

地下水封石洞油库地质灾害危险性评估

——以山东某地下水封石洞油库工程为例

陈 奇^{1,2}, 武 强¹, 李俊彦²

(1. 中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 工程技术学院, 北京 100083)

摘要:根据地下水封石洞油库的工程特点,分析了此类工程建设场地地质灾害类型。列举了工程场地可能存在的现状地质灾害、施工期地质灾害和运营期地质灾害。认为该类工程的地质灾害危险性评估应更关注地下地质灾害,尤其是岩爆灾害。以某地下水封石洞油库实际工程为例,说明岩爆灾害宏观预测评估应针对岩性和地应力两个主要因素。探讨了地质灾害预测评估的可靠性问题,指出预测评估的可靠性基于分析思路的正确和预测指标的合理选取。

关键词:地下水封石洞油库; 地质灾害类型; 岩爆; 预测指标; 可靠性

文章编号:1003-8035(2006)04-0138-04

中图分类号:TU45

文献标识码:A

1 引言

地下水封石洞油库是以地表下一定深度的完整岩体作为载体,开凿天然洞室作为油品的储存空间,利用洞室外围岩中存在的地下水或人为形成地下水幕,将油品外溢的途径封死,谓之“水封”。便构成地下水封石洞油库。适于建设地下水封石洞油库的基本地质条件需从岩性、构造、水文地质 3 个主要方面考虑。满足工程要求的岩性条件为完整或轻微风化的结晶岩体;构造条件为断裂、褶皱不发育,节理、岩脉弱—中等发育;水文地质条件最好是存在地下水且具有弱渗透性^[1-3]。

地下水封石洞油库是比地表油罐安全可靠的能源储备库。近年来,由于国际政治局势紧张、能源危机升级,此类工程也格外受到重视。欧洲各国及美、日、韩等国均相继建了不少地下储备库。与此同时,地下水封石洞油库建设在我国也逐渐升温。此类工程作为国家战略能源储备库,属重要建设项目。本文讨论的拟建地下水封石洞原油储备库初步设计洞高 30m,跨度 20m,洞室间距 40m,洞长约为 700~990m 不等。单洞平均容积约 30 万 m³。设计总储油量达 500 万 m³(一期 300 万 m³,二期 200 万 m³)。属于大型地下工程,其工程重要性等级为一级。建筑场地地质灾害危险性评估等级相应也是一级。地质灾害危险性评估的首要工作是确定评估区灾害种类,根据场地地质环境条件和地质灾害的成生规律分析确定。

2 地下水封油库地质灾害类型及特征

地下水封石洞油库的工程特点决定了它所依存的地质环境特征,从而便决定了与其相关的场地可能存在的地质灾害类型。

2.1 现状地质灾害

根据上述地下水封石洞油库所要求的基本地质条件,其建设场地必然选择在存在结晶岩体的基岩山区,且断裂和构造活动相对较弱的地段。同时为了使用便利,地下水封油库往往靠近炼油厂或位于输油码头附近。因此,其地理位置常选择在沿海低山丘陵地区。与上述适合建库地段的地质环境条件相对应的地质灾害主要为山地灾害。即崩塌、滑坡、泥石流。拟建地下水封石洞油库存在的现状地质灾害主要是崩塌灾害。此外,还需根据具体情况考虑是否存在海水入侵灾害。

2.2 施工可能遭遇的地质灾害

由于地下水封石洞油库位于完整的岩浆岩岩体内部,随着洞室开挖形成地下空间,其稳定性即洞库围岩稳定问题凸现出来,成为工程成败的关键。事实上,地下工程常遇的各类地质灾害也是地下水封石洞油库需面对的主要灾害,且往往比地表地质灾害对工程安全影响更大。

收稿日期:2006-01-13;修回日期:2006-01-29

作者简介:陈奇,女,副教授,主要从事工程地质教学与科研工作及地质灾害防治研究。

一般地下工程施工可能引发的地下地质灾害有:岩爆、突发涌水、碎屑流(突泥)、等。对于地下水封石洞油库来说,后两者应当不会出现。原因在于,产生突发涌水的基本条件是地下工程施工中遭遇集中的地下水体,可能导致涌水发生的地质条件是地下洞室遇到富水断层破碎带、裂隙密集带、充水的岩溶洞穴等。产生碎屑流(突泥)的条件是施工过程中遭遇未胶结的断层破碎带,其内充填物在水动力作用下突入施工隧洞,形成碎屑流。根据地下水封石洞油库应具备的基本地质条件(岩体完整、少断裂、弱透水)分析,被选择为地下水封石洞油库的建设场地不可能存在断层破碎带,也没有产生岩溶洞穴的岩性条件。因此,场地内不会形成集中的地下水体。由此推断,地下水封油库建设施工中不可能引发突发涌水、碎屑流(突泥)等灾害。

至于岩爆灾害则需要进一步根据具体情况分析。岩爆发生的基本条件为岩性、地应力、地质构造、施工方式等^[4-6]。根据地下水封石洞油库适合建库的地质环境条件分析,适合建库的结晶岩体往往属于坚硬完整的岩体,能集聚较高弹性应变能,从而使场地具备岩爆发生的岩性条件。其他条件需要具体分析。因此,地下工程施工可能引发的地下地质灾害集中于岩爆灾害,应专门对岩爆灾害危险性进行预测评估。

2.3 油库运行可能产生的环境地质问题

地下水封石洞油库竣工投入使用后,一部分油品有可能会逐渐渗透至库外而造成地下水、土体污染,甚至危害生态环境^[7]。油(气)污染的机制:洞库竣工后,地下水位将降落到洞库底板。随储油高度增加,假若地下水呈漏斗状,一部分油品将向外渗透至库外。当储油品达到稳定高度之后,地下水位便随之上升。并将造成污染的外渗油品再度压回库内。由于油的比重轻于水,库周地下水位必将低于油面。在油库周围形成无水区。油渗入其中产生所谓“死油区”(图1)。因此地下洞库掘进将造成污染。拱顶与部分侧墙因地下水位降落漏斗过低而使油(气)外溢,顺着裂隙水通道经过包气带而达地表。它不仅改变油品成分,降低其质量,而且会导致环境污染。因此,工程建成后运行期间可能导致油(气)污染等环境地质问题。

3 地质灾害危险性评估重点

3.1 拟建工程与地质灾害的关联性

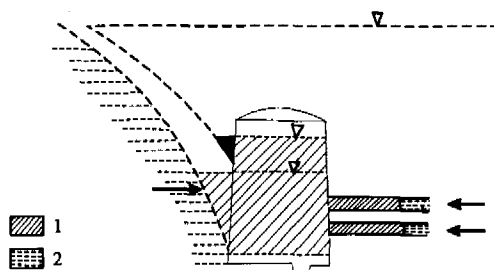


图1 洞库运营产生的油、气污染图

Fig.1 The Oil and Gas Pollution During the Construction of Underground Water-Sealed Oil Storage Cave

1—油;2—水

对地下水封石洞油库影响较大的地质灾害不在地表而在地下。地表若发生崩塌、滑坡、泥石流等灾害,对位于地下数十米乃至数百米深的石洞油库工程的施工和后期运营都不会产生很大影响。地下水封石洞油库施工过程中可能引发的地质灾害主要是地下地质灾害。

地下水封石洞油库的特点基本同于一般地下工程。工程施工会形成地下空间,改变岩体内的应力状态,可能引起洞室围岩的变形和破坏。其不同于一般地下工程的特点是:地下水封石洞油库充分利用岩体自稳能力,基本不采用支护。这一特点要求作为地下水封石洞油库的围岩无论是均匀性还是完整性都明显优于一般地下工程。而这一特点对应到与地下工程相关的地质灾害为:一般地下洞室开挖常遇的围岩破坏现象(拱顶塌落、掉块、侧壁变形破坏等)。在地下水封石洞油库应少见。需要格外关注的是岩爆灾害。

3.2 对洞库工程影响较大的地质灾害

由以上分析可知,适合建库的地质环境条件可以概括为岩体完整、少断裂、弱透水。对应这种地质条件的洞室围岩不可能产生大规模变形破坏。而恰恰是这种对水封油库较理想的围岩条件对岩爆产生也是较有利。由于库址选择的结晶岩体往往属于硬脆性岩。决定了地下水封石洞油库施工开挖很可能遭遇岩爆灾害。

岩爆发生与否取决于岩性、地应力、地质结构、地下水、洞室埋深、施工开挖方式等因素综合作用结果。其中,岩性和地应力往往是起到决定性作用的因素。因此,对这两个因素着重分析。

3.2.1 岩性条件

我们对拟建地下水封石洞油库围岩性质进行了专门分析。由声波测井提取的纵波波速 V_p , 并结合地震反射波速度分别绘制出标高为 -40m 和 -70m 的 V_p 分布等值线图(图 2)。

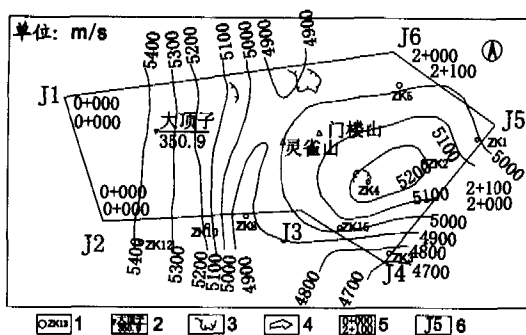


图 2 拟合地下水封石洞油库 -40m 高程 V_p 波速分布等值线图

Fig.2 Isogram of the wave velocity V_p of the rock mass at altitude -40m in the site of an oil storage cave in Shandong Province

1—钻孔编号;2—测区内 II 级高程点;3—采石场采石面;4—测区位置线;5—东西向测线起(终)点;6—测区范围边界坐标控制点
注:图中等值线数字为波速,单位为 m/s.

从图 2 看出, V_p 低于或接近 5000m/s 的波速带出露在极小范围内。说明 -40m 平面附近岩体相当完整。

通过对钻孔岩芯采取率统计可以看出:所有钻孔岩芯采取率平均在 90% 以上。其中 ZK3 与 ZK4 高达 95%。说明拟选库址区无大的断层通过,至于局部地段的岩芯采取率低,系小断层及裂隙密集带所致。RQD 统计规律大体与岩芯采取率近似。RQD 均值在 80% 以上。ZK2 与 ZK4 高达 95% 以上(表 1)。

表 1 钻孔岩芯 RQD(%)—览表

Table 1 RQD schedule of bored rock core

孔号 RQD	ZK1	ZK2	ZK3	ZK4	ZK5	ZK8	ZK10	ZK12	ZK15
深度(m)									
0 ~ -30	65	95	41	98	70	91	80	80	88
-30 ~ -40	88	100	77	96	81	85	99	80	100
-40 以下	84	100	89	98	88	67	52	90	81

注:ZK1,ZK2,……为钻孔号

从本区已建成的地下原油库与在建的 LPG 库所揭露的节理、裂隙密集带、小断层发育规律可知,随着洞室埋深增大,断层、岩脉及裂隙密集带的数量减少、规模渐小、节理趋于闭合。从以上几个方面综合分析,评估区岩体比较完整。洞库埋深部位的岩性参数

指标见表 2。由表中参数可见,地下水封石洞油库围岩基本上属于坚硬完整岩体,力学强度较高,具有储存较高弹性应变能的能力。

表 2 洞库围岩岩性参数指标

Table 2 Property indexes of cave rock

孔号	深度 (m)	标高 (m)	波速(m/s)		完整性 系数 K	岩石密度 ρ (g/cm ³)	饱和单轴抗压 强度 R_c (MPa)
			V_p	V_s			
Zk1	170	-40	5250	3310	0.91	2.59	51.5
	200	-70	5220	3200		2.61	28.8
Zk2	130	-40	5220	3310	0.94	2.65	75.1
	160	-70	5050	3180		2.65	59.5
Zk3	99	-40	4620	2960		2.58	36.6
	129	-70	5220	3280		2.66	127.7
Zk4	165	-40	5320	3340	0.97	2.67	124.4
	195	-70	5350	3300		2.67	91.8
Zk5	151	-40	5070	3070	0.94	2.62	76.7
	181	-70	5210	3100		2.61	34.2
Zk8	150	-40	5090	3220	0.93	2.63	71.2
	180	-70	5420	3380		2.64	67.4
Zk10	169	-40	5320	3350	0.98	2.64	81.5
	200	-70	5260	3300		2.64	138.4
Zk12	161	-40	5400	3290		2.64	114.6
	190	-70	4840	3070		2.66	114.6
Zk15	139	-40	5380	3370	0.95	2.73	86.7
	156	-56				2.65	74.4

注: R_c 为单轴饱和抗压强度(MPa)

综上,根据洞库区岩性因素初评认为:拟建地下水封石洞油库施工开挖存在引发岩爆的可能性。

3.2.2 地应力条件

一般情况下,在脆性围岩中,高地应力将导致岩爆发生。在有岩爆倾向的岩体中进行地下工程施工时,高地应力使岩体聚集较高的应变能。在满足一定条件时,将可能导致岩爆发生。工程中常将最大主应力达到 20~25 MPa 以上的初始应力称为高地应力。拟建库区尚无实测地应力值指标。根据区域地质构造背景分析,中国的大构造格局为东张西压。拟建洞库区位于中国东部,主要受张扭性断裂影响。拟建洞库区外围分布多条断裂,对于构造应力释放可能会起到控制作用。拟建洞库区地处胶南台隆北缘,长期受剥蚀作用。因此认为拟建洞库区不具备积累高地应力的地质条件。另外,参照邻近区域的地应力值进行对比分析,与拟建工程同属一个一级构造单元的大泽山地区地应力值 $\sigma_1 = 12.8 \sim 18.39$ MPa,根据工程地质比拟法借用此值,可以认为评估区地应力值 $\sigma_1 < 20$ MPa,即:不属于高地应力区。据此认为评估区地应力条件不利于岩爆的产生。

4 地质灾害危险性评估的可靠性

对于工程施工可能引发的地质灾害预测以工程对地质环境的改造作用及其后果为前提进行分析,推测地质环境改变引发的地质灾害,进而预测灾害后果及对工程的影响;对于工程可能遭受的地质灾害预测也可以认为是对自然条件变化改变地质环境引发的地质灾害预测。其实,两种原因导致的灾害都可以认为是地质环境变化引发地质灾害。因此,我们更要关注地质灾害与地质环境之间的关联性,根据场地地质环境条件正确分析、推断可能产生的灾害。

本次拟建地下水封石洞油库的岩爆预测所采用的定量评价指标为 σ_1/R_c ,而更符合岩爆机理的评价指标应取 σ_0/R_c [8,9];另外,评估时采用的 σ_1 取值不是本次实测值,而是借用邻区值,即预测指标的合理性及精确性都要打些折扣,由此得出的预测评价结果必然也会相应降低。

建设用地地质灾害危险性评估是与场地勘察的可行性研究阶段一致的。此阶段一些定量参数缺乏,便产生上述问题。如何解决这个问题?笔者认为,应以每一灾种宏观综合分析可靠性作为预测的前提,以弥补预测指标难于取得或可靠性低的欠缺。对于拟建地下水封石洞油库而言,用 σ_1/R_c 作为定量评价指标预测的结论为:评估区存在产生弱至中等强度岩爆的可能;以区域地质背景分析为依据,确定评估区不是高地应力区。最终结论为:评估区存在产生弱岩爆的可能。

5 结语

5.1 地质灾害危险性评估的首要工作是确定评估区主要灾种,应根据场地地质环境条件和地质灾害的成

生规律分析确定。地下水封石洞油库建设场地地质灾害类型有其规律性,可能存在或发生崩塌、滑坡、泥石流、岩爆、海水入侵等灾害和油(气)污染等环境地质问题。

5.2 根据拟建工程实际情况分析,地下水封石洞油库施工过程中可能引发的地质灾害主要是地下地质灾害。其中以岩爆灾害最令人关注。岩爆灾害评估主要考虑场地的岩性和地应力条件。

5.3 地质灾害危险性评估的可靠性在很大程度上取决于预测评估的可靠性。而预测评估的可靠性基于分析思路的正确和预测指标的可靠性。

参考文献:

- [1] 陈奇,张杰坤.液化石油气地下洞库围岩稳定性分析[J].煤田地质与勘探,2002,30(3):33-36.
- [2] 张杰坤.地下水封石油洞库岩体完整性评价方法[J].地下工程,1983(6):13-16.
- [3] 连建发.睢州大型地下水封洞库岩体完整性参数及围岩稳定性评价研究[R].中国地质大学(北京),2004.
- [4] 徐林生,王兰生,李天斌.国内外岩爆研究现状综述[J].长江科学院院报,1999,16(4):24-27.
- [5] Corner B. Seismic research associated with deep level mining: rock burst prediction and vibration damage to buildings in South Africa[J]. Geophysics, 1985, 50(12): 2914-2915.
- [6] Rudajev V, Sileny J. Seismic events with non-shear component II: rock bursts with implosive source component[J]. Pure and Applied Geophysics, 1985, 123(1): 17-25.
- [7] 张杰坤,阎红梅,刘金韬,金晓媚.天然气的地下储存条件及前景[J].油气储运,1998,17(11):4-7.
- [8] 谭以安.岩爆形成机理研究[J].水文地质工程地质,1989,16(1):34-38.
- [9] 徐林生,王兰生.岩爆形成机理研究[J].重庆大学学报(自然科学版),2001,24(2):115-117.

Some problems of geologic hazard evaluation for underground

water-sealed oil storage cave

——Taking an oil storage cave in Shandong Province for example

CHEN Qi^{1,2}, WU Qiang¹, LI Jun-yan²

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Types of geologic hazards that are likely to happen in the site of an underground water-sealed oil storage cave are

(下转第148页)

- 剂固沙分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15 (2): 78-81.
- [4] 王银梅, 孙冠平, 谌文武, 丁亮. SH 固沙剂固化沙体的强度特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(S2): 2883-2887.
- [5] 王银梅, 韩文峰, 谌文武. 新型高分子固化材料耐老化性能的研究[J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 318-322.
- [6] 胡英娣, 陈广庭, 等. 化学工程固沙在塔里木沙漠公路沙害防治中的适宜性[J]. 环境科学, 2000, 21(5): 86-88.
- [7] 李臻, 王宗玉, 胡英娣. 新型化学固沙剂的试验研究[J]. 石油工程建设, 1997, (2): 3-6.

Experimental study on the freezing-thawing resistance of sand fixation with a new polymer material

WANG Yin-mei¹, HAN Wen-feng^{2, 3}, CHEN Wen-wu²

(1. College of Hydraulic Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Civil Engineering Department, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: The freezing-thawing resistance is an index of durability of sand-fixation agent under subzero temperature. A new polymer solidified material (named SH) may be used for sand fixation, useful in control of desert. Based on the experiments on SH-fixed sand under two different freezing and thawing cycles, the resistance of freezing-thawing is studied. The results show that freezing-thawing cycles make the durability degradation, and the freezing-thawing resistance of lesser cycle speed is better. Up to now, it hasn't been known the mechanism about strength increase of solidification by organic materials in freezing-thawing process. The deep study should be made in the future, too.

Key words: desert control; chemical sand fixation; polymer material; experiment of freezing-thawing resistance; durability

(上接第 141 页)

analyzed in this paper. The likely geologic hazards status in quo, during construction and in the project operation are listed in this paper. It is pointed out that more attention should be paid to underground geologic hazards, especially to rockburst, and the lithology and terrestrial stress are the two main factors that should be considered in the macro prediction and evaluation of rockburst. Reliability of the prediction and evaluation for geologic hazards is also discussed, and it is pointed out that the reliable prediction and evaluation come from correct ideas and reasonable prediction indexes.

Key words: underground water-sealed oil storage cave; type of geologic hazards; rockburst; prediction index; reliability

(上接第 144 页)

properties and the compacting capability of filling soil for road-bed high liquid limit clay. As a result, it is one important reason of the highway diseases that the criterion of compaction in existence is deficient. In order to solve this problem, volume ratio of air is used as an assistant criterion for the compaction of high liquid limit clay. And, it is suggested that the degree of compaction for the road embankment should be improved.

Key words: clay with high liquid limit; road foundation; degree of compaction; criterion of compaction; volume ratio of air