

离岸孤岛智能并网供电系统设计与应用

李峰

(中交一航局第一工程有限公司)

摘要: 为了解决离岸孤岛施工中高温、高湿、强腐蚀等恶劣环境下施工生产用电的连续性与稳定性难题, 深入探究发电机组并网统一供电方案。采用多台不同功率发电机组成并网系统, 通过同步控制器调节各发电机的输出电压、频率和相位, 确保满足孤岛施工用电需求。同时, 运用智能监控与功率调节技术, 实时监测用电负荷, 动态调控发电机输出功率, 实现负荷灵活调节, 保障用电稳定。此外, 根据负荷变化智能启停部分发电机, 优化发电机组配置, 降低能耗, 达成绿色节能效果。经实践验证, 该方案实现了对孤岛施工临时用电的集中管理, 能够有效应对恶劣环境, 为离岸孤岛施工临时用电提供全面技术支持与安全管理策略。

关键词: 离岸孤岛; 绿色节能; 智能监控; 安全管理措施

1 工程概况

深中通道项目 S09 合同段西人工岛工程具有重要的地理位置和复杂的工程结构。其西侧与泄洪区 110 m 跨非通航桥西端相接(里程 K12+838), 东侧通过沉管隧道最终接头(里程 K8+474)与 S08 合同段相连, 如图 1 所示。

本工程用电范围主要分为混凝土搅拌站作业区、铁件加工区、西小岛施工作业区和办公生活区临时用电 4 个区域。这些区域的用电设备种类繁多、功率差异大, 对临时用电系统的设计和管理提出了极高的要求。

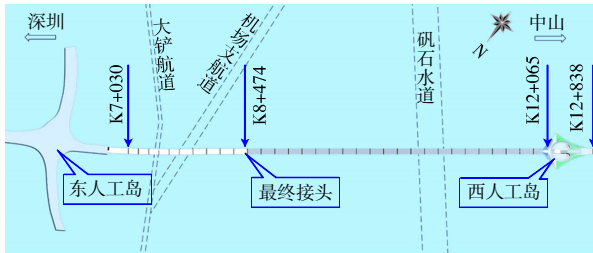


图 1 工程总体平面示意图

2 主要用电设备明细表及负荷计算

施工涉及多种用电设备, 通过表 1 计算设备用电总功率。

表 1 主要用电设备

工作区域	设备名称	规格型号	功率/kW	数量	总功率/kW	备注
大岛	2 台搅拌站	HZS HZS180	200.00	2	400.00	1 号 2 号搅拌站
		照明	1.00	5	5.00	
大岛	2 台冷水机组	ILG405S	118.10	2	236.20	1 号 2 号冷水机组
小岛内	塔吊	7 035	86.00	7	602.00	
生活区	室外生活设施	—	68.39	—	332.35	
加工区	小型机具	—	20.70	15	310.50	
小岛内	高压旋喷桩机及配套设备	—	490.00	9	4 449.00	

2.1 用电负荷计算

2.1.1 负荷计算依据

负荷计算遵循严格的理论依据, 主要涉及 2 个系数和 3 个基本公式。2 个系数分别为: 同期系数(K), 反映成套设备、供电系统组涉及的用电设备同时使用的概率; 需用系数(K_x), 表示成套设备、供电系统组的用电设备运行过程中从电网

中吸取的有功功率与总装机容量之比。3 个基本公式如下:

用电设备有功功率计算公式为:

$$P_{js} = \sum_{i=1}^n K_x K P_i$$

式中: P_{js} 为成套设备或供电小系统的计算有功功率; P_i 为小系统内各用电设备的装机额定容量; K_x 为需用系数(取值与设备类型、运行情况相关,

多台电动机同时运行时一般取 0.4~0.7； K 为同期系数，考虑多组设备同时运行概率，通常取 0.8~1； n 为设备数量。

无功功率计算公式为：

$$Q_{js}=P_{js}\tan\varphi$$

式中： $\tan\varphi$ 为功率因数角的正切值，在计算时需合理选取平均功率因数。

平均功率视在功率计算公式为：

$$S_{js}=P_{js}^2+Q_{js}^2$$

平均功率因数 $\cos\varphi$ 常取 0.7~0.9，对应 $\tan\varphi$ 可通过三角函数关系得出。

总视在功率计算公式为：

$$S_{jc}=\sqrt{P_{js}^2+Q_{js}^2}$$

针对电焊机，需将设备标明暂载率下的功率转换为百分百暂载率时的功率，其公式为：

$$P_e=P'\sqrt{\frac{J_c}{J_{c100}}}$$

式中： P_e 为换算到百分百暂载率时的容量； P' 为换算前电焊机设备标明的功率； J_c 为设备标明的暂载率，常取 35%、60%； J_{c100} 取值为 1。

该公式适用于短时重复工作制的电焊机功率换算。

在计算总负载情况下的视在功率时，先将所有小系统、成套设备的有功功率相加总和，再乘以一个总的同期系数，得到总的有功功率。然后分别按照上述公式计算无功功率、视在功率总，最终得出视在功率总。由于现场主要为柴油发电机组供电，实际计算中仅进行有功功率的计算。

2.1.2 用电设备的负荷计算

通过上述计算方法，对各用电设备进行负荷计算，通过表 2 计算用电负荷，确定电器设备启动和运行功率进而确定用电设备型号。

表 2 用电设备负荷计算表

电器设备	$P_{起}$	$P_{运}$	启动和运行总功率 P_1	照明
2 套冷水机组	966	220	—	10
4 台塔吊	360	420	—	—
北侧生活区生活照明	—	—	369.1	—
加工区	—	—	310.50	—
岛内	—	—	3 503.75	—

经系统计算，该工程各区域用电总负荷呈现差异化分布。塔吊系统用电负荷为 420 kW，主要支撑高空吊装作业；搅拌站区域负荷达 495 kW，以满足混凝土制备设备的连续运转需求；生活区

用电负荷 369.1 kW，保障人员办公生活用电；加工区负荷 310.5 kW，用于小型机具设备运行；小岛内施工用电需求最大，负荷高达 3 503.75 kW，涵盖各类复杂施工设备用电，这些数据为后续供电系统设计与设备选型提供关键依据。

2.1.3 供电设备的选型

考虑到西人工岛（孤岛）四面环海的地理位置，现场采用低压发电机组满足施工临时用电需求。依据上述功率计算结果，选择 4 台 400 kW-BF-V550S 的柴油发电机作为主用电源，全部机组采用并机连接。这种连接方式可根据现场用电负荷随时调节机组投入数量，使发电机组工作在经济油耗状态，机组主要参数如下：BF-V550S，G2，额定（主用 PRP）500 kVA，400 kW；功率（备用 LTP）550 kVA，440 kW；额定电流 722 A，功率因数 $\cos\varphi=0.8$ 。经核算，尖峰负荷总，单台 BF-V550S 启动 LTP440 kW>单台最大启动容量搅启。同时，设置 1 台为备用机组，以充分满足现场的生产负荷要求。配备了 6 台功率为 800 kW、电压 400 V 的旋桩机专用发电机，确保在复杂的施工环境下，旋桩机能够持续高效作业，为工程基础施工提供强劲动力支持。同时，考虑到施工现场整体用电需求的多样性与灵活性，还设有 4 台功率 400 kW、电压同样为 400 V 的发电机组，其中 1 台作为备用机组，当主用机组出现突发故障或因维护需要停机时，备用机组能够迅速投入工作，保证施工现场的电力供应不间断，维持施工进度不受影响。

2.2 导线截面计算

在选择导线截面时，必须依据导线的安全载流量精确计算。三相五线制在线路上电流的计算公式为 $I=\frac{P}{V\cos\varphi}$ 选择电缆型号，功率因数 $\cos\varphi=0.8$ 。

每台拌合站与冷水机负载支路导线截面的选择：

经计算， $I_{搅总}\approx 376$ A，根据电缆流量表选择 YJV-3×185+2×120 mm² 型橡胶绝缘铜芯电缆。主断路器选用 DZ20T-630/330 630A。

每台塔吊负载支路导线截面的选择：

经计算， $I_{塔}\approx 160$ A，根据电缆流量表选择 YC-3×70+2×35 mm² 型橡胶绝缘铜芯电缆。断路器选用 DZ20T-160/4300 160A。

生活区负载支路导线截面的选择：

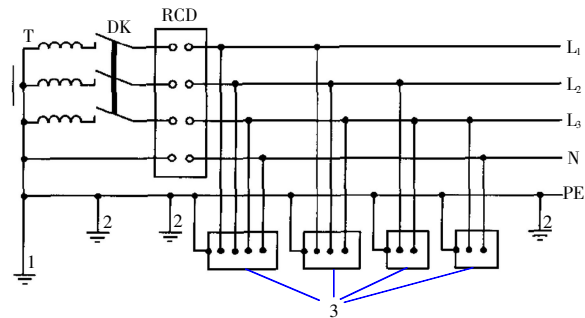
经计算 $I_{\text{生}} \approx 296.5 \text{ A}$ ，根据电缆流量表选择型号 YJV-3×120+27×70 mm² 橡胶绝缘铜芯的电缆。

每台 ZX7-500 交流电焊机负载支路导线截面的选择额定电流为 27 A，根据电缆流量表选择型号 YC-4×10 mm² 橡胶绝缘铜芯的电缆。每台小功率小型机具负载支路导线截面的选择计算电流 <30 A，根据电缆流量表查询选择型号 YC4×4 mm) 橡胶绝缘铜芯的电缆。

3 配电线路设计

3.1 临时用电系统设计原则

在离岸孤岛施工临时用电中，TN-S 系统如图 2 所示，因高安全性成低压配电核心，降低漏电风险，适配复杂环境。总配电箱设于发电机处，集成智能监测调控模块，实时采集电参数并精准分配电力，优化资源配置。分配电箱依设备类型、运行周期及用电特性，利用负荷预测模型部署，如大功率区域精准供电，小型机具区灵活调配。开关箱配智能开关，满足“一机一闸一漏”且快速诊断隔离故障。发电机出线配电创新融合放射式与树干式：重点区域(如沉管隧道)用光纤监测独立放射式回路，异常时自动切换备用；小负荷偏远区借无线传输辅助树干式，降成本提灵活。配线方面，重要负荷区用超导电缆放射式直配，小负荷区优化链式配线并引入智能限电等技术，控制每路设备约 5 台防过载。大容量设备由总配电箱放射式单回路直配，依实时状态动态调电力。整套系统通过智能技术、创新配电模式及材料应用，提升临时用电的智能化与高效化水平，保障孤岛施工用电安全稳定。



注：1—工作接地；2—PE 线重复接地；3—电气设备金属外壳（正常不带电的外露可导电部分）；L₁、L₂、L₃—相线；N—工作零线；PE—保护零线；DK—总电源隔离开关；RCD—总漏电保护器（兼有短路、过载、漏电保护功能的漏电断路器）；T—变压器。

图 2 TN-S 系统图

在 TN-S 配电系统中，除配电室或总配电箱处保护零线初次重复接地外，中间及末端也需实施重复接地。若分配电箱超 3 个，接地点不得少于 3 处，且每处接地电阻 ≤10 Ω，以降低漏电风险，确保故障时电流导入大地。

三级配电须遵循 4 项原则：1) 分级分路，明晰配电层级与线路走向，防线路混乱；2) 动力照明分设，避免相互干扰，保障运行稳定；3) 压缩配电间距，减少电能损耗与故障风险，提升供电可靠性；4) 环境安全，依据施工现场环境（如潮湿、粉尘、腐蚀等）选用适配设备并采取防护措施(防水、防尘、防腐等)。

总配电箱、分配电箱、开关箱内的漏电保护器构成分级保护体系，见图 3。其安装于靠近负荷侧，先经电源开关再接入保护器，确保维修安全。配置上，开关箱漏保额定漏电动作电流 ≤30 mA、时间 ≤0.1 s，总箱漏保电流 >30 mA、时间 >0.1 s，且二者乘积 ≤30 mA·s(如 200 mA 与 0.15 s 组合)，实现动作配合，避免越级跳闸扩大停电范围^[1]。漏电保护器投用前须经专业电工严格测试，确保无拒跳或误跳，切实保障用电安全。

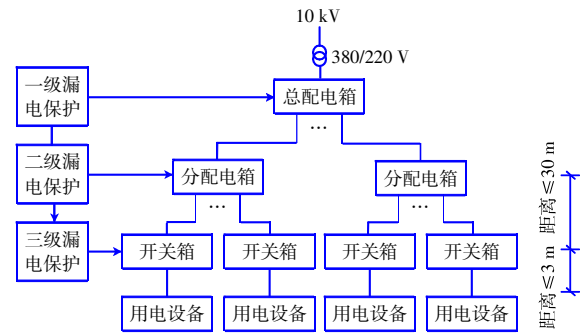


图 3 三级配电结构图

在施工现场，用电设备数量众多且具有较大流动性，设备间容量差异显著。因此，基于发热条件选用电气设备时，实现用电容量的动态控制至关重要。通过精确计算、合理施工调配以及科学分布负荷，力求达成三相负荷均衡，以此提升供电系统的稳定性与电能利用效率，降低线路损耗与设备运行风险。

3.2 临时用电配电线路设计

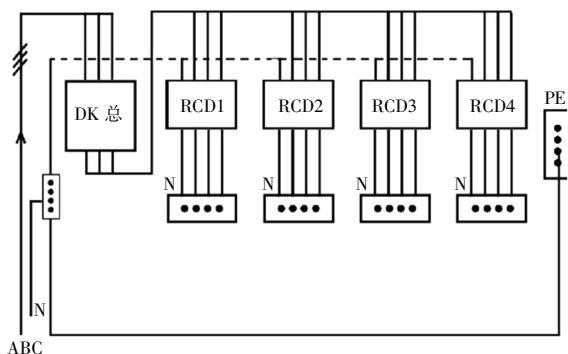
依据勘察结果，驻地将采用地方电网供电方式，而其他施工现场则主要依靠流动发电机供电。在整个供电体系中，严格落实 TN-S 接零保护系

统, 确保用电安全^[2]。电力传输路径为从发电机接入一级配电箱, 再由一级配电箱转接至二级配电箱, 随后通过穿管线槽(现场采用塑料支架架空敷设方式)输送至各用电区域。配电线路设计严格依据详细计算结果确定。

4 配电装置设计

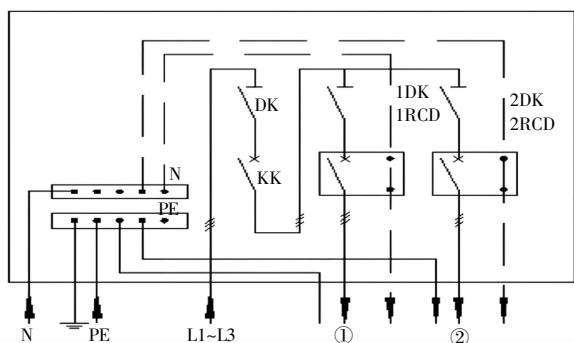
1) 总配电箱(一级箱)

总配电箱内电气装置应按照标准化规范配置, 其核心元器件安装顺序必须严格遵循: 自电源输入端起始, 依次为隔离开关、断路器、漏电保护器, 且该序列严禁任何形式的顺序倒置。漏电保护器配置方案可采用 2 种标准化模式: 总回路级漏电保护装置部署如图 4 所示; 分支回路级漏电保护装置部署如图 5 所示。



注: DK—隔离开关; RCD—漏电保护器; PE—保护零线(不可经过任何开关); N—工作零线; ABC—三相电。

图 4 总回路级漏电保护装置



注: DK—隔离开关; RCD—漏电保护器; PE—保护零线(不可经过任何开关); N—工作零线; ①、②为用电设备。

图 5 分支回路级漏电保护装置

电路系统基础架构须满足以下强制性要求: 必须配置总漏电保护器, 同时应分别设置总开关与分路开关、总断路器与分路断路器, 或总熔断器与分路熔断器。鉴于总漏电保护器已集成短路保护、过载保护及漏电保护三重核心功能, 在确

保保护性能完整性的前提下, 允许取消独立设置的总断路器或总熔断器。此设计优化显著提升了配电箱内空间利用率, 使电气布局更趋合理, 同时增强了配电系统的运行可靠性及维护便捷性。

在分路回路中部署漏电保护器时, 必须同步安装总开关、分路开关, 以及总断路器、分路断路器或总熔断器、分路熔断器。若分路漏电保护器已集成短路保护、过载保护与漏电保护的全功能模块, 则允许基于冗余优化原则, 免除分路断路器或分路熔断器的独立安装。

2) 分配电箱(二级箱)

分配电箱(图 6)内电气配置须严格执行分级保护原则, 必须同步配置总开关与分路开关, 以及总断路器与分路断路器, 或总熔断器与分路熔断器。当总开关及分路开关采用集成短路保护、过载保护及漏电保护功能的漏电断路器时, 允许基于功能集成化原则, 取消独立设置的断路器或熔断器。此标准化配置方案通过模块化器件组合, 在确保分级控制精度与保护可靠性的同时, 实现配电单元空间利用率最大化。系统通过消除冗余元件配置, 显著提升运行稳定性并降低全生命周期维护成本。

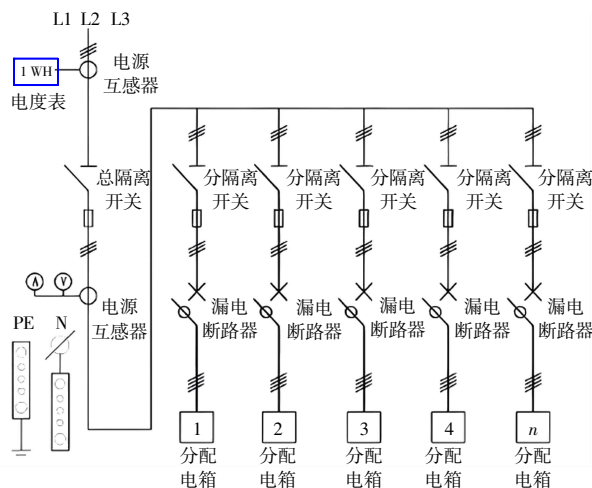


图 6 分配电箱接线图

3) 开关箱(三级箱)

开关箱内电气元件配置须严格遵循相关标准与规范要求。其核心器件必须按规范序列配置: 隔离开关、断路器(或熔断器)及漏电保护器, 见图 7。当所选断路器具备电源隔离功能且分断能力符合隔离要求时, 允许基于功能替代性原则, 豁免独立隔离开关的配置。若采用集成短路保护、

过载保护与漏电保护三重防护机制的漏电保护器,允许取消冗余配置的断路器或熔断器。此配置方案旨在确保开关箱对单个用电设备实现精准控制

与全方位保护,同时在满足安全防护要求的基础上,优化箱内电气元件布局,提升开关箱的运行可靠性与经济性。

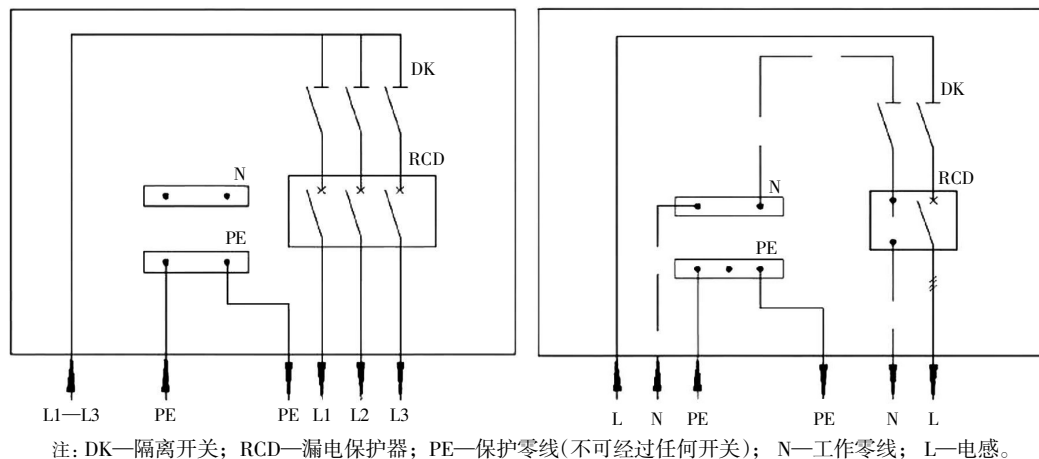


图7 开关线动力开关箱、照明开关箱接线图

5 漏电保护器选择

1) 总配电箱内的总漏电保护器参数,应大于该供电网络漏电实测最大值的2倍。各分路漏电保护器需根据线路长度及设备数量,选择额定漏电动作电流100~300 mA、动作时间小于0.1 s的低灵敏度延时型漏电保护器^[3]。

2) 分配电箱内漏电保护器额定动作电流应根据实际情况选择50~75 mA,动作时间小于0.1 s^[3]。

3) 开关箱内的漏电保护器额定漏电动作电流应不大于30 mA,额定漏电动作时间应小于0.1 s。潮湿场所用的电器设备开关箱,水泵控制箱的漏电保护器。其额定漏电动作电流应不大15 mA,动作时间小于0.1 s^[3]。

6 配电箱选择

发电机组并网运行,总配电柜设置母线,发电机组均与母线连接。总配电柜选择额定电流1 600 A总断路器2个,分别下设630 A支路各2个,2路为搅拌站用,其中2支路为环岛环线用;分别设置400 A和100 A支路两个作为备用支路。编号为Z001, Z002。

在临时用电配电箱配置中,依据不同设备用电特性与负荷需求做针对性选型与编号规划。拌合站和水冷机这类大功率设备,各配2台额定电流630 A断路器与漏电断路器的专用配电箱,编号ZH001—ZH004,能保障设备稳定运行,应对过载、漏电等故障。塔吊设备配备7台额定电流160 A断路器和漏电保护器的专用配电箱,编号

T001—T007,契合其用电特点,为高空作业提供可靠电力控制与安全防护。环线分配箱选额定电流630 A总断路器,下设630 A环线及400 A、160 A、100 A支路,编号H001—H006,可合理分配电力,满足不同区域和功率设备用电需求,构建起层次清晰、安全高效的临时用电配电箱体系。

7 电器设备的接地与接零

为有效规避因意外碰撞导致带电体裸露引发的触电风险,保护接地与接零作为核心安全技术手段,是杜绝电气设备异常带电造成触电的必要措施。结合现场条件,优先采用既有钢圆筒作为高效接地体,形成标准化接地基准。依据相关规范要求,于总配电箱、分配电箱及开关箱处分别设置重复接地,构建不少于3处的多级接地保护节点,确保接地系统的可靠性与安全性。用规格为边长150 mm的角钢或类似形状的不锈钢材料打入地下2.5 m深度,确保接地电阻 R 小于 $10\ \Omega$,以此增强接地保护效果,降低漏电风险^[4]。

同时,严格遵循电气安全标准,将保护零线与工作零线分开敷设,防止电流干扰,保障用电安全。并且保护零线的截面尺寸不小于工作零线截面,使其在满足电气性能要求的同时,亦能符合机械强度要求,有效应对施工现场复杂环境,为临时用电系统的稳定运行提供坚实保障。

8 安全技术管理及措施

在离岸孤岛施工临时用电管理中,一系列关键举措不可或缺。当用电设备总功率达5台50 kW

以上时,依据规范要求,需由注册电气工程师精心编制临时用电施工组织设计,并经相关单位严格审批。同时,必须建立详尽的临时用电管理档案,涵盖临时用电设备数据、电工巡查记录以及电阻检测记录等,以便追溯与管理。电工作为保障用电安全的关键人员,不仅要持有在有效期内的特种作业证,还需定期参加临时用电相关培训教育,且能熟练运用各类仪器仪表,精准检测与维修用电设备^[5]。

鉴于海洋环境的特殊性,所选用电设备必须具备防腐蚀、防高温、防湿及耐久性等特质,同时采用具有合格证的标准化电箱。在电气连接方面,应着重检查重复接地线与保护零线的连接牢固性,保证保护零线和工作线维持安全间距,确保保护零线、PE 端子板及电箱体之间保持良好的电气连接,全方位契合临时用电相关管理规定,切实保障临时用电的安全可靠性。

9 结语

在离岸孤岛施工场景中,外部电力供应匮乏,保障施工及生活用电成为项目推进的关键瓶颈。本文深入探讨了在该特殊环境下,构建安全可靠临时用电体系的策略,旨在满足小区域内高密度设备和大负荷的施工用电需求。施工过程全面考量稳定性、大功率输出及绿色施工等要素,充分挖掘现有设备潜力,为离岸施工用电保障提供了有力支撑,有望为类似项目提供可借鉴的实践经验与理论参考,助力离岸工程建设领域的发展。

参考文献:

- [1] JGJ 46—2005,施工现场临时用电安全技术规范[S].
- [2] GB 50194—2014,建设工程施工现场供电安全规范[S].
- [3] GB 13955—2005,剩余电流动作保护装置安装和运行[S].
- [4] JGJ 59—2011,建筑施工安全检查标准[S].
- [5] GB/T 6829—2017,剩余电流动作保护电器(RCD)的一般要求[S].