基于改进单纯形法的杆塔优化规划

赵新宇[1]，贾振宏[1]，张瑞永[1]，袁飞[1]，张大长[2]
(1. 中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司,江苏 南京 211102;
2. 南京工业大学土木工程学院,江苏 南京 211816)

摘　要:输电线路的杆塔规划问题是一个由简单不等式约束的多维、非线性最优化问题,且不能保证其目标函数连续或可导,故传统的算法如穷举法、试凑法、解析法等求解均有较大局限性。为了解决上述问题,采用改进单纯形算法结合外点法罚函数求解此类问题,结果表明,算法辅以将约束条件作为指数罚函数的外点法构造增广目标函数,可以方便地处理各项约束条件的限制,计算效率高,鲁棒性强,程序实现简单。同时,文中采用的算法对于可能出现的局部最优解可以根据工程经验加以判别和剔除,适用性强。

关键词:杆塔规划;优化;改进单纯形法;外点法罚函数
中图分类号:TM752　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:2096-3203(2019)01-0126-06

0　引言

随着我国特高压电网建设的飞速发展,送电线路的长度往往上千公里,单基塔重动辄过百吨,而直线塔在整条线路中的使用量占到 80%以上,其塔重对工程造价影响很大。直线塔的塔重取决于其设计条件,其中最主要的是水平档距和垂直档距[1—2]。理论上讲,若一条线路共用 M 基杆塔,则按每基塔的实际使用档距逐基设计 M 种塔型无疑是最经济的,但这会给设计、制造和运行都带来极大困难。因此必须对直线塔的设计条件进行规划以精简塔型,并使得设计档距尽可能逼近实际使用档距,以降低总耗钢量[3—4]。早期杆塔规划主要依靠工程经验,缺乏定量分析,到二十世纪末,国内开始将数理统计及最优化算法等数学手段应用于杆塔规划,构建了杆塔设计档距优化问题的经典数学模型[5—6]。

文献[7—8]根据具体工程的现场勘查、航片选线等情况,在所剖切的断面图上进行杆塔无约束条件的优化排位,然后对优化排位结果进行分析,利用数学方法对杆塔的水平荷载、垂直荷载、塔高、Kv 系数、转角度数及塔头间隙等进行规划。文献[9]在经过海拉瓦技术处理断面上采用动态规划的数学方法进行杆塔无约束条件的优化排位,然后利用黄金分割数学法对同样目标下所优化的排位结果中的杆塔垂直荷载、水平荷载、线路转角、塔头间隙及塔高等进行规划。

传统方法采用的数学方法大多是穷举法、试凑法、解析法等,具有较大的局限性,而文中提出采用改进单纯型法求解这一多维非线性最优化问题,计算效率高,适用性强,值得推广应用。

1　直线塔档距规划的数学模型

1.1　数学模型

直线塔档距规划的目的,即目标函数,是在给定了规划 k 个塔型的条件下,通过优化调整设计水平档距和垂直档距(l_{h1}, l_{v1} ~ l_{hk}, l_{vk}),尽量减少以大代小使用杆塔的情况,从而使得线路杆塔总耗钢量的数学期望值 Z 最低[10],这一档距组合即实际工程条件下的经济档距组合,通过最小化下面的目标函数求得:

$$\begin{aligned}\min:Z = {} & MF(l_{h1},l_{v1})W(l_{h1},l_{v1}) + \\ & M[F(l_{h2},l_{v2}) - F(l_{h1},l_{v1})]W(l_{h2},l_{v2}) + \cdots\cdots + \\ & M[F(l_{h(k-1)}),l_{v(k-1)}) - F(l_{h(k-2)}),l_{v(k-2)})] \times \\ & W(l_{h(k-1)}),l_{v(k-1)}) + M[F(l_{hk},l_{vk}) - \\ & F(l_{h(k-1)},l_{v(k-1)})]W(l_{hk},l_{vk})\end{aligned} \tag{1}$$

s.t.

$$0 < l_{h(i-1)} < l_{hi} < l_{hk} \tag{2}$$

$$0 < l_{v(i-1)} < l_{vi} < l_{vk} \tag{3}$$

$$l_{hi} < l_{vi} \tag{4}$$

式中:m 为杆塔总数;l_{hi}, l_{vi} 为决策变量,分别表示第 i 种直线塔的设计水平档距和垂直档距,$1 \leqslant i<k$;l_{hi} 为第 i 种直线塔水平挡距;l_{vi} 为第 i 种直线塔垂直档距;$W(l_{hi},l_{vi})$ 为水平档距为 l_{hi} 且垂直档距为 l_{vi} 的杆塔的重量函数,简记作 W_i;$F(l_{hi},l_{vi})$ 为水平档距小于 l_{hi} 且垂直档距小于 l_{vi} 的塔的累积概率。

稍加整理,目标函数可以写为如下的等价型式:

$$\min:\ Z' = C + \sum_{i=1}^{k-1} F_i(W_i - W_{i+1}) \tag{5}$$

收稿日期:2018-08-15;修回日期:2018-09-21
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51678293)

其中,$Z'=Z/M$ 。直线塔型总数 k 应根据设计需要给定,作为输入条件。l_{hk} , l_{vk} 也应根据预排位结果结合地形条件给定,并且必须能够满足全线最大档距的使用要求,故有 $F_k=1$。因此 $C=F_kW_k=W_k$ 是一个固定常数,即最大塔型的质量。其余的 $k-1$ 对档距则作为决策变量待求解[11—12]。

1.2 塔重公式和分布公式

式(1)中 W_i一般有回归分析和力矩公式两种表达型式。因改进单纯形法对目标函数的连续性和可导性无要求,两种表达式均可采用,文中采用回归分析表达式。

回归分析表达式,形如:

$$W(l_h,l_v)=(a_0+a_1Ng_4l_h+a_2Ng_3l_v)e^{b(H-h)} \tag{6}$$

式中: $W(l_h,l_v)$ 为杆塔重量;N 为导线分裂根数;g_4为大风时导线单位水平荷重;g_3为覆冰时导线单位垂直荷重;H 为杆塔高度;h 为标准塔高;a_0,a_1,a_2,b 为常数。

档距作为统计量可通过对无约束优化排位成果或同类工程的样本进行数理统计而得到,一般在平丘地区服从二维正态分布,在山地服从二维对数正态分布,水平档距和垂直档距相关系数较高,概率密度函数表达式如下(平丘):

$$f(l_h,l_v)=\frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left\{\frac{-1}{2(1-\rho^2)}\times\left[\frac{(l_h-\mu_1)^2}{\sigma_1^2}-\frac{2\rho(l_h-\mu_1)(l_v-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2}+\frac{(l_v-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\} \tag{7}$$

则有:

$$F(l_h,\ l_v)=\int_0^{l_h}\int_0^{l_v}f(x,y)\,dy\,dx \tag{8}$$

2 模型的建立和算法求解

2.1 改进单纯形法及其流程

目标函数中 $F(l_h,l_v)$ 虽然连续且可导,但型式通常比较复杂,很难通过解方程组 $dW=0$ 而求得最优解。以往常用试凑法、穷举法或黄金分割法等,不仅效率低而且难以保证解的最优性[13]。

杆塔优化规划是一个多维非线性的最优化问题,根据工程经验可以判断其最优解的大致范围,因此非常适合采用改进单纯形法(Nelder-Mead simplex method)来求解[14—15]。

所谓单纯形,是指多维空间中的凸多边形,其顶点数比空间维数多1,且各棱边线性无关[16—17]。如:一维空间中的单纯形是线段,二维空间中是三角形,三维空间中是四面体。具体到有 k 个直线塔型的杆塔规划问题,其解构成一个 $2(k-1)$ 维的向量 $L=[l_{h1}\cdots l_{h(k-1)},l_{v1}\cdots l_{v(k-1)}]^T$ 。其单纯形就是 $2(k-1)$ 维空间中具有 $2k-1$ 个顶点(每个顶点相应于一套档距组合)的凸多面体,单纯形法的基本思想就是对这 $2k-1$ 个顶点的目标函数值进行比较,丢弃其中最差的点,代之以适当的新顶点,形成新的单纯形,重复比较,逐步缩小单纯形,逼近最优值。在此基础上提出的改进单纯形法是在丢弃最差点,形成新顶点的过程中引入了反射、扩展、压缩、收缩等系数,避免了寻找新顶点时的盲目性,提高了计算效率。一维函数寻优时常用的黄金分割法实质上就是改进单纯形法用于一维空间时的简化[18]。

改进单纯形法用于杆塔规划问题具有实现简单,收敛快,鲁棒性强等优点,采用该方法求解直线塔档距规划问题。

2.2 初始单纯形构造

由于改进单纯形法不具备全局寻优能力,因此初始解应尽量靠近最优解。好在杆塔规划问题最优解的大致范围根据工程经验比较容易判定,只要以合理的初始解为重心,选择适当的棱长构造一个初始正规单纯形,一般能收敛到最优解。

根据工程经验判断给出的初始解向量为 L_0,则需要构造一个以 L_0为重心,棱长为 a ,具有 $2k-1$ 个顶点的正规单纯形。设此单纯形第一个顶点为 L_1,则其它顶点依次为 $L_2,L_3,\cdots\cdots,L_{2k-1}$,即:

$$\begin{cases}L_1=[l_1,l_2,l_3\cdots l_{2k-2}]^T;\\ L_2=[l_1+p,l_2+q,l_3+q,\cdots,l_{2k-2}+q]^T\\ L_3=[l_1+q,l_2+p,l_3+q,\cdots,l_{2k-2}+q]^T\\ \vdots\\ L_{2k-1}=[l_1+q,l_2+q,l_3+q,\cdots,l_{2k-2}+p]^T\end{cases} \tag{9}$$

其中:

$$p=\frac{\sqrt{2k-1}+2k-3}{\sqrt{2}\times(2k-2)}a \tag{10}$$

$$q=\frac{\sqrt{2k-1}-1}{\sqrt{2}\times(2k-2)}a \tag{11}$$

$L_1\sim L_{2k-1}$即构成一个棱长为 a,具有 $2k-1$ 个顶点的正规单纯形。其重心为:

$$L_{zx}=\frac{1}{2k-1}\sum_{i=1}^{2k-1}L_i \tag{12}$$

令 $L_{zx}=L_0$即可解得初始单纯形的各顶点坐标。

棱长 a 的选择应保证初始单纯形各顶点均在可行域之内。

2.3 约束条件的处理

杆塔规划问题的约束条件主要用于限定解的可行域、不同塔型之间的档距大小关系以及满足同一塔型的垂直档距不小于水平档距的要求。对于这类不等式约束一般采用罚函数法，构造惩罚项与原目标函数一起构成增广目标函数，将有约束优化问题转换为一系列无约束优化问题求解。罚函数的通用构造方法如外点法、内点法等，都可用于本问题的求解。

文中采用外点法构造罚函数，为提高计算效率，避免单纯形反复在可行域外变形，采用指数形式的罚函数。例如，对于约束条件 $l_{hi} < l_{vi}$（水平档距小于垂直档距），可令：

$$Z'(L) = Z(L)\exp(\lambda\max\{0, -\}) \qquad (13)$$

一旦若寻优过程中单纯形某顶点进入不可行域，则其目标函数值以指数倍迅速增加，成为最差点并被抛弃。式(13)中 λ 起惩罚因子的作用，单纯形顶点每进入一次不可行域，λ 放大一次，直至顶点不再脱离可行域。对于其它约束条件，只需在式(12)中添加相应的惩罚项即可。

常规的罚函数法要先完成增广目标函数的一个完整寻优过程，找到的最优解如果落入了不可行域，则增大惩罚因子重新对增广目标函数寻优，迫使最优解向可行域靠近，如此循环，直至最优解退回可行域。而文中提出以塔重函数作为罚函数，使惩罚作用完全体现在单纯形变形过程中，不改变目标函数的形态，避免了对增广目标函数的多次循环寻优，显著降低了计算量。计算表明，对于杆塔规划问题中的变量边界一类的纯不等式约束，这一罚函数构造方法简单而高效。

2.4 求解流程

根据上述分析，建立了求解杆塔优化规划问题的改进单纯形法计算流程，如图 1 所示。

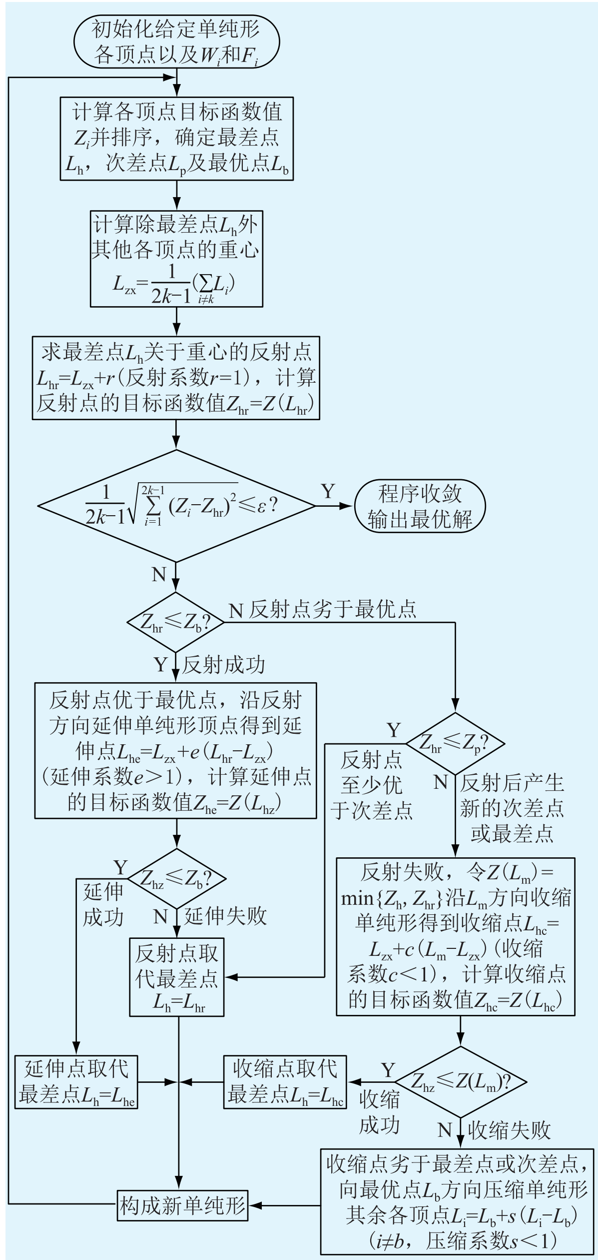

图 1 改进单纯形法求解直线塔规划问题流程

Fig.1 The flow chart of linear tower planning was improved by using simplex method

3 算例分析

3.1 目标函数

以某特高压直流线路的杆塔规划为例，经拟合得到其塔重的表达式为：

$$W(l_h, l_v) = (11\ 271 + 27.747l_h + 13.542l_v)e^{0.02(H-51)} \qquad (14)$$

进行无约束优化排位，并对排位结果进行统计，可得出水平档距、垂直档距和呼高 3 个影响因素所服从的三维联合分布。但在工程应用中，呼高 H 一般不作为杆塔优化规划的决策变量，故需将其消去，把统计各塔按其排位高度折算为相当于 51 m 塔的基数，例如，呼高 75 m 的杆塔折算为 $e^{0.02(H-51)}=1.616$基，并相应修正该塔所对应点的样本数量。这样即可用塔高 H 对档距的二维概率密度函数进行修正，从而在一定程度上体现出塔高对目标函数的影响。假定优化排位后 550～600 m 水平档距内的杆塔使用数量较少，但呼高都很大，按不进行呼高修正的概率分布规划得到的水平档距系列是 400，550，700，那么 550～600 m 这部分塔就要使用设计档距 700 m 的塔，浪费较大。若用呼高修正分布函

数,则 550~600 m 这部分塔因呼高较大,其概率权重明显增加,规划得到的水平档距系列会后移,假定变为 430,590,700,于是 550~590 m 档距范围内的杆塔利用系数就可以大为提高。

经过修正,该线路平丘地形下杆塔的水平档距和垂直档距服从二维正态分布,概率密度函数如下:

$$f(l_h,l_v)=\frac{1}{15\ 243.91}\exp\left\{-\left[\frac{(l_h-479.6)^2}{1\ 128.2}-\frac{1.871(l_h-479.6)(l_v-520.2)}{1\ 717.0}+\frac{(l_v-520.2)^2}{2\ 613.1}\right]\right\} \tag{15}$$

根据式(5)、式(9)、式(13)、式(14)及式(15)即可得出最终的目标函数具体形式。

3.2 初始单纯形和控制参数

根据排位情况可直接给定最大的直线塔水平档距和垂直档距分别为 700 m 和 900 m,以直线塔 3 塔系列的规划为例,需求解的决策变量 $L=(l_{h1},l_{v1},l_{h2},l_{v2})$是一个 4 维空间里的向量,则其对应的单纯型应具有 5 个顶点,取棱长 200 m,结合工程经验给定初始重心 $L_0=(400,500,550,700)$,列方程求解:

$$\begin{cases}400=(5l_1+p+3q)/(2k-1)\\500=(5l_2+p+3q)/(2k-1)\\550=(5l_3+p+3q)/(2k-1)\\700=(5l_4+p+3q)/(2k-1)\end{cases} \tag{16}$$

其中 $k=3,a=200$,则 $p=185.1,q=43.7$。

计算可得:

$$\begin{cases}l_1=336.7\\l_2=436.7\\l_3=486.7\\l_4=636.7\end{cases} \tag{17}$$

则构造初始单纯形,各顶点如下:

$$\begin{cases}L_1=(336.7,436.7,486.7,636.7)\\L_2=(521.9,480.5,530.5,680.5)\\L_3=(380.5,621.9,530.5,680.5)\\L_4=(380.5,480.5,671.9,680.5)\\L_5=(380.5,480.5,530.5,821.9)\end{cases} \tag{18}$$

可见由于给定的棱长较大,初始顶点中 L_2实际上已违反约束条件,这种情况可以通过减小棱长来避免,由于文中采用外点法罚函数将约束条件都纳入了增广目标函数中,故 L_2仍可作为初始单纯形的一个顶点,只不过在求解的初始阶段单纯形的变形次数会略有增加。

给定反射系数 $r=1$,收缩系数 $c=0.5$,延伸系数 $e=1.3$,压缩系数 $s=0.5$。在初始单纯形基础上,对其各顶点进行反射、扩展、压缩、收缩等操作,使单纯形中心逐渐靠近最优点直至满足精度要求,达到收敛。

3.3 计算结果

文中算例单纯形重心的目标函数值变化及收敛过程如图 2 所示。

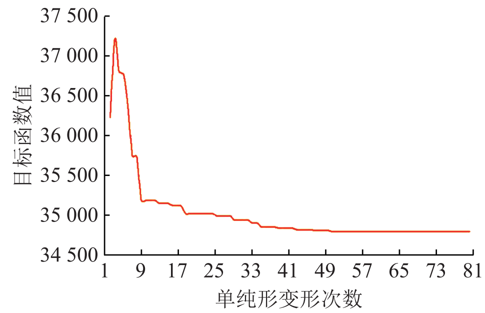

图 2 算例收敛过程

Fig.2 Example convergence process

前文提到,初始单纯形中 L_2顶点已不在可行域中,由图 2 可见,优化过程中目标函数值先升后降,这表明文中提出的外点法罚函数迅速发挥了作用,计算一次即将该顶点抛弃,再经过 3 次变形,已经完全消除了不可行顶点的不利影响。

本算例求得最优解为 $L=(487.2,536.7,569.0,663.7)$,相应的目标函数值 $Z=34\ 803.7$,较给定的初始目标函数降低 1 412.3。这相当于如果全线有 1 000基直线塔,则经过杆塔规划的优化过程,共节约钢材 1 412 t。

若改为采用四塔方案,则决策变量具有 6 个维度,单纯形具有 7 个顶点,收敛于最优解 $L=(457.4,493.9,518.8,583.7,581.7,691.0)$,目标函数值为 34 087.6,较三塔方案降低 715.9,故采用四塔方案可进步一降低耗钢量。

本算例求解三塔方案共对单纯形进行变形操作 81 次,仅计算目标函数值 151 次即迅速收敛,耗时不足 10 s,精度达到 0.1 m。若采用穷举法,即使以 10 m 为步长,计算时间也需要几个小时,如果解的维度再提高,计算量和耗时都将爆炸式增加。若采用试凑法,虽然能降低计算量,但无法保证解的最优性。而解析法当统计样本不服从经典的概率分布,或塔重表达式不可导时,均无法发挥作用。相比之下,文中提出的外点法构造罚函数并采用改进单纯形法求解的算法,不仅计算效率高,而且适用于任何形式的样本分布和塔重表达式。

改进单纯形法也有其局限性,当给定的初始值

距离最优解较远时,可能收敛到局部最优解。例如本算例中,若以 $L_0=(100,300,700,700)$ 为初始解,则将收敛于 $L=(118.3,359.3,537.8,615.2)$,相应的目标函数值 36 390.5,这显然是一个局部最优解。不过,根据工程经验很容易判断这样的初始值是不合理的,必要时也可以按照一定的跨度多给出几组初始值进行计算,选择其中目标函数最优的即是全局最优解,计算效率仍然是很高的。

4 结论

杆塔规划问题是一个有简单不等式约束的多维、非线性最优化问题,且不能保证其目标函数连续或可导,故穷举法、试凑法、解析法等方法均有较大局限性。文中采用改进单纯形算法结合外点法罚函数求解此类问题,通过算例分析,得出以下结论:

(1) 采用改进单纯形法求解此类问题,不受目标函数形式的制约,程序实现简单,计算效率高,适用范围广。本算例求解三塔方案耗时不足 10 s,精度达到 0.1 m,较传统的穷举法有很大的提高;

(2) 算法辅以将约束条件作为指数罚函数的外点法构造增广目标函数,可以方便地处理各项约束条件的限制。而传统的解析法当统计样本不服从经典的概率分布,或塔重表达式不可导时,均无法发挥作用;

(3) 文中算法的初始解向量应结合工程经验设定在预期最优点附近,一般可以避免局部最优解。而传统的试凑法,虽然能降低计算量,但无法保证解的最优性。

参考文献:

[1] 郭日彩, 许子智, 李喜来, 等. 110~500 kV 输电线路典型设计[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 56-64.
GUO Ricai, XU Zizhi, LI Xilai, et al. Typical design of 110~500 kv transmission line [J]. Grid Technology, 2007, 31(1): 56-64.

[2] 黄兴, 田雷, 杨洋, 等. 基于点估计法的杆塔结构平均可靠度分析[J]. 电力工程技术, 2018, 37(2): 127-131.
HUANG Xing, TIAN Lei, YANG Yang, et al. Analysis of the average reliability of tower structures based on point estimation method [J]. Electric Engineering Technology, 2018, 37(2): 127-131.

[3] 施亮. 特高压交流同塔双回输电线路杆塔规划研究[D]. 北京:华北电力大学, 2013.
SHI Liang. Study on the planning of double circuit transmission line of uhv alternating current tower [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.

[4] 朱轶, 张大长, 林致添. ±800 kV 特高压直流输电杆塔结构的动力特性研究[J]. 江苏电机工程, 2008 ,27(6): 11-13.
ZHU Yi, ZHANG Dachang, LIN Zhitian. Study on dynamic characteristics of 800 kV ultra-high voltage direct current transmission tower structure [J]. Jiangsu Electric Engineering, 2008,27(6): 11-13.

[5] 李永双, 廖宗高, 肖洪伟, 等. 直流 UHV 线路杆塔规划及经济档距的确定[J]. 高电压技术,2008,34(6):1121-1125.
LI Yongshuang, LIAO Zonggao, XIAO Hongwei, et al. DC UHV line pole tower planning and determination of economic range [J]. High Voltage Engineering,2008,34(6):1121-1125.

[6] 李显鑫, 郭咏华, 唐明贵. 1 000 kV 交流双回路单柱组合耐张塔型式规划[J]. 电网技术, 2009 (7): 1-6.
LI Xianxin, GUO Yonghua, TANG minggui. Type planning of 1 000 kV ac double circuit single-column combination resistant tower [J]. Grid Technology, 2009 (7): 1-6.

[7] 汪勇. 新型杆塔规划方法研究及应用[J]. 陕西水利, 2011 (1): 106-107.
WANG Yong. Research and application of new planning methods for poles and towers [J]. Shaanxi Water Conservancy, 2011 (1): 106-107.

[8] 李永双, 张国良. 交流特高压线路杆塔规划及经济档距分析[J]. 电力建设, 2007, 28(4): 7-10.
LI Yongshuang, ZHANG Guoliang. The planning and economic analysis of ac uhv line poles and towers [J]. Electric Power Construction, 2007, 28(4): 7-10.

[9] 胡淑兵. ±800 kV 直流输电线路在平原地区的杆塔规划研究[J]. 低碳世界, 2016 (21): 42-43.
HU Shubing. Study on the planning of poles and towers of 800 kV dc transmission lines in plain areas [J]. Low-carbon World, 2016 (21): 42-43.

[10] 郑团结, 景钦刚. 基于海拉瓦-洛斯达技术的输电线路优化设计与应用研究[J]. 水电能源科学, 2007, 25(6): 133-135.
ZHEN Tuanjie, JING Qingang. Study on optimal design and application of transmission lines based on helawa-losta technology [J]. Hydropower Energy Science, 2007, 25 (6): 133-135.

[11] 陈宝林. 最优化理论与算法[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
CHEN Baolin. Optimization theory and algorithm [M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2005.

[12] 杨志军, 周刚, 王劲. 三沪直流工程±500 kV 线路杆塔规划设计[J]. 电力建设, 2008, 29(3): 18-21.
YANG Zhijun, ZHOU Gang, WANG Jin. Planning and design of poles and towers for ±500 kV transmission lines in Sanhu DC project [J]. Electric Power Construction, 2008, 29(3): 18-21.

[13] 陈美珠. 关于线性连续系统的三种分析方法[J]. 江苏电机工程, 1997, 16(4): 61-62.
CHEN Meizhu. Three analysis methods for linear continuous systems [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 1997, 16(4): 61-62.

[14] 薛静芳. 线性规划的单纯形算法研究及应用[D]. 辽宁:大

连海事大学, 2013.
XUE Jingfang. Research and application of simplex algorithm for linear programming [D]. Liaoning: Dalian Maritime University, 2013.
[15] WANG P C, SHOUP T E. Parameter sensitivity study of the Nelder-Mead simplex method[J]. Advances in Engineering Software, 2011, 42(7): 529-533.
[16] 张勇, 巩敦卫, 张婉秋. 一种基于单纯形法的改进微粒群优化算法及其收敛性分析[J]. 自动化学报, 2009, 35(3): 289-298.
ZHANG Yong, GONG Dunwei, ZHANG Wanqiu. An improved particle swarm optimization algorithm based on simplex method and its convergence analysis [J]. Journal of Automation, 2009, 35(3): 289-298.
[17] OURIA A, TOUFIGH M M. Application of Nelder-Mead simplex method for unconfined seepage problems[J]. Applied Mathematical Modelling, 2009, 33(9): 3589-3598.
[18] 燕子宗, 费浦生, 万仲平. 线性规划的单纯形法及其发展[J]. 计算数学, 2007, 29(1): 1-14.
YAN Zizong, FEI Pusheng, WAN Zhongping. Simplex method of linear programming and its development [J]. Computational Mathematics, 2007, 29(1): 1-14.

作者简介:


赵新宇

赵新宇(1978),男,硕士,高级工程师,从事输电线路设计工作(E-mail: zhaoxinyu@jspdi.com.cn);

贾振宏(1975),男,学士,教授级高级工程师,从事输电线路设计工作;

张瑞永(1983),男,硕士,高级工程师,从事输电线路设计工作。

Optimization of transmission pole and tower planning based on Nelder-Mead simplex method

ZHAO Xinyu[1], JIA Zhenhong[1], ZHANG Ruiyong[1], YUAN Fei[1], ZHANG Dachang[2]

(1. China Energy Engineering Group Jiangsu Electric Power Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

2. College of Civil Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Pole and tower planning of trasmission line is a non-liner and multi-dimensional optimization problem which maybe has an discontinous or underivable objective function, so it is difficult to be resolved by traditional methods such as exhaustive method, trial-and-error method or analytical method. To solve these problems, Nelder-Mead simplex method and exterior point penalty function are used in combination to resolve pole and tower planning problem. The results show that the algorithm, supplemented by the external point method which takes the constraint condition as exponential penalty function to construct the augmented objective function, can easily deal with the constraints of various constraints. This algorithm is efficient 、and robust. It is easy to be programed, while, the possible local optimum should be excluded by engineering experience, so this algorithm has strong applicability.

Keywords: pole and tower planning; optimization; Nelder-Mead simplex method; exterior point penalty function

(编辑　钱悦)