

编号: (79)004

内部

出国参观考察报告

西德、法国地下石油库建设技术

贵州省图书馆

科学技术文献出版社

西德、法国地下石油库建设技术

中国燃料公司和中国轻工业学会盐业分会代表团

范垂洪、王家祥、杨荣傑

序 言

第五届国际盐业学术交流会于一九七八年五月二十九日至六月一日在西德汉堡举行。我国派出由商业部和轻工业部联合组成的“中国燃料公司和中国轻工业学会盐业分会代表团”参加会议。会后在西德、法国、荷兰进行技术考察，考察的项目主要有地下石油库和真空制盐设备。现将地下石油库部份的考察内容作专题总结如下。

代表团在西德KBB公司和法国GEOSTOCK公司的安排下，共在三个国家参观了十九个与地下石油库有关的单位。其中地下岩盐洞石油库八个，地下废矿石油库一个，石灰岩地下水封石油库一个，制造油库设备、施工机具、测量盐洞形状以及设计油库的公司九个。

西德、法国和美国的部份地区有大量盐丘，厚度较大，纯度较高，为建设地下岩盐洞石油库提供了良好的地质条件。这种油库一九四五年之后首先在美国建成。接着在西德、法国兴建。据一九七〇年统计资料，美国有三千万立方米，90%贮存液化石油气，10%贮存乙烯、丙烯和丁烯；西德、法国各有一千万立方米，85%贮存原油及成品油，10%贮存液化石油气，5%贮存煤气等其它物品。一九七三年石油涨价和禁运之后，依靠进口石油的西德、法国以及美国大力发展地下岩盐洞石油库等地下石油库作战略储备。据不完全统计，西德和法国目前各有近二千万立方米，美国有四千多万立方米的容量。美国计划到一九八五年要建成一亿六千万立方米的石油储备库，主要是岩盐洞石油库。

地下岩盐洞石油库在这些国家得到迅速发展，除了它们有盐丘的地质条件外，在于这种油库有许多优点：

1. 施工方法简单：和建造一般的地下油库相比，它不需要繁重的地下岩石开挖过程，施工方法及设备均较简单，施工条件好，用人少，洞体的溶盐过程可以实现自动控制。
2. 占地少：洞体在地面以下几百米深处，地面设施占地很少，一个几十万立方米洞罐的井头装置只占地几十平方米。一千万立方米的油库的整个地面设施不到二万平方米。
3. 建库周期短，见效快：一个五十万立方米盐洞的溶盐建洞时间只需两年，而且可以边溶洞边贮油。
4. 造价低：在西德、法国每立方米的综合造价为25—35西德马克，仅为地面罐的三分之一至四分之一。
5. 节省三材：洞罐不用钢板，不需被复。
6. 油品损耗小，油库设备很少维修。
7. 安全、隐蔽、利于战备。

但是，建设这种油库需要特定的地质条件，即必须建设在岩盐之中，岩盐的厚度、纯度、

地质条件对于岩盐洞的结构稳定和造价都有直接的影响，因此库址选择受到限制。建设这种油库还需要大量的淡水（或海水）溶盐并排出大量的浓盐水。每溶出1米³的空间，对于纯度90%以上的岩盐来说，约需8—10米³的淡水或海水，排出7—9米³浓盐水。如果杂质含量高，所需的淡水量和排出的盐水量还要增加，因此在选择库址和环境保护问题上必须加以仔细的研究。

这种油库在使用上的问题是，出油时如用淡水顶油，盐洞将会不断溶大，因此进出油的次数受到限制；如用盐水顶油，地面上需要一套专用的盐水设施或设立备用盐水井；如用潜油泵抽油，需要专门的深井潜油泵。所以这种油库适合于油料的长期大量贮存，如作为经营油库使用，油料频繁进出，费用较大，也不方便。

此外，法国利用废铁矿贮油，节省开挖费用，贮油容量大，效果很好，是目前世界上建成投产的几个废矿油库之一。法国还根据油品经营的需要，在石灰岩体内建设了一批地下水封油库。

一、地下岩盐洞石油库

（一）贮油原理及主要贮存对象

地下岩盐洞石油库是在岩盐矿区用钻井水溶的方法，在岩盐矿床中建造洞室，直接贮存石油及其产品的贮存库。这种油库的贮油原理是：

（1）岩盐可溶，可采用钻井，注水溶盐的方法在地面下几百米深的岩盐矿中建造洞室。

（2）岩盐对油和气是不渗透的，对于油和油气也不发生化学作用。

西德和法国的地下岩盐洞石油库的贮存品种有原油、柴油、汽油、石脑油、航空煤油、液化石油气（丙烷、丁烷）、天然气等。主要贮存是常压状态下呈液态的油品，其中又以原油和柴油占大多数。

此外，还有用水溶盐洞贮存压缩空气，用于供电高峰时输出发电。有的早采盐洞还用来贮存原子废物。

（二）工艺流程及主要生产项目

在西德及法国我们共参观了八个地下岩盐洞石油库。岩盐洞石油库的溶盐原理图见图1，贮油原理图见图2。

现将这些油库的工艺流程及主要生产项目分述如下：

1. 工艺流程

（1）海德（Heide）油库。位于北海海岸，距海6公里，属于西德德士古炼油厂（Deutsche Texaco），有输油管线通往23公里外在易北河入海口的中转油库。并有管线接炼厂。打水井，用淡水溶洞，盐水排往海中。地下600—3500米为盐丘，含盐90%左右，为黄色（夹有白色）晶体。共13个盐洞，其中一个建于1964年，容量1万米³，深度660—780米，用以贮存液化石油气（丁烷），调节冬夏季节供应；12个自1972年后建设，每个洞设计容量为23万米³，现已建成10个，另2个正在溶洞。因淡水量不够用，影响建库速度。丁烷库原用淡水顶油品出库，每次要扩大容积1000米³，现已改为用盐水顶。10个建成的贮油库中已贮油9个，品种有原油、柴油（凝固点-11℃）、航空煤油（一个罐）。贮存三年以来均未发现

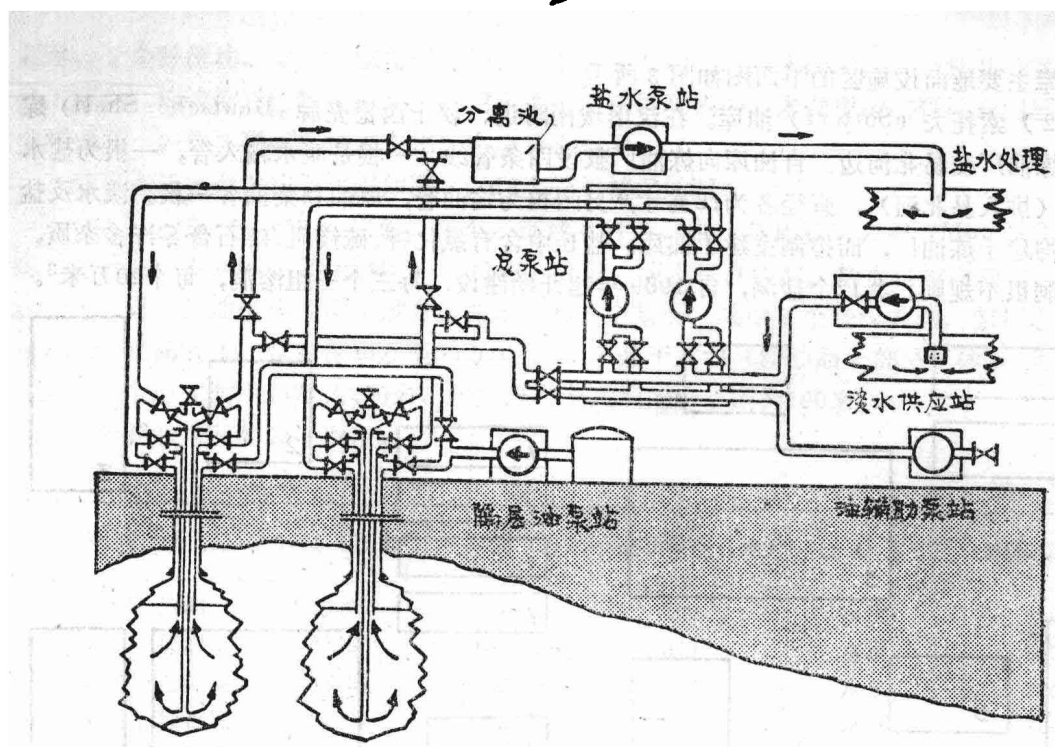


图1 溶盐原理图

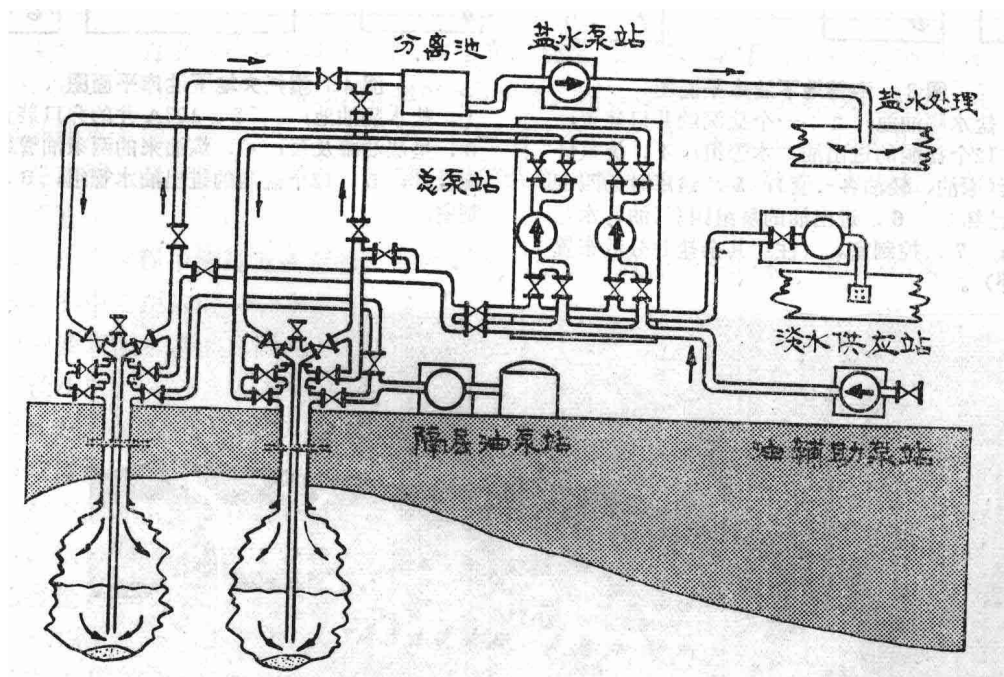


图2 贮油原理图

质量变化。航空煤油是加氢裂化产品，添加剂在出库后加，原计划增加一套出油时的过滤脱水装置，后经试验证明不需使用。

油罐中心距230米以上，是根据稳定性和牢固性来决定的，并考虑到出油时用淡水顶，洞会不断扩大。目前建成后的盐洞直径为25~35米，最后允许扩大到50米。

油库主要地面设施区的平面图如图 3 所示。

(2) 索托夫 (Sottorf) 油库。在汉堡城南附近, 属于西德壳牌 (Deutsche Shell) 炼油厂。炼油厂在易北河边。自油库向炼油厂敷设四条管线, 一根是淡水输入管, 一根为盐水排出管 (排入易北河), 直径各为 16 英寸, 另两根为输油管, 原油和柴油各一根。淡水及盐水泵站均建于炼油厂, 而控制室建于油库。盐丘中含有氯化钾、硫镁矾、硬石膏等许多杂质, 因而溶洞很不规则。共 12 个盐洞, 自 1969 年起开始建设, 每三个一组溶洞, 每个 20 万米³。

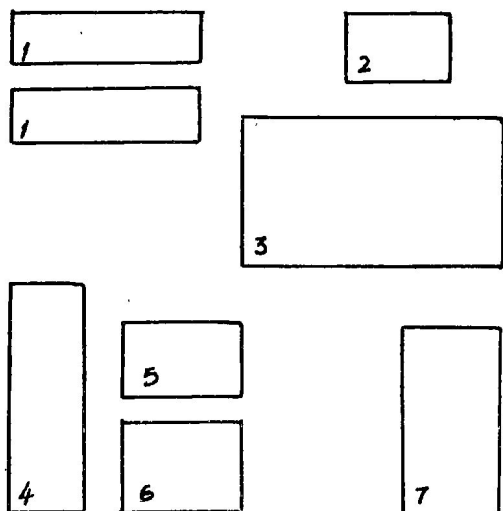


图 3 海德地下油库平面图

1. 盐水隔油池; 2. 一个盐洞的井口装置;
3. 12 个盐洞的进出油、水管组; 4. 流量计两套(原油、轻油各一套); 5. 建库时的四台泵(已坏); 6. 进出油的泵组四套(油、水互用); 7. 控制室。(注: 其余盐井分散布置在外)。

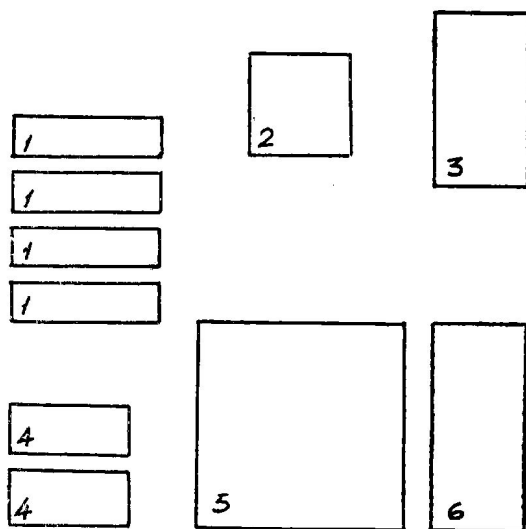


图 4 索托夫地下油库平面图

1. 盐水隔油池; 2. 103A 井的井口装置;
3. 垫层油罐及泵; 4. 炼油来的两条油管线及流量计; 5. 12 个盐洞的进出油水管组; 6. 控制室。

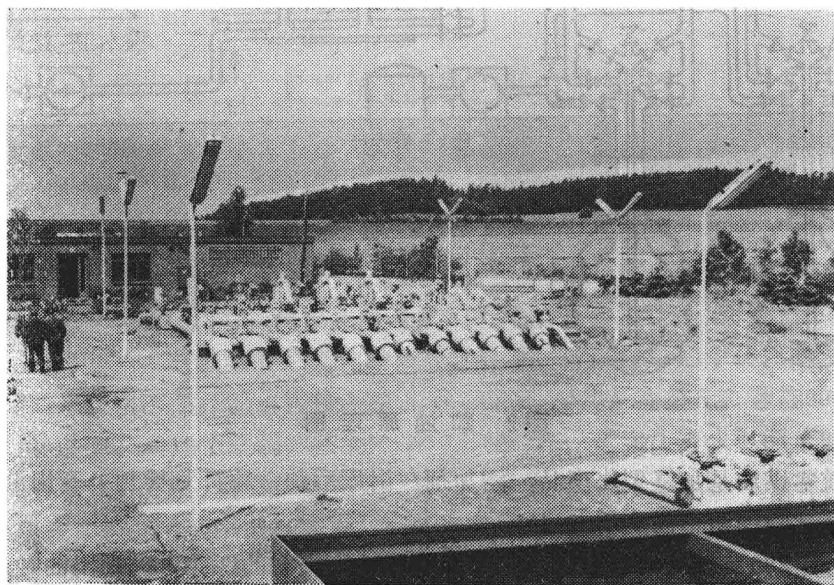


图 5 索托夫油库 12 套管组图

目前, 3个贮原油, 3个贮家用燃料油, 3个溶洞已建完, 尚未贮油, 3个钻井已完, 尚未施工溶洞。柴油最长已贮存过5年, 用于透平发动机及锅炉, 未发现造成腐蚀的问题, 但颜色稍变深, 其他各项指标均未变化, 完全符合标准。

油库主要地面设施平面图如图4, 12套管组情况见图5。

(3) 雷修姆(Lesum)油库。在不来梅城北附近。属于莫比石油公司(Mobil Oil A. G. in Deutschland)。距维塞(Weser)河8公里, 淡水取自该河, 盐水也排向河中。油由河运来, 由码头经油管线入库并设有缓冲罐。共6个盐洞, 其中5个是湿式洞, 即用水顶油, 洞内始终浸满液体, 容量自20万至35万米³, 1个是干式洞(即油品上部是气体), 用潜油泵出油。5个湿式洞中心距为200米, 干式洞与湿式洞的中心距为100米。

6个洞的情况如表1所示。

表 1

洞 号	油 品	容量(万米 ³)	现存油(万米 ³)	洞顶深度(米)	出 油 方 式	洞底深度(米)
102	原油	19.25	17.92	300	水顶	800
103	原油	34.62	30.06	300	水顶	800
104	轻燃油	35.37	22.95	300	水顶	800
105	轻燃油	21.01	13.70	300	水顶	800
106	轻燃油	12.31	11.61	300	潜油泵	800
210	原油	23.62	0.08	800	水顶	1300

(4) 勃莱克森(Blexen)油库。位于不来梅港口附近, 维塞(Weser)河入海处。属于Wintershell公司炼油厂。盐丘顶深400~800米。因该地盐丘距地表较浅, 距河、海近, 取淡水及排盐水方便而被选中。共8个洞, 已完成4个, 各20万米³, 已各贮5万米³原油; 另4个正在溶洞。共有淡水、盐水、油管三根管线通向维塞河。用轻汽油作垫层油, 在河边设盐水隔油池。

盐洞建设过程中测过五次形状, 1977年8月建成时直径18~30米, 顶深675米, 底深1330米, 各盐洞中心距175~218米, 因考虑到要用淡水顶油, 因此开始直径小些。

(5) 埃策尔(Etzel)油库。距威廉港25公里, 是西德政府的战略石油储备库。1971年夏季选点, 秋季开工, 1977年建成, 总容量1200万米³, 33个洞室, 每个洞室约40~50万米³, 盐洞直径约33米, 高度600米左右, 洞顶深度1000~1300米, 顶上还有150米盐层, 全部贮存原油。用海水溶盐, 自油库至威廉港敷设海水、盐水、油三条管线, 直径各为44英寸, 盐水泵站设于库

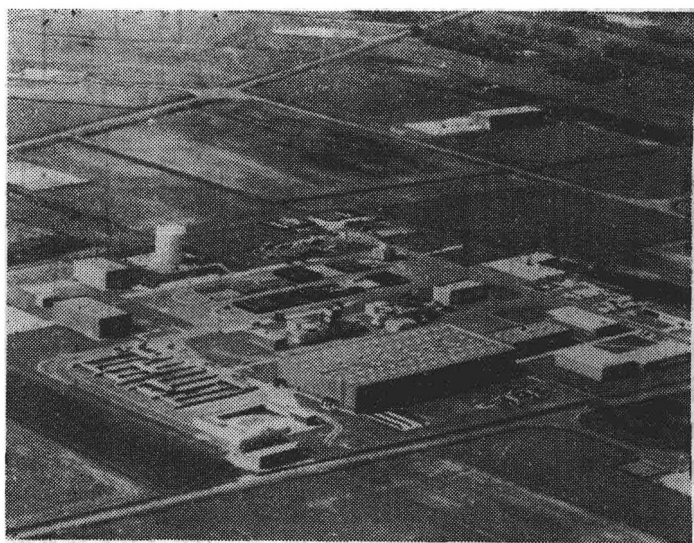


图6(1) 埃策尔油库鸟瞰图

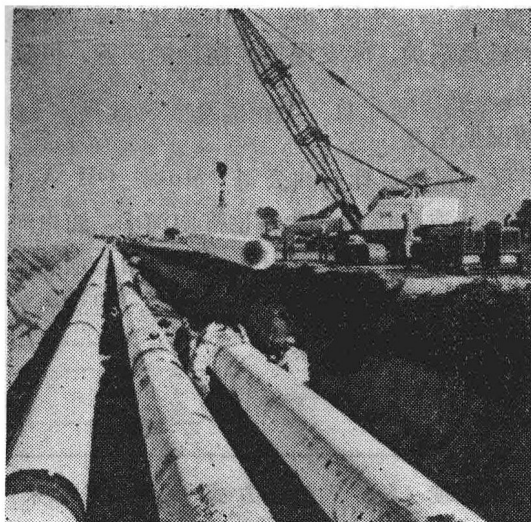


图 6 (2) 管线施工图

盐丘顶深度1300米，洞顶深度1500~1600米，洞底深达2000米。储存的油品中大部分为中馏程油，即轻燃料油、柴油，也有原油及重燃料油。溶洞时用液化石油气（丙烷、丁烷）作垫层油，是因为本公司有这种产品，可使用比市售产品质量低一些的粗制品。用液化石油气作垫层油，可不用盐水隔油池。每个盐洞需50~60吨。对储存的原油作过化验，含盐量及含水量均比贮存前下降。

(7) 艾拔 (Epe) 油库。位于西德—荷兰边界，属于威斯特法伦 (Westfalian) 盐厂。盐层深1000米，厚430米，上有20米厚石膏层。共钻孔30个，其中14个正在溶洞采盐水，6个钻井已完，7个存原油，3个存天然气。原油洞直径80米，高度310米，洞顶上有80米厚盐层，底留10米盐层，容积150万米³。天然气洞直径65米，高度210米，洞顶上180米厚盐层，底留10米盐层，容量60万米³。盐水供化工厂作原料。盐洞的中心距约为280米左右。

(8) 法国麦诺斯克 (Manosque) 油库。距马赛城东北70公里，由法国 Shell, BP, Total, Elf 石油公司合资建设。岩盐中不溶物占12%，主要是破碎成10公分左右小块的硬石膏。由附近的运河及水坝取淡水，盐水经二条20英寸管线送到80公里外地中海边的天然盐湖（炼油厂附近），供化工厂用。这

区，海水泵站设于海边，但由设在库区的中心控制室控制。33个盐洞分成几组，每组5~6个洞室，设一分泵站，分泵站有海水、盐水、垫层油管与每一个洞室相连。各盐洞按六角形布置，中心距250米。

埃策尔油库鸟瞰图见图6(1)，管线施工情况见图6(2)，平面布置见图7。

(6) 路斯特里根 (Rustringen) 油库。位于威廉港，距海7公里，属 NWKG 石油公司，是埃索公司，壳牌公司等合资建设。共分三期建设，第一期10个洞，每洞20万米³；第二期12个洞，每洞30万米³；第三期20个洞，尚未完全建完。目前总贮油容积650万米³，可发展至2000万米³。

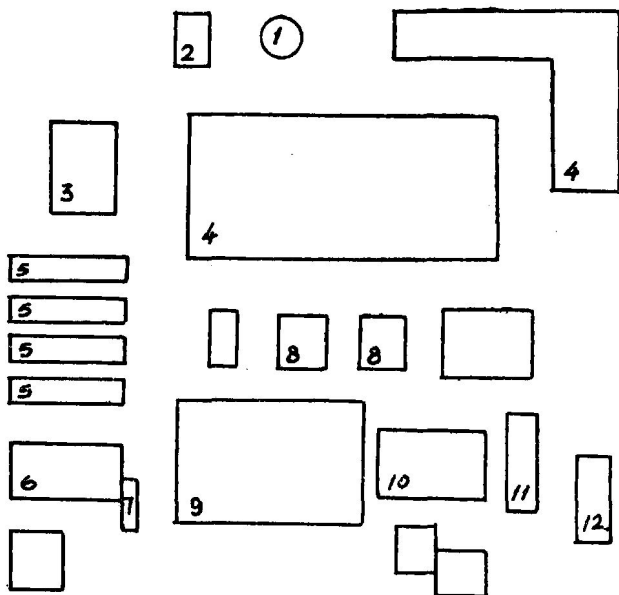


图 7 埃策尔油库平面图

1. 垫层油罐； 2. 垫层油泵站； 3. 修理间及备件库； 4. 管材堆场； 5. 盐水隔油池； 6. 盐水池； 7. 盐水泵站； 8. 发电机组两套； 9. 中心泵站； 10. 分泵站； 11. 中心控制室及化验室； 12. 办公室。

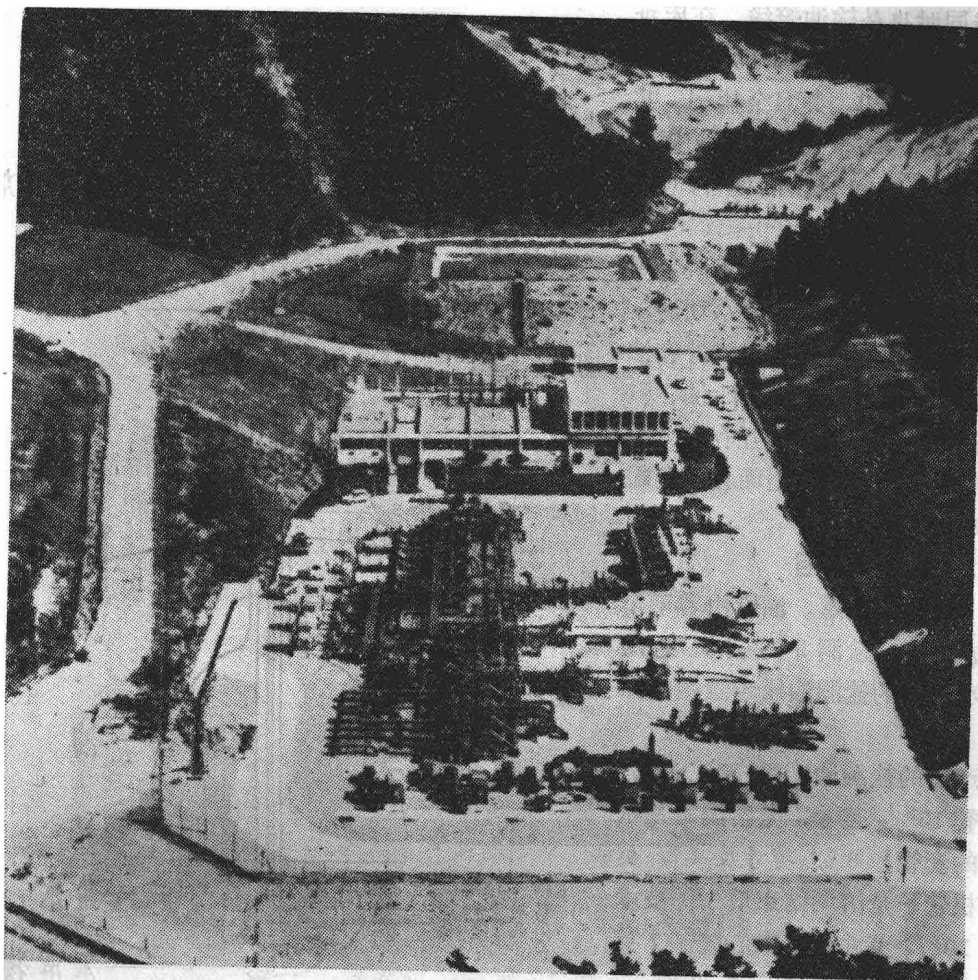


图 8 麦诺斯克油库鸟瞰图

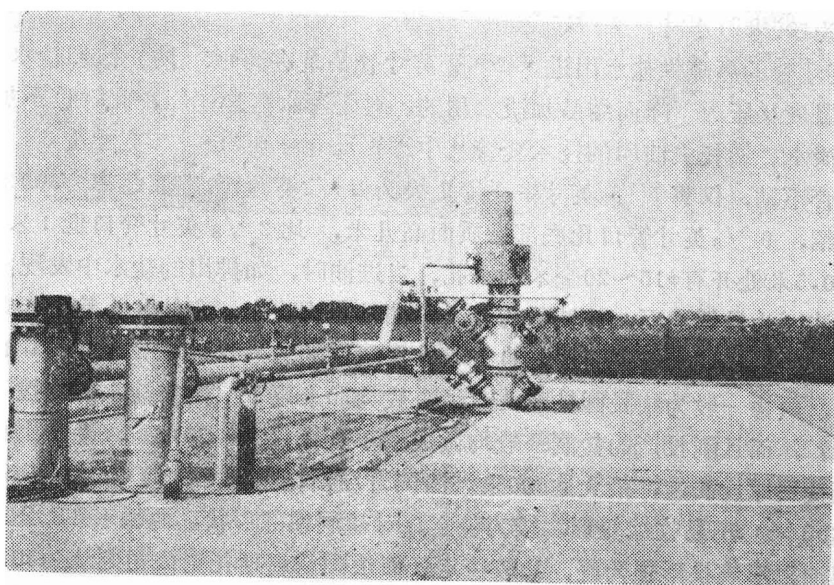


图 9 盐洞油罐井头装置图

两条管线同时也是输油管线。在库址附近建设了两个各8万米³的人工盐池,供盐水中转用。共34个盐洞,其中27个已贮油,7个正在溶洞,盐洞最大直径自70~80米,高度自150—400米,盐洞底部深度自400—1600米,体积自10~50万米³。过去用淡水顶油,为延长使用期已改用盐水顶油,并有两个盐池贮存饱和盐水。贮存油品有原油、柴油、家用燃料油、汽油、石脑油,各种油品不互存。

麦诺斯克油库主要地面设施鸟瞰图见图8。

2. 主要生产项目

(1) 盐洞油罐。油库由若干个盐洞油罐组成,盐洞井头装置见图9。用水顶油的盐洞油罐示意图见图10。

投产后的盐洞油罐内有三根管子,套管13³/₈英寸,是溶洞时用水泥固井的套管,8⁵/₈英寸及2³/₈英寸的两根管子是溶洞结束后去掉技术套管(10³/₄英寸)及中心管(7英寸)后重新安装的(埃策尔油库)。

13³/₈英寸与8⁵/₈英寸管的环隙供油品进出,流量为400米³/小时。8⁵/₈

英寸与2³/₈英寸管的环隙供盐水进出。2³/₈英寸管子是进油时,防止饱和盐水在8⁵/₈英寸管内流出因温度及压力下降而结晶加淡水用的。对于海水溶盐的库,此时也不加海水而加自来水或一般淡水。索托夫油库的技术套管及中心管尺寸分别为9⁵/₈英寸及5¹/₂英寸,投产时,技术套管不动,仅将5¹/₂英寸中心管更换为2³/₈英寸管,进油速率为300米³/小时。索托夫油库介绍,9⁵/₈英寸管口比底部杂质面高几米,比2³/₈英寸管口低1米,在9⁵/₈英寸管口以上0.5米处开有φ15~20毫米的小孔,当进油时,如排出的盐水中发现油时,则停止进油,此时油面为最低油面,贮油量为最大贮油量。为防冻,有的井头整个作保温层,见图11、图12。有的只作淡水管保温层,也有不作保温层的。

盐洞形状,西德一般为细长圆柱形,直径一般为50米以下(出售盐水的艾拔油库盐洞直径较大为80米),而且刚投产的盐洞一般均做成较小直径(20~35米),准备出油时直径扩大。高度根据盐层厚度而定,最大达600米。法国奇屋斯托克(GEOSTOCK)公司则认为直径大一些(达80米)不易收缩变形,较为稳定。对盐洞顶部形状,西德KBB公司认为通过逐步加入垫层油以形成拱形顶为好,比较稳定。而法国奇屋斯托克公司则认为50米直径的洞,顶部形状问题不大,麦诺斯克油库顶部是平的。盐洞顶部的盐层厚度,根据其上复盖的

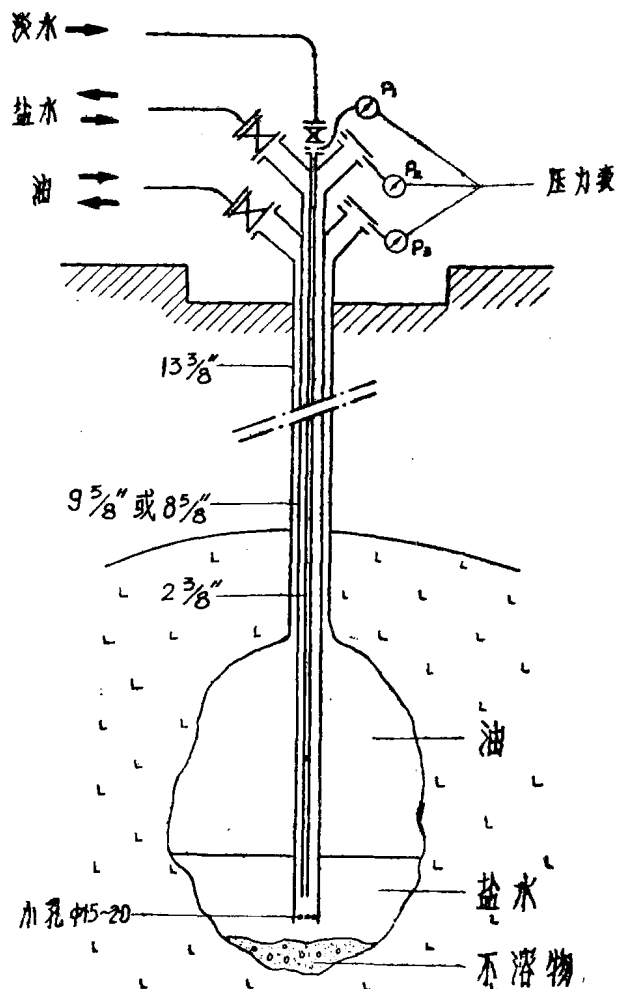


图10 盐洞油罐示意图

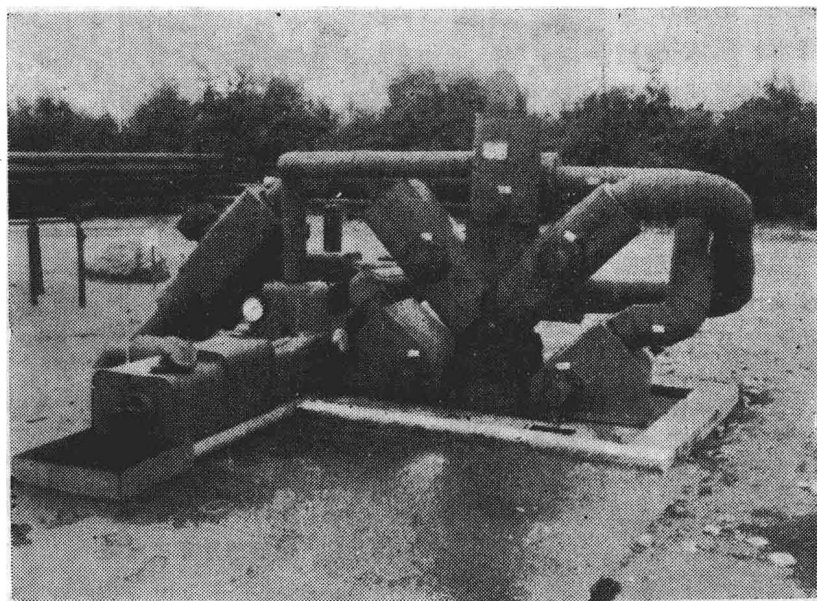


图11 作保温层的井头（正面）

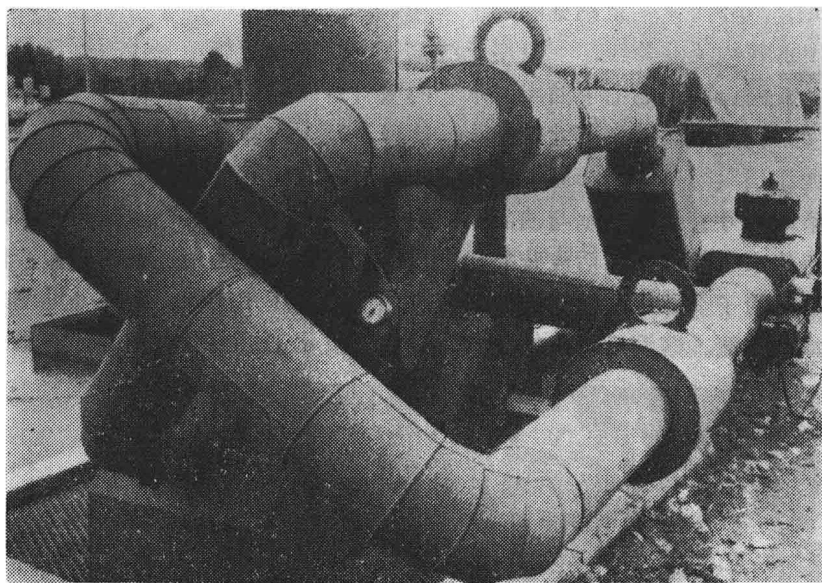


图12 作保温层的井头（侧面）

硬石膏层厚度等地质条件而定，自50米至150米。

用潜油泵出油的盐洞油罐，只有雷修姆油库一个罐，比较简单，仅将潜油泵装入洞内，靠近洞底即可，耐油电缆也通入洞内，油面上充以燃烧废气以防爆。

（2）供水泵站：盐洞建设时需用水溶盐，出油时需用水顶油，要建设供水泵站。每溶出 1米^3 的贮油空间，对于纯度90%的岩盐，需要8—10 米^3 的淡水或海水，如杂质含量高，需要量还将增加。泵站的大小根据水量而定，主要取决于可供淡水量。有时由于允许排出的盐水量小而限制了淡水取量。埃策尔油库供水泵站设在海边，由5台立式螺旋桨泵组成，总流量为6000 $\text{米}^3/\text{小时}$ 。

(3) 主泵站：溶洞时需将淡水（或海水）压入钻井。生产时，进油需将油压入洞内，出油需将水（淡水、海水或盐水）压入洞内。所参观的油库主泵站均建设得很好。泵是水、油互用的。泵的流量及压头根据所需进出水、油的量及井深等选定。海德油库贮油150万米³，四台泵中三台供原油，电压6千伏，功率500千瓦，流量200~500米³/小时，一台供航煤，流量100~150

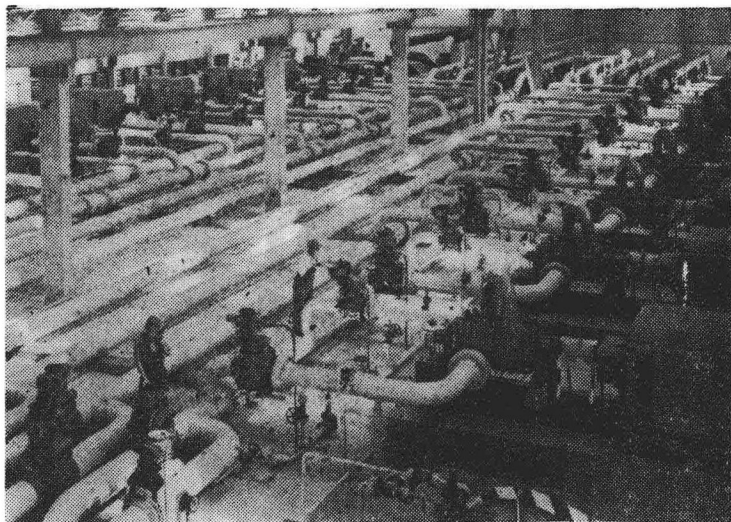


图13 埃策尔油库主泵站

米³/小时。雷修姆油库主泵站有三台功率350千瓦泵，二台功率500千瓦泵，电压均为6千伏。埃策尔油库主泵站有16台泵，可串联或并联使用，功率1600千瓦，压力为45公斤/厘米²时的流量为600米³/小时，该主泵站见图13。

(4) 进出水管线及油管线，一般用无缝钢管或螺旋卷板管，管径根据流量选定，自14英寸至44英寸。在西德看到的七个油库，水管内壁有水泥保护层，厚9~11毫米，以防腐蚀。较小的管子，如索托夫油库的16英寸管是承插接口，较大的管子如埃策尔油库的44英寸管是焊接，管内水泥涂层距管口空出20厘米供焊接。焊后，人坐专门小车进管补涂水泥。法国麦诺斯克油库两条20英寸管线是盐水与油品共用的，全部不作水泥保护层，是向盐水加入亚硫酸盐缓蚀剂，使与盐水中氧气作用后成硫酸盐，以保护钢管。过去用过聚磷酸盐，但不如亚硫酸盐效果好。所有管子全部用阴极保护，索托夫油库的电压用50伏，接头处见图14。

(5) 盐水隔油池。溶洞后排出的盐水，除送去供化工厂综合利用外，多数是排往海中

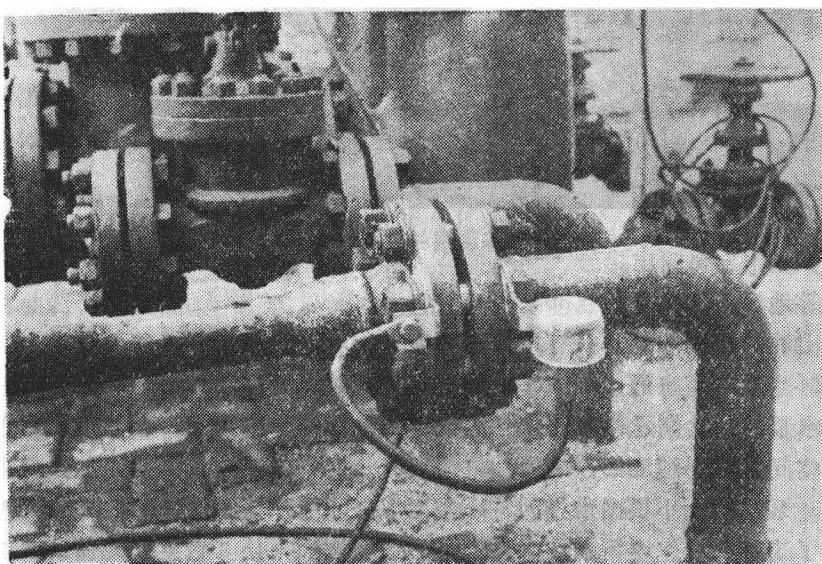


图14 管线阴极保护接头

或河中，为防止垫层油随盐水排出造成污染，都建有盐水隔油池。隔油池均为长方形的平流式，在隔油池出口用集油管收集浮油，再用泵送至脱水罐脱水后回收利用。隔油池有钢板及混凝土制的两种，每个油库2至4间。钢板不作防腐处理。海德油库的钢板制盐水隔油池见图15。盐水中的沉淀物定期在底部放出，隔油池的大小可按盐水在池中停留约半小时设计。埃策尔油库排出盐水量为6000米³/时，4个池共为3000米³，索托夫油库排出盐水量为600米³/时，4个池共240米³。勃莱克森油库排出盐水量为1000米³/时，池为2×250米³。盐水经隔油池后不再作任何处理即排放。海德油库测定过排放走的盐水中含油量为2ppm。

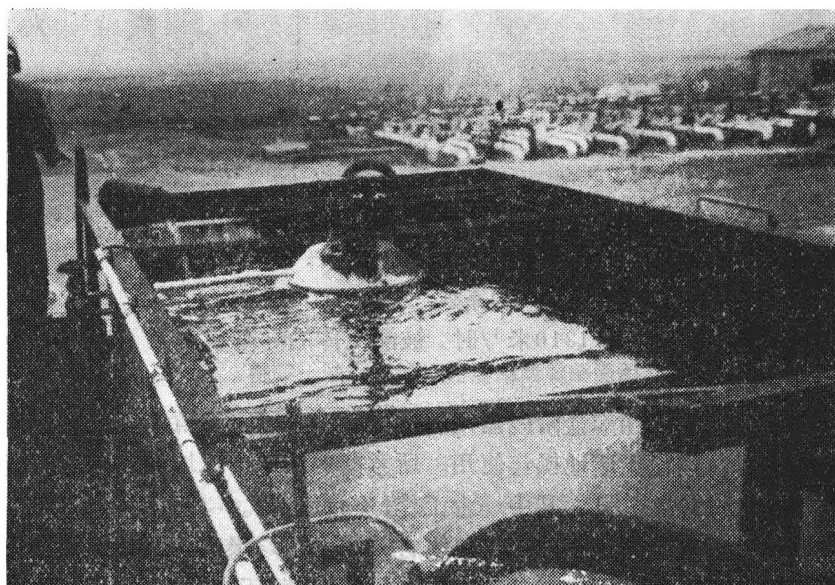


图15 海德油库钢板制盐水隔油池

(6) 盐水泵站：盐水经隔油池处理后，由盐水泵站排走，每溶出1米³贮油空间，对于纯度90%以上的岩盐，要排出7—9米³浓盐水。如不溶物含量高，因不溶物遇水膨胀，占据更多空间，因此，每溶出1米³可贮油空间将排出更多盐水。泵站大小视流量而定。埃策尔油库盐水泵站由4台离心泵组成，3台工作，1台备用，每台泵的流量为2000米³/时。

(7) 垫层油罐及泵：在溶洞时为防止洞顶溶蚀要加入垫层油。垫层油大多为原油、柴油或汽油，需要垫层油油罐。勃莱克森油库的垫层油油罐为100米³，并设有专用小油泵向盐洞注油，容量5—6米³/时，操作压力一般为60公斤/厘米²，泵压头可达100公斤/厘米²。埃策尔油库垫层油油罐为1000米³，并有四台不同流量的注油泵。

(8) 淡水及盐水的计量设备。由于注入的淡水流量及流速与形成盐洞的形状和容积有一定的联系，同时还需要通过测量所排出盐水的流量、浓度及成份来判明溶盐过程进行的情况，因此淡水及盐水的计量设备是十分重要的。我们在西德各岩盐洞石油库看到的淡水及盐水计量设备大多为西德克劳内(KROHNE)厂生产的电磁感应流量计。电磁感应流量计(见图16)的原理是法拉第感应定律，即导体通过磁场运动产生一个电压，电压值为 $U=K \cdot B \cdot V \cdot D$ ，其中K为仪表常数，B为磁场强度，V为平均速度，D为管径。即电压与液体平均流速成正比，因而与容积流量成正比。测定的前提条件是流体能导电。电磁感应流量计由Altoflux测定值接受器及测定值换算器组成。接受器(即一次仪表)有各种口径，适合各种流量要求。MID51系列的口径自40至350毫米，流量自4.5米³/时至254.5米³/时；MID63系列的口径自350至

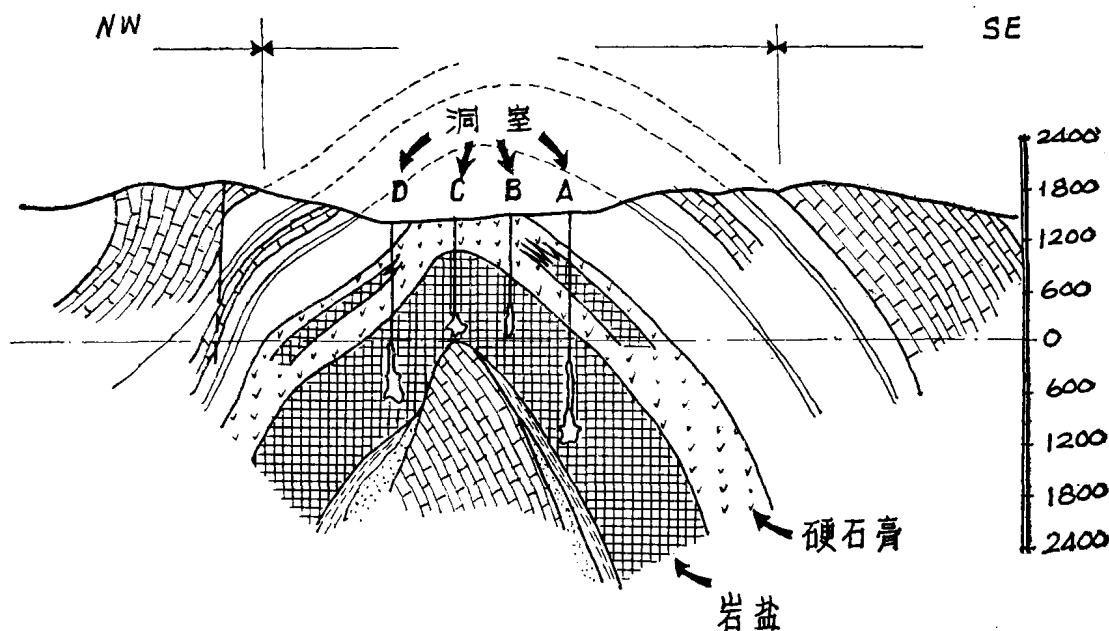


图17 法国麦诺斯克油库地质剖面图

交通条件等方面进行综合性的比较和分析，在技术上和经济上全面评价后再作出决定。

1. 岩盐条件

这类油库建于岩盐矿体中，因此，岩盐矿的条件至关重要，要求厚度大，不溶物比例小，顶板石膏层完整不破碎，深度小一些。在这样条件下建设的岩盐洞油库容量大，溶洞形状规则，结构稳定，施工费用及操作费用均小，也不易发生不溶物掉下打坏井管的事故。拟建库址并要特别注意避开断层和可能发生水力联系的地带。西德的岩盐洞油库主要建设在西北部，这些地区的岩盐层序属于二迭纪的镁灰世，由于构造运动，形成了二百多个盐株，其中属于盐丘的就有93个。埋深一般在500~1000公尺左右，最深为2400公尺，不溶物比例为8~12%，适合建设这类油库。不溶物的成分是一个重要因素，索托夫油库的岩盐含不溶物为光卤石、氯化钾等，溶解速率快，虽在溶盐工艺上特别注意，但洞形仍很不规则。法国麦诺斯克油库是第三纪渐新世地层，地质构造的突起，使岩盐层变形，压缩成较大的厚度，达800米(见图17)。不溶物主要是硬石膏等，碎块10厘米左右也有大至1米的，分布在岩盐体中，因而也影响了溶洞形状，并发生过掉块打坏井管的事故。

西德、法国在建设地下岩盐洞油库时，对于地质勘探都十分重视，首先进行区域性的地质勘测，初步了解岩盐层的地质构造和矿区的水文地质概况。在区域性勘测的基础上，进一步进行钻探，具体弄清岩层的层序，各层的厚度，生成的地质年代等。对岩芯要进行理化分析和力学性能测定。理化分析主要检验岩盐的化学组成、溶解速度、不溶物含量、比重等，力学性能除了测定抗压、抗剪强度外，有的油库还对岩盐层的原始应力状况、建洞后应力变化情况进行分析，作岩芯粘性-塑性的蠕变试验。尽可能全面地、准确地了解掌握地质资料，对于建造地下岩盐洞库是十分重要的。

2. 溶盐条件

地下岩盐洞油库需要用水溶洞，淡水来源和盐水的排放是建库的基本条件。我们参观的八个油库情况如表2所示。

表 2

编 号	油 库 名 称	淡 水 来 源	盐 水 排 放
1	海德	水井	海
2	索托夫	Elpe河水	Elpe河
3	雷修姆	Weser河水	Weser河
4	勃莱克森	Weser河水	Weser河
5	埃策尔	海水	海
6	路斯特里根	海水	海
7	艾拨	水井	化工厂
8	麦诺斯克	河水	化工厂

使用井水溶洞的库往往因水量受到限制而影响溶洞速度。海德油库各井水量加起来最大只有600米³/时，水不够用，使溶洞时间很长。艾拨油库是找居民不吃的水源（含铁12毫克/升）来溶盐，但最大流量只有1500米³/时。

盐水的排放是更需重视的条件，排出盐水浓度一般为250克/升以上，如能送至化工厂综合利用，最为理想，但一般不易结合得好。艾拨油库是属于制盐厂，以采取盐水为主要目的，溶洞租给石油公司和天然气公司贮存（租期50年，每米³收20马克，分期付款费）。麦诺斯克油库在炼油厂和化工厂附近有两个天然大盐湖，可暂存溶洞时产生的大量盐水，因此敷设80公里以上的两根20英寸管线，供输送盐水入湖及收发油品两用。盐水供化工厂用，多余部分排入海中。其他六个油库是专为贮油而溶洞，溶洞时盐水量大而集中，溶洞结束后就不再产生盐水，因此难以与化工厂结合。其中三个库是把盐水排入河中，有污染环境的问题，因此，事先做了调查研究，限定最大排放量，并取得当局批准。索托夫油库3个洞一组溶盐，排出盐水量为600米³/时。雷修姆油库因排入维塞（Weser）河水，盐水量受限制，因此把抽淡水量限为500米³/时。

3. 区域环境条件

在西德、法国建设的这类地下油库，多数建于平原上，少数如麦诺斯克油库建于山区。他们对库址周围的地形地貌具有自然伪装隐蔽的条件，并不十分强调。由于地面设施占地很少，一个井头只需几十平方米，各井相距200多米，散布在农田中，一千万米³容量油库的主要地面设施也不到二万平方米，工程也无废渣需要堆放，因此，这类油库本身隐蔽条件很好。

4. 交通条件

我们参观的八个油库，全部是依靠油管线与炼油厂或码头连接收发油品的，一般是大进大出作贮备中转用，管线短的七、八公里，长的如法国麦诺斯克油库达80公里以上。

5. 供电

大多数依靠电网供电，个别的自行发电，不作为选址考虑的主要问题。

（四）油库溶洞的设计及施工

地下岩盐洞建设中的中心问题是溶洞设计和施工，现将这方面了解到的几个主要问题叙述如下：

1. 油罐的布置

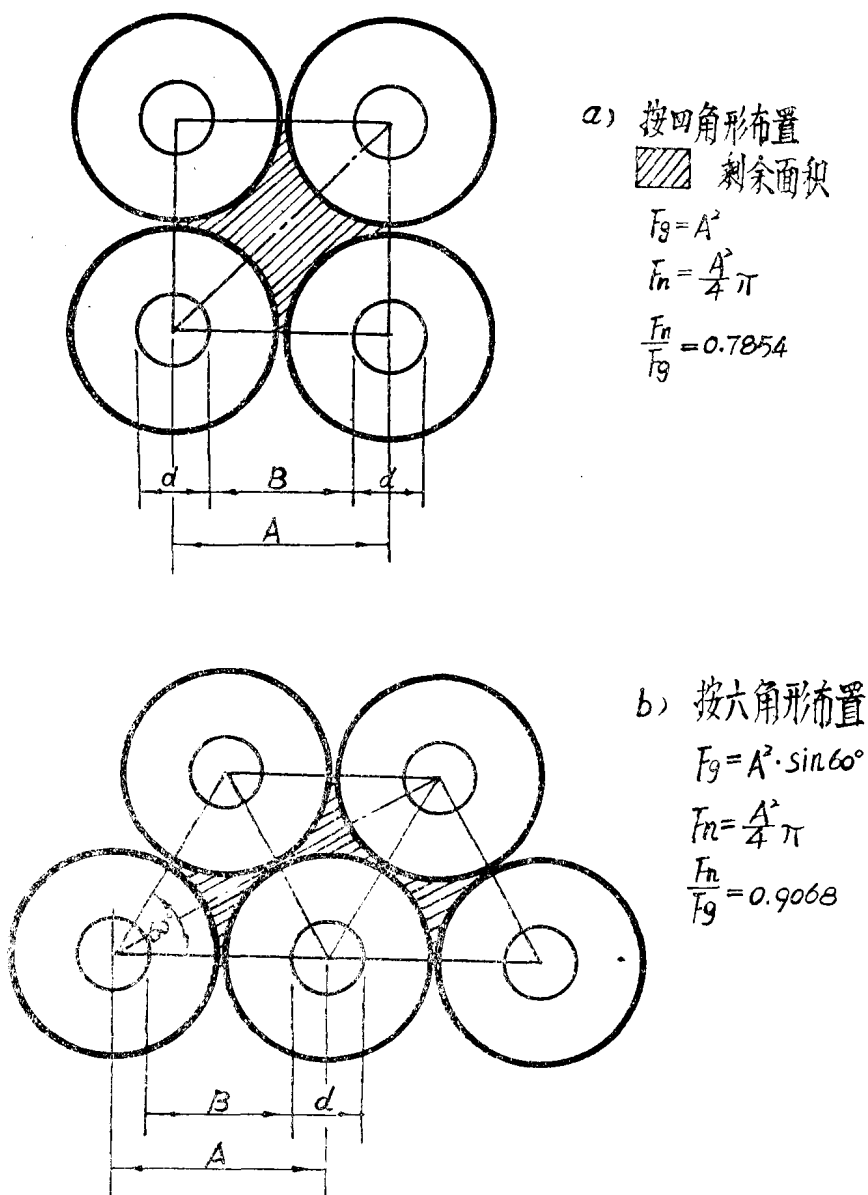


图18 井网平面布置图

我们所参观的油库的洞罐中心距一般为175~250米。库区的合理布置对于充分利用有限的岩盐矿藏是很重要的。西德 KBB 公司提出洞室的平面布置按六边形网格布置，平面利用系数为0.9068；若按四边形网格布置，则平面利用系数为0.7854，见图18。不过在实际布置盐洞点时还要根据道路、河流等具体条件作必要的调整。

西德埃策尔油库的盐洞布置见图19。

2. 溶盐过程的数字模拟

建设一个特定体积的盐洞库的造价需由许多条件来决定。有些是地质条件问题，这是不能控制的，另一些是属于设计变数范围之内的。地质条件一般包括：一个适当盐层的深度和厚度，盐的成份和均匀度，距水源和盐水排放点的远近。设计变数主要是溶盐方法（正循环或反

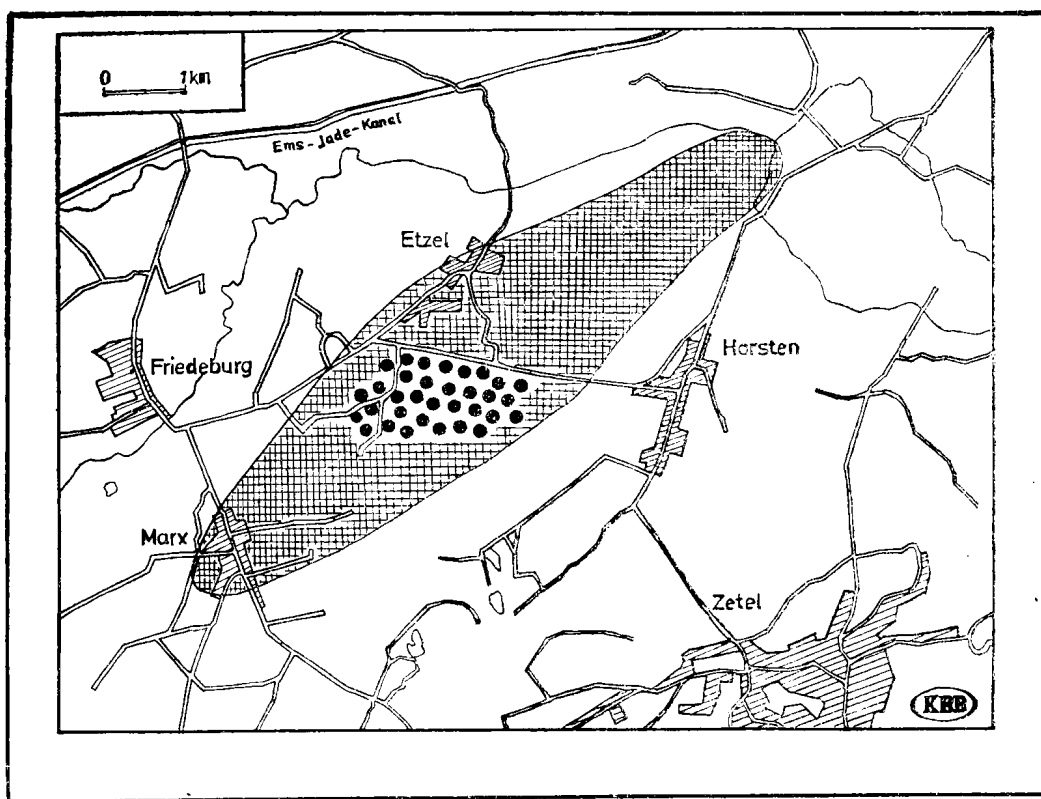


图19 埃策尔油库盐洞布置图

循环), 水的注射速率, 技术套管口和中心管口的距离, 垫层油的位置以及溶洞的数量和间距。为了使盐洞的建设最为经济, 就必须准确估计盐洞的形成速度和形状, 这些是从已定的设计参数取得的。

关于研究溶盐过程的数字模拟, 已经经历了一个过程, 一开始只能预计溶盐速度, 但不能预计最后盐洞的形状。后来研究出的模拟方法, 既能预计盐洞形状, 也可预计溶盐速度, 但条件必须是均匀的盐层。为了消除已有模拟方法的不足之处, 发展了一个立体三维数字模拟机, 来计算一个盐洞中的溶盐速度和浓度模式。这一模式能应用到任何设计变数的组合, 包括正循环溶盐和反循环溶盐, 并允许盐层是完全不均匀的。西德PREUSSAG公司介绍, 他们应用并发展了这一模拟计算法。

模式计算的结果, 包括盐洞形状、产生的盐水浓度、盐洞体积、盐洞体积扩大的速率, 浓度轮廓以及积聚在洞底的不溶物体积。

采用这一工具就可能计划设计一个盐洞方案, 把这方案的总造价尽量减少, 此外还能用来对各盐洞的溶盐过程进行控制。这样, 盐洞的最大体积可落在稳定限度之内。

在一个新场地上, 各个盐洞的大小和所希望的形状确定之后, 就可以进一步决定间距和具体位置, 然后开钻, 按规定的时间间隔取岩芯样, 并测定井眼大小。岩芯的分析和测定的数据, 就提供了准确预测溶盐时间和盐洞形状的资料。

在钻井过程中收集岩盐芯, 在实验室进行分析, 以确定每一个可溶成分的质量百分比, 不溶物的质量百分比, 整个岩芯的溶解速度。溶解速度就是在标准的实验室条件下盐的溶解速率, 单位是单位时间及单位面积上溶解盐的体积。KBB公司在PREUSSAG实验室里使用了

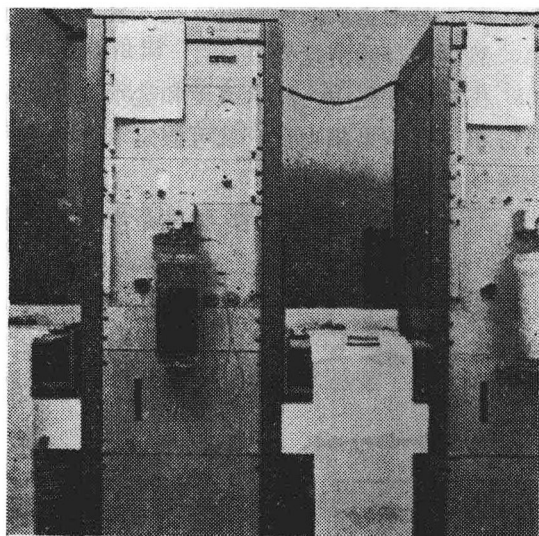
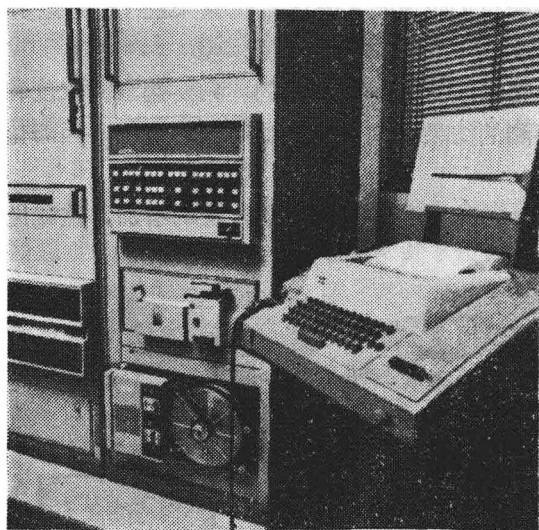


图20 溶盐模拟机

“溶盐模拟机”，在仔细控制的条件下进行溶盐测定，见图20，“溶盐模拟机”的原理图见图21。

岩芯放入设备之前，先测定其质量和密度，对 $\phi 100$ 毫米的岩芯中心钻小孔，新鲜水在恒定的温度和恒定的流速下泵入岩芯。对流出的盐水定期取样，进行化学分析。同时对于岩芯的重量和流出盐水的密度，作为时间的函数不断地测定和记录，最后把所得到的资料送入电子计算机分析，得出以下结果：

(1) 平均溶解速度和标准的差数即为均匀度；

(2) 不溶物的质量百分比；

(3) 不溶物的密度，在溶解过程中和溶解以后的数值。这些数值用来预测溶盐过程中固体物在盐洞底堆积的高度。

盐的矿物质组成是通过对其盐水的化学成份分析来确定的。从矿物成份上再来确定溶解速度。

由于不可能采取所有岩盐芯进行溶解测定，因此一方面阶段取芯测定，一方面对整个井连续进行探测，然后对探测的数据用电子计算机进行评价，使盐层的矿物成份作为深度的函数来表现。再把成份转换为溶解速度，使溶解速度也能以深度为函数来表现。

“最佳”溶盐程序，是由多次模拟来决定

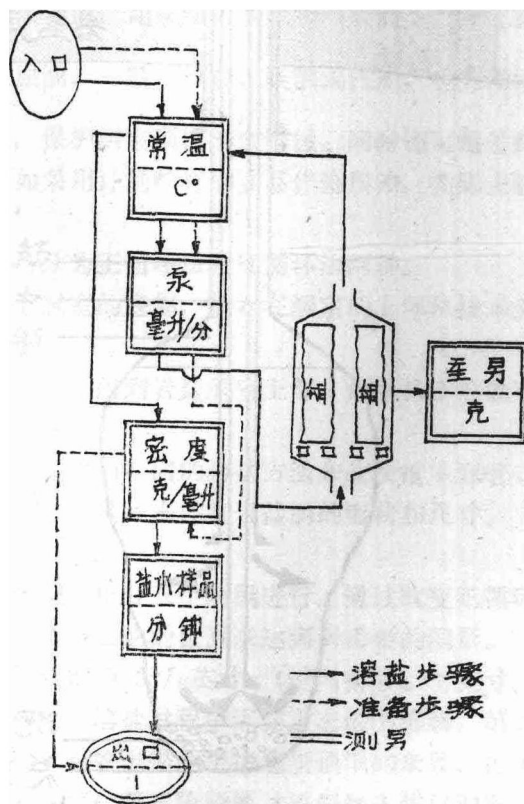


图21 “溶盐模拟机”原理图