

绕丝预应力油罐 设计与施工

徐至钧

中国建筑工业出版社

TE972

7

2

绕丝预应力油罐 设计与施工

徐至钧

16/4/58



中国建筑工业出版社

B084284

本书系统地介绍绕丝预应力油罐的选址、勘测、设计、施工、防渗及观测试验等内容，着重叙述这类油罐的实用设计方法和施工技术。书中并附有设计计算例题和供设计时查用的表格数据。

本书可供从事油罐建设、设计和施工的工程技术人员和大专院校有关专业师生阅读参考。

绕丝预应力油罐设计与施工

徐 至 钧

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：9¹/₂ 字数：255 千字

1984年1月第一版 1984年1月第一次印刷

印数：1— 3,800册 定价：1.20元

统一书号：15040·4575

前 言

绕丝预应力工艺是连续张拉高强钢丝的一种新工艺。这种预应力工艺，不仅应用在油罐上，而且也可以应用在圆形水池、煤气柜的水封槽或其它贮仓类的圆形构筑物上。

这次编书工作，是在1975年参加绕丝预应力混凝土油罐总结的基础上，并参加了15000立方米油罐的设计，同时在现场对圆形油罐的原型进行实测工作之后进行的。本书主要介绍地下式或半地下式绕丝预应力混凝土油罐的设计、施工、绕丝机等知识，并编有计算实例及计算表格等，可供设计、科研、施工、教学等单位的工程技术人员参考使用。

在编书过程中得到石油部规划设计总院杨保生同志，大庆油田设计研究院张万昌同志，上海炼油厂王竹三同志，南京石油化工总厂陈恭轼同志，湖北给排水设计院燕君穆同志，湖南湘潭工程公司第三工程处吴启楣同志，以及石油部北京炼油设计院、石油部第二炼油设计研究院、上海市第三建筑公司、山东省建筑科学研究所、冶金部建筑研究总院和贵阳铝镁设计院等单位的大力协助，谨在此表示感谢。

书中涉及的问题较广，作者水平有限，误谬之处在所难免，希望读者给以帮助和指正。

徐至钧

1980年12月

目 录

第一章 概述	1
第二章 油罐罐址勘测与总体布置	6
一、罐址查勘	6
二、地基勘察	8
三、油罐的总平面布置	9
四、油罐设计要求	13
第三章 油罐设计与计算	20
一、顶盖设计与计算	20
1. 荷载	20
2. 环形柱网梁板式平顶盖	20
3. 无梁顶盖	34
4. 顶盖的其他构造要求	43
二、壁板设计与计算	44
1. 油罐壁板的荷载与内力	46
2. 油罐壁板的刚性特征	49
3. 不同荷载作用下的罐壁计算	52
4. 罐壁的简捷计算	53
5. 罐壁在温度荷载作用下的内力计算与防裂措施	58
6. 罐壁绕丝预应力的计算	76
7. 地震力计算与抗震措施	81
三、底板设计与计算	85
1. 按构造设计	89
2. 按混合法计算	89
3. 按弹性地基计算	89
四、计算实例	92
第四章 预应力绕丝机	115
一、预应力绕丝机的构造	115
二、预应力绕丝机的工作原理	122

三、预应力绕丝机的主要性能	124
四、绕丝机安装及操作规程	124
五、绕丝机的辅助设备	127
第五章 油罐的施工	130
一、材料	130
二、开挖基坑	136
三、底板与环槽施工	139
四、构件制作	141
五、罐壁滑模施工	144
六、构件吊装	147
七、壁板及环槽灌缝	150
八、预应力绕丝	155
九、油罐试水	161
十、喷浆	162
十一、顶盖防水层施工	164
十二、覆土	164
十三、油罐质量检验	165
十四、油罐渗漏的修补	165
第六章 油罐的防渗措施	170
一、抹面防渗	170
二、涂料防渗	173
三、贴面防渗	179
第七章 圆形油罐的原型观测	185
一、油罐温度实测	185
二、预应力绕丝荷载作用下罐壁的变形	190
三、罐壁填土压力实测	192
四、油罐试水时壁板应力实测	194
五、油罐地基变形观测	195
第八章 油罐的技术经济分析	199
附录	205
附表 1~附表23 罐壁内力计算表	205
附表 24 罐壁温度计算K值表	297
参考文献	298

第一章 概 述

油罐，是贮存油品的主要容器。在现代化的油田开发和炼油厂、贮备或转运油品站、库的建设中，它是不可缺少的构筑物之一。

过去，在油田和炼油厂中油罐采用钢结构的较多。采用钢油罐不但消耗钢材多，而且使用寿命短、维护费用大，又不宜埋在地下。随着石油化学工业的发展，需要新建大量储存油品的容器。于是，从一九七五年开始，我国推广使用了非金属油罐，主要是绕丝预应力混凝土油罐，并对这种油罐的结构和防渗材料进行了大量的试验研究工作，取得了很多宝贵的经验。目前，在全国各地先后建造了这种类型的油罐，数以百计，容量从1000米³至15000米³，供贮存原油、重油和轻油，应用比较广泛。

绕丝预应力混凝土油罐（以下简称“油罐”）是指主要构件全部采用钢筋混凝土来建造，而壁板外侧缠绕高强度钢丝的油罐。缠绕高强度钢丝的结果，使罐壁产生一定的环向预应力和纵向弯矩，从而减少了壁板受力，克服了普通钢筋混凝土抗裂性和抗渗性差的缺点，达到节省材料，满足生产使用的目的。此外，这种油罐可埋在地下，覆土后罐内温度变化小，油品蒸发损耗也比钢油罐小，使用期间的维修费用也低。

根据预应力钢丝连续张拉的特点，绕丝预应力混凝土油罐必须采用圆形结构。这种油罐根据顶盖的不同结构又可分以下几种型式：

1. 梁板式平顶盖油罐。这一类型的油罐顶盖又分两种。一种是目前国内应用最广泛的环形柱网梁板式平顶盖，它由预制扇形板、圆弧梁、中心圆板和柱四部分组成（见图1-1a）。采用这种

顶盖，虽然环形圆弧梁的制作比较麻烦，但顶盖的构件类型少，安装比较方便。还有一种是方形或矩形柱网顶盖（见图1-1b），这种顶盖中间部分的构件较单一，但由于增加很多边缘异型构件，所以目前较少采用。

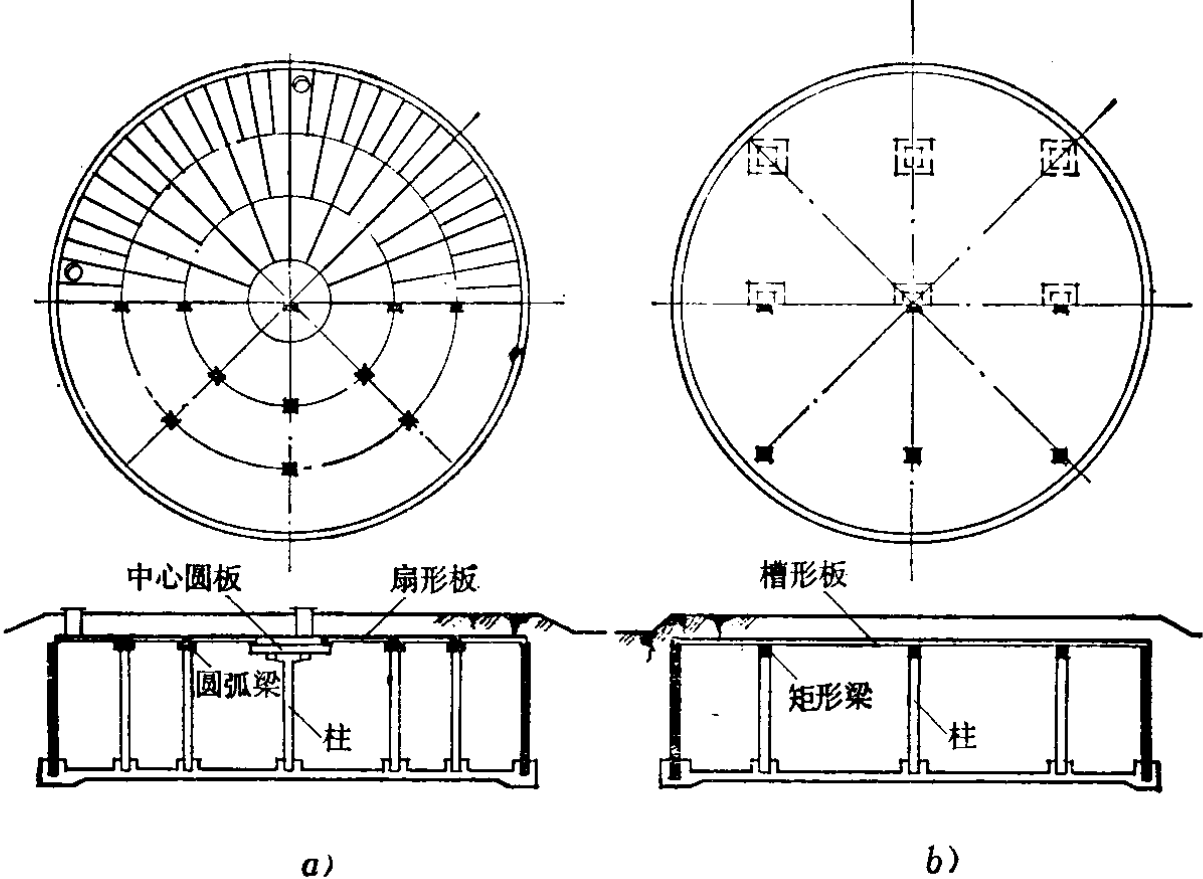


图 1-1 梁板式平顶盖油罐
a) 环形柱网顶盖； b) 方形柱网顶盖

图1-2为建在我国南方的梁板式平顶盖半地下油罐，容量为15000米³，直径49.8米，壁高8米，壁厚22厘米。罐底板为S₈级防渗钢筋混凝土，厚20厘米。顶盖为预制圆弧梁、扇形板。顶盖覆土厚20厘米。该油罐作为贮存原油用，折算每立方米容量所用钢材8公斤；水泥35公斤；木材0.006米³；造价29元。

2. 无梁顶盖油罐。这种油罐的顶盖没有主梁和次梁，而采用等厚度平板直接支承在正方形布置的柱网上（见图1-3），柱的上端放大形成柱帽，用以作为板的支座。当油罐顶盖柱网跨度为5~6米，有效荷载为500公斤/米²以上时，采用无梁顶盖比梁板式平顶盖经济。过去在油罐上使用无梁顶盖，一般都为现场捣

制，因模板消耗较大，所以没有普遍推广采用。近几年有的单位已在直径30米的油罐上采用了预制装配式的无梁顶盖，构件简单，经济效果较好，可以在今后的油罐设计中推广使用。

3.薄壳顶盖油罐。这种油罐采用薄壳顶盖，结构材料省，罐内无支柱，对消防和清罐有利，但施工较麻烦，现浇壳顶用的模板消耗大，而罐顶上又不宜覆土，壳顶下面的空间又不能充分利用来贮存油品，因此油品的损耗也大。为了进一步研

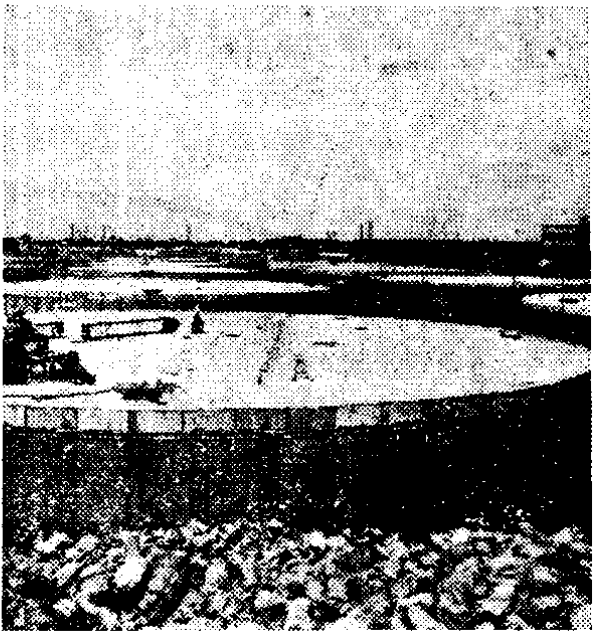


图 1-2 15000米³梁板式平顶盖油罐

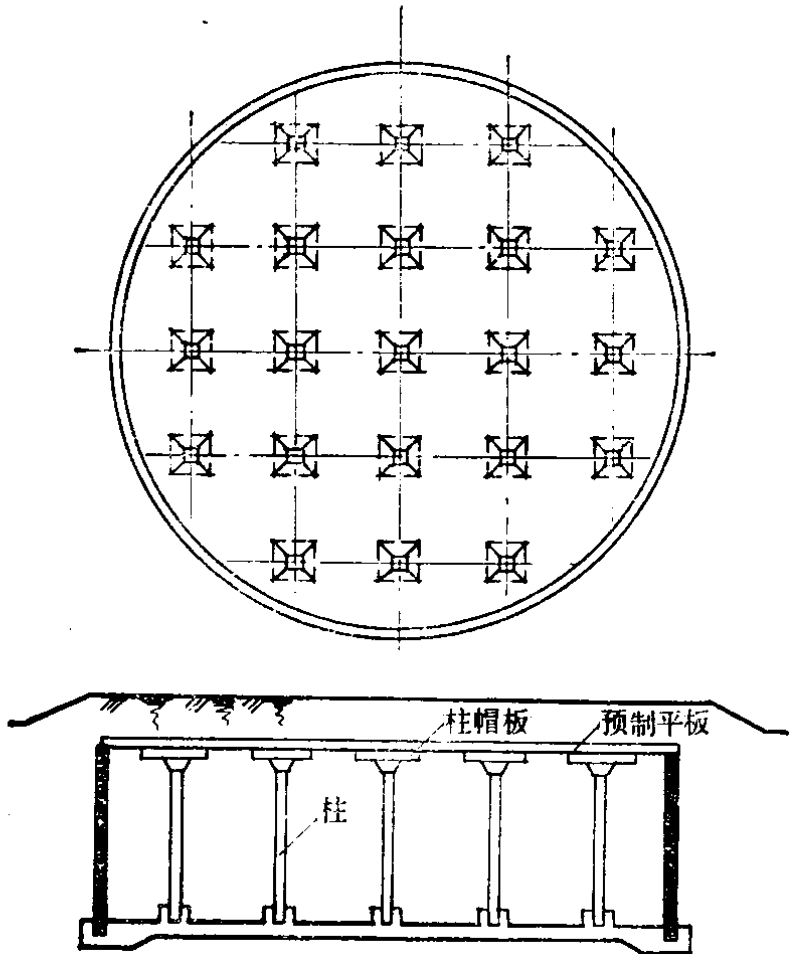


图 1-3 无梁顶盖油罐

究薄壳顶盖的合理形式，近年来，有的单位设计采用无脚手装配式球壳顶盖的油罐（见图1-4），容量为 15000米³。它用轻巧的 A 字架拼接，采用无脚手方法施工，节省了大量材料和人力，加快了施工速度，为油罐顶盖推广薄壳结构，积累了一定的实践经验。

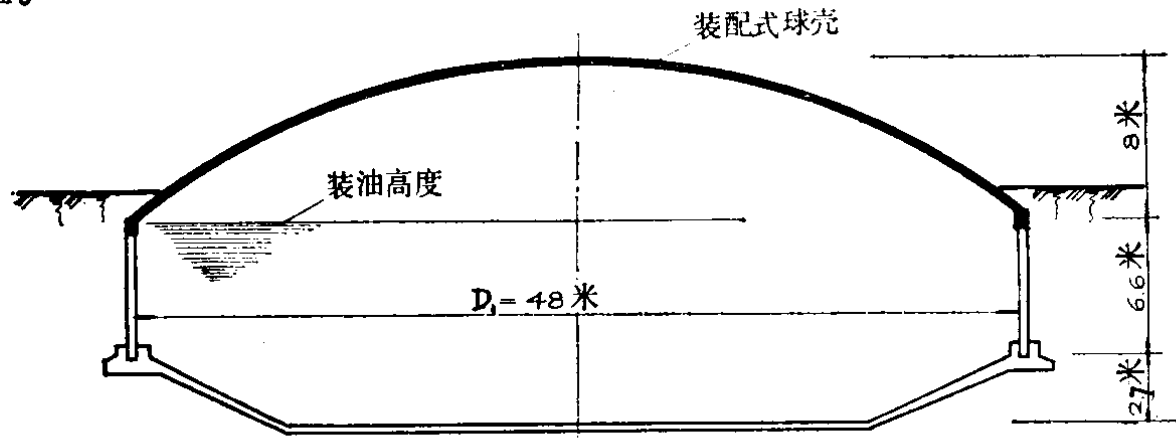


图 1-4 装配式球壳顶盖油罐

4.浮顶顶盖油罐。这种油罐的顶盖为浮船式，能随进油而浮升，卸油而降落。其优点是由于罐顶没有气体空间，可以减少由于油罐大小“呼吸”所造成的油品损失。这种油罐采用全钢结构时耗钢量较大,例如,一个20000米³容量的地上浮顶钢油罐，耗用钢材达460多吨，相当于同容量的钢筋混凝土半地下式油罐用钢量的2.5倍。而浮顶式钢筋混凝土半地下油罐（见图1-5），除顶盖仍采用钢结构外，壁板和底板均采用钢筋混凝土结构，用钢量可减少。以一个同样容量的10000米³钢油罐相比，可节约钢材80

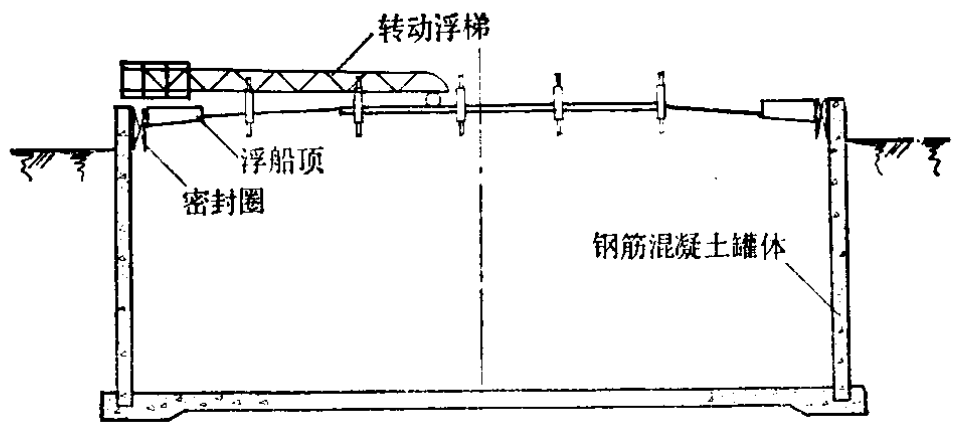


图 1-5 浮顶式钢筋混凝土油罐

多吨，投资15%。这种油罐的施工要求较高，壁板垂直度的偏差不能太大，否则会影响浮船式顶盖的升降。

综上所述，绕丝预应力混凝土油罐是近几年来在我国发展起来的新型贮油结构，就已经投产使用的情况来看，效果良好。推广使用这种油罐，在我国四化建设中，具有重要的技术经济意义。

第二章 油罐罐址勘测与总体布置

设计油罐时，首先要解决的是油罐的选址和总体布置问题。为此，需要综合考虑多种因素，例如地形、地质、水文、贮库的战略分布和合宜的民用经济布局、与生产厂的联系、产品的流向以及进出油品的运输条件等。油罐的选址及总体布置是否合理，对于施工、使用、经济等都有很大的影响。下面提出有关罐址查勘、地基勘测和油罐设计的一般原则及油罐的总平面布置等方面的要求，可供参考。

一、罐址查勘

选择油罐罐址，必须充分利用天然地形，根据经济与安全的原则，并应注意如下几个问题：

（1）为了确保油罐的质量，罐址应尽可能选择在土质较好，地下水位较低，土质均匀坚实的地方。

对于地下或半地下油罐，一般来说，由于挖去土重后再建油罐，因而地基上增加的负荷不大，对地基土的容许承载力要求不高，一般地区的地基强度均能满足建罐的要求。但绕丝预应力混凝土油罐特别是大直径的油罐对地基不均匀沉降比较敏感，一定要重视土层的不均匀性。在岩石上建罐时，要求对岩石的性质、走向、倾角、裂隙节理的发育程度、断层等做充分了解。不应把罐建在断层、崩塌、滑坡、溶洞和受腐蚀介质侵入会风化的岩层上。

（2）选择罐址时，首先要对地貌形态进行分析，并考虑天然隐蔽要求。在山区，罐址宜选择在山沟里或靠山脚处，在总图布置上应尽量利用原有地形、地貌形成的自然隐蔽屏障，做到依山就势，因地制宜，图2-1是这种布置的一个示例。但若过分强

调隐蔽，把罐址选在交通不便、沟道狭窄之处，这也是不合理的。

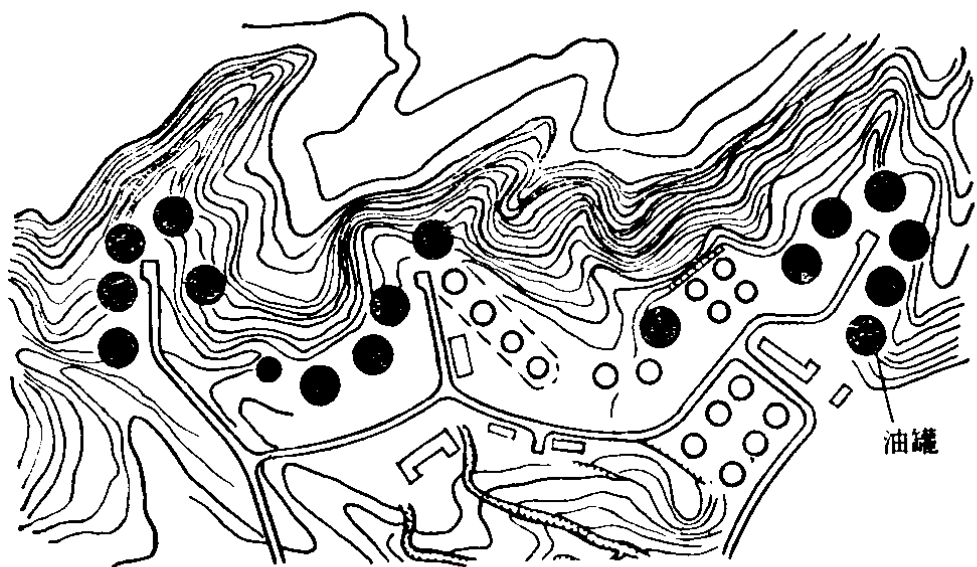


图 2-1 利用山坡地形布置的油罐区

（3）选定罐址时，要考虑生产时的总体布置，使罐址尽可能接近生产装置或水运码头、陆运装卸站台，以免管线输送太远，管理、检修不便，油品损失，蒸汽消耗增大，造成不经济。还要考虑施工的总体布置，如运土道路、对外交通、材料堆场等。

（4）不占或少占良田，罐址应选在劣地、山地、荒坡中，要尽量少占耕地，不能将罐址选在良田上或罐区内有农居的地方以及紧靠居民点的上风向位置。

（5）罐区要靠近水、电、汽源。水源要可靠，最好有地下水与地表水这两种水源，因地下水水质好、水温低、处理费用小，有利生产。取水点应靠近罐区，两者间高差不宜太大。电源离罐区一般以不超过 6 公里为宜，如线路过长，会增大基建费用和线路电压降损失。

（6）不受洪水影响，一般来说，罐区场地应位于洪水线以上。在山区，当要利用山沟和山脚下沟边坡地布置油罐时，设计中必须作好防排洪处理。在罐址查勘时，就应做好山洪调查和防排洪设计资料的收集工作。

(7) 分期建设油罐区时, 必须全面考虑初期建罐在生产和技术经济上的合理性, 尽量紧凑布置初期工程项目, 减少初期用地。同时, 应为后期建罐创造良好的施工条件, 尽量避免后期施工对生产的影响。

二、地基勘察

修建油罐时, 除了首先应摸清它的地质条件、成因外, 还须通过勘探查明地基土的分布范围、厚度及其物理力学性质。地基勘察工作可分二个阶段进行, 即初步设计阶段的勘察和施工图设计阶段的补充勘察。前者以肯定罐区场地土的稳定性, 选择合宜的地段、良好的土层为主要目的, 同时提供这些地段地基土质特性指标, 对场地的工程地质条件进行评述。后者主要在地质条件复杂或有特殊需要时才进行。勘察方法一般有挖探坑、钻探、载荷试验和土工试验等。

用钻机钻探时, 一般要求一个油罐至少有二个钻孔; 大容量的油罐 (容量大于5000米³油罐), 钻孔数应不少于3~4个。钻孔深度应根据土层的分布, 以满足油罐地基变形计算的要求为原则。一般钻孔最大深度应达到地基压缩层的下限, 如压缩层厚度内出现硬土层时, 可钻到硬土层止。但油罐的压缩层深度, 与土层的分布、土的性质、基础形状及基底附加压力大小等因素有关, 目前还没有一个合理的计算方法。因此, 钻孔深度可暂按油罐的大小参考表2-1采用。

油罐地基钻孔深度和钻孔数量表 表 2-1

油罐容量 (米 ³)	钻孔深度 (米)	每个油罐钻孔数量(个)
≤5000	10	2
5000~20000	10~20	3~4

油罐地基的土工试验, 根据不同的土质确定不同的项目;

对砂性土: 主要进行容重、颗粒组成、相对密度、天然含水量和孔隙比的试验。

对粘性土：主要进行容重、孔隙比、流塑限、内摩擦角和粘聚力的试验。

对地下油罐来说，试验确定土的抗剪强度指标比较重要。剪切试验的方法，则应根据工程性质、施工方法、地质条件等来选用。目前大多数勘察单位采用应变式直剪仪作快固结快剪或固结快剪试验，并按峰值的70~80%结合经验进行修正，定出内摩擦角 φ 和凝聚力 c 值，也能取得较好的效果。如条件可能，最好用三轴仪作三轴不排水快剪试验，来确定土的抗剪强度。

在设计油罐底板及计算罐基变形时，往往需要首先确定土的压缩模量 E_s 。由于油罐内装油荷载占总荷载的70~80%，因此在地基变形计算中，采用压缩模量 E_s 比采用弹性模量更合适。土的压缩模量虽可通过室内试验确定，但在取土样的过程中往往使土的天然结构和含水量受到扰动，并且压缩试验也是在有侧向限制的条件进行的，这都不符合实际情况。所以，用载荷试验直接在现场确定土的压缩性和测定压缩模量 E_s ，更符合实际。由于油罐直径较大，载荷试验的承压板尺寸一般宜取1米×1米的较大尺寸。

实践证明，在油罐地基勘察中，采用小麻花钻进行钻探也是很有用的。地下或半地下油罐的特点是直径较大，而地基承受的附加压力并不大，为此查明油罐地基内土层的均匀性是主要的，采用小麻花钻钻探就能方便地达到这个目的。而对含有砾石或大块石的土，用小麻花钻无法钻进时，则可采用坑探方法查明地层构造和地质情况。

三、油罐的总平面布置

石油炼厂中的油罐贮量大，罐数多，占地比率高，一般250万吨/年的燃料型炼油厂，油罐区占地达30~40%，而从罐中又经常要散发出易燃、易爆油气，因此在总平面布置上的首要问题是防火、防爆问题。油气是通过“小呼吸”和“大呼吸”散发出来的。油罐内贮存原油或轻油，都含有大量容易蒸发的碳氢化合物。当周围环境温度升高和阳光照射时，油品蒸发的强度不断增大，这些蒸发出来的油气与空气混合在一起，通过呼吸阀排逸到

大气中去。当温度降低时，油气冷凝，体积缩小，罐内形成真空，于是罐外的新鲜空气吸入罐内的气体空间。这个过程叫“小呼吸”。当油罐装油或排放时，油气排逸或新鲜空气被吸入就更加剧烈，称为“大呼吸”。这两种“呼吸”不仅造成油品的大量损失（以一个5000米³钢油罐为例，每年由于小“呼吸”损失油品约54米³；以周转率50次/年统计，由于大“呼吸”损失油品约168米³，总的油品损耗每年约190吨。采用地下或半地下非金属油罐后，由于顶盖覆土和壁板填土的作用，一般可降低损耗1/3），而且这些挥发出来的易燃和可燃气体，往往容易引起火灾，其特点是燃速快、火势猛，威力大，还有爆炸的危险。因此在设计和布置这类油罐时，为确保安全生产，一定要考虑合理的防火间距。同时，罐区宜布置在火源的下风侧。在山坡处不宜布置在火源的上坡地带或人员密集场所的上坡处。要力求远离火源。要与道路运输频繁地段隔开。要设在外来人员经常往来的地区之外。

原油及成品罐区应尽可能布置在厂区边沿，这样既有利于安全，又能使罐区扩建时有可能连成一片而不致分散。中间罐区则应靠近生产装置，但应有适当的距离。当地形有较大的起伏时，罐区宜布置在工厂或居民区及其他重要建筑物的低处，以免油品溢出或油气在低处积聚造成危害。若为了方便操作、节省用地和动力，而将油罐区设在生产装置附近的高处，则应设可靠的防火堤，防止油品溢流，或把油罐区与生产装置布置在排洪沟的两侧。

关于地下和半地下非金属油罐的防火间距，现提出以下几点意见：

（1）经过大量的调查研究，认为建筑设计防火规范（TJ 16—74）规定的地下和半地下油罐的防火间距偏大，不利于节约用地。我们认为地下和半地下油罐起火后对周围建筑物或邻近油罐的影响范围，要比地上油罐小，其防火间距按照确保消防所需要的最小距离来确定，是比较合适的。

为此，提出易燃、可燃液体的地下和半地下油罐之间的防火

间距，如表2-2所示。

（2）关于罐组的划分。为了把油罐火灾限制在一定范围内，使之不能扩大，罐区一定要分组。一般组内油罐的布置不超过两排，大罐组必须设有环形道路，小罐组至少两对边有消防道路。考虑到目前我国地下油罐的单罐容积已达2万米³，因此，小罐组容积应以等于或小于我国最大的单罐容积即≤2万米³为宜。大罐组主要考虑两个2万米³罐可为一组，其容积以不超过4万米³为宜。建议易燃、可燃液体油罐的罐组划分，如表2-3所示。

地下、半地下油罐之间的防火间距 表 2-2

名称及容量	防火间距（米）	
	半地下油罐	地下油罐
易燃液体	≤5000米 ³	5
	>5000米 ³	10
可燃液体	≤5000米 ³	5
	>5000米 ³	8

注：1.地下油罐——罐内最高液面低于附近地面最低标高0.2米者。
半地下油罐——罐底埋入地下深度不小于罐高的一半，且罐内的液体面不高于附近地面最低标高2米者。
2.容量1000米³及以下的油罐，不论是贮存易燃液体或可燃液体，其防火间距都不应小于4米。

地下、半地下油罐成组布置的限量 表 2-3

名称		单罐最大贮量 (米 ³)	一组最大贮量 (米 ³)
易燃液体		5000	10000
可燃液体	闪点≤65℃	5000	20000
	闪点>65℃	20000	40000

（3）关于贮罐内油品闪点的划分。液体挥发出的蒸汽与空气形成混合物遇火源能够闪燃的最低温度叫闪点。闪点是区别油品火灾危险性的主要指标之一。低闪点的油品着火的可能性较大，