

浙江大学第二十三届大学生数学建模竞赛试题

(A 题、B 题)

竞赛说明

(请各参赛队认真阅读，并遵照执行)

1. 各参赛队可在公布的 A、B 两题中任选一题作答，在规定时间内完成论文。论文应包括模型的假设、建立和求解、计算方法的设计和计算机实现、结果的分析和检验、模型的改进等方面，并附主要程序代码。
2. 答卷用白色 A4 纸黑白、单面打印，上下左右各留出 2.5 厘米的页边距，从左侧装订。
 - (1) 论文第一页为封面，各参赛队需从浙江大学本科生科研训练与学科竞赛管理系统或 2025 年浙江大学大学生数学建模竞赛钉钉群下载答卷封面，如实填写后作为封面与论文全文合并为一个文件。
 - (2) 论文第二页为摘要专用页（含标题和关键词，但不需要翻译成英文），从此页开始编写页码；页码必须位于每页页脚中部，用阿拉伯数字从“1”开始连续编号。摘要专用页必须单独一页，且篇幅不能超过一页。摘要在整篇论文评阅中占有重要权重，请认真书写摘要（注意篇幅不能超过一页）。评阅时将首先根据摘要和论文整体结构及概貌对论文优劣进行初步筛选。
 - (3) 从第三页开始是论文正文（不要目录，尽量控制在 20 页以内）；
 - (4) 正文之后是论文附录（页数不限）。论文附录至少应包括参赛论文的所有源程序代码，如实际使用的软件名称、命令和编写的全部可运行的源程序（含 EXCEL、SPSS 等软件的交互命令）；通常还应包括自主查阅使用的数据等资料。赛题中提供的数据不要放在附录。如果缺少必要的源程序或程序不能运行，可能会被取消评奖资格。如果确实没有需要以附录形式提供的信息，论文可以没有附录。
 - (5) 论文正文和附录不能有任何可能显示答题人身份的信息。
3. 各参赛队需提交纸质版论文和电子版论文。纸质版论文和电子版论文内容的完整性和形式的规范性将作为初评的重要依据。
 - (1) 纸质版论文提交：各参赛队于 5 月 19 日上午 10:00-11:30 期间将完成的答卷交到紫金港校区海纳苑 2 幢 720 室。队内 3 名同学本学期常驻校区均不为紫金港校区的，可不上交纸质版论文。
 - (2) 电子版论文提交：各参赛队于 5 月 19 日将电子版论文上传至“学在浙大”《2025 年浙江大学大学生数学建模竞赛上传专用》课程作业提交板块。上传系统 5 月 19 日上午 12:00 关闭，此后不再开放。根据所选赛题选择对应的作业项目，分别提交论文和支撑材料。每队只需由其中一名同学提交。论文只能用 pdf 格式，源程序文本应作为附录放入参赛论文之后，并与论文正文一并编辑在同一个文件中。支撑材料只能用 zip 格式或 rar 格式，包括用于支撑参赛论文中模型、结果和结论的所有必要材料，通常应包含所有可运行的源程序、自己查阅并使用的数据和难以从公开渠道找到的相关资料等。（如果确实没有所需要提供的支撑材料，此项可以空缺）。
4. 引用别人的成果或其他公开的资料(包括网上查到的资料) 必须按照规定的

参考文献的表述方式，在正文引用处和参考文献中均明确列出。正文引用处用方括号标示参考文献的编号，如[1][3]等；引用书籍还必须指出页码。参考文献按正文中的引用次序列出，其中书籍的表述方式为：

[编号] 作者，书名，出版地：出版社，出版年。

参考文献中期刊杂志论文的表述方式为：

[编号] 作者，论文名，杂志名，卷期号：起止页码，出版年。

参考文献中网上资源的表述方式为：

[编号] 作者，资源标题，网址，访问时间（年月日）。

5. 各参赛队应严格遵守竞赛规则，比赛开始后不得更换队员，不得与队外任何人（包括在网上）讨论。
6. 竞赛进行期间，关于竞赛程序、赛题更新等信息将在竞赛钉钉群中发布。本次竞赛的评奖、答辩和全国数学建模竞赛校内选拔将在6月进行，请各参赛队及时关注浙江大学数学建模实践基地网站（<http://www.mathweb.zju.edu.cn:8080/mmb/>）和2025年浙江大学大学生数学建模竞赛钉钉群内的通知。

2025 年浙江大学大学生
数学建模竞赛钉钉群



2025 年浙江大学大学生
数学建模竞赛上传专用



A 题 分布式能源接入配电网的风险分析

随着我国双碳目标的推进,可再生分布式能源在配电网中的大规模应用不可避免,这对传统配电网的运行提出了挑战。为了量化分析配电网中接入分布式能源的风险,需要对其进行建模与分析。

配电网发生故障后失负荷,可以通过联络线实现部分复电,供电恢复的目标是在系统拓扑结构发生变化时,将系统的经济损失降至最小。行业分类将消费者分为居民住宅、商业、政府机构和办公建筑等类别。按照这种分类,供电中断危害可依据部门客户危害度函数进行计算。

分布式能源接入配电网,由于其发电出力的波动性与不确定性,对馈线的失负荷和过负荷带来影响。为了提高配电网就地消纳能力,要求分布式能源不得向上级电网倒送功率。

风险评估的通用计算公式为:

$$R_{\text{sys}} = P_{\text{LL}} C_{\text{LL}} + P_{\text{OL}} C_{\text{OL}} \quad (1)$$

其中 R_{sys} 代表系统风险; P_{LL} 代表系统失负荷的发生概率; C_{LL} 代表由系统失负荷造成的危害程度; P_{OL} 代表系统过负荷的发生概率; C_{OL} 代表由系统过负荷造成的危害程度。

由式(1)可知,风险评估的量化计算为该场景下各事件概率与其危害的乘积之和,为了实现风险评估,需要从事件概率计算及事件造成后果的危害度函数构建两方面入手进行分析与建模。

配电网的运行方式如下:在同一时刻,馈线上的每个负荷与各变电站之间只有一条通路(只由一个变电站出线开关 CB 供电),每个分布式电源 DG 都可接入馈线供电,不同用户类型的停电损失会造成不同的危害度。

计算配电系统风险的约束条件如下:

- (1) 各个类型故障是独立发生的,同一时间同一类型只发生一个故障;
- (2) 不考虑无功功率和电压越限的影响,风险计算分析仅考虑有功功率和电流的影响;
- (3) 联络开关不考虑故障恢复的自愈系统对失负荷的影响,但是需考虑联络开关的负荷转移能力。

试解决以下问题:

(1) 请分别建立分布式能源接入配电网后,配电系统的失负荷风险和过负荷风险的计算模型,要求:失负荷风险模型要记及本馈线故障造成的负荷损失可以从其他相邻馈线通过联络线转供实现复电的情况;过负荷风险模型要记及本馈线的有功功率不得向上级变电站倒送的情况,但是可以在相邻馈线间进行调节;

(2) 应用问题 1 所建立的模型,针对附录中的有源配电网 62 节点系统图,在其它参数不变的前提下,分布式能源容量以 $0.3I$ 为步长,从初始容量 I 增加到 $3I$,试分析该配电系统风险 R_{sys} 的演变情况。

注:本题根据 2025 年“深圳杯”数学建模挑战赛赛题改编

附录:

名词解释:

失负荷: 因故障导致负荷供电中断。

过负荷: 线路电流超过额定载流量 10%以上。

馈线: 从变电站出线开关到终端负荷的配电线路。

联络线: 通过联络开关连接不同馈线的线路, 正常运行时联络开关处于断开状态, 根据运行方式调整的需要可以调整联络开关的状态, 实现馈线间的功率转移。

有源配电网 62 节点系统用来验证所提出的风险评估方法, 包含三条馈线, 馈线间通过联络开关相互连接, 馈线电压为 10kV, 3 条馈线额定负载均为 2.2 MW, 对应额定载流量为 220A, 负载和线路参数见附录 Excel 中表 1 和表 2, 8 个分布式能源 DG 从不同位置接入到配电网中, 初始容量均为 300kW, 如图 1 所示。其中: 虚线为馈线间联络线, 接入的母线为上级变电站母线。

- DG 是分布式能源

- CB1~CB3 为上级变电站的 10kV 出线开关(假设能提供充分大的电源容量)

- S1~S62 为分段开关

- S13-1、S29-2、S62-3 是联络开关

故障单元故障率: 每个分布式能源和每个用户的故障率都是 0.5%; 每个开关的故障率均是 0.2%, 配电线路的故障率=线路长度 (km) *0.002/km。

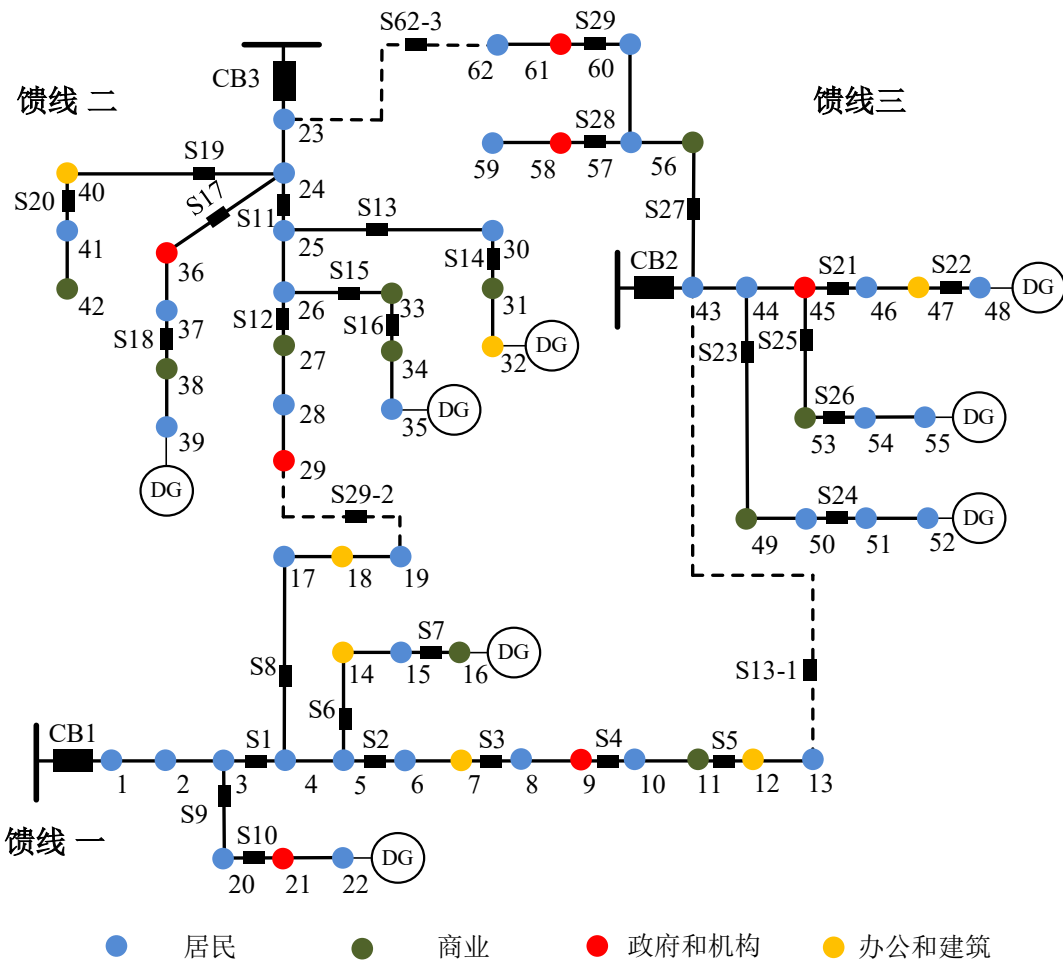


图 1 有源配电网 62 节点系统图

B 题 无人机多机协同路径覆盖问题

在低空复杂环境下的多无人机协同任务中，无人机编队需在动态干扰、地形障碍和通信约束条件下，高效完成多目标区域的覆盖式侦察、物资投放等任务。此类问题在灾害救援、军事侦察、应急物资投送等领域具有重要的现实意义。

单架无人机受以下条件约束。任意时刻飞行速度不超过 50m/s ，可瞬间调整速度与方向，忽略加减速时间，总飞行时间不超过 600s （紧急任务除外）。无人机间最小间距为 50m 。为保持协同通信，任意时刻两架无人机间距不超过 1km ，否则为任务失败。

试针对以下问题，对一般情形建立数学模型，并给出求解方法。对问题中的具体实例或模拟数据，给出相应的计算结果。

1. 某区域内有 n 个位置已知的，需紧急投放物资的目标点。现有 $m \leq n$ 架无人机，从同一位置起飞。请设计路径规划方法，使无人机以最短总飞行距离覆盖所有目标点。即每个目标点需被至少 1 架无人机访问，无人机可多次经过目标点但仅需完成一次投放，经过目标点即视为完成任务。

求解以下 5 个目标点和 3 架从原点 $(0,0)$ 起飞的无人机的实例，试给出每架无人机的飞行路径（坐标序列）、总飞行距离、各目标点的访问分配方案。

目标点	x 坐标 (m)	y 坐标 (m)
T1	1200	800
T2	300	450
T3	950	200
T4	600	1200
T5	1500	500

2. 若在任务执行过程中的某时刻，新增若干紧急目标点和障碍区域。障碍区域为一给定半径的圆形区域。要求无人机在不进入障碍区域的情况下，在最短的时间内完成对原始目标点和紧急目标点的覆盖。

对问题 1 的实例，在 100s 时新增以 $(900, 250)$ 为圆心、 100m 为半径的障碍区域，新增坐标 $(800, 600)$ 为紧急目标点 T6。试给出调整后的路径规划方案、各无人机的时间分配、避障策略描述，以及 T1-T6 全覆盖的最短时间。

3. 考虑具有多种类型和任务优先级的现实问题。任务分为物资投放（需载重能力）、侦察（需悬停时间）两类。任务按优先级排序，优先级越高，要求完成时间越早。优先级规则为：紧急物资投放（优先级 1）> 普通物资投放（优先级 2）> 侦察任务（优先级 3）。无人机电量耗尽前需返回起飞点充电，充电时间为 60s ，充电后续航时间重置。

自行生成模拟数据，并建模求解。给出包含充电策略的路径规划、任务完成时间与优先级满足度评估等内容多任务分配方案。模拟数据可自行设计，但需明确说明生成逻辑（如随机分布范围、优先级权重规则等）。不少于 3 架无人机和 10 个任务，其中约半数为非普通物资投放任务。数据示例如下：

无人机	最大载重 (kg)	最大续航时间 (s)	侦察悬停时间 (s/次)
U1	15	500	30
U2	10	600	60
U3	20	450	20

任务类型	目标点坐标 (m)	优先级	载重需求 (kg) 或者悬停时间 (s)
紧急投放	(700, 900)	1	8 (载重)
普通投放	(1200, 800)	2	12 (载重)
侦察任务	(1000, 1000)	3	40 (悬停)