



电网规划课程设计（一）



长沙理工大学

电网规划课程设计

题 目:

学 院:

电气与信息工程学院

班 级:

电气 2307 班

姓 名(电子签名):

王子成

学 号:

202310080241

同组设计者:

祝小宝、陈圣捷

指导教师:

马瑞

任务起止日期:

课 程 设 计 用 纸

基于潮流计算的电网规划设计问题

教师批阅

摘要

面向某地区 220kV 主网架规划需求，依据给定拟建火力发电厂 A ($2 \times 340\text{MW}$)、拟建变电所 1/2/3 负荷与地理距离等原始资料，开展功率平衡校核、网架接线方案比选、设备选型与运行校验。

首先在最大负荷场景下进行有功平衡计算，结果表明仅配置电源 A 时系统存在受电需求，需通过无穷大电源系统 S 承担外部支撑以满足负荷与备用要求。随后提出十套初步接线方案，建立兼顾电能质量、线路投资与线路损耗的多目标对比模型，并结合潮流计算结果对方案进行筛选，得到候选方案并进一步采用主成分分析法确定最终推荐网架结构方案五。

对方案五完成电压等级与导线型号选择，配置主变压器并建立等值参数模型；在最大/最小运行方式下采用牛顿—拉夫孙法进行潮流计算，验证节点电压与支路功率分布的可行性。最后依据无功平衡与电压调节原则，指出系统无功电源容量不足，提出以就地并联电容器补偿为主的无功配置思路，并给出主变有载调压分接头选取以满足各站调压要求。

研究结果形成了可扩展且兼顾技术经济性的 220kV 主网架规划方案，为后续工程设计提供依据。

关键词：电网规划设计；潮流计算；技术经济评价；接线方案比选；数值计算；
主成成分分析

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

目录

一. 设计任务重述.....	1
1.1 设计任务背景.....	1
1.2 待规划问题.....	2
二. 任务步骤分析.....	3
三. 符号说明.....	4
四. 基本参数计算与有功功率平衡.....	5
4.1 基本参数计算.....	5
4.1.1 发电厂、变电所相对地理位置及距离.....	5
4.1.2 发电厂技术参数.....	5
4.1.3 负荷数据及有关要求.....	7
4.2 有功功率平衡.....	8
五. 初步接线方案的选择.....	10
5.1 负荷类型辨析.....	10
5.2 初步接线方案.....	11
5.2.1 初步接线方案示意图.....	11
5.2.2 初步接线方案的对比模型的建立.....	12
5.2.3 初步接线方案的对比模型的求解.....	16
5.2.4 接线方案对比模型求解结果及分析.....	19
六. 最终方案确定.....	22
6.1 电压等级判断.....	22
6.2 导线型号选择.....	23
6.3 方案技术经济性能的比较.....	27
6.3.1 潮流分布的重新计算.....	27
6.3.2 技术评价指标计算.....	28
6.3.3 经济评价指标计算.....	28
6.3.4 方案综合评价.....	30
七. 变压器的选择和计算.....	33
7.1 变压器的型号选择.....	33
7.2 变压器的参数计算.....	34
7.2.1 变压器Π型等值电路参数计算.....	34
7.2.2 变压器Γ型等值电路参数计算.....	35
八. 电力系统潮流计算.....	37
8.1 最大运行方式潮流计算.....	37
8.2 最小运行方式潮流计算.....	39
九. 无功平衡与调压计算.....	40
9.1 无功补偿及功率因数调整.....	40
9.2 变电所电压调节.....	41
十. 结论.....	43
十一. 致谢.....	44
参考文献.....	45
附录.....	46

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

A. 最大运行方式潮流分布图.....	46
B. 最小运行方式潮流分布图.....	47
C. 建议和体会	48
D. 初步接线方案的选择程序 main1_1.m.....	49
E. 最终推荐方案的确定程序一 main2_1.m.....	77
F. 最终推荐方案的确定程序二 main2_2.mlx	86

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

一. 设计任务重述

1.1 设计任务背景

电力作为现代经济社会运行的基础性能源载体，是国民经济高质量发展与人民生活品质提升的重要保障。与一般商品不同，电能难以实现大规模、低成本的长周期储存，其“生产—输送—分配—消费”在时间尺度上高度同步，对电力系统规划、建设与运行提出了更高要求。随着经济结构升级、城市化进程推进以及数字经济、先进制造业快速发展，电力需求总量与用电负荷特性持续演变，电网承载能力、供电可靠性与安全韧性面临新的挑战。

在“双碳”目标与能源绿色低碳转型背景下，我国电力系统正加速由传统化石能源主导向以新能源为主体的“新型电力系统”演进。风电、光伏等可再生能源装机规模快速增长，其间歇性、波动性与随机性显著提高了电力平衡和系统调控难度；同时，储能、抽水蓄能、灵活调节电源、需求响应等多元调节资源加快发展，电力系统由“源随荷动”逐步向“源网荷储协同互动”转变。新能源汽车普及带来的充电负荷增长、车网互动潜力释放，以及分布式电源与微电网的广泛接入，也使配电网从单向供电向双向潮流、主动运行转型，对规划理念、技术路径与工程方案提出了更高要求。

电网规划是电力工程前期工作的核心环节之一，直接关系到电源开发、网架结构、输电通道、变电布点及配电网建设的方向与节奏。科学的电网规划应在国家产业政策与区域能源资源禀赋约束下，统筹安全性、经济性与可持续性，兼顾短期可实施性与长期可扩展性：一方面要满足不断增长且结构变化明显的负荷需求，保障供电可靠性与电能质量；另一方面要适应新能源高比例接入、电力市场化改革与跨区互济格局深化，提升系统灵活性、消纳能力与极端天气下的抗扰动与快速恢复能力。

本次电网规划课程设计的任务，旨在面向规划期电力系统发展需求，根据给定发电厂、变电所原始资料，检验系统的功率平衡和确定电厂的运行方式，研究合理的电源与网架布局方案，论证输电方式、网络结构、变电容量与布点等关键技术原则，并对必要的技术经济指标进行比较评价。在此基础上，提出可实施、可扩展、满足安全稳定要求且兼顾经济的电网建设与运行发展建议，为后续工程

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

设计与建设决策提供依据。

1.2 待规划问题

近年来国民经济持续增长、产业结构加速升级叠加城镇化推进，使区域负荷规模与峰谷特性不断变化，迫使电网规划在安全性、可靠性与经济性之间进行更高水平的统筹优化。电力部门需以用户对电能质量与供电连续性的要求为牵引，面向规划期负荷增长与运行边界变化，提前完善网架结构、提升供电能力与系统韧性。

在某地区拟开展 220kV 主网架输电场景的规划设计：鉴于现有电厂出力与供电能力已难以满足负荷持续攀升带来的电力平衡与可靠性约束，需在规划期内新增电源及配套变电设施，其中 A 为拟建火力发电厂，1、2、3 为拟建变电所，并通过合理的线路通道与接线方案接入上级电网（以 S 表示无穷大电源系统）实现外部支撑与功率交换。

本规划问题的核心在于在满足 N-1、技术比较与经济比较等安全稳定要前提下，确定电网接线方案，形成可实施、可扩展且兼顾投资与运行成本的主网架建设方案。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

二. 任务步骤分析

由于我们关于待规划地区的原始资料主要为其地理接线图、各点地理距离、发电厂参数、负荷数据及有关要求、无穷大电源系统，因此我们主要从基本参数计算与有功功率平衡、电力网接线方案的初步设定与筛选、最终推荐方案确定、变压器的选择与计算、电力系统潮流计算以及无功平衡与调压计算这六个主要方面进行电网规划设计的考虑。

本研究规划的内容及流程图如下：

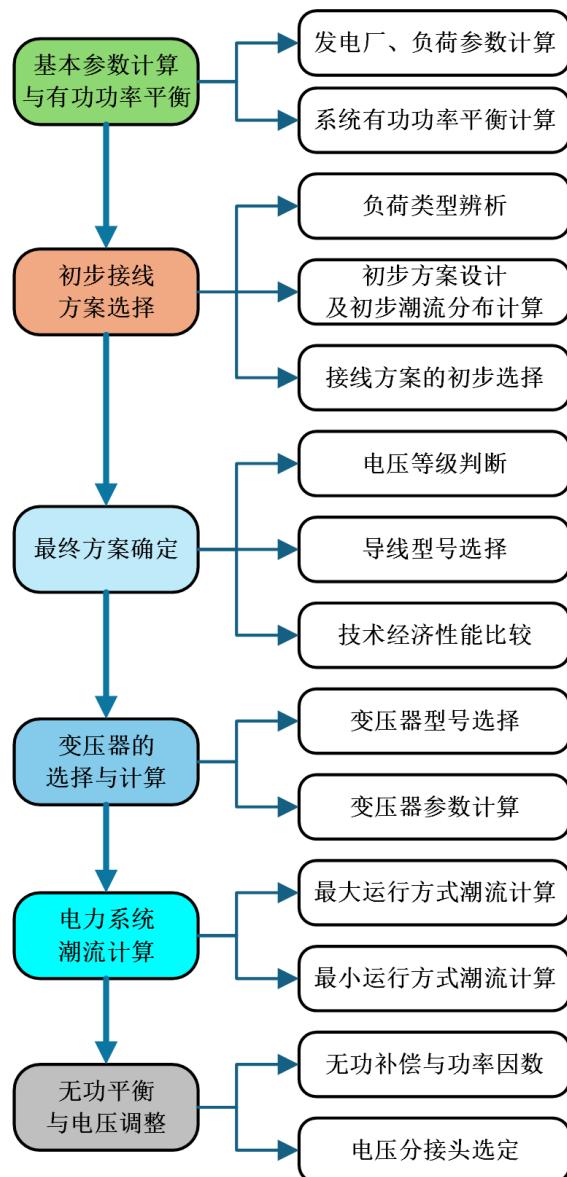


图 2-1 规划设计流程图

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

三. 符号说明

变量符号	符号含义	符号单位
P_{Gi}	发电厂 i 输出的有功功率	MW
Q_{Gi}	发电厂 i 输出的无功功率	MVar
$P_{L\max \cdot i}$	负荷 i 最大负荷时吸收的有功功率	MW
$Q_{L\max \cdot i}$	负荷 i 最大负荷时吸收的无功功率	MVar
$P_{L\min \cdot i}$	负荷 i 最小负荷时吸收的有功功率	MW
$Q_{L\min \cdot i}$	负荷 i 最小负荷时吸收的无功功率	MVar
P_i	电气节点 i 注入有功功率	MW
Q_i	电气节点 i 注入无功功率	MVar
U_i	电气节点 i 电压幅值	kV
θ_i	电气节点 i 电压相角	deg
$\cos \varphi_i$	电气节点 i 功率因数	
\tilde{S}_{ij}	电气节点 i, j 间支路流动功率	MVA
ΔS_{ij}	电气节点 i, j 间支路损耗	MVA
$T_{\max \cdot i}$	负荷 i 最大负荷利用小时数	h
$\tau_{\max \cdot i}$	负荷 i 最大负荷损耗时间	h
$\Delta U_{\max} \%$	系统的最大电压偏移量	
AC_m	折算到工程建成年的年费用	千元
$S_{T \cdot i}$	第 i 台变压器的额定容量	MVA
$U_{t \cdot i}$	变压器高压绕组分接头电压	kV

课程设计用纸

教师批阅

四. 基本参数计算与有功功率平衡

4.1 基本参数计算

本节将对原始资料所给出的参数与数据,以及研究过程中延伸所需的相关参数,开展系统性的计算、分析与阐释。

4.1.1 发电厂、变电所相对地理位置及距离

为方便表达,在地理位置上我们将电网待规划地区当中的 A,S 两点分别记作点 4,5,则各地点地理位置示意图如图 4-1:

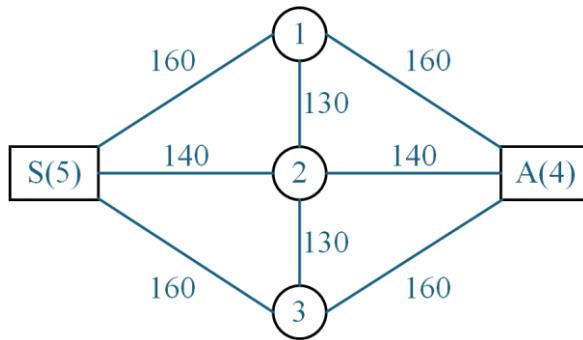


图 4-1 电网待规划地区发电厂、变电所相对地理位置及距离

在研究中,以 d_{ij} 表示地理位置点 i 和点 j 之间的直线距离,由于原始资料中未说明需要考虑直线距离基数与实际距离的区别,因此直接采用原始资料数据。据此构建矩阵 \mathbf{D} 为:

$$\mathbf{D} = (d_{ij})_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 00.00 & 130 & 260 & 160 & 160 \\ 130 & 00.00 & 130 & 140 & 140 \\ 260 & 130 & 00.00 & 160 & 160 \\ 160 & 140 & 160 & 00.00 & 280 \\ 160 & 140 & 160 & 280 & 00.00 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

根据各节点相对地理位置可初步分析得出:待规划区域可能为 220kV 主网架结构,采用双端支撑的网状闭环拓扑结构,以无穷大电源 S 和待建火电厂 A 为双侧电源支撑点,变电所 1、2、3 可通过纵向联络线及双侧电源出线形成多组闭合电气回路。其中无穷大电源可以看作电压恒定、频率固定 50Hz、内阻为零的理想电压源。

4.1.2 发电厂技术参数

课程设计用纸

教师批阅

根据原始数据有，该待建火力发电厂 A(5) 装机 $2 \times 340 \text{ MW}$ 、机端额定电压 20 kV 、额定功率因数 $\cos\varphi_N = 0.8$ ，且最小运行方式为 1 台机运行。

对于发电厂 i ，为三相交流系统，其发出的复功率 \dot{S}_{Gi} 与功率因数角 φ_{Gi} 之间有如下关系：

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{S}_{Gi} = \sqrt{3} U_{Gi} I_{Gi}^* \\ P_{Gi} = \sqrt{3} U_{Gi} I_{Gi} \cos\varphi_{Gi} \\ Q_{Gi} = \sqrt{3} U_{Gi} I_{Gi} \sin\varphi_{Gi} \\ |\tilde{S}_{Gi}| = \sqrt{P_{Gi}^2 + Q_{Gi}^2} = \frac{P_{Gi}}{\cos\varphi_{Gi}} = \sqrt{3} U_{Gi} I_{Gi} \\ \tan\varphi_{Gi} = \frac{Q_{Gi}}{P_{Gi}} \\ \tilde{S}_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi} \end{array} \right. \quad (4-2)$$

结合原始资料参数整理可得表 4-1：

表 4-1 发电厂技术参数

发电厂参数	值	备注
机组台数	2	火力发电机
每台机组额定有功 P_{GNi}	340	MW
每台机组额定无功 Q_{GNi}	255	MVar
额定视在功率 $ \dot{S}_{GNi} $	425	MVA
机端额定线电压 U_{GNi}	20	kV
机端母线电流 I_{GNi}	12.27	kA
总装机容量	$2 \times 340 = 680$	MW
无功能力	$2 \times 255 = 510$	MVar
总视在功率	$2 \times 425 = 850$	MVA

最小运行方式 1 台机运行说明要做单机方式 (N-1) 下的潮流与电压校核，对主变配置、无功与电压支撑和接线可靠性提出要求。从规模上看可认为该火力发电厂为属于大型凝气式火电厂，厂用电率取 10%。

课程设计用纸

教师批阅

4.1.3 负荷数据及有关要求

由于原始资料中未说明需要考虑负荷基数与实际负荷的区别，因此直接采用原始资料数据。对原始数据进行整理得表 4-2：

表 4-2 负荷参数

模块分类	项目	单位	A	1	2	3
负荷基础参数	最大负荷	MW	70	270	260	280
	最小负荷	MW	24	95	85	90
	功率因数	—	0.80	0.80	0.90	0.85
	T_{\max}	h	5000	5500	5000	5000
	负荷电压	kV	10	10	10	10
无功负荷参数	最大无功负荷	MVar	52.5	202.5	125.92	173.52
	最小无功负荷	MVar	18	71.25	41.17	55.77
年电量参数	年最大负荷 用电量	MWh	350000	1485000	1300000	1300000
调压参数	调压范围	%	0~5	2~5	0~5	2~7
	调压方式	—	逆调压	常调压	逆调压	顺调压
负荷分类	I类负荷占比	%	35	10	30	0
	II类负荷占比	%	25	35	30	25
	III类负荷占比	%	40	55	40	75

分析可得各节点负荷波动较大三座变电所最终都要向 10 kV 配电侧供电。总最大有功负荷为 880MW，总最小有功负荷为 294MW；最大负荷时总无功需求约 554.44MVar，最 x 小负荷时总无功需求约 186.19MVar，最大负荷时无功需求大，且变电所 1 和发电厂 A 因功率因数为 0.8 是主要无功消耗点。

由无穷大电源或火力发电厂提供电能后，对于负荷 j 有：

$$\begin{cases} \tilde{S}_{Lj} = P_{Lj} + jQ_{Lj} \\ Q_{Lj} = P_{Lj} \tan \varphi_{Lj} \end{cases} \quad (4-3)$$

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

上式中, \dot{S}_{Lj} 为负荷 j 吸收的复功率, φ_{Lj} 为负荷 j 的功率因数角。

则待规划区域系统中总的节点注入功率为

$$\tilde{S}_S = P_S + jQ_S = \tilde{S}_{GS} + \tilde{S}_{Gi} - \tilde{S}_{LS} \quad (4-4)$$

上式中 \dot{S}_{GS} 为无穷大电源系统 S 提供的电能。

结合表 4-2 与式(4-4)可知系统中的各节点注入功率, 结果见表 4-3:

表 4-3 各节点注入功率

节点编号	A(4)	1	2	3
最大负荷时 $\dot{S}_{j\max}$	-70-j52.5	-270-j202.5	-260-j125.92	-280-j173.52
最小负荷 $\dot{S}_{j\min}$	-24-j18	-95-j71.25	-85-j41.17	-90-j55.77

4.2 有功功率平衡

有功电源关乎电网频率稳定与负荷正常运行, 因此我们需要检验该系统的有功功率平衡, 若有功容量不足则应进行补充。综合考虑负荷、负荷的同时系数、网损、厂用电, 以及备用容量, 在检验系统最大负荷时的有功平衡时, 可按下列各式依次计算:

用电负荷:

$$P_y = k_1 \sum_{i=1}^n P_{Lmax \cdot i} \quad (4-5)$$

供电负荷:

$$P_g = \frac{1}{1-k_2} P_y \quad (4-6)$$

发电负荷:

$$P_f = P_g + \sum_{j=1}^m P_{z,j} + \sum_{i=1}^m k_{3,i} P_{Gi} \quad (4-7)$$

式中 $\sum_{i=1}^n P_{Lmax \cdot i}$ 表示 n 个变电所最大负荷之和;

$\sum_{i=1}^m k_{3,i} P_{Gi}$ 表示 m 个发电厂装机容量之和;

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

k_1 表示负荷的同时系数，近似取 0.9；

k_2 表示网损率，近似取 5%；

$k_{3,i}$ 表示第 i 个发电厂的厂用电率，其取值与电厂类型相关，本规划中的大型凝气式火电厂，厂用电率取 10%；

$\sum_{j=1}^m P_{z,j}$ 表示 m 个发电厂的直配负荷。

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

在本研究中， $m = 1, n = 3, P_{z,1} = 70, k_{3,1} = 10\%$ ，得出计算结果如表 4-4：

表 4-4 待规划地区的有功平衡计算结果

参数	数值(MW)
用电负荷 P_y	729
供电负荷 P_g	767.37
发电负荷 P_f	905.37
孤岛功率缺口 $P_{\text{缺}}$	-225.37
备用要求 $P_{\text{备}}$	90.54
系统功率盈亏 $\sum_{i=1}^2 P_{Gni} - 1.1P_f$	-315.91

该地区仅配置火电厂 A 时，最大负荷下需从无穷大电源系统 S 受电约 225.37MW；按 10% 备用标准，则在最不利条件下需具备约 315.91MW 的外部支撑能力，地区内电源不足部分由 S 经联络线受电补足。

课程设计用纸

教师批阅

五. 初步接线方案的选择

5.1 负荷类型辨析

I类负荷：该类负荷是对供电可靠性要求最高的负荷，中断供电将引发极其严重的后果。其核心定义为：中断供电会造成人身伤亡，或导致重大设备损坏、重大经济损失，或破坏国家重要公共设施功能、引发系统性瘫痪的负荷。从供电可靠性要求来看，I类负荷必须具备“不间断供电”能力，通常采用双电源供电模式，且双电源需满足“独立可靠”要求。

II类负荷：该类负荷对供电可靠性的要求仅次于I类负荷，中断供电会造成较大危害，但未达到灾难性程度。其定义为：中断供电将造成较大经济损失，或导致公共场所秩序严重混乱，影响社会正常运转的负荷。供电可靠性要求方面，II类负荷需保障“尽量减少供电中断时间”，通常采用备用电源供电模式。

III类负荷：该类负荷是对供电可靠性要求最低的负荷，中断供电造成的危害程度较小，仅影响局部功能或产生轻微经济损失。其定义为：中断供电不会造成人身伤亡、重大经济损失，仅会影响部分次要功能正常运转的负荷。供电可靠性要求上，III类负荷无需特殊供电保障，采用单电源供电即可满足需求。

待规划地区中，发电厂和变电所的负荷类型如图 5-1 所示：

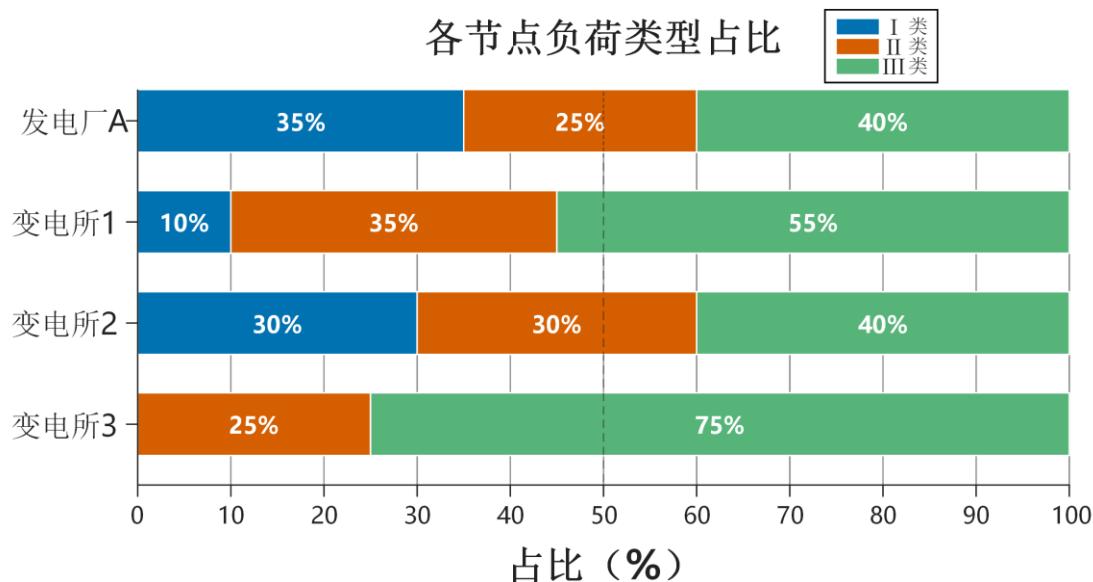


图 5-1 负荷类型占比

观察图像可知，发电厂 A 与变电所 2 中一二级负荷比例较高，变电所 1 次

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

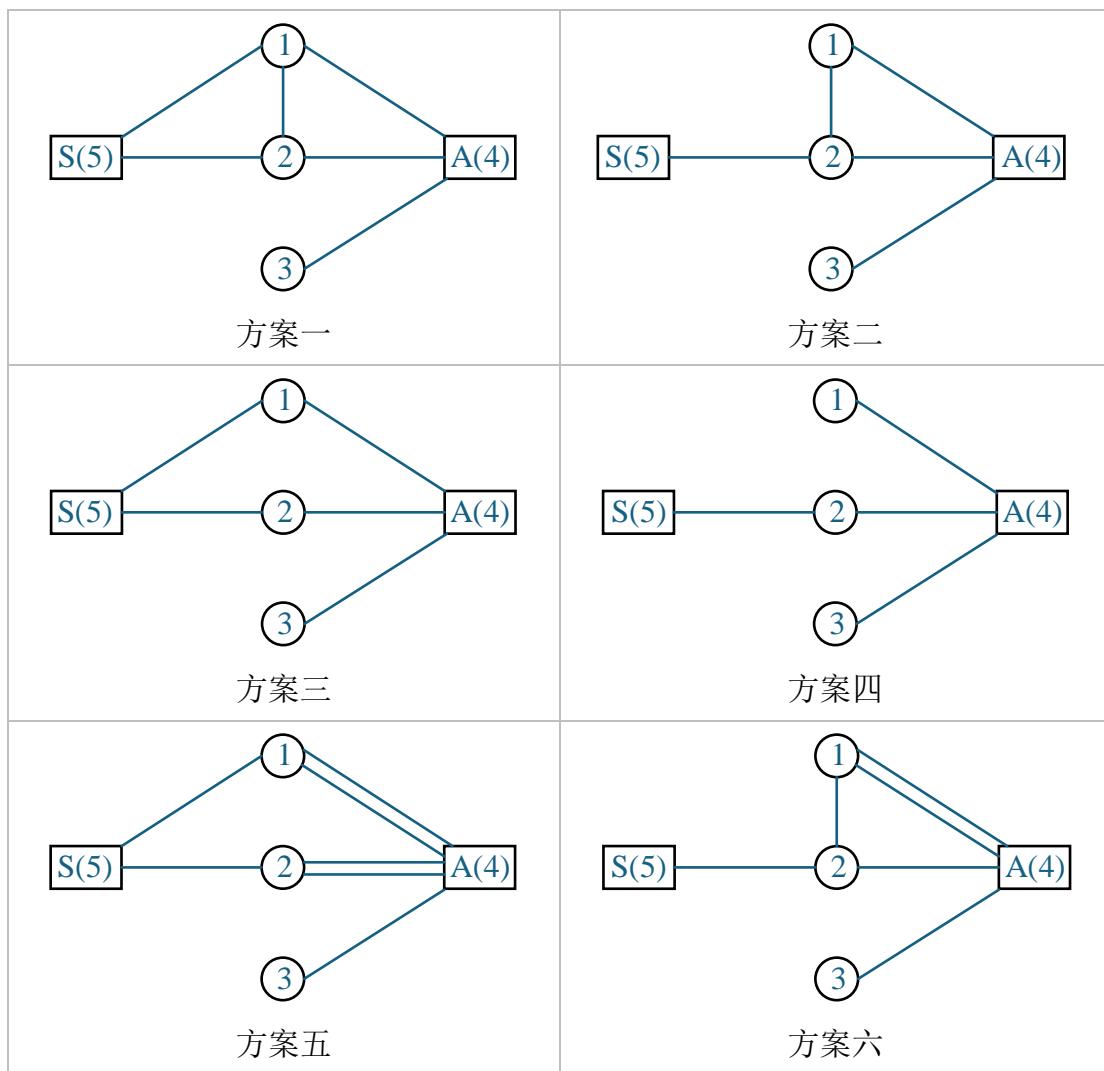
之，变电所 3 最次，则供电重要程度为：发电厂 A=变电所 2>变电所 1>变电所 3。于是我们在设计接线方案时多采用有备用的接线方式——双端供电、双回路供电。

5.2 初步接线方案

5.2.1 初步接线方案示意图

依照上述章节的分析，我们将规划网络视为均一网，进一步设计了以下初步接线方案：

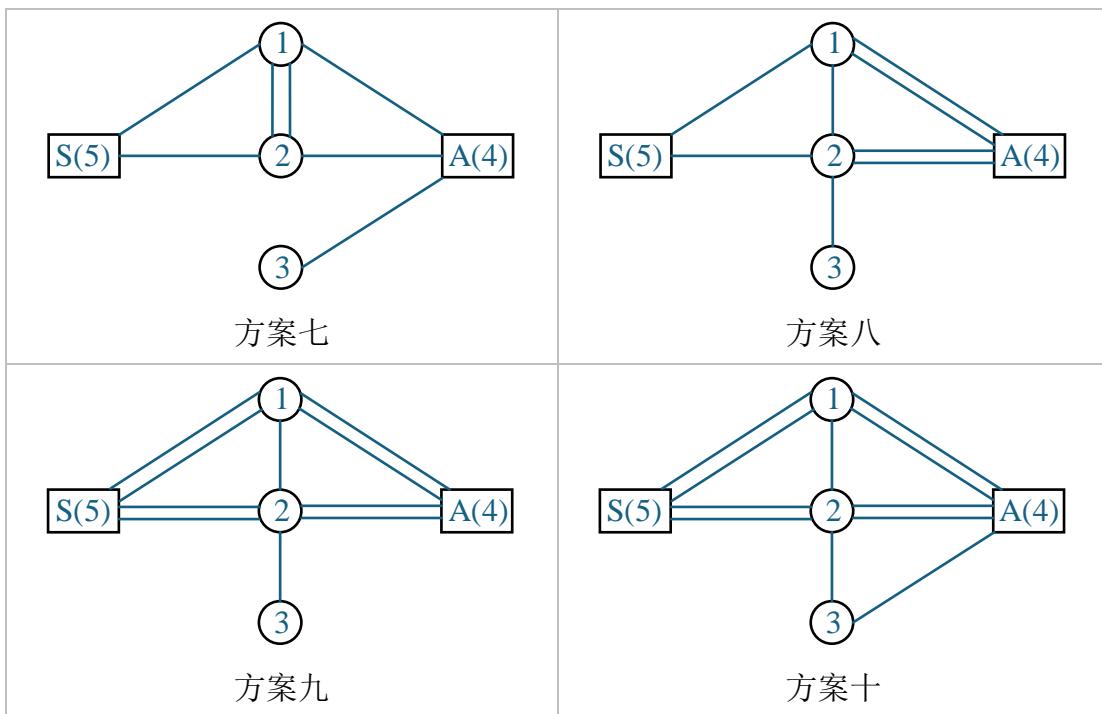
表 5-1 可供选择的初步接线方案



课 程 设 计 用 纸

教师批阅

(续表 5-1)



5.2.2 初步接线方案的对比模型的建立

首先，我们先对接线方案的供电可靠性进行比较——假设任意一条输电线断开，观察是否有重要负荷无法得到供电。分析上述方案我们可以发现，若“方案四”中连接发电厂 A 与变电所 1 的输电线断开，则变电所 1 中的一、二级负荷无法得到有效供电，故先排除“方案四”。其他接线方案都具有良好的供电可靠性。

剩余方案运行维护的灵活性和网络的可扩展性和未来发展的适应性都较佳。

接下来我们将系统视为电压等级和线路参数相同的均一网络，通过对不同方案所确定的电力系统进行初步功率分布计算，并联合相关技术和经济指标来比较不同方案然后加以筛选。

记 $n = 5$ 为完成折算后系统中独立电气节点个数，初步功率分布计算时认为独立电气节点与独立地理节点序号相同。

用 0-1 逻辑变量 f_{ij} 表示独立电气节点 i 和 j 之间的连接关系：

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i \text{ 和点 } j \text{ 之间有输电线} \\ 0, & \text{点 } i \text{ 和点 } j \text{ 之间无输电线} \end{cases}$$

通过对接线方案的技术、经济的定性分析，本研究设置以下优化目标：

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

为使得所确定接线方案的电能质量更高，则设置目标函数 1：

$$\min Z_1 = \max S_l D_l \quad (5-1)$$

为使得所确定接线方案的线路投资尽可能少，则设置目标函数 2：

$$\min Z_2 = \sum_{l=1}^L D_l \quad (5-2)$$

为使得所确定接线方案的线路损耗尽量低，则设置目标函数 3：

$$\min Z_3 = \sum_l^L D_l S_l^2 \quad (5-3)$$

上述表达式中， L 为方案系统中输电线路总数， D_l 为第 l 条线路的长度， S_l 为第 l 条线路的流动功率，有：

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (5-4)$$

为更好对输电线路进行描述，我们将“第 l 条输电线路”的表述更改为“独立电气节点 i 和 j 之间的输电线路”，同时引入整数变量 a ：

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i \text{ 和 } j \text{ 之间不为双回路输电线} \\ 2, & \text{点 } i \text{ 和 } j \text{ 之间为双回路输电线} \end{cases} \quad (5-5)$$

分析可知，约束条件有：点 i 和 j 点之间不建线时 a_{ij} 必然为 1；点 i 和 j 点之间为双回路输电线时 f_{ij} 必然为 1；该网架为无向图，功率被认为可以双向流动。通过引入混合整数线性规划（MILP）中的 Big-M 逻辑约束，得出以下关系式：

$$\begin{cases} -10f_{ij} \leq 1 - a_{ij} \leq 10f_{ij} \\ -10(2 - a_{ij}) \leq 1 - f_{ij} \leq 10(2 - a_{ij}) \\ a_{ij} = a_{ji} \text{ 且 } f_{ij} = f_{ji} \end{cases} \quad (5-6)$$

令 ΔS_{ij} 为节点 i 和节点 j 之间的流动功率，则目标函数可以等价转换为：

课程设计用纸

教师批阅

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z_1 = \max \frac{d_{ij} f_{ij} \Delta S_{ij}}{a_{ij}} \\ \min Z_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} a_{ij} f_{ij} \\ \min Z_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij} f_{ij} \Delta S_{ij}^2}{a_{ij}} \end{array} \right. \quad (5-7)$$

忽略对地导纳支路，设均一网络中线路单位阻抗为 $z_1 = r_1 + jx_1$ ，则节点 i 和节点 j 之间的阻抗为：

$$Z_{ij} = \frac{z_1 d_{ij}}{a_{ij} f_{ij}}, y_{ij} = \frac{a_{ij} f_{ij}}{z_1 d_{ij}} \quad (5-8)$$

对于节点 i 有：

$$P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (5-9)$$

$$Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (5-10)$$

$$\Delta S_{ij} = \sqrt{(P_i - P_j)^2 + (Q_i - Q_j)^2} \quad (5-11)$$

其中， P_i, Q_i 分别为节点 i 的注入有功功率、无功功率， U_i, θ_i 分别为节点 i 的电压幅值和相角， $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$ ， G_{ij}, B_{ij} 分别为系统节点导纳矩阵的实部和虚部。

在初步功率分布计算中，我们将系统 S 视为平衡节点，折算后电压均为系统额定电压，则此时系统 S 的注入功率满足：

$$\tilde{S}_S = \tilde{S}_{GS} - \tilde{S}_{LS} \quad (5-12)$$

其中 \tilde{S}_{LS} 为定值 $1.1 P_f$ 。

把火力发电厂 A 视为 PQ 节点，认为满载运行，则 A 的两台机组注入功率满足：

$$\tilde{S}_A = (1 - k_{3,1}) \tilde{S}_{GNA} \quad (5-13)$$

将其他节点均视作 PQ 节点，负荷均以最大负荷运行，所以节点 i 的注入功

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

率为：

$$\tilde{S}_i = P_i + jQ_i = \tilde{S}_{G_i} - \tilde{S}_{L_i} \quad (5-14)$$

设独立电气节点*i*和节点*j*之间的输电线路流动功率为 \tilde{S}_{ij} ，则

$$\tilde{S}_{ij} = \dot{U}_i \dot{I}_{ij}^* = \dot{U}_i [\dot{U}_i^* y_{i0}^* + (\dot{U}_i^* - \dot{U}_j^*) y_{ij}^*] \quad (5-15)$$

$$\Delta S_{ij} = |\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}| \quad (5-16)$$

其中， y_{ij} 是电气节点*i*和节点*j*之间的互导纳， y_{i0} 是节点*i*对地导纳。

综上所述，关于初步接线方案的比较，本研究建立了一个多目标规划模型如下：

目标函数：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min Z_1 = \max \frac{d_{ij} f_{ij} \Delta S_{ij}}{a_{ij}} \\ \min Z_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} a_{ij} f_{ij} \\ \min Z_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij} f_{ij} \Delta S_{ij}^2}{a_{ij}} \end{array} \right.$$

约束条件：

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 Z_{ij} = \frac{z_1 d_{ij}}{a_{ij} f_{ij}}, y_{ij} = \frac{a_{ij} f_{ij}}{z_1 d_{ij}} \\
 P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\
 Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \\
 \tilde{S}_{ij} = \dot{U}_i \dot{I}_{ij}^* = \dot{U}_i [\dot{U}_i^* y_{i0}^* + (\dot{U}_i^* - \dot{U}_j^*) y_{ij}^*] \\
 \Delta S_{ij} = |\tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji}| \\
 \dot{S}_i = P_i + jQ_i = \dot{S}_{G_i} - \dot{S}_{L_i} \\
 \tilde{S}_S = \tilde{S}_{GS} - \tilde{S}_{LS} \\
 \tilde{S}_A = (1 - k_{3,1}) \tilde{S}_{GNA} \\
 -10f_{ij} \leq 1 - a_{ij} \leq 10f_{ij} \\
 -10(2 - a_{ij}) \leq 1 - f_{ij} \leq 10(2 - a_{ij}) \\
 a_{ij} = a_{ji} \text{ 且 } f_{ij} = f_{ji} \\
 a_{ij} \in \{1, 2\}, f_{ij} \in \{0, 1\}
 \end{array}
 \right. \quad (5-17)$$

5. 2. 3 初步接线方案的对比模型的求解

(1) 功率潮流分布计算

已知 m 元函数 $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 在点 $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0)$ 处二阶可微，则它在 $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0)$ 处的泰勒展开式为：

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) = f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0)}{\partial x_i} (x_i - x_i^0) + O^2$$

当 $(x_1, x_2, \dots, x_m) \rightarrow (x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0)$ 时，有

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) \approx f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_m^0)}{\partial x_i} (x_i - x_i^0)$$

对于非线性方程组：

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_1 \\
 f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_2 \\
 \vdots \\
 f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_n
 \end{array}
 \right.$$

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

采用迭代法求解方程组，设 $\mathbf{x}^{(k)} = [x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}]^T$, $\Delta x_i^{(k)} = x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}$,

其中 $x_i^{(k)}$ 为变量 x_i 在第 k 次迭代中对应的数值。

将每个式子均进行一阶多元泰勒展开可得：

$$\begin{bmatrix} y_1 - f_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ y_2 - f_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \\ \vdots \\ y_n - f_n(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_1}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_1}|_{\mathbf{x}^{(k)}} \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_2}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_2}|_{\mathbf{x}^{(k)}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_n}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_n}|_{\mathbf{x}^{(k)}} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n}|_{\mathbf{x}^{(k)}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(k)} \\ \Delta x_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(k)} \end{bmatrix}$$

记为：

$$\Delta \mathbf{f}^{(k)} = \mathbf{J}^{(k)} \Delta \mathbf{x}^{(k)}$$

上述通过迭代求解非线性方程组的方法成为“牛顿——拉夫孙迭代法”，简称“牛拉法”。

同样地，我们可以运用“牛拉法”计算电力系统中的潮流分布，对于电力系统中的方程组：

$$\begin{cases} P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{cases}$$

同上计算可得：

$$\begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P} \\ \Delta \mathbf{Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} \mathbf{N} \\ \mathbf{J} \mathbf{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \boldsymbol{\theta} \\ \Delta \mathbf{U} \end{bmatrix} \quad (5-18)$$

其中，上式中：

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

$$\Delta P_i = P_i - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$\Delta Q_i = Q_i - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

$$H_{ij} = U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}), N_{ij} = U_i U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) i \neq j$$

$$J_{ij} = -U_i U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}), L_{ij} = U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) i \neq j$$

$$H_{ii} = -U_i \sum_{\tau=1, \tau \neq i}^n U_\tau (G_{i\tau} \sin \theta_{i\tau} - B_{i\tau} \cos \theta_{i\tau})$$

$$N_i = U_i \sum_{\tau=1, \tau \neq i}^n U_\tau (G_{i\tau} \cos \theta_{i\tau} + B_{i\tau} \sin \theta_{i\tau}) + 2U_i^2 G_{ii}$$

$$J_{ii} = U_i \sum_{\tau=1, \tau \neq i}^n U_\tau (G_{i\tau} \cos \theta_{i\tau} + B_{i\tau} \sin \theta_{i\tau})$$

$$L_{ii} = U_i \sum_{\tau=1, \tau \neq i}^n U_\tau (G_{i\tau} \sin \theta_{i\tau} - B_{i\tau} \cos \theta_{i\tau}) - 2U_i^2 B_{ii}$$

迭代的停止条件：达到最大迭代次数——本研究中设置为 100 次。或满足：

$$\max \{\Delta P_i, \Delta Q_i\} \leq 0.000001$$

运用“牛拉法”进行潮流计算的大致流程图如下：

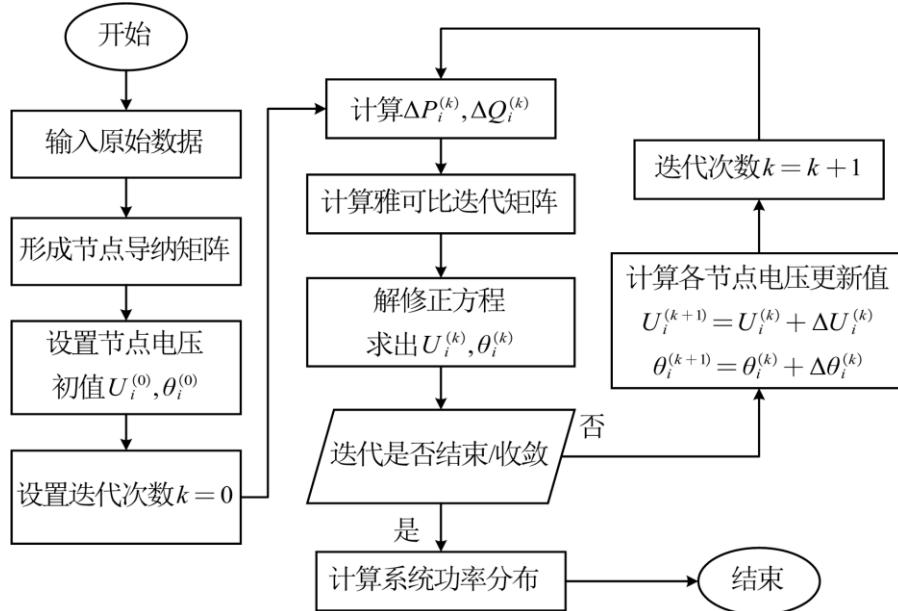


图 5-3 牛顿——拉夫逊法流程图

(2) 多目标优化模型求解

我们取 z_1 为常用参数： $z_1 = 0.05 + j0.4 (\Omega/\text{km})$ ，额定电压取

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

$$U = 220 \angle 0^\circ (\text{kV})。$$

对于特定接线方案， f_{ij}, a_{ij} 均为确定值，且方案及需要考虑的情况总数并不多。因此，我们采取遍历的方法对多目标优化模型进行求解，步骤如下：

第一步：确定每个接线图的基本参数值；

第二步：在每种方案下对火力发电厂 A 的两台机组进行一台满载、两台满载的情况进行潮流计算，得到各个情况下目标函数值；

第三步：将各情况下目标函数值线性加权得到最终的目标函数值，把这个方案目标函数值进行比较以抉择，线性加权规则如下：

$$\text{最终目标函数值} = 0.7 \times (\text{两台均满载}) + 0.3 \times (\text{一台满载、一台空载})。$$

5.2.4 接线方案对比模型求解结果及分析

对本章构建的混合整数多目标优化模型进行求解，采用 Matlab 进行编程，使用 matpower 工具箱函数进行潮流计算。结果如表 5-1 所示：

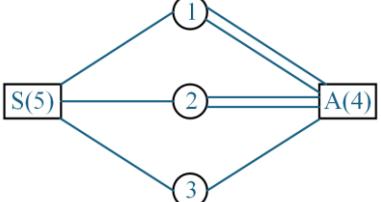
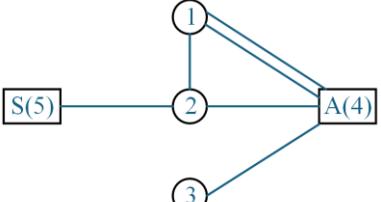
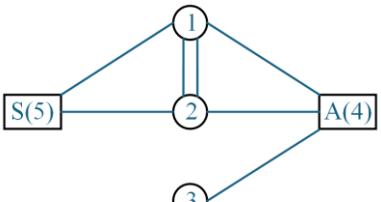
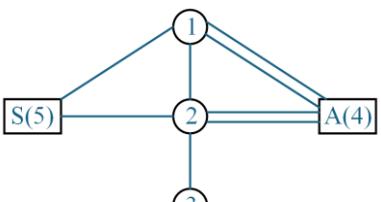
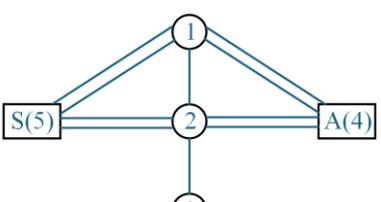
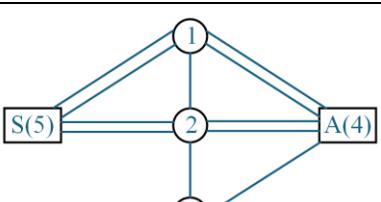
表 5-2 不同初步接线方案计算结果

方案名	接线图	电能质量	线路投资	线路损耗
方案一		3934.4	1780	416509
方案二		6003.81	1460	748030
方案三		4376.97	1520	435970

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

(续表 5-2)

方案名	接线图	电能质量	线路投资	线路损耗
方案五		2360.9	1820	157088
方案六		4410.31	1620	457725
方案七		3862.75	1910	414678
方案八		2129.86	2020	149032
方案九		1850.14	2320	137537
方案十		1597.62	2640	87070.7

计算所得各个方案的技术指标和经济指标如图

课程设计用纸

教师批阅

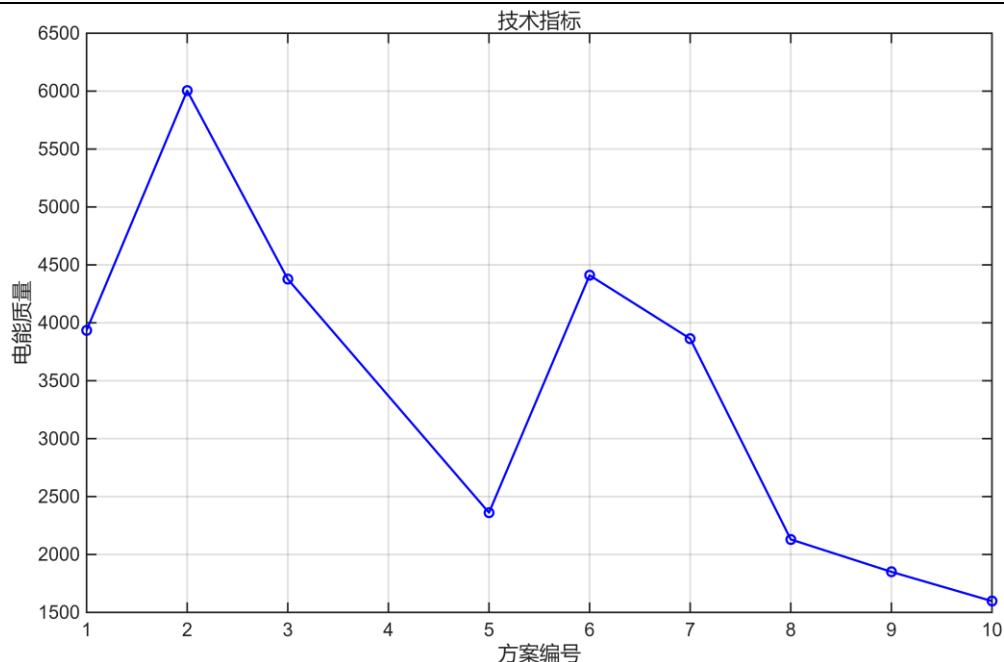


图 5-4 初步接线方案技术指标比较

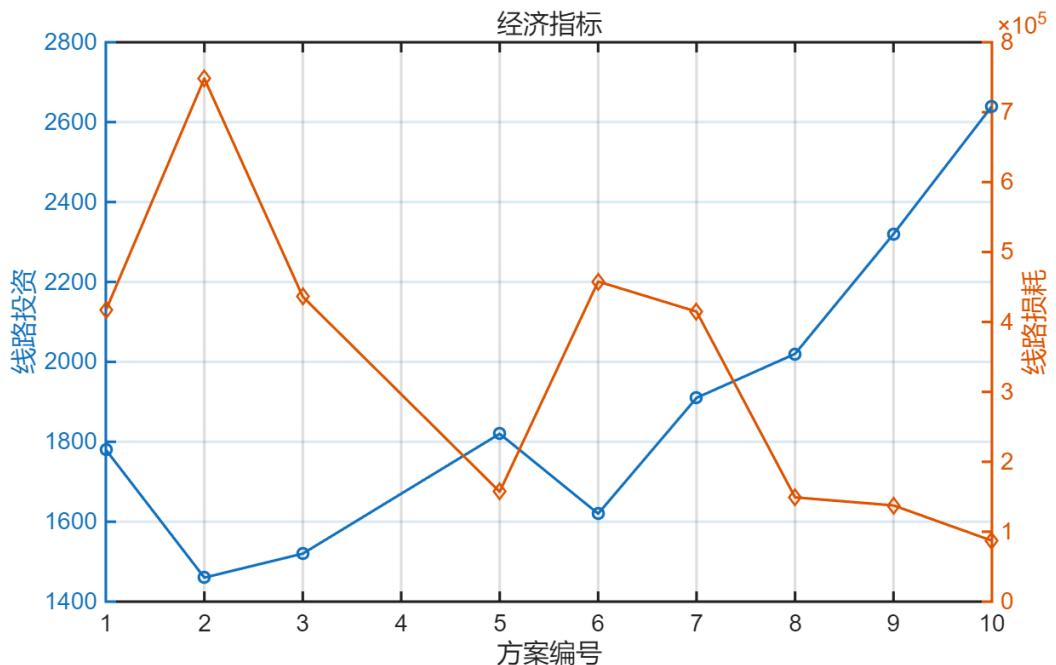


图 5-5 初步接线方案经济指标比较

通过分析图 5-4 与图 5-5，三项指标均是数值越低工程效果越好。本研究发现“方案五”在保证技术指标优秀的同时，两项经济指标均处于不错的值；“方案十”在牺牲一定的线路投资下，提升了电能质量，减少了线路损耗。

因此，本研究选择“方案五”与“方案十”作为初步接线方案，进行后续分析。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

六. 最终方案确定

6.1 电压等级判断

由于待规划地区只有一个火力发电厂 A，在初步功率分据计算中，A 两台机组均满载的情况最为典型，我们在后续初步功率分布数据使用中皆使用 A 两台机组均满载的情况对应的数据。

在初步潮流计算中，“方案五”和“方案十”的线路参数如下：

表 6-1 所选方案的初步线路输送信息

方案五线路				方案十线路			
起点	终点	输送功率 (MW)	输送距离 (km)	起点	终点	输送功率 (MW)	输送距离 (km)
A	1	129.25	160	2	1	-17.82	130
S	1	145.72	160	A	2	29.43	140
A	2	116.53	140	S	1	265.04	160
S	2	146.63	140	3	2	-135.95	130
A	3	296.22	160	A	2	59.03	140
—	—	—	—	S	2	330.30	140
—	—	—	—	A	3	147.54	160

各种电压等级适合的输电容量和输电距离如表 6-2：

表 6-2 各种电压等级适合的输电容量和输电距离

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

综合现有电网现状、输送功率、输送距离及未来发展规划等多方面因素，各输电线路的额定电压等级选定结果详见图 6-1 与图 6-2：

课程设计用纸

教师批阅

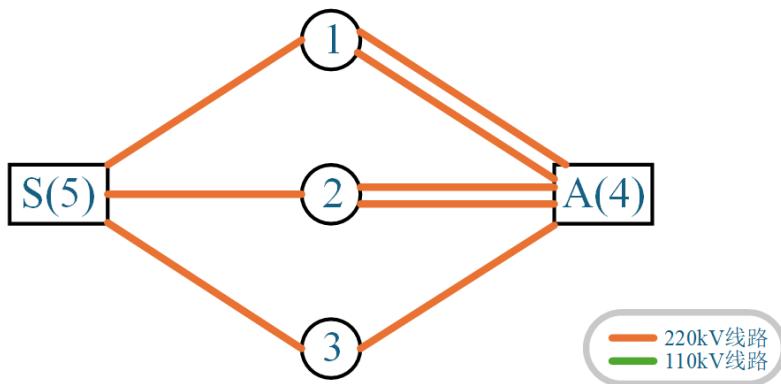


图 6-1 方案五电压等级

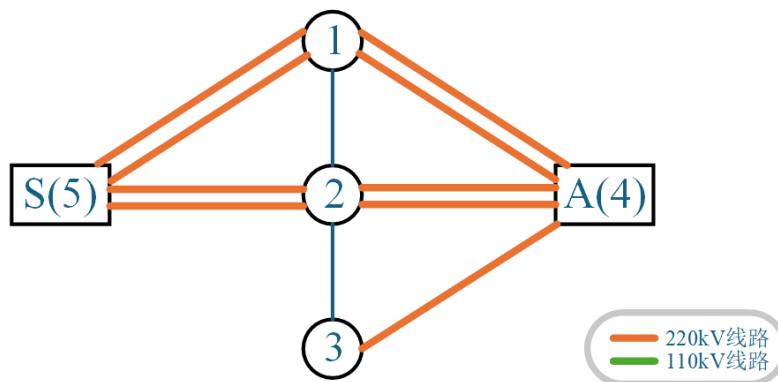


图 6-2 方案十电压等级

6.2 导线型号选择

理论上，电气节点*i*和节点*j*之间的导线的经济截面积应满足：

$$S_{ij} = \frac{(|\tilde{S}_{ij}|)_{\max}}{\sqrt{3} J U_N \cos \varphi} \quad (6-1)$$

其中， $U_N = 220kV$ ，经济电流密度 $J (A/mm^2)$ 满足表 6-3：

表 6-3 架空输电线路导线经济电流密度 $J (A/mm^2)$

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

由表 4-2 可知，发电厂 A、变电所 2 和变电所 3 的年最大负荷利用小时数为

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

5000h，变电所 1 的年最大负荷利用小时数为 5500h。

又放射形网络线路的年最大负荷利用小时数为：

$$T_{\max} = \max T_{\max \cdot i} \quad (6-2)$$

链形网络线路的年最大负荷利用小时数为：

$$T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Li \cdot \max} T_{\max \cdot i}}{\sum_{i=1}^n P_{Li \cdot \max}} \quad (6-3)$$

上式中， n 为网络中的负荷总数。

环形网络在有功功率分点处拆网，各部分分别按照式(6-2)，(6-3)计算。对于方案五和方案，十年最大负荷利用小时数均为 $T_{\max} = 5500h$ 。

输电线路通常使用钢芯铝绞线，即对于变电所 1， $J = 0.9(A/mm^2)$ ，对于其它节点 $J = 1.15(A/mm^2)$ ，计算得出两种方案各支路导线经济截面积见表 6-4：

表 6-4 各支路导线经济截面积(mm^2)

方案五			方案十		
起点	终点	经济截面积(mm^2)	起点	终点	经济截面积(mm^2)
A	1	488.00	2	1	51.99
S	1	581.03	A	2	142.79
A	2	287.51	S	1	999.33
S	2	409.33	3	2	365.17
A	3	967.61	A	2	171.22
—	—	—	S	2	864.44
—	—	—	A	3	428.74

为满足设备采购标准化、备品备件集约化管理及检修维护便捷化的实际需求，在导线选型过程中应尽可能精简导线型号的规格种类，同时充分兼顾未来负荷增长趋势与各类不确定因素的影响。

伴随经济发展阶段的演进，电力工程建设投资的侧重点与设备选型的核心考

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

量因素也随之发生转变。当前，在输电线路建设的总投资构成中，材料费的占比正呈逐年下降的趋势。在此背景下，试图通过压缩导线截面以节省材料成本的做法，其产生的经济效益与未来因负荷增长而需扩建改造所增加的费用相比，显得微不足道。

因此，为确保电网规划的长远性与合理性，本研究经技术校验后，确定各线路的导线选型方案详见表 6-5：

表 6-5 各支路导线型号

方案五			方案十		
起点	终点	导线型号	起点	终点	导线型号
A	1	LGJ-400	2	1	LGJ-400
S	1	LGJ-400	A	2	LGJ-400
A	2	LGJ-150	S	1	LGJ-400
S	2	LGJ-400	3	2	LGJ-400
A	3	LGJ-400	A	2	LGJ-400
—	—	—	S	2	LGJ-400
—	—	—	A	3	LGJ-400

架空输电线的单位阻抗、单位电纳和电晕临界电压计算公式为：

$$r_I = \frac{\rho}{S} \quad (6-4)$$

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_m}{r_{eq}} + \frac{0.0157}{n} \quad (6-5)$$

$$b_1 = \frac{7.56 \times 10^{-6}}{\lg \frac{D_m}{r_{eq}}} \quad (6-6)$$

$$U_{cr} = 49.3 m_1 m_2 \delta r \lg \frac{D_m}{r_{eq}} \frac{n}{1 + 2(n-1) \frac{r}{d} \sin \frac{\pi}{n}} \quad (6-7)$$

其中， n 为分裂导线的分裂个数， D_m 为三相导线之间的几何均距， d 为分裂导线的分裂间距，等值半径 $r_{eq} = \sqrt{rd_{12}d_{13}\cdots d_{1n}}$ 。

根据任务指导书提供的送电线路的电容值 C_L ，我们可以得知：

课程设计用纸

教师批阅

$$b_1 = 2\pi f_N C_L \quad (6-8)$$

$$\lg \frac{D_m}{r_{eq}} = \frac{7.56 \times 10^{-6}}{2\pi f_N C_L} \quad (6-9)$$

其中，额定工频为 $f_N = 50 \text{ Hz}$ 。

由此计算出所选各型号架空输电线晴天电晕临界电压如表 6-6：

表 6-6 所选各型号架空输电线电压数据

输电线型号	电晕临界电压(V)	线路运行相电压(kV)
LGJ-400	138.4832	127.0171

所以，我们可以认为所选方案各线路中单位导纳 $g_J = 0 \text{ S/km}$ ，则所选方案各支路输电线路阻抗、导纳参数见表 6-7 和表 6-8：

表 6-7 方案五支路输电线路阻抗、导纳(单回路)

方案五				
起点	终点	电阻Ω	电抗Ω	电纳s
A	1	12.6	66.46912	0.00043731
S	1	12.6	66.46912	0.00043731
A	2	11.025	58.16048	0.00038264
S	2	11.025	58.16048	0.00038264
A	3	12.6	66.46912	0.00043731

表 6-8 方案十支路输电线路阻抗、导纳(单回路)

方案五				
起点	终点	电阻Ω	电抗Ω	电纳s
2	1	10.2375	54.00616	0.00035531
A	2	11.025	58.16048	0.00038264
S	1	12.6	66.46912	0.00043731
3	2	10.2375	54.00616	0.00035531

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

A	2	11.025	58.16048	0.00038264
S	2	11.025	58.16048	0.00038264
A	3	12.6	66.46912	0.00043731

6.3 方案技术经济性能的比较

6.3.1 潮流分布的重新计算

根据上文确定的接线图、电压等级、输电线参数，我们认为 S 为平衡节点，发电厂 A 两台机组均满载，根据式(5-9)—(5-14)，重新计算各方案的潮流分布(已归算至 220kV)如表 6-9 和表 6-10：

表 6-9 方案五潮流分布

方案五					
节点编号	电压幅值 归算(kV)	电压相角 (deg)	注入有功 功率(MW)	注入无功 功率 (MVar)	功率因数
1	198.44	5.414	-270.00	-202.50	0.80
2	205.26	-4.757	-260.00	-125.92	0.90
3	163.68	-15.907	-280.00	-173.52	0.85
A	210.54	-2.019	+542.00	+457.50	0.76
S	220.00	0.000	+292.35	+239.23	0.77

表 6-10 方案十潮流分布

方案十					
节点编号	电压幅值 归算(kV)	电压相角 (deg)	注入有功 功率(MW)	注入无功 功率 (MVar)	功率因数
1	211.42	-3.040	-270.00	-202.50	0.80
2	212.30	-3.366	-260.00	-125.92	0.90

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

3	203.06	-6.355	-280.00	-173.52	0.85
A	226.60	0.506	+542.00	+457.50	0.76
S	220.00	0.000	+281.51	+152.94	0.88

6. 3. 2 技术评价指标计算

在本文“第 5 节”中，我们已经论述了“方案五”和“方案十”供电可靠性、运行维护的灵活性、网络的可扩展性和未来发展的适应性的良好。

综合对比表 6-9 和表 6-10 可知，两种方案的源与荷符合实际情况，方案十在系统电压水平、无功功率分布及运行稳定性等方面均表现出明显优势。方案五中存在节点 3 电压偏低、无功需求集中、功率因数较低等问题，而方案十通过优化电源与网络配置，有效改善了无功支撑能力，提高了负荷节点电压水平，使系统运行更加安全可靠。因此，从潮流分布和运行特性角度看，方案十更适合作为推荐运行方案。

关于电压质量水平，我们主要选择电压偏差的角度来考察，将系统最大电压偏差量作为评价指标，计算表达式如下：

$$\Delta U_{\max} = \max \frac{|U_i - U_N|}{U_N} \times 100\% \quad (6-10)$$

上式中，额定电压 $U_N = 220\text{kV}$ 。我们希望系统最大电压偏差量越小越好。

6. 3. 3 经济评价指标计算

本研究采用“年费用比较法”对方案的经济性进行评价。

年费用比较法是将参加比较的诸方案计算期的全部支出费用折算成等额年费用后进行比较的方法，电力工程经济分析中的年费用法的计算为：

$$AC_m = I_m \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + C'_m \quad (6-11)$$

其中， AC_m 是折算到工程建成年的年费用， I_m 是工程建成年的总投资， C'_m 是折算到工程建成年的运营成本， $i = 0.1$ 是电力工业基准收益率， $n = 25$ 年为计划期。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

取损耗电能电价 $\Delta\alpha = 0.5 \text{ 元}/\text{kWh}$ ，检修维护费率 $\alpha_1 = 0.05$ ，折旧率 $\alpha_2 = 0.04$ ，最大负荷损耗时间为 τ_{max} ，最大负荷时功率损耗为 ΔP_{max} ，则：

$$C'_m = \alpha \Delta W + (\alpha_1 + \alpha_2) I_m \quad (6-12)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=i+1}^5 \Delta P_{ij \cdot max} \tau_{ij \cdot max} \quad (6-13)$$

$$I_m = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=i+1}^5 d_{ij} f_{ij} [1 + \zeta_{ij} (a_{ij} - 1)] \xi_{ij} \quad (6-14)$$

上述 ξ 为架空输电线的同杆双回单位造价提升百分比， ζ 为架空输电线的同杆双回单位造价提升百分比。

各方案中所选架空输电线单位投资指标见表 6-11：

表 6-11 架空输电线路单位投资指标

输电线型号	单回单位造价指标	同杆双回单位造价指标
LGJ-400	60 万元/公里	+20%

线路的年最大负荷利用小时数 T_{max} 在“节 6.2”中已得出。220kV 线路功率因数则取 0.9。

结合任务指导书中 τ_{max} 与线路的年最大负荷利用小时数 T_{max} ， $\cos\varphi$ 的关系可知两方案中各线路最大负荷损耗时间 τ_{max} 如表 6-12：

表 6-12 线路最大负荷损耗时间

方案五			方案十		
起点	终点	τ_{max}/h	起点	终点	τ_{max}/h
A	1	4100	2	1	4100
S	1	4100	A	2	3400
A	2	3400	S	1	4100
S	2	3400	3	2	3400
A	3	3500	A	2	3400
S	3	3500	S	2	3400

课程设计用纸

教师批阅

—	—	A 3 3500
---	---	----------

我们希望方案折算到工程建成年的年费用越小越好。

6.3.4 方案综合评价

“方案十”的技术评价指标和经济评价指标结果如表 6-13:

表 6-13 技术评价指标和经济评价指标结果

方案五	方案十
$\Delta U_{\max} \%$	AC_m (千元)
14.4949	303781
16.0681	392042

将表 6-13 结果用柱状图表示为图 6-3:

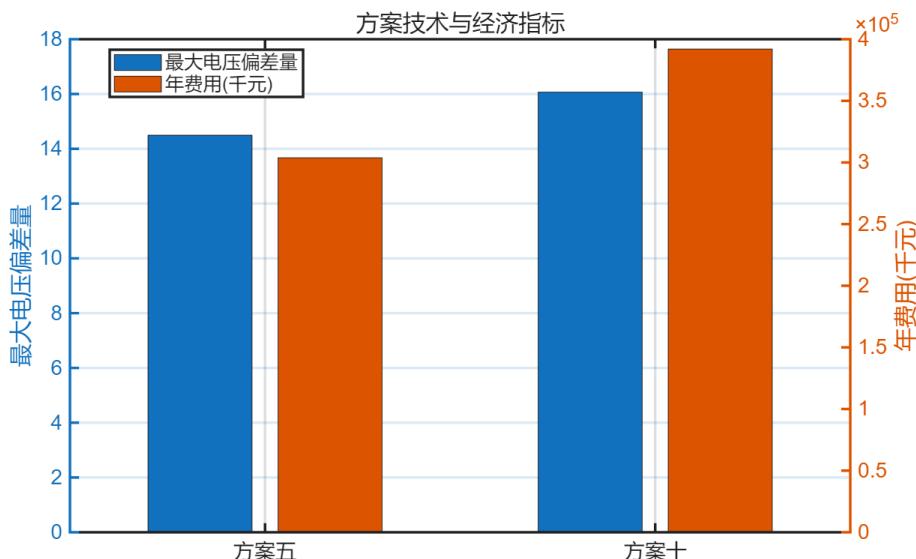


图 6-3 方案五与方案十技术和经济评价指标

除此两个指标外，还可综合考虑电压越限，相位偏移，功率损耗。本研究选择 PCA (Principal Component Analysis, 主成分分析) 对方案进行综合评价，过程如下：

(1) 数据标准化

设原始数据矩阵 Q 为：

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix}$$

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

对原始数据进行处理，转化为标准化指标 \tilde{q}_{ij} ：

$$\bar{q}_{ij} = 1 - \frac{q_{ij} - \min_i q_{ij}}{\max_i q_{ij} - \min_i q_{ij}}$$
$$\tilde{q}_{ij} = \frac{\bar{q}_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$$

其中，

$$\mu_j = \sum_{i=1}^2 \bar{q}_{ij}$$
$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 (\bar{q}_{ij} - \mu_j)^2}{2-1}}$$

(2) 计算相关系数矩阵 \mathbf{R}

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^2 \bar{q}_{ki} \cdot \bar{q}_{kj}}{2-1}$$

(3) 计算相关系数矩阵 \mathbf{R} 的特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq 0$ ，和对应标准化特征向量 u_1, u_2 ，

由特征向量组成新的评价指标变量：

$$y_{i1} = u_{11} \tilde{q}_{i1} + u_{12} \tilde{q}_{i2}$$
$$y_{i2} = u_{21} \tilde{q}_{i1} + u_{22} \tilde{q}_{i2}$$

(4) 计算综合得分 Score：

$$\gamma_j = \lambda_j / \sum_{j=1}^2 \lambda_j$$
$$\text{Score}_i = \sum_{j=1}^2 \gamma_j y_{ij}$$

综合得分越大的方案越优。

依照上述流程用主成分分析法计算的方案综合得分为：

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

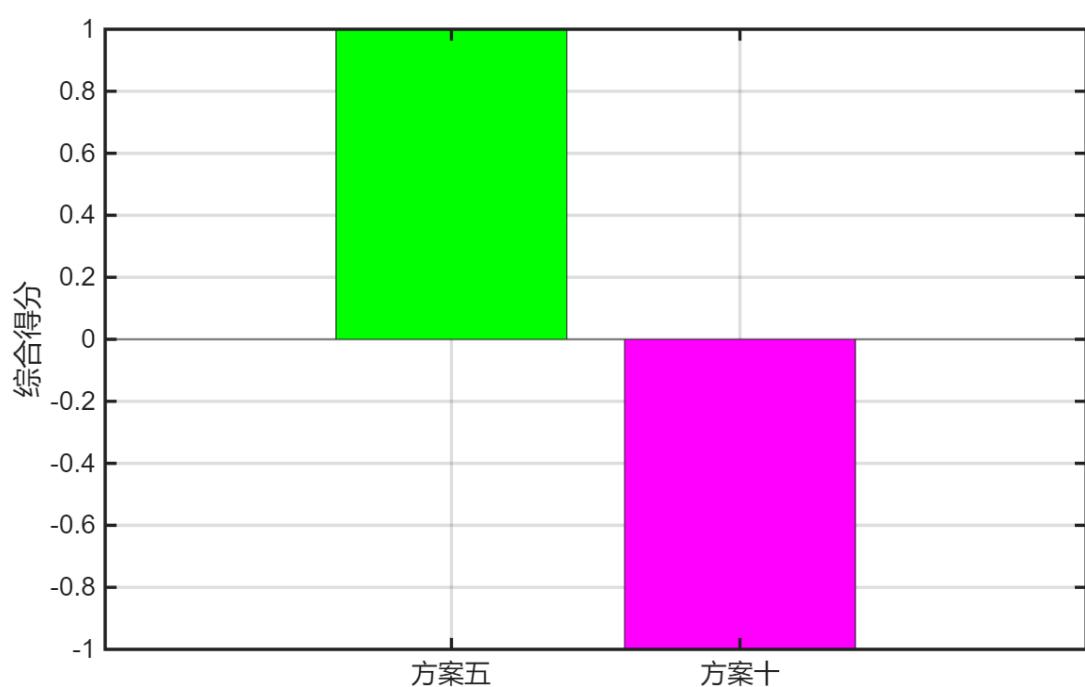


图 6-4 方案五与方案十主成分分析综合得分

综上所述，我们最终选择“方案五”作为电网规划接线方案，进行后续工作。

课程设计用纸

教师批阅

七. 变压器的选择和计算

7.1 变压器的型号选择

通常，发电厂主变压器至少两台，降压变电所主变压器一般按两台考虑，图 7-1 为本设计的加上变压器以后的系统电力接线图。

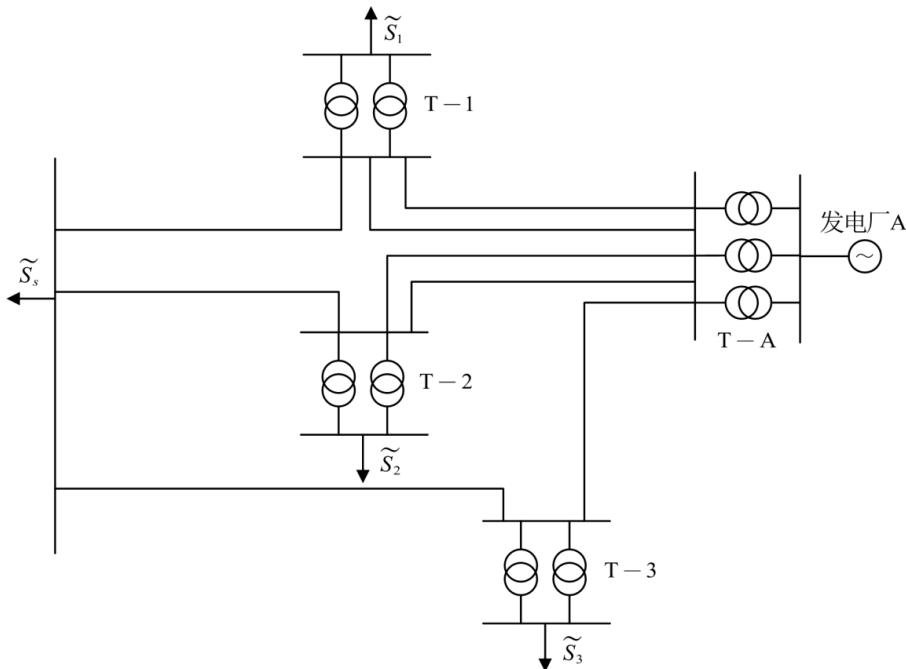


图 7-1 方案五加上变压器后的系统电力接线图

变压器额定容量的选择方式往往为以下两种：

(1) 根据变电所最大负荷容量选择

已知第 i 个变电所的最大负荷容量 $S_{L_{max},i}$ ，若变电所为双变压器设计，则为第 i 个变电所的变压器额定容量 S_{TNi} 满足：

$$S_{TNi} = 70 S_{L_{max},i} \quad (7-1)$$

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

(2) 根据容载比选择

变电所主变压器容量按容载比等于 1.8 考虑，即：

课程设计用纸

教师批阅

$$S_{TN_i} = 1.8P_{L_{max},i} \quad (7-2)$$

对于降压变电所，我们根据变电所最大负荷容量对降压变压器进行容量选择，皆采用同型号双变压器并联的形式，则三个变电所变压器理想额定容量结合各自最大负荷按照式(7-1)计算即可。

对于发电厂 A，我们根据容载比选择其升压变压器容量，其供电负荷 $P_{L_{max},i}$ ($i = 3, 4$) 计算公式如下：

$$P_{L_{max},i} = (1 - k_{3i}) (P_{GN,i} - P_{z,i}) \quad (7-3)$$

变电所 1, 2, 3 以及发电厂 A 所选变压器理想额定容量如表 7-1 所示：

表 7-1 变电所 1, 2, 3 以及发电厂 A 所选变压器理想额定容量

节点	1	2	3	A
理想额定容量	236.25	214.12	217.78	975.6

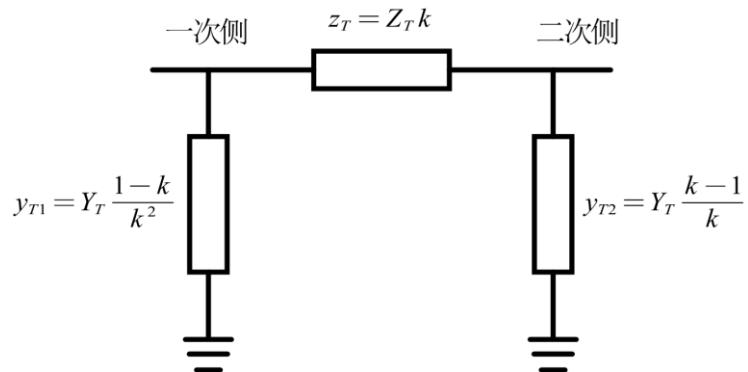
根据《中华人民共和国国家标准——油浸式电力变压器技术参数和要求》，本研究选择需要的变压器参数如下：

变电所 1, 2, 3 主变：SFP10-300000/220, 242/10.5kV, YNd11, $U_k \approx 12\%-14\%$, $P_0 \approx 217\text{ kW}$, $P_k \approx 774\text{ kW}$, $I_0 \approx 0.38\%$, OLTC ($\pm 8 \times 1.25\%$)。

发电厂 A 升压主变：SFP10-360000/22, 220/20kV, YNd11, $U_k \approx 12\%-14\%$, $P_0 \approx 189\text{ W}$, $P_k \approx 675\text{ kW}$, $I_0 \approx 0.38\%$ 。

7.2 变压器的参数计算

7.2.1 变压器 Δ 型等值电路参数计算



课 程 设 计 用 纸

教师批阅

图 7-2 变压器 II型等值电路模型

图 7-3 为变压器型等值电路模型，其参数计算规则如下：

$$R_T = \frac{P_k U_N^2}{1000 S_N^2} \quad (7-4)$$

$$X_T = \frac{U_k U_N^2}{100 S_N} \quad (7-5)$$

$$Z_T = R_T + jX_T, Y_T = 1/Z_T \quad (7-6)$$

$$k = U_I / U_H \quad (7-7)$$

上式中， S_N 为变压器额定容量(MW)， U_N 为变压器低压侧额定电压， U_I ， U_H 分别为变压器一、二次侧实际电压， P_k 为短路损耗(kW)， $U_k\%$ 为短路电压百分比。

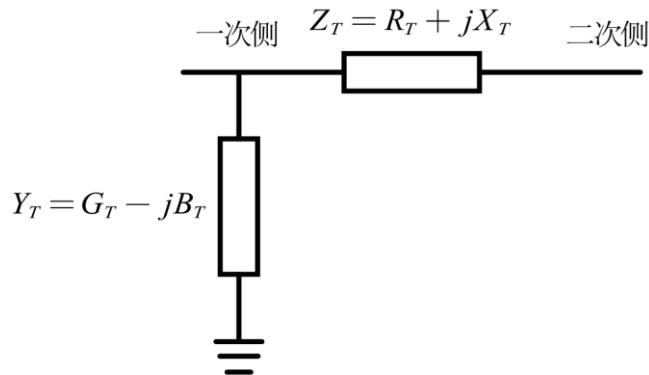
各变压器 II型等值电路参数计算结果如表 7-2：

表 7-2 变压器 II型等值电路模型参数(额定变比)

	$z_T (\Omega)$	$y_{T1} (S)$	$y_{T2} (S)$
T-1	0.0219+j1.1011	-0.0172+j0.8684	0.3972-j20.0154
T-2	0.0219+j1.1011	-0.0172+j0.8684	0.3972-j20.0154
T-3	0.0219+j1.1011	-0.0172+j0.8684	0.3972-j20.0154
T-A	0.0132+j0.9176	-0.0151+j1.042	0.3465-j24.0229

7.2.2 变压器 Γ 型等值电路参数计算

变压器 Γ 型等值电路模型如图 7-3：



课 程 设 计 用 纸

教师批阅

图 7-3 变压器 Γ 型等值电路模型

其阻抗支路参数由式(7-4)与(7-5)确定，导纳支路参数为：

$$G_T = \frac{P_0}{1000U_N^2} \quad (7-8)$$

$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{100U_N^2} \quad (7-9)$$

上式中， S_N 为变压器额定容量(MW)， U_N 为变压器高压侧额定电压， P_0 为空载损耗(kW)， $I_0\%$ 为空载电流百分比。

各变压器 Γ 型等值电路参数计算结果如表 7-3：

表 7-3 变压器 Γ 型等值电路模型参数(额定变比)

	$R_T (\Omega)$	$X_T (\Omega)$	$G_T (S)$	$B_T (S)$
T-1	0.5037	25.3777	3.7054×10^{-6}	1.9466×10^{-5}
T-2	0.5037	25.3777	3.7054×10^{-6}	1.9466×10^{-5}
T-3	0.5037	25.3777	3.7054×10^{-6}	1.9466×10^{-5}
T-A	0.3051	21.1481	3.2272×10^{-6}	2.3359×10^{-5}

课程设计用纸

教师批阅

八. 电力系统潮流计算

8.1 最大运行方式潮流计算

由于系统的完善和电气设备的增多, 我们对方案所示电力系统中的电气节点重新编号如下图所示:

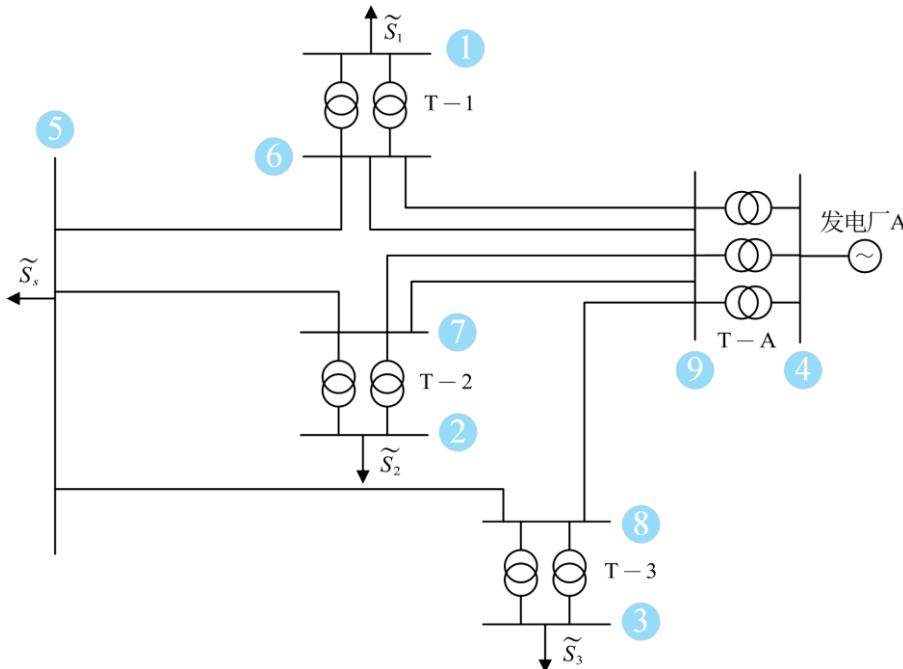


图 8-1 电气节点重新编号图

在进行最终选定方案的潮流计算中, 无穷大电源系统 S 设为平衡节点, 电压相量设为 $220\angle0^\circ\text{kV}$; 发电厂 A 设为 PV 节点, 电压幅值为 20kV , 潮流计算中设置为 1.1 倍额定电压, 发出有功功率为 $2*P_{GN}$; 其余节点均视为 PQ 节点。

同理, 根据式(5-9)–(5-16), 使用“牛顿——拉夫孙迭代法”可得系统最大运行方式下潮流分布如表 8-1 与表 8-2:

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

表 8-1 最大运行方式各节点潮流参数(实际值)

方案五

节点编号	电压幅值 归算(kV)	电压相角 (deg)	注入有功 功率(MW)	注入无功 功率 (MVar)	功率因数
1	8.8200	-8.328	-270.00	-202.50	0.80
2	9.6495	-7.084	-260.00	-125.92	0.90
3	9.1035	-8.853	-280.00	-173.52	0.85
A	22.0000	8.995	+542.00	+384.47	0.82
S	220.0000	0.000	+297.16	+189.16	0.84

表 8-2 最大运行方式各支路潮流参数

起点	终点	有功损耗 (MW)	无功损耗 (MVar)	传输有功功 率(MW)	传输无功功 率(MVar)
1 低压侧	1 高压侧	0.838	42.22	270.84	243.28
2 低压侧	2 高压侧	0.513	25.86	260.51	150.12
3 低压侧	3 高压侧	0.749	37.74	280.75	209.74
A 低压侧	A 高压侧	1.153	79.92	-540.85	-307.11
S	3 高压侧	2.510	13.24	-101.16	-97.24
3 高压侧	A 高压侧	6.262	33.04	185.85	105.09
S	2 高压侧	1.162	6.13	-83.97	-65.23
2 高压侧	A 高压侧	4.433	23.39	180.98	71.71
S	1 高压侧	4.934	15.04	-103.43	-108.02
1 高压侧	A 高压侧	6.608	34.86	174.02	130.31

此时发电厂 A 有 2 台机组以额定输出功率提供有功出力，它们都以 0.82 的功率因数运行。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

8.2 最小运行方式潮流计算

表 8-3 最小运行方式各节点潮流参数(实际值)

方案五					
节点编号	电压幅值 归算(kV)	电压相角 (deg)	注入有功 功率(MW)	注入无功 功率 (MVar)	功率因数
1	10.5105	2.000	-95.00	-71.25	0.80
2	10.668	2.540	-85.00	-41.17	0.90
3	10.5735	2.195	-90.00	-55.77	0.85
A	22.0000	16.125	+588.00	+157.52	0.97
S	220.0000	0.000	-299.01	-91.94	0.96

表 8-4 最小运行方式各支路潮流参数

起点	终点	有功损耗 (MW)	无功损耗 (MVar)	传输有功功 率(MW)	传输无功功 率(MVar)
1 低压侧	1 高压侧	0.072	3.65	95.07	72.98
2 低压侧	2 高压侧	0.045	2.25	85.04	41.45
3 低压侧	3 高压侧	0.057	2.87	90.06	56.70
A 低压侧	A 高压侧	0.966	66.98	-587.03	-93.21
S	3 高压侧	1.144	6.04	94.12	-3.93
3 高压侧	A 高压侧	4.341	22.90	188.52	29.17
S	2 高压侧	1.563	8.24	117.09	8.03
2 高压侧	A 高压侧	4.509	23.79	206.65	32.41
S	1 高压侧	1.777	5.42	92.28	-18.75
1 高压侧	A 高压侧	4.516	23.86	191.87	31.63

此时发电厂 A 有 2 台机组以额定输出功率提供有功出力，它们都以 0.97 的功率因数运行。

课程设计用纸

教师批阅

九. 无功平衡与调压计算

9.1 无功补偿及功率因数调整

根据 SD325-89《电力系统电压和无功电力技术导则》规定，220kV 电压级变电所，在主变压器最大负荷时，二次侧功率因数应在 0.95~1.00，此外，无功电源安装总容量应大于电网最大自然无功负荷，一般可取 1.15 倍，即：

$$\sum Q_{GN} > 1.15 \sum Q_{LN} \quad (9-1)$$

结合相关数据计算知：

表 9-1 无功平衡计算结果

参数	数值
总无功容量	510
总无功负荷	554.44
无功功率盈亏	510-554.44*1.15=127.61

由此可见，目前系统无功电源容量不足。据《电力系统电压和无功电力技术导则》，此时应优先选择并联电容器，且主张“就地补偿”。

依照原始资料要求，变电所 1 的功率因数应达到 0.80，变电所 2 的功率因数应达到 0.90，变电所 3 的功率因数应达到 0.85。记变电所 1、变电所 2 及变电所 3 分别在最大、最小负荷时为达到要求功率因数所需补充的无功电源容量分别为 Q_{C1}^{\max} ， Q_{C2}^{\max} ， Q_{C3}^{\max} 和 Q_{C1}^{\min} ， Q_{C2}^{\min} ， Q_{C3}^{\min} ，以及在最大、最小运行方式下，为满足系统无功功率平衡，还应在系统 S 处补充的无功电源容量分别为 Q_{CS}^{\max} ， Q_{CS}^{\min} ，则有：

$$Q_{Ci}^{\max} = P_{L\max \cdot i} [\tan(\arccos \varphi_i^{\max}) - \tan(\arccos \phi_i)] \quad (9-2)$$

$$Q_{Ci}^{\min} = P_{L\min \cdot i} [\tan(\arccos \varphi_i^{\min}) - \tan(\arccos \phi_i)] \quad (9-3)$$

$$Q_{CS}^{\max} = 1.15 \sum Q_{L\max \cdot i} - \sum Q_{GN} - \sum Q_{Ci}^{\max} \quad (9-4)$$

$$Q_{CS}^{\min} = 1.15 \sum Q_{L\min \cdot i} - \sum Q_{GN} - \sum Q_{Ci}^{\min} \quad (9-5)$$

其中， $\varphi_i^{\max}, \varphi_i^{\min}$ 分别为变电所 i 在最大最小负荷时现有的功率因数角， ϕ_i 为变电

课程设计用纸

教师批阅

所*i*需要调整到的功率因数角。若对变电所进行无功补偿以后，系统总无功电源充足了，则 $Q_{CS}^{max} = 0$ 或 $Q_{CS}^{min} = 0$ 。

9.2 变电所电压调节

变电所*i*等值电路如图 9-1 所示：

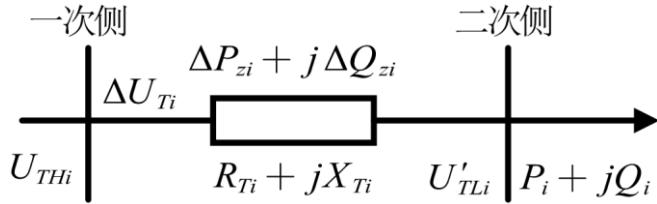


图 9-1 变电所*i*等值电路

则有：

$$\Delta U_{Ti} = \frac{\Delta P_{zi} R_{Ti} + \Delta Q_{zi} X_{Ti}}{U_{THi}} \quad (9-6)$$

$$U'_{TLi} = U_{THi} - \Delta U_{Ti} \quad (9-7)$$

其中， U_{THi} 为变压器一次侧电压， U'_{TLi} 为变压器二次侧电压归算至高压侧后的值。

由原始数据可得表 9-2：

表 9-2 最大最小负荷时变电所电压

	最大负荷电压 $U_{i\max}$ (kV)	最小负荷电压 $U_{i\min}$ (kV)
变电所 1(常)	10	10
变电所 2(逆)	10.5	10
变电所 3(顺)	10.25	10.75
发电厂 A(逆)	21	20

设最大、最小负荷时变电所*i*应该选择的高压绕组分接头电压分别为 $U_{ti\max}, U_{ti\min}$ ，高压绕组分接头电压为 U_i ，则各电压理想值满足：

$$k_{\max} = \frac{U_{ti\max}}{U_{2N}} = \frac{U'_{TLi\max}}{U_{i\max}} \quad (9-8)$$

课程设计用纸

教师批阅

$$k_{min} = \frac{U_{timin}}{U_{2N}} = \frac{U'_{TLimin}}{U_{imin}} \quad (9-9)$$

$$U_{ti} = \frac{U_{tmax} + U_{tmin}}{2} \quad (9-10)$$

计算可得表 9-3:

表 9-3 高压绕组理想分接头电压

	变电所 1	变电所 2	变电所 3	发电厂 A
U_{tmax} (kV)	231.00	220.00	225.37	209.52
U_{tmin} (kV)	231.00	231.00	215.35	220.00
U_t (kV)	231.00	225.5	220.36	214.76

由于选择的主变额定高压绕组电压为 242 kV，分接步长 1.25%，档位系数 $n=-8 \sim +8$ 。所以每档电压为：

$$U_{tap} = 242 \times (1 + 0.0125n)$$

得出最终分接头如表 9-4:

表 9-4 高压绕组理想分接头选定表

站点	U_t (kV)	额定高压	选定档位	U_{tap} (kV)	误差
变电所 1	231.00	242	-4	229.900	1.100
变电所 2	225.50	242	-5	226.875	1.375
变电所 3	220.36	242	-7	220.825	0.465
发电厂 A	214.76	220	-2	214.500	0.260

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

十. 结论

1.规划对象与约束明确: 针对拟建火电厂 A、变电所 1/2/3 及无穷大电源系统 S 构成的 220kV 主网架规划问题，在满足 N-1 与安全稳定要求前提下，需统筹网架结构、供电可靠性与技术经济性，形成可实施且具扩展性的主网架建设方案。

2.功率平衡结论: 最大负荷条件下，区域内电源仅靠火电厂 A 难以完全覆盖负荷与备用需求，系统存在明显外部受电需求，必须依托无穷大电源系统 S 通过联络线提供支撑，以保证规划期供电能力与备用标准。

3.接线方案比选结论: 通过构建综合考虑电能质量、线路投资与线路损耗的方案对比模型，并结合潮流计算对十套候选接线进行筛选，形成最终的方案五网架接线方案；该方案在综合指标上更均衡，具备较好的运行维护灵活性与后续扩展适应性。

4.潮流校核结论: 在最大/最小运行方式下，采用牛顿—拉夫孙法完成潮流计算，得到各节点电压与支路功率分布数据，为线路与变压器容量配置提供了可量化依据；计算结果能够支撑推荐方案在典型运行方式下的可运行性验证。

5.无功与电压控制结论: 按 220kV 电压等级无功与功率因数控制要求进行无功平衡核算后，系统无功电源容量不足，应优先采用“就地补偿”的并联电容器配置思路，提高负荷侧功率因数并改善电压水平；同时依据各站调压方式与电压目标，确定主变有载调压分接头档位，以满足最大/最小负荷电压需求并降低电压偏差。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

十一. 致谢

为其两周的电网规划课程设计将要在写完致谢时落下尾声。电力系统稳态分析的电网规划课设是我在本科阶段以来的第一次正式的课程设计。这次课设提供了一个较真实具体环境，让我们从 0 开始对一个地区进行电网规划推荐方案设计，将我们所学理论知识综合运用到了实际工程环境中，意

义和作用极大。本次电网规划设计报告的过程中，我们深入研究了基于潮流计算的电力系统设计问题，着重关注供电的可靠性和系统的经济性。这一设计过程涉及到多个关键步骤，从初步接线方案设计到最终方案的确定，贯穿了多个决策和优化环节。在整个规划设计的过程中，我们不仅仅是面对电力系统技术细节，更是通过综合考虑多个指标，如技术指标与经济指标，以及最大电压偏移量和年费用等，达成了全局性的优化。这种宏观的设计理念是我们在课程学习中不断强调的，通过综合考虑各种因素，达到系统性能的最佳平衡点。

整个规划设计的过程也让我深刻体会到电力系统工程的复杂性。在设计中，我们不仅要充分理解电力系统的工程原理，还需要运用数值计算和最优化方法，以科学而系统的方式解决问题。这种综合性的思维方式是对我们工程专业学习的一次深刻锻炼。

另外，通过这次设计，我对电力系统的可行性和优越性有了更深刻的认识。电力系统的规划设计不仅仅是一种工程问题，更是一项需要综合考虑社会、经济、环境等多个因素的复杂任务。在未来的职业生涯中，我将更加注重宏观层面的思考，不仅要解决眼前的问题，更要为系统的长远发展着想。总体而言，这次电网规划设计报告的经历让我受益匪浅。通过系统性的规划与设计，我更深刻地理解了电力系统工程的本质，也培养了在未来工程实践中需要的全局性思考和解决问题的能力。这次经历将成为我职业发展道路上宝贵的财富。

最后，感谢老师的细致悉心地指导，以及组长、组员的协同帮助，谢谢大家的鼓励与支持！

课 程 设 计 用 纸

参考文献

教师批阅

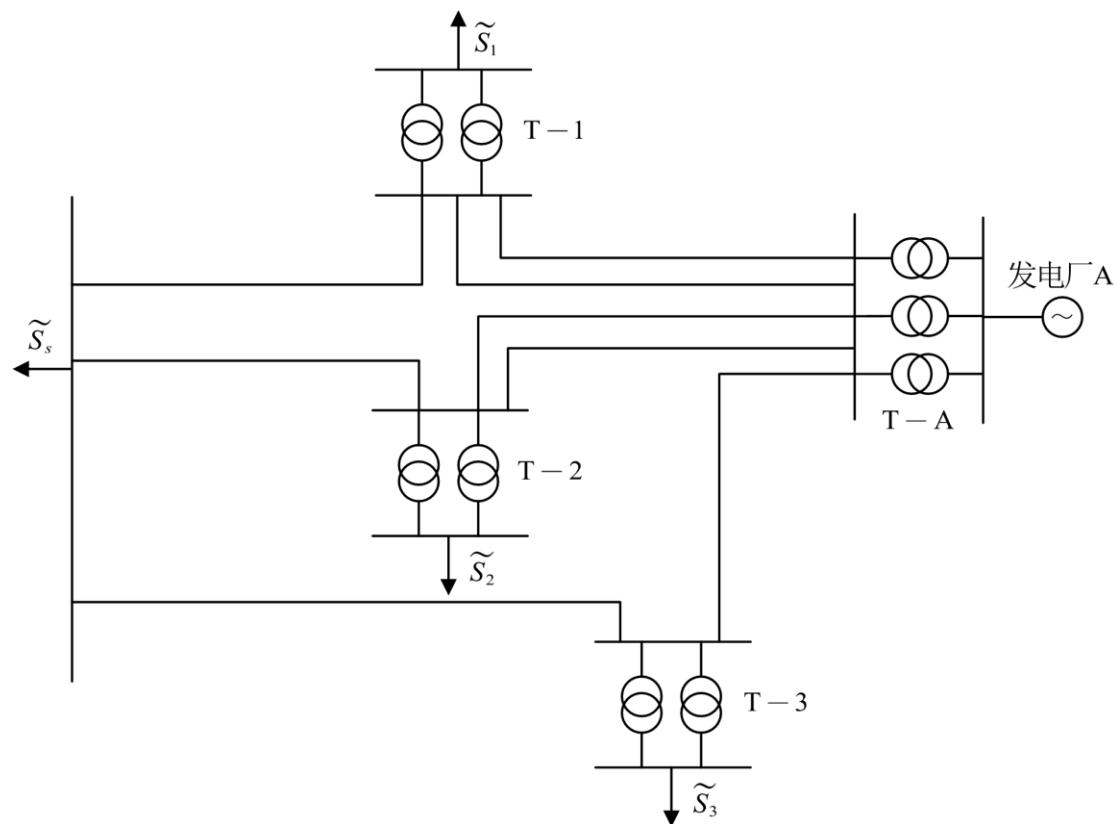
- [1] 电力工业部电力规划设计总院. 电力系统设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 陈珩. 电力系统稳态分析(第四版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 曹绳敏. 电力系统课程设计及毕业设计参考资料[M]. 南京: 东南大学出版社, 1995.
- [4] 中华人民共和国水利电力部. 电力工程概算指标[M]. 长春: 水利电力出版社, 1976.
- [5] 祝淑萍, 段慧达, 姚欣. 电力系统分析课程设计与综合实验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [6] 水利电力部. 电力系统安全稳定导则[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [7] 水利电力部. 电力工程设计手册[M]. 北京: 人民出版社, 1972.
- [8] 常用电力线路阻抗表 [EB/OL]. (2023-12-18)[2026-01-09].
https://wenku.baidu.com/view/eedad3985ad02de80d5d840b8.html?_wkts_=1703000541591.
- [9] 国家电网公司. 电力系统电压和无功电力技术导则: GB/T 15576-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [10] 变压器标 准参 数 [EB/OL]. (2017-11-18)[2026-01-09].
<https://max.book118.com/html/2017/1118/140524586.shtml>.

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

附录

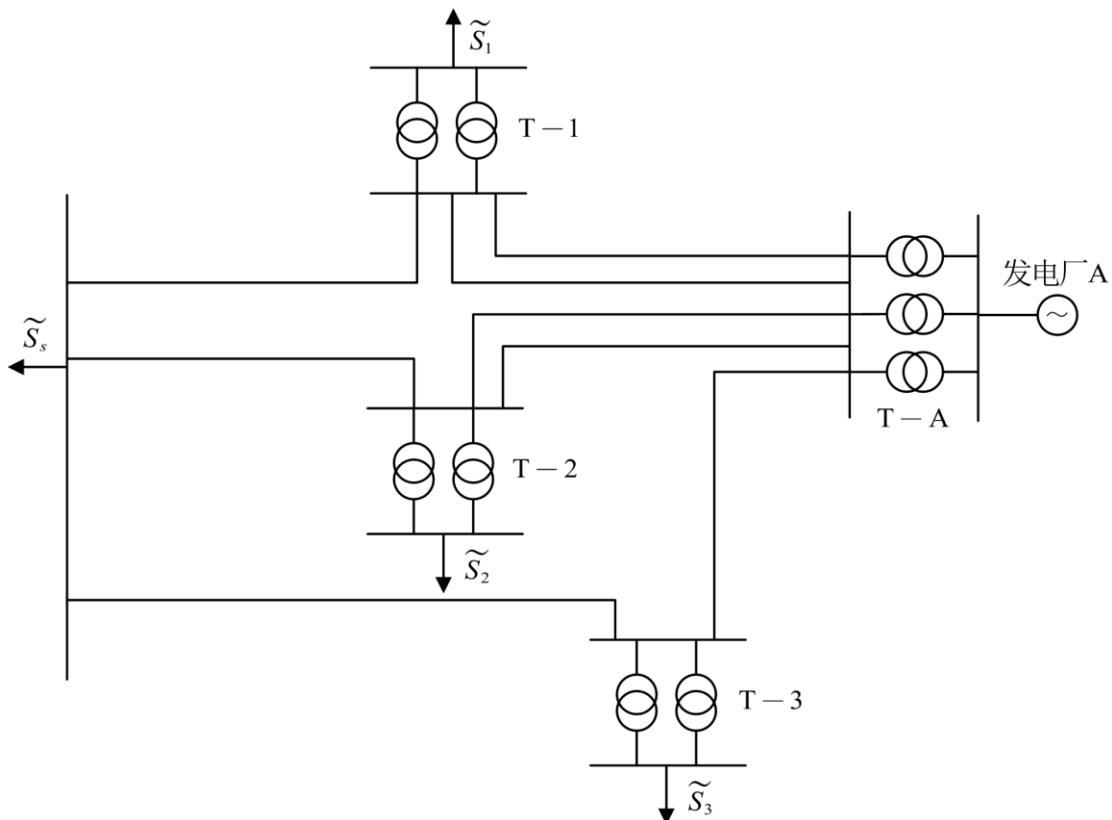
A. 最大运行方式潮流分布图



课 程 设 计 用 纸

教师批阅

B. 最小运行方式潮流分布图



课 程 设 计 用 纸

教师批阅

C. 建议和体会

1.关于指导书、任务书的建议

(1)在不同的任务书中，发电厂的种类不同，特性也不同，但都只有单一的发电厂类型，在新能源高速发展下，希望可以在任务书中多多结合新能源发电与新型储能，并且以合适的方式管理数据和参数，以便于同学们对电力前沿发展的学习。

(2)可以在指导书中加入一些评价类、优化类算法的介绍，用于解决多指标评价问题。前期的初步接线方案筛选部分可以当作一个优化问题采用计算机求解。

2.心得体会

此次电网规划课程设计，赶上两场期末考试与元旦假期，状况频出，感悟到打铁还需自身硬，对于任务要提前做好规划。

本次课设的 word 撰写，是比较得心应手的，此前写过多种报告，对于公式、图表以及排版处理有一定的经验。在模型建立方面，参考指导书与助教学长的建议。模型求解方面采用 Matlab 与 matpower，方便快捷。这次课设综合性很强的，调用和丰富了我各方面的积累，让我进一步体会到了“数学建模”在我们电气工程学科中的重要性。

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

D. 初步接线方案的选择程序 main1_1.m

```
% 初步接线方案的选择程序
clc,clear,close all
tic
format long g

%% =====
% 节点数量及距离矩阵初始化
%% =====
number_of_point = 5;
d = zeros(number_of_point);
d(1,2) = 130; d(1,3) = 260; d(1,4) = 160; d(1,5) = 160;
d(2,3) = 130; d(2,4) = 140; d(2,5) = 140;
d(3,4) = 160; d(3,5) = 160;
d(4,5) = 280;
d = d + d.'; % 对称化

%% =====
% 基础参数 (仅保留 A、负荷、Slack)
%% =====
S_A = 680 + 1j*510; % 发电厂 A 两台机组满载 (视为"总额定")
k3_A = 10/100; % 厂用电率 (只扣 P)

S_S = 0 + 0j;
S1_min = 95 + 1j*71.25;
S2_min = 85 + 1j*41.17;
S3_min = 90 + 1j*55.77;
SA_min = 24 + 1j*18;
S1_max = 270 + 1j*202.5;
S2_max = 260 + 1j*125.92;
S3_max = 280 + 1j*173.52;
SA_max = 70 + 1j*52.5; % A 点直配负荷 (注意: 这是负荷, 不是发电出力)

% ===== 负荷 (正值表示负荷) =====
Pd1 = abs(real(S1_max)); Qd1 = abs(imag(S1_max));
Pd2 = abs(real(S2_max)); Qd2 = abs(imag(S2_max));
Pd3 = abs(real(S3_max)); Qd3 = abs(imag(S3_max));
PdA_load = abs(real(SA_max)); QdA_load = abs(imag(SA_max));

% ===== Slack (无穷大系统) 负荷固定为 0 =====
PdS = 0; QdS = 0;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
%% =====
% 阻抗及基准值
%% =====
z1 = 0.05 + 1j*0.4;
Z_all = z1 .* d;

SB = 100;
UB = 220;
ZB = UB.^2 ./ SB;

% 清理无用变量
clear S1_min S2_min S3_min S1_max S2_max S3_max SA_max

%% =====
% 结果表格初始化 (10 个方案, 3 类指标)
%% =====
Table = zeros(10,3);

% 仅两种工况权重 (A 两台满发 / A 一台满发)
alpha = [0.7; 0.3];

%%% 方案 1 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额" (两台 / 一台)
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xlsh] = Plan_1( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
DNZL(qk) = dnzl;
XLTZ(qk) = xltz;
XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(1,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(1,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(1,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 2 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_2( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnzl;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(2,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(2,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(2,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 3 计算
DNZL = zeros(2,1);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力（P 扣厂用电，Q 不扣）
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_3( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnzl;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(3,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(3,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(3,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 4 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力（P 扣厂用电，Q 不扣）
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
[dnzl, xltz, xlsh] = Plan_4( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d);

DNZL(qk) = dnl;
XLTZ(qk) = xltz;
XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(4,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(4,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(4,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 5 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_5( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnl;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(5,1) = dot(alpha,DNZL);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
Table(5,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(5,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 6 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力（P 扣厂用电，Q 不扣）
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_6( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnlz;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(6,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(6,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(6,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 7 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
QdA = imag(SA_case);

% 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
[dnzl, xltz, xlsh] = Plan_7( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d);

DNZL(qk) = dnzl;
XLTZ(qk) = xltz;
XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(7,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(7,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(7,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 8 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额" (两台 / 一台)
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_8( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnzl;
    XLTZ(qk) = xltz;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(8,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(8,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(8,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 9 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];

for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力（P 扣厂用电，Q 不扣）
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_9( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnlz;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(9,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(9,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(9,3) = dot(alpha,XLSH);

%%% 方案 10 计算
DNZL = zeros(2,1);
XLSH = zeros(2,1);
XLTZ = zeros(2,1);
% 两种工况下 A 的"视在功率总额"（两台 / 一台）
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
for qk = 1:2
    SA_case = SA_case_list(qk);

    % A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
    PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
    QdA = imag(SA_case);

    % 调用 Plan_1 (Slack 负荷置 0)
    [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_10( ...
        Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
        Z_all, ZB, UB, SB, ...
        PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
        number_of_point, d);

    DNZL(qk) = dnzl;
    XLTZ(qk) = xltz;
    XLSH(qk) = xlsh;
end

Table(10,1) = dot(alpha,DNZL);
Table(10,2) = dot(alpha,XLTZ);
Table(10,3) = dot(alpha,XLSH);

figure
x = (1:10).';
x_filter = x([1:10]); % 过滤后的方案编号
table_filter = Table([1:10],1); % 过滤后的技术指标数据
plot(x_filter, table_filter, '-ob', 'LineWidth', 1.5) % 仅画 1-3、5-10 号
方案
xticks(1:10) % 刻度仍显示 1-10 (保持坐标轴完整)
labels = {'1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'};
xticklabels(labels)
grid on
box on
title('技术指标')
set(gca, 'LineWidth', 1.15, 'FontSize', 13);
xlabel('方案编号')
ylabel('电能质量(10^9·mVA)')

%% 先定义公共参数 (避免重复)
x = (1:10).'; % 原始 10 个方案编号
labels = {'1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'}; % 完整刻度标签
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% 核心: 定义过滤索引 (跳过第四个点, 保留 1-3、5-10)
filter_idx = [1:10];
x_filter = x(filter_idx); % 过滤后的方案编号 (无方案 4)

%% 经济指标图 (双轴: 线路投资 + 线路损耗, 不跳过方案 4)
% 假设 Table 为 Nx3, 且这里 N=10:
% Table(:,1)=power(技术指标/等你定义), Table(:,2)=investment,
% Table(:,3)=loss

% x 轴与标签 (如果你前面已经定义过, 可注释/删除这两行定义)
x = 1:size(Table,1); % 默认 1~N (这里应为 1~10)
labels = arrayfun(@num2str, x, 'UniformOutput', false);

figure
% ===== 左侧 y 轴: 线路投资 (不跳过方案 4) =====
yyaxis left
plot(x, Table(:,2), '-o', "LineWidth", 1.5)
title('经济指标')
xlabel('方案编号')
ylabel('线路投资(km)')
xticks(1:10) % 若不是 10 个方案, 可改为
xticks(1:numel(x))
xticklabels(labels)
grid on
set(gca, 'LineWidth', 1.5, 'FontSize', 13.5)

% ===== 右侧 y 轴: 线路损耗 (不跳过方案 4) =====
yyaxis right
plot(x, Table(:,3), '-.', "LineWidth", 1.5, "Marker", "diamond")
ylabel('线路损耗( $10^{15} \cdot mV^2 A^2$ )')
set(gca, 'LineWidth', 1.5, 'FontSize', 13.5)

%% 第二个经济指标图 (双轴: 不跳过方案 4, 保持逻辑一致)
figure
% ===== 左侧 y 轴: 线路投资 (不跳过方案 4) =====
yyaxis left
plot(x, Table(:,2), '-o', "LineWidth", 1.5)
xlabel('方案编号')
xticks(1:10) % 若不是 10 个方案, 可改为
xticks(1:numel(x))
xticklabels(labels)
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
grid on
set(gca, 'LineWidth', 1.5, 'FontSize', 13.5)

% ===== 右侧 y 轴: 线路损耗 (不跳过方案 4) =====
yyaxis right
plot(x, Table(:,3), '- ', "LineWidth", 1.5, "Marker", "diamond")
ylabel('线路损耗( $10^{15} \cdot mV^2 A^2$ )')
set(gca, 'LineWidth', 1.5, 'FontSize', 13.5)

%% 候选方案: 不跳过 4 (全部方案参与)
candidate_idx = 1:size(Table,1);

% 只取候选数据 (此处等价于全表)
T = Table(candidate_idx, :);      % T(:,1)=power, T(:,2)=investment,
T(:,3)=loss

%% ----- 技术指标: 最小 (在全部方案里比)
[DNZL_MIN, loc] = min(T(:,1));
IND = candidate_idx(loc);         % 映射回原表行号 (此处与 loc 一致)

%% ----- 经济指标: 归一化 (在全部方案里算 min/max)
power = (T(:,1) - min(T(:,1))) / (max(T(:,1)) - min(T(:,1)));
investment = (T(:,2) - min(T(:,2))) / (max(T(:,2)) - min(T(:,2)));
loss = (T(:,3) - min(T(:,3))) / (max(T(:,3)) - min(T(:,3)));

toc

%%%%%%%%%%%%%
%%
% 辅助函数: 参数计算函数
%%%%%%%%%%%%%
%%
function [dnzl,xltz,xlsh] =
canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point)
S = zeros(number_of_point);
qidian = Branch_Loss(:,1);
zhongdian = Branch_Loss(:,2);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
n = length(qidian);
for i = 1:n
    S(qidian(i),zhongdian(i)) = ...
        sqrt((Branch_Loss(i,3)).^2+(Branch_Loss(i,4)).^2);
end
dnzl = max(max(d.*f.*S./a));
xlsh = sum(d.*f.*S.*S./a,'all');
xltz = sum(d.*f.*a,'all')/2;
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 辅助函数: 潮流计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc)
Power_flow_result = runpf(mpc,moption('pf.nr.max_it',100));
U = Power_flow_result.bus(:,8);
theta = Power_flow_result.bus(:,9);

% 节点注入功率-->输入节点为+,输出为负
AA = zeros(size(Power_flow_result.bus,1),1);
BB = AA;
idx = (Power_flow_result.bus(:,2)~=1);
number = Power_flow_result.bus(idx,1);
AA(number) = Power_flow_result.gen(:,2);
BB(number) = Power_flow_result.gen(:,3);
P = AA - Power_flow_result.bus(:,3);
Q = BB - Power_flow_result.bus(:,4);

% 支路损耗: 起点,终点,有功网损, 无功网损
Branch_Loss = [
    Power_flow_result.branch(:,1),Power_flow_result.branch(:,2),...
    Power_flow_result.branch(:,14)+Power_flow_result.branch(:,16),...
    Power_flow_result.branch(:,15)+Power_flow_result.branch(:,17)];
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 方案 1 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_1( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point); % 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
];

% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-4 (匹配 f(1,4)=1)
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-5 (匹配 f(1,5)=1)
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%%
% 方案 2 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_2( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point); % 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs area Vm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组：f 矩阵定义的 6 条有效支路，按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-4 (匹配 f(1,4)=1)
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 方案 3 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_3( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-4 (匹配 f(1,4)=1)
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnz1,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%% 方案 4 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%%

function [dnz1, xltz, xlsh] = Plan_4( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point); % 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,4) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
a(1,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';

% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation/mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 方案 5 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_5( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,4) = 2;
a(2,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnlz1,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%
%%
% 方案 6 计算函数
%%%%%%%%%%%%%
%%
function [dnlz1, xltz, xlsh] = Plan_6( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入 (无穷大电源专属配置)
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源 (核心修改)
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
];
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%%
% 方案 7 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_7( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point); % 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,2) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnz1,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%
%%
% 方案 8 计算函数
%%%%%%%%%%%%%
%%
function [dnz1, xltz, xlsh] = Plan_8( ...
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
Pd1, Pd2, Pd3, ...
Qd1, Qd2, Qd3, ...
Z_all, ZB, UB, SB, ...
PdA, QdA, ...
PdA_load, QdA_load, ...
number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(2,3) = 1;
a(1,4) = 2;
a(2,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组：f 矩阵定义的 6 条有效支路，按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 3 r(2,3) x(2,3) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
];

% 潮流计算与参数计算
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%%
% 方案 9 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%%%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_9( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point); % 全 1 矩阵，节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接：f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(2,3) = 1;
a(1,4) = 2; a(1,5) = 2;
a(2,4) = 2; a(2,5) = 2;
f = f + f.';
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
a = a + a.';  
% 计算标幺值阻抗矩阵  
z = Z_all./a./f./ZB;  
z(1:length(z)+1:end) = 0;  
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);  
r = real(z);  
x = imag(z);  
  
% 构建潮流计算 MPC 结构体  
mpc = struct();  
mpc.version = '2';  
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值  
  
%% 母线数据输入  
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin  
mpc.bus = [  
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
];  
  
%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）  
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin  
mpc.gen = [  
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）  
];  
  
%% 支路数据输入  
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax  
mpc.branch = [  
    % 第一组：f 矩阵定义的 6 条有效支路，按节点号排序  
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)  
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    2 3 r(2,3) x(2,3) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)  
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)  
];  
  
% 潮流计算与参数计算
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 方案 10 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [dnzl, xltz, xlsh] = Plan_10( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point, d)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(2,3) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,4) = 2; a(1,5) = 2;
a(2,4) = 2; a(2,5) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs area Vm Vang baseKV zone Vmax Vmin
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
mpc.bus = [  
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;  
];  
  
%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）  
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin  
mpc.gen = [  
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）  
];  
  
%% 支路数据输入  
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax  
mpc.branch = [  
    % 第一组：f 矩阵定义的 6 条有效支路，按节点号排序  
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)  
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    2 3 r(2,3) x(2,3) 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)  
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)  
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360;  
];  
  
% 潮流计算与参数计算  
[~,~,~,~,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);  
[dnzl,xltz,xlsh] = canshujisuan(d,f,a,Branch_Loss,number_of_point);  
end
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

E. 最终推荐方案的确定程序— main2_1.m

```
% 最终推荐方案的确定程序一
clc,clear,close all
tic
format long g

%% =====
% 节点数量及距离矩阵初始化
%% =====
number_of_point = 5;
d = zeros(number_of_point);
d(1,2) = 130; d(1,3) = 260; d(1,4) = 160; d(1,5) = 160;
d(2,3) = 130; d(2,4) = 140; d(2,5) = 140;
d(3,4) = 160; d(3,5) = 160;
d(4,5) = 280;
d = d + d.'; % 对称化

%% =====
% 基础参数 (仅保留 A、负荷、Slack)
%% =====
S_A = 680 + 1j*510; % 发电厂 A 两台机组满载 (视为"总额定")
k3_A = 10/100; % 厂用电率 (只扣 P)

S_S = 0 + 0j;
S1_min = 95 + 1j*71.25;
S2_min = 85 + 1j*41.17;
S3_min = 90 + 1j*55.77;
SA_min = 24 + 1j*18;
S1_max = 270 + 1j*202.5;
S2_max = 260 + 1j*125.92;
S3_max = 280 + 1j*173.52;
SA_max = 70 + 1j*52.5; % A 点直配负荷 (注意: 这是负荷, 不是发电出力)

% ===== 负荷 (正值表示负荷) =====
Pd1 = abs(real(S1_max)); Qd1 = abs(imag(S1_max));
Pd2 = abs(real(S2_max)); Qd2 = abs(imag(S2_max));
Pd3 = abs(real(S3_max)); Qd3 = abs(imag(S3_max));
PdA_load = abs(real(SA_max)); QdA_load = abs(imag(SA_max));

% ===== Slack (无穷大系统) 负荷固定为 0 =====
PdS = 0; QdS = 0;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
%% =====
% 阻抗及基准值
%% =====
z1 = 0.05 + 1j*0.4;
Z_all = z1 .* d;

SB = 100;
UB = 220;
ZB = UB.^2 ./ SB;

% 清理无用变量
clear S1_min S2_min S3_min S1_max S2_max S3_max SA_max

%%% 方案 5 计算
disp('方案 5 潮流：')
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];
qk = 1;
SA_case = SA_case_list(qk);
% A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
QdA = imag(SA_case);

[U5,theta5,P5,Q5,Branch_Loss5] = Plan_5( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point);
SIJ_5 = Branch_Loss5(:,end-1) + 1j*Branch_Loss5(:,end);
S5 = 1000*(abs(SIJ_5))./sqrt(3)/220/1.15;

%%% 方案 10 计算
disp('方案 10 潮流：')
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];
qk = 1;
SA_case = SA_case_list(qk);

% A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A); % 这里沿用你 Plan_1 参数名 PdA/QdA
QdA = imag(SA_case);

[U10,theta10,P10,Q10,Branch_Loss10] = Plan_10( ...
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
Z_all, ZB, UB, SB, ...
PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
number_of_point);
SIJ_10 = Branch_Loss10(:,end-1) + 1j*Branch_Loss10(:,end);
S10 = 1000*(abs(SIJ_10))./sqrt(3)/220/1.15;

% 导线临界电压计算
[~,~,~,U_cr1] = calculate_daoxian('LGJ-240',1);
Uphi1 = 110/sqrt(3);
[~,~,~,U_cr2] = calculate_daoxian('LGJ-400',1);
Uphi2 = 220/sqrt(3);

% 方案 5 导线阻抗导纳计算
R_Plan5 = zeros(number_of_point);
X_Plan5 = zeros(number_of_point);
B_Plan5 = zeros(number_of_point);
[R_Plan5(1,4),X_Plan5(1,4),B_Plan5(1,4),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-400',d(1,4));
[R_Plan5(1,5),X_Plan5(1,5),B_Plan5(1,5),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-240',d(1,5));
[R_Plan5(2,4),X_Plan5(2,4),B_Plan5(2,4),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-400',d(2,4));
[R_Plan5(2,5),X_Plan5(2,5),B_Plan5(2,5),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-400',d(2,5));
[R_Plan5(3,4),X_Plan5(3,4),B_Plan5(3,4),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-400',d(3,4));
[R_Plan5(3,5),X_Plan5(3,5),B_Plan5(3,5),~] = ...
    calculate_daoxian('LGJ-400',d(3,5));
R_Plan5 = R_Plan5 + R_Plan5.';
X_Plan5 = X_Plan5 + X_Plan5.';
B_Plan5 = B_Plan5 + B_Plan5.';
B_Plan5(B_Plan5==0) = 1e5;
Daoxian_Plan5 = [
    R_Plan5(1,4),X_Plan5(1,4),B_Plan5(1,4); ...
    R_Plan5(1,5),X_Plan5(1,5),B_Plan5(1,5); ...
    R_Plan5(2,4),X_Plan5(2,4),B_Plan5(2,4); ...
    R_Plan5(2,5),X_Plan5(2,5),B_Plan5(2,5); ...
    R_Plan5(3,4),X_Plan5(3,4),B_Plan5(3,4); ...
    R_Plan5(3,5),X_Plan5(3,5),B_Plan5(3,5)
];
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% 方案 10 导线阻抗导纳计算
R_Plan10 = zeros(number_of_point);
X_Plan10 = zeros(number_of_point);
B_Plan10 = zeros(number_of_point);
% 节点对(1,2) - 导线型号 LGJ-240 (沿用原有规格)
[R_Plan10(1,2),X_Plan10(1,2),B_Plan10(1,2),~] = calculate_daoxian('LGJ-
240',d(1,2));

% 节点对(1,4) - 导线型号 LGJ-400 (新增)
[R_Plan10(1,4),X_Plan10(1,4),B_Plan10(1,4),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(1,4));

% 节点对(1,5) - 导线型号 LGJ-400 (保留原有)
[R_Plan10(1,5),X_Plan10(1,5),B_Plan10(1,5),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(1,5));

% 节点对(2,3) - 导线型号 LGJ-400 (新增)
[R_Plan10(2,3),X_Plan10(2,3),B_Plan10(2,3),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(2,3));

% 节点对(2,4) - 导线型号 LGJ-400 (保留原有)
[R_Plan10(2,4),X_Plan10(2,4),B_Plan10(2,4),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(2,4));

% 节点对(2,5) - 导线型号 LGJ-400 (保留原有)
[R_Plan10(2,5),X_Plan10(2,5),B_Plan10(2,5),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(2,5));

% 节点对(3,4) - 导线型号 LGJ-400 (新增)
[R_Plan10(3,4),X_Plan10(3,4),B_Plan10(3,4),~] = calculate_daoxian('LGJ-
400',d(3,4));
R_Plan10 = R_Plan10 + R_Plan10.';
X_Plan10 = X_Plan10 + X_Plan10.';
B_Plan10 = B_Plan10 + B_Plan10.';
B_Plan10(B_Plan10==0) = 1e5;
Daoxian_Plan10 = [
    R_Plan10(1,2),X_Plan10(1,2),B_Plan10(1,2); ...
    R_Plan10(1,4),X_Plan10(1,4),B_Plan10(1,4); ...
    R_Plan10(1,5),X_Plan10(1,5),B_Plan10(1,5); ...
    R_Plan10(2,3),X_Plan10(2,3),B_Plan10(2,3); ...
    R_Plan10(2,4),X_Plan10(2,4),B_Plan10(2,4); ...
    R_Plan10(2,5),X_Plan10(2,5),B_Plan10(2,5); ...]
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
R_Plan10(3,4),X_Plan10(3,4),B_Plan10(3,4)
];

% 整合并写入输电线参数文件
SDX = [R_Plan5,X_Plan5,B_Plan5;R_Plan10,X_Plan10,B_Plan10];
writematrix(SDX,'输电线参数.txt');

toc

%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% 函数：计算导线的电阻、电抗、电纳和临界电压
% 输入：type-导线型号(LGJ-240/LGJ-400)，l-长度(km)
% 输出：R-电阻(Ω)，X-电抗(Ω)，B-电纳(S)，U_cr-临界电压(kV)
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [R,X,B,U_cr] = calculate_daoxian(type,l)
if strcmp(type,'LGJ-240')
    C_L = 0.905*1e-8;
    S = 240;
elseif strcmp(type,'LGJ-400')
    C_L = 0.87*1e-8;
    S = 400;
end
rho = 31.5;
r = sqrt(S/pi);
lgDmcr = 7.56*1e-6/100/pi/C_L;
R = l*rho/S;
X = l*100*pi*(4.6*lgDmcr+0.5)*1e-4;
B = l*7.56*1e-6/lgDmcr;
U_cr = 49.3*0.9*r/10*lgDmcr;
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% 函数：潮流计算核心函数
% 输入：mpc-潮流计算结构体
% 输出：U-节点电压幅值，theta-节点电压相角，P-节点注入有功，Q-节点注入无功,
Branch_Loss-支路损耗
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc)
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
Power_flow_result = runpf(mpc,mpoption('pf.nr.max_it',100));
U = Power_flow_result.bus(:,8);
theta = Power_flow_result.bus(:,9);

% 节点注入功率-->输入节点为+,输出为负
AA = zeros(size(Power_flow_result.bus,1),1);
BB = AA;
idx = (Power_flow_result.bus(:,2)~=1);
number = Power_flow_result.bus(idx,1);
AA(number) = Power_flow_result.gen(:,2);
BB(number) = Power_flow_result.gen(:,3);
P = AA - Power_flow_result.bus(:,3);
Q = BB - Power_flow_result.bus(:,4);

% 支路损耗: 起点,终点,有功网损,无功网损,输送功率,输送无功功率
Branch_Loss = [
    Power_flow_result.branch(:,1),Power_flow_result.branch(:,2),...
    Power_flow_result.branch(:,14)+Power_flow_result.branch(:,16),...
    Power_flow_result.branch(:,15)+Power_flow_result.branch(:,17),...
    Power_flow_result.branch(:,14),Power_flow_result.branch(:,15)
];
% 以传入线路的有功功率绝对值作为输送功率
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% 方案 5 计算函数
%%%%%%%
%%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Plan_5( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1; f(3,5) = 1;
a(1,4) = 2;
a(2,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配 f(3,4)=1)
3 5 r(3,5) x(3,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
];

% 潮流计算与参数计算
[U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% 方案 10 计算函数
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Plan_10( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, ...
    Qd1, Qd2, Qd3, ...
    Z_all, ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, ...
    PdA_load, QdA_load, ...
    number_of_point)

f = zeros(number_of_point); % 节点数×节点数的全 0 矩阵
a = ones(number_of_point);% 全 1 矩阵, 节点之间是否双回路接线
% 定义支路连接: f(i,j)=1 表示节点 i-j 有支路
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(2,3) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,4) = 2; a(1,5) = 2;
a(2,4) = 1; a(2,5) = 1;
f = f + f.';
a = a + a.';
% 计算标幺值阻抗矩阵
z = Z_all./a./f./ZB;
z(1:length(z)+1:end) = 0;
z(real(z)==inf) = 1e5*(1+1j);
r = real(z);
x = imag(z);

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    % 第一组: f 矩阵定义的 6 条有效支路, 按节点号排序
    1 2 r(1,2) x(1,2) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配 f(1,2)=1)
    1 4 r(1,4) x(1,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    1 5 r(1,5) x(1,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 3 r(2,3) x(2,3) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配 f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配 f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
];

% 潮流计算与参数计算
[U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
end
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

F. 最终推荐方案的确定程序二 main2_2.mlx

```
% 最终推荐方案的确定程序二
clc,clear,close all
tic
format long g

%% =====
% 节点数量及距离矩阵初始化
%% =====
number_of_point = 5;
d = zeros(number_of_point);
d(1,2) = 130; d(1,3) = 260; d(1,4) = 160; d(1,5) = 160;
d(2,3) = 130; d(2,4) = 140; d(2,5) = 140;
d(3,4) = 160; d(3,5) = 160;
d(4,5) = 280;
d = d + d.'; % 对称化

%% =====
% 基础参数 (仅保留 A、负荷、Slack)
%% =====
S_A = 680 + 1j*510; % 发电厂 A 两台机组满载 (视为"总额定")
k3_A = 10/100; % 厂用电率 (只扣 P)

S_S = 0 + 0j;
S1_min = 95 + 1j*71.25;
S2_min = 85 + 1j*41.17;
S3_min = 90 + 1j*55.77;
SA_min = 24 + 1j*18;
S1_max = 270 + 1j*202.5;
S2_max = 260 + 1j*125.92;
S3_max = 280 + 1j*173.52;
SA_max = 70 + 1j*52.5; % A 点直配负荷 (注意: 这是负荷, 不是发电出力)

% ===== 负荷 (正值表示负荷) =====
Pd1 = abs(real(S1_max)); Qd1 = abs(imag(S1_max));
Pd2 = abs(real(S2_max)); Qd2 = abs(imag(S2_max));
Pd3 = abs(real(S3_max)); Qd3 = abs(imag(S3_max));
PdA_load = abs(real(SA_max)); QdA_load = abs(imag(SA_max));

% ===== Slack (无穷大系统) 负荷固定为 0 =====
PdS = 0; QdS = 0;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% =====
% 阻抗及基准值
%% =====
SB = 100;
UB = 220;
ZB = UB.^2 ./ SB;

% 清理无用变量
clear S1_min S2_min S3_min S1_max S2_max S3_max SA_max

% ===== 读取输电线参数 =====
SDX = readmatrix("输电线参数.txt");
R_Plan5 = SDX(1:5,1:5);
X_Plan5 = SDX(1:5,6:10);
B_Plan5 = SDX(1:5,11:15);
R_Plan10 = SDX(6:10,1:5);
X_Plan10 = SDX(6:10,6:10);
B_Plan10 = SDX(6:10,11:15);
clear SDX

% ===== 方案 5 潮流计算 =====
disp('方案 5 潮流:')
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];
qk = 1;
SA_case = SA_case_list(qk);
% A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A);
QdA = imag(SA_case);

[U5,theta5,P5,Q5,Branch_Loss5] = CLJS_Plan5( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    R_Plan5,X_Plan5,B_Plan5);
cosphi5 = P5./abs(P5+1j*Q5);
TABLE5 = [U5*UB,theta5,P5,Q5,cosphi5];
disp(TABLE5)

% ===== 方案 10 潮流计算 =====
disp('方案 10 潮流:')
SA_case_list = [S_A; 0.5*S_A];
qk = 1;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
SA_case = SA_case_list(qk);
% A 发电机出力 (P 扣厂用电, Q 不扣)
PdA = real(SA_case) * (1 - k3_A);
QdA = imag(SA_case);
[U10,theta10,P10,Q10,Branch_Loss10] = CLJS_Plan10( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    R_Plan10,X_Plan10,B_Plan10);
cosphi10 = P10./abs(P10+1j*Q10);
TABLE10 = [U10*UB,theta10,P10,Q10,cosphi10];
disp(TABLE10)

% ===== 损耗与经济指标计算 =====
% 支路有功损耗
dP5 = Branch_Loss5(:,3);
dP10 = Branch_Loss10(:,3);

% 年利用小时数
tao_5 = [4100 4100 3400 3400 3500 3500];
tao_10 = [4100 3400 4100 3400 3400 3400 3500];
dw5 = tao_5*dP5;
dw10 = tao_10*dP10;

% 资金回收系数计算
ii = 0.1;
nn = 25;
changshu = (ii*(1+ii)^nn)/((1+ii)^nn-1);

% ----- 方案 5 经济与电压指标 -----
f = zeros(number_of_point);
a = ones(number_of_point);
f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(3,4) = 1; f(3,5) = 1;
a(1,4) = 2;
a(2,4) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
zeta = 0.2;
kxi = zeros(number_of_point);
kxi(1,4) = 60; kxi(1,5) = 60;
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
kxi(2,4) = 60; kxi(3,4) = 60; kxi(2,5) = 60;
kxi = 10*(kxi+kxi.');
Im5 = sum(d.*f.*kxi.*(1+(a-1)*zeta),"all");
alpha = 0.5;
alpha1 = 0.05;
alpha2 = 0.04;
Cm5 = (alpha1+alpha2)*Im5 + alpha*dw5;
ACm5 = Cm5 + Im5*changshu;
dUmax5 = 100*max(abs((U5*UB-220))/220);

% ----- 方案 10 经济与电压指标 -----
f = zeros(number_of_point);
a = ones(number_of_point);
f(1,2) = 1; f(1,4) = 1; f(1,5) = 1;
f(2,4) = 1; f(2,5) = 1;
f(2,3) = 1;
f(3,4) = 1;
a(1,4) = 1; a(1,5) = 2;
a(2,4) = 1; a(2,5) = 2;
f = f + f.';
a = a + a.';
zeta = 0.2;
kxi = zeros(number_of_point);
kxi(1,2) = 60; kxi(1,4) = 60; kxi(1,5) = 60;
kxi(2,4) = 60; kxi(2,5) = 60; kxi(2,3) = 60;
kxi(3,4) = 60;
kxi = (kxi+kxi.'){*}10;
Im10 = sum(d.*f.*kxi.*(1+(a-1)*zeta),"all");
alpha = 0.5;
alpha1 = 0.05;
alpha2 = 0.04;
Cm10 = (alpha1+alpha2)*Im10 + alpha*dw10;
ACm10 = Cm10 + Im10*changshu;
dUmax10 = 100*max(abs((U10*UB-220))/220);

% ===== 技术经济指标绘图 =====
% figure
% yyaxis left
% bar([2,5,7,8],[dUmax5 dUmax10 0 0])
% title('方案技术与经济指标')
% ylabel('最大电压偏差量')
% ylim([0,13])
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
% xticks(1:7)
% labels = {'', '', '方案五', '', '', '方案十'};
% xticklabels(labels)
% grid on;
% set(gca,'LineWidth',1.65,'FontSize',13.5);
%
% yyaxis right
% bar([8,9,3,6,],[0 0 ACm5 ACm10])
% xlim([1,7])
% ylabel('年费用(千元)')
% legend('最大电压偏差量','年费用(千元)')

figure

yyaxis left
bar([2,5,7,8],[dUmax5 dUmax10 0 0])
title('方案技术与经济指标')
ylabel('最大电压偏差量')
ylim('auto')           % 左轴自适应
xticks([2.5 5.5])       % 两组柱子的中心
xticklabels({'方案五','方案十'})
grid on;
set(gca,'LineWidth',1.65,'FontSize',13.5);

yyaxis right
bar([8,9,3,6],[0 0 ACm5 ACm10])
ylabel('年费用(千元)')
ylim('auto')           % 右轴自适应

xlim([1,7])
legend('最大电压偏差量','年费用(千元)'

figure

yyaxis left
bar(3, dUmax5)
title('方案五技术与经济指标')
ylabel('最大电压偏差量')
ylim('auto')
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
xticks(3)
xticklabels({'方案五'})
grid on;
set(gca,'LineWidth',1.65,'FontSize',13.5);

yyaxis right
bar(4, ACm5)
ylabel('年费用(千元)')
ylim('auto')

xlim([2,5])
legend('最大电压偏差量','年费用(千元)')


figure

yyaxis left
bar(3, dUmax10)
title('方案十技术与经济指标')
ylabel('最大电压偏差量')
ylim('auto')

xticks(3)
xticklabels({'方案十'})
grid on;
set(gca,'LineWidth',1.65,'FontSize',13.5);

yyaxis right
bar(4, ACm10)
ylabel('年费用(千元)')
ylim('auto')

xlim([2,5])
legend('最大电压偏差量','年费用(千元)')


% ===== PCA 综合评价 =====
% 指标归一化
gjU = [dUmax5;dUmax10];
gjAC = [ACm5;ACm10];
gjU = 1-(gjU-min(gjU))/(max(gjU)-min(gjU));
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
gjAC = 1-(gjAC-min(gjAC))/(max(gjAC)-min(gjAC));  
  
% 主成分分析  
gj = [gjU,gjAC];  
gj = zscore(gj);  
r = corrcoef(gj);  
[x,y,z] = pcacov(r);  
F = repmat(sign(sum(x)),size(x,1),1);  
x = x.*F;  
num = 2;  
df = gj*x(:,[1,num]);  
tf = df*z(1:num)/100'; % 综合得分  
[stf,ind] = sort(tf, 'descend'); % 从高到低排序  
stf  
ind  
  
% PCA 结果绘图  
figure  
bar(1,stf(1),'g')  
hold on  
bar(2,stf(2),'m')  
xticks(1:2)  
xticklabels({'方案五','方案十'})  
ylabel('综合得分')  
grid on;  
set(gca,'LineWidth',1.65,'FontSize',13.5);  
  
toc  
  
%%%%%%%%%%%%%%  
%  
% 函数: 潮流计算核心函数  
% 输入: mpc - 潮流计算结构体  
% 输出: U - 节点电压幅值, theta - 节点电压相角  
% P - 节点注入有功功率, Q - 节点注入无功功率  
% Branch_Loss - 支路损耗矩阵 (起点/终点/有功损/无功损/输送有功/输送无功)  
%%%%%%%%%%%%%%  
%  
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc)  
Power_flow_result = runpf(mpc,mpoption('pf.nr.max_it',100));  
U = Power_flow_result.bus(:,8);
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
theta = Power_flow_result.bus(:,9);

% 节点注入功率-->输入节点为+,输出为负
AA = zeros(size(Power_flow_result.bus,1),1);
BB = AA;
idx = (Power_flow_result.bus(:,2)~=1);
number = Power_flow_result.bus(idx,1);
AA(number) = Power_flow_result.gen(:,2);
BB(number) = Power_flow_result.gen(:,3);
P = AA - Power_flow_result.bus(:,3);
Q = BB - Power_flow_result.bus(:,4);

% 支路损耗: 起点,终点,有功网损,无功网损,输送功率,输送无功功率
Branch_Loss = [
    Power_flow_result.branch(:,1),Power_flow_result.branch(:,2),...
    Power_flow_result.branch(:,14)+Power_flow_result.branch(:,16),...
    Power_flow_result.branch(:,15)+Power_flow_result.branch(:,17),...
    Power_flow_result.branch(:,14),Power_flow_result.branch(:,15)
];
% 以传入线路的有功功率绝对值作为输送功率
end

%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% 函数: 方案 5 潮流计算封装 (含导线参数修正)
%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = CLJS_Plan5( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    R_Plan5,X_Plan5,B_Plan5)
%
% 阻抗导纳算到基准值
r = R_Plan5./ZB;
x = X_Plan5./ZB;
b = B_Plan5.*ZB; % YB=1/ZB
%
% 修正 2 回线路参数
r(1,4) = r(1,4)/2; x(1,4) = x(1,4)/2; b(1,4) = b(1,4)*2;
r(2,4) = r(2,4)/2; x(2,4) = x(2,4)/2; b(2,4) = b(2,4)*2;

%
% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    1 4 r(1,4) x(1,4) b(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配
f(1,2)=1)
    1 5 r(1,5) x(1,5) b(1,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 r(2,4) x(2,4) b(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配
f(2,4)=1)
    2 5 r(2,5) x(2,5) b(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配
f(2,5)=1)
    3 4 r(3,4) x(3,4) b(3,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 3-4 (匹配
f(3,4)=1)
    3 5 r(3,5) x(3,5) b(3,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
];

% 调用潮流计算函数
[U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
end

%%%%%%%%%%%%%
%
% 函数：方案 10 潮流计算封装（含导线参数修正）
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [U,theta,P,Q,Branch_Loss] = CLJS_Plan10( ...
    Pd1, Pd2, Pd3, Qd1, Qd2, Qd3, ...
    ZB, UB, SB, ...
    PdA, QdA, PdA_load, QdA_load, ...
    R_Plan10,X_Plan10,B_Plan10)
% 阻抗导纳归算到基准值
r = R_Plan10./ZB;
x = X_Plan10./ZB;
b = B_Plan10.*ZB; % YB=1/ZB
% 修正 2 回线路参数
% r(1,4) = r(1,4)/2; x(1,4) = x(1,4)/2; b(1,4) = b(1,4)*2;
r(1,5) = r(1,5)/2; x(1,5) = x(1,5)/2; b(1,5) = b(1,5)*2;
% r(2,4) = r(2,4)/2; x(2,4) = x(2,4)/2; b(2,4) = b(2,4)*2;
r(2,5) = r(2,5)/2; x(2,5) = x(2,5)/2; b(2,5) = b(2,5)*2;

% 构建潮流计算 MPC 结构体
mpc = struct();
mpc.version = '2';
mpc.baseMVA = SB; % 功率/容量基准值

%% 母线数据输入
% 节点编号 类型 Pd Qd Gs Bs areaVm Vang baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
    1 1 Pd1 Qd1 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    2 1 Pd2 Qd2 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    3 1 Pd3 Qd3 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    4 1 -(PdA-PdA_load) -(QdA-QdA_load) 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
    5 3 0 0 0 0 1 1 0 UB 1 1.1 0.94;
];

%% 发电机组数据输入（无穷大电源专属配置）
% 节点编号 Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
mpc.gen = [
    5 0 0 1e9 -1e9 1.0 SB 1 1e9 -1e9; % 无穷大电源（核心修改）
];

%% 支路数据输入
% 起点 终点 r x b rateA rateB rateC 变比 angle status angmin angmax
mpc.branch = [
```

课 程 设 计 用 纸

教师批阅

```
1 2 r(1,2) x(1,2) b(1,2) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 1-2 (匹配
f(1,2)=1)
1 4 r(1,4) x(1,4) b(1,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
1 5 r(1,5) x(1,5) b(1,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
2 3 r(2,3) x(2,3) b(2,3) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
2 4 r(2,4) x(2,4) b(2,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-4 (匹配
f(2,4)=1)
2 5 r(2,5) x(2,5) b(2,5) 0 0 0 0 0 1 -360 360; % 支路 2-5 (匹配
f(2,5)=1)
3 4 r(3,4) x(3,4) b(3,4) 0 0 0 0 0 1 -360 360;
];

% 调用潮流计算函数
[U,theta,P,Q,Branch_Loss] = Power_Flow_Calculation(mpc);
end
```