

ZHUANGPEISHI BIANDIANZHAN

JIANGOUZHUWU SHIGONG GONGYI

装配式变电站

建构筑物 施工工艺

李 政 主 编

何耀文 李友富 徐主锋 祁 利 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ZHUANGPEISHI BIANDIANZHAN

JIANGOUZHUWU SHIGONG GONGYI

装配式变电站 建构筑物 施工工艺

李政 主编

何耀文 李友富 徐主锋 祁利 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合装配式变电站施工遵照“三先三后两提前一同时”的原则，全书内容共包括8章，分别为概述、装配式变电站建构筑物设计、钢框结构装配式变电站建筑物施工、超轻钢结构装配式变电站建筑物施工、预制混凝土结构装配式变电站建筑物施工、装配式变电站构筑物施工、装配式变电站建构筑物施工技术经济分析和装配式变电站施工新技术。

本书可供电力工程建设管理人员，施工、设计和监理人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

装配式变电站建构筑物施工工艺 / 李政主编. — 北京: 中国电力出版社, 2019.4
ISBN 978-7-5198-3010-6

I . ①装… II . ①李… III . ①变电所—建筑工程—工程施工 IV . ①TU745.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 053588 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 邓慧都 (010-63412636)

责任校对: 黄 蓓 朱丽芳

装帧设计: 左 铭

责任印制: 石 雷

印 刷: 北京博图彩色印刷有限公司

版 次: 2019 年 4 月第一版

印 次: 2019 年 4 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 15.5

字 数: 369 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 88.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

编 委 会

主 编 李 政

副 主 编 何耀文 李友富 徐主锋 祁 利

编写人员 艾 涛 黄振喜 朱 克 杨 林

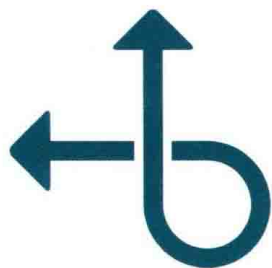
刘明芳 程国庆 朱邦盛 曾庆辉

卓俊帆 吴宣华 牛 琦 韩 恬

熊川宇 全婷婷 龚 俊 段志强

刘 蕾 程宙强 左 毅

前 言



随着技术和经济的发展，与传统建筑相比，装配式建筑在工期、环保、安全等方面的优势更加凸显，大力推行装配式建筑已逐步成为共识，建筑行业装配式建设相关技术逐步成熟、配套产业也逐步形成。国家层面已出台一些政策要求，国务院办公厅发布了《关于大力发展装配式建筑的指导意见》（国办发〔2016〕71号），提出装配式建筑比例在2020年要达到15%，2025年达到30%。

变电站建构筑物有其自身特点，直接应用建筑行业现有装配式成果难度较大。国家电网有限公司（简称国家电网）秉持“标准化设计、工厂化加工、模块化建设、机械化施工”的变电站建设理念，持续开展变电站装配式建设的探索和研究。近几年，变电站通用设计、通用设备逐步完善、推广并深化应用，变电站建构筑物实行装配式建设的条件逐步成熟。国家电网2016年开始发布了不同电压等级的变电站模块化建设通用设计技术导则，要求建筑物采用装配式结构，工厂预制、现场机械化装配，变电站装配式建设进入推广阶段。

国网湖北省电力有限公司（简称国网湖北电力）在变电站装配式建设探索方面一直属于先行者，按照循序渐进的原则，从简单到复杂，从构筑物到建筑物，从局部到整站，从工程试点到全面推广，于2008年开始承担装配式围墙、装配式主变压器防火墙、装配式电缆沟、装配式房屋建筑等研究课题，对装配式设计技术、施工工艺进行了系统研究，2016、2017年分别在荆州仙东220kV变电站和襄阳卧龙500kV变电站整站进行装配式建设试点成功。2016~2018年，国网湖北电力建成150多座全装配式变电站，覆盖35、110、220、500kV电压等级，积累了大量变电站装配式建设的工程实践经验。

为全面总结变电站建构筑物装配式建设的研究和实践成果，帮助相关人员更好地了解和掌握变电站装配式建设技术及施工工艺，我们组织编写了《装配式变电站建构筑物建设技术》和《装配式变电站建构筑物施工工艺》，前者侧重设计技术，后者侧重施工工艺做法，二者可配套使用。

《装配式变电站建构筑物施工工艺》全书共8章：第1、2章介绍装配式变电站建构筑物施工技术特征及发展前景，并从施工角度对设计提出相关要求；第3~5章区分钢框结构、

超轻钢结构、预制混凝土结构三种建筑物形式，明确施工流程、施工准备、主体结构安装、屋面施工、构件安装、管线布设、装饰装修、质量验收各环节的要求，对施工过程中的重点、难点工艺进行了详细解读；第6章对变电站构支架、围墙、防火墙、电缆沟、小部件等构筑物装配式施工工艺要求、安全措施、验收标准等内容进行了明确；第7章是依据国网湖北省电力有限公司2016~2018年投产的新建变电站工程，对变电站装配式房屋，装配式围墙、防火墙等进行了技术经济比较；第8章探讨了BIM、人工智能等新技术在变电站装配式建设中的应用，展望变电站装配式建设的发展方向。

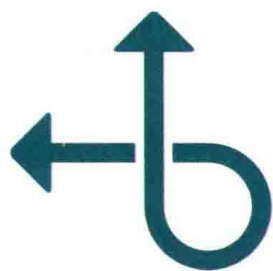
本书内容力求全面、系统、通俗，图文并茂，以国网湖北电力研究成果为主，兼顾其他区域和建筑行业研究实践成果，可以作为广大装配式变电站建设者的参考用书，尤其对装配式变电站建设的设计、施工、业主、监理单位现场管理人员具有重要参考价值。

本书在编写过程中收集了大量资料，参考了当前国家、行业及国家电网颁行的设计、生产、施工和检验标准，同时汲取了一些变电站装配式建设项目施工过程中的管理精华。由于编写人员的知识、经验有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者多提宝贵意见。

编者

2019年4月

目 录



前 言

1	概述	1
1.1	装配式变电站简介	1
1.2	装配式变电站建构物施工技术特征	2
1.3	国内外装配式变电站建构物发展情况	6
2	装配式变电站建构物设计	9
2.1	装配式变电站建构物设计理念	9
2.2	装配式变电站建构物设计注意要点	9
2.3	施工策划	12
3	钢框结构装配式变电站建筑物施工	21
3.1	钢框结构厂房简介	21
3.2	施工流程	21
3.3	施工准备	21
3.4	主体结构安装	27
3.5	屋面（楼承）板施工	34
3.6	内外墙板安装	38
3.7	管线布设	43
3.8	装饰装修	52
3.9	质量验收	62
3.10	施工安全及环境保护	101

4 超轻钢结构装配式变电站建筑物施工 104

- 4.1 超轻钢工业厂房简介 104
- 4.2 施工流程 104
- 4.3 施工准备 104
- 4.4 主体结构安装 107
- 4.5 屋面系统施工 118
- 4.6 内外墙安装 121
- 4.7 管线布置 124
- 4.8 质量验收 124
- 4.9 施工安全及环境保护 127

5 预制混凝土结构装配式变电站建筑物施工 129

- 5.1 预制混凝土结构装配式厂房简介 129
- 5.2 施工流程 129
- 5.3 施工准备 129
- 5.4 预制构件安装 132
- 5.5 预制构件连接 135
- 5.6 部品安装 136
- 5.7 设备与管线安装 138
- 5.8 质量验收 138
- 5.9 成品保护 148
- 5.10 施工安全与环境保护 149

6 装配式变电站构筑物施工 151

- 6.1 构支架安装 151
- 6.2 装配式混凝土围墙 169
- 6.3 装配式金属围墙 181
- 6.4 装配式防火墙 185
- 6.5 装配式混凝土电缆沟 193
- 6.6 地面金属槽盒 201
- 6.7 预制小件 204

7 装配式变电站建构筑物施工技术经济分析 222

7.1 装配式变电站建筑物 222

7.2 装配式变电站构筑物 225

8 装配式变电站施工新技术 229

8.1 装配式变电站施工新技术 229

8.2 装配式变电站发展方向 230

1

概述

1.1 装配式变电站简介

1.1.1 什么是装配式变电站

国家电网有限公司 2009 年开始全面推行资源节约型、环境友好型、工业化变电站建设工作，确立变电站工业化设施的定位，秉持节能环保原则，突出变电站基本功能和核心功能，除去无用、冗余功能，实现变电站全寿命周期的最优化建设。根据工业化设施的功能定位，变电站建、构筑物按工业建筑进行标准化设计，统一结构、材料、模数，采用装配式结构，实现工业化制作，现场机械化装配；构支架、结构件采用标准化工厂预制件，施工现场机械化吊装，通过螺栓或焊接安装成品组件；基础采用标准化、系列化尺寸，进行定型钢模浇制。

对于 110kV 及以下电压等级变电站，国内外已经出现了不少预制整体模块化产品，包括欧式装配式变电站、美式装配式变电站、车载移动式变电站等，即将变电站内包括主变压器、高压断路器、无功补偿装置、绝缘母线、变电站监控系统、通信、远动、计量及直流电源等所有一、二次电气设备，按照安全、可靠、少维护、一体化的原则，安装在一个具有隔热、防火、防盗、防潮、防小动物，通风、封闭、可拆装、扩建方便等良好性能的钢结构箱体内。但此类预制变电站的规模严格受限，进出线较少，主变压器容量减小，一般适用于终端变电站，不适用于电网枢纽变电站。本书主要介绍非全预制模块化变电站的施工，即变电站使用装配式建构筑物。如图 1-1 ~ 图 1-4 所示。



图 1-1 变电站装配式建构筑物外观（一）



图 1-2 变电站装配式建构筑物外观（二）



图 1-3 变电站装配式围墙

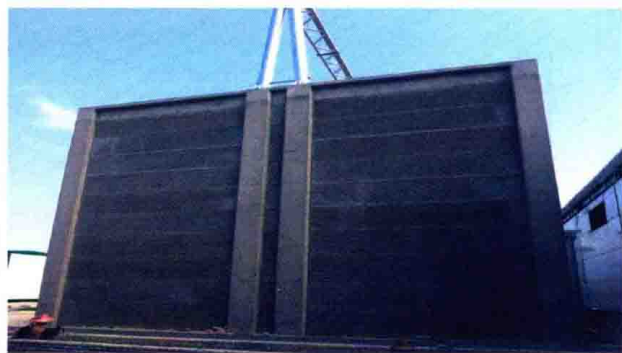


图 1-4 变电站装配式防火墙

1.1.2 装配式变电站特点

装配式变电站是变电站建设的一场革命，改变了传统变电站的电气布局、土建设计和施工模式，通过工业化生产、现场装配两大阶段来建设变电站，是“两型一化”变电站的具体体现，其标准化设计、模块化组合、工业化生产、机械化施工，使变电站建设走向科技含量高、资源消耗低、环境污染少、精细化建造的道路。装配式变电站以“三通一标”作为工程建设的主要抓手，深化通用设计、通用造价、通用设备、标准工艺，做到优化、美化、简化，为变电站建设提供高效、可控、标准、节能、环保、经济的建构筑物建造的新模式、新方法、新途径。其具有以下几个显著特征：

(1) 施工周期短。装配式变电站建设采取设计标准化、生产工厂化，安装装配化、施工机械化，土建施工由现场浇筑、砌筑、粉刷变为工业化标准化生产验收合格后，送达现场进行快速拼装；将建构筑物施工流程由串联改为并联，柱、梁、板、屋架一次就位，提高了工程建设效率，缩短施工周期。

(2) 工程质量高。装配式变电站建构筑物的构件通过标准化设计、工业化生产，减少现场混凝土养护时间，减少了现场施工强度，减小现场施工质量控制点，在工厂标准化的条件下采用高精度模具批量生产，不受季节和天气等外部环境的干扰，预制构件的质量能得到更有效的控制，提高了产品质量和生产效率，提升工程质量。

(3) 节能降耗。装配式变电站建筑材料标准化设计、规模化采购，工厂化生产，从传统的现场浇筑湿式作业转变为预制装配干式作业模式，人力需求少，现场湿作业少，现场材料及水等资源损耗明显降低，施工现场更加整洁有序。

(4) 绿色环保。装配式变电站施工减少了施工现场的噪声、粉尘、废气、废水的排放，环境污染少，对施工作业人员健康及环境的不良影响少；同时，装配式变电站施工现场大量地减少了基础混凝土模板，不会产生建筑垃圾，更符合工程绿色环保的建设目标。

1.2 装配式变电站建构筑物施工技术特征

1.2.1 装配式变电站与传统变电建构筑物施工的区别

传统变电站采用钢筋混凝土结构，作业主要采用现场浇筑混凝土的传统方式，施工工

序有脚手架搭设、钢筋搬运及绑扎、模板支护、混凝土预拌及浇捣养护、模板拆除等，材料浪费大，工作繁复，人工消耗大，劳动力成本高，容易造成环境污染，现场难以做到高标准安全文明施工，混凝土结构的施工和养护受作业人员的水平及天气因素影响较大，建设质量及工期难以保证。

相比传统变电站的钢筋混凝土结构工程，装配式变电站采用标准化设计、模块化组合、工业化生产、机械化施工，具有施工周期短、现场作业少、质量控制好、绿色环保等特点，节约土地资源，生产集约化，使变电站建设不断突出其工厂化的定位。装配式变电站的土建施工充分体现了“装配式”特点，采用预制结构的建筑模式，根据运输和设计要求，将建筑物拆分为梁、柱、屋面（楼承）板、外墙板、内墙板、隔断等多个结构构件，再细化各结构构件的装配式方案，变电站的围墙、大门、结构支架、设备支架等采用组合式装配钢结构，所有构件在工厂预制，进行工厂化、规模化生产，实现技术标准化，规格系列化。结构件在工厂内生产完毕后，直接运至施工现场进行装配安装，完成集约化施工。

1.2.2 装配式变电站建构筑物施工流程

传统变电站的施工流程依据施工顺序可分为“四通一平”、土建工程和电气工程三个大的阶段。四通一平阶段包含场地平整、进站道路、站外排水沟、围墙等施工内容，土建工程阶段包含站内排水、构支架基础、厂房、电缆沟、构支架组立等施工内容，电气工程顾名思义就是电气设备的安装调试。四通一平和土建工程的施工流程主要分成地基基础工程、主体结构工程、装饰装修工程三个部分。

装配式变电站地基基础及装饰装修部分与传统变电站的施工方法大体相同，这里主要对主体结构部分进行描述。主体结构部分的工艺流程包括：构件工厂化预制、运输；构件吊装、连接、支撑固定。它将传统变电站中建筑工程阶段的部分作业内容提前到变电站的四通一平阶段进行，同时，简化了建筑工程阶段的作业方式，提高了工作效率。

根据欧洲的统计，传统建造方法每平方米建筑面积需要 2.25 个工日，而预制装配式施工仅需 1 个工日。根据近年来湖北省装配式变电站建设的实际情况，装配式变电站的工期比同等规模传统变电站的工期减少 4~6 个月。

装配式变电站施工遵照“三先三后两提前一同时”的原则，即先地下后地上，先主体后配套，先结构后装饰，预制构件工厂化制作提前到四通一平阶段进行，管线预埋提前介入，以厂房安装为主线多种作业同时进行，合理安排工序，保持均衡施工。装配式变电站施工流程图如图 1-5 所示。

以 110kV AIS 变电站的全过程建设为例，装配式变电站施工过程中各主要工序的施工效果如图 1-6 所示。

装配式变电站是并行工程理念在电建行业深化应用的产物，它改变了传统变电站的设计和施工模式，将变电站建设由传统的站内串行作业改变为站内站外并行作业，将建构筑物预制件工厂化加工和变电站四通一平建设同时进行，大幅提高了施工进度，缩短了施工周期，并为实现变电站机械化施工奠定了基础。

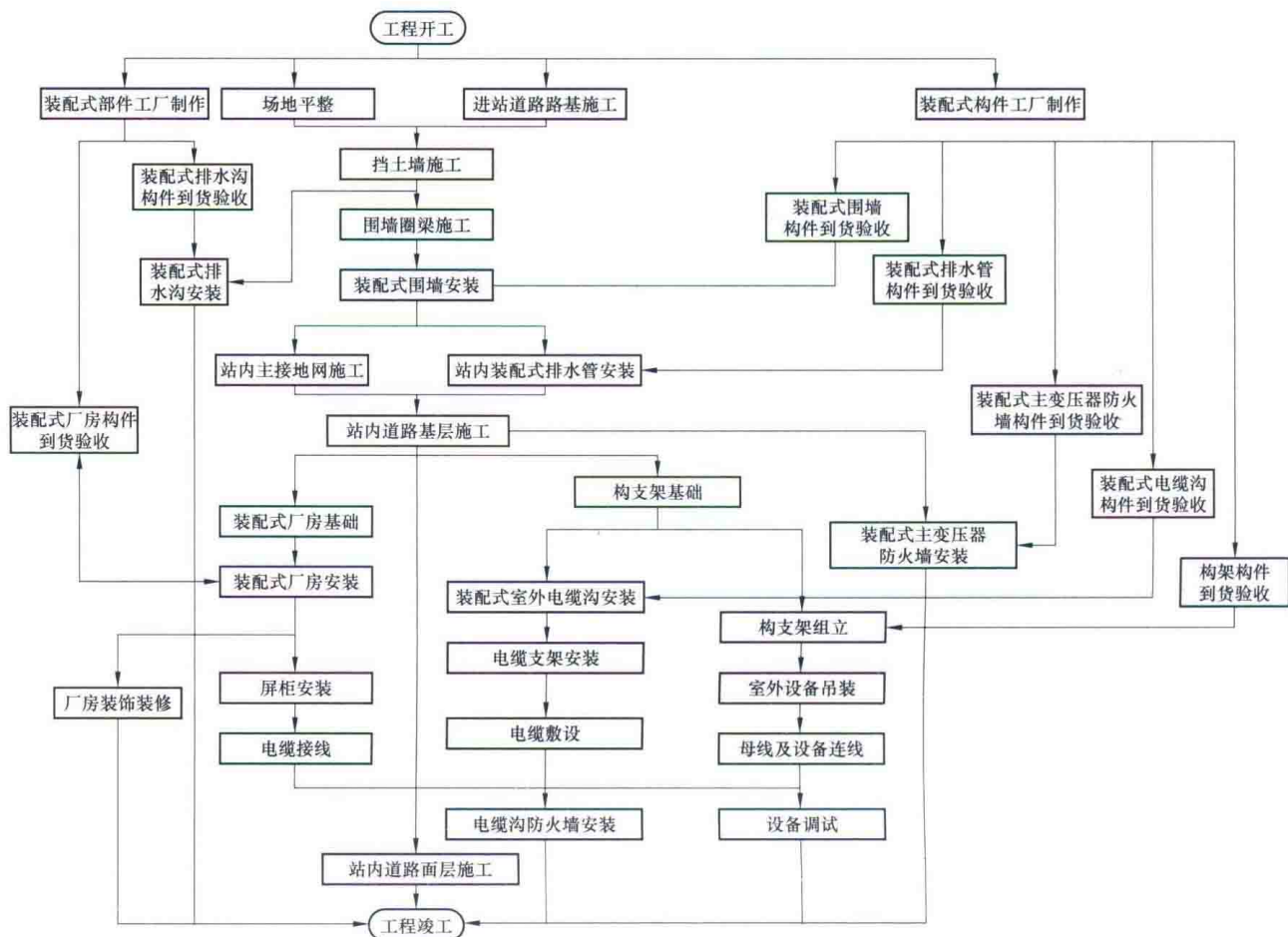


图 1-5 装配式变电站施工流程图

1.2.3 装配式变电站建构筑物施工要点

和传统变电站类似，装配式变电站施工现场管理也主要分为进度管理、安全管理和质量管理三大部分，其中，安全管理和质量管理又是重中之重。施工安全的风险主要存在于各类直接作业过程和作业周边环境中，如施工用机械、仪器设备操作安全、临时用电安全、作业防护安全及恶劣天气等，对于装配式变电站，预制件吊装风险大以及多项工作、多支队伍同时作业管理难度大的隐患尤为突出。施工质量风险主要源于施工管理和施工技术，对于装配式建筑，预制构件的工厂加工及现场施工管理与安装技术尤为重要，施工过程中预制件运输堆放管理难度大、成品保护不力等问题，都不同于传统施工的重点质量管控内容。下面主要从预制装配式建筑的主体结构施工过程探讨各管控要点，简述预制构件施工全过程中各个阶段的管控要点，后续章节将详细介绍各施工管控点的操作步骤、注意事项等内容。

(1) 预制构件的加工制作。预制构件的质量保证是保障装配式建筑可靠性的基础。构件预制过程中要严格按照设计要求实施，同时，要精确预留后期施工孔洞的位置，接缝处高精度定位，验收合格后方可进行下道工序。施工现场要有严格的进场检验和验收管理制度，不合格产品一律不予进场，以确保进场安装的预制构件的质量。

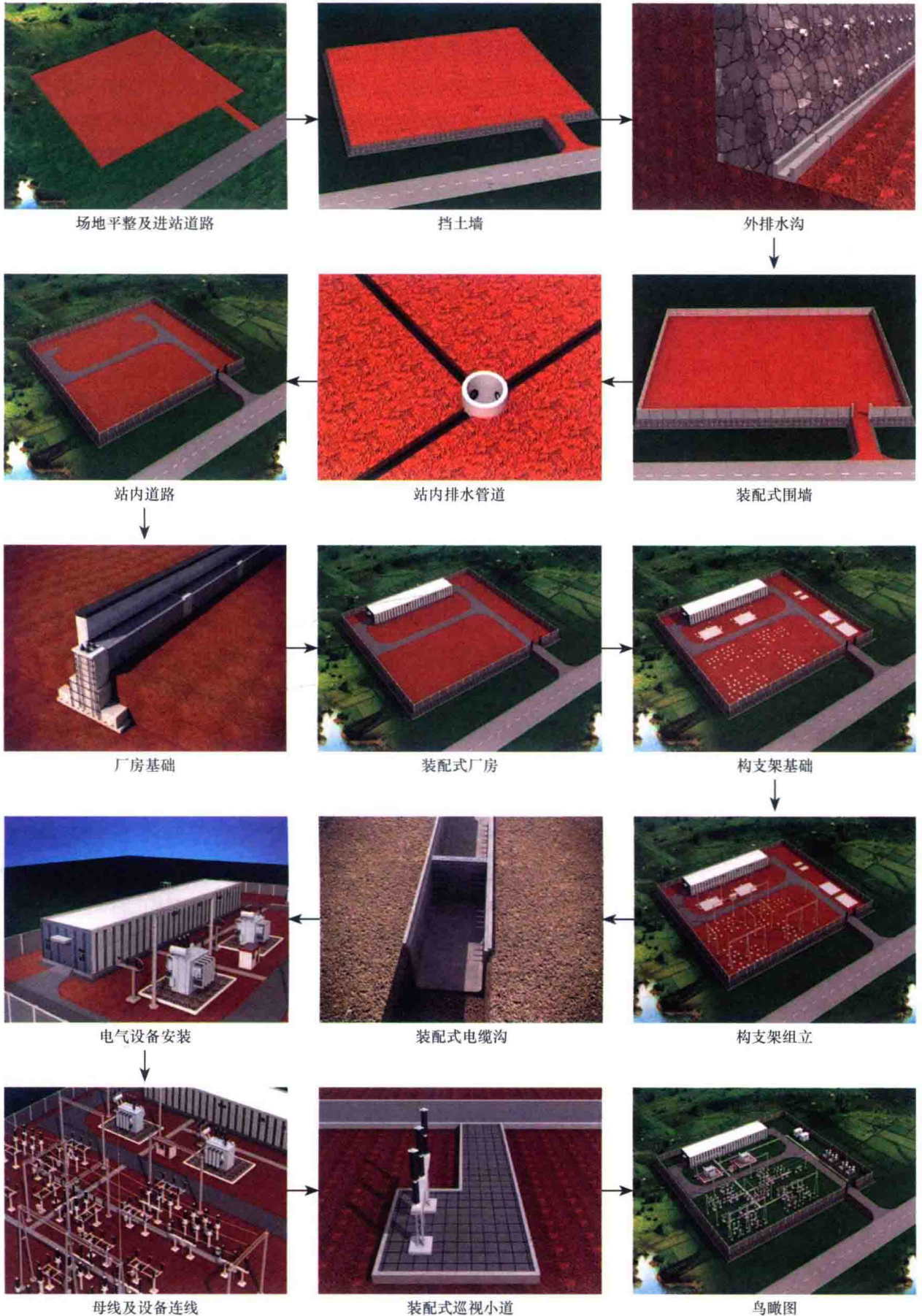


图 1-6 装配式变电站主要工序

(2) 预制构件运输、堆放。为加强对构件管理力度,便于对构件进行跟踪管理,施工项目部应设置专门管控人员,对进场的构件及时进行编号、登记,并分类存放于专门设置的构件存放区,避免发生混乱。预制构件批量运输到现场,尚未吊装前,应统一分类存放于专门设置的构件存放区。存放区的地面应平整、排水通畅,并具有足够的地基承载能力。预制构件堆置时,不可与地面直接接触,须置放在木头或软性材料上并注意最佳支点和堆置方式的选择和保护措施的到位,堆放不得超过三层,避免由于堆载过大、支点不合理、保护不力使构件损坏。当设计无要求时,预制件支点宜为两点,支点位置见图 1-7。

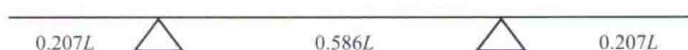


图 1-7 堆放支点示意图

注: L 为构件长度。

(3) 预制构件吊装。吊装作业在装配式变电站现场施工中工作总量最大、危险因素持续时间最长,应作为安全管控的重点。施工项目部应编制吊装施工专项方案,建立健全吊装作业组织指挥体系,建立吊装作业工作制度,确定现场总指挥,负责构件吊装作业时各工种的协调工作,明确吊装作业分工,责任到人。构件吊装时应采用平衡吊具,绳索与构件的水平夹角应符合要求,保证吊点合力与构件重心在垂直方向上重合。构件上要设置缆风绳,吊装过程中要避免构件偏斜和大幅度摆动,保证吊装工作平稳进行。

(4) 预制构件的成品保护。预制构件的成品保护是为了最大限度的消除和避免成品在施工过程中的污染和损坏,以达到降低成本,提高合格率、一次成优的目的。不但要在运输、堆放过程对其进行保护,更要对正在施工或已完工的成品进行保护,否则一旦造成损坏,将会增加修复工作,造成工料浪费、工期拖延,甚至造成永久性缺陷。应重点进行对装配式围墙、装配式防火墙、高压室内外墙板、构支架、电缆沟等部位的成品保护。

装配式变电站预制件种类繁多且数量大,现场存在诸多不确定性,故进行现场施工的有效管理,更依赖于专业的施工组织设计和切实可行的施工方案,当然更需要专业的、高素质的、经验丰富的管理团队来执行。所以更要重视专业管理团队和施工工人的培训,使施工现场管理标准化、操作规范化,才能有效保障施工质量。

1.3 国内外装配式变电站建构筑物发展情况

1.3.1 国外装配式变电站建构筑物的发展情况

法国 1891 年就已实施了装配式混凝土的构建,迄今已有近 130 年的历史,多采用框架或板柱,并逐步向大跨度发展。日本 1968 年提出装配式住宅的概念。在 1990 年的时候,采用部件化、工厂化生产方式,高生产效率。美国 20 世纪 70 年代能源危机期间开始实施配件化施工和机械化生产。德国的装配式住宅主要采取叠合板、混凝土、剪力墙结构体系,

剪力墙板、梁、柱、楼板、内隔墙板、外挂板、阳台板等构件采用构件装配式与混凝土结构，耐久性较好。从 1989 年开始，美国和日本共同合作开展了预制抗震结构体系研究，提出了一种混合连接的框架结构。对于中低压变电站欧美主要采用预制集装箱式建筑，在工厂内流水生产完成各模块的建造并完成内部装修，再运送至施工现场，比如 ABB 和施耐德公司推出预装式电气间（E-House），是一种预制的模块化钢结构户外箱体，将中压（MV）和低压（LV）开关设备以及辅助设备植入其中，E-House 可以是撬装，也可以直接被安装在板车上，能实现最短的现场安装、调试。

1.3.2 国内装配式变电站建构筑物发展现状

（1）2009 年，国家电网有限公司开始全面推行“两型一化”变电站建设，但建筑物结构设计未能采用建筑行业的成熟技术，非标准构件多，地上结构件采用预制方式，不能形成工业化生产，精度达不到装配要求，给安全带来负面影响，导致施工不便，节点处理不到位，易造成渗水、漏水，影响使用安全和使用寿命。

（2）国务院办公厅 2013 年发布的《国务院办公厅关于转发发展改革委住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知》（国办发〔2013〕1 号）提出：开展绿色建筑行动，以绿色、循环、低碳理念指导城乡建设；提出加快绿色建筑相关技术研发推广、大力发展绿色建材、推动建筑工业化。随后，国家电网公司、南方电网公司就文件做出了积极响应。国家电网公司基建部发布了《国家电网公司基建部关于开展标准配送式智能变电站建设工作的通知》（国家电网基建技术〔2013〕11 号），南方电网有限责任公司发布了《3C 绿色电网建设指导意见》。根据相关文件指导精神，两大电网公司将装配式建筑结构运用于变电站的建设中，并提出新建装配式试点变电站，以实现节省用地、提高质量、缩短工期、绿色节能的目的。变电站建设从低电压等级先行采用装配式构架、装配式围墙，然后采用装配式建筑物试点，并逐步扩大到高电压等级。

（3）当前装配式变电站建筑物主要采用钢框架结构、轻型门式刚架结构，少量采用预制混凝土结构，单层建筑采用轻型门式钢架结构或钢框架结构，多层建筑采用钢框架结构；围护结构采用装配式墙体，外墙采用压型钢板复合板、AS 板（挤压成型水泥预制板）、纤维水泥板复合板，内墙采用压型钢板复合板、AS 板（挤压成型水泥预制板）、纤维水泥板复合板或石膏复合板；屋面材料采用压型钢板复合板或钢筋桁架楼承板；防火墙采用装配式组合墙板，柱采用预制钢筋混凝土、现浇混凝土，地梁采用预制钢筋混凝土梁，顶梁采用预制钢筋混凝土叠合梁，墙板采用预制混凝土板或双层 AS 墙板内加防火岩棉；围墙采用装配式墙板，围墙柱及压顶采用清水混凝土施工工艺，工厂化制作；电缆沟、排水沟等沟道及其盖板采用混凝土或复合材料预制；构支架采用钢结构，基础采用螺栓连接；设备基础采用标准钢模或通用基础。装配式建筑物内部管线的连接以及与建筑物外管线连接的接口按照统一的标准进行设计。

（4）随着 BIM 技术在变电站建设中的应用，可以运用三维建模和建筑信息模型技术，建立用于进行虚拟施工和施工过程控制，实现虚拟建造，进行数字化加工、工厂化生产，实现建筑施工流程的自动化。

（5）当前变电站装配式建筑不断在不断发展和深化应用，但仍存在以下问题。

1）前期投资成本较高。虽然装配式变电站节约了现场施工时间，提升劳动效率，但

当前产品未真正实现标准化，供应商产品标准不统一，在进行建设前，需要投入大量的资金来展开相关研究及模具开发；同时装配式构件被视为商品，按制造业纳税，税率远高于建筑材料；再者预制构件蒸养、运输费用远高于混凝土现浇。

2) 预制构件难以本地供应。预制构件一般难以在工程所在地购买，同时由于施工分包招标的原因，产品供应商一般在异地生产供应，而项目地点与预制工厂的距离远近及运输条件好坏决定了运费的高低，很多时候难以在离工程所在地合理的距离内找到预制构件生产商。

3) 设计难度大。装配式建筑构件必须绘制构件详图，在详图中除了反映构件尺寸、配筋信息外，还要反映门窗、管线、预埋件等信息，以及构件的装配构造节点、生产加工工艺、安装工艺等，用于指导构件生产和施工，增加了大量的工作量。