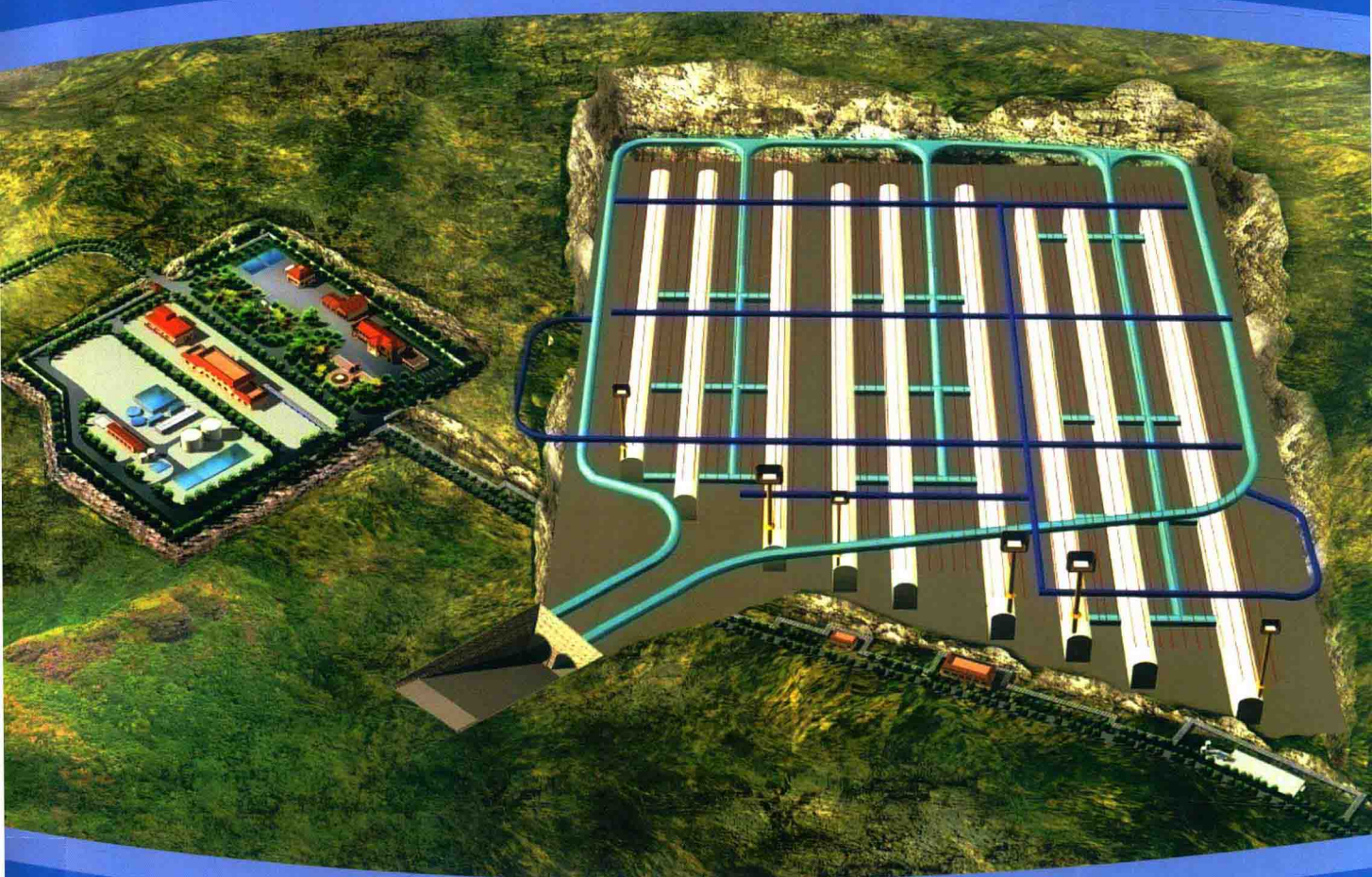


大型地下水封石洞

油库设计

DESIGN OF LARGE UNDERGROUND OIL STORAGE IN ROCK CAVERNS

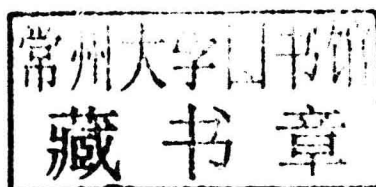
杨森 等 编著



地质出版社

大型地下水封石洞油库设计

杨 森 等 编著



地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

全书系统地介绍了地下水封石洞油库的发展及应用、储油原理、规模经济性、选址与勘察、洞库地下工程和地上设施的设计等方面的知识。

本书可供从事地下水封石洞油库的广大设计者、建设者和生产人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型地下水封石洞油库设计 / 杨森等编著. — 北京:
地质出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-116-10167-8

I. ①大… II. ①杨… III. ①地下储油—油库—设计
IV. ① TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 305067 号

DAXING DIXIA SHUIFENG SHIDONG YOUKU SHEJI

责任编辑: 吴宁魁 肖莹莹

责任校对: 王素荣

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554627 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 889mm × 1194mm $1/16$

印 张: 11.25

字 数: 300 千字

版 次: 2016 年 12 月北京第 1 版

印 次: 2016 年 12 月北京第 1 次印刷

定 价: 50.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-10167-8

(如对本书有意见或建议, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

编写委员会

主 编：杨 森

副 主 编：陈明华 于连兴 李玉忠 王金昌

编 委：何凤友 刘建立 王敬奎 刘秀琴 商 波

江奇志 宋广贞 李春燕 侯美荣 邵国芬

刘更宏 王 洁 彭振华 李俊彦 孙雪莹

李 强 吴振营 刘建伟 李 莉 李云鹏

陆宝麒 张 彬

主编单位：海工英派尔工程有限公司

中海石油炼化有限责任公司

前 言

地下水封石洞油库，自20世纪50年代在瑞典问世以来，得到世界的瞩目。与地面钢罐油库相比，地下水封石洞油库具有安全性高、战备能力强、占地表土地少、对环境影响小、油品挥发损耗低，并能节省大量钢材的特点，当规模达到一定量时，还有相对投资省，维护、管理费用低的优点。到目前为止，北欧、韩国和日本等国家和地区已陆续建设了若干座储存原油、汽油、柴油、燃料油和液化石油气的地下水封石洞油库，并积累了比较成熟的设计、建设经验，且有相关的标准。

我国早在20世纪70年代初，开始引进地下水封洞库储油技术，当时由石油工业部和商业部分别在黄岛、象山建设了两个试验性质的地下水封洞库，其中黄岛洞库的容积为 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ ，用来储存原油；象山洞库的容积为 $4 \times 10^4 \text{m}^3$ ，用于储存柴油。经投产使用证明，两油库储油均不漏油，对地下水无污染，不破坏油品质量，试验是成功的。但由于种种原因，该技术在我国没有大范围推广应用。

从20世纪90年代开始，随着国民经济的快速发展，我国开始进口大量的液化石油气和原油，陆续在汕头、大榭、珠海、黄岛、烟台等地建设了5座液化石油气库，库容 $(20 \sim 100) \times 10^4 \text{m}^3$ 不等。2003年我国拟建国家战略储备原油库时，青岛英派尔公司（现为“海工英派尔工程有限公司”）积极向国家有关部门建议用地下水封石洞油库作原油储备库，并被采纳，国家遂规划并建设了黄岛等多座地下水封石洞原油储备库，目前黄岛储备库已投产，其他正在建设中。

海工英派尔工程有限公司从2002年开始对地下水封洞库技术进行研究，考察了韩国、北欧等国的地下水封石洞油库。在吸取国外技术、经验的基础上，主持了国家石油储备黄岛和惠州洞库的设计工作，参与了黄岛洞库从选址到投运的全过程，在洞库的选址、设计、施工、投运等方面积累了丰富的实践经验。为给后续建设的地下水封洞库提供借鉴和参考，海工英派尔工程有限公司杨森组织有关专家及设计人员在总结地下水封石洞油库设计经验的基础上，编著了《大型地下水封石洞油库设计》一书。

全书系统地介绍了地下水封石洞油库的发展及应用、储油原理、规模经济性、选址与勘察、洞库地下工程和地上设施的设计等方面的知识。希望能为从事地下水封石洞油库的广大设计者、建设者和生产人员提供有益的参考与借鉴，能对我国地下油库的发展起到一定的促进作用。

为了保密需要，书中对涉及国家石油储备的相关情况作了模糊处理，敬请谅解。

在本书的编写过程中，黄岛国家石油储备基地有限责任公司、惠州国家石油储备基地有限责任公司及中国地质大学等单位给予了大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于水平有限，书中难免会有疏漏和错误，恳请专家和读者批评指正。

编写委员会

2016年11月

目 录

前 言

第 1 章 地下水封石洞油库的发展及应用	1
1.1 世界地下水封石洞油库的发展历程	1
1.2 我国地下水封石洞油库的发展现状	4
1.3 我国地下水封石洞油库的发展前景	10
第 2 章 地下水封石洞油库的储油原理.....	12
2.1 储油原理	12
2.2 储油方式	12
2.3 水封与水幕系统	13
第 3 章 地下水封石洞油库与地面油库技术经济对比与分析.....	15
3.1 投资分析	15
3.2 运行成本分析	16
3.3 地下、地面储备库经济指标对比	17
3.4 地下水封石洞油库规模经济性分析	18
第 4 章 选址与勘察	20
4.1 选址与勘察步骤	20
4.2 勘察工作程序	20
4.3 地下水封洞库岩土工程勘察要点	21
4.4 各阶段勘察内容和深度	22
第 5 章 总图设计	27
5.1 概述	27
5.2 库区总平面布置设计	27
5.3 库区地上部分竖向布置设计	31
5.4 库区道路设计	31
第 6 章 工艺及安装设计.....	32
6.1 地下水封石洞油库总库容量的确定	32

6.2	地下水封石洞油库工艺设计	33
6.3	竖井管道设计及安装	38
6.4	浸没式油泵、水泵的选择	43
6.5	油气处理	46
第 7 章	地下工程设计	48
7.1	地下岩石洞罐设计	48
7.2	施工巷道设计	56
7.3	操作巷道设计	58
7.4	水幕系统设计	58
7.5	支护设计	61
7.6	洞室的清理、封闭及洞罐标定	69
7.7	注浆设计	70
第 8 章	地下监测设计	74
8.1	地下工程及水文地质施工监测	74
8.2	地下工程及水文地质永久监测	76
第 9 章	仪表及自动控制	79
9.1	概述	79
9.2	中心控制室	79
9.3	现场机柜室	81
9.4	计量站	82
9.5	控制系统	83
9.6	洞罐仪表	85
9.7	仪表供电、接地和防雷	87
9.8	仪表配管配线	88
第 10 章	电气及电信	89
10.1	概述	89
10.2	供电系统及负荷计算	89
10.3	照明	95
10.4	防雷	97
10.5	防静电及接地	97
10.6	电信	103

第 11 章 供热、供风及供氮	110
11.1 供热系统设计	110
11.2 供风、供氮系统设计	113
第 12 章 采暖、通风及空气调节	118
12.1 采暖系统设计	118
12.2 通风系统设计	120
12.3 空调系统设计	128
第 13 章 防腐及阴极保护	131
13.1 防腐	131
13.2 阴极保护	132
第 14 章 给排水及消防	134
14.1 给水	134
14.2 排水	142
14.3 污水处理	144
14.4 水体污染防控	151
14.5 消防设施	153
第 15 章 环境保护	157
15.1 设计原则	157
15.2 主要污染源和主要污染物	157
15.3 环境保护措施	159
15.4 水土保持	163
第 16 章 洞库注水、试压、置换与试运行	164
16.1 注水	164
16.2 洞罐气密性试压	164
16.3 洞罐氮气置换	166
16.4 试运行	166
参考文献	168

第 1 章

地下水封石洞油库的发展及应用

1.1 世界地下水封石洞油库的发展历程

地下水封石洞油库自20世纪50年代由瑞典发明问世以来，由于其储存油气具有安全性能高、环保、投资相对低、节约地面土地等优点，迅速在世界许多国家得到大力发展和建设，尤以北欧国家建设的最多。至20世纪70~80年代，亚洲的韩国、日本等国家也开始大量建设地下水封石洞油库，用于战略储备原油、液化石油气及成品油等石油资源。

1.1.1 瑞典地下水封石洞油库

瑞典首先研究发明了地下水封石洞油库技术。1948年瑞典国家能源局首次在斯德哥尔摩郊外的老长石矿内开挖了一个小岩洞，洞壁不被覆，直接储存石油，一直储存到1989年，经检验储存的石油未发生质量变化。

1949年又在斯德哥尔摩郊区建成一座容积30m³试验库（图1.1），储存17.6m³汽油。直到1956年6月开库检查，经检测、分析化验，证明所储存的汽油没有渗到周围岩石内产生损失，汽油的质量也没有改变，进一步验证了地下水封石洞储油的可行性。

瑞典在20世纪60~70年代进入地下水封石洞油库的大发展时期，在各地建设了总容量几百万立方米的地下水封石洞油库，分别用于储存原油、成品油、液化石油气及重质燃料油等。

1973年以后，由于石油危机的因素，加上所用的原油及其产品均靠进口，为了抵御石油进口的干扰和在低油价时增加石油进口量，瑞典制定了国家级储备油库规划方案，仅有800万人口的瑞典在几年内又建设了几百万立方米的石油储备库。

至1988年，在斯堪的纳维亚半岛已建有200多座地下水封石洞油库储存石油及其产品。其中波诺夫约登国家原油库总容积达 $260 \times 10^4 \text{m}^3$ ，设计洞室断面约600m²，洞室为宽20m、高30m的直壁拱顶结构，洞库由若干个洞室组成，单个洞室长550~850m不等，总长度为4330m。

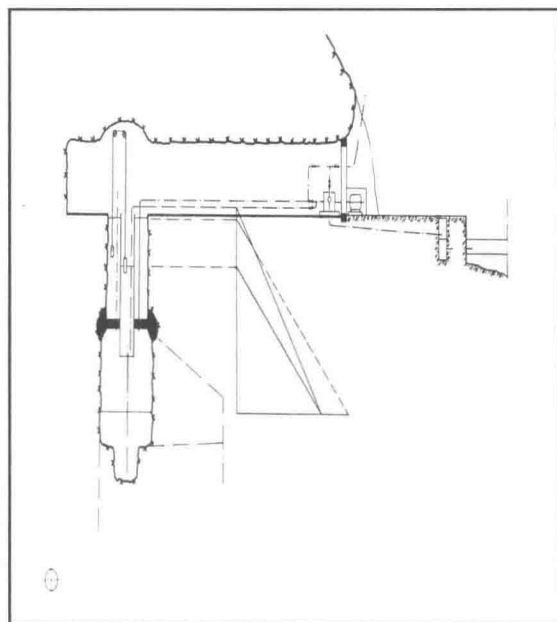


图1.1 世界上第一座试验库示意图

1966~1983年在哥德堡建的原油库,规模比较大,总库容达 $410 \times 10^4 \text{m}^3$,由4座原油洞罐组成。特别值得我国借鉴的是位于哥德堡的Preeme炼油厂的地下水封石洞原油库,该库位置特殊,位于炼油厂设施的正下方,与地面炼油厂呈立体布置,总容积 $70 \times 10^4 \text{m}^3$,有4个洞室组成,每2个洞室组成1座洞罐,洞室宽20m,高30m,断面约 600m^2 ,顶标高-30m,有2个竖井与地面相连,洞库靠近油码头,每年周转原油15次左右。

瑞典早期建设的地下水封石洞油库洞室顶均未布置水平水幕系统,对小型的洞库,投产后均未发生问题,但后期所建的大型多洞室的地下水封石洞油库,经长期使用发现洞室顶上的地面有油气逸出,对环境造成污染并且存在安全隐患,所以后来再建的洞库均在洞室上方增加了水平水幕系统,可以人工补水,这样,水封洞库有了可靠的水封保障。

瑞典的洞库,洞罐大呼吸出来的油气通过火炬烧掉,没有设置油气回收措施;洞罐提升出来的裂隙水经隔油池隔油后,再经沙子过滤罐过滤后排入海中。

1.1.2 芬兰地下水封石洞油库

自1960年以来,芬兰已建成总容积近 $1000 \times 10^4 \text{m}^3$ 的地下水封石洞油库,储存原油、成品油及液化石油气等。如Provoo炼油厂有地下水封石洞油库 $350 \times 10^4 \text{m}^3$,分为三组洞库区,共10个洞室,每2个洞室组成1座洞罐。第一组洞库区洞室截面积约 338m^2 ,洞室宽12~18m,高22m;第二、三组洞库区洞室截面积约 442m^2 ,洞室宽12~18m,高30m。

以Provoo炼油厂第三组水封洞库区为例,该洞库区容积 $72 \times 10^4 \text{m}^3$,由4个平行的洞室组成,洞室顶标高与海平面相等,洞底在海平面以下30m,洞室围岩为晶体花岗岩及细粒片麻岩,无明显裂隙,虽然洞库在地下水位以下,但仍无大量渗水现象。洞库原油是从洞罐的一端注入,从另一端泵出。该库区从施工至投产计划22个月,实际17个月完成,平均每月掘进石方 42500m^3 ,最快月份挖掘 76000m^3 (1967年11月)。

经考察,Provoo炼油厂大量修建地下水封石洞油库主要是从以下几个方面考虑:

- 1) 炼油厂附近有整体性好的岩石,适宜建地下水封石洞油库;
- 2) 建水封洞罐后,地面上只有管线和竖井,占地少,地下洞罐上面的土地还可以利用;
- 3) 修建相同容量的水封洞罐,造价比地上低;
- 4) 芬兰已有建设地下水封石洞油库的经验;
- 5) 即使没有任何安全措施,水封洞罐比地上油罐,在防止火灾、爆炸方面更安全些;
- 6) 挖出来的石渣,可为扩建炼厂准备土地,石渣可综合利用。

随着芬兰石油及其产品消耗量的增加,储存容量也相应增加。他们认为,根据芬兰的地质情况,建地下水封石洞油库成本低,并且还能安全地建在消费地附近,在人口稠密、土地缺乏的地区,采用地下水封石洞油库更为合适。

1.1.3 韩国地下水封石洞油库

韩国每年进口原油 $1 \times 10^8 \text{t}$ 左右,国家石油储备70天,民间储备60天,总储备能力130天。除储存原油外,还储存部分成品油和液化石油气,成品油的储备量约占原油的10%。韩国地下水封石洞油库建设基本情况见表1.1。

表1.1 韩国地下水封石洞油库建设基本情况表

位置	储藏油种	容量/t	竣工时间
丽水	液化石油气	150000	1983年
蔚山	液化石油气	275000	1988年
平泽	液化石油气	138000	1999年
仁川	液化石油气	240000	2000年
谷里	柴油	200000	1982年
谷里扩容	柴油	183000	1995年
丽水	原油	4213000	1998年
丽水扩容	原油	2260000	—
巨济	原油	5470000	1985年
巨济扩容	原油	685000	—
平泽	液化石油气	155000	1992年
平泽扩容	液化石油气	210000	1997年
蔚山扩容	原油	890000	—

（1）丽水地下水封石洞原油库

该库由韩国国家石油公司建设，地点在丽水市（图1.2），1991年6月开始建设一期，1998年10月投产，一期总容量 $246.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，储存原油。洞库由3座洞罐组成，每座洞罐由2个洞室构成，洞室宽18m，高30m，截面积 516 m^2 ，储油洞室总长度5600m。设有施工巷道、注水巷道、水平水幕系统、竖井、地面设施等。该库目前正在运营，情况良好。



图1.2 韩国丽水地下水封石洞原油库

1997年12月在丽水又扩容1座水封石洞原油库，库容2260000t，约 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，由6座洞罐组成，2个洞室组成一座洞罐，共12个洞室，洞室宽18m，高30m，截面积 516 m^2 ，储油洞室总长4475m，巷道长度（包括施工巷道、生产巷道、注水巷道）14800m。

该库址岩体构造比较复杂，岩石较破碎，洞室顶部全部喷射混凝土支护，2005年基本完成洞室

施工。

(2) 蔚山地下水封石洞液化石油气库

该库由SK Gas株式会社投资建设,地点在蔚山市,1985年11月开始建设,1988年11月建成投产,建设工期3年。储存丙烷 $27.5 \times 10^4 \text{m}^3$,丁烷 $22.5 \times 10^4 \text{m}^3$,总库容 $50 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

丙烷洞罐由4个洞室组成,洞室截面积 307.24m^2 ,洞室长度835m。丁烷洞罐由3个洞室组成,洞室截面积 341.45m^2 ,洞室长度616m。

该库储油洞罐顶上方20m处设有水平水幕孔,由于丙烷洞罐与丁烷洞罐距离较远,中间未设置垂直水幕。该库自投产后生产运营正常。

(3) 平泽地下水封石洞液化石油气库

该库也是由韩国SK Gas株式会社投资建设,位于韩国平泽市。该库自1991年7月至1999年6月施工建设。丙烷库在湖泊下面建设,容积 $30 \times 10^4 \text{m}^3$;丁烷库容积 $8 \times 10^4 \text{m}^3$,建地面钢储罐。丙烷洞库截面积 320m^2 ,由4个洞室组成,总长度1070m。洞室顶在水面以下115m,洞室顶20m布置有水幕巷道及水平水幕孔。自投产以来,生产情况良好。

在韩国,地下水封洞库无论储存原油、石油产品、液化石油气等,均在储油洞顶上方20m处设有水平水幕系统,投产后未发生地下水形成漏斗状,确保了地下水位的稳定,保证了油品的安全储存。

1.1.4 其他国家和地区的地下水封石洞油库

在欧洲,液化石油气地下水封石洞油库就建造了20多座,其中,法国、德国、英国、比利时、摩洛哥、西班牙、葡萄牙都有建造。在北欧,地下水封石洞油库总容量大大超过地面钢罐油库总容量。

日本在日本海海滨的秋田县、四国岛苟向、九州的鹿儿岛建有地下水封石洞油库。苟向基地的地下水封石洞油库深入地下60多米,由7个长230~450m,高约30m,宽约20m的洞室组成,总库容 $150 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

新加坡、印度等国家都在建设地下水封洞库,如新加坡在裕廊岛的海底规划建设 $300 \times 10^4 \text{m}^3$ 地下水封石洞油库,用来储存原油、石脑油及成品油,目前已建成 $150 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

1.2 我国地下水封石洞油库的发展现状

我国于20世纪70年代开始研究、建造地下水封石洞油库,当时主要是出于战备考虑,带有试验性质,曾先后在浙江象山和山东黄岛成功地建成了一座 $4 \times 10^4 \text{m}^3$ 成品油库和一座 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 的原油库。由于种种原因,该技术在我国长期没有得到进一步的应用和发展,直到20世纪末本世纪初,我国由于大量进口液化石油气,该储存方式才在我国东南沿海地区重新得以应用。目前我国已在汕头、宁波、珠海、烟台和黄岛等地先后建设了液化石油气地下水封石洞库。同时,随着我国进口原油的不断增加,国家根据石油储备的需要,自2003年开始相继规划建设了多个国家石油储备大型地下水封石洞油库。现将我国已建或在建的地下水封石洞油库的现状介绍如下。

1.2.1 黄岛地下水封石洞油库

黄岛地下水封石洞油库位于山东省青岛市黄岛经济开发区,现隶属中石化管道储运公司,为原油库(图1.3),储存胜利原油,总库容量 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 。洞库由3个洞室构成,每个洞室 $5 \times 10^4 \text{m}^3$,其中两个洞室连接组成 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 洞罐,另一座洞室单独为一座洞罐;洞室顶标高-25.5m,洞底标高-48m,每座洞室平均宽15m(上14m,下16m),高22.5m,长160m。3座洞室由操作竖井与生产巷道连接,生产巷道

底板标高-10m，宽5.6m，高5.3m，内设工艺管线、仪表电缆、通风、照明等设施。



图1.3 黄岛地下水封石洞油库

在每座竖井口与生产巷道连接处，设置一个6m×6m平台，在平台内设置竖井口，安装潜油泵、潜水泵、各种仪表及工艺管道、电缆等；竖井上方有10m高的空间，安装有检修泵、仪表等使用的固定吊装设备。

该库是东黄（东营至黄岛）输油管线末端油库组成部分，是输油管线的缓冲油库，进出库的最大流量为1000m³/h，原油出库设4台潜油泵，每台流量250m³/h，扬程130m，每一个竖井内布置2台。

该油库1973年春开始选址勘察设计，1974年12月挖掘施工巷道，1976年8月建成具备投产条件，1984年12月正式投油。投产后通过水封洞库四周10个观测孔长期观测，孔内未发现油气，没有渗油、跑油现象。2006年9月15日对黄岛地下水封石洞油库裂隙水水质进行了监测，结果如表1.2所示。

表1.2 黄岛地下水封石洞油库裂隙水水质监测结果（2006.09.15）

监测项目	pH	COD _{cr}	高锰酸盐指数	硫化物	石油类	TOC	镍	铅	铜
浓度/(mg·L ⁻¹)	8.0	48	9.60	<0.02	5.1	15.5	0.101	0.185	0.132

由于原油在库内储存时间长，油水分离好，油品性质得到进一步改善。目前洞室内仍有少量存油，但由于该油库容积较小，投资较大，发油时较地面库能耗大，进油时未安装油气回收设施，油气损耗大，加之地面大型油罐库容较大已够用，目前该洞库已停用。

特别值得提出的是，该库安全性非常好，1989年黄岛地上油库发生火灾时，熊熊大火燃烧了3天，2座2×10⁴m³的非金属罐和3座1×10⁴m³的拱顶罐被烧掉，距离较远的浮顶罐在消防人员的极力保护下没有引燃；而在该地面油库北侧的近在咫尺的地下水封石洞油库却安然无恙，未遭受任何损失，这充分证明地下油库在安全方面是更加有保障的。

该库的另外一个显著优点是占地少：生产巷道口（利用施工巷道口）及通向地面仪表控制室、变配电室的竖井占地总共1hm²，而储油洞罐在山丘下，不占用地表土地，具有节约土地、不破坏地面原貌的优点。

1.2.2 象山地下水封石洞柴油库

象山地下油库位于浙江省象山市石浦镇，现隶属中石化销售公司浙江分公司，为中转型经营油库（图1.4），总容量为 $4 \times 10^4 \text{m}^3$ ，储存柴油。由2座 $2 \times 10^4 \text{m}^3$ 地下洞罐构成，洞罐洞室采用“圆趾斜墙拱顶”结构，底宽16m，高20m，长75m，顶拱矢高4m，趾部倒圆角，倒角半径2m；侧墙自上而下向内倾斜，坡度5%，洞顶标高-5m，两洞室间距30m；施工巷道宽7.5m，高4.5m，顶拱矢高1.5m，总长度519m，进洞室第一层坡度14.3%，进洞室二、三层坡度平均为9%；生产巷道采用直墙拱顶断面，宽4m，高4m，顶拱矢高1.2m，总长度110m。

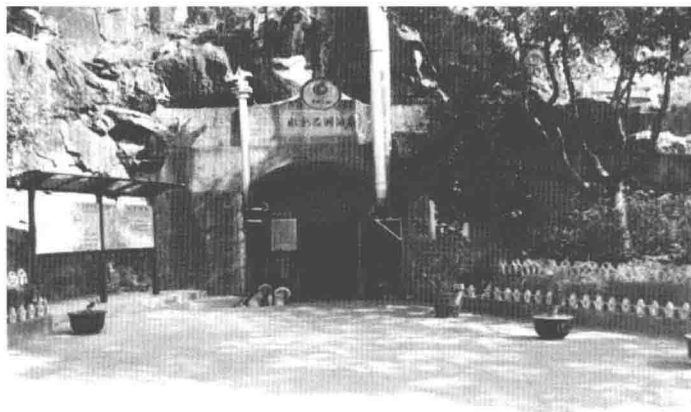


图1.4 象山地下水封石洞柴油库

该库1972年选址，进行地质勘察，1973年设计，1978年3月投产使用。自投产至今30多年来，该油库一直在使用，运行情况良好。目前每年中转柴油 $15 \times 10^4 \text{t}$ 左右，期间除更换过一次国产的深井泵外，其他设备一直运转良好。地下裂隙水每周排一次，每次约25t，排出的裂隙水经处理后，又返回施工巷道内作为回注水，生产单位认为不影响储油效果。

为保持生产巷道内设备、管线不潮湿，操作巷道采用密封衬套和防潮密封门。

本洞库自投产后发生过以下情况：

一个洞罐装油，另一个洞罐为空，施工巷道未充水，人可以下到空罐内，由于掘进时地下水形成下降漏斗，装满油的罐内油品通过岩体内的裂隙向空罐内渗漏转移；而当两个罐都装满油、施工巷道充满水后，未发现油品转移现象。

两个洞罐都空时，地下水位下降很大，当装油时，油品向外有转移现象，当油罐内装满时，地下水位升高，转移进岩缝内的油品又回到洞内，从20多年储油操作经验来看，洞罐未发生跑油、漏油事件，生产一直正常。

1.2.3 汕头地下水封石洞液化石油气库

汕头地下水封液化石油气库为汕头海洋石油化工有限公司和美国加德士有限公司合资兴建的大型液化石油气基地项目，位于广东省汕头市南区达濠岛，总库容量为 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ ，丙烷库、丁烷库各 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ ，设计每年周转液化石油气能力为 $128 \times 10^4 \text{t}$ 。该库由丙烷洞室、丁烷洞室、水幕巷道、施工巷道、竖井、地面工程、码头工程等组成。丙烷、丁烷洞室几何形状均为：最大高度20m，最大宽度18m，基本宽度16m，断面面积 304m^2 ，长度约325m。

该工程自1992年进行地质勘察设计,1993年开始施工,1997年建成投产,自投产运营10多年来,一切运转基本正常。

在1995年丙烷洞室施工当中,原丙烷半个洞室深入到海底,在掘进中发现漏水严重,这时决定缩短长度,将另一个洞室加长,总容积不变,保证了工程的顺利进行。这充分体现了地下工程动态设计与施工的理念。

丙烷洞罐与丁烷洞罐相距大于500m,中间有施工巷道相隔,两种产品洞罐之间未设垂直水幕孔,经投产后监测,未发现有两种产品相互转移现象。

1.2.4 宁波地下水封石洞液化石油气库

宁波地下水封液化石油气库为英国公司在中国投资兴建的大型液化石油气基地项目,位于浙江省宁波市大榭开发区北端,东海之滨。洞室开挖在熔凝灰岩中,总库容量为 $50 \times 10^4 \text{m}^3$,丙烷库、丁烷库各 $25 \times 10^4 \text{m}^3$,设计每年周转液化石油气能力为 $100 \times 10^4 \text{t}$ 。该库由丙烷洞室、丁烷洞室、水幕巷道、施工巷道、竖井、地面工程、码头工程组成。丙烷洞室3个,2个主洞室的纵断面尺寸为宽20m、高22m,另一个洞室纵断面尺寸由宽15m、高20m变宽10m、高15m,再变宽8m、高6.5m,总容积为 $25 \times 10^4 \text{m}^3$ 。2个丁烷洞室均为长290m、宽20m、高22m,总容积 $25 \times 10^4 \text{m}^3$ 。总施工工期约26个月。2002年投入使用以来,运行情况良好,取得了很好的经济效益。

1.2.5 珠海地下水封石洞液化石油气库

该库在广东珠海原有地面液化石油气库的基础上,扩建一座水封洞库,总容积为 $20 \times 10^4 \text{m}^3$,丙烷、丁烷洞库各 $10 \times 10^4 \text{m}^3$,地面设施依托原来的地面液化石油气库。

该库建在附近的山体下面,水封洞库所占山体经与当地有关部门协商,因不能破坏山体植被,故所占山体不用征地,水封洞库的建筑界限及水力界限由当地有关部门给予保证。

1.2.6 黄岛地下水封石洞液化石油气库

黄岛地下水封石洞液化石油气库位于山东省青岛市黄岛经济技术开发区液体化工码头以南约0.4km,总库容 $50 \times 10^4 \text{m}^3$,其中液化石油气洞罐顶位于地下-90m,容积 $35 \times 10^4 \text{m}^3$,丙烷洞罐顶位于-130m,容积 $15 \times 10^4 \text{m}^3$,该库于2009年5月开始修建,2014年5月建成。

液化石油气、丙烷主洞室截面宽16~18m,高26m,截面积 399.48m^2 的三心圆拱。液化石油气洞罐由3个平行洞室组成,洞室长度分别为321m、280m和270m,洞室顶标高-90m,底标高-116m;丙烷洞罐由两个平行的洞室组成,洞室长度分别为270m和99m,洞室顶标高-130m,洞底-156m。液化石油气及丙烷洞室顶设有水幕巷道,在水幕巷道底及侧墙上分别设置垂直水幕和水平水幕,水平水幕在水幕巷道侧墙距底板1m处,钻平行孔,孔间距10m,与水幕巷道成直角,钻至主洞室外围10m。该库2014年5月完工,计划2014年底投产,但由于各种客观原因致使该库建成后未能投产。

1.2.7 烟台地下水封石洞液化石油气库

该库位于烟台市经济技术开发区大季山镇仲村北侧临港化学工业园内,为工业园的原料油库,储存丁烷、液化石油气和丙烷,总容积 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 。丁烷和液化石油气地下水封石洞库库容均为 $25 \times 10^4 \text{m}^3$,洞罐顶标高在-90m;丙烷洞库容积为 $50 \times 10^4 \text{m}^3$,洞顶标高在-120m,该工程于2011年7月开工建设,于2014年7月完工,2015年投产。

该洞库由于储存的品种较多,每种产品有一座洞罐,洞罐顶埋深以各品种原料性质不同而不同。在设计中三种产品共用一条施工巷道,该施工巷道是进入各种洞罐及其水幕巷道的公用施工巷道,宽

8m, 高9m, 断面呈城门形, 面积 71.27m^2 , 双车道, 综合坡度为10%, 总长度1530m, 巷道底板采用混凝土铺筑路面, 路面两侧设排水沟, 巷道每隔一段需开挖一个耳室, 用于车辆调头, 储存安全物资。设置供电、排水设施, 在施工巷道顶设通风管道, 侧墙靠下部设置各种上水、下水、电缆等管线, 并在侧墙上安装施工照明灯, 在施工巷道设一条供人工上下洞室的便道。

主洞室施工完成后, 每种产品主洞室入口施工巷道外设置钢筋混凝土密封塞, 将洞室隔离成密闭的洞罐, 当投产前将施工巷道充满水, 与水幕联通同时起到补水作用, 并保证洞罐的密封性。

液化石油气、丁烷、丙烷洞室上方分别设有水幕巷道, 各水幕巷道均高于相应主洞室顶19m高程处, 水幕巷道宽7m、高6m, 呈城门洞形, 断面积 36.74m^2 , 总长度2379m。

在水幕巷道内设计水平水幕钻孔和垂直水幕钻孔, 水平水幕孔位于高于水幕巷道底板1m处, 水幕巷道的侧墙上, 孔间距10m, 孔径 $\Phi 100\text{mm}$, 每孔长度30~100m。

主洞室是地下水封石洞油库的主要部分, 主洞室分为丁烷、液化石油气及丙烷洞罐。洞顶分别位于标高-90m、-90m和-130m, 每个洞罐由3~4条200~400m长的洞室组成, 截面呈鸭蛋形, 最大宽度18m, 高度26m, 断面 397m^2 , 洞室间设有连接巷道, 断面积 $41\sim 89\text{m}^2$, 按施工掘进的需要, 位于洞室之间不同高度。

操作竖井是洞室生产运营时原料进、出洞罐及裂隙水排出的主要通道。丁烷、液化石油气洞罐的操作竖井直径5m, 丙烷洞罐直径6m。操作竖井口用钢筋混凝土锁扣, 井身局部不良地质段采用钢筋格栅钢架加强支护, 竖井在开挖前, 先对不良地质段进行超前注浆加固和堵水, 竖井其他局部井壁采用喷锚支护。

1.2.8 国家石油储备大型地下水封石洞油库

2003年, 国家启动石油战略储备油库建设, 当时青岛英派尔化学工程有限公司(海工英派尔工程有限公司前身)向国家有关部门提出采用地下水封石洞油库储备原油的建议, 被国家有关部门采纳, 第二批实施的国家战略储备油库中有一半以上为地下水封石洞油库。

(1) 国家石油储备某地下水封石洞油库

该库拟建 $300\times 10^4\text{m}^3$, 根据地质情况规划9个洞室, 每3个洞室组成1座洞罐, 共3座洞罐, 每座洞罐约 $100\times 10^4\text{m}^3$, 每座洞罐为一个储油单元, 相当于地面油库的一座油罐。每座洞罐设有2个竖井, 一个竖井为进油竖井, 另一个竖井为出油竖井; 洞室宽20m, 高30m, 洞室间设连接巷道, 自地面通往洞室有施工巷道, 施工巷道口挖明槽。详见图1.5和图1.6。



图1.5 国家石油储备某洞库施工巷道入口

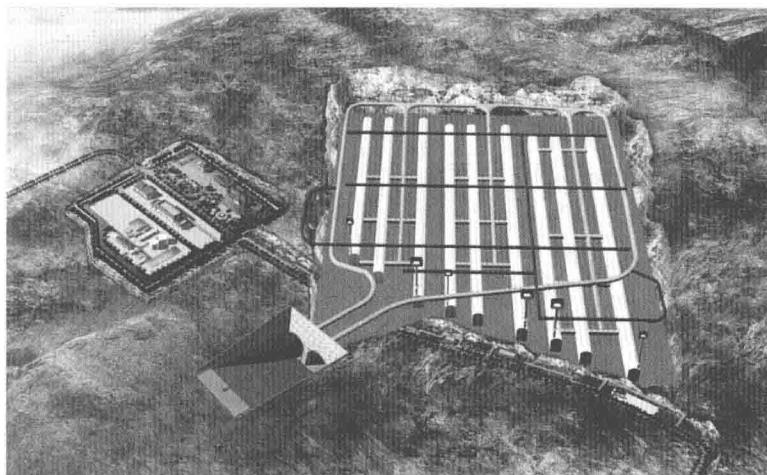


图1.6 某地下水封石洞油库平面图

洞室上方25m设有水幕巷道,在水幕巷道底板上1m设有平行洞室轴线的水幕孔,水幕孔间距10m,全覆盖洞室顶,并向洞室顶外延伸10m,在洞室顶上相当有一层充满水的盖层,通过水幕巷道顶至地面设2个井,其中一个为仪器井,设在水幕巷道与洞室间的地震仪、温度仪、水位变化仪通过此仪器井传至库区中心控制室;另一个为检查井,通过该井可以测量水幕巷道的水位高度。

该库于2014年10月通过气密性试验,现已投产运营。

(2) 国家石油储备第二某地下水封石洞油库

国家石油储备第二某地下水封石洞油库规划建设 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$,该库目前正在施工收尾,不久便可以投产。

(3) 国家石油储备第三某地下水封石洞油库

国家石油储备第三某地下水封石洞油库,规划建设 $500 \times 10^4 \text{ m}^3$,设计10个洞室,每2个洞室组成一座洞罐,共5座洞罐,洞室宽20m,高30m,每座洞罐 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,设计3条施工巷道,每条施工巷道负责施工 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$,另一条施工巷道负责施工 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,同时负责完成水幕巷道及水幕孔的施工,该工程岩体比较好,施工过程没有发生塌方现象,工程进展比较顺利。详见图1.7、图1.8和图1.9。



图1.7 第三某地下水封石洞油库入口