

变配电 系统一体化设计

BIANPEIDIAN XITONG YITIHUA SHEJI

王振声 杨宇飞 熊小俊 主编

中国建筑工业出版社

变配电系统一体化设计

主编 王振声 杨宇飞 熊小俊

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

变配电系统一体化设计/王振声, 杨宇飞, 熊小俊

主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-112-22399-2

I. ①变… II. ①王…②杨…③熊… III. ①变电所-电力系统-设计②配电系统-电力系统-设计 IV. ①TM63
②TM732

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 142507 号

一体化变电站是利用现行成熟的国家定型电气产品组合而成, 满足国家相关规程规范及 IEC 标准。组合体由环网柜模块, 变压器模块, 低压柜模块组成, 由制造厂家组装而成, 成套供货, 运输方便、安装简单、结构紧凑、质量可靠, 突破了原环网柜、变压器、低压柜等传统的各自分离的安装方式, 占用面积小, 符合节能、低碳、环保的要求。本书主要包括: 高压系统接线方式、组合体设计、变电站设计及主要设备选择等。

本书适合于电气设计人员及相关厂家使用。

责任编辑: 刘 江 张 磊

责任校对: 王 瑞

变配电系统一体化设计

主编 王振声 杨宇飞 熊小俊

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 6 插页: 2 字数:

2018 年 9 月第一版 2018 年 9 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-22399-2

(32273)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



本书编委会

主编：王振声 杨宇飞 熊小俊

编者：许冬梅 李维时 王 铮 李 喆

李沛岩 庞晓霞 陈 红 孙泽人

于天傲 杨 媚 崔家玮 王梦梦

前言

本一体化变电站就是利用现行设备进行组装成套而成的一体化变配电装置。

变配电系统设计是民用建筑电气设计的重要组成部分，是供电可靠性的核心，根据我国电气制造事业的不断发展，变电站设计也经历了分室布置阶段、共室布置阶段，发展到现在本文提出的一体化变电站的设计阶段。变配电系统一体化设计是一个新的设计概念，要求高压环网柜、变压器和低压开关柜等三大功能组件组合在一起的变配电装置，本变电站能满足供电安全、节能环保、安装方便、节约投资、便于管理的目的。

本一体化变电站由组合体组成，而组合体又由不同的功能模块组成，如高压环网柜模块、变压器模块、和低压柜模块等组成，每台变压器组成一个单元组合体。本变电站主要适用于户内安装，可用于各种规模的民用建筑，高层、超高层建筑，住宅小区等。本变电站可适用于不同的供电系统，一次侧主接线方式可以是放射式、树干式、也可以是环网式，可用于大型工程的总变电所和分变电所，也可以由市政电网直接供电，并可以设置高压计费装置。

本变电站的主要设备如高压环网柜，干式变压器，低压开关柜等均选用国家定型成套设备，均能满足国家标准、规程、规范和 IEC 标准。由承包厂家组装成套，并成套供货。质量有保证。

本变电站与传统变电所比较有如下特点

1. 节约建筑面积约 30% 左右，可上进线，上出线，取消电缆夹层，节约建筑空间。
2. 节省连接母线投资约 88%
3. 节省连接母线电力损耗约 73%
4. 节约母线长度约 55%
5. 安装方便质量有保障
6. 管理线路短，操作方便

本变电站的主要内容有

1. 背景及研究意义
2. 高压系统接线方式
3. 组合体设计
4. 变电站设计
5. 设备选择
6. 电气智能监控系统

本一体化变电站目前是利用现行的定型设备进行组装，还有广阔的发展空间，相信不需要很长时间，变配电系统设计一定能实现一体化程度更高，可靠性更强，智能化程度更高，体积更小的一体化变电站。一定会普及到全行业，促使业内变配电系统设计进入一个新的设计阶段，更上一个台阶。

本变电站在编写过程中曾多次与生产厂家配合，共同讨论有关技术问题，还为本专题提供有关图纸资料，在此表示感谢。在编写过程中，由于资料缺乏，时间紧迫，经验不足，所以在使用过程中一定会有不少问题望广大同仁，提出宝贵意见以便及时改进。

目录

- 1 背景及研究意义 1
 - 1.1 传统做法及存在问题 1
 - 1.2 一体化变电站主要特点 1
 - 1.3 一体化变电站的组合型式 2
 - 1.4 一体化变电站的组成 2
 - 1.5 一体化变电站发展前景 3
 - 1.6 效果分析 3
 - 1.7 成果应用前景及意义 5
- 2 高压系统接线方式 7
 - 2.1 放射式供电系统 7
 - 2.2 树干式供电系统 7
 - 2.3 环网式供电系统 9
 - 2.4 接线方式代号、主要设备及应用场所 10
- 3 组合体设计 12
 - 3.1 环网柜模块 12
 - 3.2 箱式变压器模块 14
 - 3.3 低压开关柜模块 15
 - 3.4 组合体系统图、结构图、排列尺寸及代号 21
 - 3.5 组装成套 23
 - 3.6 应用举例 23
- 4 变电站设计 25
 - 4.1 接线关系示意图 25
 - 4.2 变电站设计及布置方式 26
 - 4.3 变电站系统图及平面布置图 28
- 5 主要设备选择 53
 - 5.1 变压器的选择 53
 - 5.2 变压器保护高压熔断器选择 55
 - 5.3 变压器温度控制及环网柜控制原理图 57
 - 5.4 变压器的过载能力 58

5.5	补偿电容器的选择	60
5.6	谐波治理及滤波器的选择	61
5.7	低压断路器的选择	63
6	电气智能监控系统	74
6.1	系统结构	74
6.2	系统功能	74
6.3	系统组网示意图（见图 6-1）	75
7	电气设备安装及典型一体化变电站	76
7.1	平剖面图	76
7.2	变压器及开关柜的安装	77
7.3	典型系统图及布置图	78
8	附录	81
8.1	高压配电装置的调度操作编号原则	81
8.2	短路电流计算数据	84
	参考文献	90

1 背景及研究意义

1.1 传统做法及存在问题

当前在我们的供电设计中，大都采用放射式供电系统，变配电设备采用定型产品，分离式安装，即高压开关柜，干式变压器及低压开关柜等均为各自独立式安装。各自保持一定距离，因而占用面积较大，一般作法是：有高压配电约占 200m^2 ，无高压配电约占 150m^2 。

高压开关柜与变压器的连接采用高压电缆连接，敷设在电缆沟或电缆夹层内或采用电缆桥架架空敷设，而变压器与低压开关柜的连接采用封闭式母线或母线桥架架空敷设，低压出线回路大都采用电缆线路、电缆桥架敷设或电缆沟、电缆夹层敷设等，而这种传统做法存在以下问题：

- 1) 楼层内无法满足设置电缆夹层或电缆沟的条件，因为变配电室要求有不小于 3.6m 左右的层高，而电缆夹层应有不小于 2m 的层高，这就给建筑设计造成很大的困难，甚至无法满足。
- 2) 各种变配电设备分离安装，占用面积大，常出现柱子处在变配电装置中间，给设备布置造成很大困难，为了避开柱子，造成设计很不合理。
- 3) 由于各种设备是各自独立式安装，各自保持维护或操作距离，增加了线路长度，这就会造成线路损耗的增加，材料及成本的浪费。
- 4) 分散布置。维护管理线路长，造成管理、操作困难。

1.2 一体化变电站主要特点

组合式一体化变电站以现行国家规范为依据，以现行国家标准定型产品为基础，保留设计施工中宝贵的经验和传统做法，突破原有分离式安装的传统做法，进而采用一体化安装的新概念，力求做到紧凑、合理、安全、环保、经济的综合效果，其主要特点如下：

- 1) 将分离式安装的高压环网柜，干式变压器及低压开关柜等，改为组合式贴邻安装，节省占用面积，缩短连接线路，有利于节能和降低成本。
- 2) 将高压柜至变压器的连接电缆改为高压单芯电缆，设备内部敷设和连接，方便安装，缩短连接线路。
- 3) 将由变压器至低压开关柜的封闭式母线架空敷设，改为绝缘母线，夹板式安装在设备内部，有利缩短线路，减少损失。
- 4) 环网柜、干式变压器和低压开关柜等均采用定型设备组装成不同的功能模块由厂家组装成套，有利保证质量。
- 5) 结构紧凑体积小，占用面积小，有利伸入负荷中心和楼层内安装。

6) 进出线灵活,可以上进上出,不需设置电缆夹层和电缆沟,节省建筑空间,有利降低成本。

7) 可采用双面柜,背靠背安装方式,以增加出现回路,缩短线路长度,减小占用面积,简化接线系统。

8) 本一体化变电站,系由不同功能的模块组成,每个模块均为一台整体设备,质量更好,便于运输及安装。

1.3 一体化变电站的组合型式

目前户外“箱变”已运行多年,尤其在住宅小区应用甚广,全国各地均有生产厂家,有一定的运行经验,户内组合式一体化变电站,近几年也有厂家推出,就目前情况,一体化变电站有如下几种组合型式:

- 1) 按使用环境分:户内型组合式、户外型组合式。
- 2) 按使用的变压器分:油浸变压器组合式、干式变压器组合式。
- 3) 按组合方式分:立体组合式、平面组合式。
- 4) 按一次接线方式分:终端型组合式、环网型组合式。
- 5) 按变压器台数分:单台变压器组合式、两台变压器组合式。
- 6) 按进出线方式分:下进下出组合式、上进上出组合式。
- 7) 按组合体形式分:共箱式组合式、模块组合式。
- 8) 按计量方式分:无高压计量组合式、设高压计量组合式。

1.4 一体化变电站的组成

本一体化变电站由2台或4台组合体组成,而组合体由三大功能模块组成,即高压环网柜模块、干式变压器模块及低压柜模块。适用于10/0.4kV变配电装置,高压采用10kV电缆进线,低压出线回路亦采用电缆线路或其他出线方式,变压器容量500~1250kVA。

1) 环网柜模块,根据高压接线方式的不同,设有单电源终端无隔离型、有隔离型、环网型,根据计费方式的要求,设有高压计费终端型及高压计费环网型。

2) 变压器模块,选用定型箱式变压器,箱体采用可拆卸式,可现场组装,由钢板制成,防护能力不低于IP30,设有通风机及自动启停控制装置,箱体门设有安全自动停电控制装置。并设有高温报警及超高温自动跳闸的功能。

3) 低压柜模块,主要包括变压器总保护开关,静电电容器无功补偿装置,低压回路出线开关及母线联络开关等,低压出线开关可以是抽屉式,也可以是插入式安装。本变电站低压出线开关柜采用现行的国家定型产品进行组装,出线回路多,容量大,组装灵活,可上进上出,根据工程需要,可任意自行组合,装置紧凑,安装简单,成套性强,维护方便,可适用于各种规模的民用建筑、住宅小区,特别适用于高层、超高层建筑内的变配电装置。由于本一体化变电站所选用的高压环网柜、干式变压器及低压开关柜等均为国家定型产品,故均能满足相应的国家标准、规程规范和IEC标准。

4) 设有计算机综合监控系统, 自动化程度高, 具有遥控、遥测、遥信等功能, 可实现无人值守。

1.5 一体化变电站发展前景

从供配电设计的发展和主要变配电设备的安装, 可分为三个发展阶段, 即分室安装、共室安装和组合式安装等三个阶段。

1) 在新中国成立初期向苏联学习, 设计规范和设备制造标准都是从苏联引进, 当时发展水平是油浸式变压器, 少油断路器 GG-1 型高压开关柜, 静电电容器也是易燃设备, 所以当时的变电所设计均采用单间隔离式安装, 即设置单独的高压配电室、变压器室及低压配电室等, 这种做法至今有的还在采用, 但已不是主流做法。

2) 改革开放后, 外资外商大量进入我国, 带来了先进技术, 先进设备和先进的设计理念, 如空气断路器、真空断路器、固体封柱式断路器、干式变压器、环氧树脂浇注型变压器、干式电容器等, 具有容量大、体积小、安全度高等优点。这样就大大地减少了线路故障和设备烧毁的可能性, 所以设计规范允许高低压设备共室安装, 这种做法是当前的主流做法, 但这种设计仍然是各自独立分离式安装。

3) 随着设备制造技术的发展和智能监控技术的应用, 现在看来高压柜、变压器、低压柜等各自独立式安装, 仍然存在着占用面积大、造价高、损耗大、操作不方便等, 为了更好地深入负荷中心, 满足上进上出的灵活性要求, 采用组合式一体化设计是当前必然解决的问题, 从当前变配电设备的现状和设计实践来看, 今后的发展向智能化、一体化、模块化、小型化组合式条件已经成熟, 是今后供配电设计发展的必然趋势, 发展前景广阔。

1.6 效果分析

因为本变电站是将原来的变配电装置由分散式布置改为集中式一体化的变配电装置, 且进出线方便, 可上进上出, 因而节约了建筑面积和建筑空间, 缩短了连接线路, 降低了线路损耗。

1) 节约建筑面积及建筑空间

传统做法是有高压配电的约占建筑面积 200m² 左右, 分变电所约占 150m² 左右, 建筑空间有电缆夹层的为 2m+3.6m, 合计总高度不小于 5.6m, 而一体化变电站可以取消电缆夹层改为上进上出线, 节约层高 2m, 建筑面积的节省效果则更加明显, 通过已经施工的工程, 某金融中心工程进行分析见表 1-1。

变电所占面积分析表 表 1-1

变电所		变压器台数	占用面积 (m ²)		节省面积 (m ²)	节省率 (%)
名称	位置		分离式	一体化		
冷冻机房	A 楼 B3F	3	195.5	143.75	51.75	26.5
办公层	A 楼 B1F	4	238	187	51	21.4
办公层	A 楼 19F	2	208	99.7	108.3	52

续表

变电所		变压器台数	占用面积 (m ²)		节省面积 (m ²)	节省率 (%)
名称	位置		分离式	一体化		
办公层	A 楼 38F	4	209	169	40	19.1
办公层	A 楼 56F	3	184.6	140.6	44	23.8
酒店层	A 楼 73F	4	223.6	182	41.6	18.6
裙房层	B、C、D、E 楼 B2F	42	391.4	220	171.4	43.8
冷冻机房	F1-1、B3F	2	143.6	104.6	39	27.2
办公楼	F1-1、B1F	2	147.66	99.36	48.3	32.7
公寓楼	F1-1、B1F	2	225	167.2	57.8	25.7
合计		30	2166.3	1513.21	653.15	30.1

2) 缩短连接线路降低电力损耗

分离式布置与组合式一体化见图 1-1、图 1-2。

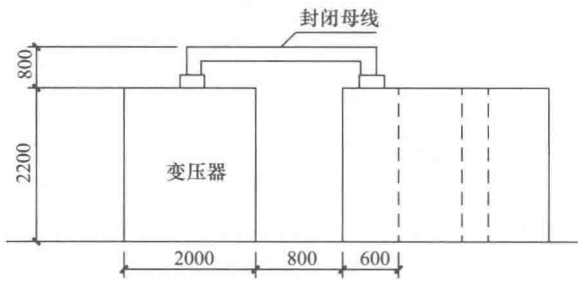


图 1-1 分离式安装

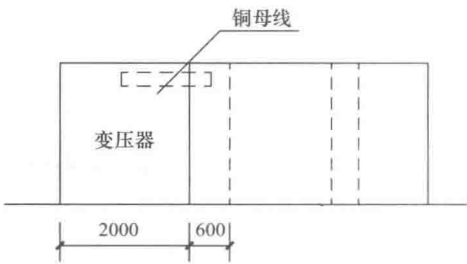


图 1-2 组合式安装

设变压器容量为 1000kVA，封闭母线 2000A，长约 2.9m，一体化铜母线选用 3(120×10)+1(80×8) 长约 1.3m。

(1) 造价

① 封闭母线

直线段：长约 1.5m，单价 2.4 元/(A·m)，变压器负荷率为 80%，负荷电流 $I=1450\times0.8=1160\text{A}$ ，造价 $A=1.5\times2.4\times1160=4176$ 元，两个弯头约 7000 元，两个接线箱约 7000 元，合计 18176 元

② 铜母线

每米单价考虑为封闭母线的 60%，所以铜母线每米为 $4176\div1.5\times0.6=1670.4$ 元/m，铜母线长 1.3m，所以 $A=1670.4\times1.3=2171.52$ 元

③ 节省效果 $A=18176-2171.52=16004.48$ 元

节省效率 $16004.48\div18176=88\%$

(2) 电力损耗

① 封闭母线

由 $\Delta P=3I^2R$

式中 $R_0=25.4\mu\Omega/\text{m}$ (根据厂家样本资料 20°C)
 $I=1450\times0.8=1160\text{A}$
 $L=2.9\text{m}$ 所以 $R=25.4\times2.9=73.66\mu\Omega$ (L 值包括接线箱弯头)
所以 $\Delta P=3\times1160^2\times73.66\times10^{-6}=297.4\text{W}$

② 铜母线

$R_0=0.0149\text{m}\Omega$ (根据 120×10 母线查短路电流计算一书, 20°C)
所以 $R=0.0149\times1.3=1.94\times10^{-5}\Omega$
 $I=1450\times0.8=1160\text{A}$
所以 $\Delta P=3\times1160^2\times1.94\times10^{-5}=78.3\text{W}$

③ 节省效果

共节省: $\Delta P=297.4-78.3=219.1\text{W}$
节省效率: $219.1\div297.4=73.1\%$

3) 安装便利, 质量可靠方便管理

(1) 一体化变电站母线安装可以直接用夹板敷设在设备内, 而分离式安装则需选用封闭式母线, 架空敷设。

(2) 二次监控线路可以直接敷设在设备内部而分离式则需要穿管埋地或采用线槽架空敷设。

(3) 装配质量好, 因为变压器与低压柜的组装是在工厂组装成套, 质量有保障, 比现场安装质量更好。

(4) 有利于管理和操作, 因为缩短了管理的行走距离。

4) 分离式与一体化变电站效果比较 (见表 1-2)

技术经济效果分析表 表 1-2

变电所	分离式布置	一体化布置	节省数	节省效率
一次投资	18176 元	2171.52 元	1600.48 元	88%
电力损耗	297.4W	78.3W	214.4W	73.2%
线路长度	2.9m	1.3m	1.6m	55.2%
安装方便	比较复杂	方便	如母线安装	
安装质量	比较差	好	如厂家组装成套供货	
管理	比较不方便	方便	管理路线短	

1.7 成果应用前景及意义

由于一体化变电站是利用现行成熟的国家定型产品进行组装成套, 可以涵盖当前变电所的全部功能, 应用广泛, 继承原有的简化系统, 安全可靠, 操作方便, 减少损耗, 降低成本等所追求的设计理念, 因此广大设计人员容易理解和接受。

由于是利用现有设备进行组装成套, 制造容易, 没有生产制造的难度, 不存在试制试验问题。一般的开关设备成套厂家均能生产。推广容易, 成套供货安全方便, 质量有保障。

变配电系统的设计经历了分室布置阶段、共室布置阶段，发展到今天提出的一体化变电站设计阶段，这是变配电系统设计的最高理念，是发展的需要，也是时代的要求。由分室布置发展到共室布置大约经历了几十年的时间，相信在今后的发展过程中不需要几十年的时间就会走向变配电系统一体化设计阶段。它代表了今后的发展方向，应用前景广阔。同时，如果能率先在设计阶段实现变配电系统一体化设计，也能使建筑设计及施工走上一个新的台阶，走上一个新的发展阶段。

2 高压系统接线方式

本一体化变电站可适用于放射式、树干式及环网式供电系统。

2.1 放射式供电系统

放射式供电系统是指高压配电出线回路每路只供一台变压器。放射式供电系统适用于负荷比较集中的单体建筑，即集中设置变电所，适用于对供电要求较高的一二级负荷，其主要特点如下：

- ① 供电可靠性高，一台变压器供电回路故障不影响其他变压器供电回路。
- ② 在单体建筑内设置集中变电所，变压器、高压柜设置在一个大房间内，线路短，造价低，损失小。
- ③ 维护管理比较方便。
- ④ 单体建筑低压配电线路比较短，电压降容易满足要求。
- ⑤ 建筑规模较大的高层，超高层或是群体建筑，应设置分变电所以深入负荷中心减少线路损失。

1) 无隔离电器型接线方式

变压器高压侧无隔离电器的接线方式，主要用于总变电所内的变配电装置，变压器高压电源由高压配电柜直接引来，由于干式变压器与高压开关柜为同室安装，故无需在变压器的高压侧安装隔离电器，变压器的继电保护装置安装在高压开关柜内，如图 2-1。

2) 设隔离电器型接线方式

变压器高压侧设隔离电器的接线方式，主要用于分变电所内的变配电装置，变压器高压电源由高压配电柜直接引来，由于干式变压器与高压开关柜不在同一变电所内，故需在分变电所变压器的高压侧安装隔离电器，变压器的继电保护装置安装在高压开关柜内，如图 2-2。

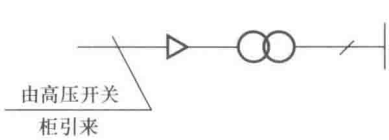


图 2-1 YF1 型无隔离电器型接线方式



图 2-2 YF2 型设隔离电器型接线方式

2.2 树干式供电系统

10kV 电缆树干式供电系统，其分支电缆是通过室外电缆分支接线箱实现的，电缆分支接线箱额定电压 12kV，额定电流 630A，用于户外 10kV 电缆线路的接续和分支接线，

接线箱保护等级 IP33，其主要特点如下：

- ① 系统简单，适用于分变电所或无法设置专线的电缆用户。
- ② 与环网系统比，线路短，造价低。
- ③ 可以组成双电源切换，以提高供电可靠性。
- ④ 设进线隔离开关及变压器保护装置。
- ⑤ 可设置高压计量装置，用于独立用户，由市政电网非专用回路供电。

1) 1 台变压器树干式接线方式

设置隔离电器及变压器保护，用于分变电所，变压器容量不大于 1250kVA，如图 2-3 所示。

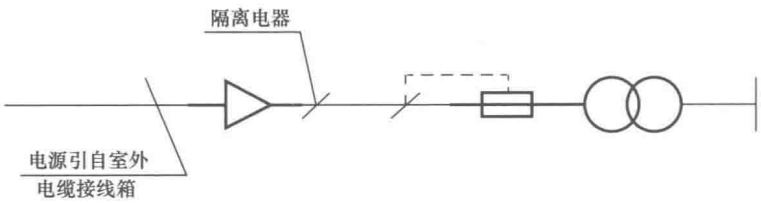


图 2-3 YG1 型 1 台变压器树干式接线方式

2) 2 台变压器树干式接线方式

设置两台变压器的总隔离电器及两台变压器的保护电器，适用于变压器容量不大于 1250kVA 分变电所，如图 2-4 所示。

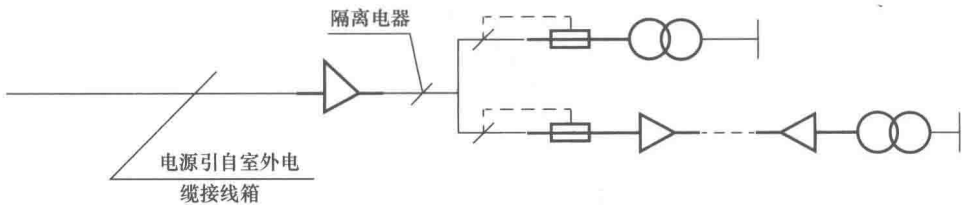


图 2-4 YG2 型 2 台变压器树干式接线方式

3) 1 台变压器树干式计量型接线方式

设置隔离电器，变压器保护及高压计量装置，可用于独立用户，由市政电源供电，适用于变压器容量不大于 1250kVA 的变电所，如图 2-5 所示。

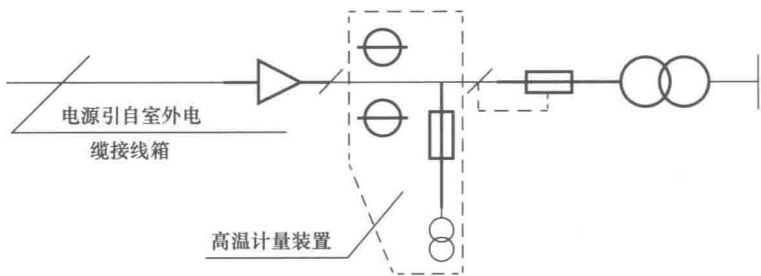


图 2-5 YG3 型 1 台变压器设计量型接线方式

4) 2 台变压器树干式计量型接线方式

设置两台变压器的总隔离电器、计量装置及变压器保护装置，适用于变压器容量不大于 1250kVA 的变电所，如图 2-6 所示。

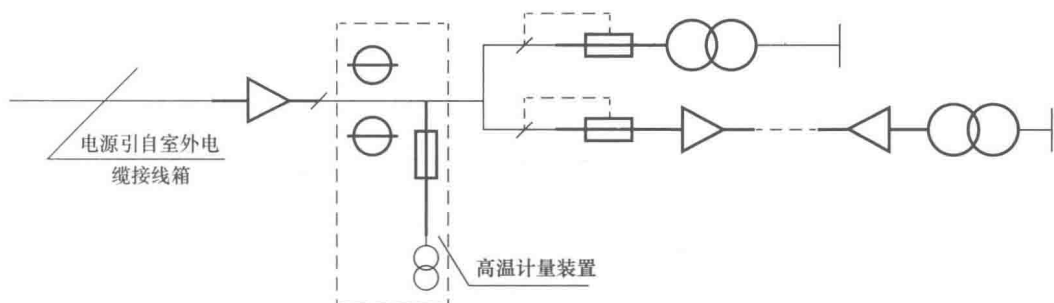


图 2-6 YG4 型 2 台变压器设计量型接线方式

2.3 环网式供电系统

环网式供电系统适合于负荷比较分散、等级不高（多为二、三级负荷）的负荷，其具有以下特点：

① 环网式供电系统是由环网式开关柜实现环网连接的，变电站可以是室外“箱变”，也可以是室内组合式一体化变电站。每一个环路供电容量不宜大于 8000~10000kVA（指市政环网系统），二路供电电源可以是引自同一变电站的两段母线，也可以是引自两个不同的变电站。

② 每台变压器均由两路电源供电，正常为开环运行。当任何一路电源故障而停电时，能实现电源的相互切换，以保证全环路系统变压器负荷的供电。变压器数量不大于 4~20 台为宜，环路长度不大于 1000m。

③ 能使变压器深入负荷中心，减少线路损耗，符合节能、环保的原则。

④ 系统接线简单、安全可靠、高低压线路短、电压损失小，供电质量好。

⑤ 变压器容量小（建议不超过 1250kVA），熔断器保护、简单可靠、造价低。

⑥ 能实现电动操作遥控、遥信、遥测等；智能化管理，无人值守变电站。

1) 1 台变压器环网式接线方式

环网型接线方式，即变压器的供电为非专线电缆供电，当变电站只有 1 台变压器时可采用电缆环进环出的方式，直接与变压器保护柜相接，如图 2-7。

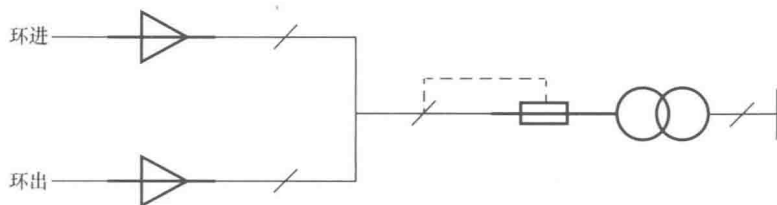


图 2-7 YH-1 型 1 台变压器环网型接线方式

2) 2 台变压器环网式接线方式

2 台变压器环网接线方式，由于是两台变压器，故应设一路出线至另一台变压器，如图 2-8。

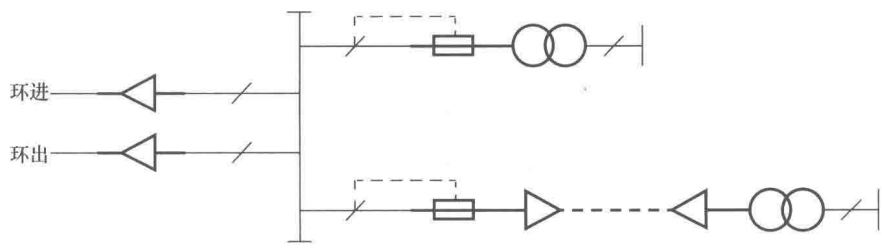


图 2-8 YH2 型 2 台变压器环网型接线方式

3) 高压计量 1 台变压器环网型接线方式

环网接线采用环进环出接线方式，并设置高压计量柜，变压器设置就地保护装置，如图 2-9。

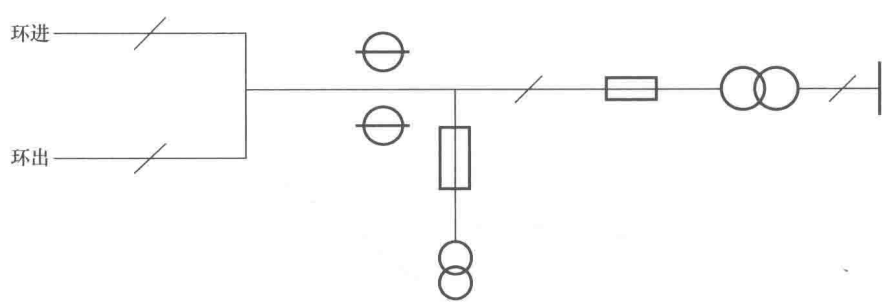


图 2-9 YH3 型 1 台变压器设计量环网型接线方式

4) 高压计量 2 台变压器环网型接线方式

电源采用环进环出的接线方式，接入高压计量柜，变压器设置就地保护装置，并设一路出线至另一台变压器，如图 2-10。

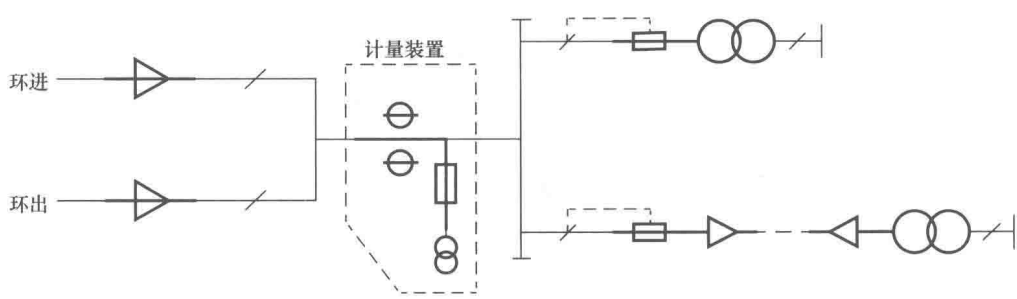


图 2-10 YH4 型 2 台变压器设计量环网型接线方式

2.4 接线方式代号、主要设备及应用场所

接线方式代号、主要设备及应用场所见表 2-1。