

# 钢结构通信塔设计与施工

沈之容 主编

王肇民 主审



机械工业出版社

# 序

近年来我国的通信事业发展迅猛，特别是移动通信增量很大，通信塔的需求日益增多，但由于我国地域辽阔，目前还有许多通信塔布点的空白，因此将会有更多的通信塔建设来满足需求。通信塔和电视塔、输电塔、排气塔一样都是细长的、风荷载起主要控制作用的高耸构筑物，但是由于通信塔高度不高，工艺要求相对简单，目前全国不少地区的通信塔建造都不规范，存在着不少安全隐患，这与通信事业的蒸蒸日上是格格不入的。

《钢结构通信塔设计与施工》是一本专门阐述钢结构通信塔布置、选型、构造、计算、制作和安装的著作。该书系统地总结了钢结构通信塔的理论 and 实践经验，对解决当前通信塔工程实践中存在的诸多问题具有很好的参考价值。

本书主编同济大学副教授沈之容博士，从事钢结构、高耸结构教学、科研和工程设计多年，曾参与编写《高耸结构设计规范》(GB 50135—2006)、《塔桅钢结构工程施工质量验收规范》(修订版送审稿)、《户外广告设施钢结构技术规范》(CECS148:2003)，参编《塔式结构》、《建筑钢结构设计》、《广告设施设计与检测技术》等专著，并于2000年在同济大学以“高耸钢结构设计理论研究及工程应用”项目荣获国家级科技进步二等奖。

通信塔和其他塔式结构一样都是高耸构筑物，但因工艺条件不同，其设计与施工也有很大区别。沈之容博士和该书编者们对通信塔具有丰富的科研和工程设计、施工经验。本书涵盖了他们的科研与工程设计成果，作为通信塔结构方面的一本专著，一定会有益于钢结构通信塔的发展，使读者从中获得很大的裨益。

因而，乐为之序。

王肇民

# 前 言

随着近年来我国通信事业的蓬勃发展,通信塔星罗棋布在神州大地。通信塔是一种高耸结构,高度在60m左右,其主要目的是把通信天线举在高空。通信塔有钢结构通信塔和钢筋混凝土通信塔两种。前者制造、安装都比后者快捷、方便,投资也相对较少,很受欢迎,目前通信塔绝大多数是钢结构通信塔。

钢结构通信塔主要有桁架塔、单管塔、拉线塔三种结构形式。其中桁架塔是由角钢、钢管或圆钢构件拼装而成的格构式自立塔,其制造、拼装相对较麻烦。三种钢结构通信塔中,单管塔是后起之秀,它由圆筒形构件叠加而成,机械化程度较高,多数在工厂预制工地安装,施工相对简单便捷,单管塔很细长,占地较小,因而近年发展较快,有取代桁架塔的趋势。单管塔外形美观,加上一些树叶还可伪装成大树,有利环保,很受欢迎,但在风荷载作用下变形较大,是受变形控制的。拉线塔虽然轻巧,但占地面积较大,多用在高层建筑屋顶上。本书对钢结构通信塔的选型、布置、构造、计算、制作、安装均有详细的介绍。

本书按最新《高耸结构设计规范》(GB 50135—2006)和《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)2006年修订版编写,系统地介绍了钢结构通信塔的设计与施工,共分十一章。绪论介绍了通信塔的特点、天线的工艺、通信塔的组成和分类;第二、三、四章介绍了桁架塔、单管塔、拉线塔的选型和构造;第五章详述了通信塔的计算荷载和作用力;第六、七、八章分别介绍了桁架塔、单管塔、拉线塔的静力分析计算方法;第九章为塔的动力分析和振动控制;第十章介绍了各种通信塔的基础选型和基础设计;第十一章系统总结了单管塔和桁架塔的制作与安装等施工方法。书中还附有各种钢结构通信塔的工程实例和单管塔的振动控制试验研究。

本书由同济大学土木工程学院副教授沈之容博士主编,王肇民教授主审,参加编写的还有同济大学土木工程学院潘汉明博士、黄健博士、唐柏鉴博士、陶伟工程师,杭州电联公司徐华刚总工程师和河北保定邮电机械厂唐海涛高级工程师、赵志刚高级工程师等。

编 者

# 目 录

序

前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....       | 1  |
| 第一节 通信塔的特点.....           | 1  |
| 第二节 移动通信天线工艺.....         | 1  |
| 第三节 微波天线工艺.....           | 3  |
| 第四节 通信塔结构的分类.....         | 4  |
| 第五节 通信塔结构的发展.....         | 7  |
| <b>第二章 桁架塔选型和构造</b> ..... | 9  |
| 第一节 桁架塔的选型.....           | 9  |
| 第二节 角钢塔结构构造 .....         | 10 |
| 第三节 钢管塔结构构造 .....         | 13 |
| 第四节 平台、爬梯和避雷器 .....       | 16 |
| <b>第三章 单管塔选型和构造</b> ..... | 20 |
| 第一节 单管塔的选型 .....          | 20 |
| 第二节 圆形单管塔结构构造 .....       | 21 |
| 第三节 多边形单管塔结构构造 .....      | 31 |
| <b>第四章 拉线塔选型和构造</b> ..... | 36 |
| 第一节 拉线塔的选型 .....          | 36 |
| 第二节 角钢拉线塔结构构造 .....       | 39 |
| 第三节 钢管拉线塔结构构造 .....       | 42 |
| 第四节 圆钢拉线塔结构构造 .....       | 46 |
| 第五节 拉线通信塔的纤绳构造 .....      | 47 |
| <b>第五章 计算荷载与作用力</b> ..... | 50 |
| 第一节 荷载与作用分类 .....         | 50 |
| 第二节 风荷载 .....             | 50 |
| 第三节 地震作用 .....            | 61 |
| 第四节 荷载与作用的组合 .....        | 63 |
| <b>第六章 桁架塔静力分析</b> .....  | 65 |
| 第一节 桁架塔静力计算方法 .....       | 65 |

|             |                           |            |
|-------------|---------------------------|------------|
| 第二节         | 整体空间桁架法 .....             | 65         |
| 第三节         | 考虑几何非线性影响的静力分析 .....      | 70         |
| 第四节         | 桁架塔钢杆件计算 .....            | 72         |
| 第五节         | 桁架通信塔计算实例 .....           | 84         |
| <b>第七章</b>  | <b>单管塔静力分析</b> .....      | <b>91</b>  |
| 第一节         | 单管塔静力计算方法 .....           | 91         |
| 第二节         | 单管塔选型设计 .....             | 91         |
| 第三节         | 单管塔筒身计算 .....             | 95         |
| 第四节         | 单管通信塔工程实例 .....           | 98         |
| <b>第八章</b>  | <b>拉线塔静力分析</b> .....      | <b>103</b> |
| 第一节         | 拉线塔静力计算方法 .....           | 103        |
| 第二节         | 弹性支座连续梁法 .....            | 103        |
| 第三节         | 杆身等效梁单元法 .....            | 112        |
| 第四节         | 拉线塔计算实例 .....             | 130        |
| <b>第九章</b>  | <b>通信塔动力分析和振动控制</b> ..... | <b>146</b> |
| 第一节         | 塔的动力特性和计算模型 .....         | 146        |
| 第二节         | 拉线塔的动力计算模型 .....          | 150        |
| 第三节         | 通信塔的风振响应分析 .....          | 155        |
| 第四节         | 塔的地震作用分析 .....            | 158        |
| 第五节         | 楼顶塔风振响应分析 .....           | 166        |
| 第六节         | 通信塔的振动控制 .....            | 170        |
| 第七节         | TMD 控制的参数研究 .....         | 175        |
| 第八节         | 通信塔的 TSD 振动控制 .....       | 182        |
| 第九节         | 拉线通信塔的振动控制 .....          | 187        |
| <b>第十章</b>  | <b>通信塔的基础设计</b> .....     | <b>190</b> |
| 第一节         | 通信塔基础选型 .....             | 190        |
| 第二节         | 地基承载力验算 .....             | 193        |
| 第三节         | 基础抗拔和抗滑移稳定计算 .....        | 196        |
| 第四节         | 空间桁架塔浅基础设计 .....          | 199        |
| 第五节         | 单管塔浅基础设计 .....            | 203        |
| 第六节         | 拉线塔基础设计 .....             | 207        |
| 第七节         | 桩基础 .....                 | 210        |
| 第八节         | 基础设计工程实例 .....            | 218        |
| <b>第十一章</b> | <b>通信塔的施工</b> .....       | <b>224</b> |
| 第一节         | 单管圆锥通信塔制造及安装 .....        | 224        |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 第二节 桁架通信塔制造及安装 .....                                | 235 |
| 附录 .....                                            | 253 |
| 附录 A 纤绳的规格、连接和零件 .....                              | 253 |
| 附录 B 三角系数 $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$ 、 $\bar{c}$ 表 ..... | 262 |
| 附录 C 矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算系数表 .....                    | 263 |
| 附录 D 热浸镀锌层附着性测试 溶解称重试验方法 .....                      | 264 |
| 附录 E 热浸镀锌层均匀性试验 硫酸铜试验方法 .....                       | 265 |
| 附录 F 热浸镀锌层附着性试验 落锤试验方法 .....                        | 267 |
| 参考文献 .....                                          | 268 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 通信塔的特点

通信塔是装设通信天线的一种高耸结构，其特点是结构较高，横截面相对较小，横向荷载起主要作用，是一种细长构筑物。通信塔上的通信天线，一般有移动电话天线、寻呼机天线以及各种行业的通信天线，近年来随着社会信息化日益成熟，各种新的通信技术不断涌现，特别是蜂窝式移动通信技术的发展，引起了我国通信塔建设的热潮。

用量最多的蜂窝式移动电话基站通信塔，由于布点和覆盖面的需求，通常相隔一定间距建造一座，塔高约 30~60m，塔上有 2~3 层，互距 5~6m 的圆形工作平台，平台外缘均匀分布 6~12 幅通信天线(图 1-1)。这种通信塔遍布城乡，数量惊人。

移动天线的通信塔对结构位移要求不高，只需要满足规范规定的高耸结构水平位移限值。如果通信塔上装设微波天线，兼作微波塔，则对结构位移要求就高很多，还必须满足方向性较强的工艺要求。

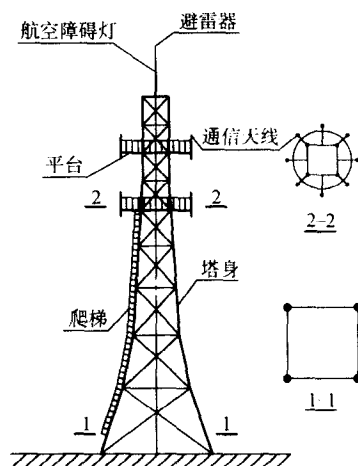


图 1-1 移动电话基站通信塔

## 第二节 移动通信天线工艺

各种通信天线对通信塔有不同的工艺要求。常用的蜂窝式移动电话基站通信天线形式一般有全向天线、定向天线、双波天线三种，见图 1-2。

定向天线和全向天线的天线参数见表 1-1。

表 1-1 天 线 参 数

| 序号 | 名 称 | 单位 | 双极化定向<br>天线 | 双极化定向<br>天线 | 空间分集定<br>向天线 | 空间分集定<br>向天线 | 空间分集定<br>向天线 |
|----|-----|----|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 1  | 厂 家 |    | 凯瑟琳         | 凯瑟琳         | 凯瑟琳          | 安德鲁          | RFS          |

(续)

| 序号 | 名 称    | 单位   | 双极化定向<br>天线      | 双极化定向<br>天线      | 空间分集定<br>向天线     | 空间分集定<br>向天线     | 空间分集定<br>向天线     |
|----|--------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2  | 产品号    |      | 739623           | 739634           | 730378           | CTSG-09015-0D    | AP906516-T0      |
| 3  | 电调角    | 度    | 0                | 6                | 0                | 0                | 0                |
| 4  | 尺寸     | mm   | 1936 × 262 × 116 | 1936 × 262 × 116 | 2574 × 258 × 103 | 2575 × 267 × 132 | 1977 × 265 × 130 |
| 5  | 重量     | kg   | 12               | 12               | 12               | 18.5             | 11.5             |
| 6  | 增益     | dB   | 17               | 17               | 17               | 17               | 17.5 ± 0.5       |
| 7  | 水平半功率角 | 度    | 65               | 65               | 90               | 90               | 65               |
| 8  | 垂直半功率角 | 度    | 10               | 10               | 6.5              | 6.5              | 8.5              |
| 9  | 抗风能力   | km/h | 200              | 200              | 200              | 200              | 200              |
| 10 | 最大输入功率 | W    | 600              | 600              | 500              | 500              | 1000             |
| 11 | VSWR   |      | < 1.5            | < 1.3            | < 1.3            | < 1.3            | < 1.3            |

| 序号 | 名 称    | 单位   | 空间分集定<br>向天线    | 空间分集定<br>向天线     | 空间分集定<br>向天线     | 全 向 天 线       |
|----|--------|------|-----------------|------------------|------------------|---------------|
| 1  | 厂家     |      |                 | 海天               | RFS              | 海天            |
| 2  | 产品号    |      |                 | HTDB0912014      | AP901213-T0      | HTQ-09-11     |
| 3  | 电调角    | 度    | 0               | 0                | 0                |               |
| 4  | 尺寸     | mm   | 2300 × 265 × 90 | 1939 × 258 × 102 | 1977 × 265 × 130 | 2988 × 50(直径) |
| 5  | 重量     | kg   | 8.5             | 9                | 10.3             | 8             |
| 6  | 增益     | dB   | 15              | 14.5             | 15               | 11            |
| 7  | 水平半功率角 | 度    | 120             | 120              | 120              | 360           |
| 8  | 垂直半功率角 | 度    |                 | 8.5              | 8.5              | 6.5           |
| 9  | 抗风能力   | km/h | 150             | 200              | 200              | 241           |
| 10 | 最大输入功率 | W    | 500             | 500              | 1000             | 500           |
| 11 | VSWR   |      |                 | < 1.3            | < 1.3            |               |

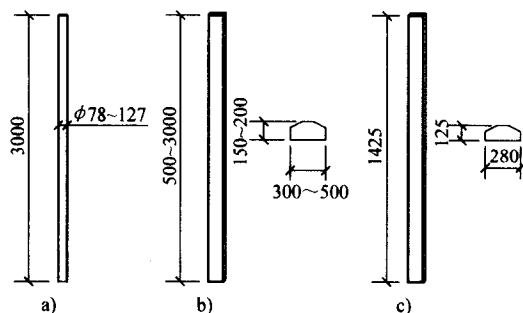


图 1-2 蜂窝式移动电话基站通信天线

a) 全向天线 b) 定向天线 c) 双波天线

各种天线的基本尺寸如下：

### 1. 全向天线

全向天线为圆棒形，直径 127mm，长度 3000mm；天线的抱杆直径 70mm，长度 3000mm。

全向天线在塔顶抱杆距离  $>4000\text{mm}$ ，在塔身侧距塔身  $\geq 3000\text{mm}$ 。

### 2. 定向天线

定向天线为扁铁形，尺寸为  $2450\text{mm} \times 291\text{mm} \times 90\text{mm}$ ，天线的抱杆直径与全向天线相同，直径 127mm，长度 3000mm。

定向天线高度以平台下沿以上 500mm 为基准；六个天线均布，抱杆对角距离  $\geq 6000\text{mm}$ ；三个天线均布，抱杆距离  $\geq 4000\text{mm}$ ，见图 1-3。

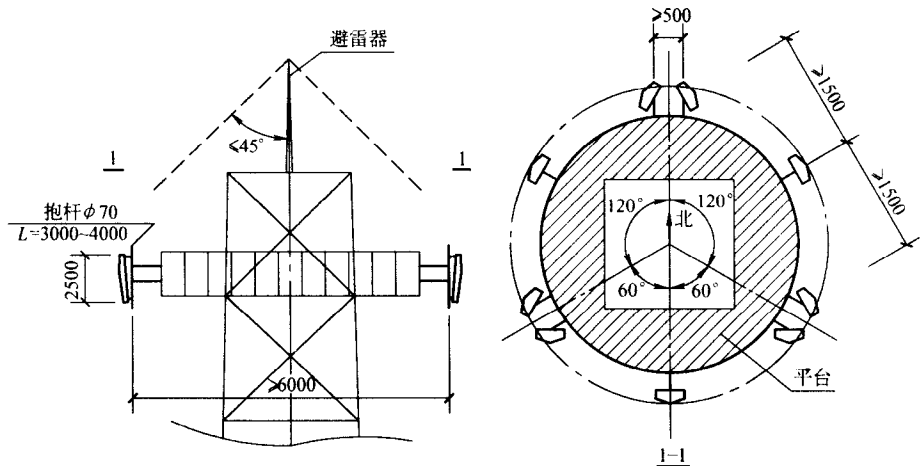


图 1-3 空间分集定向天线安装示意图

### 3. 双波天线

双波天线也呈扁铁形，尺寸为  $1450\text{mm} \times 280\text{mm} \times 125\text{mm}$ 。

## 第三节 微波天线工艺

微波塔按照不同频率、不同抛物面天线的尺寸，有其合理可行的变形限值。微波通信塔结构的水平扭转角和垂直俯仰角均不应超过抛物面天线的半功率角的一半。

表 1-2 为抛物面天线主要技术参数。

微波通信一般在 50km 左右设置一个中继站，每个站都需要有一座塔架，在整个通信线路设计中，要充分考虑利用地形，将塔架在山顶，增大通信距离、降低塔高、减少钢材、节约成本。

表 1-2 抛物面天线主要技术参数

| 直径/m | 工作频段/GHz      | 型 号        | 增 益/dB | 半 功 率 角 | 参考重量/kg |
|------|---------------|------------|--------|---------|---------|
| 2.0  | 1.9 ~ 2.3     | T2-02BSG   | 29.60  | 5°      | 72      |
|      | 5.925 ~ 6.425 | T2-06SG    | 39.60  | 1.6°    |         |
|      | 7.125 ~ 7.725 | T2-07DG    | 41.20  | 1.55°   |         |
| 3.0  | 1.9 ~ 2.3     | T3-02BSG   | 33.40  | 3.33°   | 205     |
|      | 3.7 ~ 4.2     | T3-04BSG   | 39.20  | 1.75°   |         |
| 3.2  | 1.9 ~ 2.3     | T3.2-02BSG | 33.90  | 3.12°   | 260     |
|      | 3.8 ~ 4.2     | T3.2-04BSG | 39.73  | 1.64°   |         |
|      | 5.925 ~ 6.425 | T3.2-06ASG | 43.50  | 1.06°   |         |
|      | 6.425 ~ 7.125 | T3.2-06BSG | 44.30  | 0.97°   |         |
|      | 7.125 ~ 7.725 | T3.2-07BDG | 45.20  | 0.97°   |         |
|      | 7.725 ~ 8.275 | T3.2-07BSG | 45.70  | 0.82°   |         |
| 4.0  | 1.9 ~ 2.3     | T4-02BSG   | 36.00  | 2.5°    | 665     |
| 4.5  | 1.9 ~ 2.3     | T4.5-02BSG | 37.00  | 2.1°    | 765     |

## 第四节 通信塔结构的分类

### 一、通信塔的组成和分类

通信塔的主要功能是支持各种通信天线,使其占有一定空间和高度,因此通信塔结构除了用作支撑和受力的塔身外,还包括高空安装天线的数个平台,通往平台的垂直交通爬梯,起安全防范作用的避雷设施和航空障碍灯等(图 1-4)。

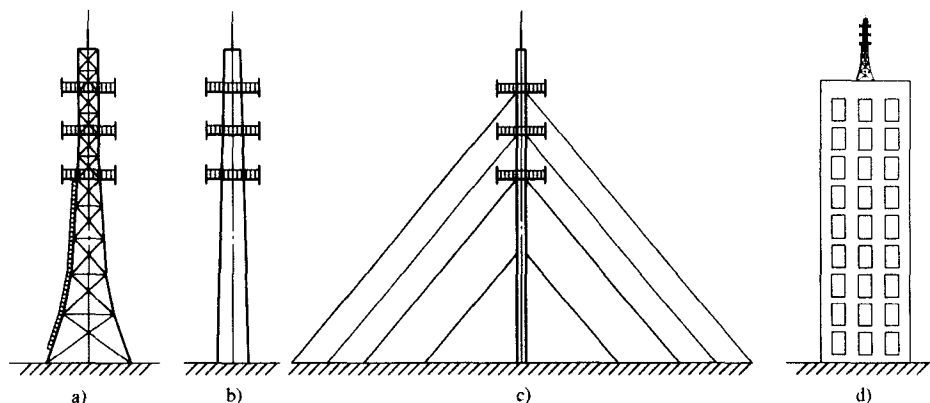


图 1-4 通信塔的各种形式

a) 空间桁架塔 b) 单管塔 c) 拉线塔 d) 楼顶塔

通信塔结构的种类按所使用的材料划分,有钢结构塔和钢筋混凝土塔。按所在位置划分,有地面塔和楼顶塔。按钢结构形式划分,有空间桁架塔和单管塔。其中空间桁架塔按其主要受力构件是角钢或无缝钢管又相应划分为角钢塔和钢管塔;单管塔则有法兰盘连接的圆截面单管塔和套筒式连接的多边形(8~16 边形)单管塔等。按受力形式划分,有悬臂受弯结构的单管塔和用纤绳支撑塔身形成弹性支座连续梁的拉线塔等,见图 1-4。

## 二、桁架塔和单管塔(图 1-5)

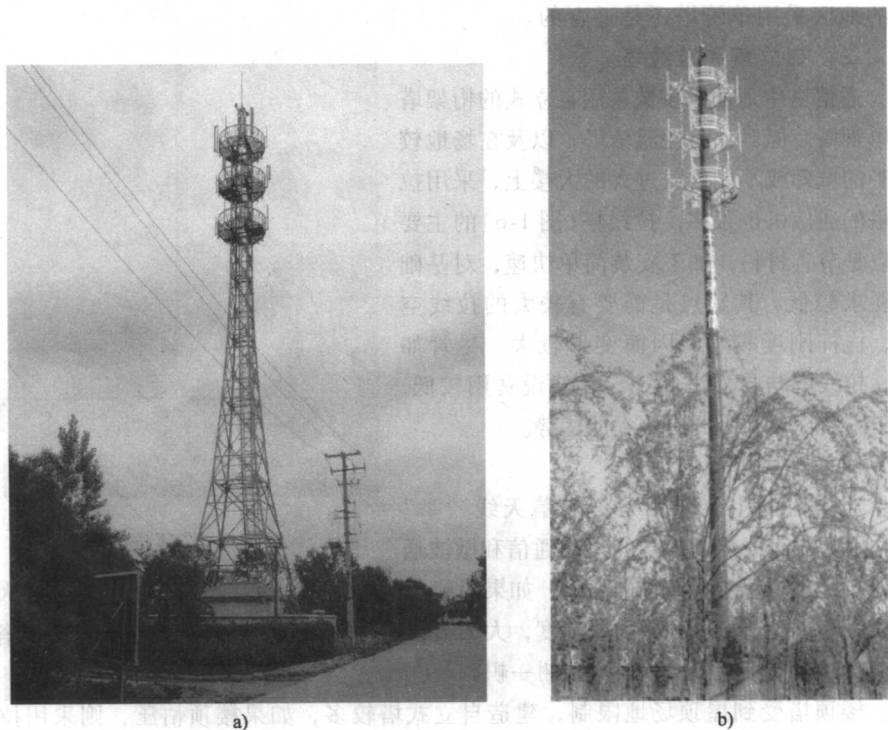


图 1-5 桁架塔和单管塔

a) 桁架塔 b) 单管塔

桁架塔是以空间桁架作为受力系统的结构形式。早先大多数空间桁架塔采用角钢构件,角钢单价便宜,连接方便,加工及安装要求相对较低,但单肢角钢回转半径较小,只有角钢肢宽的  $1/5$  左右,因此为了控制构件长细比,布置了过多不受力的再分式构件,增加了迎风面积。后来用回转半径较大(约为管径的  $1/3$ )、风阻力较小的无缝钢管取代了角钢,减轻了整个塔的重量,外观也更加美化,并且用法兰盘螺栓连接,缩短了加工及安装周期,因此目前钢管塔被大量采用。

为满足基础抗拔要求,空间桁架塔的底部较大,一般桁架塔塔架高度  $H$  和底部宽度  $B$  之比为  $H/B = 5 \sim 6$ ,最多放宽到 10,即如果通信塔高度为 60m,则

四边形塔身底部宽度至少要 6m，即基础外接圆直径为 8.4m。

在城市里，受场地局限，要求通信塔底部宽度减小，于是单管塔大受青睐。单管塔的塔身管径斜率一般为 1.2%~1.7%，如果塔高 60m，塔顶直径为 0.5~0.6m，则塔底直径为 1.2~1.7m，可见单管塔的建设场地大为缩小。单管塔的另一特点是可采用大机械加工、安装，有利于批量生产，而且机械化施工能控制质量、降低成本、提高工效。单管塔的缺点是塔身重量较大，结构位移也较大，对基础的要求较高。综合比较，在场地受限、塔高不大、风压较小、交通条件较好的地区采用单管塔还是适合的。

### 三、自立塔和拉线塔

通信塔中地面塔多数采用自立式的桁架塔或单管塔。但对临时性通信塔，以及在场地较空旷的城郊或不能负载过大的大楼上，采用拉线塔的通信塔也很多。拉线塔(图 1-6)的主要特点是节省材料，加工安装简单快速，对基础的要求较低。其缺点是需要有较大的拉线空间，桅杆刚度较小，因而变形较大。尽管如此，拉线塔与自立塔相比，其建设费用较低，加工安装简便，因此有很大的优势。

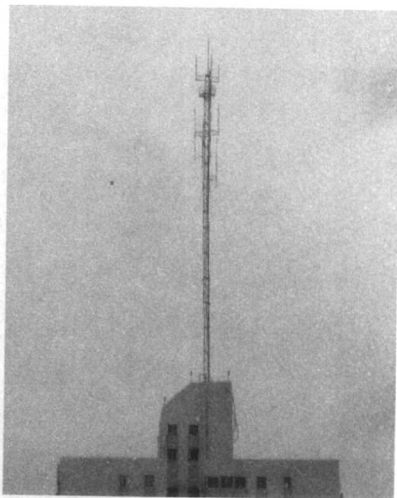


图 1-6 楼顶拉线塔

### 四、地面塔和楼顶塔

通信塔的主要作用是把通信天线“举”高，因为靠直线传输信号的移动通信和微波通信天线，必须超越建筑物的高度，如果遇到合适的大楼，直接把通信天线安装在大楼楼顶一座小塔上，可利用房屋高度，大大节省建设费用。因此，在大城市里楼顶塔星罗棋布，在中小城镇楼顶塔也独树一帜。

楼顶塔受到屋顶场地限制，建造自立式塔较多，如果楼顶怕压，则采用拉线式塔可把塔的部分荷载转化成拔力。

### 五、钢塔和钢筋混凝土塔

虽然钢塔的结构刚度不及钢筋混凝土塔，但移动通信塔的变形要求不如微波塔要求严格，因此通信塔绝大多数是钢结构塔。而且钢结构轻巧，建设速度快，特别是移动通信塔，量大面广，采用钢结构塔投资少、见效快，比钢筋混凝土塔具有明显的优势。微波通信塔则常为钢筋混凝土塔，通常在多层建筑上伸出一座小塔并布有多层平台，用以安装通信天线和各个方向的微波天线(图 1-7)。

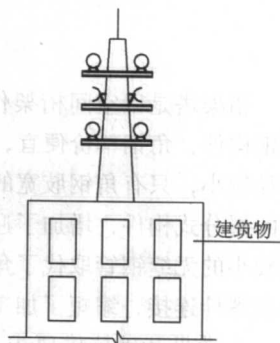


图 1-7 钢筋混凝土屋顶微波塔

## 第五节 通信塔结构的发展

如前所述, 钢管桁架塔的塔脚根开(边宽)较大, 其基础抗拔力较小, 总体造价减小, 但占地面积较大, 在城市里的建造受限。于是为节约用地, 除了单管塔外, 又出现了一种“三管塔”(图 1-8)的结构形式, 塔为正三角形截面, 塔柱斜率较小, 或直上直下一通到底, 其单斜杆体系有利于工业化和标准化, 而且三管塔是小根开的钢管桁架塔, 迎风面积较小, 也便于从塔外检修电缆和导线。

近年来我国倡导可持续发展, 城市建设十分注意环保问题, 于是出现了所谓的“环保塔”。这种塔远看像一棵树, 实际上是用人造树皮覆盖在单管塔上, 利用树杈或树枝作为天线, 与周围环境十分协调。这种“环保塔”也非常适合于自然风景区, 它既可以解决旅游区通信的盲区, 又不破坏周围的景色。图 1-9 为浙江某景区的形似椰子树的一座“环保塔”, 它与周围其他树木融为一体, 如果不仔细分辨, 很难看出它是一座通信塔。当然这种塔因伪装树叶造价较高, 加上“树大招风”, 塔的用钢量和基础混凝土用量也随之增加, 尽管如此, “环保塔”还是有一定的市场和发展前景。图 1-10 为浙江嘉兴的一座形如松树的通信塔。

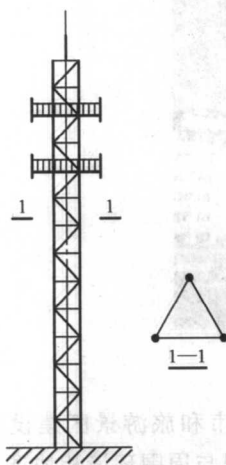


图 1-8 三管塔结构形式



图 1-9 单管环保塔(一)

另外在城市里的通信塔, 还可以做成景观塔, 图 1-11 为上海淞江大学城双轮塔, 该单管塔上不设平台, 只装通信天线, 晚上再投射七彩灯光, 不失为城市里的一道风景线。



图 1-10 单管环保塔(二)



图 1-11 单管景观塔

总之，随着我国通信事业的发展，通信塔在城市和旅游景区建设得越来越多，通信塔的形式和风格也日新月异，它们被改造得与周围环境相协调，如同城市雕塑一样，给城市带来更多人文景观，为美化城市添光溢彩。

## 第二章 桁架塔选型和构造

### 第一节 桁架塔的选型

#### 一、桁架塔平立面形式

通信塔最常用的结构形式就是空间桁架塔，其平面形式多数是正三角形或正四边形，见图 2-1。

空间桁架构件常用角钢和钢管，故有角钢塔和钢管塔之分。国产角钢基本是直角角钢，很少有内角  $60^\circ$  角钢，因此角钢塔基本上采用正四边形截面，便于腹杆连接。钢管构件则灵活得多，钢管塔有正三角形和正四边形截面。

由于角钢的最小回转半径很小，大约只有边宽的  $1/5$ 。如采用单角钢构件必须考虑其构件长细比的限值，因而角钢塔的腹杆形式多用再分式(图 2-1a)，以减少构件的自由长度。钢管的回转半径约为其直径的  $1/3$ ，比角钢大很多，因而钢管塔的节间可拉开，采用单斜杆或十字交叉腹杆体系是恰当的(图 2-1b、c)。

桁架塔构件还可用圆钢做主肢或腹杆，其优点是材料价格较低，圆形截面风阻力较小，用在十字交叉腹杆中作为预应力柔性斜杆(用花篮螺栓)较好，若用于主肢，大直径圆钢材质较差，不经济。

#### 二、预应力柔性腹杆的应用

钢塔的腹杆有刚性斜腹杆和预应力柔性斜腹杆之分，后者迎风面积较小，杆件长度不受长细比限制，因而采用预应力柔性斜腹杆的用钢量较刚性斜腹杆为少。

塔架作为悬臂结构，塔身弯矩和剪力都是沿塔身高度向下而递增，弯矩的增量呈抛物线形式变化，剪力的增量则呈一次线性关系。因此塔柱内力(主要承受

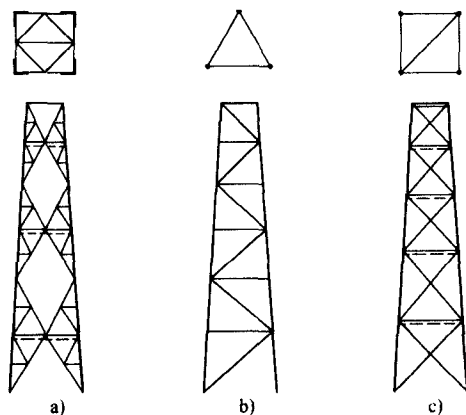


图 2-1 桁架塔腹杆形式

a) 角钢塔再分式腹杆 b) 钢管塔单斜杆腹杆  
c) 钢管塔十字交叉腹杆

塔身弯矩)呈二次曲线,斜杆内力(主要承受塔身剪力)呈线性变化。

桁架塔下部塔柱受力很大,斜杆受力相对很小,下部斜杆较长时用预应力柔性斜腹杆是较经济的。

柔性斜杆最好采用预应力,一方面避免柔性斜杆一旦受压退出工作,另一方面非预应力柔性斜杆有长细比限制,而预应力斜杆则无长细比限制。此外预应力柔性斜腹杆塔的刚度较非预应力斜腹杆塔要大,因此若采用柔性斜腹杆最好施加预应力。

## 第二节 角钢塔结构构造

### 一、角钢塔的优缺点

四边形角钢塔是国内最常用的通信塔结构形式,其优点是连接构造简单,加工安装方便,质量容易控制,外形坚实敦厚。由于角钢回转半径较小,为了控制杆件长细比,减小构件自由长度,设立再分式腹杆,增加了许多辅助杆件,因此加大了用钢量。另外角钢的体型系数较大,不受力的辅助杆件增加了塔的挡风面积,造成了较钢管塔大得多的风弯矩,用钢量和基础造价也相对较大。

### 二、角钢塔立面选型

通信塔是悬臂结构,塔身立面合理选型是抛物线型。一般底部根开(边宽)与高度比在  $1/5 \sim 1/6$  时较为经济。50~60m 高的通信塔底部边宽为 8~10m 时,其综合造价相对较低,如果因场地限制,塔的底部边宽缩小,腹杆用料缩短,重量减轻,但基础造价增加,其综合造价可能上升。因此在确定结构立面选型时,当塔高确定后,可根据地质情况、风荷载大小来选取塔的底部跨距,地基较差和风压较大时,塔底跨距较大,可以降低铁塔的整体投资。

四边形角钢塔顶部边宽一般以 600mm 为最佳,使装设通信天线的平台位移不致过大,如采用外爬梯,考虑爬梯上人空间,角钢塔顶部平面边宽最好不小于 1000mm。

角钢塔的造型也要尽量考虑美观,抛物线造型要求塔柱的斜率从下到上逐步降低。整个塔的曲线不应该有较大的突变,斜杆的斜度在  $45^\circ$  左右受力较为合理。

### 三、角钢塔塔柱构造

角钢塔塔柱一般选用单角钢,上部受力小可选用 Q235 钢,下部受力大可选用 Q345 钢,是根据塔高和风压大小选定的。理论上塔柱长细比  $\lambda \leq 150$ ,实际选用最好不要超过 120,因为长细比大了,受压柱的稳定系数  $\varphi$  较小,柱应力增加很多并不合算。采用再分式腹杆布置可减少塔柱的长细比。

选用塔柱构件时其角钢规格不宜小于  $\angle 63 \times 6$ ,这是考虑结构受力、制作、运输、安装和抗锈蚀需要。塔柱的安装长度一般不大于 8m,如果塔柱有变坡,

其节点连接最好在变坡处以上，使其构造和安装均容易处理(图 2-2)。

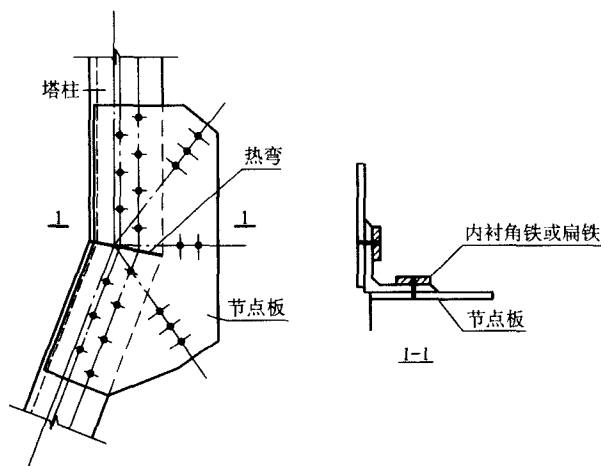


图 2-2 角钢塔塔柱拼接构造

角钢塔柱连接一般采用内外包角钢或钢板，内外包角钢时，可采用内包角钢削角、外包角钢清根，而不削弱塔柱主材(图 2-3)，塔柱弯折时，可采用热弯或剪断焊接连接。塔柱节点板厚度不应小于 6mm。

塔柱连接一般采用 6.8 级或 4.8 级高强度螺栓以减小节点板面积。

塔柱选材应尽可能标准化，避免构件类型过多造成材料选购及加工安装时的困难。一般 60m 高的通信塔，其角钢塔柱品种不宜超过 8 种。

#### 四、角钢塔腹杆构造

常用的角钢塔腹杆布置有再分式 K 形腹杆和再分式交叉腹杆(图 2-4)。采用再分式腹杆主要适应角钢回转半径太小，以及保持一定长细比的需要。

当角钢塔较高或风压较大时，采用再分式 K 形腹杆较适合。或者角钢塔上部采用再分式交叉腹杆，下部采用再分式 K 形腹杆以节约钢材。

理论上腹杆的长细比  $\lambda \leq 180$ ，实际上最好不超过 150。和塔柱相同，长细比太大，考虑杆件稳定系数所打的折扣太多，反而不太经济。腹杆材料一般选用 Q235，最小角钢宜用  $\angle 50 \times 5$ 。

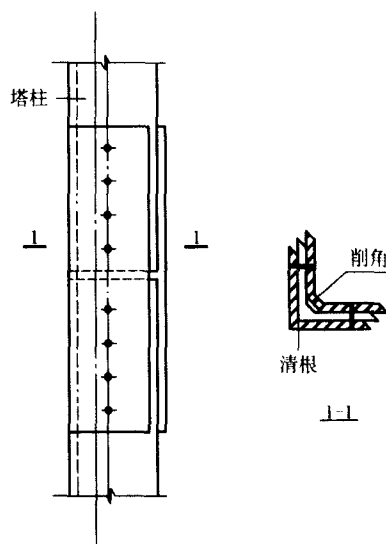


图 2-3 塔柱的拼接角钢