

学校建筑的电气设计案例浅析

文 / 郭海雄 筑博设计股份有限公司西安分公司

李天宇 中显规划设计研究院（西安）有限公司

摘要：本文以某学校建筑电气设计项目为研究对象，围绕其电气系统的规划与实施展开分析。首先概述项目基本情况，重点探讨供配电系统的负荷分级、变电所配置，低压配电系统的电缆选型与安全防护措施，以及照明系统的功能分区与应急方案。通过系统化设计思路，提出兼顾安全性、节能性与适用性的解决方案，为同类学校建筑电气设计提供参考。

关键词：学校建筑；电气设计；案例分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.099

引言

随着学校基础设施的快速发展，学校建筑电气系统设计面临更高要求。传统设计中存在的能效管理不足、应急保障滞后等问题亟待改进。本文结合现行规范标准，针对教学空间、实验室、公共区域等不同功能区的用电特性，系统阐述供配电、低压配电及照明系统的设计要点，旨在构建安全可靠、经济合理的电气系统框架，为学校类建筑的电气设计提供实践指导。

一、电气设计的内涵

电气设计是以电气工程理论为基础，结合具体应用场景与环境条件，对电力系统、设备布局及控制方案进行系统性规划与优化设计的工程技术体系。其核心目标是构建安全高效的电能传输与应用架构，贯穿从电路设计、设备选型到系统调试的全过程。作为工业制造与建筑工程的关键支撑技术，通过精确的负荷计算、电磁兼容性分析和智能控制策略，确保供电系统稳定运行。技术价值主要体现在：通过优化设备选型参数提升能源利用效率，减少电能损耗；同时构建多级安全防护体系，防范电气故障导致的安全隐患。随着智能电网与可再生能源技术发展，电气设计已成为推动生产自动化升级和能源结构转型的重要技术支撑，对智慧城市建设和产业可持续发展产生深远影响^[1]。

二、学校建筑电气设计分析

项目总建筑面积 39,751.64 平方米，涵盖教学区、生活区和附属设施。其中 4 层教学楼建筑面积 9,800 平方米，5 层宿舍楼建筑面积 7,532 平方米，3 层实验楼建筑面积 4,200 平方米，单层传达室建筑面积 219.64 平方米。地下 1 层设置 18,000 平方米空间，包含车库及设备用房。

教学区设置 36 个标准教学班级，生活区配备 436 个床位（含教师及宿管床位 79 个）。主体建筑高度指标：教学与宿舍楼 17.85 米，实验楼 13.7 米，传达室 5.1 米。

（一）供配电系统

1. 用电指标分析

根据 JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》技术标准，其中表 4.4.1 明确无空调建筑的单位面积用电指标^[2]。鉴于当前学校建筑普遍在教室、宿舍等区域加装空调，建议设计时依据规范条文解释中不同空调系统

（分体式、多联机、集中式）对应的用电参数，动态调整配电容量配置。实践表明，负荷指标需结合学校功能定位与办学标准升级需求，重点参考空调配置方案对用电增量的影响。基于工程实证数据编制的单位面积用电指标对照表（见表 1），可为同类项目提供涵盖常规教室、实验室等场景的差异化参数选择框架，确保配电系统设计与实际负荷需求相匹配。

（单位：W/m²）

序号	建筑类别	空调形式		
		电动压缩 机冷水机 组	直燃机或 吸收式制 冷机	多联机或单 机分体空调
1	教学楼	30 ~ 60	20 ~ 35	45 ~ 70
2	图书馆	35 ~ 60	20 ~ 35	40 ~ 60
3	实验楼	45 ~ 80	25 ~ 50	50 ~ 80
4	体育馆	60 ~ 100	35 ~ 60	-
5	会堂（会议及一般文艺活动）	45 ~ 70	20 ~ 40	-
	会堂（会议及文艺演出）	80 ~ 120	50 ~ 80	-
6	办公楼	40 ~ 80	25 ~ 50	50 ~ 80
7	食堂	65 ~ 130	35 ~ 85	75 ~ 130
8	宿舍	-	-	50 ~ 60（每居室不小于 1.5 kW）

表 1：用电指标

2. 负荷等级划分原则

学校建筑电力负荷分级需综合建筑属性、功能分区、实验室规格及设备特性等多维度判定。设计前期应系统分析项目特征，明确功能定位，科学制定供电方案。特殊区域须按二级负荷设计：主要通道照明、食堂主设备及操作间照明、集会场所疏散照明及舞台系统、科研实验室精密仪器。消防设施、应急照明、电梯、安防系统等关键负荷亦属二级。

基于现行技术规范要求，建议设计人员在学校建筑电气设计过程中建立规范核查机制，重点参照以下标准文

件：GB51348-2019《民用建筑电气设计标准》第3.2章分级细则、GB50016-2014（2018版）《建筑设计防火规范》第10.1章消防供电条款、JGJ310-2013《教育建筑电气设计规范》第4.2章专项要求，确保消防供电、餐饮主系统等技术指标合规，避免因分级偏差导致设计返工^[3]。

3. 二级负荷供电技术要求

1) 对于二级负荷的供电接入，建议优先采用35kV、20kV或10kV双回路系统进行电能输送。在负荷容量较低或区域电网建设受限的情况下，允许采用35kV、20kV或10kV专用单回架空线路进行电能传输。

2) 当建筑物采用单回路35kV、20kV或10kV电源供电时，原则上应由两台独立变压器分别引出低压回路，并在用电负荷侧的配电装置内实现供电切换，相关规范有特别规定的除外。

3) 对于配置双重电源且低压侧设置母联开关的建筑物，其二级负荷允许通过单一低压母线回路进行电能分配。此供电方式需满足变压器低压侧母联系统的正常运行条件。

4) 针对季节性运行的二级负荷设备（如冷水机组及其配套系统），允许配置专用变压器实施电能供给。该供电方案需满足设备运行特性和负荷波动要求。

5) 采用双重电源双回路交叉供电的照明系统，经电气设计验证后可确定为二级负荷等级。

本项目最大用电负荷等级为二级，具体实施方案如下：供电系统采用双回路10kV进线制式，高压侧实施单母线分段运行模式；低压配电系统配置两台独立变压器，通过负荷端配电箱的双路切换装置实现二级负荷的可靠供电。

4. 变电所设置

变电所选址作为电力基础设施建设的重要环节，其合理性直接影响工程实施效果。工程实践表明，科学开展选址论证工作并优化总平面布局，可有效降低建设成本、缩短工期并提升运营效益，若选址失当则易导致资源浪费与经济损失。

学校建筑变电所选址需满足双重技术标准：既要严格遵循GB 51348-2019《民用建筑电气设计标准》及地方供电部门的技术要求，又须符合学校行业专项规范JGJ 310-2013《教育建筑电气设计规范》的特殊规定。

基于学校建筑功能布局分散化的特征，供配电系统设计需重点控制供电半径参数。经多项目验证，当供电线路实际敷设长度（非直线距离）控制在250米范围内时，电压偏差可稳定维持在±5%的规范允许值。本项目首期建设以教学楼为主，鉴于首层均为教学用房的功能限制，经综合评估建筑规模、形态特征、供电半径及市政接入条件等要素，最终确定在项目一期最南端设置集中式变电所（如图1所示）。需特别说明，图示供电路径长度均按实际线缆走向标注，非空间直线距离。

（二）低压配电系统

1. 低压配电系统

本工程变电所设于教学楼地下区域，以教学楼为典型示例，宿舍楼、实验楼及综合楼与教学楼的主要区别在于：在地下一层设有独立设置的二级配电间，其余末端配电形式与教学楼配置一致^[4]。

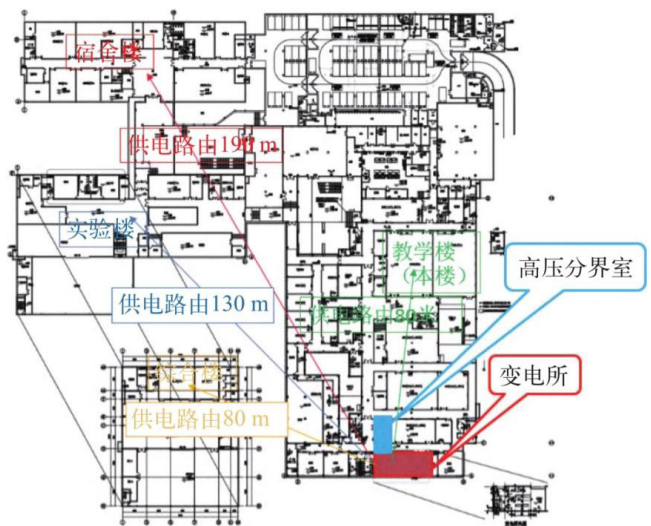


图1 变电所为止

该配电架构具备以下优势：①实现单体建筑独立配电系统，便于故障后检修维护；②有效减少变电所低压柜出线回路数量；③优化小截面电缆供电距离，改善线路压降问题。

供电系统按负荷特性差异化配置：普通照明及常规负荷采用220/380V交流电，通过二级配电间配电柜实施放射式与树干式混合供电；大功率用电区域（含消防水泵房、风雨操场、厨房设备区、换热站及给水中水泵房）单独设置专用总配电箱，由变电所低压柜直接放射供电；对于消防供电系统，采用双回路供电系统，并在末端设置自动切换装置，其双电源配置完全满足二级负荷供电规范要求。

2. 供电电缆选型分析

结合现行规范要求与实际工程设计经验，对学校建筑电缆选型需重点考虑以下因素：

第一，规范适用性解读。JGJ 310-2013《教育建筑电气设计规范》5.3.2条提出“宜采用无卤、低烟且阻燃型电线电缆”的推荐性条款。在工程实践中发现，该条款的执行存在理解偏差风险——项目投资方可能基于“宜”字采取选择性执行策略，但作为专业设计人员，必须严格把控供电系统的本质安全需求。

第二，关键规范交叉验证。（1）防火性能要求：JGJ 310-2013 5.3.1条第3款明确规定线缆材料应满足双重防护要求，既需控制火焰蔓延对建筑结构的威胁，又要避免含卤烟雾的次生危害。

（2）材料选择标准：GB 50217-2018《电力工程电缆设计标准》3.3.7条针对人员密集场所特别规定，应优先选用交联聚乙烯等无卤材料，明确禁止使用聚氯乙烯绝缘电缆。

（3）场所性质认定：依据GB 50016-2014（2018版）条文解释及现行消防法规，学校建筑明确划归为人员高度聚集场所范畴。

第三，设计实施要点。综合多维度规范要求可知，学校建筑供电系统应采用同时满足以下技术指标的电缆：阻燃等级达到B1级及以上；烟密度等级SDR ≤ 75；卤酸气体释放量HCL ≤ 5mg/g；燃烧气体pH值 ≥ 4.3。

该选型方案既符合规范强制条款，又能有效平衡安全性与经济性需求，避免因规范理解偏差导致的设计缺陷。

3. 建筑物防雷、接地及安全

GB50057 规定雷击次数 >0.05 次的重要公共及人员密集建筑属二类防雷。JGJ310 明确学校建筑（教学楼/宿舍等）适用。如北京某校 $N=0.1267$ 次，属二类。在学校建筑的防雷、接地及安全防护设计中，除常规设计方法外，以下技术细节需要特别关注，以供相关工程参考：

1) 屋面接闪器宜优先选用暗敷工艺，该方式能有效提升建筑外观完整性和抗风性能。需要特别说明的是，暗敷施工需确保接闪导体的连续电气通路。

2) 当建筑存在金属屋面或金属栏杆等构件时，在满足 GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》第 5.2.1 和 5.2.7 条款的前提下，可充分利用既有金属构件作为接闪装置，但必须通过专业计算验证其热稳定性与机械强度。

3) 对于存在燃烧或爆炸风险的排风系统及燃气锅炉房通风设施，必须配置专用静电导除接地装置。该装置接地电阻值应严格控制在 4Ω 以内，并设置定期检测标识。

4) 建筑内部设有变电所时，低压配电系统推荐采用 TN-S 制式。需特别注意 PE 线截面积的选择标准：根据相线截面积不同，PE 线需满足：当 $S \leq 16\text{mm}^2$ 时，PE 线与相线等截面；当 $16 < S \leq 35\text{mm}^2$ 时，PE 线最小 16mm^2 ；当 $S > 35\text{mm}^2$ 时，PE 线不小于相线截面的 50%。

（三）照明系统

1. 普通照明设计规范

学校建筑的光环境规划需综合考虑建筑功能与空间特性，科学确定照度水平、显色性能及光分布均匀度。设计中应注重自然采光与人工照明的协调运用，实现光环境优化配置。依据《教育建筑电气设计规范》（JGJ 310-2013）与《建筑照明设计标准》（GB/T 50034-2024）的相关技术条款，现就关键设计要素作如下说明：

1) 照度指标要求。中小学美术教室、计算机室及电子阅览室需维持 500lx 的照度标准，其中教室黑板面照度应同步达到 500lx 。同时需确保黑板面与课桌区域的照度均匀度不低于 0.7，并须配置专用黑板照明装置。

2) 光源显色特性。教学空间建议选用显色指数 $R_a \geq 80$ 的光源配置，对于色彩辨识要求较高的特殊场所（如美术教室），推荐采用 $R_a \geq 90$ 的高显色性光源。

3) 灯具布置规范。安装定位：避免在视觉干扰区域设置灯具，教室主照明灯具距课桌垂直高度不应低于 1.7 米；防眩处理：阶梯教室前排灯具需优化安装角度，避免产生视线遮挡和直接眩光；布灯方向：荧光灯管长轴应保持与黑板垂直的排布方式；灯具选型：优先选用高效节能型灯具，禁止使用未配备防护罩的裸灯。

4) 重点区域照明。需精细操作的实验台、阅读台等特定工作区域，应增设辅助照明装置以满足局部高照度需求。

5) 智能控制系统。公共区域（走廊、门厅等）推荐采用集中式智能控制系统，并依据建筑采光条件实施分区调控。常规教室、实验室等教学空间需设置多点控制开关（每室不少于 2 个），其中黑板照明须独立设置控制回路。

6) 分组控制策略。多列灯具布置区域宜实施分组控制：① 普通教室灯具组应与侧窗轴线保持平行② 图书馆空间按书架分布或阅读动线分组③ 多媒体教室按屏幕距离实施梯度控制。

2. 消防应急照明及疏散指示系统技术要点

学校类建筑应根据其功能定位与空间特性，合理配置疏散照明、备用照明及安全照明等应急照明设施。需重点关注以下技术规范要求：

第一，学校建筑应根据功能特点科学配置应急照明系统，重点满足照度分级与系统协调要求。基础学校建筑（中小学、幼儿园）疏散路径地面照度需达 5lx ，高等学校建筑的防烟楼梯间前室等关键区域需维持 5lx ，其余通道最低 3lx （JGJ 310-2013）。现行规范体系需综合执行：GB51348-2019 规定学校疏散照明需具备 60 分钟持续工作能力，基准照度 10lx ；GB55037-2022 细化照度分级，要求楼梯间、避难层提升至 10lx ，常规走道保持 3lx ，辅助空间不低于 1lx 。

第二，技术实施需统筹多标准联动：非火灾工况下应急灯具主电源中断后，响应时间须控制在 0.5 小时内（GB51309-2018）。供电系统配置遵循 GB51348-2019 要求，EPS 蓄电池初始容量按疏散照明时间的 3 倍设计，配备自备柴油发电机组时可降为 1 倍系数。设计过程中应重点核查各规范对场所类型、照度阈值及供电冗余的参数差异，确保系统兼容性与可靠性。

第三，工程实践建议。经多规范交叉验证，建议采取以下设计方案：集中电源装置持续供电时间宜 ≥ 90 分钟；疏散路径照度统一采用 10lx 设计标准；蓄电池初始容量根据项目实际供电条件进行差异化选型。

结语

本学校建筑电气设计通过合理划分负荷等级、优化供配电网络结构、强化防雷接地措施，实现了系统安全性与运行效率的平衡。在照明设计中采用分区控制与智能应急方案，有效提升了能源利用效率。实践表明，该设计方案符合学校建筑的功能需求，对同类项目具有示范意义，为未来校园电气系统的可持续发展提供了技术参考。

参考文献

- [1] 刘潇怡. 学校建筑施工过程中电气设计关键点分析[J]. 城市开发, 2024, (13): 128-129.
- [2] 陈恩理. 职业学校体艺馆建筑电气设计中的要点研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(07): 124-126.
- [3] 陈琳媛. 基于老年大学适老化的电气设计思路分析[J]. 江西建材, 2024, (06): 132-134.
- [4] 顾清, 张祥. 学校末端回路电气设计方案[J]. 电工技术, 2024, (06): 207-209.