

# 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目 申 报 表

项目名称: 基于暂态信号的配电网故障定位方法及其实验设计				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学 号	专 业	性 别	入 学 年 份
邓清波	201621030617	电气工程及其自动化(卓越)	男	2016年
毕岚溪	201621030105	电气工程及其自动化(卓越)	男	2016年
秦 玥	201524050506	电气工程及其自动化	女	2015年
曾 赞	201523060324	电气工程及其自动化	男	2015年
叶 鑫	201524050121	电气工程及其自动化	男	2015年
指导教师	邓 丰	职称	讲 师	
项目所属一级学科	470	项目科类(理科/文科)	理 科	
<p>学生曾经参与科研的情况</p> <p>本团队成员全部来自电气工程及其自动化专业，在实验室有过一定的专业培训和实践经历，具有较为扎实的专业基础和良好的团结协作能力。团队成员对该创新性实验计划项目抱有很大兴趣，在保证正常理论学习的同时，勤于动手实践，并取得了一定的成绩。</p> <p>项目负责人邓清波同学，学习成绩优秀，理论基础扎实，动手能力强，富有创新精神，具有较强的团队组织管理能力。曾获得第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖。</p> <p>项目组成员专业理论基础扎实，学习成绩优秀，自学能力较强，团队协作意识强，对设计与开发工作有浓厚的兴趣，有较强的科研创新潜力，具备一定的开发设计能力。其中，秦玥同学现任院学生会分团委副书记，曾获得第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖；曾赞同学曾获得第十二届“挑战杯”</p>				

全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖，第三届湖南省“互联网+”大学生创新创业大赛一等奖；毕岚溪同学曾主持校科技立项一项，申请专利一项。

#### 指导教师承担科研课题情况

[1] 国家自然科学基金青年项目，51207013：智能电网精确时间同步理论与技术研究，2013.1-2015.12，24 万元，结题，主持

[2] 湖南省教育厅一般项目：含分布式电源的配电网故障行波定位理论和方法研究，2015.9-2018.9，1 万元，在研，主持

[3] 国家重点研发计划，大型交直流混联电网运行控制和保护（2016YFB0900600），2016.07-2021.06，6300 万元，在研，骨干研究人员

[4] 国家重点研发计划，智能配电网微型同步相量测量应用技术（2017YFB0902903），2017.07-2020.12，5000 万元，在研，骨干研究人员

#### 项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

##### 一、研究目的

本团队指导教师长期从事输电网、配电网故障定位、保护方法的研究。本项目基于指导教师前期的研究成果，拟借鉴输电线路暂态信号传输特性与定位方法相关原理，将其应用于配电网中。

本项目充分结合指导教师的前期科研成果，以本科大二课程《Matlab在电力系统分析中的应用》和本科大三课程《高电压技术》中的理论知识为基础，借助电气学院搭建的配电网实验室和暂态信号故障定位实验平台，将理论知识与工程实验有机结合，力求培养学生主动开展理论研究、积极设计实验方案培养工程动手能力。

本项目将具体完成以下三点理论研究和一点实验设计：

- （1）对树形结构的配电网故障暂态信号传输特性进行理论研究和仿真分析；
- （2）结合本科大二课程《Matlab》的学习，将小波包变换应用于暂态信号的提取；
- （3）提出一种基于多端故障行波时差的配电网故障行波定位新方法；
- （4）利用学院搭建的配电网实验平台，设计相关试验，并验证项目提出方法的正确性。

## 二、研究内容

### 1、配电网故障暂态信号传输特性分析

学习本科大三课程《高电压技术》，着重学习课本中“暂态信号波过程理论”，学习暂态信号产生机理，折、反射特性，波形的色散特性，掌握研究对象的理论知识；基于此，学习PSCAD仿真软件，搭建配电网模型，模拟各种故障类型、故障地点和故障程度，高频暂态信号在配电网的传输特性，全面总结不同故障情况下暂态信号的传输特性。

### 2、基于小波包分解和重构的暂态信号主频分量提取

充分结合本科大二课程《Matlab》中学习的小波包分解和重构理论，将宽频带暂态信号进行小波包分解，得到不同频带的暂态波形，对每一个频带的暂态波形进行重构，提取暂态波形能量最大的频段，所对应的波形信息，即为暂态信号的主频分量。

### 3、基于多端故障行波时差的配电网故障行波定位新方法

学习文献的检索方法，在中国知网上下载相关文献，深入学习现有的基于暂态信号的故障定位方法，比较其优缺点，并在此基础上，拟提出一种基于双端暂态信号定位原理的多端配电网故障支路判定新指标—故障支路判定矩阵，利用该矩阵元素的数值特征实现对配电网故障支路的判定；进一步定位故障点精确位置。

### 4、实验验证

利用学院搭建的配电网实验平台，搭建具有四条馈线、多分支的配电网，在每一个分支末端配置暂态信号检测装置，设计实验方案，验证本项目提出的基于暂态信号的配电网故障定位方法的可行性。

## 三、设计方案

### 1、配电网暂态信号传输特性研究

学习 PSCAD 虚拟仿真软件，并搭建配电网仿真分析模型。首先，在配电网 PSCAD 仿真模型中设置短路，考虑架空线路-电缆混合线路、分支节点处、母线处、及短路点参数（不同故障点位置、不同故障类型、不同故障初相角）对故障暂态信号传输特性的影响；其次，对产生的暂态信号进行解耦变换，经过三相线路解耦后，故障暂态信号变换为彼此独立的线模暂态信号和零模暂态信号，理论研究和仿真分析线模暂态信号和零模暂态信号的依频特性（线路电阻、波阻抗、波速度均是频率的函数），并研究线模暂态信号和零模暂态信号在不同传输路径、不同传输材质、不同故障情况下暂态信号的传输特性，以及色散和衰减的情况；

最后，从机理层面上全面总结暂态信号传输特性。

## 2、基于小波包分解和重构的暂态信号主频分量提取

小波包分解是一种有效的时频分析手段，特别对于频率很高的暂态信号，可以实现全频段分解，以 1MHz 采样率为例，基于奈奎斯特采样定理可知，原始暂态信号范围为 0-500kHz，对原始暂态信号进行 6 层小波包分解，分解示意图如图 1 所示：

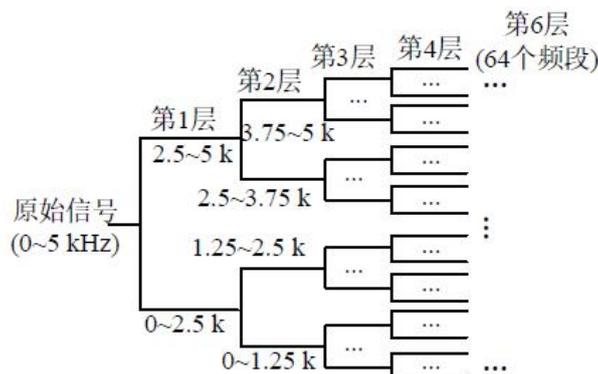


图 1 小波包信号分解示意图

第 6 层小波包分解，将原始信号分解为  $2^6 = 128$  个频段，对每一个频段进行小波包重构，即可获得重构后各频段的原始暂态信号，提取 2kHz 暂态信号以上能量最大的频段波形进行分析，提取暂态初始波头信息，如图 2 所示，图 2(a)为原始暂态信号，图 2(b)为小波包分解、重构后能量最大的暂态信号波形。从该频段信号中可以获取初始暂态信号的到达时刻。

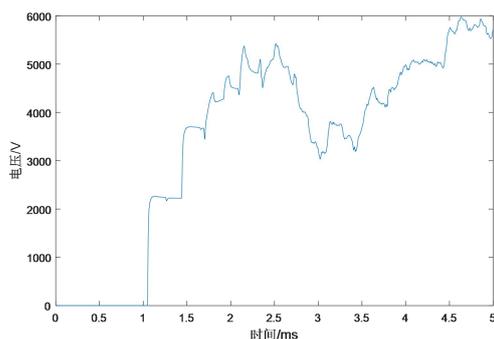


图 2(a) 原始暂态电压波形

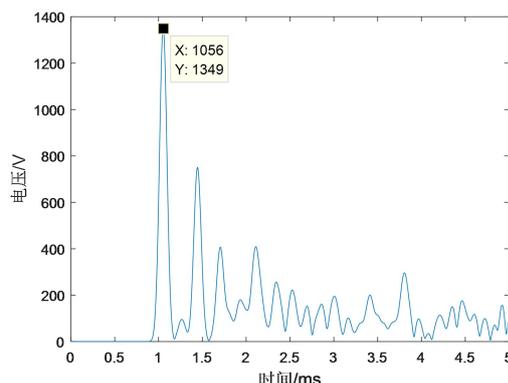


图 2(b) 2kHz 暂态信号以上能量最大的频段

波形

## 3、基于多端故障行波时差的配电网故障暂态定位新方法

基于单一暂态信息的故障定位方法，可靠性得不到保障；而且配电网结构复杂、分支众多，采用单一行波信息，将产生伪故障点，从而影响定位的准确性。因此，信息融合技术将有效提高定位可靠性，解决伪故障点问题。

本项目拟借鉴信息领域的信息融合技术，充分利用与挖掘复杂配电网海量数据。首先，分析网络拓扑结构（多分支结构）对双端故障信息算法的影响；搭建故障支路判定矩阵，利用矩阵的形式，分析网络中任意两个检测点(I, J)计算的故障距离与以检测点I为起点到检测点J最近的分支节点之间距离的关系，深入研究不同点位置发生故障（分支故障、节点故障、节点之间故障）时，对应矩阵某列或某行参数的共性，提出故障区域判定矩阵准则，再利用双端定位原理，确定精确故障点位置。

#### 4、实验设计

配电网实验室和暂态信号故障定位实验平台如图3-4所示。在暂态信号故障定位实验平台搭建如图5所示多分支辐射性配电网，母线电压取自10kV配电网实验室中的升压变压器。



图 3 10kV 配电网实验室



图 4 暂态信号故障定位实验平台

项目组成员将在项目指导教师的指导下，在暂态信号故障定位实验平台搭建四条馈线、多分支的配电网，如图5所示。在如图所示①~⑩标注的十个地点安装暂态信号采集装置，四条馈线和多分支线路采用电力电缆，可以实现暂态信号波过程模拟，在网络中分别设置不同故障点位置，故障类型、故障过渡电阻、故障初相角，如表1所示，记录暂态信号采集装置测到的初始故障暂态信号波头到达时刻，依据本项目提出的多端信息融合的故障暂态信号定位算法，判断故障线路，进而计算精确故障点位置，验证本项目方法的可行性。

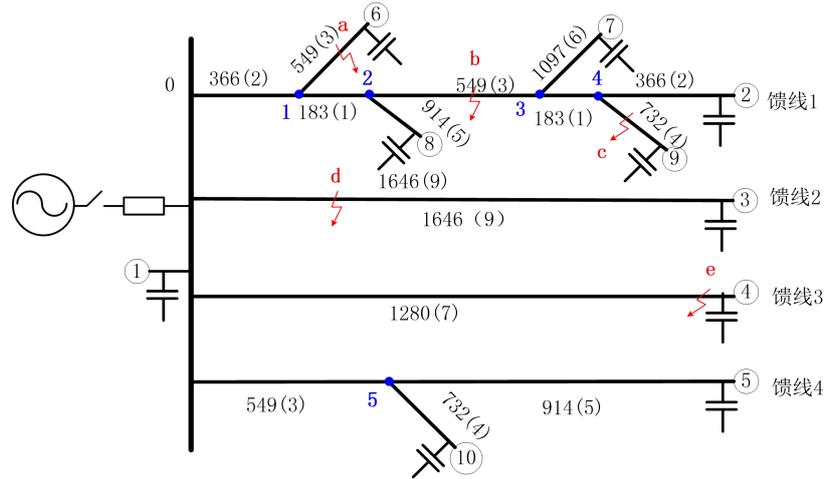


图5 拟搭建模拟配电网拓扑图

表1 实验室测试故障点参数设计

故障点参数	设置方案
故障点位置	主馈线故障（如故障点b, d） 分支线路故障（如故障点a, c, f） 主馈线与分支线路接点故障（如故障点e）
故障类型	单相接地故障（AG, BG, CG） 两相故障（AB, BC, CA） 两相接地故障（ABG, BCG, CAG） 三相故障（ABC） 三相接地故障（ABCG）
故障过渡电阻	0Ω, 5Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω
故障初相角	5°, 10°, 30°, 45°, 60°, 90°

#### 四、拟解决的关键问题

本项目的研究可能存在一些难点，需要解决如下关键问题：

1、**配电网故障暂态信号传输特性分析**：准确有效的刻画不同暂态信号在配电网不同故障情况下的传输特性，是本项目研究要解决的**基础性问题**。

2、**初始暂态信号波头提取**：利用小波包分解和重构对各测点的故障初始暂态

波头进行准确检测，并标定初始暂态波头到达检测点的时刻，提高了故障定位精度，是本项目研究要解决的**首要问题**。

3、**基于多端初始暂态波头的精确故障定位方法**：配电网结构复杂，分支众多，传统的暂态信号定位方法只能定位故障区段，且存在伪故障点，因此，如何搭建故障支路判定矩阵，依据矩阵某列或某行参数的变化特性，判断故障支路，进而确定准确故障点位置，是本项目研究要解决的**关键问题**。

4、**模拟配电网的搭建**：模拟配电网的搭建与调试，测试参数的设置，实验方案的设计，为验证本文所提方法提供了有力的**硬件支撑**。

## 国内外研究现状和发展动态

### 一、配电网故障行波定位方法研究现状

输电线路故障行波由故障点产生，沿线路以接近光速的速度传输到线路两端变电站，并在波阻抗不连续点发生反射和折射。如能准确记录故障初始行波及此行波的反射波，则可采用单端行波定位方法计算出故障距离，但来自故障点的反射波难于识别，此原理在实际应用中成功率不高；如在线路两端记录其初始行波到达时刻，而不考虑后续的折反射波，利用双端行波定位原理精确计算出故障点位置。由于故障行波定位仅需测量行波波头到达时间，无需对信号的频谱进行复杂分析，检测的特征量稳定、可靠、实现方便，因此行波定位在电力系统广泛应用。

同样，配电网故障行波定位方法可分为单端定位、双端定位和网络定位。

C型行波法属于单端定位方法，由于其原理的特殊性，已成功应用于多分支的配电网。杨以涵课题组在C型行波法的研究方面做了大量研究，时也发表了不少相关的高水平学术论文，文献[1]利用注入脉冲信号在正常线路与故障线路中的不同的反射特性可以实现故障定位；后来在此基础之上也多次进行了改进，并提出了多种改进的C型行波法和其他与C型行波法相结合的综合定位法<sup>[2]</sup>，取得了不错的效果；文献[3]在线路始端注入高幅值窄脉冲并检测从线路返回的波形，比较进行自适应滤波后正常和故障两种情况下的波形，得到故障距离。提出行波传输的特征波的概念。通过分析故障录波的特征波，来确定故障分支。将故障测距和故障分支结果结合起来达到精确定位。

对于其它配电网单端定位方法，文献[4]提出了基于数学形态学的配电网行波故障测距方案。在利用数学形态学对采集到的行波数据进行滤波后，利用多分辨形态梯度变换提取行波波头的模极大值，进而确定故障点，该方法可有效排除干扰信号，辨识故障点的反射信号；文献[5]利用小波包处理故障行波信号寻找信号奇异点，识别来自分支节点及其端点的反射信号，来确定故障区段；在确定了故障区段的基础上，找到与故障点相关的2个反射波，并由这2个波的最大相关时间

计算得到故障点到检测端的距离，该定位方法主要与故障位置、线路结构有关，有较高的准确性；解决了行波反射波难以辨识的难点，文献[6]提出了利用零模行波分量和线模行波分量速度差的故障测距新算法，只判断零模行波分量和线模行波分量到达线路电源侧的初始行波波头，不受分支和反射波的影响。**单端定位方法的主要难点是：难以辨识来自故障点/对端母线的反射波与来自波阻抗不连续点的反射波。**

双端定位方法是利用故障行波第一波头到达输电线路两侧变电站的时间差进行定位计算。由于配电网系统特有的多分支树型线路结构，混合线路中行波波速不恒定等因素，传统的双端行波定位方法原理难以适用于配电网，因此，有学者对此方法进行优化，提出了基于时间变量的故障搜索算法，克服了波速不连续对故障测距的影响，能够有效地对配电网混合线路进行故障定位。**但该方法没有解决配电网结构复杂，多分支而引起的伪故障点的问题**<sup>[7]-[9]</sup>。

网络定位方法是融合各变电站记录的初始行波波头到达时刻进行定位计算。该项目导师前期对高压输电网故障行波网络定位进行了深入研究，实现了基于整个电网的故障行波定位网络和基于网络的故障行波定位方法，实验室测试和现场运行均取得了良好的效果。该项目拟把导师前期研究的高压输电网故障行波网络定位的思想拓展到配电网。提出了基于图论的配电网定位方法，适用于结构较为简单的配电网<sup>[10]</sup>。文献[11]提出了一种多端行波故障定位方法。将配电网网络时间信息传输到故障管理中心，选取时间最短的三个变压器首先确定故障区域，然后排除伪故障点进而确定故障位置。文献[12]提出了主、辅测距系统，在配电线路的主干线路两侧装设测距装置，在分支线路末端装设测距装置，构成多端测距模式，通过和主干线路两侧的测距装置相互配合实现对分支线路故障的精确定位，降低行波定位在辐射状配电线路上应用所带来的投资及维护成本。

虽然国内外已经对配电网故障定位技术进行了广泛而深入的研究，并取得丰富的成果，但均存在一些缺点，无法充分满足配电自动化运行的要求。为此，本项目将立足新思路、采用新技术，将交流输电网故障行波定位的思想拓展到配电网，利用暂态行波信号传播速度快，不受系统运行方式变化的特点，有望实现快速、准确、可靠的配电网故障定位。

## 二、参考文献

- [1] 王阳,曾祥君,黎锐烽,柳芊芊 基于图论的配电网故障行波定位新算法[J].电力系统自动化. 2012,36(18):143-147
- [2] 贾惠彬,赵海锋,方强华,刘涛,戚宇林. 基于多端行波的配电网单相接地故障定位方法[J].电力系统自动化, 2012, 36(2): 96-100
- [3]徐伟宗. D型行波测距原理在辐射状配电线路中的应用[J].电力系统及其自动化学报, 2012, 24(5): 138-142

- [4] 杨鹏,杨以涵. 配电网单相接地故障 C 型行波定位研究[J].电气时代,2008,(3):100-103
- [5] 戚宇林, 成艳, 杨以涵. 35kV 配电网单相接地故障综合定位方法[J].电网技术, 2008, 32(10): 38-42
- [6] 于盛楠, 鲍海, 杨以涵. 配电线路故障定位的实用方法[J].中国电机工程学报, 2008, 28 (28) : 86-90
- [7] 蔡秀雯, 谭伟璞, 杨以涵. 基于数学形态学的配电网单端行波故障测距[J].现代电力, 2006, 23 (6) : 25-29
- [8] 严凤, 杨奇逊, 齐郑, 杨以涵, 胡立峰. 基于行波理论的配电网故障定位方法的研究[J].中国电机工程学报, 2004, 24 (9) : 38-43
- [9] 张帆, 潘贞存, 张慧芬, 丛伟, 马琳琳. 树型配电网单相接地故障行波测距新算法[J].中国电机工程学报, 2007, 27 (28) : 46-52
- [10] 李配配, 黄家栋. 配电网混合线路双端行波故障测距方法的研究[J]. 电力科学与工程, 2011, 27 (11) : 31-34
- [11] 向玲, 朱永利, 唐贵基. HHT 方法在转子振动故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(35): 84-89.
- [12] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proc. R Soc Lond A, 1998, 454(21): 903-995. Huang N E, Shen Z, Long S R. A new view of nonlinear waves: the Hilbert spectrum[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999, 31: 417-457.

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

#### 一、本项目学生有关的研究积累

本项目负责人和参与人已基本掌握 Matlab 编程、PSCAD/EMTDC 对输电网和配电网的建模, 学习了《电路理论》、《高电压技术》、《电力系统继电保护原理》等电气工程专业课程, 具有扎实的开展本项目研究的理论基础。

本项目负责人和参与人均在大一下学期进入指导教师课题组, 参与关于电网保护和故障测距相关项目的研究, 先后参与指导教师组织的科技立项项目: “基于小波包提取算法和相关性分析的电网单端行波保护方法”; 参与 2017 年第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛(参赛作品: 6-66kV 配电网防触电监控与接地故障智能处理系统), 获得省赛特等奖; 参与 2017 年第三届湖南省“互联网+”大学生创新创业大赛(参赛作品: 精锐电力路灯智能管理系统), 获得省赛一等奖; 并先后在株洲和耒阳电厂实习, 跟继保班和运行班各一个月, 具有一定的独立思考、独立解决问题的能力, 具有一定的学术科研思维, 对电力系统一次、二次系统具有整体的理解, 对配电网实际运行情况有一定的了解。

本团队充分利用学院实验室资源，将相关知识进行合理联系，秉持理论与实践相结合的理念，本项目已形成了一套完整、合理的理论体系。

因此，本项目具备顺利开展的理论基础和实际硬件支撑条件。

## 二、本项目学生已取得的成绩

项目负责人邓清波同学，学习成绩优秀，理论基础扎实，动手能力强，富有创新精神，具有较强的团队组织管理能力。曾获得第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖。

项目组秦玥同学现任院学生会分团委副书记，曾获得第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖；

项目组曾赞同学曾获得第十二届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛特等奖，第十五届“挑战杯”中国银行全国大学生课外学术科技作品竞赛二等奖，第三届湖南省“互联网+”大学生创新创业大赛一等奖；

项目组毕岚溪同学曾主持校科技立项一项，申请专利一项。

## 项目的创新点和特色

本项目提出了一种准确提取故障初始暂态波头的方法，设计了一种基于多端故障行波时差的配电网暂态定位新方法，解决了由于线路分支而引起的伪故障点的问题，提高故障定位的可靠性和准确性。

在实验室模拟搭建四条馈线、多分支的配电网络，设计实验验证本项目方法的可行性，验证了本文方法的可行性。

本项目将理论研究、仿真分析和实验室验证有机结合起来，有效的培养了学生的理论分析和动手实验的能力，理论与实践有机结合。

## 项目的技术路线及预期成果

### 一、技术路线

#### **基础准确：**

(1) 大量阅读故障暂态信号提取和故障定位相关文献，学习PSCAD暂态仿真软件，进行知识的储备；

#### **方法研究：**

(2) 搭建配电网PSCAD仿真分析模型，研究不同故障点参数下，故障暂态信号传输特性；

(3) 分析配电网拓扑结构与初始暂态波头传输时间的关系，深入研究初始暂态波头的时间相关性，提出多端信息融合的故障定位方法；

(4) 提出基于小波包分解与重构的暂态波头提取方法；

### 实验室测试：

(5) 实验室模拟搭建四条馈线、多分支的配电网，验证本文方法的可行性。  
本项目的研究遵循图6所示路线：

## 二、预期成果

### 1、发表论文

通过对配电网故障行波定位方法以及基于小波包分解与重构的暂态波头提取方法的研究，撰写并发表相关论文两篇。

### 2、项目研究报告

配电网故障行波定位方法以及基于小波包分解与重构的暂态波头提取方法总结报告；实验室测试报告。

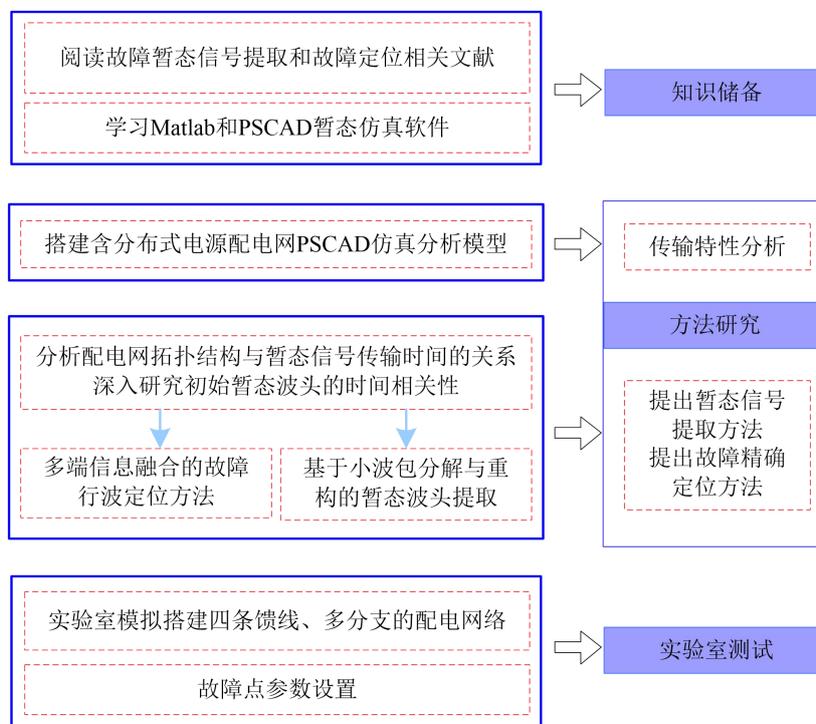


图 6 本项目完成的技术路线

年度目标和工作内容（分年度写）

该项目计划于 2019 年 5 月前完成，整体分为三个阶段完成。

1、2017 年 12 月至 2018 年 2 月：通过阅读大量相关资料文献，整合有用资源；

2、2018 年 3 月至 2018 年 11 月：学习 PSCAD 系统软件仿真，搭建电网仿真模型；提出基于暂态信号的配电网故障定位方法和基于小波包分解与重构的暂态波头提取方法，并撰写相关论文；

3、2018 年 12 月至 2019 年 5 月：实验室模拟搭建配电网，完成实验测试；进行项目结题。

指导教师意见

该项目将理论知识与实践相结合，使学生在轻松愉快的氛围中，不断地增长知识，展现其聪明才智，提高开发创新能力。项目组成人员合理，知识全面，具有一定的创新实验和研究能力。同意申报该项目。

签字：邓丰

日期：2018.4.26