变压器“同向分层立体化”进线布置优化

针对目前变电站中变压器进线布置的优化问题，以镇江姚桥220 kV变电站典型设计方案为依托，利用站区平面布置优化，对不同主变压器进线方案的设备特点、空间布置和技术经济等方面进行了研究，提出变压器“同向分层立体化”进线布置方案。考虑不同电压等级主变压器间隔设备特点，以全寿命周期成本最低为目标，通过技术经济分析确定了主变压器三侧最优进线方案。通过平面向立面转换，运用GIS设备导管随意引接的灵活优势，将220 kV主变压器GIS设备套管布置在生产综合楼二层楼顶，与110 kV GIS主变压器间隔套管、10 kV主变压器开关柜错层布置，给出不同电压等级配电装置混合布置在同一建筑时主变压器进线的实用布置方案。研究结果表明，该进线布置优化方案较典型设计方案缩减主变压器场区占地面积69.4%，节省综合投资183.37万元，既能保证变电站安全性，又能提高建设经济性和运维可行性，对变电站设计具有一定的借鉴意义。

张 理[1] 俞 斌[3] 吴晓鸣[1] 李孝尊[2] 袁亚东[2]/1.国网安徽省电力公司经济技术研究院 2.安徽华电工程咨询设计有限公司 3.国网安徽省电力公司电力科学研究院

张 理/助理工程师

关键词/Keywords
变压器·
GIS设备·
进线布置·
全寿命周期·

0 引言

智能电网是电网未来发展的新趋势[1-2]。智能变电站作为智能电网发展的基础，其建设需求对变电站的平面布置提出了新的技术要求[3]。电气主接线方案的合理优化、小型化新设备的发展应用以及二次系统的全面整合等均为变电站总平面布置优化提供了有利条件。

国家电网公司智能变电站通用设计是目前国内智能变电站设计和建设的重要指导原则[4]。半户内220 kV变电站布置方案均采用主变压器户外、两栋生产综合楼平行布置的方式。主变压器布置在两栋生产综合楼之间，其两侧均有进出线，站区线路错综复杂，主变压器场区占地面积大。当220 kV侧采用双母线接线时，站区占地面积均在5 000 m^{2}以上。各电压等级配电装置布置分散，土地资源不能得到充分利用，不能完全满足智能变电站“两型三新一化”的技术要求。

以江苏镇江姚桥220 kV变电站典型设计方案为依托，基于全站平面布置优化，将主变压器各侧进线集中于配电装置侧错层布置，根据各电压等级主变压器间隔设备特点和布置型式，提出“同向分层立体化”主变压器进线布置方案，并通过与可研方案对比，表明优化方案的经济性。

1 工程概况

1.1 建设规模

姚桥220 kV变电站按无人值班枢纽智能变电站设计[5-8]。220 kV本终期均采用双母线接线，采用户内GIS配电装置；110 kV本期采用单母线接线，终期采用单母线三分段接线，采用户内GIS配电装置；10 kV本期采用单母线分段接线，终期采用单母线四分段环形+单元制接线，采用户内金属铠装中置式开关柜；主变压器采用高阻抗三相自耦有载调压变压器。

表1 姚桥220 kV变电站建设规模

序号	项目名称	本期	远景
1	主变压器	1×180 MV·A	3×240 MV·A
2	220 kV出线	3回	8回
3	110 kV出线	4回	12回
4	10 kV出线	12回	36回
5	并联电容器	2×6 Mvar	2×(4×6)+3×8 Mvar

1.2 可研方案平面布置

可研方案采用国家电网公司通用设计220－A3－4方案，如图1所示。

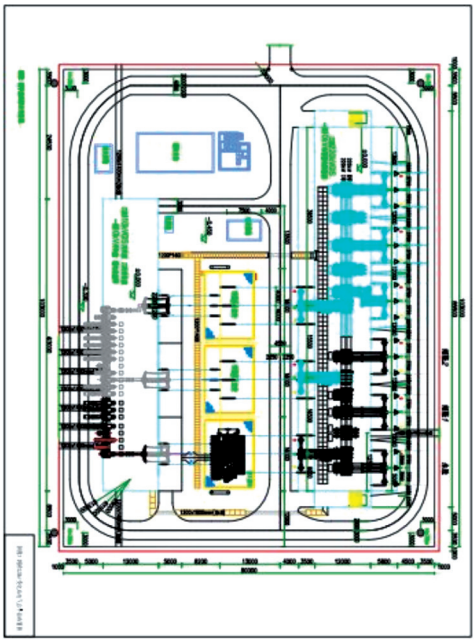

图1 姚桥220 kV变电站站区平面布置图（可研方案）

全站设置两栋生产综合楼，平行布置。站区东侧建筑一层为10 kV电容器室，二层为220 kV GIS配电装置；站区西侧建筑一层为10 kV开关室和蓄电池室，二层为110 kV GIS配电装置和二次设备室。主变压器位于站区中央，220 kV侧和110 kV侧均采用架空进线，10 kV侧采用全绝缘铜管母线。站区总占地面积为8 240 m^2，主变压器场区占地面积为2 325.3 m^2。

2 “同向分层立体化”主变压器进线布置优化

2.1 全站平面布置优化

小型化GIS设备的发展为配电装置的功能分区和平面布置的紧凑优化提供了硬件基础[9]。本文根据站址出线规划和站外走廊条件，对全站平面布置方案以“生产车间”理念进行优化，调整为一栋两层生产综合楼。

10 kV配电装置、接地变压器和电容器组布置于一层；220 kV GIS、110 kV GIS配电装置及二次设备室布置于二层。220 kV通过优化出线布置，8回出线实现全部架空；110 kV、10 kV经电缆隧道全电缆出线。三台主变压器紧邻生产综合楼户外布置，相互之间设防火墙，如图2所示。优化后，站区总面积仅为3 332 m^2，较可研方案减少60%。

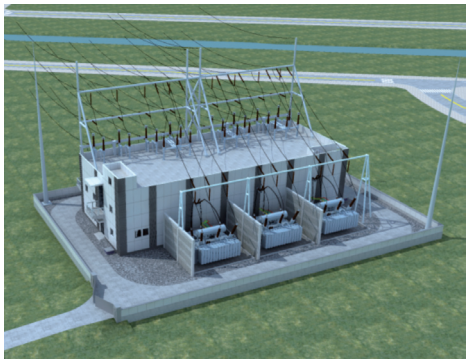

图2 姚桥220 kV变电站站区平面布置效果图（优化方案）

2.2 “同向分层立体化”进线布置优化的提出

“同向分层立体化”主变压器进线布置的构想，源于全站平面布置中各配电装置的高度集约和紧凑布局。三台“一体式”布置主变压器呈“一字形”紧邻生产综合楼敞开排列，主变压器各侧进线集中于配电装置侧错层布置，为实现主变压器进线布置从平面向立面的转换提供了基础。本文结合不同电压等级配电装置的设备特点和空间布置，通过技术经济比较，给出最科学、合理的优化方案。

2.3 主变压器各侧进线布置技术方案研究

110 kV GIS设备布置于站区生产综合楼二层西侧，与主变压器近距离布置。若采用高压电缆或SF_6油气套管（GIL）进线型式，不仅造价高，而且施工检修难度较大。因此，本文采用钢芯铝绞线与主变压器110 kV套管直连，仅对主变压器220 kV、10 kV侧进线方案进行比选。

（1）220 kV侧进线方案研究

1）架空进线。根据平面布置优化方案，220 kV GIS主变压器间隔取消进线专用GIS套管平台，GIS主变压器套管与220 kV出线套管均布置在生产综合楼二层楼顶。利用220 kV配电装置出线侧联合构架到主变压器场区构架直接挂线的方式，实现

主变压器高压套管与二层楼顶220 kV GIS主变压器间隔套管的架空跨越连接。

根据计算，采用LGJ－630导线可满足远景240 MV·A输电容量要求。保证220 kV主变压器架空进线与二层楼顶满足安全距离C值[10-11]。架空进线方案运行经验丰富，可降低工程投资，减少设计、制造、运维和施工难度，缩短建设工期。

2）电缆进线。由于220 kV GIS配电装置布置于生产综合楼二层，若主变压器220 kV侧采用电缆进线，需要增设电缆半层来实现高压电缆进线。增设电缆半层，虽有利于将110 kV以及10 kV全电缆出线统筹考虑，电缆走线和安装操作空间大，但存在增加土建投资、提高防水和消防难度以及延长施工工期等问题。同时220 kV高压电缆以及电缆头造价较高，因此主变压器220 kV侧采取电缆进线方式是不经济的。

3）SF_6油气套管进线（GIL）。采用GIL，主变压器场区构架可取消[12-13]。220 kV GIS设备布置于站区生产综合楼二层东侧，GIS主变压器间隔套管与主变压器相距较远。由于本站220 kV GIS配电装置与110 kV GIS配电装置采用“面对面”方式共室布置，当主变压器110 kV侧进线采用架空方式时，为保证长距离主变压器220 kV侧SF_6油气套管与110 kV侧架空裸导线之间的安全距离，一种解决方法是增加二层房间高度。这对于二层1 000 m^2的地面建筑面积来说，房间高度增加带来的土建投资和工程量将明显增加。另一种解决方法则是将220 kV GIS主变压器间隔套管穿墙布置于二层楼顶上。而SF_6油气套管综合造价高，无论哪种方案，SF_6油气套管均有约25 m的长距离连接，这与架空进线增加构架所增加的投资和工程量相比将不具有经济优势。加之SF_6油气套管与220 kV GIS设备均处于GIS筒体内部并充入SF_6气体，检修难度远远大于架空进线型式。

根据本站平面布置优化方案，220 kV GIS主变压器间隔套管与主变压器之间不需考虑户外变电站中跨越环形道路时的运输安全距离，SF_6油气套管的“0电位”优势不再明显[14]。相反，若采用SF_6油气套管，不仅价格较高，而且在长距离连接时技术上难以保证其基础支撑的安全。因此本文不采用SF_6油气套管连接。

表2为架空、电缆和GIL技术经济比较。

表2　架空、电缆和GIL三种方案技术经济对比

差异项目	架空进线	电缆进线	GIL
构架	✓	–	–
设备造价	低	高	高
电缆半层	–	✓	–
检修难度	低	高	高

（2）10 kV侧进线方案研究

本站远景10 kV最大负荷为90 000 kV·A，主变压器10 kV侧回路持续最大工作电流为[15]

$$I_g = 1.05\frac{90\,000}{\sqrt{3}\times 10}\ \text{A} \approx 5\,456\ \text{A} \qquad (1)$$

主变压器10 kV侧进线额定电流按不小于6 000 A考虑，可采用高压电缆、矩形铜排母线桥以及全绝缘铜管母线等进线布置方案。

1）电缆进线。由式（1），计及电缆通流损失，每相至少需要通过8根型号为YJV32－8.7/10－1×400的单芯电缆并联。电缆安装弯曲半径$R \approx 15D$（D为电缆外径），400 mm^2截面积的单芯电缆外径约为40 mm，从而每根电缆安装弯曲半径约为600 mm。三相8根400 mm^2截面积电缆的同时弯曲并联安装，将极大提高现场施工难度，特别是在本站主变压器10 kV开关柜与主变压器距离较近的情况[16]。

此外，电缆连接的终端设备和中间接头是电缆最薄弱的环节，实际生产运行中甚至发生过因为一个电缆附件爆炸而烧毁其他电缆的重大安全事故，且电缆发生故障时问题查找和排除难度较大[17]。因此从设备投资、施工难度、运行安全和检修维护等方面来说，选择电缆进线方式并不是最佳选择。

2）矩形铜排母线桥。20 kV以下回路的正常工作电流在4 000 A以下时，宜选用矩型导体。本站主变压器10 kV进线回路持续工作电流已接近6 000 A，若采用铜排母线桥，可选最大母线型号为TMY－3×(125×10)，载流量为4 730 A＜6 000 A，不能满足要求。

3）全绝缘铜管母线。当回路工作电流超过4 000 A时，以往工程中采用多片矩形铜排母线已不适用工作电流回路。而且矩形母线在技术上和结构上很难满足母线发热和电动力的要求，附加损耗和趋肤效应系数增大，载流能力下降，电流分布不均，影响变电站设计安全和主变压器低压侧供电可靠性[18-19]。而采用封闭母线桥进线时，电动力原因和封闭母线筒的壳体共鸣对噪声的放大作用使得这种结构方式在电流负载较大时产生很大噪声，对变电站环保和降噪可能造成污染。

全绝缘铜管母线最大载流量可做到12 000 A。这既可以满足本站主变压器低压侧通流要求，提高母线机械强度，同时因其“表面0电位”、外绝缘强度高，在路径设计时可将相间距减小，也可防止金属物落到母线上产生相间短路等事故。

4）技术经济比较。矩形铜排母线桥载流量不能满足要求；电缆进线造价高且母线额定电流增加将导致多根电缆并联，施工安装不便。因此本站主变压器10 kV进线采用全绝缘铜管母线。

3　优化结果分析

将GIS主变压器套管布置在生产综合楼二层楼顶，主变压器220 kV侧利用二层楼顶220 kV GIS配电装置出线构架到主变压器构架直接挂线；110 kV侧通过钢芯铝绞线与110 kV GIS设备主变压器间隔套管直连；10 kV侧通过全绝缘铜管母线连接。如图3所示。

“同向分层立体化”主变压器进线方案投资如表3所示。与可研方案的综合比较如表4所示。

表3　“同向分层立体化”主变压器进线方案及投资

差异项目	导线型号	投资/万元
220 kV侧	LGJ－630/45	432
110 kV侧	2×(LGJ－500/45)	210
10 kV侧	TA－GGPM－10/6300	52
合计		692

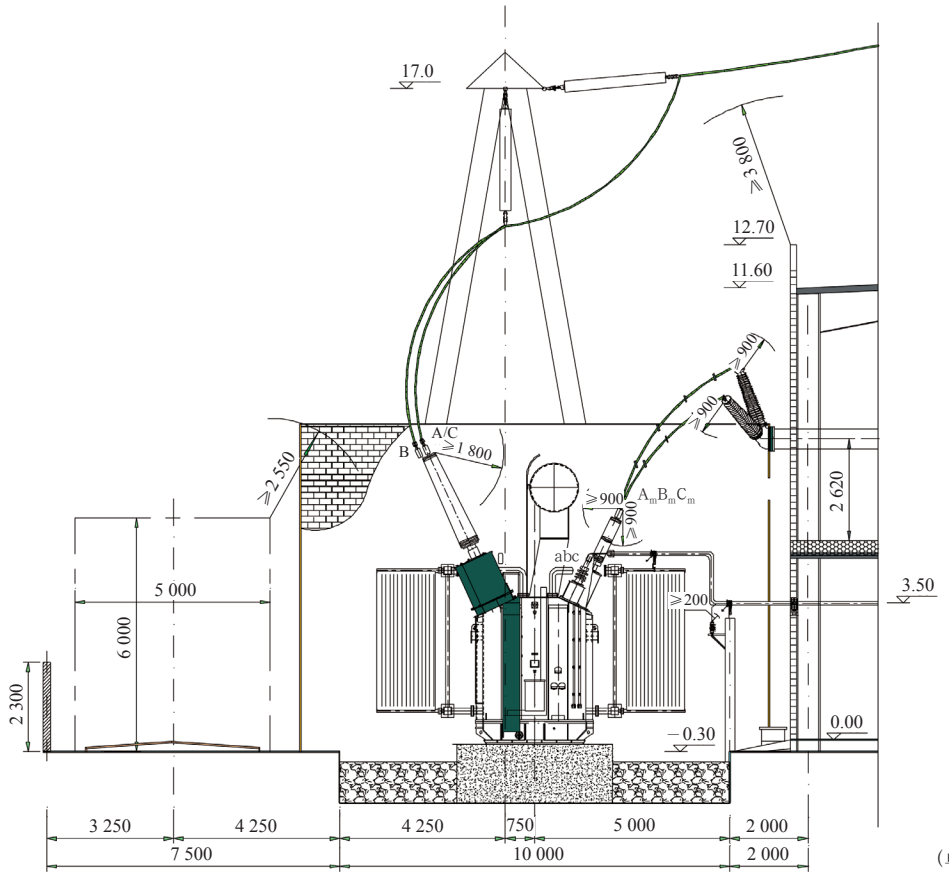

图3　“同向分层立体化”主变压器进线断面图

表4 “同向分层立体化”进线方案与可研方案的综合比较

差异项目	优化方案	可研方案	对比/万元
主变压器场区占地/m^2	710.9	2 325.3	−1 614.4/−72.6
110 kV绝缘子串投资（串）	−	9	−9/−0.72
架空进线长度/m	220：270	220：185	85/136
（按构架跨距计算）	110：70	110：140	−70/−210
全绝缘铜管母线/m	40	60	−20/−26
安装维护费用/万元	−10	−	−10
合计/万元			−183.37

表4中，占地面积按30万元/亩计算，安装维护费用按电气设备运行30年计算全寿命周期成本。

优化方案较可研方案主变压器场区占地面积节省1 614.4 m^2（约72.6%），节省综合投资约183.37万元。

1）主变压器220 kV侧利用220 kV GIS配电装置架空出线构架到主变压器场区联合构架直接挂线的方式，节省了220 kV配电装置侧构架和220 kV侧GIS主变压器间隔套管专用平台，用钢量和建筑投资减少。

2）主变压器110 kV侧采用钢芯铝绞线直连，架空进线长度大大减少，不仅节省了设备投资，而且从全寿命周期的角度也降低了架空线路受外部环境因素影响产生的故障检修和运行维护费用。

3）主变压器10 kV侧采用全绝缘铜管母线，配合其他绝缘材料时使用寿命可达到30年，维护简单，提高了全寿命周期经济性。同时，其可以广泛适应弯曲、爬升和穿墙等多种复杂场所，更适应本站主变压器与10 kV侧开关柜之间距离较近的情况。

采用“同向分层立体化”主变压器进线布置优化方案的效果图如图4、图5所示。

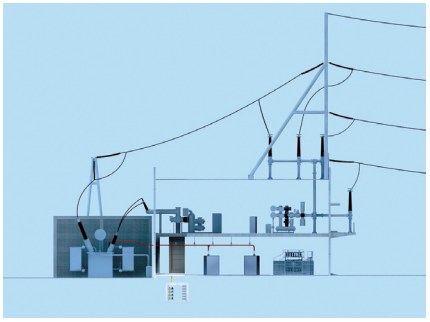

图4 “同向分层立体化”主变压器进线方案剖面效果图

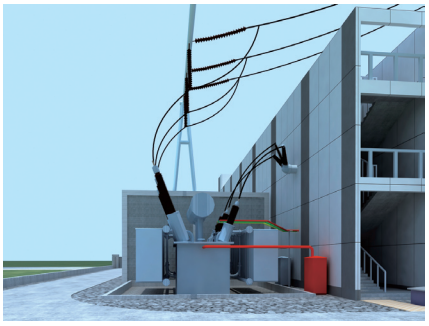

图5 “同向分层立体化”主变压器进线方案外观效果图

4 结束语

所提出的变压器“同向分层立体化”进线布置方案，220 kV、110 kV和10 kV进线按照电压等级高度递减，同侧分层，与平面布置优化方案相协调。220 kV GIS主变压器间隔套管布置在生产综合楼二层楼顶，与110 kV GIS主变压器间隔套管、10 kV主变压器开关柜错层布置，提高了建筑空间利用率，主变压器场区占地面积和工程投资减少。站内进线清晰简洁，运维和施工难度降低，满足国内主流变压器厂家220 kV一体式变压器在半户内GIS变电站中的进线布置，能为220 kV智能变电站主变压器进线设计提供参考依据，为建设资源节约型、环境友好型智能变电站提供一个可行的变压器进线布置优化方向。

参考文献

[1] 孙强，葛旭波，刘林，等．国内外智能电网评价体系对比分析 [J]．电力系统及其自动化学报，2011，23 (6)：105-110．

[2] 何大愚．关于未来智能电网的特征 [J]．中国电力，2012，45 (2)：9-11．

[3] 国家电网公司．Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则 [S]．北京：中国电力出版社，2009．

[4] 刘振亚．国家电网公司输变电工程通用设计110 (66) ～500 kV变电站分册 (2011年版) [M]．北京：中国电力出版社，2011．

(下转第93页)

联流程为并联流程。据测算，采用装配式建设模式较传统变电站建设模式工期可缩短50%左右。

6）传统变电站现场建设工程人员繁多，施工机械使用多，管理和组织协调任务重，安全文明施工压力大。装配式施工所需工种少，人员少，施工机械少，工期短，简化了检修维护工作，安全上更有保障。

5 结束语

35 kV变电站通过一体化、装配式建设，可以有效促进一、二次设备和土建建筑的一体化融合及模块化集成，利于新材料、新设备、新技术及新工艺的应用，体现了节地、节能、节水、节材和环境保护等绿色建设理念，提高了变电站的可靠性、建设效率和建设效益。本文所述的建设方案支撑了国家电网35 kV装配式变电站通用设计的编写、国家电网35 kV装配式变电站试点工程项目的方案设计和试点应用，预计在未来将有更加广阔的发展前景。

参考文献

[1] 柳国良，张新育，胡兆明．变电站模块化建设研究综述 [J]．电网技术，2008，32 (14)：36-38．

[2] 叶建峰．110 kV全预制装配式变电站建设实践 [J]．供用电，2010，27 (2)：42-45．

[3] 王红．无混凝土装配式变电站设计研究 [J]．供用电，2011，28 (4)：37-40．

[4] 张树红．谈变电站电缆沟的优化 [J]．山西建筑，2012，38 (7)：127-128．

[5] 靳远．变电站装配式墙体应用浅析 [J]．河南科技，2013 (3)：35．

[6] 沈青松．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 (3)：28-30．

[7] 许学亮，周晋中．“两型一化”在变电站设计中的应用 [J]．电力技术，2010，19 (1)：47-49．

[8] 汪际峰．南方电网一体化电网运行智能系统建设初探 [J]．南方电网技术，2012，6 (2)：1-5．

（收稿日期：2016－03－24）EA

(上接第88页)

[5] DL/T 5056—2007 变电站总布置技术规程 [S]．北京：中国电力出版社，2006．

[6] DL/T 5218—2005 220～500 kV变电站设计技术规程 [S]．北京：中国电力出版社，2005．

[7] 史京楠，胡君慧，黄宝莹，等．新一代智能变电站平面布置优化设计 [J]．2014，35 (4)：31-37．

[8] 晋海滨．220 kV智能变电站设计方案优化研究 [D]．北京：华北电力大学，2013．

[9] 陈燕华．小型化GIS设备在某220 kV户内变电站优化设计中的应用 [J]．福建建设科技，2013 (5)：74-76．

[10] 戈东方，等．电力工程电气设计手册 (电气一次部分) [M]．北京：中国电力出版社，2014．

[11] DL/T 5352—2006 高压配电装置设计技术规程 [S]．北京：中国电力出版社，2006．

[12] Danish Khan．GIL与架空线路的比较及GIL替代架空线路的可行性分析 [D]．北京：华北电力大学，2014．

[13] 刘盛，周志超，钱锋，等．主变压器压器与GIS的GIL连接方案分析 [J]．电力建设，2012，33 (6)：27-29．

[14] 翟长春．核电厂500 kV主变压器压器进线方案的比较 [J]．广东电力，2007，20 (12)：44-46．

[15] DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定 [S]．北京：中国电力出版社，2005．

[16] GB 50217—2007 电力工程电缆设计规范 [S]．北京：中国标准出版社，2007．

[17] 戴静旭，刘杰，王彦伟．高压电缆故障原因分析及对策措施 [J]．高电压技术，2004，30 (增刊1)：54-57．

[18] 刘锦江，支峰．试论全绝缘屏蔽铜管母线在变电站中的应用 [J]．太原大学学报，2012，13 (3)：138-140．

[19] 张北宁．管型绝缘母线和矩形铜排母线性能比较及应用 [J]．水电与新能源，2010 (6)：60-64．

（收稿日期：2015－11－03）EA