

应急救援基地配电系统设计探讨

祝 超

中南建筑设计院股份有限公司 湖北武汉 430070

摘 要：结合设计实例，介绍国家华中区域应急救援中心汉南基地的配电系统设计方案，根据应急救援功能要求及特征，对配电设计的运行安全可靠、应急响应及时性、技术先进合理性、设计节能经济性、功能完善和运维简便性等特性简要阐述，并探讨符合建筑本质特征及用户需求的配电系统设计方案。

关键词：应急救援；配电系统；安全可靠

引言

应急救援分综合应急救援、专项应急救援和现场应急救援三种类型，根据国家应急部《“十四五”应急救援力量建设规划》，分别在东北、西北、西南、华中、华南等区域建设国家区域应急救援中心，承担地区地震、地质灾害、森林草原火灾、洪涝灾害等应急救援任务，华中区应急救援中心将重点负担洪涝灾害救援任务。华中区应急救援中心汉南基地建设功能包括区域性指挥协调、教学培训、基础训练、驻训备勤、仓储保障等，基地占地27万m²，建筑规模7.1万m²，具有地块范围广、单体建筑多、建筑功能丰富等特征，其配电系统对供电可靠性要求高、对电能质量要求优质、配电范围广、用电需求丰富，并要求运维简便、故障率低。针对以上特点，本次配电系统设计以安全可靠作为中心目标，提供经济合理的设计方案，具有完善实用的功能，兼顾配电系统的可持续发展。

配电系统的设计，包括负荷分级、变配电房的选址、变压器的选择、应急保供电源、线路设计、接地形式、保护选择及校验、电能质量优化与分析、故障记录及分析等，通过安全、可靠、经济、灵活的配电方案和高标准、多样化的配电形式，有效保障配电系统安全可靠，保证应急救援的工作效率，提升救援响应速度，提高能源效益，节约管理成本。

一、项目配电系统的特征

1. 对供电可靠性要求高

应急救援项目应保障与快速响应救灾、专业救援、紧急调运、指挥协调等系统相关的用电负荷，确保在自然灾害发生、甚至基地本身受灾时，上述系统仍具备连

续工作的能力。汉南基地配电系统的具体做法有：

(1) 采用双重10kV市政电源和自备独立的柴油发电机组供电，同时变压器容量冗余，以保障供电电源的可靠性。

(2) 两路电源的高压联络，成组的两台变压器的低压联络，当主供电电源故障时，可通过多种方式切换至备供电电源，配电系统具备较高的灵活性。

(3) 自备应急电源自动投切，便于管理的同时，及时响应对重要负荷的供电保障。

(4) 为不允许停电的设备配置不间断电源，以防止重要场所供电中断。

(5) 重要负荷两回配电线路互为备用，在配电末端毫秒级自动切换，降低停电风险，减少停电中断时间，甚至不中断供电。

(6) 变配电所、自备柴油发电机、数据中心、指挥中心等设计可靠的防洪、防涝、防雷、防火、抗震等措施，确保基地本身的供电安全。

2. 对电能质量要求优质

应急救援基地作为地区的应急指挥中枢，具有丰富的云计算、大数据、物联网、移动互联等信息技术的深度运用，且配置了齐全的数据收集、分析、研判、响应、调度系统，部署了“国际领先、国内一流”的高精尖装备器材，这类设备在受到电力系统的干扰时，比传统的机电设备更加敏感，对电能质量的要求更高。为避免电能质量问题引发设备故障或系统宕机、损坏，造成不可挽回的损失，要求需为基地提供优质的电能供应。

优质的电能质量来源于两方面，一方面是供电环节的电能质量优质、稳定性高，另一方面是用电环节的负荷干扰小、故障率低。汉南基地的配电系统具体要求有：

(1) 由供电部门提供优质品质的电能, 从附近电网引入的电源, 其电压偏差、电压波动与闪变、三相电压不平衡、暂态过电压、瞬态过电压、谐波、频率偏差、正弦波畸变等参数, 应在供电电能质量要求范围内。

(2) 为降低其他用户的干扰, 采用专线供电。

(3) 调研附近变电站的停电频率、停电时长、停电范围, 要求供电部门优先从可靠性高的变电站供电。

(4) 低压侧安装调谐式电抗电容器组, 抑制电网中的高次谐波, 限制电容器组的合闸涌流及操作过电压, 改善系统的电压波形, 减少电网中电压波形畸变, 提高电网的功率因数。

(5) 安装基于主动控制动态谐波注入 (OCDI) 技术的有源滤波器, 将反相谐波电流注入负载以实现对 2~51 次谐波的完全消除。

(6) 校核配电回路的电压降、大容量负荷启动时的母线电压降, 限制电压偏差。

(7) 为保持三相负荷平衡, 配电箱内的单相回路依次按 L1, L2, L3 相接电相序轮换。

(8) 针对精密设备、微处理器、电子设备, 对末端回路电流检测、分析, 自动调节末端配电处的谐波、三相不平衡, 消除零线电流, 提供过流速断保护、定时限、反时限保护。

3. 配电范围广

作为“辐射华中、覆盖全域”的区域应急指挥部, 项目包括综合救援、培训演练、装备储备、航空保障四个基地, 是集应急指挥协调、物资装备储备、航空保障投送、教学培训和基础训练等功能于一体的综合性功能区。根据基地功能不同, 其建筑性质及场地性质不一。各基地既互相独立, 又相辅相成。基地占地面积广、距离远、场地多, 单体建筑规模小、数量多。其用电负荷分布呈星点状, 在主体建筑附近集中分布, 在场地附近分布较少。

根据以上特点, 不同的基地设置单独的配电系统, 变配电房设置在负荷中心, 即主体建筑内。场地供电距离虽然较远, 但供电容量小, 且对个别距离与变配电房较远的负荷的供电电缆适当放大了截面, 以保证各用电负荷供电电缆的工作和启动电压降能满足规范规定和工艺设备安全运行的要求。

4. 用电需求丰富

应急救援基地的功能需求丰富、设施设备齐全、智能化程度高、机械化应用广泛, 且有大量的特种设备、

指挥通信设备、航空救援设备、模拟训练设备、自动化作业设备及其他高精尖装备运用, 用电设备占据较大应用比例。其他需要用电的方面也很多, 如照明、空调、采暖设备、恒温恒湿设备、电梯、风机、水泵、充电桩、厨房设备、弱电机柜、LED屏等。基地各类用电设备容量占比比重如图1所示。空调、照明用电仍占据较大份量; 项目电动汽车、电动运输车辆、电动舟艇等充电需求较大, 充电桩的用电比重也相对较高。工艺设备主要包括智慧化运输设备、模拟培训设备、造浪设备、桥臂式天车等。

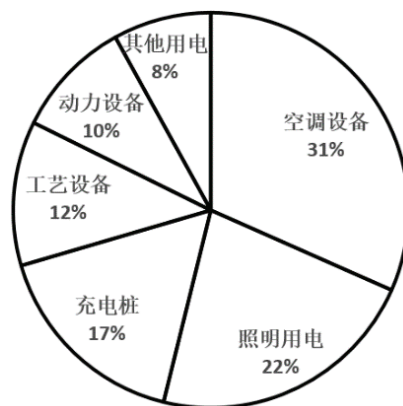


图1 各类用电设备容量占比

汉南基地的总变压器装机容量指标为 103VA/m², 高于常规的仓储、办公、宿舍等类型建筑指标, 为丰富的用电设备提供充足的电能供应。变压器负载率平均设计值在 80% 左右, 根据经验, 运行负载率大都低于设计值, 变压器运行负载率预期处于合理范围。

5. 运维简便、故障率低

为提高运维效率、降低故障率, 配电系统的设计、施工、管理等方面都应科学合理, 在配电系统设计时, 主要从以下方面着手:

(1) 按“无人值守”的标准建设变配电房, 广泛应用配电设备在线监测、电力监控、能耗计量、故障预警及报警等智能配电设备设施, 提高配电系统的自动化应用水平。

(2) 应用配电网故障管理系统, 记录、比较、诊断、分析、评价配电系统故障, 降低同类故障发生概率, 提高快速反应和故障处理能力, 提升配电系统运维效率, 保障配电系统运行可靠性。

(3) 简化配电系统结构, 低压配电系统以放射式配电为主, 对于小容量或同一路径的分散式负荷兼用树干式配电, 避免多级配电。

(4) 开关元器件上下级选择性配置, 采用电磁脱扣时, 选择整定值可调的断路器, 方便后期维护或更换设备。

(5) 电气设备的选择, 满足场所环境要求(如防潮、防尘、防爆、防腐蚀等), 保证电气设备使用年限, 减少环境因素造成的电气故障。

(6) 所有配电线路均进行过负荷保护、短路保护、接地故障保护校验及热稳定校验, 避免因设计不合理引发故障。

(7) 设备标识统一、清晰, 设置可靠的带电设备防护措施, 设备用房的装修满足卫生标准。

(8) 主要电气设备的状态、参数可视化, 以便了解配电系统内部情况。

(9) 资料完整、系统、齐全, 设计内容与实际建设内容一致, 电子文件模式统一, 归档齐全, 可供运维凭证、查考。

二、项目配电系统设计原则

应急救援项目遵循安全可靠、经济合理、完善实用、可持续发展的设计原则。

1. 安全可靠原则

配电系统的安全可靠, 实际上与供电、变电等系统环环相扣, 在进行负荷侧配电系统设计时, 影响配电系统安全可靠的因素分为外因、内因。外因指电源侧停电或故障引发的配电系统安全可靠问题, 具体包括电网计划性停电、故障停电、电压波动、频率震荡等; 内因指由配电系统自身原因引发的问题, 如接地、短路、过负荷、漏电、放电、断线等。配电系统安全可靠是项目正常运行的必要条件, 应避免配电系统故障, 减少配电系统安全隐患, 提高配电系统运行稳定性能。

在项目设计时, 供电电源按“主备供+冗余”原则选取, 开关按“选择性配合”的原则选取, 电缆按“持续允许载流量”原则和“经济运行”原则设计, 一级负荷按“线路备用、末端切换”原则设计等, 确保电源侧的安全可靠的同时, 又保障了配电侧的安全可靠, 实现整个项目配电系统的安全可靠。

2. 经济合理原则

在进行项目建设时, 配电系统设计的经济合理性是项目落地的关键要素。确立绿色节能的设计方向, 通过优化配电架构、采用高效设备、降低系统损耗、利用可再生能源、设计节能管理措施等方式, 降低项目建设成本、减少运行能耗, 促进绿色发展, 实现配电系统设

计的经济性与合理性。在配电系统的各类设备用量、用材、用法上, 贯彻经济合理设计的原则, 避免过度设计、无效设计。融合绿色理念, 采用先进技术, 建立科学体系。基于实际需求, 按经济适用要求, 确定节能环保设计方案。

在进行实际设计时, 各等级负荷应分级准确, 备供设计要合理; 变配电房按“靠近负荷中心”原则选址; 变压器按“经济性比较”原则选取, 优先考虑低损耗变压器; 应急电源形式、电压等级等应进行合理性分析; 线路设计按“最短路径”原则敷设; 接地形式可选择TN-C-S或TN-S型, 前者经济性更高; 电气保护设备“可靠动作、相互配合”的原则整定等。

配电系统的设计, 在考量实际经济效益, 最大程度满足用户实际用电要求的同时, 对建筑用能降本增效, 以实现项目全生命周期的成本优化、质量提升。

3. 完善实用原则

配电系统的设计应完善、实用, 要求在进行配电系统规划设计时, 以系统功能和基本需求为主, 以智能配电和智慧化管理措施为辅, 搭建结构简洁、系统清晰的配电架构, 确保配电系统完善、有效、稳定、正常, 满足项目需求和发展要求。

在设计配电系统时, 应充分考虑材料、产品、技术的经济实用性, 以达到资源的合理运用和能源的有效转化, 降低成本, 提高效益。充分考虑用户的实际需求和用户体验, 满足建筑物的照明、空调、设备、工艺等需求, 为用户提供舒适、安全、高效的生活和工作环境。

4. 可持续发展原则

配电系统的可持续发展强调在满足当前需求的同时, 兼顾未来发展的需要。在进行配电系统设计时, 遵循国家相关标准、规范, 考虑未来的发展需求。

在产品、工艺、技术的选择上, 体现先进性和现代化; 在配电系统的管理措施上, 体现智能化和自动化; 采用高效节能的配电技术和方法, 提高配电系统传输效率, 落实节能减排政策, 降低碳排放。充分考虑现实需求和长期发展的关系, 分析日后规模化扩建的可能性, 从全局出发, 统筹设计。

三、项目配电系统方案分析

项目采用“双重10KV市政电源+自备0.4kV柴油发电机组”的供电形式, 变压器由高压中心配电室放射式引出, 两两成组。10kV采用单母线分段接线, 高压联络。变压器低压侧联络。项目配电系统主接线见图2。

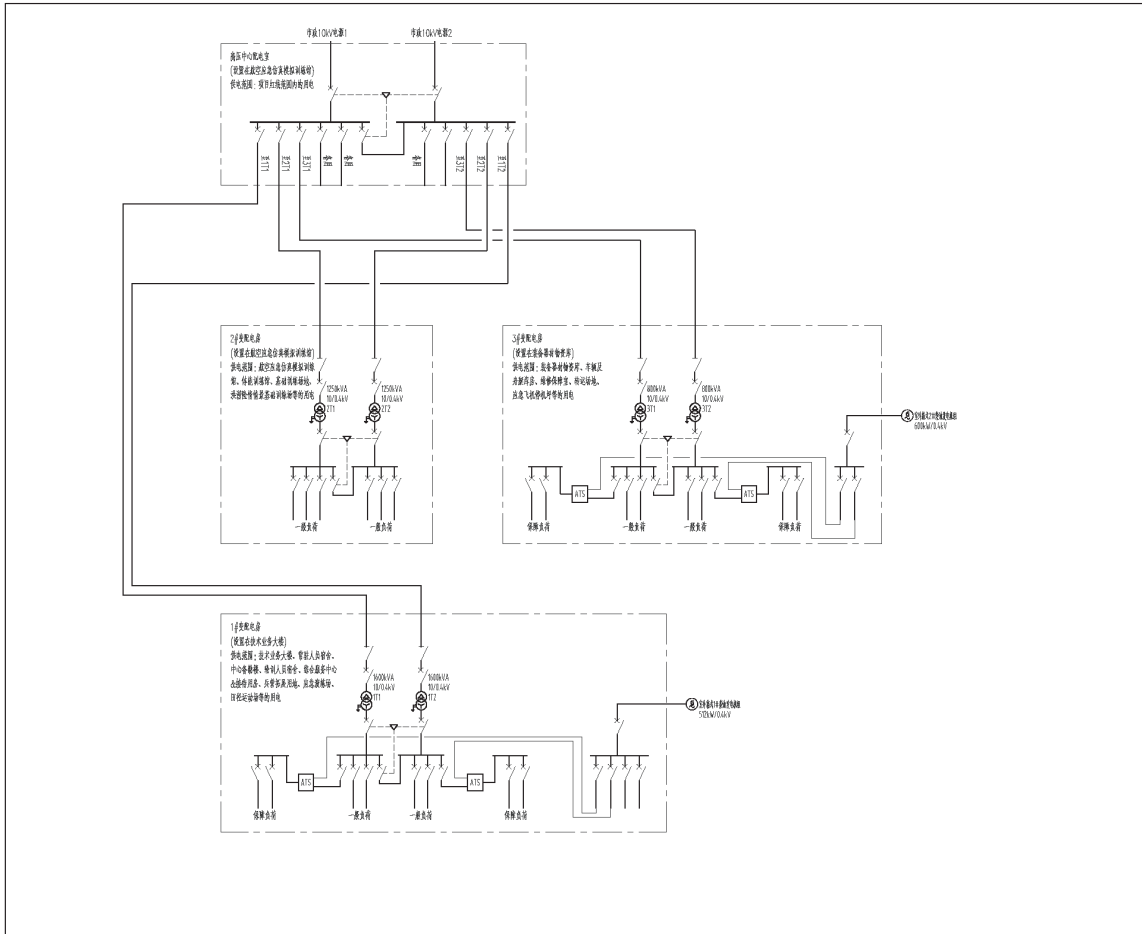


图2 配电系统主接线

结语

本文分析了应急救援项目配电系统的主要特点，结合实际案例，介绍应急救援项目配电系统设计时的具体要求，概括了应急救援项目配电系统设计的主要原则。通过合理的配电系统设计，确保应急救援队伍在平时训练和应对突发事件、危机时，具备安全、可靠、齐备、完善的用电环境，保障救援行动迅速、有效地开展。

参考文献

- [1] 《民用建筑电气设计标准》GB51348-2019
- [2] 《低压配电设计规范》GB50054-2011
- [3] 《供配电系统设计规范》GB50052-2009
- [4] 杨赞磊, 雷达, 王浩. 配电系统可靠性评估方法综述[J]. 山西电力, 2020, (06): 1-4.
- [5] 杨顺华, 杨彤. 供配电系统可靠性分析[J]. 浙江建筑, 2023, 40 (05): 76-78.