

# 某中小学建筑的电气设计案例浅析

梁婧怡

(建设综合勘察研究设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 通过对某中小学建筑电气设计的负荷等级、供电电源、变电所位置、低压配电干线设计、电缆选择、照明系统设计、防雷与接地系统的设计进行简要的浅析, 旨在确保教育建筑的用电安全、可靠和合理, 同时满足校方运营的需求, 并为中小学建筑的电气设计提供一些参考。

**关键词:** 中小学建筑; 负荷等级; 供电电源; 低压配电; 电缆选择; 照明系统; 防雷与接地系统

## A brief analysis of the electrical design case of a primary and secondary school building

LIANG Jingyi

(Construction Comprehensive Survey and Research Design Institute Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Through a brief analysis of the load level, power supply, substation location, low-voltage distribution main line design, cable selection, lighting system design, lightning protection and grounding system design of a certain primary and secondary school building's electrical design, the aim is to ensure the electrical safety, reliability and rationality of educational buildings, while meeting the operational needs of the school, and providing some reference for the electrical design of primary and secondary school buildings.

**Keywords:** primary and secondary school architecture; load level; power supply; low voltage distribution; cable selection; lighting system; lightning protection and grounding system

## 0 引言

近年来, 随着教育事业的发展和社会地位的不断提高, 中小学教育逐步国际化, 国家加大了对中小学校的各方面的投入。在硬件方面, 中小学建筑也与教育的发展相适应, 建筑是学校品牌竞争的重要组成部分, 其电气系统更是学校建筑的关键, 应该按照自身的特点原则来设计, 以适应时代发展的需要。

本文主要通过对笔者负责的某中小学建筑的电气设计案例的要点进行浅析, 为同行在以后的教育建筑电气设计中提供参考。

## 1 工程概况及电气设计理念

### 1.1 工程概况

本工程总建筑面积 $39\,751.64\text{ m}^2$ , 包括一栋4层教学楼、一栋5层宿舍楼、一栋3层实验楼、一间单层传达室、地下1层车库及配套用房。地上总建筑面积 $21\,751.64\text{ m}^2$ , 地下总建筑面积 $18\,000\text{ m}^2$ 。教学楼及宿舍楼建筑高度 $17.85\text{ m}$ , 实验楼高度 $13.7\text{ m}$ , 传达室高度 $5.1\text{ m}$ 。

本项目共36个班级, 宿舍楼内教师及宿管床位数79个, 学生床位数356个。

## 1.2 电气设计理念

中小学校供电具有其自身特点，将教学用房与非教学用房的配电线路划分为不同支路进行配电。教学用房的用电采用集中控制，上课时接通电源，下课时切断电源，放假期间则统一切断电源。值班室或办公室等非教学用房需保持正常供电，以便于管理人员使用。考虑到教学建筑体量较大、教室功能齐全的特点，整个配电系统的竖向配电设备沿井道贯通，方便学校后期改造扩容等教学需求。

## 2 供配电系统

### 2.1 用电指标

JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中表3.2.5规定，中小学总变配电站变压器容量指标为 $20 \sim 30 \text{ V} \cdot \text{A}/\text{m}^2$ ，而在表4.4.1中对不设空调的建筑类别做出单位建筑面积用电指标的规定，但该推荐值仅适用于不设空调的建筑；然而，现在大部分的学校在教室、办公室、宿舍、实验室等类型房间均有配备空调的要求，所以最终变压器容量指标还需增加。JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》条文解释中表4.4.1给出的相应建筑类别所对应的空调形式下的单位面积用电指标可作为设计参考。

笔者认为，在中小学教育建筑的设计中，校方对学校的定位直接影响负荷指标的配置。若定位更高，则需根据需求适当增加用电指标。笔者根据相关规范及实际项目案例，总结出建筑教育类别在不同空调形式的单位面积的用电指标表，供设计师参考，见表1。

### 2.2 负荷等级

教育建筑的用电负荷等级非常复杂。建筑物定义、功能区域、教室类别、实验室等级、用电设备等都是定义用电负荷等级的依据。所以笔者建议，当设计中小学建筑时，在设计前期应准确了解项目的整体特点及学校对于各建筑、各区域功能的等级定位，准确定义负荷等级，确认整体的供电方案，避免负荷等级定义错误，从而造成

表1 教育建筑不同空调形式的单位面积用电指标

Tab. 1 Unit area electricity consumption indicators for different forms of air conditioning in educational buildings

(单位:  $\text{W}/\text{m}^2$ )

| 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） |

设计失误及工作反复。

大多数设计师认为，三级负荷建筑很多区域及功能房间均为三级负荷设计，但恰恰教育建筑有所不同。容易错误判断负荷等级的场所有：①主要通道照明应为二级负荷；②厨房主要设备用电、冷库、主要操作间、备餐间照明应为二级负荷；③大型会堂主要通道照明、乙等会堂舞台照明、电声设备应为二级负荷；④对供电连续性要求较高的其他实验室应为二级负荷。

所以笔者认为做教育建筑电气设计应勤查规范，一定要满足各区域及场所的用电要求。本项目根据现行规范GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》中3.2.1和3.2.2条的相关条文、GB 50016—2014《建筑设计防火规范》（2018版）中10.1.1~10.1.3条的相关条文、JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中4.2条的相关条文规定及设计任务书等要求，定义多层民用中小学建筑中消防负荷用电、应急照明、主要通道照明、电梯、厨房主要用电、火灾自动报警系统、安防系统等为二级负荷。

### 2.3 二级负荷供电要求

1) 二级负荷的外部电源进线宜由35 kV、20 kV或10 kV双回路线路供电；当负荷较小或地区供电条件困难时，二级负荷可由单回路35 kV、20 kV或10 kV专用的架空线路供电。

2) 当建筑物由单回路35 kV、20 kV或10 kV电源供电时，二级负荷可由两台变压器各引一路低压回路在负荷端配电箱处切换供电，另有特殊规定者除外。

3) 当建筑物由双重电源供电，且两台变压器低压侧设有母联开关时，二级负荷可由任一段低压母线单回路供电。

4) 对于冷水机组（包括其附属设备）等季节性负荷为二级负荷时，可由一台专用变压器供电。

5) 由双重电源的两个低压回路交叉供电的照明系统，其负荷等级可定为二级负荷。

本项目最高负荷等级为二级负荷，采用双回路10 kV外电源供电，高压为单母线分段运行方式；低压为两台变压器各引一路在负荷端配电箱处切换供电。

### 2.4 变电所设置

变电所站址是电力基本建设工作的主要组成部分。实践证明，凡是重视前期工作，站址选择得好，总布置既合理又紧凑的，则投资省、建设快、经济效益高，反之，将给电力建设造成损失和浪费。

教育建筑变电所的选址不但要满足GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》的相关条文规定及地方供电局的相关要求，还需要满足教育建筑的行业标准JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》。

教育建筑最为重要的特点就是各用电建筑单体较为分散，所以从供配电系统上需要考虑供电半径的问题。通过以往项目经验，供电路由在250 m范围内均满足规范要求，电压偏差为 $\pm 5\%$ 。由于本项目教学楼为首期建设，变电所需考虑设置在首期建筑中，而首层均为教室，因

此结合项目规模、建筑形态、供电半径和市政条件等因素，在项目一期最南侧设置一处变电所，如图1所示。图1中，供电路由长度均为实际线路走向长度，而非直线。

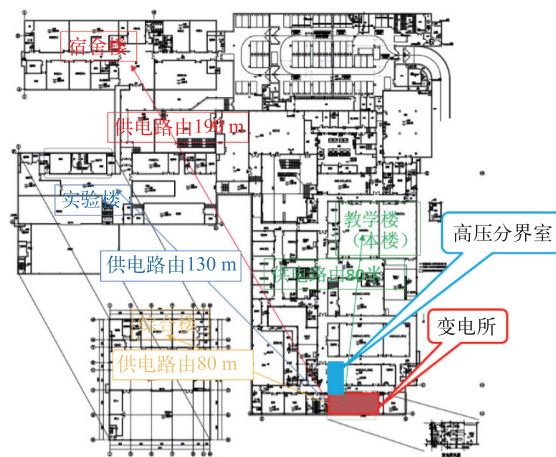


图1 变电所位置

Fig. 1 Substation location

若项目开发周期及建筑条件允许，教育类建筑还是建议变电所设置于用电负荷中心位置。本项目设置位置属于开发周期及建筑条件均受限的情况下确定的位置。

## 3 低压配电系统

### 3.1 低压配电

本项目变电所设置于教学楼地下室，低压配电形式以教学楼为例，系统框图如图2所示。

宿舍楼、实验楼、综合楼与教学楼的不同之处在于，在地下一层设置独立的二级配电间，其他末端形式均相同。此方式的供电形式的优点为：①实现各单体独立配电，避免故障后小电缆过多带来的检修不便；②节省变电所低压柜的出线回路；③小电缆配电过长，压降相对较大。

对于照明及一般负荷采用DC 220 V/380 V放射式与树干式相结合的供电方式，引自二级配电间内配电柜；消防水泵房、风雨操场、厨房、换热站、给水中水泵房等大负荷用电区域单独设置总配电箱，由变电所内低压柜放射式供电；消防负荷采用双路电源供电并在末端自动切换，双

路电源应满足二级负荷供电要求。

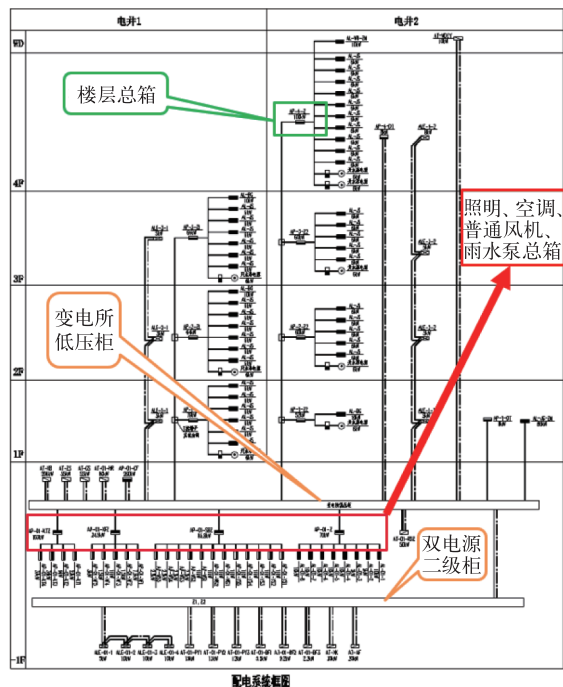


图2 教学楼配电系统框图

Fig. 2 Power distribution system in teaching building

### 3.2 供电电缆的选择

根据JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中5.3.2条规定,教育建筑中敷设的电线电缆宜采用无卤、低烟且阻燃型电线电缆。笔者认为此条款很容易误导设计师,从投资者角度分析,规范中的“宜”一般理解为条件允许时才执行,不会从严处理。但作为设计师一定要确保供电的安全性及合理性。

1) JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中5.3.1条第3款要求,线缆绝缘材料及护套应避免火焰蔓延对建筑物和消防系统的影响,并应避免燃烧产生含卤烟雾对人身伤害。

2) GB 50217—2018《电力工程电缆设计标准》中3.3.7条规定,在人员密集场所或有低毒性要求的场所,应选用交联聚乙烯或乙丙橡胶等无卤绝缘电缆,不应选用聚氯乙烯绝缘电缆。

3) 根据GB 50016—2014《建筑设计防火规范》(2018版) 5.5.19条文解释、《中华人民共和国消防法》《中华人民共和国公安部关于人员密集场所加强消防安全的通告》等文件,确

定学校建筑为人员密集场所。

综上,学校建筑供电电缆应采用低烟、无卤且阻燃的电力电缆。

### 3.3 建筑物防雷、接地及安全

GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》中3.0.3第9款规定,年预计雷击次数大于0.05次的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所应划为第二类防雷建筑物。笔者认为此条应着重注意,避免设计师忽略学校建筑属于人员密集场所,应按上述条款执行;同时JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中9.2.2第2款明确表示,年预计雷击次数大于0.05次的教学楼、图书馆、实验楼、学生宿舍、体育馆、会堂等建筑应划为第二类防雷建筑物。

本建筑计算防雷击次数以教学楼为例,年预计雷击次数为0.126 7次,见表2。本建筑物按二类防雷建筑要求设置。

表2 教学楼年雷击计算

Tab. 2 Calculation of annual lightning strikes on teaching buildings

| 年雷击计算表(矩形建筑物) |                            |                                  |
|---------------|----------------------------|----------------------------------|
| 建筑物数据         | 长/m                        | 66.8                             |
|               | 宽/m                        | 100.6                            |
|               | 高/m                        | 17.85                            |
|               | 等效面积/km <sup>2</sup>       | 0.036 0                          |
| 建筑物属性         |                            | 省部级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所 |
| 气象参数          | 地区                         | 北京市                              |
|               | 年平均雷暴日/d                   | 35.2                             |
|               | 年平均密度/(次/km <sup>2</sup> ) | 3.520 0                          |
| 计算结果          | 预计雷击次数/次                   | 0.126 7                          |
|               | 防雷类别                       | 第二类防雷                            |

对于教育建筑的防雷、接地及安全设置,除常规设计外,笔者还列举几点需要注意的地方,为以后教育建筑项目设计提供参考。

1) 屋面的接闪器建议采用暗敷设形式。

2) 当建筑屋设有金属屋面或墙上设有金属栏杆时,可作为接闪器,但需满足GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》中5.2.1及5.2.7的

相关要求。

3) 排除有燃烧或爆炸危险气体、蒸气和粉尘的排风系统及燃油或燃气锅炉房的机械通风设施,应设置导除静电的接地装置。

4) 当建筑物内有变电所时,低压配电系统应采用TN-S系统;其专用接地线(即PE线)的截面积规定见表3。

表3 专用接地线(PE线)截面积

Tab. 3 Special grounding wire (PE wire) cross-sectional area

(单位: mm<sup>2</sup>)

| 相线的截面积            | PE 线的最小截面积 |
|-------------------|------------|
| $S \leq 16$       | $S$        |
| $16 < S \leq 35$  | 16         |
| $35 < S \leq 400$ | $S/2$      |

## 4 照明系统

### 4.1 普通照明

教育建筑照明设计应根据建筑物性质和环境条件,确定合理的照度、显色性和均匀度,且应有效利用自然光,并处理好自然采光与人工照明的关系。根据JGJ 310—2013《教育建筑设计规范》和GB/T 50034—2024《建筑照明设计标准》中对教育建筑照明的要求,可以总结出以下几点。

1) 限度标准。中小学美术教室、计算机室及电子阅览室的照度均应达到500 lx,其中各教室黑板面照度也应达到500 lx,黑板面上及课桌区域内的均匀度不小于0.7,且应专设黑板照明灯具。

2) 光源的显色性。教室的照明光源宜选用显色指数 $R_a \geq 80$ ,对识别度要求高的场所(如美术教室)宜选用 $R_a \geq 90$ 。

3) 灯具的安装及附件的选择。避免将灯具安装在干扰区内,教室照明灯具与桌面的垂直距离不小于1.7 m;坡地面或台阶地面的合班教室,前排灯不应遮挡后排学生视线,且不应产生直接炫光;灯管应采用长轴垂直于黑板方向布置;教室内应使用高效率灯具,不得使用裸灯。

4) 需要仔细观看的教育建筑实验室内的实

验桌、阅览室内的阅览桌等应设置局部照明。

5) 教学楼、办公楼、体育场馆、图书馆、实验楼等建筑的走廊、楼梯间、门厅等公共场所的照明,宜采用集中控制,并宜按建筑使用条件和天然采光状况采取分区、分组控制措施;普通教室、实验室、办公室宜在每个门口处设开关控制,除只设置单个灯具的房间外,每个房间灯的开关不宜少于2个,黑板照明应单独设置开关。

6) 照明区域设有两列及两列以上灯具时,宜按下列方式分组控制:①普通教室、阅览室等房间所控灯列宜与侧窗平行;②书库宜按书架或走道分组,阅览室宜按阅览桌分组;③多媒体教室、阶梯教室、报告厅等场所宜按靠近或远离屏幕及讲台分组。

### 4.2 消防应急照明和疏散指示系统

教育建筑应根据场所的特点和需要,设置疏散照明、备用照明、安全照明等应急照明。

根据JGJ 310—2013《教育建筑电气设计规范》中8.6.2条规定:①中小学和幼儿园的疏散场所地面的照度不应低于5 lx;②高等学校的防烟楼梯间前室、消防电梯前室、楼梯间和室外楼梯的疏散照明的地面水平照度不应低于5 lx,其他场所水平疏散通道的照度不应低于3 lx。

此条规范也非常容易使设计师出现设计错误,根据现行的规范:

1) GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》表13.6.6中规定:学校建筑属于人员密集场所,人员密集场所的平面及竖向疏散照明时间为60 min,疏散照度为10 lx。

2) GB 51309—2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》中3.6.6条规定:在非火灾状态下,主电源断电后灯具的应急点亮时间不超过0.5 h。

3) GB 55037—2022《建筑防火通用规范》10.1.9中规定:①疏散楼梯间、疏散楼梯间的前室或合用前室、避难走道及其前室、避难层、避难间、消防专用通道,不应低于10.0 lx;②疏散走道、人员密集的场所,不应低于3.0 lx;③本条

上述规定场所外的其他场所，不应低于1.0 lx。

4) GB 51348—2019《民用建筑电气设计标准》6.2.2中第4条规定：EPS的蓄电池初装容量应按疏散照明时间的3倍配置，有自备柴油发电机组时EPS的蓄电池初装容量应按疏散照明时间的1倍配置。

综合规范要求并结合现有集中电源产品，建议集中电源的持续工作时间不小于90 min，疏散照度按10 lx设计，初始容量根据项目具体电源情况选择。

## 5 结束语

学校建筑属于人员密集的公共民用建筑，其特点是功能区域多、负荷等级多、教室种类多；负荷等级的定义、供电电缆的选择、防雷等级的定义及照明系统的设计都是设计师们容易出错的地方。本文通过对中小学建筑电气设计的分析，希望能给设计同行提供一些参考价值，文中不足之处望各位同行及专家指正交流。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑电气设计标准: GB 51348—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [2] 中华人民共和国公安部. 建筑设计防火规范(2018版): GB 50016—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [3] 中华人民共和国应急管理部. 消防应急照明和疏

散指示系统技术标准: GB 51309—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.

- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 教育建筑电气设计规范: JGJ 310—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [5] 中国电力企业联合会. 电力工程电缆设计标准: GB 50217—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中小学校设计规范: GB 50099—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑照明设计标准: GB/T 50034—2024[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.
- [8] 中国机械工业联合会. 建筑物防雷设计规范: GB 50217—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [9] 中国机械工业联合会. 供配电系统设计规范: GB 50052—2009[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [10] 中国机械工业联合会. 低压配电设计规范: GB 50054—2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国应急管理部. 建筑防火通用规范: GB 55037—2022 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2022.

### 作者简介

梁婧怡(1991—)，女，工程师，研究方向为建筑电气设计。

(收稿日期: 2024-10-24)