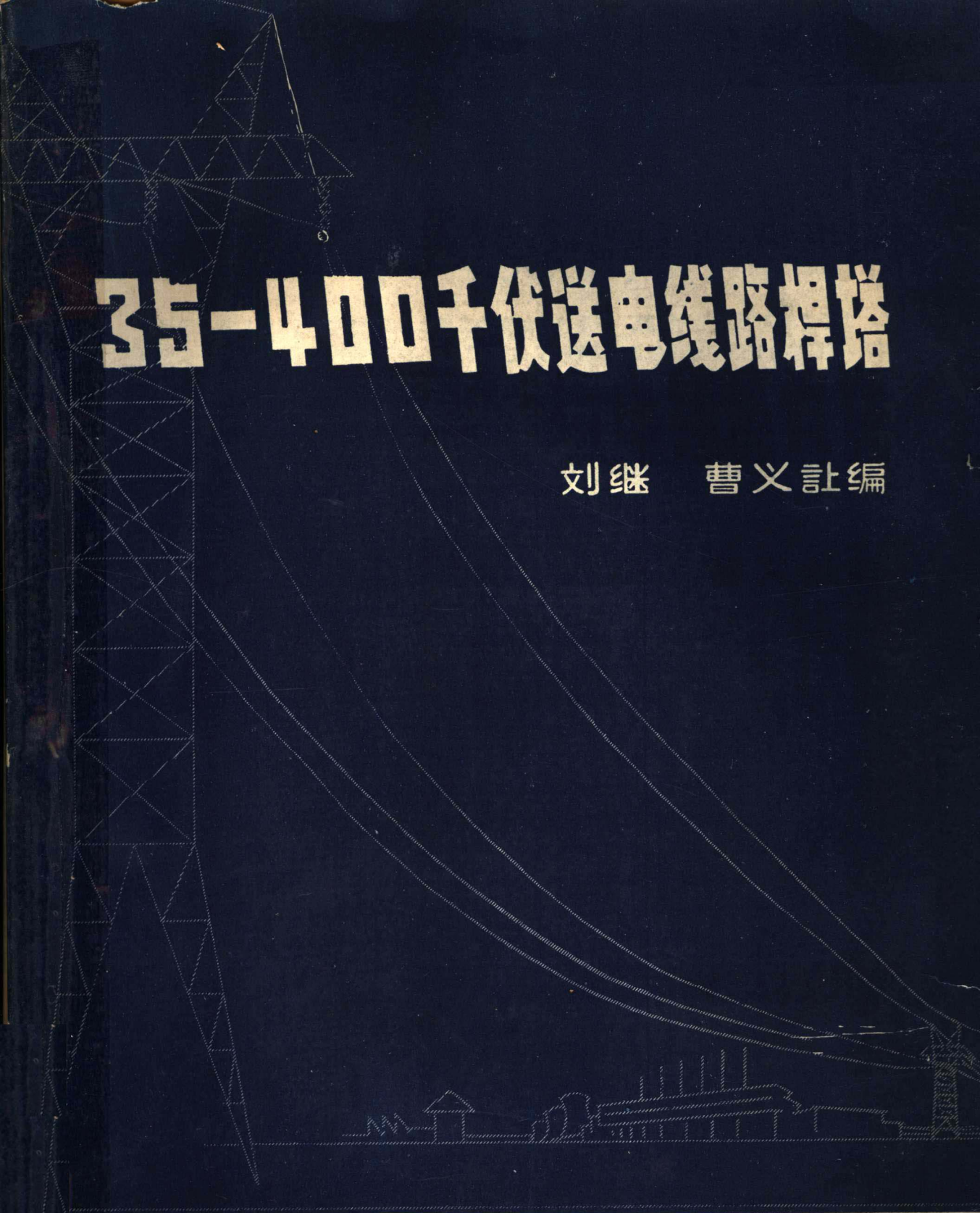


35—400千伏送电线路规范

刘 强 曹 永 编

中国电力出版社



35-400千伏送电线路桿塔

刘继 曹义訔编

水利电力出版社

序

由于我国动力事业的发展，作为动力命脉的高压电力网也随着相应的得到了发展。因此，高压送电线路的建设任务日益繁重，在最近几年来平均每年建设35~220千伏送电线路在一千公里以上。在我国发展国民经济的第二个五年计划期间，送电线路的建设任务更将繁重，估计在第二个五年计划期间，将建设送电线路10,000多公里。所以，送电线路设计要求在技术上先进，经济上合理，这对国民经济是有很大大意义的。

几年来，由于学习了苏联的先进技术和建设经验，我国送电线路的技术水平已有显著提高，已经基本上掌握了近代化的高压送电线路设计、安装与运行的技术。目前我国已进入社会主义建设的高潮，要求我们电力工作者进一步提高技术，迅速赶上先进的世界水平，更多、更快、更好、更省地完成我们的线路建设任务。因此，需要更广泛地学习世界各国的先进技术。根据这种情况，搜集了苏联、瑞典、德国、美国、捷克斯洛伐克、法国、英国、加拿大、日本、瑞士、智利、意大利、波兰、西班牙和奥地利等十几个国家最近的有关文献和资料，并汇集了我国所广泛采用的杆塔型式，编成“35~400千伏送电线路杆塔”一书，作为设计送电线路和作杆塔标准设计时参考。其中一部分杆塔型式是非常经济合理的，并经过多年的安装和运行的考验，可供我们使用；另外一部分杆塔型式则可供我们设计新型杆塔时参考，取长补短，帮助我们设计出新型的杆塔；还有一小部分杆塔型式具有显著的缺点，也列在这里，指出缺点所在，以便作为借鉴；至于各种技术经济指标和数据，对于设计工作也是有参考价值的。

刘继编写了本书的第一、二、三章和附录II-1，曹义让编写了第四、六章和附录II-2，第五章的初稿是严沛钦同志编写的。

在本书编写的过程中，严沛钦和方梦竹同志帮助编写了一部分初稿，刘志诚、李育凡等同志也给予一定的帮助。北京电力设计院摄影组的摄影师吴永庆等同志，帮助摄制了全部图片。此外，各电力设计院线路室还供给了不少宝贵的资料。对于这些同志，在此一并致谢。

对本书有意见时，可直接寄给编者。

编者 刘继 曹义让
北京电力建设总局 1957年11月

目 錄

序

第一章 緒言.....	4
第二章 35~400 千伏送電綫路鉄塔.....	5
§2-1 275~400 千伏送電綫路鉄塔	5
§2-2 154~220 千伏送電綫路鉄塔.....	22
§2-3 35~110 千伏送電綫路鉄塔.....	42
第三章 35~220 千伏送電綫路鋼筋混凝土电杆.....	55
§3-1 154~220 千伏送電綫路鋼筋混凝土电杆	56
§3-2 35~110 千伏鋼筋混凝土电杆.....	59
第四章 35~220 千伏送電綫路木杆.....	79
§4-1 154~220 千伏送電綫路木杆.....	80
§4-2 35~110 千伏送電綫路木杆.....	85
第五章 帶有拉綫的35~400 千伏送電綫路杆塔.....	102
§5-1 帶有拉綫的杆塔的优越性.....	102
§5-2 帶有拉綫的杆塔的运行經驗.....	102
§5-3 各国应用的帶拉綫的35~400 千伏綫路杆塔.....	103
§5-4 設計帶拉綫的杆塔时应注意的几个問題.....	122
第六章 35~220 千伏綫路的大跨越杆塔.....	122
§6-1 概述	122
§6-2 档距2,000公尺以上的大跨越杆塔.....	123
§6-3 档距1,001~2,000公尺的大跨越杆塔.....	135
§6-4 档距1,000公尺以下的大跨越杆塔.....	145
附录:	
II-1 各国送電綫路杆塔的設計規範	158
II-2 35~220 千伏送電綫路主要技术經濟指标	170

第一章 緒 言

在近代化的電力系統建設中，用于高压送電綫路建設上的投資和金屬佔很大的比重，特別是在超高压電力系統，綫路建設所用的投資和金屬常常多于发电厂和变电所。在高压送電綫路的建設工程中，杆塔費用佔很大比重，一般約为全部綫路工程總投資的20~35%，最大可达50~60%。所以甚至在某种程度上可以这样說：一条綫路的杆塔設計得是否經濟合理，几乎决定了整个綫路的是否經濟合理。杆塔型式的好坏，也直接关系到整个綫路的运行可靠性，影响以后数十年內的維護和檢修工作。正是由于上述原因，各国的送電綫路設計工作者，过去和現在都在經常地把很大的注意力放在杆塔的研究上：創造新型式的杆塔，合理地選擇杆塔材料，不断地改进結構形式，以期得到經濟适用的杆塔。

近年来各国在杆塔方面所进行的研究工作和多年實踐的結果，确定了比較一致的发展方向，这些方向是：

1. 在杆塔材料方面，对于275~400千伏及以上的綫路的龐大的杆塔，适于采用鋼管混凝土塔(在鋼管內充以混凝土)，这种鉄塔所用的鋼材只有普通角鋼鉄塔的213，造价約为普通角鋼鉄塔的66~90%。这种鉄塔兼有鋼筋混凝土結構和鋼結構的优点(鋼筋混凝土結構鋼材消耗量小，造价低；鋼結構便于運輸和安裝)而无兩者的缺点(鋼筋混凝土結構笨重，不便運輸和安裝；鋼結構鋼材消耗量大，造价高)。在綫路建設中也有采用鋼管鉄塔的不充混凝土)，这种鋼管鉄塔也比角鋼鉄塔經濟，特別是在特高跨越塔(無論电压高低)，更有很大的优越性。

对于35~220千伏綫路，鋼筋混凝土电杆最为优越。根据我国最近对330千伏鋼筋混凝土电杆研究的結果，有根据認為，在330~400千伏甚至更高电压的綫路，也适于采用預应力鋼筋混凝土电杆。根据我国的經驗，用鋼筋混凝土电杆时，綫路每公里的鋼材消耗量約为用鉄塔时的40~60%，造价亦相应降低。

在鉄塔的連接方式上是采用电焊連接代替过去的螺栓連接。

此外，某些国家(如加拿大)近来采用一种鋁合金塔，这种塔只有鉄塔重量的1/3，易于制造和運輸，又有耐蝕性。

对于产木材的地区，木杆和鋼筋混凝土基樁(腿樁)的混合結構电杆比全木杆合适，这种电杆的鋼筋混凝土基樁保證了电杆的耐久性，和高度可靠性，并且避免了更換杆柱的維護工作。而上部木杆則具有投資低和耐雷性高的优点。木杆經過有效的防腐处理时，这种电杆可以使用40~50年(瑞典的木杆綫路，木杆經過克魯苏油处理，能使用40~50年；美国的木杆綫路使用30~40年才更換一次。

1. 在特高跨越杆塔，过去一般是用角鋼或鋼管鉄塔。但使用鋼筋混凝土塔，特別是預应力鋼筋混凝土塔，具有很大經濟意义，在技术上也是最先进的。

2. 在杆塔的回路数方面，由于近代的電力系統較為完善，綫路发生事故时对系統的

影响相对地减小了，同时送电线路的设计日趋正确和可靠，架于同一杆塔上的两回路同时发生故障的机会较少，倒杆倒塔事故更为稀少。因此，近来对于 35~110 千伏平行的线路广泛采用双回路杆塔（指钢筋混凝土电杆和铁塔，至于木杆，由于结构上的特点，很少用双回路杆）。这样不但节约了杆塔、避雷线和接地装置等的材料，并降低了线路造价，同时也减少了佔地面积。最近苏联已设计出 220 千伏双回路铁塔。有些国家甚至在 380 千伏线路也采用了双回路铁塔。

3. 在结构型式方面，有广泛应用拉线的发展趋势。无论铁塔、钢筋混凝土电杆和木杆，当荷载较大或暂时作用时（如断线时），使用拉线能显著节约杆塔材料和降低线路造价。我国过去在 35~110 千伏钢筋混凝土电杆上（耐张，转角，终端杆等）应用拉线的经验是很成功的。我国数十年来使用拉线的经验和瑞典、美国及日本多年来的经验表明，这种带拉线的电杆是很可靠的。近来法国在 60~225 千伏线路直线型铁塔上也采用了拉线。瑞典在 800 千伏（±400 千伏）直流送电线上（送电容量 1,500 兆瓦）也采用带拉线的直线型铁塔。苏联在某些 110 千伏线路上也采用带拉线的电杆。除了我国广泛采用的侧拉线（外拉线）外，近来不少国家在杆塔上采用了内拉线（或拉杆），即拉线不是固定在地中，而是作为杆塔构件的一部分（详见本书第五章）。这种拉线的经济效果与外拉线相同，并多一个优点：不多佔地面，不象外拉线在运行中易受拉线基础活动的影响。这种内拉线用在钢筋混凝土电杆和钢管混凝土塔上是非常合适的。

至于在特高跨越塔上采用拉线时经济效果更大，而且也很安全，这已为瑞典的多年运行经验和美国某跨江塔 18 年来的运行经验所证实。值得特别指出的是，1956 年在法国巴黎召开的第 16 次国际大电网会议上，各国代表们一致认为应当广泛使用带拉线的杆塔，特别是用来抵抗断线荷载时，认为更为经济合理。

本书所收集的大多数杆塔型式，在不同程度上体现了前述的技术方向。一部分杆塔型式由于具有某些特点，可供设计新型杆塔时参考，因而，虽然没有代表新的技术方向也编入了。另外还有一小部分杆塔型式具有显著缺点，书中作了分析和批判，以便作为设计工作者的借镜。在阅读本书时，希望结合本章所指出的技术方向来分析各种杆塔的类型，以便正确的运用它们。

最后应当说明的是，由于我国在设计特高跨越塔和 275~400 千伏超高压送电线方面还没有经验，本书所收集的杆塔型式和主要技术经济指标，在这方面是会有些帮助的。

第二章 35~400 千伏送电线路铁塔 (包括钢管混凝土塔)

§ 2-1 275~400 千伏送电线路铁塔

目前世界各国在 275~400 千伏超高压线路上还没有应用钢筋混凝土电杆，这主要是因为这种超高压线路杆塔的高度很大，荷载又很重。按照瑞士和德国的经验，设计钢管混凝土塔是很合适的。

近来各国在超高压线路上除瑞士和德国外，一般都是采用普通铁塔。

(1) 苏联的 400 千伏线路铁塔

图2-1和2-2分别为著名的苏联 400 千伏古比雪夫—莫斯科线路直线塔的简图和外形图。该塔系由 CT-3 号钢作成,用电焊连接。避雷线保护角为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。导线为 ACO-480/60, 每相三根(复导线)。绝缘子串由 $22 \times \text{III}-8.5$ 组成。导线固定金具如图 2-3。计算档距采用 425~460 公尺, 这是按钢材消耗量和造价作经济比较后决定的(经济档距曲线示于图 2-4)。这种铁塔由于采用了释放线夹, 每相三根导线都断时即行动作, 因而使该塔在断一相的三根导线时受力仅 2,000~2,500 公斤, 铁塔钢材只 7.5 吨(不包括基础), 如果用固定线夹, 则铁塔钢材将增至 1.5~2 倍。这种型式铁塔的优点是结构简单, 钢材消耗量小, 便于运输、安装和运行。

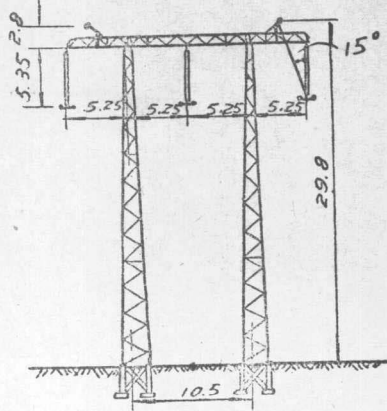


图 2-1 苏联古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路门型直线塔简图

直线塔的基础, 根据地区条件采用不同的形式: 大块混凝土基础, 填充基础 (Набивные) 即不破坏原土, 以原土作模板, 浇灌混凝土(佔 52%), 装配式钢筋混凝土基础和铁座基础。不过根据近来苏联在送电线路上所积累的应用打桩基础的經驗, 在建设斯大林格勒—莫斯科 400 千伏线路时, 用打桩基础已成为直线塔的主要型式。

转角塔如图 2-5 和 2-6 所示。铁塔钢材重量如下表:

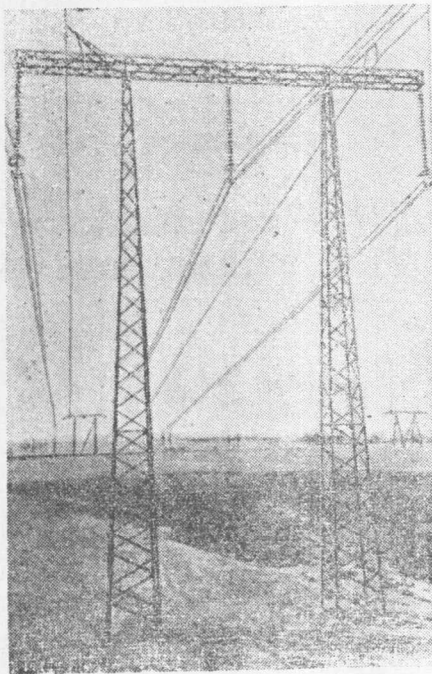


图 2-2 苏联古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路门型直线塔外形

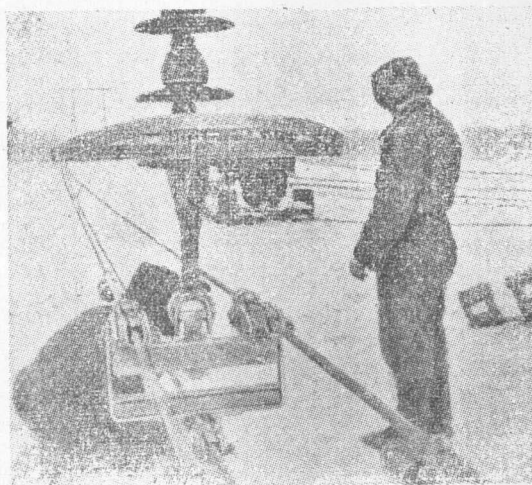


图 2-3 苏联古比雪夫—莫斯科 400 千伏线路导线固定方式图

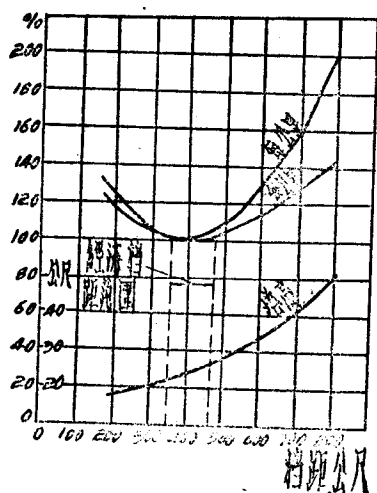


图 2-4 400千伏线路经济档距曲线图

由于该线路跨过很多大河，通过大山，以及有少数交叉跨越（铁路，公路和110~220千伏送电线）和转角很多的莫斯科出口（需用很多耐张塔和转角塔），因而全线路每公里平均铁塔结构（不包括基础）消耗钢材27吨。

铁塔分段在工厂造成，采用电焊连接方式，在现场用抱杆和拖拉机进行整体立塔。跨越鄂卡(OKY)河的特高塔，共重115吨，也是采用整体立塔的方法。

表2-1 苏联古比雪夫—莫斯科400千伏
线路铁塔钢材重量

塔 型	斜 撑 数	重 量 (吨)
直线塔（释放线夹）	—	7.5
耐张和0—15°转角塔	1	13.1
15—30°转角塔	2	16.5
30—45°转角塔	2	16.6
45—60°转角塔	2	17.8

耐张和转角塔的基础采用六块混凝土基础和填充基础。

400千伏古比雪夫—莫斯科送电线平均每公里铁塔需用钢材（包括耐张，转角及大跨越塔在内）在Ⅰ级气象区为20.5吨，在Ⅱ级气象区为24.5吨。由于

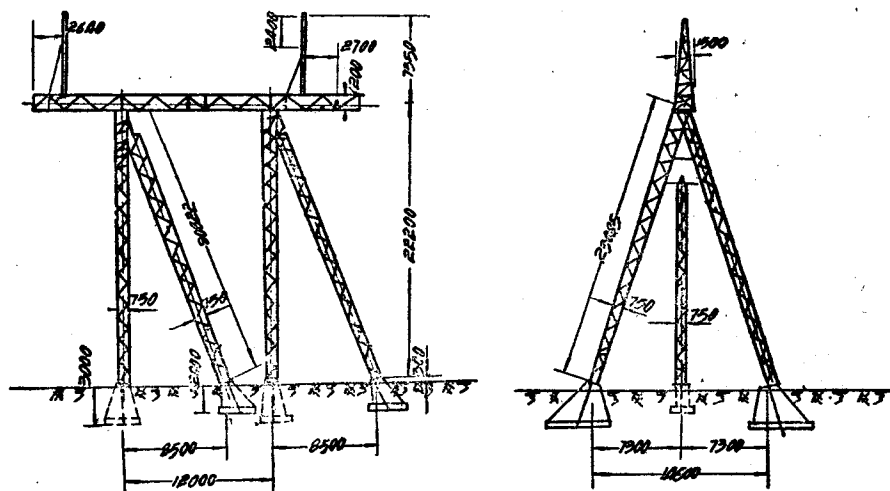


图 2-5 苏联400千伏古比雪夫—莫斯科线路转角塔简图

在最近完成的400千伏斯大林格勒~莫斯科线路设计中，导线亦为AC0-480/60，每相三根。在前述铁塔设计的基础上又作了进一步的改进，使钢材消耗量又有所降低。每公里造价降低11%。铁塔广泛采用了管形钢筋混凝土管桩基础。由于各种交叉跨越（包括公用和电气化铁路，Ⅰ—Ⅲ级公路，220千伏及以下的线路）都是采用直线塔，导线也用正常张力，减少了每公里钢材消耗量，使每公里线路的铁塔和基础钢材消耗量不超过29.5~30吨。由于400千伏线路具有很大的强度裕度，运行非常可靠，因而这一决

定是非常合适的。

苏联还提出一系列进一步降低鋼材用量的措施，如受力大的構件用低合金鋼，进一步改进鉄塔結構，以及改进定位工作，减少鉄塔数量等。

400千伏斯大林格勒-莫斯科送电綫路所用鉄塔示于图 2-7。

用釋放綫夾的鉄塔作成寬基和窄基的兩种門型塔，这保证了基础施工的工业化方法和綫路建設上最低的鋼材消耗量。寬基和窄基直綫塔的比较列于下表：

由表2-2可知，最节省鋼材和投資的是窄基鉄塔用鋼筋混凝土桩或填充混凝土基础，由于鋼筋混凝土桩基础可以用工业化方法建設，在綫路上沒有养生过程，又可在任何季节施工，因而采用了窄基和鋼筋混凝土桩基础的鉄塔(图2-8)。

这条綫路也用釋放綫夾，綫夾釋放要在每相三根导綫都折断时才动作。每相三根导綫以30~60公尺的間距裝以間隔片。本綫路絕緣子串在直綫塔用 20×II-8.5，在耐張及轉角塔用 22×II-11，每相三导綫有單独的耐張絕緣子串。

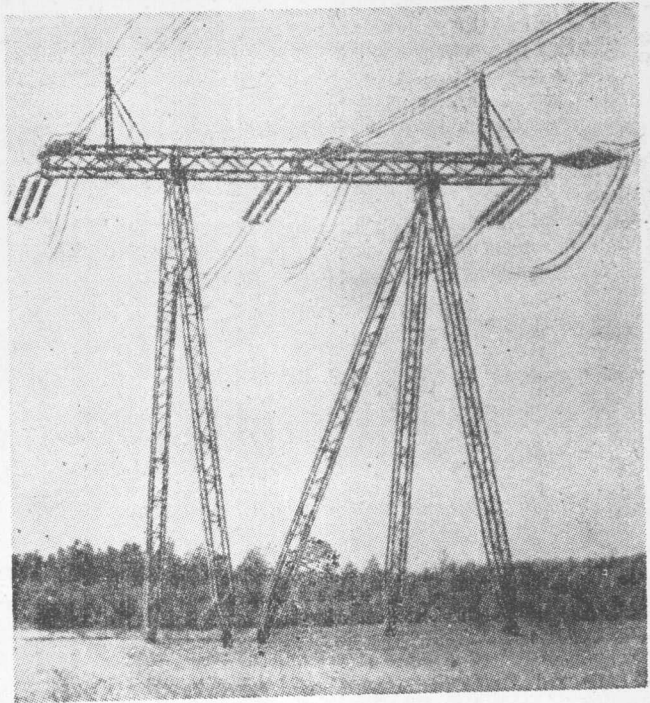


图 2-6 苏联400千伏綫路轉角塔外形

表2-2 400千伏寬基和窄基直綫塔的比较（用釋放綫夾，导綫3×ACO-480/60）

指 标		窄 基 鉄 塔， 基 底 2.4×2.4公尺			寬 基 鉄 塔， 基 底 4.5×4.5公尺		
鉄 塔 地 上 部 分 重 量(吨)		8.6			10.3		
基 础	装配式鋼 筋混凝土	鋼筋混凝 土 管 桩	填 充 混 凝 土	装配式鋼 筋混凝土	鋼 筋 混 凝 土 桩	填充混凝土	
	基 础 所 用 鋼 材 (吨)	2.2	2.1	0.6	1.4	0.7	0.3
	鋼 筋 混 凝 土(公尺 ³)	14.6	8.0	—	9.3	4.0	—
	填 充 混 凝 土(公尺 ³)	—	—	17.4	—	—	11.7
	鉄塔(包括地上、地下部分)总鋼材(吨)	10.8	10.7	9.2	11.7	11.0	10.6
	鉄 塔 造 价 (包 括 基 础) (%)	123	104	100	117	104	107.5

(2)瑞典的 380 千伏綫路鉄塔

图 2-8a 为瑞典 380 千伏送电綫路直綫塔的簡图。这种鉄塔由抗張强度为 5,200 公斤/公分²的鋼作成(水平材为扁鋼)，采用电焊連接方式。全部鉄塔用热鍍鋅的方法防止銹蝕。綫路用分裂导綫，每相用直徑为 31.7 公厘，截面为 592 公厘²的鋼心鋁綫兩根（兩根

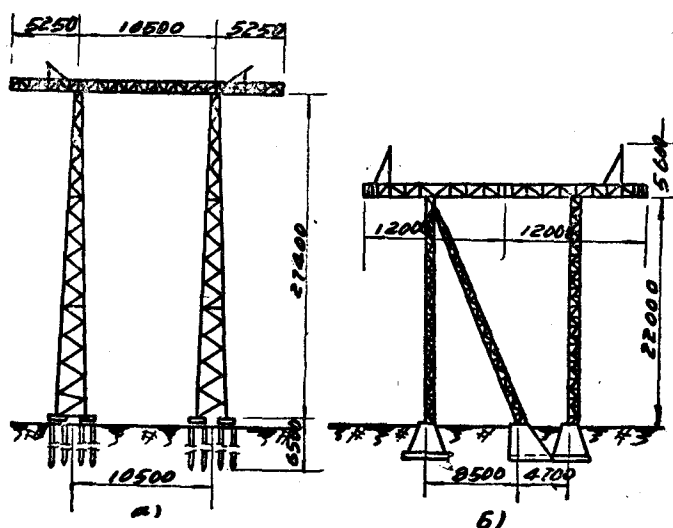


图 2-7 苏联400千伏大林格勒—莫斯科线路直线和转角铁塔

a—直线塔； b—转角塔。

线间相距45公分，每130公尺加一間隔片)。避雷线为70公厘²的鋼絞线。平均档距为380公尺，最大为555公尺，最小为145公尺，計算档距为330公尺。温度50°C时的弛度为10.2公尺，0°C时的导线应力为6公斤/公厘²。直线塔的絕緣子串用20个絕緣子組成，絕緣子串長4.2公尺。直线塔用單串絕緣子串，工作强度为4吨(使用固定式线夾)，在轉角塔用4个并联的絕緣子串。

直线塔的基础用3~12

个木制枕木作成，用樑連接起来。

图 2-8, b 为瑞典新建的另一回 380 千伏线路的門型塔。它較原有的門型塔有更多的优点：結構簡單，特别是避雷线支架部分；需用鋼材少；线間距离减少了一公尺；根开也减少了一公尺。它不仅仍旧保持了原有的横担对地高度，而且避雷线的保護角也未加大。

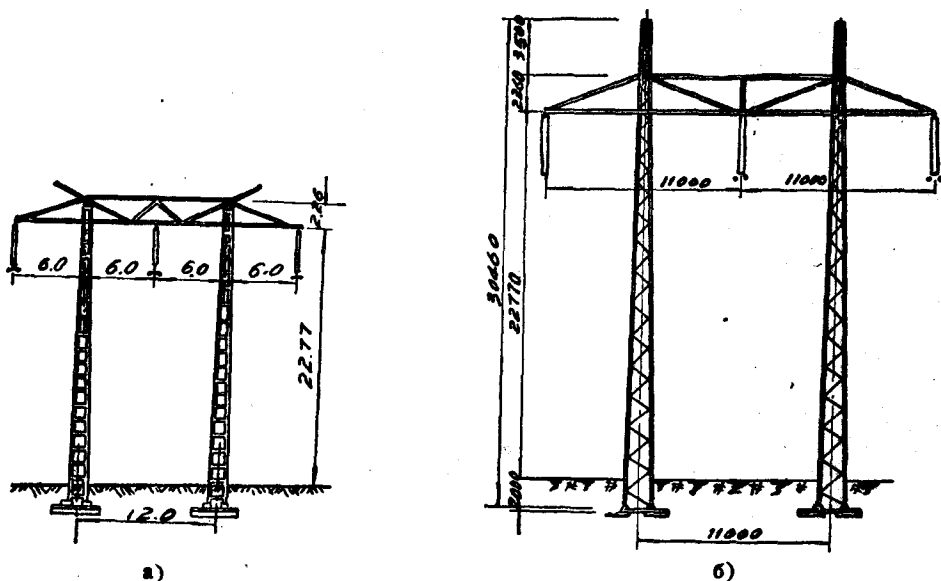


图 2-8 瑞典380千伏线路門型直线塔

a—瑞典 380 千伏送电线路直线塔簡图； b—瑞典新建的另一回 380 千伏线路門型塔。

瑞典的铁塔在外型上类似苏联 400 千伏铁塔，但在結構上却有某些缺点：避雷线的保护角为 24°，不能得到足够的耐雷性。实际上，对于这种塔型，稍改避雷线支架結構

即能得到 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的保护角。

瑞典的380千伏及以下线路一律不使用耐张铁塔，只有在线路两端用来作为终端塔，线路本身只有直线塔和转角塔。 20° 及以下的转角塔也采用直线型。

瑞典最近在800千伏直流输电线路(传输容量1,500兆瓦)也采用带拉线的直线铁塔。这种铁塔能显著降低钢材消耗量。铁塔的外形见后面第五章。

(3) 法国的380千伏线路铁塔

图2-9~2-14为法国380千伏线路铁塔。

法国的很多线路是按380千伏设计，暂以225千伏运行的。图2-10和2-11就是考虑将来将225千伏双回路塔改为单回路380千伏塔(每相用两根导线)。除现有(按1954年数据)1046公里225/380千伏线路外，计划在1955~1958年将建设 Магьговер-Женисья-Париж 和 Ле-Брей-Париж 两条225/380千伏线路，总长1,175公里。

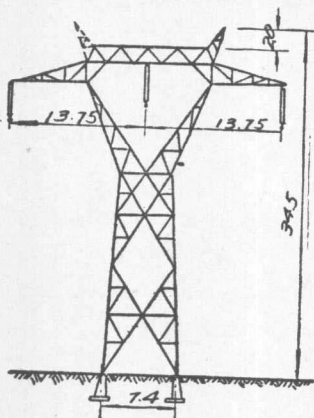


图 2-9 法国225/380千伏线路“猫头”型直线塔简图

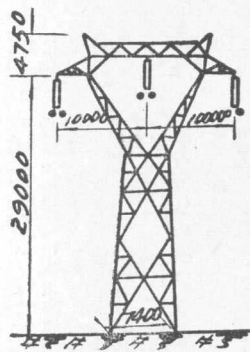


图 2-10 法国380千伏线路减轻式“猫头”型直线塔简图

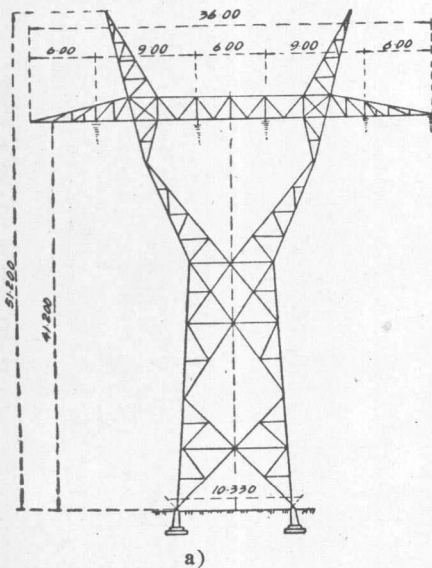
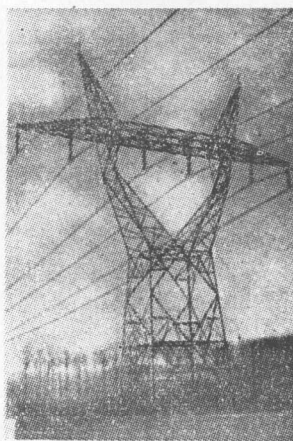


图 2-11 法国225/380千伏线路导线水平排列的直线塔

a—简图；б—外形图。



б)

225/330 千伏綫路鉄塔采用两种型式：导綫水平排列(图 2-11)和导綫位于两个不同的平面(图-12)。225/380 千伏轉角塔只采用分兩层布置导綫的門型塔。所有 225/380 千伏鉄塔都兩条避雷綫，有时还在避雷綫上方設置不大的避雷針(图 2-14)。

在專 380 千伏設計的鉄塔，采用了減輕的“猫头”型鉄塔，將兩边綫間的距离由 225/380 千伏的 27.5 公尺改为 20 公尺(图 2-10)。每相有兩根导綫。

法国 380 千伏及以下的所有綫路都沒有耐張塔，只有直綫塔和轉角塔两种。耐張塔是在綫路兩端作为終端塔使用的。

法国所有 60~380 千伏綫路塔都是寬基的。为不同地形設計不同高度的鉄塔，但头部不变，只是比正常型式减小或增大塔腿，而得到所謂 R、X、Y 和 Z 型塔(參看后面法国 225 千伏綫路鉄塔图)。

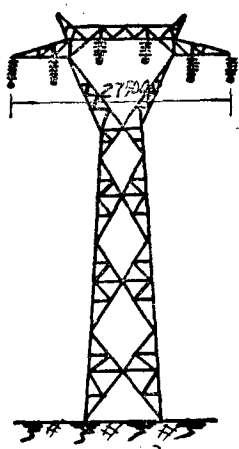


图 2-12 法国 225/380 千伏綫路“猫头”型直綫塔簡图

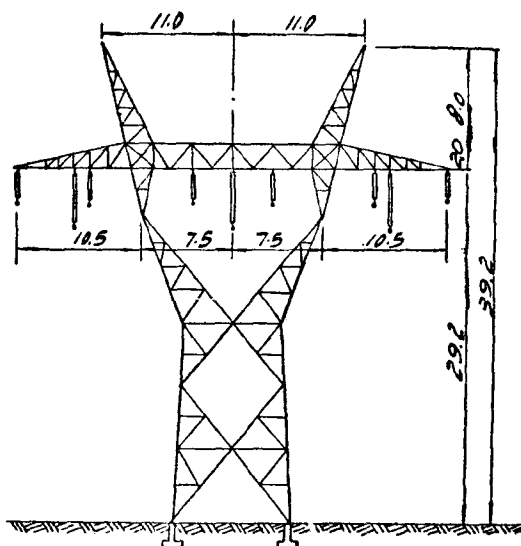


图 2-13 法国的 225/380 千伏鉄塔

鉄塔的各部件都是在工厂造成，一般分成不超过 8~12 片运到現場后，用螺栓連接起来，也有用鉚釘連接的。

所有鉄塔都是采用涂油的方式，由于消耗稀有金屬(鋅)和造价高，便不采用鍍鋅的方法。

基础唯一的型式是采用大块混凝土式，下部有少許角鋼(图 2-14)。60~380 千伏綫路共規定出 10 种标准型基础。60~380 千伏鉄塔基础的混凝土体积(每基塔)根据塔型不同，变动在 2.7~30 立方公尺范围内。鋼筋混凝土基础座(我国和苏联所广泛应用的)在法国完全沒有应用。我国用来連接鉄塔与基础的底脚螺絲，也完全沒有应用。

法国鉄塔不用底脚螺絲，使施工不便，是其缺点。至于在 380 千伏綫路上全塔采用涂油以防銹蝕，而不鍍

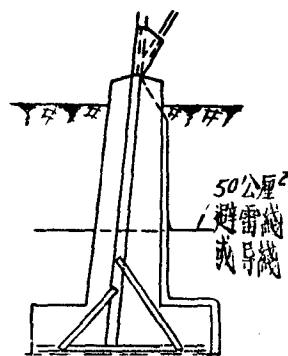


图 2-14 法国鉄塔下(每脚)的大块混凝土基础。下部角鋼用来將鉄塔連接在基础上

鋅，這也是不適當的，因為超高压綫路很長，每3~5年停电涂油的損失很，宜于采用鍍鋅角鋼，或上部鍍鋅下部涂油。

就塔型而論，圖2-9, 10, 12的“貓頭”型塔头部結構复杂。但法國認為这种塔較門型塔可節省鋼材。

至于圖2-11, 12, 13由双回路225千伏过渡到單回路380千伏，这种方式是很好的，因為鐵塔和導綫在初期和后期都得到充分的利用，在遇到必要的情形可用这种方式。

圖2-11是法國1953年建成的兩条225千伏双回路鐵塔，將來升压380千伏时改為單回路。兩条綫路的主要指标如下：

設計条件: plessi-Gassot-Genissiat綫路	Genissi-Malgovert綫路
導綫的最大使用应力为破坏強度的40%(平均溫度15°C时风压72公斤/公尺 ²)	導綫的最大使用应力为破坏強度的40%(平均溫度15°C时风压72公斤/公尺 ²)
導綫在-5°C时冰負載为5公斤/公尺，其余为2公斤/公尺	2.5或12公斤/公尺，視地区而定
每公里綫路基础混凝土，公尺 ³ 17.2	28.1
每公里綫路鐵塔鋼材，(吨) 36.9	44.3
絕緣子串:	
直綫: 16片($d=254$ 公厘)	直綫: 海拔1,500公尺以內16($d=254$), 海拔1,500公尺以上17($d=254$)
耐張: 3×17 ($d=254$ 公厘)	耐張: 3×17 ($d=254$)
導綫	導綫
鋼心鋁綫411公厘 ²	鋼心鋁綫411公厘 ²
避雷綫	变电所进口附近有避雷綫鋼心鋁綫147公厘 ²
鋼綫80公厘 ² 和鋼心鋁綫147公厘 ²	
档距	档距
平均 526公尺	平均 480公尺
最大 1,261公尺	最大 2,088公尺
最大高低差 191公尺	最大高低差 507公尺

(4) 瑞士的380千伏綫路鋼管混凝土塔

瑞士的 Motor columbus 公司在一系列的50千伏到220~380千伏綫路上采用了鋼管混凝土塔；即由鋼管作成，管内充以振搗的混凝土。主柱(鋼管作成)是在按裝現場就地充混凝土。在制造橫担和斜杆(Ракое)时，于安裝前充混凝土。斜材采用空心鋼管，或充混凝土。

該公司所进行的比較計算表明，用这种方法建設綫路能將鐵塔鋼材消耗量降低至普通角鋼鐵塔的2/3。

瑞士按鋼管与角鋼价格比为2:1所作的鐵塔費用計算結果如下(綫路投資的%)：

	鋼管混凝土塔	角鋼鐵塔
150 千伏單回路	38.7%	52.5%
220 千伏單回路	41.8%	53.5%
220~380千伏双回路	51.5%	59.4%

由此可見，鋼管混凝土与角鋼鐵塔相比具有很大的优点。

按上述原則建成的220/380千伏鋼管混凝土塔簡圖示于圖2-15和2-16。圖2-15所示

系用于魯克曼尼爾关附近的綫路。該兩綫路均为按 380 千伏設計，初期暫以 220 千伏运行。在以 220 千伏运行时每相用一根导綫，380 千伏运行时每相用兩根导綫。基础均采用混凝土墩式。

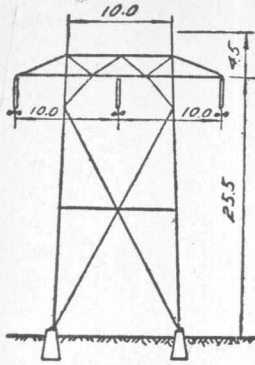


图 2-15 瑞士的220/380千伏鋼管混凝土直綫塔

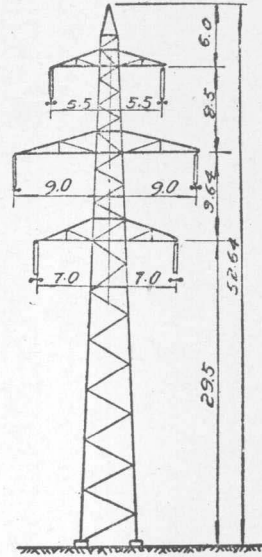


图 2-16 瑞士的220/380千伏双回路鋼管混凝土直綫塔

(5) 德国的 380 千伏綫路鉄塔

德国的 380 千伏新型标准双回路鉄塔（多瑙河型）示于图 2-17a 和 2-17b。每相用 4 根 AC-240/40 导綫，每隔80公尺在兩导綫間設一間隔片。采用双串棒式絕緣子，每串由三个元件串联而成。在耐張和轉角塔各絕緣子串分开与橫担固定。鉄塔由角鋼作成，采用鉚接方式，各段間用螺栓連接。这种鉄塔档距为 350 公尺，塔重 15 吨，基础是混

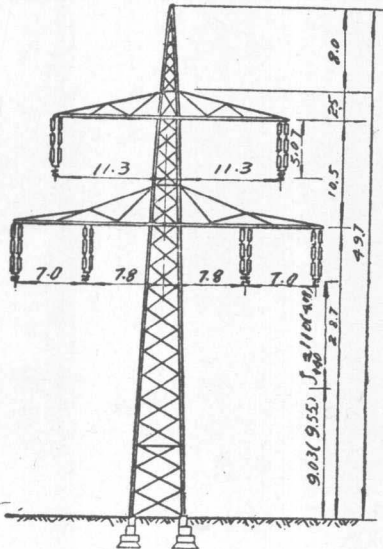


图 2-17a 380千伏新型标准双回路鉄塔

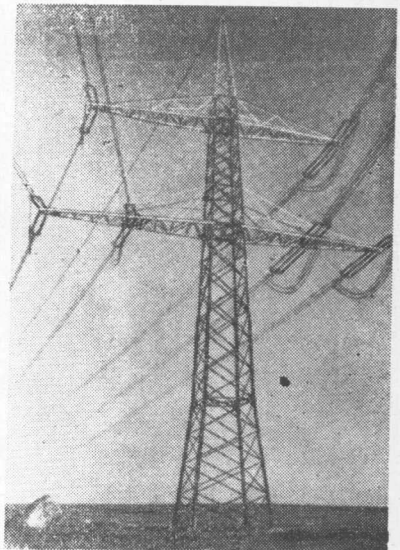


图 2-17b 220/380千伏双回路鉄塔外形图

凝土墩式。这种铁塔采用一根避雷线，保护角为 36° ，防雷性能较差。

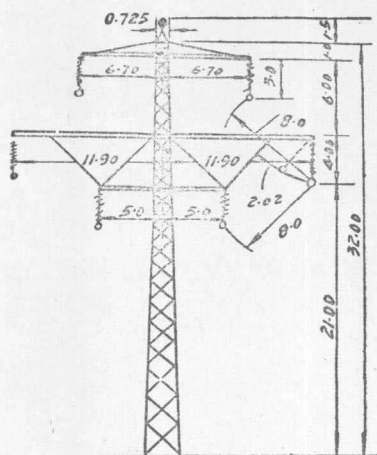


图 2-18a 德国的220/300/380千伏双回路铁塔

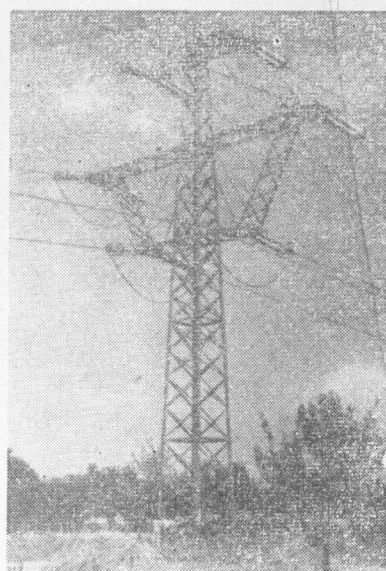


图 2-186 德国的220/300/380千伏双回路耐张铁塔外形图

图2-17和2-18为德国1924~1929年间建设的 Brawweiler Bluslenz 220 千伏线路（长600公里）拟于将来升压为380千伏，其一部分决定首先以300千伏运行。导线为400公厘²空心导线，直径42公厘，升压后电场强度为13.1千伏/公分，可以不换导线。升压300千伏时拟增加三片绝缘子。铁塔不作任何改建，塔顶有一根70公厘²的青铜线作为避雷线。

德国的35~380千伏平行线路一般都采用双回路塔，有时还用3回路和4回路塔，这是因为地位不够，买地所花费用很大，拆除建筑物的赔偿费很高。在德国，一个杆塔上允许架设不同电压的线路。图2-19为某一线路段的照象，右侧为新建380千伏线路的铁塔，中间为1929年建设的380千伏 Брауви́лер-Хоэнэк 线路。

线路铁塔按六角型布置导线，200千伏运行（导线 АСФ42，档距250公尺），左侧为

表2-3 380千伏双回路钢管混凝土塔与角钢铁塔的主要经济指标比较〔6(4×240)公厘²〕

塔 的 型 式	每公里钢材消耗量(吨)	每塔总重量(包括钢管和混凝土),吨	杆塔造价(%)
钢管混凝土塔	39	71	66%
角钢铁塔	64	—	100%
钢管混凝土塔与角钢铁塔之比(%)	61%	—	66%

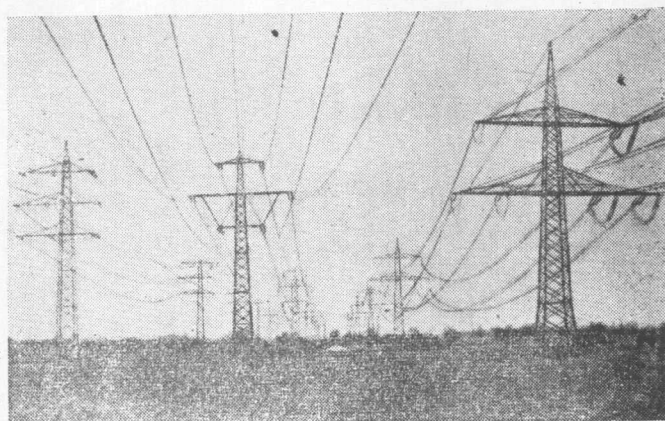


图 2-19 德国380千伏线路铁塔的外形

110~220千伏綫路三回路鉄塔，一側为200千伏一回路，另側为110千伏兩回路。

最近德国西門子公司作出了离心式鋼管充混凝土塔。混凝土用离心法充入，因而得到了高度的質量（均匀而密实）。380千伏綫路采用这种杆塔时主要經濟指标如表2-3：

离心式鋼管混凝土塔的结构及其特点詳見S2-2。

(6) 英国的275~380千伏綫路鉄塔

图2-20为英国275/380千伏双回路鉄塔，图2-21为275千伏双回路鉄塔。前者按380千伏設計，暫以275千伏运行，后者則是專为275千伏設計的。兩者均为角鋼鉄塔，主要構件由高級鋼作成，輔助構件由普通鋼作成。用螺栓連接，基础采用混凝土墩式。

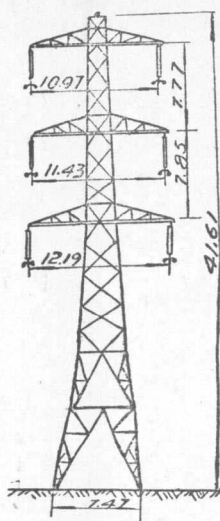


图 2-20 英国的275/380
千伏双回路直綫塔

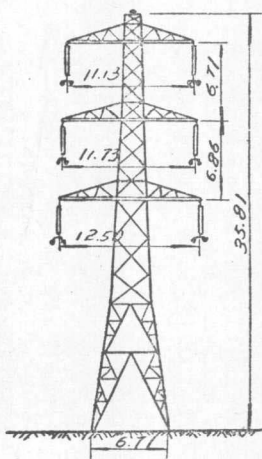


图 2-21 英国的275千伏
双回路直綫塔

图2-20的鉄塔用 2×428 公厘²鋼心鋁导綫，平均档距为366公尺。图2-21的鉄塔用于 2×116 公厘²鋼心鋁导綫，平均档距为305公尺。两种鉄塔均用一根避雷綫保护（鋼心鋁綫，截面116公厘²），保护角为45°。

图2-22为英国 275 千伏双回路双导綫（每相兩根）鉄塔。图2-23为英国 275 千伏双回路双导綫直綫塔。

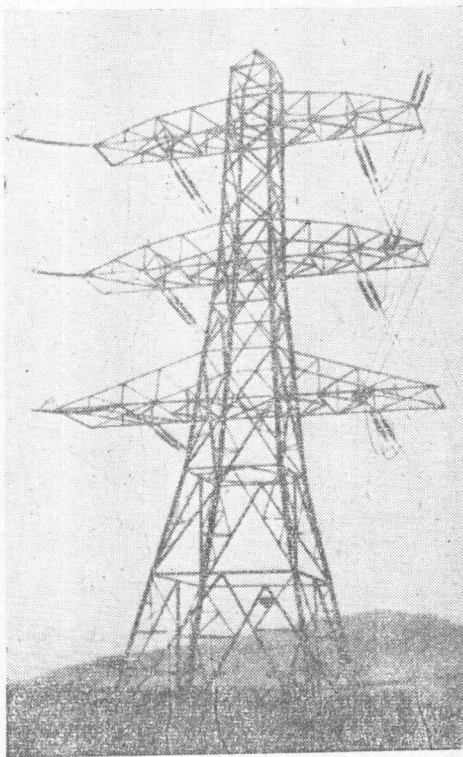


图 2-22 英国的275千伏双回路轉角塔

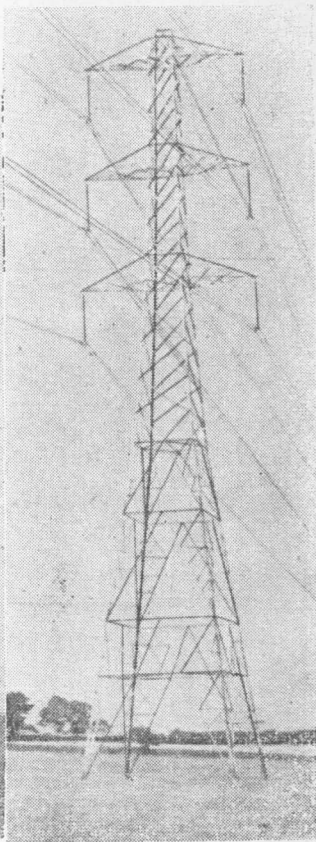


图 2-23 英国的275千伏
双回路直綫塔

(7) 美国的287~330千伏线路铁塔

美国于1936年建成了当时世界上最高电压的 Boulder Dam-Iosangalos 287 千伏线路，但是在这以后，美国在超高压线路方面进步得很慢。现在，美国在这方面已落在苏联和瑞典之后了。1956年在巴黎举行的第16届国际大电网会议上。这一点表现得特别突出。

由于 Cajonpass 地区东方多雷，且用地容易获得，故用单回路铁塔两排，相互间距离80公尺。其他地方则用双回路铁塔。采用单回路铁塔的线段没有侵蚀性，用铜线作避雷线，在海岸多雾处则用铜复铜线作避雷线，以防锈蚀。又单回路塔，所经地区为年降雨量76公厘的沙漠地带，各铁塔间以两条截面280公厘²的伸长埋设地线连结。

美国287千伏线路“细腰型”铁塔示于图 2-24。每相用一根空心铜导线，直径35.6公厘，截面260公厘²，最大（破坏）张力9,810公斤。标准档距330公尺，最大档距550公尺，平均档距298公尺。避雷线保护角13.5°。导线和避雷线在档距中央相距12公尺。直线塔重8.2吨，耐张塔重12.7吨；用混凝土基础。导线最大弛度14.5公尺，导线对地间隔8.3公尺。

图2-25为前列线路双回路部分的双回路铁塔。导线与前相同。标准档距为258公尺，最大档距为492公尺，平均档距254公尺。避雷线几乎直接位于导线正上方，保护角近于零度。直线塔重10.5吨，耐张塔重18.6吨；亦为混凝土基础。导线最大弛度10公尺，导线对地距离13.7公尺。

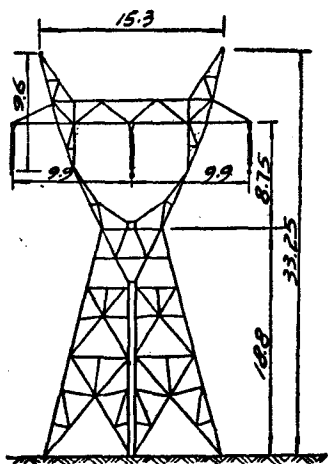


图 2-24 美国的287千伏线路“细腰型”单回路直线塔

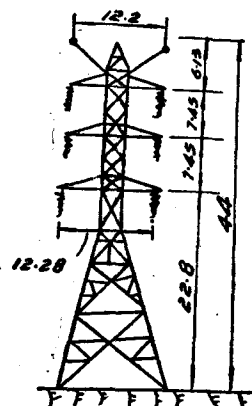


图 2-25 美国287千伏双回路直线塔

美国最近建成的 300/330 千伏线路铁塔示于图 2-26，该线路系 Americangas and Electric Co.所建，按330千伏设计，先以300千伏运行。铁塔由角钢作成，采用螺栓连接方式；基础是混凝土墩式。

图2-27，a为美国华里其（Wahleach）水电站到其系统的345千伏线路单回路铁塔图2-27，b为其外形图。目前仍按230千伏电压运行，单导线，将来升压为345千伏时，改为每相两根导线（复导线）。

导线为400平方公厘（795,000圆密尔）钢心铝线。同相两根导线间的水平距离38.1