

110kV 变电站 HGIS 分段间隔改造方案设计与工程应用

尤英霖

广东天汇综合能源服务有限公司, 广东 湛江 524000

DOI:10.61369/EPTSM.2026070004

摘 要 : 针对早期投运的 110kV 敞开式变电站普遍采用单母线隔离开关分段接线方式, 存在供电可靠性不足、检修停电范围偏大等问题, 且受前期预留空间局限, 无法按照常规方案加装 110kV 分段间隔, 本文提出一种基于半封闭气体绝缘组合电器 (HGIS) 的分段间隔改造方案。结合 8 座在运 110kV 变电站的扩建工程实际, 系统阐述了 HGIS 设备的选型原则、配电装置布置关键技术要点、感应电压抑制措施、土建接口处理方式以及分段停电施工组织方案, 并对安装就位工艺进行了优化改进。工程实践表明, 该方案能够有效解决窄空间条件下的分段间隔扩建难题, 在保障电网安全运行的同时显著降低施工停电影响范围, 为同类变电站改造工程提供了可借鉴的技术方案。

关 键 词 : HGIS; 分段间隔; 配电装置布置; 停电改造; 感应电压; 安全距离

Design and Application of HGIS Sectional Interval Renovation Scheme for 110kV Substation

You Yingpi

Guangdong Tianhui Comprehensive Energy Service Co., Ltd. Zhanjiang, Guangdong 524000

Abstract : For the early-operated 110kV open-type substations, which generally adopt the single busbar disconnector sectional connection mode, there are problems such as insufficient power supply reliability and large scope of maintenance power outage. Moreover, due to the limitation of the reserved space in the previous stage, it is impossible to add 110kV sectional intervals according to the conventional scheme. This paper proposes a sectional interval renovation scheme based on semi-enclosed gas-insulated combined electrical apparatus (HGIS). Based on the actual expansion projects of 8 in-service 110kV substations, this paper systematically elaborates on the selection principles of HGIS equipment, key technical points of distribution device layout, measures for suppressing induced voltage, handling methods of civil engineering interfaces, and construction organization schemes for sectional power outages. The installation and positioning process has also been optimized and improved. Engineering practice shows that this scheme can effectively solve the problem of sectional interval expansion under narrow space conditions. It can ensure the safe operation of the power grid while significantly reducing the scope of construction power outages, providing a reference technical solution for similar substation renovation projects.

Keywords : HGIS; sectionalizing interval; distribution device layout; power outage renovation; induced voltage safe distance

引言

随着我国经济社会持续发展和城镇化进程不断推进, 用户对供电可靠性的要求日益提高。早期建设的 110kV 敞开式变电站多采用单母线隔离开关分段的主接线形式, 该接线方式在正常运行方式下具备较高的经济性, 但在母线故障或计划检修时, 将面临全站停电的风险, 供电可靠性难以满足日益增长的负荷需求。^[1]为提升电网供电安全水平, 完善单母线分段接线方式、增设母联分段间隔已成为改扩建工程的重要任务。

然而, 上述变电站在初始设计阶段普遍未预留充足的分段间隔安装空间, 110kV 母线中间构架两侧的间隔中心间距仅为 8~9m, 已接近布置极限。若采用常规敞开式设备加装分段间隔, 其所需的安全净距和操作空间无法满足《高压配电装置设计规范》的相关要求, 给工程实施带来极大的技术困难。

半封闭气体绝缘组合电器 (Hybrid Gas Insulated Switchgear, HGIS) 将断路器、隔离开关、接地开关等核心元件集成于气体绝缘

壳体内部,相比传统敞开式设备,其占地面积显著缩减,同时保留了与敞开式架空母线直接连接的便利性,在变电站改扩建工程中具有独特的技术优势。本文以广东地区8座110kV变电站的扩建工程为依托,系统论述采用 HGIS 设备实施分段间隔改造的设计思路、关键技术问题及工程应用效果。

一、工程概况与改造需求分析

(一)既有变电站基本情况

本文所涉及的改造工程共涉及8座已投运的110kV敞开式变电站。上述变电站电气主接线均为单母线隔离开关分段接线,110kV侧配置两回进线、主变压器出线及相应间隔,各间隔中心间距在8~9m之间。前期设计时,分段位置仅预留了1把隔离开关的安装位置,未预留完整分段间隔所需的空间,导致常规扩建方案无法实施。

(二)改造需求与目标

本期改造工程均为扩建第二台主变压器项目,根据电网规划及属地供电局的运行管理要求,新改扩建项目须完善电气主接线,配置完整的母联分段间隔。改造的主要目标包括:(1)实现110kV母线的分段运行,提高供电可靠性;(2)缩小母线检修或故障时的停电范围;(3)为后续负荷增长及电网规划提供灵活的运行方式。由于受场地条件限制,常规敞开式设备方案已不可行,因此本文提出采用 HGIS 设备实施分段间隔改造的技术方案。

(三)改造时序约束

需要注意的是,HGIS分段间隔的安装施工涉及110kV母线停电作业。若在第一台主变运行期间实施,将导致全站停电,对电网供电可靠性和用户用电产生严重影响。^[9]因此,改造工程的实施时序须遵循以下原则:待第二台主变压器完成安装并投运后,方可实施 HGIS 分段间隔的安装就位及接线工作,利用两台主变分别承担各自所接母线段的供电任务,实现分段停电施工,避免全站停电。

二、HGIS设备选型与配置方案

HGIS设备的选型应综合考虑以下因素:(1)额定参数应满足所在变电站的电压等级、额定电流及短路开断能力要求,本工程的额定电压为126kV,额定电流为2000A,额定短路开断电流不低于31.5kA;(2)设备外形尺寸应满足现场有限空间的布置要求,特别是设备宽度和高度应与现有间隔中心间距及配电装置的竖向净距相协调;(3)设备应具备与既有敞开式设备可靠连接的技术条件,包括套管接口形式、连接金具适配性等;(4)设备的二次系统(汇控柜)应与站内既有保护、测控系统实现接口匹配。

三、配电装置布置关键技术问题

(一)接地刀闸的接地设计

HGIS分段间隔内接地刀闸的接地设计是工程实施中需要重点关注的问题。根据设备厂家的技术要求及相关规程规定,接地刀闸的接地引下线须采用铜排单独引出,经独立接地引下线连接至主接地网,不得通过 HGIS 设备外壳实现接地。^[4]该设计原则的原

因在于:HGIS外壳的主要功能为气体密封和机械支撑,若将接地回路经外壳导通,可能因接触电阻不均匀而导致壳体电位分布不均,影响接地保护的可靠性,同时在故障电流流过时可能产生过高的壳体感应电压。

(二)感应电压抑制措施

在多座变电站的实际调试过程中发现,HGIS汇控柜端子排上存在较为明显的感应电压现象,部分端子感应电压高达60V以上,远超二次设备的安全运行要求。^[9]经分析,感应电压过高的主要原因是汇控柜内交流回路与直流回路的端子未进行有效分区布置,交流电缆与直流电缆平行敷设距离过长,通过电容耦合及电磁感应在直流回路上产生了较高的感应电势。

针对该问题,工程采取的治理措施包括:(1)在汇控柜内部,将交流端子排与直流端子排分柜或分区域布置,增大两类回路端子之间的物理间距;(2)在电缆敷设路径上,交流电缆与直流电缆分别走不同的电缆沟或电缆桥架,避免长距离平行敷设;(3)必要时在直流回路入口处加装屏蔽层接地措施,降低耦合干扰。^[6]经上述措施处理后,汇控柜端子感应电压降至安全水平以下,满足二次设备运行要求。

(三)安全距离校核与导线风偏控制

由于本期 HGIS 分段间隔安装于既有110kV母线中间构架处,两侧间隔中心间距仅为8~9m,空间极为紧张。在布置过程中,HGIS设备的A相或C相与相邻运行间隔的导线距离较近,需对带电部分之间及带电部分与接地部分之间的净距进行校核。依据《高压配电装置设计规范》(DL/T 5352—2018)的相关规定,110kV配电装置的相间净距及相对地净距应满足相应海拔修正后的最小安全距离要求。^[2]

在实际工程应用中发现,HGIS引下线与相邻间隔母线隔离开关引线之间距离已接近规范要求限值。且其中A相或C相距离较远,在考虑风偏的情况,将突破安全净距,存在放电击穿和短路故障风险。因此,工程中采用在 HGIS 引下线处增设1基110kV支柱绝缘子进行导线固定,通过刚性固定有效限制导线的偏移。^[7]确保在各种气象条件下安全净距满足规程要求。

(四)HGIS设备安装高度与检修空间

HGIS设备的安装高度需满足两方面的技术要求:一是设备操作箱距出线套管底部应保持足够的检修操作空间,确保运行人员在日常巡视和检修操作时能够安全接近操作机构;二是 HGIS 套管顶部的高度应与配电装置的架空母线引下线标高相协调,保证导线连接后在最大弧垂和最大风偏条件下均满足安全净距要求。在工程设计阶段,应结合现场实测数据和设备厂家的外形尺寸图进行综合校验。

四、土建接口处理方案

传统敞开式设备安装通常采用预埋地脚螺栓的固定方式,该

方式要求基础施工与设备安装同步进行,施工精度要求高。本期 HGIS 设备以整体成型方式出厂运输,设备整体高度较高,若采用吊装方式直接就位至分段基础上,则吊车臂及吊物将进入 110kV 两段母线带电安全距离范围,导致全站母线停电。

为最大限度减少停电影响范围,本文提出:基础采用预埋钢板替代预埋地脚螺栓土建接口方式, HGIS 设备先在相邻空地进行吊装就位,完成二次电缆敷设及接线、设备耐压试验及各项调试工作后,再采用人工推移结合滚木的方式将设备移位至设计基础上,最后通过焊接方式将设备底座与预埋钢板可靠固定。^[9]该方案的优势在于:吊装作业在停电范围之外完成,仅在最终就位阶段需要短时停电配合,减少了全站停电时间。

五、停电施工方案与设备就位工艺

(一) 停电方案比选

HGIS 分段间隔的施工涉及多个停电作业环节,停电方案的合理性直接影响施工安全和效率。根据工程实际情况,本文对比分析了以下两种停电方案。^[9]

方案一:采用 110kV I 母、II 母轮流停电方式。即先停 I 母,完成该段母线侧的引下线拆除、HGIS 接线及调试工作后恢复 I 母供电,再停 II 母,完成另一侧作业。该方案需要两次 I 母、II 母轮流停电,每次停电时间约 8~12 小时,一次拆除分段隔离开关,一次 HGIS 就位,适用于对停电时间容忍度较高的场景。

方案二:采用带电作业方式拆除既有分段隔离开关两侧的引下线。利用带电作业技术在不停电条件下完成旧设备拆除工作,仅在 HGIS 就位及最终接线阶段实施短时停电。该方案对作业人员的带电作业资质和安全措施要求较高,但能够最大限度地减少停电时间和停电范围。

综合考虑各变电站的实际负荷情况和供电可靠性要求,本文建议优先采用方案二,在具备带电作业条件时实施带电拆除,以最大限度减少对用户供电的影响。

(二) 设备就位工艺

HGIS 设备的就位工艺是施工环节中的技术难点。由于本期 HGIS 设备外形尺寸较大、单体质量较重(约 5~8t),且安装位置位于 110kV I 母与 II 母中间构架之间,如采用大型吊车直接吊装就位,吊臂和吊物将进入两段母线的带电安全距离范围,导致全站 110kV 母线均需停电。

为解决上述矛盾,本文提出“先吊后推”的组合就位工艺:首先,在 HGIS 安装位置旁侧选取满足吊车安全作业距离的空地,采用吊车将设备吊运至该临时就位点;然后,在 110kV 母线短时停电窗口内,采用人工推移结合滚木滑移的方式,将设备从临时就位点平移至设计基础位置。就位后,通过预埋钢板焊接完成设备固定,并连接设备引下线。^[10]该工艺将大型吊装作业与带电安全距离的影响降到了最低,在保障施工安全的前提下有效缩短了停电时间。

六、结论与展望

本文针对早期投运的 110kV 敞开式变电站在扩建主变工程中面临的分段间隔安装空间不足问题,提出了采用 HGIS 设备实施分段间隔改造的技术方案。通过对 8 座变电站的改造工程实践,得出以下主要结论:

(1) HGIS 设备凭借其紧凑的结构布局,能够在有限的间隔空间内实现分段间隔的加装,有效解决了传统敞开式设备因安全净距不足而无法布置的技术难题。

(2) 在 HGIS 设备的布置设计中,应重点关注接地系统的独立引接、汇控柜交直流端子的分区布置以抑制感应电压、安全距离的精确校核以及导线风偏控制等问题。其中,引下线增设支柱绝缘子刚性固定的措施能够有效消除风偏引起的安全距离不足风险。

(3) 在土建接口方面,采用预埋钢板焊接替代预埋地脚螺栓的方案,配合“先吊后推”的组合就位工艺,能够在保障安全的前提下显著减少全站停电时间,对提高施工效率、降低停电影响具有积极意义。

(4) HGIS 分段间隔的改造实施应在第二台主变投运后进行,利用分段停电方式实施施工,避免全站停电。停电方案宜优先采用带电拆除旧设备引下线的方式,进一步缩短停电时间。

综上所述,本文提出的 HGIS 分段间隔改造方案在技术可行性和工程经济性方面均具有较好的适用性,可为同类型变电站的改扩建工程提供有益的技术参考。未来随着智能化变电站建设的深入推进, HGIS 设备的智能化监测与运维功能将进一步拓展,在变电站改造工程中的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1] 电气工程电气设计手册:电气一次部分[M].北京:中国电力出版社,2018.
- [2] DL/T 5352—2018,高压配电装置设计规范[S].北京:中国电力出版社,2018.
- [3] GB 50060—2008,3~110kV 高压配电装置设计规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [4] 中国电力企业联合会.变电站总设计技术规程:DL/T 5218—2012[S].北京:中国电力出版社,2012.
- [5] 国家电网公司.输变电工程典型设计:110kV 变电站分册[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [6] 赵智大.电力系统分析[M].北京:中国电力出版社,2017.
- [7] 解广润.电力系统过电压[M].北京:中国电力出版社,2015.
- [8] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [9] GB 50168—2018,电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [10] DL/T 620—1997,交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].北京:中国电力出版社,1997.