

基于智能台区系统智能型 低压配变综合配电箱的研制

余伙庆^{1,2} 吴锦虹^{2,3}

(1. 广东正诚电气科技有限公司 2. 广东省智能电网设备(正诚)工程技术研究中心

3. 汕头职业技术学院)

摘要: 为适应电网公司对智能电网设备的要求,满足对配网设备功能、通信、监控的需求。为此,基于目前成熟的技术应用,设计了供电及控制电路系统,包括由断路器和无功补偿控制终端组成的一次回路,用于向负载供电;供电回路包括断路器和无功补偿控制终端监测设备状态及测控电气保护;断路器可采用智能型断路器或增加低压监测仪表;控制电路系统还包括用于监控环境的温度集中器,以及用于视频监控和安防监控的网络高速球型摄像机。产品通过型式试验,可以实现对台架变内设备的状态监测、环境的实时监控、行为的安全管控、社会服务的高效支撑的智能化、可视化、自动化、互动化等功能,安全性更高,可靠性更好,智能化程度更高。

关键词: 智能型; 低压配变; 综合配电箱

0 引言

近年来,电网公司提出向智能电网运营商、能源产业价值链整合商、能源生态系统服务商转型的改革发展战略,有序推进配电网智能技术的应用,要求采集包含设备状态监测、电气保护测控、视频监控、环境监控和安防监控五大功能的配置^[1],推动高可靠性智能电网供电示范区建设,实现智能运维。

国家电网公司在“2009 特高压输电技术国际会议”上提出了名为“坚强智能电网”的发展规划,各企业加强了智能设备的研制。

文献[2]介绍了一种采用 PLC 通信方式,集中采集配变辖区内居民电能表数据,监测配变运行情况和总电量、无功补偿数据、交换数据,然后通过中压载波方式上传数据,但智能化仅限于电量参数,无其他非电量的设计;文献[3]、文献[4]介绍了综合配电箱的结构及注意事项,但无关于智能化的设计;文献[5]是基于三相不平衡治理的智能综合配电箱设计,对智能化介绍不多。文献[6]只综述了相关的设计,但仅考虑了箱内设备,未进行全面的设计。

另一方面,电网公司也在加快智能电网建设。

基金项目:汕头职业技术学院校级教师企业实践流动站项目(2024-rsc-006)。

中国南方电网有限责任公司发布的《0.4kV 标准化配电箱类技术规范书（2023 版 V1.0）》，采用专用协议的智能网关，主要采集进出线开关电流、电压、开关状态等^[7]；国家电网有限公司发布的《低压综合配电箱标准化设计方案（2022 版）》，也是采用类似的方案^[8]。文献[9]、文献[10]以建立管理平台为核心，管理辖区内智能台区。文献[11]、文献[12]则以业务为考量，以营销口为考虑对象进行智能台区综合配电箱的设计。

上述文献虽然介绍了综合配电箱的智能化设计，但是所采用的技术（PLC）较为特例，并不具有大规模推广的价值，或对智能化设计不足，因而目前的方案均存在一定问题。早在 2016 年，文献[13]就提出了“智能配电网通过使用传感两侧技术对数据的采集，通过通信网络进行传输，实现对配电网的全方位监控。”

本文将建立多技术应用的智能型低压配变综合配电箱，基于目前成熟的技术应用，提出综合通信集成功能，实现对台架变内设备的状态监测、环境的实时监控、行为的安全管控、社会服务的高效支撑的智能化、可视化、自动化、互动化等功能，安全性更高，可靠性更好，智能化程度更高。最后，针对相关参数进行分析，通过型式试验验证其准确性与有效性。

1 智能台区系统的基本结构

如图 1 所示，台区系统主要应用于配网中，主要由高压部分、变压器和低压部分组成。高压部分主要包括高压进线（1）、隔离开关（2）、跌落式熔断器（3）、高压避雷器（4）。变压器（5）主要完成将高压电转换为低压电，供给用户使用。低压部分主要包括智能型低压配变综合配电箱（6），内安装有进线、出线、计量、负荷控制装置、智能采用网关

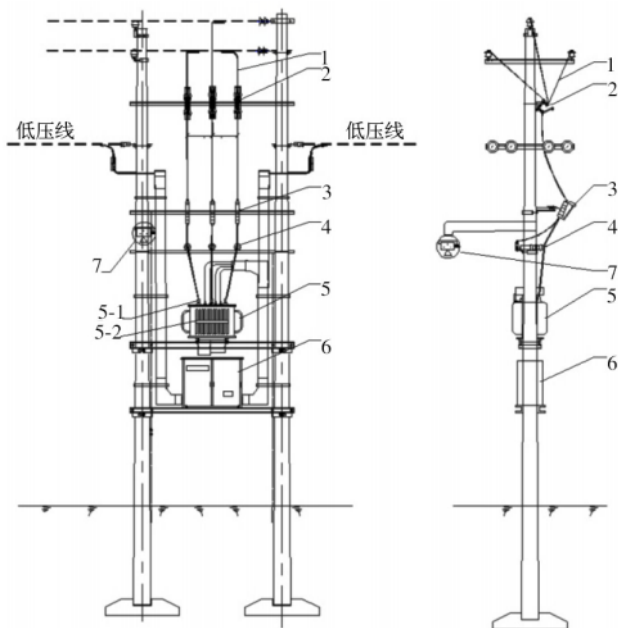


图 1 智能台区系统的结构

等。另外，为监视高压侧的部分数据，在变压器安装有触头温度传感器（5-1）、油变油温监测装置（5-2），加装视频摄像头（7）。

从以上结构可知，由于高压部分需要监测量并不多，主要集中在低压侧，且高压侧的数据也需要通过低压侧传输，因此，智能型低压配变综合配电箱的功能设计尤为重要。

2 智能型低压配变综合配电箱的研制

2.1 智能型低压配变综合配电箱的功能设计

如图 2 所示，高压经变压器转换为低压后进入智能型低压配变综合配电箱，智能型低压配变综合配电箱包括进线、出线、无功补偿等一次设备，并完成相关功能。另外，在主母线上，增加应急发电车接口，以满足在自然灾害或电力故障等紧急情况下，及时提供电力支持。

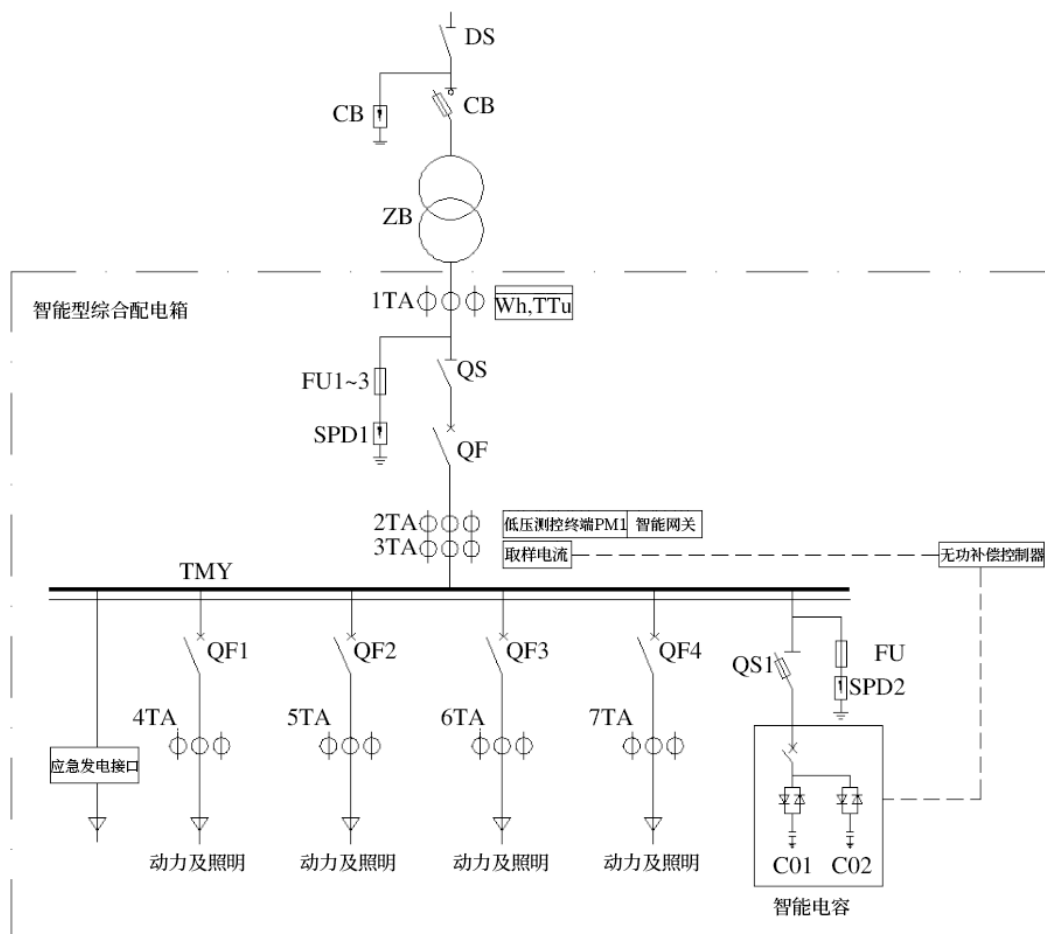


图 2 智能型综合配电箱的一次方案图

为满足设备智能化的需求，需要增加相应的智能设备对台区系统进行监测。

2.1.1 高压侧监测功能设计

采用辅助开关监测隔离开关的分合状态；采用辅助开关监测跌落式熔断器的分合状态和故障熔断状态；采用无线测温传感器监测变压器高压侧电缆接头温度信号；采用有线温度传感器监测变压器内部油温。统计如表 1 所示。

2.1.2 低压进线侧监测功能设计

表 1 高压侧监测功能

序号	设备	监测开关量		监测模拟量	
		名称	数量	名称	数量
1	隔离开关	分合状态	1	/	/
2	跌落式熔断器	分合状态	1	/	/
		故障状态	1	/	/
3	变压器	/	/	电缆接头温度	3
				油温	1

基于当前采用集中型馈线自动化系统较为普遍，低压进线侧需要监测的内容较多，将计量互感器放

在进线断路器之前；同时设置配电变压器监测终端（TTU），采集配电变压器低压侧电压、电流、频率等电气参数，对采集数据进行必要处理，通过通信信道将数据传输到配电主站，从而全面监测变压器运行情况^[14]，如表2所示。在断路器后，设置测量互感器至多功能仪表，测量综合电量，同时采集断路器的开关量和保护动作接点；设置采样互感器至无功补偿控制器，作为无功补偿的判据。

表2 低压进线侧监测功能

序号	设备或功能	监测开关量		监测模拟量	
		名称	数量	名称	数量
1	计量	/	/	计量	1
2	TTU	/	/	综合电量	1
3	进线断路器	分合状态	1	/	/
		故障状态	1	/	/
4	测量	/	/	综合电量	1
5	采样	/	/	无功补偿	1

2.1.3 低压出线侧监测功能设计

智能型低压配变综合配电箱一般情况下安装2~4回路出线，可选用普通断路器，增加多功能用户表监测出线综合电量，并采集断路器的开关量状态和保护动作接点。可监测三相电压、电流、零序电流、有功功率、无功功率、功率因数等，如表3所示。

表3 低压出线侧监测功能

序号	设备或功能	监测开关量		监测模拟量	
		名称	数量	名称	数量
1	出线断路器	分合状态	2~4	/	/
		故障状态	2~4	/	/
2	测量	/	/	综合电量	2~4

2.1.4 无功补偿监测功能设计

无功补偿可采用智能型电容器或普通电容+复合开关的型式，总体通过无功补偿控制器进行控制。无

功补偿控制终端，通过进线侧采样，可以监测进线有功功率、无功功率、功率因数等，同时可设置、查询电容器配置及可设置电容器的投切策略；监测复合开关的通断状态及报警状态等，如表4所示。

表4 无功补偿监测功能

序号	设备或功能	监测开关量		监测模拟量	
		名称	数量	名称	数量
1	复合开关	分合状态	/	/	/
		故障状态	/		
2	测量	/	/	无功相关量	1
3	查询	/	/	查询电容器配置	
4	设置	/	/	设置电容器配置及投切策略	

无功补偿的容量根据变压器的容量计算，根据电网公司的要求，一般补偿容量在变压器容量的30%~50%之间。无功补偿可分为共补和分补，实施的共补和分补的策略可以按电网公司的要求进行配置。

2.1.5 温度监测功能设计

设置温度集中器，可监测综合配电箱内的温度、湿度，监测变压器油温、油压、油位等，监测变压器高压侧A、B、C相触头的温度，如图3所示。其中综合配电箱内的温度、湿度各不少于2个点，通过有线连接；变压器高压侧A、B、C相触头的温度，由于触头存在高压，因此采用通过无线传输至温度集中器；油变油温监测装置由智能型低压配变综合配电箱供电，通过有线连接至温度集中器，监测变压器油温、油压、油位等。



图3 温度监测功能设计

2.1.6 视频监测功能设计

设置热成像双光谱网络球机，实现台架变范围内

情况、人员活动情况以及设备上指针表、信号灯和开关变位信号，实现对台区系统环境和设备状态的主动记录和预、告警。

2.1.7 智能网关功能设计

智能网关上设置有用向云平台传输的光纤通信和无线通信接口，智能型低压配变综合配电箱可通过智能网关与云平台构架 Modbus 通讯协议或专用电力协议通信。

智能网关通过通讯负责采集智能断路器仪表、无功补偿控制终端、TTU、温度集中器、网络高速球型摄像机的信号，同时可通过硬接点采集监测隔离开关的分合状态、监测跌落式熔断器的分合状态和故障熔断状态，对智能型低压配变综合配电箱内部采用 Modbus 通讯协议，对云平台上传物联网平台，如图 4 所示。

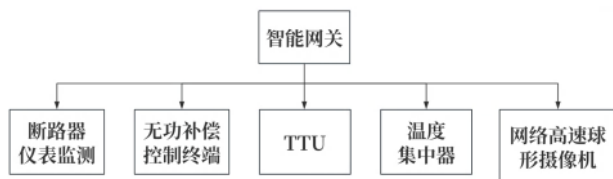


图 4 智能网关功能设计

2.1.8 总拓扑图

图 5 为智能型低压配变综合配电箱的总拓扑图，采用智能网关作为总的功能管理汇集。区别于文献 [1]、文献 [5] 的中压电力线载波 (Middle-Voltage Power Carrier, MV-PLC) 技术，当前主要采用基于 STM32 微控制器开发的智能网关。智能网关对本地采用 RS485 通讯采集进线监测、智能配电、无功补偿、计量及 TTU、温度集中器的数据，上传断路器分合、运行状态等开关量及综合电量等模拟量；预留开关量，直接接入高压侧的运行状态和变压器的报警等；预留 RJ45 接口，采集摄像机的信号。智能网关对远方管理平台，可通过 5G、4G、GPRS 和光纤通讯，与管理平台通信。

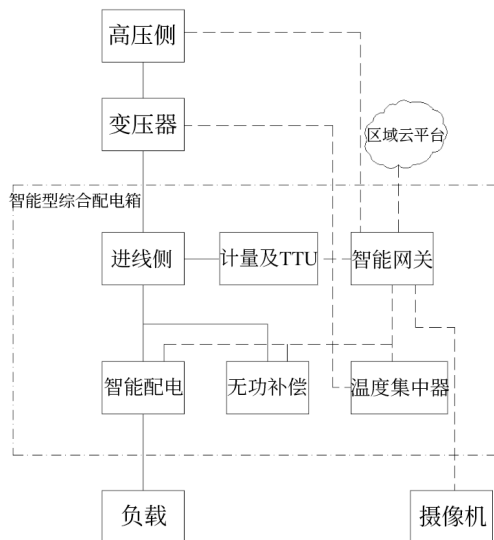


图 5 总拓扑图

2.2 智能型低压配变综合配电箱的元器件选型

2.2.1 关键元器件选型

合理的元器件的选型是保证智能型低压配变综合配电箱稳定安全运行的关键^[15]。智能型低压配变综合配电箱的元器件选型并不复杂，如图 2 所示，主要是进线隔离开关、进线断路器、出线断路器和无功补偿单元。总体可参考文献 [6] 的选型，综合了计算额定电流和元器件的规格，如表 5 所示。

表 5 智能型低压配变综合配电箱的元器件选型

序号	配变容量/kVA	额定电流/A			无功补偿装置典型配置
		进线隔离开关	进线断路器	出线断路器	
1	50	200	125	100	0
2	100	200	225	125、225	30kVAR
3	200	400	400	250、400	60kVAR
4	400	1000	800	250、400、630	120kVAR
5	500	1000	1000	250、400、630	150kVAR
6	630	1500	1250	250、400、630	180kVAR

2.2.2 热稳定校验

在实际工程中，热稳定校验和选定断路器的开断电流是一致的，即计算系统最大的短路电流，所选元器件的开断电流和热稳定大于计算短路电流可满足要求。

因产品并不在具体的一个系统内，一些如系统容量等计算短路电流的前置因数并不知道，因此适用简易计算短路电流的方法。采用文献 [16] 介绍的近似计算即可：

$$I_k^{(3)} \approx \frac{I_{2N}}{U_k \%} \quad (1)$$

式中， $I_k^{(3)}$ 为三相短路电流， I_{2N} 为变压器二次侧额定电流， $U_k\%$ 为变压器短路阻抗。一般 630kVA 及以下的变压器短路阻抗在 4% 左右，计算 630kVA 变压器的短路电流为：

$$I_k^{(3)} \approx \frac{I_{2N}}{U_k \%} = \frac{S_e / \sqrt{3} U_e}{U_k \%} = \frac{630 / \sqrt{3} \times 0.4}{0.04} = 22.73(\text{kA}) \quad (2)$$

即计算应用系统最大的短路为 22.73kA，进出线断路器的塑壳断路器的运行分断能力和极限分断能力选用 36kA 即可满足要求。塑壳断路器的热稳定一般等同于分断能力，即为 36kA/1s，可满足要求。

2.2.3 铜母线的选定

铜母线的选型可参考《中国南方电网 10kV 及以下业扩受电工程典型设计图集（2018 版）》^[17] 的要求，根据塑壳断路器的接线柱可连接的铜母线大小，做适当的缩小，满足额定电流与热稳定电流的要求。各种规格变压器计算额定电流与短路电流见表 6，选用的铜排规格配置见表 7。

表 6 变压器计算额定电流与短路电流

序号	配变容量 /kVA	额定电流 /A	最大短路电流 /kA	短路电流允许最小截面 (1s) /mm ²
1	50	72.17	1.80	10.55
2	100	144.34	3.61	20.98
3	200	288.68	7.22	41.72
4	400	577.37	14.43	82.96
5	500	721.71	18.04	103.10
6	630	909.35	22.73	129.17

根据塑壳断路器接线柱的大小，可适当对铜母线作同等截面替代，如 30×4 可用 20×6 替代。短路电流允许最小截面按 1s 计算。

表 7 铜排规格配置表 (TMY)

序号	配变容量 /kVA	主母排型号及规格	出线开关母排型号				
			100 A	160 A	250 A	400 A	630 A
1	50	20×3					
2	100	30×4					
3	200	40×4	15	15	20	30	40
4	400	60×6	×	×	×	×	×
5	500	80×6	4	4	6	6	8
6	630	80×8					

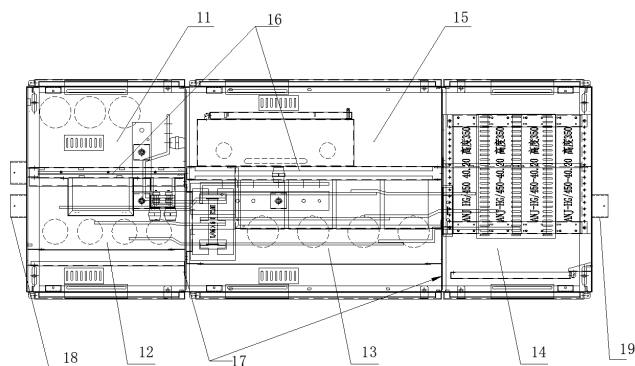
2.3 智能型综合配电箱的机箱设计

配电箱的机箱主要起到支撑、隔离和安全防护作用，同时应该形成集成化和标准化。在设计的过程中，应合理安排箱内元器件的位置，确保有足够的安全间隔和通风空间，确保其运行安全性；应满足使用环境的要求，具有合适的防护等级，满足防护和自然通风等要求；具有合理的布线通道，满足防雷、接地等要求；具有良好的人机界面，易于操作和检修等。

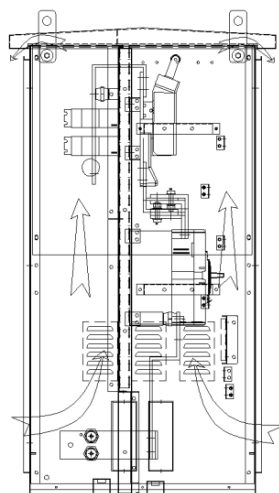
2.3.1 箱体结构

如图 6a 所示，系为智能型综合配电箱的结构示意图，与过往的“田”字形综合配电箱不同，使用纵隔板（16）和横隔板（17）把箱体共分为 5 个隔室。分别为进线电缆室（11）、进线断路器室（12）、出线断路器室（13）、电容器室（14）、二次室（15）。箱体外壳采用不小于 2mm 的不锈钢板折弯而成，内部隔板可采用 1.5~2mm 的冷轧钢板或敷铝锌板间隔，保证箱体的强度。

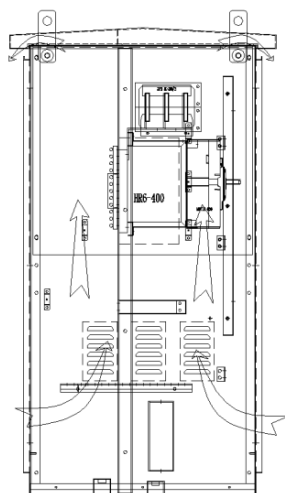
进线电缆室用于搭接进线电缆，电缆从电缆进线孔（18）进入电缆室，搭接于箱内铜排，并安装计量电流互感器；经过铜排，连接至进线断路器室的刀开关、进线断路器；经铜排连接至出线断路器室，出线断路器室安装出线断路器及测量电流互感器，顶部安装贯穿铜排，并连接至电容器室；电容器室主要安装无功补偿用电容器，底部和侧面开有通风孔，便于通风散热；二次室主要安装配变变压器监测终端（TTU）、进线监测仪表、出线监测仪表、无功补偿控制器、温度集中器、智能网关等二次设备。



(a) 俯视图



(b) 左视图



(c) 右视图

图 6 智能型综合配电箱的机箱设计

如图 6b、6c 所示，智能型综合配电箱的箱体顶部采用“人”字形结构的顶盖，防止雨水在顶盖积水；在顶盖内部留有 20mm 的夹层，夹层中填充石棉隔热，可满足在夏天运行时，由于日照引起箱内温度急升；同时在顶盖的长边开有向下的通风孔，通风孔呈不切断的百叶窗状，用于出风散热，同时起到一定的防雨效果。在生产过程中，根据需要，可加装排气扇，强制散热。

2.3.2 箱体内部布置

如图 7a 所示，系为智能型综合配电箱的正视图，(11) ~ (15) 为箱体间隔。

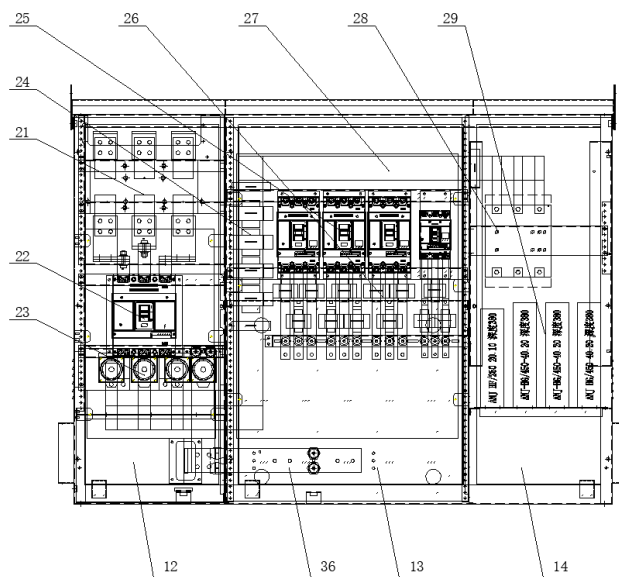
进线电缆室 (11) 安装有计量电流互感器 (31)，使用铜母线连接至进线断路器室 (12)，进线电缆搭接至进线电缆孔 (30)。

进线断路器室 (12) 主要安装进线隔离刀闸 (21) 和进线断路器 (22)，同时在进线断路器安装发电车快速接入装置 (23)，进线断路器出线与发电车快速接入装置出线并联连接至出线断路器室 (13)。

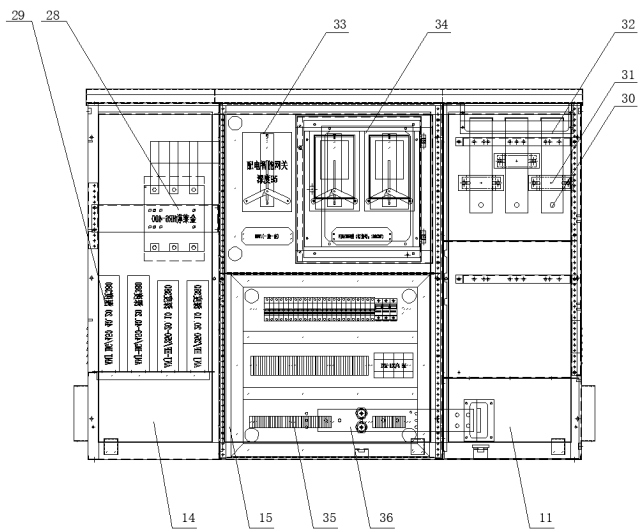
出线断路器室 (13) 主要安装进线测量互感器 (24)，顶部安装主母线 (27)，硬连接至出线断路器 (25)，下端安装出线电流互感器 (26)。

出线断路器室的顶部母线连接至电容器室 (14)，安装补偿用总刀熔刀闸 (28) 作保护用，连接至智能电容器 (29)，完成电容补偿功能。

二次室 (15) 是一个独立的二次室，与其他隔室没有一次强电的联系，只采用二次电源进入，起到很好的独立性。安装有智能网关 (33)，另设置独立隔室安装配电变压器监测终端 (34) 和计量表。安装二次电源开关和端子 (35)，可从容采集温度集中器、触头温度传感器、油变油温监测装置、视频摄像头等相关二次信号。



(a) 正视图



(b) 背视图

图 7 智能型综合配电箱的内部设计

3 结束语

台架变低压配变综合配电箱是配电网中的一个重大组成部分，在配电网中占有较大的比例。研制智能型低压配变综合配电箱对提高电网公司提高智能电网运营水平具有积极的意义。

本文介绍的智能型低压配变综合配电箱仅为应用中的一个常用方案，产品通过了型式试验，并在电网中有良好的运行经验。但随着技术的发展，提高智能型低压配变综合配电箱的智能化水平仍有较大的空间。

参考文献

[1] 中国南方电网有限责任公司. 第一册: 总论 (南方电网标准设计与典型造价 (V3.0 版) 智能配电部分) —— 台架变智能台区 [S].

[2] 王庆, 李韬滔, 刘英健, 等. 智能综合配电箱的设计和应用 [J]. 低压电器, 2012 (23): 32-36.

[3] 陈小敏. 浅谈低压综合配电箱的设计 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2020 (20): 129-131.

[4] 吴锦虹, 余伙庆. 户外配变低压综合配电箱的改进 [J]. 科技创新与应用, 2019 (4): 105-107.

[5] 纪小勇, 余伙庆. 混合型用电负荷三相不平衡调节技术的研发 [J]. 通信电源技术, 2021, 38(16): 6-11.

[6] 张杰, 张鑫, 杜然珑, 等. 智能综合配电箱的设计和应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 242-243.

[7] 中国南方电网有限责任公司. 0.4kV 标准化配电箱类技术规范书 (通用部分) (2023 版 V1.0) [S].

[8] 国家电网有限公司. 低压综合配电箱标准化设计方案 (2022 版) [S].

[9] 张俊玮, 蔡雨宏, 张秋雁, 等. 基于 4G 的农电台区设备智能监控系统设计与实现 [J]. 价值工程, 2019, 38(34): 136-137.

[10] 朱从亮. 基于 5G 电力物联网的低压智能台区管理平台 [D]. 杭州: 浙江大学, 2022.

[11] 王冬阳, 张彤, 李昭, 等. 基于电力物联网技术的低压智能台区应用方案 [J]. 价值工程, 2022, 41(14): 114-116.

[12] 徐基前, 杨黄河, 程鑫. 基于泛在电力物联网的低压台区全息感知技术 [J]. 物联网技术, 2020, 10(7): 10-11, 15.

[13] 卢嘉栋. 智能电网中电力设备及其技术发展 [J]. 机电工程技术, 2016, 45(12): 62-65.

[14] 孙艺博, 陈希泉. 配电变压器监测终端设计与研究 [J]. 农业科技与装备, 2016(9): 58-59, 62.

[15] 马晓娟, 梁忠生, 胡标, 等. 低压无功补偿柜的电磁兼容特性分析 [J]. 电工电气, 2022(1): 49-52.

[16] 林承就. 10/0.4kV 变压器低压侧短路电流的近似计算及应用 [J]. 福建工程学院学报, 2009, 7(3): 268-270.

[17] 中国南方电网有限责任公司. 中国南方电网 10kV 及以下业扩受电工程典型设计图集 (2018 版) [S].

(收稿日期: 2024-10-13)