

地下水封石油洞库水幕系统水力试验及水幕钻孔施工

胡谋鹏, 陈雪见, 杨 征, 梁久正, 詹胜文

(中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要:水幕系统是地下水封储油库最为关键的部分, 主要由水幕巷道、水幕孔、附加水幕孔、监测井和仪表井组成。水力试验成果是水幕系统评价的依据, 而水幕孔的施工质量又是水力试验顺利和试验效果的保证。结合辽宁某地下水封洞库工程, 阐明了水幕系统在施工期间的水文试验方法, 分析了施工期间各水文试验的作用及其相关性; 介绍了水幕钻孔施工技术。

关键词:地下水封石油洞库; 水幕系统; 水力试验; 单孔试验; 有效性试验; 全面水力试验; 水幕孔

中图分类号:TE972⁺.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)01-0081-04

Hydraulic Test of Water Curtain System for Underground Water-sealed Oil Storage Cavern and Water Curtain Drilling Construction/HU Mou-peng, CHEN Xue-jian, YANG Zheng, LIANG Jiu-zheng, ZHAN Sheng-wen (China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Water curtain system is the most critical part of underground water-sealed oil storage, which is composed mainly of water curtain channel, water curtain hole, additional water curtain holes, monitoring well and instrument well. The results of hydraulic test are the basis of the water curtain system apprising and the construction quality of water curtain hole is the guarantee of hydraulic test and the test results. According to the project of an underground water-sealed oil storage cavern in Liaoning, the paper explains the hydrological test method during the water curtain construction, analyzes the function and correlation of each hydrological test during the construction and introduces the construction technology of water curtain hole.

Key words: underground water-sealed oil storage cavern; water curtain system; hydraulic test; single hole test; efficiency test; full hydraulic test; water curtain hole

0 引言^[1]

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, 为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, 保证储库的水封效果, 在储油洞室上部设置水幕系统。

水幕系统是地下水封洞库设计的中中之重, 水幕系统主要由水幕巷道、水幕钻孔、附加钻孔、监测井和仪表井组成(见图1), 有的地下水封石油洞库根据地质情况和水文情况, 还设置倾斜的水幕孔(见图2)。水幕设计不能教条, 水幕系统是在试验、理论分析加经验的基础上提出的, 必须将理论计算与

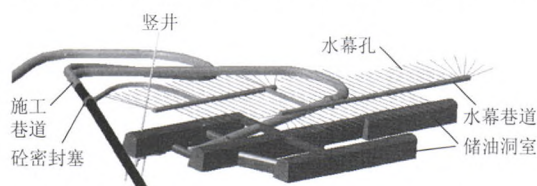


图1 地下水封洞库整体布置示意图

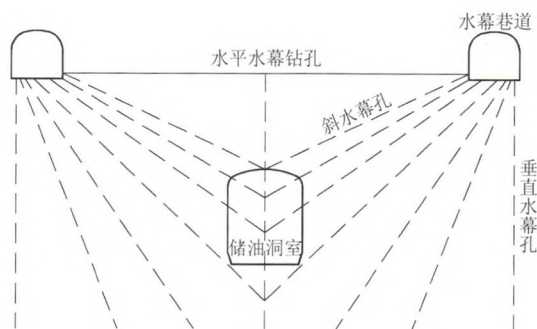


图2 人工水幕示意图

工程经验相结合, 水幕系统的设计合理与否, 必须通过现场水力试验。

水幕孔的施工质量对与水力试验是否能顺利进行、试验效果的好坏至关重要, 因此本文对水力试验和水幕孔施工技术进行分析讨论。

1 水幕水文试验及水幕孔施工研究现状

随着国家战略石油储备的大力建设, 国内目前已经建设完成和正在建设的地下石油储备库已经有

收稿日期: 2015-04-17; 修回日期: 2015-12-10

作者简介: 胡谋鹏, 男, 汉族, 1977年生, 工程师, 土木工程专业, 硕士, 现主要从事地下水封储油库和地质灾害治理的设计工作, 河北省廊坊市广阳区和平路146号管道设计大厦穿越室, humoupeng@cnpc.com.cn。

相当的数量,伴随着这些项目,很多学者发表了一些地下水封石油洞库水幕系统方面的论文。例如,邵再良在文献[2]中着重介绍在勘察中的注水-消散试验的方法和步骤;李树忱在文献[3]和[4]中详细分析了水幕系统连通性评价方法和判别准则;赵显山在文献[5]中介绍了降水头试验、吕荣试验、压力-消散试验在可研勘察期间的应用;周永力在文献[6]中详细介绍了水幕孔的施工技术,以及水幕孔施工完毕后采用单孔试验评价水幕孔合理性的方法,还有有效性试验的程序;李印等在文献[7]中以本水封洞库实例,详细介绍了单孔试验的运用。以上文献从各个方面都涉及到了单孔试验和有效性试验的应用,但是没有谈及他们之间在地下水封洞库工程中的相关性,也没有谈及施做时间、作用、功效等,更没有谈到地下水封洞库水力试验中很重要的一个试验即全面水力试验。

水幕系统主要由水幕巷道、水幕孔、附加水幕孔、监测井和仪表井组成。就水幕孔的施工而言,杨凯等在文献[8]中讨论了水幕孔施工倾斜率问题;谭忠盛在文献[9]中详细地介绍了水幕孔的钻孔要求、是否取心及操作要求等;李友强在文献[10]中介绍了水幕孔的施工工艺、钻孔要求等;周永力,孙海江在文献[11]中对水幕孔施工进行了最为详细的阐述,阐述了水幕孔的成孔的检查、孔斜的预防等,又阐述了水幕孔的施工机械等。这些文献都只是对水幕孔施工的要求做了些阐述,没有说明为什么不能这么施工,笔者结合亲自参与的辽宁某水封

洞库的实际项目来谈谈自己的一点看法。

2 水幕的水力试验^[12-14]

水幕系统的建设是整个水封洞库渗流控制的重要环节,而水幕孔的建设过程中关键点在于水幕系统试验,主要包括单孔试验、有效性试验和整体水力试验。水幕巷道中的水平水幕孔和垂直水幕孔的供水设备见图3和图4。在水幕系统的各种水力试验中,其孔口的设备布置均如图5所示,只是各试验的流程不一样。

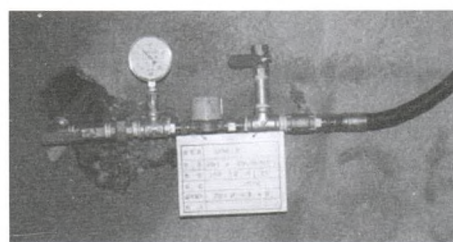


图3 水幕巷道中的水平水幕孔供水状态

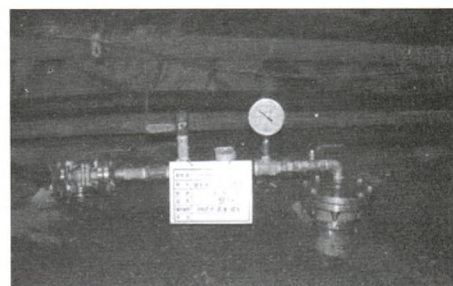


图4 水幕巷道中的垂直水幕孔供水状态

2.1 单孔试验

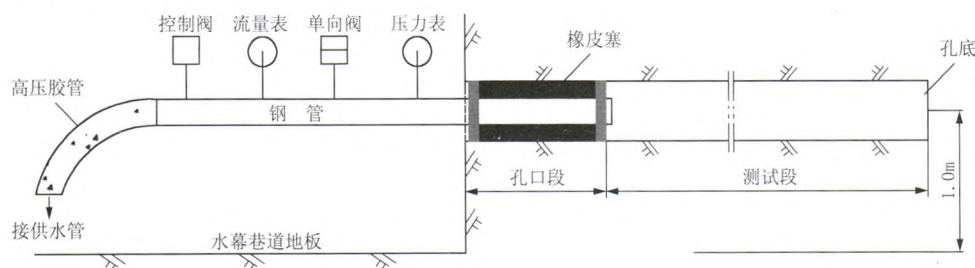


图5 水幕孔孔口装置

单孔试验,主要用于检测每个水幕孔的渗透性参数,获取洞库的基本水文设计参数。在每一个水幕孔钻孔施工结束后供水前都要进行水幕孔的单孔试验,其目的是为了获取水幕孔所在范围内岩体的渗透性参数(渗透系数)。单孔试验一般包括有降水头试验、吕荣试验、压水-消散试验、脉冲试验等,在不同岩体中采用不同的试验方法。

试验前检查钻孔偏差并合格后应彻底冲洗,除去孔内泥浆和碎屑,立即安装机械式栓塞,再进行压水试验。根据法国著名的地下石油储备库咨询公司GEOSTOCK要求,辽宁某地下水封洞库优先选择压水-消散试验,单孔试验应在水幕钻孔完成5天内进行,用来确定每个水幕孔的初始水文特性,从而评价水幕系统的补水效率。水幕系统中每个水平和垂

直水幕孔在施工完毕后都必须进行单孔压水试验。

2.2 有效性试验

所谓水幕的有效性试验就是在水平孔中注入充分的水量,其压力相当于储油洞室施工前的静水头压力,以检查储油洞室施工段的地下水侵入或渗水效果。有效性试验主要用于检测并调整水幕系统的补水效率,以保证运营期具备足够的水力梯度,检测可能存在的不良水文地质区域,以决定是否需要增设水幕孔来改善水幕系统,从而实现水封效果。但有效性试验局限于供水水幕孔影响范围内的岩体在维持一定的水压下所反映出的水力效果,与运营期真实的水幕系统的供水量、洞库涌水量等尚有较大偏差。水平水幕孔的效率试验通常在主洞室顶层开挖完毕后施做,垂直水幕孔则在主洞室开挖至底板时施做。

有效性试验数据,需要结合压力计孔的孔隙水压力综合判定库区的水力联系,从而评价水幕系统的补水效率,而且运营期压力传感器位置的埋设,主要参考数据为有效性试验过程中压力计孔的压力波动趋势情况,目前该部分数据残缺严重,未来的压力传感器位置埋设的结论将难以保证质量。压力计孔里面的设备和水平水幕孔基本一样,由供水管线、压力表组成,只是不对其进行注水,见图 6。

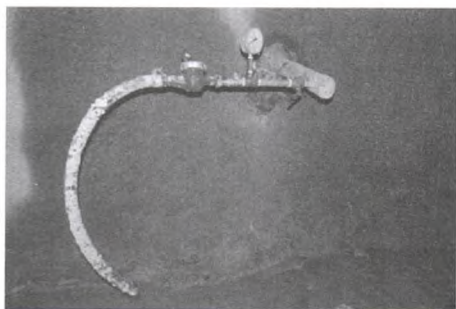


图 6 水幕巷道压力计孔

2.3 全面水力试验

在有效性试验中仅仅测试了水幕孔,全面水力试验目的是为了测试整个水幕系统的水力关系对储库的影响,以便进行补充注浆堵水,全面检验水幕钻孔以及水幕巷道的水压作用。而且在水幕系统的建设过程中,存在着一些难以避免的瑕疵与问题,因此建议在气密性试验之前,施做全面水力试验,以检验和修正整个水幕系统的水力效率与水封环境。在水幕系统全部完工后,储油洞罐密封前,可结合水文地质等等项目自身的情况,来决定是否进行全面水力

试验,即通过在水幕巷道内适当位置设置临时密封塞,提前对水幕巷道进行注水并达到设计指定压力,以检验储油洞室渗水、周围水压和地下监测设备运行等情况。进行全面水力试验可以起到以下作用:

(1)通过对水幕巷道进行注水并达到设计指定压力状态,检验其作用效果是否与运行期实际的水幕系统作用效果基本一致。此时可以通过对储油洞室的视查,并检查因临时水幕孔管线供水的局限性而未暴露的问题。对于大的涌水点及时采取注浆封堵措施。尽可能降低储库封闭后发现涌水量超标,而无太好解决办法的风险,此风险在同类工程中发生过。

(2)在具备施做全面水力试验的条件时,现场所计量的涌水量最接近于运行期实际值,对于准确掌握和控制主洞室的涌水量有重要意义。

(3)全面水力试验时需要对水幕巷道提前注水,因此能够提前恢复施工过程中造成的部分区域较低地下水位,同时也为最后的气密性试验提供良好条件。

(4)全面水力试验在水幕系统施工和监测设备安装完成后即可开展,由于试验中要对水幕巷道内进行注水,而主洞室进行的气密试验前需要对施工巷道和水幕巷道全部充水,这样便缩短了注水时间。

3 水幕孔的施工

3.1 技术要求

(1)水幕孔的间距宜为 10 ~ 20 m,水幕孔直径宜为 76 ~ 100 mm。

(2)水幕孔超出洞室外壁 ≤ 10 m,垂直水幕孔的孔深应超出洞室底面 10 m。

3.2 设备选用

钻孔设备必须具有作业占用空间小、结构轻便、容易安装搬迁等特点,另外根据规范要求,水幕孔钻孔设备不得使用高压风出渣。洞库水幕孔的钻机可以选用 Atlas Diamec U4 型岩心钻机进行钻孔,也可以选用国产钻机进行钻孔,现场钻机见图 7。

3.3 水幕孔检测设备

水幕孔检测项目包括方位角和仰角,检测选用 DS-3 型钻孔测斜仪。其工作原理:利用磁电阻传感器作为固态罗盘测钻孔方位角,利用集成加工速度传感器矢量合成方法测钻孔仰角。

3.4 钻孔施工工艺

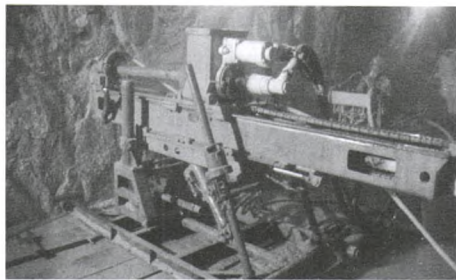


图7 洞库现场水平水幕孔钻孔

(1)水平孔分两段成型。孔口段长度3 m,孔径90 mm(有的是110 mm),主要用于位于止水塞安装,采用低压、低速钻进成孔;测试段为孔口3 m以后部分,孔径75 mm(有的是100 mm),采用高压、高速钻进成孔。

(2)选用直径60 mm(有的是73 mm)的钻杆,避免因钻杆过细而在孔内旋转摆动过大导致钻孔偏差超限。

(3)不同地质条件下的钻进措施。岩层稳定性较差的破碎带,采用低速、低压钻进;裂隙水发育的富水带,采用低速、高推进力钻进;钻孔内出水压力大于钻机额定推进力的地段,采用先注浆堵水,后重新开孔钻进方式。

(4)垂直孔钻孔完成后要安装孔口套管,露出底板至少50 cm,以防止淤泥、泥浆的进入。

(5)开钻前由开挖施工队每班负责向现场技术员、钻孔组带班人进行技术交底,包括孔位的移交,施工机械的选择,开钻前应准备的事项、钻孔技术要求等。

(6)水幕孔按10%取心,取心一般采用MK-5型全液压坑道钻机钻取。

3.5 施工技术要求

(1)水幕孔在任何点倾斜偏差均不得超过孔深的5%。

(2)在钻孔钻进过程中,应避免钻孔因钻具和钻杆的自重引起的自然往下倾斜,保证钻孔精度要求,开孔倾角应上仰 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。钻孔及钻井超出偏差范围的孔应采用水泥进行封堵,并在旁边另钻一孔替代。

(3)每个水幕孔钻孔完成后,应立即进行彻底清洗,清除泥浆和碎屑。

(4)孔深误差 $\geq 1\%$,孔底位置偏差值不得大于监理人员指示的控制标准。开孔位置误差 ≥ 10 cm。

4 结语

(1)水平水幕孔和垂直水幕孔长度、间距的合理性都必须经过单孔试验、有效性试验和全面水力试验来进行判断,而这个判断工作是建立在各种水文监测工作的基础之上的,是一个复杂的系统工程。

(2)水幕孔综合水文地质试验数据、压力计孔综合水文地质试验数据、水幕系统有效性试验数据、有效性试验期间压力计孔监测数据等,是施工期水文地质条件分析判断、设计优化调整、地下水封石油洞库运营期永久监测设计文件编制等工作的基础数据和设计依据。

(3)水幕有效性试验是整个水封洞库的关键所在,其试验结果将作为涌水量确认、水幕补水效果判断和水幕孔布置调整(是否需要增设水幕孔)的直接依据,其准确性尤为重要。

参考文献:

- [1] 中国石油天然气管道工程有限公司. 国家二期石油储备基地某地下储备库工程可行性研究,《土工程勘察》档案号:地-1591/明[R]. 河北廊坊:中国石油天然气管道工程有限公司,2006.
- [2] 邵再良. 地下储气洞室勘察中的注压水试验[J]. 西部探矿工程,2004,(4).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 赵显山,郭书泰. 地下原油储备库综合水文地质勘察方法[J]. 建筑与发展,2010,(1).
- [6] 周永力,孙海江. 某地下水封石油洞库工程水幕孔施工技术研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(1).
- [7] 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).
- [8] 杨凯,赵晓,张文辉,等. 大型地下石油洞库人工水幕技术[J]. 长江科学院院报,2013,30(9).
- [9] 谭忠盛,万姜林,张振刚. 地下水封式液化石油气储藏洞库修建技术[J]. 土木工程学报,2006,39(9).
- [10] 李友强. 地下液化石油气贮存库施工技术[J]. 现代隧道技术,2002,(S1):236-238.
- [11] 周永力,孙海江. 某地下水封石油洞库工程水幕孔施工技术研究[J]. 长江科学院院报,2014,31(1).
- [12] Geostock. Cavern acceptance test and commissioning specifications JZU-Z-J-0002[R]. 河北廊坊:中国石油天然气管道工程有限公司,2010.
- [13] Geostock. Hydrogeological monitoring during construction JZU-H-D-0002[R]. 河北廊坊:中国石油天然气管道工程有限公司,2010.
- [14] Geostock. Analysis of hydrogeological tests JZU-H-J-0002[R]. 河北廊坊:中国石油天然气管道工程有限公司,2010.