

摘 要

电气设计软件包在实际电气工程项目设计中起着十分重要的作用。目前设计院购买的通用设计软件现场应用人员应用不太方便,针对设计过程常用的计算内容,作者结合自身工作经验基于VB程序语言,设计并完成了河北邯郸电力设计院电气设计软件包的研制与开发。该软件主要功能包括电力系统一次部分的短路电流计算、防雷计算、接地计算等,电气二次继电保护部分的设计计算以及其它电气设计共用部分。在邯郸电力设计院的实际应用表明,该软件包针对邯郸供电的实际情况实现了专业化、智能化,提高了电气设计的自动化程度和设计水平。

关键词: 电气设计, 软件包, VB 程序语言

ABSTRACT

Electrical design software package plays a very important role in electrical design programs. With the requirements of shorter time, higher quality and more standardized in electrical engineering programs, the value of the software package is more and more obvious. Based on VB program language, the software package is developed for Handan Electric Power Design Institute, Hebei Province. The problem, how to make an electrical design program automatically and professionally, is resolved successfully according to the author's working experience and knowledge acquired in Master of Engineering study. This software package contains three main parts: primary system design, relay protection system design and reference part, including the Guide of Design and Construction, Examples of Bidding Documentation, Series Standard of ISO9000, Classical Designs, Standards of Construction quality and so on.

Jianxin Jin(Electric power engineering)

Directed by Ass. prof. Yanjun Jiao

KEY WORDS: Electrical design, Software package, VB program language

摘 要

电气设计软件包在实际电气工程项目设计中起着十分重要的作用。目前设计院购买的通用设计软件现场应用人员应用不太方便,针对设计过程常用的计算内容,作者结合自身工作经验基于 VB 程序语言,设计并完成了河北邯郸电力设计院电气设计软件包的研制与开发。该软件主要功能包括电力系统一次部分的短路电流计算、防雷计算、接地计算等,电气二次继电保护部分的设计计算以及其它电气设计共用部分。在邯郸电力设计院的实际应用表明,该软件包针对邯郸供电的实际情况实现了专业化、智能化,提高了电气设计的自动化程度和设计水平。

关键词: 电气设计, 软件包, VB 程序语言

ABSTRACT

Electrical design software package plays a very important role in electrical design programs. With the requirements of shorter time, higher quality and more standardized in electrical engineering programs, the value of the software package is more and more obvious. Based on VB program language, the software package is developed for Handan Electric Power Design Institute, Hebei Province. The problem, how to make an electrical design program automatically and professionally, is resolved successfully according to the author's working experience and knowledge acquired in Master of Engineering study. This software package contains three main parts: primary system design, relay protection system design and reference part, including the Guide of Design and Construction, Examples of Bidding Documentation, Series Standard of ISO9000, Classical Designs, Standards of Construction quality and so on.

Jianxin Jin(Electric power engineering)

Directed by Ass. prof. Yanjun Jiao

KEY WORDS: Electrical design, Software package, VB program language

声 明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《电气设计软件包的研究与开发》，是本人在华北电力大学攻读硕士学位期间，在学校导师和企业导师的指导下，结合实际工作所进行的研究工作和取得的研究成果。据本人所知，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得华北电力大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：郭健欣 日期：2008.1.8

关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解华北电力大学有关保留、使用学位论文的规定，即：①学校有权保留、并向有关部门送交学位论文的原件与复印件；②学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存学位论文；③学校可允许学位论文被查阅或借阅；④学校可以学术交流为目的，复制赠送和交换学位论文；⑤同意学校可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(涉密的学位论文在解密后遵守此规定)

作者签名：郭健欣

导师签名：焦彦军

日期：2008.1.8

日期：2008.1.8

第一章 绪论

1.1 问题的提出和研究意义

电气和自动化领域日新月异的发展对工程项目设计的速度、质量、规范等提出了更高的要求。仅仅依靠手工设计和计算机辅助计算、做图的设计方式已经不能满足当前电气设计领域的需要。开发和采用专业化、智能化的设计软件已经成为当今电气工程师的当务之急。

然而，电气软件包发展至今，虽已有长足进步，但其缺点却也显而易见。虽然所有电气软件商均称其软件可涵盖常规电气工程设计的全部内容，但实际情况是每个软件或多或少都有一些功能模块与实际应用有较大距离，有些甚至让用户无从着手。所以对当前电气软件包的应用，只是减少设计人员劳动强度、提高设计质量与效率的第一步，只有开发出更强有力的工具，才有可能完全摆脱现行的繁琐的设计手段。以邯郸电力设计院为例，现在邯郸电力设计院买的设计软件（电气部分）都用不起来，造成了资金和精力的大量浪费。

市场上电气设计软件存在一些很明显的问题。即所有软件为了占领市场无不宣称自己“无所不能”。可是在这样的口号下，用户却发现软件的某些功能模块使用起来却很不方便，该考虑较多因素的，被化繁为简；该简化的，却被化简为繁。例如变电所的剖面设计功能，能根据平面图自动生成剖面图，但大部分软件却忽略了与变压器和开关柜密切相关的电缆沟以及硬埋角钢等问题。在照度计算中。有些软件设计中，程序的编制是以数学模型为基础的，要求输入大量的数据，但在设计使用时许多数据（房间参数等）难以找到，当用户键入常规数据时，有时会出现无法计算的情况。又如在照明平面布置中，根据限度要求自动算出灯数后，只能均匀布灯，没有其他选择方案，而实际上在灯具厂的设计手册中，布灯方案前照度计算也是有很大影响的，所以对布灯方案的选择，也是软件照明设计部分应该考虑到的方面。产生当前电气软件的这些问题的原因有很多方面，有些是各设计院的不同习惯与要求令软件公司难以适从，有些是软件公司对设计细节考虑欠周，追求形式上的大而全，忽略局部功能的深化与实用造成的。

随着软件公司对用户反馈意见的考虑，软件自身也正在日趋完善。但是，由于软件公司面向的对象是普遍而广大的，“普遍通用性”和“个体适用性”的矛盾只能缓和而不可能完全消除。“通用性”对于软件公司来说是必要的也是非常重要的。但是，对于实际设计部门和电气工程师来说，适合自己实际需要的“适用性”原则则显得更为重要。

由此可见，电力企业的电气设计部门不可能也不应当寄希望于某个软件公司设计出完全适合当地实际情况的电气设计软件。这就需要不同的电气设计部门根据自身的需要，对现有的应用软件进行改进和调整，甚至重新设计符合实际需要的电气设计软件。所以，电气设计部门针对自身的需要在通用软件的基础上进行相关软件产品的开发就显

得尤为重要,设计符合自身习惯与要求的电气软件包不但具有一定的理论意义,还具有一定的实用价值。

1.2 国内外电气设计软件包的研究现状

利用 CAD 支撑软件来绘图十分艰苦而效率又低。对于电气设计人员来说,运用商品化的电气软件包会起到事半功倍的效果。当今还不十分成熟的电气设计软件包市场上,各种名称的电气设计软件却不少: INTER 电气、HOUSE 电气、天正电气、ABD 电气及 EES 等。

以上软件包都可完成常规电气工程设计的全部内容:高、低压系统图,订货图;二次原理图;盘面布置图;柜(箱)内接线图;端子接线图;动力配电系统图及柜(箱)面布置图;动力配电平面布置图;照明系统图;照明平面布置图;防雷接地平面布置图;高、低压变配电所布置及条件图;弱电系统图;弱电平面图;图纸目录;施工说明书;设备材料表等。这些软件都能画出以上图纸,但各自都有不同的特点及侧重面^[2~8]。

1. INTER-DQ V2.5 电气软件

INTER 电气软件是北京浩辰公司推出的基于 AutoCAD 平台的电气软件。INTER-DQ V2.5 软件建于 AutoCAD R12 版 FOR DOS 的平台上,具有全中文的界面。

(1) 包含全面、系统的电气工程计算。(2) 全部电气回路库、器件符号库、型号规格库,用户可以任意修改、增加,满足不同设计的需求。(3) 在开关柜面,为用户提供 GG—1A(F)、BA/BB、环网、JYN2-10、KYN-10、XGN、JYN1-35、GFC-15Z 等高压开关柜方案;PGL1、PGL2、MNS、DOMINO、CGDI、GGD2、JK 等低压开关柜方案。在电气符号方面,为用户提供所有 GB4728 新国标符号。开放的电气图形库管理功能可使用户极为简便地增加一个新的电气符号,并随时对每个电气符号的各种绘图参数(如平面打断区域等)进行调整。(4) 自动化程度较高。(5) 提供二次原理图标准图库,用户可方便调入、修改、添加。(6) 与国内的建筑软件 ABD、HOUSE、AEC、APM、TRACH、ARCHSTAR 配备接口。

2. INTER-FD V1.0 工厂电气软件

该软件也是北京浩辰公司开发的电气软件。该软件移植了 DQ 系列软件的作图方法、表达方式、图库及各种计算等,结合工厂电气专业技术的新发展,专门针对开关控制、电源、变压器自动化仪表,电子控制等备类高、低压电气设备的设计工作而推出。虽然该软件与 DQ 系列的模式大同小异,但它内部却增加了工厂常用电气设备的内容。这种提高专业深度,注重设计细节的做法,对某些用户的确是有吸引力的。INTER-FD V1.0 软件拥有 DQ 软件大部分特点,在此不再赘述,其独特的特点是:1) 完成电气设计中的电流回路、电压回路、合闸/信号回路以及端子排、转换开关等的绘制工作;2) 由二次原理图自动转换成各电气设备的内部接线图;3) 双向标注功能可方便的完成端子、接线柱以及电气设备的标注工作;4) 接线图符号库部分,为用户提供大量的工厂常用

电气设备的内部接线图，并具有开放式管理功能。

3. HOUSE-E95 电气软件

HOUSE-E95 是北京华远软件公司推出的基于 AutoCAD 的电气软件。华远公司电气软件的开发起步时间早于浩辰公司，但在目前上海市场所占电气软件份额却低于 INTER 电气软件。该软件具有以下特点。

(1) 在一次设计过程中，可直接在屏幕上选择设备手册中的开关柜标准方案。(2) 二次设计，同时提供新、老（竖、横）两种制图方式的工作程序。(3) 在变电所设计这一功能模块中，较好地利用交互式对话框（而非命令行的输入），通过设备参数的提示式的直观的输入方式，来完成平面图及剖视图的设计。(4) 在配电箱工具系统中，能半自动地完成回路、负荷、极数的标注，并自动完成单相负荷的匹配和分相。(5) 与旧版 HOUSE 电气软件相比，E95 版增加消防平面、自动布线及电气标准标注等功能，并且程序的容错能力大大增强。(6) 具有短路电流计算、动开关校验、导体截面选择、负荷计算、无功补偿计算、照度计算等功能。(7) 能生成并编辑修改一次、二次设备表，电缆表，天线设备表，照明系统图表，照明设备表等表格。(8) 与国内的建筑软件配备接口。

4. EES 电气软件

大型电气工程设计软件 EES 是由北京博超世纪软件技术有限公司设计开发而成，是国内唯一基于 Microstation 平台的电气软件。它具有与 INTER、HOUSE 完全不同的界面，易操作性是十分显著的优点。

它具有以下功能：(1) 高压二次接线图库将国标 D270 的 36 种交流方案和 D267 的 51 种直流方案以新国标的制图规范制或标准图形文件。供用户选用。(2) 采用动态工程数据库，图面电气元件与其型号、规格等参数是一个整体，可以在设计中被同时放置、移动、删除。(3) 提供电气制图标准，分为三部分：图形符号、文字符号、文字标准。可帮助用户在设计中正确地使用新国标。(4) 可不分版本的将包括汉字的 AutoCAD 建筑平面以及 ABD、AEC、HOUSE 等提供的建筑平面转入 EES 环境，以进行各种电气平面图设计。(5) 能灵活的输入与编辑汉字。(6) 为了防止窗口式的菜单遮住图形，提供一非常小巧的控制框以决定到底显示菜单还是显示图形，并可方便切换。(7) 该软件也是唯一的将电气工程设计手册中常用的技术参数及部分内容存入系统的电气软件。只要在标准下拉菜单下选择需要的项目，EES 就会弹出相应的对话框，上面显示出所需的数据或内容，供设计参考。

然而，不管是 INTER 系列、HOUSE-E95 还是 EES 软件，其缺陷也很明显。INTER 系列和 HOUSE-E95 的不足：作为建立在 AutoCAD FOR DOS 平台上的电气软件，它们最大的缺陷也许就是对平台的选择了。另外，这两大系列电气软件并没有象 EES 软件那样与其平台融为一体，给用户的感觉是与 AutoCAD 并列的另一类软件：INTER 和 HOUSE 都在主菜单中分设了“AutoCAD 菜单”这样一个分菜单。虽然 INTER 系列软

件推出了 FOR WINDOWS 的版本，但据业内人士透露，该版与 DOS 版并没有大区别。EES 的不足：EES 由于选用了具有较先进开发工具的 CAD 平台，在与原 CAD 平台融合方面以及操作一致性方面表现较好。但在使用过程中，其表现出的问题也很多。如死机，少数汉字转换不了，由 EES 软件绘制的图形转换成 AutoCAD 文件也有困难。

这些软件由于具有极强的通用性，因此具体到某个单位的具体情况时，则无法具体考虑。很多时候，这些软件只是作为电气工程师进行电气设计的参考、或辅助手段，还不能完全实现自动化、智能化。从技术现状看，开发更加智能化的设计软件的条件已经成熟；但从实施角度看，还没有任何一家软件公司的通用软件会考虑到具体用户特有的需求。因此，用户根据自身需要开发相应的设计软件不仅是可行的，而且是非常必要的。

1.3 电气设计的基本内容

1.3.1 供用电设计的主要内容

供用电系统的设计为电力系统的发展提出实施方案：为用户供、配电系统制定出具体方案。设计中一定要贯彻国家的各项方针政策，遵照有关的设计技术规定，从整体出发，深入论证电源及负荷布局的合理性，提出网络设计方案，并论证其安全可靠性和经济性，为此需进行必要的计算；同时需注意近期与远期的关系，以及同发电、输电、变电工程的协调，并为电力系统继电保护、安全自动控制以及下一电压等级的系统设计创造条件。

供用电系统的设计水平年，一般取今后 5~10 年的某一年，远景水平年取今后 10~15 年的某一年。设计水平年选取最好与国民经济计划的年份相一致。电源和网络的设计，一般以设计水平年为主，并对设计水平年以前的过渡年份进行研究，同时还要展望到远景水平年。

设计的主要内容有：

- 1、电力系统负荷的计算和有功的平衡；
- 2、电源点和变、配电所位置的确定；
- 3、电力网接线方案的技术论证及经济比较；
- 4、发电厂、变电所主接线的选择；
- 5、设备的选择和校验；
- 6、网络潮流计算和电压计算；
- 7、电力系统继电保护的设计和整定；
- 8、安全自动装置的设置；
- 9、提交设计说明书和图纸。

1.3.2 变电站设计的主要内容

- 1、变电所位置的确定

变电所的所址选择也分为规划选所和工程选所两个阶段。所址选择应按审定的本地区电力系统远景发展规划，综合考虑网络结构、负荷分布、城建规划、土地征用、出线走廊、交通运输、水文地质、环境影响、地震烈度和职工生活条件等因素，通过技术经济比较和经济效益分析，选择最佳方案。

2、主变压器的选择

主变压器的选择（台数、容量和型号等）应根据地区供电条件、负荷性质、用电容量、运行方式、技术经济比较、事故备用容量、环境因素、气候条件等综合考虑。

3、变电所主接线

变电所主接线是由各种电气设备（变压器、断路器、隔离开关等）及其连接组成，用以接受和分配电能，是供电系统的重要组成部分。他与电源回路数、电压等级和负荷的大小、级别以及所用变压器的台数、容量等因素有关。确定变电所的主接线对变电所电气设备选择、配电装置的布置及运行的可靠性与经济性等都有密切的关系，主接线设计是变电所设计中的重要任务之一。

变电所的接线型式有多种，常见的接线形式有：线路—变压器组接线、桥式接线、单母线分段式接线、双母线接线等。应当根据具体情况，进行选择。

此外，变电站设计中还涉及保护配置、防雷设计、设备选择、设备布局等一系列内容，每一部分对应相应的计算内容。

1.4 本文的主要工作

本文主要工作是通过对比、分析各种软件的开发方法、软件平台，以及用户使用情况，综合考察市场现有电气设计软件的各种优缺点。在调研、研究、分析的基础上，结合河北邯郸电力系统的实际，编写了适合邯郸电力设计院进行设计规划的电气设计软件包。软件界面简单适用，容易上手，各界面功能按钮基本一致，设计人员在很短时间里即可熟练使用。电气软件包密切结合了邯郸电力系统实际以及邯郸电力设计院的传统设计思路，提高了电气设计自动化程度和电气设计水平，减少人为操作过程，节约大量人力物力。

电气设计软件包主要由三部分构成：

1、电气一次部分：

- 1) 短路电流计算；
- 2) 接地计算；
- 3) 防雷计算；
- 4) 导线力学计算；
- 5) 主要设备校验；
- 6) 导体选择。

2、电气二次继电保护计算部分：

- 1) 相差高频保护计算;
 - 2) 高频闭锁距离保护;
 - 3) 变压器保护;
 - 4) 横差保护;
 - 5) 相间距离保护;
 - 6) 线路电流电压保护;
 - 7) 零序电流保护;
 - 8) 自动重合闸;
 - 9) 电力电容器保护。
- 3、设计参考部分:

- 1) 设计施工手册;
- 2) 招标书范本;
- 3) ISO9000 系列标准;
- 4) 典型设计;
- 5) 施工质量标准。

本文的创新之处在于：在吸收优秀设计软件设计理念、设计方法的基础上，开发出具有极强的针对性的电气设计软件，不仅为邯郸电力设计院提供了先进的软件平台，更为相关软件的开发提供一种全新的设计理念和设计思路。

第二章 电气一次系统设计基本原则

2.1 变电所一次系统基本概念

变电所是电力系统中接受电能和分配电能并能变换电压的场所。它是发电厂和电能用户之间的中间环节，同时还通过变压器能将电压等级不同的电力网联系起来。

根据变电所电能的生产、变压、输送、分配和使用的安全、优质、可靠以及经济运行的要求，有下列主要电气设备。

1、发电机。发电机是用来生产电能的，是将机械能转化成电能的设备。

2、变压器。电力变压器的功能是用于变换电能的，即把低压电能变为高压电能，以便输送；或者把高压电能变为低压电能，以便使用。

3、高压断路器。断路器是在电力系统正常运行和故障情况下用作断开或接通电路中的正常工作电流及开断故障电流的设备。高压断路器具有能熄灭电弧的装置，它能用来断开或闭合电路中的正常工作电流，也用来断开电路中的过负荷或短路电流。所以它是电力系统中最重要开关电器。对它的基本要求是：具有足够的开断能力，尽可能短的动作时间和高的工作可靠性；结构简单，便于操作和检修，具有防火和防爆性能，尺寸小，重量轻，价格低等。

4、隔离开关。隔离开关是电力系统中应用最多的一种高压电器。它的主要功能是：

- (1) 建立明显的绝缘间隙，保证线路或电气设备修理时人身安全；
- (2) 转换线路、增加线路连接的灵活性。

在电网运行情况下，为了保证检修工作的安全进行，除了使工作点与带电部分隔离外，还必须采取检修接地措施防止意外带电。为此，要求在高压配电装置的母线侧和线路侧装设带专门接地刀闸的隔离开关，以便在检修母线或线路断路器时，使之可靠接地。这种带接地刀闸的隔离开关的工作方式为：正常运行时，主刀闸闭合，接地刀闸断开；检修时，主刀闸断开，接地刀闸闭合。这种工作方式由操作机构之间具有机械闭锁的装置来实现。

5、负荷开关。负荷开关是一种只能开断负载电流和一定过载电流的开关电器，没有开断短路电流的能力。负荷开关的结构较断路器简单、价格便宜。通常将负荷开关和熔断器组合使用，在某些场合可以代替断路器。

6、母线。母线起汇集和分配电能的作用。

7、电抗器。电抗器的主要功能是限制短路电流，以减轻开关电器的工作负担。此外，当短路发生后，由于电抗器的作用，可以维持变电所上的电压在一定的水平，以保证没有短路故障的其他支路上的用户能继续使用电能。

8、电缆。在大城市、发电厂和变电所内部或附近以及穿越江河、海峡时，采用电缆进线送电。尽管检修电缆线路费时，但有其显著优点：不需要在地面上架设杆塔，占用土地面积少，供电可靠，不易受外力破坏，对人身较安全，等等。

9、架空线路。架空线路是电力系统的重要组成部分，它负担着把强大的电力输送到工矿、企业、城市和农村的任务。

10、熔断器。熔断器是一种使用最早的电器，到目前为止，仍是一种主要的简易电器。熔断器具有电阻值较大的熔丝或熔体，串联在电路中。当过载（或短路）电流通过时，熔丝或熔体因电阻损耗过大、温度上升过高而熔断，实现断开电路。高压熔断器还设有简单的灭弧装置。

11、避雷器。避雷器是用作保护电力系统和电气设备的绝缘、使其不受雷击所引起的过电压而损坏的电器。

12、电压互感器和电流互感器。在高压配电装置中，广泛采用互感器给测量仪表、继电保护和其他二次设备供电。互感器包括电压互感器和电流互感器两类。前者将高电压变成规定的低电压（100V 或 100/3 V）；后者将大电流变成规定的小电流（5A 或 1A）。测量仪表和继电器等电器的线圈与互感器的二次侧线圈相连，互感器的二次侧线圈应有可靠的接地。采用互感器的目的，除了将二次回路与一次回路隔离，以保证运行人员和设备的安全外，还使由它供电的二次设备标准化、小型化，从而给运行维护提供方便。

除上述设备外，变电所中还有各种测量和监视仪表、保护继电器、自动装置、直流设备等。

2.2 变电所一次系统规划设计

2.2.1 规划设计的主要内容

变电所一次系统规划设计的主要内容可分为以下几个方面。

1. 负荷计算。
2. 电压等级确定。
3. 主变压器台数和容量的确定。
4. 变电所主接线型式的确定。
5. 线路导线截面的选择。
6. 无功补偿。
7. 防雷接地设计等。

2.2.2 一次接入系统的设计

2.2.2.1 输电线路电压等级的确定

输电线路电压等级的确定应符合国家规定的标准电压等级，我国现行的输电线

路额定电压见表 2-1。

表 2-1 各电压等级输电线路合理输送容量及输送距离

额定电压 (KV)	输送容量 (MW)	输送距离 (Km)	额定电压 (KV)	输送容量 (MW)	输送距离 (Km)
3	0.1~1.0	3~1	220	100.0~300.0	300~100
6	0.1~1.2	15~4	330	200.0~1000.0	600~200
10	0.2~2.0	20~6	500	800.0~2000.0	1000~400
35	2.0~10.0	50~20	750		

在选择输电线路电压等级时，应根据输送容量和输电距离，以及周围电力网的额定电压的情况，拟订几个方案，通过技术经济比较确定。在接线方案拟订时，应注意既要满足远景发展需要，又要具有近期过渡的可能。当两个方案技术经济指标相近，或较低电压等级的方案优点不太明显时，应选用电压等级高的方案，必要时可考虑初期降压运行。

2.2.2.2 电力网接线方案的选择

在变电所和电源布局确定的基础上，电力网接线方案选择就是十分重要的了。一个好的接线方案，对于电力网的投资、建设、运行和发展都有重要意义。

电力网接线方案选择原则有：

1. 采用分区供电的原则

分区供电是将计划供电地区，根据能源分配原则，即损耗最小和线路距离最短的原则，以及其他技术上的要求，分成若干区域，先在每个分区中选择接线方案，最后再整体分析。这是一种割裂的研究方法，是减少初步方案的罗列，提高接线方案选择质量和速度的有效措施。

2. 采用先技术后经济的比较原则

在技术上不能满足要求的接线方案，应立即舍弃。只有那些技术上合理又能满足供电要求的方案，才有追求最经济目标的价值。因此，进行电力网接线方案选择时，必须先进行技术比较，然后再进行经济比较。

电力网的接线方案的选择中需要考虑的技术条件通常有：供电的可靠性、电能的质量、运行及维护的方便灵活性；继电保护及自动化操作的复杂程度以及发展的可能性。需计及的经济因素有：电能损耗、主要原材料的消耗量、工程总投资等。经济比较的具体方法，在本文的 2.2.6 中专门介绍。

2.2.3 主变压器的选择

2.2.3.1 主变压器型式的选择

1、相数的确定

330kV 及以下的电力系统，在不受运输条件限制时，应选用三相变压器。

2、绕组数的确定

(1) 在高中压系统均有中性点直接接地系统的情况下，可考虑采用自耦变压器。

(2) 200MW 及以上的机组采用双绕组变压器加联络变压器更为合理。

(3) 联络变压器一般应选用三绕组变压器，而在中性点接地方式允许的条件下，以选自耦为宜，低压绕组可作为厂用备用电源或厂用起动电源。

(4) 具有三种电压的变电所中，如通过主变压器各侧绕组的功率均达到该变压器容量的 15%以上；或低压侧虽无负荷，但在变电所内需装设无功补偿设备时；主变压器宜采用三绕组变压器，当中性点接地方式允许时应采用自耦变压器。

(5) 对深入引用负荷中心、具有直接从高压降为低压供电条件的变电所，为简化电压等级或减少重复降压容量，可采用双绕组变压器。

2.2.3.2 变电所主变压器容量的确定

1、按变电所建成后 5~10 年规划负荷选择，并适当考虑到远期 10~20 年的负荷发展，对城郊变电所，主变压器容量应与城市规划相结合。

2、装有两台以上主变压器的变电所，应考虑一台主变压器停运时，其余变压器容量不应小于 60%的全部负荷，并保证 I 类、II 类负荷的供电。

2.2.3.3 变电所主变压器台数的确定

1、与系统有强联系的大、中型发电厂和枢纽变电所，在一种电压等级下，主变压器应不小于 2 台。

2、与系统联系较弱的中、小型电厂和低压侧电压为 6~10kV 的变电所或与系统联系只是备用性质时，可只装 1 台主变压器。

3、对地区性孤立的一次变电所或大型工业专业变电所，可设 3 台主变压器。

2.2.4 导体的选择

送电线路导线截面选择的一般作法是：先按电流密度初选导线标称截面积，然后进行电压损失、机械强度、电晕、发热等技术条件的校验。

对于不同地方的送电线路来说，起控制作用的技术条件往往不同。例如超高压输电线路主要考虑电晕放电、无线电干扰和噪音的程度；1~10kV 的线路主要考虑电压损耗；大跨越段的导线主要考虑机械强度和长期允许截流量；电缆线路则主要考虑热稳定。

一、按经济电流密度选择导线截面

按经济电流密度以及该线路在正常运行方式下的最大持续输送功率，可求的导

线的经济截面，其计算公式为：

$$S_j = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3}J U_N \cos \varphi} \quad (2-1)$$

或

$$S_j = \frac{\sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2}}{\sqrt{3}J U_N} \quad (2-2)$$

式中， P_{\max} ——正常运行下线路最大持续有功功率，应计及 5~10 年的发展，kW；

Q_{\max} ——正常运行下线路最大持续无功功率，应计及 5~10 年的发展，kvar；

U_N ——线路额定电压，KV；

J ——经济电流密度，A/mm²；

$\cos \varphi$ ——负荷的功率因数。

根据计算结果选取最接近的标称截面的导线。

我国现行的软导线经济电流密度 J 与最大负荷利用小时数 T_{\max} 的关系如图 2.1。当线路的最大负荷利用小时数 T_{\max} 已知时，则可找到相应的经济电流密度 J 。

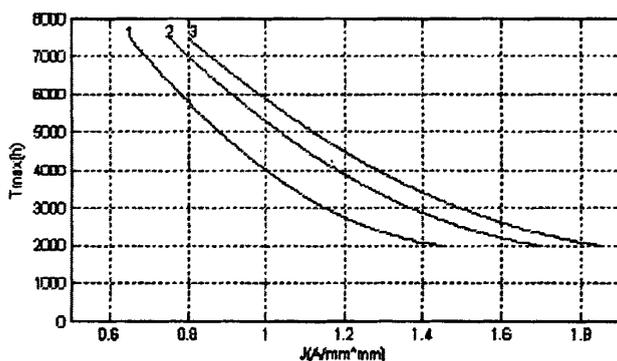


图 2.1 软导体经济电流密度 J

1—10KV 及以下 LJ 型导线；2—10KV 及以下 LGJ 型导线；3—35~220KV 及以下 LGJ 型导线；

线路的最大负荷利用小时数 T_{\max} ，应由所通过的各负荷点的功率及其 T_{\max} 决定。对于放射形网络，每条线路向一个负荷点供电，则线路的最大负荷利用小时数就是所供负荷的最大负荷利用小时数 T_{\max} ，对于链型网络，各段线路的最大负荷利用小时数 T_{\max} 等于所供负荷点的最大负荷利用小时数 T_{\max} 的加权平均值，即

$$T_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n P_{\max \cdot j} T_{\max \cdot j}}{\sum_{j=1}^n P_{\max \cdot j}} \quad (2-3)$$

式中, $P_{\max \cdot j}$ ——各负荷点的最大有功功率;

$T_{\max \cdot j}$ ——各负荷点的最大负荷利用小时数。

对于环形网络, 通常可在有功功率分点处拆开, 成为放射形或者链形网络, 其各段线路 T_{\max} 可用上述方法求得。

需说明的是, 为了便于检修和管理, 在现场的实际应用中, 同一地区同一电压等级的电力网导线选用的种类和规格应尽可能的少。

二、校验导线截面积

1、按允许载流量条件校验导线截面积

导线型号初选后, 需计算出最严峻的正常运行方式和事故运行方式下实际可能的工作电流, 将其与该型号导线长期允许载流量相比较, 前者应小于等于后者。

2、按电晕条件校验导线截面积

110kV 及以上线路, 避免电晕的产生往往是限制导线截面不能过小的主要原因。通常所选导线产生电晕的临界电压应大于其最高工作电压。

3、按机械强度条件校验导线截面积

为保证架空线路具有必要的机械强度, 对于跨越铁路, 通航河流、公路、通信线路以及居民区的电力线路, 其导线截面积不得小于 35mm^2 ; 通过其他地区的允许最小截面积为: 35kV 及以上线路 25mm^2 , 35kV 以下线路 16mm^2 。

三、按允许电压损耗选择导线截面

10kV 及以下网络, 由于网络分散, 无法在每个负荷点装设调压设备来满足用电设备对电压质量要求。因此, 我们往往用电压损耗作为控制条件去选择导线截面。

四、选择导线截面的实用方法

1、35kV 及以上电压等级的送电线路。这类线路首先按经济电流密度选择导线截面, 再按电晕条件, 允许载流量和机械强度条件等校验。

2、10kV 及以下电压的送电线路。这类线路往往是按允许电压损耗选择导线截面, 再按允许载流量, 机械强度条件进行校验。

3、低压配电线路。这类线路由于线路较短, 电压损耗也较小, 导线截面主要按允许载流量条件选取。

4、闭式网络。这种网络由于各段线路的功率分布与各段线路型号有关, 其导线截面的选择按下述步骤进行:

- (1) 先假设导线截面相等, 按均一网计算出初步功率分布。
- (2) 用初步功率分布按经济电密度 (或允许电压损耗) 选出导线截面。
- (3) 按所选导线截面的参数再求功率分布。
- (4) 用第二次功率分布计算的结果, 再按经济电流密度选出导线截面。
- (5) 这样反复迭代直到最后两次选出的导线截面相等为止。

对按允许电压损耗选择截面的闭式地方网来说, 由于通常采用的是各段线路截

面相等的原则，因此做到第（2）步即可得结果。而对于闭式区域网则需按上述几个步骤反复迭代，由于每计算一次导线截面，都要选用标称值，而标称截面级差又大，所以一般迭代 2~3 次就可的出结果。

2.2.5 方案的比较

在电力系统的规划设计中，必须根据国家现行的有关方针政策和国民经济发展计划，对电源分布和网络建设提出若干方案，然后对它们进行全面的经济技术比较。通常的步骤是首先在可能的初步方案中筛选出几个技术上优越而又比较经济的方案，然后再进行经济计算，由此确定出最佳方案。

技术经济比较，主要包括技术指标、经济计算和有色金属消耗量三个方面。

一、技术经济比较的原则

比较时应考虑以下几个原则：

1. 符合国家有关方针政策的要求。
2. 便于过渡并能适应远景的发展。
3. 技术条件好，运行灵活可靠，管理方便。
4. 投资及年运行费用低，并且有分期投资的可能性。
5. 国家短缺的原材料消耗少。
6. 建设工期短。

二、技术指标内容

1. 供电的可靠性；
2. 电能质量；
3. 运行管理，维护检修条件；
4. 交通运输及施工条件；
5. 有无扩建余地；
6. 架空线及变电所占地情况；
7. 其它方面有利及不利条件。

三、经济计算内容

1. 基建投资 Z (万元)

它包括设计、施工、运输、实验、调整和检查验收所需的全部工程费用。它是根据已建成工程的决算金额，归纳得来的统计数字。

2. 年运行费用 F (万元/年)

年运行费用是验收后维持正常运行每年所付出的费用，应包括以下四项：

- (1) 设备折旧费用 F_1 (万元/年)
- (2) 设备维修管理费 F_2 (万元/年)
- (3) 年电能损耗费 F_3 (万元/年)

(4) 基本电价费 F_4 (万元/年)

四、经济比较方法

对上述有关费用计算后,便可进行经济比较。经济比较的具体方法有很多种,主要分为静态比较法和动态比较法。所谓静态比较法,其基本思想是:不考虑设备,材料,人工等费用随时的变化,认为费用与时间是无关系的,因而只对各种费用按固定价值分析比较。而动态比较法的理论基础是考虑了资金本身的时间价值,亦即时间不同,资金的价值也就不同。

这里主要介绍静态比较法中的抵偿年限法。当两方案比较时,若投资 $Z_1 > Z_2$, 而年运行费 $\mu_1 < \mu_2$, 则可用抵偿年限判断最优方案。

$$N = \frac{Z_1 - Z_2}{\mu_2 - \mu_1} \quad (2-4)$$

式中, N ——抵偿年限, 年。

目前我国一般采用的标准抵偿年限为 5~8 年。当 N 小于 5~8 年, 选用投资大的方案一; 反之则选用年运行费低的方案二。

2.2.6 防雷与接地装置设计

众所周知, 雷电具有极大的破坏性, 其电压高达数百万伏, 瞬间电流可高达数十万安。因此, 运行中的电气设备, 极有受到来自外部的雷电过电压的作用。必须采取有效的过电压防护器具, 实现防雷保护。通常, 我们通过架设避雷针等避雷器以及引下线和接地系统来防止雷电侵袭。

一、避雷针(线)的结构

架设避雷针(线)的作用是使雷电直接击在避雷针(线)上, 避免导线遭受直接雷击。同时, 它还对雷电流有分流作用, 减少流入杆塔的雷电流, 使杆顶电位降低。

避雷针(线)的接闪器部分装于构架上端, 避雷针接闪器一般用长 1~2 米的一段直径 12 毫米以上的镀锌圆钢或直径 38 毫米左右的镀锌钢管制成(壁厚不小于 2.75 毫米)。避雷线的接闪器用截面不小于 35 平方毫米的镀锌钢绞线。

支持接闪器的避雷针(线)构架高度在 20 米以下时, 多采用水泥电杆, 较高时宜采用钢结构支架。但变压器用的门阀构架上严禁安装避雷针。也严禁将架空照明线路, 通讯线路及无线电天线等架在避雷针(线)的构架上。

二、避雷器的配置

避雷器的安装位置和组数, 应根据电气设备的雷电冲击绝缘水平和避雷器特性以及侵入波陡度, 并结合配电装置的连线方式确定。避雷器至电气设备的允许距离还与雷雨季节经常运行的进线路数有关。进线数越多则允许距离可相应增大。断路

器、隔离开关、偶合电容器等电器的绝缘水平比变压器为高。因此，避雷器至这些设备的最大允许距离可增大。

上述允许距离应在各种长期可能的运行方式下都符合要求。

避雷器的配置原则如下：

1、配电装置的每组母线上，一般应装设避雷器。

2、旁路母线上是否需要装设避雷器，应视在旁路母线投入运行时，避雷器到被保护设备的电气距离是否满足要求而定。

3、220kV 及以下变压器到避雷器的电气距离超过允许值时，应在变压器附近增设一组避雷器。

4、三绕组变压器低压侧的一相上宜设置一台避雷器。

5、下列情况的变压器中性点应装设避雷器：直接接地系统中，变压器中性点为分级绝缘且装有隔离开关时和变压器中性点为全绝缘，但变电所为单进线且为单台变压器运行时；不接地和经消弧线圈接地系统中，多雷区的单进线变压器中性点上。

6、单元连接的发电机出线宜装一组避雷器。

7、连接在变压器低压侧的调相机出线处宜装设一组避雷器。

8、变电所 35kV 及以上电缆进线段，在电缆与架空线的连接处应装设避雷器。

9、直配线发电机和变电所 10kV 及以下，进线段避雷器的配置应遵照《电力设备过电压保护设计技术规程》执行。

10、110、220kV 线路侧一般不装设避雷器。

11、SF6 全封闭电器的架空线路侧必须装设避雷器。

三、避雷器的接地装置

供配电系统用变压器的中性点直接接地，以及电器设备在正常工作情况下不带电的金属部分与接地体之间做良好的金属连接都称为接地。前者为工作接地，后者为保护接地。

良好的接地是防雷中至关重要的一环。工程上通常采用消弧线圈接地的方式，这可使绝大多数单相雷击闪络的接地故障电流能被消弧线圈所熄弧，从而使得故障自动被切除。

避雷器接地装置是用来引泄雷电电流的，因此接地装置中的冲击接地电阻越小，则过电压越小。工程上拿工频接地电阻作为衡量接地电阻值的标准，对于不同防雷设备允许最大的工频电阻值如表 2-2 所示。

表 2-2 防雷设备的接地电阻

序号	防雷设备名称	接地电阻(欧)

1	保护变电所的室外独立避雷针	25
2	装设在变电所架空线路进线上的避雷线	25
3	装设在变电所与母线连接的架空进线上的管形避雷器，与旋转电机无联系	10
4	装设在变电所与母线连接的架空进线上的管形避雷器，与旋转电机有联系	5
5	装设在 20kV 以上的架空线路交叉处跨距电杆上的管形避雷器	15
6	装设在 35~110kV 架空线路中以及在绝缘较弱处木质电杆上的管形避雷器	15
7	装设在 20kV 以下架空线路电杆上的放电间隙	25

2.3 电气主接线的设计

电气主接线是变电站设计的主体。采用何种主接线形式，与电力系统原始资料，变电站本身运行的可靠性、灵活性和经济性的要求等密切相关，并且对电气设备选择、配电装置布置、继电保护和控制方式的拟订都有较大的影响。

因此，主接线的设计必须根据变电站的具体情况，全面分析，正确处理好各方面的关系，通过技术经济比较，合理地选择主接线方案。

2.3.1 电气主接线的设计原则和要求

一、电气主接线的设计原则

以下达的设计任务书为依据，根据国家现行的“安全可靠、经济适用、符合国情”的电力建设与发展的方针，严格按照技术规定和标准，结合工程实际的具体特点，准确掌握原始资料，保证设计方案的可靠性、灵活性和经济性。

二、电气主接线的设计步骤

电气主接线的设计是变电站整体设计的重要内容之一。

实际的变电站的工程设计是按照工程基本建设程序设计的，按实施进程一般分为四个阶段：可行性研究阶段；初步设计阶段；技术设计阶段；施工设计阶段。

电气主接线设计的一般步骤：

1、原始资料分析。根据下达的设计任务书的要求，在分析原始资料的基础上，各电压等级拟订可采用的数个主接线方案。

2、对拟订的各方案进行技术、经济比较，选出最好的方案。各主接线方案都应该满足系统和用户对供电可靠性的要求，最后确定何种方案，要通过经济比较，选用年运行费用最小的作为最终方案，当然，还要兼顾到今后的扩容和发展。

3、绘制电气主接线图。按工程要求，绘制工程图，图中采用新国际图形符号和文字代号，并将所有设备的型号、主要参数、母线及电缆截面等标注在图上。

三、对主接线设计的基本要求

主接线应满足可靠性、灵活性、经济性和发展性等四方面的要求。

1、可靠性。为了向用户供应持续、优质的电力，主接线首先必须满足这一可

靠性的要求。主接线的可靠性的衡量标准是运行时间，要充分地做好调研工作，力求避免决策失误。

2、灵活性。电气主接线的设计，应当适应在运行、热备用、冷备用和检修等各种方式下的运行要求。在调度时，可以灵活地投入或切除发电机、变压器和线路等元件，合理调配电源和负荷。在检修时，可以方便地停运断路器、母线及二次设备，并方便地设置安全措施，不影响电网的正常运行和对其他拥护的供电。

3、经济性。体现在投资省、占地面积小和电能损耗小三个方面。

4、发展性。主接线可以容易地从初期接线方式过渡到最终接线。

2.3.2 变电所主接线设计

一、原始资料分析

1、变电所的类型。根据变电所在电力系统中的地位和作用，可分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所和终端变电所等类型。

2、变电所在电力系统中的地位和作用。分析变电所在系统中处的地位，与系统的联系情况，是否有穿越功率，本所停电对系统供电可靠性的影响等。

3、负荷分析。分析各电压等级的负荷性质、进出线回路数、输送容量、负荷组成、供电要求等因素。对于每一个负荷应具体分析其重要负荷所占的百分数。分别求出近期、远景的最大计算负荷。

二、变电所电气主接线设计

根据任务书的要求，在分析原始资料的基础上，参照变电站设计技术规程，拟订出各电压等级的可行方案。因为变电站在电力系统中的地位、负荷情况、出线回路数、设备特点等条件的不同，会出现多种接线方案。

1、主接线的基本形式和特点

有母线的主接线形式包括单母线和双母线接线。单母线又分为单母线无分段、单母线有分段、单母线分段带旁路母线等形式；双母线又分为双母线无分段、双母线分段、带旁路母线的双母线和二分之三接线等形式。

无母线的主接线主要有单元接线、扩大单元接线、桥式接线和多角形接线等。

(1) 单母线接线

单母线接线是一种最原始、最简单的接线，该接线型式下，所有电源及出线均接在同一母线上。其优点是简单明显，采用设备少，操作方便，便于扩建，造价低；缺点是供电可靠性低。母线及母线隔离开关等任一元件故障或检修时，均需使整个配电装置停电。

单母线也可用隔离开关分段。当母线故障时，可用隔离开关将故障的母线分开后很快恢复非故障母线段的供电。

(2) 单母线分段接线

单母线用断路器母线分段后可进行轮换检修，对于重要用户，可从不同段引出两个回路。当一段母线发生故障时，由于分段断路器在继电保护作用下自动将故障段迅速切除，从而保证了正常母线段不间断供电和不致使重要用户停电。

单母线分段接线既具有单母线接线简单明显、方便经济的优点，又在一定程度上提高了供电可靠性；缺点是当一段母线隔离开关故障或检修时，该段母线上的所有回路都要长时间停电，所以其连接的回路数一般比单母线增加一倍。

(3) 双母线及双母线分段接线

双母线接线的每一回路都通过一台断路器和两组隔离开关连接到两组母线上。母线 1 和母线 2 都是工作母线，两组母线可同时工作，并通过母线联络断路器并联运行。

双母线接线比单母线分段接线有如下优点：可轮换检修母线或母线隔离开关而不致供电中断；检修任一回路的母线或母线隔离开关时，只停该回路；母线故障后，能迅速恢复供电；各电源和回路的负荷可任意分配到某一组母线上，可灵活调度以适应系统各种运行方式和潮流变化；便于向母线左右任意一个方向扩展。缺点是造价比较高；且母线故障或检修时，隔离开关作为操作电器，在倒换操作时容易误操作。

采用双母线分段时，装设两台母联兼旁路的断路器。

(4) 旁路母线接线方式

为了保证采用单母线分段或双母线接线在断路器检修或调试保护装置时，不中断对用户的供电，需增设旁路母线。

(5) 双母线四分段接线

双母线带旁路母线接线在我国广泛用于 110~220KV 高压配电装置中，已积累了丰富的运行经验。为了达到安全、可靠的要求，采用双母线分段的办法来限制故障范围。

双母线分段可分成三分段或四分段，但以四分段为宜。双母线四分段能够满足大机组、超高压电气主接线可靠性的要求，它是超高压配电装置的基本接线。

(6) 二分之三接线

二分之三接线是从双母线双断路器接线改进而发展成的，在保证很高可靠性和调度灵活性的基础上可降低成本投资。优点主要包括运行调度灵活、操作检修方便、可靠性高；缺点是由于每个回路连接着两台断路器，一台中间联络断路器连接着两个回路，使继电保护及二次回路复杂化。

(7) 单元接线

单元接线是最简单的接线，它的特点是几个元件直接单独连接，没有横向的联系。

(8) 桥式接线

当有两台变压器和两条线路时，在变压器-线路接线的基础上，在中间加一连接桥，则成为桥式接线。桥式接线按照连接桥断路器的位置，可分为内桥和外桥两种接线。桥式接线中，四个回路只有三台断路器，所用断路器数量最少，也是最经济的接线。

内桥式接线的特点是连接桥断路器在变压器侧，其他两台断路器在线路上。鉴于变压器属于可靠性高的设备，故障率远较线路小，一般不经常切换，一次系统中应用内桥式接线的较为普遍。

外桥式接线的特点恰好与内桥式接线相反，连接桥断路器接在线路侧，其他两台断路器接在变压器回路中。外桥式接线只适用与线路短，检修和倒闸操作以及设备故障率均较小，而变压器由于按照经济运行的要求需要经常切换的情况。

(9) 多角形接线

将断路器首尾相连闭合成环运行，在两个断路器间接入回路，所用的断路器台数和回路数相等。由于各回路可从两个方向实现联络，故其接线的可靠性是较高的。但角形接线不适合今后发展和扩建的要求，所以一般多用在最终接线不变动的场所。

2、变电站主接线

变电站的主接线，应满足供电可靠、运行灵活、操作检修方便、节约投资和便于扩建等要求。

35~110kV 线路为两回及以下时，宜采用桥形、线路变压器组等接线。超过两回时，宜采用分段单母线的接线。35~60kV 线路为 8 回及以上时，亦可采用双母线接线。110kV 线路为 6 回及以上时，宜采用双母线接线。

在采用分段单母线或双母线的 35~110kV 主接线中，当不允许停电检修断路器时，可设置旁路母线。

当有旁路母线时，首先宜采用分段断路器或母联断路器兼作旁路断路器的接线。当 110kV 线路为 6 回及以上，35~60kV 线路为 8 回及以上时，可装设专用的旁路断路器。主变压器 35~110kV 回路中的断路器，有条件时亦可接入旁路母线。采用 SF6 断路器的主接线不宜设旁路母线。

当变电站装有两台主变压器时，6~10kV 侧宜采用分段单母线。线路为 12 回及以上时，亦可采用双母线。当不允许停电检修断路器时，可设置旁路母线。

当 6~35kV 配电装置采用手车式高压开关时，不宜设置旁路母线。

2.4 电气设备的选择与设计

2.4.1 发热计算

任何载流导体或电器自身存在有功损耗，其有功损耗将变成热能，使导体温度升高。

1、高温升对电气设备的影响

- (1) 影响电气设备的绝缘寿命
- (2) 影响导体的接触部分的导电性能
- (3) 降低导体的机械强度

2、导体和电气设备载流量的确定

导体和电气设备在正常运行时，流过的电流是负荷电流，其电流在导体中产生的欧姆发热与向周围环境散发的热量经过一段时间后，达到动态平衡，其温度不再升高。我们只要校验正常运行时的发热温度，不超过允许值。

3、短路时的发热校验

电力系统中发生短路，就会有比正常的负荷电流大许多倍的短路电流流过导体或设备，这时，导体的温度就会急剧地上升，由于电力系统都装设了继电保护装置，在短时内把短路电流切除，因而发热的时间很短，因此称为短时发热。

通常以下面几种方法来校验短时发热：

(1) 对导体，我们用最小热稳定截面 S_{\min} 与实际导体的截面 S 对比，如果实际导体的截面不小于最小热稳定截面（即 $S \geq S_{\min}$ ），说明能满足热稳定的条件；相反，如果 $S < S_{\min}$ 就得采用截面积更大的导体。

(2) 对设备的热稳定校验来讲，由于设备的结构等均已固定，通常用短路电流通过其内部产生的热效应 Q_k 与其允许的热效应 Q_y 相比较，如果 $Q_k < Q_y$ 则合格。

(3) 在短路时的发热效应计算中，关键是计算短路电流的热效应 Q_k ，工程中一般采用实用算法。

2.4.2 电动力计算

只要载流导体位于磁场中，便会受到力的作用，特别当电力系统短路时，导体中通过的是很大的短路电流，导体遭受的电动力作用非常大。如果导体机械强度不够，就要发生变形或损坏。所以为了使导体和电器设备安全运行，进行电动力的分析计算是必不可少的一环。

涉及到的电动力计算主要有：

- 1、两条导体间电动力的计算；
- 2、三相系统中短路时导体电动力的计算；
- 3、导体振动的动态应力

2.4.3 电气设备的选择原则

电气装置中的载流导体和电气设备的选择设计，必须执行国家的有关技术经济政策，并做到技术先进、经济合理、安全可靠、运行方便和为今后的发展扩建留有一定的余地。各种电气设备选择的一般程序是：先按正常工作条件选择出设备，然

后按短路条件校验其动热稳定。

1. 电气设备选择的一般要求

(1) 应满足各种运行、检修、短路和过电压情况的运行要求，并考虑远景发展。

(2) 应按当地环境条件（如海拔、大气污染程度和环境温度等）校核。

(3) 应力求技术先进和经济合理。

(4) 与整个工程的建设标准应协调一致。

(5) 同类设备应尽量减少品种，以减少备品备件，方便运行管理。

(6) 选用的新产品均应有可靠的实验数据，并经正式鉴定合格。在特殊情况下，选用未经正式鉴定的新产品时，应经上级批准。

2. 电气设备选择的一般原则

(1) 按正常工作条件选择

(2) 按短路状态进行校验

(3) 按环境条件进行校核

2.4.4 母线系统的设计

一般来说，母线系统包括载流导体和支撑绝缘两部分。载流导体可构成硬母线和软母线。软母线是钢芯铝绞线（有单根、双分裂和组合导线等形式），因其机械强度决定于支撑悬挂的绝缘子，所以不必校验其机械强度。

母线系统的设计主要包括母线的选择、电缆的选择、支柱绝缘子和穿墙套管的选择等。

2.4.5 电气设备的选择

主要包括高压断路器的选择、隔离开关的选择、普通电抗器的选择、电流互感器的选择、电压互感器的选择等，电气设备的选择原则可参照相关规定，在此不再赘述。

第三章 电气二次系统设计基本原则

3.1 变配电所二次系统结构特点分析

变配电所是供配电系统的重要组成部分，在变换和分配电能的过程中都大量地应用着各种类型、各种容量、各种电压等级的电气设备，以构成变配电所的主系统，即一次系统。构成变配电所主体的设备称为一次设备，也称主设备。包括电力变压器、断路器、隔离开关、熔断器、电容器、电抗器等。

为了稳定、连续、可靠地提供和使用电能，电气设备将根据生产运行的要求（如负荷变化等）经常进行操作和调节，并随时监察和检查其工作状况。当某一电气设备发生故障时，应尽快地消除故障或切除故障的设备。这种对一次设备进行监测、控制、调节和保护的电气设备，称为二次设备。主要包括测量仪表、信号装置、控制开关、控制电缆、继电保护和自动装置以及操作电源和小母线等。二次设备通过电压互感器和电流互感器与一次设备取得电的联系。二次设备及其相互连接的回路称为二次回路。二次回路是由“点”（二次设备）和“线”（二次线路）组成。各个不同功能的二次回路就构成了变配电所二次系统。

变配电所二次系统主要包括以下二次回路：

1、控制回路

主要由控制开关和控制对象的传送机构及执行（或操作）机构组成。控制对象包括断路器、隔离开关、接地刀闸及母线接地器等。控制回路的作用是对一次开关设备进行“跳”、“合”闸操作。按自动化程度可分为手动控制和自动控制；按控制距离可分为就地控制和距离控制；按控制方式可分为分散控制和集中控制，分散控制均为一对一控制，集中控制有一对一控制和一对 N 的选线控制；按操作电源性质可分为直流操作和交流操作；按操作电源电压和电流的大小可分为强电控制和弱电控制，强电控制采用较高电压（直流 110V 或 220V）和较大电流（交流 5A），弱电控制采用较低电压（直流 60V 以下，交流 50V 以下）和较小由流（交流 0.5~1A）。控制开关与操动机构之间通过控制电缆连接起来。控制回路一般采用直流 220V 作为操作电源。

2、保护回路

主要由测量机构、传送机构、执行机构以及各种继电保护装置组成。继电保护装置就是能反应供配电系统中各电气设备发生故障或不正常工作状态，并作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电器是组成继电保护装置的基本元件，是一种能自动动作的电器。继电保护装置必须满足四个基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

3、信号回路

主要是由信号发送机构、传送机构和信号器具构成。其作用是反映一、二次设备的工作状态。它由事故信号和预告信号两部分组成，每种信号装置都包括灯光信号和音响信号两部分。按复归方法可分为就地复归与中央复归两种；按信号的复归方式可分为手动复归和自动复归两种；按其动作性能可分为能重复动作的与不能重复动作的两种。

4、测量回路

主要由各种电气测量和电能计量仪表及其相关回路组成。包括有功/无功功率表、有功/无功电能表、频率表、电流表、电压表等。其作用是显示或记录一次设备的运行参数，以便运行人员掌握一次设备运行情况。它是分析电能质量、计算经济指标、了解系统潮流和主设备运行状况的主要依据。

5、自动装置回路

能自动判别一次设备的运行状态，在系统发生故障或异常运行时，跳开或投入断路器，恢复系统正常运行。主要包括备用电源和备用设备的自动投入装置、自动重合闸装置和低周减载装置。

6、操作电源回路

对开关电器的控制回路、信号回路、继电保护和自动装置回路等，设有专门的供电电源，称为操作电源系统。由电源设备和供电网络组成。一般有交流和直流两种。主要包括蓄电池直流系统、硅整流电容储能直流系统、复式整流装置以及由电流和电压互感器供电的交流操作电源。

7、所用电源回路

所用电源指变配电所在生产运行过程中自身所使用的电能，通常装设所用变压器作为供本变配电所使用的低压交流电源。通过分析变配电所二次系统的结构特点，可归纳出其二次 CAD 具有如下特点：

(1) 数据量大、层次多、关系复杂、涉及面广。

(2) 组成元件电磁联系紧密，各组成元件间既存在形体结构的拓扑连接，也有内在的电气量间的状态方程约束。且分析计算项目多、算法较复杂。

(3) 要求具备与数据库及分析目标智能关联的高级图形功能，以及从图形提取拓扑信息并进行分析处理的能力。

3.2 继电保护计算

3.2.1 继电保护计算概述

电力系统运行中，可能发生各种故障和不正常的运行状态，最常见同时也是最危险的故障是发生各种类型的短路。当系统发生故障或不正常运行状态时，都会危及系统安全，引发事故，有时还可能造成人身和设备安全事故。电力系统故障一旦发生，必须迅速而有选择性地切除故障元件，这依赖于继电保护装置的正确动作。

因此，合理地选择保护方式和正确地进行整定计算，全面满足继电保护选择性、速动性、灵敏性和可靠性的四项基本要求，对保证电力系统的安全运行有非常重要的意义。

3.2.1.1 故障计算的假设条件

在整定计算中，需要在各种运行方式下进行大量的故障计算。为了简化计算工作，在实用计算中，可以在误差允许的范围内，针对不同电压等级的特点，提出某些相应的假设条件。实用故障计算中常用的假设有：

(1) 忽略高压电网中发电机、变压器、线路等元件等值阻抗的电阻。因为在高压电网中，综合等值阻抗的电阻部分与电抗部分相比，一般只占 10%~20% 左右，两相量相加后的阻抗值与电抗值相比，只差百分之几。因而用电抗值代替阻抗值，其误差在实用计算中是允许的。

(2) 假定旋转电机的负序电抗 X_2 等于正序电抗 X_1 。这个假定符合隐极机的情况，对凸极机有较大的出入，但由于凸极机的电抗值在电网综合阻抗中所占的比例较小，因此这个假设不会影响电网短路电流的基本状态。

(3) 计算故障状态下电气量的故障分量时，假定故障前故障点的电压等于额定电压，即标么值为 1.0，只有在重负荷的情况下或要求得到精确电压的情况下，才考虑负荷的影响。

(4) 假定各级电网的实际运行电压均等于其标称电压值（如 35kV、110kV、220kV 等）或选用相应的平均电压（如 37 kV、115 kV、230 kV 等），而不考虑变压器分接头的实际位置变动。本文选用相应的平均电压进行计算。

(5) 在计算短路电流时，只计算短路电流的工频分量。对短路暂态过程中非周期分量电流所造成的影响，则应在设计保护装置时和整定计算时予以考虑。一般对动作较慢的，反映电流有效值的继电器，可以只在计算动作值时，用选取适当的可靠系数的方法躲过非周期分量的影响。对动作速度快的继电器，则在设计装置时使继电器本身具有抗直流分量的能力。

(6) 以金属短路作为计算故障电流的条件。对于故障点的电弧电阻和接地电阻，一般在选定保护的最小灵敏度数值时要考虑这个因素的影响。但对短线路的距离保护，以及其它与阻抗角有较大关系的保护，则在计算中需要考虑过渡电阻的影响。

3.2.1.2 系统运行方式的选择

继电保护整定计算应以常见运行方式为依据。所谓常见运行方式，是指正常运行方式和被保护设备相邻近的一回线或一个元件检修的正常检修方式。对特殊运行方式，可以按专用的运行规程或依据当时实际情况临时处理。且应以调度运行方式

部门提供的系统运行方式书面资料为整定计算的依据。因此，就必须对系统中元件的运行方式进行组合，在各种运行方式下，确定整定计算所需的多数预备量和保护的保护范围的值，比较所得值，从中选取最大值或最小值作为最终结果。

由于系统中元件的运行方式的可能组合的数目太大，本文采用“常见方式+轮断方式”进行运行方式的选取。常见方式包括系统中所有元件的运行方式，是系统的基本运行方式，其数目及元件开断情况由用户确定。轮断方式针对元件进行：确定母线号后，母线上所连元件逐一参加元件开断。

3.2.1.3 保护的配合原则

电力系统中的继电保护是按断路器的配置装设的，因此继电保护必须按照断路器分级进行整定。继电保护的分级是按保护的正方向来划分的，要求按保护的正方向各相邻的上、下级保护之间实现配合协调，以达到选择性的目的。这是继电保护整定配合的总原则。

为了保证保护动作的选择性，相邻上、下级保护之间的配合有三个要点：

(1) 在时间上有配合：上一级保护和下一级保护在动作时间上应该有一个时间差，上一级保护的動作时间应该比下一级保护大一个 Δt ；

(2) 在保护范围上有配合：对于同一点的故障而言，上一级保护的灵敏系数应该低于下一级保护的灵敏系数。

(3) 上、下级保护的配合是按照保护的正方向进行的，其方向性一般由保护的方向特性或方向元件来保证。

多段式保护的整定应该以改善主保护的性能为主，兼顾后备保护，在主保护的保護效果比较好的时候，尽量提高后备保护的作用。最好在确定后备保护的时候，主保护已经整定完毕。

3.2.2 供配电网继电保护整定计算的特点

电力系统继电保护整定计算中，供配电网在参数构成、网络结构以及整定方式等方面与较高电压等级的高压、超高压输电网相比，存在一定的差异。下面将着重介绍供配电网继电保护整定计算的特点。

3.2.2.1 保护整定计算网络数学模型的特点

1、网络数学模型中考虑电阻的影响

在高压电网的故障计算中，可忽略元件的电阻，用其电抗值代替阻抗值。与高压电网不同，在电压等级为 110kV 及以下的供配电网中，电阻对电网故障情况的影响是不可忽视的。在继电保护整定计算时，一般有两种考虑电阻影响的方法。一种利用复数计算，即： $Z=r+jx$ ，在程序处理上采用二维数组分别存放阻抗的实部和虚部。这种方法计算精度高，但程序处理比较复杂。另一种是假设全网的阻抗角相等，

电阻的影响反映在阻抗模 Z 上。这种方法虽然有一定的误差，却可以使计算过程大为简化。通常在计算精度满足工程要求的情况下，采用后一种方法来计及电阻的影响。

2、按网络结构来建立数学模型

从网络结构上看，高压电网一般是多电源的环状网络，在继电保护整定计算中，采用的数学模型是节点阻抗矩阵方程，并且形成全网的节点阻抗矩阵。而在供配电网中，一般可分为放射状单一形网，环状和放射状网构成的混合型网，以及含有“小电源”的电网等，但环状网络的比重较小。因此，在建立网络数学模型，形成节点阻抗矩阵时，对环状网和放射状网分别进行处理。

在供配电网中，以环状网上节点为根的放射状网，一般是单侧电源的放射状网，对于它的节点阻抗矩阵，可以采用类似于自然界中倒置的“树”的方法来处理。即把作为电源的环状网上的节点视为“树根”，放射状的支路视为“树枝”，将网络中的放射状网的部分分成若干颗“树”，这样按照节点阻抗矩阵中自阻抗和互阻抗的关系，只要是作为根节点的自互阻抗已经计算出来，则其它支路的互阻抗很容易得出。

3.2.2.2 对于放射状网中“小电源”的处理

在放射状网中，往往存在自备电厂等“小电源”，这种“小电源”对于整个电力系统是微不足道的。但当“小电源”附近发生短路时，它又是不可忽略的。在放射状网中，如直接计及“小电源”就无法应用上述方法进行计算。因此，实际应用中，对于这类“小电源”做如下处理：

(1) 应用上述方法形成数学模型，当“小电源”附近发生短路时，可以用系统供电和“小电源”供电叠加的方法求取短路点电流和支路电流。

(2) 当“小电源”单独供电时，可将“小电源”作为“树”的“树根”节点进行计算。

3.2.2.3 继电保护整定计算的特点

供配电网的线路保护的配置与高压电网线路保护的配置方式不同。一般高压电网各线路保护的配置基本上固定的。例如：110kV及以上电力系统线路保护主要有相间距离、接地距离、零序电流、高频等保护。因此，在计算机整定计算中，按保护类型编制程序，当需要与其他类型保护相互配合时，采用送入定值的方法处理；而在供配电网中，各线路的保护配置方式不一定相同，例如：有的线路是三段式电流保护，有的线路是三段式距离保护，还有的是电流电压联锁速断保护、方向过流保护等等，且它们之间还要相互配合。因此各保护的整定计算中，其程序的编制一般采用各类型保护同时进行整定计算的原则。

继电保护的整定计算方法按保护构成原理分两种。第一种是以差动为基本原理的保护,包括发电机、变压器、母线等差动保护,各种纵联方式的线路保护,高频保护。它们在原理上具备了区分内、外部故障的能力,保护范围固定不变,且它们的整定值与相邻保护没有配合关系,具有独立性,整定计算也比较简单。第二种是阶段式保护,它们的整定值要求与相邻的上、下级保护之间有严格的配合关系,而它们的保护范围又随电力系统运行方式的改变而变化,所以阶段式保护的整定计算是比较复杂的,整定计算的可选择性也是比较多的。

在超高压电力系统的保护整定程序的设计中,当系统的局部结构发生改变时,一部分定值需要改变,因此需要对电网重新整定。为了节省计算时间,往往只对电网的局部重新整定,而不是整个电网。常用的是“局部整定法”。这就要求整定计算人员对计算域进行人工干预。然而,对于缺乏整定经验的人来说,这种干预并不是一件令人放心的工作。另外,在局部整定中,虽然需要重新整定的保护数目减少了,但是并不能减少重新进行电网故障计算的工作量。而保护整定中的大部分计算时间是消耗在故障计算上的,所以在节省计算时间上不是非常的明显。供配电网由于有其不规范性,传统的局部整定判定的方法可能会漏掉本来该重新整定的保护。并且供配电网规模较小,整定计算所需的时间也较少,另一方面,计算机的计算速度正在以几何级的速度提高。综合以上理由,本文在处理整定计算时,整定一律采用全局整定,当网络结构发生改变时,全网所有的保护参与整定,所有的保护均属保护区。

由于本文研究的是变配电所主设备的整定计算,整定对象只针对变配电所内的各个电气元件,配合关系只存在于变配电所内,因此,设计时,对待整定变配电所内的所有电气元件装设保护生成待保护整定对象,不考虑变配电所外的电气元件。

故障分析及短路电流计算是继电保护整定计算的基础。由于短路电流计算在电力分析计算中已经比较成熟,在整定计算前,利用短路电流计算软件完成所有的故障参数和分支系数的数据准备。

保护整定原则和整定过程遵循《电力技术管理法规》、《继电保护和安全自动装置技术规程》和《3~110kV 电网继电保护装置运行整定规程》。结合技术人员的实际工作经验,使整定结果更准确,合乎工程实际。保护整定设置自动和手动两种整定方式,对于保护类型配置可自动选择也可进行人工干预。对于整定计算得到的保护定值计算结果,可打印输出。

3.2.3 保护配置及计算原则

保护装置以及保护计算的基本原则:

- 1、当被保护元件发生短路或足以破坏系统正常运行的情况时,保护装置应动作于跳闸;在发生不正常运行时,保护装置应动作于信号。

2、为保证系统非故障部分的正常供电，保护装置应以足够小的动作时限去切除故障。

3、系统故障时，保护装置要有选择的动作于跳闸，在必须加快动作时，可无选择性跳闸，而由自动重合闸来补救保护的无选择性动作。

4、满足第二项要求或用作后备保护时，保护装置容许带一定时限切除故障。

5、保护装置所用的继电器越少越好，并使其接线最简单可靠。

6、保护装置的电压回路断线时，如可能造成保护装置的误动作，则应装设电压回路断线监视或闭锁装置。

7、在表示保护装置动作的出口上应装设信号继电器。以利于运行人员分析和统计保护动作情况。

8、主保护装置除完成保护任务外，如有可能还应作为相邻元件的后备保护。

9、当保护装置因动作原理而不能起相邻元件后备保护作用时，应在所有或部分断路器上装设单独的后备保护。

10、为了起到相邻元件后备保护作用而使保护装置复杂化，或不能达到完全的后备作用时，允许缩短后备保护范围。

11、在实际可能出现的最不利运行方式和故障类型下，保护装置应有足够的灵敏系数。

12、保护装置的灵敏性还应该与相邻设备或线路配合。

13、保护装置所用的电流互感器在最不利的条件下其误差应小于 10%。

继电保护计算繁多复杂，在此只给出几种常用的保护配备和计算原则，其它不再一一赘述，可参考相关文献。

3.2.3.1 变压器保护

变压器是电力系统中的主要电气设备之一。变压器故障对系统的影响是很大的，因此，对变压器应装设必要的保护装置，包括主保护和变压器后备保护。

变压器一般装设下列保护：

1、反应变压器油箱内部故障和油面降低的瓦斯保护。容量为 800KVA 及以上的油浸式变压器，均应装设瓦斯保护。当油箱内部故障产生轻微瓦斯或油面下降时，保护装置应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，瓦斯保护应动作于断开变压器各电源侧断路器。

2、相间短路保护。反应变压器绕组和引出线相间短路及绕组匝间短路的纵联差动保护或电流速断保护。

3、后备保护

(1) 过电流保护，用于降低变压器，保护装置的整定值应考虑短路时可能出现的过负荷。

(2) 复合电压（包括负序电压及线电压）启动的过电流保护。

(3) 负序电流保护和单相式低电压启动的过电流保护，用于 6300KVA 及以上的升压变压器。

4、中性点直接接地电网中的变压器外部接地短路时的零序电流保护。

5、过负荷保护。反应变压器过负荷。

3.2.3.2 电力电容器保护

一、装设原则见表 3-1

表 3-1 电力电容器组保护装置装设原则

被保护设备	保护装置名称				备注
	无时限或带时限过电流保护	横差保护	过电压保护	单相接地保护	
电容器组	装设	对电容器内部故障及引出线短路采用熔断器保护时，可不装设	当电压可能经常超过 110% 额定值时，宜装设	电容器与支架绝缘时可不装设	当电容器组的容量在 400KVA 以内时，可以由带熔断器的负荷开关进行保护

二、保护原理及整定计算

1、无时限或带时限过电流保护。

(1) 动作电流整定。保护装置的動作电流应躲过电容器组投运时的冲击电流：

$$I_{op1} = k_{rel} k_{wc} \frac{I_{NC}}{k_{TA}} \quad (3-1)$$

(2) 灵敏系数。保护装置的灵敏系数按最小运行方式下，电容器组首端两相短路时，流过保护安装处的短路电流校验：

$$K_s = \frac{I_{k-min}^{(2)}}{I_{op}} \quad (3-2)$$

要求灵敏度系数大于 1.5 。

2、横联差动保护。保护装置的動作电流按下面的条件整定：

(1) 保护装置的動作电流应躲过正常时，电流互感器二次侧差动回路中的最大不平衡电流：

$$I_{op-r} \geq K_{rel} I_{dsp} \quad (3-3)$$

式中, I_{dsp} ——不平衡电流。

(2) 单台电容器内部 50%~75% 串联元件击穿时, 保护装置应有一定的灵敏系数, 即 $K_s \geq 1.5$

$$I_{opt} \leq \frac{Q\beta_c}{U_{NC}(1-\beta_c)k_{TA}K_s} \quad (3-4)$$

3、单相接地保护。保护装置的一次动作电流按具有最小灵敏度系数 1.5 整定:

$$I_{op} \leq \frac{I_c \Sigma}{1.5} \quad (3-5)$$

4、过电压保护。保护装置动作电压按母线电压不超过 110% 额定电压值整定:

$$U_{op,r} = 1.1U_{N2} \quad (3-6)$$

保护装置动作于信号或带 3~5min 时限动作于跳闸。

以上各式中:

K_{rel} ——可靠系数, 取 2~2.5;

K_{wc} ——接线系数, 接于相电流时取 1, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;

K_{TA} ——电流互感器变比;

I_{NC} ——电容器组的额定电流 (A);

I_{OP} ——保护装置一次动作电流 (A);

I_{dsp} ——最大不平衡电流 (A), 由测试决定;

Q ——单台电容器额定容量 (KVA);

β_c ——单台电容器元件击穿相对数, 取 0.5~0.75;

U_{NC} ——电容器额定电压 (KV);

U_{N2} ——电压互感器二次额定电压 (V)。

3.2.3.3 其它保护

本部分其他内容, 相间距离保护、线路电流电压保护、零序电流保护、自动重合闸等保护原则及计算方法相对简单, 可参考相关文献, 这里不再赘述。

3.4 短路电流的计算

计算短路电流的目的是为了正确选择和校验电气设备, 避免在短路电流作用下损坏电气设备, 如果短路电流太大, 必须采用限流措施, 以进行继电保护装置的整定计算。

为达到上述目的, 需计算如下短路参数:

I'' ——次暂态短路电流, 用来作为继电保护的整定计算和校验断路器的额定断流容量。

i_{sh} ——三相短路冲击电流, 用来校验电器和母线的动稳定。

I ——三相短路电流稳态有效值，用来校验电器和载流导体的热稳定。

S'' ——次暂态三相短路容量，用来校验断路器的遮断容量和判断母线短路容量是否超过规定值，作为选择限流电抗器的依据。

3.4.1 无限大电源供给的短路电流计算

无限大电源容量是个相对概念，它是指电源距短路点较远时，电源的额定容量远大于系统供给短路点功率。所以，在短路过程中认为电源电压不变，也就是说电源的内阻为零。但实际上电源的阻抗仍有一定数值，只要电源的阻抗不超过短路回路阻抗的 10% 时，就可以忽略电源的阻抗。

如果计算电抗标么值 $X_{\Sigma}' \geq 3$ 时，可认为短路周期分量在整个短路过程中始终不变。其短路电流计算方法与电源为无限容量时的短路电流计算方法相同。

计算步骤：

1、按照供电系统图绘制等效电路图，要求在图上标出各元件的参数，对复杂的供电系统，还要绘制出简化的等效图。

2、选定基准容量和基准电压，并按照公式求出基准电流和基准电抗。

3、求出供电系统中各元件电抗标么值。

4、求出由电源至短路点的总电抗 X_{Σ}' 。

5、按下式可求出短路电流标么值。

$$I^* = \frac{1}{X_{\Sigma}'} \quad (3-7)$$

由于电源是无限大容量，所以短路电流周期分量保持不变。即：

$$I^* = I_{0.2}^* = I_{\infty}^* \quad (3-8)$$

6、求出短路电流和短路容量。

(1) 求出稳态短路电流 I_{∞} 和稳态短路容量 S_{∞} 。

$$I_{\infty} = I^* \cdot I_d \quad (3-9)$$

$$S_{\infty} = I^* \cdot S_d \quad (3-10)$$

(2) 求出短路冲击电流 i_{ch} 和短路全电流最大有效值 I_{ch}

$$i_{ch} = 2.55I_{\infty} \quad (3-11)$$

$$I_{sh} = 1.52I_{\infty} \quad (3-12)$$

3.4.2 电源为有限容量时的短路电流计算

电源为有限容量时，电源的阻抗就不能忽略。在短路过程中，由于短路回路阻

抗减小，短路电流必然增大，造成电源端电压下降，使短路电流周期分量产生衰减。工程上为简便计算，绘制成通用的短路电流计算曲线，以供计算短路电流时查用。

如果发电机未装自动电压调整装置，供电系统短路电流是从某一最大值减少到稳定值。

如果发电机装有自动电压调整装置，由于短路而造成端电压降低，为了使电压回升，可借助电压调整器增加发电机励磁电流。但因发电机激磁绕组的电感很大，使激磁电流的变动出现时滞，故端电压不能立刻上升。因此，在短路发生数个周期后调压器才起作用，所以自动电压调整器，对次暂态短路电流及短路电流冲击值没有任何影响，它仅使短路电流稳态值有所增加。

计算步骤：

- 1、按照供电系统及各元件参数，绘制计算系统图。
- 2、选取基准值。
- 3、求出各元件的电抗标么值。
- 4、求出各短路点的总电抗标么值 X_{Σ}^* 。

5、当所选取的基准容量与电源的总额定容量不相等时，必须将总电抗标么值换算成以电源总额定容量为基准的计算电抗。

$$X_{\Sigma}' = X_{\Sigma}^* \frac{S_{N\Sigma}}{S_d} \quad (3-13)$$

6、根据计算电抗 X_{Σ}' 数值，去查与电源相对应的计算曲线，便可查出不同时间的短路标么值。

第四章 邯郸电力设计院电气设计软件的开发

4.1 软件概述

本软件在调研、研究、分析的基础上，通过对比、分析各种软件的开发方法、软件平台，以及用户使用情况，综合考察市场现有电气设计软件的各种优缺点，同时结合电力系统设计的基本方法、原则，以及河北邯郸电力系统的实际，编写而成。软件界面简单适用，容易上手，计算内容适合于邯郸电力设计院进行电气设计计算、开发，实用性强，而且各界面功能按钮基本一致，便于设计人员在很短时间里即可熟练使用。

软件主要包括三个部分：

1、电气一次部分：包括 1) 短路电流计算；2) 接地计算；3) 防雷计算；4) 导线力学计算；5) 主要设备校验；6) 导体选择。

2、电气二次继电保护计算部分：包括 1) 相差高频保护计算；2) 高频闭锁距离保护；3) 变压器保护；4) 横差保护；5) 相间距离保护；6) 线路电流电压保护；7) 零序电流保护；8) 自动重合闸；9) 电力电容器保护。

3、共用部分：包括 1) 设计施工手册；2) 招标书范本；3) ISO9000 系列标准；4) 典型设计；5) 施工质量标准。

本软件具有很强的针对性和实用性。首先，软件考虑了与邯郸电力系统实际相结合，在软件开发过程对邯郸电力系统的网架结构，设备构成，运行情况、经济性和可靠性等进行大量的统计和分析。作者依托邯郸电力设计院的现有资料并不断的进行资料搜集和现场调研，从中提炼出了有用信息并加以整理，最后将其融入到软件开发之中，保证了软件与邯郸电力系统实际情况的紧密结合。而且，软件考虑了与邯郸电力设计院的设计思路和设计模式相结合的必需性。因为该软件的面向对象是邯郸电力设计院，而且长期以来，邯郸电力设计院根据实际情况，形成了一套适合本地实际的电气设计方法和设计思路，这些方法和思路都是实际经验的总结，非常重要而且及其珍贵。将这些既具体又实用的方法吸收过来的理念，贯穿了作者软件开发过程的始终，促成了该软件的成功研发。

4.2 短路电流计算实例

4.2.1 邯郸留旺 220kV 变电站

变压器参数及依据计算结果绘制网络图：

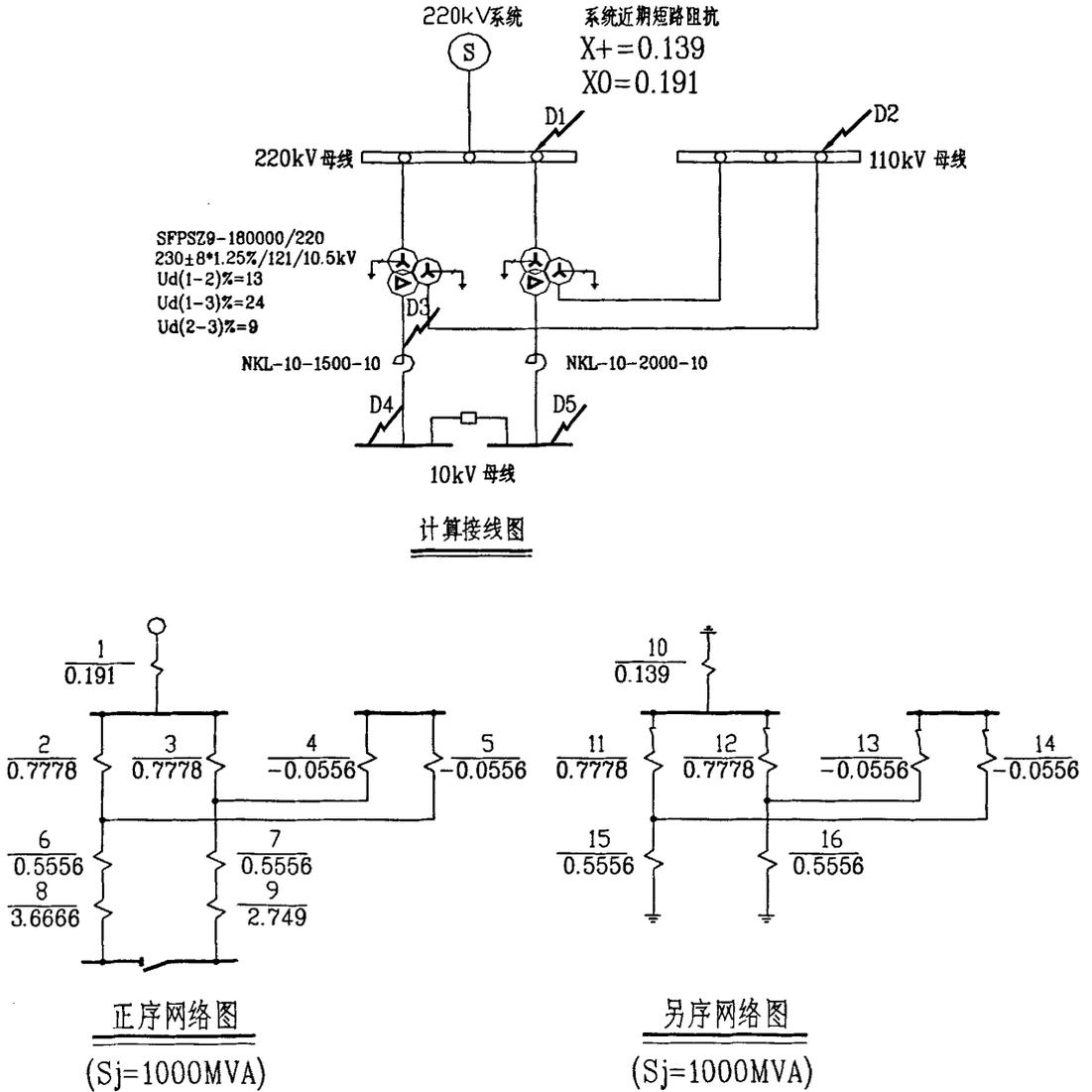


图 4.1 邯郸留旺 220kV 变电站系统网络图

程序界面:

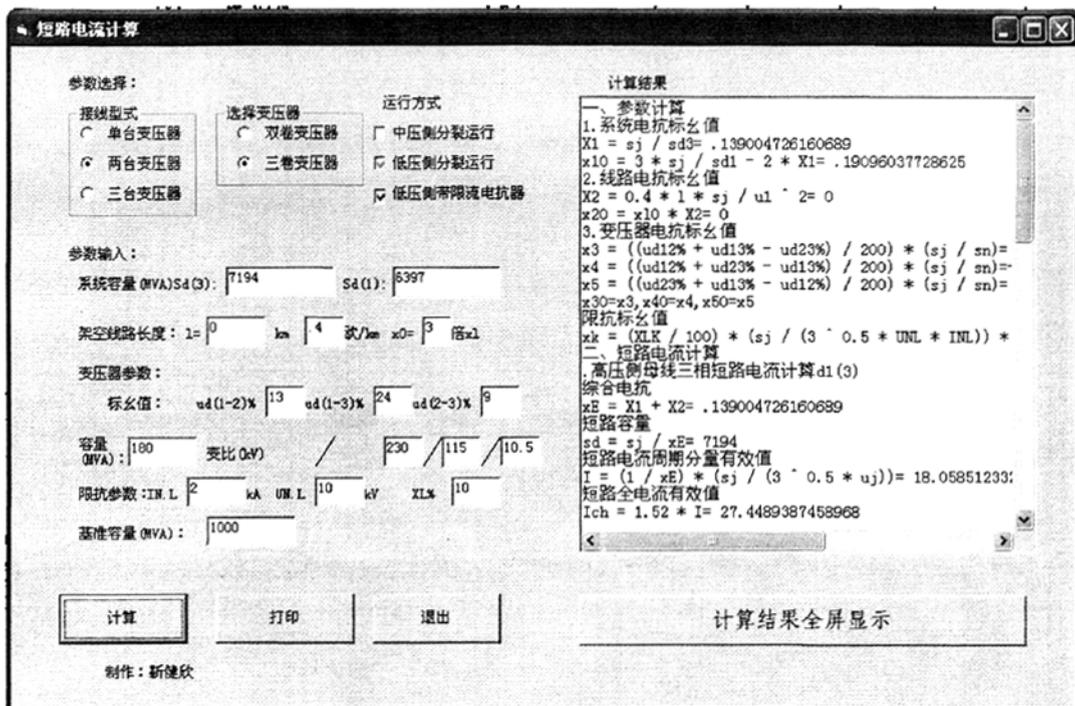


图 4.2 短路电流计算的软件界面 1

打印计算结果: (单位: 电流 (kA) 容量 (MVA))

一、参数计算

1、系统电抗标么值

$$X1 = sj / sd3 = .139004726160689$$

$$x10 = 3 * sj / sd1 - 2 * X1 = .19096037728625$$

2、线路电抗标么值

$$X2 = 0.4 * 1 * sj / u1^2 = 0$$

$$x20 = x10 * X2 = 0$$

3、变压器电抗标么值

$$x3 = ((ud12\% + ud13\% - ud23\%) / 200) * (sj / sn) = .777777777777778$$

$$x4 = ((ud12\% + ud23\% - ud13\%) / 200) * (sj / sn) = 5.55555555555556E-02$$

$$x5 = ((ud23\% + ud13\% - ud12\%) / 200) * (sj / sn) = .555555555555556$$

$$x30 = x3, x40 = x4, x50 = x5$$

4、限抗标么值

$$xk = (XLK / 100) * (sj / (3^{0.5} * UNL * INL)) * (UNL^2 / Ud^2) = 2.61836856775341$$

二、短路电流计算

1、高压侧母线三相短路电流计算 d1(3)

综合电抗: $x_E = X_1 + X_2 = .139004726160689$;

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 7194$;

短路电流周期分量有效值:

$$I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 18.0585123328268;$$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 27.4489387458968$;

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 46.0492064487084$;

2、中压侧母线三相短路电流计算:

综合电抗: $x_E = .500115837271801$;

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 1999.53675823412$

短路电流周期分量有效值:

$$I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 10.0385485706176$$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 15.2585938273387$

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 25.5982988550748$

3、低压侧三相短路计算

综合电抗: $x_E = 1.0535346406906$

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 949.185685384287$

短路电流周期分量有效值:

$$I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 52.1916772350055$$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 79.3313493972084$

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 133.088776949264$

4、低压侧限抗后三相短路计算

综合电抗: $x_E = 3.67190320844401$

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 272.338333347233$

短路电流周期分量有效值

$$I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 14.9747247684456$$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 22.7615816480374$

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 38.1855481595364$

5、高压侧单相短路计算

综合电抗: $x_E = .19096037728625$

短路容量: $s_d = 3 * s_j / (2 * (X_1 + X_2) + x_E) = 6397$

短路电流周期分量有效值: $I = s_d / (3^{0.5} * u_j) = 16.0578681391567$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 24.4079595715182$

短路冲击电流峰值: $i_{ch} = 2.55 * I = 40.9475637548495$

中性点短路电流: $I = 2.01169665459014$

4.2.2 邯郸兴业 110kV 变电站

两回线路一主一备，按最大短路情况考虑，取永年站运行。

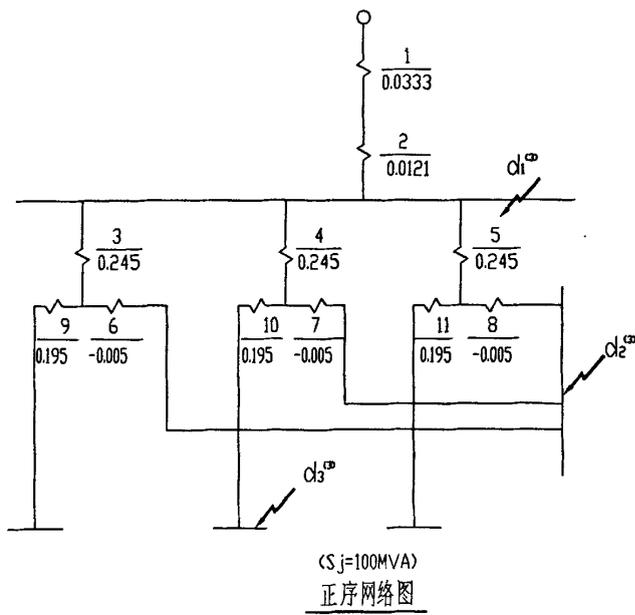
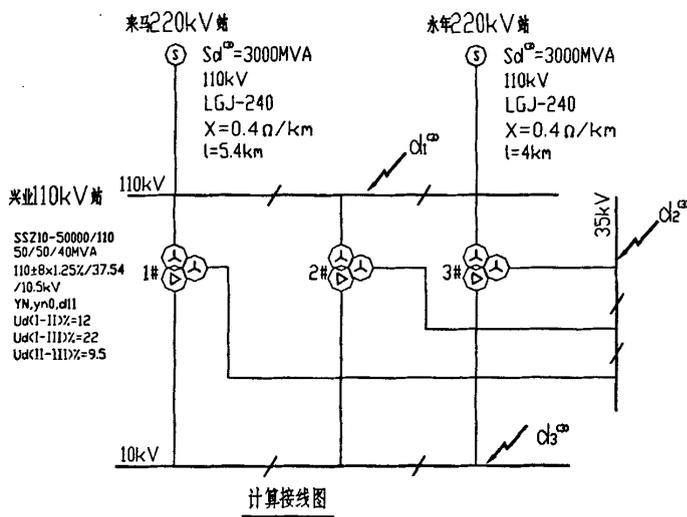


图 4.3 邯郸兴业 110KV 变电站系统网络图

程序界面

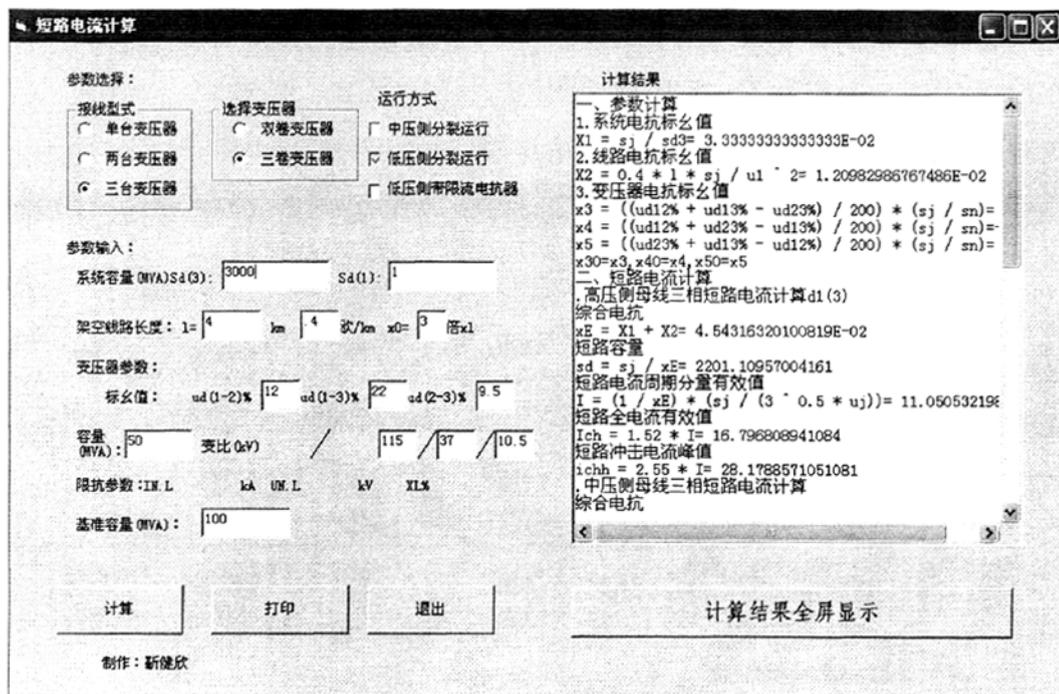


图 4.4 短路电流计算的软件界面 1

打印计算结果：单位（kA）容量（MVA）

一、参数计算

- 1、系统电抗标么值： $X1 = sj / sd3 = 3.33333333333333E-02$
- 2、线路电抗标么值： $X2 = 0.4 * 1 * sj / u1^2 = 1.20982986767486E-02$
- 3、变压器电抗标么值

$$x3 = ((ud12\% + ud13\% - ud23\%) / 200) * (sj / sn) = .245$$

$$x4 = ((ud12\% + ud23\% - ud13\%) / 200) * (sj / sn) = -.005$$

$$x5 = ((ud23\% + ud13\% - ud12\%) / 200) * (sj / sn) = .195$$

二、短路电流计算

1、高压侧母线三相短路电流计算 d1(3)

综合电抗： $xE = X1 + X2 = 4.54316320100819E-02$

短路容量： $sd = sj / xE = 2201.10957004161$

短路电流周期分量有效值

$$I = (1 / xE) * (sj / (3^{0.5} * uj)) = 11.0505321980816$$

短路全电流有效值： $Ich = 1.52 * I = 16.796808941084$

短路冲击电流峰值： $ichh = 2.55 * I = 28.1788571051081$

2、中压侧母线三相短路电流计算

综合电抗: $x_E = .125431632010082$

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 797.247061187582$

短路电流周期分量有效值

$$I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 12.4402920374943$$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 18.9092438969913$

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 31.7227446956104$

3、低压侧三相短路计算

综合电抗: $x_E = .318695520898971$

短路容量: $s_d = s_j / x_E = 313.779119699962$

短路电流周期分量有效值: $I = (1 / x_E) * (s_j / (3^{0.5} * u_j)) = 17.253377069034$

短路全电流有效值: $I_{ch} = 1.52 * I = 26.2251331449317$

短路冲击电流峰值: $i_{chh} = 2.55 * I = 43.9961115260367$

4.3 防雷计算实例

邯郸玉林 220kV 站防雷保护软件应用实例。本站除 35kV 配电装置外均为室外布置，其中：

1、变压器 220kV 引线架构保护高度 14 米，220kV 母线保护高度 10 米。

2、变压器 110kV 引线架构保护高度 12.5 米，其余 110kV 配电装置保护高度 10.5 米。

本站设 4 支 30 米针作为直击雷保护。根据《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620-1997) 编制计算程序。参数说明如下：

h ——避雷针高度；

h_x ——被保护物高度；

h_a ——避雷针有效高度；

D ——避雷针间距；

r_x ——避雷针最小保护半径；

P ——高度影响系数；

程序界面:

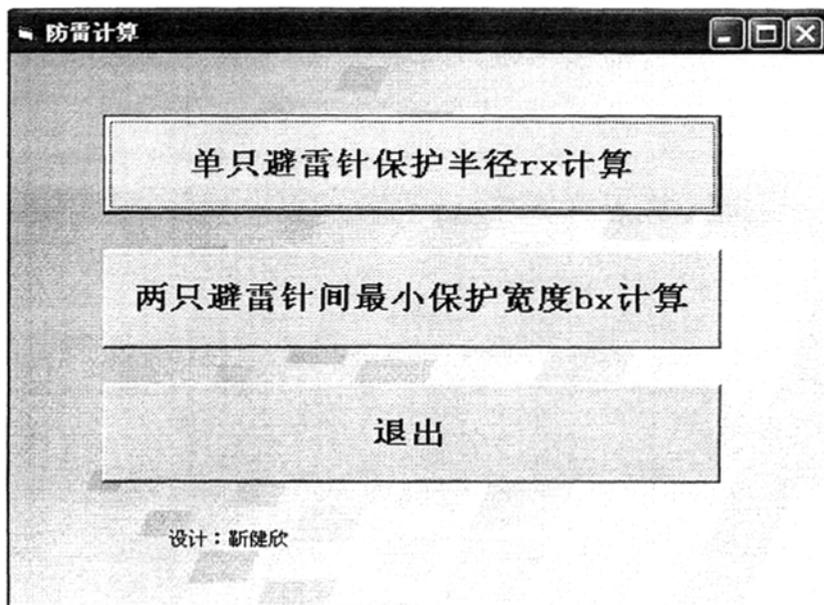


图 4.5 防雷计算程序主界面

单只避雷针保护半径 r_x 计算:

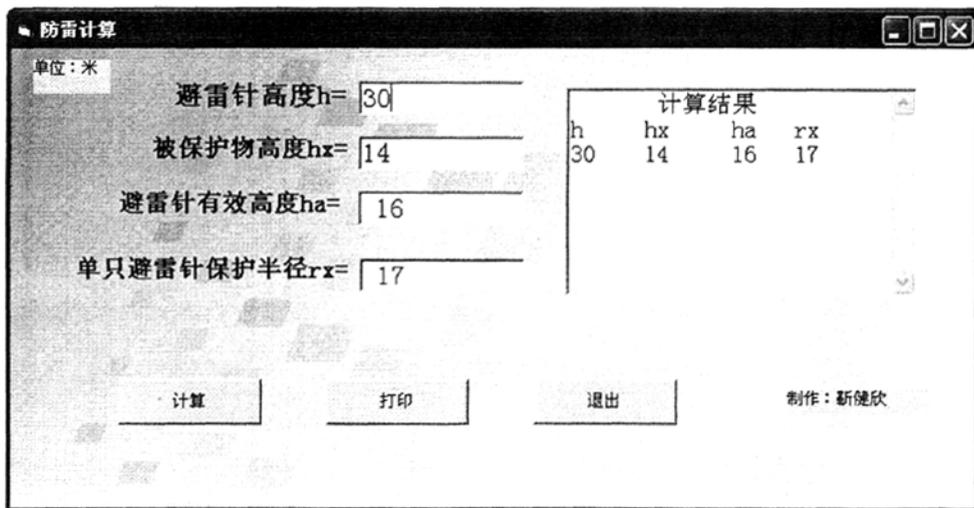


图 4.6 防雷计算程序单只避雷针保护半径计算界面

避雷针保护半径 17 米

两只避雷针间最小保护宽度 bx (单位: 米) 计算:

防雷计算

数据输入: 单位: 米

避雷针高度 h_1 ($h_1 \geq h_2$)

避雷针高度 h_2

被保护物高度 h_x

两避雷针间距 D

(查表) bx/haP

计算结果:

避雷针有效高度 h_a

D'

D' / haP

最小保护半径(查表) bx

$h_x = .466666$ 计算 bx

计算结果									
h_1	h_2	h_a	h_x	D	D'	D' / haP	bx/haP	bx	bx (计算)
30	30	16	14	72	72	4.5	0.53	8.48	5.71
30	30	16	14	71.44	71.4	4.46	0.52	8.32	5.79
30	30	16	14	94.33	94.3	5.89	0.26	4.16	2.52
30	30	16	14	94.33	94.3	5.89	0.31	4.96	2.52
30	30	16	14	71.79	71.7	4.48	0.53	8.48	5.74
30	30	16	14	54.76	54.7	3.42	0.75	12	8.17

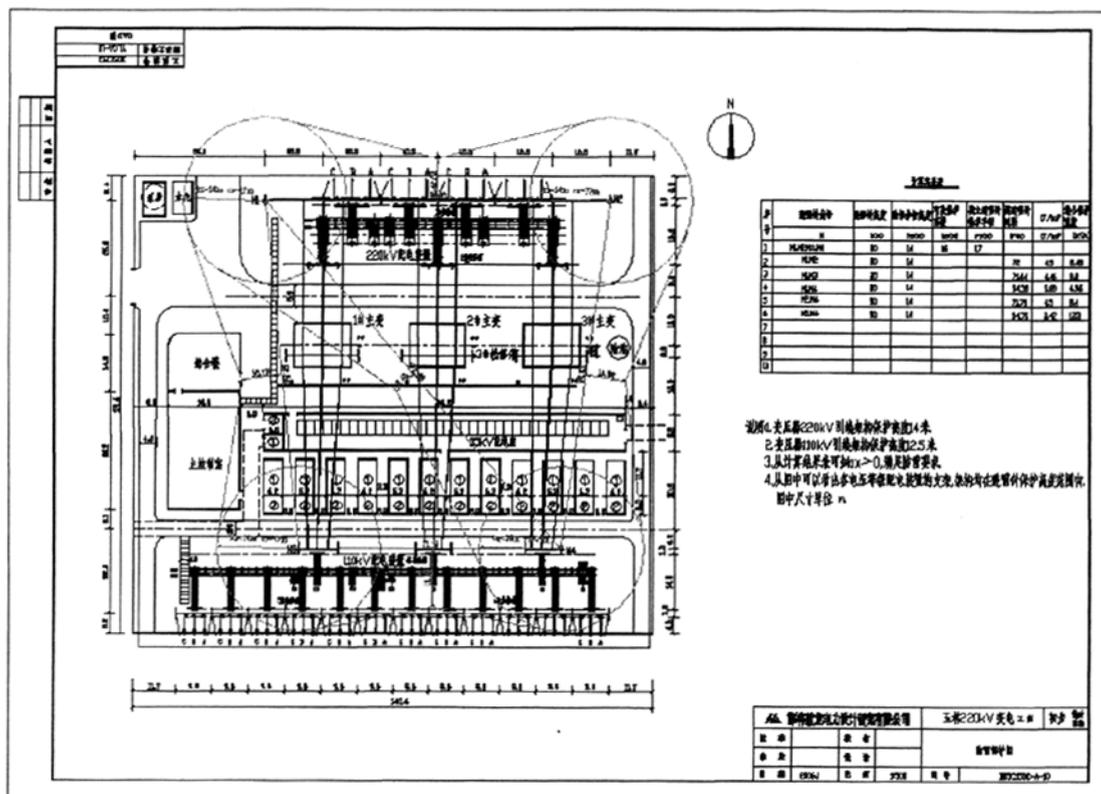
制作: 靳健欣

计算 打印 退出

图 4.7 防雷计算程序两只避雷针间最小保护宽度计算界面

结论: 从计算结果可以看出 $bx > 0$, 本站室外配电装置均在避雷针保护范围内。

防雷保护图:



4.4 接地电阻计算实例

4.4.1 邯郸滏东 220kV 变电站接地电阻计算

根据《交流电气装置的接地》DL/T 621-1997 编制计算程序。

实测土壤电阻率并考虑季节系数土壤电阻率取 100。

计算软件界面：

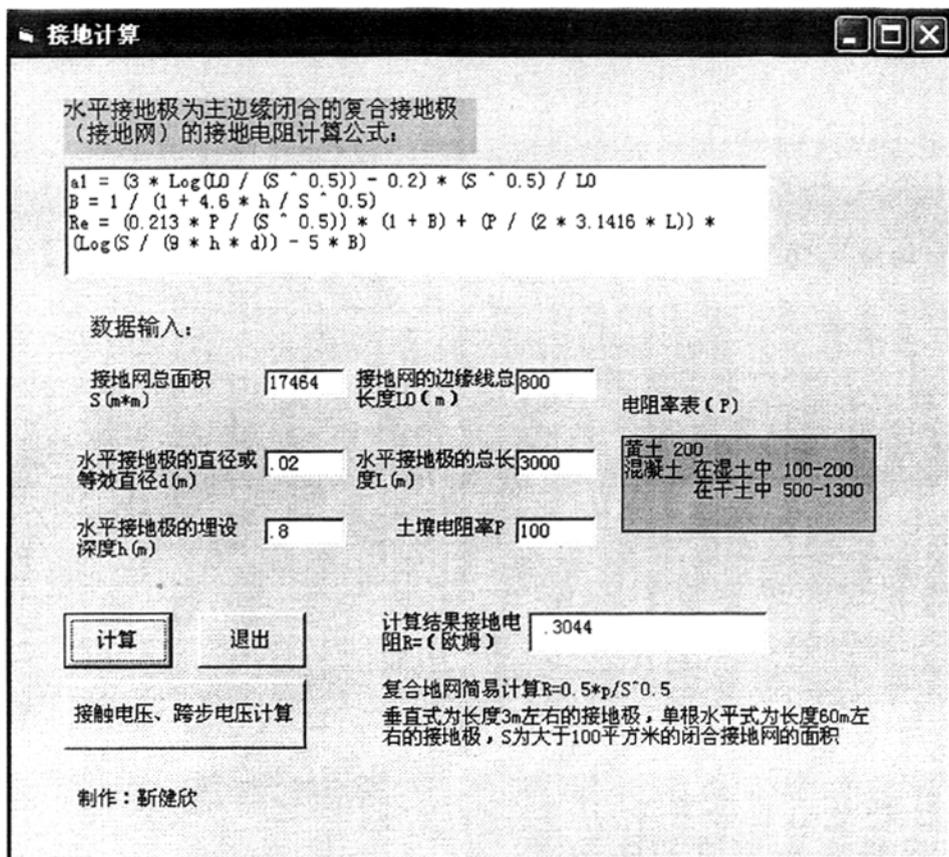


图 4.9 接地电阻计算界面

计算结果 R=0.3 欧。

4.4.2 邯鄲滏东 220kV 变电站接触电位差、跨步电压计算

计算条件：

- 1) 220kV 单相接地最大短路电流：32.9kA
- 2) 220kV 主变中性点电流：2kA
- 3) 避雷线工频分流系数 ke1=0.1 ke2=0.1

计算界面:

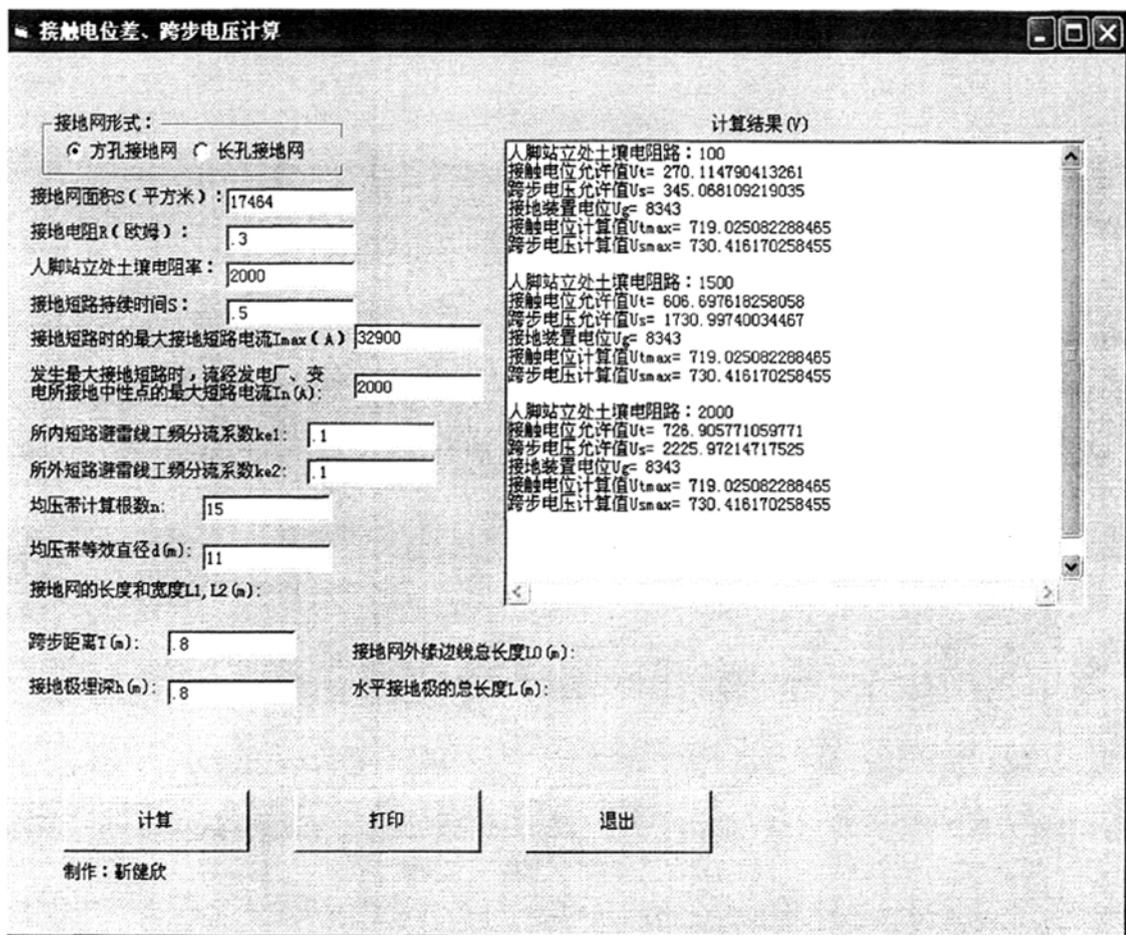


图 4.10 触电位差、跨步电压计算界面

通过计算人脚站立处电阻率不小于 2000 时满足接触电位差和跨步电压要求, 变电站内地面需进行处理, 如: 铺砾石、沥青等使地面电阻率大于 2000。

4.5 继电保护计算及其他功能

程序主界面如下，继电保护计算主要有相差高频保护、高频闭锁距离保护、变压器保护、横差保护、相间距离保护、线路电流电压保护、零序电流保护、自动重合闸、电力电容器保护等 9 部分。

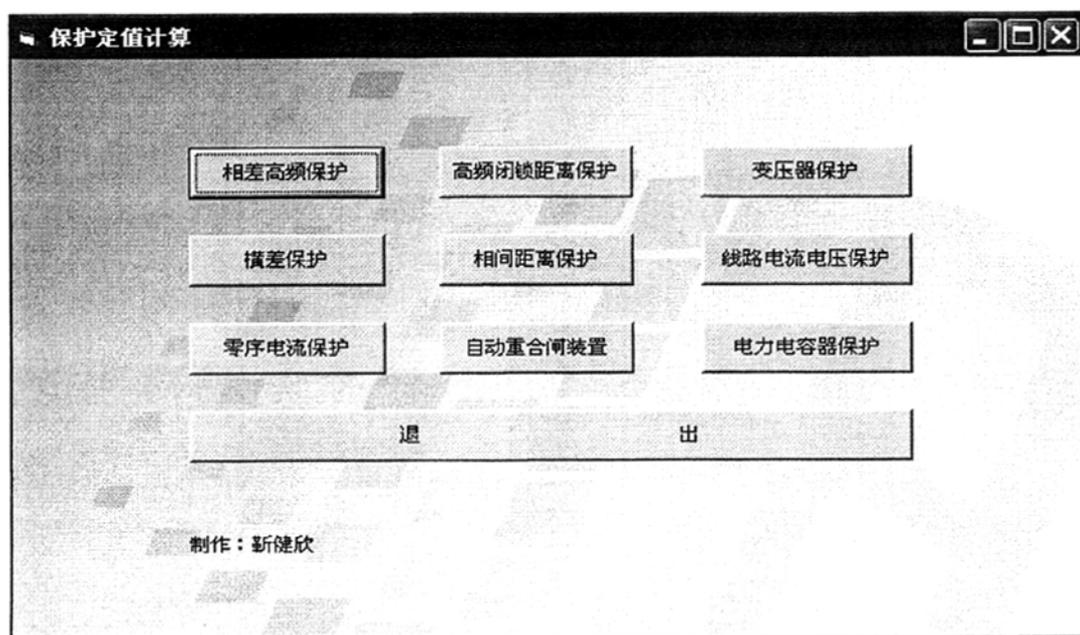


图 4.11 继电保护计算界面

此外，程序包中收录有《220KV 户外、户内布置典型设计方案》、《电气设计手册》、《电气工程师手册》、《供配电设计手册》、《建筑电气设计手册》以及《招标规范书》（包括电气一次部分、二次部分以及线路部分）等辅助设计的相关规程规范。

第五章 结论

电气和自动化领域日新月异的发展对工程项目设计的速度、质量、规范等提出了更高的要求。仅仅依靠手工设计和计算机辅助计算、做图的设计方式已经不能满足当前电气设计领域的需要。开发和采用专业化、智能化的设计软件已经成为当今电气工程师的当务之急。

然而，电气软件包发展至今，虽已有长足进步，但针对性差的缺点是显而易见的。虽然所有电气软件商均直称其软件可涵盖常规电气工程设计的全部内容，但实际情况是每个软件或多或少都有一些功能模块与实际应用有较大距离，有些甚至让用户无从着手。所以对当前电气软件包的应用，只是减少设计人员劳动强度、提高设计质量与效率的第一步，只有开发出具有更强针对性的工具，才有可能完全摆脱现行的繁琐的设计手段。

本文作者在深入学习的有关电力系统电气设计方面的相关知识的基础上，结合自身工作经验，在负责完成邯郸电力设计院电气设计软件包工作过程中，主要取得以下的成果：

(1) 对电气一次设计常用的短路电流计算、防雷计算、接地计算、跨步电压及接触电位差校验等计算功能进行了相关的分析与设计。

(2) 对电气二次设计相关的变压器保护、距离保护、自动重合闸、横差保护、零序电流保护、电力电容器保护、线路电流电压保护、高频保护等继电保护定值计算功能进行了分析与设计。

(3) 完成了邯郸电力设计院电气设计软件包的开发，在密切结合邯郸电力系统实际以及邯郸电力设计院的传统设计思路的基础上，该电气软件包做到了针对性、实用性、适用性较强，且界面友好、方便使用；可以在很大程度上提高了电气设计自动化程度，从而不但减少了不必要的人为操作过程、节约大量人力物力还提高了电气设计的水平。

在工作中，作者突破了许多应用中所遇到的难题，积累了在相关软件开发、应用方面的实践经验。然而，随着计算机技术的不断发展，电力系统运行、管理方式的不断改进，以及电气设计思路的不断调整，对电气设计软件必然会提出具体新的要求。因此本电气设计软件包也应该进一步努力改进，向自动化、专业化、适应化的方向发展。

参考文献

- [1] 中国电力规划协会. 《注册电气工程师执业资格考试相关标准汇编》(发输变电专业). 中国电力出版社出版, 2005.
- [2] 戈东方. 《电力工程电气设计手册》. 中国电力出版社出版.
- [3] 巫松楨. 《电气工程师手册》(第二版). 机械工业出版社, 2003.
- [4] 焦留成. 《供配电设计手册》. 中国计划出版社, 1999.
- [5] 马志溪. 《电气工程设计》. 机械工业出版社, 2002.
- [6] 谭浩强. 《Visual BASIC 程序设计》. 清华大学出版社, 2000.
- [7] 刘振辉. 《2006年最新电力工程施工质量达标与质量检查验收技术标准规范及国家强制性条文》. 中国电力电子出版社. 2006.
- [8] 刘振亚. 《国家电网公司输变电工程典型设计》(220kV变电站分册). 中国电力出版社, 2005.
- [9] 新型电力系统离线仿真计算软件功能探讨[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 99-100.
- [10] 史亚南. 乌海电网短路电流计算软件的开发[D]. 天津: 天津大学, 电气与自动化工程学院, 2003.
- [11] 王振. 配电网潮流分析计算方法及数据库的开发研究[D]. 福建: 福州大学, 电气工程与自动化学院, 2006.
- [12] Borchi, S.; Capece, P.; Di Fausto, M.; Mazzieri, U.; Votta, M.; Electrical design of a wideband, high efficiency circularly polarized 4-patches subarray[J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 1992. AP-S. 1992 Digest. Held in Conjunction with: URSI Radio Science Meeting and Nuclear EMP Meeting., IEEE. 18-25 July 1992 Page(s):1931 - 1934 vol.4.
- [13] Lee, E.S.; Wilson, T.G., Jr.; Electrical design inspection: a methodology for using circuit simulation in the design and development of electronic power supplies. Power Electronics, IEEE Transactions on Volume 8, Issue 4, Oct. 1993 Page(s): 475 - 485.
- [14] 严伟. 电气设计CAD软件包的分析比较与应用展望[J]. 建筑电气, 1998, 2: 28-33.
- [15] 赵瑛. 电气设计软件EDSA简介[J]. 华北石油设计, 2001, 1: 18-20.
- [16] 谢曼尼. 电气设计软件INTER-DQ V3.0[J]. 电世界, 2001, 4: 27.
- [17] 朱同心, 李铁, 张晨. 基于数据管理的GIS电控柜电气设计软件的设计思路与实现[J]. 电力设备, 2006, 7(7): 66-67.

- [18] 谢畅. 建筑电气设计软件的编制和应用[J]. 宁夏技术, 2002, 3: 49.
- [19] 徐慧妮. 威图公司EPLAN发布最新软件Electric P8[J]. 产业经济报道, 2007, 24(6): 35.
- [20] 李志远, 张璟. 在电力院集成设计中应用智能设计软件PROMIS.E[J]. 电气时代, 2007, 7: 114-115.
- [21] Basma, B.H.; Frederic, W.; Jean, B.; Eric, A.; An integrated platform for electrical design. Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE. Volume 2, 29 Nov.-3 Dec. 1999 Page(s):809 - 814 vol.2.

致 谢

本文的各项工作是在焦彦军副教授的精心指导下完成的，在论文的选题和每个研究阶段，无不倾注着导师的大量心血。导师在学术上广博而深厚的知识，宽阔的视野，一丝不苟、精益求精的治学作风和崇高的敬业精神以及对学生的无微不至的关怀是我毕生学习的榜样。在此，谨向我尊敬的导师在学术上的教诲和生活上的照顾致以衷心的感谢。

论文研究过程中同时得到了李燕青副教授和河北省电力公司周显贵高级工程师的指导和帮助，对于两位老师在论文及工作的悉心指导表示深深的感谢。同时感谢邯郸电力设计院各位同事的帮助和指导。

还要特别地感谢我的家人，正是他们的全力支持和关心理解才使我的论文得以顺利完成！感谢所有曾给予我帮助、支持、关心、鼓励的老师、同学、朋友和亲人！

在学期间发表的学术论文和参加科研情况

[1] 《国家电网公司输变电工程典型设计 220kV 变电站分册》(河北省电力公司实施方案), 主编: 张印明, 编写: 靳健欣等, 河北教育出版社, 2007 年 1 月。

[2] 《国家电网公司输变电工程典型设计 110kV 变电站分册》(河北省电力公司实施方案), 主编: 张印明, 编写: 靳健欣等, 河北教育出版社, 2007 年 1 月。