

美标与国标电气设计详细对比

高远

宁夏工业设计院有限责任公司 宁夏 银川 750001

【摘要】：通过国内 GB 标准和美国 NEC 标准的学习，对电气常见的基础概念进行对比学习：包括负荷分级与供电要求、低压配电系统与电压等级、布线系统与电缆选型、电气计算（负荷计算、短路电流计算、电压降校验）及防雷防静电设计。

【关键词】：美标与国标；GB 标准；NEC 标准

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.051

1 负荷分级与供电要求

1.1 中国 GB 标准的负荷分级体系

国内建筑电气负荷分级的核心依据是 GB 51348-2019《民用建筑电气设计标准》第 3.2 节。该标准将用电负荷按“中断供电所造成的损失或影响程度”划分为三个等级：一级负荷：中断供电将造成人身伤亡、重大政治经济影响、或造成公共场所秩序严重混乱。典型负荷包括：消防水泵、消防电梯、消防报警系统、应急照明、手术室用电、安防系统、通信机房等。一级负荷中还存在“特别重要负荷”的概念，指中断供电将直接危及生命或造成不可挽回损失的负荷（如 ICU 抢救设备、安防监控主机），这类负荷除双电源外还需增设应急电源（EPS/UPS）。二级负荷：中断供电将造成较大损失或较大影响，或影响较重要用电单位的正常工作，或造成人员密集的公共场所秩序混乱。典型负荷包括：客梯、生活水泵、高级客房照明、大型商场扶梯等。三级负荷：不属于一级和二级的所有其他负荷，如普通照明、普通插座、一般空调等。

1.2 美标 NEC 的负荷分类体系

NEC（美国消防协会 NFPA70《国家电气规范》）不使用“负荷分级”这一概念，而是按系统功能将备用电源系统分为三类，分别对应不同的条文要求。Article 700：应急系统：定义为“旨在自动为照明或供电设备提供电力，以保障人员安全的系统”。涵盖负荷包括：应急照明、出口标志灯、消防报警系统、消防泵、电梯应急控制等。核心要求是主电源失电后，系统必须在 10 秒内自动恢复供电。应急电源通常为柴油发电机，且必须配备自动转换开关（ATS）。Article 701：法定备用系统：定义为“由地方法规要求设置的备用电源系统”，用于在主电源失效时为关键设备供电，以避免安全隐患或生产中断。涵盖负荷包括：消防通讯设备、防排烟风机、工业通风系统、污水处理设备等。切换时间要求为 30 秒以内，也可通过 ATS 实现自动切换。Article 702：可选备用系统：定义为“为私人住宅或商业设施提供备用电力，但不属于生命安全范畴的系统”。涵盖负荷包括：住宅空调、冰箱、商业空调、普通动力设备等。无强制切换时间要求，可采用手动转换开关。

1.3 两套体系的核心差异

GB 标准以“负荷重要程度”为分类依据，从负荷端出发，根据中断供电后果的严重性来确定等级。NEC 以“系统功能”为分类依据，从电源端出发，根据备用电源所服务的系统性质来确定规范要求。这种差异导致一个实际后果：在国内设计中，设计人员首先逐一识别每个负荷的等级，然后按等级配置供电方案；在美标项目中，设计人员首先确定哪些系统属于 700/701/702 范畴，然后按系统配置电源和切换方案。

2 低压配电系统与电压等级

2.1 中国低压配电体系

中国低压配电系统采用 220V/380V 三相五线制，频率 50Hz。相电压 220V（相线对中性线），线电压 380V（相线之间），两者关系为 $220V \times \sqrt{3} \approx 380V$ 。这是国内最基础、最通用的低压配电制式。国内低压配电系统主要采用 TN-S 和 TN-C-S 两种接地形式。TN-S 系统中，从变压器低压侧中性点引出的 N 线和 PE 线全程分开，是最安全的接地方式，广泛用于新建民用建筑。TN-C-S 系统前端采用 TN-C（N 线和 PE 线合并为 PEN 线），进入建筑物后在总配电箱处分开为独立的 N 线和 PE 线，常见于老旧小区改造和施工现场临时用电。TT 系统和 IT 系统在国内民用建筑中较少使用，TT 系统主要用于农村配电，IT 系统用于医院手术室等特殊场所。

2.2 美标低压配电体系

美标低压配电系统有三种主要制式，频率 60Hz。制式一：120V/240V 单相三线系统：变压器采用单相中心抽头接法，二次侧输出 240V，中心抽头接地引出中性线，形成两个 120V 支路。主要用于住宅建筑。120V 供普通插座和照明回路，240V 供电热水器、干衣机、空调等大功率设备。制式二：120V/208V 三相四线系统（208Y/120V）：变压器采用星形（Wye）接法，二次侧线电压 208V，相电压 120V（ $120V \times \sqrt{3} \approx 208V$ ）。主要用于商业建筑。120V 供单相插座和照明，208V 供三相动力设备（风机、水泵、空调机组）。这是北美商业建筑最主流的配电制式。制式三：277V/480V 三相四线系统（480Y/277V）。同样采用星形接法，线电压 480V，相电压 277V（ $277V \times \sqrt{3} \approx 480V$ ）。主要用于大型工业和商业设施。480V 供大功率动

力设备, 277V 可供大面积照明(如超市、仓库的高棚灯)。当建筑规模较大时, 采用 480V 配电可显著减小导体截面积和线路损耗, 再通过变压器降至 208Y/120V 供末端使用。制式四(老旧系统): 240V/120V 高腿三角形系统: 这是一种正在逐步淘汰的老旧系统。变压器采用三角形接法, 其中一相绕组的中心抽头接地引出中性线, 提供 120V 单相电。但三角形的顶点(即未接中性线的那一相)对中性点的电压为 208V(而非 120V), 这就是所谓的“高腿”。NEC 强制要求高腿相导体必须用橙色标识, 且不得接入 120V 普通插座回路。

3 布线系统与电缆选型

3.1 中国布线体系

国内布线采用“整根电缆敷设”模式。电缆在工厂预制完成, 包含绝缘层、护套、屏蔽层等全部结构, 运至现场后整根敷设。常用电缆型号: YJV、VV、BV 等。国内电缆截面采用公制(mm^2)标注, 常用规格为 1.5、2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240 mm^2 等。导体颜色在电缆出厂时已确定: 三相线分别为黄/绿/红, 中性线淡蓝, PE 线黄绿双色。穿管敷设时, 国内通常使用 PVC 管或 JDG 镀锌钢管。

3.2 美标布线体系

美标布线采用“散线穿管”模式——将单根绝缘导体穿入导管中现场敷设, 而非使用预制整根电缆。

导体类型(绝缘型号)

美标导体的命名规则为“绝缘类型+耐温等级+外护层”, 常见类型: THHN(尼龙护套电线电缆) XHHW(阻燃聚烯烃绝缘电力电缆)等。美标导体截面不使用 mm^2 , 而采用 AWG(美国线规)和 kcmil(千圆密耳)标注。AWG 数值越大, 导体越细; kcmil 用于大截面导体。

3.3 两套体系的关键差异

国内是“电缆思维”——选一根合适的电缆, 整根敷设; 美标是“散线思维”——选合适的导体和导管, 现场穿管。这导致两者的设计流程完全不同: 国内设计师选电缆时直接查电缆载流量表即可; 美标设计师需要先确定导体类型(THHN 等)、再查载流量、再考虑温度修正和并管降容、再校验端子温度限制、最后确定导管规格和填充率。

4 电气计算

4.1 负荷计算

中国方法: 需要系数法, 美标方法: 伏安法。

4.2 短路电流计算

国内短路计算依据 GB/T 15544(等效采用 IEC 60909), 采用对称分量法计算三相短路、两相短路、单相接地短路电流, 计算结果用于选择断路器的额定短路开断能力(Icu/Ics)。

美标短路计算通常采用 ANSI/IEEE C37 系列标准方法。与

国标方法的核心区别在于: 美标采用“网络缩减法”, 将所有电源和阻抗简化为故障点的等效阻抗, 再计算短路电流。计算中需要区分“第一周期”和“第四周期”两个时间点的短路电流值, 分别用于设备额定值校验和断路器开断能力校验。

4.3 电压降校验

国标 GB 50052 规定, 正常运行条件下用电设备端子处的电压偏差允许值为: 电动机 $\pm 5\%$, 照明 $+5\% \sim -10\%$, 其他用电设备 $\pm 5\%$ 。

美标 NEC 对电压降的要求以“推荐值”而非强制性条文的形式出现: 分支回路、馈线回路最大电压降 3%; 馈线和分支回路(合计)最大电压降 5%。

5 防雷与接地系统

5.1 防雷系统设计

中国标准: GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》。该标准将建筑物按使用性质和雷击风险分为三类, 滚球法是 GB 50057 确定接闪器保护范围的基本方法。其原理为: 以一个规定半径的球体在装有接闪器的建筑物上滚过, 球体被接闪器阻挡而无法触及的建筑表面即为保护范围。滚球半径越小, 保护要求越严格。

美标: 设计依据 NFPA 780, 提供了两种确定保护范围的方法: 滚球法: 采用半径为 150ft(约 45m)的滚球, 与 GB 50057 第二类防雷建筑的滚球半径一致。球体接触接闪器或地面时, 球体下方的空间即为保护区域。对于超过 150ft 高度的结构, 需在多个高度设置附加接闪器。保护角法: 适用于高度不超过 50ft(约 15m)的结构, 保护区域为以接闪器尖端为顶点的圆锥, 圆锥角为 45° 或 63° (取决于高度)。NFPA 780 要求接闪器沿屋脊、檐口和屋顶周边按间距不大于 20ft 或 25ft(约 6m 或 7.5m)布置。所有供电入口必须安装浪涌保护器, 标称放电电流不小于 20kA(8/20 μs 波形每相)。

5.2 接地系统设计

中国接地体系: 国内接地系统采用 IEC 标准的 TN/TT/IT 分类法。在民用建筑中, 几乎全部采用 TN-S 系统: 变压器低压侧中性点直接接地(接地电阻 $\leq 4\Omega$), 从变压器引出 L1/L2/L3/N/PE 五根线, N 线和 PE 线全程分开。PE 线在建筑物进线处做重复接地, 接地电阻 $\leq 10\Omega$ 。

美标接地体系: NEC Article 250 规定了接地和等电位连接的要求。美标不使用 TN/TT/IT 的分类术语, 而是采用以下概念: 系统接地: 将变压器或发电机的中性点通过接地导体连接到接地极。这与国内变压器中性点接地的概念一致。设备接地: 通过设备接地导体将设备金属外壳与系统的接地点连接。EGC 通常就是导管本身或额外敷设的绿色/裸铜接地线。这与国内 PE 线的功能一致。独立衍生系统: 当电源经过变压器或发电机等隔离变换设备后, 二次侧形成了一个新的电源系统, 其二

次侧中性点需要重新接地。接地极系统：NEC 250.50 要求在每栋建筑处设置接地极系统，可包括：金属地下水管、建筑结构钢、混凝土包裹的接地极、接地棒等。对于服务入口，至少需要两根接地棒，间距不小于 6m（20ft），或一根接地棒接地电阻 $\leq 25 \Omega$ 。

参考文献：

- [1] NFPA 70(NEC), National Electrical Code, 2026 Edition.
- [2] NFPA 780, Standard for the Installation of Lightning Protection Systems, 2023/2026 Edition.
- [3] NFPA 20, Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.
- [4] ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, 2022 Edition.
- [5] IEEE Std 80, Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- [6] ANSI/IEEE C37, Standard for AC High-Voltage Circuit Breakers.
- [7] IEC 60364-5-56, Low-voltage electrical installations—Safety services.
- [8] GB 51348-2019, 民用建筑电气设计标准.
- [9] GB 50057-2010, 建筑物防雷设计规范.
- [10] GB 50054-2011, 低压配电设计规范.
- [11] GB 50052-2009, 供配电系统设计规范.
- [12] GB/T 50065-2011, 交流电气装置的接地设计规范.
- [13] UFC 3-540.01, Unified Facilities Criteria—Exterior Electrical Power Distribution.

5.3 两套体系的共性

无论是美标还是国标，接地设计的核心目标都是控制地电位升高，确保接触电压和跨步电压在安全范围内。美标依据变电站接地安全导则进行计算，国标依据 GB/T 50065 进行交流电气装置的接地设计。两者的计算原理相同：通过合理布置接地网（接地棒、接地带、均压网），将故障电流分散入地，降低地电位梯度。