

Research on Planning of Linzhi Tongmai 110kV Power Transmission and Transformation Project Across Forest Areas and Towers in China

Xudong Wu

China Power Construction Group Guiyang Survey Design and Research Institute Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550081, China

Abstract

In China's Linzhi Tongmai 110kV power transmission and transformation project, there are many lines crossing forest areas. How to plan the tower and how to balance the reasonable height, reduce tree felling and the cost of the line is a very important key technical problem, whether its selection is scientific and reasonable will directly affect the investment cost, safety and reliability of the whole project, as well as the on-site construction and later maintenance.

Keywords

power line; tower planning; tree cutting

中国林芝通麦 110 千伏输变电工程跨越林区及杆塔规划研究

吴旭东

中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 中国·贵州 贵阳 550081

摘要

在中国林芝通麦 110 千伏输变电工程中, 线路跨越林区较多, 如何规划杆塔, 使线路在合理的呼高减少林木砍伐和本体造价间达到平衡, 是一个非常重要的关键技术问题, 它的选择是否科学合理直接影响着整个工程的投资造价、安全可靠以及对现场施工和后期维护也会产生深远的影响。论文针对该项目杆塔设计应该注意的问题进行了探讨, 并提出相关解决方案。对重要林区的线路建设提出了基本思路。

关键词

电力线路; 杆塔规划; 林木砍伐

1 引言

本专题在借鉴《国家电网公司输变电工程西藏电网 110kV-500kV 输电线路分册》(2015 版) 中的 1X1 子模块基础上, 结合本包段线路路径特点, 应用概率统计方法, 通过预排位对本包段杆塔水平档距、垂直档距、呼高及转角等实际使用条件的概率分布规律进行分析, 在综合考虑工程造价、安全运行和环境保护的基础上进行了杆塔规划。

2 林区特点

林芝拥有中国第一大的林木蓄积量, 林地总面积位居

全国第 8 位。在喜马拉雅山、横断山、念青唐古拉山高山峡谷中, 从海拔 7000m 的雪峰到海拔几百米的谷底, 依次分布着低山热带雨林、低山准热带雨林、山地亚热带常绿阔叶林、山地亚热带常绿落叶阔叶混交林、山地温带松林、亚高山寒温带冷杉林、高山灌丛、树林和高山草甸。

鲁朗林海, 平均海拔 4000m, 据林业部门测算, 色季拉山的森林覆盖率达 55.1%, 占地 10 万公顷, 以阔叶林、针叶林、落叶松、云杉、冷杉、柏树等居多, 还有和恐龙同年代的古生物活化石“桫欏”。此外, 还有国家二级保护植物红豆杉、资源冷杉, 松科, 冷杉属, 系中国南岭山地新发现的冷杉树种, 常绿乔木, 高 20~25m, 胸径 40~90cm, 云杉树高达 20m, 胸径 50cm。中国特有树种垂直分布海拔为 2600~3700m, 以海拔 3200~3400m 为常见, 柏树为常绿乔木, 树高一般可达

【作者简介】 吴旭东 (1973-), 男, 中国贵州毕节人, 毕业于华中理工大学, 高级工程师, 从事输变电设计 (线路和变电) 研究。

20m; 树皮红褐色, 纵裂; 小枝扁平; 叶鳞片状, 小型。古柏、常绿大乔木, 高 25~45m, 胸径达 1~3m。



图 1 林区照片 (1)



图 2 林区照片 (2)

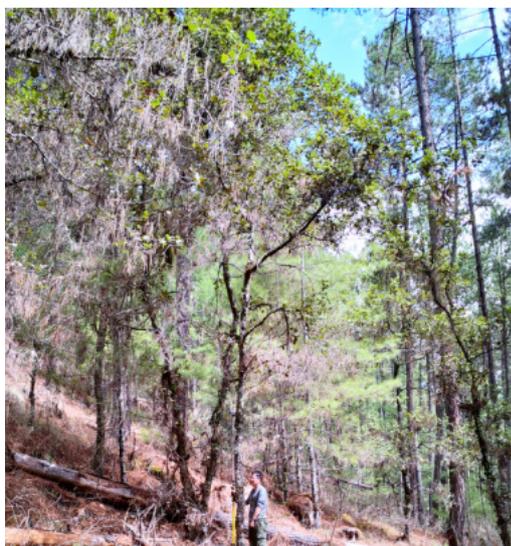


图 3 林区照片 (3)

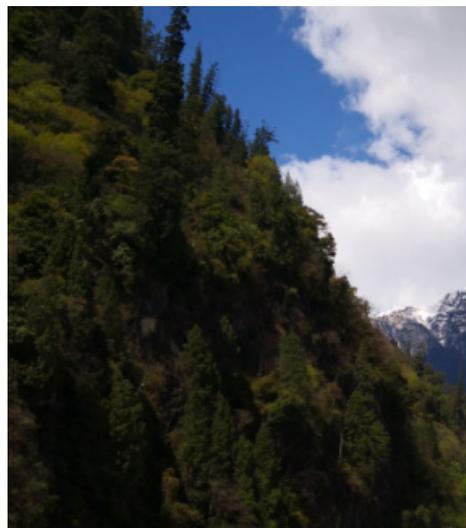


图 4 林区照片 (4)

3 常规杆塔型式选择

在输电线路中, 杆塔的型式多种多样。杆塔型式的合理选择, 主要依据如下几个原则:

(1) 安全。受力简洁, 满足承载力及变形要求。

(2) 经济。铁塔综合经济指标优秀, 且加工、安装、运行方便。

(3) 环保。铁塔造型美观, 施工对环境破坏小。

本工程结合气象条件, 覆冰厚度、海拔高度及导、地线型号, 推荐本工程常规塔型采用《国家电网公司输变电工程西藏电网 110kV-500kV 输电线路分册》(2015 版) 中的 1X1 子模块。

4 高跨杆塔规划方法

杆塔规划设计中通常采用的杆塔规划方法是对已有工程的杆塔使用情况进行统计分析, 并在统计分析基础上进行系列规划。其统计分析的结果必然与当初统计分析所采用的样本有关, 而最初设计使用条件的确定是在理想状态的基础上进行规划的, 它无法根据工程的实际情况进行杆塔系列规划, 这样会使杆塔规划不合理。在实际工程中, 杆塔排位时杆塔荷载的利用率会有所降低, 整个工程的费用会相应增加。对于 110kV 输电线路, 由于杆塔高、杆塔重, 杆塔费用所占工程总投资比例增加较高, 如果仅按照经济档距和经济塔高进行杆塔规划, 或是套用 200kV 或者 500kV 线路的杆塔规划结果, 这样必然会使工程的费用增加得很多, 显然是不合理的。

本报告的杆塔规划将根据本工程的现场勘测、选线情况

等基础上进行杆塔无约束条件的优化排位, 优化排位的目标为在满足技术要求的条件下使工程造价最低。然后在同样的目标条件下对优化排位结果进行杆塔的水平荷载、垂直荷载、塔高、线路转角及塔头间隙使用条件的规划。系列塔型方案越多, 综合造价越低。但当塔型方案越多时, 塔重及综合造价相差越来越少。由此可确定出规划塔型的方案数。再根据选取方案中各塔的摇摆角系数、水平档距、垂直档距、高差系数、转角角度等的使用情况确定出杆塔的摇摆角的角度。

4.1 杆塔塔重指标评价

在杆塔无约束条件的优化排位过程中, 随时需要调用杆塔费用指标(或杆塔塔重指标)及基础施工费用等。通常杆塔的塔重与其使用的水平荷载、垂直荷载、纵向荷载和杆塔高度有关, 即可按下式表示:

$$Fc = f(f_h, f_v, f_l, h) \quad (1)$$

其中, f_c — 表示塔重指标; f_h — 表示水平荷载; f_v — 表示垂直荷载; f_l — 表示纵向荷载; h — 表示杆塔高度。

从上式的函数可确定任何一个参数变化对塔重的影响。

计算杆塔塔重有多种方法。比如塔重数据库法、统计分析法等。本章详细介绍塔重数据库法。

杆塔塔重数据库法, 即是不同外荷载的塔重分别计算出来, 建立相应的杆塔塔重数据库。利用该方法计算出杆塔的塔重比较准确。建立塔重数据库有两种方法, 一种是采用内力分析软件计算, 另一种采用公式计算。

采用内力分析软件计算比较准确, 但输入数据量繁杂, 计算时间长。采用公式计算输入数据量少, 计算速度快, 计算准确度也较高。本工程推荐采用公式计算法。

关于线路杆塔塔重的计算研究, 国外曾做了大量工作, 国外研究结果发现塔重梯度与杆塔高度和其上可能的作用荷载变化值有关, 在大多数情况下力矩公式是最容易实现的一种方法, 通过对单双回路等多个施工图样本的统计分析, 按照力矩计算方法, 综合考虑长短腿设计、OPGW 开断、起算高度、塔身风荷载、覆冰厚度、转角度数、主材角钢断面型式和导线分裂数的影响, 得出设计荷载与塔重的关系式:

$$Fc_{\text{塔}} = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 (1.44 + \frac{L_a}{125}) H (T^{\frac{2}{3}} + V^{\frac{1}{2}} + L^{\frac{2}{3}}) \quad (2)$$

上式中:

T — 导、地线水平荷载水平风荷载总和, $T = \sum t$, 轻冰

区取大风工况, 重冰区取覆冰工况。

V — 导、地线垂直荷载总和。

L — 导、地线不平衡张力总和, 直线塔取 0, 耐张转角塔取大风工况。

La — 横担最大长度(以杆塔中心起算)。

H — 水平荷载影响高度, $H = \frac{\sum ht}{t}$ 。

t — 导线、地线水平荷载, 轻冰区取大风工况, 重冰区取覆冰工况。

h — 导、地线水平荷载水平风荷载作用点高度(以地面起算)。

K_0 — 比例系数, $K_0 = e^{-0.8675}$ 。

K_1 — 长短腿设计影响系数。

K_2 — OPGW 开断影响系数。

K_3 — 起算高度影响系数, $K_3 = \left(\frac{h_{\text{起算呼高}}}{h_{\text{呼称高}}}\right)^{0.1}$ 。

K_4 — 塔身风荷载影响系数, 当设计风速 $30 < V \leq 32\text{m/s}$,

$K_4 = \left(\frac{30}{V}\right)^{0.8}$; 当设计风速 $V \leq 30\text{m/s}$ 或 $V > 32\text{m/s}$,

$K_4 = \left(\frac{V}{30}\right)^{0.8}$ 。

K_5 — 覆冰厚度影响系数。

K_6 — 转角度数影响系数, 以 20° 为基础转角度数影响

系数 $K_6 = \left(\frac{\theta}{20}\right)^{0.2}$ 。

K_7 — 主材角钢断面型式影响系数, 主材角钢断面型式为双角钢时 $K_7 = 1.1$ 。

K_8 — 导线分裂数影响系数, 对单回路杆塔导线分裂数影响系数 K_8 可以 4 分裂为基准取 $\left(\frac{n}{4}\right)^{0.29}$, 对双回路杆塔 $K_8 = 1.0$ 。^[1]

4.2 沿线综合指标评价

为能准确地分析、评价线路的综合费用对杆塔规划的影响, 根据不同的地形、地质条件、塔位占地、土石方量、基础工程量等工程量进行综合分析, 按照不同的地形、地质及交通条件给出沿线每基塔的基础施工的综合费用。

4.3 杆塔的优化排位

杆塔排位优化采用动态规划的方法, 确定出给定路径上

的最优排位方案。基本数学公式如下：

$$C_{\min}(NB, HB_1 / NI, HI_1) = \text{Min}[C_{\min}(NI, HI_1 / NA, HA_1) + C(HB_1) + D(NB, HB_1)] \quad (3)$$

其中：

$C_{\min}(NB, HB_1 / NI, HI_1)$ — 从起点通过 (NI, HI_1) 到达 NB 点并在 NB 点设立塔高为 HB_1 塔的最小费用。

$C_{\min}(NI, HI_1 / NA, HA_1)$ — 从起点通过 (NA, HA_1) 到达 NI 点并在 NI 点设立塔高为 HI_1 的最小费用。

$$1 \leq \dots < a < i < b < \dots \leq n$$

$C(HB_1)$ — 杆塔 HB_1 的费用。

$$C(HB) = FC \cdot CCOSTt \quad (4)$$

FC — 杆塔重量。

CCOSTt — 杆塔每吨价格。

$D(NB, HB_1)$ — 在 Nb 点采用塔高为 Hb_1 的杆塔时的绝缘子串及基础等的费用。

$$A = 1, 2, 3, \dots, n - 1, a_1 = 1, 2, 3, \dots, q$$

$$B = 1, 2, 3, \dots, n, b_1 = 1, 2, 3, \dots, q$$

$$I = 1, 2, 3, \dots, p, i_1 = 1, 2, 3, \dots, q$$

n — 断面上可立塔点总数。

q — 每个定位点可供选用的杆塔的数量（不同塔高视不同塔）。

p — Nb 点所用的塔从其最小允许档距到最大允许档距间的立塔点的数量。

4.4 杆塔荷载系列规划

杆塔系列规划包括直线杆塔系列规划及耐张转角塔系列规划

在无约束条件下排位优化后得到该路径上的最佳排位方案，但这些塔是在无约束条件下得出的，各塔的水平档距、垂直档距、纵向张力是按各自的塔的使用情况得出的（相当于逐塔设计），杆塔的设计、加工将极为复杂，也无太大意义，因此，在工程中必须进行杆塔系列规划。

直线塔杆塔规划包括杆塔的水平荷载、垂直荷载和塔高等规划。如前所述，外负荷对塔重的影响中，水平荷载起主要作用。因此，对荷载的规划以水平荷载为主进行。

假设优化排位的结果中直线塔最小水平档距为 LHa ，最大水平档距为 LHb ，则：

$$LHa < LH_1 < LH_2 < \dots < LHb$$

假设直线塔规划为 m 塔系列，则：

$$Pc_{\min} = \text{Min}[(N_m - N_{m-1})C_m + (N_{m-1} - N_{m-2})C_{m-1} + \dots + (N_1 - N_0)C_1] \quad (5)$$

即：

$$Pc_{\min} = \text{Min}[\sum_{k=1}^m (N_k - N_{k-1})C_k] \quad (6)$$

Pc_{\min} — 最小综合造价。

$k = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

N_k — 水平档距小于 LHk 的杆塔的总基数。

C_k — 水平档距为 LHk 的一基杆塔造价。可由公式计算得出，或由杆塔造价数据库中查出。

M — 规划系列塔的塔型数。

$LHm = LHb$ 。

$LH_1 \dots LH_m$ 为所规划的最优水平档距系列，再对相应分组的垂直档距较大或较小的部分杆塔进行调整，即得到最优直线塔系列规划。所规划出的水平档距、垂直档距即为在该地形情况下，采用 m 塔系列时，最为经济的杆塔使用条件（水平档距、垂直档距），亦称经济档距。

耐张转角塔塔重主要取决于角度荷载，耐张转角塔系列可根据工程的具体转角情况结合水平档距、垂直档距及塔高等进行规划，从而得到最佳杆塔系列规划。

为提高杆塔规划计算速度，我们采取了黄金分割的数学方法。黄金分割的基本方法是：

(1) 取 $t = 0.618$ ，第一次在荷载区间 $[a_1, a_2]$ 上取两个荷载试点 a_3 和 a_4 ，令：

$$a_3 = a_2 - t(a_2 - a_1)$$

$$a_4 = a_1 + t(a_2 - a_1)$$

(2) 计算 a_3, a_4 两个荷载试点杆塔总费用 $f(a_3), f(a_4)$ ，并令：

$$f_3 = f(a_3); f_4 = f(a_4);$$

如果 $f_3 \leq f_4$ ，令

$$a_2 = a_4; a_4 = a_3; f_4 = f_3;$$

$$a_3 = a_2 - t(a_2 - a_1); f_3 = f(a_3);$$

否则令：

$$a_1 = a_3; a_3 = a_4; f_3 = f_4;$$

$$a_4 = a_1 + t(a_2 - a_1); f_4 = f(a_4)。$$

(3) 重复第二步，直到 $|f_3 - f_4|$ 与 $|a_3 - a_4|$ 满足精度要求。此时的 f_3 （或 f_4 ）为最低的杆塔总费用， a_3 （或 a_4 ）为最优荷载点。

4.5 摇摆角系数 Kv 及摇摆角的角度系列规划

杆塔塔头规划是杆塔规划的重要组成部分。为了确定各种塔型杆塔塔头尺寸，需要考虑在工作电压、操作过电压、带电作业等气象条件下的绝缘子串的摇摆角的角度。根据杆塔规划的结果进行分析，选取合适的摇摆角系数 Kv，然后由所选取的摇摆角系数 Kv 计算不同工况下的摇摆角的角度，把该摇摆角的角度作为设计直线塔塔头尺寸的控制角度。设计采用的摇摆角计算公式如下：

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{P_j / 2 + pLh}{G_j / 2 + WLv} \right) \quad (7)$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{P_j / 2 + pLh}{G_j / 2 + WLh + \alpha T} \right) \quad (8)$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{P_j / 2 + pLh}{G_j / 2 + WLhKv} \right) \quad (9)$$

式中：

P — 每相导线单位长度风荷载 (N/m)。

Lh — 水平档距 (m)。

Lv — 垂直档距 (m)。

T — 每相导线张力 (N)。

W — 每相导线单位自重 (N/m)。

α — 相邻两塔悬挂点高差系数。

Pj — 绝缘子串的风压 (N)。

Gj — 绝缘子串的重量 (N)。

Kv — 摇摆角系数。

为了选择好 φ 值，必须对 Lv/Lh、 α 、Lh 及 T 等参数进行合理选择。分析公式 (7)、(8) 和 (9) 可以看出，Pj/2Lh 与 P 值相比是很小的，而 P 值在气象条件一定的情况下是定值，因此 φ 值的大小取决于分母。一般来讲，Lv/Lh 即摇摆角系数 Kv 越小， φ 值越大。

在工程设计中，摇摆角系数 Kv 非常直观地反应了杆塔摇摆角情况，直线杆塔的摇摆角系数 Kv 对塔头规划有直接的影响。因此在杆塔规划时，应确定摇摆角系数 Kv。一般来讲，在山区和大山区摇摆角系数 Kv 较小，而在丘陵和平地的地区摇摆角系数 Kv 较大。因此，在杆塔规划中应确定摇摆角系数 Kv 系列方案。

4.6 对地距离变化后的影响

对于某些特殊地段如集中林区、自然保护区 (路径走向

所限不得跨越) 等，由于环境保护的要求，需采取高跨林木或提高对地距离改善电磁环境指标，因此，探讨对地距离增加对经济档距及经济塔高的影响很有意义。

随着对地距离的增加，经济档距会相应减小。公式可得：

$$L = \sqrt{(H - \lambda - d) / k}$$

由上式可得，相同塔高 (假定其塔重也相等) 时，对地距离 d 取值越大，相应的档距 L 值会变小^[2]。

4.7 结论

(1) 在理想条件下，本工程经济档距为 400m，对应的经济塔高为 30m。

(2) 通过对经济档距的分析，对经济档距影响较大的有对地距离、地质条件和耐张段长度等因素。

(3) 在实际工程中，应着重根据具体工程的排位情况进行统计分析比较，其经济档距可以作为参考。在工程选线与终勘定位时，均应尽量向经济档距靠拢，从而达到节省投资、降低工程总费用的效用。

5 杆塔规划

5.1 排位情况分析

为了进行本线路的杆塔规划，收集了排塔数据，加入了主要交叉跨越如主要公路、铁路、500kV 和 220kV 电力线路、通信线路、主要河流池塘、行道树等的交叉位置及高度，为杆塔排位优化提供了相对准确的断面数据。根据优化排位的结果，我们对本工程杆塔的使用条件进行统计分析，并对各种杆塔方案进行了规划，从而提出了经济合理的杆塔规划方案。

根据现场勘测及初步预排，本工程铁塔高度分布为如表 1 所示。

表 1 铁塔高度分布表

序号	铁塔呼高 (m)	占比 (%)
1	20-30	2%
2	30-40	11%
3	40-50	48%
4	50-60	30%
5	60-70	9%

通过计算得知本工程铁塔平均呼高约为 48m，由上表分析本工程 40~60m 杆塔占比 78%。本工程常规《国家电网公司输变电工程通用设计(西藏电网 110~500kV 输电线路分册)》

(2015年版)中的1X1模块最大呼高为45m,因此高跨时不能采用该模块。

5.2 杆塔规划成果

根据塔型选择原则,本线路处于高海拔地区,只有一个设计气象区,该段线路规划一套单回路直线塔和耐张转角塔。

5.2.1 塔型规划计算

本工程规划三直四耐,各条件如下:

ZBCK1: 水平档距 400m, 垂直档距 650m。

ZBCK2: 水平档距 600m, 垂直档距 1200m。

ZBCK3: 水平档距 900m, 垂直档距 1500m。

JBCK1: 水平档距 150/350m, 垂直档距 300/700(0/-700)m, 转角 0~20°。

JBCK2: 水平档距 150/350m, 垂直档距 250/600(0/-650)m, 转角 20~40°。

JBCK3: 水平档距 150/350m, 垂直档距 300/700(0/-700)m, 转角 40~60°。

JBCK4: 水平档距 150/350m, 垂直档距 250/600(0/-650)

m, 转角 60~90°。

5.2.2 呼高及接腿

各塔型均采用全方位高低腿设计,在满足腿部稳定的基础上,尽量加大极差,因此不采用公用腿,基本极差取1m-3m接腿,呼高范围如下:

ZBCK1、ZBCK2、ZBCK3: 48~66m。

JBCK1、JBCK3: 30~48m。

JBCK2、JBCK4: 30~54m。

6 结语

每一个工程项目的杆塔规划都有自己的特点,必须在全面考虑工程特性的情况下综合考虑才能达到指标的相对优化,设计者在考虑工程指标、安全运行和本工程的自身特点的情况下,经过全面的现场测量工作,拿到工程实际数据,经过合理设计,有很大的可能可以达到指标、运行和环保的平衡。

参考文献

- [1] 张忠亭. 架空输电线路设计原理 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 孟遂民. 架空输电线路设计 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.