

六氟化硫气体充气 and 回收装置研究

孙永乐 沈棋棋

(国网上海送变电工程公司)

摘要：变电站建设中，GIS、HGIS 和 GIL 的施工受到普遍重视。根据施工进度，气室中的 SF₆ 气体需要充入、回收和补气等多次作业，不同作业需要多个机具，给施工带来不便。针对这一情况，引入了智能化 GIS 气务处理机具，一台设备完成多项气务作业。通过 500kV 崇明变电站建设工程的气务工作，说明了智能化 GIS 气务处理机具可以胜任充气 and 回收工作，对今后气务工作有推广意义。

关键词：SF₆；电网建设；智能化

2025.02.DQGY
59

0 引言

2021 年，作为“十四五”开局之年，电力工程建设投资创下十年来新高。2022 年全社会用电量 8.64 万亿 kWh，发电装机容量 25.6 亿 kW，新增容量 2 亿 kW，累计建成 33 条特高压线路，在建特高压交流站与换流站共 6 座，2023 年将达到 16 座^[1]。电力系统大量使用 GIS 设备和各种高压电力设备，SF₆ 气体年均用量维持在 5000t 左右^[2]。

GIS、HGIS 和 GIL 施工作业时，SF₆ 气体用量大，现场交叉施工多，SF₆ 充气 and 回收作业频繁。空间有限的场地摆放气瓶、真空泵、充气设备、回收设备以及将回收气压入钢瓶的机具，增加了调运难度，也存在安全风险。针对这种情况，设计现场回收充气一体化设备，但此设备存在体积大，不易操作，智能化程度不高的情况^[3]。鉴于此，在施工作业中引入智能化 GIS 气务处理机具，其与传统气务处理机具相比，

整合了抽真空、回收、充气 and 破真空等功能，也增加了智能控制功能，可实现一键操作，并融入物联网技术，从而实现远程监控。

1 工作原理

智能化 GIS 气务处理机具主要由压缩机、干燥净化装置、存储系统、抽真空系统、管路系统、电器控制系统和物联网系统组成。设备具有智能控制功能，通过触摸板就能设置抽真空、回收、充气、破真空等功能；智能设定回收终压力、抽真空终止值、抽真空时间；具备远程监测功能，可在后台查看真空度、抽真空时间、回收终压力、回收时间、充气温度、充气压力、储气液位、保养周期等多项数据；并能向移动端推送预警信息，实现气务作业过程管理。如图 1 所示，智能化 GIS 气务处理机具能完成抽真空、充气 and 气体回收作业。

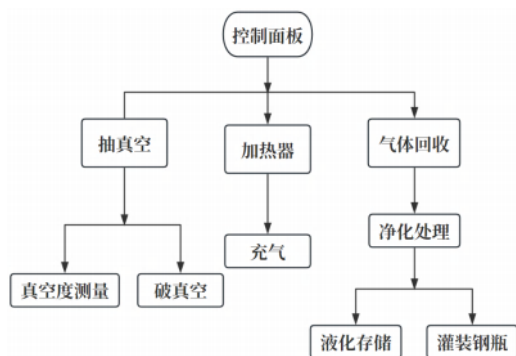


图1 智能化GIS气务处理结构图

2 气室抽真空

智能化GIS气务处理机具可对装置本身和对气室抽真空、真空度测量，真空度可达10Pa。有些气室采取充高纯氮至微正压运输的方式，在施工现场需要先排氮，再抽真空。机具将气室中的氮气通过排空电磁阀排放至大气。压力传感器检测到绝对压力为 $0.1 \pm 0.01\text{MPa}$ 时，使能抽真空功能。在面板中点击抽真空按钮，设定真空值，一键启动运行，真空计检测真空度，实时显示在面板上，气室达到设定真空度，会继续抽真空10min后停机，并通过物联网向移动端发信。在抽真空过程中，通过比较机具实时气压值与气室的气体密度继电器读数，初步判断气体压力继电器的工况，提前发现失效仪表。

3 气室充气

SF_6 气体是一种无色无毒基本不燃的惰性气体，从电学性质角度看，其具有较高的介电强度，也具有优越的灭弧能力^[4]。因此 SF_6 绝缘设备广泛应用在输变电设备上^[5]。传统上充气采用手工充气方式，由作业人员根据表压差，手动改变阀门出气量，至人工停止充气，充气压力控制精度差，劳动强度大。压力差过大，对充气管道和阀门带来过大压力，造成泄露甚至破坏。同时，储气罐中液态 SF_6 气体迅速气化，大量吸热，设备会剧烈降温结霜，这会缩短设备使用寿

命，对作业人员带来隐患，甚至部分 SF_6 以液态形式进入罐体，在罐体内气化，这可能带来充气量超标，甚至有超过气室安全压力的隐患。压力差过小，则会使充气进程显著减缓，甚至最后逐步停止，显著拖慢施工进度。

气室满足真空度要求后，使用智能化GIS气务处理机具向气室充入 SF_6 气体。在触摸屏界面选择充气功能，设定充气终止值，即可启动作业。充气时采取压力差法充气，通过触摸屏设置充气终止压力，系统会保证 SF_6 以气态充入设备，并保持稳定压力差充气。通过出口压力控制。可见压力表指针平稳上升。充气过程中，加热器也会同步运行，并有连锁机制，当加热温度传感器检测温度超过 35°C 时，电磁阀打开，可以开始充气。在充气过程中，加热温度传感器检测温度低于 25°C 时，开始加热，检测温度高于 40°C 时，停止加热。快速充气的同时实现平稳充气，准确达到气室压力设定值后，会继续充气30s，保证静态压力值达到设定值，若达到设定值后，充气作业结束。

4 气体回收

现场施工时，大部分气室内都是拼装好后，充入纯净 SF_6 气体。 SF_6 气体密度是空气密度的五倍多， SF_6 气体会沉积在空间下部，造成施工人员窒息，同时其具有极强的温室效应，其效应是二氧化碳的两万多倍，所以不可向大气直接排放^[6]。有的带气运输断路器间隔在生产厂内进行过测试，可能有 SF_6 分解产物，具有毒性。现场对 SF_6 的回收工作对保护环境和保证施工人员安全都具有重要意义^[7]。

机具面板简洁，压气、回收和充气接口分置于左中右，易分辨。同抽真空和充气操作类似，在操作面板上选择气体回收按钮，设定回收值后，一键启动。此时电磁阀开启，压缩机运转，实时显示压力值，当

压力低于 0.05MPa 时，屏幕显示压力值切换到真空计实测值。机具抽出气室中的 SF₆ 气体，通过压缩机将其压入装置的储液罐中，SF₆ 气体由低压气态转变为高压气态，随着回收气体质量的增加，进一步转变为液态，这个过程会释放出大量热量。热量通过热交换器散失。回收过程中，尘、水过滤器会对 SF₆ 气体净化处理，净化后 SF₆ 气体微水含量低于 40μL/L、尘粒径小于 1μm。储液罐内可装载 SF₆ 300kg。当气室需要回收少量气体时，储液罐可直接存储。大规模回收气体时，可将储液罐内 SF₆ 灌装至气瓶内，也可将净化后气体直接压入钢瓶。

5 结束语

SF₆ 气体价格高，气室施工中充气放气操作频繁，带来成本上升，还会造成环境问题。500kV 崇明变电站建设过程中使用本设备，通过使用智能化 GIS 气务处理机具，自动充气过程，改变了手工充气方式，逐渐调节充气压力，减轻了劳动强度，提升了施工质量管控；气体回收过程，有效提高回收效率，提高了自动化，减少了误操作。通过融合物联网技术，可以有效监控机具运行状态，并可以回溯历史数据，针对故障情况，能够及时预警，消除了关键工

序遗漏以及抽真空时长不足等气务工作质量隐患的发生，显著提升了气务作业记录的完整性。

参考文献

[1] 丁永福. 我国电力工业现状及发展形势展望 [J]. 电气时代, 2023 (4): 33-37.

[2] 肖明亮. 我国六氟化硫行业发展分析 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2010, 8 (4): 65-67.

[3] Etter M, Koch H. Sulfur hexafluoride SF₆[C]. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century IEEE, 2008: 1-4, 89-90.

[4] 王景儒. 特气——六氟化硫 [J]. 黎明化工, 1994 (4): 40-41.

[5] 李辉. 六氟化硫断路器开断性能及其应用 [J]. 中小企业管理与科技 (上旬刊), 2012 (2): 232.

[6] 王景儒. 六氟化硫分解气及处理方法 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2003 (6): 16-18.

[7] 陈奕群. SF₆ 气体现场回收处理技术研究 [J]. 中国设备工程, 2019 (10): 174-175.

(收稿日期: 2024-07-19)