工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

乡镇工业园区供配电系统短路电流计算与保护装置选型优化

叶阳
中国汽车工业工程有限公司　天津市南开区　300100

DOI：10.32629/ems.v8i10.22589

［摘　要］乡镇工业园区作为县域产业集中发展的主要形式，所涉供配电系统一般有建设标准低、网架结构较繁、运行条件多样的特点，短路电流过高及保护装置整定不当是园区供电安全长期面对的共性障碍。文章以乡镇工业园区常见网架为分析对象，提出对短路电流作精细计算的可行方法，对各电压等级所对应的短路电流做归类说明和校验设计，按此思路对保护装置进行分级选型的优化思考，使各级继电保护之间能合理配合、准确动作，又不使建设成本过分上升，由此带动园区供配电整体上对短路的应对效率及安全冗余的提高。

［关键词］乡镇工业园区；供配电系统；短路电流计算；继电保护；选型优化

1 乡镇工业园区供配电系统的典型运行特性与短路电流管控痛点

首要问题是网架结构所具有的多源异质性。乡镇工业园区的供配电系统通常没有作一次性的完整设计、统一建设，而是按所服务企业数目逐步予以扩展和改造，各时期配置的供电装置参数差别很大，有早年用过的高阻抗旧式变压器，也有近几年装设的低损耗低阻抗型变压器，而且园区中很可能是多种分布式光伏电源同时联网运行，各种来源的电源以不同方式进入电网，对系统各节点的短路电流造成不均衡影响，不能简单地将某一电源点作为基准来估算短路电流，否则会与实际复杂工况不符。

第二是中低压短路电流占比远高于城市主电网。乡镇工业园区的供电电压层级以 10kV 中压与 380V 低压为主，高压侧的短路容量本身有限，但园区内部的配电变压器单台容量普遍偏大，部分工业用户的专用变压器容量可达 2000kVA 以上，且变压器距离低压母线的电气距离极短，导致低压侧母线的短路电流数值非常大，部分节点的三相短路电流可达数十千安，早期按小容量负荷选型的低压开关柜、母线等设备的动热稳定性能根本无法承受如此大的短路电流冲击，故障发生后极易引发严重的电气烧毁事故。

第三个问题是运行工况有高度的动态性。园区所涉各类工业用户的用电负荷性质并不相同，有的金属加工业因大功率设备而造成负荷突变（启停很频繁），有的新能源行业以分布式光伏形式发电（其出力随昼夜、气候有明显波动），所以系统所遇的短路容量不完全是静态量。若只按最大运行工况做一次短路电流计算,不能把各种实际状况都考虑进去，保护用整定值就可能对某些运行方式误判（如误动或拒动）。

从所涉场景本身出发看，目前乡镇工业园区供配电系统的短路电流管控有三类基本共性困难：第一是短路电流计算不够准确,多数园区对短路电流只作粗略估计(用经验公式)，不把多电源状况及各设备阻抗的差异纳入考虑范围，由此得到的数值和真实值相差较大，对一次设备选型、对保护装置整定所依据的基础信息造成根本性误导；第二是已有节点的短路电流可能已超过一次设备允许的开断容量，缺少限流控制方法，故障一旦出现就难于及时切断电流，事故不能迅速终止；第三是有关保护的选型、整定没有按系统思路设计，上下级保护在电流大小或动作时间上无适当配合，短路时越级跳闸较多，停电所涉区域往往被过分放大。

2 适配乡镇工业园区场景的短路电流精细化计算方法体系

首先建立全系统元件的阻抗参数精准归算模型。摒弃传统计算中直接套用标准参数的简化处理方式，将园区供配电系统内所有元件的实际阻抗参数全部纳入计算模型，涵盖上级电网的系统阻抗、每一台主变压器的实际铭牌阻抗值、每一段中低压电缆的实际阻抗参数、每一台分布式光伏并网逆变器的短路电流贡献系数，所有阻抗参数全部统一归算到短路点所在的电压等级，避免不同电压等级之间的阻抗折算错

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

误。针对园区内大量存在的不同年代投运的老旧变压器，不能直接采用现行标准规定的阻抗值，要结合设备出厂铭牌的实际参数进行输入，保证计算模型与实际系统的元件阻抗特性完全一致。

接下来要建立对多运行工况的短路电流全覆盖计算方法。不把传统上所称的最大、最小两种情况作为唯一考虑对象，而是根据乡镇工业园区运行特点来选定四类典型工况分别加以分析：第一类为最不利的极端短路情况（即上级电网短路容量大、园区变压器全并列、光伏系统满发），用以验证一次设备在动热状态及开断时的承受能力；第二类是极端最小值情况（上级电网短路容量小、园区只保留基本运行变压器、光伏完全停运），用以考查继电保护是否足够灵敏；第三类按一般情形处理（园区有部分变压器并列、光伏未满载），用以判断保护动作的择优性（即选择性）；第四类是特殊组合情况（最大容量用户电动机全压起动、其端子恰好短路），用以确定低压侧短路电流的峰值。所选四类工况覆盖了实际中可能遇到的各种短路状况，不会有计算所遗漏的盲区。

针对园区占比极高的 380V 低压侧短路电流计算，摒弃传统中高压系统常用的标幺值计算法，采用阻抗法逐段累加计算总阻抗，充分考虑低压侧母线、断路器、电缆、接触电阻等所有元件的阻抗对短路电流的限流作用，同时严格按照现行行业标准的要求，计入低压侧异步电动机对短路电流峰值的反馈贡献，保证低压侧短路电流的峰值计算结果与实际工况高度吻合，避免出现计算值远低于实际值，导致低压一次设备选型裕度不足的问题。

对各工况所对应的短路电流都作完整计算之后，应把系统中各个节点有关的三相短路最大值、两相短路数值及单相接地短路数据一并归入园区短路电流分布台账，清楚地指出短路电流过大或设备开断能力不够的危险点，由此给出可供分析利用的精确资料，即限流处理及保护配置改进所应参考的基本参数依据。

3 基于短路电流计算结果的限流协同控制策略

针对计算结果中发现的短路电流超标的高风险节点，结合乡镇工业园区建设资金有限的实际情况，采用分级协同的限流控制策略，以最低的成本将全系统的短路电流水平控制在一次设备的额定开断能力范围内。

第一层级从网架运行方式层面进行优化限流。针对园区内 10kV 母线短路电流超标的节点，在保证供电可靠性满足要求的前提下，将原本长期并列运行的母线调整为分列运行方式，通过母线分段断路器的分断，将原本并列的系统拆分为两个独立的供电分区，大幅降低分区内的短路电流水平，这种方式几乎不需要额外增加投资，就可以将母线短路电流水平降低 40%以上，是乡镇工业园区优先采用的限流手段。

第二层级以关键节点为思路来配置限流元件。就低压侧母线所遇的短路电流超标情况而论，在大容量配电变压器的低压出线点加装专用限流电抗器（应选低损耗、阻抗合适的类型），按技术要求控制其对正常电压的干扰程度，使所涉低压侧短路电流最大值不超出下游低压开关柜允许开断的电流范围，由此不必作太多、太贵的低压开关柜更换。对于某些短路电流特别突出的 10kV 线路，可在其首端安排快速固态限流装置，用毫秒级响应将短路阻抗置入电路，把短路电流峰值压到断路器能处理的程度，从源头上防止因超流而无法开断的设备故障。

若能同时运用网架优化及元件限流两种办法，就可把所用建设资金限制在一定数额内，又使全系统各点实际出现的短路电流不超出一次设备所允许的开断值，因而有利于继电保护的准确、安全运行。

4 保护装置分级选型优化与选择性配合体系

在短路电流水平得到合理控制的基础上，构建覆盖园区 10kV 进线、中压分支回路、用户变压器、低压出线回路的全层级保护装置选型优化体系，实现上下级保护之间动作电流与动作时限的精准级差配合，彻底解决传统配置中越级跳闸频发的问题。

所考虑的园区 10kV 总进线侧保护应采用三段式过流方式，速断部分按母线最大三相短路电流来确定动作电流整定值，动作时间取 0s；限时速断所用动作电流要避开下级母线可能达到的最大短路电流，动作时间是 0.3s；对过流情况整定的动作电流以最大负荷为准，时间取 0.5s。同时把零序保护作为独立功能予以配置，利用它对 10kV 单相接地做准确判断，不使传统零序保护造成整条线路不必要的停电。

针对园区内 10kV 中压分支回路的保护装置，选用小型化微机保护测控装置，速断保护动作电流整定值躲过分支线路末端的最大三相短路电流，动作时限设置为 0s；限时速断保

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

护动作时限设置为 0.2s，过流保护动作时限设置为 0.4s，与上级总进线保护的动作时限形成 0.1s 的级差配合，保证分支线路上发生短路故障时，仅本回路的保护装置动作跳闸，上级进线保护不会越级动作。

针对用户侧配电变压器的高压侧保护装置，配置融合速断、过流、瓦斯、温度保护功能的一体化综合保护装置，速断保护动作时限设置为 0s，过流保护动作时限设置为 0.2s，与上级中压分支回路保护形成 0.2s 的时间级差，保证变压器内部故障时，变压器侧保护率先动作跳闸，不会引发上级中压回路停电。

对低压侧所涉出线回路的保护装置不作无分析的高价大额定开断电流断路器选择，而是将该回路实际的短路电流最大值（按精细计算确定）作为基准，据此挑选开断能力恰当的断路器，既可防止因开断能力不够而发生不能灭弧的故障，又可避免用高规格设备造成资金浪费。上下级低压断路器所用参数应以选择性配合为原则来设定：上级的短延时脱扣电流要较下级瞬动脱扣电流有较大级差，其动作时间一般取 0.1s 的短延时，这样当某级回路出现短路时，只由下级断路器动作，上一级不会因此错误地跳闸。

通过全层级保护装置的选型与整定优化，整个园区供配电系统的继电保护形成完整的动作选择性配合链条，任意位置发生短路故障，都只会由距离故障点最近的保护装置动作跳闸，将故障停电范围严格限制在最小范围内，彻底杜绝大面积越级停电的问题。

5 全生命周期的校验与动态运维机制

在完成对短路电流及所用保护装置的计算和整定之后，要设计全生命周期内有关的动态校验、运维方法，使园区所遇负荷的增长不造成短路电流失控，也不导致保护装置因整定不当而不能适应实际运行状态。

应先设立园区供配电系统有关短路电流的年度复核制度，在每年年底根据当年新装或启用的各种变压器、分布式电源及线路来修正所涉设备的参数，对整体短路电流作一次计算性的清查，核实一次装置当前的开断能力及保护整定值对系统是否仍适用，若确定短路电流已上升而原来配置不能应对，则要尽早安排限流处理和保护定值修改，不要让隐患进入运行状态。

其次建立保护装置定期校验机制，每两年对所有继电保护装置的动作特性进行一次实测试验，检查保护装置的动作电流、动作时限是否与整定单完全一致，及时发现特性漂移的装置并更换，保证所有保护装置始终处于可靠可用状态。

最后考虑对新用户接入所作的同步校验，在每一个新增的工业用户要使用园区供配电系统之前，即把其有关的变压器容量及线路参数带入短路电流计算中，对所接位置的短路电流以及上下游保护的配合做一次核实，确定没有问题才予并网许可，不使新用户造成原系统中短路电流状态或保护逻辑的突变、失衡这类不良后果。

结束语

对乡镇工业园区所涉及的供配电系统做短路电流分析及保护装置选型优化时，不应机械地照搬城市电网现有技术方案，而要按其网络多源异构、实际工况多变、资金使用有限的实际情况来设计，以分层思路建立精确的短路电流计算方法，清楚地知道各处短路电流的大小和分布，在此基础上利用低造价的分级限流办法把短路电流维持于合理范围，再就各层级保护作适当匹配以达到选择性的准确控制，最后把全生命周期内的动态运维纳入考虑，在不使建设费用过分膨胀的前提下改善乡镇工业园区供配电状况中有关短路的各种表现，由此促进园区产业用电的安全、高效开展。

[参考文献]

[1]李梦旭，马磊. 煤矿井下多级配电系统短路电流计算与智能限流保护装置设计[J]. 电气技术与经济，2026,(8):304-307.

[2]边路明. 数据中心智能化供配电系统设计与施工技术探讨[J]. 智能建筑与智慧城市，2026,(S1):232-234.

[3]王佳慧. 基于 ETAP 的中压电极锅炉供配电系统仿真研究[J]. 建筑电气，2026,45(4):20-26.

[4]屈蔚航. 低压配电系统的短路电流计算与保护装置选型分析[J]. 新发现，2025,(20):25-27.

[5]吴玮烨，沈国芳. 工厂供配电系统短路故障暂态计算及分析研究[J]. 电工技术，2025,(11):152-155.

[6]顾洋洋. 智能供配电系统关键技术探究[J]. 大众标准化，2024,(10): 56-58.

[7]马丽彤. 园区高压维护及双电源保障设计[J]. 中国新技术新产品，2024,(5): 47-50.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.