

《电网规划课程设计》

指导书(参考)

长沙理工大学电气与信息工程学院

2025.12

目 录

| | |
|---|----|
| 第一章 设计的目的和要求 | 1 |
| 第一节 电网规划与设计规范与基本要求 | 1 |
| 一、电网规划与设计目的 | 1 |
| 二、设计进程 | 1 |
| 三、设计要求 | 2 |
| 第二节 电网规划与设计需搜集的基础资料 | 2 |
| 一、文献收集 | 2 |
| 二、设备铭牌参数 | 2 |
| 三、准备知识 | 4 |
| 第三节 电网规划设计报告的撰写与要求 | 4 |
| 一、撰写设计报告 | 4 |
| 二、图纸及附录 | 5 |
| 三、撰写设计报告的格式与要求 | 5 |
| 第二章 设计步骤 | 7 |
| 第一节 根据任务书的原始资料，检验系统的功率平衡和确定电厂的运行方式 | 7 |
| 一、有功功率平衡 | 7 |
| 二、无功功率平衡（选做） | 8 |
| 第二节 电力网接线方案设计及经济比较 | 9 |
| 一、电力网接线方案的初步选择 | 9 |
| 二、初选合理方案的初步设计 | 10 |
| 三、方案的比较和筛选 | 12 |
| 第三节 变压器的选择和计算 | 14 |
| 一、变压器的额定容量选择 | 14 |
| 二、变压器的型号选择 | 15 |
| 第四节 网络潮流计算 | 15 |
| 第五节 电压调整计算 | 15 |
| 第三章 电力系统稳态分析中潮流计算和调压计算 | 18 |
| 第一节 主要潮流计算软件简介 | 18 |
| 一、psasp | 18 |
| 二、BPA | 19 |
| 三、Power World | 19 |
| 四、ETAP | 20 |
| 五、PSSE | 21 |
| 第二节 电力系统分析综合程序（psasp）使用步骤 | 22 |
| 一、PSASP 潮流计算流程 | 22 |
| 二、PSASP 潮流计算操作步骤 | 22 |
| 三、PSASP 常见问题解答 | 38 |
| 第三节 电力系统分析综合程序（psse）使用步骤 | 41 |
| 一、PSSE 潮流计算流程 | 41 |

| | |
|----------------------|----|
| 二、PSSE 潮流计算操作步骤..... | 41 |
| 三、PSSE 常见问题解答..... | 48 |

第一章 设计的目的和要求

第一节 电网规划与设计规范与基本要求

电网课程设计是学生学习电力系统稳态分析课程后的一次综合性训练，复习巩固本课程及其他课程的有关内容，增强工程观念，学习专业软件和工具和培养电力网规划设计的能力。

一、电网规划与设计目的

(1) 能够运用工程基础和电气工程学科的基本原理，确定供电电压等级、初步拟定若干待选的电力网接线方案、变电所主变压器选择、潮流计算、调压计算等。

(2) 对给定的原始资料借助数学和工程基本知识进行网络规划问题的分析。

(3) 借助电气工程专业知识、经济学知识对网络规划的技术、经济等诸多方面的综合比较，初步拟定符合给定要求的电网规划方案。

(4) 掌握基本的电气科学原理，熟悉潮流计算方法、各电气设备选择方法

(5) 能够通过对比不同的计算方法，得出最合适特定所设计电网的规划方案 and 对应参数；

(6) 在网络规划过程中保持创新意识，能尽量综合考虑各方面影响因素。

(7) 根据参考文献和搜集的数据以及计算结果，合理选择电压等级、线路的型号和连接方式、变压器的数量和型号、变压器分接头的选择，是否增加无功补偿装置及其容量等，给出合理有效的结论。

(8) 课程设计的过程中，既要能体现工作内容的明确分工，又要讲求成员间的团结协作。

(9) 课程设计过程中，通过教师答疑、成员互助等方式的交流，提升学生解决问题的能力；通过撰写合格的设计文稿及最终答辩环节完成电网规划课程设计。

二、设计进程

本次电力系统规划设计是根据给定的发电厂、变电所原始资料完成如下设计：

(1) 确定电网中各条线路、变电站电压等级；

- (2) 初步拟定若干待选的电力网接线方案;
- (3) 电力网接线方案的技术、经济比较;
- (4) 输电线路导线截面选择;
- (5) 发电厂、变电所主变压器选择;
- (6) 变电站无功补偿容量选择;
- (7) 电网潮流和调压计算;

三、设计要求

- (1) 设计中应严格遵守课程设计的规章制度, 按时到设计教室进行设计, 任何人不得迟到、早退和无辜缺席;
- (2) 同学应根据设计要求独立完成课程设计任务, 同组成员之间可以商量讨论, 但严禁相互抄袭;
- (3) 设计完成后, 每个同学应提交打印的设计说明书一份, 课程设计说明书编写和电路图绘制应附和规范要求;
- (4) 按时参加课程设计答辩。

第二节 电网规划与设计需搜集的基础资料

一、文献收集

学生在课程设计开始, 首先调查、收集和获取的文献等资料是写好设计的必要准备, 是完成设计的必要基础。技术资料可以是来自生产-线的真实资料, 也可以是从专业论文、期刊杂志、技术手册、学术专著中搜寻的别人实践和研究的成果和参数, 要加以标注。

二、设备铭牌参数

如设计示例中所用的设备型号见下列表中的内容。表一:110KV 架空输电线路单位投资指标; 表二:220KV 架空输电线路单位投资指标; 表三:110KV 及以上送电线路的电容值及充电功率:最大负荷损耗小时 τ_{\max} 与最大负荷利用小时 $T_{\max}(h)$ 、功率因数 $\cos \varphi$ 之间的关系:表五:各发电厂厂用电率; 同理, 变压器等设备铭牌参数也可查阅其他文献及网页等。

表一 110KV 架空输电线路单位投资指标

| 类 别 | 单回线路单位长度综合造价 | 同杆双回单位综合造价 | |
|---------|--------------|------------|---------|
| LGJ—400 | 50万元 / 公里 | 60 | 万元 / 公里 |
| LGJ—300 | 45万元 / 公里 | 55 | |
| LGJ—240 | 40万元 / 公里 | 48 | |
| LGJ—185 | 35万元 / 公里 | 42 | |
| LGJ—150 | 30万元 / 公里 | 36 | |
| LGJ—120 | 30万元 / 公里 | 36 | |

表二 220KV 架空输电线路单位投资指标

| 类 别 | 单回单位造价指标 | 同杆双回单位造价 |
|---------|-----------|----------|
| LGJ—400 | 60万元 / 公里 | +20% |
| LGJ—300 | 55万元 / 公里 | +20% |
| LGJ—240 | 50万元 / 公里 | +20% |
| LGJ—185 | 45万元 / 公里 | +20% |
| LGJ—150 | 40万元 / 公里 | +20% |
| LGJ—120 | 35万元 / 公里 | +20% |

表三 110KV 及以上送电线路的电容值及充电功率 ($\mu F / 100km$ 、Mvar/100km)

| 导线型号 | 110KV | | 220KV | | | | 500KV | |
|------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| | 单导线 | | 单导线 | | 二分裂 | | 四分裂 | |
| | C_L | $Q_{C \cdot L}$ | C_L | $Q_{C \cdot L}$ | C_L | $Q_{C \cdot L}$ | C_L | $Q_{C \cdot L}$ |
| LGJ-95/20 | 0.844 | 3.504 | | | | | | |
| LGJ-120/25 | 0.860 | 3.572 | | | | | | |
| LGJ-150/25 | 0.871 | 3.618 | | | | | | |
| LGJ-185/30 | 0.885 | 3.675 | 0.821 | 13.65 | 1.119 | 18.59 | | |
| LGJ-210/35 | 0.896 | 3.721 | 0.831 | 13.80 | 1.127 | 18.37 | | |
| LGJ-240/40 | 0.905 | 3.758 | 0.838 | 13.93 | 1.134 | 18.85 | | |
| LGJ-300/40 | 0.920 | 3.820 | 0.851 | 14.14 | 1.146 | 19.05 | 1.270 | 110.0 |
| LGJ-400/50 | 0.942 | 3.912 | 0.870 | 14.46 | 1.163 | 19.33 | 1.280 | 110.9 |
| LGJ-500/45 | | | 0.881 | 14.65 | 1.173 | 19.50 | 1.286 | 111.4 |

表四 最大负荷损耗小时 τ_{\max} 与最大负荷利用小时 $T_{\max}(h)$ 、功率因数 $\cos \varphi$ 之间的关系

| $\cos \varphi \backslash T_{\max}(h)$ | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 2000 | 1500 | 1200 | 1000 | 800 | 700 |
| 2500 | 1700 | 1500 | 1250 | 1100 | 950 |
| 3000 | 2000 | 1800 | 1600 | 1400 | 1250 |
| 3500 | 2350 | 2150 | 2000 | 1800 | 1600 |
| 4000 | 2750 | 2600 | 2400 | 2200 | 2000 |

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 4500 | 3150 | 3000 | 2900 | 2700 | 2500 |
| 5000 | 3600 | 3500 | 3400 | 3200 | 3000 |
| 5500 | 4100 | 4000 | 3950 | 3750 | 3600 |
| 6000 | 4650 | 4600 | 4500 | 4350 | 4200 |
| 6500 | 5250 | 5200 | 5100 | 5000 | 4850 |
| 7000 | 5950 | 5900 | 5800 | 5700 | 5600 |
| 7500 | 6650 | 6600 | 6550 | 6500 | 6400 |
| 8000 | 7400 | | 7350 | | 7250 |

各地区的电厂由于电源结构，机型和燃料种类的差异，厂用电率是不同的。一般应按本地区的电源结构和厂用电率实际情况进行分析后确定本系统的厂用电率。下列发电厂厂用电率可供参考用：

表五 各发电厂厂用电率

| 电厂类型 | 热电厂 | 凝气式电厂 | 小凝气式电厂 | 大、中型水电厂 | 小型水电厂 | 核电厂 |
|----------|-------|-------|--------|---------|-------|-----|
| 厂用电率 (%) | 10~15 | 8~10 | 5~6 | 0.3~0.5 | 1.0 | 4~5 |

三、准备知识

在学习《电力系统分析》、《发电厂电气设备》、《各种编程语言》等知识的基础上，充分利用计算机在工程中的应用方法和手段。特别是工程中用到的电气制图标准、常用代号、工程样本、常用编程技巧等都是在设计中体现并需补课的内容。学生在熟悉课题、调研、收集资料和数据的基础上，应对设计课题进行可行性分析并形成相应的文档。

第三节 电网规划设计报告的撰写与要求

一、撰写设计报告

包括：设计任务书；目录；内容；经济技术比较结果与过程；推荐方案运行方式计算；规划结论和建议；参考文献；附表或附计算过程等。其中应有相关设计原则、计算或分析方法、计算结果和结论等内容的清晰说明。对每一种计算应举例说明使用方法，对相同或类似的计算，只须写出计算结果。规划设计报告中应尽可能以表格列写和对比计算结果。

设计报告内容：

- (1) 设计任务介绍；
- (2) 电力系统功率平衡；

- (3) 电力系统规划方案选择;
- (4) 导线选择;
- (5) 发电厂变电站主变压器选择;
- (6) 电网潮流计算汇总;
- (7) 变压器分接头选择及调压;
- (8) 小结。

二、图纸及附录

附图——设计图纸

- (1) 电力系统接线图（含地理位置图）;
- (2) 最大及最小运行方式潮流分布图;
- (3) 电力系统阻抗图;

附表：主要技术经济指标统计；器材统计

参考资料（ [序号]作者，书名（文章题目），出版社（杂志），出版地，出版时间.）

三、撰写设计报告的格式与要求

论文摘要：

摘要应概括反映出设计报告的内容、方法、成果和结论。摘要中不宜使用公式、图表，不标注引用文献编号。中文摘要以 300 左右字为宜、外文摘要以 250 个实词左右为宜。

关键词：

关键词是供检索用的主题词条，应采用能覆盖设计（论文）主要内容的通用技术词条（参照相应的技术术语标准）。关键词一般为 3~5 个，按词条的外延层次排列（外延大的排在前面）。

目录：

目录按三级标题编写，要求标题层次清晰。目录中的标题应与正文中的标题一致。目录中应包括绪论、设计（论文）主体、结论、致谢、参考文献、附录等。

正文：

课程设计正文包括（供参考）：

(1) 选题背景：说明本设计课题的来源、目的、意义、应解决的主要问题及应达到的技术要求；简述本课题在国内外发展概况及存在的问题，本设计的指导思想。

(2) 方案论证：说明设计原理并进行方案选择，阐明为什么要选择这个设计方案（包括各种方案的分析、比较）以及所采用方案的特点。

(3) 过程（设计或实验）论述：指作者对自己的研究工作的详细表述。要求

论理正确、论据确凿、逻辑性强、层次分明、表达确切。

(4) 结果分析：对研究过程中所获得的主要的数据、现象进行定性或定量分析，得出结论和推论。

(5) 结论或总结：对整个研究工作进行归纳和综合，阐述本课题研究中尚存在的问题及进一步开展研究的见解和建议。结论要写得概括、简短。

注释：

设计中有个别名词或情况需要解释时，可加注说明。

参考文献：

按正文中出现的顺序列出直接引用的主要参考文献。毕业设计(论文)的撰写应本着严谨求实的科学态度，凡有引用他人成果之处，均应按论文中所出现的先后次序列于参考文献中。并且只应列出正文中以标注形式引用或参考的有关著作和论文。一篇论著在论文中多处引用时，在参考文献中只应出现一次，序号以第一次出现的位置为准。

致谢：

致谢中主要感谢导师和对论文工作有直接贡献及帮助的人士和单位。

附录：

对于一些不宜放入正文中、但作为设计报告又是不可缺少的部分，或有重要参考价值的内容，可编入附录中。例如，过长的公式推导、重复性的数据、图表、程序全文及其说明等。

第二章 设计步骤

第一节 根据任务书的原始资料，检验系统的功率平衡和确定电厂的运行方式

校验系统功率平衡的目的是分析系统的有功和无功电源容量是否足够，是否有必要补充装设有功或无功电源(做功率平衡时，应计及负荷的同时系数、网损及厂用电，并需要有足够的备用容量)。

一、有功功率平衡

系统最大负荷时的有功功率平衡可按下列各式依次计算：

用电负荷：

$$P_y = k_1 \sum_{i=1}^n p_{\max i} \quad (1)$$

供电负荷：

$$P_g = \frac{1}{1-k_2} P_y \quad (2)$$

发电负荷：

$$P_f = P_g + \sum_{j=1}^m P_{z,j} + \sum_{j=1}^m K_{3,j} P_{G,j} \quad (3)$$

式 $\sum_{i=1}^n p_{\max i}$ ——n 个变电所最大负荷之和；
 $\sum_{j=1}^m P_{G,j}$ ——m 个发电厂额定有功之和；
 k_1 ——同时系数（同时率），近似取 0.9；

k_2 ——网损率（一般网损率取 5%）

k_3 ——厂用电率，其取值与电厂类型相关（任务书给的具体值）

$P_{z,j}$ ——第 j 发电厂直配负荷。

按规定系统内的总装机容量应大于发电负荷 $\sum P_G > P_f$ ，即系统内应有足够的备用容量。按规定，系统的总备用容量不得低于系统最大发电负荷的 10%，亦即系统的总装机容量应大于或等于系统最大发电负荷的 1.1 倍。（如果不满足该情况，即还缺少电源，则需要尽早规划新建相应的电源）。

或有功平衡和备用容量校验应满足：

$$\sum P_G \geq k_1 \sum P_{\text{负荷.max}} + \sum \Delta P_{\text{网损}} + \sum P_{\text{厂用}} + P_{\text{备用}} \quad (4)$$

二、无功功率平衡（选做）

根据 SD325-89《电力系统电压和无功电力技术导则》规定，220KV 及以下电压级变电所，在主变压器最大负荷时，其二次侧功率因数应满足以下值：

220kV 变电所为 0.95~1.0；35kV~110kV 变电所为 0.9~1.0。

对于不满足的变电所，需作无功补偿，使其功率因数满足要求。然后计算系统的无功电源和补偿后的系统无功负荷，作出无功功率平衡分析。

220kV 及以下电网的无功功率平衡：在此类电网中，无功电源安装总容量应大于电网最大自然无功负荷，一般可取 1.15 倍，而最大自然无功负荷与其电网最大有功负荷之间，又存在一定的比例，故它们可写成如下关系式：

$$Q_{\Sigma} > 1.15Q_D$$

$$Q_D = KP_D$$

式中： Q_{Σ} ——电网的无功电源安装总容量，kVar；

Q_D ——电网最大自然无功负荷，kVar；

P_D ——电网最大有功负荷，kW，为本网所有发电机的有功功率与主电网、邻网输入本网的有功功率代数和之最大值。

K——电网最大自然无功负荷系数，kVar/kW，它与电网结构、电压层次、负荷特性等因素有关。系数 K 应经实测确定，在估算时也可取参考资料数值。

注：本网发电机有功功率比重较大时，取高值；主网和邻网输入有功功率比重较大时，取低值。

电网容性无功补偿设备总容量 Q_C 为：

$$Q_C = Q_{\Sigma} - Q_G - Q_R - Q_{C.L} \quad (5)$$

式中： Q_G ——本网发电机的无功容量，kVar；

Q_R ——主网及邻网输入的无功功率，kVar；

$Q_{C.L}$ ——线路的充电功率，kVar；

$Q_{C.L} = BU^2$ ，在设计时，线路的充电功率或电纳通常有资料可查。

功平衡也可以参照有功平衡：

$$\sum Q_G + \sum Q_C \geq \sum Q_{\text{负荷max}} + \sum Q_{\text{网损}} + \sum Q_{\text{备用}} \quad (6)$$

无功平衡中需要注意的是：容性无功和感性无功的正负号的问题，无功的就地补偿原则等等。

第二节 电力网接线方案设计及经济比较

一、电力网接线方案的初步选择

根据给定的电源和负荷，以及它们之间的相对距离，做出可能实现的各种接线方案（6~8个，各方案可通过 Excel 列表计算进行对比，在本次规划设计中，尽量使用表格进行数据比较），在计算中将规划网络视为均一网，用线路长度代替阻抗，用力矩法初步计算潮流分布。（在计算中各节点均取最大负荷、发电厂 A、B 满发）根据供电可靠性、灵活性、经济性等原则对方案作简明论述，将明显不合理的方案舍去，确定 2~3 个参加比较的初选方案，再作详细的技术经济比较。

电网接线方案的初步选择主要是通过对接线方案的技术、经济的定性比较淘汰明显不合理的接线方案。

技术比较主要从以下几个方面着手（首先将规划网络视为均一网，计算中各节点取最大负荷）：

（1）供电可靠性（可靠性能否满足负荷要求，即 n-1 原则，任何一个电气元件例如一回线路、变压器或母线等发生故障退出运行后，均能保证该变电站负荷持续用电）；

（2）均一网的有功功率和无功功率初步分布，计算所有 L 条线路上的视在功率 $S_l, l=1, \dots, L$ 。由于此时输电线路导线截面尚未确定，因此，可按同一种导线，并以线路长度作为阻抗计算参数，进行初步功率分布计算。

（3）电能质量（仅对电压水平进行基本定量比较。电压的稳定性和波动范围直接影响到电能质量，阻抗的变化会导致电压降，进而影响电能质量，而功率过大或过小都会导致电压波动，从而影响电能质量。可以利用 $\sum_{l=1}^L S_l D_l$ 的大小进行粗略估算，或对所有方案比较 $\max S_l D_l, l=1, \dots, L$ ，其值越小越好。注：其中线路长度 D_l 具有阻抗的性质，线路流动功率 S_l 有电流的性质，相当于电流乘阻抗，可以粗略估计电压的损失量）；

（4）运行维护的灵活性；

（5）网络的可扩展性和未来发展的适应性，等等。

经济性比较可以从以下方面考虑：

（1）线路投资（初步比较时可以比较各种方案的线路长度、所用的高压开关台数，具有不同电压等级时，应对线路长度进行折算。）

（2）线路的功率损耗（线路损耗功率是指电流在传输过程中由于线路电阻

而产生的功率损失。初步比较时可以比较 $\sum_{l=1}^L D_l S_l^2$ ，线路长度 D_l 具有阻抗的性质，

线路流动功率 S_l 有电流的性质， $\sum_{l=1}^L D_l S_l^2$ 可以粗略估计功率的损失量，值越小越

好。）；

选择 2~3 个技术经济均较优的方案为合理初选方案。

二、初选合理方案的初步设计

①电压等级的确定

按初步功率分布所得输电线路的传输容量和输送距离，确定电网各级的电压等级。

线路电压等级应根据已有网络现状、输送功率、输送距离及今后发展等因素选择确定。

各种电压等级适合的输电容量和输电距离如下表

| 额定电压 (KV) | 输送功率 (MW) | 输送距离 (Km) |
|-----------|--------------|-----------|
| 10 | 0.2~2.0 | 6~20 |
| 35 | 2.0~10.0 | 20~50 |
| 60 | 5.0~20.0 | 20~100 |
| 110 | 10.0~50.0 | 50~150 |
| 220 | 100.0~300.0 | 100~300 |
| 500 | 800.0~2000.0 | 400~1000 |

②输电线路导线截面的理论计算选择

依据计算所得初步功率分布,找出该线路在正常运行方式下的最大持续输送功率,其导线的经济截面积可按下式计算:

$$S_j = \frac{(\sqrt{P^2 + Q^2})_{\max}}{\sqrt{3}JU_N} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3}JU_N \cos\varphi} \quad (7)$$

式中 $(\sqrt{P^2 + Q^2})_{\max}$ ——正常运行方式下的线路最大持续视在功率, kVA;

U_N ——线路额定电压, kV;

J ——经济电流密度, A/mm^2

注: 架空输电线路导线经济电流密度如下:

架空输电线路导线经济电流密度 (A/mm^2)

| 经济电流密度 J | 年最大负荷利用小时数 T_{\max} | | |
|------------|-----------------------|-----------|---------|
| | 3000 以下 | 3000~5000 | 5000 以上 |
| 铝 | 1.65 | 1.15 | 0.90 |
| 铜 | 3.00 | 2.25 | 1.75 |

说明：输电线路的年最大负荷利用小时数，可以按下述方法确定：

线路的最大负荷利用小时数 T_{\max} ，将由所通过的各负荷点 j 的最大有功功率 $P_{\max.j}$ 及其最大负荷利用小时数 $T_{\max.j}$ 决定。

1) 放射形网络某线路的最大负荷利用小时数

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点的最大负荷利用小时数 $T_{\max.j}$ ；

2) 链形网络某线路的最大负荷利用小时数

对于链形网络，各段线路的最大负荷利用小时数 T_{\max} 等于所供各负荷点最大利用小时数 $T_{\max.j}$ 的加权平均值，即：

$$T_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n P_{\max.j} T_{\max.j}}{\sum_{j=1}^n P_{\max.j}} \quad (8)$$

式中 $P_{\max.j}$ ——各负荷点的最大有功功率；

$T_{\max.j}$ ——各负荷点的最大负荷利用小时数。

3) 环形网络某线路的最大负荷利用小时数

对于环形网络，可在有功功率分点处拆开，成为放射形或链形网络，其各段线路的 T_{\max} 可用上述方法求得。对于向受端系统供电的线路，其最大负荷利用小时数 T_{\max} 将为受端系统内各负荷点 $T_{\max.j}$ 的加权平均值。

根据计算结果，选择接近的标称截面积导线。并计算导线阻抗参数，然后按参数进行潮流计算后再重新选择导线截面，按机械强度、发热条件、电晕条件进行校验，直到前后两次所选截面相同为止。（对于机械强度的校验，在系统计算中一般不考虑，但是在线路的施工设计中需要考虑；对于发热条件的校验，只要不过负荷也不需要考虑；电晕条件与当地的气候、线路所架设的环境有关，课程设计可不作，但是在工程设计中需要考虑。）

③导线型号的工程选择

为了设备采购、备品备件管理和检修维修需要，应按照工程需要尽量减少导线型号的规格数量，同时需要考虑未来负荷发展以及不确定因数。

在经济发展的不同阶段，电力建设投资和设备选型的关注点会有发展和变化，当前电力建设中材料费占建设线路总投资成本的比重越来越低，通过减少导线截面而节省的材料费相比于未来扩建增加的费用是微不足道的，要保证长远的规划更经济，且现阶段工程建设中人工和征地费用占比最大，因此导线截面的选择不

再拘于经济电流密度法和线路 I_{\max} 的计算。一般来说对于 110kV 线路，推荐的导线截面为 240、300；220kV 线路，推荐的导线截面为 240-400；导线型号需要根据架设的环境和施工要求决定。

三、方案的比较和筛选

对合理初选方案进行定量的技术经济比较，确定技术合理，经济效益佳的方案为最佳方案。

1、技术比较的计算：

技术比较主要仍从供电可靠性、有功功率和无功功率分布合理性、电压质量水平、运行维护的灵活性、网络的可扩展性和未来发展的适应性等几个方面进行。

(1) 供电可靠性：供电可靠性是指供电系统持续供电的能力，是考核供电系统电能质量的重要指标，它反映了电力工业对国民经济电能需求的满足程度，成为衡量一个国家经济发达程度的标准之一。其中系统接线形式对供电可靠性的影响尤为明显，故设计方案时应验证方案供电可靠性是否满足要求。放射式接线由电源母线直接向各用电点供电，各供电线路互不影响，一条支路出现故障时，只能影响本支路的供电，供电可靠性较高；树干式接线由一条干线上分支出若干条支线，干线故障会导致所有分支线停电，供电可靠性较差；单电源辐射式接线简单清晰，运行方便，建设投资省，但用户停电范围大，供电可靠性较差。在“手拉手”环网的基础上增加每一分段线路与其它线路的联系，实现互为备用，当任一段线路或环网单元故障、检修时，均不影响另一段线路，供电可靠性高。

(2) 有功功率和无功功率分布合理性：利用如 PSASP、ETAP、PSSE 等专业电力系统分析软件，针对不同技术方案搭建精确的电网模型，开展潮流计算。通过潮流计算能准确得出在多种运行工况（如高峰负荷、低谷负荷等）下，有功功率和无功功率在电网各个节点、线路以及设备之间的具体流向和分布数值，对比各方案潮流计算结果，查看功率是否能相对均衡地分布在电网各处。若某方案下有功功率或无功功率过度集中于少数线路、设备，导致这些部分接近或超出其额定传输能力，而其他部分功率不足，该方案的功率分布合理性就较差；反之，功率能较为均匀分散，各部分都在合理承载范围内的方案则更优。

(3) 电压质量水平：通过利用上述电力系统分析软件进行潮流计算的结果来计算电压偏差率，对比不同技术方案下各节点电压偏差率的平均值、最大值、最小值以及偏差超出允许范围（一般为 $\pm 5\%$ - $\pm 10\%$ ，）的频率等指标。偏差率越小且超出允许范围的频率越低，说明电压质量越高。计算电压偏差率公式如下：

$$\Delta U = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中： U ——实际电压

U_N ——额定电压

2、经济比较的计算

规划方案的经济性比较方法主要有现值比较法、年费用比较法、净现值法、内部收益率法、折返年限法等。

(1) 现值比较法

将方案基本建设期和生产运行期的全部支出费用均折算至计算期的第一年。

$$F = \sum_{t=1}^n (I + C' - S_v - W)_t (1+i)^{-t} \quad (9)$$

F ——规划方案的费用现值

n ——计算期、或指电力工程经济使用年限（取 25 年）

I ——总投资

C' ——年经营总成本

S_v ——计算期末回收固定资产余额

W ——计算期末回收流动资金

i ——电力工业基准收益率或折现率、投资回收系数（取 0.1）

$(1-i)^{-t}$ ——折现系数

其中，年经营总成本 C' 包括年运行费用、折旧费和电能损失费等：

$$C' = \alpha \Delta W + \alpha_1 I + \alpha_2 I \quad (10)$$

α ——损耗电能的电价（0.5 元/kW.h）

ΔW ——年电能损耗 $\Delta W = \Delta P_{max} \tau_{max}$ （kW.h / 年）

α_1 ——检修维护费率(取 0.05)

α_2 ——折旧率(取 0.04，即按经济使用年限 25 年计)

(2) 年费用比较法

年费用比较法是将参加比较的诸方案计算期的全部支出费用折算成等额年费用后进行比较，通用的年费用计算方法（国家计委颁布）表达式为：

$$AC = \sum_{t=1}^n (I + C' - S_v - W)_t (1+i)^{-t} \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (11)$$

其中， $\left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$ ——资金回收系数

电力工程经济分析中的年费用法的计算为：

$$AC_m = I_m \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) + C'_m \quad (12)$$

其中， AC_m 为折算到工程建成年的年费用；

I_m 为折算到工程建成年的总投资；

C'_m 为折算到工程建成年的运营成本。

通过上述计算出的技术指标和经济指标，对方案进行综合比较和全面分析，假若各方案在经济比较时相接近，应选择有利于将来发展的方案作为最佳方案，并对最佳方案进行可靠性、经济性和灵活性分析论证，并作出评价，并选定最佳推荐方案。

第三节 变压器的选择和计算

发电厂主变压器至少两台；降压变电所主变压器一般按两台考虑。（发电厂发电机和主变单元接线在电源设计中深入学习，此处不详细讨论）

一、变压器的额定容量选择

变压器容量选择：

若变电站为双变压器设计，当其中一台变压器退出运行时，另一台变压器应承担 70% 的容量，即：

$$S_{N,j}(i=1,\dots,n)=70\%S_{D,j}(i=1,\dots,n) \quad (13)$$

其中， $S_{N,j}(i=1,\dots,n)$ 为第 i 个变电站的变压器额定容量，

$S_{D,j}(i=1,\dots,n)$ 为第 i 个变电站的最大负荷容量。

（其中 $S_{D,i}(i=1,\dots,n)=P_{\max,i}/\cos\phi_i$ ）

若变电站为多变压器设计，则 $S_{N,j}(i=1,\dots,n)$ 的选择原则为：当其中容量最大一台主变压器因故退出运行时，其它主变压器应在允许的过负荷范围内保证输送全部剩余功率的 70% 以上。

(2) 采用容载比选择变压器容量：

变电所主变压器容量按容载比等于 1.8 考虑，即：

$$K = \frac{S_N}{P_{\max}} = 1.8 \quad (14)$$

式中：K 为容载比，

S_N 为供电区内变压器的总容量，

P_{\max} 为供电区的最大负荷。

二、变压器的型号选择

结合上述变压器容量选择，选择对应电压等级的配电变压器，户内选普通防护型，户外选防护性能好的如油浸式或全密封干式变压器。同时考虑环境温度、湿度、灰尘、腐蚀性气体等因素，相应选择散热好、有防护措施的变压器。

根据变压器的作用，选择升压、降压变压器，自耦变压器，双绕组或三绕组变压器，固定变比变压器，无载调压、有载调压变压器等。

第四节 网络潮流计算

对选定的最佳电力网接线方案，应根据综合最大，最小负荷，考虑电厂的运行方式，确定机组的运行台数和出力。

- 1) 计算元件参数
- 2) 分别计算正常情况下最大负荷和最小负荷时的潮流分布。
- 3) 熟练掌握潮流计算程序工具的应用。

第五节 电压调整计算

- 1) 计算、校验最大、最小负荷时，沿线的电压水平是否满足要求。
- 2) 选择各变压器分接开关位置和必要的调压措施，并作电压验算。

根据对变电站调压方式的要求，选择变压器为固定变比变压器，无载调压、有载调压变压器等。

对于不同的变比调节变压器，可选择最大、最小方式或平均负荷方式下的变比分接头。

若选择的无载调压变压器分接头不能满足调压要求，则应考虑采用有载调压变压器，或采用并联无功补偿装置调压（并计算所需要的并联无功补偿容量）。

分接头的选取及校验公式如下：

降压变压器：

$$U_{1r\max} = \frac{U_{1\max} - \Delta U_{T\max}}{U_{2\max}} U_{2N}$$

$$U_{1r\min} = \frac{U_{1\min} - \Delta U_{T\min}}{U_{2\min}} U_{2N}$$

$$\Delta U_{T\max} = \frac{P_{\max} R_T + Q_{\max} X_T}{U}$$

$$\Delta U_{T\min} = \frac{P_{\min} R_T + Q_{\min} X_T}{U}$$

$$U_{1tav} = \frac{1}{2}(U_{1t\max} + U_{1t\min})$$

校验:

$$U_{2\max} = \frac{U_{1\max} - \Delta U_{T\max}}{U_{1t}} U_{2N}$$

$$U_{2\min} = \frac{U_{1\min} - \Delta U_{T\min}}{U_{1t}} U_{2N}$$

式中: $\Delta U_{T\max}$ ——最大负荷时变压器损耗

$U_{2\max}$ ——最大负荷时变压器低压侧电压

$U_{1\max}$ ——最大负荷时变压器高压侧电压

$U_{1\min}$ ——最小负荷时变压器高压侧电压

$\Delta U_{T\min}$ ——最小负荷时变压器损耗

$U_{2\min}$ ——最小负荷时变压器低压侧电压

U_{2N} ——变压器低压侧额定电压

升压变压器:

$$U_{1t\max} = \frac{U_{1\max} + \Delta U_{T\max}}{U_{2\max}} U_{2N}$$

$$U_{1t\min} = \frac{U_{1\min} + \Delta U_{T\min}}{U_{2\min}} U_{2N}$$

$$\Delta U_{T\max} = \frac{P_{\max} R_T + Q_{\max} X_T}{U}$$

$$\Delta U_{T\min} = \frac{P_{\min} R_T + Q_{\min} X_T}{U}$$

$$U_{1tav} = \frac{1}{2}(U_{1t\max} + U_{1t\min})$$

校验:

$$U_{2\max} = \frac{U_{1\max} + \Delta U_{T\max}}{U_{1t}} U_{2N}$$

$$U_{2\min} = \frac{U_{1\min} + \Delta U_{T\min}}{U_{1t}} U_{2N}$$

式中: $\Delta U_{T\max}$ ——最大负荷时变压器损耗

$U_{2\max}$ ——最大负荷时变压器低压侧电压

$U_{1\max}$ ——最大负荷时变压器高压侧电压

$U_{1\min}$ ——最小负荷时变压器高压侧电压

$\Delta U_{T_{\min}}$ ——最小负荷时变压器损耗

$U_{2\min}$ ——最小负荷时变压器低压侧电压

U_{2N} ——变压器低压侧额定电压

第三章 电力系统稳态分析中潮流计算和调压计算

使用电力系统分析计算软件计算潮流和调压

潮流计算是电力系统非常重要的分析计算,用以进行电力系统规划和运行中各种状态的计算和描述。通过潮流计算可以得到大型网络多电压等级系统的功率分布和节点电压,并可计算得到电力系统各支路中功率损耗和电网总功率损耗(有功和无功)。

手算是建立潮流计算的基本概念,学会从电路基本原理计算(电流电压关系计算)到电力系统网络的功率电压关系的计算,从而学会电力系统潮流计算中支路功率和节点电压的计算。

计算机计算手段是现代电力系统工程化潮流计算,计算工具和计算手段的使用。学会相应工具的使用、大型网络计算是必要的。特别是当前电力系统调度中,每天分 96 个时段,即考虑每 15 分钟的负荷变化,需要算一次大网潮流,因此大量计算是必须需要计算工具的。

潮流计算属于稳态分析范畴,其数学模型是一组高阶非线性方程。解非线性方程组的方法有很多,详细的计算机潮流计算方法见教材。当前电力系统在潮流计算中主要的计算工具也都是采用这些计算原理和方法。

第一节 主要潮流计算软件简介

一、psasp

电系统分析综合程序(Power System Analysis Synthesis Program)是中国电力科学研究院电力系统技术分公司(原电网数字仿真技术研究所)开发的一套用于进行电力系统分析计算的软件包。

PSASP 体系结构如下图:



PSASP 的特点:

有着方便、友好的人机界面,如基于图形的数据输入和图上操作,自定义模型以及图形、曲线、报表等各种形式输出。

计算功能强大、模型种类丰富、故障和扰动方式设置灵活多样。

用户可自行建立各种原件及控制装置的模型、建模、模型调用操作简单方便，还可以通过各种语言自由编程得到的用户程序接口，充分拓展了 PSASP 的功能。

PSASP 的应用：

1. PSASP 作为日常电网分析工具，多年来 PSASP 为国调、东北、华中、西北、川渝等跨省大区电网、区内省调以及山东、江苏、内蒙、福建等省区电网制定调度运行方式、事故分析发挥了重要作用。

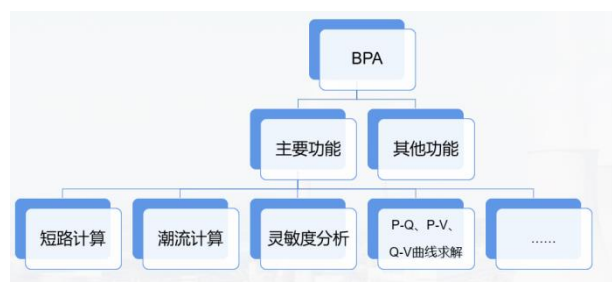
2. 随着我国电网的发展，PSASP 近年来正在向省内地调、县调及大工业用电户等单位应用扩展。

二、BPA

BPA 最初是上世纪 60 年代由美国邦纳维尔电力局（Bonneville Power Administration, BPA）开发的，1984 年开始由中国电力科学研究院电力系统研究所在全国推广应用和开发维护。

美国 BPA 已于 1996 年终止了 BPA 潮流和暂态稳定程序的开发和维护，如今只有中国电力科学研究院电力系统研究所在维护升级 PSD-BPA。

功能简介：



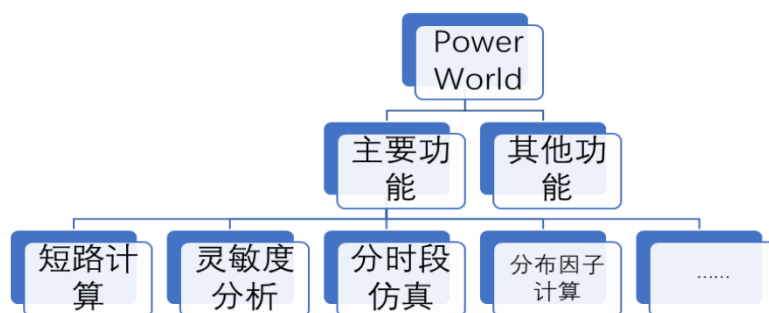
特点：



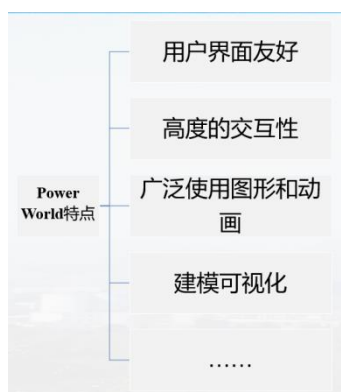
三、Power World

Power World 是由美国伊利诺伊大学开发的电力系统可视化仿真软件包 PWS 的核心是一个综合的、强大的潮流计算软件。

功能简介：



特点:



四、ETAP

ETAP 由美国 OTI 公司(Operation Technology Inc)开发, 最初的版本于 1983 年发行。

ETAP 在美国确立了电力系统设计和分析软件的标准, 也是全美第一个特许提供给核电站进行电力系统分析的商用软件。

功能简介:



特点:

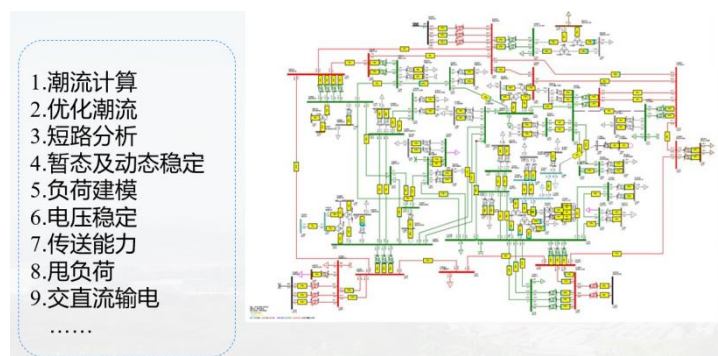


五、PSSE

电力系统仿真器 (Power System Simulator/ Engineering, PSS/E) 是美国电力技术公司 (Power Technology Inc., PTI) 于 1976 年推出的专门为输电系统分析而设计的电力系统仿真计算的综合性软件。现挂在 siemens 名下。

到目前为止, 世界上已有超过 600 家不同的公司和组织、100 多个国家使用该软件, 是应用最为广泛的电力系统分析程序。

功能简介:



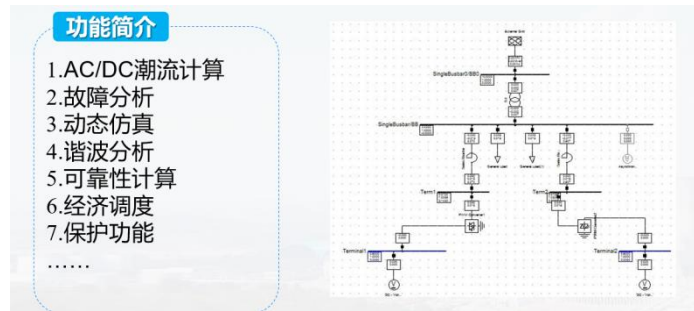
特点:

- 1.集成化的交互式软件: 主要用于电力系统的潮流计算, 界面友好, 可与多种输出设备相连, 输入输出可根据用户要求进行设计。
- 2.广泛的自动化与制定能力---BAT 命令、Python、PSAS。
- 3.基于代码由用户编写的建模。
- 4.用户定义控制器模型的图形化构建。

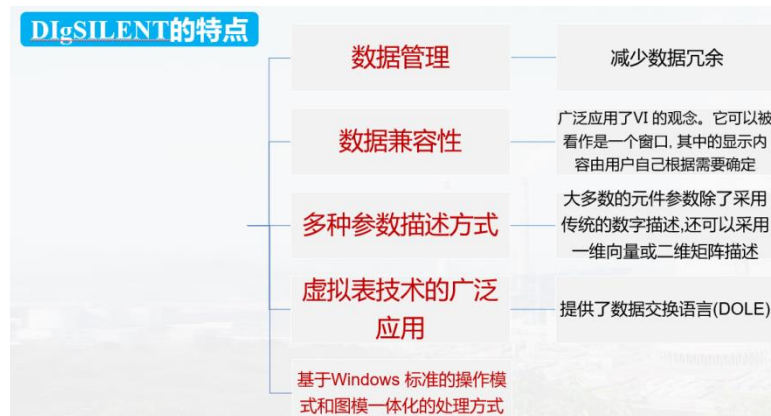
2.6 DIGSILENT

电力系统电磁机电暂态混合仿真程序 DIgSILENT/PowerFactory 是德国 DIgSILENT GmbH 公司开发的电力系统仿真软件。

功能简介:



特点:



第二节 电力系统分析综合程序（psasp）使用步骤

一、PSASP 潮流计算流程

方案定义：在进行潮流计算之前，需依照可能的潮流方式组织数据组、定义各种可能的方案，设置各潮流方式下的网架结构、发电和负荷功率。

潮流作业的定义：即选择潮流要计算的方案、设置计算的控制信息（计算方法、迭代误差、控制功能的投入、潮流断面功率控制等）。

潮流作业数据的查看和修改：可通过在潮流作业定义画面进行修改，也可直接在单线图上修改。

潮流作业数据检查：程序可自动对网络的拓扑结构和各元件的带电状态进行检查，并对发电、负荷按区域和全网进行统计。

执行潮流计算：程序会自动进行网络拓扑分析，然后执行潮流计算，并输出迭代过程信息。

潮流计算结果的查看和输出：即选择输出的范围和内容，包括报表输出、单线图、地理位置图上输出和电网元件浏览器输出方式等 4 种方式。常用的报表输出方式，是以 Excel 报表或文本文件的形式，按照选定的范围和内容输出。

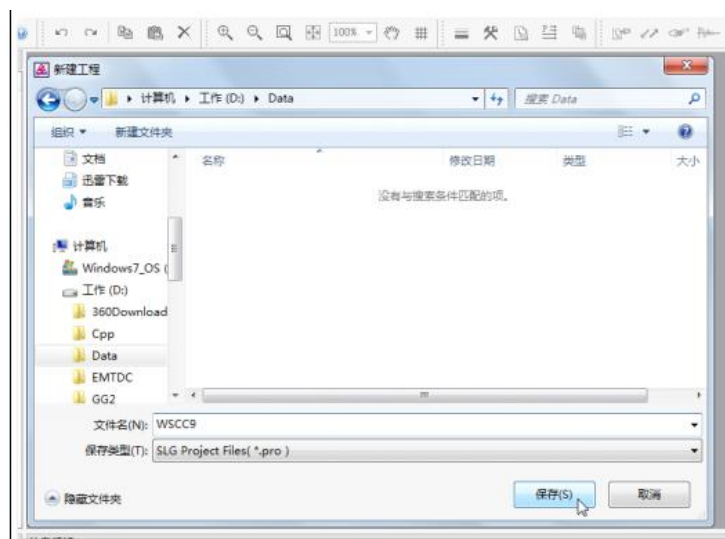
二、PSASP 潮流计算操作步骤

1) 新建工程

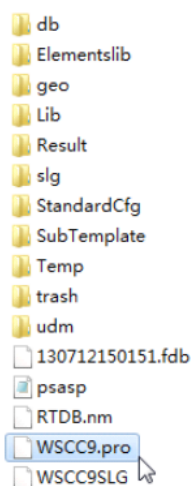
打开 PSASP 软件，点击“文件”→“新建工程”。



点击工具条中的“新建工程”按钮。选择一个文件夹并输入工程名称，比如 WSCC9

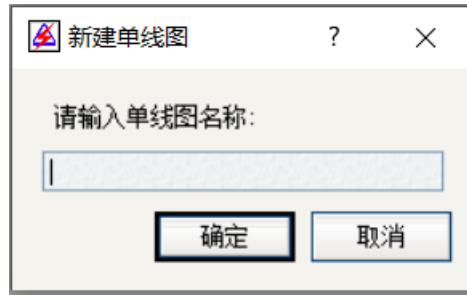


PSASP 会为作业建立一个名称为 WSCC9 的新文件夹，文件夹中包含了作业所需要的一组数据文件夹和文件，以后在 PSASP 中选择文件“WSCC9.pro”即可打开工程。

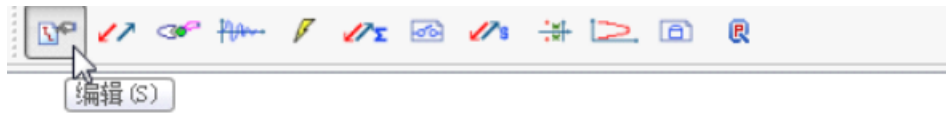


2) 单线图命名

作业建立好后，需要为单线图命名，比如 WSCC9，一个作业下可能包含多个单线图，单线图也可以在作业建立好后添加。

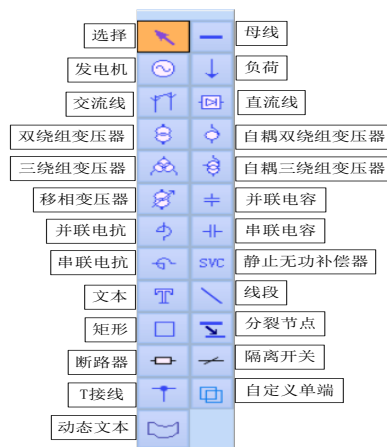


这样一个空的作业就完全建立好了。此时，PSASP 默认为编辑模式，工具条里的编辑按钮为按下状态。

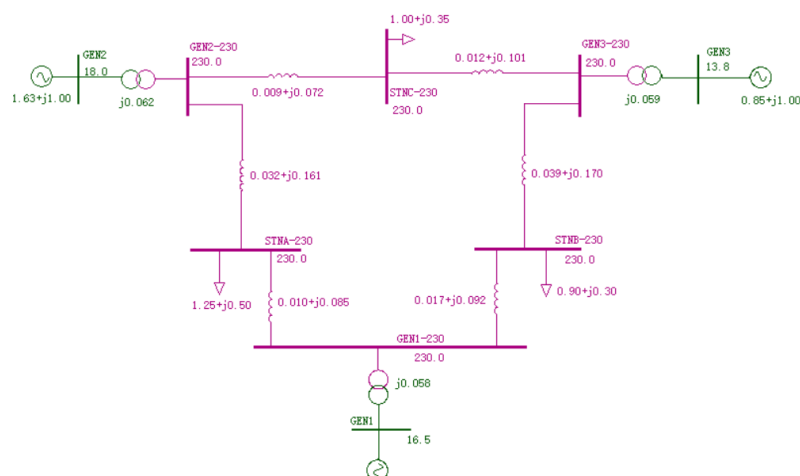


只有在编辑模式，才可以进行系统基础数据的编辑，比如添加/删除元件，改变系统结构，以及绘画单线图。在计算模式下，只能浏览系统的基础数据。

右侧工具箱图标所对应的元件如下，绘制时只需点击相应图标，放置在空白处。



需绘制的单线图如下：



可在“文件”→“工程信息”中查看编辑系统容量，系统基准容量为 100MVA。

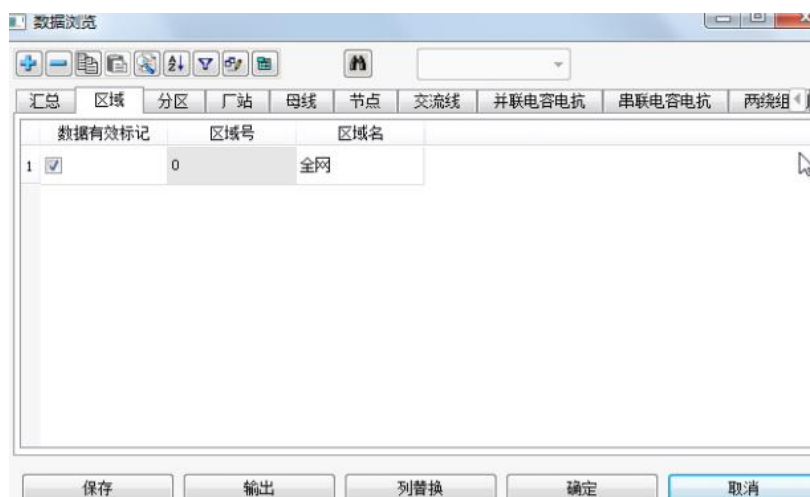
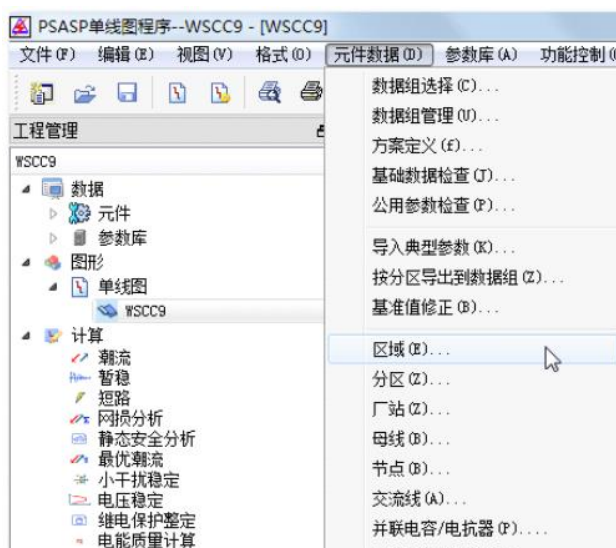


2) 设置区域，分区和厂站信息

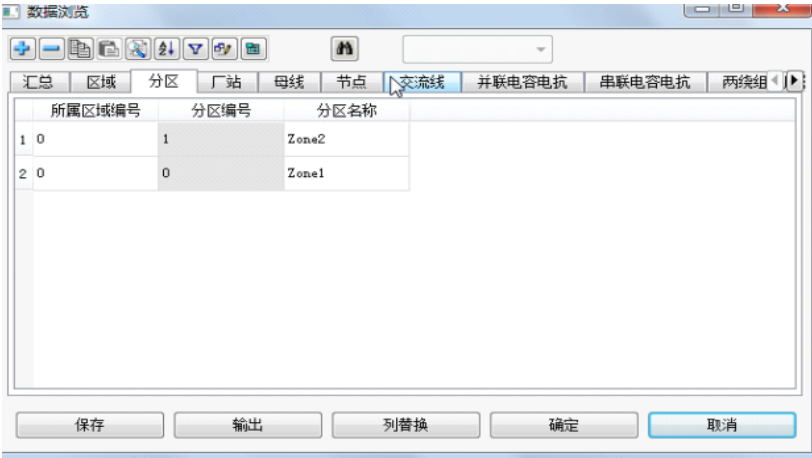
一个默认的作业通常由一个区域，一个分区，和一个变电站或电厂将元件分组。

虽然将所有元件划分在一个区域、一个变电站或电厂里并不会影响计算结果，但是仍推荐用户对元件进行合理的划分。

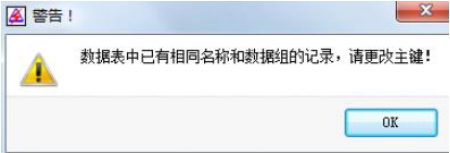
在元件数据菜单里，每个元件都可以修改。应当首先设定区域数据。



默认的区域编号为 0，设置 1 个区域，2 个分区和 6 个变电站。分区 1 和分区 2 都在同一个区域内。变电站 GEN2、GEN3 和 STNC 在分区 1，变电站 GEN1、STNA、STNB 在分区 2。



点击“+”或者“-”按钮可以添加/删除与区域和分区相关的记录。
如果一个作业中含有相同的电厂和变电站名称，就会出现下面的提示信息。



在任何时候，可以点“保存”按钮将数据变化保存。

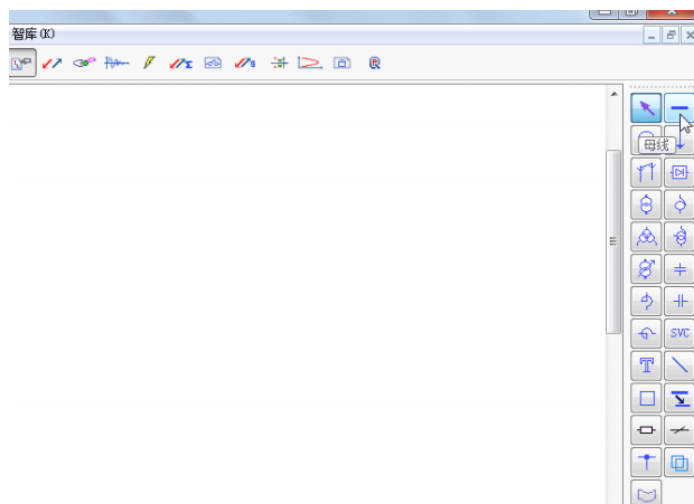


3) 绘画单线图 and 设置数据

1. 母线

首先画母线，因为其它元件可能要连接到 1 个（如并联电容），2 个（如 2 绕组变压器或者交流线）或者 3 个母线（如 3 绕组变压器）上。

点击右侧工具箱里的母线图标。

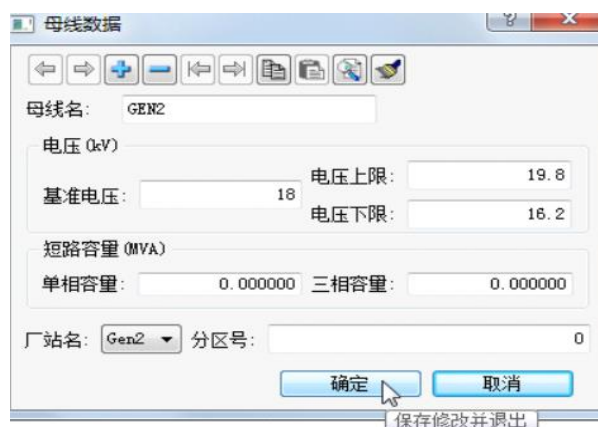


鼠标的图标变成了母线的形状。在点击空白放置母线之前，可以按 **ctrl** 键改变母线的布置方向，或者也可以在母线放置好后，用右键点击母线来设置摆放方向。

点击绘图区域建立一个母线，命名为 GEN2。



双击单线图上的母线，填写数据。其中，基准电压必须填写，厂站名必须选择。



2. 发电机

点击右侧工具箱中的发电机图标，并放在空白绘图区域，使其和母线连接起来。将鼠标的热点放在发电机图标上，左键点住，并将其拖向母线 GEN2。于是这台发电机便连接在母线 GEN2 上。

双击发电机图标，按照下图所示填写数据。

发电机及其调节器数据

节点名: GEN2 节点类型: PV

发电机名: Gen2

功率和电压 控制信息 发电机及其调节器

单位: ☒ p.u. ☐ kV/MW/Mvar

电压: 幅值: 1.025 相角: 0.000000 度

功率: P: 1.63 Pmax: 0.0000 Pmin: 0.0000 Q: 1 Qmax: 0.0000 Qmin: 0.0000

数据组: BASIC 确定 取消

点击“发电机及其调节器”标签，设置额定容量 S_n 为 100MVA，额定功率 P_n 为 172.8MW。点击“同步机”框中的“编辑参数”按钮，按照下图填写模型的典型参数。

发电机及其调节器数据

节点名: GEN2 节点类型: PV

发电机名: Gen2

功率和电压 控制信息 发电机及其调节器

额定容量 S_n : 100.0000 MVA 额定功率 P_n : 0.0000 MW

同步机 调压器 调速器 PSS

模型: 0 模型: 0 模型: 0 模型: 0

参数组: 0 参数组: 0 参数组: 0 参数组: 0

编辑参数 编辑参数 编辑参数 编辑参数

数据组: BASIC 确定 取消

发电机参数

d轴暂态电抗 X_d' : 0.1198 p.u.

d轴次暂态电抗 X_d'' : 0.1198 p.u.

负序电抗 X_2 : 0.1198 p.u.

转子惯性时间常数 T_j : 12.8 s

返回

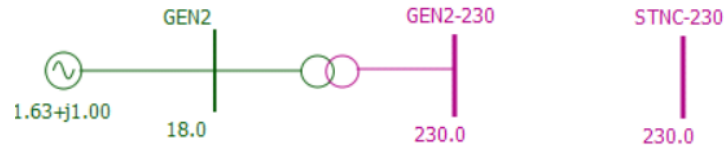
点击参数编辑框的返回按钮，然后点击发电机及其调控框中的确定按钮。

3. 变压器和交流线

点击右侧工具箱的两绕组变压器，将其放置在母线 GEN2 和 GEN2-230 之间。



两绕组变压器图标有 2 个热点，将其分别与母线 GEN2 和 GEN2-230 连接。



双击变压器，填写名称、阻抗、变比，以及修改变压器连接方式为 D/YG 连接，

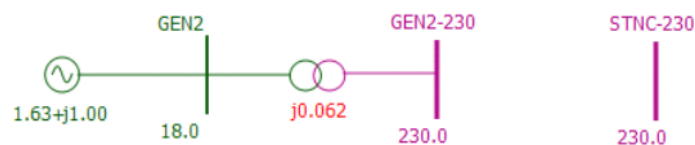
即三角/星型接地方式

根据下图所示数据对变压器数据进行修改：

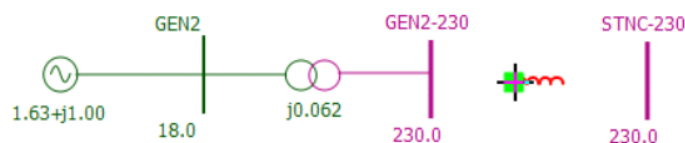


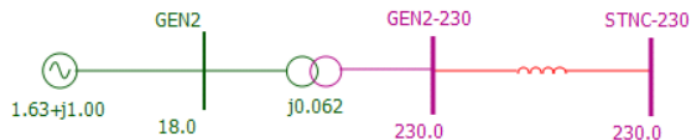
转换到零序数据标签，点击计算按钮。连接方式和零序电阻、电抗、变比会根据连接方式和正序数据自动填充。这些值也可以手动更改。

点击确定按钮，升压变压器就建立好了。



点击右侧工具箱中的交流线图标，将其拖放在母线 GEN-2 和 STNC-230 之间。用交流线将两端母线连接起来。

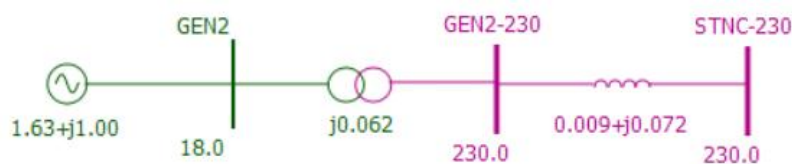




双击交流线图标，按照下图填写名称、阻抗。

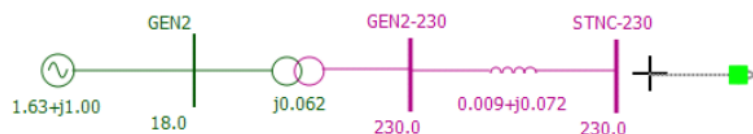
也可在物理描述页填写线路长度和单位正序电阻和电抗（根据选择导线型号查询相关参数）等数据，填写完之后点击阻抗计算，可自动计算出阻抗，省去手动计算的步骤。

点击确认按钮，完成交流线的建立。



4. 负荷

点击右侧工具箱的负荷图标，将其放在单线图中母线 STNC-230 的右侧。



将负荷连接到母线 STNC-230 上。

用鼠标双击负荷图标，按下图改变负荷名称，以及有功和无功功率

点击确认按钮，完成连接在母线 STNC-230 上的负荷的设置。负荷模型默认为恒功率模型。

剩余部分的搭建不再详细叙述，步骤和上面所述基本一致。

参照下图设备参数，绘制系统剩余的所有元件。对于没有在下表中所提及的元件数据，保持其原来的默认值。

母线数据

| BUS_NAME | PHYPOS | Plant/Station | BASE_KV | VMAX_KV | VMIN_KV |
|----------|--------|---------------|---------|---------|---------|
| GEN1 | 0 | Gen1 | 16.5 | 18.15 | 14.85 |
| GEN2 | 0 | Gen2 | 18 | 19.8 | 16.2 |
| GEN3 | 0 | Gen3 | 13.8 | 15.18 | 12.42 |
| GEN1-230 | 0 | Gen1 | 230 | 0 | 0 |
| GEN2-230 | 0 | Gen2 | 230 | 0 | 0 |
| GEN3-230 | 0 | Gen3 | 230 | 0 | 0 |
| STNA-230 | 0 | STNA | 230 | 0 | 0 |
| STNB-230 | 0 | STNB | 230 | 0 | 0 |
| STNC-230 | 0 | STNC | 230 | 0 | 0 |

交流线数据

| NAME | I_NAME | J_NAME | R1 | X1 | B/2 | R0 | X0 |
|------|----------|----------|--------|--------|--------|----|-------|
| AC_1 | GEN1-230 | STNA-230 | 0.01 | 0.085 | 0.088 | 0 | 0.255 |
| AC_2 | STNA-230 | GEN2-230 | 0.032 | 0.161 | 0.153 | 0 | 0.483 |
| AC_3 | GEN2-230 | STNC-230 | 0.0085 | 0.072 | 0.0745 | 0 | 0.216 |
| AC_4 | STNC-230 | GEN3-230 | 0.0119 | 0.1008 | 0.1045 | 0 | 0.302 |
| AC_5 | GEN3-230 | STNB-230 | 0.039 | 0.17 | 0.179 | 0 | 0.51 |
| AC_6 | STNB-230 | GEN1-230 | 0.017 | 0.092 | 0.079 | 0 | 0.276 |

两绕组变压器数据

| Trans NAME | I_NAME | J_NAME | I_CONN | J_CONN | R1 | X1 | GM | BM | TK | R0 | X0 |
|------------|--------|----------|--------|--------|----|--------|----|----|----|----|--------|
| TRANS1 | GEN1 | GEN1-230 | D | YG | 0 | 0.0576 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.0576 |
| TRANS2 | GEN2 | GEN2-230 | D | YG | 0 | 0.0625 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.0625 |
| TRANS3 | GEN3 | GEN3-230 | D | YG | 0 | 0.0586 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.0586 |

发电机数据

| Gen NAME | Bus NAME | type | PG | QG | V | Angle | RATE_MVA | RATE_MW | XD | XDPP | X2 | TJ |
|----------|----------|------|------|----|-------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|-------|
| GEN1 | GEN1 | V0 | 0 | 0 | 1.04 | 0 | 100 | 222.75 | 0.0608 | 0.0608 | 0.0608 | 47.28 |
| GEN2 | GEN2 | PV | 1.63 | 1 | 1.025 | 0 | 100 | 172.8 | 0.1198 | 0.1198 | 0.1198 | 12.8 |
| GEN3 | GEN3 | PV | 0.85 | 1 | 1.025 | 0 | 100 | 115.2 | 0.1813 | 0.1813 | 0.1813 | 6.02 |

负荷数据

| Load NAME | Bus NAME | Type | PL | QL | V0 | ANGLE |
|-----------|----------|------|------|------|----|-------|
| STNA | STNA-230 | PQ | 1.25 | 0.5 | 0 | 0 |
| STNB | STNB-230 | PQ | 0.9 | 0.3 | 0 | 0 |
| STNC | STNC-230 | PQ | 1 | 0.35 | 0 | 0 |

4) 方案设定与潮流计算

1. 方案设定

PSASP 首先要为潮流计算定义方案。点击元件数据菜单，选择方案定义，弹出一个方案定义的窗口。

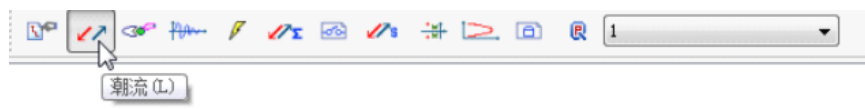


点击工具栏里的添加按钮，增加一条新记录。在数据组列表里选择 **BASIC**，并将其添加到右侧已选项列表里，方案名称设为“Normal”，描述内容为系统基本运行方式，然后点击确定按钮。



2.运行潮流计算

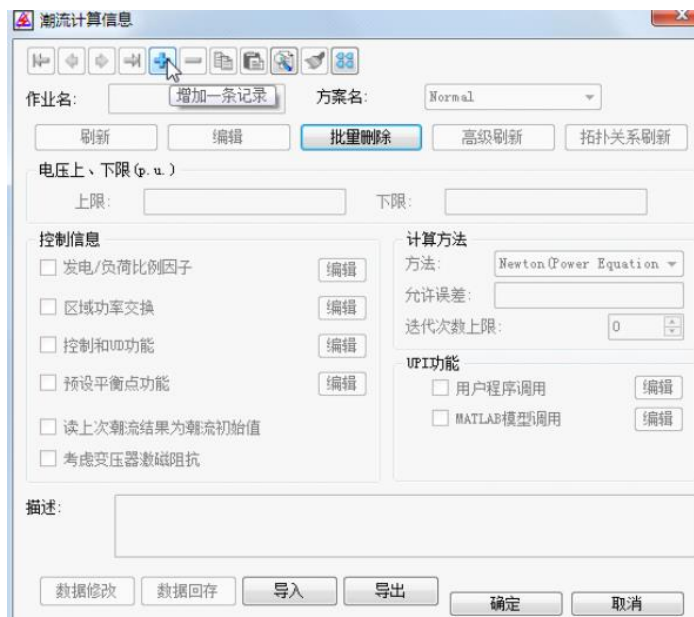
点击工具栏里的潮流计算按钮。



当 PSASP 转换到潮流计算模式时，系统的元件数据只能被浏览不能被修改，潮流计算功能可以使用

点击主窗口右侧工具栏里的作业定义按钮。弹出一个潮流计算信息窗口。

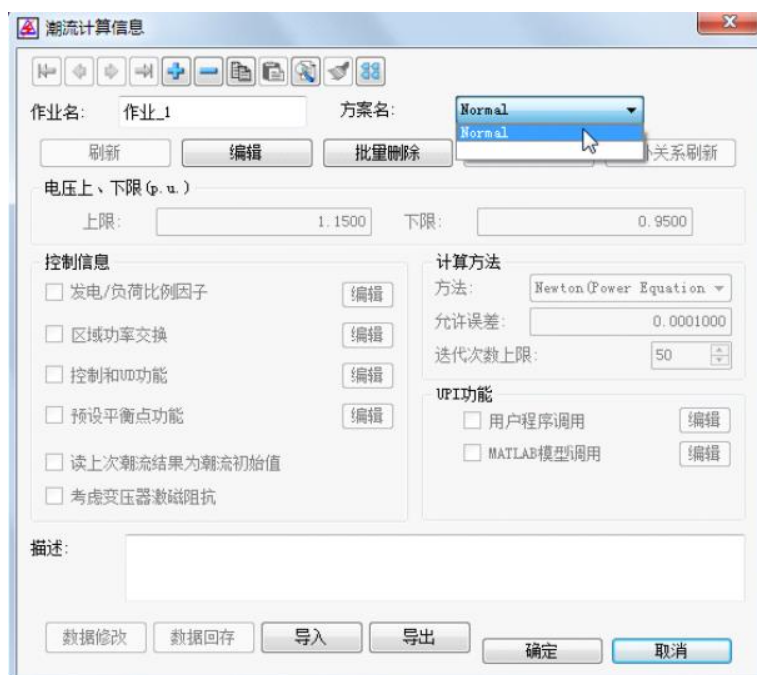




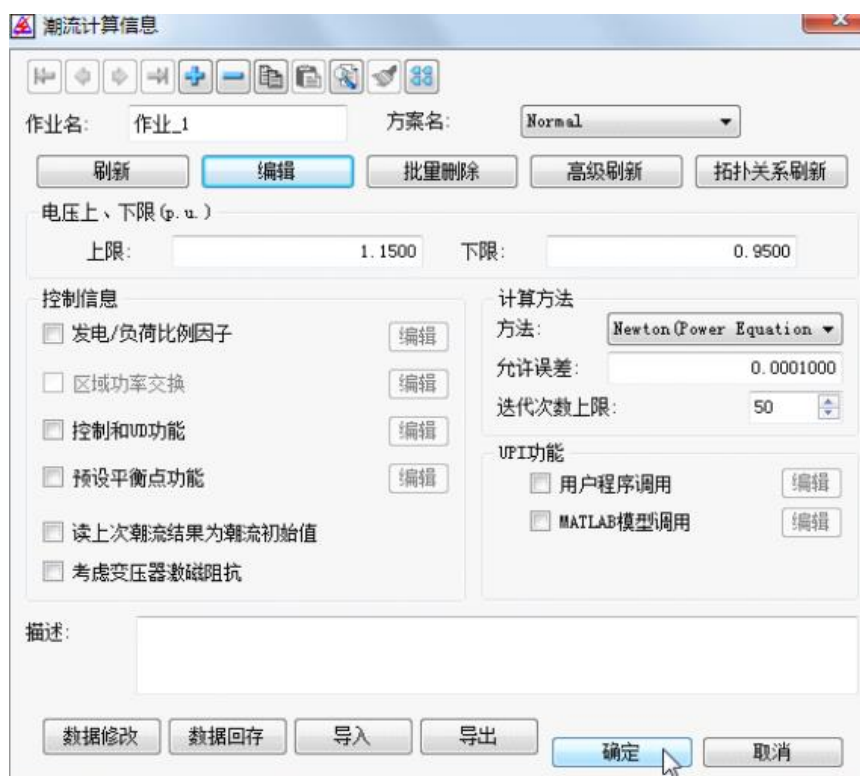
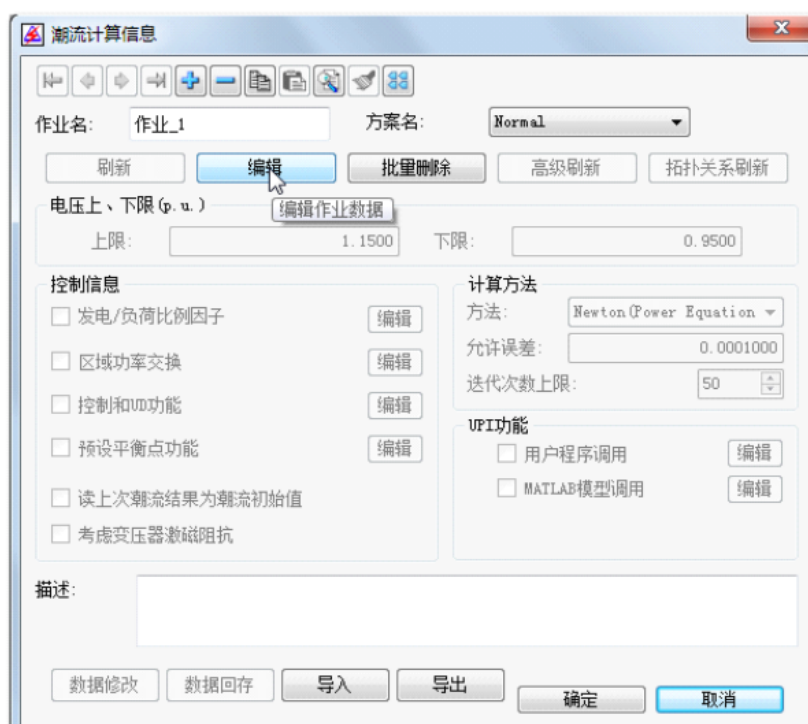
点击工具栏里的添加按钮来增加一个潮流作业。在弹出的窗口中为作业命名，然后点击确定。



在方案的下拉单里选择方案名称。



点击潮流计算信息框中的编辑按钮。框中所示的大部分控制功能变为可用。



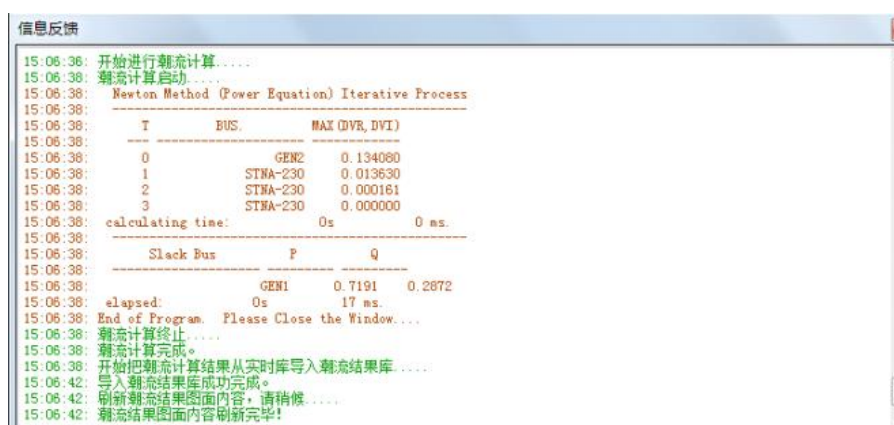
点击确定，便默认设置了一个名为”作业_1”的潮流作业。

3. 执行潮流计算并查看结果

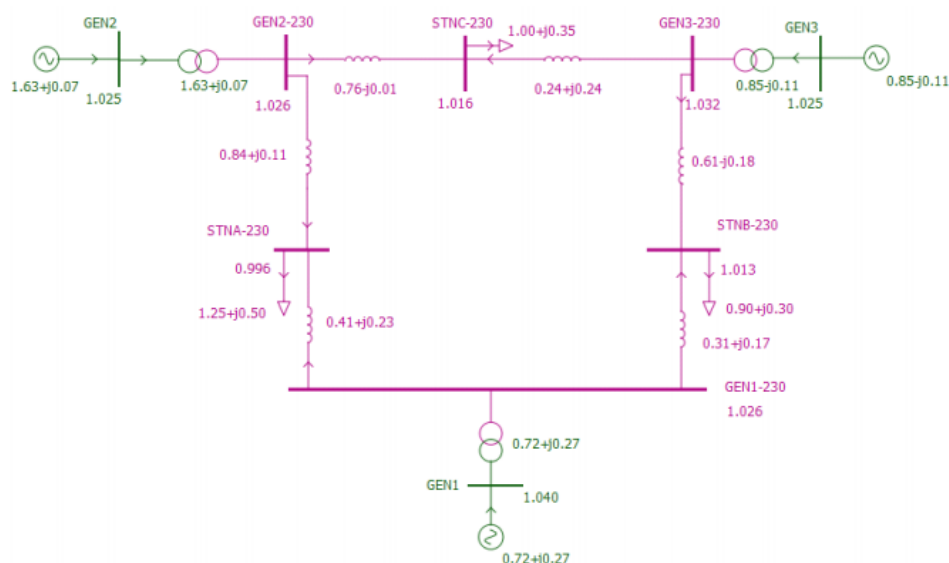
点击工具栏里的潮流计算按钮启动计算。



计算迭代信息会显示在信息回馈窗口的下端,迭代信息里指明了迭代步数和算法的收敛性



当计算结束后,潮流计算结果会显示在单线图上面,包括母线电压、线路潮流、负荷功率消耗、发电机输出等。



点击右侧工具栏里的潮流计算结果输出按钮也同样可以查看计算结果的详细信息。



所有元件的结果报告可以根据需求输出至 EXCEL 文档或者文本文档。例如，选中物理母线选框，不选择区域、分区、厂/站选框，在单位选项中选择输出有名值，点击输出按钮。



所有母线结果会通过一个文本文档建立并显示出来。

物理母线

作业名: 1 计算日期: 2013/10/28 时间: 09:50:45

单位: kA\kV\MW\Mvar

区域
Whole net

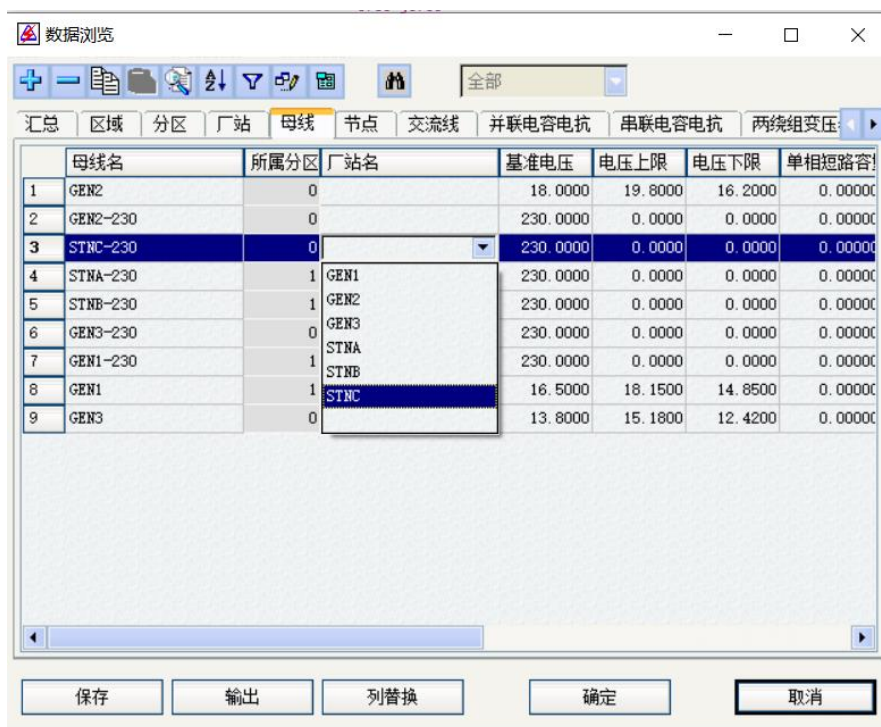
| 母线名称 | 电压幅值 | 电压相角 |
|----------|-----------|----------|
| GEN-2 | 18.45000 | 9.28001 |
| GEN-3 | 14.14500 | 4.66475 |
| GEN2-230 | 235.92695 | 3.71970 |
| GEN3-230 | 237.44117 | 1.96672 |
| STNC-230 | 233.65299 | 0.72754 |
| GEN-1 | 17.16000 | 0.00000 |
| GEN1-230 | 235.93132 | -2.21679 |
| STNA-230 | 228.99509 | -3.98881 |
| STNB-230 | 232.91049 | -3.68740 |

三、PSASP 常见问题解答

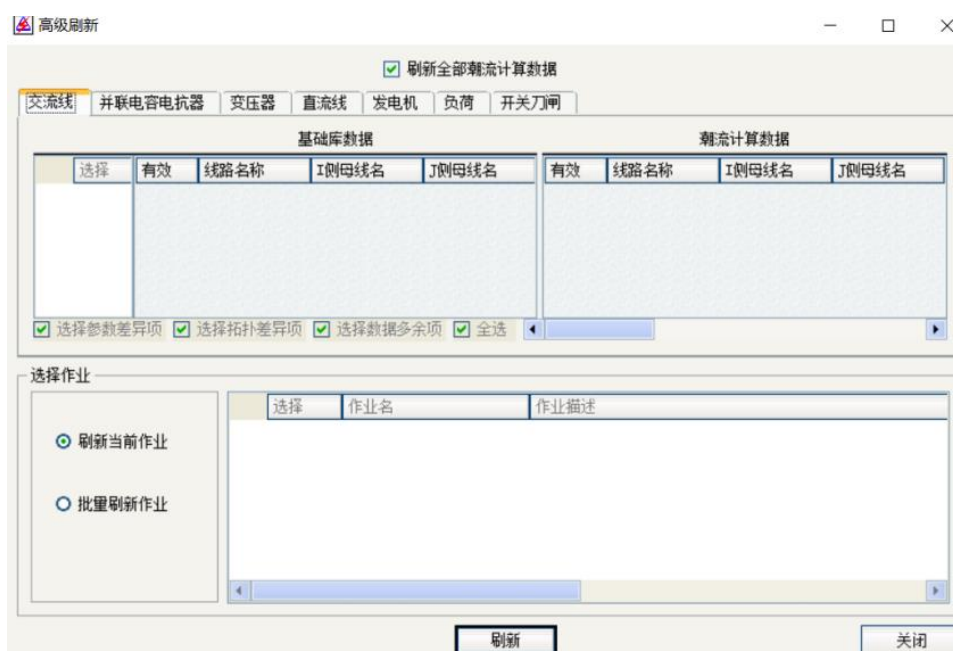
1) 所属厂站在厂站表中不存在

```
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:母线表 GEN2 所属的厂站在厂站表中不存在.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:母线表 GEN2-230 所属的厂站在厂站表中不存在.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:母线表 GEN3-230 所属的厂站在厂站表中不存在.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:母线表 STNC-230 所属的厂站在厂站表中不存在.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:变压器 TRANS2_2w 没有所属的厂站记录.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:交流线 AC_2_ac 关联的末端厂站名称为空.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:交流线 AC_3_ac 关联的首端厂站名称为空.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:交流线 AC_4_ac 关联的首端厂站名称为空.
11:51:21: 2020-05-06T11:51:19—NMD 错误:交流线 AC_5_ac 关联的首端厂站名称为空.
```

出现此类问题,可点击“元件数据”→“母线”,查看母线对应的厂站名是否正确,可在下拉框修改所属厂站。



数据修改完成后，重新进行潮流计算前，必须先进行潮流数据刷新。



2) 潮流计算不收敛

在进行收敛过程中达到 50 次不收敛，或者震荡不收敛，请检查各设备元器件相关参数，可能是相关设备信息输入存在错误。

```

08:12:05:      40      F33      3.293029
08:12:05:      41      F33      1.641550
08:12:05:      42      F33      0.817503
08:12:05:      43      F11      0.878408
08:12:05:      44      F11      0.587907
08:12:05:      45      F11      3.191667
08:12:05:      46      F11      1.601701
08:12:05:      47      F11      0.906555
08:12:05:      48      F11      0.641860
08:12:05:      49      F22      1.164236
08:12:05:      50      F22      0.640697
08:12:05:      Newton Method (Power Equation) Iterative Process
08:12:05:      -----
08:12:05:      T      BUS      MAX(DVR, DVI)
08:12:05:      -----
08:12:05:      0      F11      0.401847
08:12:05:      -----
08:12:05:      Slack Bus      P      Q
08:12:05:      -----
08:12:05:      S      -0.5740      0.5693
08:12:05:      elapsed  0:m  0:s
08:12:05:      End of Program. Please Close the Window....
08:12:05: 潮流计算终止.....
08:12:05: 潮流计算不成功!

```

3) 单位设置问题

若进行潮流计算，计算完成后没有报错，却显示潮流计算不成功，可检查标么值，有名值，幅值设置问题，标么值有名值要统一。

4) 修改数据后再次进行潮流计算，结果不变（如改变最大最小负荷后再次进行潮流计算）

若修改数据后进行潮流计算结果不变，需在潮流计算前点击作业定义，再点击刷新即可将数据更新。

潮流计算信息

作业名: 作业_1 方案名: 2

刷新 高级刷新 从属关系刷新 回存 高级回存

电压上、下限(p.u.)

上限: 1.1500 下限: 0.9500

控制信息

☐ 发电/负荷比例因子 编辑

☐ 区域功率交换 编辑

☐ 控制和功功能 编辑

☐ 预设平衡点功能 编辑

☐ 读上次潮流结果为潮流初始值

☐ 考虑变压器激磁阻抗

计算方法

方法: Newton(Power Equation)

允许误差: 0.0001000

迭代次数上限: 50

UPI功能

☐ 用户程序调用 编辑

描述:

数据修改 确定 取消

第三节 电力系统分析综合程序（psse）使用步骤

一、PSSE 潮流计算流程

方案定义：在进行潮流计算之前，需依照可能的潮流方式组织数据组、定义各种可能的方案，设置各潮流方式下的网架结构、发电和负荷功率。

潮流数据导入的定义：在文件选项中新建一个 case data，对各个导线、发电厂、负荷等进行编号导入数据参数。即选择潮流要计算的方案、设置计算的控制信息（计算方法、迭代误差、控制功能的投入、潮流断面功率控制等）的系统参数导入 network data（网络数据）文件中。

潮流作业数据的查看和修改：在文件选项中新建一个 diagram 进行图形绘制，可通过在潮流作业定义画面进行修改，也可直接在单线图上修改。

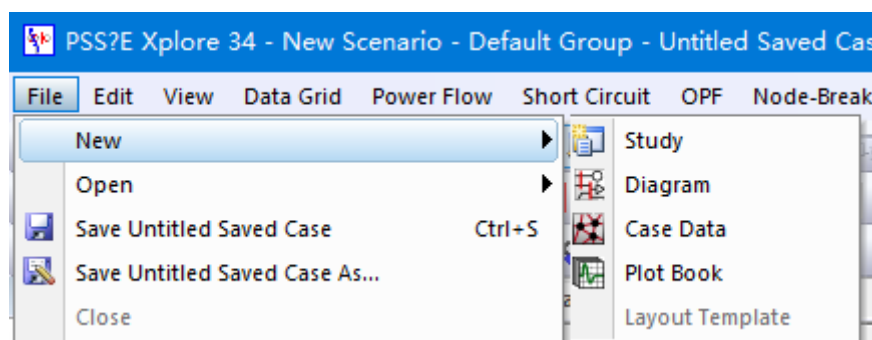
潮流作业数据检查：程序可自动对网络的拓扑结构和各元件的带电状态进行检查，并对发电、负荷按区域和全网进行统计。

执行潮流计算：程序会自动进行网络拓扑分析，然后执行潮流计算，并输出迭代过程信息。

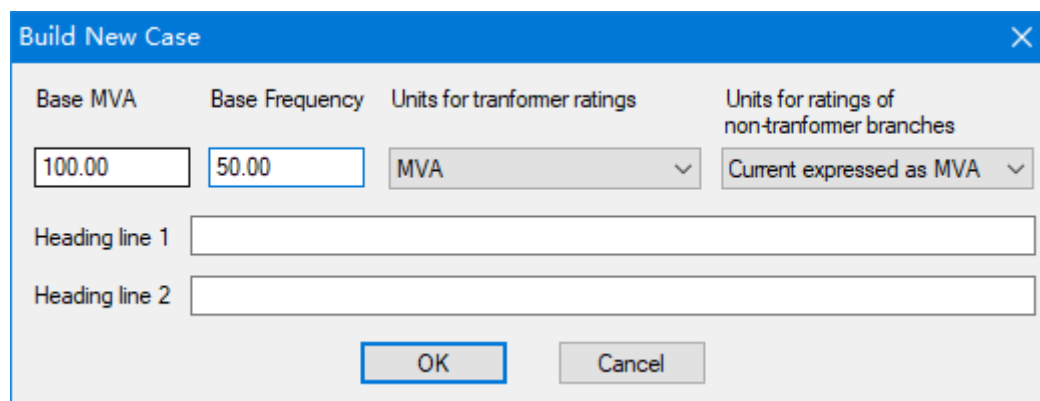
二、PSSE 潮流计算操作步骤

1) 新建工程

打开 PSSE 软件，点击“File”→“New” → “Case Data”

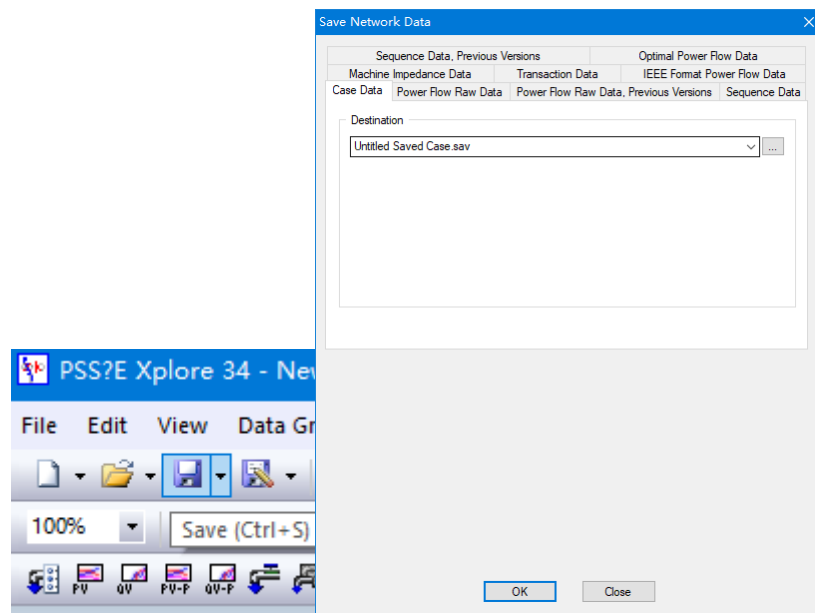


设定系统基准容量为 100MVA,基础频率为 50hz

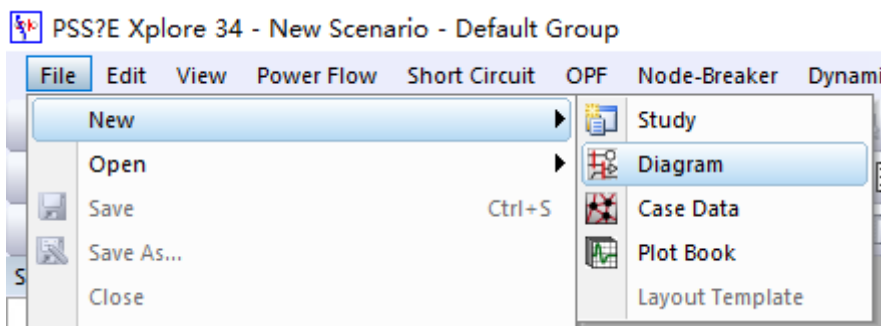


后续导入参数后对文件进行保存处理，处理步骤如下：（注意文件名.sav 不

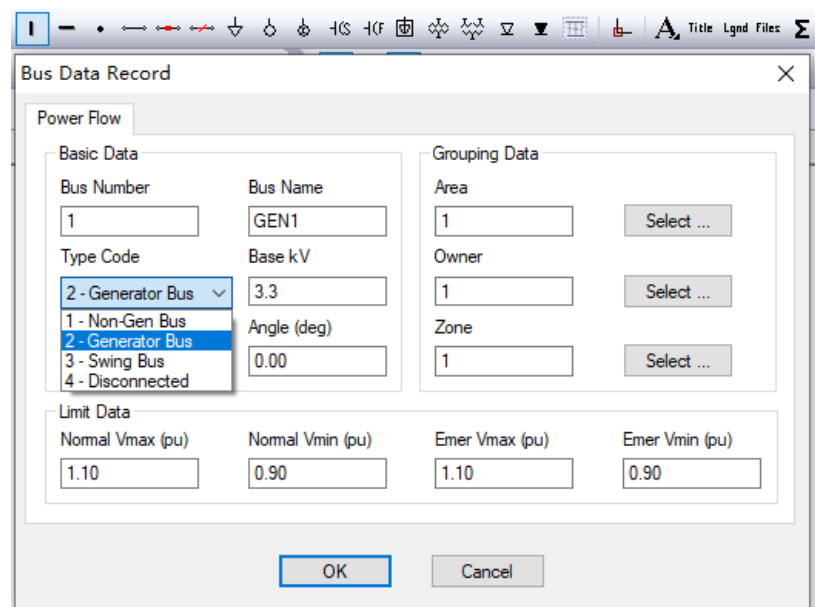
能删除)



2) 点击“File” → “New” → “Diagram”



3) 建立连接发电厂的母线（Generator Bus 为连接发电厂母线）



4) 点击发电厂，输入参数



Machine Data Record

Power Flow Short Circuit

Basic Data

Bus Number: 1 Bus Name: GEN1 3.3000

Machine ID: 1 In Service: ☒ Bus Type Code: 2

Machine Data

| | | |
|-------------|---------------|---------------|
| Pgen (MW) | Pmax (MW) | Pmin (MW) |
| 8.0000 | 10.0000 | 0.0000 |
| Qgen (Mvar) | Qmax (Mvar) | Qmin (Mvar) |
| 4.0000 | 4.0000 | 0.0000 |
| Mbase (MVA) | R Source (pu) | X Source (pu) |
| 10.00 | 0.000000 | 0.200000 |

Transformer Data

| | | |
|-------------|-------------|-------------|
| R Tran (pu) | X Tran (pu) | Gentap (pu) |
| 0.00000 | 0.00000 | 1.00000 |

Owner Data

| | |
|-------|----------|
| Owner | Fraction |
| 1 | 1.000 |
| 0 | 1.000 |
| 0 | 1.000 |
| 0 | 1.000 |

Wind Data

Control Mode: 0 - Not a wind machine

Power Factor (WPF): 1.000

Plant Data

| | |
|---------------|------------|
| Sched Voltage | Remote Bus |
| 1.0000 | 0 |

hanged to 1
default data

OK Cancel

5) 建立升压变压器 先建立非发电机母线 (Non-Gen Bus)

Bus Data Record

Power Flow

Basic Data

Bus Number: 101 Bus Name: STEP

Type Code: 1 - Non-Gen Bus Base kV: 33.0

Voltage (pu): 1.0000 Angle (deg): 0.00

Grouping Data

| | | |
|------|-------|------|
| Area | Owner | Zone |
| 1 | 1 | 1 |

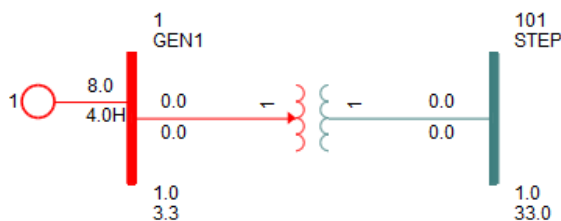
Limit Data

| | | | |
|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Normal Vmax (pu) | Normal Vmin (pu) | Emer Vmax (pu) | Emer Vmin (pu) |
| 1.10 | 0.90 | 1.10 | 0.90 |

101 STEP
1.0
33.0

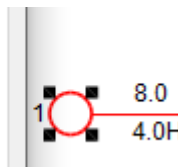
OK Cancel

建立升压变压器（变压器两侧电压填反，系统会标黄），在输入参数



6) 输入发电机控制电压

打开发电机参数面板，输入控制电压编号（Remote Bus）和调整电压最大值（Sched Voltage）



7) 建立平衡母线（Swing Bus）,在输入参数，对于平衡母线它会自行设置 Pgen 值

8) 建立发电机，并设置发电机内部参数（如：Gentap 发电机变比）

Machine Data Record

Power Flow | Short Circuit

Basic Data

Bus Number: 201 Bus Name: GEN2 33.000

Machine ID: 1 ☒ In Service Bus Type Code: 3

Machine Data

Pgen (MW): 4.0000 Pmax (MW): 5.0000 Pmin (MW): 0.0000

Qgen (Mvar): 0.0000 Qmax (Mvar): 2.0000 Qmin (Mvar): 0.0000

Mbase (MVA): 5.00 R Source (pu): 0.000000 X Source (pu): 0.250000

Transformer Data

R Tran (pu): 0.00000 X Tran (pu): 0.09000

Gentap (pu): 1.02500

Owner Data

Owner: 1 Select ... Fraction: 1.000

0 Select ... 1.000

0 Select ... 1.000

0 Select ... 1.000

Wind Data

Control Mode: 0 - Not a wind machine

Power Factor (WPF): 1.000

Plant Data

Sched Voltage: 1.0000 Remote Bus: 0

OK Cancel

9) 建立传输线 Branch

Branch Data Record

Power Flow | Short Circuit

Basic Data

From Bus Number: 101 From Bus Name: STEP 33.000 ☒ In Service

To Bus Number: 201 To Bus Name: GEN2 33.000 ☒ Metered on From end

Branch ID: 1 Branch Name:

Branch Data

Line R (pu): 0.02 Line X (pu): 0.2

Charging B (pu): 0.03 Length: 0.000

Line G From (pu): 0.00000 Line B From (pu): 0.00000

Line G To (pu): 0.00000 Line B To (pu): 0.00000

Ratings (I as MVA): RATE1: 10, RATE2: 0.0, RATE3: 0.0, RATE4: 0.0, RATE5: 0.0

Owner Data

Owner: 1 Select ... Fraction: 1.000


0 Select ... 1.000

0 Select ... 1.000

0 Select ... 1.000

OK Cancel

10) 建立负荷母线



1.0
3.3

401
LD2

101 [STEP
default data
1 33.0
M

Bus Data Record

Power Flow

Basic Data

Bus Number: 401ZZZ Bus Name: LD2

Type Code: 1 - Non-Gen Bus Base kV: 3.3

Voltage (pu): 1.0000 Angle (deg): 0.00

Limit Data

Normal Vmax (pu): 1.10 Normal Vmin (pu): 0.90

Emer Vmax (pu): 1.10 Emer Vmin (pu): 0.90

Grouping Data

Area: 1 Owner: 1 Zone: 1

OK Cancel

注意是否添加降压变压器,如若添加,则加入一回母线和降压变压器

Two Winding Transformer Data Record

Power Flow Short Circuit

Line Data

From Bus Number: 301 From Bus Name: LD1 33.0000 ☒ In Service

To Bus Number: 401 To Bus Name: LD2 3.3000 ☒ Metered on From end

Branch ID: 1 Transformer Name: Winding 1 on From end

I/O Data

Winding I/O Code: 1 - Turns ratio (pu on bus base kV) Impedance I/O Code: 1 - Z pu (winding kV system MVA) Admittance I/O Code: 1 - Y pu (system base)

Transformer Impedance Data

Specified R (pu): 0.000000 Specified X (pu): 0.300000

Magnetizing G (pu): 0.000000 Magnetizing B (pu): 0.000000

Impedance Table

Rtable corrected (pu): 0 Xtable corrected (pu): 0.300000

Owner Data

Owner: 1 Fraction: 1.0000

Transformer Nominal Ratings Data

Winding 1 Ratio (pu): 1.0250 Winding 1 Nominal kV: 33.0000

Winding 2 Ratio (pu): 1.0000 Winding 2 Nominal kV: 3.3000

Winding (1-2) Angle (degrees): 0.00 Winding MVA: 100.0000

Control Data

Controlled Bus Number: 401 Controlled Bus Name: LD2 3.3000 Control Mode: 1 - Voltage

☐ Controlled Bus On Winding Side Tap Positions: 33 ☒ Auto Adjust Wnd Connect Angle: 0.000000

R1max (pu): 1.10000 R1min (pu): 0.90000

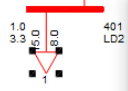
Vmax (pu): 1.10000 Vmin (pu): 0.90000

Load Drop Comp

Load Drop Comp R (pu): 0.000000 Load Drop Comp X (pu): 0.000000

OK Cancel

11) 建立负荷 (Load), 在输入参数



1.0
3.3

401
LD2

DATA ITE
CONT1
COD1
X1-2
WINDV1
NOMV1
NOMV2
RATE1

Load Data Record

Power Flow Short Circuit

Basic Data

Bus Number: 401 Bus Name: LD2 3.3000

Load ID: 1 ☒ In Service ☒ Scalable ☐ Interruptible

Load Data

Pload (MW): 15.0000 Qload (Mvar): 8.0000

IPload (MW): 0.0000 IQload (Mvar): 0.0000

YPload (MW): 0.0000 YQload (Mvar): 0.0000

☐ Distributed generation on feeder

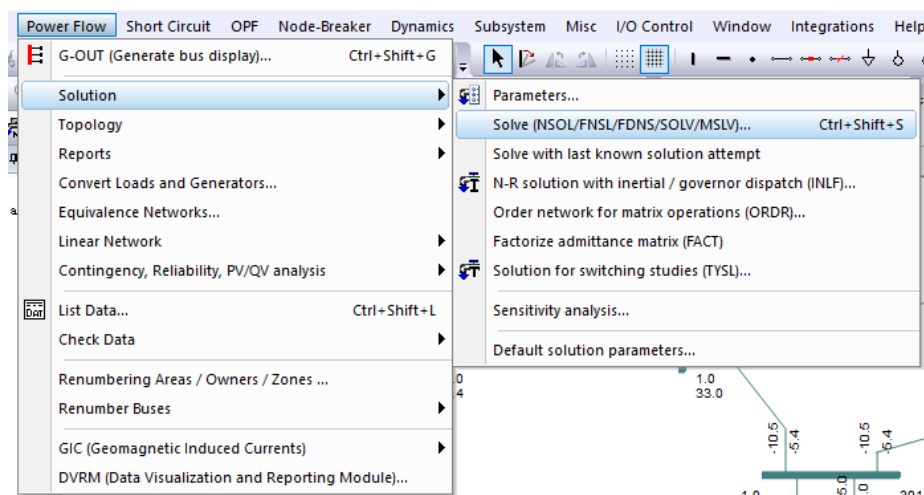
Distributed gen (MW): 0.0000 Distributed gen (Mvar): 0.0000

Grouping Data

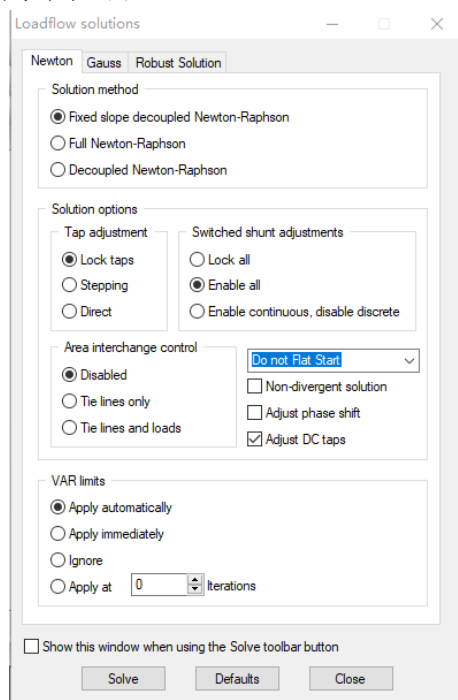
Area: 1 Owner: 1 Zone: 1

OK Cancel

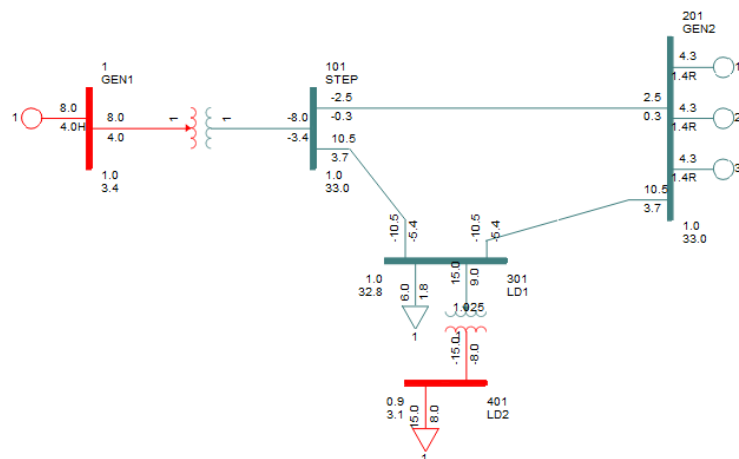
12) 进行潮流计算

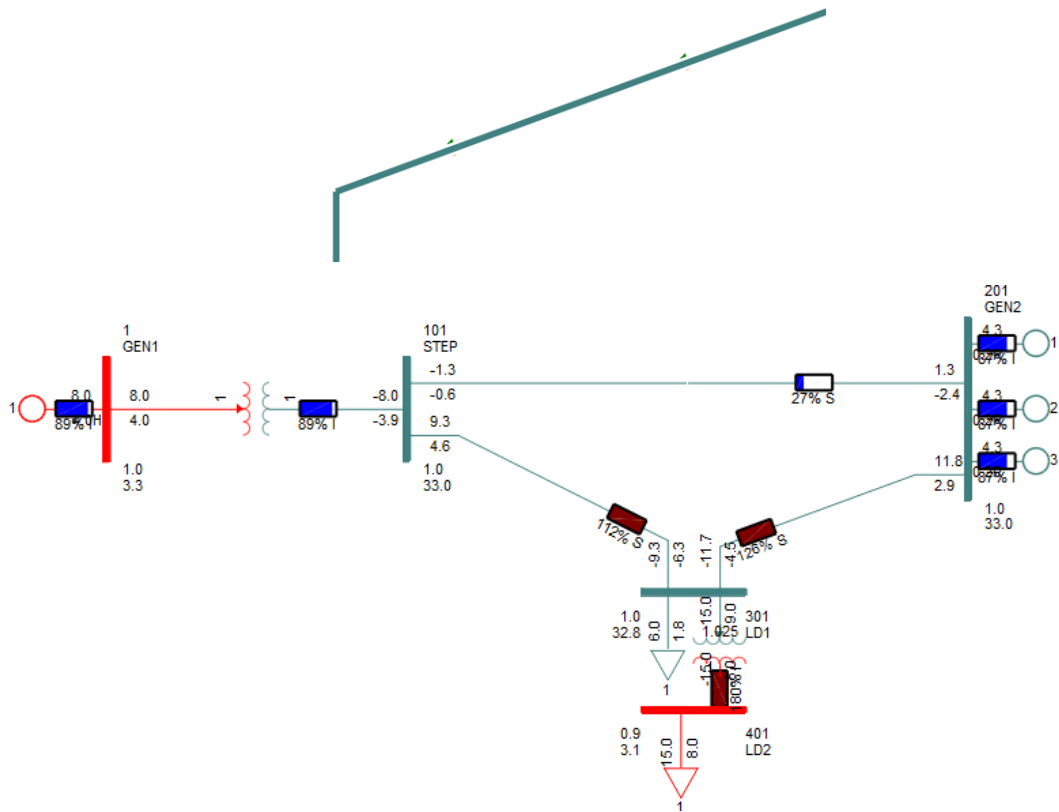


选择计算方法（此处为牛拉法）

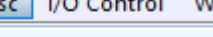


计算结果如下图所示：



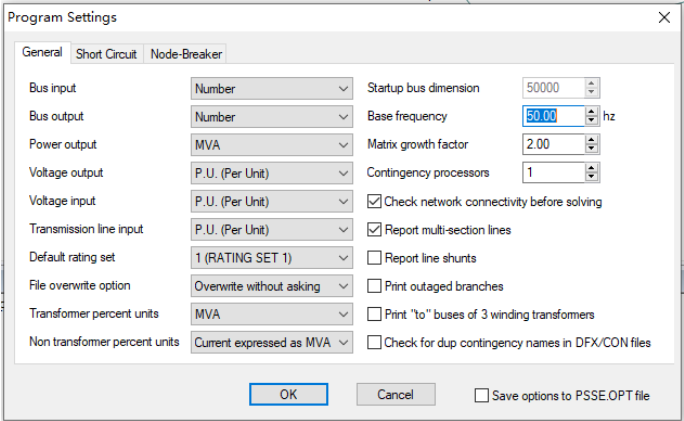


1) 系统基准频率错误



Misc I/O Control Window Integrations Help

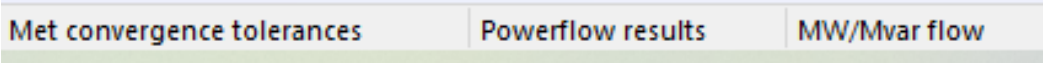
- Change program settings (OPTN)...
- Display timing statistics (TIME)
- Reset timing statistics to zero (TIME,INIT)
- Insert text into the Progress stream (TEXT)
- Select extended bus name input format



还可以在弹框左边进行相应的设置，设置是以有名值或标么值进行输入输出相关量。

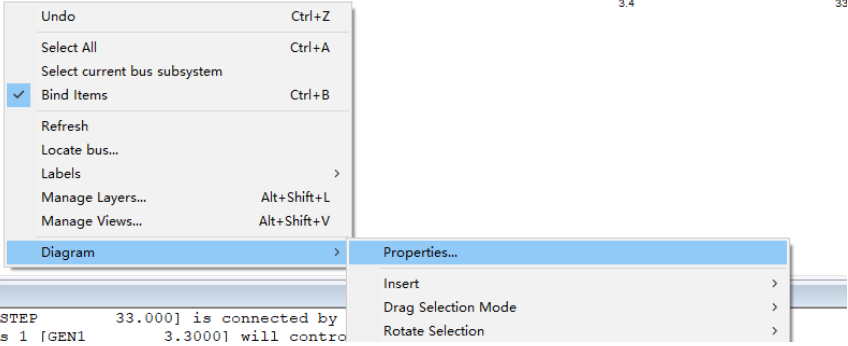
2) 潮流计算不收敛

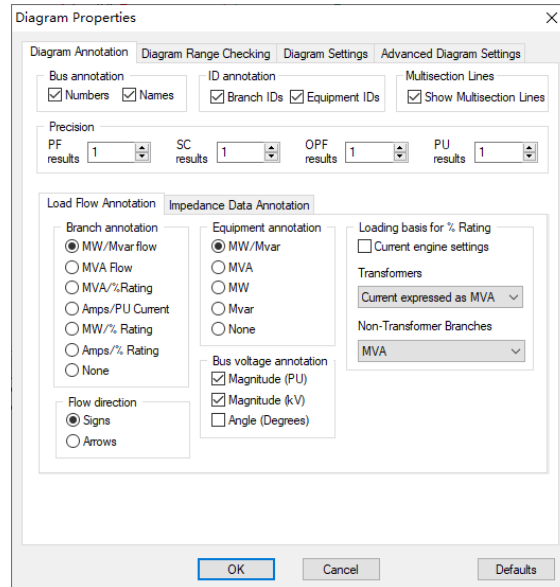
在进行收敛过程中不收敛，或者震荡不收敛，请检查各设备元器件相关参数，可能是相关设备信息输入存在错误。结果要显示为 Met convergence tolerances 才代表结果收敛。



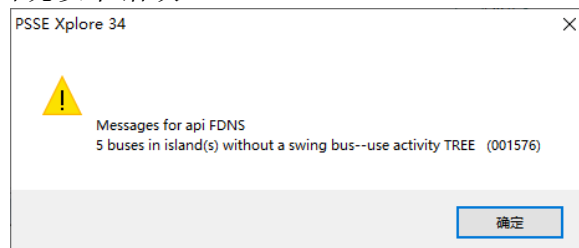
3) 查看其他参数

在得到潮流结果后，若想查看其他参数，可进行以下操作。鼠标右击空白处，点击 Diagram 下的 Properties，可在 Load flow annotation 进行设置。





4) 潮流计算结果出现以下错误



这是因为一个系统中必须要设置一个平衡母线（Swing Bus），需根据任务进行选择哪一回母线为平衡母线。