

基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计研究

陈清波¹, 廖远旭²

(1. 中国轻工业长沙工程有限公司能源环保事业部, 湖南 长沙 410114;

2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 为提高垃圾焚烧发电厂电气主接线设计的科学性和准确性, 为发电厂的稳定运行和高效发电提供有力保障, 利用改进 GO 法, 开展了电气主接线设计研究。首先, 安装电量测量设备, 采集垃圾焚烧发电厂发电量参数。然后, 利用改进 GO 法, 建立垃圾焚烧发电厂电气主接线的模型, 对电气主接线系统进行划分, 明确系统中各元件之间的关系以及它们对电气主接线系统的影响。在此基础上, 进行电气主接线方案设计, 并绘制电气主接线图。实验结果表明, 应用所提设计方法后, 电气主接线系统可用度更加接近 1, 整个系统的稳定性和可靠性得到了显著提升, 这对于保障生产安全和提高垃圾焚烧发电厂的生产效率具有重要意义。

关键词: 改进 GO 法; 垃圾焚烧发电厂; 设计; 电气; 主接线

Research on electrical main wiring design of waste incineration power plant based on improved GO method

CHEN Qingbo¹, LIAO Yuanxu²

(1. The Energy and Environmental Protection Division of China Light Industry Changsha Engineering Co., Ltd., Changsha, 410114, China; 2. China Energy Engineering Group Co., Ltd., Guangdong Electric Power Design and Research Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract: In order to improve the scientificity and accuracy of the electrical main wiring design of waste incineration power plant, and to provide strong guarantee for the stable operation and efficient power generation of the power plant, the improved GO method was used to carry out the research on the electrical main wiring design. First of all, the installation of power measurement equipment, collect the waste incineration power plant power generation parameters. Secondly, by using the improved GO method, the main electrical wiring model of the waste incineration power plant is established, the main electrical wiring system is divided, and the relationship between the components in the system and the impact on the main electrical wiring system are clarified. On this basis, the electrical main wiring scheme is designed and the electrical main wiring diagram is drawn. The experimental results show that after the application of the proposed design method, the availability of the main electrical wiring system is closer to 1, and the stability and reliability of the whole system are significantly improved, which is of great significance for ensuring production safety and improving the production efficiency of the waste incineration power plant.

Keywords: improved GO method; waste incineration power plant; design; electrical; main wiring

0 引言

在探索高效的垃圾处理策略时，垃圾焚烧发电成为了一种创新的解决方案。这种方法不仅显著降低了垃圾对生态环境的潜在威胁，还巧妙地将废弃物转化为宝贵的电能，实现了资源的有效再利用和循环。在构建垃圾焚烧发电厂的复杂过程中，电气主接线设计扮演着重要的角色。这一设计环节不仅关系到整个发电厂运行的安全可靠，还深刻影响着其经济效益和长期稳定性。因此，优化电气主接线设计对提升垃圾焚烧发电厂的综合性能至关重要。

现阶段，针对垃圾焚烧发电厂电气主接线设计方面的研究日益成熟，但是传统的设计方法在实际应用中仍然存在一定的不足。文献[1]所提方法在供电灵活性方面有所限制，往往基于固定的模式和经验，无法充分考虑到每个项目的具体需求和特点，导致设计灵活性不足，布置局限性大，不便于后续检修工作的顺利开展。文献[2]所提方法未充分考虑电气系统的安全性和可靠性，导致在电厂运行过程中存在潜在的安全隐患。

为了解决这些问题，需要在电气主接线设计过程中更加注重灵活性、经济性、安全性、可维护性和可扩展性等方面。GO法是一种基于概率和状态转移的可靠性分析方法^[3]。在垃圾焚烧发电厂电气主接线设计中，应用改进GO法具有显著的优势，可以清晰地展示系统中各元件之间的关系以及它们对系统的影响，在保证系统安全性的前提下，实现经济性的优化，提高发电厂的整体效益^[4]。本文提出了基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计方法。

1 基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计

1.1 垃圾焚烧发电厂发电量参数采集

在垃圾焚烧发电厂的发电机组上安装电量测量设备，确保设备能够准确测量电量数据。数据采集参数见表1。

表1 数据采集参数

Tab. 1 Data collection parameters

序号	参数	数值
1	采集周期	每日采集一次
2	采集频率	每小时一次
3	采集类型	有功功率：发电机实际输出的功率 无功功率：发电机为了维持系统电压稳定而需要吸收或发出的功率 电压：电网的电压水平 电流：电网的电流水平
4	存储格式	CSV（逗号分隔值）
5	传输方式	有线网络传输

按照表1进行参数设置，确保设备能够按照预定的要求进行工作。定时或实时采集垃圾焚烧发电厂发电量相关数据，包括有功功率、无功功率、电压和电流等^[5]。将采集到的数据打包成CSV文件，传输到数据中心，建立数据表格，方便后续的主接线设计。

1.2 基于改进GO法的电气主接线系统划分

垃圾焚烧发电厂发电量参数采集完毕后，利用改进GO法，建立垃圾焚烧发电厂电气主接线的模型，对电气主接线系统进行划分，为后续主接线方案设计奠定良好的基础。

在建立模型前，需要明确电气主接线的系统边界和范围。这包括确定哪些设备、组件和连接点将被包含在模型中，并确定它们之间的相互作用和关系^[6]。识别电气主接线系统中的关键设备和组件，明确设备之间的连接关系和相互作用。具体步骤为：①根据垃圾焚烧发电厂的功能、结构或地理位置等因素，将电气主接线系统划分为若干个子系统^[7]；②根据电气主接线的实际情况，识别子系统及设备，定义模型中的操作元，每个操作元可以代表一个设备、组件或连接点，并具有特定的功能和故障模式；③根据操作元之间的关系，定义用于表示操作元之间的连接方式和逻辑关系的操作符^[8]；④将定义好的操作元按照电气主接线的实际结构进行组织，形成一个操作元集合，集合中的每个操作元都应具有唯一的标识符和相应的属性信息；⑤将定义好的操作符按照操作元之间的关系进行组织，形成一个操作符集合，集合中的每个操作符都应具有明确

的输入和输出操作元以及相应的逻辑关系；⑥根据电气主接线的实际连接方式和逻辑关系，将操作元和操作符进行连接，确保每个操作元都有正确的输入和输出操作符，并且操作符的逻辑关系与实际情况相符。

使用可靠性评估公式计算各子系统的故障概率，公式为

$$P_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (1)$$

$$P_p = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

$$P_{sel} = 1 - \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \prod_{j=1, j \neq i}^n P_j \quad (3)$$

式中， P_s 为串联系统的故障概率； P_i 、 P_j 均为操作员的故障概率； P_p 为并联系统的故障概率； P_{sel} 为选择系统的故障概率。

通过上述公式，评估电气主接线系统的运行可靠性，识别系统中的薄弱环节和潜在风险，进而有针对性地设计电气主接线方案。

1.3 电气主接线方案设计

在上述基于改进GO法的电气主接线系统划分完毕后，明确系统中各元件之间的关系以及对系统的影响，获取各个子系统的运行工况。在此基础上，进行电气主接线方案设计，提高电气主接线系统的运行可靠性。

首先，根据垃圾焚烧发电厂的设计规划容量和负荷需求，选择发电机台数和容量。然后，根据系统的电压级别以及实际的负荷状况来确定主变压器的数量和容量。为确保电力供应的连贯性和稳定性，本文建议配置至少两台主变压器。若技术评估和经济分析显示这样做是合理且经济的，可以考虑适当增加主变压器的数量^[9]。特别是在单元接线系统中，基于发电机的额定容量规划主变压器的容量，扣除机组自用负荷后，再预留10%的额外容量，以确保系统在面对潜在负荷波动时依然能够稳定运行，即

$$STN \geq (SGN - SC) / 0.9 \quad (4)$$

式中， STN 为主变压器容量； SGN 为发电机额定容量； SC 为厂用负荷。

若采用扩大单元接线方式，且尽可能选用分裂绕组变压器，其容量则通过单元接线的计算原则计算出的两台机容量之和来确定^[10]。其次，设计垃圾焚烧发电厂的电源引接方式，本文选择截面积为240 mm²的铜芯电缆作为引接电缆，电缆长度根据现场实际情况确定。引接路径如图1所示。

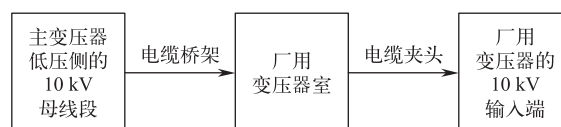


图1 电源引接路径

Fig. 1 Power supply connection path

图1中，电缆的路径始于主变压器低压侧的10 kV母线段，沿着预先搭建的电缆桥架延伸至厂用变压器室。在抵达目的地后，电缆通过专业的电缆夹头与厂用变压器的10 kV输入端紧密相连。厂用变压器发挥其核心功能，将输入的10 kV电压高效地转换为380 V电压。随后转换后的电能由低压开关柜分配送往各个厂区的用电负荷点，确保整个厂区电力供应的顺畅与高效。

在此基础上，根据发电机台数和容量、主变压器台数和容量以及厂用电源的引接方式，拟定垃圾焚烧发电厂电气主接线形式为单母线分段接线形式。选择母线材料和截面积，根据电流容量进行计算，公式为

$$S = \frac{I\sqrt{\Delta T}}{K} \quad (5)$$

式中， S 为母线截面积； I 为通过导体的电流； ΔT 为母线允许的最大温升； K 为与母线材料、散热条件等有关的系数。

计算母线能够承受的最大电流，公式为

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{KS\Delta T}{\rho L}} \quad (6)$$

式中， L 为导体长度； ρ 为导体材料的电阻率。

在垃圾焚烧发电厂电气主接线图的设计过程中，首先需要根据预定的主接线形式进行短路电流的计算，这一步骤是为了确保所选的电气设备能够承受系统可能出现的最大短路电流。然后根

据这些参数选择合适的电气设备。设备的选择必须能够确保在短路或其他异常情况下，系统能够迅速切断故障电流，保护设备免受损害，并维持电力系统的稳定运行。

设备选择完成后，需要按照工程的具体要求，将最终确定的主接线形式绘制成电气主接线图。在绘图过程中，首先设置图形界限与图层，并将定位线层置于当前，以绘制出电气主接线图的基本框架。然后将电气符号层置于当前，绘制所需的电气符号，并将这些符号转换成块，以便在后续的绘图中重复使用，提高绘图效率。根据电路布线的结果，将电气符号和母线等连接起来，形成完整的电气主接线图。在连接过程中，可以利用AutoCAD等绘图工具中的电气图形符号进行连接，并设置图元的动态外观，使得图形更加直观易懂。完成电气主接线图的绘制后，需要将设计好的图元整合为一个图元库，确保电气主接线图完整准确，并符合相关的电气规范和安全法规。

最后，组织专家进行方案评审，对设计的电气主接线方案进行优化，提高方案的可靠性和经济性。编制详细的电气主接线设计文档，准确地反映设计思路和成果。

2 实验分析

2.1 实验准备

实验对象为某中型垃圾焚烧发电厂，其电气主接线系统包含发电机、变压器、断路器、隔离开关和母线等重要电气元件。具体参数见表2。

表2 电气主接线系统参数

Tab. 2 Parameters of main electrical wiring system

序号	电气元件	参数
1	发电机	额定功率为 10 MW，额定电压为 10.5 kV，共 2 台
2	变压器	容量为 12 MV·A，电压等级为 10.5 kV/6.3 kV，共 2 台
3	断路器	额定电压为 10.5 kV，额定电流为 1 250 A，共 4 台
4	隔离开关	额定电压为 10.5 kV，共 6 台
5	母线	双母线接线方式，额定电压为 10.5 kV

使用ETAP电力系统仿真软件进行建模和仿

真分析，根据实际参数设置各元件的额定值、阻抗、故障率等属性。在模型中定义各种可能的故障事件和操作事件，并设置相应的故障率和修复率。

2.2 结果分析

为评估上文提出的基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计方法的效果，选取了两种常规的设计方法作为对照组，对照组1使用文献[1]提出方法，对照组2使用文献[2]提出方法，本文方法为实验组。通过模拟运行，测试了这些方法的电气主接线系统可用度。使用电力系统仿真软件，分别建立三种设计方案的电气主接线系统模型。在每种设计方案的模型中，进行为期一年的模拟运行。模拟过程中，记录系统发生的故障次数、故障修复时间以及系统正常运行的时间，从而计算系统可用度，公式为

$$A = \frac{M_{TTF}}{M_{TTF} + M_{TTR}} \quad (7)$$

式中， M_{TTF} 为电气主接线系统平均无故障时间； M_{TTR} 为电气主接线系统平均修复时间。

将收集到的数据代入式（7）计算系统可用度。电气主接线系统可用度对比结果如图2所示。

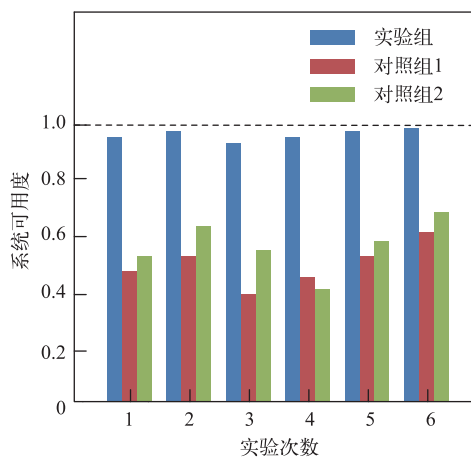


图2 电气主接线系统可用度对比结果

Fig. 2 Comparison of availability of electrical main wiring system

通过图2可以得知，应用本文提出的基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计方法

后，系统可用度显著高于另外两种方法，更加接近1，这意味着系统能够在更长时间内保持正常运行状态。在垃圾焚烧发电厂等关键领域，高可用度的电气主接线系统能够确保电力供应的连续性和稳定性，减少生产中断的风险，对于保障生产安全起到重要作用。

3 结束语

综上所述，基于改进GO法的垃圾焚烧发电厂电气主接线设计研究，不仅具有深远的理论探讨价值，还在实际操作中展现出显著的应用意义。本研究的核心目标在于借助前沿的理论框架和创新的方法论，进一步提升电气主接线设计的科学严谨性和准确度，从而确保发电厂在复杂多变的运行环境中能够稳定、高效运行。

展望未来，将继续深化研究，不断完善基于改进GO法的电气主接线设计方法，为推动电力系统设计领域的发展作出更大的贡献。

参考文献

- [1] 王政一，侯婕. 焚烧垃圾发电厂电气设计浅析[J]. 现代建筑电气, 2023, 14 (12): 57-59.
- [2] 刘畅. 垃圾焚烧发电厂电气部分设计要点分析[J]. 大众标准化, 2023 (19): 94-96.
- [3] 张馨兮. 变电站一次系统的电气主接线设计[J]. 集成电路应用, 2023, 40 (8): 104-105.
- [4] 马颖. 寿县九里保庄圩丁家岗泵站主接线电气设计

要点分析[J]. 科学技术创新, 2023(12): 83-86.

- [5] 陈思远，赵冬红. 浅谈垃圾焚烧发电厂低压厂用电单相接地短路保护[J]. 智能建筑电气技术, 2022, 16 (5): 40-44.
- [6] 易丹，焦显峰，邱建斌，等. 特大型垃圾焚烧发电厂发电机出线关键技术研究及应用[J]. 安装, 2022 (S1): 251-252.
- [7] 陈如赞. 基于蒙特卡洛-主成分分析法的电气主接线研究[J]. 电工技术, 2022 (3): 21-24.
- [8] 李坤. 生活垃圾焚烧发电厂电气工程设计[J]. 化学工程与装备, 2021(9): 197-199.
- [9] 陈思远，赵冬红，林士颖，等. 上海某垃圾焚烧发电厂二期工程电气监控管理系统设计[J]. 智能建筑, 2020 (11): 23-25.
- [10] 廖波. 浅谈垃圾焚烧发电厂电气主接线及发电机中性点接地方式的选择[J]. 新型工业化, 2020, 10(6): 37-38.

作者简介

陈清波（1989—），男，工程师，主要研究方向为发电厂设计（燃煤电厂、固体废弃物焚烧电厂、生活垃圾焚烧电厂、燃机电厂、变电站）等。

廖远旭（1990—），男，硕士，高级工程师，主要研究方向为发电控制保护自动化研究及设计。

（收稿日期：2024-08-05）