

世界动力资料介绍

高压输电綫

电力工业出版社

目 录

木桿及鉄塔輸电綫的运行經驗·····	Л. 罗貝特松 (2)
用併对單柱桿的 115 千伏輸电綫·····	保尔 P. 海姆 (5)
开曼諾-吉基瑪特 300 千伏輸电綫路·····	(8)
跨越墨西哥海峽到西西里島的高压輸电綫·····	Г. 盧茨 (19)
鋼心鋁綫在腐蝕严重地区的使用·····	(22)
雨淞和霧淞——輸电綫导綫上的外加負載·····	В. 里尔 (24)
导綫上冰負載的計算法·····	Г. 莫尔斯 (33)
冰負載造成的輸电綫的事故和損坏·····	Г. 梅亦尔 (37)
高压架空綫路分裂导綫机械部分的研究·····	К.В. 拜耳, Г. 莫尔斯 (42)
从加拿大“瓦赫利契”水电站引出的輸电綫·····	Т. 英格多, Д.Х. 斯蒂迪 (49)

木桿及鉄塔輸電綫的运行經驗*

Л. 罗貝特松

在公用电气公司的动力系統(美国哥罗拉多州)中有 34 条电压从 44 至 110 千伏的木桿和鉄塔的輸電綫。有 1 年到 45 年的桿塔运行經驗。

綫路經過地区有拔海 1500 米高的城市和乡村, 有大草原以及高达 4000 米左右的山脉。

这样不同的条件造成了桿塔接地电阻值極大的差異——从几欧到 1500 欧。这些电阻随着雨量的多少而年年月月在变化着。

所有的綫路一年的雷电日大約都是 50 天。

圖 1—10 表示桿塔的結構。圖 1 及 2 所示的电桿是用在 44 千伏及 69 千伏綫路上的。这些綫路上采用了裝在銅脚上的、額定电压为 55 千伏的絕緣子。在較早的結構中曾采用了銅斜撐。但由于电桿和橫担被燒毀, 不得不改用木斜撐。从此以后, 除了某些非常污穢的綫段外, 所有的綫路上不再發生事故了。

在某一条 69 千伏的綫路上, 發現綫路跳閘和电桿劈开事故特別多。1953 年 5 月, 在最常發生事故的 15 个电桿上裝置了管型避雷器。

在夏季, 在 20 个电桿上有受到直接雷击的記錄。11 个裝有管型避雷器的电桿沒有损坏。9 个沒有裝管型避雷器的电桿被劈裂了; 同时發生了六次跳閘。在某些情况下, 鄰近的电桿上也受到了雷击, 很可能是同一次放电所造成的。

在 175 千米的綫路上采用几个管型避雷器的效果是非常显著的。

圖 3 表示在某一段 44 千伏、長約 6.5 千米的綫路上所采用的裝有針式絕緣子的鉄塔結構。該綫路裝有一条架空避雷綫。

最初塔上裝有鋼的橫担和斜撐, 由于鳥害和雷击弧越, 發生过多次短路事故。

換上了木質的橫担和斜撐之后(圖 4), 事故就消灭了。

圖 5 表示在索松-頓維尔及鮑尔德峡-頓維尔的 115 千伏綫路上的鉄塔。这些綫路是在 1909 年建造的。它們有兩条架空地綫, 固定在橫担上正对着鉄塔二基柱的兩点处。

地綫受机械力損伤后, 就被拆除了。悬式絕緣子鍵由 4 个直徑为 254 毫米^①的絕緣

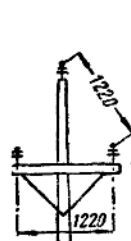


圖 1 44 千伏綫路电桿

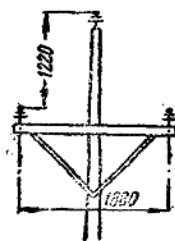


圖 2 44 及 69 千伏綫路电桿

* L. Robertson, Wood vs Steel Transmission Lines, Electrical World, 1955, т. 143, №6, Б.Ю. 馬赫林摘譯。

① 根据絕緣子的特性, 大致相当于苏联国产絕緣子 ПП-4.5。——俄譯者

子組成，而耐張絕緣子鏈則為了加強而增加一個，由5個絕緣子組成。

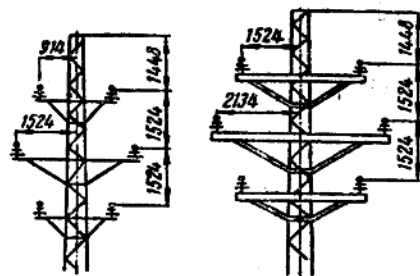


圖 3 44千伏鐵塔，
鐵的橫担和斜撐

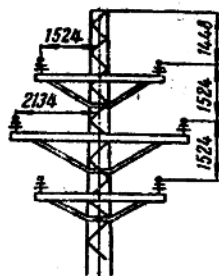


圖 4 44千伏鐵塔，木質
的橫担和斜撐

索松——頓維爾綫路在1936年裝了消弧綫圈。對穿過山区的綫路，在地下敷設有平衡錨樁。

鐵塔示于圖6和7中，而木桿示于圖8—10

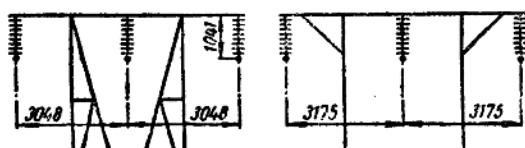


圖 5 索松——頓維爾 115 千伏綫路鐵塔

中。圖9所示木桿沒有架空地綫；在一條用這種電桿的綫路上的一些地方裝設有管型避雷器。

表1中列有各種型式綫路的平均跳閘次數的數據。

由雷害招致的平均跳閘次數		表 1
綫路型式	每年每100千米的跳閘次數	
木桿，無架空地綫	8.0	
鐵塔，無架空地綫	13.2	
木桿，消弧綫圈	3.3	
鐵塔，消弧綫圈	4.2	
木桿，帶有一根架空地綫	4.4	
鐵塔，帶有一根架空地綫	4.1	
木桿，帶有兩根架空地綫	0	

表1指出，當只有一根架空地綫時，鐵塔和木桿具有同樣的平均跳閘次數。

如果既無架空地綫，又無消弧綫圈，木桿綫路的防雷特性較鐵塔綫路為好。

帶有消弧綫圈或一根

架空地綫的綫路幾乎具有同樣的特性。

顯然，觀察結果未証實以前所作的假定，即沿着木材纖維燃弧時，弧會自動熄滅。但是被雷電劈裂的木桿及橫担仍僅是少數。

表2中的數據涉及34條綫路，所包括時間從1年至26

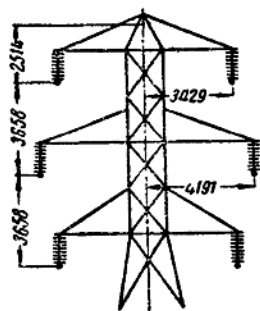


圖 6 115千伏鐵塔

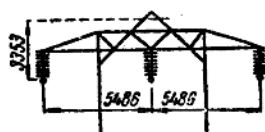


圖 7 115千伏鐵塔

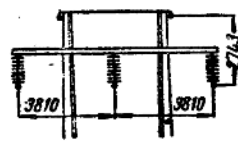


圖 8 115千伏木桿

年。分析了更詳細的數據指出，一年中每一條綫路的跳閘次數的變動範圍是很大的。

這些變動部分地決定於在不同綫路中同一類型桿塔有某些結構上的差異。這也可歸於地理上的差異。

在表3列舉了木桿及鐵塔的使用期限。鍍鋅鐵塔使用期直到45年可以不換。甚至在

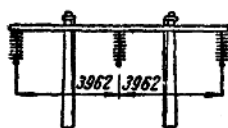


圖 9 115 千伏木桿

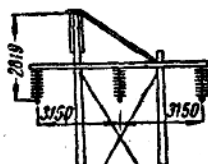


圖 10 115 千伏木桿

潮湿地区也观察不到有何不利情况。

基础是木桩结构。除非地下水的水面很高，不采用实心混凝土结构。

线路的耐雷指标

表 2

线路型式	线路号	电压 (千伏)	图号	长度 (千米)	运行 年数	每年每 100 千 米的跳 闸次数	线路型式	线路号	电压 (千伏)	图号	长度 (千米)	运行 年数	每年每 100 千 米的跳 闸次数
木桿無架空地綫 的綫路	1	44	1	245	19	7.8	木桿帶兩根架空 地綫的綫路	15	115	8	8.7	3	0
				202	9	12.9		16	115	8	14.4	6	0
								17	115	8	22.4	7	0
	2	44	2	65	12	7.7	鉄塔無架空地綫 的綫路	18	115	5	250	4	18.3
	3 A	44	2	104	10	3.6		19	115	5	102	7	10
	3 B	44	2	160	10	10.9		20	115	5	147	7	13
	3 B	69	2	160	1	5		21	115	6	37	4	21.7
	3 Γ	69	2	175	2	4.3		22	115	7	12.5	4	12
	4	44	2	56.5	11	5.8		23	115	5	47.5	28	10.2
	5 A	44	2	138	5	4.5	鉄塔帶消弧綫圈 的綫路	24	115	5	102	17	5.4
	5 B	69	2	138	3	5.8		25	115	5	148	16	3.4
	6	69	2	162	4	6.3	鉄塔帶一根架空 地綫的綫路	26	115	6	57	24	3.6
	7	115	9	50	7	13.2		27	115	7	12.5	24	7.1
	8	115	9	43	21	10.2		28	115	6	7.2	2	0
木桿帶消弧綫圈 的綫路	9	115	9	57	2	13.1		29	115	6	57.5	2	0.9
	10	115	9	38	11	10.1		30	115	6	36.2	2	2.7
	11	115	9	42	2	2.4							
木桿帶一根架空 地綫的綫路	12	115	9	48.5	16	3.4							
	13	115	9	91	2	3.3							
	14	115	10	41.4	5	4.4							

桿塔可能使用的期限是很难确定的。

在 1906 至 1910 年間建造了一条用未浸漬过的杉松木桿的 44 千伏綫路。木桿、横担、斜撑及絕緣子的更換，从 1936 年开始直繼續到 1946 年为止。新植的电桿系由杉松制成，基柱下端浸了杂酚油。

在 1930 年建造了兩条 Π 形桿綫路。桿用黃松制成，整根基柱用杂酚油浸漬。这些木桿沒有發現过任何损坏。木横担用縱木制成。

將木横担用五氯代酚在油中的溶液浸漬，并适当地使其干燥，可以避免木質开裂。

显然，木桿、横担及木桿的其他木質部件应当整个浸漬，这可以使得所有这些部件的使用期限一样。曾經發現在兩条 44 千伏綫路上有些木桿在浸漬处的上面部分腐爛。沒有浸漬的木横担、斜撑及横撑很快就开始腐爛了。

木桿及鉄塔的使用期限 表 3

桿塔材料	綫路長度(千米)	运行年数	使用期限
鋼	296	43	不更換
	49.5	28	不更換
	32	2	不更換
木材	201	—	經30—40年更換
	168	26	不更換
	56.5	25	不更換
	49	24	不更換
	86.5	22	不更換
	138	11	不更換
	22.4	5	不更換
	39.3	4	不更換
	38.5	2	不更換

115 千伏 Π 形木桿(圖 8)輸電綫的建造費用較鉄塔(圖 7)輸電綫為低。雙回綫鉄塔(圖 6)綫路的建造費用較兩條 Π 形桿綫路的費用為低。

對於電壓更高的綫路，由於要安裝很重的導綫及絕緣子，應當採用鉄塔。

木桿會因漏洩電流而着燃。將橫担和斜撐適當地短接，就可以避免這現象。

結構沒有經過相當周密考慮的木桿會發生開裂。對於可能發生雪崩的山區，木桿是較適合的。

假如許可的話，木橫担不短接是有利的，這可避免鳥引起的事故。

對於新型結構的鉄塔和木桿，每一千米綫路的運行及檢修費用是一樣的。

因此，根據木桿和鉄塔綫路的運行經驗可以得出下列結論：

1. 帶有兩條架空地綫的 Π 形木桿綫路不會因雷击飛弧而跳閘。這種綫路實用上是耐雷的。
2. 對於帶有一根架空地綫的木桿和鉄塔綫路，它們的平均跳閘次數差不多相等。
3. 帶消弧綫圈的木桿綫路較帶消弧綫圈的鉄塔綫路具有稍好的防雷特性。
4. 帶有一根架空地綫與帶有消弧綫圈的綫路具有差不多相等的防雷特性。
5. 沒有保護的綫路的耐雷水平非常低。這時木桿綫路的平均跳閘次數較鉄塔為少。
6. 對於 44—69 千伏綫路，當導綫在單柱桿塔上排列成三角形時，在最上面一條綫上安裝管型避雷器具有很好的效果。
7. 木桿一般較便宜，特別是在山區的情況下。
8. 將主柱及橫担全部浸漬是合算的。
9. 鍍鋅鉄塔經 45 年運行後仍處於良好的狀態。

用併對單柱桿的 115 千伏輸電綫*

保爾 P. 海姆

由於預料到負荷要增加，需要建造兩條長 4 千米、電壓 115 千伏的綫路以代替現有的兩條 50 千伏輸電綫，綫路路徑仍與原來一樣，在寬 15 米的林間小道上。在建造期間，現有的兩條 50 千伏綫路應正常运行。

* Paul R. Heim, Transmission Structure Design Conserves R-O-W, Electrical World, 1955, 7/III. B. A. 奧爾洛夫摘譯，Я. Е. 沃爾弗科維奇校閱。

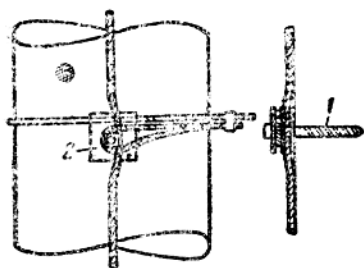


圖 3 基柱間接地引線的聯結
1—無帽鉛絲；2—方鐵片。



圖 4 帶X形連接的或圓路四柱輕便耐
振桿的一般外觀

木材來製造橫担。基柱間用兩根長 9.7 米，截面 95×248 毫米的方木材相互連接起來。基柱間相距 8.53 米。

避雷綫在每根基柱上都有接地引綫，它們在最低的導綫下面大約 1.5 米的高度處聯結起來(圖 3)。所以選擇這個地方是因為當安裝工人在聯結處工作時不應處在電桿上帶電導綫的上方。

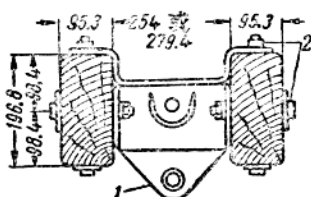


圖 5 鋼間隔支撐，裝在耐張轉角桿的
基柱間(帶有懸掛絕緣子鏈的孔)。
安裝支撐的地方在圖 2 中已指出
1—支撐；2—螺栓 $\varnothing 5/8$ 。

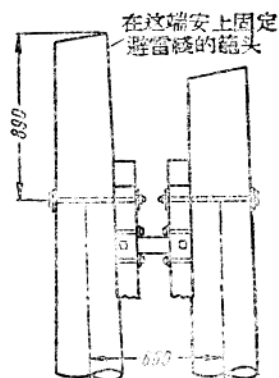


圖 6 連接耐張轉角桿二基柱頂端的支撐

圖 4 中示出輕便轉角桿或加強中間桿，它是由兩基普通併對電桿組成，用在長 232 米的檔距上。

電桿的一些部件的結構示于圖 2、3、5 及 6 中。

綫路及電桿的一般數據列于下表內：

綫路電壓	115 千伏
綫路總長	5.25 千米
銅心鋁綫導綫截面積	242 毫米 ²
鋁部	26 股
銅部	7 股
破壞負載	8.52 噸

計算張力	2.50 噸
消振	“阿爾姆羅茨”圓錐形護綫條
避雷鋼綫：	
直徑	9.52 毫米
股數	7 股
弛度	溫度 15.5°C 時 導綫弛度的 80%

消振.....	“阿尔姆罗茨”实 心鋼質护线条	在耐張桿塔上.....	8个絕緣子
平均档距.....	140米	絕緣子型式.....	146×254毫米
最大正常档距.....	215米	接地.....	在每一基柱处用
最大档距.....	236米		直徑12.7毫米最
絕緣:			短0.7米的“科彼
在中間桿塔上.....	7个絕緣子		尔维尔达”制棒

开曼諾—吉基瑪特 300 千伏輸电綫路*

1. 輸电綫路及路徑勘测的一般数据

在加拿大开曼諾地下式水电站第一期工程完成了, 它的任务是对吉基瑪特煉鋁厂供电, 該厂的总生产力为每年煉鋁 500 000 吨。

电站第一期工程安裝三台电压 13.8 千伏, 容量各为 106 兆伏安的水輪發电机。

全部建成后將具有 16 台这样的水輪發电机。

13.8/13.8/301 千伏升压变压器安裝在發电机室的壁龕內, 用电压 301 千伏長 670 米的充油压力電纜和地上戶外配电所相連結起来。

电能由开关站經長 81.6 千米的架空輸电綫路傳送到煉鋁厂。第一期工程 建造电压为 300 千伏的双回輸电綫。当綫路全部建成后, 大部分路徑上將增为四回。

綫路經過的地区具有严重的复冰条件及很大的風負載。

綫路路徑的初步測量是利用航空攝影进行的。所得到的数据再經地面測量所証实。进行測量的队伍利用一架發动机容量为 300 馬力的直昇飞机作为交通工具, 在 1949 年 9 月用一个星期的時間完成了自己的任务。

不顧在山区条件下建造綫路的困难, 仍然选定了一条通过羣山的路徑。由于这样, 使得綫路縮短了 45 千米, 不需要建造一些过河大跨越, 并避免了綫路經過断崖坡。

随后进行的計算, 特别是在决定运输费用的部分証实了所选的路徑比較沿河岸地帶的路徑經濟。利用流域地帶和山路可以使綫路選擇得接近直綫。

路徑(圖 1)由拔海 61 米的电站沿着开曼諾河床行进到約 14.5 千米的地方, 那里將建造第一座开关站“开曼諾”, 地形高度为拔海 210 米。在第一期工程中由电站来的双回綫路將在这里轉換成兩条單回綫路。在总工程中, 还要將第一期工程的双回綫路再加上第二条双回綫路, 这两条双回綫路都轉換成已經建造好的兩条單回綫路。河的流域地帶很窄, 且岸旁山的坡面非常狹窄, 并有遭受坍塌和陷落的地方, 以致于不得不利用兩边河岸的砂礫地帶來安置桿塔。河床在每次漲大水时都稍有改变, 这是由于从河的上游冲下了大量砂子及石礫的緣故。

这两条單回綫路都沿着山的支脈上昇, 穿过山谷, 越過陡峭的拔海 1550 米的基尔

* 本文根据下列杂志中材料写成: Electrical World, 1955, 14/II—21/II; Civil Engineering, 1955, № 1; ETZ, 1965, № 1. B. A. 奥尔洛夫編写, И. И. 科德金德校閱。

达尔山，再下降到海拔 150 米的地方，在这里建造基尔达尔开关站。这条山区地段长约 17 千米。此后直到炼铝厂将建造两条双回路。

路径的一段沿着基尔达尔河流域行进，并跨过达尔河；这段路径与行经开曼诺河流域的那段极为相似，只不过在这段区域内在安设杆塔的地方没有冲积土及大量的地下水。由达尔河过来，线路穿过高达 900 米的山，山后延伸着一大片复在花岗岩上面的沼泽地，再沿着明涅特湾的河岸行进，在涨水时，河岸会被淹掉。随后，线路穿过吉基玛特河三角洲到达炼铝厂。

在勘测线路路径时（1951 年初）已确知即使在海平面上空气的温度也达到零下 29°C ；在高的地方观察到有很强风，而冬季雪深到达 7.5 米；常发现雪崩。所有这些数据都指出，在超过 900 米的地方，建筑季节仅可以持续约 4 个月。虽然没有对导线上复冰进行足够的数量上的观察，然而气候条件迫使我们假设

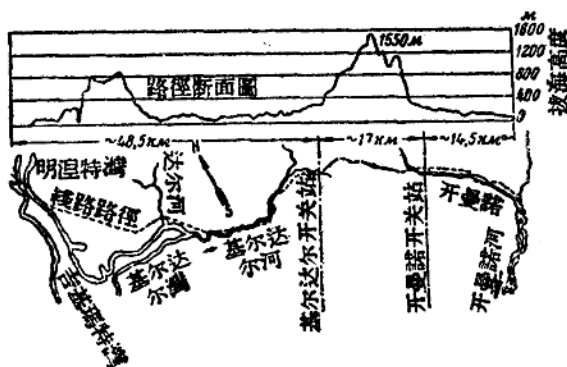


图 1 开曼诺-吉基玛特输电线路路径的计划及断面图

定导线上的负载是沉重的，与阿尔卑斯山及华盛顿州和俄勒冈州的山上的输电线路所遭受的负载相似，在这些地方由于温度、湿度和风的配合每 7 年大约有一次严重的复冰现象。

吉基玛特的炼铝厂在负荷系数接近 100% 时几乎用去了线路传送的全部电能。

供电应当尽量可靠，因为电能输送中断数小时将会使电解池遭受损坏及产品产量受损失。即使在最有利的情况下也不可能在很短的时间内进行线路修理。这就决定了对输电可靠性的要求。

在系统全部建成后，极限输送功率对于两条双回路线路的四条回路每一回路是 300 000 千伏安，对于单回路每一回路是 600 000 千伏安。在河流流域地区可能冰和风的负载较轻，而对线路的维护方面困难也较小，为了要求线路电气特性较好决定这段线路建成双回路线路。这区雷电很少有，所以仅仅在接近线路两头终端站长 1.6 千米处悬挂避雷线。

每根杆塔都安装在混凝土的基础上，独自接地，然而决定不用平衡锚桩。仅在开曼诺开关站处及行进到吉基玛特变电所才进行换位。

当第一批使用直昇飞机的勘测组初步确定线路要穿过密林，跨过深淵及峭壁以后，设计人员就预定了导线的负载数值几乎为任何其他已知线路的负载数值的两倍。1951 年 9 月根据这负载数值进行杆塔设计。为了避免两次重复盖临时居住营和开辟上达高山地区的道路，决定两条单回路同时建造。鉴于钢料的缺乏而却有铝，决定两条线路中的一条采用铝杆。铝杆的最主要的优点是运输及安装费小。

在下面叙述了杆塔及导线上负载的计算情况及计算条件。

2. 桿 塔

a) 單回路桿塔

情况 A 沿綫重量为 60 千克/米的雨凇^①在 -18°C 时在桿塔構件中引起的应力等于材料的屈服点。这时, 沿导綫張力的水平分量不超过 54.5 吨。

情况 B 雨凇厚度 63.5 毫米, 密度 0.9 克/厘米³, 导綫上有垂直于橫担的水平方向的不平衡負載, 其大小等于每相 4.54 吨(就是所謂 P 負載), 在桿塔構件中造成的应力等于計算用应力。沿导綫張力的水平分量等于 29.6 吨。

情况 B' 造成計算用应力的負載为情况 B 負載的 60%, P 負載不計算在內, 在这情况下它每相为 20.45 吨。

情况 C 霧凇厚度 50.8 毫米, 密度 0.3 克/厘米³, 同时受到对导綫投影面积造成 39 千克/米² 負載的風作用和每相等于 4.54 吨的 P 負載的作用, 这样在桿塔材料中造成計算用应力。沿綫拉力的水平分量是 15.9 吨。

情况 D 霧凇厚度 19 毫米, 密度 0.3 克/厘米³, 同时受到对导綫投影面积造成 54 千克/米² 負載的風作用, 这样, 在桿塔材料中造成計算用应力。对于中間桿一相(任一相)的 P 負載等于 10.2 吨, 对于轉角-耐張桿, 等于 11.35 吨。

这时, 絕緣子鏈和金具的重量对于耐張桿取为 1.68 吨, 对于中間桿取为 0.45 吨。

在情况 C 和 D 中, 考虑了在每根导綫的悬挂点受到 0.9 吨的風力。

6) 双回路桿塔

情况 A 在温度負 18°C 、导綫上雨凇重量是 36 千克/米时, 在桿塔構件內造成的应力等于桿塔材料的屈服点。

情况 B 厚 50.8 毫米、密度 0.9 克/厘米³ 的雨凇在桿塔構件中造成計算用应力。

情况 C 与單回路的情况 C 一样(除了沿綫張力)。

情况 D 与單回路的情况 D 一样(除了沿綫張力)。

圖 2 和 3 是鉄塔和鋁桿的外形。

在計算桿塔基柱^②时, 除了上面所指出的負載外, 还給定了以下的由雪造成的負載, 其深度是按照綫路上可能遇到的情况考虑的。

重雪条件 对于从地平面到高 5.8 米的一切桿塔構件:

1. 構件長度的水平投影上每米的負載等于 $(4440 - 484h)$ 千克, 其中 h 是在地面上高度的米数。

2. 構件長度的垂直投影上每米的負載等于 450 千克。

輕雪条件 对于从地平面到高度 4 米的一切桿塔構件:

^① 雨凇(гололед)和霧凇(изморозь)是气象学名詞, 通常电業工作者統称为复冰。雨凇比重較霧凇大, 形成条件也不相同。它們的比重在一定範圍內变化, 一般在輸电綫計算时, 常取雨凇比重为 0.9, 霧凇比重为 0.5。

——中譯者

^② 在本書中 стойка 譯为基柱, нога 譯为分柱, 基柱由一根或數根分柱構成。——中譯者

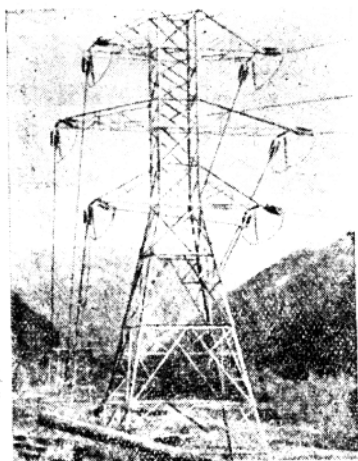


圖 2 双回路铁塔

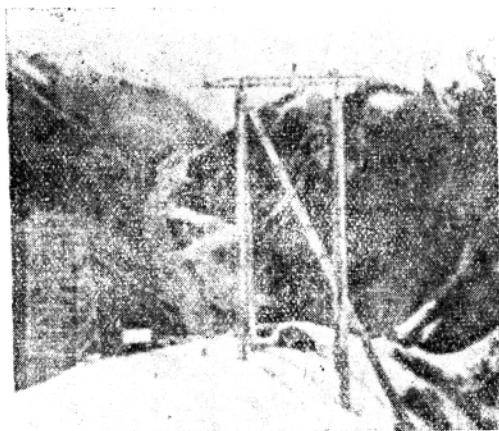


圖 3 用單回路铁塔和鋁桿的綫路

1. 構件長度的水平投影上每米的負載等于 $(1476 - 180h)$ 千克, 其中 h 是在地面上高度的米數。

2. 構件長度的垂直投影上每米的負載等于 150 千克。

除了上述負載外, 在計算單回路鋁桿時, 還考慮了以下的額外負載:

1. 基柱和橫担的總重量。

2. 構件表面的風負載, 對於圓截面的構件採取每平方米 97.5 千克, 對於平面構件採取 195 千克/米²。風負載的作用方向, 既考慮沿綫的, 也考慮垂直於綫路的。

3. 由雪崩以及積聚在桿塔的所有表面, 包括分柱的厚 152.4 毫米的復冰所造成的負載:

a) 當雪深 6.1 米, 坡度是 20° 時, 正常負載等于 15 000 千克。

6) 當雪深 6.1 米, 坡度 40° 時, 輕過負載等于 22 500 千克。

b) 當雪深 6.1 米, 坡度 40° 時, 重過負載等于 30 000 千克。

高 30.5 米的鋁桿順利地通過了一切可能的負載組合的試驗, 並顯示了其結構的可靠性。

能承受上述的最嚴重的負載, 並保證導綫對地距離在平地不小於 10.8 米、在山區不小於 7.6 米的桿塔需用非常多的金屬, 雖然作為桿塔主要支持構件的主材已是用砂鋼制成。

建造一基雙回路桿塔, 包括其基礎部分, 所需鋼材重 17.7 噸。這樣的桿塔總共建造了 231 基。一基單回路鐵塔的重量接近 37.2 噸; 這樣的鐵塔共有 42 基。

35 基鋁桿的平均重量是 25.8 噸; 最輕的是 16.5 噸, 而最重的是 33.5 噸。在同樣的條件下單回路鐵塔的平均重量等于 42.6 噸。這些對比的重量是對包括不同高度和不同強度的桿塔而言的, 雖然這些桿塔上由導綫造成的基本負載是相同的。

設計鋁耐張桿時是這樣考慮的, 即使它能承受水平負載 (垂直於橫担的) 20 400 千克, 而設計類似的鐵塔時, 水平負載只考慮等于 11 250 千克。

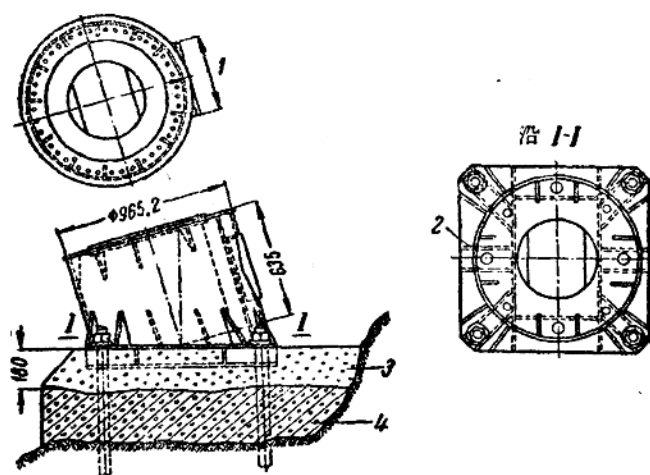


圖 4 單回路鋁桿的桿靴

1—大小為 432×33 的橢圓形窗口；2— $\varnothing 50.8$ 毫米的螺栓（四個在外面，四個在里面）；3—水泥灌漿；4—混凝土。

因为在鋁桿的重量中已包括了 4.2 至 5.3 吨鋼材的重量，所以在确定鋁桿的实用效果时，应当从鋁桿和鉄塔各自的总重量中減去上述重量。

高 34.75 米的鋁桿由 110 个基本元件構成，并有將近 2220 个螺栓，它們主要是用来接合桿的各段的。同样高度的类似的鉄塔有將近 1120 个鋼構件和 4740 个螺栓和墊圈。

如果鉄塔是一种大家所熟悉并很好掌握了的桁架結構，那么鋁桿在这方面說來則是少用的結構。

这种裝置在山区綫段的桿塔是在瑞士所采用的桿塔結構的进一步發展。山区綫段的左面或南面回路中有 35 基鋁桿。

鋁桿（圖 3）是一种 Π 形框，有五（或六）根由薄壁鋁管構成的分柱，其外徑等于 966 毫米。各分柱組立成 A 形或三脚基柱，并支撑起一条匣形截面的橫担。橫担用螺栓与 A 形或三脚基柱的頂部連結。在 35 基桿中有二基是用兩個三脚基柱去代替 A 形基柱的。

管形的鋁分柱是由螺栓將几个分段裝配而成的。桿的分柱由四个或更多的直徑 50.8 毫米的螺栓与基础相联。桿高在 22.6 到 42.6 米間变动，从分柱基础的平均标高算到橫担的下表面。

分柱的桿靴，籠头和基柱的支台都是用低碳鋼鑄成，并鍍了鋅（这些另件都用鋼制成，因時間緊迫，不可能对鋁制零件进行試驗）。

电桿的管形分柱的分段的管壁厚度与电桿所要承受的力有关，在 4.76 至 9.52 毫米範圍內共分成七級。基础标高的不同（关于这点以后还要講到）使我們不得不制出两种長度不同的分段型式。正常分段的全長等于 3772 毫米，半分段長为 1943 毫米。由改变电桿桿靴長度来最后湊合成分柱的必要長度。

每一基桿塔都是考虑到适用于該标柱的局部特殊地形而制成的。不考虑將場地整平。

各分段的二端都固定有用鋁合金模压成的連接环。分段間互相联接就是依靠这些法蘭盤。为此，沿环裝有 33 个具有高抗張強度的、由螺帽拉紧的鋼螺栓。

分柱是用通过桿靴底座的錨栓固定在基础上。桿靴是由低碳鍍鋅鋼全部鑄成。桿靴外徑等于 965 毫米（圖 4）。

桿靴將壓力、拉力以及由外來負載引起的力矩傳到基礎上。

為了將每個桿靴固定在基礎上，至少用四個直徑 50.8 毫米、由抗張強度很高的鋼制成的螺栓。另一種類型的桿靴用八個錨栓固定，其排列方式如下：四個裝在桿靴的下基腳的外角，另四個裝在分段內部側面的中央，這樣就能保證在各種外來負載和雪壓下它們的分佈是合理的。桿靴由厚 6.35 到 9.5 毫米的鋼板制成，其基腳由厚 14.3 毫米的鋼板制成。

每一個桿靴上都有 432×381 毫米的橢圓形人孔，這樣就能進入到分柱里面登桿檢查和維護。分柱內裝有輕型鋁梯，可以直達桿頂。為了在積雪很深時也能進入分柱內部，規定在斜分柱的第二段上（由下數起）再設置一個 445×635 毫米的人孔。為了使人孔堅固，將孔口邊折迭成一圈金屬環。

每一分柱的頂部都有一個由厚 4.8—6.3 毫米的低碳鋼片銲接而成的籠頭。籠頭經螺栓上緊后就形成 A 形或三腳基柱的頂部（圖 5）。

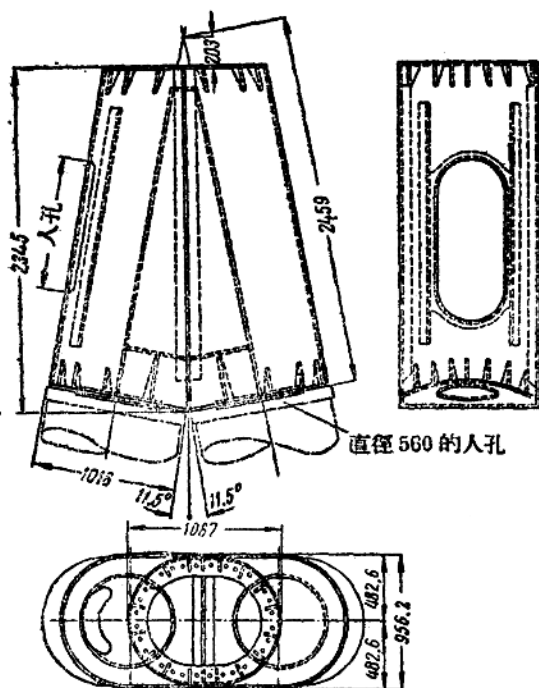


圖 5 單回路鋼桿 A 形基柱的籠頭

橫担下支台（圖 6）與分柱籠頭的聯接是依靠八個沿支台下面板的周圍安置的鋼螺栓。橫担具有匣形截面（圖 7），固定在正對支台中間隔板的兩個點上。支台的垂直樞軸容許將橫担上的垂直負載和水平負載自由傳遞，但同時却不將彎曲力矩傳到基柱上。樞軸也承受這些桿塔的特有負載——由於相鄰檔距內導線張力不等而引起的水平力。

按照綫路沿途不同的工作條件，制出了四種型式橫担，它們都能在路徑的不同轉角下保證導線間和導線與

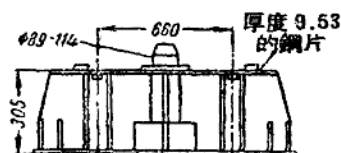


圖 6 單回路鋼桿的橫担下支台

結構間的必要距離。

橫担是中空的、自由地支持在兩點上的方梁。中間相導線懸掛在軸綫附近，邊相導線懸掛在橫担的外伸臂端。橫担的寬度到處相等，從加強夾板間算是 651 毫米。橫担中部的高度等於 1219 毫米。外伸臂的高度，從支台中心綫上部的截面開始向外伸臂端逐漸縮小至 610 毫米。

從結構上講，橫担是鋁的鑄裝結構，只有加強夾板用銲接法接在側面。

橫段是分段的，这样运输起来就方便。每段的长度不超过6.7米，重量是770千克。段数是三或四。各段在桿塔标柱处相互连接起来。

所有分柱上都有梯子。在第1号和第4号分柱上（圖7），在基柱籠头处有人孔，人孔的小門打开就作为平台，周圍有欄桿圍住。从这些平台到橫担有固定的鋁梯，梯的末端，在橫担上也有人孔。橫担上能裝临时性的欄桿，为此專門設有孔穴以便將欄桿的柱子插入。每相导綫的悬挂点附近也有人孔，它們在橫担的下面。

固定絕緣子鏈的承力膜有兩種型式：一种是为中間桿塔設計的，另一种是为耐張-轉角桿塔設計的。

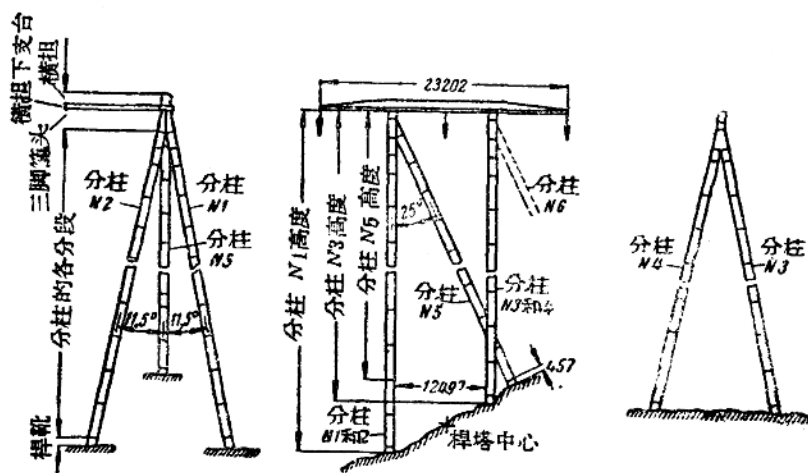


圖7 單回路鋁桿的幾何外形^①

3. 桿塔基础

对于不同的地方条件，选用不同的基础和桿塔固定結構。在疏松土壤中的双回路桿塔采用柱脚型基础，其金屬基础部分制成三脚形，埋置在寬闊的混凝土板中，上面填以大量的土。在那些填土有被山洪冲毀的危險的地方，混凝土板要做得相当厚，以致于它可以不靠填土而独立承受由桿塔基柱傳遞来的一切作用力。

在那些岩石已經露出，或者复盖泥土層不厚的标柱处，基础部分是在岩石中特掘的槽內灌混凝土，或是在这些槽中加上錨式螺栓，然后再灌混凝土。

上述这种固定桿塔的方式最簡單而最合用。在无水或潮湿的土壤中，最好的基础型式是鋼筋混凝土樁，所以在受潮水浸漬的吉基瑪特窪地就例外地采用了樁型基础。

單回路桿塔的基础和固定方式也是多种多样的。有些是用这样的办法固定：在堅固的岩石上，用金剛石鑽整一个深3米、直徑100毫米的孔，固定桿塔用的硅鋼制的、直徑50.8—57毫米的螺栓用水泥膠固在洞內。为了固定螺栓，采用高强度的膨脹水泥砂

① 本圖的左面分圖中，基柱应由分柱 N1、N2 和 N5 構成，原書誤將 N5 排为 N3，現已改正。——中譯者

漿。另一些桿塔也是用螺栓固定，而這些螺栓在裝有混凝土的掘成的槽里固裝起來。第三種方式是將螺栓固定在混凝土堆里，而混凝土堆又安置在石槽里。在高山豁谷，基礎是制成整塊的，自由地放置在土地上。

銅和鋁的兩種單回路桿塔型式的鋼制的底部都是放在正常位置，并利用楔來調平，這種楔是安置在電桿底部所有的四個角上。在有些情況下墊以墊圈或用螺帽從下面擰緊。螺栓栓緊後就在基礎與桿靴底部之間灌注水泥。

為 231 基雙回路桿塔制造基礎時，用掉將近 10 700 米³ 的混凝土，而制造 77 基單回路桿塔基礎時用掉將近 5000 米³ 的混凝土。

4. 導 綫 與 金 具

表 1

特 性	雙 回 的	單 回 的
鋼心鋁綫的型式	“弗爾肯”	“伊繆”
截面(毫米 ²)	795	1682
綫股:		
鋁(毫米)	54×4.36	108×4.48
鋼(毫米)	19×2.62	37×3.21
鋼心直徑(毫米)	13.1	22.4
外徑(毫米)	39.2	58.4
沿綫重量(千克/米)	3.02	7.08
破壞負載(千克)	25 100	61 500

對於雙回綫曾採用了大截面的標準鋼心鋁綫稱為“弗爾肯^①”，對於單回綫曾制造了約有二倍大截面的特种導綫，稱為“伊繆^②”。

在設計這種導綫的時候，遇到了很大的困難，因為在拔海 1500 米的高處，導綫的冷卻條件較海平面壞得多。在這樣的高度壓力僅為海平面處壓力的 83%，熱的傳遞(冷卻條件)將僅為海平面上熱傳遞的 $\sqrt{0.83}=0.91$ 或 91%；而同時在這樣的高度晴天時

太陽的輻射熱將比海平面上大 13%。

無風時導綫將加熱到 80—85°C。這是極限溫度，因為超過了它有可能引起導綫材料結構的改變。經過詳細研究確定了導綫的結構、尺寸及特性，列入表 1。表中也給出了“弗爾肯”型導綫的特性。

除了耐張-轉角桿跳綫處的支持絕緣子外，都採用“克列維斯”型的 254×146 毫米的標準絕緣子，其工作負載是 11 噸。絕緣子鏈有從一串到六串的；每串的絕緣子數如下。

雙 回 綫 路

支持絕緣子鏈(有一串或二串)……………16 個
耐張絕緣子鏈(有三串)……………18 個

單 回 綫 路

支持絕緣子鏈(有三串或四串)……………18 個
耐張絕緣子鏈(有六串)……………22 個

單回綫路的支持絕緣子鏈和耐張絕緣子鏈的外形如圖 8、9 和 10 所示。

所有的金具，像那些用絕緣子組成絕緣子鏈時所不可缺少的橫桿、耳環和中間節環等，都是專門用來懸掛“伊繆”型導綫的。

為連接“伊繆”型導綫而在鋁壓接管上加壓是利用每次 120 噸的負載壓 16 次。

① 俄文原文為 *Фолькон*，為英文 *Falcon* 的譯音，意為鷹。——中譯者

② 俄文原文為 *Эму*，為英文 *Emu* 的譯音，意為一種澳洲產駝鳥。——中譯者

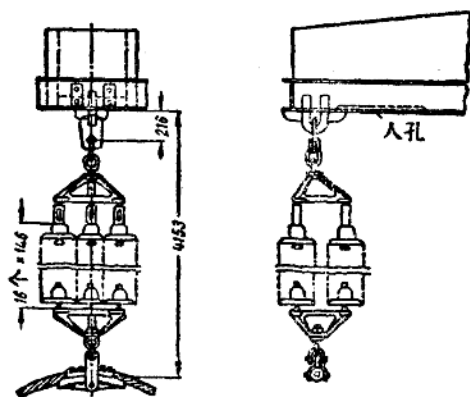


圖 8 三串支持絕緣子鏈

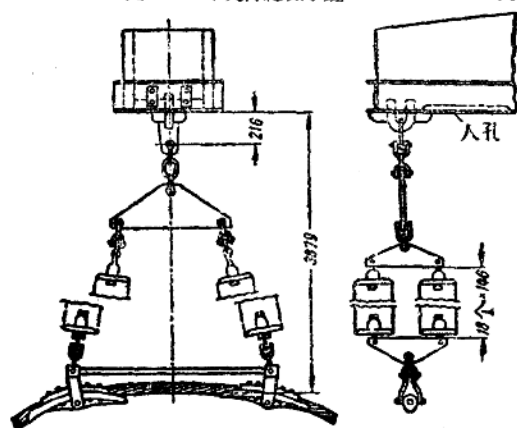


圖 9 四串支持絕緣子鏈

道相連。

山路的坡度非常大，而泥土又是非常重，以致建造这些道路需要非常高的造价。第一批器材是由拖拉机拖車運輸的，但是以后的大部分器材都是用有四个主动輪的載重汽車运送的。

一中队直升飞机对于器材的運輸起了很大的作用。直升飞机既用来運輸輕器材和建筑人員，也用来運輸 680 千克以內的重器材，特別是运向离开道路很远的营帳时。

在这一方面，鋁桿的应用就有它特别的优越性。

为了綫路的建造，需要搭起 11 个临时营帳(其中八个是防水帳蓬，三个是裝配式屋子)，以及山路上的几个临时可移式露營。在山谷的营帳每年冬季总是在 7.5 米深的积雪下面；山路上充作住屋的营帳要求采用抗張强度高的金屬結構，这是为了能够支持疾風及深雪負載。

虽然沿着河流都产有建筑所需用的砂石，然而确定一些固定点去获取砂石更为上算，这可避免設備多次安裝、拆卸及轉运。混凝土也就在此地制造，用自动卸貨卡車分送至沿綫路各地。当运送距离实在太長时，不可能运送混凝土，則可將这些隋性材料包裝成袋运到組桿的地方，用小型的混凝土攪拌机来制造混凝土。在高山豁谷处施工則有不

弛度和沿綫張力是根据最大計算負荷选定的，这計算負荷等于导綫極限破坏負載的 50%。

确定双回路鋼心鋁綫的弛度时采用圖解法，这里考虑了对各标柱有很大高差时的修正。

單回路定桿位时采用特殊方法，这种方法容許档距和相鄰二档距內的張力有較大程度的变动(档距变动可以从 200 米到 800 米)。在这种情况下，容許將沿綫的計算張力增加到最大可能值，等于 31 000 千克)。

5. 綫路的建造

由于地形断裂的影响，要到达輸電綫的某几段，甚而对整个建筑工程都有很大的困难。

器材依靠駁船从温哥华运到基地(駁船被拖曳將近 800 千米)，再由汽車將器材由基地分送到綫路的其他地方。

汽車路与綫路标柱处依靠架空悬