



PSD-BPA 潮流程序用户手册

(4.5.3 版)

中国电力科学研究院

2019 年 3 月

工作单位：中国电力科学研究院系统研究所

工作时间：1991 年 8 月～2019 年 03 月

工作人员：卜广全、汤涌、印永华、侯俊贤、王毅、董毅峰、王虹富

报告编写：印永华、卜广全、汤涌、侯俊贤、王毅、董毅峰

报告审核：卜广全

报告批准：汤涌

目录

再版前言	IV
前言	V
1 基本功能和特点	1
1.1 程序规模	1
1.2 程序的主要功能	1
2 程序输入输出模式和数据文件一般结构简介	6
2.1 程序的输入输出模式	6
2.2 潮流数据文件的一般结构	7
3 控制语句说明	9
3.1 控制语句的分类	9
3.2 填写控制语句的注意事项	9
3.3 常用控制语句说明	10
3.3.1 潮流开始和结束的控制语句	11
3.3.2 注释语句	11
3.3.3 指定控制语句文件	12
3.3.4 指定网络数据文件	12
3.3.5 指定潮流结果输出二进制文件(.BSE)	13
3.3.6 指定老库文件	13
3.3.7 指定潮流图用的数据文件(.MAP)	13
3.3.8 指定系统基准容量	14
3.3.9 计算过程控制语句	14
3.3.10 输入数据输出选择	16
3.3.11 潮流计算结果输出选择	17
3.3.12 潮流结果分析报告输出选择	18
3.3.13 区域功率交换数据输出控制语句	23
3.3.14 线路和变压器损耗输出控制语句	24
3.3.15 输出数据显示精度控制语句	27
3.3.16 支路 R/X 检查控制功能	27
3.4 用户自定义控制语句	27
3.4.1 定义物理量之间的数学运算	29
3.4.2 定义输电线路潮流	30
3.4.3 定义区域联络线交换功率	30
3.4.4 定义网损	31
3.4.5 定义节点物理量	32
3.4.6 定义分区物理量	34
3.4.7 输出格式说明	35
3.5 修改潮流数据控制语句	37
3.5.1 修改数据控制语句/CHANGES	37
3.5.2 修改节点类型控制语句/CHANGE_BUS_TYPE\	40

3.6 自动发电控制(AGC)用控制语句	41
3.7 节点灵敏度分析控制语句	43
3.8 节点 Q-V、P-V 和 P-Q 曲线求解控制语句	46
3.9 切除发电机和失去发电功率模拟控制语句	49
3.10 线路灵敏度分析控制语句	51
3.11 损耗灵敏度分析控制语句	53
3.12 N-1 开断模拟控制语句	54
3.13 网络化简控制语句	56
3.14 负荷静特性模型模拟功能	57
4 网络数据说明	65
4.1 数据卡片的分类	65
4.2 区域控制数据卡	66
4.2.1 AC—区域交换功率控制卡	66
4.2.2 AO—区域输出分类卡	68
4.2.3 I—安排区域交换功率数据卡	69
4.3 节点数据卡	69
4.3.1 B—交流节点数据卡	69
4.3.2 BD—两端直流节点数据卡	71
4.3.3 BM—多端直流节点数据卡	73
4.3.4 +——延续节点数据卡	74
4.3.5 X—可切换电抗、电容器组卡	75
4.4 支路数据卡	76
4.4.1 L—对称线路数据卡	76
4.4.2 L+—线路高抗参数数据卡	77
4.4.3 E—不对称线路数据卡	77
4.4.4 LD—两端直流线路数据卡	78
4.4.5 LM—多端直流线路数据卡	79
4.4.6 T、TP—变压器和移相器数据卡	80
4.4.7 R—带负荷调压变压器和移相器控制卡	81
4.4.8 RZ—可快速调整的线路串补数据卡	83
4.5 数据修改卡片	83
4.5.1 PA、PZ、PO、PC、PB—发电出力负荷百分数修改卡	83
4.5.2 Z—分区重新命名卡	86
4.5.3 DZ—分区删除卡	87
4.6* 柔性直流数据卡	87
4.6.1* BZ、BZ+—柔性直流节点数据卡	87
4.6.2* LZ—柔性直流线路数据卡	90
4.7* 模块化 UPFC 数据卡	90
4.7.1* TS—模块化 UPFC 串联端数据卡	91
4.7.2* TU—模块化 UPFC 并联端数据卡	93
4.8* 基于电流源换流器的直流数据卡	93
4.8.1* BA、BA1、BA2—LCC 直流节点数据卡	94

4.8.2* LY—LCC 直流线路数据卡	96
4.8.3* DC—LCC 直流控制信息数据卡	97
参考文献	99
附录.....	100
A 潮流收敛性的问题说明	100
B 修订说明	102

再版前言

基于 Windows 操作系统的 PSD-BPA 潮流及暂态稳定及人机界面程序自从 1997 年底推出以来，在电力系统规划设计、调度运行及教学科研部门得到了广泛应用。目前软件的版本为支持 Windows NT/2000/XP/7/8 操作系统 4.x 版。根据用户的意见和要求，过去几年及现在一直在不断地对有关程序进行完善、更新和改造，将来也将继续努力最大限度地满足用户的要求。

本手册是在原有程序用户手册的基础上经修正、补充部分内容完成的。由于时间仓促，难免有误，欢迎指正，以方便其他用户。

地址：北京市海淀区清河小营东路 15 号
中国电力科学研究院系统所

邮编：100192

联系人：王毅

电话：010-82812828

传真：010-82412340

电子邮件：wangy@epri.sgcc.com.cn

前言

近几年由能源部电力科学研究院引进并推广应用的 BPA 程序是以 1983 年版为基础开发而成的，在程序中加入了我国电力系统分析计算所必需的重要功能，形成了适合我国电力系统分析计算的中国版 BPA 程序（目前简称 PSD-BPA 程序^{再版注}）。

随着 BPA 程序在国外和国内的大量实践应用，人们对程序的继续开发和完善不断地提出新的要求，使 BPA 程序在美国和中国都得到了新的发展。电科院系统所 BPA 课题组近一年来，在新版本（1990 年版）BPA 程序的基础上，经进一步开发和完善，形成了新的 BPA 程序。

本手册为 BPA 电力系统分析程序中的潮流程序用户手册，主要介绍程序的特点和功能；程序控制语句和数据卡片格式以及典型应用例子，以便于程序使用者能应用该程序解决实际工程问题。

由于时间短，工作量大，本手册中难免有不足之处，请用户多提宝贵意见。

1 基本功能和特点

1.1 程序规模

Windows 9x/NT/2000/XP 操作系统潮流程序规模为 80000 节点：

- 1) 80000 个节点，另外用于网络化简的节点 5000 个。
- 2) 240000 条支路，其中包括 4000 台带负荷调压（LTC）变压器，400 台移相器。
- 3) 200 条两端直流线路和 50 条多端直流线路。
- 4) 100 个功率交换区域，所有的区域共可包括 1500 个分区，各区域之间可有 4000 条功率交换联络线。
- 5) 100 个柔性直流节点，300 条柔性直流系统，可包含 10 个多端柔性直流系统。

1.2 程序的主要功能

(1) 计算方法

程序采用的计算方法有三种：P—Q 分解法、牛顿—拉夫逊法和改进的牛顿—拉夫逊算法，采用什么算法以及迭代的最大步数可以由用户指定。

为了提高收敛性，通常是先采用 P—Q 分解法进行初始迭代，然后再转入牛顿—拉夫逊法求解潮流。

改进的牛顿—拉夫逊法的主要用途如下：

- 1) 该算法适用于求解低压配电网、具有串补的网络和经网络化简以后的等值网络系统的潮流。采用该算法有助于克服由于网络 R/X 比值大而收敛性差的困难。
- 2) 该算法可用来处理伪 V_θ 节点，所谓伪 V_θ 节点是 BPA 程序中新设置的三种节点类型，它们是 BJ、BK 和 BL。BJ、BK 和 BL 在计算中的职能见表 1-1：

表 1-1 BJ、BK 和 BL 在计算中的职能

节点类型	初始类型	最终类型
BJ	BS (V_θ)	B (PQ)
BK	BS (V_θ)	BE (PV)
BL	BS (V_θ)	BQ (PV, $Q_{\min} < Q < Q_{\max}$)

由表 1-1 可知，BJ、BK 和 BL 在初始时，都作为 BS 节点（即 V_θ 节点）输入，在计算时先作为系统的平衡节点，最后在进入牛顿—拉夫逊法以后再分别转换为 PQ、PV（对无功没有约束）和 PV（对无功有约束）节点类型，从而可增加计算的灵活性

和收敛性能。

该算法的最大迭代步数也可由用户自行选定。计算时也可先用该新算法替代 P—Q 分解法进行若干次迭代计算，然后再转入牛顿—拉夫逊法迭代过程。

(2) 负荷静特性模型

BPA 潮流程序中通常使用的负荷模型为恒定功率负荷，也可以采用恒功率、恒电流和恒阻抗相结合的负荷模型，用来模拟电压变化对负荷量的影响。

(3) 发电功率控制

包括两组发电控制：

1) AGC—自动发电控制

该功能与原有的区域联络控制功能合用，自动控制区域联络线上的交换功率为给定数值。

由于有若干机组来共同承担系统或区域的功率偏差值，因此通常采用 AGC 的方式比不采用 AGC 的方式收敛性要好，能更快地收敛。当然，如果在出力调节过程中，某些 AGC 机组达到了上限或下限，则由于需要重新调整出力，而会增加一些计算工作量。

2) GEN_DROP—切除发电机和失去发电功率

该功能用来模拟失去发电功率以后系统的短期响应特性。所得到的计算结果反映出系统由于某种原因失去部分发电功率以后，各发电机组出力和线路潮流重新调整和分布的情况。

(4) 节点电压控制

BPA 潮流程序中，有多种特有的电压控制节点类型，包括 BQ、BG、BT、BX、BF 节点，这些节点的特性如下：

- 1) BQ—该节点在 $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$ 的范围内控制自身的电压为指定值；
- 2) BG—该节点在 $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$ 的范围内，去控制其它节点的电压为指定值；
- 3) BT—该节点的电压值受带负荷调压变压器的控制；
- 4) BX—该节点装有可投切的电容和电抗器组，通过分级投切电容、电抗器来控制节点电压值；
- 5) BF—该节点在计算中先作为 BE (PV) 节点处理，等到有功功率 P 收敛以后，

再自动转换为 B (PQ) 节点。它有助于在求解时得到更符合实际情况的电压值。

此外，程序中还包含节点类型转换功能，使用户能方便地将原始数据中的节点类型修改为当前想要的节点类型。

(5) 节点 Q-V、P-V、P-Q 曲线求解功能

这一功能可以使用户得到指定节点的一组 Q-V、P-V、和 P-Q 数据。

具体使用方法有两种：

- 1) 节点参数扰动法：对指定的节点电压、无功或有功加以扰动，以观察所引起的无功或者电压的变化量。
- 2) 负荷扰动法：对指定的分区、区域或者全系统的有功和无功负荷加以百分数修改扰动，以观察在指定节点上的电压或无功的变化量。

(6) 灵敏度分析

本程序可以进行三种灵敏度的计算分析，分别为：

- 1) 节点灵敏度：
 - 无功扰动 ΔQ 所引起的各节点电压变化值及其变化率 dV/dQ ；
 - 有功扰动 ΔP 所引起的各节点电压角度 θ 变化值及其变化率 $d\theta/dP$ 。
- 2) 线路灵敏度分析：
 - dP_{ij}/dX_t 由线路电抗变化所引起的线路有功潮流变化量；
 - dP_{ij}/dB_s 由节点并联导纳变化所引起的线路有功潮流变化量；
 - $dLOSS/dX_t$ 由线路电抗变化所引起的系统损耗变化量；
 - $dLOSS/dB_s$ 由节点并联电纳变化所引起的系统损耗变化量；
 - dV_i/dX_t 由线路电抗变化所引起的节点电压变化量；
 - dV_i/dB_s 由节点并联电纳变化所引起的节点电压变化量。
- 3) 损耗灵敏度分析：
 - $dLOSS/dP$ 反映节点发电或者负荷有功功率的变化对系统损耗的影响；
 - $dLOSS/dQ$ 反映节点发电或者负荷无功功率的变化对系统损耗的影响；
 - $dLOSS/dV$ 反映节点电压变化对系统损耗的影响。

(7) 网络阻抗快速调整模拟

该模型的原理是：采用可控硅快速调整输电网络的阻抗，从而达到控制线路功率的目的。该功能对于研究系统串联补偿和设计灵活的输电系统方面是很有用的。

(8) 网络简化等值

应用 Ward、REI 等值方法，对指定区域简化，在保留区域内可去掉指定节点，在简化区域内可以指定要保留的节点、发电机。其简化按最优原则进行。在简化时程序对角度相差过大点，则分群简化。简化网潮流结果与复杂网的基本一致，并可用于稳定计算（稳定数据需要用户根据经验另行计算。现已有电力系统系统动态等值软件可以进行潮流和稳定数据等值，详见参考文献[13]）。

(9) 系统合并

当新设计一个联合电力系统时，往往需要把局部系统合并为一个统一的系统来进行分析研究。BPA 潮流程序具有此功能。

(10) 系统事故分析（N-1 开断模拟）

无论在系统设计及运行计划编制中，必须把系统中每一元件轮流断开，检查其余元件的过负荷状态。程序应用补偿法，能快速地检查指定区域中每一元件故障后系统状态，指出系统运行的薄弱环节，为电网运行、规划提供依据。

(11) 确定系统网络极限传输水平

可以方便地对全系统或系统中某一部分的有功、无功出力和负荷成比例地增加或减少，以预测网络对负荷增长的适应能力。该功能对于电网规划比较有用。

(12) 详细的输出内容和灵活的输出方式

可以有选择地列表输出原始数据、计算结果和潮流分析数据列表。潮流分析报告是潮流程序的重要组成部分，它将计算结果整理成多种表格，以方便用户对计算结果进行分析。

目前程序中有三种方法输出分析报告：

- 1) 将数据分析列表分为 4 个等级，分别包含不同数量的列表，可以按四个水平级选择输出分析报告；如果采用了区域联络线功率控制功能，还将输出区域联络线功率控制一览表。
- 2) 可用潮流计算控制语句，在所有的分析列表中，随意指定想要输出的表格。
- 3) 用户自行定义分析报告。由用户自己选定物理量，并可对这些物理量做数学运

算，形成用户自己设计的输出表格。

(13) 区域或者分区互联方面的功能

总而言之，BPA 潮流程序在区域以及分区互联方面的功能有：

- 1) 区域网络数据自动合并。
- 2) 区域交换功率控制。
- 3) 按区域或者分区（电力局）分别输出计算结果。
- 4) 按区域、分区或者所有者（电力局）分别输出潮流分析报告。
- 5) 按区域、分区或者所有者修改发电和负荷功率，以及按负荷的静特性在所指定的区域、分区或所有者（电力局）的范围内分配负荷。
- 6) 按区域或分区实现节点电压控制类型转换，求解节点的 P-Q 和 Q-V 曲线、计算损耗灵敏度等等。

与上述功能相配合，程序中又新增了一张卡片：

DZ—用于自动删去在该卡片中指定的分区内的所有节点。

DZ 卡有助于多区域或多分区互联系统中只对感兴趣的分区进行计算分析，而忽略其它不感兴趣的分区，增加了计算的灵活性和方便性。

(14) 专用控制语言

程序中有详细的专用控制语言。通过专用控制语言，可以方便地确定计算内容、修改数据、选择和改变控制功能，选择输入、输出内容等等。

(15) 检错功能

程序中有 900 多种检错信息，表示出错的原因及性质，便于用户根据检错信息发现和纠正错误。

(16) 潮流图绘制

应用单线图格式潮流图程序及地理接线图格式潮流图程序可进行潮流图的绘制，潮流图中采用的符号与我国电力系统的习惯基本一致，详见参考文献[10][11][12]。

2 程序输入输出模式和数据文件一般结构简介

2.1 程序的输入输出模式

BPA 潮流程序的输入、输出模式可用如下简图表示：



对此图作如下说明。

(1) 输入部分

➤ 程序控制语句

它用来指定作业及工程名字，指定计算中所有采用的程序功能，指定输出及输入文件的选择等等。

➤ 网络数据

包括节点数据和支路数据，数据记录格式见第 4 章，它可以紧跟在程序控制语句后输入，也可以取一文件名后存入库中，由程序控制语句来调用。

➤ 老库文件 (OLD_BASE_FILE) *.BSE

它是由一潮流作业所生成的二进制结果文件，对该作业来说，它是其输出的文件，而对以后在此作业基础上进行的其它作业来讲，它是输入文件，称为老库文件 (OLD_BASE_FILE)，它包含有完整的网络数据和潮流解。当在该作业基础上进行修改、合并、开断模拟、化简、灵敏度分析等运算时，即采用老库文件作为输入的数据文件。

(2) 输出部分

➤ 新库文件 (NEW_BASE_FILE) *.BSE

它是潮流作业的二进制输出文件，包括有完整的网络数据和潮流解，该文件可以作为此作业基础上进行的其它潮流运算的输入文件，还可以作为与此潮流方式联算的稳定作业的输入数据。

➤ 结果输出文件 *.PFO

是一个文本文件，根据填写得控制语句，输出全部、部分或者不输出潮流结果。

➤ 绘图文件*.MAP

供单线图格式潮流图及地理接线图格式潮流图程序使用的二进制结果文件。

2.2 潮流数据文件的一般结构

一个一般形式的潮流数据文件如下：

```

(Powerflow, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=FULL\
/P_ANALYSIS, LEVEL=4\
/NEW_BASE, FILE=IEEE90. BSE\
/PF_MAP, FILE = IEEE90. MAP\
/NETWORK_DATA\

```

节点数据

BS	发电机1	16.501			999.	999.	1.00
BE	发电机2	18.001	17.	8.	180.	999	1.00
BE	发电机3	13.801			85.	999.	1.00
B	母线1	230.01			20.		
B	母线2	230.01	35.0	10.0			
B	母线3	230.01					1.0
B	母线A	230.01	125.	70.0	20.		
B	母线C	230.01	100.	55.0	20.		
B	母线B	230.01	90.	40.0	10.		

线路数据

L	母线1	230.	母线A	230.	120.	.0100	.0850	.0440
L	母线1	230.	母线B	230.	120.	.0170	.0920	.0395
L	母线A	230.	母线2	230.	120.	.0320	.1610	.0765
L	母线B	230.	母线3	230.	120.	.0390	.1700	.0895
L	母线2	230.	母线C	230.	120.	.0085	.0720	.03725
L	母线C	230.	母线3	230.	120.	.0119	.1008	.05225

变压器数据

T	发电机1	16.5	母线1	230.	.0	.0567	16.5	242.
T	发电机2	18.0	母线2	230.		.0625	18.0	242.
T	发电机3	13.8	母线3	230.	.001	.0586	13.8	242.

```

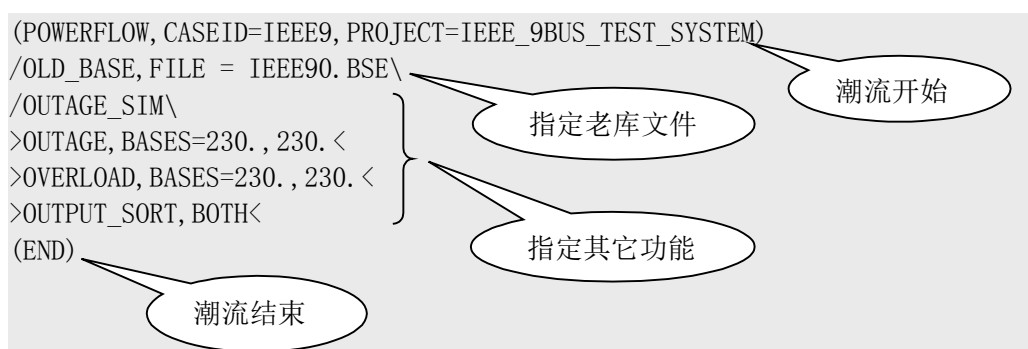
/SOLUTION\
>SOL_ITER, DECOUPLED=2, NEWTON=30<
>AI_CONTROL = CON<
(END)

```

潮流数据文件主要由网络数据和控制语句组成的，通常的结构为：

- (1) 标志开始的一级控制语句“(POWERFLOW, CASEID=方式名, PROJECT = 工程名)”；
- (2) 控制语句，例如指定输出范围、二进制结果 BSE 文件名、MAP 文件名、迭代次数等。
- (3) 网络数据，包括节点、线路、变压器等网络参数；
- (4) 控制语句，部分控制语句必须放在后面；
- (5) 标志潮流数据结束的一级控制语句“(END)”。

指定老库文件的一般形式潮流数据文件如下：



此类型的文件中

- (1) 标志开始的一级控制语句“(POWERFLOW, CASEID=方式名, PROJECT = 工程名)”；
- (2) 指定老库文件，该文件为潮流结果二进制文件，其中包含完整的网络数据和潮流计算结果；
- (3) 指定其它的功能，例如 N-1 分析、灵敏度分区等；这些计算都是在老库文件包含的数据基础之上进行计算的；
- (4) 标志潮流数据结束的一级控制语句“(END)”。

3 控制语句说明

3.1 控制语句的分类

潮流数据文件主要包括两个部分，一个部分是节点、支路相关的参数，另一个部分为控制语句。潮流程序的所有功能的实现都是由控制语句来完成的。控制语句共分为三级，每一行控制语句都要必须顶格填写，如果第一列为“·”号，则表示注释记录，不作处理，现分述如下：

(1) 一级控制语句

一级控制语句用“(.....)”表示，共包括三个，表示潮流作业的开始和结束。

(2) 二级控制语句

二级控制语句用“/.....\”表示，作用如下：

- 指定潮流作业输入、输出文件名和输出文件内容选择
- 指定基准功率
- 指定计算项目内容和求解方法
- 指定潮流分析报告输出种类
- 其它功能

(3) 三级控制语句

三级控制语句用“>.....<”表示，从属于二级控制语句，用来进一步指定二级控制语句所要求的各种功能。

3.2 填写控制语句的注意事项

填写控制语句时，注意以下几点：

(1) 所有的一级、二级、三级控制语句都必须顶格填写，即前面不能有空格；最好都用大写字母。

(2) 控制语句有的放在网络数据的前面，有的放在网络数据的前面，注意说明书中的说明，没有注明的放在前面。

(3) 所有的控制语句中，逗号、空格都看作是分隔符，因此控制语句中用逗号的地方都可以用空格代替；如果有的名称中含有空格，输入时应该用“#”代替空格输入，程序读入后，将字符“#”用空格代替。

例如：

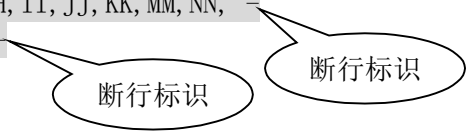
控制语句/NEW_BASE, FILE = 文件名\可以写为/NEW_BASE FILE=文件名\，其中的逗号用空格代替；

如果分区为“1”，在控制语句中应该写成“1#”，否则可能出错。

(4) 由于程序对数据行的长度有限制，因此如果控制语句比较长（例如超过 100 列），应该将其分为多行输入，前一行的最后添加字符“-”，表示下一行是该行的继续。

例如：

```
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, HH, II, JJ, KK, MM, NN,  
OO, PP, QQ, RR, SS, TT, UU, -  
VV, WW, XX, YY, ZZ\
```



(5) 在关键字中，所有的字符“_”都作为一个无用的字符，因此可以根据需要在关键字中任意位置增加“_”。

例如

/P_OUTPUT_LIST, FULL\可以写成/P_OUT_PUT_LIST, FULL\

(6) 对于需要进行功能选择的各级控制语句，选择项第一行为缺省值，其余为可选择的内容，通常取缺省值便可满足大多数用户的需要，如果取缺省值，不填写相应的控制语句即可。

例如，潮流结果输出选择控制语句

```
/P_OUTPUT_LIST, NONE, FAILED_SOL = FULL_LIST\  
FULL, PARTIAL_LIST\  
NO_LIST\  
ZONES=分区名\  
ZONES=ALL, FULL, or NONE\
```

其中的是否输出的选项有 NONE、FULL、ZONES 等，第一行为 NONE，则缺省选项就为 NONE。

3.3 常用控制语句说明

本程序采用控制语句控制潮流数据的开始、结束、计算功能等。本节主要介绍潮流数据文件中经常使用的控制语句。

3.3.1 潮流开始和结束的控制语句

控制潮流开始和结束的控制语句只有三个一级控制语句，它们是：

(1) (POWERFLOW, CASEID=潮流方式名, PROJECT=工程名)

该语句表示开始潮流作业的处理，是潮流数据文件中的第一条控制语句，必须填写。该控制语句中必须填写潮流方式名 CASEID 和工程名 PROJECT，潮流方式名最多可指定 10 个字母，工程名最多可指定 20 个字母。

在此控制语句后面可以填写二级或三级控制语句。该语句在潮流数据文件中必须是第一张控制语句。

(2) (NEXTCASE, CASEID=潮流方式名, PROJECT=工程名)

此语句用于多个潮流作业的联算，即当前一个作业执行完后，紧接着又用前一个作业的数据进行其它方式的计算时，使用此语句。在一般的潮流数据文件中，不需要此控制语句。填写该控制语句时，要求填写潮流方式名和工程名，潮流方式名最多 10 个字符，工程名最多可指定 20 个字符。

在此控制语句后面可以填写二级或三级控制语句，但是其中不能有“/OLD_BASE, FILE = 文件名\”控制语句。

(3) (END)或(STOP)

此语句表示潮流作业的结束，在潮流数据文件中必须有此控制语句，通常填写在潮流数据的最后一行。如果此控制语句后面有其它的数据或者控制语句，这些控制语句和数据都是无效的。

3.3.2 注释语句

(1) 注释语句

/COMMENT\

该控制语句后面最多可有 50 条注释记录，每条记录第一列都必须填写 C，从第 2 列到第 80 列为注释内容。

如果采用二级控制语句“/P_INPUT_LIST,\"输出网络数据或者采用二级控制语句“/P_OUTPUT_LIST,\"输出计算结果列表时，该注释语句都会出现在这两个部分数据前面。

“.”

在潮流数据文件中的任意一行数据前面添加符号“.”，表示该行为注释行。

对于所有的一级、二级、三级控制语句，如果第一列为空，则为无效的控制语句。

(2) 标题语句

/HEADER\

后面可以有一条或二条标题记录，每条记录第一列都填写 H。这些标题记录将出现在输出文件每页的顶部（位于程序本身指定的每页标题的下面）。

3.3.3 指定控制语句文件

/INCLUDE_CONTROL, FILE=文件名\

使用本语句时，应该先建立一控制文件，该文件包含有一组用户指定的常用限定词，然后在执行过程中由本语句去调用该文件。采用本语句，可使潮流作业控制语句简洁一些。

要注意的是，由本语句调用的文件中不能再包含有/INCLUDE_CONTROL 语句，也不能包含有下列控制语句：

/MERGE_BASE（合并）、/OUTAGE_SIM（断线模拟）、/REDUCTION（化简）和/CHANGES（修改）。

3.3.4 指定网络数据文件

(1) 指定支路和节点数据文件

/BRANCH_DATA, FILE=文件名\

/BUS_DATA, FILE=文件名\

指定输入的支路数据和节点数据文件名。当节点文件名以*号表示或者不存在时，数据必须在程序控制语句的后面一起输入。也可不用此语句，而用/NETWORK_DATA 语句来输入数据。

(2) 指定网络数据文件

/NETWORK_DATA, FILE= *, RXCHECK=ON\

(文件名) OFF\

指定要输入的网络数据文件，如 `FILE=*` 或者无此项，则输入数据要紧跟在这一语句之后。`RXCHECK` 是对 `R/X` 比值进行检查，以便于排除数据错误。

3.3.5 指定潮流结果输出二进制文件(.BSE)

`/NEW_BASE, FILE=文件名\`

指定潮流结果输出的二进制文件名，此文件供在此基础上所进行的其他潮流计算和稳定计算等用。考虑到稳定计算的方便性，建议文件扩展名使用 `BSE`。

例如，指定二进制结果文件为“`IEEE90.BSE`”，则可以写成

`/NEW_BASE, FILE = IEEE90.BSE\`

3.3.6 指定老库文件

`/OLD_BASE, FILE=文件名\`

将先前求解的潮流作业的二进制输出文件定义为老库文件，以供当前作业调用。潮流程序的部分控制功能在一个潮流数据文件的基础之上进行的，此时需要指定该 `BSE` 文件，程序读入该文件后，在此文件的基础之上进行其他的计算。

例如，下面是一个计算 `N-1` 的完整的实例，

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = IEEE90.BSE\
/OUTAGE_SIM\
>OUTAGE, BASES=230., 230.<
>OVERLOAD, BASES=230., 230.<
>OUTPUT_SORT, BOTH<
(END)
```

指定老库文件

该算例进行其它计算分析之前，用该控制语句制定了一个潮流二进制结果文件，程序在读入后，首先读取该二进制文件，得到整个网络的数据和潮流计算结果，然后在这些数据的基础之上进行 `N-1` 计算。

3.3.7 指定潮流图用的数据文件(.MAP)

`/PF_MAP, FILE = 文件名\`

Windows 9x/NT/2000/XP 版潮流计算程序生成潮流图使用的二进制结果文件，供单线图格式潮流图及地理接线图格式潮流图程序使用。考虑到潮流图程序使用的方便性，建议文件扩展名使用 `MAP`。

例如，指定 MAP 文件为“IEEE90.MAP”，则可以写成

```
/PF_MAP, FILE = IEEE90.MAP\
```

3.3.8 指定系统基准容量

```
/MVA_BASE = 100\  
          (number)\
```

指定系统的基准功率，单位为 MVA。缺省的条件下为 100MVA，也可根据需要指定为任意值（number）。如果系统的基准容量为 100MVA，则可以不填写此控制语句；否则必须填写该控制语句。

例如，指定系统的基准容量为 1000MVA，必须填写如下控制语句

```
/MVA_BASE = 1000\
```

3.3.9 计算过程控制语句

```
/SOLUTION\
```

求解过程控制语句，此语句后跟有相应的第三级控制语句，用来指定该语句的具体功能。

与/SOLUTION\有关的第三级控制语句如下：

(1) 区域联络线功率控制选择

```
>AI_CONTROL = CON<  
              MON<  
              OFF<
```

CON 表示控制（缺省值）；

MON 表示不控制但监视；

OFF 表示不控制。

(2) 带负荷调压变压器控制选择

```
>LTC = ON<  
      ON_NV<  
      ON_NPS<  
      OFF<  
      ON_DCONLY<
```

ON 完全控制（缺省值）；

ON_NV	部分控制（仅控制无功和有功）；
ON_NPS	完全的电压控制，但带负荷调节移相器不控制；
OFF	完全不控制；
ON_DCONLY	仅直流换流站的换流变压器可控，其余都不控制。

(3) 计算方法和迭代次数选择

>SOL_ITER, DECOUPLED= 2, CURRENT= 0, NEWTON= 30<

(number) (number) (number)

求解算法和迭代次数选择：

DECOUPLED—PQ 分解法，迭代次数的缺省值 2 次。

CURRENT—改进的牛顿—拉夫逊算法，该算法的说明请见 1.2 节，求解时也可以采用此算法开头，迭代次数的缺省值为 0。

NEWTON—牛顿—拉夫逊算法，求解过程都以牛顿—拉夫逊法结尾，最大迭代次数的缺省值为 30 次。

通常情况下，先采用 PQ 分解法迭代几次，然后再采用牛顿-拉夫逊法进行迭代。牛顿-拉夫逊法是一种比较好的计算方法，收敛性比较好，但是对初值要求较高；PQ 分解法收敛速度较慢。一般首先采用 PQ 分解法迭代几次，为牛顿-拉夫逊法提供较好的初值，然后再采用牛顿-拉夫逊法进行迭代，这样既可以解决牛顿-拉夫逊法的初值问题，又可以利用其收敛较快的优点。

收敛性较好的潮流数据，可以不填写该控制语句，利用其缺省值进行潮流计算。对于收敛性较差的数据，一般应填写该控制语句，适当增大迭代次数限制。

适当增加 PQ 分解法的迭代次数，大部分情况下可以提高潮流数据的收敛性。因此在潮流收敛性较差的情况下，可以采用适当调整 PQ 分解法迭代次数的方法，改善潮流的收敛性。

(4) 指定计算收敛的误差

>TOLERANCE, BUSV= .005, AIPOWER= .005, TX= .005, Q= .005, OPCUT= .0001<

(number) (number) (number) (number) (number)

指定收敛的允许误差值（标么值），包括节点电压、有功、无功等，通常采用缺省值。

注意：

/SOLUTION\控制语句及其后面的第三级控制语句必须填写在潮流数据中所有网络数据的后面，第一级控制语句(END)或(STOP)前面。否则，程序将出错。

例如：指定联络线功率控制方式为“不控制”，并且指定 PQ 分解法的迭代次数为 10 次、牛顿-拉夫逊最大迭代次数为 30 次，则控制语句如下：

```
/SOLUTION\  
>AI_CONTROL = OFF<  
>SOL_ITER, DECOUPLED = 10, NEWTON = 30<
```

3.3.10 输入数据输出选择

```
/ P_INPUT_LIST, NONE \  
FULL, ERRORS = NO_LIST \  
LIST \  
ZONES=分区名 \  
ZONES=ALL, FULL, or NONE \
```

是否输出输入的原始数据的控制语句。

- NONE ——不输出（缺省值）；
- FULL——全部输出；
- ZONES = 分区名 —— 按照分区输出，制定的分区名用逗号隔开；
- ZONES = ALL, FULL —— 全部输出；
- ZONES = NONE —— 不输出；

ERRORS = NO_LIST 表示遇到致命性(F)错误时不输出原始数据，但会给出错误诊断信息；而当选择 ERRORS=LIST 时，则仍输出。

输出的顺序由下面的控制语句决定：

```
/RPT_SORT = BUS\  
ZONE\  
AREA\
```

该控制语句各选项的含义如下：

- BUS —— 按照节点字符顺序输出；
- ZONE —— 按照分区顺序输出；
- AREA —— 按照区域顺序输出；

例如：输出分区 AA、BB、CC 的潮流输入数据，按照分区的顺序输出，则应填写如下控制语句

```
/P_INPUT_LIST, ZONES=AA, BB, CC\  
/RPT_SORT=ZONE\
```

3.3.11 潮流计算结果输出选择

```
/P_OUTPUT_LIST, NONE, FAILED_SOL = FULL_LIST\  
                                FULL,                PARTIAL_LIST\  
                                NO_LIST\  
                                ZONES=分区名\  
                                ZONES=ALL, FULL, or NONE\
```

潮流计算结果输出选择，此部分控制“母线电压、角度、出力、负荷及其相连接线路功率、损耗、充电功率等”相关数据列表的输出。

第一个控制选项含义如下：

- NONE —— 不输出；
- FULL —— 输出系统中所有节点及相连线路的数据；
- ZONES = 分区名 —— 输出指定分区内所有节点和相连线路的数据，填写多个分区名时，各个分区之间用逗号隔开；
- ZONES = ALL, FULL —— 输出系统中所有节点及相连线路的数据；
- ZONES = NONE —— 不输出；

第二个选项 FAILED_SOL 的含义如下：

- FULL_LIST —— 迭代不收敛时，输出系统中所有节点及相连线路的数据；
- PARTIAL_LIST —— 迭代不收敛时，输出部分节点和相连线路的数据，这里的“部分”指的是前面选项中“ZONES = 分区名”中的分区。
- NO_LIST —— 迭代不收敛时，不输出；

第一个选项的缺省值为 NONE，第二选项的缺省值为 FULL_LIST，即在不填写该控制语句的条件下，如果潮流计算收敛，不输出节点及相连线路的数据；如果潮流计算不收敛，输出所有节点及相连线路的数据。

在输出上述节点及相连线路潮流结果数据时，输出的顺序由控制语句/RPT_SORT = BUS/ZONE/AREA\决定，该控制语句各项含义参考 3.3.11 节。P_INPUT_LIST 语句和 P_OUTPUT_LIST 语句共用同一个 RPT_SORT 控制语句。

例如，如果输出全部的潮流计算结果，按照分区的顺序输出，应填写如下的控制

语句

```
/P_OUTPUT_LIST, FULL\  
/RPT_SORT=ZONE\
```

3.3.12 潮流结果分析报告输出选择

潮流计算完成后，自动形成多个分析报告，包括：

- 1) 用户自己定义输出列表
- 2) 系统未安排无功功率一览表
- 3) 按所有者（电力局）分类输出的系统发电功率和负荷一览表
- 4) 按分区分类输出的系统发电功率和负荷一览表
- 5) 系统电压越限节点一览表
- 6) 过载线路一览表
- 7) 过载变压器一览表
- 8) 过激变压器一览表
- 9) 按所有者（电力局）分类的输电系统损耗一览表
- 10) 按分区分类的系统损耗数据列表
- 11) 工业负荷数据列表
- 12) 直流系统分析表
- 13) 并联电抗器、电容器一览表
- 14) 带负荷调压变压器和移相器一览表
- 15) 无功受控节点一览表
- 16) AGC 控制一览表
- 17) 带有可投切并联补偿装置节点一览表
- 18) 无功补偿可调节节点一览表
- 19) 串补输电线路一览表
- 20) 节点电压、功率等一览表
- 21) 系统旋转备用容量一览表
- 22) 按所有者分类的输电线效率分析表
- 23) 按所有者分类的变压器效率分析表

输出这些数据列表有两种填写方法：

(1) 按照 4 个等级输出

将这些数据列表分为 4 级，第一级包括上面的 1~2，第二级包括 1~19，第三级包括 1~20，第四级包括 1~23。使用如下的控制语句指定输出的级别，就可以输出相应的数据列表：

```
/P_ANALYSIS_RPT, LEVEL = 2, *\
    1, ZONES=分区名\
    3, OWNERS=所有者名\
    4
```

该控制语句包括两个参数，第一个参数 LEVEL 填写 4 个不同的数据列表等级；第二个参数指定输出的范围：

- * —— 整个系统；
- ZONES = 分区名 —— 指定分区，分区名之间用逗号分开；
- OWNERS = 区域名 —— 指定区域名，区域名之间用逗号分开；

例如：输出第三级分析列表，可以填写控制数据卡

```
/P_ANALYSIS_RPT, LEVEL = 3\
```

(2) 采用第二级和第三级控制语句指定输出

该控制语句如下

```
/ANALYSIS_SELECT\
>PAPER, ZONES=分区名, AREAS=区域名, OWNERS=所有者名< (输出范围指定)
>USERAN< (用户想要输出的表目的缩写名称)
>UNSCH<
.....
```

分析报告表目选择语句，用户可用该语句单独输出想要的分析报告表目，从而使分析报告的输出简洁明了。用户选择的分析报告表目可以按指定的分区、区域或者所有者（电力局）进行输出，如不作指定则对全系统进行输出。用户指定输出的分析报告表目以缩写名称给出，分析报告中所有表目的缩写名称如下所示：

```
>USERAN      User defined analysis listing. (Used with USER_ANALYSIS)
              用户自定义分析报告（与/USER_ANALYSIS 连用）

>UNSCH       Buses With Unscheduled Reactive.
              系统未安排无功功率节点一览表

>LOSSOWN     Total System Generations and Loads by Owner.
```

按所有者（电力局）分类输出的系统发电功率和负荷一览表

>SYSTEMZONE System Generations, Loads, Losses and Shunts by Zones.

按分区分类输出的系统发电功率、负荷、损耗及并补一览表

>UVOV Undervoltage Overvoltage Buses.

电压越限节点一览表

>LINELOAD Transmission Lines Loaded Above xxx.x% of Ratings.

过载线路一览表

>TRANLOAD Transformers Loaded Above xxx.x% of Ratings.

过载变压器一览表

>TRANEX Transformers Excited Above xxx.x% over Tap.

过激变压器一览表

>XSYSTEMLOSS Transmission System Losses.

输电系统损耗一览表

>ZONELOSS Transmission System Losses.

输电系统损耗一览表

>BPALoads BPA Industrial Loads.

工业负荷表

>DCSYSTEM DC System.

直流系统分析一览表

>SHUNTsum Shunt Reactive Summary.

并联无功补偿一览表

>SUMLTC Summary of LTC Transformers.

带负荷调压变压器一览表

Summary of LTC Reactive Utilization.

带负荷调压无功利用一览表

>SUMPHASE Summary of Phase-shifters.

移相器一览表

>SUM%VAR Summary of % Var controlled buses.

无功被控节点一览表

Summary of AGC Control

AGC（自动发电控制）一览表

```
/ANALYSIS_SELECT\  
>UNSCH  
>UVOV  
>XSYSTEMLOSS
```

(1) 指定“线路效益分析列表”中线路最小负载率控制语句

在“输电线路效益分析表”中，如果不填写该控制语句，输出线路负载大于额定值 90%的线路；如果改变线路最小负载率的大小，应该填写该控制语句。例如：如果

想输出超过 80%额定值的线路，可以填写：

```
/LINE_EFF, LOADING = 80\
```

该控制语句的第二个选项 OWNERS 用来指定所有者（电力局）名称。

(2) 指定线路和变压器的过负荷指标

```
/OVERLOAD_RPT, TX = 80, LINE = 80 \
                (num)      (num) \
```

在数据列表“线路过负荷数据列表”和“变压器过负荷数据列表”中，如果没有填写此控制语句，则分别输出负荷超过 80%额定值的线路和负荷超过 80%额定值的变压器。如果想修改该百分比，需要填写此控制语句。

例如，如果想输出超过 90%额定值的线路，则可以填写如下控制语句：

```
/OVERLOAD_RPT, LINE = 90\
```

(3) 指定潮流过载和电压越限数据表的输出顺序

```
/SORT_ANALYSYS, OVERLOAD=<BUS>, OVERVOLTAGE=<BUS>\
                                <OWNER>                <OWNER>
                                <ZONE>                  <ZONE>
                                <AREA>                  <AREA>
```

该控制语句仅对 4 个数据表有效，分别为：

- Over Loaded transmission lines 过载线路一览表
- Over Loaded transformers 过载变压器一览表
- Transformers Excited Above xxx.x% over Tap 过激变压器一览表
- Undervoltage/Overvoltage buses 电压越限节点一览表

如果不填写该控制语句，前 3 个过载数据表按照过载百分比的大小顺序输出，电压越限节点数据表按照越限电压绝对值的大小顺序输出。填写该控制语句，可以使之分别按照节点名、拥有者、分区或区域的顺序输出。

例如：

过载数据表按照分区输出、电压越限节点按照区域输出，则填写

```
/SORT_ANALYSYS, OVERLOAD = ZONE, OVERVOLTAGE = AREA\
```

(4) 指定变压器效益分析表中总损耗和铁损的最小百分比

```
/TX=EFF, TOTAL_LOSS=<0.04>, CORE_LOSS=<0.02>, OWNERS=<LIST>\
                (number)                (number)                (number)
```

在“变压器效益分析数据表”中，输出总损耗大于额定容量 0.04%的变压器支路和铁心损耗大于额定容量 0.02%的变压器支路。改变这两个百分比数值，需要填写本

控制语句。

例如：输出总损耗大于额定容量 0.06%的变压器支路和铁心损耗大于额定容量 0.03%的变压器支路，应该填写

```
/TX=EFF, TOTAL_LOSS=0.06, CORE_LOSS=0.03\
```

3.3.13 区域功率交换数据输出控制语句

可以将整个系统分为多个区域，并且可以控制各个区域之间交换功率的大小。在潮流计算完成后，输出的区域交换功率信息包括：

- 按照矩阵的形式输出区域之间的交换功率
- 区域平衡机出力信息和包含的分区名称
- 区域之间各联络线功率和区域发电、负荷、损耗等数据

输出区域交换功率相关的控制语句如下：

```
/AI_LIST = FULL\  
      MATRIX\  
      TIELINE\  
      NONE\
```

各选项的含义如下：

FULL —— 输出上述所有的信息（缺省）

MAXTRIX —— 按照矩阵的形式输出区域间的交换功率

TIELINE —— 输出区域间联络线数据总结信息，包括区域平衡机、联络线功率等

NONE —— 不输出任何信息

例如，输出区域间联络线信息，可以填写控制语句

```
/AI_LIST = TIELINE\
```

输出类似于如下形式的数据

* 区域平衡机、交换功率等数据

区域	平衡机	平衡机功率(MW)		净交换功率	包含的分区
		最大功率	实际功率	(MW)	
GD	SJB1	19.0	350.0	206.5	N2 N8 YZ YX YB YD QY
GX	DAHUAG1	15.7	100.0	18.1	N1 GX YL NN VP GL LZ WZ BS HC
GZ	BWUJIAG3	15.8	210.0	116.9	N4 1 2 3 4 5 6
HK	CPK1	18.0	350.0	283.4	N3 HK
TSQ	TSQBG1	18.0	220.0	184.1	N6
YN	MW3G	15.7	250.0	188.3	N5 YI KM DD DN DB DX DZ SM MW YN

* 区域联络线功率交换数据列表 (*表示功率测点)

区域1	区域2	区域联络线					安排功率	实际功	
率		分区	节点1	分区	节点2	线路潮流(MW)	(MW)	(MW)	
YN	TSQ	DD * LBG22	230.0	N6	TSQM220	230.0	299.3	1800.0	1800.0
		N5 * LBG22P	230.0	N6	TSQM22P	230.0	299.3		
		N5 * LP50M	525.0	N6	TSQM1	525.0	1501.4		
		区域总结		(MW)	(MVAR)		1800.0	1800.0	
区域总结		发电	5817.3		891.2				
		负荷	3922.0		1436.5				
		损耗	95.3		-1042.0				
		并联负荷	0.0		-575.5				
		输出功率	1800.0		-78.8				

3.3.14 线路和变压器损耗输出控制语句

可以输出指定分区、区域和拥有者的线路和变压器支路的损耗。

(1) 线路损耗输出控制语句

```
/ LINE_LOSS, ZONES = <ZONES LIST>,
      AREAS = <AREAS LIST>,
      OWNERS = <OWNERS LIST>,
      VMIN = ?,
      VMAX = ?>\
```

该控制语句用于输出线路损耗，其中可以设定：

- 设定输出的分区，用 ZONES=<ZONES LIST>，可以指定多个分区，分区和分区之间用逗号隔开，可以按照分区顺序输出所有分区中线路的损耗；
- 设定输出的区域，用 AREAS=<AREAS LIST>，可以指定多个区域，区域名称之间用逗号隔开，按照区域顺序输出各区域中线路的损耗；
- 设定输出的拥有者，用 OWNERS=<OWNERS LIST>，可以指定多个拥有者，各拥有者之间用逗号隔开，结果将输出各个拥有者包含线路的损耗；

- 设定输出线路的电压等级范围，VMIN=?用于指定最小电压等级，VMAX=?用于指定最大电压等级。

输出的内容包括：

- 单条线路的有功损耗和无功损耗；
- 单条线路的充电功率；
- 分区、区域或所有者的总损耗，联络线统计在内；
- 指定所有分区的总的损耗，指定区域的总的损耗，指定拥有者的总的损耗，其中联络线不重复计算。

当同时指定分区、区域、拥有者时，程序将分别输出指定分区、区域和拥有者的线路的损耗以及损耗之和。在输出分区和区域损耗时，同时输出与该分区或区域相连的联络线的线路损耗，并在线路数据末端注明“* 联络线”，统计总的损耗时，联络线功率统计在内。

例如：潮流数据中有如下控制语句：

```
/LINE_LOSS,ZONES=01,02\
```

输出的结果形式如下：

* 按照分区输出的线路损耗和充电功率数据列表

分区	线路名称				有功损耗 (MW)	无功损耗(不计充电功率) (Mvar)	充电功率 (Mvar)	无功损耗(计充电功率) (Mvar)	
01	母线1	230.0	母线A	230.0	1.674	14.231	9.054	5.177	
	母线1	230.0	母线B	230.0	3.652	19.766	8.187	11.579	
	母线3	230.0	母线B	230.0	1.539	6.709	18.640	-11.930	
	母线3	230.0	母线C	230.0	0.157	1.333	10.992	-9.659	* 联络线
	母线A	230.0	母线2	230.0	0.162	0.816	15.789	-14.973	* 联络线
<hr/>									
01	分区小结	包含联络线全部损耗			7.1854	42.8553	62.6614	-19.8061	
01	分区小结	包含联络线一半损耗			7.0256	41.7808	49.2712	-7.4904	
01	分区小结	不包含联络线损耗			6.8658	40.7062	35.8809	4.8253	
<hr/>									
02	母线2	230.0	母线C	230.0	1.385	11.728	7.822	3.906	
	母线2	230.0	母线A	230.0	0.162	0.816	15.789	-14.973	* 联络线
	母线C	230.0	母线3	230.0	0.157	1.333	10.992	-9.659	* 联络线
<hr/>									
02	分区小结	包含联络线全部损耗			1.7041	13.8768	34.6025	-20.7257	
02	分区小结	包含联络线一半损耗			1.5443	12.8023	21.2123	-8.4100	
02	分区小结	不包含联络线损耗			1.3845	11.7278	7.8220	3.9057	
<hr/>									
总结	包含联络线全部损耗				8.5699	54.5831	70.4834	-15.9004	
总结	包含联络线一半损耗				8.5699	54.5831	70.4834	-15.9004	
总结	不包含联络线损耗				8.5699	54.5830	70.4834	-15.9004	

该输出结果中，分别输出了分区 01 和 02 包含所有线路的损耗，在每个分区数据后输出了每个分区的总损耗，即小结部分两个分区输出完成后，有总结部分，计算分

区 01 和 02 的总损耗，其中分区 01 和 02 联络线相同的，不重复统计。

(2) 变压器支路损耗输出控制语句

```
/ TRANSFORMER_LOSS, ZONES = <ZONES LIST>,
      AREAS = <AREAS LIST>,
      OWNERS = <OWNERS LIST>,
      VMIN = ?,
      VMAX = ?>\
```

该控制语句用于输出变压器支路损耗，其中可以设定：

- 设定输出的分区，用 ZONES=<ZONES LIST>，可以指定多个分区，分区和分区之间用逗号隔开，可以按照分区顺序输出所有分区中变压器支路的损耗；
- 设定输出的区域，用 AREAS=<AREAS LIST>，可以指定多个区域，区域名称之间用逗号隔开，按照区域顺序输出各区域中变压器支路的损耗；
- 设定输出的拥有者，用 OWNERS=<OWNERS LIST>，可以指定多个拥有者，各拥有者之间用逗号隔开，结果将输出各个拥有者包含变压器支路的损耗；
- 设定输出变压器的电压等级范围，VMIN=?用于指定最小电压等级，VMAX=?用于指定最大电压等级。

输出的内容包括：

- 单个变压器支路的铜耗、铁耗；
- 单个变压器的无功损耗；
- 分区、区域或所有者的变压器支路的总损耗；
- 指定所有分区的总的损耗，指定区域的总的损耗，指定拥有者的总的损耗。

当同时指定分区、区域、拥有者时，程序将分别输出指定分区、区域和拥有者的线路的损耗以及损耗之和。

例如：潮流数据中有如下控制语句：

```
/TRANSFORMER_LOSS, ZONES=01\
```

输出的结果形式如下：

* 按照分区输出的变压器损耗数据列表

分区	变压器名称				串联损耗		并联铁耗		有功损耗	无功损耗
					(MW)	(MVar)	(MW)	(MVar)	(MW)	(MVar)
01	发电机 1	16.5	母线 1	230.0	0.000	47.116	0.000	0.000	0.000	47.116
	发电机 3	13.8	母线 3	230.0	0.000	5.447	0.000	0.000	0.000	5.447
	发电机 2	18.0	母线 2	230.0	0.000	18.048	0.000	0.000	0.000	18.048 *
01	分区小结 (包含联络变全部损耗)				0.000	70.611	0.000	0.000	0.000	70.611
01	分区小结 (包含联络变一半损耗)				0.000	61.587	0.000	0.000	0.000	61.587
01	分区小结 (不包含联络变损耗)				0.000	52.563	0.000	0.000	0.000	52.563
02	母线 2	230.0	发电机 2	18.0	0.000	18.048	0.000	0.000	0.000	18.048 *
02	分区小结 (包含联络变全部损耗)				0.000	18.048	0.000	0.000	0.000	18.048
02	分区小结 (包含联络变一半损耗)				0.000	9.024	0.000	0.000	0.000	9.024
02	分区小结 (不包含联络变损耗)				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	总结	(包含联络变全部损耗)			0.000	70.611	0.000	0.000	0.000	70.611
	总结	(包含联络变一半损耗)			0.000	70.611	0.000	0.000	0.000	70.611
	总结	(不包含联络变损耗)			0.000	70.611	0.000	0.000	0.000	70.611

该输出结果中，分别输出了分区 01 包含所有变压器支路的损耗，在分区数据后输出了该分区的总损耗，即小结部分；分区输出完成后，有总结部分。

3.3.15 输出数据显示精度控制语句

可以指定详细输出列表中，输出数据的显示精度。

/ OUTPUTDEC, DIGIC =0,1,2,3,4,5 \

该控制语句用于详细输出列表中，输出数据的显示精度，默认显示精度为 2。

3.3.16 支路 R/X 检查控制功能

可以指定是否检查支路 R/X 是否过大并给出告警。

/ CHECK, RX_CHECK = ON,OFF \

该控制语句用于设定程序是否检查支路 R/X，并对电阻大于等于电抗的支路进行告警，默认为检查。在计算配电网潮流时，由于配电网支路电阻大于等于电抗，为避免大量警告导致计算终止，可以用该语句关闭检查支路 R/X 功能。

3.4 用户自定义控制语句

潮流计算完成后，可以输出输入数据、潮流计算结果、分析报告、区域交换功率数据等，此外还可以用户自己定义输出的数据及格式。用户自定义首先必须填写二级控制语句：

/USER_ANALYSIS, FILE=<文件名>, OUTPUT=<文件名>\

其中各项的含义如下：

- **FILE** = <文件名> —— 存放用户自定义控制语句的文件名。可以将用于自定义控制语句放在潮流数据文件中，也可以存放在一个文件中，如果存放在一个单独的文件中，应该填写该项，该文件必须与潮流数据文件名在同一个目录下；否则，不需填写。
- **OUTPUT** = <文件名> —— 存放用户自定义输出数据。如果不填写该项，输出到潮流结果文件中。

该控制语句配有相应的第三级控制语句，用来指定用户自定义分析报告表目的内容。该语句中的 **FILE** 文件名如果缺省或打*号，则相应的第三级控制语句紧跟在此语句后面输入；如指定文件名，则由该语句调用所指定的文件（包括有第三级控制语句），形成用户需要的分析报告表目。

目前，由用户自定义的表格内容，主要有以下几类：

- 定义输电线路的有功潮流 **P** 和无功潮流 **Q**；
- 定义区域联络线交换功率 **P** 和 **Q**；
- 定义区域联络线功率控制值；
- 定义按照所有者、区域、分区和全系统的网损；
- 定义节点物理量，如负荷、发电、电压等；
- 定义分区物理量，如分区的发电、负荷、损耗等；

定义这些物理量时，首先用一个三级控制语句指定定义的物理量类型，然后后面紧接“**LET**”语句定义具体的物理量。

LET 语句的格式：

- 第一列必须是空格；
- 关键字 **LET** 后面填写定义的变量名，变量名字可以任意选取；
- 变量名后填写“=”；
- “=”后面的格式与定义的物理量类型有关系，后面具体说明；

例如：

```
>DEFINE_TYPE BRANCH_P<
```

```
LET P1 = 母线1 230. 母线A 230.
LET P2 = 母线1 230. 母线B 230.
```

定义物理量类型

LET 语句

定义这些物理量后，可以对这些物理量进行数学运算（加、减、乘、除、平方等），并且可以自己定义格式将其输出。

定义变量的规则如下（适用于所有物理量的定义）：

- >DEFINE_TYPE 语句中，如果空白字符是名字的一部分，则要用符号#来替代，例如：SAN XIA 525.，应写为 SAN # XIA 525。
- >DEFINE_TYPE 语句本身不能选择潮流方式，它所采用的潮流方式与潮流数据中采用的潮流方式一致。
- >DEFINE_TYPE 语句定义的名字限制为 6 个字符。

3.4.1 定义物理量之间的数学运算

对于用户自定义的所有物理量，可以定义这些物理量的数学运算。对应的三级控制语句为：

```
>DEFINE_TYPE FUNCTION<
```

该语句能定义的数学运算种类包括：+，-，*，/，**，<，>，(and)

运算规则如下：

- 等式右边的所有变量符号必须事先定义好；
- 一个等式中可以有多层括号，运算从最里面的括号开始往外依次进行；
- 一个>DEFINE_TYPE FUNTION<语句所能定义变量和运算符号限制为 30 个；
- 运算符号的优先次序为：

◇ **

◇ *, /

◇ <, >

◇ +, -

例如：

```

/USER_ANALYSIS\
...
...
...
>DEFINE_TYPE FUNCTION<
LET S1 = (P1**2+Q1**2)**0.5
LET S2 = (P2**2+Q2**2)**0.5
LET P12 = P1+P2
LET Q12 = P1+P2
LET S12 = (P12**2+Q12**2)**0.5

```

定义物理量,省略

定义数学运算

3.4.2 定义输电线路潮流

定义输电线路的有功潮流 P 和无功功率 Q 的第三级控制语句为

```
> DEFINE_TYPE BRANCH_P <
```

```
> DEFINE_TYPE BRANCH_Q <
```

对应的 LET 语句格式如下：

```
LET 变量名 = BUS1, BASE1, BUS2, BASE2, ID
```

该语句等号右侧分别为：线路节点 1 名称、节点 1 基准电压、节点 2 名称、节点 2 基准电压、线路回路号，他们之间必须用逗号或空格隔开，潮流方向为节点 1 流到节点 2，功率测量点为 BUS1。

例如：

```

/USER_ANALYSIS\
>DEFINE_TYPE BRANCH_P<
LET P1 = 母线1 230. 母线A 230.
LET P2 = 母线1 230. 母线B 230.
>DEFINE_TYPE BRANCH_Q<
LET Q1 = 母线1 230. 母线A 230.
LET Q2 = 母线1 230. 母线B 230.

```

二级控制语句

定义线路有功

定义线路无功

3.4.3 定义区域联络线交换功率

可以定义区域间联络线功率控制的实际交换值和控制值：

1) 定义安排的交换有功功率 P 的第三级控制语句为

```
>DEFINE_TYPE INTERTIE_P_SCHEDULED<
```

2) 定义实际交换有功功率 P 和无功功率 Q 的第三级控制语句为

```
>DEFINE_TYPE INTERTIE_P<
```

>DEFINE_TYPE INTERTIE_Q<

后面紧接的 LET 语句格式如下：

LET 变量名 = 区域 1 名称, 区域 2 名称

该语句中“变量名”的值为区域 1 到区域 2 所有联络线功率之和，联络线功率的测量点为潮流数据中规定的测量点。

说明：

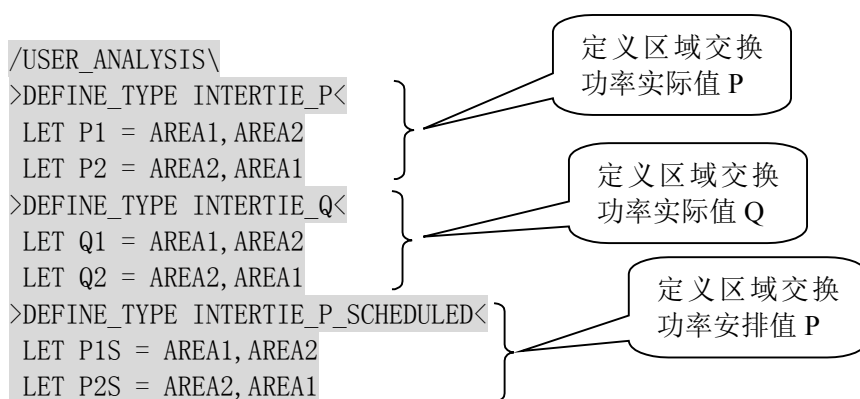
(1) 定义安排的区域交换功率控制语句，结果为潮流数据中区域数据卡中安排的交换功率值，与计算结果的实际功率无关。

(2) 定义实际交换功率的控制语句，结果为潮流计算完成后区域之间的实际交换功率，该值可能与上述安排的控制值相同，也可能不同。

(3) 区域之间的安排功率值和实际功率值是否相同与区域之间的功率控制方式有关系。缺省时，区域之间的功率为“CON”，即控制，则两安排的功率值与实际功率值相同。如果填写了控制语句“/AI_CONTROL=OFF”或“/AI_CONTROL=MON”，则不控制，此时安排值和实际值不同。

(4) LET 语句中填写两个区域名称，它们之间用逗号或空格分开。

实例：



本算例中的 AREA1、AREA2 为假定的区域名称，P1、P2、Q1、Q2、P1S、P2S 为假定的变量名称。

3.4.4 定义网损

可以定义所有者、区域、分区和全系统的网损。他们对应的控制语句如下：

(1) 定义所有者的网损:

```
>DEFINE_TYPE OWNER_LOSS,
```

(2) 定义区域的网损

```
>DEFINE_TYPE AREA_LOSS
```

(3) 定义分区的网损

```
>DEFINE_TYPE ZONE_LOSS
```

(4) 定义全系统的网损

```
>DEFINE_TYPE SYSTEM_LOSS
```

如果定义所有者、分区、区域的网损，对应的 LET 语句格式如下：

```
LET 变量名 = 所有者名、分区名或区域名
```

如果定义全系统的网损，LET 语句格式为

```
LET 变量名
```

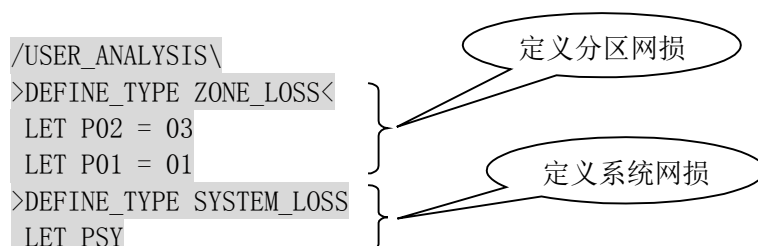
说明：

(1) 定义所有者、分区或区域的网损时，后面的 LET 语句等号右侧只填写一个所有者名称、分区名称或区域名称；

(2) 定义全系统的网损时，LET 语句不需要填写等号和右侧部分。

(3) 这里的网损包括线路的有功损耗和变压器支路的有功损耗。

实例：



```

/USER_ANALYSIS\
>DEFINE_TYPE ZONE_LOSS<
LET P02 = 03
LET P01 = 01
}
>DEFINE_TYPE SYSTEM_LOSS
LET PSY
}
  
```

The diagram shows two code blocks. The first block, for ZONE_LOSS, includes the lines `>DEFINE_TYPE ZONE_LOSS<`, `LET P02 = 03`, and `LET P01 = 01`. The second block, for SYSTEM_LOSS, includes `>DEFINE_TYPE SYSTEM_LOSS` and `LET PSY`. Brackets group the first block and the second block. Callout bubbles point to these groups: '定义分区网损' (Define zone loss) points to the first group, and '定义系统网损' (Define system loss) points to the second group.

算例中的 01、03 为假定的分区名称，P01、P02、PSY 为假定的变量名称。

3.4.5 定义节点物理量

可以定义一个变量代表一个节点，用该变量带后缀的形式表示对应节点的部分数值，该数值可以用来输出或者参加计算。

定义节点物理量的控制语句如下：

```
>DEFINE_TYPE BUS_INDEX<
```

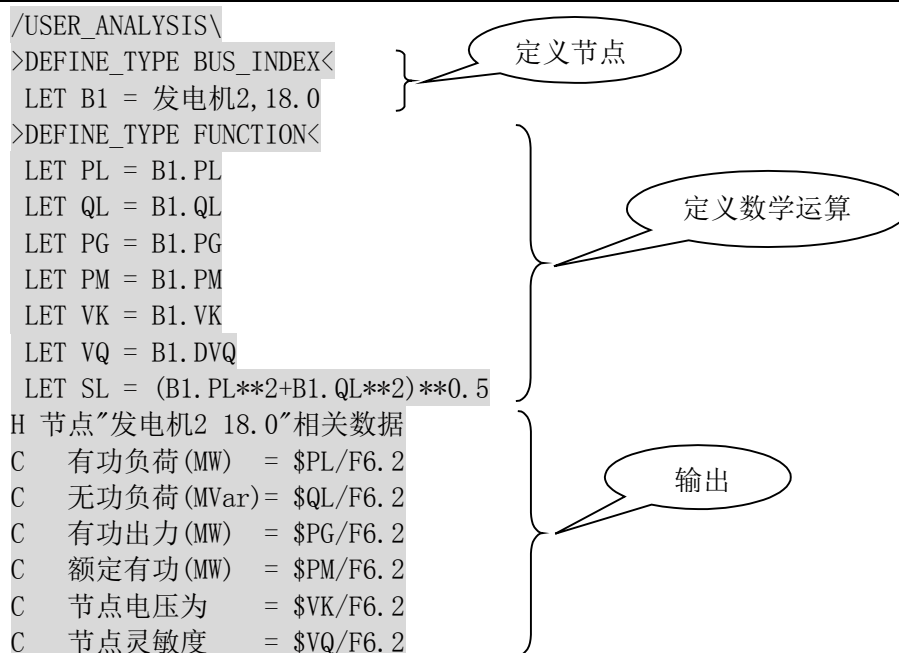
该语句对应的 LET 语句格式如下：

```
LET 变量名 = 节点名, 基准电压
```

该语句用所定义的变量的后缀来表示对应的物理量，两者之间的对应关系如下：

后缀	物理量
.PL	有功负荷 (MW)
.QL	无功负荷 (Mvar)
.PG	有功发电 (MW)
.PM	最大有功发电 (MW)
.QG	无功发电 (Mvar)
.QM	最大无功发电 (Mvar)
.QN	最小无功发电 (Mvar)
.V	节点电压 (标么值)
.VK	节点电压 (kV)
.VM	节点电压最大值 (标么值)
.VN	节点电压最小值 (标么值)
.C	已使用的电容器容量 (Mvar)
.CM	安排的电容器容量 (Mvar)
.R	已使用的电抗器容量 (Mvar)
.RM	安排的电抗器容量 (Mvar)
.QU	未安排的无功补偿设备容量 (Mvar)
.DVQ	节点灵敏度 $dV/dQ(kV/Mvar)$

实例：



3.4.6 定义分区物理量

和定义节点物理量类似，可以定义一个变量代表一个分区，然后用该变量带后缀的形式表示该分区的部分数值，该数值可以用来输出或者参加计算。

定义分区物理量的控制语句如下：

```
>DEFINE_TYPE ZONE_INDEX<
```

该语句后面的 LET 语句格式如下：

LET 变量名 = 分区名

该语句也用所定义的变量后缀来表示对应的物理量，对应关系如下：

后缀	物理量
.PG	分区有功发电 (MW)
.QG	分区无功发电 (Mvar)
.PL	分区有功负荷 (MW)
.QL	分区无功负荷 (Mvar)
.PLS	分区有功损耗 (MW)
.QLS	分区无功损耗 (Mvar)
.PSH	分区有功补偿容量 (MW)
.QSH	分区无功补偿容量 (Mvar)

实例：

```

/USER_ANALYSIS\
>DEFINE_TYPE ZONE_INDEX<
  LET Z2 = 01
  LET Z = 02
>DEFINE_TYPE FUNCTION<
  LET ZPG = Z.PG
  LET ZPL = Z.PL
  LET QLOSS = Z2.QLS+Z.QLS
H 分区02相关的数据
C 有功出力(MW) = $ZPG/F6.1
C 有功负荷(MW) = $ZPL/F6.1
C 无功损耗(MW) = $QLOSS/F6.1

```

该实例中，定义变量 Z2 和 Z 分别代表分区 01 和 02，然后定义三个变量 ZPG、ZGL 和 QLOSS，代表 01 分区的有功出力、有功负荷和 01、02 分区的总无功损耗。

3.4.7 输出格式说明

在定义了各种物理量后，可以按照自己定义的格式输出。

主要有两个语句，分别以大写字母“H”和“C”开头：

- (1) 输出标题的语句，以“H”开头；
- (2) 输出描述性文字和数据的语句，以“C”开头。

说明：

- (1) 上述的两个语句都必须顶格填写，输出第 2 列开始以后的文字；
- (2) 以“H”开头的语句，输出时前面输出两个空行，后面输出两个空行，字母 H 后面的所有文字不进行任何处理，都直接输出；
- (3) 以“C”开头的语句，也是输出从第 2 列开始的所有文字，但是会处理文字中的输出数字相关的控制字符，按照填写的控制格式输出；
- (4) 输出“C”开头的语句前面，必须有“H”开头的语句，否则出错。

输出数据的方法和格式控制：

输出定义的各个物理量时，必须在 C 开头的语句中指定输出，并在前面填写符号“\$”。例如定义了变量 AAA，在 C 开头的语句中输出应写为\$AAA。

输出的格式缺省为 F6.0，即输出一个 6 位的整数；改变此格式，应在输出变量后

面增加“/”，然后按照 Fm.n 的形式填写数据输出格式，其中的 m 表示输出位数，n 表示小数点后面的位数，例如上述变量 AAA 输出 8 位，小数点后面为 3 位，则应写成 \$AAA/F8.3。如果格式设置的宽度不合适，会输出“*****”，此时应该增加宽度。

实例：

```

/USER_ANALYSIS, OUTPUT = IEEE0.DAT\
>DEFINE_TYPE BRANCH_P<
  LET P1 = 母线1    230.  母线A    230.
  LET P2 = 母线1    230.  母线B    230.
>DEFINE_TYPE BRANCH_Q<
  LET Q1 = 母线1    230.  母线A    230.
  LET Q2 = 母线1    230.  母线B    230.
>DEFINE_TYPE FUNCTION<
  LET S1 = (P1**2+Q1**2)**0.5
  LET S2 = (P2**2+Q2**2)**0.5
  LET P12 = P1+P2
  LET Q12 = P1+P2
  LET S12 = (P12**2+Q12**2)**0.5
... 必须有下面的H卡
... 输出内容为$后面的值
... 可以指定输出数据的格式，例如$P1/F5.1中的F5.1，缺省格式为F6.0
H 线路功率如下：
C 线路      数据及格式      P      Q      S
C           (MW)      (MVar)      (MVA)
C 母线1    230.  母线A    230.  $P1/F5.1  $Q1/F5.1  $S1/F5.1
C 母线1    230.  母线B    230.  $P2/F5.1  $Q2/F5.1  $S2/F5.1
C 总结      $P12/F5.1 $Q12/F5.1 $S12/F5.1

```

定义物理量

定义函数

输出

输出如下：

线路功率如下：

线路	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)
母线1 230. 母线A 230.	63.1	44.5	77.2
母线1 230. 母线B 230.	42.7	11.6	44.3
总结	105.8	105.8	149.6

输出的数据

注意：含有数据输出和格式控制的行，第一列不能用 H，否则将写入的字符直接输出，不输出任何数据。

3.5.1 修改数据控制语句/CHANGES

```
/CHANGES, FILE = * \
                        (文件名) \
```

这一语句在作业联算（用 NEXTCASE 语句）和合并网络等计算中特别有用。

- 数据的标识字符（卡片类型、修改码、节点名称、基准电压和并联回路标志等）必须填写。
- 在做修改时，只需在相应的位置上填写修正值即可，不修正的数据不用填写。

- 删除一节点时，将自动删除与节点有关的所有延续节点数据、可切换电抗器数据以及与此节点相联的所有支路。
- 删除两节点之间的所有变压器组时，将自动删除可调节变压器的数据。
- 将线路中的分段号（SECTION）改为 0 或空白，即可将一条由几段线路串联而成的支路全部删除。也可以对每一段都有独立的修改记录来删除之。如果某

一段已删去，则线路去掉该段后，再重新连接起来，变压器段不能删除。

- 将线路数据中的回路标志（即回路号）改为*，则可将两节点之间的几条平行线路组成的支路全部删除。这提供了一种断开直接相连的节点的方法。对于删除操作，线路数据中的回路标志 ID 为空白，也是可行的。
- 不可以有独立的删除 X 记录（可切换电抗器），当 BX 节点修改为其它类型的节点时，将自动删除所有的可切换电抗器数据（X 记录）。

(3) 修改码=M，表示修正数据。

系统中当前存在的所有数据的值都可以修正，但数据记录中的标识字符不可以修正。

在修改记录中只填要修正的数值，空白的位置表示该处的数据不作修正。要注意的是，在修改记录中空白和零是有区别的。经常需要将某些量改为空白，例如节点的分区名和节点的子型（SUBTYPE），这时要在相应的位置上填上 00 或 0。程序能专门识别这些量的修改。

(4) 修改码=R，表示恢复数据

使用恢复修改记录可使当前删除的数据再次生效。在恢复修改记录中只需填写标识字符，其它数据均不用填写。数据的恢复也可选择其它方法，如也可用增加记录（修改码=空）来重新填入先前删除的记录。

恢复的规则与删除修改相似。但有些重要的区别必须加以说明：

- 恢复数据的作业必须与其对应的删除数据的作业连算，即用（NEXTCASE）语句紧跟在删除数据作业之后递交恢复数据的作业。
- 当恢复一节点时，仅恢复那些构成可行系统的支路。在某些情况下，并不是所有删除的支路都恢复。
- 恢复两节点之间的所有的变压器组，并不能自动恢复所有可调节变压器数据（R 卡），如要做到这一点，则必须单独恢复可调节变压器数据。
- 恢复支路数据时，数据类型和标识字符必须一致。例如，如果数据类型是 L，那么在恢复时也必须填写 L。

注：如果对一个数据作多次修改，那么将按所碰到的先后次序进行修改。但没有信息给用户。

如果遇到致命（F）错误，程序置相应开关，并继续处理，以发现其它错误，打出

全部修改记录，然后退出。

算例：

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE91, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = IEEE90.BSE\
/P_INPUT_LIST, ZONES=ALL\
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/CHANGES\
B    BUSADD  230. 01
L    BUSADD  230. 母线1  230.      0.001
B M   母线A  230. 01      30.
L M   母线1  230. 母线A  230.      0.00
.
(NEXTCASE, CASEID=IEEE92, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/P_INPUT_LIST, ZONES=ALL\
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/CHANGES\
B D   BUSADD  230.
.
(NEXTCASE, CASEID=IEEE93, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/P_INPUT_LIST, ZONES=ALL\
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/CHANGES\
B R   BUSADD  230.
(END)
```

老库文件

增加节点线路

修改参数

删除节点

下一个作业

恢复删除的节点

下一个作业

在本计算实例中，首先选择一个老库文件，后续计算在该文件的基础上进行。主要包括：

第一个部分中，增加一个节点“BUSADD 230.”和该节点与网络相连的线路；将节点“母线 A 230.”的并联无功负荷该为 30Mvar；将线路“母线 1 230. 母线 A 230.”的电阻改为 0。

第二个部分中，使用 NEXTCASE 语句开始一个新的作业，即一个新潮流；删除前一个部分中新增的节点，删除节点的同时程序自动将与之相连的线路。

第三个部分中，也使用 NEXTCASE 语句开始一个新的作业；恢复前一个作业中删除的节点。

本算例的三个部分相当于计算 3 个潮流，最终的输出结果也是 3 组结果。

注意：删除线路时，用 L+卡填写的线路高抗不会自动删除。目前暂不支持删除、修改 L+卡。

3.5.2 修改节点类型控制语句/CHANGE_BUS_TYPE\

此语句用来修改节点类型，具体形式为：

```
/CHANGE_BUS_TYPE, BQ=B,    BG=BQ,  BT=B,  BX=B,-
                    BQ=BF,  BG=BF,      BX=BF
                    BQ=BF*, BG=B
                    BG=BF*
                    LTC=OFF,
                    AREAS=<area_1,...>
                    ZONES=<zone_1,...>
```

注：上述控制语句的第一行最后的“-”表示续行，下同。

可转换的节点类型如下：

转换形式	限制条件
a. BQ→B	$P_{\text{gen}}=0, Q_{\text{gen}}=0$
b. BQ→BF	$P_{\text{gen}} \leq 0$
c. BQ→BF*	无条件
d. BG→BQ	$P_{\text{gen}} > 0$
e. BG→B	$P_{\text{gen}} \leq 0$
f. BG→BF	$P_{\text{gen}} = 0$
g. BG→BF*	无条件
h. BT→B	
i. BX→B	
j. BX→BF	

其中 LTC=OFF，将使除直流换流站带负荷调压变压器以外的所有带负荷调压变压器停止调节功能。

AREA 和 ZONES 是由用户给定的区域或者分区，如不给定，则所要求的节点转换对全系统有效。

与/CHANGE_BUS_TYPE 有关的第三级控制语句有：

```
>EXCLUDE_BUS<
B    name  base
B    name  base
.....
```

在所指定的要做修改的分区、区域或者系统内，如有某些节点不想做修改，则可用此语句将这些节点排除在修改范围之外。此语句后面所跟的节点记录名字和基准电

压的格式见 4.3.1。

算例：

```
(POWERFLOW, .....)  
.....  
.....  
/CHANGE_BUS_TYPES, BG=BQ, BT=B, BX=B, AREAS=NORTHWEST\  
/CHANGE_BUS_TYPES, BQ=B, BX=B, BG=BQ, LTC=OFF, AREA=BC-HYDRO\  
>EXCLUDE_BUSES  
B   CENTRALA20.0  
B   BONNPH2 13.8  
B   BONNVIL213.8  
B   DALLES3 13.8  
B   DALLES2 13.8  
B   DALLES2213.8  
(END)
```

注意：大量使用修改潮流数据控制语句，会使数据可读性变差，建议使用注释的方式直接修改原始数据。

3.6 自动发电控制(AGC)用控制语句

在一个区域中，可以指定多台发电机参与区域功率的平衡。二级控制语句为

/AGC\

该语句后面填写对应的发电机相关数据，格式为

B <节点名 基准电压>, P_{\min} =<##>, P_{\max} =<##>, P_{gen} =<##>, %=<##>

其中：

- 节点名和基准电压是固定格式，节点名占第 7-14 列，格式为 A8；基准电压占 15-18 列，格式为 F4.0。
- P_{\min} —发电机的最小出力（MW），缺省值 0，自由格式；
- P_{\max} —发电机的最大出力（MW），缺省值是节点 B 记录中的 P_{\max} 值(见 4.2.2)，自由格式；
- P_{gen} —发电机的基本运行出力（MW），缺省值是所采用的基本潮流方式中的发电机运行出力，自由格式；
- %—本机所能承担的功率偏差的百分数，缺省值表示所能承担的功率偏差的份额与 P_{\max} 成正比。

说明：

(1) /AGC 与区域联络线功率控制联合使用，如果没有区域联络线功率控制，则会出错。

(2) 允许参与 AGC 的发电机最大台数为 24 台，其中必须包括系统或区域的平衡节点。

(3) 如果在调节过程中，参与 AGC 的机组中某些机组达到了限制值，则其它 AGC 机组将重新调整出力，继续进行 AGC 控制。

(4) AGC 计算结果将在潮流分析报告中的“AGC Control”一览表中给出，选择输出这一表目的控制语句为：

```
/ANALYSIS_SELECT\  
>SUM%VAR
```

(5) 当区域联络线交换功率控制选择为 CON（控制）时(详见 3.3.10)，所有参与 AGC 的机组应当在同一区域内，否则程序将给出警告信息。

(6) 当存在 AGC 控制时，区域联络线交换功率一览表中平衡机的效应是所有参与 AGC 的机组的效应的总和。

(7) 当/AGC 和/GEN_DROP（切除发电机和失去发电功率）都存在时，AGC 有较高的优先权。实际应用中，/AGC 和/GEN_DROP 一般不要同时使用。

(8) 在潮流分析报告“AGC Control”一览表中，通常 AGC 机组实际承担的份额与事先安排的相等，但当有的 AGC 机组出力达到限制值时，两者会不相等，此时在表格中针对机组达到限制值的机组，给出“实际出力等于最大出力”的信息，其它的机组，给出“实际比例/安排比例 = 比值”的信息

算例：

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)  
/OLD_BASE, FILE=IEEE90.BSE\  
/ANALYSIS_SELECT\  
>SUM%VAR<  
/AGC\  
B 发电机1 16.5 PMIN = 0., PMAX=180., PGEN=100., % = 60.  
B 发电机3 13.8 PMIN = 0., PMAX=150., PGEN=85., % = 30.  
(END)
```

指定输出

AGC 语句

输出的结果如下：

* 自动发电机控制AGC数据列表

类型	发电机	/----- 发电量(MW) -----/			/--- 参与比例(%) ---/		备注			
		最小值	最大值	基本出力	实际出力	功率变化		实际比例	安排比例	
BS	发电机1	16.5	0.0	180.0	100.0	104.2	4.2	66.7	66.7	
BE	发电机3	13.8	0.0	150.0	85.0	87.1	2.1	33.3	33.3	
总结					185.0	191.3	6.3	100.0	100.0	

3.7 节点灵敏度分析控制语句

这一功能用来计算和分析某节点上加一突然的功率扰动后，系统的响应情况。目前已能进行计算的有：

(1) 无功扰动 ΔQ 所引起的各节点电压变化值及其变化率 dV/dQ （短期和长期响应都有解）；

(2) 有功扰动 ΔP 所引起的各节点电压角度 θ 变化值及其变化率 $d\theta/dP$ （在短期响应时认为 θ 不变化，只在长期响应时有解）。

有关短期、长期响应的概念见下面的叙述。

(1) 控制语句格式

```
/BUS_SENSITIVITY,LTC=ON,AI_CONTROL=CON,Q_SHUNT=ADJ,Q_GEN=ADJ,
                                OFF,                OFF,                FIXED,    FIXED
                                MON,
```

NOUT = <输出节点数>, BUSVMIN = <最低电压等级>

其中

- LTC —— 表示带负荷调压变压器是否起调节作用，ON 调节，OFF 不调节；
- AI_CONTROL —— 区域功率交换控制的有和无，或者仅仅是监视，CON 控制，OFF 不控制，MON 不控制但监视；
- Q_SHUNT —— 节点并联无功负荷是可调的还是固定的，ADJ 可调，FIXED 不可调；
- Q_GEN —— 发电机发出的无功功率是否可调，ADJ 可调，FIXED 不可调；
- NOUT —— 输出的节点数；
- BUSVMIN —— 输出节点的电压等级；

对于每个节点的每个扰动，按照电压或角度变化率的大小输出前 NOUT 个节点

（缺省为 10 个点），输出节点的电压等级都必须大于或等于 BUSVMIN（缺省为所有电压等级）。

对于各选项第一行为缺省的选项。Q_SHUNT 和 Q_GEN 选择用来改变 BQ 和 BG 型节点的无功控制方式。

上述各种选择与所模拟的响应的时间序列有关。通过恰当的选择，雅可比矩阵可近似地表示各种时间序列的响应。

例如：

发电机励磁调节器在几个周波内便能有响应，因此通常选择 Q_GEN=ADJ。

带负荷调压变压器（LTC）和可切换电容器（Q_SHUNT）由延时的电压继电器控制，它们的响应时间大致如下：

- LTC（带负荷调压变压器）：0.5~3 分钟
- DCLTC（直流换流变压器）：5 秒钟
- 电容/电抗器组：5~30 分钟

区域功率交换控制的响应时间大约是 0.5~10 分钟。

如果模拟 30 分钟后扰动引起的变化，此次上述的几乎都已经动作，因此可以设定 LTC=ON、AI_CONTROL=CON、Q_SHUNT=ADJ、Q_GEN=ADJ；如果只模拟几秒钟时扰动引起的变化，此时只有发电机励磁调节器已经动作，因此可以设定 LTC=OFF、AI_CONTROL=OFF、Q_SHUNT=FIXED、Q_GEN=ADJ。

(2) 数据记录格式

在每一个/BUS_SENSITIVITY 语句后面，可以跟有 1~50 个节点记录，格式如下：

B 节点名 基准电压 ΔP_{Load} ΔQ_{Load} ΔP_{Shunt} ΔQ_{Shunt} ΔP_{GEN} ΔQ_{GEN}
其中各项的格式如下：

- 节点名，7-14 列，A8
- 基准电压，15-18 列，F4.0
- 有功负荷扰动量 ΔP_{Load} ，21-25 列，F5.0
- 无功负荷扰动量 ΔQ_{Load} ，26-30 列，F5.0
- 并联有功负荷扰动量 ΔP_{Shunt} ，31-34 列，F4.0

- 并联无功负荷扰动量 ΔQ_Shunt , 35-38 列, F4.0
- 有功出力扰动量 ΔP_GEN , 43-47 列, F5.0
- 无功出力扰动量 ΔQ_GEN , 48-52 列, F5.0

当在同一个节点记录中加以多个扰动时, 只有最后面的扰动起作用。例如同时加扰动 ΔQ_Load 、 ΔQ_Shunt 和 ΔP_GEN , 则只有 ΔP_GEN 起作用, 其它全部忽略。如果想对同一个节点分别进行多个扰动, 则可以针对每个扰动填写一个节点记录。

程序调用由用户指定的老库文件(OLD_BASE), 自动恢复到先前求解的潮流状态, 然后根据用户在每一节点上所加的功率扰动值进行计算, 并列表输出计算结果。

实例:

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE=IEEE90.BSE\
/BUS_SENSITIVITY, NOUT=5, BUSVMIN=20. \
B  母线A  230.          10.
B  母线B  230.          10.
B  母线A  230.  10.
B  母线B  230.  10.
B  发电机2 18.0          10.
(END)
```

本算例分别在 5 个节点施加不同的扰动, 计算对电压或角度的影响, 要求输出前 5 个电压等级大于或等于 20kV 的节点。输出结果的基本形式如下:

节点“发电机2 18.0”的有功出力变化 10.0MW导致如下的角度变化:							
节点	- 角度随有功的变化率 -		- 扰动前的角度 -		- 扰动后的角度 -		
(弧度/pu)	(度/MW)	(弧度)	(度)	(弧度)	(度)		
母线2	230.0	0.2051	0.1175	-0.013	-0.75	0.007	0.43
母线C	230.0	0.1801	0.1032	-0.055	-3.15	-0.037	-2.11
母线3	230.0	0.1459	0.0836	-0.023	-1.31	-0.008	-0.47
母线A	230.0	0.1055	0.0605	-0.108	-6.16	-0.097	-5.56
母线B	230.0	0.0866	0.0496	-0.095	-5.46	-0.087	-4.97
节点“母线A 230.0”的并联负荷变化 10.0MVar导致如下的电压变化:							
节点	- 电压随无功的变化率 -		- 扰动前电压 -		- 扰动后电压 -		
(pu/pu)	(kV/MVar)	(pu)	(kV)	(pu)	(kV)		
母线A	230.0	0.0960	0.2221	1.006	231.41	1.016	233.66
母线1	230.0	0.0366	0.0875	1.039	238.92	1.042	239.80
母线B	230.0	0.0299	0.0703	1.022	235.11	1.025	235.82
母线2	230.0	0.0249	0.0596	1.043	239.88	1.045	240.49
母线C	230.0	0.0205	0.0487	1.032	237.35	1.034	237.84

(3) 多重灵敏度分析

节点灵敏度分析子过程的一个重要特点是可在不同的控制方案下重复求解 Jacobian 矩阵。

例如，第一个/BUS_SENSITIVITY 记录中只选择 Q_GEN=ADJ（励磁调节器投入），其它都选择 OFF，来计算一个瞬时响应。在这一语句及其必须的 B 格式数据记录之后，可再写入第二个/BUS_SENSITIVITY 语句，并选择 LTC=ON，AI_CONTROL=ON，Q_SHUNT=ADJ，Q_GEN=ADJ 来计算一长过程的响应。如果两者的功率扰动都加在同一节点上，则可以分别得到短期和长期响应的比较结果。

实例：

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE=IEEE90.BSE\
/BUS_SENSITIVITY, LTC=ON, AI_CONTROL=CON, Q_SHUNT=ADJ, Q_GEN=ADJ\
B    母线A    230.          10.
B    母线B    230.          10.
/BUS_SENSITIVITY, LTC=OFF, AI_CONTROL=OFF, Q_SHUNT=FIXED, Q_GEN=ADJ\
B    母线A    230.    10.
B    母线B    230.    10.
B    发电机2  18.0          10.
(END)
```

本算例设置了两个控制方案，第一个为都可调的方案，第二个只有发电机无功可调的方法，程序可以在这两不同的条件下对相应的扰动进行计算。

3.8 节点 Q-V、P-V 和 P-Q 曲线求解控制语句

该控制语句可以使用户得到一组 Q-V、P-V 和 P-Q 数据，由此可以绘出节点的 Q-V、P-V 和 P-Q 曲线，具体使用方法如下：

(1) 节点扰动法

指定某个节点电压、无功出力或有功出力的大小，以观察此节点需要补偿的无功功率值或电压值。控制语句如下：

```
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=<name, base>, V=<set_value>, Q=? \
Q=<set_value>, V=? \
P=<set_value>, V=? \
```

各扰动量的单位如下：

- V—标么值
- P—MW（有功发电）
- Q—Mvar（无功发电）

使用限制条件如下：

- 电压 V 的扰动适用于对 V 有约束的节点类型，即：BQ（在无功 Q 的限制范围

内)、BE (PV 型)、BS (V θ 型)。如果节点类型不合要求,则由程序自动将其转换为 BE 型节点,并给出警告信息。

- 无功 Q 的扰动适用于对 Q 有约束的节点类型,即: B (PQ 型)、BC (PQ 型,但电压受发电机控制)、BT (PQ 型,但电压受带负荷调压变压器控制)、BQ (当无功 Q 的限制值达到 Q_{\min} 或 Q_{\max} 时)。如果节点类型不合要求,则由程序自动将其转换为 B 型节点,并给出警告信息。
- 有功 P 的扰动适用于对 P 有约束的节点类型,即:除了 BS (V θ 节点)、BD (两端直流节点)、BM (多端直流节点)和区域缓冲节点(进行区域联络线控制时用)外,各节点类型都适用于 P 扰动。

(2) 负荷扰动法

对指定的分区、所有者(电力局)、区域或全系统的有功和无功负荷加以扰动,以观察某个节点的无功或电压的变化。控制语句如下:

```
/CHANGE_PARAMETER, BUS=<name, base>, V=?,-
                                %LOAD_CHANGE, %P=<##>, %Q=<##>, -
                                ZONES=分区列表, -
                                OWNERS=拥有者列表, -
                                AREAS=区域列表\
```

如果语句中的 ZONES (分区)、OWNERS (所有者)、AREAS (区域)都不指定,则对全系统的负荷作百分数修改。为得到理想的结果,负荷扰动应与/GEN_DROP (切除发电功率)联合使用,否则,负荷扰动引起的不平衡功率由区域和系统的缓冲节点承担。

说明:

(1) 填写上述两个控制语句时,前面必须有“/SOLUTION\”控制语句,否则无法计算;

(2) 上面的两个控制语句中,监测的量都有两种,分别是电压和无功。在同一条控制语句中,只能有一个监测量;

(3) 监测电压时,保持对应节点的并联无功不变,计算扰动后的节点电压值;监测无功时,监测扰动后节点使用的无功和未安排的无功数值。

(4) 在节点扰动中,填写的电压、有功、无功都采用自由格式,但是在负荷扰动中,填写有功无功负荷变化百分比不是自由格式,应该加小数点。

(5) 计算完成后，程序将计算的结果存储到一个单独的文件中，文件名与潮流文件名相同，后缀为“.QVPT”。

(6) 在施加扰动后，如果需要察看其它节点的电压、无功等量的变化，在潮流计算结果和分析报告中直接察看。

(7) 如果所加的扰动量很大，则有可能会引起计算不收敛，这时程序认为随后的扰动量都是严重的，因而不再进行计算，并给出诊断信息。

实例：

(1) 节点电压扰动实例

```
(POWERFLOW, CASEID=IP, FREE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = 必须在前面
/SOLUTION\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A 230., V=1.01, Q=?\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A 230., V=1.02, Q=?\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A 230., V=1.03, Q=?\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A 230., V=1.04, Q=?\
(END)
```

节点电压扰动

本算例中，分别设定节点“母线 A 230.”的电压为 1.01、1.02、1.03 和 1.04pu，分别计算需要的无功情况。针对每个控制语句，潮流结果文件（.PFO）中都会显示如下信息：

节点	分区	类型	状态	扰动前的值	扰动后的值
母线A	230.0	01	E	1.006 电压 (pu)	1.010 电压 (pu)
				0.0 无功出力 (MVar)	0.0 无功出力 (MVar)
				70.0 无功负荷 (MVar)	70.0 无功负荷 (MVar)
				20.2 安排的电容 (MVar)	20.4 安排的电容 (MVar)
				20.2 使用的电容 (MVar)	20.4 使用的电容 (MVar)
				0.0 缺少的无功 (MVar)	4.1 缺少的无功 (MVar)
					0.2161 灵敏度dV/dQ (kV/MVar)

其中显示了电压变化后使用的无功功率、为安排的无功功率、灵敏度等。

计算完成后，程序将计算结果输出到“.QVPT”为后缀的文件中，基本形式为：

```
20.2457313538! 1.0061247349
24.5098762512! 1.0099999905
35.6747436523! 1.0199999809
47.0721054077! 1.0299999714
58.7022209167! 1.0399999619
```

电压

无功

(2) 节点功率扰动算例

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = IEEE90.BSE\
/SOLUTION\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A, 230., P=10, V=?\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A, 230., P=20, V=?\
/CHANGE_PARAMETERS, BUS=母线A, 230., P=30, V=?\
(END)
```

节点有功扰动

本算例中节点“母线 A 230.”的有功出力分别变为 10、20 和 30MW 时，分别计算该节点的电压。在潮流结果文件(.PFO)中对应每一行控制语句，都会显示如下信息：

节点	分区	类型	状态	扰动前的值	扰动后的值
母线A	230.0	01		0.0 有功出力 (MW)	10.0 有功出力 (MW)
				1.006 电压 (pu)	1.008 电压 (pu)

计算完成后，将该节点电压和有功出力值写入到 PVQT 文件中，形式与(1)类似。

(3) 负荷扰动算例

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = IEEE90.BSE\
/SOLUTION\
/CHANGE_PARAMETER, BUS = 母线A, 230., V=?, %LOAD_CHANGE, %P=5., %Q=5. \
/CHANGE_PARAMETER, BUS = 母线A, 230., V=?, %LOAD_CHANGE, %P=10., %Q=10. \
/CHANGE_PARAMETER, BUS = 母线A, 230., V=?, %LOAD_CHANGE, %P=15., %Q=15. \
(END)
```

负荷扰动

本算例对系统中所有的负荷增加 5%、10%和 15%，计算节点“母线 A 230.”的电压变化。对于每行控制语句，在潮流结果文件(.PFO)中都显示如下信息：

节点	分区	类型	状态	扰动前的值	扰动后的值
母线A	230.0	01		367.0 负荷 (MW)	385.3 负荷 (MW)
				1.006 电压 (pu)	1.001 电压 (pu)

有功负荷和节点电压数值存储到 PVQT 文件中。

3.9 切除发电机和失去发电功率模拟控制语句

该功能用来模拟失去发电功率以后，系统的短期响应特性。

失去发电功率的方式有以下两种：

- 由于故障或者运行方式的变化，导致某些机组退出运行；
- 系统中的平衡机组达到出力限制值以后，无法再参与功率调整。

当上述情况出现时，其它正在运行的机组将自动分担功率缺额，所分担的份额与机组各自的 P_{MAX} 成比例。例如第 i 台机组所承担的份额可以用下式表示：

$$\text{GEN_PICKUP}(i) = \text{P}_{\text{MAX}}(i) * (\text{TOTAL_DROPPED} / \text{TOTAL_P}_{\text{MAX}})$$

上式中 TOTAL_DROPPED 表示所失去的发电功率之总和，而 TOTAL_PMAX 是所有具有旋转备用机组的 PMAX 之总和。各机组的 PMAX 值在原始节点数据中指定。

该控制语句的形式如下：

```
/GEN_DROP, AI_CONTROL = CON, INITIAL_DROP = #####, TOL = 10MW, -
                                MON                                (功率值)
                                OFF
                                AREAS = 区域列表, ZONES = 分区列表\
B <节点名称 基准电压>, PMIN=<##>, PMAX=<##>
                                <MW>      <MW>
```

对该语句说明如下：

(1) AI_CONTROL，区域交换功率控制选择

当在几个区域内出现发电功率扰动以后，区域间的交换功率将受到大的影响，因此除了已经知道新的区域交换功率指定值的情况外，通常建议将联络线功率控制改为监视（MON）。具体选择方式如下：

AI_CONTROL = CON，控制联络线功率；

OFF，去掉联络线功率控制；

MON，监视联络线功率，但不控制。

(2) INITIAL_DROP=#####

指定切除的发电功率的起始值。该语句不能切除发电机功率，要切除的发电功率，必须先用/CHANGES 控制语句通过删除发电机节点或者修改发电机出力来实现，然后再在此处指定，单位为 MW。

(3) TOL=#####

发电功率重新分配计算允许误差值，当切除的发电功率和重新分配的发电功率之间的误差小于允许误差时，计算结束。允许误差的缺省值为 10MW。

(4) AREAS 或者 ZONES

发电功率的重新分配可以在全系统范围内进行（缺省值），也可以在指定的区域或者分区内进行，区域或者分区名称之间用逗号分开，如果名称中间有空格，则用符号“#”代替空格。

(5) >EXCLUDE_BUS<

B （节点名，基准电压）

.....

在指定的发电功率重新分配的范围内，如果有某些发电机节点不参与发电功率重新分配过程，则可以使用该第三级控制语句，将这些节点排除在外。

(6) 切除和失去的发电功率的总量

切除和失去的发电功率的总量是以下两部分之和：

由前述 INITIAL_DROP 所指定的发电功率切除的起始值；

计算得到的发电功率缺额，即在/GEN_DROP 语句后面指定若干节点，并定义这些节点的发电功率的最大值（P_{MAX}）和最小值（P_{MIN}），计算中超出发电功率限制值的那部分出力称为计算得到的发电功率缺额。至少有一个发电机节点必须被指定。该功能用来保证系统或者区域的平衡节点的出力在一定范围之内，以提高计算结果的准确度。如果节点卡片中的 P_{MAX} 和 P_{MIN} 省缺，则 P_{MAX} 取原始数据中该节点的 P_{MAX} 值，而 P_{MIN}=0。

(7) 算例

```
(POWERFLOW, .....)  
.....  
/CHANGES,.....\  
.....  
.....(changes which drop 2450MW of generation in the Northwest)  
.....(通过修改节点数据，使区域Northwest中切除2450MW发电功率)  
/GEN_DROP, AI_CONTROL=MON, TOL=1.0, INIT=2450\  
BQ MORRO 4 18, PMIN=147, PMAX=167  
/SOLUTION\  
(END)
```

在出力重新分配过程中，某些机组会达到出力限制值，这时重新分配的过程变为非线性过程，可能需增加一些迭代步数。所得到的计算结果反映出系统因某种原因失去部分发电功率以后，各发电机组出力和线路潮流重新调整分布的情况。

3.10 线路灵敏度分析控制语句

该语句可对六种线路灵敏度指标进行计算，分别为有功灵敏度 dP_{ij}/dX_t 和 dP_{ij}/dB_s 、损耗灵敏度 $dLOSS/dX_t$ 和 $dLOSS/dB_s$ 和电压灵敏度 dV_i/dX_t 和 dV_i/dB_s 。

控制语句形式如下：

```
/LINE_SENSITIVITIES, LTC = ON, AI_CONTROL = CON\  

```

	OFF	MON
		OFF
>PB	<节点名1, 基准电压>	<节点名2, 基准电压> Xnew Bnew
L.....		
L.....		
.....		
>LB	<节点名1, 基准电压>	<节点名2, 基准电压> Xnew Bnew
>VB	<节点名1, 基准电压>	<节点名2, 基准电压> Xnew Bnew

说明:

(1) LTC=ON (OFF), 指定带负荷调压变压器的控制方式, ON 表示可控, OFF 表示不可控。

(2) AI_CONTROL=CON, 指定区域联络线功率的控制方式, CON 表示控制, MON 表示监视区域联络线功率, OFF 表示不控制。

(3) 可以计算 6 种线路灵敏度, 分别为

填写>PB, 计算线路电抗变化引起的线路有功潮流变化量 dP_{ij}/dX_t 或线路对地电纳变化引起的线路有功潮流变化量 dP_{ij}/dB_s ;

填写>LB, 计算线路电抗变化所引起的系统损耗变化量 $dLOSS/dX_t$ 或线路对地电纳变化引起的系统损耗变化量 $dLOSS/dB_s$;

填写>VB, 线路电抗变化所引起的节点电压变化量 dV_i/dX_t 或线路对地电纳变化所引起的节点电压变化量 dV_i/dB_s ;

(4) 后面所跟的记录>PB、>LB 和>VB 采用固定格式, 具体格式及说明如下 (最多可有 50 条记录):

列	格式	说明
1~3	A3	字符>PB、>LB、>VB;
7~14	A8	节点名1名称;
15~18	F4.0	节点名1基准电压 (kV)
20~27	A8	节点名2名称
28~31	F4.0	节点名2基准电压 (kV)
32	A1	线路平行码
33	I1	分段线路的段号
45~50	F6.5	X, 线路新的电抗值, 与原来电抗之差为扰动量
57~62	F6.5	B, 线路新的对地电纳, 与原来对地电纳之差为扰动量

(5) 需要进行 dP_{ij}/dX_t 和 dP_{ij}/dB_s 灵敏度计算的线路由紧跟在>PB 记录后面的线路卡 (L 卡) 来指定, 线路卡的格式为:

列	格式	说明
1	A1	字符L;
7~14	A8	节点名1名称;
15~18	F4.0	节点名1基准电压 (kV)
20~27	A8	节点名2名称
28~31	F4.0	节点名2基准电压 (kV)
32	A1	线路平行码
33	I1	分段线路的段号

(6) $d\text{LOSS}/dX_t$ 和 $d\text{LOSS}/dB_s$ 灵敏度中的损耗变化量指全系统的损耗变化量。

dV_i/dX_t 和 dV_i/dB_s 灵敏度计算将给出前 20 个电压变化最大的节点名称和电压值。

(7) 如果在>PB、>LB、>VB 卡中同时填写了 Xnew 和 Bnew，则只有 Xnew 有效。

实例：

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/P_OUTPUT_LIST, FULL\
/OLD_BASE, FILE=IEEE90.BSE\
/LINE_SENSITIVITIES\
>PB  母线1  230.  母线A  230.  .094
L    母线1  230.  母线A  230.
L    母线A  230.  母线2  230.
>LB  母线1  230.  母线A  230.  .105
>VB  母线1  230.  母线A  230.  .105
(END)
```

本算例中，分别计算了线路有功功率相对于对地电纳的变化率 dP_{ij}/dB_s 、系统损耗相对于线路电抗的变化率 $d\text{LOSS}/dX_t$ 和节点电压相对于线路电抗的变化率 dV_i/dX_t 。

3.11 损耗灵敏度分析控制语句

该语句用来计算三种系统损耗灵敏度： $d\text{LOSS}/dP_i$ 、 $d\text{LOSS}/dQ_i$ 、 $d\text{LOSS}/dV_i$ ，其形式如下：

```
/LOSS_SENSITIVITY,LTC=ON,AI_CONTROL=CON,Q_SHUNT=ADJ,QGEN=ADJ,
                     OFF          OFF          FIXED    FIXED
                     AREAS=区域名列表,-
                     ZONES=分区名列表\
```

其中：

- LTC，选择带负荷调压变压器是否控制，ON 控制，OFF 不控制；
- AI_CONTROL，选择区域交换功率控制的方式，CON 控制，OFF 不控制；
- Q_SHUNT，选择 BQ 型节点的并联无功补偿可调或者固定不可调，ADJ 可

调，FIXED 不可调；

➤ Q_GEN，选择发电机无功可调或者不可调，ADJ 可调，FIXED 不可调。

计算结束后，程序将在潮流计算结果文件*.PFO 中列表给出各节点的 $d\text{LOSS}/dP_i$ 、 $d\text{LOSS}/dQ_i$ 和 $d\text{LOSS}/dV_i$ 的灵敏度指标，其中 $d\text{LOSS}/dV_i$ 只对 PV 型节点进行计算。

实例：

```
(POWERFLOW, CASEID=IEEE9, PROJECT=IEEE_9BUS_TEST_SYSTEM)
/OLD_BASE, FILE = IEEE90.BSE\
/LOSS_SENSITIVITY\
(END)
```

3.12 N-1 开断模拟控制语句

该语句可以在指定的分区内由程序自动轮流开断元件，并检查由此而引起的元件过载和节点电压越限情况，最后由用户选择输出打印文件，进行 N-1 安全校核分析。

该语句的形式如下：

/OUTAGE_SIM\

与/OUTAGE(开断模拟)有关的第三级控制语句如下：

(1) >DEFAULT_RATING<

在用开断模拟检查线路和变压器过负荷情况时，必须先指定线路和变压器的额定值。一般可以在原始潮流数据中指定（在线路 L—记录和变压器 T—记录中有此项内容），但如果原始数据中没有指定，则要由此语句来指定额定值。此语句后面所跟的记录格式如下：

列	内容
1—3	空白
4—7	基准电压1（指线路1侧，kV）
10—13	基准电压2（指线路2侧，kV），如为变压器支路要填，如为一般支路则填零或者空白。
16—19	指定的缺省额定值，对于线路单位为A（安培），对于变压器为MVA。

其中各参数的格式都是 F4.0。

需要指出的是无论在原始数据中或者在>DEFAULT_RATING<中指定额定值，当所采用的基本潮流方式（OLD_BASE_FILE）中的某些线路或者变压器负载值乘以 1.05

（这是缺省值，用户也可根据需要，采用第三级控制语句>RELAX_BR_RATE=ON(OFF), PRECENT=5.0(number)<来指定其它值）后，大于所规定的额定值时，则程序自动采用大数作为新的额定值，来校核过负荷线路、变压器，不过，在输出表格中程序仍按先前规定的额定值为基准，来计算过负荷量的标么值。

(2) >OLD_BASE, FILE=文件名, CASE=* <

<CASEID><

开断模拟是在一已求解好的基本潮流方式上进行的，本语句指定该潮流方式的文件名，CASE 为所指定文件中的方式名，当其省略时，则取文件中的第一个方式。

(3) >OUTAGE, ZONES=* BASE=* <
<LIST> <LIST><

指定系统中发生开断的分区及电压等级。表目（LIST）中的每一项用逗号隔开。BASE 选项中如果填写电压等级，只需要填写一个最低电压等级和一个最高电压等级，在这两个电压之间的所有电压等级支路都进行轮流开断，例如如果想开断 230、330、500kV 电压等级线路和变压器，则应该填写为

>OUTAGE, BASE = 230, 500<

如果没有指定本控制语句，则开断的分区和电压等级与>OVERLOAD 中的分区和电压等级相同。

(4) >OUTPUT_SORT = OVER_OUT<
OUT_OVER<
BOTH<

指定结果输出表的种类。

(5) >OVERLOAD, ZONES=* BASES=* <
<LIST> <LIST><

指定要检验是否过负荷的分区和电压等级。表目中的内容用逗号隔开。BASE 选项中的电压等级填写方法与控制语句>OUTAGE 中的完全相同，在没有指定本控制语句条件下，检查过负荷的分区和电压等级则采用>OUTAGE 中的分区和电压等级。

(6) >RELAX_BR_RATE = ON, PERCENT=5.0<
OFF, <number><

确定允许支路额定值扩大的百分数，其用途见前面>DEFAULT_RATING<语句的说明。

(7) >SOL_ITER, FIXED=3, TO_TOL=12<
<number> <number><

指定迭代的最大步数。FIXED 指必须要作的迭代步数。TO_TOL 指允许进行的最

大迭代步数。

(8) >TOLERANCE = 0.02<

<number><

指定收敛允许误差（标么功率值）。取较大的值，产生一较快速但较近似的解；取较小的值，则产生一较慢的但较精确的解。

算例：

```
(POWERFLOW, CASEID=3ACOUT, PROJECT=TEST_OUT)
/OUTAGE_SIM\
>OLDBASE, FILE=4ACO.BSE<
>OUTAGE, ZONES=02, 01 BASES=230<
>OVERLOAD, ZONES=02, 01 BASES=230<
>OUTPUT_SORT=BOTH<
>DEFAULT_RATING<
    230.      900.
    525.      1500.
(END)
```

本例中，>DEFAULT_RATING<后面的记录内，230 和 525 表示电压等级(kV)，900 和 1500 表示电流额定值(A)。开断和过负荷检测都在分区 01、02 的 230kV 以上电压等级内进行。

3.13 网络化简控制语句

该控制语句用来进行网络化简，并对化简后的网络作潮流计算，其形式如下：

/REDUCTION, CASEID=方式名, PROJECT=工程名\

与/REDUCTION（化简）有关的第三级控制语句如下：

(1) >EXCLUDE_BUSES<

从要保留的子系统去掉指定的节点，这些节点以 B—记录格式（节点记录格式）跟在此语句后。要注意的是被保留的子系统必须已由 SAVE_BASES 或者 SAVE_ZONES 语句定义。

(2) >INCLUDE_BUSES<

在要保留的子系统上增加某些节点，这些节点也以 B—记录格式跟在此语句后。被保留的子系统也必须先有 SAVE_BASES 或者 SAVE_ZONES 语句定义。

(3) >MIN_EQUIV_Y = 0.02<

<number><

指定要保留的等值支路的最小导纳值。

(4) >RETAIN_GEN = OFF, PMIN = 100.0<

ON <number><

指定要等值的子系统内被保留的发电机组的最小容量 PMIN。

(5) >SAVE_BASES=<LIST><

指定在简化区域内要保留的电压等级，表目（LIST）中的各量以逗号隔开。

(6) >SAVE_ZONES=<LIST>, BASES=<LIST><

指定要保留的分区和（或者）电压等级，表目中各量以逗号隔开。

算例：

```
(POWERFLOW, CASEID=CHXBR, PROJECT=SWINGCH_XB)
/OLDBASE, FILE=CHXB.BSE\
/P_INPUT_LIST, FULL\
/P_OUTPUT_LIST, FULL\
/P_ANALYSIS_REPORT, LEVEL=4\
/REDUCTION\
>RETAIN_GEN=ON, PMIN=500.0<
>SAVE_BASES=363<
>SAVE_ZONES=01<
(END)
```

这是简化西北网时用的控制语句，保留分区 01 为关中地区，将甘肃等电网等值，在等值区域内 500MW 及以上发电机组予以保留，同时刘家峡到关中的 330kV 联络线也予以保留。

3.14 负荷静特性模型模拟功能

BPA 潮流程序中原有的负荷模型为恒定功率负荷，现在增加了恒定电流和恒定阻抗负荷模型，用来模拟电压变化对负荷的影响，以提高潮流计算的准确度。

三种负荷的构成如下：

$$P = P_{\text{Load}} + A_{\text{Load}} * V + G_{\text{Shunt}} * V^2$$

$$Q = Q_{\text{Load}} + B_{\text{Load}} * V + B_{\text{Shunt}} * V^2$$

（恒定功率） （恒定电流） （恒定阻抗）

负荷静特性模拟方法有如下两种：

- 采用节点数据卡片，在原始数据中指定负荷模型；
- 采用控制语句，将原始潮流中的负荷自动转换为用户指定的负荷模型。

(1) 采用节点数据卡片指定负荷模型

- 采用 B 卡（交流节点卡片）中的有功和无功负荷部分[Load(P)、(Q)]在原始数

据中指定该节点上负荷的恒定功率分量，其格式见 4.2.2。

- 采用延续节点数据卡，在原始数据中指定该节点上负荷的恒定电流和恒定阻抗分量，并且补充指定恒定功率分量部分。

延续节点数据卡片的详细用途和说明请见 4.2.2。这里仅介绍该卡片在负荷模型模拟方面的功能。

延续节点数据卡片的格式如下：

+	C H O G E R	O W N E R	NAME	kV	C Y O D E R	LOAD		S HUNT		P GEN MW	Q GEN MVAR																			DTE IN M Y T H D A Y									
						P MW	Q MVAR	LOAD = +	CAP=+ = + REA=-																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

卡片说明：

列	格式	说明
1	A1	卡片类型，+
2	A1	卡片代码，A
3	A1	修改码，见4.2节
4—6	A3	所有者名称
7—18	A8, F4.0	节点名称和基准电压
19—20	A2	卡片子码，该子码用来定义卡片中所填负荷量的负荷模型，定义内容如下：
	子码	LOAD（负荷） P（有功）Q（无功） SHUNT（并联导纳负荷） G（有功）B（无功）
	*I	恒定电流
	01	同上
	*P	恒定功率
	02	同上
21—25	F5.0	有功负荷，MW
26—30	F5.0	无功负荷，Mvar
31—34	F4.0	并联有功负荷，MW
35—38	F4.0	并联无功负荷，Mvar
43—47	F5.0	发电有功，MW，可不填
48—52	F5.0	发电无功，Mvar，可不填
75—77		投运日期（月份=1，2，3，4，5，6，7，8，9，0，N，D）说明性数据，可不填。

算例一采用数据卡片，在原始数据中指定负荷模型的例子如下：

```

(POWERFLOW, CASEID=PFTS2, PROJFCT=SWINGCH TS2)
/NEW_BASE, FILE=BLOAD.BSE\
/P_ANALYSIS_RPT, LEVEL=4\
/NETWORK_DATA\
B   S13   525 01
B   N15   230 02
B   N20   230 02 51.9 27.4
+A  N20   230 *I 10.0 10.0 10.0-10.
B   N21   230 02 50.0 30.0
+A  N21   230 *I 10.0 10.0 10.0-10.
B   N7    230 02
BS  N1    13.802          15001200    01000
.....
L   S13   525 N13   525          .0001
L   S11   525 S12   525          330 3430 .51320
T   N4    13.8 N19   230          6400          138023575
T   N2    13.8 N9    230          2170          138024725
.....
(END)

```

指定 N20 负荷类型

指定 N21 负荷类型

本例中，节点 N20 和 N21 处的负荷分别指定为由恒定功率、恒定电流和恒定阻抗构成的综合负荷，在计算结果和分析报告中将分类统计和给出这些负荷。

(2) 采用控制语句，选择负荷模型

控制语句的形式如下：

```

/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTED_VOLTAGE = NOMINAL\
                                BASE

```

该语句自动地将原始潮流（OLD_BASE_FILE）中的负荷转换为用户指定的负荷模型。其中的 DISTRIBUTED_VOLTAGE 用来选择负荷构成比例重新分配时的节点电压值，选择 NOMINAL，所有节点电压值取为 1.0pu；选择 BASE，节点电压值取原始潮流中的电压值。

从属于该语句的第三级控制语句如下：

1) 按分区、区域、所有者或者在全系统范围内进行负荷模型转换

```

>CHANGE_SYSTEM, PLOAD = ##% P+##% I+##% Z, -
                    QLOAD = ##% Q+##% I+##% Z, -
                    AREAS = area_1,...
                    ZONES = zones_1,...
                    OWNERS = owner_1,...<

```

将原始潮流中的恒定功率负荷按用户指定的比例转换为恒定功率、恒定电流和恒定阻抗构成的综合负荷。

```
>CHANGE_SYSTEM, ALOAD = ##% P+##% I+##% Z, -
      BLOAD = ##% Q+##% I+##% Z, -
      AREAS = area_1,...
      ZONES = zones_1,...
      OWNERS = owner_1,...<
```

将原始潮流中的恒定电流负荷按用户指定的比例转换为恒定功率、恒定电流和恒定阻抗构成的综合负荷。

```
>CHANGE_SYSTEM, RLOAD = ##% P+##% I##% Z, -
      XLOAD = ##% Q+##% I+##% Z, -
      AREAS = area_1, ...
      ZONES = zones_1, ...
      OWNERS = owner_1, ...<
```

将原始潮流中的恒定阻抗负荷按用户指定的比例转换为恒定功率、恒定电流和恒定阻抗构成的综合负荷。

对上面三个语句说明如下：

- %P (%Q)、%I 和 %Z 三项之和必须为 100%；%和字母 P、Q、I、Z 之间必须有空格；
- 如果百分比是负值，应该加负号而不能将控制语句中的“+”改为“-”，例如：如果将恒功率无功负荷改为“30%恒功率+120%恒阻抗+-50%恒电流”，应该写为“QLOAD = 30% Q + 120% I + -50% Z”。
- 在负荷模型转换中新生成的恒定电流和恒定阻抗负荷在列表输出时的记录类型为+A*I（属于延续节点类型，详见 4.3.4）。
- 负荷转换可以按指定的区域（AREA）、分区（ZONES）或者所有者（OWNERS）进行。
- 在一个作业中，可以有多个>CHANGE_SYSTEM 语句，使用户能够在不同的区域或者分区范围内按不同的比例构成综合负荷模型。如果多个>CHANGE_SYSTEM 语句之间有重复，则优先权给予排在前面的语句。
- 如果在指定的范围内，某些节点的负荷模型不想进行转换，则可以将这些节点排除在外，控制语句如下：

```
>EXCLUDE_BUSES<
B      name      base
```

B name base

该控制语句后面的 **B** 卡数据格式为固定格式，第一列为 **B**，7~14 列为节点名，格式 A8，15~18 列为基准电压，格式 F4.0。

算例：

例 1：将恒定功率负荷转换为综合静特性负荷

```
(POWERFLOW, CASEID=TS2, PROJECT=EXAMPLES)
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/RPT_SORT=ZONE\
/OLD_BASE, FILE=TS2.BSE\
/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTION_VOLTAGES=BASE\
>CHANGE_SYSTEM, PLOAD=40% P+30% I+30% Z, QLOAD=40% P+80% I+ -20% Z, ZONES=01, 02<
(END)
```

例 2：将恒定电流负荷转换为综合静特性负荷

```
(POWERFLOW, CASEID=TS2, PROJECT=EXAMPLES)
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/RPT_SORT=ZONE\
/OLD_BASE, FILE=LOAD.BSE\
/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTION_VOLTAGES=BASE\
>CHANGE_SYSTEM, ALOAD=40% P+30% I+30% Z, BLOAD=40% P+80% I+ -20% Z, ZONES=01, 02<
(END)
```

例 3：将恒定阻抗负荷转换为综合静特性负荷

```
(POWERFLOW, CASEID=TS2, PROJECT=EXAMPLES)
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/RPT_SORT=ZONE\
/OLD_BASE, FILE=LOAD.BSE\
/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTION_VOLTAGES=NOMINAL\
>CHANGE_SYSTEM, RLOAD=40% P+30% I+30% Z, XLOAD=40% P+80% I+ -20% Z, ZONES=01, 02<
(END)
```

计算结束后，程序将在潮流结果文件和分析报告中给出负荷模型转换后的分析统计表格。

2) 按所选择的节点进行负荷模型转换

控制语句形式如下：

```
>CHANGE_BUSES, CHANGE_TYPE = PLOAD<
                                ALOAD<
                                RLOAD<

B      name  base  #####  #####  #####  #####  #####  PLOAD
B      name  base  #####  #####  #####  #####  #####  ALOAD
+x     name  base  yr  #####  #####  #####  #####  #####
+y     name  base  yr  #####  #####  #####  #####  #####
```

其中的 **CHANGE_TYPE** 用来选择负荷模型转换类型，**PLOAD** 对原始潮流中的恒

定功率负荷进行转换，ALOAD 对原始潮流中的恒定电流负荷进行转换，RLOAD 对原始潮流中的恒定阻抗负荷进行转换

>CHANGE_BUSES 语句后面所跟的 B 卡和“+”卡记录为用户指定的要进行负荷模型转换的节点名和负荷构成比例，使用方法如下：

- 当对节点上的恒定功率负荷进行转换时，使用 B 卡。
- 当对节点上的恒定电流负荷和恒定阻抗负荷进行转换时，使用“+”卡。卡片子型为 A，代码 YY 可填*I。

B 卡的格式如下：

B		O W N E R	NAME																BASE	Percentage Distribution																								Change Type										
																				Loads%												Current%													Impedance %									
																				MW						MVAR						MW						MVAR							MW					MVAR				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2													
B																																																						
B																																																						

列	格式	说明
1	A1	卡片类型—B
4-6	A3	所有者名
7-18	A8, F4.0	节点名和基准电压
20-24	F5.0	恒定功率负荷百分数（有功）
26-30	F5.0	恒定功率负荷百分数（无功）
33-37	F5.0	恒定电流负荷百分数（有功）
39-43	F5.0	恒定电流负荷百分数（无功）
46-50	F5.0	恒定阻抗负荷百分数（有功）
52-56	F5.0	恒定阻抗负荷百分数（无功）
59-63	A5	转换类型，填PLOAD，起说明性作用

+卡的格式如下：

B	T	Y	P	E	O	W	N	E	R	NAME	BASE	C	O	Y	D	R	Percentage Distribution																								Change Type																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
																	Loads%								Current%								Impedance %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
																	MW				MVAR				MW				MVAR				MW				MVAR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4		5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

例	格式	说明
1	A1	卡片类型—+
2	A1	卡片子型—A
3-6	A3	所有者名

7-18	A8, F4.0	节点名和基准电压
19-20	A2	代码—*I
21-24	F4.0	恒定功率负荷百分数（有功）
26-30	F5.0	恒定功率负荷百分数（无功）
33-37	F5.0	恒定电流负荷百分数（有功）
39-43	F5.0	恒定电流负荷百分数（无功）
46-50	F5.0	恒定阻抗负荷百分数（有功）
52-56	F5.0	恒定阻抗负荷百分数（无功）
59-63	A5	转换类型，填ALOAD或者RLOAD

使用时的注意事项如下：

- 三种负荷成分的百分数之和必须为 100%。
- 如果>CHANGE_BUSES 与前面的>CHANGE_SYSTEM 有重复之处，则优先权属于>CHANGE_BUSES。
- 最多可指定 700 个节点，一旦指定以后，该节点将不受其它修改命令的影响。

算例：

例 1：将节点上的恒定功率负荷转换为综合静特性负荷

```
(POWERFLOW, CASEID=TS2, PROJECT=EXAMPLES)
/OLD_BASE, FILE=TS2.BSE\
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/P_ANALYSIS_RPTORT, LEVEL=4\
/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTION_VOLTAGES=BASE\
>CHANGE_BUSES, CHANGE_TYPE=PLOAD<
B  N20  230  40.  40.  30.  30.  30.  30.  PLOAD
B  N21  230  40.  40.  30.  30.  30.  30.  PLOAD
(END)
```

例 2：将节点上的恒定电流负荷和恒定阻抗负荷转换为综合静特性负荷

```
(POWERFLOW, CASEID=TS2, PROJECT=EXAMPLES)
/P_OUTPUT_LIST, ZONES=ALL\
/OLD_BASE, FILE=BLOAD.BSE\
/P_ANALYSIS_RPTORT, LEVEL=4\
/%LOAD_DISTRIBUTION, DISTRIBUTION_VOLTAGES=BASE\
>CHANGE_BUSES, CHANGE_TYPE=RLOAD<
+A  N20  230*I40.  40.  30.  30.  30.  30.  ALOAD
+A  N21  230*I40.  40.  30.  30.  30.  30.  RLOAD
(END)
```

计算结束后，程序也将在结果文件和分析报告中给出负荷模型转换后的分析统计表格。

4 网络数据说明

在掌握了程序常用控制语句后，紧接着是如何填写输入的网络数据的问题。本章将简要地介绍数据卡片的分类及其格式。

如果数据卡片第一列为“·”或者空格，则表示注释记录，不参与计算。

4.1 数据卡片的分类

主要的数据卡片可分为四类，分别为区域控制、节点数据、支路数据及节点数据修改卡。

区域控制数据卡包括：

- 1) AC、A，指定参与区域功率交换的分区及安排交换功率量；
- 2) AO，按区域分类输出；
- 3) I，指定区域交换功率。

节点数据卡包括：

- 1) B，交流节点卡；
- 2) BD，两端直流节点卡；
- 3) BM，多端直流节点卡；
- 4) +，延续节点卡；
- 5) X，可切换电抗、电容器卡。

支路数据卡包括：

- 1) L，对称线路卡；
- 2) LD，两端直流线路卡；
- 3) LM，多端直流线路卡；
- 4) T，变压器和移相器卡；
- 5) R，带负荷调压变压器调节数据卡；
- 6) E，不对称等值支路卡；
- 7) RZ，可快速调整的线路串补数据卡。

数据修改卡包括：

- 1) P，系统中发电出力和负荷按百分数修改卡；

2) Z, 分区重新命名卡;

3) DZ, 分区删除卡。

各数据卡片有几个共同的特点, 现说明如下:

(1) 名称

区域 (AREA)、分区 (ZONE)、节点和线路等的名称或者所有者 (OWNER) 可用英文字母及数字填写, 也可用汉字, 建议顶格填写, 中间不要留空, 以免程序检索时出错 (空格也是字符), 若名称前面有空格, 程序自动去掉空格。

(2) 表格中的修改码填法

- 不填 (空白) — 表示新增加的记录;
- 填 D — 表示删去该记录;
- 填 M — 表示记录中的数据是对原记录相应位置上数据的修正值;
- 填 R — 表示恢复前一个方式删除的记录, 但 A 卡记录不能恢复。

带有修改码的记录都跟在子过程语句/CHANGES 之后输入, 详见 3.5.1 中的叙述。

(3) 缺省格式

由数据格式卡可以看到, 在数据栏目内的某些位置上都有小数点, 这是由程序安排的省缺小数点, 用户可以只填数字不填小数点, 这时程序认为省缺小数点生效, 程序读入的数带有这一小数点; 用户也可以直接填入小数点, 这时省缺的小数点无效, 程序按用户填入值读入。

为了避免出错, 建议对于浮点数, 尽量填写小数点。

(4) 其它

格式说明中打*者表示不能由修改码 M 作修改。

4.2 区域控制数据卡

4.2.1 AC—区域交换功率控制卡

全网可以分成若干个区域 (AREA), 每个区域又可以分成若干个分区 (ZONE)。本卡能将区域之间交换功率控制为用户给定之值。注意:

(1) 区域输出功率由区域缓冲节点来控制, 每一区域都应该有一个区域缓冲节点。当全网平衡节点 (V_0 节点) 在本区域内时, 则要将它作为本区域的缓冲节点; 当其不

在本区域内时，则可选择一调频电厂作区域缓冲节点，应该令其为 PV 型节点，计算过程中，在程序控制下其出力 P 将发生变化，自动地由 PV 节点转换为平衡节点。区域缓冲节点如为 PQ 节点，则计算中程序将出警告信息（指出区域缓冲节点的无功功率值固定是不恰当的），但不影响继续计算。

(2) 区域交换功率是在区域边界测得的所有区域联络线输送功率之和，至于测点选在联络线的那一侧，由用户自己选定（详见 L、E 和 LD、LM 卡）。

(3) 每一区域都必须各填一张 AC 卡，一张 AC 卡最多可以填写 20 个分区，如果一个区域包含的分区数超过 20 个，则应填写 AC+卡，最多只能填写一张 AC+卡，AC+卡中最多填写 20 个分区。

(4) 由于一般填写安排区域交换功率数据卡 I 卡，该卡中指定的交换功率值将自动替代 AC 卡中指定的值，因此 AC 卡中区域交换功率值一般不填。

AC 卡片的格式和说明如下：

A	S U B T Y P E	C B G C P D E	INTERCHANGE AREA NAME	AREA SLACK BUS NAME										SCHEDULED EXPORT	ZONE																													
															1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30														
A																																												
A																																												
A																																												

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—A
2	A1	卡片子型—C或者空白
3	A1	修改码—参见3.2.3，以下各卡均同此
4-13	A10	区域名称
14-25	A8, F4.0	区域缓冲节点名称及基准电压（kV）
27-34	F8.0	安排的区域交换功率（MW）值，正值表示由该区域流出，负值表示流入该区域。如填写I卡，则此值可不填
36-95	20（A2, 1X）	本区域内包括的分区名，要顶格填写，最好填满（占2位），以免程序检索时出错，最多可以填写20个分区

AC+卡片的格式和说明如下：

AC+	INTERCHANGE AREA NAME										ZONE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

将输入和输出表目中的各节点按任意分区（ZONE）组合成几个区域。区域和节点均按字母顺序输出。一个 AO 卡最多可以填写 20 个分区，如果分区超过 20 个可以填写 AO+卡作为补充，最多只能填写一张 AO+卡。需与控制语句/RPT_SORT 联用（见 3.3.11）。

[illegible][illegible]

2019年03月 -68- 中国电力科学研究院系统所

15-73 20(A2, 1X) 本区域内包含的分区名

4.2.3 I—安排区域交换功率数据卡

指定联络线总的交换功率值，替换 AC 卡中指定的交换功率值。所安排交换功率值按最优原则（损耗最小），由程序自动分配到各条区域联络线上。

1	C H G C D E	INTERCHANGE AREA NAME1										INTERCHANGE AREA NAME2										SCHED EXPORT# FOR SCHED INTERCHANGE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1																															
1																															

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—I
3	A1	修改码
4-13	A10	区域1名称
15-24	A10	区域2名称
27-34	F8.0	安排的区域1向区域2输出的功率（MW），（如填负值，表示区域2向区域1输出）。输出（入）的值在线路测点测定（见E、L、LD和LM卡）。

4.3 节点数据卡

4.3.1 B—交流节点数据卡

所有节点（包括无源节点）都要填写 B 卡。

S B T P D E	C H G C D E	O W N E R	NAME								kV								Z O N E	LOAD								SHUNT								P MAX	P GEN MW	Q SCHED QMAX MVAR	QMIN MVAR	V HOLD V MAX PU	VMIN PU	REMOTE BUS																%S V P A P R L S D
																				P MW				Q MVAR				LOAD - +				CAP=+ REA=-										NAME								kV								
																												MW				MVAR																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0									

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—B
2	A1	卡片子型—各子型如下： 空白—PQ节点 T—PQ节点，但节点电压受带负荷调压变压器控制 C—PQ节点，但节点电压受某发电机控制 V—PQ节点，但节点电压有限制值： $V_{\min} < V < V_{\max}$ ，当电压越界时，自动转换为PV节点，这时Q起变化，以保证电压在限制值

内，由此产生的未安排无功，将由程序自动装上电容器（电抗器）来平衡

E—PV节点，无功出力没有限制，但为达到控制电压，无功出力超过上下限时，超过部分无功称为未安排无功，程序自动装上电容器或电抗器

Q—PV节点，但节点无功功率有限制值： $Q_{\min} < Q < Q_{\max}$ ，当越界时，自动转换为PQ节点

G—PV节点（其为发电机节点），缺省电压在0.95~1.15之间变化，并去控制BC节点的电压。其无功Q也有限制，当Q越限时，中止电压控制。被控节点不可以是V θ 节点、BG节点或者其它已处于被控状态下的节点

F—在计算中先作为PV节点，待有功功率P收敛后再自动转换为B（PQ）节点

S—V θ 节点，为交流同步网的缓冲机

J—在采用改进的牛顿-拉夫逊法时作为BS节点，当解法转化为牛顿-拉夫逊法以后，该节点自动转换为B（PQ）节点

K—在采用改进的牛顿-拉夫逊法时作为BS节点，当解法转化为牛顿-拉夫逊法以后，该节点自动转换为BE（PV）节点

L—在采用改进的牛顿-拉夫逊法时作为BS节点，当解法转为牛顿-拉夫逊法以后，该节点自动转换为BQ（PV节点， $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$ ）节点

X—在该节点装有电抗器或者电容器，由程序自动控制投切电抗器或者电容器，以维持该节点或者其它节点的电压为给定值。由于所安排的投切量是离散值，因此这种电压控制方式是近似的。此子型要与X卡连用，由X卡安排投切量

3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码—用于确定区域功率交换中联络线的测点和输出表中按所有者分类的分析报告，可不填，以下各卡均同此
7-18	A8, F4.0	节点名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
19-20	A2	节点所在的分区名称，在区域功率交换中用于确定区域的分区，在系统合并和按分区分类输出时也有用
21-30	2F5.0	以MW和Mvar表示的恒定负荷，无功正值为感性、负值为容性
31-38	2F4.0	以MW和Mvar表示的、在基准电压下的节点并联导纳负荷，无功：（+）=容性，（-）=感性。注意：对于BX节点，此项忽略
39-42	F4.0	P _{max} ：最大有功出力（MW）
43-47	F5.0	P _{gen} ：实际有功出力（MW）
**48-52	F5.0	对于PQ节点（即B、BC、BT、BV节点）此项填所安排的无功出力值QSCHED（Mvar）；对于其它节点此项填无功出力最大值Q _{max} （Mvar）：（+）=容性，（-）=感性

**53-57	F5.0	无功出力最小值 Q_{\min} (Mvar)
58-61	F4.3	所安排的电压值或者 V_{\max} (标么值)
62-65	F4.3	所安排的 V_{\min} 值 (标么值)，对于 V_0 (即BS型) 节点，此项填角度值，注意此时省缺的格式为F4.1，单位度
66-77	A8, F4.0	对于BG和BX节点有用，填写其所要控制的节点名 (66-73) 和基准电压 (74-77)。要控制的电压值填在被控节点卡58-61列
78-80	F3.0	发电机在对远方节点作电压控制时，提供的无功功率的百分数

**对于 BC、BT、BV 节点，应该填 $Q_{\min}=0$ ，如果填入 Q 的限制值，则该限制值被当作是错误的限制条件，将被忽略。对于其它节点，无功功率分配的优先度为：首先将无功功率分配给可变并联电抗器或者电容器；此后，如有必要，再分配给发电机；如果发电机达到了极限值，则由程序自动分配未安排的无功功率，即由程序在相应节点上装上电抗器或者电容器来平衡无功功率。

**对于 B 节点，应该填 $Q_{\min}=0$ ，如果填入 $Q_{\min}<0$ ，则所安排的无功出力值 QSCHEDE 变为 0；如果填入 $Q_{\min}>0$ ，所安排的无功出力值 QSCHEDE 不变。

**对于 BQ 节点，如果不填 Q_{\min} ，则默认 $Q_{\min}=0$ ，即机组无进相能力。

注意 BQ 和 BS 节点也能产生未安排无功，当无功出力达到 Q_{\min} 时，如果 BQ 节点填写有正的并联导纳无功负荷（并联电容器），则会产生不大于并联无功的未安排无功值，其意义为，提示计算人员去掉对应的并联导纳无功负荷，即可使 BQ 节点无功出力 $Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$ ，当无功出力达到 Q_{\max} 是也是类似。

BS 节点在无功出力超过 Q_{\max} 或者 Q_{\min} 时，任然会维持节点电压，产生未安排无功。

4.3.2 BD—两端直流节点数据卡

一条直流线路有两个直流节点，要填两张 BD 卡，要注意的是：

(1) 直流节点必须通过换流变压器（必须是带负荷调压变压器，为 R 型的，子型空白，详见 R 卡）连接到换流节点（交流节点）。每一个桥臂需要一个变压器，这些变压器并联地连接于交流网络，一般总是将它们等值为一个变压器（具有相匹配的并联阻抗和额定 MVA 容量）。换流节点必须在 BD 记录中指定，所有无功补偿装置连接在换流节点，换流节点不受卡片子型的限制，直流节点上不允许有任何类型的注入量。

(2) 整流器和逆变器的数据记录相同，但在直流线路 LD 卡记录中规定了直流功率

从整流器流向逆变器，从而可识别之。

(3) 换流变压器初始变比选择对计算有一定影响。为保证直流线路电压为给定值。程序将自动调整换流变压器变比和换流器角度，直至直流电压为给定值。因此，为便于程序进行调整，要合理选择换流变压器的初始变比（其记录格式见 T 卡）。根据计算及工程经验，建议按下表选取：

直流线路电压	桥数	换流变压器初始变比（kV）	
		R	I
±500kV	8桥	105/U _j	105/1.05U _j
±400kV	6桥	113/U _j	113/1.05U _j
±600kV	8桥	127.4/U _j	127.4/1.05U _j

注：①表中 R 指整流侧，I 为逆变侧；

②U_j 为交流节点（即所谓换流节点）基准电压，如 525kV，230kV 等。

至于换流变压器的可调端一般设在交流节点处，其调节范围可按该节点基准电压的±15%~±20%考虑，分接头的调节量不能太大，一般为额定电压的 1%~2%，也可采用连续调节方式（填写格式见 R 卡）。

S U B T Y D P E	C H G N E R	O W N E R	CONVERTER BUS				Z O N E		P B R R D C G K S T	S M T H G R E A C T R (mh)	R E C T O P E R M I N	I N V R T E R O P E R S T O P	V A L V E D R O P (VOLTS)	B R I D G E C R R E N T R A T I N G (AMPS)	COMMUTATING BUS				
			NAME		BASE kV										NAME		BASE kV		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
B	D																		
B	D																		

列	格式	内容
1-2	A1	卡片类型—BD
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	整流或逆变节点的名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18），这里填的是整流或逆变节点交流侧电压，可填为113kV或者105kV等等
19-20	A2	分区名
24-25	I2	整流线路的桥数
26-30	F5.1	平波电抗器电感（mh，即毫亨）
31-35	F5.1	α min—作为整流器运行时的最小触发角（度）
36-40	F5.1	α stop—作为逆变器运行时的最大触发角（度），逆变器和整流器都填 α 角，但在潮流中整流器仅用 α min，其余的量在暂态稳定计算时有用，如发生直流线路功率反向时
41-45	F5.1	每个桥阀的电压降（伏）
46-50	F5.1	桥电流额定值，即最大桥电流（安培）
51-62	A8, F4.0	换流节点名（51-58）和基准电压（kV）（59-62），即换流变压器一次侧节点

4.3.3 BM—多端直流节点数据卡

多端直流线路是两端直流线路的一般扩充，换流器模拟方法两者相同，但多端直流在网络配置和换流器控制方面较灵活。

所有 N 个节点的直流系统必须有 N 个直流限制条件，即换流器直流电压或者直流功率。至少要指定一个直流电压限制条件。在同一节点对直流电压和功率都加以限制是允许的，每一换流器直流电压或者功率限制条件可灵活选择。

如果规定的直流限制条件过多，那么将忽略某些多余的功率限制条件。当直流系统不能维持直流电压限制条件时，则直流电压将由换流母线的实际电压和换流器角度极限值来决定。

该卡用于定义无源直流分支节点（即此节点不是换流器），其节点功率总是限制为 0。

允许用多端直流卡模拟两端直流。并且，在同一方式下，多端和两端直流数据可以共存，但是它们必须分别属于不同的直流线路，在同一直流线路上两种数据不可混合使用。

S U B T Y P E	C H B T Y D E	O W N E R	CONVERTER BUS								Z O N E	P B R D C G K S T	SMTHG REACTR (mh)	RECT OPER MIN	INVRTR OPER STOP	VALVE DROP (VOLTS)	BRIDGE CRRNT RATING (AMPS)	COMMUTATING BUS								T Y P E D E G	N O M I N A L P O W E R R E G D E G	O M I N I M A L P O W E R R E G D E G	CONVTR POWER REC=+ INV=- (MW)	CONVTR VOLTGE (kV)									
			NAME				BASE kV											NAME				BASE kV																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
B	M																																						
B	M																																						

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—BM
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	整流或逆变节点的名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
19-20	A2	分区名
24-25	I2	直流线路的桥数
26-30	F5.1	平波电抗器电感（mh，即毫亨）
31-35	F5.1	α_{\min} —最小触发角（度）
36-40	F5.1	α_{stop} —最大触发角（度）
41-45	F5.1	换流器每个桥阀的电压降
46-50	F5.1	换流器桥电流额定值，即最大桥电流（安培）
51-62	A8, F4.0	换流节点名（51-58）和基准电压（kV）（59-62），即换流变压器一次侧节点
63	A1	换流器类型：

R—作为一台整流器正常运行
I—作为一台逆变器正常运行
M—作为一台带有电流裕度的逆变器正常运行
空白—一个无源直流分支节点，对于该节点，24-80列全为空白，
如果实际的换流器运行方式与其类型不符，则随后的稳定计算将中断

64-66 F3.1 对于整流器—填正常的触发角 α_N （度），对于逆变器—填正常的关断角 γ_N （度）

67-69 F3.1 最小关断角 γ_0 （度）

70-75 F6.1 安排的换流器输出的直流总功率（MW），如果直流功率不受限制，填0或者空白

76-80 F5.1 安排的换流器直流电压（kV），如果直流电压不受限制，则填0或者空白。

4.3.4 +——延续节点数据卡

该卡用于补充交流节点的数据，主要用来补充指定交流节点中的恒阻抗负荷、恒电流负、恒功率负荷、发电出力等，并可补充数据的分类和使用情况，以能更详细地分析数据。该卡最典型的用途在于识别同一母线上负荷的所有者。此外，在/REDUCTION（化简）子过程中，程序也将自动用此卡来补充等值发电机的数据。

每个节点可以有多个延续节点数据卡，但是必须在次要的标识符（代码、子代码和所有权）中作出区别。

+	C O D E	C H O D E	O W N E R	NAME										kV	C Y O D E R	LOAD										S HUNT				P GEN MW	Q GEN MVAR																			DTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
																P MW	Q MVAR	LOAD = + MW	CAP=+ REA=- MVAR	CAP=+ REA=- MVAR	M T H	Y E A R																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—+
*2	A1	代码（Code）—代码类型如下： A— 在/REDUCTION（化简）和控制语句修改负荷模型功能时，程序自动生成该子类型的卡片，记录产生的等值负荷和发电机注入数据。 空白— 负荷静态特性模型
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	节点名称和基准电压
19-20	A2	子代码，用来指定负荷模型类型

*在使用网络化和控制语句模拟负荷静特性时，程序自动生成该+A 类型的延续节点卡片，记录产生的等值负荷和发电机注入数据。当通过延续节点卡模拟负荷静特性时，应该填写子类型为空白的+卡。

**计算时该部分数据与原有节点卡中的对应数据累加。

该卡与 BX 卡成对出现，去控制某一节点的电压值。

在 X 卡中填进行无功控制的离散的并联补偿装置，它们可以是电感性的（负），也可以是电容性的（正）。如果两者并存，则负值在先。填写的是基准电压下的兆乏值，实际的兆乏值取决于节点的电压。计算时由程序自动控制切换值，直到电压达到指定值（由于切换值是离散的，所以这种电压控制是近似的）。

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—X
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	控制节点名（7-14）和基准电压（kV）（15-18）此节点是可切换电抗器组所连接的节点，必须是BX型节点。

4.4.1 L-对称线路数据卡

在模拟母线之间连接线或者母线的常闭分段断路器时，可使用电抗值 $X=0.0001$ （标么值）的一条线路。要注意的是一般情况下支路 X 之最小值取为 0.0001。

[illegible]

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—L
2	A1	空白
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	节点名1 (7-14) 和基准电压 (kV) (15-18)
19	I1	区域联络线测点标记 (在作区域交换功率控制时有用) 填1—表示在节点1测量 填2—表示在节点2测量 空白—允许程序按如下原则处理 1) 在线路两端节点中, 节点所有者与线路所有者不同的节点为测点; 2) 当线路两端节点所有者相同时, 节点1为测量点
20-31	A8, F4.0	节点名2 (20-27) 和基准电压 (kV) (28-31)

该卡用于填写线路的高抗容量。

[illegible]

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—L+
7-18	A8, F4.0	节点名1（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
20-31	A8, F4.0	节点名2（20-27）和基准电压（kV）（28-31）
32	A1	并联线路的回路标志，即回路号。
34-38	F5.0	线路前侧高抗容量（Mvar，填正值）
44-48	F5.0	线路后侧高抗容量（Mvar，填正值）

该卡与 L 卡不同之处在于：可用于模拟不对称的 π 型线路，即具有不均匀分布参数的输电线路，例如装有电抗器或者电容器并联补偿设备的线路。

[illegible]

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—E
2	A1	空白
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	节点名1 (7-14) 和基准电压 (kV) (15-18)
19	I1	在区域联络线功率控制时用的联络线测点标记, 其填写规则见L卡第19列的说明
20-31	A8, F4.0	节点名2 (20-27) 和基准电压 (kV) (28-31)
32	A1	回路标志 (用于并联线路), 即回路号
34-37	F4.0	线路电流额定值 (安培), 供校核线路过负荷等情况下使用
38	I1	填并联线路数目, 仅作信息用。可不填
39-50	2F6.5	在基准电压和基准容量下的阻抗标么值: R—(39-44), X—(45-50)
51-62	2F6.5	在线路节点1端的对地导纳标么值: G1—(51-56), B1—(57-62)
63-74	2F6.5	在线路节点2端的对地导纳标么值: G2—(63-68), B2—(69-74)
75-77	A1, I2	投运日期, 可不填
78-80	A1, I2	停运日期, 可不填

4.4.4 LD—两端直流线路数据卡

该记录用来连接两个直流节点 (BD 卡) 记录, 直流功率的方向总是从整流器到逆变器, 并且假设节点 1 为整流器, 节点 2 为逆变器, 从而在数据记录上作简单的修改就可以模拟功率反向。

要注意的是, 对于两端直流模型, 所填的参数可以都是极对极参数。但是, LD 卡和 BD 卡也可以用来模拟单极直流线路。例如当两端直流线路中某一极中某些桥阀因故障等原因退出运行, 这时直流线路已不对称, 要分别以两条单极线路来模拟。这时只需对 BD 卡、LD 卡及 T 卡作如下修改 (参数改为极对中性点):

- 1) LD 记录中分别填正极或者负极的直流线路功率, 即按桥阀数分配到每个极;
- 2) 修改 LD 记录中的直流线路电压, 即每个极的直流电压必须与运行中的桥阀数相对应;
- 3) LD 记录中直流线路阻抗值由极对极改为极对中性点;
- 4) 在 BD 卡中对桥阀数作相应的修改;

5) 在桥阀数减少的极上相应地减少并联换流变压器数目，只需在 T 卡中作此修改。

S L B T P D E	C H G T C D E	O W N E R	CONVERTER1						CONVERTER2						I R A T A M P S	D.C LINE PARAMETERS									I O R P O W E R (+ OR -)	RECT VOLT			RECT TIFIER			IN- VER- TER			MILES				
			NAME			BASE kV			NAME			BASE kV				R	L			C																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L D																																							
L D																																							
L D																																							

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—LD
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	整流器节点名（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
19	I1	区域联络线测点（作区域交换功率控制时有用），见L卡第19列的说明
20-31	A8, F4.0	逆变器节点名（20-27）和基准电压（kV）（28-31）
34-37	F4.0	直流线路电流的最大值，即额定值（安培）
38-43	F6.2	R—直流线路电阻（欧姆）
44-49	F6.2	L—直流线路电感（毫亨）
50-55	F6.2	C—直流线路电容（微法）
56	A1	指定所安排的直流功率的控制点： R—控制点在整流侧 I—控制点在逆变侧
57-61	F5.1	在直流线路的整流端（R控制）或者逆变端（I控制）安排的直流功率（MW）
62-66	F5.1	给定直流线路整流侧的直流电压（kV）
67-70	F4.1	α N—整流器的正常触发角（度）
71-74	F4.1	γ N—逆变器的正常关断角（度）
75-78	F4.0	线路长度（英里），可不填

4.4.5 LM—多端直流线路数据卡

与 BM 卡一起模拟多端直流线路，LD 和 LM 数据可以共存于同一基本方式中，但不能共存于同一直流回路中。

S L B T P D E	C H G T C D E	O W N E R	D.C BUS1						M E T E R	D.C BUS2						1 R A T A M P S	D.C LINE PARAMETERS									MILES	EN DTE			DE DTE																			
			NAME							BASE kV							R			L			C				M T H	Y R	M T H	Y R																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	M																																																
L	M																																																
L	M																																																

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—LM
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码

7-18	A8, F4.0	换流器节点名1 (7-14) 和基准电压 (kV) (15-18)
19	I1	作区域交换功率控制时有用的区域联络线测点
20-31	A8, F4.0	换变器节点名2 (20-27) 和基准电压 (kV) (28-31)
34-37	F4.0	IN—直流线路电流的最大值 (安培), 即额定值。
38-43	F6.2	R—直流线路电阻 (欧姆)
44-49	F6.2	L—直流线路电感 (毫亨)
50-55	F6.2	C—直流线路电容 (微法)
71-74	F4.0	线路长度 (英里), 可不填
75-78	2(A1,I2)	投产和退役日期, 详见L卡, 可不填

4.4.6 T、TP—变压器和移相器数据卡

本卡模拟的是两绕组变压器和移相器。三绕组变压器先按常规方法化为三台两绕组变压器后再用此卡模拟。

变压器和移相器抽头可以是固定的, 也可以是可调的。如为可调的, 则要附加填写 R 卡。

T	S U B G T C D E	O W N E R	NAME1	kv1	M E T E R	NAME2	kv2	I D I O N	TOTAL MVA RATE	# O F O K T	Zpi					Ypi				PHASE SHIFT DEG	TP1 kV	TP2 kV			DATE IN	DATE OUT			
											R	X	G	B															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T																													

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—T
2	A1	卡片子型 空白: 变压器 P: 移相器
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	节点名1 (7-14) 和基准电压 (kV) (15-18)
19	I1	区域联络线测点 (作区域联络线功率控制时有用), 其填写规则见L卡第19列的说明
20-31	A8, F4.0	节点名2 (20-27) 和基准电压 (kV) (28-31)
32	A1	并联回路标志, 即回路号
34-37	F4.0	变压器额定容量 (MVA), 供过负荷检查用
38	I1	并联变压器组的台数, 仅作信息用
39-50	2F6.5	R—由铜损引起的等效电阻 (标么值) (39-44) X—漏抗 (标么值) (45-50)
51-62	2F6.5	G—由铁损引起的等效电导 (标么值) (51-56) B—激磁电纳 (标么值) (57-62)
63-67	F5.2	节点1的分接头位置 (kV)。或者为移相器的固定移相角 (度), 该角度表示节点1相对节点2 的角度

68-72	F5.2	节点2的分接头位置 (kV)，对移相器此项空白
75-77	A1, I2	投运日期，详见L卡，可不填
78-80	A1, I2	停运日期，详见L卡，可不填

4.4.7 R—带负荷调压变压器和移相器控制卡

该卡用于控制带负荷调压 (LTC) 变压器和移相器的调节状态，它定义了可调节的抽头和角度范围，指定可调端，确定要做的控制和要保持在的量。要注意的是：

(1) 该卡和 T 卡（变压器移相器参数卡）成对出现，T 卡中指定的抽头和角度为初始参量，如果其中不包括在 R 卡指定的抽头范围内，那么在求解过程中 R 卡暂时不起作用并给出诊断信息。

(2) 应用附属于程序控制语句/SOLUTION 的第三级控制语句>LTC=##<可以选择 R 卡的控制方式（详见 3.2.2）。因为>LTC=ON<（LTC 处于完全控制）是缺省值，所以一般情况下可不用填写这一控制语句，而让带负荷调压变压器处于完全控制状态。

(3) 当调节点已达极限值时，R 卡的控制暂时中断。所有可调变压器都有连续的或者离散的抽头调节方式。

R 卡有以下五种子型：

(1) 空白或子型 V

该子型指定某一端节点上的电压控制被控节点可以是除 BG、BX 和 BS 外的任一子型，要控制的电压填在相应的节点记录中。如果被控节点已有局部的无功控制（BE 型或者处于极限范围内的 BQ 型节点），那么 LTC 的可调性暂时不起作用。但是，如果变压器两端节点同时有无功控制，那么 LTC 变压器的控制假定为：使两节点间的无功交换最小，即最有效地利用局部的无功电源。

(2) 子型 Q

该子型指定控制 LTC 变压器本身的无功潮流，正的控制量是从节点 1 到节点 2。为简单起见，控制点取自从固定抽头边到可变抽头边的 π 型等值支路内。

(3) 子型 P

该子型定义一控制流过本身的有功潮流的移相器。正方向也是从节点 1 到节点 2，控制点也取自 π 型等值支路内。

(4) 子型 N

该子型定义流过 LTC 变压器本身的无功潮流的限制值。通常，它不起控制作用，

该子型定义流过移相器本身的有功潮流限制值。通常，它也不起控制作用，但当有功潮流超过极限值时，它便转为子型 p，保持有功潮流在指定的范围内。

[illegible]

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—R, 要与T卡成对出现
2	A1	卡片子型—共用五种, 空白或V、Q、P、N、M
3	A1	修改码
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	节点名1 (7-14) 和基准电压 (kV) (15-18)
19	I1	可调抽头端确定: 填0: 字母顺序在前面的节点是可调端 填1: 表示节点1是可调端 填2: 表示节点2是可调端
20-31	A8, F4.0	节点名2 (20-27) 和基准电压 (kV) (28-31)
34-45	A8, F4.0	被控节点名 (34-41) 和基准电压 (kV) (42-45)
以下内容按不同子型选择填写		
1) 子型空白、V、Q和N		
列	格式	内容
46-55	2F5.2	T_{\max} (46-50)—最大抽头 T_{\min} (51-55)—最小抽头
必须填写		
56-57	I2	LTC总抽头数, 如空白, 则连续调节
58-67	2F5.0	对于Q型—填安排的Q (Mvar) (58-62) 对于N型—填 Q_{\max} (58-62) 和 Q_{\min} (63-67) (Mvar)
这些值是节点1处的量		
2) 子型P和M		
列	格式	内容
46-55	2F5.2	最大和最小角度 (度), 必须填写
56-57	I2	移相器可用的总档数。如空白, 则表示连续控制
58-67	2F5.0	对于子型P: 填安排的有功潮流P (MW) (58-62) 对于子型M: 填 P_{\max} (58-62) 和 P_{\min} (63-67) (MW)。这些值是节点1处的量

4.4.8 RZ—可快速调整的线路串补数据卡

该卡模拟可控硅控制的线路串补模型，其原理是采用可控硅快速控制调整输电网络的阻抗，从而达到控制线路潮流的目的。

程序在计算过程中，自动调节线路电抗（在线路电抗的最大值和最小值之间调节），使线路有功功率在线路有功潮流的最大值和最小值之间。

该 RZ 卡必须和不对称线路数据卡 E 卡连用，E 卡紧接在 RZ 卡的后面填写。在 E 卡中必须填写线路电抗，该电抗为进行潮流计算时该线路电抗的初值。此外，如果在 E 卡中填写线路额定电流，则该电抗可调整的线路的额定电流为 E 卡中的数值，否则为 RZ 卡中的数值。

RZ	CHGCDE	OWNER	NAME1								kV1				NAME2								kV2				CSETION	MODE	Pcmax MW				Pcmin MW				In amp				Xijmax p.u.				Xijmin p.u.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4			5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

列	格式	内容
1-2	A1	卡片类型—RZ
3	A1	修改码
7-14	A8	节点1名称
15-18	F4.0	节点1基准电压（kV）
20-27	A8	节点2名称
28-31	F4.0	节点2基准电压（kV）
32	A1	ID—回路标志，即回路号（用于并联线路）
34	A1	控制方式，填1—表示调整、改变线路电抗 X_{ij} 来控制线路的有功潮流 P_c
35-39	F5.0	线路有功潮流最大值 P_{cmax} （MW）
40-44	F5.0	线路有功潮流最小值 P_{cmin} （MW）
45-48	F4.0	线路额定电流 I_N （安培）
49-54	F6.5	线路电抗最大值 X_{ijmax} （标么值）
55-60	F6.5	线路电抗最小值 X_{ijmin} （标么值）

4.5 数据修改卡片

4.5.1 PA、PZ、PO、PC、PB—发电出力负荷百分数修改卡

此卡跟在子过程语句/CHANGES 之后，可使全网或者部分网络的发电出力或者负荷按指定的百分数修改。

发电有功和无功、负荷有功和无功可取不同的百分数做修改。但如果 Q 因子空白，那么 P 因子即 Q 的因子，因此如果仅 P 减少 5%，那么 P 的因子填 0.95，Q 的因子填 1.0。

共有 5 种不同的子型：

(1) A（只能有一张卡片）

系统内所有交流节点和延续节点上的全部发电出力和负荷都按给定的因子修改。

SUBTYPE											LOAD										LOAD																												
											%P FACTOR					%Q FACTOR					%P FACTOR					%Q FACTOR																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P	A																																																
P	A																																																
P	A																																																

(2) Z——按分区进行百分数修改，即对指定的分区内的交流节点和延续节点的负荷和发电出力按给定的因子修改。

SUB TYPE	ZONE																			OPTIONAL: RESTRICTION TO THESE OWNERSHIPS																			
		LOAD						GENERATOR																															
		%P FACTOR			%Q FACTOR			%P FACTOR			%Q FACTOR			OWN 1	OWN 2	OWN 3	OWN 4	OWN 5	OWN 6	OWN 7	OWN 8	OWN 9	OWN 10	OWN 11															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P	Z																																						
P	Z																																						
P	Z																																						

(3) O——按所有者进行百分数修改，即具有指定所有者的交流节点和延续节点的负荷和发电出力按给定的因子修改。

SUBTYPE	OWNER																			OPTIONAL: RESTRICTED TO THESE ZONES																													
		LOAD									GENERATION																																						
		%P FACTOR									%Q FACTOR									ZN 1	ZN 2	ZN 3	ZN 4	ZN 5	ZN 6	ZN 7	ZN 8	ZN 9	ZN 10	ZN 11																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P	O																																																
P	O																																																
P	O																																																

(4) C（最多 20 或 40 张卡片）——按指定的分区，对恒定阻抗和恒定电流负荷作百分数修改，即具有指定分区的+A01、+A02、*I 和 *P 卡片上的负荷数据按给定的因子修改。

SUBTYPE	ZONE																			CONSTANT CURRENT						CONSTANT IMPEDANCE				OPTIONAL: RESTRICTION TO THESE OWNERSHIPS																							
		%P FACTOR									%Q FACTOR									%P FACTOR		%Q FACTOR		OWN 1	OWN 2	OWN 3	OWN 4	OWN 5	OWN 6	OWN 7	OWN 8	OWN 9	OWN 10	OWN 11																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
P	C																																																				
P	C																																																				
P	C																																																				

(5) B（最多 20 或 40 张卡片）——按指定的所有者，对恒定阻抗和恒定电流负荷作百分数修改，即具有指定所有者的+A01、+A02、*I 和 *P 卡片上的负荷数据按给定的因子修改。

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—P
2	A1	卡片子型—共有6种 A: 对全网作修改 Z: 按分区修改 O: 按所有者修改 C: 按分区修改恒定阻抗, 恒定电流负荷 B: 按所有者修改恒定阻抗, 恒定电流负荷

1) 子型O和B

2) 子型Z和C

列	格式	内容
4-5	A2	分区代码
35-77	11 (A3, 1X)	所有者代码，修改只限于表中所列的所有者。如果空白，表示全部所有者都修改

(1) 本类型数据卡用于按照分区和所有者对负荷进行修改, 修改的公式为:

$$\text{新的注入量} = \text{老的注入量} \times (\text{修改因子})$$

例如，空白或者填 1.0 因子表示保留原值，不做修改，而因子取为 2.0 时将加倍原值。

(2) 发电有功和无功、负荷有功和无功可取不同的百分数做修改。当修改因子对应位置为空格，程序将采用缺省值。

有功负荷和出力的修改因子如果为空格，缺省为 1.0；无功负荷的修改因子如果为空格，其修改因子等于有功负荷修改因子；无功出力的修改因子为空格，其修改因子

例如，有功负荷不修改，而无功负荷修改为原来的 95%，则有功负荷因子部分可以填写 1.0 或者空格，无功负荷因子应填写 0.95；如果有功出力和无功出力都不修改，则对应的修改因子可以填写 1.0 或者空格。

例如，即如果部分分区填写了 PZ 卡，其它分区或拥有者需要修改，也必须填写 PZ 卡，不允许填写其它类型的卡。

(5) PZ、PC 卡对指定的分区负荷进行修改，在后面可以填写限定的拥有者，即只对填写的分区中属于填写拥有者的节点进行修改；PO 卡和 PB 卡类似。

(6) PC 和 PB 卡只对+A01、+A02、*I 和*P 类型的延续节点数据卡中的恒电流、恒阻抗负荷进行修改，不修改其中的恒功率负荷和其它类型节点中的数据。

(8) PZ 卡不检查重复, 重复的按顺序只识别第一张卡, 后面的自动忽略。

Z 卡要跟在修改子过程语句/CHANGES 之后。每条 Z 记录可跟有 15 对老分区名/新分区名。可连续使用若干条 Z 记录，但最多能改变 150 个分区命名，分区一经重新命名，便永久有效。

Z 记录必须是首先碰到的修改记录，首先进行分区重新命名。随后的修改记录仍以通常方法填写。所有数据都被认为与新分区名一致。

[illegible]

列	格式	内容
1	A1	卡片类型—Z
2-3	A2	空白
4-5	A2	老分区名
6-7	A2	新分区名
8	A1	空白

DZ 卡要跟在修改控制语句/CHANGES 之后，它用来删除指定的分区，也即删除指定分区内的所有节点。

[illegible]

4.6* 柔性直流数据卡

柔性直流（简称柔直）系统由柔直换流站与柔直线路构成。柔直换流站包括：柔直换流器，换流变，换流站交流侧通过交流线路与交流系统连接；直流侧通过柔直线路与其他柔直换流站连接。柔直线路连接柔直换流站，构成柔直电网。柔直系统不再区分两端与多端。

柔直换流站须填写柔性直流节点卡，填写换流站参数，包括换流器参数、换流变参数、安排的换流功率、安排的直流电压和换流站控制方式等。

非平衡站：指定换流功率，计算直流电压。

平衡站：指定直流电压，计算换流功率。承担直流系统功率平衡的作用。一个柔性直流系统必须且只能有一个平衡站。

中国电力科学研究院系统所

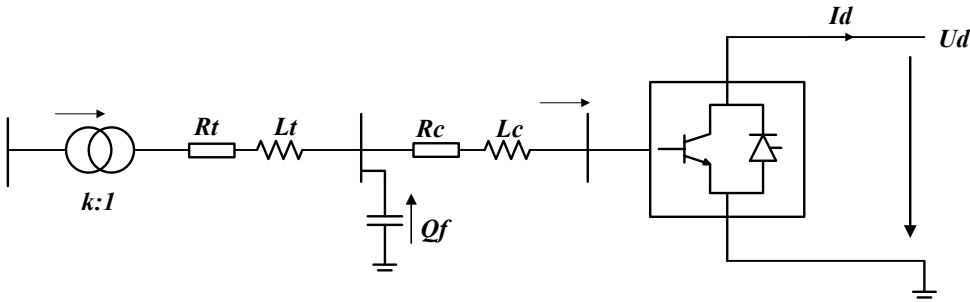
定电压：需指定交流侧电压，此时换流站在交流侧为 PV 节点；

定无功：需指定交流无功，此时换流站在交流侧为 PQ 节点；

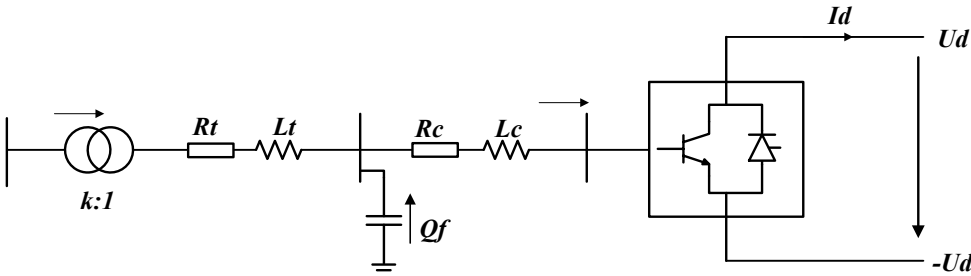
孤岛平衡机：用于柔性直流向孤岛供电的情况，需指定交流侧电压，此时换流站在交流侧为平衡节点，换流功率由交流系统决定。孤岛平衡机模式下，换流站的直流控制方式不能为平衡站。

(3)换流站级数可填写 1 和 2，如果不填写，默认为 2。

级数为 1：用于模拟真双极结构的柔性直流系统，此时，一组 BZ、BZ+卡对应真双极结构的一极，此时，直流电压 Ud 为单级对地电压，填写正值。



级数为 2：用于模拟伪双极结构的柔性直流系统，此时，一组 BZ、BZ+卡对应伪双极的两级，此时，直流电压为伪双极的单级对地电压，填写正值。



BZ一柔性直流节点数据卡

SUBTYPE	CONVERTER	OWNER			ZONE	TOTAL MVA RATE			R (Ohm)			LEVEL NUM			LOSS k	AC MOD	V HOLD (p.u.)																						
			NAME	BASE kV						L (H)	C (uF)																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
BZ																																							
BZ																																							

列 格式 内容

该卡用于补充柔性直流节点的数据。

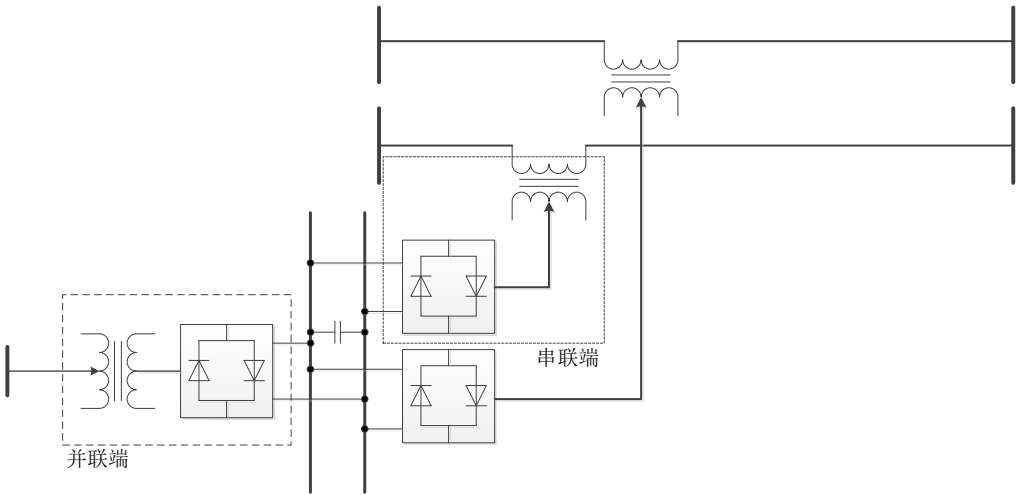
S U B T Y P E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NAME		BASE kV	P (MW)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
											Q (MVar)	DC BASE (kV)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			DC V HOLD (kV)	TRAN R (p.u.)	TRAN X (p.u.)	TAP1 (kV)	TAP2 (kV)	Q-COMP (MVar)																																																																																																																																																																																																																																																																																													
B Z -																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

列	格式	内容
1-3	A3	卡片类型—BZ+
7-18	A8, F4.0	节点名称名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18），与BZ卡相同
20-24	F5.0	交流侧安排有功(MW)，流出交流系统为正，非平衡站且交流侧控制方式为0、1时有效
26-30	F5.0	交流侧指定无功(MVar)，流出交流系统为正
32	I1	功率测点标志，1—换流变原边，2—副边，目前仅支持原边
34	I1	平衡站标志，0—非平衡站，1—平衡站
36-39	F4.0	直流侧额定电压（kV），单级对地电压，填写正值。
41-44	F4.0	平衡站指定电压（kV），单级对地电压，填写正值。
46-51	F6.5	换流变电阻（标么值）
53-58	F6.5	换流变电抗（标么值）
60-64	F5.2	换流变原边固定分接头（kV）
66-70	F5.2	换流变副边固定分接头（kV）
72-76	F5.1	无功补偿容量（Mvar）

增加迭代次数。

(2) 串联端使用定线路功率控制模式时，可适当降低控制精度，提高收敛性。

(3) 实际计算中可先使用定线路功率控制模式，待潮流收敛后改为定注入量控制模式，可有效降低迭代次数。



UPFC 结构示意图

4.7.1* TS—模块化 UPFC 串联端数据卡

模块化 UPFC 串联端填写参数包括：串联换流器参数、串联变压器参数、串联端控制方式与控制量，对应的并联端等，包括 TS 卡和 TS+卡。

(1) 串联端控制模式分为定线路功率和定注入电压两种。

定线路功率：指定串联端所在的线路传输的有功和无功功率，以线路首端为测量端，首端流向末端为正方向。

定注入电压：指定串联端注入的电压幅值和相角，电压幅值为标么值，以线路首端节点基准电压为基准电压，相角为相对于线路首端节点相角的改变量，为有名值。

(2) 必须填写所对应的并联端，多个串联端可以连接在同一个并联端上。

T	S	O W N E R									C K T I D	SER- TRANS MVA RATE	BASE1 kV	BASE2 kV	SER-TRANS R	SER-TRANS X	SER- CONVE RTER MVA RATE	SER- CONVERTER MVA R (ohm)	SER- CONVERTER MVA L (H)	SER- CONVE RTER LOSS k																			
			NAME1				BASE1 kV														NAME2				BASE2 kV														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T	S																																						
T	S																																						

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—TS
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	所在线路首端节点名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
20-31	A8, F4.0	所在线路末端节点名称（20-27）和基准电压（kV）（28-31）
32-32	A1	并联线路回路号
34-37	F4.0	串联变压器容量（MVA）
38-41	F4.0	串联变压器一次侧（线路侧）基准电压（kV）
42-45	F4.0	串联变压器二次侧（换流器侧）基准电压（kV）
46-51	F6.5	串联变压器电阻（标么值，归算到一次侧）
52-57	F6.5	串联变压器电抗（标么值，归算到一次侧）
59-62	F6.4	串联换流器容量（MVA）
63-68	F6.4	串联换流器相电阻（欧姆）
69-74	F6.4	串联换流器相电感（亨）
75-78	F4.3	串联换流器损耗系数
80-80	I2	定线路功率控制时，串联端注入电压越限时的控制方式： 0：继续定线路功率控制；1：转为定注入量控制

TS+—模块化 UPFC 串联端延续卡

该卡用于补充模块化 UPFC 串联端数据。

T	S			O W N E R									C K T I D	BUSU kV	BASEU kV	M O D E	P-HOLD (MW)	Q-HOLD (MVar)	V- INJECTION (p.u.)	THETA_ INJECTION (DEGREE)									
					NAME1				BASE1 kV													NAME2				BASE2 kV			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T	S	+																											
T	S	+																											

列	格式	内容
1-3	A3	卡片类型—TS+
4-6	A3	所有者代码
7-18	A8, F4.0	所在线路首端节点名称（7-14）和基准电压（kV）（15-18）
20-31	A8, F4.0	所在线路末端节点名称（20-27）和基准电压（kV）（28-31）
32-32	A1	并联线路回路号
34-41	A8	所联接的并环节点名称
42-45	F4.0	所联接的并环节点基准电压（kV）
47-47	I1	控制模式：0—定线路功率；1—定注入电压；2—旁路
49-53	F5.0	线路首端有功功率指定值（MW），控制模式为0时有效
54-58	F5.0	线路首端无功功率指定值（MVar），控制模式为0时有效
60-65	F6.5	指定注入电压幅值标么值，以线路首端基准电压为基准值（p.u.）， 控制模式为1时有效
66-72	F7.3	指定注入电压相角（度），控制模式为1时有效
74-75	I2	控制精度，线路功率控制误差相对于指定功率的百分数（%），数 值越大，控制精度越差，控制模式为0时有效。
77-77*	I1	是否断面控制，1—是，0—否（配合其他程序使用，不用时不填）

90-92* F3.1 转移系数。(配合其他程序使用,不用时不填)

4.7.2* TU—模块化 UPFC 并联端数据卡

模块化 UPFC 并联端填写参数包括：并联换流器参数、并联变压器参数、并联端控制方式与控制量等，填写 TU 卡。

并联端控制模式分为定节点电压和定节点注入无功两种。

定节点电压：指定并联端所在节点的电压。

定注入无功：指定并联端所在节点向并两端注入的无功功率，以流出节点为正方向。

[illegible]

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—TU
4-6	A3	所有者代码
7-14	A8, F4.0	并联端所在节点名称
15-18	A8, F4.0	并联端所在节点基准电压 (kV)
20-23	F4.0	并联变压器容量 (MVA)
25-28	F4.0	并联变压器二次侧 (换流器侧) 基准电压 (kV)
30-35	F6.5	并联变压器电阻 (标么值, 归算到一次侧)
36-41	F6.5	并联变压器电抗 (标么值, 归算到一次侧)
43-46	F6.4	并联换流器容量 (MVA)
47-52	F6.4	并联换流器相电阻 (欧姆)
53-58	F6.4	并联换流器相电感 (亨)
60-63	F4.3	并联换流器损耗系数
65-65	I1	控制模式: 1—定无功功率; 2—定节点电压; 3—旁路
67-70	F4.3	指定节点电压幅值标么值, 控制模式为2时有效
72-76	F5.0	指定注入并联端的无功功率, 控制模式为1时有效

4.8* 基于电流源换流器的直流数据卡

基于电流源换流器（简称 LCC）直流输电系统由 LCC 换流站与 LCC 直流线路构成。LCC 换流站包括：LCC 换流器，换流变压器，换流站交流侧通过交流线路与交流系统连接；直流侧通过 LCC 线路与其他 LCC 换流站连接。

LCC 直流输电系统主电路构型目前分为两端直流和逆变侧分层接入直流（以下简称：分层接入）两种。两端直流整流侧和逆变侧各由一个换流站构成。分层接入直流整流侧由一个换流站构成，逆变侧由高层和底层两个换流站串联而成，分别接入不同的交流母线。

LCC 直流输电系统需要指定整流侧和逆变侧的控制方式，分层接入直流还需要指定高低层之间控制方式。

本模型由 LCC 直流节点卡、LCC 直流线路卡以及 LCC 控制信息卡构成，可以模拟两端直流和分层接入直流。其中 LCC 直流节点卡填写换流站设备参数、控制方式和控制量，LCC 直流线路卡填写直流线路参数，LCC 控制信息卡填写 LCC 直流的构型、整流侧逆变侧控制方式及控制量和分层接入直流高低层之间的控制方式。目前，分层接入直流高低层间控制方式仅支持定比例控制，需要在直流节点卡中填写功率分配百分比，且高低层比例之和需要等于 100%。

本模型和以前的两端直流模型（BD、LD 卡）以及并联型多端直流（BM、LM 卡）可以共存。与上述模型（BD、LD 卡和 BM、LM 卡）相比，本模型在计算换流站功率时有如下差别：

- (1) 忽略换流变档位，将换流变变比处理为连续变量。
- (2) 换流变变比越限时，程序停止计算，给出换流变变比越限及换流站交流侧电压过高或过低的错误提示信息。
- (3) 可以选择是否考虑换相角。

4.8.1* BA、BA1、BA2—LCC 直流节点数据卡

LCC 换流站须填写 LCC 直流节点卡，填写换流站参数，包括换流器参数、换流变参数、换流站类型、换流站层型、分层接入时本层的控制量等。

- (1) 换流站类型分为整流器与逆变器。
- (2) 换流站层型分为高侧和低侧。分层接入时，按照实际情况填写高侧或者低侧；非分层接入时，整流侧或逆变侧只有一个换流器，层型填写为高侧。
- (3) 分层接入时，层间采用定比例控制，须填写换流器安排的功率比例且高低层比例之和需要等于 100%；非分层接入时，无需填写安排的功率比例。

BA2—LCC 直流节点数据延续 2 卡

该卡用于补充 LCC 直流节点的数据。

SUBTYPE											VAVLE DROP (V)	BRIDGE CURRENT RATING (A)	ALPHA MIN (°)	ALPHA MAX (°)	ALPHA NORMAL (°)	GAMMA MIN (°)	GAMMA NORMAL (°)																						
	NAME					BASE (kV)																																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
BA	A	2																																					
BA	A	2																																					

列	格式	内容
1-3	A3	卡片类型—BA2
7-14	A8	节点名称名称，与BA卡相同
15-18	F4.0	基准电压（kV），与BA卡相同
20-24	F5.1	每个桥阀的电压降(V)
26-30	F5.0	换流阀额定电流（A）
32-36	F5.1	整流器最小触发角（度），整流器填写
38-42	F5.1	整流器最大触发角（度），整流器填写
44-48	F5.1	整流器正常触发角（度），整流器填写
50-54	F5.1	逆变器最小关断角（度），逆变器填写
62-66	F5.1	逆变器正常关断角（度），逆变器填写

4.8.2* LY—LCC 直流线路数据卡

与 BA 卡一起模拟 LCC 直流，连接两个 LCC 直流节点，填写 LCC 直流线路参数。该卡可模拟直流线路，也可以模拟分层接入时的层间线路。

(1) 潮流计算仅用直流线路电阻，常规直流线路电阻最小为 0.001 欧姆，层间线路电阻可以填写 0 欧姆。

(2) 直流线路电感和电容，潮流计算不用，但是暂态稳定计算时有用。

SUBTYPE	OWNER	D.C BUS1										D.C BUS2										LINE RATING (A)	D.C LINE PARAMETERS										LENGTH (km)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		NAME					BASE (kV)					NAME					BASE (kV)						R (ohm)			L (mH)			C (uF)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
LY																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—LY
3	A1,	修改码
4-6	A3	所有者
7-14	A8	整流侧或分层高侧节点名
15-18	F4.0	整流侧或分层高侧基准电压（kV）

该卡填写直流的构型、整流侧逆变侧控制方式及控制量和分层接入高低层之间的控制方式，每个 LCC 直流系统必须有一张 DC 卡。

(2) 层间控制模式目前仅支持定比例模式，每一层的功率分配比例在直流节点卡中

[illegible]

列	格式	内容
1-2	A2	卡片类型—DC
4-11	A8,	整流端高侧换流节点名称
12-15	F4.0	整流端高侧换流节点基准电压(kV)
16-23	A8	整流端低侧换流节点名称
24-27	F4.0	整流端低侧换流节点基准电压(kV)
28-35	A8	逆变端高侧换流节点名称
36-39	F4.0	逆变端高侧换流节点基准电压(kV)
40-47	A8	逆变端低侧换流节点名称
48-51	F4.0	逆变端低侧换流节点基准电压(kV)
53-53	I1	直流系统类型：1—1整流1逆变（两端直流）； 2—1整流2逆变（逆变侧分层接入）
55-55	I1	直流系统控制方式：1—整流侧定功率定电压； 2—整流侧定功率，逆变侧定电压
59-59	I1	逆变侧层控模式：1—定比例
61-66	F6.0	整流侧功率控制值（MW），整流侧定功率控制时填写
68-72	F5.1	整流侧电压控制值（kV），整流侧定电压控制时填写
81-85	F5.1	逆变侧电压控制值（kV），逆变侧定电压控制时填写
87-87	I1	换流器计算模式：1—考虑换相角，2—不考虑换相角。

不填默认是 1。

参考文献

- [1] Power Flow Program User's Manual, Bonneville Power Administration, MAY 1, 1989 & August 2, 1991
- [2] BPA 潮流程序简要使用说明, 水电部电力科学研究院, 1984 年 11 月
- [3] 最优潮流与最优无功补偿程序使用说明, 能源部电力科学研究院, 1990 年 7 月
- [4] BPA 人机会话程序及作图程序使用说明, 能源部电力科学研究院, 1986 年 9 月
- [5] BPA 程序简介(上册), 水电部电科院重印, 1984 年 9 月
- [6] BPA 程序简介(下册), 水电部电科院, 1984 年 9 月
- [7] BPA 程序的简要说明, 水电部电科院, 1984 年 9 月
- [8] 电力系统计算, 西安交大等合编, 1978 年 10 月
- [9] 电力系统, 南京工学院主编, 1980 年 8 月
- [10] PowerDraw 1.1 用户手册(电力系统单线图工具软件), 国家电力公司电力科学研究院, 1999 年 6 月
- [11] 地理接线图用户手册(1.2B 版), 国家电力公司电力科学研究院, 1999 年 6 月
- [12] 程序培训手册, 中国电力科学研究院, 1999 年 11 月
- [13] 电力系统动态程序用户手册, 中国电力科学研究院, 2001 年 12 月

附录

A 潮流收敛性的问题说明

潮流收敛性的好坏与很多因素有关，随着电网规模的日益增大，潮流的收敛性问题日益突出，部分电网甚至很难收敛。

影响潮流收敛性常见的原因如下：

(1) 节点电压过高或过低。

在潮流计算收敛后，如果电压过高或过低的节点较多，系统的收敛性一般较差，在继续调整潮流时容易引起不收敛。电压过高过低主要是由于无功配置不合理导致的，无功配置不合理是导致潮流不收敛的最主要原因。

(2) 变压器变比不合理。

变压器参数不合理主要是体现在变压器变比不合理，变压器变比偏离额定值过多，容易引起部分节点电压过高或者过低。实际数据中特别体现在发电机变比，很多发电机对应的变比填写出错，例如机端额定电压为 20kV，而变比却填写为 15.8kV。

(3) 线路参数不合理。

交流线路的电抗通常远大于电阻，电压等级越高，两者偏差越大。实际的潮流数据，经常会存在很多电阻大于电抗的情况，有的相差较大。由于目前有些成熟的潮流计算方法是以电抗远大于电阻的假设为前提的，因此容易引起计算不收敛。

(4) 小开关支路电阻电抗不合理。

由于特殊需要，经常会在潮流数据中填写小开关支路，小开关支路电抗建议填写 0.0001~0.0004，不要小于 0.0001，仅填写电抗即可。在实际数据中发现，有的小开关支路同时填写电阻和电抗，有的仅填写了电阻，而没有填写电抗，这种情况有时会引起潮流不收敛。

(5) 发电机出力 and 负荷不平衡

在发电机出力之和与负荷之和相差较大时，由于潮流不合理，难于平衡，容易引起不收敛。

(6) 在使用联络线功率控制功能（填写 A\AC 和 I 卡）时，如果将个别节点的分区和区域填写出错，也可能导致潮流不收敛。

为了提高潮流收敛性，通常采用的方法如下：

(1) 检查变压器变比。检查所有变压器变比，变比应该在合理的范围之内，特别是发电机的升压变压器变比。新程序在变压器变比超出额定值 0.89~1.11 倍时，会给出“变压器分接头偏离正常值过大”的警告信息，应检查给出警告信息的变压器变比是否合理。

(2) 修改不合理的线路参数。当线路电阻大于等于电抗时，程序会给出“支路电阻大于等于电抗”的警告信息。应检查这部分线路参数的合理性，特别是小开关支路。

(3) 在潮流收敛的情况下，应检查潮流结果文件 PFO 文件中“低电压和过电压节点列表”，对于其中电压偏离额定值较多的节点，应重新调整潮流使之在合理的范围之内，这样使节点电压更合理，同时可以进一步提高潮流的收敛性，为后续潮流调整奠定较好的基础，减少不收敛情况的发生。

(4) 潮流不收敛的情况下，为了潮流收敛，通常可采用的方法如下：

- 选择典型的节点（通常是电压支撑较弱区域的点，需要根据经验判断），一般选择电压支撑较弱地区电压等级最高的点，设置成 BE 节点类型，这样计算时会强制该点电压为给定电压值，潮流更容易收敛；
- 调整 P-Q 分解法的迭代次数，一般增大该次数，由于潮流计算先采用 P-Q 分解法计算，为牛顿-拉夫逊法提供较好的初值，然后采用牛顿-拉夫逊法计算。增大 P-Q 分解法的迭代次数通常会提供一个更好的初值，牛顿-拉夫逊法更容易收敛。该方法有时会起作用，有时可能会起到相反的效果，应根据实际情况采用。

(5) 调整潮流时，避免过大的调整。例如在调整过程中，负荷、发电、联络线功率等可能会有较大的变化，这种情况如果一次性调整较大，可能会引起潮流不收敛，应采用逐步调整的方法。

(6) 注意无功的合理配置、变压器变比的合理设定以及发电机端电压的合理控制，这几个因素是导致不收敛的主要因素，通过这些方面的调整，尽可能使电压位于合理的范围之内，避免大范围电压过高或过低的情况。

在潮流收敛后，需要注意的几个问题：

(1) 处理 BE 节点类型

如果在潮流数据中设定了 BE 节点类型，为了保持该类型节点的电压值，程序计算时会在这些类型节点强制增加无功补偿，应查看潮流结果文件（PFO 为后缀的文件）中“未安排无功的节点列表”，该列表中显示了所有 BE 节点强制增加的无功，如果为正值，表示增加了电容器，缺少无功，需要增加无功进行补偿；反之，表示增加了电抗器，无功较多，应减少无功补偿。

调整无功补偿时，应调整 BE 节点附近的无功补偿设备、变压器变比、发电机端电压等。例如如果缺少无功，应该增加附近的低压电容器、减少附近的低压电抗器、提高发电机端电压等。

当“未安排无功节点列表中”BE 节点对应的无功数值较少时，应将潮流数据中对应的 BE 节点改为其他的节点类型（此时一般都能够收敛）。

(2) 处理电压过高或者过低的点

潮流收敛后，应检查结果文件中“过电压低电压节点列表”中的电压越限较多的节点，调整无功使之更合理。

(3) 牛顿-拉夫逊法的迭代次数问题

从数学计算的角度来讲，潮流计算有多个解，我们需要比较合理的解，计算收敛后，如果牛顿-拉夫逊法的迭代次数超过 15 次，计算出的结果通常是不合理的解，因此应该继续调整潮流减少牛顿-拉夫逊法的迭代次数。

(4) 检查发电机的有功无功出力

发电机的有功无功出力应该在发电机的实际能力范围之内，如果超过其能力范围，是不合理的，特别需要检查平衡机的出力。

B 修订说明

4.3.1 更正 LZ 卡，添加线路前后侧平波电抗器

增加 BQ 卡，Qmin 填写说明

增加 B 卡，Qmin 填写说明

增加 BQ 卡，未安排无功说明

增加 PZ 卡对 BQ 卡的修改说明

修改+卡部分。

4.3.2 增加 UPFC

4.3.4 增加 PZ 卡重复说明

4.3.6 TS 卡增加串联注入电压越限时的，控制模式

4.5.0 增加电网换相（或电流源换流器）高压直流输电系统（LCC-HVDC）新模型，增加 BA、BA1、BA2、DC、LY 卡