

变电站装配式建筑设计研究与应用

刘建光¹, 祝昌团²

(1. 广东电网有限责任公司韶关供电局, 韶关 512000; 2. 中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司, 杭州 310012)

摘要: 变电站建筑采用装配式建筑是未来发展的趋势。通过对变电站装配式建筑的结构型式、墙板板材选择、楼屋面体系进行对比分析和研究, 提出了基于装配式建筑物的预埋管解决方案; 通过研究和工程应用, 给出了不同结构体系装配式设计方案和优势。研究结果可作为变电站装配式建筑设计的一种参考, 为将来装配式建筑的推广应用提供借鉴。

关键词: 变电站; 装配式建筑; 结构体系; 对比研究

中图分类号: TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0078-06

Research and Application of Prefabricated Substation Architectural Design

LIU Jianguang¹, ZHU Changtuan²

(1. Shaoguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd. Shaoguan 51200, China;

2. China Energy Engineering Group Zhejiang Electric Power Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: Substation construction using prefabricated construction is the development trend of the future. In this paper the structural type of prefabricated substation construction, choice of wall plate, and building roofing system were comparatively analyzed and researched, put forward a solution based on prefabricated building embedded pipe; Through research and engineering application, presented the design schemes of different structure system assembled and advantages. The results can be used as a prefabricated substation architectural design of a kind of reference, provide the reference for application of prefabricated construction in the future.

Key words: substation; prefabricated construction; structural system; the comparative study

2016年国务院发布《关于大力发展装配式建筑的指导意见》, 指出大力发展装配式建筑是建筑方式的重大变革, 是新型城镇化发展的重要举措, 有利于节约资源、能源, 减少施工污染, 提升劳动生产效率和质量安全水平, 有利于促进建筑业与信息化、工业化深度融合, 是推动绿色建筑发展的先进建造方式。

所谓装配式建筑, 就是建筑构件在工厂完成预制, 在工地装配而成的建筑。在工厂完成结构及内外墙体、饰面、门窗、内装等部件的制作, 运到工地现场, 现场仅需像积木一样进行搭接、组装。把工地中耗时繁琐的工作放到工厂中来做, 高空不方

便的工作放到地面上来做, 危险的作业机器做, 大幅提高了现场的施工速度, 使天气影响降低到最低限度。

1 装配式建筑设计研究

1.1 结构选型

我国装配式建筑从结构型式上大体分为三类, 即预制装配式混凝土结构(PC结构体系)、预制装配式钢结构(PS结构体系)、木结构。主要应用情况和优缺点如下:

1) 预制装配式混凝土结构主要由装配式结构体系(包括装配式框架结构、装配式剪力墙结构、装配式框架-剪力墙结构)和外墙挂板及楼屋面体系组成。PC结构与现浇钢筋混凝土结构具有一样的耐久性, 其优点是结构刚度好、耐火性能优越, 预制效率、工业化程度高, 现场施工湿作业少。其

缺点是对建筑设计要求较高, 施工难度大; 预制构件需大量钢模具, 成本高; 因构件自重较大, 对运输和施工吊装机械的要求较高, 预制构件节点连接部位仍需现浇作业。外墙挂板如外墙、阳台、楼梯等采用预制件, 其竖向受力结构则采用现浇; 楼屋面板一般采用预制叠合板, 预制率 15% 左右, 施工难度和建设成本相对较低。

2) 预制装配式钢结构技术成熟, 结构力学性能优越, 广泛应用于大型厂房、场馆、高层建筑等领域。其优点是结构强度高、自重轻、抗震性能好, 构件预制便捷, 适应工业化生产, 施工速度快、效率高; 建筑构件可重复利用, 符合绿色环保的理念。其缺点是对防火和防腐处理要求相对较高, 因大量使用钢材, 其建造成本也相对较高。

3) 木结构使用历史悠久, 我国的古代建筑大多采用木结构, 现代主要应用于低层别墅等居住类建筑, 因其结构强度低不适合建造多层、高层建筑。木结构建筑采用原木等可再生性材料建造, 其优点是取材方便, 安装简单便捷, 建造过程无污染、噪音低, 对环境影响少。其缺点是建筑防火性能差, 对防霉、防虫蚁等问题较难解决, 同时需要消耗大量木材, 我国森林资源缺乏, 推广难度较大。

建筑结构设计选用材料时, 主要是从技术性能及经济性出发。

1) 在技术性能方面: 钢结构轻质高强, 所以在地震时, 受地震作用小。钢结构延伸性、塑性变形能力强, 在事先有较大变形预兆, 属于延性破坏结构, 能够预先发现危险, 从而避免建筑物的倒塌性破坏。因此在对结构抗震性能越来越重视的今天, 采用钢结构有其内在的优势。

2) 在经济性方面: 钢结构单价较高, 但单价提高的负效应远小于钢结构带来的效益。钢结构施工时大大减少了砂、石、灰的用量, 所用的材料主要是绿色、100% 回收或降解的材料, 在建筑物拆除时, 大部分材料可以再用或降解, 不会造成垃圾, 符合工程全生命周期建设要求和绿色环保的理念; 钢结构施工速度快, 施工周期比传统建筑体系缩短三分之一以上; 钢结构符合建筑产业化和可持续发展的趋势, 适宜工厂规模化生产, 工业化程度高, 建造过程标准化、集成化、模块化, 能将节能、保温、隔热、装饰、水工、电气等成品集于一体, 成套应用, 将设计、制造、施工一体化, 进一步提升

建筑产业化水平。

装配式钢结构建筑将呈现设计多样化、构件标准化、生产工厂化、安装机械化、产品集成化的建筑工业化发展趋势。

1.2 墙板材料选择

建筑物墙体是降低建筑能耗的关键因素之一, 墙板材料及其构造, 是模块化装配式建筑推广的关键技术之一。轻质节能保温装饰集成化的新型板材是装配式建筑采用的主要构件类型, 高效节能墙体不仅可以减轻结构重量, 提高劳动生产率, 而且保温、隔热、隔音效果好, 可达到 50% 的节能标准。

1.2.1 钢结构装配集成式墙板选用原则

1) 应具备质轻、保温、隔热、隔声、防火、防水、耐冻、耐老化、耐候和环保等性能。

2) 材料的正常使用寿命应与建筑的使用年限相适应, 并考虑使用寿命全过程的费用, 包括板材在使用过程中的维修费用和寿命结束时的处理费用。

3) 应与钢结构有可靠的连接, 以满足抗震设防和结构延性的需要。

4) 应尽可能模数化、工厂化、施工快捷, 并有配套的连接件、施工机具, 更要因地制宜。

1.2.2 外墙板材料比选

根据集成化装配式建筑的理念, 对市场和工程实践收资调研, 目前在钢结构中常用的复合型墙板维护体系材料中, 以轻骨料混凝土空心墙板、装饰防火板复合外墙体系、金属板复合外墙体系等, 最为适合使用在传统钢结构与围护墙体系统共同配合组成的装配式建筑。综合性能比较如表 1 所示。

1.3 楼屋面体系选择

装配式建筑屋面目前比较常用的有自承式钢板底模钢筋桁架现浇楼板、压型钢板底模现浇混凝土板、预制轻骨料混凝土叠合板等, 综合性能比较如表 2 所示。

1.4 基于装配式建筑物的预埋管解决方案

建筑物板材由工厂内加工完成, 到现场拼接, 对于建筑物内的电气、接地、消防等设施需要在变电站现场后续施工, 这样会出现明显的外露埋管, 影响美观及增加现场工作量。为实现真正意义上的工厂化加工、装配式建设, 提出一种基于装配式建筑物的预埋管结构。

预埋管安装于外墙与内墙板之间, 可取消后期二次开孔、开槽埋管。墙板内预埋管布置在外墙与

表1 墙板性能综合比较表

Tab. 1 Wallboard comprehensive comparison table performance

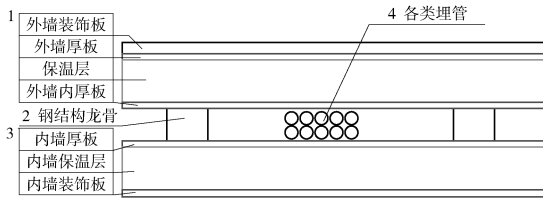
品种	构造做法	厚度/ mm	材料燃 烧性能 等级	防火性 能/h	传热系数/ ($W \cdot m^{-2} \cdot K$)	参考综 合单价/ ($元 \cdot m^{-2}$)	保温和板 缝防雨水 渗漏	施工 速度	美观及 使用寿命
轻骨 料混 凝土 空心 集成 墙板	20 厚无机保温砂浆 +200 陶粒混凝土	220	A	3	1.35	1 000	保温隔热效 果好, 多层 复合, 专用 内置排水管 排水, 做到 防排统一	较 快, 平 整度高	外饰可根据需 要选择, 品种多, 理论上可同主体 寿命
纤维 水泥 复合 墙板	16 厚外装饰板 +10 厚防水透气空腔 + 12 厚 FC 外板 +150 型钢外墙框(内填 150 厚防火岩棉) + 内 12 厚 FC 内板	200	A	3	0.32	1 400	保温隔热效 果好好, 多 层复合, 空 隙排水	施工简单, 质量、速 度易于 保证	各部分可分别更 换, 选择品种多, 理论上可同主体 寿命
铝镁 合金 复合 幕墙 集成 墙板	3 厚外板 + 防水透 气膜 + 150 型钢外 墙框(龙骨中穿 $\Phi 50$ 电缆管, 夹 150 厚 防火岩棉) + 隔汽层 +0.9 厚内打板	185	A	3	0.38	1 800	保温隔热效 果好, 采用 高密度岩棉 封边技术, 防水抗渗 性好	施工简单, 质量、速 度易于保 证, 平整 度高	结构强度适中、 耐候、耐渍、易 于折弯焊接加工 等优点, 被普遍 认可作为建筑设 计使用寿命 50 年 以上的外墙材料
压型 钢板 复合 墙板	1 厚外板 + 防水透 气膜 + 150 C 型钢 外墙框(夹芯为 150 厚防火岩棉的彩) + 隔汽层 + 0.6 厚 内板	150	A	3	0.38	900	保温隔热效 果好, 采用 高密度岩棉 封边技术, 防水抗渗 性好	较 快, 平 整度高	目前国内采用该 产品的建筑可达 20 年的使用年限, 但通常 5 年时间会 在连接件部位出 现锈蚀现象

表2 各类型楼面、屋面板性能综合比较

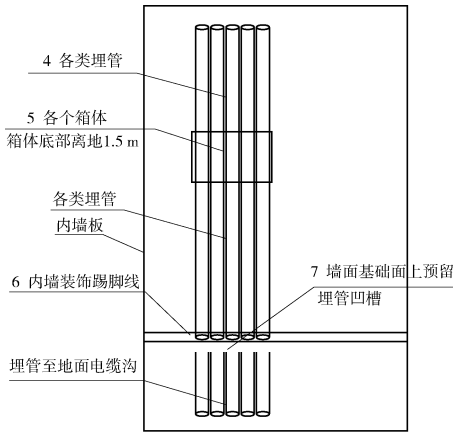
Tab. 2 All kinds of floor, roof boarding performance comprehensive comparison

品种	构造做 法/mm	隔声性 能/dB	防火性 能/h	传热系数/ ($W \cdot m^{-2} \cdot K$)	板缝保温和 防雨水渗漏	综合单价/ ($元 \cdot m^2$)	施工 难度	美观及 使用寿命
自承式 钢板 底模 钢筋 桁架 现 浇板	70 ~ 270	≥ 45	≥ 1.68	0.18	整体浇筑, 无缝	170	快 速、小 型 吊 装 设备	适用于各类钢结构 体系的楼屋面, 电 缆暗敷, 美观
压型 钢板 + 现 浇混 凝土 板	70 ~ 270	≥ 45	≥ 1.68	0.18	屋面上部整体浇筑, 无 缝。下部钢板拼接螺钉容 易生锈, 加强维护	200	快 速、小 型 吊 装 设备	适用于各类钢结构 体系的楼屋面, 电 缆明敷, 不美观
预制 轻骨 料混 凝土 叠合 板	70 + 70	≥ 45	≥ 1.68	0.21	屋面上部整体浇筑, 无 缝。下部为预制轻骨料混 凝土叠合板	200	快 速、小 型 吊 装 设备	适用于各类钢结构 体系的楼屋面, 电 缆暗敷, 美观

内墙板之间, 从照明箱、动力箱等水电箱体引出, 至各自的目的地, 如图 1 所示。



(a)垂直方向埋管俯视图



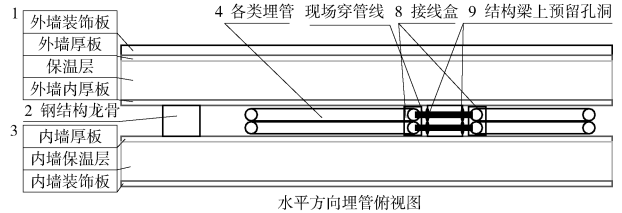
(b)竖向埋管正面剖视图

图 1 墙内埋管在墙柱附件的节点详图

Fig. 1 Buried pipe in the wall inside the wall column attached detail drawing

垂直埋管至电缆沟的埋管在地面基础面对应位置预留埋管凹槽, 预埋管直接插入凹槽处, 以避免上下埋管尺寸不对应导致无法穿线问题。当垂直埋管遭遇墙柱或横梁处, 在墙柱的左右两侧各预留一个接线箱, 墙柱上对应位置预留孔, 现场拼接后将左右接线箱的预留位置连接, 如图

2 所示。



水平方向埋管俯视图

图 2 墙内埋管与地基埋管连接处的节点详图

Fig. 2 Buried tube inside the wall and the foundation of buried pipe joint detail drawing

1.5 装配式建筑总体设计方案

对现有的轻钢结构、钢框架结构与现浇混凝土框架结构进行比较分析, 建筑结构体系经济技术比较如表 3 所示。

通过以上比较可见, 轻钢结构和钢结构作为装配式建筑结构形式, 取材方便, 计算理论成熟, 施工周期短, 安全可靠, 应用广泛, 虽然综合造价与常规混凝土框架结构比较增加 30% ~ 50%, 但施工工期可缩短 1/3 以上。装配式建筑造价较高的原因除钢材本身材料价格因素外, 其内、外墙板及楼屋面面板造价相对较高, 随着装配式建筑推广应用, 预制构件产业化生产, 其成本呈下降趋势。现在, 钢结构已广泛应用于大跨度工业厂房、仓库、冷库、高层建筑、办公大楼、各类场馆及民用住宅等建筑行业。

压型钢板屋面质量轻, 配合轻钢结构使用, 可节约结构用钢量。而钢板拼接螺钉容易生锈, 应加强维护。压型钢板底模现浇混凝土楼板在常规楼板基础上更进一步加快施工效率。主要优点是整体性好, 抗震性能优越, 且无需支模, 各类埋管、开孔

表 3 建筑结构体系经济技术比较表

Tab. 3 Building structural system economic and technical comparison table

结构型式	设计规范	屋面板	墙面板	取材、施工	综合造价 / (元 · m ²)	备注
轻钢结构	《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》国家标准图集《门式刚架轻型房屋钢结构》	压型钢板	压型钢板	方便	2 000	结构钢材截面较小, 屋面荷载大、腐蚀性强、沿海大风区不适合应用
钢框架结构	《钢结构设计规范》	压型钢板	压型钢板	方便	3 500 ~ 4 000	无湿作业, 加强维护
钢框架结构	《钢结构设计规范》	压型钢板底模现浇板	纤维水泥加 压板复合墙体	方便	3 500 ~ 4 000	屋面二次湿作业, 整体性较好
混凝土框架结构	《混凝土结构设计规范》	现浇板	砖墙	现浇板	2 500	现场湿作业, 工期长

能预先预留,无外露明管线,特别是由于其为整体灌浆成形,防水性能和整体刚度在其他比选材料中有无可比拟的优势,尤其在南方多雨地区,更为适用。

2 应用实例

2.1 工程概况

韶关 220 kV 坦界变电站工程装配式建筑有主控通信楼、10 kV 配电室及消防水泵房。主控通信楼按 L 型布置,长 33.6 m,宽 20.5 m,最长跨度为 7.2 m;配电室长 73.2 m,宽 5.3 m,长度方向分 12 跨设置,最长跨度为 6.5 m;水泵房长 9 m,宽 6 m,最长跨度为 6 m。装配式建筑均采用柱下钢筋混凝土条形基础,预埋地脚螺栓作为钢框架结构固定基础。建筑物结构采用钢框架结构体系,钢柱及钢梁采用 H 型钢,墙框为 C 型钢,钢材采用 Q345B。屋面采用压型钢板底模+120 厚 LC 30 轻骨料混凝土。对 FC 水泥纤维板+C 型钢骨架(内填充防火棉)的墙板进行深化设计,将各专业涉及线管预埋在墙板中,现场无需再开口预埋,保证了墙板的完整性及强度。装配式建筑具有轻质高强、空间布置灵活、抗震能力较强、工厂化制作、标准化施工、施工工期缩短等诸多优点。

2.2 施工情况

基础工程于 2015 年 6 月 18 日开始施工,2015 年 12 月 28 日竣工投产。

施工情况:坦界变电站中的主控通信楼、10 kV 配电室及水泵房均采用装配式建筑。装配式吊装采用单机旋转吊装的方法,占地空间小,作业范围固定,施工便捷快速,提高了装配式的施工效率及安全性。按照标高、定位测量—基础施工—螺栓预埋—钢柱的吊装及校正—钢梁的吊装及校正—屋面压型钢板安装及混凝土浇筑—围护墙板安装的施工流程,有序无缝衔接,按照工厂流水式作业方法进行指挥安排,缩短了施工周期,无交叉作业影响,实现装配式施工的高效性。

2.3 效益分析

2.3.1 综合效益高,值得推广应用

采用装配式建筑,统一建筑模数、柱距、层高、跨度等,形成标准化预制件构件,通过采用工厂化生产,机械化现场装配,减少现场湿作业,污染少,周边环境保护良好,确保了施工工期目标实

现,施工质量达到设计规范要求。

由于工厂化生产,装配式安装,建造施工速度快,与传统钢筋混凝土框架结构相比工期缩短 1/2,大幅度缩短施工周期,能使建设资金快速回笼,提高资金使用效率。

2.3.2 机械化程度高,施工成本低,经济效益高

装配式建筑充分利用机械吊装,相对于钢筋混凝土框架结构,人力资源投入大,多工种配合的传统施工方法,节约相当一部分施工成本,省去多余的人力,施工周期短,所需配备的机械及人力资源等投入较传统施工方法少,经济效益方面有着明显的优势。总的施工成本降低,经济效益显而易见。

2.3.3 安全可靠性好

传统的建筑结构施工方式由于投入大量的人力,施工班组多,人力投入集中,建筑工人容易发生高空坠落、物体打击、触电等人身伤害,而装配式建筑由于采用工厂化预制构件,可以把大量的施工作业转移至工厂,从而减少了施工现场的作业人数,大幅度降低了现场安全事故发生的频率,从而使现场安全状况更加处于受控状态,如表 4 所示。

表 4 人材机投入情况对比表

Tab. 4 Comparison table on the talent machine

项目	传统框架 混凝土结构	装配式 钢结构	对比值
人力投入/工日	1 200	800	节约 400
钢筋/t	25	8	节约 17
混凝土/m ³	130	45	节约 85
模板/m ²	182	40	节约 142
压型钢板屋面/m ²	—	120	增加 120
钢结构/t	—	25	增加 25

2.3.4 技术先进,社会效益好

由于采用装配施工形式,使用工厂化预制构件与传统吊装配合施工技术,构件安装速度可控,安装效率高,与传统现场浇筑混凝土相比,工厂化预制构件不受天气、作业场地影响,而且能节省人力资源及机械台班,并能有效降低劳动强度、节约人工、机械台班、提高工作效率、缩短工期、经济效益明显、社会效益好。

3 结论

本文通过对变电站装配式建筑的结构型式、墙

板板材选择、楼屋面体系进行对比分析和研究, 并通过工程实例, 得出以下结论:

1) 装配式建筑采用钢结构技术成熟, 适应性强, 符合建筑工业化发展趋势。

2) 装配式建筑墙板采用复合型墙板维护体系, 体现集成化装配式建筑的理念。

3) 采用基于装配式建筑物的预埋管解决方案, 工厂化生产, 实现各类管线暗敷。

4) 建筑采用装配式建设节约工期, 提高机械化程度, 降低人工成本, 提高安全可靠, 符合绿色环保的发展理念。

参考文献:

- [1] 刘玉贵. 我国建筑工业化的发展和思考 [J]. 广州建筑, 2016, 44(3): 8-12.
LIU Y G. The development of our country construction industrialization and thinking [J]. Guangzhou Architecture, 2016, 44(3): 8-12.
- [2] 曾锐碧, 范绍有. 装配式建筑在变电站中的应用及研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊 1): 239-243.
ZENG R B, FAN S Y. Application and research of the prefabricated building for substation [J]. Southern Energy Construc-

tion, 2015, 2(Supp. 1): 239-243.

- [3] 王伟, 范殿伟, 曹建伟. 装配式智能变电站外墙体系技术与经济分析 [J]. 湖州师范学院学报, 2014, 36(4): 48-51.
WANG W, FAN Y W, CAO J W. A technical and economic analysis on exterior wall system in fabricated intelligent substation [J]. Journal of Huzhou Teachers College, 2014, 36(4): 48-51.
- [4] 沈青松, 盛晓红, 江香云等. 变电站装配式围墙与防火墙的设计及工程应用 [J]. 浙江电力, 2014, 33(3): 32-34.
SHEN Q S, SHENG X H, JIANG X Y, et al. Prefabricated substation walls and firewall design and engineering application [J]. Zhejiang Electric Power, 2014, 33(3): 32-34.
- [5] 陈世永, 单晖. 装配式变电站技术与应用 [J]. 科技创新与应用, 2016(12): 192-193.
CHEN S Y, SHAN H. Prefabricated substation technology and application [J]. Technology Innovation and Application, 2016(12): 192-193.
- [6] 江香云, 杨卫星, 钱锋, 等. 基于装配式建筑物的预埋管结构; ZL201420848411.1 [P]. 2015-09-23.
- [7] 宋咏, 金诚, 吴振华, 等. 变电工程的革命性创新 [N]. 中国电力报, 2013-09-18(05).

(责任编辑 李辉)

(上接第 77 页 Continued from Page 77)

- [2] 张璐璐, 王旭, 张冀萍. 220 kV 屋内 GIS 非常规布置与户外配电装置布置的比较 [J]. 黑龙江电力, 2010, 32(1): 78-80.
ZHANG L L, WANG X, ZHANG J P. Comparison between the non-conventional layout of the 220 kV indoor GIS and the layout of the outdoor distribution equipment [J]. Heilongjiang Electric Power, 2010, 32(1): 78-80.
- [3] 王宇, 姚唯建, 庄贤盛, 等. 广东省 220 kV 及以上 SF₆ 组合电器气体中 SO₂ 和 H₂S 含量的现状分析 [J]. 广东电力, 2008, 21(10): 10-14.
WANG Y, YAO W J, ZHUANG X S. Situation and analysis of sulfur dioxide and sulfureted hydrogen content in sulfur hexafluoride of gas insulated switchgear (220 kV and above) in Guangdong province [J]. Guangdong Electric Power, 2008, 21(10): 10-14.
- [4] 中国南方电网公司. 关于印发《执行 GIS(HGIS)设备新技术规范的原则意见》的通知: 南方电网设备 [2015] 19 号 [EB]. (2015-06-08).
China Southern Power Grid Co., Ltd. Printing and issuing the principal suggestions on performance of GIS(HGIS)'s new tech-

nical specification: CSG[2015]NO.19 [EB]. (2015-06-08).

- [5] 王流火, 吕鸿, 卢启附, 等. 提高 GIS 运行可靠性的措施 [J]. 广东电力, 2014, 27(2): 84-86.
WANG L H, LÜ H, LU Q F, et al. Measures to improve operational reliability of gas insulated metal enclosed switchgear and controlgear [J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(2): 84-86.
- [6] 曾健. 330 kV 西北郊变电站工程 110 kV GIS 户内与户外布置比较 [J]. 西北电力技术, 2004, 32(3): 41-42.
ZENG J. 110 kV GIS layout comparison between the indoor and outdoor in 330 kV northwest station [J]. Northwest China Electric Power, 2004, 32(3): 41-42.
- [7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 高压配电装置设计技术规程: DL/T 5352—2006 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
National Development and Reform Commission. Technical code for designing high voltage electrical switchgear: DL/T 5352—2006 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

(责任编辑 李辉)