

[GIS]

GIS母线的应用与安装

文/西安西电开关电气有限公司 靳艳丽 王兆军 屈直

近年电网建设快速发展，电站建设的数量和规模都有很大的提升。相应地，电站的气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）的规模也随之扩大，母线长度增大，给GIS的现场安装提出更高的要求。对550 kV GIS母线进行了介绍，对母线的现场安装进行了研究和探讨，以期对550 kV GIS母线的应用与安装有所帮助。

概述

GIS的规模扩大，母线长度增大，给GIS的现场安装提出更高的要求，尤其是安装的正确性、安装偏差控制等方面，要求更加严格。现场设备基础的偏差、中心线划线偏差，安装偏差、环境温度变化造成的热胀冷缩效应等，都对GIS安装的正确性有着很大影响。

母线结构要素

除了实现功能的母线壳体、导体和SF₆系统，在母线的结构中，一般设置有固定支架、滑动支架和伸缩节等，以适应各种因素对母线的安装、使用的影响。本文中，母线指主母线和分支母线。

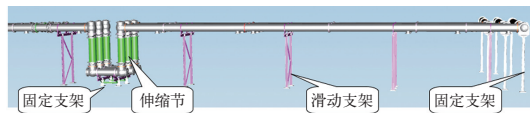


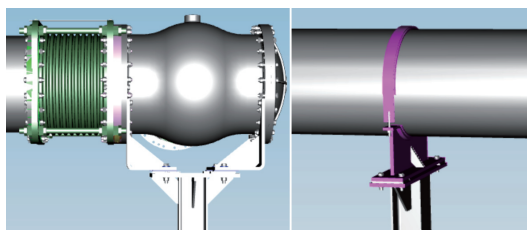
图1 母线应用示例

1. 固定支架和滑动支架

固定支架根据其在母线结构中设置的位置，一般承受母线内部压力产生的内压推力、伸缩节位移时产生的反力、母线伸缩时与滑动支架产生的摩擦反力等。固定支架一般设置在母线的端头、转弯处、伸缩节一侧、直线段某处及与侧支线连接处等部位，对整个母线的支撑、定位起决定性作用。固定支架与母线的壳体全约束连接。

滑动支架允许母线在轴向方向存在一定的滑动，以适应热胀冷缩、安装调整等。滑动支架一般设置在母线的伸缩节一侧、直线段某处，通常位于固定支架之间。滑动支架与母线的壳体非全约束连接。

图2是常见的固定支架和滑动支架的结构。在一段母线中，通常设置有一定数量的固定支架和滑动支架。设计时考虑母线所受各种力的综合作用、伸缩节补偿效应及结构特点，设定固定支架的位置和数量。而滑动支架则根据母线自身的重量分段布置。



(a) 固定支架 (b) 滑动支架
图2 固定支架与滑动支架

2. 伸缩节

伸缩节是利用自身的有效变形来吸收所连接设备的尺寸变化的一种补偿装置。伸缩节在母线结构中必不可少，其对母线的安装、使用，起着关键性的作用。伸缩节按其其在母线结构中所起的主要作用，分为轴向型伸缩节、径向补偿型伸缩节和碟簧平衡型伸缩节。

图3所示为轴向型伸缩节，在GIS母线中广泛

应用,其通过自身的波纹管的变形,实现补偿所连接设备的尺寸变化。

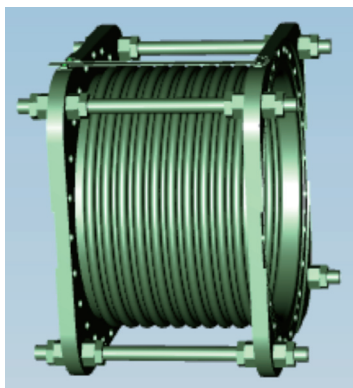


图3 轴向型伸缩节

图4所示为径向补偿型伸缩节,其两端为轴向型伸缩节,通过拉杆将其组合在一起,通过轴向型伸缩节的变形,实现其整体在径向的变形。径向补偿型伸缩节的伸缩量与中间的直筒长度相关,实际应用时,根据所需补偿量的大小,选择合适长度的直筒。径向补偿型伸缩节可实现较大长度的补偿。图4中, L 为径向补偿型伸缩节的总长; α 为变形角度; L_1 为补偿尺寸, $L_1 = L \cdot \tan \alpha$ 。

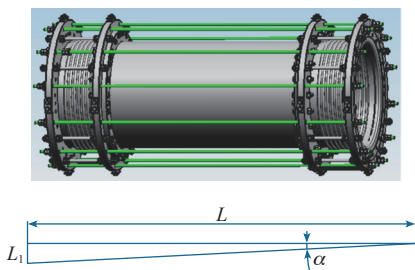


图4 径向补偿型伸缩节

图5所示为碟簧平衡型伸缩节,可吸收轴向的变形,承受设备内部压力产生的推力。其通过

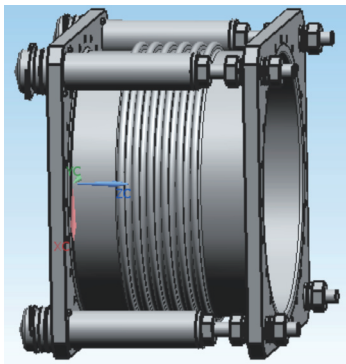


图5 碟簧平衡型伸缩节

自身的波纹管的变形,实现补偿所连接设备的尺寸变化。碟簧在装配时被施加以预紧力,当碟簧平衡型伸缩节两侧所连的设备轴向尺寸发生伸缩时,碟簧平衡型伸缩节的波纹管相应地发生轴向尺寸伸缩,碟簧被释放或压紧。

在安装和运行中,通过伸缩节的作用,补偿母线在温度变化、偏差等因素下产生的各种位移和变形。伸缩节的伸缩量有规定的范围,在实际应用中不得超出该范围,否则会导致自身损坏。伸缩节的设置需综合考虑,由于地基中环境温度变化引起的所有连接点总位移、整个母线由于母线温度变化引起的总位移、整个热效应位移、安装中的偏差和伸缩节可允许的变形等因素。

典型的母线结构

根据母线在GIS整体结构中所处的位置,一般分为以下几种典型结构。

1. 无补偿功能的母线结构

如图6所示,为无补偿功能的母线结构,仅实现母线的导电、绝缘功能。



图6 无补偿功能的母线结构

2. 采用轴向型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

如图7所示,为可以进行轴向补偿的母线结构,通过轴向型伸缩节的轴向伸缩实现对母线的轴向补偿功能。在母线转角处,用来调节母线轴向的尺寸偏差。



图7 采用轴向型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

3. 采用径向补偿型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

径向补偿型伸缩节在应用中可以单独布置,也可以组合布置。图8所示的单个径向补偿型伸缩节在与母线垂直连接时,可实现对母线的轴向补偿功能。通常布置在母线端头、母线与本体、分支等的连接处。图9采用的组合径向补偿型伸缩节,按结构称作U形补偿单元,通常用于长母线的中部位置,可以水平或者垂直布置,可实现两侧母线的轴向补偿。



图8 采用单个径向补偿型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

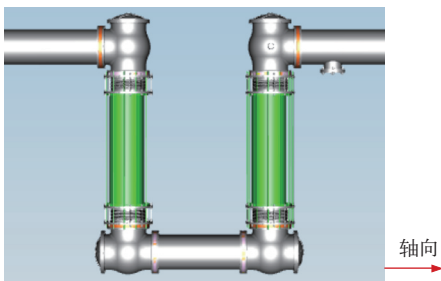


图9 采用组合径向补偿型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

4. 采用径向补偿型伸缩节实现径向补偿的母线结构

径向补偿型伸缩节在与母线轴向连接时，如图10所示，实现母线的径向补偿。用于长母线地基的接缝处，水平布置，补偿基础因沉降原因导致的高度差。在母线转弯较多时，用来调节各层之间的高度偏差。

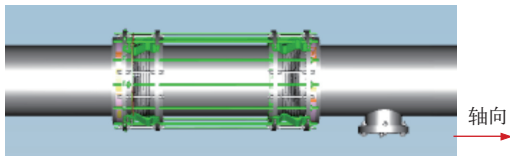


图10 采用径向补偿型伸缩节实现径向补偿的母线结构

5. 采用碟簧平衡型伸缩节实现轴向补偿的母线结构

碟簧平衡型伸缩节能够吸收轴向的变形，且能够较好地承受母线内部压力引起的推力，如图11所示。图12所示为550 kV GIS与变压器连接的分担部位，离地面较高不易布置固定支架，且考虑变压器的振动等影响，此处通常设置碟簧平衡型伸缩节，用于补偿安装时的地基偏差、安装误差

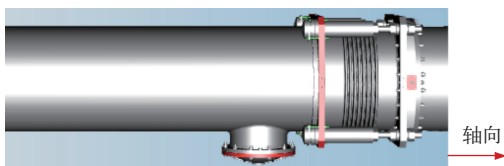


图11 采用碟簧平衡型伸缩节实现轴向补偿的母线结构（一）

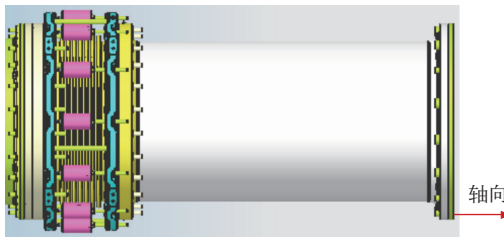


图12 采用碟簧平衡型伸缩节实现轴向补偿的母线结构（二）

及设备尺寸偏差；在运行时，可较好地补偿变压器因振动产生的位移和压力。

母线安装

1. 划线

在设备安装前，检查确认基础、预埋件、电缆沟及接地点等符合图样和标准要求后，进行间隔和母线的中心线划线。在基础划线时，对伸缩节布置处的法兰面位置、固定支架的中心位置，在基础上标注，作为安装基准点。

2. 安装及固定

根据设备具体结构，一般以设备中间间隔作为基准，依次向两边铺开。按照所划的间隔及母线的中心线进行各间隔本体和主母线的就位和安装，最后安装分支母线部分。每安装完一串本体之后可以安装对应的主母线段，每串本体设备安装时，先安装中间间隔，再安装两边的间隔。最先安装的断路器在就位后，需自两端盖板处拉等高线，确保断路器水平及三相等高。

在一条母线中，有多个固定支架和滑动支架。每安装一段母线，需要及时固定。通过将该段的支架底部与预埋件焊接或与基础锚接进行固定。支架固定时，确保固定支架底板中心处于划线确定的基础的中心位置。

GIS设备是一个整体，其各部分的安装息息相关。设备本体、串内设备和母线等，任一部分的安装存在偏差、误差，将会影响后续安装部分的正确性。GIS规模越大，累积的安装偏差越大，会导致后安装部分偏离基础中心，严重时甚至出现设备无法对接的情况。

3. 安装中的伸缩节调整

伸缩节在工厂内安装和运输过程中两端处于紧固状态，伸缩节尺寸为理论长度。现场安装时原则上不调整伸缩节。在需要通过调整伸缩节才能正确安装的情况下，允许现场安装时进行伸缩节调整。在出现以下情况时，可以调整伸缩节。

1) 因安装中的累积误差导致母线与基础、对接部位出现较大偏差，无法正常安装时。

2) 已安装母线段偏离所划中心线，继续安装将导致更大的偏离时。

3) 在温度极高（极低）、昼夜温差较大的季节和地域，母线的热胀冷缩效应明显，在安装过程中需要调整伸缩节才能正确安装时。

在调整伸缩节时，严格按照规范进行操作，伸缩节的伸缩量不得超过理论允许值，当出现调整伸缩节仍无法减小偏差至允许值的情况下，需要重新调整母线装配。

以轴向型伸缩节为例，工厂内安装和运输过程中两端处于紧固状态，伸缩节尺寸为理论长度。在现场安装中进行调整时，需将远离固定支架一侧的法兰处的螺母松开（轴向型伸缩节一侧应布置固定支架）。松开法兰外侧的螺母时，伸缩节可产生伸长效应，轴向尺寸伸长；松开法兰内侧的螺母时，伸缩节可产生缩短效应，轴向尺寸缩短。

现场安装中对伸缩节进行调整，一定程度上，消耗掉一部分的伸缩节补偿量，使得设备在运行过程中伸缩节补偿量减小。为了保证伸缩节在设备运行过程中的补偿作用，在某段设备安装后，应将伸缩节尺寸调整到靠近理论尺寸（ L ）为宜，通常不超过 $L \pm 5 \text{ mm}$ 。

4. 安装中的其他注意事项

安装受多种因素影响，必然存在一定的偏差，这些因素有因安装水平导致的安装偏差，基础不均匀沉降产生的母线径向变形，因环境温度、日照引起的热胀冷缩效应产生的母线轴向伸缩等。安装中可采取一些措施减小该类因素的影响。

(1) 提高安装人员的业务素质，减小安装误差

对于安装误差，毋庸置疑，提高安装人员的业务素质至关重要。GIS厂家应派有经验的现场作业人员进行技术和安装指导，对项目的结构、特点、安装计划、安装要点及注意事项等进行详细的交底，与电站、安装单位和试验单位的工作人员及监理充分沟通，协调一致，确保GIS安装的正

确性并顺利进行。

(2) 提高土建施工质量，合理控制基础沉降

提高土建施工质量，可将基础不均匀沉降控制在合理范围内。土建施工包括电站的厂房、道路、地基、基础预埋件布置和接地点布置等的施工。电站的GIS等电力设备的布置和固定都要依靠可靠的地基及基础预埋件布置、接地点布置的施工。电力设备的安装对地基水平度、高差和硬度等有严格的要求，对基础预埋件的施工提出严格的强度、刚度、水平度和高差要求。地基明显的沉降、相邻的基础预埋件高度偏差较大等，将会导致电力设备安装困难、局部整劲，甚至造成电力设备漏气、放电故障。在运行时，基础预埋件的刚度不足将会导致基础预埋件被拔出、损坏，从而与其相连接的支架失去固定作用，造成设备局部固定不足，从而给设备的安全运行带来隐患或造成设备故障发生。

(3) 制订合理的安装计划，科学施工

我国大范围地区夏季的日温差逐年加大，给GIS的户外安装和安全运行造成很大的挑战。GIS的安装计划要及时根据气温变化调整，合理安排户内、户外安装步骤，科学安排施工时间。根据多起安装和运行实例反馈，热胀冷缩效应对于长母线的影响非常大。在甘肃、新疆等西北地区，夏季、秋季的日温差较大，为避免母线热胀量较大导致误差过大无法进行正确的安装和固定，两个固定支架段内的母线应放在集中的时间段内完成并选择气温回落的时段及时固定。

在内蒙古、东北等地区，每年的十月下旬开始，室外气温极低，不建议进行GIS的户外安装作业。即使是在室内作业，也应采取温控措施，及时添加加热设备，满足GIS安装的开工要求。

母线的应用与安装实例

为了满足母线的使用要求，在设计母线时，通常组合采用轴向型伸缩节、径向补偿型伸缩节和碟簧平衡型伸缩节，以应对母线在安装和运行中发生的各种偏差和变形并进行补偿。固定支架和滑动支架组合使用，满足对母线的固定和支撑。

母线的长度伸缩与母线材料的热膨胀系数、支撑母线的基础的热膨胀系数、温差、日照和母线运行时自身产生的热效应等因素有关。母线的长度伸缩量，应为母线自身的伸缩量与基础的伸缩量之差。通常在工程应用中，采用以下简化计

算式进行计算。

$$\Delta L = Lk_1(T_1 + T_2 + T_3) - Lk_2T_1$$

式中, ΔL 为外壳与基础的相对伸缩量, 单位为mm; L 为母线的理论长度, 单位为mm; k_1 为外壳的热膨胀系数; k_2 为基础的热膨胀系数; T_1 为当地的最高日温差, 单位为K; T_2 为母线运行产生的外壳温升, 单位为K; T_3 为因日照产生的外壳温升, 单位为K。

某地区的最高日温差 $T_1 = 18\text{ K}$, 母线运行产生的外壳温升 $T_2 = 22\text{ K}$, 因日照产生的外壳温升 $T_3 = 10\text{ K}$, 铝质外壳的热膨胀系数 $k_1 = 23.9 \times 10^{-6}/\text{K}$, 钢质基础的热膨胀系数 $k_2 = 11.7 \times 10^{-6}/\text{K}$ 。根据上述计算式可得, 该地区的母线相对伸缩量为 $\Delta L = 0.98\text{ mm/m}$, 母线的伸缩量为 1.19 mm/m , 基础的伸缩量为 0.21 mm/m 。对于户内母线, 可以忽略日照对其的影响。

某站550 kV GIS的平面布置图(局部)如图13所示。在本体部分, 连接相邻两台断路器之间的母线段, 如序号1所示, 采用轴向型伸缩节以补

偿、调整两台断路器之间的轴向尺寸伸缩。在进出线分支母线段, 因为分支母线较短, 在拐弯处设置轴向型伸缩节, 即可补偿、调整分支母线的轴向尺寸伸缩。在靠近土建地缝相接处, 如序号2所示, 轴向设置有径向补偿型伸缩节, 以补偿地基沉降。而该站主母线较长(单相长度约为260 m), 需要采用补偿量较大的径向补偿型伸缩节, 如序号3所示, 并且分段进行补偿及调整。设计中, 根据计算的变形量, 计算径向补偿型伸缩节的长度, 分段设置固定支架, 分段补偿、调整。

图14为该站的主母线伸缩节布置图(局部)。母线 M_1 通过分段固定, 分段补偿、调节的方式连接在一起。在安装时, 按照结构特点, 对母线进行分段安装, 分段固定。左侧端头的径向补偿型伸缩节对A段母线进行补偿、调节, 固定支架 C_1 和 C_2 之间的两个径向补偿型伸缩节对B段母线进行补偿、调节。固定支架与母线的法兰全约束固定, 安装时必须保证固定支架在划线确定的固定支撑点中心可靠固定。

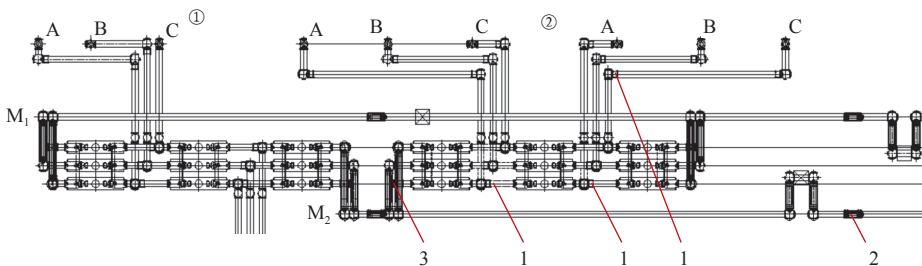


图13 某站550 kV GIS平面布置图(局部)
1—轴向型伸缩节 2、3—径向补偿型伸缩节

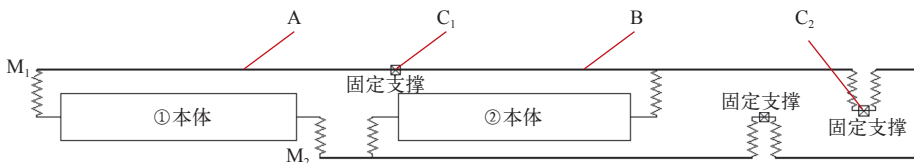


图14 某站550 kV GIS主母线伸缩节布置图(局部)

B段母线对母线的安装要求较高, 安装时必须充分考虑母线的相对伸缩量。只有母线长度回归理论尺寸, 才可以进行该段母线的固定。一般选择在气温回落, 伸缩量回缩之后的时段进行母线的固定。只有前段母线正确安装并可靠固定后, 方可进行相连接的下一段母线的安装, 严禁将大段母线甚至整条母线安装完后, 再进行固定支架的固定。

550 kV及以上电压等级的GIS通常间隔多、母线长, 导致安装周期长, 通常在三至六个月, 甚

至更长。安装跨越了较热和较冷的季节, 过程中温差变化较大, 安装必须重视热胀冷缩效应引起的设备尺寸的变化。

结束语

GIS设备的正确安装关乎设备的可靠性和电站的安全运行, 设计合理的母线结构并正确安装, 才能确保GIS母线得以长期安全运行, 给电力用户提供优质的产品。EA (收稿日期: 2017.07.04)

(编辑: 刘群彦)