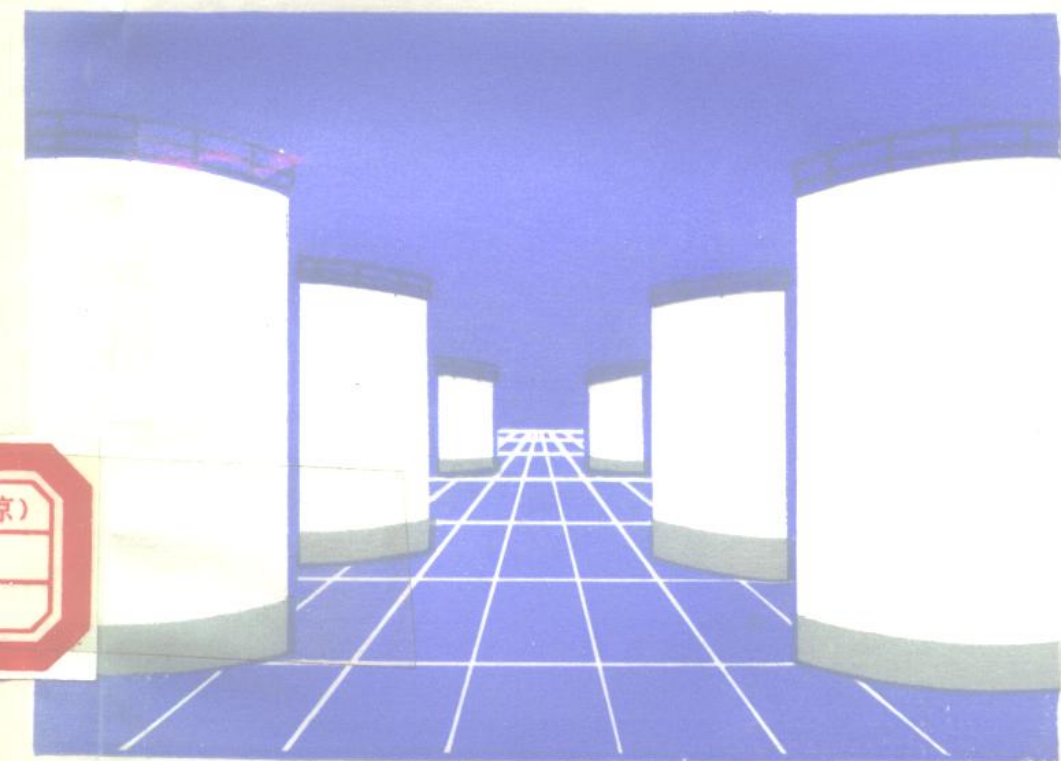


石油储存原理

PETROLEUM STORAGE PRINCIPLES

● [加] A. 马克斯



石油工业出版社

石油储存原理

〔加〕 A. 马克斯

白鹏飞 译
张志廉

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合阐述了石油产品的各类储存设施的基本操作原理、方法及其计算，同时也介绍了与各种储存设施有关的基本安全保护措施。书中主要论述了原油、成品油、液化石油气、天然气以及液化天然气的地上、地下储存和近海储存。

本书可供石油、化工、商业以及有关部门从事石油产品储存的设计人员、工程技术人员以及大中专院校有关专业师生阅读参考。

0756/08

Alex Marks

Petroleum Storage Principles

Pennwell Publishing Company 1983

石 油 储 存 原 理

〔加〕A. 马克斯

白鹏飞 译
张志愿

石油工业出版社出版

（北京安定门外安华里二区一号楼）

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32 开本 10 印张 243 千字 印1—1,500

1989年3月北京第1版 1990年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0349-X/TE·339

定价：2.80 元

序 言

显然，在石油工业中需要对碳氢化合物的储存设施作出全面的综述。有关管道、油轮、油驳、铁路油罐车和油罐汽车等这些将碳氢化合物从某一地区运送至另一地区的运输工具，人们已经写得很多了。然而，在输送系统中还有一个具有同等重要作用的部分，这就是储存设施。在整个输送系统中，正是这一部分促成了系统运行的有效性、灵活性和可靠性。

各类储存设施基本操作原理的综述将为系统地评价整个输送系统提供准备。对于与各种储存设施的操作和维护有关的基本安全措施の評述，也是作者考虑的重要问题之一。

作者为能有机会编写这本书，将这一广泛课题中的某些基本原理综合成具有内在联系的整体，深感欣幸。

这本书的编写首先应归功于 G.L. 法勒 (Farrar)，他的适时支持和鼓励是至关重要的。

H.W. 菲德尔曼 (Fiedelman)、C.W. 居里奥 (Querio)、W.B. 扬格 (Young)、N.E. 范佛森 (Van Fossan)、塞尔维亚·兰第恩 (Selvia Landin)、H.C. 威廉斯 (Williams)、伊冯·R. 辛克斯 (Yvonne R. Hinks)、雷金纳·S. 谢德 (Regina S. Shedd)、L. 琼斯 (Jones)、L.S. 汤普森 (Thompson)、D.D. 魏斯 (Weiss)、O.N. 布拉德福特 (Bradford)、凯茜·皮尔 (Kathy Pile) 和乔治·亚历山德拉斯 (George Alexandres) 等提供了宝贵而及时的帮助，在此谨致以衷心的感谢。我的妻子苏珊 (Susan) 在整理书稿方面作出了巨大贡献。在此，作者深表谢忱。

这本书的问世，作者的家人比作者本人付出了更多的代价，那些得益于本书的读者应该感谢 苏 珊（ Susan ）、戴 维（ David ）和安德鲁（ Andrew ）。

亚历克斯· 马克斯
（ Alex Marks ）
1982 年于阿尔伯特 卡尔加里
（ Calgary, Alberta ）

前 言

本书分为两大部分。第一部分论述各种储存设施的基本原理及它们的演变过程；第二部分包括分属于各章的技术附录。这是专门为那些对于拟定或计算储存容器设计参数感兴趣的技术人员准备的。

本书是按照每一章均以前一章为基础的方式编排的。第一章原油的储存，叙述原油储存设备的基本操作和结构。以后各章则着重叙述与第一章有很大区别的内容。

第二章述及成品油的储存，侧重于浮顶罐。第三章讨论液化石油气，并着重于盐穴储存。第四章论述天然气储存的基本原理。第五章叙述液化天然气的储存设施，重点放在双壁平底隔热罐。第六章论述海上储存的原理，并着重叙述现有的设备及一般的设计方法。

各个附录分别作为各章的补充。在这些技术附录中叙述了技术和安全方面需要考虑的问题。技术附录是按照易于为计算公式编制程序的方式陈述的。在附录中还选编了储罐的统计资料 and 成本估算。

作者力图通过本书对碳氢化合物储存中存在的各种重要的问题作出评价。当然，这一领域是专业性很强的，要想在一本书里全面而均衡地评述最新技术发展状况，即使不说是失于鲁莽，也是颇不现实的。

目 录

第一章 原油的储存	1
第一节 地上储存	1
一、油罐的演变过程	1
二、油罐结构	3
三、全焊接矿场生产罐	6
四、储存罐	8
五、油罐基础	10
六、罐壳的装配	10
七、呼吸顶	18
八、气囊顶	20
九、升降顶	20
十、储存罐附件	21
十一、罐壁和罐顶的检漏	21
十二、涂漆和涂层	22
十三、油罐标定	22
十四、油罐计量	26
十五、油罐的维修与保养	27
十六、油罐区地坪和防火墙	41
十七、油罐的选择	42
十八、防火	43
十九、泡沫消防系统	44
二十、泡沫的配制设备	49
第二节 地下储存	51
一、石油地下储存的发展	51
二、盐穴储存	51

三、岩洞·····	65
四、矿井洞穴——改造的矿井·····	73
参考文献·····	74
第二章 成品油的储存·····	78
第一节 地上储存·····	79
一、油品性质·····	81
二、防火·····	81
三、升降顶罐·····	82
四、油罐的选择·····	83
第二节 地下储存·····	85
一、岩洞·····	85
二、盐穴·····	85
三、经过改造的矿井·····	86
四、储存对油品性质的影响·····	86
参考文献·····	86
第三章 液化石油气的储存·····	88
第一节 地上储存·····	90
一、卧式筒罐·····	90
二、球形储罐·····	91
三、完全冷冻式平底储罐·····	94
四、冷冻处理的基本概念·····	97
五、泵送系统·····	101
六、产品加热·····	101
七、储存方案的选择·····	103
第二节 地下储存·····	103
一、采用地下储存的理由·····	105
二、LPG 溶造储穴·····	105
三、盐穴储存作业·····	106
四、LPG 回收方法·····	106
五、按常规开挖的储穴·····	109

六、多孔岩层中的天然坑洞储穴.....	114
参考文献.....	119
第四章 天然气的储存.....	124
第一节 地上储存.....	125
第二节 地下储存.....	129
一、地下储存的实际意义.....	130
二、发展简史.....	130
三、地下储存技术用语的定义.....	132
四、储库容量.....	133
五、基本储存作业.....	134
六、溶造盐穴.....	136
七、筒式和管式储器.....	140
八、输送管道储存.....	141
九、改建的矿井.....	142
参考文献.....	142
第五章 液化天然气的储存.....	149
发展简史	149
有关 LNG 早期经验	149
其它进展.....	152
深冷储存的一般注意事项.....	154
第一节 地上储存.....	154
一、平底储罐.....	154
二、规范与标准.....	155
三、建造材料.....	155
四、设计原则.....	157
五、储罐的连接管.....	158
六、基础.....	159
七、罐间距和防火堤.....	160
八、建造与试验.....	160
九、隔热层.....	161

十、交工试运转、清扫和冷却	163
十一、操作与维修	164
十二、球形容器	164
十三、圆筒形压力容器	164
十四、预应力混凝土储罐	165
十五、预应力混凝土储罐的设计类型	167
第二节 地下储存	169
一、预应力混凝土储罐	169
二、近地面冻土储穴	169
三、洞穴储存	170
参考文献	171
第六章 海上储存	176
发展简史	176
一、海上储存设施的类型	177
二、浮式储油设施——边缘油田	179
三、改装的驳船	180
四、固定储存设施	183
五、分立式固定储存设施	183
六、混凝土储罐	186
七、基本设计准则	187
八、综合式钢制或预应力混凝土水下储罐	190
九、半潜式装油浮台储存设施	191
十、深水设施	192
十一、近海地下储存设施	192
参考文献	192
附录 I 原油	196
一、油罐容量的计算公式	196
二、壳体设计	202
三、立式油罐的自流	204
四、固定顶罐的蒸发损耗	205

五、储存罐成本的估算.....	209
六、美国原油储罐容量和库存量.....	213
七、石油储罐的清洗.....	217
附录Ⅱ 成品油	244
一、热油罐.....	244
二、外浮顶油罐的蒸发损耗.....	252
三、转运油库容量的确定.....	261
附录Ⅲ 液化石油气	268
一、溶造盐穴的容量.....	270
二、储穴导管压降的计算.....	271
三、乙烯的储存.....	279
四、石油储罐的清洗.....	283
五、液化石油气设备的设计和建造.....	286
附录Ⅳ 天然气	295
附录Ⅴ 液化天然气	300
一、液化天然气储存设施概念设计总表.....	300
二、储罐建造时的细节设计总表.....	303
三、甲烷的物理常数.....	305

第一章 原油的储存

本章分为两大部分。第一部分论述地上储存，第二部分论述地下储存。原油的主要分配系统是一个起始于井口，而终止于炼制中心的网络系统。很多理由都说明，在原油主要分配系统沿线需要布置一些储存容器。

储存容器主要设置在下列地方：

1. 产油区（矿场油罐）；
2. 输油管道的终点站；
3. 海上转运油库；
4. 大型分配油库；
5. 炼厂。

为了将原油从产地或海上转运油库运送到炼厂，输油管道、油轮、油驳、铁路油罐车和油罐汽车组成了一个输送系统。原油储罐则是这个系统的一个组成部分。

本章包括：原油储存设备的演变过程，油罐的类型、基本结构、设计、检定、计量和运转性能，以及地下储油设施的演变过程和基本结构。

第一节 地上储存

一、油罐的演变过程

1790 年，纳瑟尼尔·凯瑞（Nathaniel Carey）在宾夕法尼亚州梯忒斯维尔（Titusville）附近的泉水中撇取原油，灌入两个容积分别不足 30 加仑的小桶中，然后将小桶放在马背上驮回去，挨门挨户地分发给人们。这种小桶就是最早的储油容器。

1859年8月27日，威廉·埃·史密斯（William A. Smith）——比利大叔（Uncle Billy）和他的两个儿子在宾夕法尼亚州梯忒斯维尔附近钻了德瑞克上校（Colonel Drake）的第一口见油井，从此揭开了石油工业的序幕。随着这一发现而来的则是对石油储存容器的需求。据历史记载，由这口井开采出的原油是盛在一个容积为8桶的鲸油储器中的。从此，木质油罐在油田得到广泛的使用。

《油气杂志》1918年4月4日报导：“1861年亚金（Akin）先生制造了第一个带箍的圆形油罐，安装在梯忒斯维尔南边的金斯兰德（King-Sland）洼地上。油罐底的直径为8英尺（2.44米），弧形壁板高8英尺（2.44米）。

最初，在进行石油贸易时，除了用于油井的普通桶之外，所有盛原油的罐都做成长方的箱形罐。其尺寸是：长4~32英尺（1.22~9.75米），宽4~8英尺（1.22~2.44米），高3~6英尺（0.91~1.83米）。到1861~1862年间才开始使用圆形油罐。起初，圆形油罐的容积很小，容量仅为6~12桶（0.95~1.91米³）。

有时将长方形的箱形罐掩埋起来，以便控制逸漏。当木质油罐得不到及时供应时，利用浅土坑储油也是常见的作法。

由于早期炼厂的产品仅限于煤油和粗制润滑油，所以渗漏和蒸发在当时还不成为问题。可是，木桶和土油池已不能适应原油产量的日益增长这一事实很快就显露出来了。1861年10月，《石油城井架手册》中的一个条目中有这样的记载：“开采的石油之多，已达到无法处理的地步，以致上万桶石油流失到溪流中。在富兰克林（Franklin）下游，河面上飘浮的石油长达数英里。为了限制开采，不得不封堵一些油井。令人担忧的是，如果不采取措施防止这种损失的话，资源很快就会耗尽。”为此，1864年9月，《井架》上报导了：“加夫·哈森公司（Garff Hasson and Company）已经建造了一座容积约为8000桶的

大型铁罐，并打算在宾夕法尼亚州的石油城再建两座同样容积的罐。计划用这些罐装原油，并在罐上覆盖砂砾层顶，以防止火灾和逸漏。”

截止到1873年，共建造了总容量为800,000桶($127,000\text{米}^3$)的铁罐。一般，每个罐的容量为25~35,000桶($3.97\sim5564.6\text{米}^3$)，连接方式为铆接。1913年，甘茨油罐公司(Gantz Tank Company)建造了第一批螺栓连接的钢罐。1918年，美国油罐公司(American Tank Company)用宽约60英寸(1.524米)、高约8英尺(2.44米)的弧形壁板建造了一座钢罐。这些罐就是美国石油学会螺栓连接罐的前身。本世纪二十年代初期，焊接技术得到更多的应用，并且成为焊接罐顶和罐底的标准作法。三十年代初，屏蔽电弧技术的出现使得焊接整个油罐成为可能。从此，油罐在消除蒸发和防止火灾方面得到明显的改善。

在油罐的发展过程中，最重要的是1922年研制的浮顶。这种结构的突出优点是使油罐具有自我调节的能力，不管液体的体积如何变化，罐顶始终与液体保持接触。

继浮顶罐问世之后，又出现了可变气体空间容积的罐。这类设备大约是在1927年开始兴建于炼厂的。将膨胀顶或升降顶油罐的气体空间与若干个固定顶罐的气体空间用管道连接起来，这类罐就可与普通固定顶罐一起使用了。

原油罐的发展最具有持久性的特点是：原油罐总是随着其设计和构造的不断改进而不断变化着。

二、油罐结构

钢质油罐一般是按照其用途分类的。例如生产罐或储存罐。

生产罐是指那些用于采油场上储存油井来油的罐。通常称为“集油罐”或“矿场油罐”。

钢质生产罐的结构有两类，即螺栓连接罐和焊接罐。下列美

国石油学会文件规定了有关的准则；

1. API 规范 12B——储存采出液体的螺栓连接罐规范。
这个规范包括为采油服务的地上立式圆柱形钢质螺栓连接罐的材料、设计和安装要求，其公称容量为 100~10,000 桶（15.9~1590 米³）。

2. API 规范 12 D——储存采出液体的矿场焊接罐规范。
它包括为采油服务的地上立式圆柱形焊接钢油罐的材料、设计建造和安装要求，其公称容量为 500~10,000 桶（79.5~1590 米³）；

3. API 规范 12 F——储存采出液体的工厂焊接罐规范。
这个规范包括为采油服务的地上立式圆柱形工厂焊接钢罐的材料、设计和安装的要求，其公称容量为 90~500 桶；（14.3~79.5 米³）；

4. API 推荐作法 RP 12 R1——关于矿场油罐安装、连接、维护和操作的推荐作法。这是一个新罐组安装的指导性文件。必要时，同样适用于已有罐组的改建。

螺栓连接的生产罐，不一定非得专业安装工人安装，它特别适合于由现有的操作工人在现场快速安装。这种罐便于拆卸而在另一个地方重新安装。

螺栓连接罐的主要构件是“弧形壁板”，这是一种按照油罐直径的要求而弯成的弧形钢板，宽约 5 英尺（1.52 米），高约 8 英尺（2.44 米）。沿着弧形壁板的每一垂直边，冲一行或几行螺栓孔，以便使用螺栓将相邻的弧形壁板连接起来，形成罐壁。沿着每个水平边也冲出螺栓孔，并在距边缘大约 2 英寸（50.8 毫米）处弯成直角，形成“凸边”，以便使用螺栓将弧形壁板与顶、底连接起来。如果油罐的高度大于一层圈板的高度，则“凸边”还可用于与另一圈板的连接。

罐底是由冲有螺栓孔的平板组成的，螺栓孔用于与壁板的连

接。罐顶通常是圆锥形的，其锥度为 1:12。最常见的罐顶支撑方法是使用一根安置在罐底上的中心柱，以及由中心柱伸到罐壁上的一组钢椽子。

螺栓连接罐的全部接缝都要夹衬密封垫，并将其压紧，以防渗漏。表 1-1 给出了典型的油罐容量和通用尺寸。API 规范 12B 还包括一份准予在其按照 API 规范 12B 建造的油罐上使用有 API 拼合文字标记的公司名称清单。

表 1-1 油罐容量和通用尺寸

公称容量 桶 (42 加仑)	设计压力，盎司/英寸 ²		内 径		罐壁高	
	压力	真空度	英尺	英寸	英尺	英寸
100	3	1/2	9	2 ⁸ / ₄	8	1/2
200	3	1/2	9	2 ⁸ / ₄	16	1
300	3	1/2	9	2 ⁸ / ₄	24	1 ¹ / ₂
250	3	1/2	15	4 ⁵ / ₈	8	1/2
高的 500	3	1/2	15	4 ⁵ / ₈	16	1
750	3	1/2	15	4 ⁵ / ₈	24	1 ¹ / ₂
低的 500	2	1/2	21	6 ¹ / ₂	8	1/2
高的 1000	2	1/2	21	6 ¹ / ₂	16	1
1500	2	1/2	21	6 ¹ / ₂	24	1 ¹ / ₂
低的 1000	2	1/2	29	8 ⁵ / ₈	8	1/2
2000	2	1/2	29	8 ⁵ / ₈	16	1
3000	2	1/2	29	8 ⁵ / ₈	24	1 ¹ / ₂
5000	1	1/2	38	7 ⁵ / ₈	24	1 ¹ / ₂
10000	1	1/2	54	11 ³ / ₄	24	2

注：1. 内径是近似尺寸，其值比罐底螺栓孔中心线圆的直径小 2 英寸。

2. 壁高不包括密封垫的厚度。

为了保证在温度变化或进、出油时油罐能正常吸入和呼出，

在每个油罐顶上都装有标准的通风连接管,连接管上装有压力-真空阀。压力-真空阀的尺寸按照 API 标准 2,000 确定。通风的额定设计压力范围是 1~3 盎司/英寸² (430.9~1292.8 帕) 正压到 0.5 盎司/英寸² (215.5 帕) 真空度之间。通常,在最大进油流量下,对于闪点低于 100°F (37.8°C) 的油品向罐内每输入 100 桶 (15.9 米³) 油,同期将呼出 1,200 标准英尺³ (34.0 标米³) 气体;对于闪点等于或高于 100°F 的油品,向罐内每输入 100 桶油,同期将呼出 600 标准英尺³ (17.0 标米³) 气体。在最大发油流量下,从罐内每抽出 100 桶油 (15.9 米³),同期将吸入 600 标准英尺³ (17.0 标米³) 空气。

取样口的通风量可按下式计算:

$$Q = 1667 C_f A \sqrt{P_i - P_a}$$

式中 Q ——通风量,标准英尺³/时;

C_f ——流量系数, $C_f = 0.5$;

A ——取样口的面积,英寸²;

P_i ——罐内绝对压力,英寸水柱高;

P_a ——罐外绝对压力,英寸水柱高。

三、全焊接矿场生产罐

这种生产罐的各种尺寸和钢板厚度,均与螺栓连接罐一一对应,但其连接方式采用焊接。容量较小的全焊接生产罐可以全部在工厂制造,容量较大的罐则必须在现场安装。全焊接罐与螺栓连接罐在安装上的主要区别是前者必须由训练有素的焊接工人来实施安装作业。

由于焊接罐不是采用加垫片的密封方法,所以它几乎不渗漏。焊接生产罐的罐壁采用矩形壁板。罐壁的圈高接近于钢板的宽度。底板是由轧钢厂生产的矩形板按照组件的需要用气割枪切割成型的。这种作法同样适用于顶板的安装。罐顶的支承方法与螺栓罐完全相同,只是全部接缝都采用焊接。壁板和顶板的