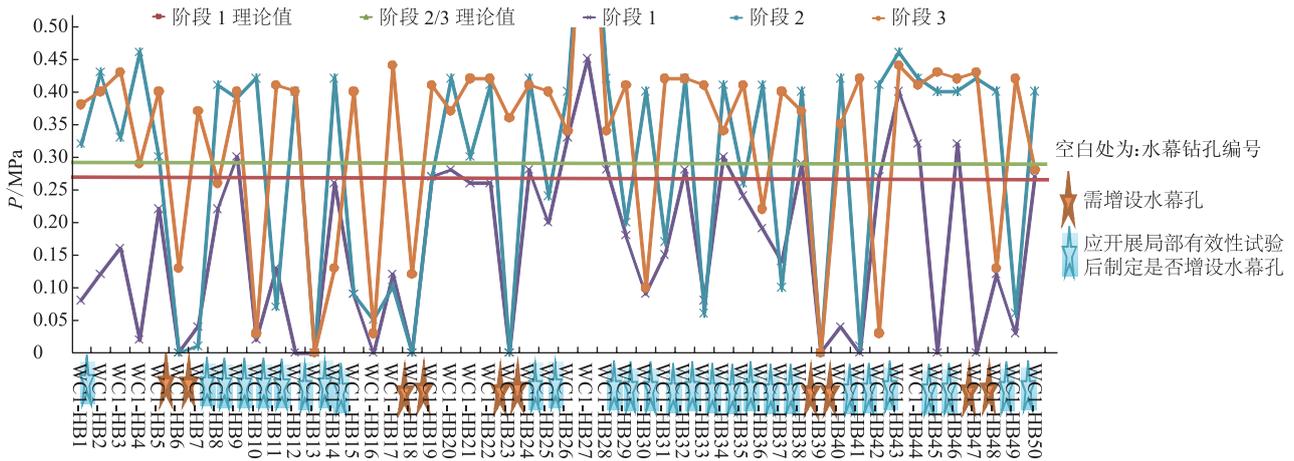


图6 某大型水封洞库连通性判定结果

4 结论

以某地下水封洞库水幕系统的实际工程建设案例为背景,系统阐述了水幕系统有效性试验的前期准备、试验步骤、数据采集与解译,以及如何综合评价水幕系统的连通性,以期为国内相关隧道和洞库建设过程中的水力联系分析提供新的思路。

(1) 在开展水幕系统有效性试验前,需要在测试区域修建临时的隔水围堰,并监测试验期间的涌水量。在试验期间,临近试验区的水幕巷道和主洞室应停止所有注浆和支护工作,避免引起地下水的扰动,影响分析结果。

(2) 水幕系统的连通性评价:建立整个洞库的三维渗流场模型,结合试验过程中收集的辅助水文地质参数,比对有效性试验实测的孔隙水压力值和水封状态下的理论值,综合评价水幕系统的连通性,并针对性地提出水封效果的改善方法。

参考文献:

[1] 袁广祥,尚彦军,史永跃,等.与地下石油储备库有关工程地质问题研究现状与对策[J].工程地质学报,2006,14(6):792-799.
 [2] 时洪斌,刘保国.水封式地下储油洞库人工水幕设计及渗流量分析[J].岩土工程学报,2010,32(1):130-137.
 [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50455—2008 地下水封石油洞库设计规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
 [4] 国家能源局.NB/T1003—2012 国家石油储备地下水封洞库工

程建设标准[S].北京:中国电力出版社,2012.

[5] 李树忱,平洋,冯丙阳.地下储油库水幕系统连通性评价[J].中国科技论文,2013,8(5):402-407.
 [6] 吴雪静.某水封式地下储油洞库水幕系统施工、系统测试及供水施工组织设计[J].城市建设理论研究(电子版),2011(36):
http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_csjslyj2011362379.aspx.
 [7] 王者超,李术才,薛翊国,等.地下石油洞库水幕设计原则与连通性判断方法研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(2):276-286.
 [8] 时洪斌.黄岛地下水封洞库水封条件和围岩稳定性分析与评价[D].北京:北京交通大学,2010.
 [9] 李印,梁久正,陈雪见,等.新型压水试验在某地下石油储备库中的运用[J].工程勘察,2014(2):40-43.
 (收稿日期:2014-07-10; 修回日期:2014-10-24; 编辑:关中原)



作者简介: 李印,工程师,1985年生,2009年硕士毕业于中国科学院广州地球化学研究所地球化学专业,现主要从事石油储备库设计与建设相关工作。

LI Yin, MS.D, engineer, born in 1985, graduated from Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, geochemistry, in 2009, engaged in the related work of the design and construction of oil storage.
 Tel: 15933269129, Email: yin347@vip.qq.com