

# 输电 杆塔 结构 及其 基础 设计

SHUDIAN  
GANTA  
JIEGOU  
JIQI  
JICHUSHEJI

刘树堂 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 输电 杆塔 结构 及其 基础 设计

刘树堂 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是依据国家及电力行业相关标准, 密切结合当前我国输电工程设计及设备、材料、技术发展的实际, 精心编写而成的。

本书共分 10 章, 包括: 概论、杆塔外形尺寸确定、杆塔设计荷载、钢筋混凝土环形截面电杆构件的计算、铁塔结构基本构件设计计算、钢筋混凝土自立式电杆的内力和变形、自立式桁架铁塔结构设计、拉线杆塔的内力与变形计算、杆塔连接件设计、杆塔基础设计等, 比较详细地介绍了杆塔结构荷载的确定与计算方法、杆塔结构的内力分析与设计计算方法, 以及杆塔结构基础的设计方法等内容。

另外, 为了方便读者查询和使用, 在本书的附录部分, 还收录了在设计中常用的一些技术资料, 以及常用的国家及电力行业的相关标准。

本书是送电工程领域的结构工程师、设计人员、施工技术人员和研究人员的必备参考书, 还可供大中专院校电力相关专业师生学习、参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

输电杆塔结构及其基础设计 / 刘树堂主编. —北京:  
中国水利水电出版社, 2005  
ISBN 7-5084-2744-0

I. 输... II. 刘... III. 输电线路—线路杆塔—结构设计 IV. TM753

中国版本图书馆 CIP 数据 (2005) 第 010434 号

|       |                                                                                                                                                             |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名   | 输电杆塔结构及其基础设计                                                                                                                                                |
| 作 者   | 刘树堂 主编                                                                                                                                                      |
| 出版 发行 | 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 经 售   |                                                                                                                                                             |
| 排 版   | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                                             |
| 印 刷   | 北京市兴怀印刷厂                                                                                                                                                    |
| 规 格   | 787mm×1092mm 16 开本 18 印张 421 千字                                                                                                                             |
| 版 次   | 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷                                                                                                                           |
| 印 数   | 0001—3100 册                                                                                                                                                 |
| 定 价   | 38.00 元                                                                                                                                                     |

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

随着我国电力事业的蓬勃发展,各级电压等级的送电线路不断兴建与竣工。目前,正在运行使用的送电线路电压等级已包括了 10kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV 和 500kV 等七个级别,而且,跨越青海、宁夏及甘肃三省区的官亭—兰州东 750kV 特高压送电线路即将建成,为我国送电线路工程又增添了一个新的线路电压等级,在我国经济建设中必将发挥重要的作用。

随着电压等级的增多,杆塔型式不断地扩充;随着电压等级的增高,杆塔的高度也愈来愈高,100m 以上的高塔已屡见不鲜,不断要求铁塔结构型式朝着最优化方向发展,各种优化型杆塔结构不断设计完成、投入使用,成为中国电力工程建设的宝贵财富。

送电线路工程,尤其是超高压和特高压送电线路工程,是国家经济建设的生命线工程,而线路中的杆塔结构担负着架空电力线的重任,不言而喻其作用是极其重要的。

本书是依据和参考 DL/T 5154—2002《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》、GB 50061—97《66kV 及以下架空电力线路设计规范》、DL/T 5092—1999《110~500kV 架空送电线路设计技术规程》、DL/TG 96—T05《架空送电线路基础设计技术规定》、GBJ 136—90《高耸结构设计规范》、GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》、GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》、GB 50017—2003《钢结构设计规范》、GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB 50007—2002《建筑地基基础设计规范》等国家及电力行业标准,以及业内专家编撰的部分专业书籍和作者长期工程实践及科研的研究成果,精心编写而成的。书中比较详细地介绍了杆塔结构荷载的确定与计算方法、杆塔结构的内力分析与设计计算方法,以及杆塔结构基础的设计方法等内容。本书是送电工程领域的结构工程师、设计人员、施工技术人员和研究人员的必备参考书,还可供大中专院校电力相关专业师生学习、参考。

本书在编写过程中得到了广州大学科技处、广州大学土木工程学院有关领导和同仁的大力支持与帮助;另外,广州电力设计院高级工程师刘智勇同志也对本书的编写工作提出了许多很好的建议和意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中内容难免有疏漏或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2005 年 3 月

# 目 录

## 前言

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 概论</b> .....               | 1  |
| 1.1 杆塔的用途分类 .....                   | 1  |
| 1.2 杆塔的结构型式 .....                   | 1  |
| <b>第 2 章 杆塔外形尺寸确定</b> .....         | 11 |
| 2.1 确定杆塔外形尺寸的因素 .....               | 11 |
| 2.2 杆塔呼称高的确定 .....                  | 11 |
| 2.3 线间距离的确定 .....                   | 14 |
| 2.4 导线与杆塔之间的空气间隙校验 .....            | 16 |
| 2.5 地线支架高度及地线水平线间距离的确定 .....        | 18 |
| 2.6 某 110kV 输电线路杆塔外形尺寸验算示例 .....    | 19 |
| <b>第 3 章 杆塔设计荷载</b> .....           | 24 |
| 3.1 杆塔荷载的来源与分类 .....                | 24 |
| 3.2 构件或连接的荷载效应组合与设计表达式 .....        | 24 |
| 3.3 杆塔荷载工况的设计组合 .....               | 26 |
| 3.4 杆塔荷载设计档距 .....                  | 28 |
| 3.5 杆塔荷载标准值计算 .....                 | 30 |
| 3.6 直线杆塔荷载计算示例 .....                | 39 |
| <b>第 4 章 钢筋混凝土环形截面电杆构件的计算</b> ..... | 47 |
| 4.1 承载力计算 .....                     | 47 |
| 4.2 正常使用极限状态裂缝宽度验算 .....            | 50 |
| 4.3 电杆变形验算 .....                    | 51 |
| 4.4 预应力混凝土环形截面电杆的计算 .....           | 52 |
| <b>第 5 章 铁塔结构基本构件设计计算</b> .....     | 59 |
| 5.1 轴心受力构件强度计算 .....                | 59 |
| 5.2 轴心受压构件整体稳定计算 .....              | 61 |
| 5.3 受弯构件计算 .....                    | 62 |
| 5.4 受压同时受弯构件的局部稳定计算 .....           | 62 |
| 5.5 受拉同时受弯构件的强度计算 .....             | 62 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 5.6 格构式柱的设计 .....                   | 62         |
| 5.7 铁塔结构构件计算长度与长细比的确定 .....         | 70         |
| 5.8 杆塔结构构件容许长细比 .....               | 73         |
| <b>第 6 章 钢筋混凝土自立式电杆的内力和变形 .....</b> | <b>75</b>  |
| 6.1 自立式单杆电杆内力计算 .....               | 75         |
| 6.2 自立式单杆电杆挠度计算 .....               | 79         |
| 6.3 门型双杆电杆内力计算 .....                | 81         |
| 6.4 A 字型双杆电杆内力计算 .....              | 85         |
| <b>第 7 章 自立式铁塔结构设计 .....</b>        | <b>86</b>  |
| 7.1 塔架的杆系型式 .....                   | 86         |
| 7.2 塔架外力分配方法 .....                  | 87         |
| 7.3 常用横担、地线支架及横隔内力分析 .....          | 89         |
| 7.4 酒杯型塔头、猫头型塔头内力分析 .....           | 92         |
| 7.5 平面桁架内力分析 .....                  | 94         |
| 7.6 超静定平面桁架内力分析的直接方法 .....          | 97         |
| 7.7 塔架变形计算 .....                    | 98         |
| <b>第 8 章 拉线杆塔的内力与变形计算 .....</b>     | <b>100</b> |
| 8.1 外拉线门型电杆拉线张力简化计算 .....           | 100        |
| 8.2 八字拉线门型电杆拉线张力简化计算 .....          | 104        |
| 8.3 拉线电杆主杆挠度和弯矩的计算 .....            | 105        |
| 8.4 外拉线门型塔的内力计算 .....               | 107        |
| 8.5 外拉线门型塔考虑门形构架侧移时的计算 .....        | 108        |
| 8.6 拉线门型电杆考虑门形构架侧移时的计算 .....        | 112        |
| 8.7 多层拉线单柱铁塔内力与变形计算 .....           | 113        |
| <b>第 9 章 杆塔连接件设计 .....</b>          | <b>120</b> |
| 9.1 具有靴板的塔脚结构设计 .....               | 120        |
| 9.2 无靴板有加劲板的塔脚结构设计 .....            | 123        |
| 9.3 无靴板无加劲板的塔脚结构设计 .....            | 123        |
| 9.4 有加劲板法兰盘计算 .....                 | 124        |
| 9.5 无加劲板法兰盘计算 .....                 | 126        |
| 9.6 叉梁抱箍计算 .....                    | 127        |
| 9.7 拉线抱箍计算 .....                    | 128        |
| 9.8 拉线板计算 .....                     | 128        |
| 9.9 避雷线眼圈螺栓计算 .....                 | 129        |
| 9.10 插入角钢连接计算 .....                 | 129        |
| <b>第 10 章 杆塔基础设计 .....</b>          | <b>131</b> |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 10.1 基础分类 .....                                     | 131 |
| 10.2 影响基础埋深的主要因素 .....                              | 134 |
| 10.3 地下水对基础工程的影响 .....                              | 135 |
| 10.4 基础极限状态表达式 .....                                | 135 |
| 10.5 “大开挖”基础和掏挖扩底基础上拔稳定计算 .....                     | 136 |
| 10.6 地基压力计算 .....                                   | 144 |
| 10.7 地基承载力计算 .....                                  | 147 |
| 10.8 地基强度验算 .....                                   | 149 |
| 10.9 地基变形计算 .....                                   | 150 |
| 10.10 基础倾覆稳定计算 .....                                | 153 |
| 10.11 钻孔灌注桩基础 .....                                 | 158 |
| <b>附录</b> .....                                     | 164 |
| 附录 1 钢材、螺栓、焊缝、锚栓、混凝土、钢筋的强度与特性 .....                 | 164 |
| 附录 2 钢芯铝绞线规格及特性、镀锌钢绞线规格及特性 .....                    | 168 |
| 附录 3 热轧等边角钢规格、热轧无缝钢管规格 .....                        | 170 |
| 附录 4 轴心受压构件稳定系数 .....                               | 177 |
| 附录 5 地基岩土承载力 .....                                  | 180 |
| (一) 地基土及岩石承载力标准值 .....                              | 180 |
| (二) 根据标准贯入试验锤击数确定的地基土承载力标准值 .....                   | 182 |
| (三) 根据轻便触探试验击数确定的承载力标准值 .....                       | 182 |
| 附录 6 地基土(岩)的分类 .....                                | 183 |
| 附录 7 土的内摩擦角、凝聚力、计算内摩擦角、计算容重、计算上拔角 .....             | 185 |
| 附录 8 最大冻土深度 $Z_0$ .....                             | 186 |
| 附录 9 架空送电线路杆塔结构设计技术规范 (DL/T 5154—2002) .....        | 187 |
| 附录 10 66kV 及以下架空电力线路设计规范 (GB 50061—97) .....        | 241 |
| 附录 11 110~500kV 架空送电线路设计技术规程 (DL/T 5092—1999) ..... | 258 |
| <b>参考文献</b> .....                                   | 280 |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 杆塔的用途分类

一条送电线路是由一个变电站开始，到另一个变电站结束。中间要穿越村庄、农田、森林和高山，跨越河流、公路、铁路、电力线路及通信线路等；遇到重要的设施和不可逾越的障碍需要避开绕行、走折线路径。杆塔结构作为送电线路的重要组成部分，起着支撑和架空电力线的作用，而且完成着它们各自不同的功能，保证电能安全可靠地输送到电网或用户。按杆塔在线路中的用途主要分为六类：直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔、换位杆塔、跨越杆塔、终端杆塔。在线路的直线路径上要设置直线杆塔和耐张杆塔，在线路的转折处要设置转角杆塔，在被跨越物的两侧要设置较高的跨越杆塔，为均衡三相线的阻抗，要每隔一定距离设置换位杆塔，在变电站的进出口处要设置终端杆塔。

## 1.2 杆塔的结构型式

送电线路中使用的杆塔结构主要是钢筋混凝土电杆和铁塔，它们的结构型式多种多样。实际工程中究竟使用哪种结构型式杆塔，主要取决于线路的电压等级、回路数、地形地质条件和使用条件等多种因素，最后还要通过经济技术的比较择优选用。就我国已建的送电线路工程来看，电压等级不小于 110kV 的线路，常使用铁塔结构，电压等级不大于 66kV 的线路，常使用钢筋混凝土电杆结构；在平坦或稻田地直线路径上，使用拉线结构更为常见；在高电压等级的单回路线路上，常采用导线呈水平排列的结构型式。杆塔结构从使用的材料上划分主要有钢筋混凝土电杆和铁塔两大类，从维持结构整体稳定性上划分可分为自立式杆塔和拉线式杆塔。

### 1.2.1 钢筋混凝土电杆的结构型式

#### 1.2.1.1 单杆电杆

图 1-1 为 35~110kV 线路单回路单杆电杆，此类电杆依靠自身基础埋深维持整体稳定，所以称为自立式，承受的荷载也较小。主杆一般为预应力钢筋混凝土环形截面的拔梢杆，梢径  $\phi 150 \sim 190$ ，锥度为 1/75，杆长 15~18m，电杆基础埋深 3m 左右。

图 1-2 为 35~110kV 线路单回路单杆电杆，此类电杆依靠拉线维持结构整体稳定，所以称为拉线式，电杆的拉线通常采用为镀锌钢绞线。此类电杆适用于电杆荷载较大（如导线截面大或档距大）情况，与自立式单杆电杆相比，拉线电杆的埋深较浅。

对于 35~110kV 线路，若荷载更大时，常采用 A 字型双杆、门型双杆等。

#### 1.2.1.2 A 字型双杆电杆

A 字型双杆由两根拔梢杆构成，根据荷载情况可采用自立式或拉线式。此类电杆结构

简单, 受力性能好, 耗钢量较少。

图 1-3 为 35~110kV 单回路自立式 A 型双杆电杆。

图 1-4 为 35~110kV 承力杆 (耐张、转角或终端杆)。小转角时采用 V 字拉线或交叉拉线; 大转角时采用八字拉线, 必要时设置反向拉线和分角拉线。

图 1-5 为 35~110kV 双回路直线电杆和承力电杆 (耐张电杆或小转角电杆)。

### 1.2.1.3 门型双杆

图 1-6 为 35~66kV 自立式无叉梁门型双杆, 用作单回路直线电杆。该电杆无地线支架。

图 1-7 为 35~66kV 拉线式无叉梁门型双杆, 用作单回路承力电杆。小转角时采用 V 字拉线或交叉拉线; 大转角时采用八字拉线, 必要时设置反向拉线和分角拉线。

图 1-8 为 35~110kV 自立式带叉梁门型双杆, 用作单回路直线电杆, 两主杆为拔梢杆 ( $\phi 190\sim 230$ ) 或为等径杆 ( $\phi 400$ ), 杆长为 18~27m。在主杆平面内设置单层或双层叉梁, 增加电杆的整体性, 减小主杆弯矩。带双层叉梁门型杆根部弯矩较小, 对软弱地基的基础设计较为有利。

图 1-9 为 220~330kV 带叉梁门型双杆, 用作单回路直线电杆。其中图 1-9 (a) 为拉线式带叉梁门型双杆, 拉线大多布置成 V 字拉线或交叉拉线。

图 1-10 为 220kV 拉线式无叉梁门型双杆, 分别用作耐张杆和转角杆。

### 1.2.1.4 拉线八字型双杆

图 1-11 为拉线八字型双杆, 用作 220~330kV 线路单回路直线电杆。拉线型式为 V 字拉线或交叉拉线。在东北地区由于土壤的冻结深度较大, 土壤的冻胀力会将卡盘及电杆抬起, 一般不宜采用卡盘平衡杆根部的倾覆力矩, 而采用拉线维持整体稳定。这种拉线八字型双杆结构简单, 耗钢量少, 在东北地区有成熟的运行经验。

## 1.2.2 铁塔的结构型式

铁塔结构多用于 110~500kV 送电线路上。从整体稳定受力特点上可分为自立式铁塔和拉线铁塔, 自立式铁塔是靠自身基础维持整体稳定性, 而拉线铁塔主要是靠拉线维持整体稳定性。

铁塔结构的构件截面型式有: 热轧等肢角钢 (常用螺栓连接)、冷弯薄壁型钢、钢管 (用法兰盘及螺栓连接, 适用于高度很大的铁塔, 受力性能很好), 格构柱截面 (用于高度很高的跨越塔)。

### 1.2.2.1 自立式铁塔的结构型式

(1) 上字型塔。如图 1-12 所示, 单回路、导线三角形布置, 用作电压等级较低的直线塔。

(2) 鸟骨型换位塔。如图 1-13 所示, 单回路、导线三角形布置, 用作电压等级较低的直线换位塔。

(3) 桥型换位塔。如图 1-14 所示, 单回路、导线三角形布置, 用作电压等级较低的直线换位塔。

(4) 猫头铁塔。如图 1-15 所示, 单回路、导线等腰三角形布置, 用作直线塔。

(5) 酒杯型塔。如图 1-16 所示, 单回路、导线水平布置, 用作直线塔或承力塔 (耐

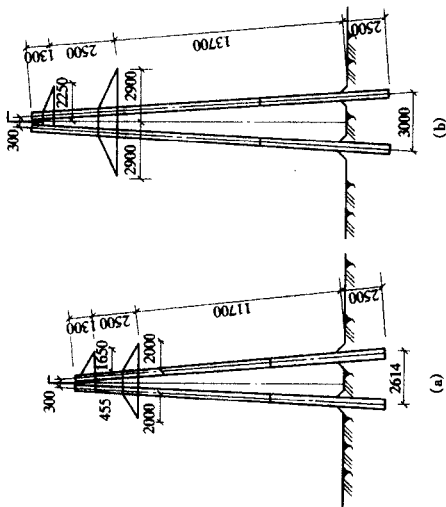


图 1-3 35~110kV 钢筋混凝土 A 型双杆电杆

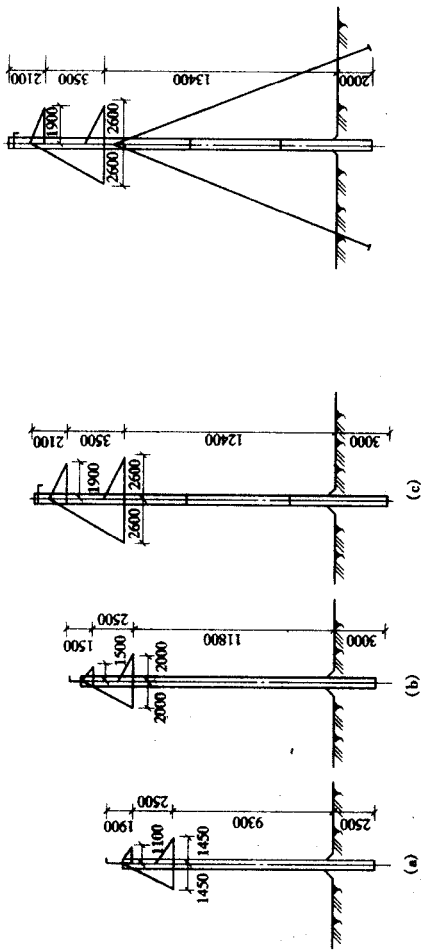


图 1-2 35~110kV 钢筋混凝土直线拉线单杆电杆

图 1-1 35~110kV 钢筋混凝土直线单杆电杆 (a) 35kV 单杆电杆; (b) 66kV 单杆电杆; (c) 110kV 单杆电杆

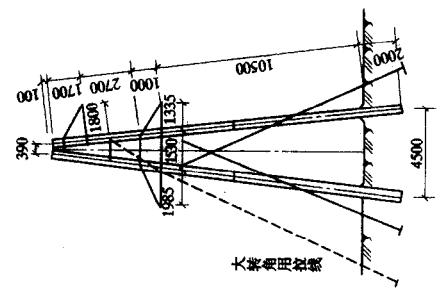


图 1-4 35~110kV 钢筋混凝土 A 型承力电杆

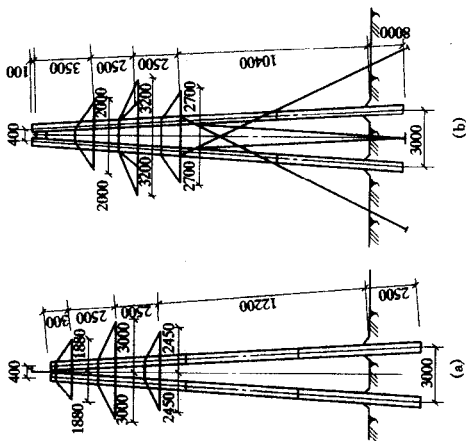


图 1-5 35~110kV 钢筋混凝土 A 型双杆电杆 (a) 不带拉线的 A 字型双杆; (b) 带交叉拉线的 A 字型双杆

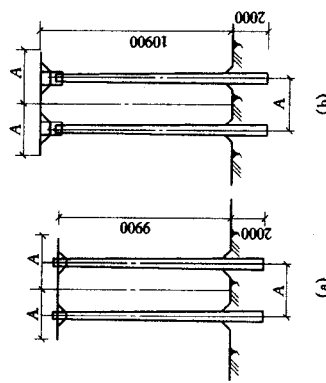


图 1-6 35~110kV 钢筋混凝土无叉梁门型双杆

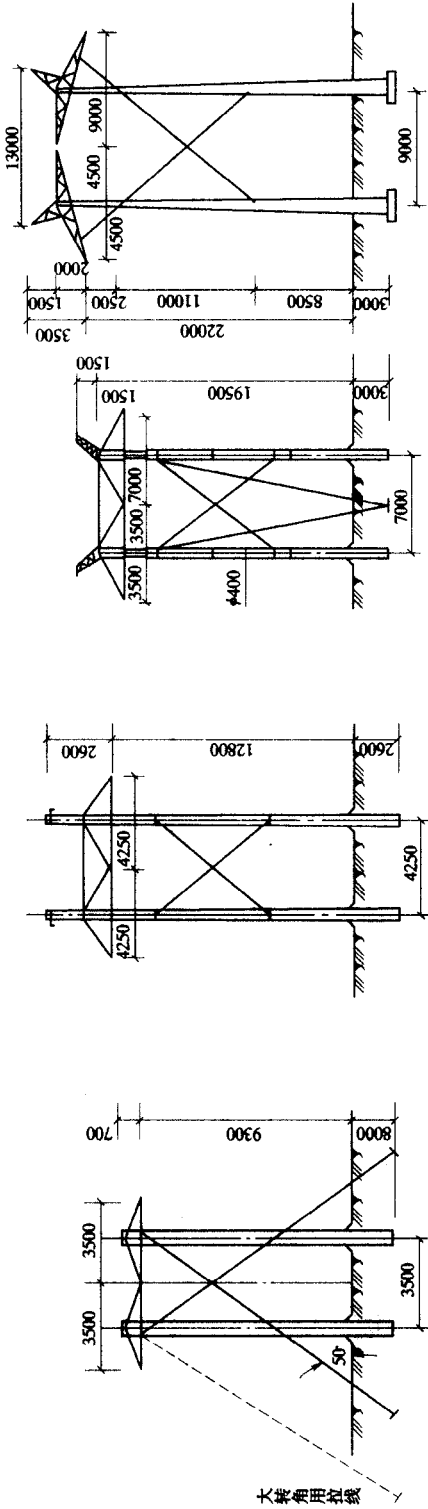


图 1-7 35~110kV 单回路门型承力杆

图 1-8 35~110kV 带叉梁门型双杆

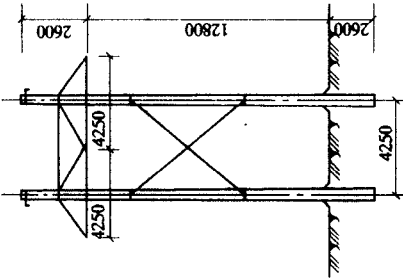


图 1-9 220~330kV 带叉梁门型直线双杆  
(a) 220kV 直线杆; (b) 330kV 直线杆

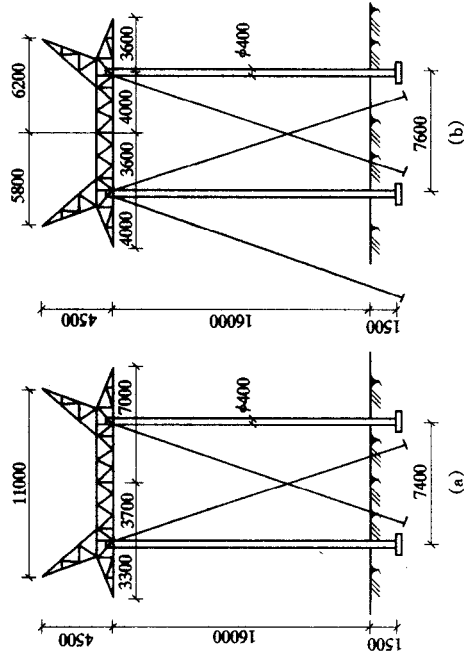
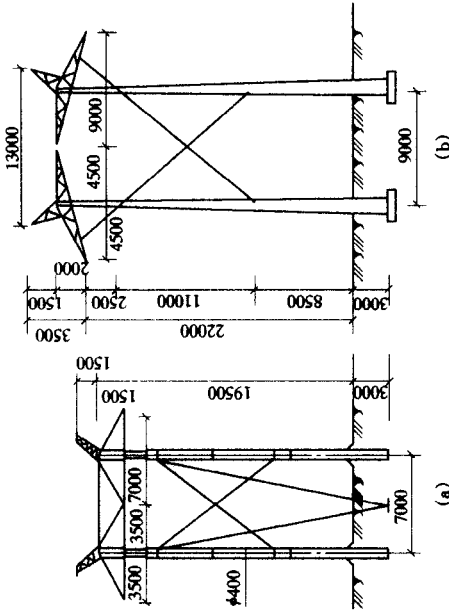


图 1-10 220kV 钢筋混凝土拉线门型承力杆  
(a) 耐张杆; (b) 5°~30°转角杆

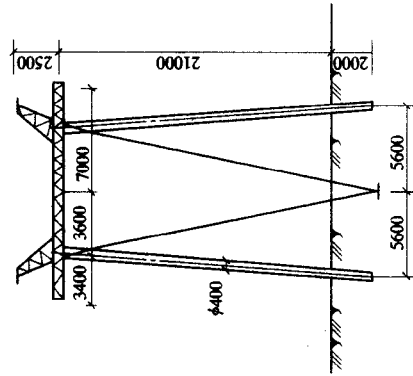


图 1-11 35~110kV 带拉线的八字型双杆

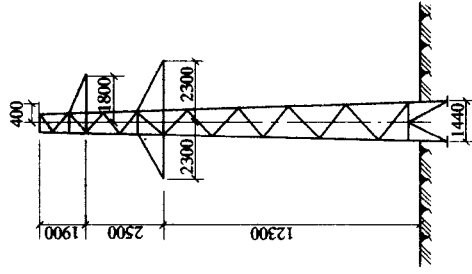


图 1-12 上字型塔

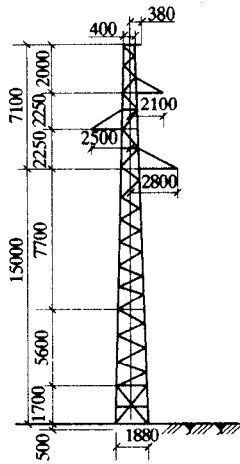


图 1-13 鸟骨型换位塔

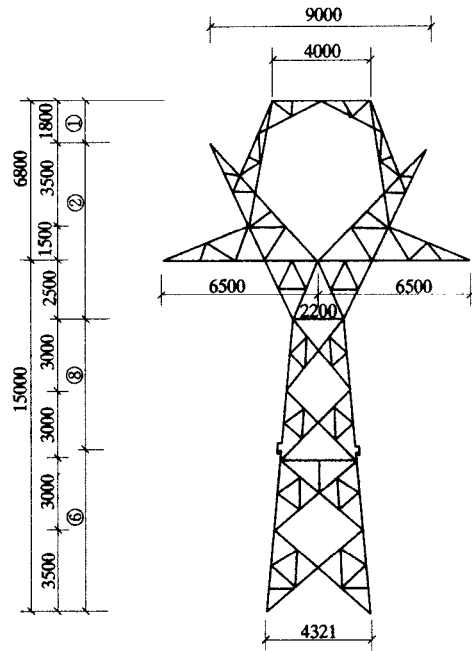
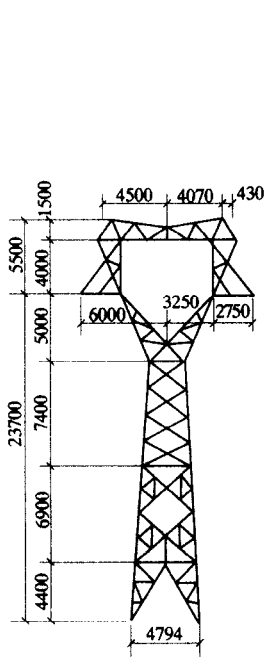
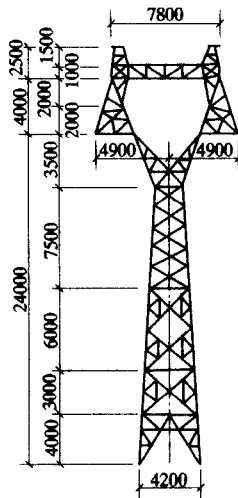


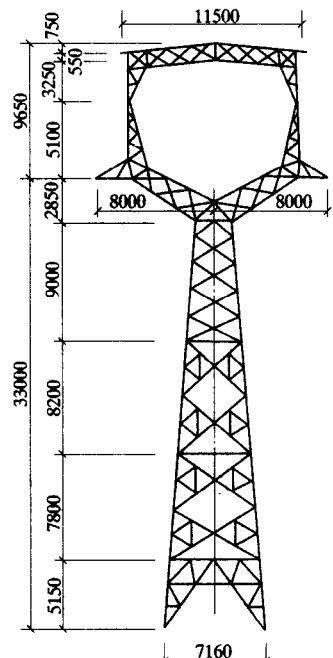
图 1-14 桥型换位塔



(a)



(b)



(c)

图 1-15 猫头铁塔

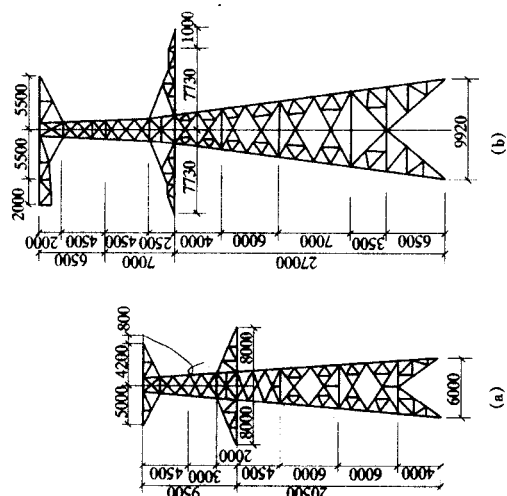


图 1-17 十字型塔  
(a) 220kV 十字型塔; (b) 500kV 十字型塔

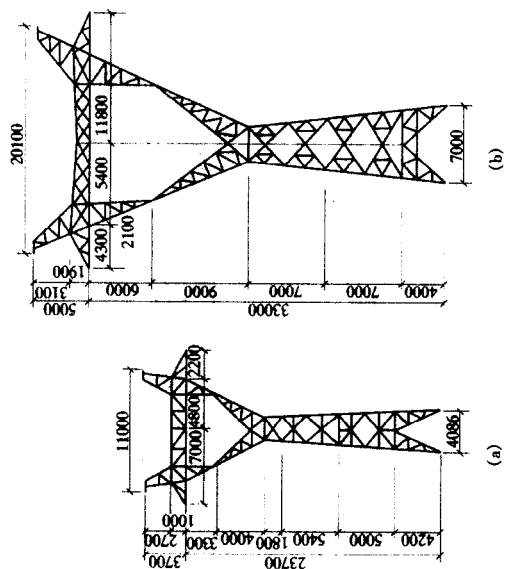


图 1-16 酒杯型塔  
(a) 220kV 酒杯塔; (b) 500kV 酒杯塔

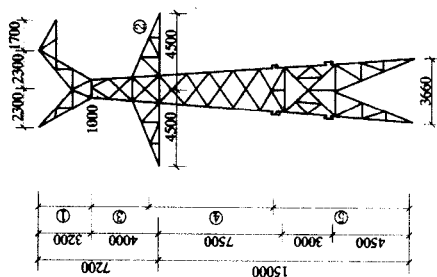


图 1-18 羊角型塔

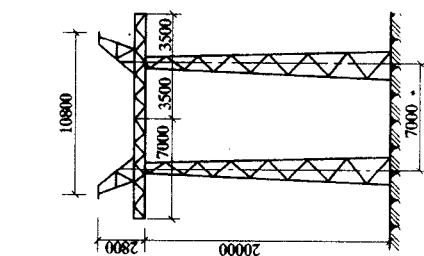


图 1-19 门型铁塔

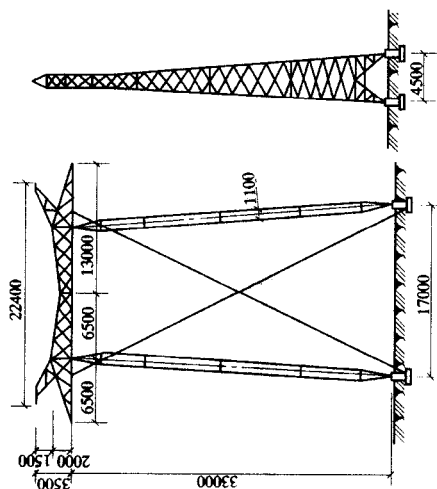


图 1-20 内拉线门型塔

张、转角或终端塔), 适用于电压等级较高的送电线路。

(6) 干字型塔。如图 1-17 所示, 单回路、导线三角形布置, 用作承力塔。干字型塔的中相导线直接挂在塔身上, 下横担长度比酒杯型塔的短, 结构也比较简单, 因而比较经济。

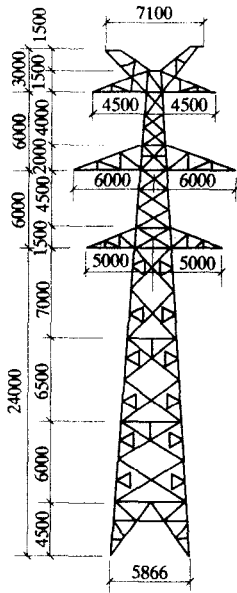


图 1-21 鼓型铁塔

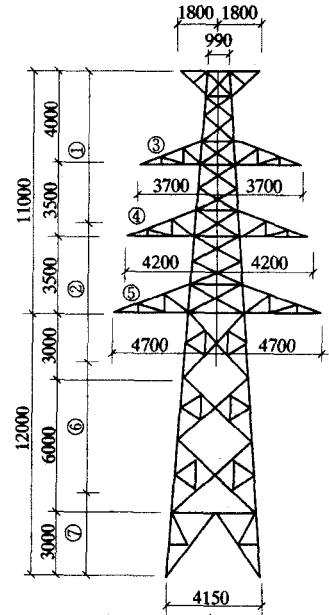


图 1-22 伞型终端塔

(7) 羊角型塔。如图 1-18 所示, 单回路、导线三角形布置, 用作转角塔或终端塔。

(8) 门型塔。如图 1-19 所示, 单回路、导线水平布置, 用作终端塔。

(9) 内拉线门型塔。如图 1-20 所示, 拉线设置在结构平面内, 用作自立式直线塔。

(10) 鼓型塔 (六角型)。如图 1-21 所示, 用作双回路直线塔、承力塔。

(11) 伞型塔。如图 1-22 所示, 用作双回路承力塔。

(12) 蝶型塔。如图 1-23 所示, 用作双回路直线塔。

(13) 鼓型分歧塔。如图 1-24 所示, 是一用双回路分歧塔, 两个回路在该塔上分叉, 通向不同的变电站。

#### 1.2.2.2 拉线铁塔的结构型式

拉线铁塔主要用作直线塔, 在较平坦的地段上使用。拉线塔柱身断面较小, 耗钢量较少, 受风荷载较小。拉线塔的根部与基础铰接, 基础沉降对结

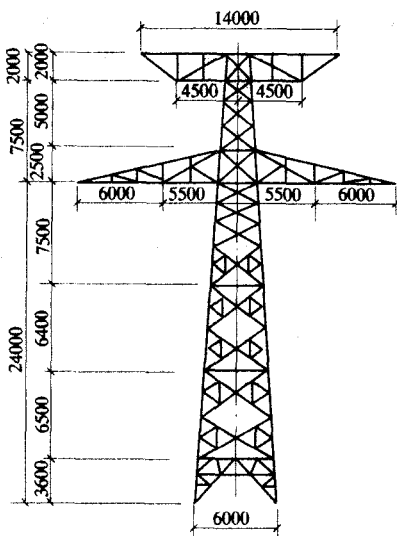


图 1-23 蝶型塔

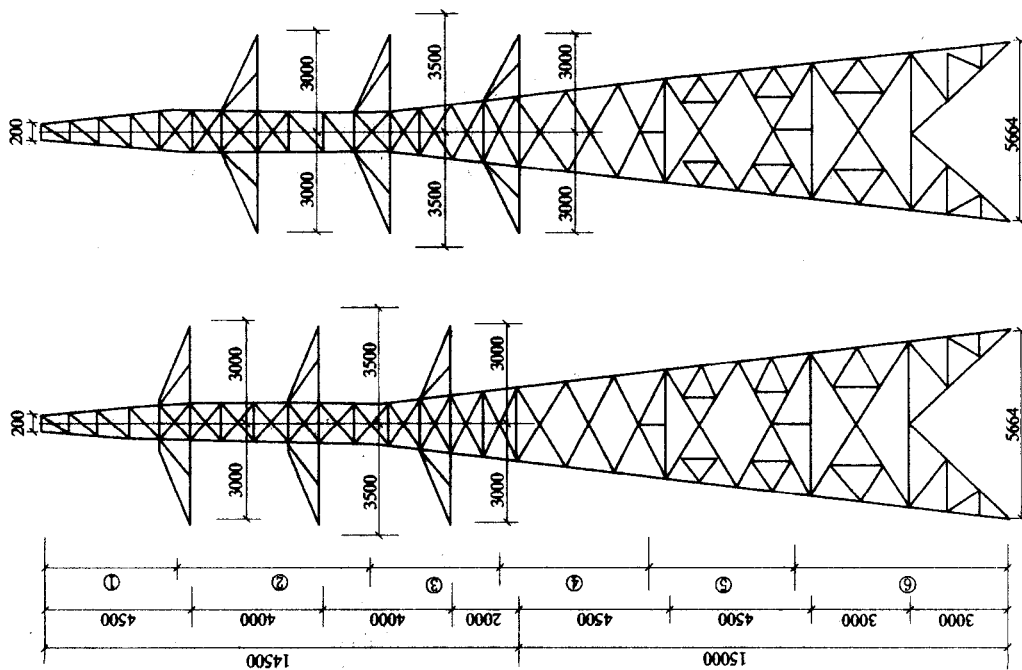


图 1-24 鼓型分枝塔

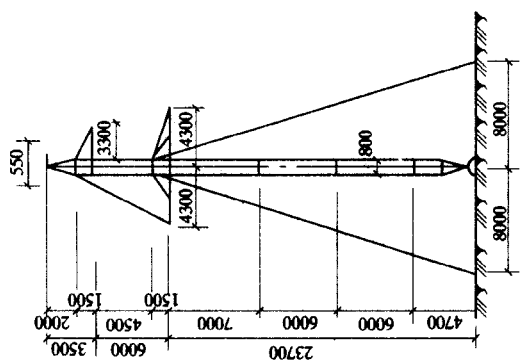


图 1-25 拉线十字型塔

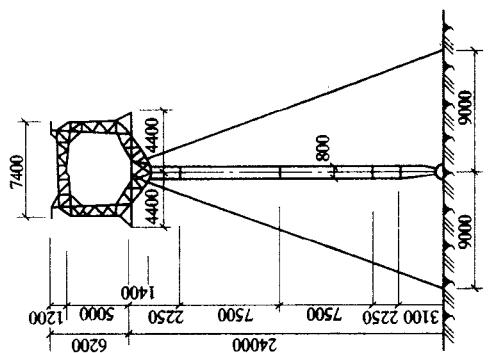


图 1-26 拉线猫头型塔

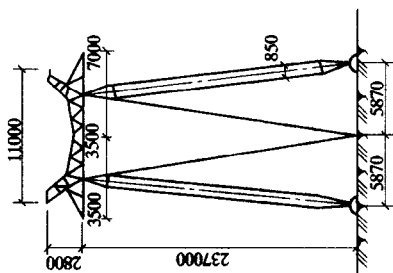


图 1-27 拉线门型塔

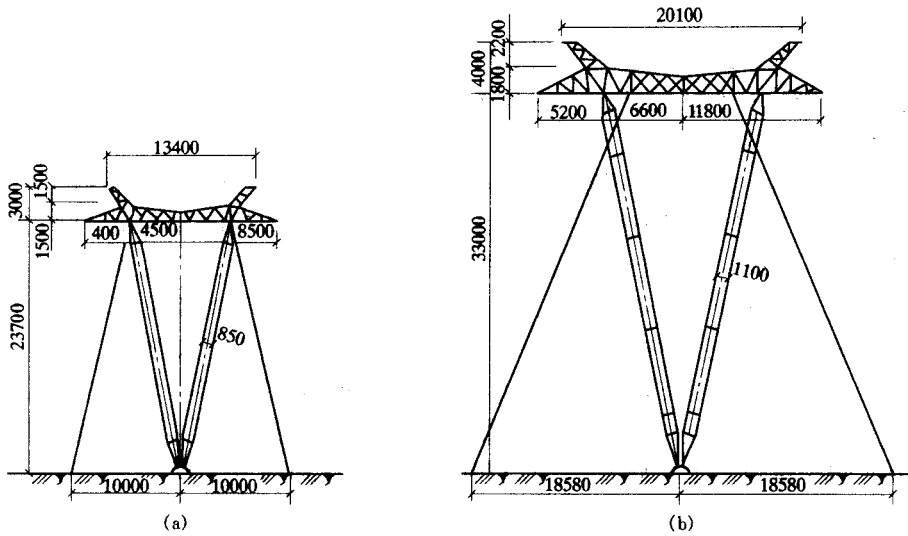


图 1-28 拉线 V 型塔

(a) 220kV 拉线 V 型塔; (b) 500kV 拉线 V 型塔

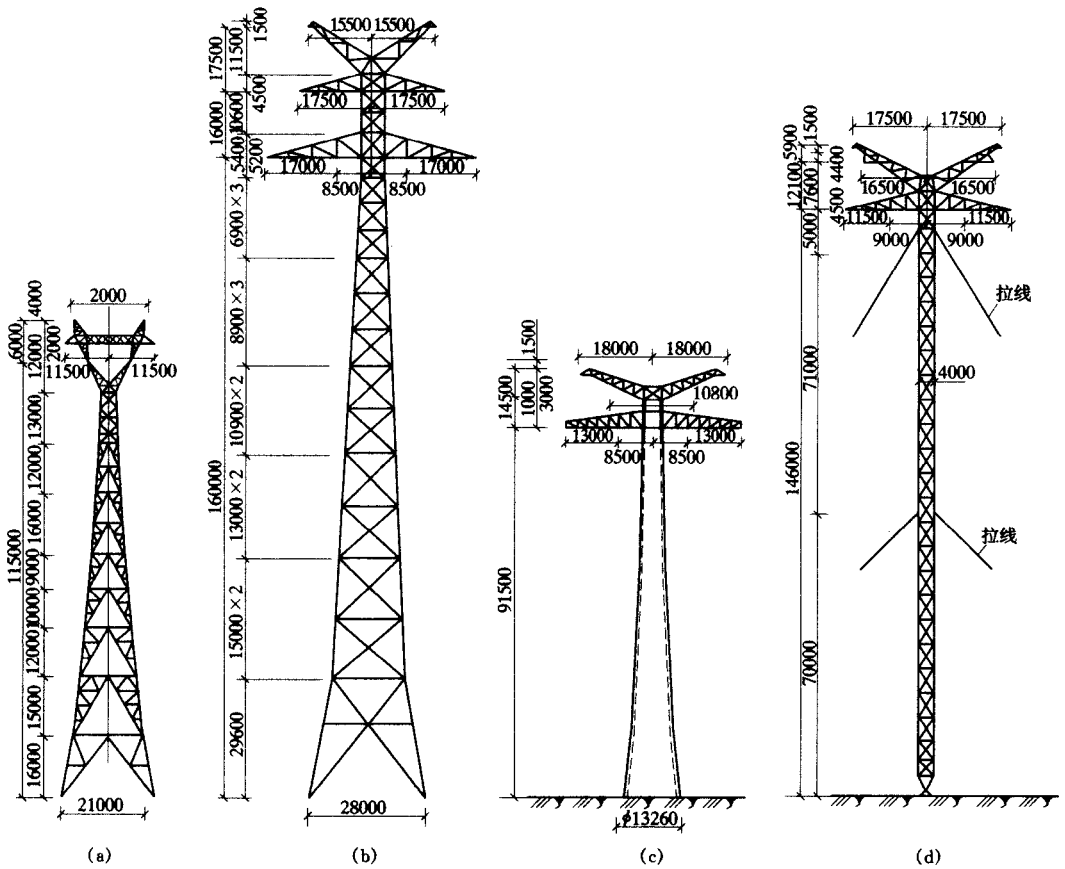


图 1-29 大跨越铁塔

(a) 酒杯型跨越塔; (b) 钢管跨越塔; (c) 钢筋混凝土跨越塔; (d) 多层拉线跨越塔

构杆件内力影响较小。

拉线上字型塔,如图1-25所示。拉线猫头塔,如图1-26所示。拉线门型塔,如图1-27所示。拉线V型塔,如图1-28所示。

### 1.2.3 大跨越塔的结构型式

当送电线路通过大江大河等地形条件时,通常使用大跨越塔来架空电线。河流越宽,跨越的档距越大,所需的杆塔就越高,特别是跨越水位高、有通航要求的江河,所需的杆塔高度就更高。如图1-29(a)所示为酒杯型跨越塔,其构件为组合截面,通常由等肢角钢组合成T形、十字形或方形的截面。如图1-29(b)所示为钢管跨越塔,其构件为钢管截面,结构连接采用焊接、螺栓、法兰盘连接等多种形式。如图1-29(c)所示为钢筋混凝土跨越塔,其塔柱为钢筋混凝土环形截面,横担为钢结构;塔柱施工通常采用滑模施工工艺。如图1-29(d)所示为多层拉线跨越塔,其主柱可以由角钢或钢管制成;由于多层拉线跨越塔的主柱截面小,所以耗钢量小,受风荷载也较小,但拉线占地范围较大。