

# **《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

**2023.12**

# 区域电网规划与设计指导书

## 一、设计的目的和要求：

电力系统课程设计是学生学习电力系统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，学习使用专业软件和工具，训练电气工程技术经济分析和比较的基本思路和方法，培养电力网规划设计的能力，培养解决工程复杂问题的能力。

通过课程设计应达到下列要求：

- 1) 熟悉国家能源开发策略和有关的技术规程、规定、导则等，树立供电必须安全、可靠、经济的观点；
- 2) 掌握电力网初步设计的基本方法和主要内容；
- 3) 熟练电力网的基本计算；
- 4) 学习工程设计说明书的撰写。

## 二、设计步骤与提示

### 1. 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)。

#### 1) 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：

$$\text{用电负荷} \quad P_y = k_1 \sum_{i=1}^n P_{\max.i} \quad (1)$$

$$\text{供电负荷} \quad P_g = \frac{1}{1-k_2} P_y \quad (2)$$

$$\text{发电负荷} \quad P_f = P_g + \sum_{j=1}^m P_{z,j} + \sum_{j=1}^m k_{3,j} P_{G,j} \quad (3)$$

式中：  $\sum_{i=1}^n P_{\max.i}$  ——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，网损率取 5%；

$k_{3,j}$  ——第 j 个发电厂的厂用电率，其取值与电厂类型相关；

$P_{z,j}$  ——第 j 发电厂直配负荷。

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

## 2) 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:

$$Q_{\Sigma} \geq 1.15 Q_D \quad (4)$$

$$Q_D = K P_D \quad (5)$$

式中:  $Q_{\Sigma}$ ——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之和最大值。

$K$ ——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:

$$Q_C = Q_{\Sigma} - Q_G - Q_R - Q_{C.L} \quad (6)$$

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, 架空线路充电功率见附录表三。

(无功平衡也可以参照有功平衡:  $\sum Q_G + \sum Q_C \geq \sum Q_{\text{负荷.max}} + \sum \Delta Q_{\text{网损}} + Q_{\text{备用}}$ )

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。

## 2. 电力网接线方案的技术论证及经济比较

### 2.1 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)。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，任何一条线路或母线故障均能保证其它重要负荷用电）；

②均一网的有功功率和无功功率**初步分布**，计算所有  $L$  条线路上的视载功率  $S_l, l=1, \dots, L$ 。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，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）；

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**（初步比较时可以比较  $\sum_{l=1}^L D_l S_l^2$ ）；

选择 2~3 个技术经济均较优的方案为合理初选方案。

## 2.2 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  $T_{max}$  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。

## 2.3 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。

### 2.3.1 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。

### 2.3.2 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。

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

$P_w$  —— 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

$C'$  —— 一年经营总成本

$S_v$  —— 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：

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

$\alpha$  —— 损耗电能的电价（0.5 元/kW.h）

$\alpha_1$  —— 检修维护费率(取 0.05)

$\alpha_2$  —— 折旧率(取 0.04，即按经济使用年限 25 年计)

$\Delta W$  —— 年电能损耗， $\Delta W = \Delta P_{max} \tau_{max}$ （kWh / 年）。

$\tau_{max}$  —— 最大负荷损耗时间，其取值附录见附录表 4。

$\Delta P_{max}$  —— 最大负荷时的功率损耗。

#### (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。

### 3 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)

#### 3.1 变压器的额定容量选择

##### (1) 变压器容量选择:

若变电站为双变压器设计, 则

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

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

$S_{D,i}(i=1,...,n)$  为第  $i$  个变电站的最大负荷容量。  $S_{D,i}(i=1,...,n) = P_{\max,i} / \cos \phi_i$

若变电站为多变压器设计, 则  $S_{N,i}(i=1,...,n)$  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:

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

#### 3.2 变压器的型号选择

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。

### 4 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。

### 5 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)。

### 三、 设计成品：设计说明书一册，附图若干张

#### (一) 设计报告

设计报告目录；

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

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.）

**附录：**电力网课程设计计算书：1、电力电量平衡计算；2、各主要方案的技术经济计算；3、系统各元件参数的计算；4、最大运行方式潮流与电压计算；5 最小运行方式潮流与电压计算；6、变压器分接开关位置选择计算；7、事故后校验计算；（在设计报告中只须写出计算结果，并尽量以表格形式表示。而附录是对设计报告中的计算给予的详细说明。）

附课程设计体会与心得（新）得

#### (二) 课程设计成品及资料袋

设计任务书

设计报告

评议书

评分表

资料袋目录内容

注：

- (1) 图纸要符合图纸规范
- (2) 报告的格式和字体请参考学校要求的毕业设计论文格式
- (3) 所有文件和资料、表格上姓名、班级、学号、题目的填写和签字（除了指导老师、答辩小组、答辩组长等）

### 四、 附录

#### (一) 可参考数据

表一                      110KV 架空输电线路单位投资指标



线路型号	单回综合造价	同杆双回综合造价	万元 / 公里
LGJ—400	50万元 / 公里	+40%	
LGJ—300	45万元 / 公里	+40%	
LGJ—240	40万元 / 公里	+40%	
LGJ—185	35万元 / 公里	+40%	
LGJ—150	30万元 / 公里	+40%	
LGJ—120	30万元 / 公里	+40%	

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	80万元 / 公里	+40%
LGJ—300	72万元 / 公里	+40%
LGJ—240	70万元 / 公里	+40%
LGJ—185	65万元 / 公里	+40%
LGJ—150	64万元 / 公里	+40%
LGJ—120	60万元 / 公里	+40%

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

$\begin{matrix} \cos \varphi \\ T_{\max}(h) \end{matrix}$	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

## (二) 电力系统稳态分析中潮流计算和调压计算

如何使用电力系统分析计算软件计算潮流和调压

### 1.潮流的计算机算法与手算的对比

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。

### 2.主要潮流计算软件简介

#### 2.1 psasp

电力系统分析综合程序（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：

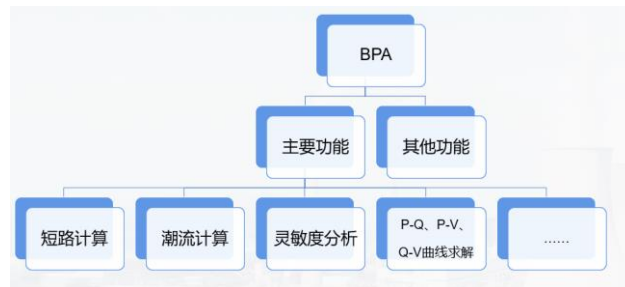
1. PSASP 作为日常电网分析工具，多年来 PSASP 为国调、东北、华中、西北、川渝等跨省大区电网、区内省调以及山东、江苏、内蒙、福建等省区电网制定调度运行方式、事故分析发挥了重要作用。
2. 随着我国电网的发展，PSASP 近年来正在向省内地调、县调及大工业用电户等单位应用扩展。

## 2.2 BPA

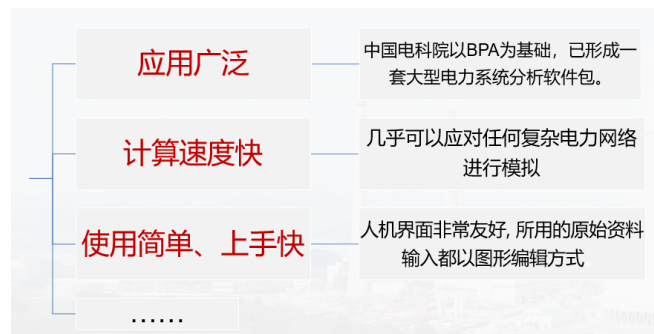
BPA 最初是上世纪 60 年代由美国邦纳维尔电力局（Bonneville Power Administration, BPA）开发的，1984 年开始由中国电力科学研究院电力系统研究所在全国推广应用和开发维护。

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：



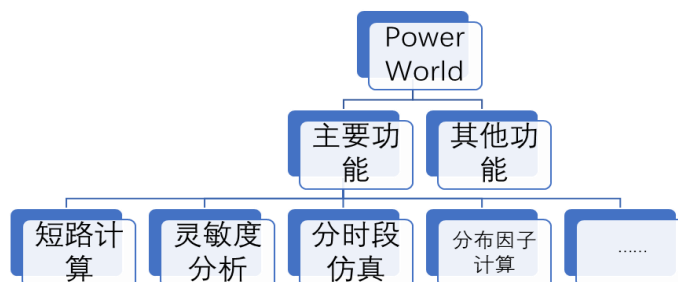
特点：



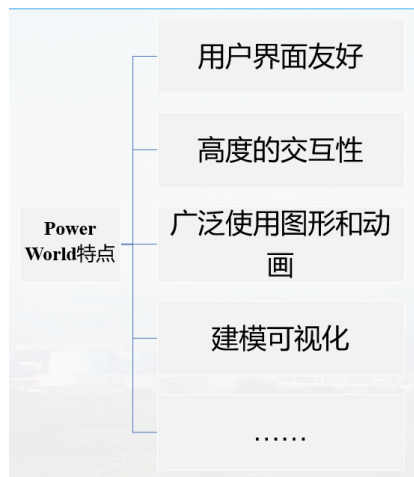
## 2.3 Power World

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：



## 2.4 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:

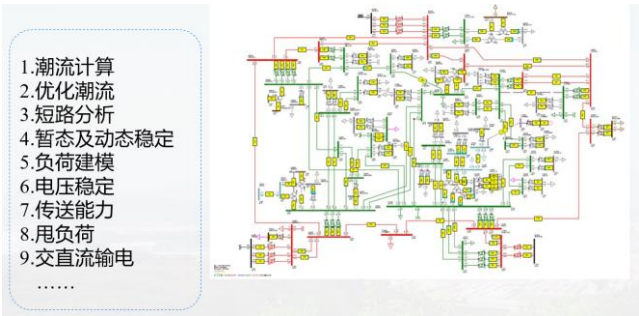


## 2.5 PSSE

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：



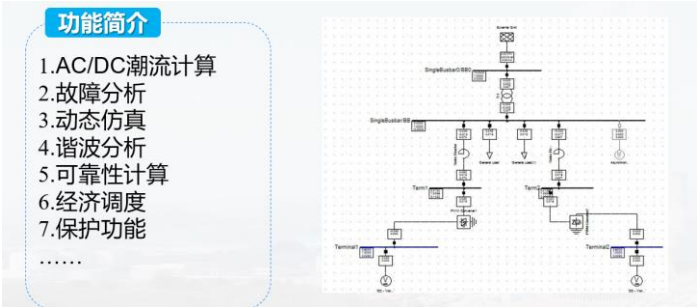
特点：

- 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。

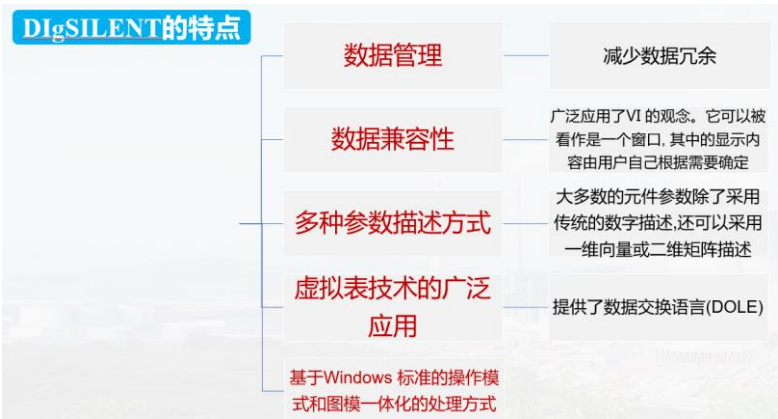
2.6 DIGSILENT

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：



3.电力系统分析综合程序（psasp）使用步骤

3.1 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。

### 3.2 PSASP 潮流计算步骤

#### 1) 新建工程

打开 PSASP 软件，点击“文件”→“新建工程”。



选择一个文件夹并输入工程名称，如“WSCC9”。

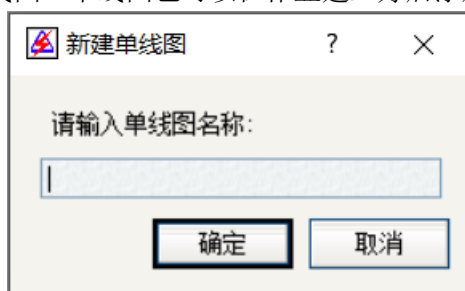
PSASP 会建立一个名为“WSCC9”的新文件夹，其中包含的文件夹和文件如下，以后在 PSASP 中选择文件“WSCC9.pro”即可打开工程。

名称	类型	大小
db	文件夹	
Elementslib	文件夹	
geo	文件夹	
Lib	文件夹	
Result	文件夹	
slg	文件夹	
StandardCfg	文件夹	
SubTemplate	文件夹	
Temp	文件夹	
trash	文件夹	
udm	文件夹	
200425160526.fdb	FDB 文件	16,384 KB
psasp.id	ID 文件	1 KB
RTDB.nm	NM 文件	1 KB
WSCC9.pro	PRO 文件	1 KB
WSCC9SLG	文件	2 KB

#### 2) 单线图命名

为单线图命名，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。

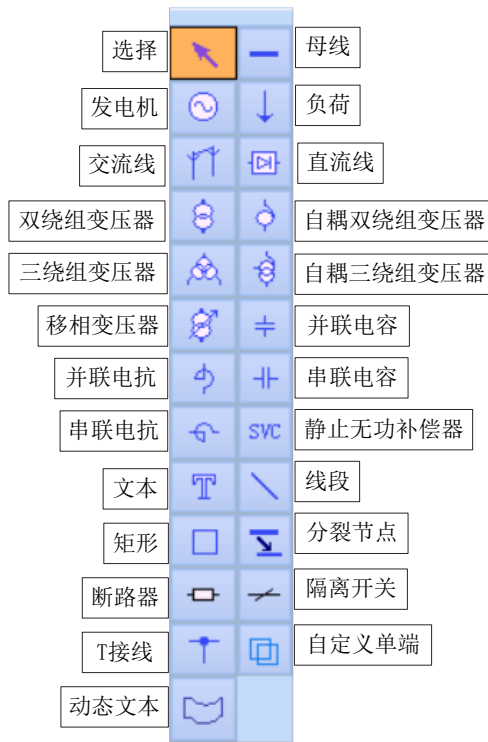


此时，PSASP 默认为编辑模式。工具条里的编辑按钮为按下状态。

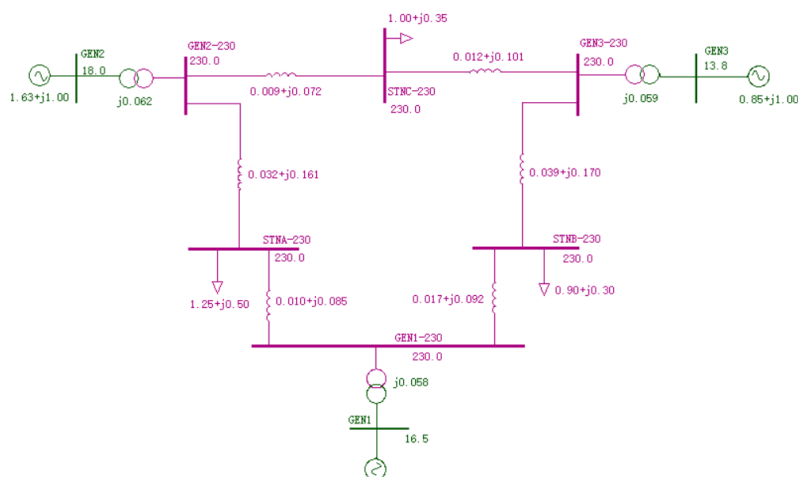


只有在编辑模式，才可以进行系统基础数据的编辑，比如添加/删除元件，改变系统结构，修改设备参数，以及绘画单线图。在计算模式下，只能浏览系统的基础数据。

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。

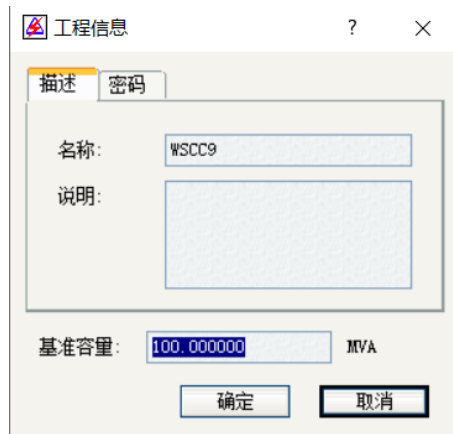


需绘制的单线图如下：



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。





工程信息

描述 密码

名称: WSCC9

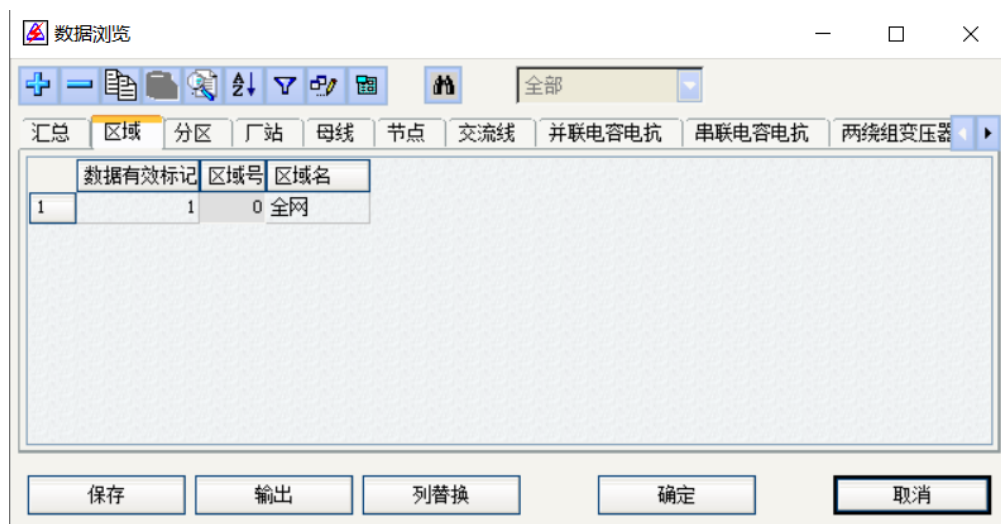
说明:

基准容量: 100.000000 MVA

确定 取消

### 3) 设置区域、分区和场站信息 如何分区和设置数据

本次实验中，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“-”按钮可添加/删除与区域和分区相关的记录。在任何时候，点“保存”按钮将数据变化保存。点击“确定”保存修改。




数据浏览

全部

汇总 区域 分区 厂站 母线 节点 交流线 并联电容电抗 串联电容电抗 两绕组变压器

数据有效标记	区域号	区域名
1	1	0 全网

保存 输出 列替换 确定 取消



数据浏览

全部

汇总 区域 分区 厂站 母线 节点 交流线 并联电容电抗 串联电容电抗 两绕组变压器

所属区域编号	分区编号	分区名称
1	0	0 Zone1
2	0	1 Zone2

保存 输出 列替换 确定 取消



数据浏览

全部

汇总 区域 分区 厂站 母线 节点 交流线 并联电容电抗 串联电容电抗 两绕组变压器

	厂站名	厂站类型	分区编号	经度	纬度
1	STNA	变电站	1	0.000000	0.000000
2	STNB	变电站	1	0.000000	0.000000
3	STNC	变电站	0	0.000000	0.000000
4	GEN3	火电厂	0	0.000000	0.000000
5	GEN2	火电厂	0	0.000000	0.000000
6	GEN1	火电厂	1	0.000000	0.000000

保存 输出 列替换 确定 取消

#### 4) 绘制单线图并设置数据

双击母线 GEN2，输入母线数据，其中，基准电压必须填写，厂站名必须选择。

母线数据

母线名: GEN2

电压(kV)

基准电压: 18 电压上限: 19.8 电压下限: 16.2

短路容量(MVA)

单相容量: 0.000000 三相容量: 0.000000

厂站名: GEN2 分区号: 0

确定 取消

双击与母线 GEN2 相连的发电机，输入发电机数据。

发电机及其调节器数据

节点名: GEN2 节点类型: PV 有效

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: 1.025000 相角: 0.000000 度

功率

P: 1.630000 Pmax: 0.0000 Pmin: 0.0000

Q: 1.000000 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

?

×

←

→

+

−

↶

↷

📄

📁

🔍

有效

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 Sn: 100.0000 MVA

额定功率 Pn: 172.8000 MW

同步机

模型: 0

参数组: 0

编辑参数

调压器

模型: 0

参数组: 0

编辑参数

调速器

模型: 0

参数组: 0

编辑参数

PSS

模型: 0

参数组: 0

编辑参数

数据组: BASIC

确定

取消

发电机参数

?

×

d轴暂态电抗 $X_d'$

0.119800

p. u.

d轴次暂态电抗 $X_d''$

0.119800

p. u.

负序电抗 $X_2$

0.119800

p. u.

转子惯性时间常数 $T$

12.800000

s

返回

双击与 GEN2 和 GEN2-230 相连接的变压器，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，并根据下图所示数据对变压器数据进行修改：

两绕组变压器数据

?

×

名称: TRANS2

编号: 0

连接信息

节点名

连接方式

基准电压(kV)

I侧: GEN2

☒ D ☐ Y ☐ YG

18.0000

J侧: GEN2-230

☐ D ☐ Y ☒ YG

230.0000

阻抗及变比

零序数据

控制信息

物理描述

☒ p. u. ☐ Ohm/10<sup>-6</sup> ☐ Siemens

模型示意图>>>

阻抗及变比

R1: 0.000000

X1: 0.062500

Tk: 1.000000

Gm: 0.000000

Bm: 0.000000

$I$

$R_1 + jX_1$

$G_m + jB_m$

$1: T_k$

$J$

数据组: BASIC

确定

取消

转换到“零序数据”标签，点击“计算”按钮。连接方式和零序电阻等数据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。

**两绕组变压器数据** ? ×

名称: TRANS2 编号: 0 ☒ 有效

连接信息	节点名	连接方式	基准电压 (kV)
I侧:	GEN2	<input checked="" type="radio"/> D <input type="radio"/> Y <input type="radio"/> YG	18.0000
J侧:	GEN2-230	<input type="radio"/> D <input type="radio"/> Y <input checked="" type="radio"/> YG	230.0000

阻抗及变比    **零序数据**    控制信息    物理描述

连接方式: ☐ IG ☒ JG ☐ IJ ☐ NO

RO: 0.000000  
XO: 0.062500

数据组: BASIC

双击连接 GEN2-230 和 STNC-230 的交流线 AC\_3，按下图填写数据：

**交流线数据** ? ×

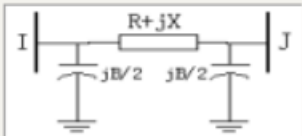
名称: AC\_3 编号: 0 所属区域: ☐ I侧 ☒ J侧 ☒ 有效

连接信息	节点名	开关状态	基准电压 (kV)
I侧:	GEN2-230	<input checked="" type="radio"/> 合 <input type="radio"/> 断	230.0000
J侧:	STNC-230	<input checked="" type="radio"/> 合 <input type="radio"/> 断	230.0000

阻抗    控制信息    物理描述

线路容量: 额定: 0.00000 kA 上限: 0.00 %

单位: ☒ p.u. ☐ Ohm/10<sup>-6</sup> Siem

模型参考示意图: 

阻抗: R1: 0.008500 X1: 0.072000 B1/2: 0.074500  
R0: 0.000000 X0: 0.216000 B0/2: 0.000000

数据组: BASIC

双击 STNC-230 母线上的负荷，填写数据：

←

→

+

—

↶

↷

📄

🔍

?

×

名称:

编号:

节点名:

节点类型:

功率电压

控制信息

负荷模型

单位

☒ p. u.
 ☐ kV/MW/Mvar

电压

幅值:

相角:  deg.

静特性

参数组:

编辑参数

功率

P:

Pmax:

Pmin:

Q:

Qmax:

Qmin:

数据组:

确定

取消

参考如下表格，输入系统剩余元件的数据。对未在下表中提及的元件数据，保持其默认值。

表 1-1 母线数据表

BUS_N AME	PHY POS	Plant/Stati on	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

表 1-2 交流线数据表

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

表 1-3 双绕组变压器数据表

Trans NAME	I_NAME	J_NAME	I_CONN	J_CONN	1	X1	GM	BM	TK	R0	X0
---------------	--------	--------	--------	--------	---	----	----	----	----	----	----

TRANS1	GEN1	GEN1-230	D	YG		0.0576	0			0	0.0576
TRANS2	GEN2	GEN2-230	D	YG		0.0625	0			0	0.0625
TRANS3	GEN3	GEN3-230	D	YG		0.0586	0			0	0.0586

表 1-4 发电机数据表

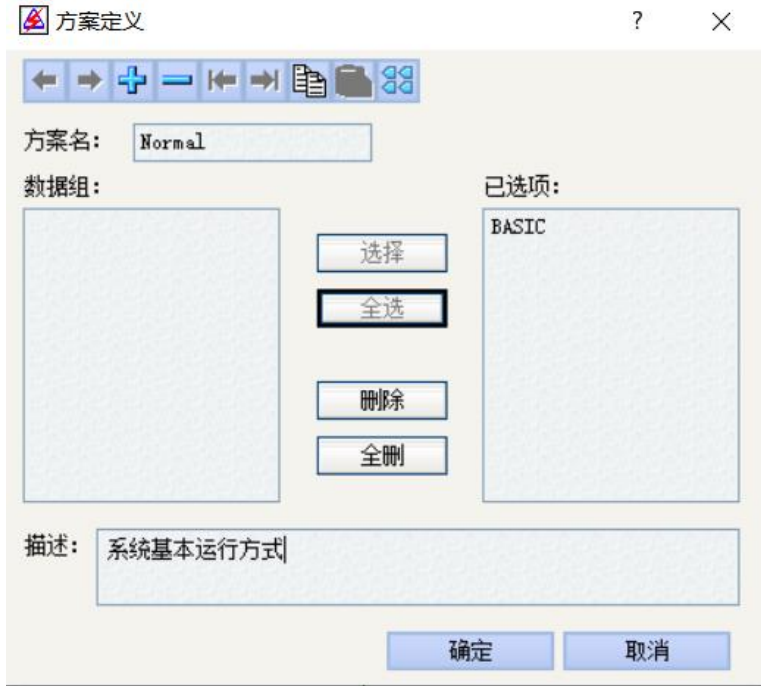
Gen NAME	Bus NAME	type	PG	QG	V	Angle	RATE_MVA	RATE_MW	XDP	XDPP	X2	TJ
GEN1	GEN1	V0	0	0	1.04	0	100	222.75	0.0608	0.0608	0.0608	47.28
GEN2	GEN2	PV	1.63	1	1.025	0	100	172.8	0.1198	0.1198	0.1198	12.8
GEN3	GEN3	PV	0.85	1	1.025	0	100	115.2	0.1813	0.1813	0.1813	6.02

表 1-5 负荷数据表

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

### 5) 方案设定

PSASP 首先要为潮流计算定义方案。点击“元件数据”→“方案定义”，在弹出的方案定义窗口点击“+”按钮，增加一个新方案。在数据组列表中选择 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”，然后单击“确定”按钮。



### 6) 设置潮流计算作业

点击工具栏里的潮流计算按钮。



在潮流计算模式下，系统的元件数据只能被浏览不能被修改，右侧工具栏的各图标及说明如下：

：定义潮流作业；



: 对当前的潮流作业进行详细的数据检查;



: 进入潮流“数据修改”界面, 可修改当前潮流作业的计算数据;



: 进入“高级刷新”界面, 对潮流计算数据进行刷新操作;



: 进入“作业复制”界面;



: 在已绘制的单线图上显示潮流数据的初始状态;



: 对当前潮流作业进行网络拓扑分析, 并执行潮流计算;



: 以批处理方式执行潮流计算;



: 在已绘制的单线图上显示潮流计算结果;



: 进入“潮流数据回存”界面, 可执行潮流计算数据回存的功能;



: 以 Excel 报表、文本文件或曲线的形式, 按照选定的范围和内容输出潮流计算结果、用户程序变量结果或 **Matlab** 模型变量结果;



: 在已绘制的单线图上显示程序自动统计的全网总发电、总负荷和总损耗;



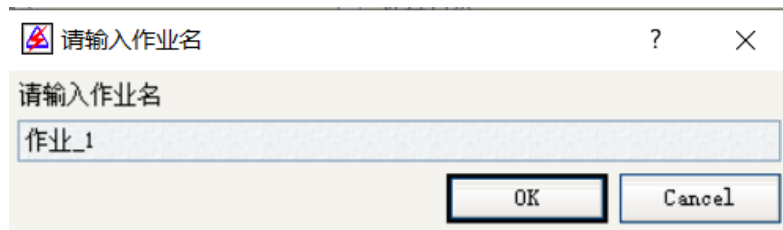
: 进入“潮流 **UPI** 配置”界面, 可对用户程序接口进行相关的配置;



: 进入“潮流 **Matlab** 配置”界面, 可对 **Matlab** 接口进行相关的配置。

点击“作业定义”按钮, 会弹出一个潮流计算信息窗口。单击工具栏里的“+”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”。





接着在方案名下拉选项中选择方案，如 Normal。再点击“编辑”按钮即可对控制信息、计算方法等进行编辑。点击“确定”后，便设置了一个名为“作业\_1”的潮流作业。

#### 7) 潮流数据检查

点击“潮流检查”按钮对潮流数据进行检查，正常情况输出如下：

```

21:34:29: 开始潮流数据检查...
21:34:29: 调用拓扑程序，进行拓扑结构检查...
21:34:29: 检查拓扑前后元件状态的变化...
21:34:29: 检查交流线
21:34:29: 检查电容电抗器
21:34:29: 检查变压器
21:34:29: 检查发电机
21:34:29: 检查负荷
21:34:29: 检查直流线
21:34:29: 检查潮流计算数据库...
21:34:29: 潮流计算数据库检查完成，没有发现错误。
21:34:29: 系统发电、负荷出力(p.u.)汇总
21:34:29: 分区号    分区名    PG        QG        PL        QL        dP        dQ
21:34:29:      0        全网        2.48        2        1        0.35        1.48        1.65
21:34:29:      1                0        0        2.15        0.8        -2.15        -0.8
21:34:29:      全网汇总        2.48        2        3.15        1.15        -0.67        0.85
21:34:29: 数据检查完成，没有发现错误。

```

#### 8) 执行潮流计算并查看结果

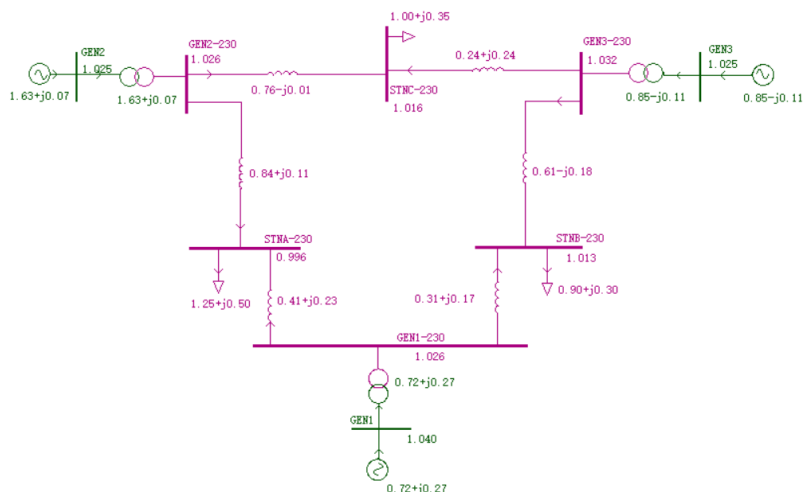
执行潮流计算：

```

22:26:47: 开始进行潮流计算.....
22:26:47: 潮流计算启动.....
22:26:47:  Newton Method (Power Equation) Iterative Process
22:26:47:  -----
22:26:47:      T          BUS.          MAX(DVR, DVI)
22:26:47:  -----
22:26:47:      0              GEN2      0.176948
22:26:47:      1              STNA-230  0.015035
22:26:47:      2              STNA-230  0.000191
22:26:47:      3              STNA-230  0.000000
22:26:47:  -----
22:26:47:      Slack Bus          P          Q
22:26:47:  -----
22:26:47:              GEN1      0.7164      0.2705
22:26:47: elapsed  0:m 0:s
22:26:47: End of Program. Please Close the Window....
22:26:47: 潮流计算终止.....
22:26:47: 潮流计算完成。
22:26:47: 刷新潮流结果图面内容，请稍候.....
22:26:47: 潮流结果图面内容刷新完毕!
22:26:47: 开始把潮流计算结果从实时库导入潮流结果库.....
22:26:47: 导入潮流结果库成功完成。

```

计算结束后的潮流分布：



潮流计算成功后可输出报表。点击“潮流输出”按钮，各元件的结果报告可根据需要输 EXCEL 文档或文本文档。例如，选中“物理母线”，不选择区域、分区、厂/站选框，在“单位”选项中选择“有名值”，点击“输出”。

潮流结果报表输出

?

×

作业名

作业\_1

浏览

输出范围

☒ 全部元件
 ☐ 所有结果
 ☐ 越限结果

电压区域选择

☐ 区域
 ☐ 分区
 ☐ 厂站
 ☐ 电压等级

元件选择

☐ 母线
 ☐ 发电机
 ☐ 负荷
 ☐ 交流线
 ☐ 并联电容电抗
 ☐ 串联电容电抗
 ☐ 两绕组变压器
 ☐ 三绕组变压器
 ☐ 移相器
 ☐ 开关
 ☐ 直流线

输出对象

☐ 摘要信息
 ☐ 结果综述
 ☒ 物理母线
 ☐ 发电机
 ☐ 负荷
 ☐ 交流线
 ☐ 并联电容电抗器
 ☐ 串联电容电抗器
 ☐ 直流线
 ☐ 两绕组变压器
 ☐ 三绕组变压器
 ☐ 移相变压器
 ☐ 开关
 ☐ 潮流断面

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

选择

定义

分组输出

☐ 区域
 ☐ 分区
 ☐ 厂站

单位

☐ 标么值
 ☒ 有名值

输出方式

☐ Excel报表
 ☒ 文本报表

输出

退出



## 物理母线

作业名: 作业\_1      计算日期: 2020/05/05      时间: 22:52:11

单位: kA\kV\MW\Mvar

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

### 3.3 潮流计算常见问题解答

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。





## 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。

上述问题是在课程设计中遇到的比较多的问题，出现其他问题可参考详细 PSASP 使用手册，班级使用的版本主要由两个，一个是正版 7.1，需要加密狗才能进行潮流计算，另外一个盗版 7.0，可不使用加密狗进行计算，但有时候会存在不稳定的问题，此类情况较少。

# 五、 参考资料

- [1] 电力工业部电力规划设计总院. 电力系统设计手册[D]. 中国电力出版社, 1998.
- [2] 陈珩. 电力系统稳态分析 (第四版) [D]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 曹绳敏. 电力系统课程设计及毕业设计参考资料[D]. 东南大学出版社, 1995
- [4] 中华人民共和国水利电力部编. 电力工程概算指标[M]. 长春: 水利电力出版社, 1976.
- [5] 祝淑萍, 段慧达, 姚欣. 电力系统分析课程设计与综合实验[D], 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [6] 水利电力部. 电力系统安全稳定导则[M]. 水利电力出版社, 1984.
- [7] 水利电力部. 电力工程设计手册[M]. 人民出版社, 1972.