

五邑大学

毕业设计（论文）开题报告

(适用于理、工科类专业)

毕业设计题目：低压配电网分散式无功补偿优化设计
方案的研究

学院（部） 智能制造学部
专 业 电气工程及其自动化
学 号 3116001530
学生姓名 谢子宁
指导教师 李辛沫 黄辉
日 期 2019 年 2 月 16 日

五邑大学教务处制

填 表 说 明

一、毕业设计（论文）开题报告及工作计划应按要求逐项认真撰写，各栏空格不够时请自行加页。

二、毕业设计（论文）开题报告及工作计划经指导教师审阅通过后，由交叉双盲小组审核通过。

三、毕业设计（论文）开题报告及工作计划经审核合格后，装订成册，一式三份，学生本人、指导教师及所在院部各一份。

四、学位论文开题报告打印格式：

1. 打印用纸：A4。

2. 页面设计：上边距 2.5cm，下边距 2cm，左边距 2.5cm，右边距 2.5cm，行间距 22 磅。字体、字号：宋体、小 4 号，于左侧装订成册。

1、立论依据（课题来源、选题依据和背景情况、课题研究目的、理论意义和实际应用价值）

（1）课题来源、选题依据和背景情况

本课题来源于企业项目。

对于渔业和水产养殖业较为发达的农村地区，在鱼塘、虾塘中含有大量的抽水泵、增氧泵类负荷。由于水塘的面积大，负荷较分散，低压配电馈线较长，馈线的电压损耗较大，在远离配电变压器的馈线末端，经常会出现负荷端电压过低而导致泵类负荷无法正常启动的问题^[1]，影响了用户的正常用电。为解决这个问题，通常在低压配电网中装设无功补偿装置来提高负荷节点电压，使得泵类负荷的感应电动机在启动时能产生足够的启动转矩，从而可以正常启动。

低压配电网台区无功补偿配置方式有集中补偿和分散补偿 2 种，集中补偿在配电变压器低压侧集中配置无功补偿装置，分散补偿在配电馈线上或负荷端分散配置无功补偿装置。由于农村配电台区负荷分布较分散，低压配电馈线较长，如果在配变低压侧集中补偿，常常会出现馈线首端电压偏高而末端负荷点电压依然偏低的情况；而且泵类负荷的感应电动机在启动时，无功需求大，分散无功补偿离负荷点较近，能够更有效地提供无功支撑，因而能够更好地解决农业灌溉类低压配电网台区的电压问题。

本课题来源于江门市供电局实际工程项目——大鳌供电所新东围台区分散式无功补偿项目，工程的目标是在新东围台区鱼塘附近的杆塔上搭建投切可控的分散式无功补偿装置，装置间通过物联网方式连接，形成一套可远程观测和调控的配电网无功补偿系统，实现“透明配电网”。本课题需要解决的工作：通过对新东围台区配电网的建模和仿真研究，在考虑成本效益回报和线损率的约束前提下，提供一套最优化算法，以此来决定在哪些杆塔安装无功补偿装置、以及安装多大容量的无功补偿装置。毕业设计期间，需要参与该工程项目的调研和收集资料，需配合项目研发团队将软件算法移植入物联网软件平台中，形成工业软件系统。

（2）课题研究目的、理论意义和实际应用价值

江门市大鳌供电所新东围台区存在养殖业发达存在大量鱼塘，且鱼塘的分布较为分散（如图 1），由于该地区正是处于馈电线路末端，因此该地区也存在着电能质量较低，容易对鱼塘里的大功率水泵正常工作造成很大影响。此外，在每年 4 月至 7 月雨季来临天气闷热，所有鱼塘里的泵均会打开以维持鱼塘的正常供氧。在电力系统正常运行条件下，城市和工业用户受电端供电电压的允许偏差为+5%到-7%。此时大量水泵运行容易造成的结果是，该片区电能质量大幅下降，节点电压的降幅远超-7%，进而导致该地区

的生活用电得不到保障，所有水泵不能正常工作，甚至会导致水泵里的电动机产生剧烈抖动或者烧坏，线损率高，极大影响了台区渔业正常的生产活动和生活用电。

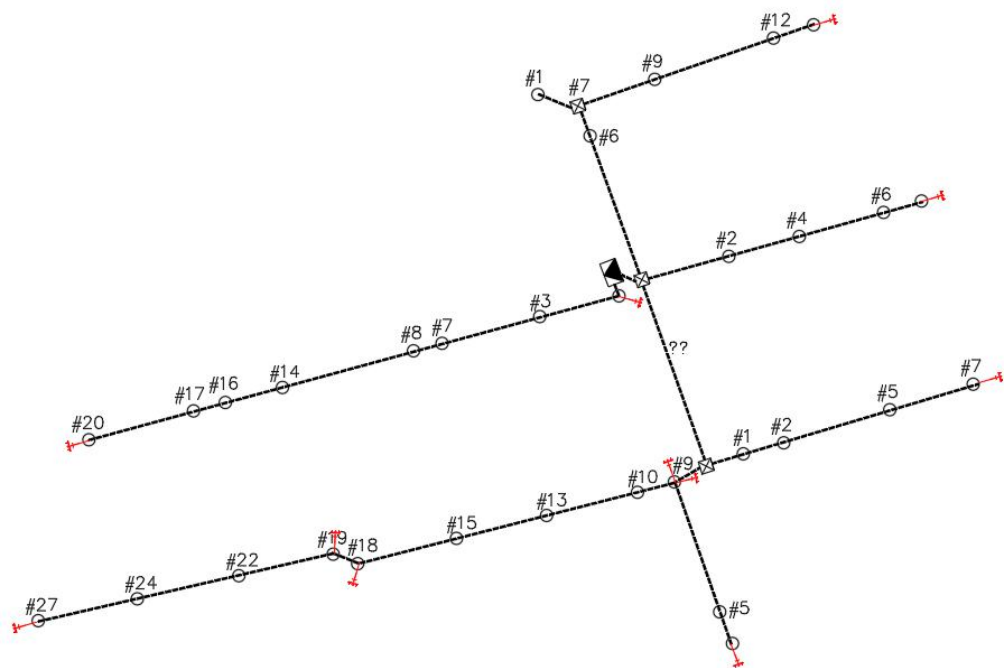


图 1 江门市大鳌供电所新东围台区鱼塘大功率水泵分布图

表 1 为新东围台区的实际监控数据报表，可知在没有采用无功补偿装置的前提下，线损率高达 3.77%。为了应对此类状况，针对该地区线路分散，负荷量大的问题，必须选择分散式的无功补偿方案。工程人员拟在片区做分散式无功补偿的试点工程，鱼塘内的数十条电线杆上,有选择的安装数台规格为 10kVar 或 15kVar 的电容器进行无功补偿，使得该片区电压降幅回到允许的正常范围内，以保证电能质量，不影响用户的生活和正常生产。在此施工方案中必须要做到的是在考虑该片区所有水泵均打开的极端情况下，电压降幅始终在正常范围内。

表 1 考虑全线无电容补偿投入情况

线路段	流入有功功率	流入无功功率	流出有功功率	流出无功功率	有功功率损耗	无功功率损耗	首端功率因数
B00_Ba01	0.05573927	0.05647946	-0.05561599	-0.05638877	0.00012328	0.00009069	0.70
Ba01_Ba07	0.05561599	0.05638877	-0.05456910	-0.05561864	0.00104690	0.00077013	0.70
Ba07_Ba08	0.05456910	0.05561864	-0.05442048	-0.05550932	0.00014862	0.00010933	0.70
Ba08_Ba14	0.03642048	0.03710932	-0.03611364	-0.03688360	0.00030684	0.00022572	0.70
Ba14_Ba16	0.01811364	0.01848360	-0.01808017	-0.01845898	0.00003347	0.00002462	0.70

Ba16_Ba20	0.01808017	0.01845898	-0.01800000	-0.01840000	0.00008017	0.00005898	0.70
B00_Bb01	0.19677110	0.20103895	-0.19526753	-0.19924123	0.00150358	0.00179772	0.70
Bb01_Bb08	0.12256745	0.12501664	-0.11969562	-0.12158298	0.00287184	0.00343366	0.70
Bb08_Bb09	0.08331267	0.08450127	-0.08288385	-0.08418582	0.00042882	0.00031546	0.70
Bb09_Bb10	0.07386405	0.07497126	-0.07349689	-0.07470116	0.00036716	0.00027010	0.70
Bb10_Bb13	0.05549689	0.05630116	-0.05498549	-0.05592495	0.00051141	0.00037621	0.70
Bb13_Bb15	0.04598549	0.04672495	-0.04563145	-0.04646451	0.00035404	0.00026044	0.70
Bb15_Bb19	0.03663145	0.03726451	-0.03631701	-0.03703321	0.00031443	0.00023131	0.70
Bb19_Bb22	0.03631701	0.03703321	-0.03607969	-0.03685863	0.00023732	0.00017458	0.70
Bb22_Bb24	0.01807969	0.01845863	-0.01801563	-0.01841150	0.00006406	0.00004713	0.70
Bb24_Bb27	0.00901563	0.00921150	-0.00900000	-0.00920000	0.00001563	0.00001150	0.70
Bb01_Bc06	0.03641490	0.03721482	-0.03621800	-0.03697939	0.00019691	0.00023543	0.70
Bc06_Bc07	0.03621800	0.03697939	-0.03617664	-0.03692994	0.00004136	0.00004945	0.70
Bc07_Bc09	0.02717094	0.02772575	-0.02706966	-0.02765124	0.00010128	0.00007451	0.70
Bc09_Bc12	0.01806966	0.01845124	-0.01800000	-0.01840000	0.00006966	0.00005124	0.70
Bb01_Bd02	0.03628517	0.03700978	-0.03608830	-0.03686496	0.00019687	0.00014482	0.70
Bd02_Bd04	0.01808830	0.01846496	-0.01804812	-0.01843540	0.00004018	0.00002956	0.70
Bd04_Bd06	0.01804812	0.01843540	-0.01800000	-0.01840000	0.00004812	0.00003540	0.70
Bb08_Be01	0.03638294	0.03708170	-0.03629262	-0.03701526	0.00009033	0.00006645	0.70
Be01_Be02	0.03629262	0.03701526	-0.03619566	-0.03694394	0.00009695	0.00007132	0.70
Be02_Be05	0.02719566	0.02774394	-0.02705068	-0.02763728	0.00014498	0.00010665	0.70
Be05_Be07	0.01805068	0.01843728	-0.01800000	-0.01840000	0.00005068	0.00003728	0.70
Bb09_Bf05	0.00901979	0.00921456	-0.00900000	-0.00920000	0.00001979	0.00001456	0.70
Bc07_Bg01	0.00900570	0.00920419	-0.00900000	-0.00920000	0.00000570	0.00000419	0.70
				功率损耗	0.00951038	0.00911842	
				总负荷	0.24300000		
				线损率	3.77%		

在理想状态下，想要达到此要求并不困难，只需在所有的电线杆上都安装电容器即可满足电压需求。然而实际工程中还需考虑经济效益问题，不可能每个杆塔都安装，而且鱼塘的负荷也在波动过程，投切的方案业需要实时进行调整。因此，如何优化安装电容器才能使得在满足用电需求的情况下成本降到最低，可以使得电力部门快速赚回成本以达盈利，这是该施工方案里最需要解决的问题。

然而，无功补偿优化计算往往涉及到复杂的数学计算，不便于电网运行管理人员的直观使用。电网运行人员往往要求只需输入所管辖电网的相关信息，即可快速确定存在电压质量问题的地区及相应的无功补偿配置方案，这就需要开发相应的配电网无功补偿优化算法进入该物联网工程。该优化问题要达两个目标来解决：1、是最少需要安装多少台电容器，电容器的容量多少；2、在哪几个电线杆塔上安装电容器。

本设计针对低压配电网江门新东围台区鱼塘的无功补偿优化配置问题，开发了配电网无功补偿及效益评估算法。该算法能够提供多种无功补偿方案，并评估不同补偿方案的经济效益和电压质量效益，电网规划设计人员和运行人员可通过对比分析，选择不同台区的经济适用的无功补偿配置方案。而对于数目众多的低压配电网台区，开发无功补偿优化配置及其效益评估算法，以指导配电网运行管理人员进行无功补偿配置决策，进而选择经济适用的无功补偿配置方案，无疑具有广阔的工程应用前景。

2、文献综述（国内外研究现状、发展动态）

对于低压配电网的无功优化，最普遍的问题便是在哪里安装，安装多少台多大的无功补偿装置才能满足电能质量要求，核心问题即安装地点，大小和数量。现在国内外已有较为成熟的理论方法，可以通过建立和求解配电网无功补偿优化模型来实现解决该类问题。对于国内相关研究中，如图 2 所示，文献[2]展现的是现在常用的无功优化思路，即在已有的遗传算法上进行优化改进。此文献提出了一套无功优化规划的改进型遗传算法，除了解决能安装地点及安装数量以外，还能算出安装多大容量的无功补偿装置，快速得到最优解。

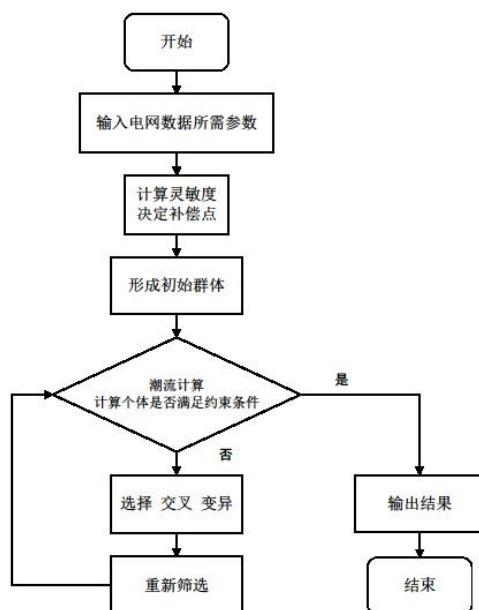


图 2 遗传算法于无功优化中的算法流程

文献[3]提出一种采用鲁棒优化模型的算法，在考虑极端条件（常为最坏条件）满足负荷正常运行的约束条件成立的情况下，逐渐优化求解，解决了分布式能源的配电网无功补偿装置优化配置问题。

文献[4]在保证各个负荷节点的补偿容量设置满足电力系统安全运行的条件下，采用将负荷点作为候选补偿位置来建立优化模型，再考虑投资费用和装置性能等要求，结合配电网运行特点选出重要补偿节点，得到最佳分散无功补偿配置计划。

文献[5]主要考虑以下三大方面：输电的有功损耗、电压质量和无功装置的安装及维护费用，约束条件为包括潮流方程（等式约束）和无功补偿容量、发电机无功出力、变压器抽头和电压幅值约束等不等式约束。针对大片区采用的优化思路是首先把配电网进行分类，对每一类电网选取若干个代表性片区进行建模，其次在对每一片区大小方式进行容性感性无功优化计算，最后结合规程归纳出优化的无功配置原则，最终统计各片区各变电站容性感性的无功配置率范围。

文献[6]提出了在满足电压约束的条件下，先以所有负荷点为补偿点求解出理想的无功补偿分散优化配置方案，然后综合考虑投资费用和运行要求，求解出实用无功补偿分散配置优化方案。

对于国外相关研究来说，文献[7]提出了一种适用于含分支树状配电线路的并联电容器优化规划方法。同时文献[8]提出了配电网分支线路末端配电变压器低压侧和主馈线相结合的优化补偿方式，依据无功负荷的分布情况确定电容器补偿的最佳位置和补偿容量。

然而，无功补偿优化计算往往涉及建立非常复杂的数学模型，庞大的计算量，并不适合现场施工人员直观快速的运用。在此类地区存在的问题往往只需考虑电容器安装地点和数量的选择，并不需要把每个电容器的容量大小也进行优化计算，施工人员不必依赖于高难度、大工作量的无功优化计算。这种情况下，为施工人员提供一种便于理解，易于使用且高效的算法，可以指导配电网运行管理人员进行更好的无功补偿配置决策。

3、研究内容（毕业设计（论文）的主要研究内容、构想与思路、可能出现的工作难点以及拟解决的方法）

本次毕业设计的主要研究内容有：

（1）完成查阅文献及分析设计；

查阅国内外的资料和文献、已发表专利等内容，尤其是低压配电网无功补偿优化方案，了解国内国内外分散式无功补偿最优化算法的研究和发展现状，对比不同算法得到的无功优化方案之间侧重点的不同，分析现有算法的优势与不足。此外也要了解电力部

门在现实工程以及实际运作中采取的方法，以便更好的计算经济效益问题。

(2) 完成对新东围台区低压线路基础数据进行归集与预处理：

绘制该地区的电气设计图纸，需要收集台区线路及用电设备的基础资料，包括：线路参数、负荷分布、电容补偿装置的分布、补偿容量等。此外还需对台区低压线路进行编号，对线路上的负荷接入点或电容补偿装置的接入点进行编号，对每条线路段进行编号，按照国家标准电气制图的标准采用 AutoCAD 规范绘制电气设计图纸。

(3) 完成对新东围台区低压线路的建模：

根据上述的电气图纸，确定电气模型，再把该片区的电气图纸转化为矩阵形式的数学模型。

关于模型部分

对于负荷模型：由于此课题针对的是低压配电网末端的鱼塘，其负荷主要为水泵，负荷比较稳定，波动比较小，因此可以使用理想模型，根据电力系统分析，恒功率模型可用理想感应电动机模型进行表示：等值电路如图 3 所示，

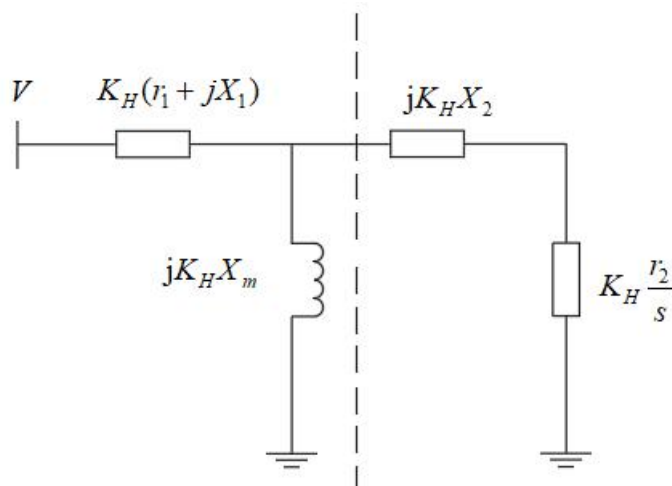


图 3 理想感应电动机模型

其中， V 表示泵类负荷接入配电网处的节点电压； r_1 、 x_1 、 r_2 、 x_2 、 x_m 分别为感应电动机的定子电阻、定子电抗、转子电阻、转子电抗和激磁电抗； S 为感应电动机的转差率； K_H 为容量折算比， $K_H = S_B / S_{BM}$ ， S_B 为系统容量基准值， S_{BM} 为接入某一节点的泵类负荷感应电动机的总容量。

关于线路模型：由于新东围台区负荷之间的距离并不远，当线路小于 80km 或者电压低于 69kV 时，常常可以忽略掉线路电容而不会造成大的误差，因此可以使用短线路模型。这里，我们将单位长度的线路阻抗与线路长度相乘获得短线路模型。

根据公式 $Z = (r + j\omega L) i = R + jX$ 其中 r 为线路单位长度的每项电阻， L 为线路单位长度的每项电感， i 为线路长度。单相短线路模型如图 4 所示。

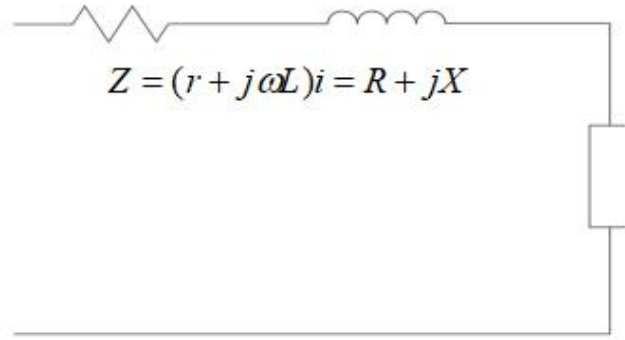


图 4 短距离输电线路模型

(4) 对新东围台区低压线路模型进行优化计算，得出优化方案

把上述得到的矩阵导入算法程序中，该算法首先找到满足电能质量的方案，再根据经济条件得到最优方案，算法具体框架如下：

关于算法框架

借鉴国内外低压配电网无功补偿最优优化算法以及综合电力部门施工经验，为解决优化问题，在基本的算法如牛顿拉夫逊法，前推回带法加入经济约束和电压约束，形成的最优潮流算法。如牛顿法，内点法等都是围绕目标函数，等式约束，不等式约束这三条函数进行展开研究。此处考虑泵类负荷特性，基于经典的牛顿拉夫逊算法，加入经济约束，得出的低压配电网无功补偿分散配置优化模型可写成形式（1）：

$$\begin{cases} \min f(x) \\ s.t. \quad h(x) = 0 \\ \underline{g} \leq g(x) \leq \overline{g} \end{cases} \quad (1)$$

根据文献[9]提供， $f(x)$ 为目标函数，因为此研究目的是通过综合考虑线损率以及电容器的成本价格，找到经济最优的方案，因此目标函数 $f(x)$ 为无功补偿装置年运行费用。 $f(x) = C_1(x) - C_2(x)$ 。其中 $C_1(x)$ 为无功补偿装置的购买费用以及安装维护费用。 $C_2(x)$ 为无功补偿装置运行而降低线损所产生的收益，具体通过查阅电力部门具体提供的无功补偿装置的规格信息得出。

等式约束 $h(x)$ 为正常运行条件下和泵类负荷启动条件下的潮流方程。正常运行条件下的潮流方程包括各个节点的功率平衡方程和各个泵类负荷节点的转矩平衡方程，各节点的功率平衡方程如式子（2）所示

$$\begin{cases} \Delta P_i = P_{si} - P_{li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ \quad = 0 \\ \Delta Q_i = Q_{si} - Q_{li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \\ \quad = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中： P_{si}, Q_{si} （入为节点 i 注入的有功和无功； P_{li}, Q_{li} 为节点 i 负荷吸收的有功和无功； V_i 为节点 i 的电压幅值； θ_{ij} 为节点 i 与节点 j ）之间的电压相角差， G_{ij} 和 B_{ij} 分别为网络节点导纳矩阵第 i 行 j 列元素的实部和虚部。

不等式约束 $g(x)$ 包括正常运行和泵类负荷启动条件下各节点电压幅值上下限约束，以及各候选无功补偿点并联无功补偿容量上下限约束，公式为式子（3）所示：

$$\begin{cases} V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \\ V'_{imin} \leq V'_i \leq V'_{imax} \\ Q_{cimin} \leq Q_i \leq Q_{ci max} \end{cases} \quad (3)$$

式中： V_{imin} 和 V_{imax} 为正常运行时节点 i 电压的下限和上限，根据我国相关规定将负荷节点电压上下限分别设置为 1.07p.u. 和 0.9p.u.^[10]。对于农业负荷低压配电台区，当台区中的泵类负荷电动机启动时，无功需求大，相对于正常运行时电压明显下降。为保证电动机正常启动，按照相关标准规定电动机启动时节点电压应在额定电压的 80% 以上，所以启动时负荷节点的电压下限 V_{imin} 设置为 0.8p.u.^[11]。无功补偿点补偿容量的下限 $Q_{cimin} = 0$ 。

除此外提到的算法，matpower 中的最优潮流如简化梯度法，牛顿法，内点法等都基于以上算法，在此处可以对多种算法进行对比。在找到多个电压严重偏移的地点后，根据算法找出分散式无功补偿的地点，确定出所需无功补偿电容器设备的数量，得出初步方案，然后还要对初步方案的经济因数进行评估，排除经济性不符合要求的方案，保留经济性较优的方案。

（5）对最优方案进行筛选和评估

上述得出的对得出的最优方案进行经济成本小到大进行排序，在进行分析和选择，

讨论出最为贴切实际的方案，并校验该方案方案是否满足电能质量要求和经济效益最优两大条件。

总体构想与思路：

总结上述思路，整体情况如图 5 所示。

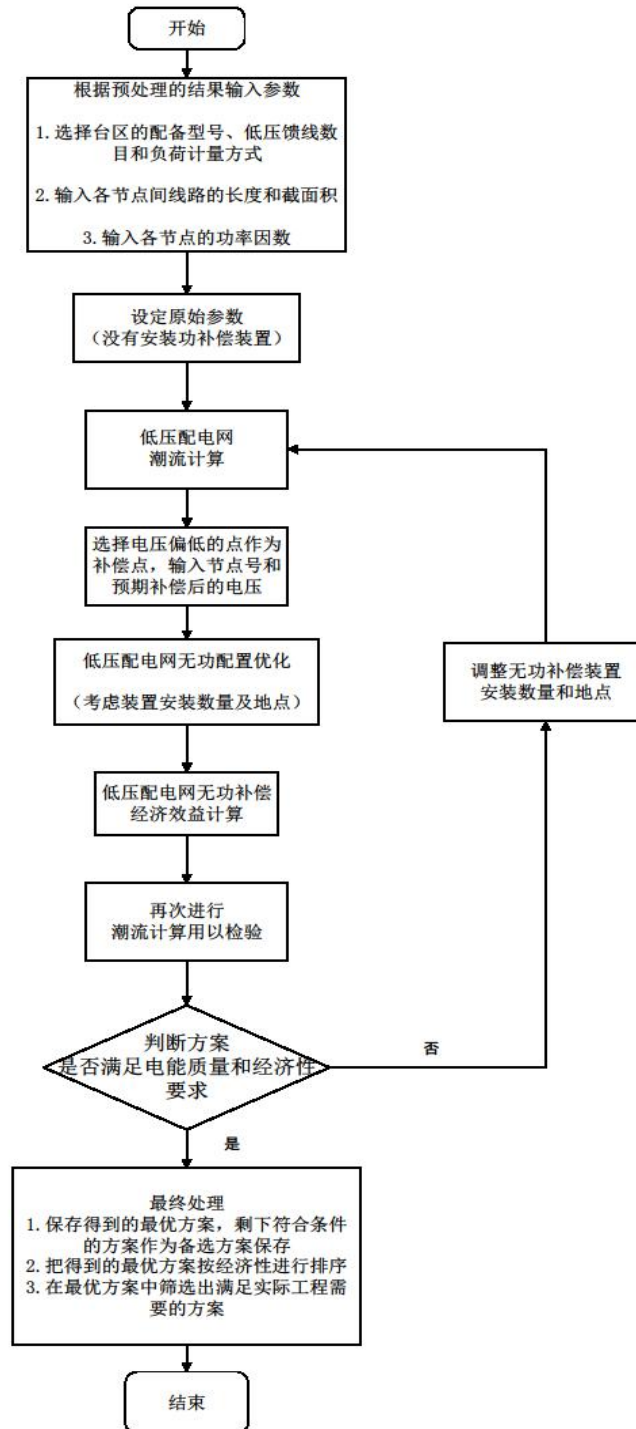


图 5 分散式无功补偿电容器个数和电容器安装地点的最优化处理过程

（6）协助完成可视化界面

将 MATLAB 中仿真的算法，移植入可视化的软件中，帮助工程人员和工程项目完成电容器这个环节的最优化处理过程。

可能出现的工作难点以及拟解决的方法：

工作难点：在构建电气设计图的数学矩阵时，需要对各个电气元件物理及数学有透彻的了解和认识，可能会出现一定困难；在建立无功补偿的最优算法时对数学的要求比较高，可能需要一段时间的摸索。

解决方法：此项目为实际的电力部门项目，因此对电气专业知识和数学的要求较高，但我很乐意接受此类挑战，首先我会重新巩固课本知识，夯实基础；同时精读相关论文，把潮流计算和最优算法的知识摸透，最后可以请教有经验的电气工程师。

4、研究基础（所需研究条件和实验条件）

想完成此毕业设计，需要良好的数学基础以及电气工程相关专业课尤其是电力系统分析和电路这两门课的基础；此外，要在熟练运用 AutoCAD 的前提下，还要熟练掌握像 matpower，PSCAD 等目前在电气领域内常用的潮流计算软件，因此需要在网上学习大量的软件使用技巧。此外也要查阅国内外关于最优化潮流的研究资料和期刊论文，了解遗传算法等常用算法。此课题作为电气工程的热点研究方向，丰富该研究方向的理论知识是对深入了解电气工程行业，以及增强自己的专业技能上是很有意义的。

5、查阅文献资料目录清单

序号	文献目录（作者、题目、刊物名称、卷数、期号、年份、起止页码）
[1]	张海鹏, 林舜江, 刘明波, 黄晓彤. 低压配电网无功补偿及效益评估系统的开发和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (04) :129-136.
[2]	吴自万. 基于改进遗传算法的电力系统无功优化研究[D]. 兰州交通大学, 2014.
[3]	张海鹏, 林舜江, 刘明波. 考虑光伏不确定性的低压配电网分散无功补偿鲁棒优化配置[J]. 电网技术, 2016, 40 (12) :3880-3888.
[4]	试论低压配电网无功补偿分散配置的优化方法[1]张雪磊. 试论低压配电网无功补偿分散配置的优化方法[J]. 中国设备工程, 2019(04) :79-80.
[5]	张勇军, 陈艳. 高压配电网无功补偿配置原则的优化[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42 (06) :17-24.

[6]	黄晓彤, 陈文炜, 林舜江, 等. 低压配电网无功补偿分散配置优化方法[J]. 南方电网技术, 2015, 9(2): 44-49.
[7]	MEKHAMER S F, SOLIMAN S A, MOUSTAFA M A, et al. Application of fuzzy logic for reactive-power compensation of radial distribution feeders[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(1): 206-213.
[8]	丁晓群, 王宽, 王斌, 陈宏伟, 刘峰. 主馈线和分支线路相结合的配电网无功补偿[J]. 电力自动化设备, 2006(04): 11-14+86.
[9]	刘杨华, 张海鹏, 林舜江, 王雅平. 考虑泵类负荷特性的低压配电网分散无功补偿优化配置[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(04): 140-145+182.
[10]	何仰赞, 温增银. 电力系统分析一下册[M]. 第3版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
[11]	中国机械工业联合会. GB50055—2011 通用用电设备配电设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

6、工作计划

序号	阶段及内容	起始日期
1	研读毕设题目要求和任务, 着手收集分析资料	2019. 12. 23-2020. 01. 10
2	讨论确定设计方案, 撰写完成并提交开题报告	2020. 02. 17-2020. 02. 21
3	软件仿真系统初步架构, 算法总体设计	2020. 02. 24-2020. 02. 28
4	进行软件框架结构设计	2020. 03. 02-2020. 03. 06
5	进行最优化算法设计, 和搭建基于经济约束的最优潮流	2020. 03. 09-2020. 03. 13
6	最优化设计在工具箱 Matpower 中进行计算	2020. 03. 16-2020. 03. 20
7	进行软件调试, 将算法移植进入 Python 中编译可视化界面前端;	2020. 03. 23-2020. 03. 27
8	完成软件工作, 并尝试和工程实测数据进行比对和修正;	2020. 03. 30 -2020. 04. 03
9	期中检查(展板), 并提出整改意见。	2020. 04. 06-2020. 04. 10
10	按期中检查意见整改, 完善设计、制作、仿真 撰写;	2020. 04. 13-2020. 04. 17

11	说明书含工程测试评价，提交老师评阅毕业设计；	2020.04.20-2020.04.24
12	预答辩和检查（由指导教师负责），毕设整改与调整；	2020.04.27-2020.05.01
13	毕业完善装订与毕业设计答辩周。	2020.05.04-2020.05.15

7、评审意见

指导教师对本开题报告的评价（含：选题意义；研究条件；技术方案可行性；研究计划合理性等）

指导教师签名

年 月 日

审查结论：

组长签名

年 月 日

