

[开关设备]

关于GIS安装环境悬浮粒子检测标准化管理

文/林凯凯 王 琦
山东送变电工程有限公司

作为变电站关键设备之一，安装环境的控制对GIS安装质量有着极其重要的影响。根据国家电网有限公司质量管理相关规定，现场GIS设备安装必须使用防尘棚。颗粒度是检测防尘棚安装环境质量控制的关键指标，如何准确地测量现场安装的颗粒度，对整个GIS安装的质量控制有着重要的意义。

国家电网有限公司下发的关于《气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）安装作业指导书编制要求》的通知中明确提出，现场GIS设备安装时应使用防尘棚。防尘室内安装温度要求 $-10\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，环境相对湿度小于80%，洁净度满足百万级及以上（根据GIS电气设备运行经验，现场组装GIS时，安装区域的环境洁净度等级满足ISO 14644标准的ISO9级要求，即粒径不小于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 的浮游尘埃量不超过 3.5×10^7 个，粒径不小于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的浮游尘埃量不超过 2.5×10^5 个）。如何准确测量GIS防尘棚中悬浮粒子的含量是判断现场安装环境的关键。

防尘棚样式及结构

由于受到厂家生产工艺及现场GIS对接口所处位置的影响，为满足所有GIS单元的开盖、内检及连接工作均在防尘棚内进行的要求，变电站GIS安装现场根据实际情况存在多种尺寸的防尘棚，但防尘棚的形状较为单一，主要为长方体。

1. 500 kV GIS充气式防尘棚

（1）GIS地面组装防尘棚

主要用于各类对接面的地面清理对接。袖口位于防尘棚两侧，GIS单元从两侧伸入，在内部完成对接工作。参考尺寸长为26 m，宽为13.5 m，高为

9.6 m。

（2）多功能母线安装防尘棚

主要用于水平和竖直布置的分支母线、主母线对接安装。共有6个袖口，两两相对，三相母线可同时在棚内安装（由下至上逐相进行）。参考尺寸长为2 m，宽为2 m，高为3.4 m。

（3）断路器分子筛更换防尘棚

主要用于断路器间隔安装时的分子筛更换及分支母线安装。一个大型袖口，可将分子筛盖板完全包裹。参考尺寸长为1.8 m，宽为1.3 m，高为2 m。

（4）微型防尘罩

主要用于空间狭小、不适合防尘棚的特殊对接面（如隔离开关与断路器对接口等）。分为水平和垂直两种方式使用，单独将对接面封闭，人员只需将手伸入罩内即可作业。参考尺寸直径为0.9 m，长为1.5 m。

2. 220（110）kV GIS充气式防尘棚

（1）串内间隔对接防尘棚

主要用于220（110）kV GIS串内间隔本体对接。可将母线和断路器本体完全覆盖，通过两侧袖口进行母线对接。220 kV参考尺寸长为7 m，宽为3.5 m，高为4.2 m。

(2) 分支母线对接防尘棚

主要用于220 (110) kV GIS分支母线和出线套管处对接。适应220 (110) kV GIS分支结构特点,正面设3个袖口,两侧和顶部各1个袖口。220 kV参考尺寸长为2.5 m,宽为2 m,高为3.2 m。

防尘室悬浮粒子测量存在问题

目前现场普遍采用尘埃粒子计数器进行GIS防尘室悬浮粒子检测,通过气体中的悬浮粒子发生光散射现象,粒子散射的光强与其表面呈正比例关系。现场存在主要问题:

1) 测量条件不具备即进行测量,造成防尘室悬浮粒子测试结果存在较大波动。防尘室新风系统未正常运行即开始测量,造成测量结果不准确。

2) 未根据现场防尘棚结构及尺寸进行布点测量。现场安装人员采用单点测量或同一位置多次测量,造成测量数据无法真实反映GIS防尘室悬浮粒子颗粒数。

3) 对测量结果未进行统计学分析,未对GIS防尘室悬浮粒子颗粒数是否符合标准做出正确判断。尤其是对于小型结构的防尘棚,由于测量点数较少,如不进行统计分析,测试结果不能真实反映防尘棚内安装环境。

防尘室悬浮粒子规范测试方法

1. 测试条件

温度和湿度。GIS安装防尘棚的温度和相对湿度一般应保持在18~26℃;相对湿度一般控制在45%~65%RH。

压差。带有新风系统的GIS安装防尘室测量时必须维持一定正压。GIS安装防尘室内空气与室外大气的静压差应不小于10 Pa。

悬浮粒子测试时间要求见表1。

表1 测试时间要求

新风类型	垂直单向	非单向
系统正常运行时间/min	≥10	≥10

对垂直单向流新风系统测试应在净化空气调节系统正常运行时间不少于10 min后开始。对非单向流新风系统测试应在净化空气调节系统正常运行时间不少于30 min后开始。

尘埃粒子计数器按照设备说明书进行预热,达

到设备要求的预热时间。带有自检功能的计数器正式测试以前应首先进行自检,确保设备工况良好。

2. 采样点数量及其布置

最少采样点数目计算公式为

$$N_L = A \times 0.5 \quad (1)$$

式中, N_L 为最少采样点数; A 为面积,在单向流情况下,面积 A 可以认为是垂直于气流方向上的横截面面积。

GIS设备最重要的悬浮粒子控制位置就是设备现场的对接口。不同电压等级GIS结构布置方式不同,现场对接口位置也不尽相同。以500 kV GIS设备为例,设备对接口分别分布在标高1.7 m和3.4 m作业层级。这两个标高的空间内悬浮粒子数量是监控重点区域,如图1所示。



图1 500 kV GIS现场安装实景图

经过分析各电压等级GIS结构方式,并根据现场实际测量结论,在防尘室结构尺寸不大于3 m×3 m×2.5 m时,采用单平面水平布点即可,水平面高差为GIS对接口中心,如图2所示。

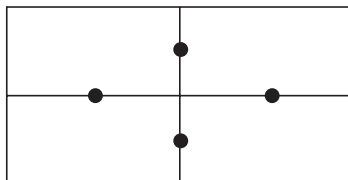


图2 单层测试布点图

根据公式计算出采样点多于5点时,测试点应采用分层布置的方式进行。测点布置,底层设置标高为GIS对接单元中心标高,上层设置标高为对接单元中心标高。双层测试推荐布点形式如图3所示。

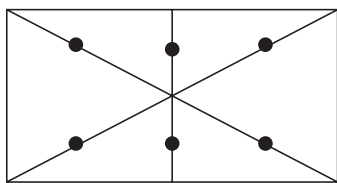


图3 双层测试布点图

采样点的布置还可根据GIS特殊安装单元增加测试点。

安装环境区域内，采样点的数目必须大于2个，总采样次数应大于5次，每个采样点可多次测试，且不同采样点的采样次数可以不同。

3. 测试结果计算

测试工作结束后，计算安装环境悬浮粒子数平均值公式为

$$A = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_N}{N} \quad (2)$$

式中， A 为表示安装环境内单点悬浮粒子数平均值； C_i 为单采样点的悬浮粒子浓度（ $i=1, 2, \dots, N$ ）； N 为安装环境内单点的采样次数。

防尘室的悬浮粒子数平均值计算公式为

$$M = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_L}{L} \quad (3)$$

式中， M 为GIS防尘室整体悬浮粒子数平均值； A_i 为安装环境内单点悬浮粒子数平均值（ $i=1, 2, \dots, L$ ）； L 为某一洁净室（洁净区）内的总采样点数。

计算标准误差公式为

$$S_E = \sqrt{\frac{(A_1 + M)^2 + (A_2 - M)^2 + \dots + (A_L - M)^2}{L(L-1)}} \quad (4)$$

式中， S_E 为防尘室的悬浮粒子数平均值的标准误差。

当采样点数少于9个时，根据统计学原理可知，需计算样本置信度，并进行数据结果判定。

置信上限公式为

$$UCL = M + t \times S_E$$

式中， UCL 为平均值95%下置信上限； t 为95%置信上限的 t 分布系数，见表2。

表2 95%置信上限的 t 分布系数

采样点数	2	3	4	5
T 分布系数	6.31	2.92	2.35	2.13
采样点数	6	7	8	9
T 分布系数	2.02	1.94	1.90	1.86

注：当采样点数多于9点时，无须计算 UCL 。

4. 测试结果判定

悬浮粒子洁净度级别的确定应通过下述两个判据：①单个采样点平均粒子浓度必须不小于表中所列的分级边界值，即 $A_i \leq$ 分级边界值；②整体采样点的粒子浓度平均值均值的95%置信上限必须不大于表中所列的级边界值，即 $UCL \leq$ 分级边界值。

结束语

通过施工现场有效的管理和得当的措施，尤其是对GIS安装防尘室悬浮粒子测量方式的修订，能够使安装单位确保GIS安装环境。特别是对高电压等级GIS，有效的环境控制是GIS系统顺利通过耐压试验和长久稳定运行的保证。本文从阐述目前国内变电站建设使用的GIS防尘棚尺寸入手，通过对GIS安装防尘室悬浮粒子测量条件、测点数量、布置及数据分析等方面给出了准确测试方法。随着国内节能减排技术的推广，GIS电压等级会不断提高，尺寸会不断优化、缩小，在这个趋势下必然会对GIS安装环境提出更高的要求，相信在不久的将来各种在线悬浮粒子检测系统会陆续进入施工现场。EA

（收稿日期：2023-12-01）

参考文献

- [1] 国家电网《气体绝缘金属封闭开关设备(GIS) 安装作业指导书编制要求》的通知国家电网基建[2016] 542号[Z]：29-30.
- [2] 国网山东省电力公司《国网山东省电力公司加强GIS设备无尘化安装质量管控实施方案》的通知建设质量【2020】20号[Z]：3-4.
- [3] 李阳，刘浩军，何冰，等. GIS/GIL内部电弧试验中电弧外部效应检测方法[J]. 电气应用，2021，40(2)：61-64.
- [4] 净厂房设计规范：GB50073—2013[S]. 北京：中国计划出版社.
- [5] 刘志清. 李伟鹏特高压GIS组合电气安装质量控制措施[J]. 山东电力技术，2017，44(9)：48-51.
- [6] 滕昊，蓝海文，杨帆. 结合设备多源状态数据的GIS设备局放带电测试异常的分析与处理[J]. 电气应用，2021，40(8)：30-35.