

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.03.007

# 株洲茶陵城关 110 kV 变电站优化设计

杨 洋<sup>1</sup>, 李祥飞<sup>1</sup>, 王 星<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007;  
2. 衡阳雁能电力勘探设计咨询有限公司, 湖南 衡阳 421000)

**摘 要:** 按照资源型、环境友好型、工业化的智能变电站的要求, 针对湖南省株洲市茶陵城关 110 kV 变电站站址特点进行了变电站优化设计。该优化方案主要从总平面布置和设备选型优化方面进行了详细设计, 并且与常规设计方案进行了对比。通过计算, 变电站总用地为常规方案的 53.39%, 静态投资相对常规方案减少了 20.30%, 优化方案不仅完成了变电站紧凑化布置而且节省了投资费用, 实现了变电站优化。

**关键词:** 变电站优化; 变电站紧凑化布置; 设备选型优化

中图分类号: TM63

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)03-0037-06

## Optimized Design of 110 kV Substations in Chengguan District of Chaling County

YANG Yang<sup>1</sup>, LI Xiangfei<sup>1</sup>, WANG Xing<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. Yanneng Electric Power Exploration and Design Consultation Co., Ltd., Hengyang Hunan 421000, China)

**Abstract :** An optimized design, in accordance with the standards as required by resource-based, environment-friendly and industrialized intelligence substations, has been made of 110 kV substations in Chengguan District of Chaling County. This optimized method mainly involves an improved design of the overall layout and device selection optimization, followed by a comparison between characteristics of the improved design and the conventional one. By calculation, the gross floor area for the improved design accounts for only 53.39% of what the conventional design requires, and reduces the static investment by 20.30% correspondingly. The optimized method fulfills the compact layout as well as decreases the investment cost, thus ultimately achieving the goal of the substation optimization.

**Keywords :** substation optimization ; a compact layout for substations ; equipment selection optimization

## 0 引言

为了满足国内经济快速增长对电力的需求, 我国电力工业在不断地高速发展, 电网规模也在不断扩大, 同时也为电力工程设计人员提出了一些问题, 比如, 由于变电站深入负荷中心所造成的占地问题、环境兼容等问题<sup>[1-2]</sup>。作为我国输配线路组成的一部分, 110 kV 网架扮演着非常重要的角色, 随着 110 kV

等级网架的逐步完善, 110 kV 变电站规模急剧增加。提出合理利用土地面积且高质量的技术经济方案变得越来越重要, 所以对 110 kV 变电站的优化势在必行。本文在参照通用设计方案基础上, 结合株洲市茶陵县城关 110 kV 变电站的特点, 提出了变电站平面布置优化方案以及相应设备选型方案。通过与通用方案在设计用地面积以及其它技术指标的对比,

收稿日期: 2016-02-05

作者简介: 杨 洋 (1991-), 男, 湖南耒阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力网络自动化技术及应用,

E-mail: 553801884@qq.com

通信作者: 王 星 (1984-), 男, 湖南衡阳人, 湖南衡阳雁能电力勘探设计咨询有限公司助理工程师, 主要研究方向为变电站一次设计, E-mail: 270579896@qq.com

实现了该变电站优化。

### 1 变电站总平面布置优化

平面布置是变电站设计的重要内容，是变电站可靠性、节省造价的体现<sup>[3]</sup>。平面优化布置主要依照站址特点、出线情况及电气主接线等方面的要求，提出既能合理利用土地资源又符合技术经济指标的方案。

#### 1.1 站址基本信息与工程建设规模

茶陵城关 110 kV 变电站站址位于湖南省茶陵县南部下东乡孟溪村一组，在茶陵县城南侧约 3 km 处，地处茶陵经济开发园区中部。其所处地形为丘陵地形，由北至南地势逐渐增高，最大高差达 11 m 左右，站址土地为茶陵经济开发园区规划建设用地，现使用权归当地村组集体所有。站址以北 70 m 处有工业园区内主干道，现有一条村用道路由主干道经过站址，该道路为混凝土路面，路面宽度 4 m。变电站的建设规模如表 1 所示。

表1 建设规模一览表

Table 1 A list of construction scale

设备名称	本期规模	本期远期规模
110 kV 主变压器 /MVA	1 × 50	2 × 50
110 kV 出线回路数	2	4
35 kV 出线回路数	4	8
10 kV 出线回路数	10	20
10 kV 并联电容器组 /kvar	8 400	2 × 8 400

#### 1.2 常规与优化方案平面布置的对比

常规设计方案采用国家电网公司输变电工程设计《110（66）~220 kV 智能变电站施工图设计》中 110-A-1 方案<sup>[4]</sup>。变电站围墙内尺寸为 61.2 m × 62.9 m<sup>2</sup>，变电站 110 kV 向北向出线，35 kV 向东向出线，10 kV 由电缆经电缆沟向南向出线至站外，如图 1 所示。

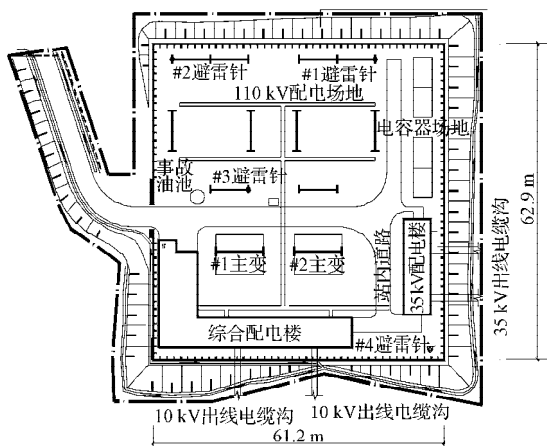


图1 常规设计的总平面图

Fig. 1 Conventional design before optimization

优化方案中 110 kV 配电装置采用户外 HGIS (half gas insulated switchgear) 设备单列布置进行优化，35、10 kV 配电装置采用预制舱，主变位于 110 kV 配电装置与 10 kV 预制舱之间，10 kV 电容补偿装置采用箱式电容器户外布置，布置于 35 kV 预制舱东侧。变电站围墙内尺寸为 79.0 m × 37.6 m=2 861 m<sup>2</sup>，优化后的布置图如图 2 所示。

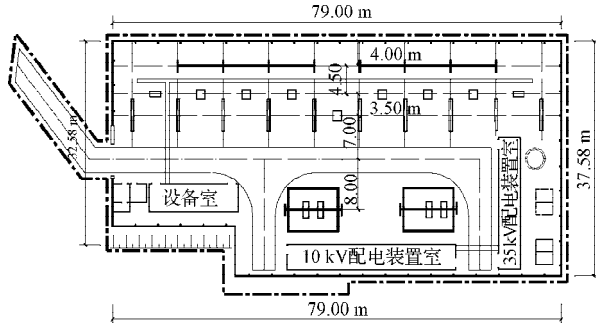
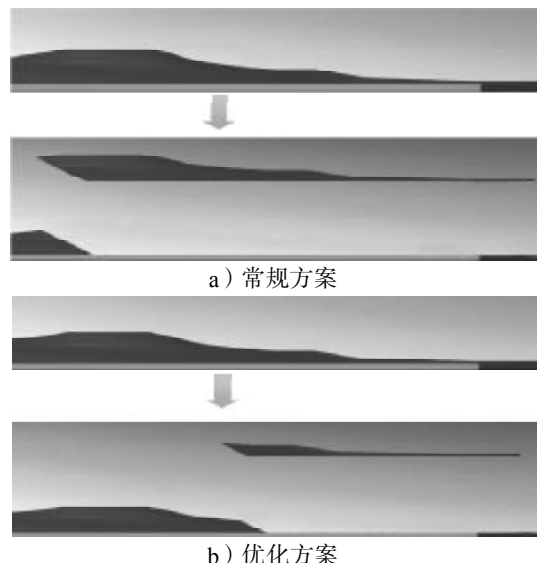


图2 优化后的总平面图

Fig. 2 A general layout after optimization

站址所在用地为非城区用地，本次优化设计建议不考虑采用全户内或半户内方案，而采用户外布置方案，站址地形为丘陵地形，由北至南地势逐渐增高，最大高差达 11 m 左右，东西向较宽敞平缓，有 94 m。

本次优化充分考虑地形实际情况，将站区设计为东西向长、南北向短的设计方案，避开站址南侧山包，减少土石方开挖工程量，如图 3 所示。因此，本站 110 kV 配电装置采用 HGIS 单列布置，极大地压缩了南北向尺寸，节约了占地面积。此外，站址西南角地形高差较大，为尽可能地减少土石方开挖及挡墙、护坡等工程量，本次优化在满足本工程需要的同时，压缩了西侧南北方向尺寸，站区西侧南北向尺寸为 29 m。



b) 优化方案

图3 土石方开挖工程量前后对比图

Fig. 3 A comparison graph of earthwork excavation volumes

常规方案总土石方工程量为 $6\ 806\ \text{m}^3$ , 档墙体积为 $80\ \text{m}^3$ , 建筑面积为 $450\ \text{m}^2$ 。

在优化方案中, 变电站总用地为 $3\ 292\ \text{m}^2$ ; 围墙内占地面积为 $2\ 861\ \text{m}^2$ ; 进站道路长 $24\ \text{m}$ , 总土石方工程量为 $2\ 137\ \text{m}^3$ , 档墙体积为 $0\ \text{m}^3$ ; 建筑面积为 $22.6\ \text{m}^2$ 。

由以上数据可以看出, 采用 $110\ \text{kV}$ 户外HGIS设备单列布置, 极大地压缩了站内南北向尺寸, 避免了南侧山包, 大大减少了站区档墙及护坡工程量, 从而减少了变电站总占地面积, 减少了土石方开挖工程量;  $35, 10\ \text{kV}$ 设备采用预制舱, 极大减少了现场湿作业, 提高了机械化施工范围, 减少现场劳动力投入, 缩短建设施工周期, 降低现场安全风险, 提

高了工程建设质量、工艺水平。表2为变电站总平面布置的主要技术指标。由表2可知, 优化方案较常规设计方案节省了225万元的投资。优化方案的电气总平面布置图如图4所示。

表2 变电站总平面布置主要技术指标

Table 2 Major technical indicators for a general layout of substations

技术指标	常规方案	优化方案	占常规百分比/%	节省投资/万元
总用地面积	$6\ 616\ \text{m}^2$	$3\ 292\ \text{m}^2$	53.39	110
围墙内占地面积	$3\ 850\ \text{m}^2$	$2\ 861\ \text{m}^2$	74.31	
进站道路长度	$46\ \text{m}$	$24\ \text{m}$	52.17	2
总土石方工程量	$6\ 808\ \text{m}^3$	$2\ 137\ \text{m}^3$	31.40	8
档墙体积	$80\ \text{m}^3$	$0\ \text{m}^3$	0	4
建筑面积	$450\ \text{m}^2$	$22.6\ \text{m}^2$	5.00	101

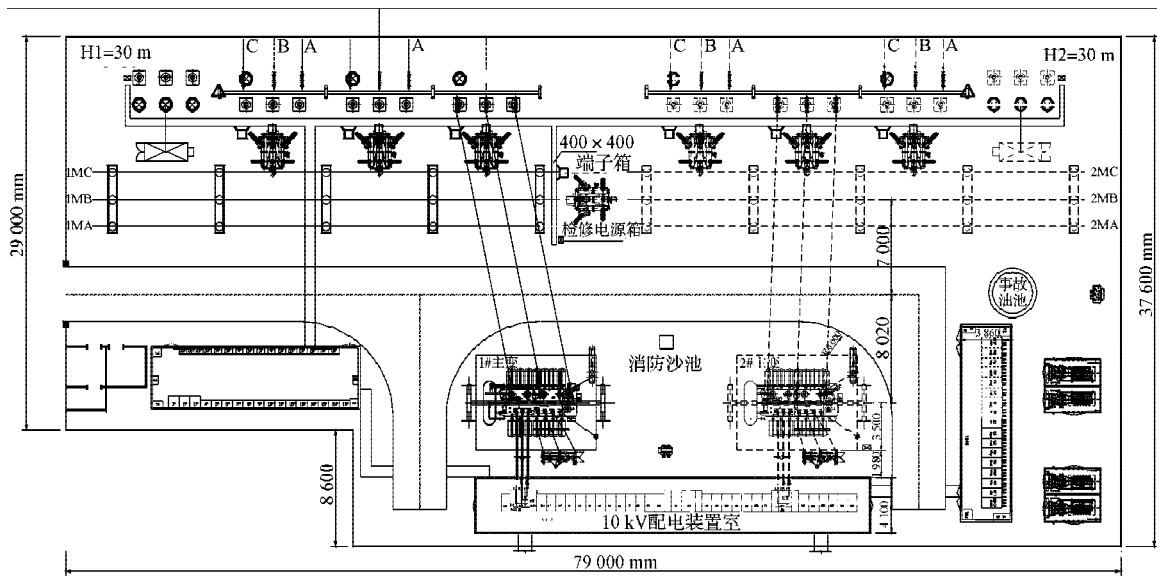


图4 优化后的电气总平面布置图

Fig. 4 An optimized general electrical layout plan

## 2 设备选型优化

新一代的智能变电站的设计原则是“系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体”<sup>[5]</sup>。在电气平面布置中, 设备尺寸是影响变电站占地面积的决定性因素之一, 所以设备选型优化显得尤为重要。

### 2.1 110 kV 设备优化

设计者常常根据地理位置以及人口稠密情况进行分析, 选取最佳的 $110\ \text{kV}$ 变电站 $110\ \text{kV}$ 等级设备。常规设计模块划分合理, 接口灵活方便, 组合方案多样, 体现了“以人为本”的设计理念, 减少占地、注重环保<sup>[6]</sup>。由于 $110\ \text{kV}$ 敞开式电气设备生产水平较为成熟, 且工程上对GIS (gas insulation switch) 设备有着严格控制要求, 所以常规设计方案中,  $110\ \text{kV}$ 设

备采用常规AIS (air insulated substation) 设备户外布置,  $110\ \text{kV}$ 配电装置区尺寸为 $61.2\ \text{m} \times 32.4\ \text{m}$ 。虽然户外常规设备具有价格低廉、制造技术成熟等优点, 但是其占地面积太大, 且户外操作繁复, 维护工作量大, 由于其主要组部件均裸露于自然环境中, 设备锈蚀快, 导致设备全寿命周期成本高。

在优化方案中,  $110\ \text{kV}$ 配电设备选用户外半封闭紧凑型组合电器 (HGIS) 设备,  $110\ \text{kV}$ 配电装置区尺寸为 $17\ \text{m} \times 79\ \text{m}$ , 为常规方案面积的67.7%。HGIS是将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器等装置组合封闭在接地且充满一定要求压力的 $\text{SF}_6$  (六氟化硫) 气体的金属壳体中。其主要适用于三相交流 $50\ \text{Hz}$ , 额定电压为 $72.5\sim 126\ \text{kV}$ 电力系统中, 具有开断及关合线路负载电流与短路电流, 进行电力线

路的联络、切换、控制、测量、系统调节以及线路和设备检修时的安全隔离功能<sup>[7]</sup>。图5为半封闭紧凑型组合电器示意图。

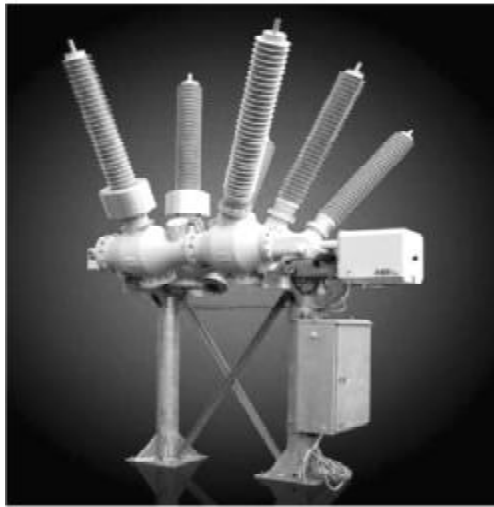


图5 半封闭紧凑型组合电器

Fig. 5 Half gas insulated switchgear

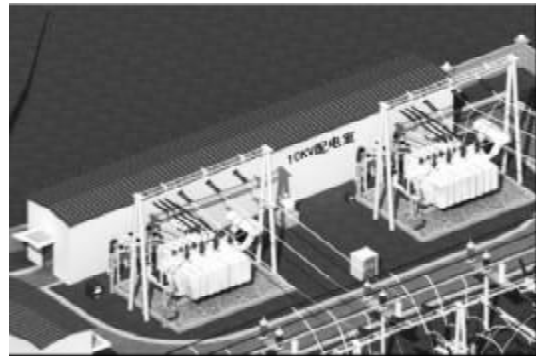
HGIS既具有气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)结构紧凑、占地面积小、可靠性高、运行维护工作量小的优点,又具有空气绝缘开关设备(AIS)价格低、检修方便灵活的优点。HGIS与GIS的主要区别在于:GIS把整个变电站的一次设备集成在充满SF<sub>6</sub>气体的金属壳体中,因此集成度过高,只要设备中一个元件出现问题就会容易造成其他设备的联动性影响,使得变电站无法正常运行。如果变电站又处在主干网上,则很容易造成大面积停电甚至失步,严重影响人们的生产和生活。GIS设备虽然提高了一体化但也增加了维修的难度,即维修问题器件的同时还要尽可能地避免失误造成其他器件的损坏。而HGIS把电流互感器、电压互感器、断路器、接地开关以及隔离开关根据设计需求放在不同的充满SF<sub>6</sub>密封舱中组成一个模块,每一个模块独立于其中模块,有较高的可靠性和灵活性<sup>[8]</sup>。如果设备出现问题,只要在HGIS中找到问题设备所在的模块进行更换即可,这样既快速地处理了问题设备同时又不会影响其他设备的正常运行,维修时间也将大大地减小。

HGIS的工程造价比敞开式设备价格多出两百多万元,所以在设计中到底采取什么样的装置方案,必须结合技术,比较采取方案的经济指标,使其既要节省投资又要缩小占地面积。从之前的总平面布置的经济指标对比,采用HGIS是最佳方案<sup>[9]</sup>。

## 2.2 10, 35kV设备优化

在常规设计中,10, 35 kV设备采用户内SF<sub>6</sub>充气式固定开关柜户内布置。文献[10]的优化方案也是使

用智能环境友好型金属封闭式开关柜,其特点是占地面积小、产品经济运行、成本低。根据实地计算,在10 kV设备采用户内金属铠装中置式开关柜户内布置,它们的占地面积分别为15.8 m × 5.7 m、32.4 m × 6.0 m。而优化方案中,35, 10 kV设备采用预制舱式组合设备,它们的占地面积分别为14.58 m × 3.86 m、29.27 m × 4.10 m,与常规方案比较,分别为常规方案的62.5%, 61.7%。预制舱的布置如图6所示。



a) 10 kV 配电室



b) 35 kV 配电室

图6 预制舱式配电室布置

Fig. 6 A layout of prefabricated-cabin-style power distribution rooms

35, 10 kV预制舱式的结构紧凑、占地面积小、强度高、运输安装方便。一般的箱体是由钢板做支架铺以FC(fiber cement)板等构成即金属性舱体,但是该箱体外墙材料采用金邦板,它是以水泥、粉煤灰、硅粉等非金属为主要原料,加入复合抗碱纤维,经真空高压喷模具成型组装一体化,整个箱体的基本承重框架用高强度型钢(工字钢)组成的骨架构成相对于金属性预制舱室其具有更强的抗热抗风性使用寿命更长<sup>[11]</sup>。预制舱式配电室采用现场干式施工,没有污染,钢材可完全回收再利用,预制舱舱材也可回收再利用<sup>[12]</sup>。

预制舱是国家电网在新一代智能电网建设过程中取得的重大成果,它的使用带动了组合二次设备的一次创新与革命。预制舱式组合设备不仅具有仓

储、运输上的便利优势,大大缩短了变电站土建和电气安装的建设工期,又能保证变电站的工程质量的优优势。

### 2.3 10 kV电容器优化

在常规方案中,10 kV电容器采用户外框架装式电容器,传统户外框架式电容器占地面积大,特别是电抗器采用品型安装后,占地面积进一步扩大,同时户外框架式电容器长期裸露于空气中,不利于防尘、防腐、防潮,缩短了设备使用寿命。

在优化方案中,10 kV电容器采用了箱式电容器。如图7所示。

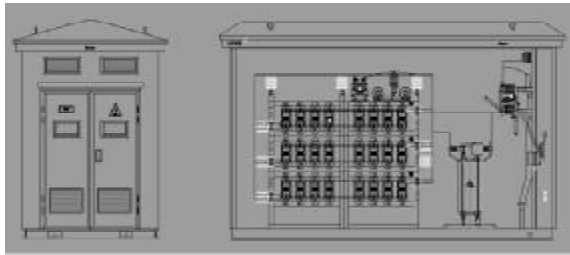


图7 箱式电容器

Fig. 7 A tank capacitor

箱式电容器是在集合式电容器的基础上产生的一种电容器,其结构与集合式主要的不同是内部的单元电容器没有外壳,单元电容直接浸入绝缘油中,排除了单元电容器击穿电容器外壳的可能性,提高了使用的可靠性<sup>[13]</sup>。此类电容器用油量也较少,相对于别的同级集合式电容器重量减轻30%左右,在比特性、制造成本、消耗金属材料、冷却介质以及重量等技术经济指标上均优于集合式电容器。

箱式电容器心子由若干个元件串并联组成,元件在产品中立放布置,每个元件均带有内熔丝,采用新型内熔丝技术,其特点是将内熔丝放在元件之间,熔丝与熔丝完全隔离,一根熔丝的熔断是在绝热状态下进行的,不会影响到相邻完好的熔丝,既可以防止群爆或误动作现象,又防止了熔丝动作对绝缘油的污染。该产品占地面积少,免维护,防尘、防腐、防潮、防火性能好,设备使用寿命长。

## 3 结论

综上所述,课题组通过对变电站总平面布置进行了优化研究,合理选择设备,并结合现有站址实际地形条件,形成了最终的优化设计平面布置方案。

优化后,变电站采用户外HGIS设备单列布置,110 kV母线采用支撑式硬管母,压缩南北向尺寸,站内道路采用L型布置方案,缩短站内道路面积;10 kV电容器采用箱式电容器,减少占地面积,提高设备

防尘、防腐、防潮、防火性能,延长设备使用寿命。10,35 kV配电装置及主控室采用预制舱组合设备,减少占地面积,减少现场湿作业,减少现场劳动力投入,设备费用相比常规设计减少了8万元,缩短建设施工周期,降低现场安全风险,提高机械化施工范围,提高工程建设质量,工艺水平。主要技术经济指标如表3所示。

表3 技术经济指标对比

Table 3 A comparison between technical and economic indicators

工程或费用名称	常规估算	优化估算	增减
建筑工程费	318	131	-187
安装工程费	249	229	-20
设备购置费	1 215	1 175	-40
其他费用	548	320	-228
工程静态投资	2 329	1 856	-473

整个站区布置紧凑,形状为矩形,长为79.0 m,宽为37.6 m,变电站总用地3 292 m<sup>2</sup>为常规方案的53.39%;围墙内占地面积2 861 m<sup>2</sup>为优化方案的74.31%;进站道路24 m,为常规方案的52.17%;总土石方工程量2 137 m<sup>3</sup>,为常规方案的31.40%;档墙体积0 m<sup>3</sup>;建筑面积22.6 m<sup>2</sup>,为常规方案的5.00%;施工周期为3个月,较一般变电站建设周期缩短了三分之二。从表3可以看出优化后的静态投资比常规设计节省了473万元,减少了20.30%。该优化设计满足了资源型、环境友好型、工业化的要求,即减少了用地面积又降低了投资费用,为其他类似的工程提供了很好的借鉴。

### 参考文献:

- [1] 刘振亚. 智能电网知识读本[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 12.  
LIU Zhenya. Smart Grid Knowledge[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010: 12.
- [2] 宋继成. 220~500 kV变电站电气接线设计[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2014: 1-3.  
SONG Jicheng. 220~500 kV Substation Electrical Wiring Design[M]. 2nd ed. Beijing: China Electric Power Press, 2014: 1-3.
- [3] 吴罡, 李琳, 李翔. 110 kV智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(2): 31-35.  
WU Gang, LI Lin, LI Xiang. Primary Exploration on the Design of 110 kV Smart Substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2011, 30(2): 31-35.
- [4] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计: 110(66)~220 kV智能变电站施工图设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013: 52-58.

- LIU Zhenya. National Electric Net Ltd. General Design of Power Transmission Project: 110(66)~220 kV Smart Substation Construction Design[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013: 52-58.
- [5] 彭 鹤, 田娟娟, 陈 燕, 等. 重庆大石 220 kV 新一代智能变电站优化设计[J]. 电力建设, 2013, 34(7): 30-36.  
PENG Hu, TIAN Juanjuan, CHEN Yan, et al. Optimization Design of Chongqing Dashi 220 kV New Generation Smart Substation[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(7): 30-36.
- [6] 郭日彩, 许子智, 许鑫乾. 220 kV 和 110 kV 变电站设计研究与应用[J]. 电网技术, 2007, 31(6): 25-30.  
GUO Ricai, XU Zizhi, XU Xinqian. Research and Application of Typical Design for 220 kV and 110 kV Substations[J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 25-30.
- [7] 中国电力企业联合会. 3~110 kV 高压配电装置设计规划: GB 50060—2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009: 21-22.  
China Electricity Council. 3~110 kV High-Voltage Power Distribution System: GB 50060—2008[S]. Beijing: China Planning Press, 2009: 21-22.
- [8] 包红旗, 刘 静. HGIS 组合电器技术的应用[J]. 吉林电力, 2005(6): 10-12.  
BAO Hongqi, LIU Jing. Application of HGIS Combined Electrical Apparatus[J]. Jilin Electric Power, 2005(6): 10-12.
- [9] 焦国锋. 110 kV 配电装置采用 AIS 与 HGIS 布置方案对比分析[J]. 高科技与产业化, 2010(1): 88-90.  
JIAO Guofeng. Comparison of AIS and HGIS Layout Plan for 110 kV Distribution Device[J]. High-Technology and Industrialization, 2010(1): 88-90.
- [10] 史京楠, 胡君慧, 黄宝莹, 等. 新一代智能电网变电站平面布置优化设计[J]. 电力建设, 2014, 35(4): 31-37.  
SHI Jingnan, HU Junhui, HUANG Baoying, et al. Layout Optimization Design of New Generation Smart Substation [J]. Electric Power Construction, 2014, 35(4): 31-37.
- [11] 陈 勇, 叶 桦, 蒋菊香, 等. 110 kV 预装式紧凑型变电站在云南电网应用的探讨[J]. 中国电业(技术版), 2014(1): 67-69.  
CHEN Yong, YE Hua, JIANG Juxiang, et al. Discussion of 110 kV Prefabricated Compact Substation Applications in Yunnan Power Grid[J]. Chinese Electrical Industry (Technology Edition), 2014(1): 67-69.
- [12] 郭晓芳. 110 kV 装配式变电站方案设计与优化[J]. 农村电气化, 2014(9): 15-16.  
GUO Xiaofang. The Scheme Design and Optimization of 110 kV Assembly Substation[J]. Rural Electrification, 2014 (9): 15-16.
- [13] 李晶明. 浅谈集合式电容器的应用[J]. 电力电容器, 2002 (2): 33-37.  
LI Jingming. Brief Discussion on Application of the Assembling Capacitor[J]. Power Capacitors, 2002(2): 33-37.

(责任编辑: 申 剑)

