

实验建筑电气设计要点与实践思考

苗小庆

中国中元国际工程有限公司

DOI: 10.32629/ems.v8i9.22145

[摘要] 随着我国科研事业快速发展，实验室建设行业规模持续扩张，实验建筑数量不断增长。实验建筑区别于普通民用建筑，涵盖化学、物理、生物等多类学科实验室，包含常规实验室与具有安全风险的特殊实验室，具备功能定制化、设备种类繁多、用电需求差异大、安全约束条件多等特征。电气系统作为实验建筑运行的基础保障，直接关系到实验数据可靠性、仪器设备寿命以及人员与环境安全。本文结合实验建筑行业发展现状，分析实验建筑电气设计面临的难点与挑战，从前期工艺调研、负荷分级、不同功能实验室电气方案、安全防护等维度梳理设计策略，为同类实验建筑电气工程设计提供参考。

[关键词] 实验建筑；实验室；电气设计；供电可靠性；工艺调研

一、实验建筑行业发展与建筑分类

国家持续加大科研领域投入，各类科研院所、高校、疾控机构、医药企业纷纷新建、改扩建实验建筑，带动实验室建设行业高速发展。行业快速扩张的背景下，实验建筑的功能复杂度持续提升，对电气专业的设计水平提出更高要求。按照学科属性划分，实验建筑可分为化学类、物理类、生物类实验室。化学类包含有机、无机、高分子化学实验室；物理类涵盖电学、力学、光学、热学等研究方向；生物类又细分为普通生物实验室、微生物实验室、动物实验室、植物实验室等。

按照使用环境条件，实验室分为常规实验室与特殊实验室。常规实验室即无压差、无净化要求的普通化学、生物、物理实验室；特殊实验室范围更广，包含洁净实验室、恒温恒湿实验室、防静电实验室、移动实验室，同时还包含生物安全实验室、辐射实验室、易燃易爆危险品实验室等存在人员、环境潜在风险的实验室类型。特殊实验室往往有严苛的压力梯度、洁净度、温湿度控制要求，部分场所还存在生物、化学安全隐患，电气设计不能直接套用普通民用建筑设计思路，需要结合实验工艺条件开展定制化设计。

二、实验建筑电气设计特点与现实挑战

实验建筑电气设计不同于办公楼、住宅等常规民用建筑，项目实施全过程存在诸多难点，主要体现在以下几个方面。

第一，实验室类型繁多，用电需求差异化显著。不同学

科、不同等级实验室的用电负荷、供电保障等级、接地、电磁屏蔽、智能化监测要求差距巨大。大科学装置类实验室、疾控生物安全实验室、普通教学实验室的电气配置标准完全不同，不存在统一标准化模板，属于强功能性、需求侧主导的定制化设计工作。

第二，实验设备数量多，专业交叉性强，设计复杂度高。实验建筑内部布置大量精密仪器、大型试验设备，既有普通单相用电设备，也有 380V 大功率工艺设备，部分贵重仪器对电源质量、接地、电磁环境有着严格要求。电气专业需要和工艺、暖通、建筑、给排水等多专业深度配合，机电系统需要适配工艺平面布局，设计专业性要求高。

第三，供电系统需要兼顾可靠性、安全性、通用性与可扩展性。科研项目存在迭代更新的特点，实验室仪器设备会持续更新换代，后期可能新增大功率设备。电气系统不仅要满足当下实验使用，还要预留扩容条件，兼顾供电安全，同时适配未来工艺调整，这就对配电系统的冗余设计提出较高要求。

第四，项目设计周期内需求频繁变动。很多建设项目前期，业主方实验工艺需求难以完全明确，在方案、初步设计甚至施工图阶段，实验室功能分区、仪器摆放位置仍会调整，造成电气点位、配电箱、管线随之修改，增加设计协调工作量。

第五，实验室相关标准体系庞杂。除通用民用电气规范

外，实验建筑还需要遵循科研建筑、生物安全、实验动物、疾控中心、洁净厂房等多项专项规范，不同规范之间的条文需要统筹协调，设计人员需要充分熟悉多领域规范要求，避免出现规范适用遗漏问题。

三、实验建筑电气总体设计策略

3.1 强化前期工艺调研，夯实设计基础

工艺先行是实验建筑设计的核心原则，电气设计不能脱离实验工艺单独开展。很多项目后期出现插座容量不足、电源等级不匹配、缺少特殊接地、监测点位缺失等问题，根源在于前期调研工作不到位。完整的前期工作包含功能调研、工艺平面梳理、机电收资、需求分析、确定机电条件五个环节。

首先依据业主任务书或者现场实地调研，梳理项目实验室功能分区、人员流线、实验室类型、各房间面积；其次结合调研成果绘制初步建筑工艺平面图，协调确定机电站房、管井位置；再面向使用方管理人员开展机电收资，统计每个房间用电参数：大于 2kW 大型仪器数量、设备安装高度、照明特殊要求、是否需要双路电源、UPS 不间断电源、380V 动力设备、特殊接地、电磁屏蔽等特殊条件。同时同步统计智能化需求，包含网络、监控、门禁、气体监测、温湿度压力监测、互锁装置等内容，形成完整房间机电需求统计表。基于收资完成需求分析，输出电气与智能化方案，把确认后的机电条件作为后续设计的正式依据，减少后期反复变更。

3.2 负荷分级与供电系统配置

实验建筑负荷分级需要依据《民用建筑电气设计标准》GB 51348、《科研建筑设计标准》JGJ91、《生物安全实验室建筑技术规范》GB 50346 等多项规范综合判定。部分对供电连续性要求极高的场所，除双电源供电外，还需要配置柴油发电机或 UPS 不间断电源作为后备电源，保障停电状态下实验样本、贵重设备不受损坏。

结合多个已落地项目工程案例，实验建筑变压器装机容量指标大致在 120~160VA/m²区间，柴油发电机或 UPS 不间断电源配置根据项目实验工艺实际需求确定，不做统一强制配置。实验建筑存在一个显著用电特征：每间实验室末端安装容量很高，但全部设备同时满负荷运行概率低，变压器侧的

同时使用率偏低，计算变压器容量不可直接简单累加所有房间设备功率，需要结合工艺工况合理选取同时系数，避免变压器选型过大造成投资浪费。

3.3 不同类型实验室末端配电设计

3.3.1 通用实验室

通用实验室设计核心关键词为通用、灵活、可扩展。按照实验单元设置独立末端配电箱，并且设置计量功能，便于后期能耗统计管理。墙面和实验台位置预留充足 10A、16A 普通插座；岛式实验台根据台面长度设置 2~3 个独立供电回路；落地大型设备区域预留足够插座点位，提前核实是否存在 380V 大功率设备。

配电末端可以采用功能柱、悬桥、设备带等新型配电构件，实现实验台上供电，实验台电源盒与功能柱管线连通，适配实验台灵活调整摆放位置。每个实验区域设置等电位端子箱，保障人身和设备接地安全。网络、电话点位同步配套，每个实验台预留网络接口，每间实验室设置电话点位，满足科研通讯与数据传输需求。

3.3.2 仪器室与公共仪器平台

仪器室存放大量贵重精密科研设备，供电条件是设计重点。设计阶段全面收集设备安装条件：UPS、稳压电源需求、供电频率、特殊接地、抗微振、洁净度、可燃气体探测报警等条件。每台大型仪器采用放射式供电方式，清晰划分供电分界界面，规避后期设备调试阶段责任纠纷。

房间内设置等电位端子箱，大型仪器配置网络接口用于设备数据采集。针对高价值仪器房间，结合工艺要求考虑设置气体灭火设施，提升设备消防安全。重点核对设备是否存在 380V 或者大容量单相负荷，配电回路、线缆规格匹配设备实际参数。

3.3.3 洁净实验室

洁净实验室核心关注洁净度、温湿度、压力梯度指标。洁净房间以及配套净化空调机组，采用双电源供电。缓冲间设置门禁互锁装置，楼宇自控系统完成净化机组逻辑联动控制。净化空调电加热器配备无风、超温断电保护；电加湿器配置无水保护，防止设备故障引发安全事故。室内灯具选用洁净专用灯具；设置紫外消毒灯的区域，开关位置需要合理

布置，避免人员误触发照射伤害。

3.3.4 动物实验室

动物实验室需要保障屏障环境稳定，控制温湿度、压力梯度。动物饲养环境光照模拟自然昼夜节律，采用可调光智能照明系统。配电箱布置在辅助区域，不占用饲养房间内部空间。紫外消毒灯开关做好管控，避免误操作伤害实验动物与工作人员。

3.3.5 样本库与超低温冰箱间

样本库、超低温冰箱间关乎生物样本安全，供电安全是第一位。超低温冰箱配置独立报警系统，故障、断电信号能够上传至监控系统，一旦设备异常能够第一时间通知管理人员处置，避免生物样本失效损毁。

四、实验建筑电气安全防护设计

实验建筑日常试验作业过程中会大量使用各类化学危化品，室内长期存在易燃易爆介质和有毒有害气体的扩散风险。部分专项实验区域还存放放射性物质与高价值实验耗材，整体运行环境的安全风险远高于普通民用建筑。电气系统作为实验室运行的核心基础设施，其安全防护能力直接决定现场作业的风险防控水平，因此需要结合实验场景特点搭建完整可靠的电气安全防护体系，从设备防护、环境监测、接地保护及智能管控等多维度落实安全设计。

4.1 环境安防与气体泄漏防护

实验建筑内部各类化学试剂的存放与试验操作，会持续产生可燃及有毒气体挥发聚集问题，密闭实验空间一旦出现介质积聚极易引发爆炸中毒等安全事故。为从源头管控环境风险，所有存放和使用易燃易爆气体的实验房间及气体分配区域，均需要规范布置可燃气体探测装置。涉及有毒试剂操作的功能房间，应配套对应的有毒气体检测设备，实现室内危险介质浓度的全天候监测。探测设备采集到超标信号后可同步触发双重联动机制，一方面直接启动区域事故排风设备，通过机械通风快速稀释室内危险气体浓度，避免介质积聚造成安全隐患。另一方面将报警信息实时上传至建筑消防控制室，方便管理人员第一时间掌握现场异常情况并开展应急处置。对于存放剧毒化学品放射性物资及贵重实验材料的重点实验室，还需要配套入侵报警装置出入口门禁管理系统

和高清视频监控体系。通过人防与技防结合的方式，严格管控人员进出权限，杜绝无关人员进入高危实验区域，全面提升实验室物资管理与现场作业的安全等级。

4.2 接地保护与智能监测防护

可靠的接地体系是实验建筑电气安全设计的核心内容，也是保障精密仪器稳定运行和人员作业安全的基础措施。实验室不同功能区域的用电设备类型差异较大，普通实验房间精密仪器操作区及特殊高危实验场所的接地需求各不相同。设计过程中需要分区设置等电位端子箱，实现房间内部金属设备金属台面及箱体结构的统一等电位联结，有效消除设备之间的电位差值。针对高精度检测仪器和电磁屏蔽实验房间，需要单独设置专用接地系统，严格控制接地电阻参数，降低外界电磁干扰对实验数据和设备精度的影响，同时规避设备漏电引发的人身触电风险。在基础安全防护之外，现代化实验室还应搭建一体化智能监测体系，对室内温湿度环境压力空气介质浓度及重点机电设备运行工况进行实时数据采集。系统可自动识别运行异常状态并主动推送报警提示，帮助运维人员及时排查设备故障和环境隐患，有效降低实验室事故发生率，全面提升建筑整体运维管理的规范化与智能化水平。

五、总结与展望

实验建筑作为国家科研创新的硬件载体，电气设计工作应当坚持工艺先行，前期充分调研梳理工艺需求，才能实现事半功倍的设计效果。供电可靠性、供电连续性、配电系统通用性、可扩展性是实验建筑电气设计的核心要点。电气设计工作不能只关注配电本身，还需要兼顾实验室环境控制配套，处理好与暖通、工艺专业之间的接口。当前实验室建设逐步朝着标准化、模块化、装配式方向发展，电气专业也应当适配这一趋势，推广功能柱、设备悬桥等装配式末端配电产品，提升实验室空间灵活性。面对种类繁多的实验室类型，设计人员需要吃透各类专项规范，充分理解实验工艺，平衡安全性、可靠性、经济性，规避因工艺理解不足带来的设计缺陷。未来随着科研设备持续迭代更新，新技术、新设备不断投入实验室使用，实验建筑电气设计也需要持续积累工程经验，不断优化完善设计方案，为科研工作保驾护航。