

高塔基础 设计与计算

徐至钧
陈欢强
余先声 著
徐静娟
曾富宝



轻工业出版社

高塔基础设计与计算

徐至钧 陈欢强 曾富宝 著
余先声 徐静娟

2005.10

烓 加

出



社

内 容 提 要

本书作者从我国实际出发,在大量实测数据的基础上,分析了高塔基础的荷载、材料和构造;详细阐述了各种基础结构形式的设计方法;每一种基础形式都有计算实例。

本书对象为炼油厂、化工厂和石油化工厂的土建技术人员,以及从事石油、化工工程建设的工程师,亦可供高等院校师生参考。

高塔基础设计与计算

徐至钧 陈欢强 曾富宝 著
余先声 徐静娟

轻工业出版社出版
振南印刷厂排版
北京海丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 18³/₄印张 6插页 498千字 印1—3,450
1986年12月北京第1版,1986年12月北京第1次印刷
书号: 15391·30 定价: 4.20元

前 言

塔型设备是石油和化工厂中量多面广的设备，如炼油厂中的蒸发塔、稳定塔和反应器等；化工厂中的精馏塔、脱吸塔和合成塔等。这些塔设备在生产过程中，起着传送介质、分离物料和精制反应的作用，所以在石油和化工生产中，塔设备是一种关键的设备。

塔设备的基础是支承塔设备的特种构筑物，其型式多种多样，分为柱型、圆筒型、框架支承型等；支承塔设备的高度从1~2米到60~70米，它对保证塔设备的正常工作和安全生产具有十分重要的作用。

塔设备的主要特点是：体型高，长细比大，荷载重，特别是塔身承受的风和地震侧向荷载较大，基础受力复杂，这就要求塔基础的设计必须安全可靠。同时，由于塔设备基础在炼油和化工厂中所占的比重较大，设计必须力求经济合理。因此，不断总结和探索，努力提高塔基础的设计水平，对加速发展我国石油、化工事业，是一项具有现实意义的工作。

近几年来，为了发展我国的石油化学工业，全国各地自行设计和引进了一批大型石油、化工厂，广大工程技术人员结合设计工作，积极对塔基础的设计理论和施工方法进行了一些研究和总结，并取得了许多成果和经验。但国内至今还没有一本系统阐述塔基础设计与计算的书籍。本书旨在满足工程技术人员的要求，促进技术交流，进一步推动塔基础设计的理论研究。

该书的主要特点是：

1. 比较全面系统地阐述了各类塔基础的设计和计算原则，对塔基础的现状和发展作了简要概述，可以从中了解到塔基础的发展水平和动向。

2. 比较具体地论述、分析和推导了各类塔基础计算原理与公式, 并编制了一些计算表格, 可满足设计简捷计算的要求。

3. 为了适应电子计算在塔基础设计中的应用, 除了介绍常规的结构计算外, 还介绍了矩阵位移法、算法语言程序及适用于塔基础计算的源程序。

4. 随着科学技术的发展, 对塔的风荷载、塔的动力特性、基础的沉降和倾斜等进行了大量的实测和分析, 并力所能及地将某些领域的近代理论与新的计算方法紧密结合起来, 加以总结提高。

本书由中国石化总公司长岭炼油厂设计处徐至钧总编, 化工部第四设计院余先声、中国石化总公司北京炼油设计院徐静娟、深圳大学陈欢强、及苏州环境保护学院曾富宝等同志参加本书的编写工作, 并请蒋津、何尚远、毕平章、倪继森等同志审阅。

在编写工作中得到中国石化总公司规划设计院、中国石化总公司北京炼油设计院、中国石化总公司洛阳设计研究院以及陈世华、付子智、化工部第一设计院陈言、徐家骏、张荣山、金陵石化公司刘振奎、化工部建筑设计技术中站张大德、南京炼油厂陈恭轼、上海炼油厂王竹三、岳阳石油化工总厂设计院田良诚、李正中、上海医药设计院林金六、上海石油化工总厂设计院张林熙、北京燕山石化公司设计院孙曾钰、毛耀庭、齐鲁石油化工公司炼油厂李吉元、以及天津石油化工公司柳耀国等同志的大力协助和支持, 并对本书提出宝贵建议, 谨此一并表示感谢。由于我们的水平有限, 书中难免有欠妥之处, 敬请读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 塔设备的用途及其构造	2
第二节 塔基础的类型	3
第三节 塔基础的设计原则	12
第四节 塔基础的技术经济分析	13
第五节 塔基础的现状与发展	14
第二章 塔基础的荷载	27
第一节 荷载的分类	27
第二节 荷载组合	28
第三节 各类荷载的计算数据	30
第四节 风荷载	33
第五节 塔设备的动力特性	66
第六节 地震荷载	97
第三章 柱型及圆筒型塔基础	110
第一节 柱型塔基础设计	111
第二节 圆筒型塔基础设计	148
第三节 圆柱型及圆筒型基础电算程序	175
第四章 构架式塔基础	177
第一节 环形构架式塔基础设计	177
第二节 框架支承式塔基础设计	219
第三节 大板构架式塔基础设计	240
第四节 构架式塔基础的电算程序	253
第五章 联合基础	254
第一节 筏板基础基底反力实测	255

第二节	刚性板的计算·····	264
第三节	弹性地基上板的计算·····	268
第四节	十字交叉条形基础计算·····	303
第五节	弹性地基板的联合基础电算分析·····	316
第六章	构造设计·····	332
第一节	材料及一般构造要求·····	332
第二节	柱型及圆筒型塔基础构造·····	355
第三节	构架式塔基础的构造·····	361
第四节	联合基础的构造·····	373
第五节	塔基础加固·····	378
第七章	地基计算·····	394
第一节	地基的容许承载力·····	395
第二节	地基内的附加压力·····	411
第三节	地基容许变形值的确定·····	423
第四节	桩基础·····	441
第八章	计算实例·····	477
第一节	丙烯分馏塔基础计算(柱式基础)·····	477
第二节	减压塔基础计算(环形构架式基础)·····	487
第三节	催化剂贮罐基础计算(按平面框架及空间 框架计算框架式塔基础)·····	499
第四节	催化裂化再生器基础计算(多层框架式塔 基础)·····	520
第五节	芳烃抽提苯塔基础计算(筏板式联合塔基 础)·····	535
第六节	氧化塔、冷却器基础计算(桩基联合基 础)·····	541
附录 I	圆形、圆环形、外切八边形、内切八边形、 外切六边形底板的力学特性表·····	552
附录 II	落地塔、框架塔振动特性实测一览表·····	564
	参考文献·····	591

第一章 概 述

高耸林立的塔群，常常被当作石油、化工厂的象征。这不仅因为塔设备的结构引人注目，也表明了塔设备在石油、化工厂生产中的重要地位（见图1-1）。

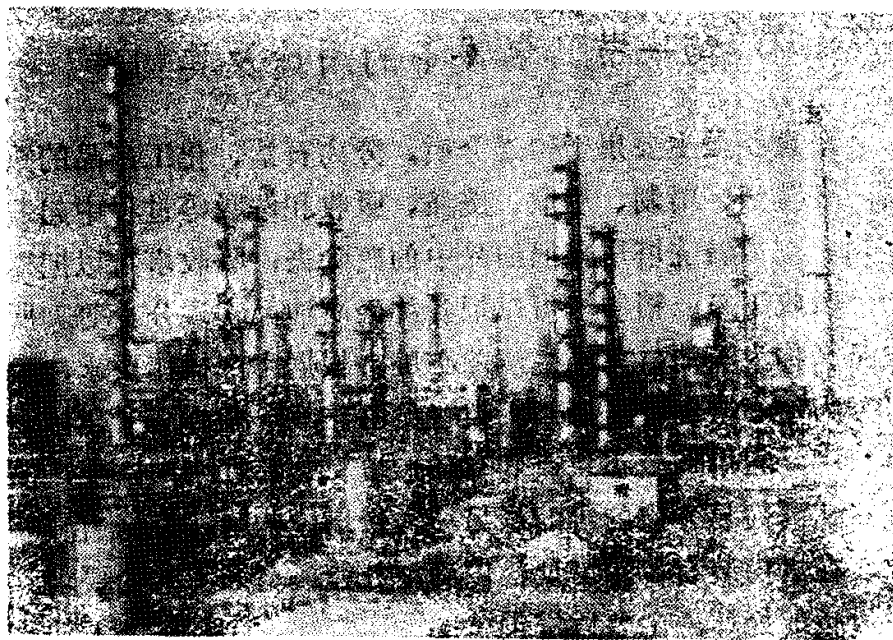


图 1-1 化工厂中高耸林立的塔群

塔设备的应用范围很广，除了石油、化工应用以外，其他如冶金、食品、医药、建材、轻工等工业中，塔设备应用也很广泛。

据统计，在整个工程项目的投资中，塔设备所占的比重，在石油炼厂中约占全厂投资的15~25%；在化工厂中约占22%；在化肥厂中约占15%。对于一个生产车间（或装置），塔设备所占的比重就更大。以一个年产250万吨的减压蒸馏装置为例，塔设

备占设备总投资的30%；在苯精馏装置中竟高达70%左右。正因为塔设备是一种量大面广的设备，它不仅对工程建设、而且对产品的产量、质量和成本都有着重要的影响，因而引起各部门极大的关注。

塔设备由塔设备本体、塔设备上附属构筑物（如操作平台、栏杆、梯子或管线等）、基础这三部分组成。塔设备的基础支承塔设备的全部荷载（包括垂直荷载、水平荷载等），所以塔基础的设计就特别重要，要求达到坚固、适用、经济和合理。

第一节 塔设备的用途及其构造

塔设备是主要用于传送介质，分离石油、化工产品的重要容器，在蒸馏、精制、萃取、洗涤、吸收和解吸等过程中起着重要作用。例如碱洗塔用来把油品中的硫除去；吸收塔可以把需要的产品吸收下来；精制塔可以把各种轻质油品实现分离等。所以塔设备又称为石油、化工生产的“心脏”。根据生产操作要求，塔设备可分为空心塔和带塔板两大类（见图1-2）。空心塔又包括一部分填料塔，它用陶瓷小块或其它环形填料装满在塔内，使产品经过填料达到简易分馏的目的；另一类带塔盘的塔，根据生产的要求，在塔内装有多层塔盘，以满足分馏或精馏工艺的要求。衡量塔设备的好坏，主要以塔设备的效率来评价。根据某石油化工厂的统计，在124个塔设备中，有47个是空心塔（或填料塔），占全厂塔设备的38%，有77个是带塔盘的塔设备，占塔设备总数的62%，上述统计说明，在石油、化工厂中带塔盘的塔设备占多数。

塔设备有下列主要部分组成（见图1-3）：

炼油厂的再生器、沉降器和焦炭塔以及化肥厂中的造粒塔等，由于生产操作和荷载、防腐有些特殊要求而有专门的技术规定。除此以外，其他各类塔设备的基础设计，均在本书的应用范围内。

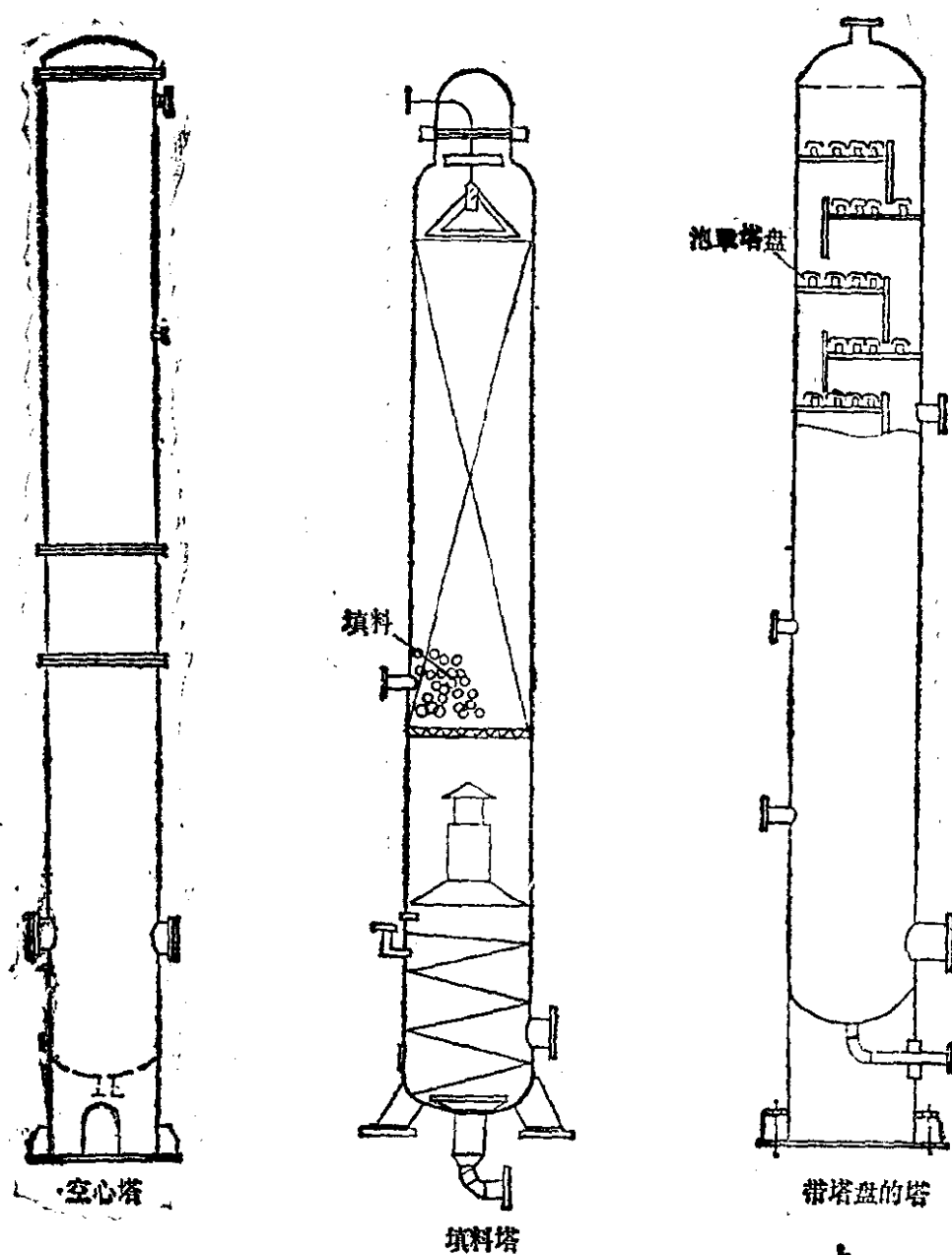
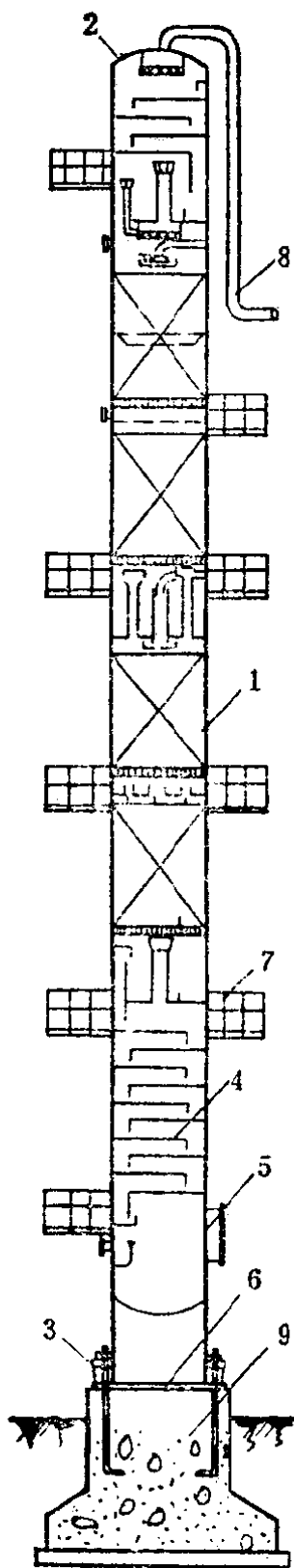


图 1-2 塔设备类型

第二节 塔基础的类型

塔设备基础的类型,同上部塔设备的结构、生产操作要求、塔的直径大小和塔设备安装高度、基础上部的荷重大小与偏心,以



及地基好坏和土层的构造都直接有关。一般塔基础的类型，既可按结构形式和受力特点来分，也可按基础形状分。若按地基来分，又可分为天然地基和人工地基两类。但分类的目的，是为了更好地了解各种类型基础的特点及其适用范围，以便在塔基础设计时合理地选择基础的类型。

一、按塔基础结构形式分类

可分为柱式基础、圆筒式基础、圆形构架式基础和框架支承式基础等。

1. 柱式基础（见图1-4）

柱式基础应用于直径较小的塔设备，直径一般为0.6~1.6米。基础露出地面高度较低，一般在0.5~1.5米时，采用混凝土或毛石混凝土基础。如塔很高、荷载

图 1-3 塔设备外形图

1—筒体；2—封头；3—裙座（或叫塔裙）；4—塔盘（按其结构可分为泡帽形、“S”形、舌形、浮阀和浮动喷射形等多种）；5—人孔；6—基础环（用环形钢板和筋板加强在塔设备上，并用一定数量的地脚螺栓将其固定在基础或构架上）；7—操作平台（包括钢直梯或斜梯和栏杆）；8—连接管线；9—基础（包括柱型、圆筒型、圆环型构架、矩型框架和多层框架等）

大、地基的承载力又低，则基础也可作成钢筋混凝土的柱式基础。

2. 圆筒式基础（见图1-5）

当塔设备底座直径大于1.6米~3.0米，而基础露出地面高度

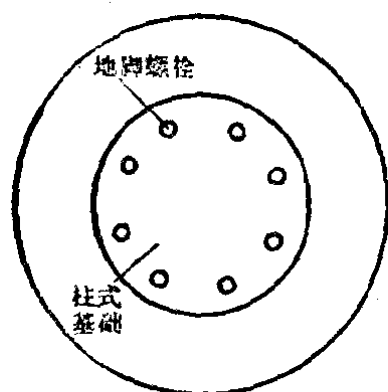
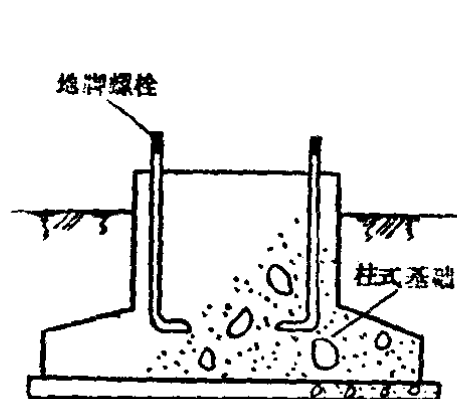


图 1-4 柱式塔基础

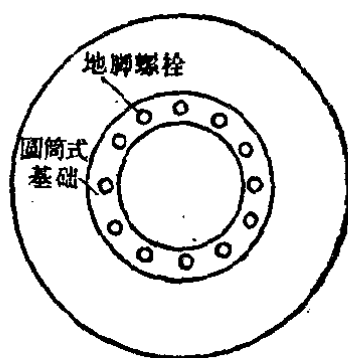
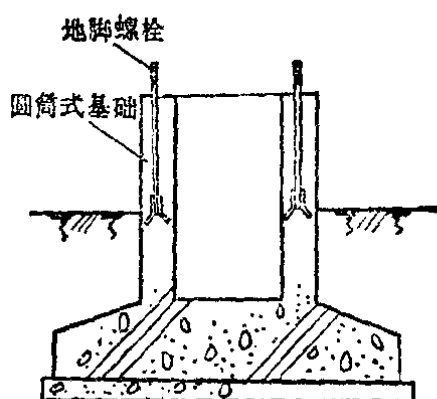


图 1-5 圆筒式塔基础

大于1.5米~2.5米时，采用钢筋混凝土圆筒式塔基础较经济。在圆筒内可填砂或填土，圆筒壁根据塔设备地脚螺栓埋设的要求，厚度可采用30~40厘米。

圆筒式塔基础的底板，根据塔的荷载大小，偏心距的大小，及地基的好坏，可采用整板式钢筋混凝土底板或圆环形底板。

3. 环形构架式基础（见图1-6）

在石油、化工厂中，环形构架式塔基础为常见的一种形式，它的优点是基础的刚度大，节省材料，造型也比较美观。一般当塔设备直径大于3米，构架露出地面高度大于3.0米、小于6米时，采用环形构架式塔基础。

环形构架式塔基础包括底板、支承柱和顶部支承环梁三部分。当塔设备荷载较大而构架高度超过4米时，一般在环形构架中间增设一层圆弧形连系梁或现浇钢筋混凝土平台，以增强环形构架的整体刚度和柱子的稳定性。支承柱的数量根据塔设备的直径大小而定。一般上部支承环梁的圆弧长度控制不超过2.5~3.5

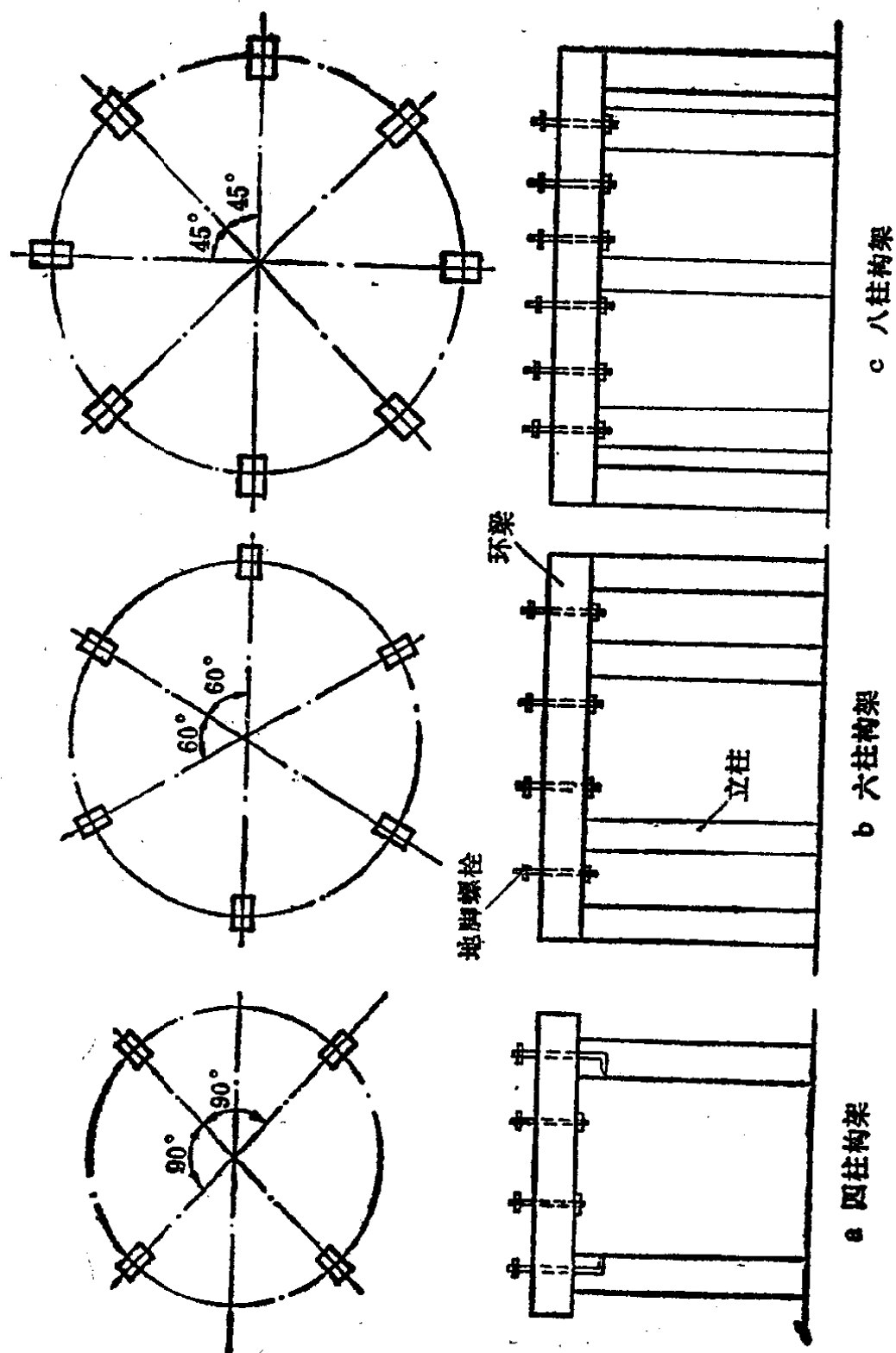


图 1-6 环形构架式塔基础

米，支承柱的数量按 4、6、8、10 根的模数对称布置，但最少不少于 4 根支承柱。

环形构架式塔基础，根据塔设备的荷载大小和偏心距的大小来决定采用现浇结构还是预制装配结构。为使它有较好的整体性，一般均采用现浇钢筋混凝土环形构架。当塔设备直径较小，而设备荷载的偏心距不大时，可采用预制装配整体式的方案。一般构架顶层梁可采用整体预制的圆环梁，也可采用单跨或双跨梁分段预制，但节点必须保证刚接。

4. 框架支承式基础

框架支承式塔基础，一般用于支架高度 $H > 6$ 米的单层或多层框架结构（见图 1-7）。框架布置应力求结构简单，受力明确，施工简便，使用安全可靠。在可能的情况下，尽量避免塔设备直接放在梁板式的框架平台上，一般采用斜梁构架式平台（见图 1-8）。

框架支承式塔基础支架的两个方向的跨度，宜尽量与塔裙座底板中心直径相同。如因使用要求需加大塔基础支架的跨度时，应使塔支架一个方向的跨度与塔裙座底板中心直径相同。

框架支承式塔基础也可采用大板框架支承式塔基础，在它的框架顶面设置一块钢筋混凝土厚板，一般厚跨比等于或小于 $1/5$ （见本章第五节）。

按塔基础的结构形式分类，大致可归纳如表 1-1。

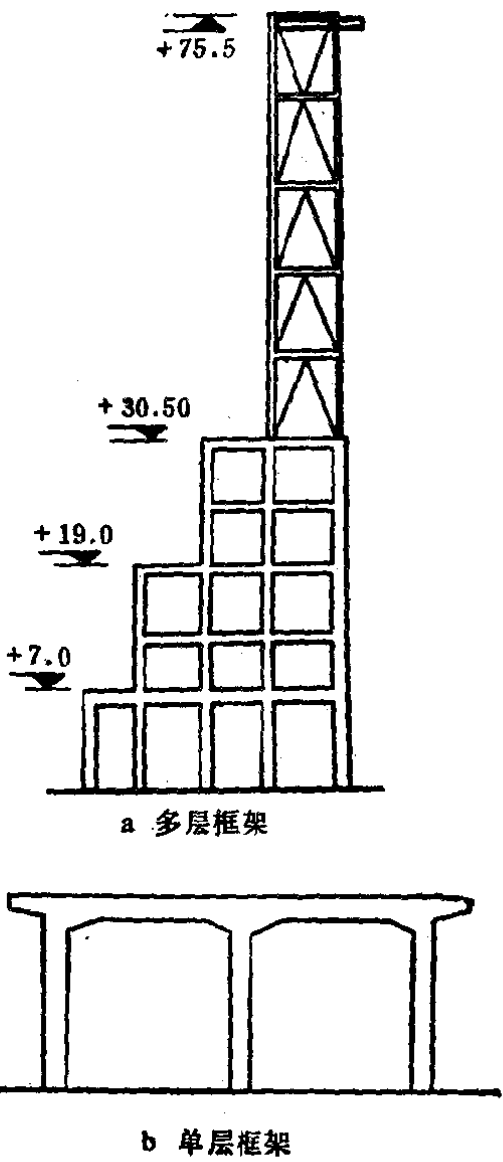


图 1-7 框架支承式塔基础

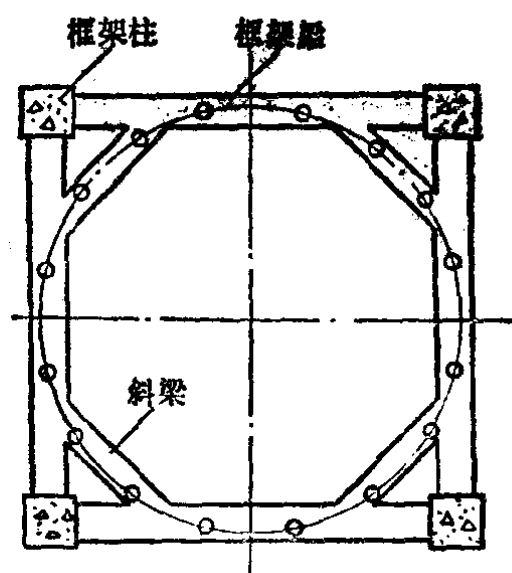


图 1-8 斜梁构架式平台

表 1-1 塔基础结构形式分类表

塔设备底部直径D(米)	≤ 1.6	≤ 3.0	> 3.0 米
基础露出地面高度(米)	0.2~1.5	1.6~2.5	2.6~6.0
基础结构形式	柱式		
		圆筒式	
		环形构架式	
			框架支承式

二、按塔基础形状分类

1. 单独基础

就是每个塔设备独立设置单独基础，其基础形状可分为方形或矩形、圆形、八角形（即八角形内切圆或外切圆）、及圆环形基础等。

（1）方形或矩形基础：一般用于塔设备的直径较小、荷载不大，而高度又低的工程上。采用这类基础的优点是施工简便，缺点是费材料，基础的受力性能并不合理。

（2）多边形基础：因圆形基础施工时费工、费模板，所以一般均采用内切圆或外切圆的多边形基础（见图1-9）。采用这类

基础优点是施工比较简便。当基础在设计中考虑风力（或地震力）时，从理论上讲采用这类基础其受力性能较好。

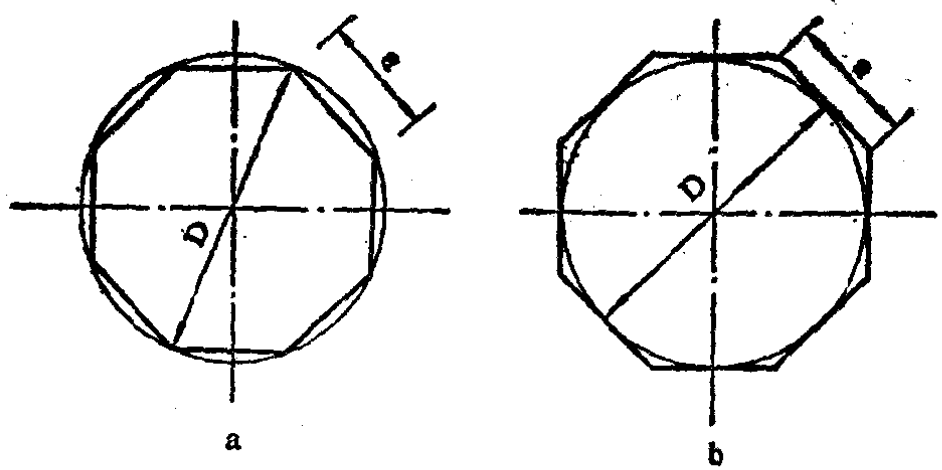


图 1-9 多边形基础

（3）圆环形基础：当塔设备基础的直径较大时，可采用圆环形基础（见图1-10），以节省基础的材料。

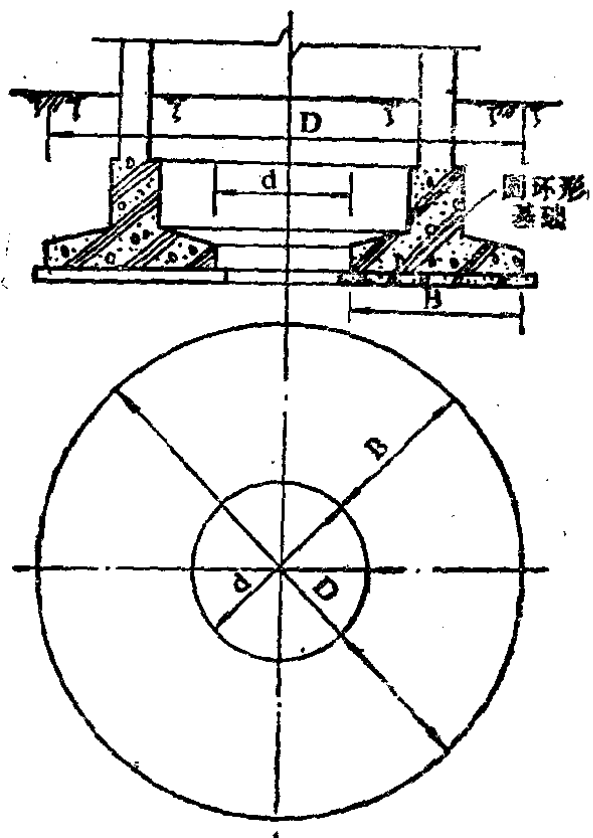


图 1-10 圆环形基础

2. 联合基础

这种基础刚度大，体积也大，基础的造价要比单独基础高。因此，在下列情况可采用联合基础：①塔基础不允许有较大的不均匀沉降，②地基土质较差、土层厚度相差较大或土的均匀性很差；③采用单独基础有场地限制。基础之间已经相距很近或两个塔之间有较强的设备基础等；④如排塔有连续生产的要求，而荷载又很大，不好设置单独基础，上部又有较多的管道往返联系；⑤其他有特殊要求的塔基础。

联合基础可分为十字交叉基础、筏板基础、箱形基础等。

(1) 十字交叉基础：对地基土质较差，而荷载较大的单层或多层框架支承式的塔基础，为了增加上部框架结构的整体刚度，减少各塔基础之间的不均匀沉降，将框架柱基础做成钢筋混凝土条基，纵横交叉连成整体，组成十字交叉基础，其型式见图 1-11。

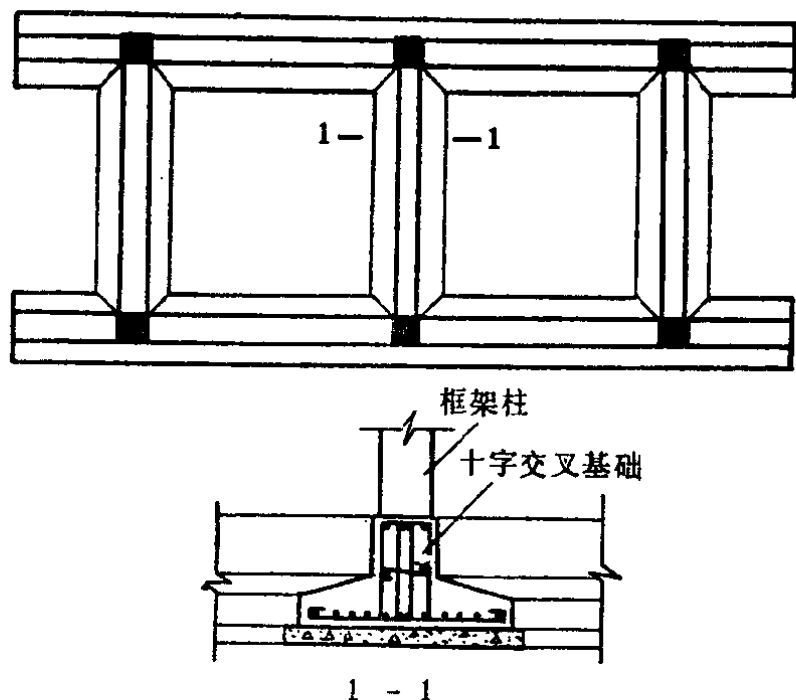


图 1-11 十字交叉基础

(2) 筏板基础：在塔基础所占的区域内，都做成钢筋混凝土的整板式基础，称为筏板基础（见图1-12）。