

# 管道工程

## 设计与施工手册

徐至钧 编著



中國石化出版社

# 管道工程 设计与施工手册

徐至钧 编著

·  
中国石化出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

管道工程设计与施工手册/徐至钧编著.  
—北京:中国石化出版社,2004  
ISBN 7-80164-682-7

I.管… II.徐… III.①管道工程-工程设计-  
技术手册 ②管道工程-工程施工-技术手册  
IV.U17-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123221 号

#### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: [press@sinopec.com.cn](mailto:press@sinopec.com.cn)

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 54 印张 1378 千字  
2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

定价:128.00 元

# 前 言

在石油化工厂中分布着数量巨大的大大小小管线连接着各类设备，像人体的血管一样起着重要的作用。在石油化工工程中，管线的设计和施工工作量接近于总工程量的40%~50%，管线的材料费用接近设备材料总费用的25%~30%，其中绝大多数是架空的管道，由于管线形状是多种多样的，操作运用条件也各不相同，管道支架的分析极为复杂，而设计计算更加繁琐，工作量很大，因此，需要按照各类管线的重要程度及危险性采用不同的分级设防进行设计与计算。

另外，我国石油天然气管道的生产和使用也是随着石化工业的兴起而逐步发展起来的。我国第一条长输管道是1958年建于克拉玛依—独山子炼油厂的双线输油管道。全长300km，管径仅159mm，但它代表了我国输油管道零的突破，是输油气管道的起点。20世纪60年代开发的大庆油田，使我国原油产量大幅度提高，同时也有力地推动了石油输送管道的发展。通过1970年8月3日开始的“八三”会战，我国又建成了大庆—铁岭—大连和大庆—铁岭—秦皇岛两条原油输油管道，并且管道的外径已达720mm。20世纪70~80年代，我国东部地区的石油勘探和开发有了迅猛发展，许多油气田相继建设投产，同时输油和输气管道也相应得到发展。20世纪90年代，陕北气田和新疆油气田的勘探和开发，西气东输工程的启动使油气输送管道的建设又取得大发展。西气东输管道西起塔里木盆地的轮南，东至上海市西郊白鹤镇，全长约4167km，是我国目前距离最长、输量最大、管径最大、压力最高的天然气管道。陕京、靖西、靖银、库鄯、鄯乌等管道已相继建成和在建，中俄管道建设在即。

截止2000年底，我国共建成原油天然气输送管道超过23000km。目前，世界上长输管道的总长度已超过了 $200 \times 10^4$ km，我国现在仅有长输管道不足 $2.5 \times 10^4$ km，占不到世界长输管道总长度的1.25%。我国的原油储量在世界上排在第5位，原油产量在世界也排第5位，管道建设与我国经济发展相比，还相对落后，不能适应经济发展的需求。

目前国内外关于管道方面的著作大多数是涉及管道工程的，而讨论管道支承构筑物设计与施工方面的书籍却寥若晨星。管道工程虽然也是一种工程结构，但是从结构特点，动力特性及埋设施工等方面与其他工程结构不尽相同，因此需要一本架空管道结构和埋地管道工程的著作来补充空白，而本书主要归纳了近几年我国石化工业管道支承结构设计经验和埋地管道工程施工的实践经验，

是一本理论与实践相结合的专门书籍，是一本适合于从事管道支承构筑物设计与埋地管道施工的中高级专业技术人员的教学、科研、设计与工程施工人员参考的著作。

本书共分第一篇管道支架设计篇与第二篇埋地管道工程篇。第一篇共十章主要介绍管道设计，管线布置，管架的荷载计算，中小型管架及托吊架计算，钢筋混凝土管架、钢结构管架设计，管架基础与管墩设计，空间桁架设计，大跨度管道结构设计，管道支托及特殊管道支架设计等；第二篇共六章，重点介绍我国西气东输大型管道工程的设计、施工、质量检验及创新实践等经验，是一本全面介绍和反映管道支承构筑物和埋地管道工程，设计与施工的著作。全书力图将必要的理论基础与简单实用的分析方法，施工工程经验相结合，达到便于工程应用的目的。

全书由徐至钧教授级高级工程师编著。

其参编人员有(按编写章节排列)杨瑞清、王曙光、李景、郭晰娥、陈月媿、赵尧钟、曹名葆、徐斐、张亦农、汤胜宁、李军、曾庆良、周超宏、徐昊、宋宏伟、王海啸、吕会云、傅细泉、张勇、徐卓、罗利君。

在编写过程中得到了西南市政工程设计院郭天木总工程师和鞍山焦化耐火设计院曲昭嘉高级工程师等人的大力支持并提供实例，在此一并表示感谢。

但由于编者水平有限，书中不妥之处，尚祈各界读者朋友不吝指示。

# 目 录

## 第一篇 管道支架设计篇

### 第一章 总 论

- 一、概述..... ( 1 )
- 二、管架分类及选型..... ( 3 )
- 三、管道敷设方式..... ( 8 )
- 四、石油化工企业厂区管线综合设计规定..... ( 17 )
- 五、管道布置设计通则..... ( 24 )
- 六、管道间距..... ( 41 )
- 七、管道跨距..... ( 52 )

### 第二章 管架的荷载计算

- 一、荷载分类..... ( 87 )
- 二、荷载计算..... ( 88 )
- 三、风荷载计算..... ( 104 )
- 四、管架柱的计算长度及允许长细比..... ( 131 )
- 五、结构内力计算..... ( 133 )
- 六、抗震设计..... ( 143 )
- 七、建筑抗震设计(GB 50011—2001)规范..... ( 146 )
- 八、地震反应分析..... ( 157 )
- 九、管架的抗震分析..... ( 158 )
- 十、管道支架地震作用的分析及计算..... ( 164 )
- 十一、石油化工企业管架设计规范(SH 3055—93)管架的抗震验算..... ( 172 )
- 十二、管道振动荷载..... ( 173 )

### 第三章 中小型刚性管架及管道托吊架设计和计算

- 一、一般规定..... ( 176 )
- 二、砖墙上托架..... ( 180 )

三、钢筋混凝土柱侧面托架·····	(185)
四、钢结构梁、柱上托架·····	(202)
五、三角托架·····	(211)
六、钢制设备上托架·····	(218)
七、吊杆·····	(229)
八、砖墙上双管托吊架·····	(237)
九、托吊架·····	(240)
十、支腿·····	(249)
十一、有关圆筒壁局部应力的考虑·····	(252)

## 第四章 钢筋混凝土管架

一、管架的内力分析·····	(255)
二、管架梁的计算·····	(255)
三、中间活动管架·····	(256)
四、活动管架·····	(257)
五、刚性管架·····	(257)
六、半铰接管架·····	(259)
七、固定管架·····	(261)
八、振动管线管架·····	(262)
九、混凝土强度和弹性模量设计值·····	(263)
十、钢筋·····	(264)
十一、配筋率·····	(266)
十二、单筋矩形截面梁弯矩及配筋计算用表·····	(272)
十三、钢筋混凝土轴心及偏心受压构件正截面受压承载力计算用表·····	(291)
十四、计算实例·····	(296)
十五、管架材料及构造·····	(303)
十六、使用管架标准系列表的几点说明·····	(306)

## 第五章 钢结构管架设计

一、设计指标·····	(310)
二、结构或构件变形的规定·····	(312)
三、H型钢的分类、代号及尺寸·····	(314)
四、钢结构构件的容许长细比·····	(320)
五、H型钢梁的设计·····	(323)
六、H型钢构件的节点连接·····	(332)

## 第六章 管架基础与管墩设计

- 一、一般规定..... (353)
- 二、地基承载力计算..... (356)
- 三、固定管架基础偏心距..... (358)
- 四、管架基础底面压力计算..... (359)
- 五、扩展基础冲切承载力计算..... (361)
- 六、扩展基础抗弯承载力计算..... (362)
- 七、扩展基础配筋计算..... (365)
- 八、管道支架基础平衡计算法..... (365)
- 九、基础强度计算..... (370)
- 十、管墩设计..... (374)

## 第七章 管道空间桁架设计

- 一、一般规定..... (378)
- 二、管道空间桁架的设计规定..... (378)
- 三、管道空间桁架选用..... (379)
- 四、管道空间桁架的施工要求..... (380)
- 五、管道空间桁架简图..... (380)
- 六、三角形截面钢管空间桁架设计..... (399)
- 七、悬索管架..... (406)
- 八、吊索式管架..... (410)
- 九、纵梁式管架..... (414)
- 十、桥式管架..... (418)

## 第八章 大跨度管道结构设计

- 一、简述..... (420)
- 二、大跨度拱形管道..... (420)
- 三、半跨水重作用下拱形管道的内力计算..... (427)
- 四、全跨水重作用下拱形管道的稳定性分析..... (431)
- 五、拱形管道施工及安装..... (435)
- 六、折线形跨越拱管的内力计算..... (447)

## 第九章 管道支托

- 一、管道支托材料及几何尺寸..... (455)
- 二、管托与管道或支柱的连接..... (455)
- 三、管托的螺栓计算..... (457)



四、管托构造	(458)
五、室外燃气管道支托	(459)
六、热力管道的管道支托	(470)
七、石油化工工艺管道的管道支托	(476)

## 第十章 特殊管道支架

一、热力管架水平推力计算	(484)
二、管道常用补偿器的安装	(490)
三、催化裂化能源回收工程再生器至三级旋风分离器 $\phi 1400$ 振动管线管桥设计	(496)
四、滩海抗冰管架设计中的降耗方法	(507)
五、采用“柔性铰接”管架的经验和教训——某厂“柔性铰接”管架设计的调查和分析	(510)
六、独立式架空热力管道滑动支架优化设计与方案比较	(519)
附录 A、常用金属材料的力学性能	(527)
附录 B、常用材料的物理性能	(536)
附录 C、金属材料规格及理论重量	(543)
附录 D、管材规格及理论重量	(557)
附录 E、减振弹簧选用表	(561)

# 第二篇 埋地管道工程篇

## 第一章 概 述

一、依靠科学技术发展我国管道工业	(569)
二、西气东输工程的情况介绍	(572)
三、管道建设和焊接技术的现状与发展前景	(573)
四、西气东输管道工程《管道对接环焊缝全自动超声波检测》标准及与国外先进标准的对比	(578)
五、关于《西气东输管道工程管道对接焊缝射线检测标准》的编制说明	(583)
六、从西气东输管道工程谈开展环境影响等五项评价工作	(586)
七、管道涂层防腐蚀技术的现状与展望	(590)
八、管道阴极保护技术的进展	(593)
九、非开挖管线工程技术发展的现状	(597)
十、聚乙烯管材管件的发展综述	(604)
十一、市政公用工程用塑料管发展的综述	(610)
十二、给水排水管道工程管材的应用	(615)

- 十三、预应力钢筒混凝土管在工程中的应用..... (622)
- 十四、长输管道外防腐技术概述..... (627)

## 第二章 西气东输管道工程

- 一、西气东输工程第一穿——淮河定向钻穿越..... (633)
- 二、西气东输工程江南水网地带管道施工..... (635)
- 三、西气东输管道黄土塬陡坡施工的几点做法..... (639)
- 四、西气东输沙漠地段的大口径管道施工..... (643)
- 五、西气东输水田地段管道施工及其防塌措施..... (645)
- 六、关于西气东输管道压缩机站的优化布置及机组配置的探讨..... (647)
- 七、STT 半自动根焊 + APW - II 自动焊工艺在西气东输管道焊接中的应用..... (650)
- 八、沟下焊接施工技术在西气东输管道工程中的应用..... (654)
- 九、论西气东输管道施工的质量保证和质量控制..... (656)
- 十、西气东输管道工程 P3 网络计划编制..... (659)
- 十一、加强西气东输管道施工的 HSE 管理之探讨..... (662)
- 十二、西气东输工程新技术应用..... (667)

## 第三章 设计与计算

- 一、管道储气压力的设计和优化..... (673)
- 二、埋地长输管道在线开挖应力的计算方法..... (678)
- 三、天然气管道延性断裂止裂控制技术进展..... (682)
- 四、岩石地层非开挖柔性管顶进过程的力学问题研究..... (687)
- 五、软土地层深埋钢筋混凝土管道结构强度计算与研究..... (692)
- 六、盾构千斤顶推力变化对地面变形的影响..... (698)
- 七、顶管工程的设计与施工..... (702)
- 八、曲线顶管工程设计..... (705)
- 九、直线顶管施工中顶力的研究..... (708)
- 十、钢管在沼泽地段的设计与施工..... (713)
- 十一、埋地压力管道敷设方向改变时设计模式的探讨..... (716)
- 十二、国内最大跨度斜拉输水管桥的设计..... (721)
- 十三、关于直埋保温管道传热计算方法的探讨..... (724)
- 十四、加强板在自承式钢管管道设计中的应用..... (730)
- 十五、承插口给水排水管道的竖向位移(沉降)计算..... (734)

## 第四章 施工技术

- 一、STT 气体保护焊用于长输管道焊接的试验..... (738)

## 6 管道工程设计与施工手册

二、自动焊技术在涩宁兰输气管道 X70 钢试验段上的应用 .....	(741)
三、SL-Ⅱ型补口机及其在海底管道内涂层补口中的应用 .....	(743)
四、流沙河穿越施工技术 .....	(747)
五、长输管道穿越山岭隧道施工技术 .....	(749)
六、山区地段管道敷设施工方法 .....	(753)
七、山区大落差管道的试压与吹扫 .....	(755)
八、顶管法穿越高速公路的施工方法 .....	(758)
九、海域超长距离大口径曲线顶管技术 .....	(764)
十、长距离曲线顶管在杭州河坊街工程中的应用 .....	(773)
十一、孟滩青输煤管道钢管选择与优化 .....	(777)
十二、CO <sub>2</sub> 半自动单面焊双面成形工艺在钢管施工中的应用 .....	(780)
十三、某管道工程穿越河道的设计与施工 .....	(785)
十四、顶管施工在市政工程中的实际应用 .....	(789)
十五、某 D <sub>N</sub> 2000 污水管网现场修复工程 .....	(793)
十六、水下长距离顶管施工要点 .....	(797)

### 第五章 质量检验与管道泄漏检测

一、输油管道泄漏检测技术综述 .....	(802)
二、施工监理对大口径埋地钢管的质量控制 .....	(806)
三、对管道穿越施工中回拖抽瘪问题的分析及预防措施 .....	(811)
四、管道泄漏自动监控系统在输油管线上的应用 .....	(812)
五、管道减阻内涂层的涂敷工艺及质量控制 .....	(816)
六、长输管道工程建设施工阶段的质量与进度控制 .....	(818)

### 第六章 创新实践及其他

一、长输管道全位置自动焊接设备的研制 .....	(822)
二、大直径 PCCP 管道在大型引水工程中的应用 .....	(826)
三、钢质管道内表面自动旋转喷砂枪的研制与应用 .....	(829)
四、注蒸气管线高效长寿命保温技术研究 .....	(831)
五、海底管道维修技术 .....	(837)
六、聚脲涂层在输水管道上的应用 .....	(841)
七、一种用于加工大口径管接头坡口的简易立车 .....	(843)
八、管线带压不停输连头技术及其施工难点分析 .....	(845)
参考文献 .....	(849)

# 第一篇

## 管道支架设计篇



# 第一章 总 论

## 一、概述

在各类加工生产型工厂中，尤其是石油，化工等工厂内各类管架是一种数量大，分布面广的特种构筑物。在厂区内外纵横交叉的管道网，像人体的血管一样，起着重要的作用。管道它担负着输送各种液体、气体或固体介质的传输作用，介质的温度有高温、常温和低温，传送介质的压力有高压、中压和低压，管道的材料绝大部分采用焊接钢管。设计其管道支架在装置生产区内，考虑工艺生产流程要经常性的革新、改造、挖潜等技术措施，所以采用钢结构管道支架，便于更换管道或加固横梁，而生产装置区外，由于连接线路长，一般均采用钢筋混凝土管道支架。

根据石油化工工程中的管线，设计和施工的工作量统计，接近总工作量的 40% ~ 50%，钢材消耗和费用，接近设备总费用的 25% ~ 30%，而绝大多数管线是架空管道，管架的层数一般为 1~2 层，超过 2 层的管道支架，对中间层管道的操作和更换均有一定的困难，所以设计架空管道支架一般是 2 层，而对小型石油化工厂有的是采用一层架空管道。

由于输送石化产品的介质温度不同或大气温度的变化，而管道又很长，所以常常产生热胀冷缩的管道位移，为了适应这种热胀冷缩的变形要求，通常每隔一定距离设置固定点，这类管道支架为固定管架。在两个固定点之间设置，中间活动管架和一个补偿器(见图 1-1)。用这样的方法，把管道划分为若干区段，每段管道的热膨胀量，由每段设置的补偿器所吸收，设置固定管架点的管架，管道与管架之间，不能产生相对位移，而且，管架顶端受力后的变形，与管道补偿的变形值相比，应当很小。

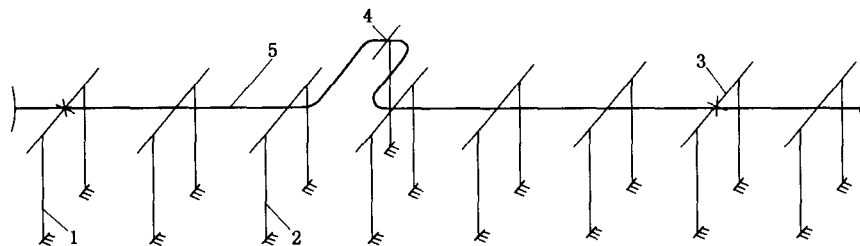


图 1-1 管道支架系统示意图

1—末端固定管架；2—中间活动管架；3—中间固定管架；4—补偿器管架；5—管道

## 二、管架分类及选型

管架是管道的支承结构，一般由管托支座、立柱、横梁(多层或单层)和基础组成。管架在管线上按其作用受力和结构形式的不同，分为固定管架、单向活动管架，双向活动管架及组合式管架，大跨度拱形和折线形管道结构等。

管架设计的型式比较多，按照管线敷设的方式及现场地面的地形地貌架设各种型式的管架，常用钢筋混凝土和钢结构典型管架的简图见图 1-2 及图 1-3 所示。

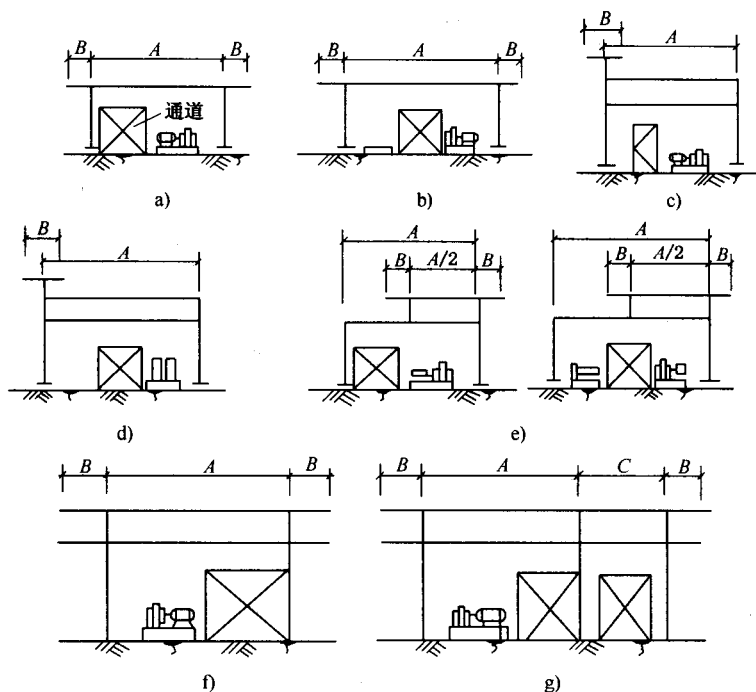


图 1-2 常用管廊简图

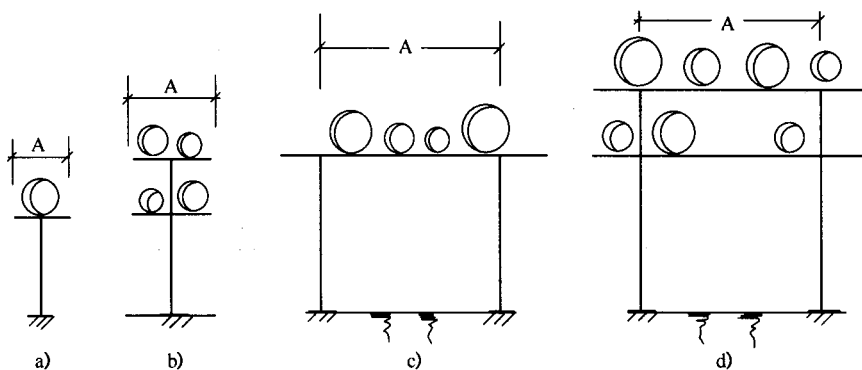


图 1-3 常用管架简图

## 1. 管道架空敷设

### 1.1 架空敷设的适用范围

一般下列场地情况下的管道，应优先采用架空敷设，见表 1-1。

### 1.2 架空敷设的管架分类

(1) 按管道敷设方式的管架分类，如表 1-2 所示。

表 1-1 管道架空敷设

序号	场地情况
1	工厂厂区地形复杂(如遇有河流, 丘陵、高山、峡谷、溶洞等)或铁路密集处
2	厂区地质为湿陷性黄土层或腐蚀性大的土层, 或为永久性冻土区
3	地下水位高或年降雨量较大地区
4	厂区地下管道纵横交错、稠密复杂, 难于敷设动力管道
5	厂区具有架空敷设的煤气、化工工艺管道等, 可考虑与其他动力管道共架敷设的情况下, 采用架空敷设既经济而又节省占地面积

表 1-2 按管道敷设方式分类

序号	项目	内容
1	高管架敷设	<p>1)适用条件 一般在交通要道和管道跨铁路、公路时, 都应采用高管架敷设, 管道保温层外表面至地面的净距一般为 5.0m 以上</p> <p>2)管架材料 一般为钢材、钢筋混凝土等</p>
2	中管架敷设	<p>1)适用条件 在人行交通频繁地段宜采用中管架敷设。中管架敷设时, 管道保温层外表面至地面的距离一般不宜小于 3.0m, 当管道跨越铁路或公路时应采用竖向 II 形管道进行高管架敷设</p> <p>2)管架材料 中管架的材料一般为钢材、钢筋混凝土</p>
3	低管架敷设	<p>1)适用条件 ①在山区建厂时, 应尽量采用低管架敷设。管道可沿山脚、田埂、围墙等不妨碍交通和不影响工厂扩建的地段进行敷设。低管架敷设的管道保温层外表面至地面的净距一般不宜小于 0.5m ②低管架敷设时, 当管道跨越铁路、公路时, 可采用竖向 II 形管道进行高管架敷设, II 形管道可兼作管道补偿器</p> <p>2)管架材料 低管架的材料有素混凝土、钢筋混凝土等</p>

(2) 按管架受力和用途的管架分类, 如图 1-4 表 1-3 所示。

表 1-3 按管架受力和用途分类

序号	项目	内容
1	按管架受力分类	<p>1)刚性管架 管架的纵向刚度较大, 管道在管架上可滑动, 管架承受摩擦力作用, 如图 1-4a)所示</p> <p>2)半铰接管架 管架上下均为铰接构造, 故不承受水平力, 如图 1-4b)所示</p>
2	按管架用途分类	<p>1)活动管架 管道与管架之间无任何连接, 允许管道滑动或位移, 为管道的可动支点, 如图 1-4a)b)所示</p> <p>2)固定管架 管道与管架之间互相固定, 不允许管道滑动或位移, 为管道的不动支点(如图 1-4c)所示)</p>



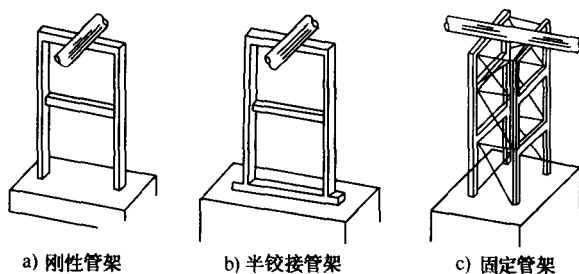


图 1-4 管架按受力和用途分类示图

(3) 按管架外形的管架分类, 如图 1-5、图 1-6、表 1-4 所示。

表 1-4 按管架外形分类

序号	项目	内容
1	柱式管架	一般管架与管架之间没有连系构件, 利用管道自身刚度将各自独立的管架连接起来的管架系统, 形式有: T形、II形、单层、多层, 以及平面管架或塔架等形式, 如图 1-5 所示, 按本书第四章、第五章设计
2	大跨度结构	为了跨越铁路、公路、河流和山谷必须加大管架间距, 因而需要采用某些辅助跨越结构, 例如在相邻管架上附加纵横梁、桁架、悬索或吊索以及拱管等, 从而构成大跨度结构。如图 1-6 所示按本书第七章、第八章设计

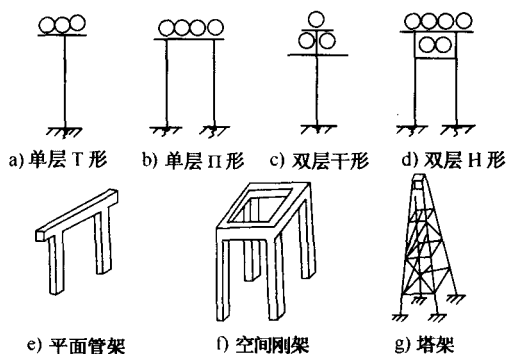


图 1-5 柱式管架

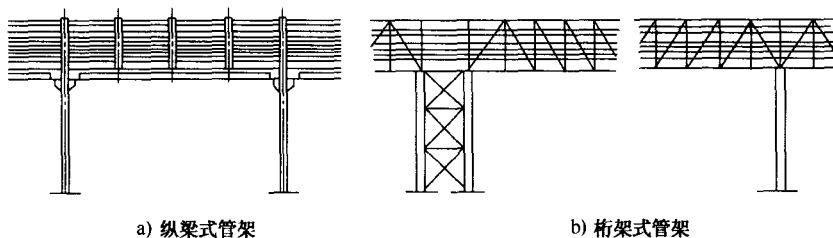


图 1-6 大跨度结构