

有压力平衡装置波纹管温度补偿器在组合电器中的应用计算

王军飞 朱传运 闫亚刚 胡劲涛

(平高集团有限公司, 河南 平顶山 467001)

摘要 本文介绍了有压力平衡装置波纹管温度补偿器的结构原理、设置原则，并结合工程设计不同的情况分别对补偿器调节的母线的长度范围进行了详细的应用计算。

关键词：补偿器；组合电器；固定支撑；计算

The Application Calculation of Composite Apparatus based on Bellows Temperature Compensator with Pressure Balancing Device

Wang Junfei Zhu Chuanyun Yan Yagang Hu Jintao

(Pinggao Group Co., Ltd, Pingdingshan, He'nan 467001)

Abstract This paper introduces the structure mechanism and setting principles of bellows temperature compensator with pressure balancing device, and according to different cases of engineering designs, it also conducts detailed application calculation for the adapting bus length of compensator.

Keywords: compensator; composite apparatus; fixed support; calculation

气体绝缘金属封闭开关设备(以下简称 GIS)中应用的波纹管补偿器主要有 3 种，即波纹管安装补偿器、有压力平衡装置的波纹管温度补偿器和压力平衡型波纹管温度补偿器。这里介绍有压力平衡装置的波纹管温度补偿器(以下简称补偿器)的相关应用及计算。

1 结构介绍

补偿器的主要元件有波纹管、碟簧组件和附件。具体结构分别如图 1 和图 2 所示。

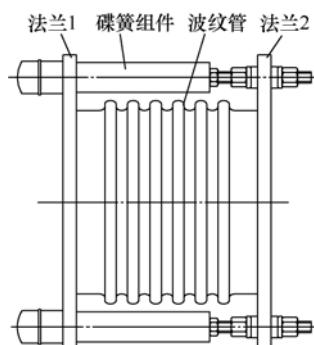


图 1 补偿器结构

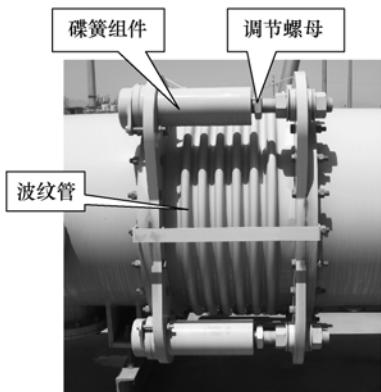


图 2 补偿器应用
图 3 所示为补偿器的波纹管。

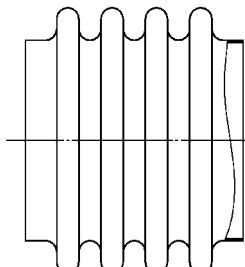


图 3 波纹管

碟簧组件的主要作用是用来平衡 GIS 气室内部气体的内压盲板推力，其内部有被压缩的碟簧垫圈作为平衡元件，由碟簧垫圈所产生的压缩力称之为预紧力，此预紧力等于 GIS 筒体内部气体在温度为 20℃时，额定压力下气体对筒体的两端的内压盲板推力。内部的碟簧垫圈每 2 个并联为 1 组，又由 n 组碟簧垫圈串联组成。

具体结构如图 4 所示。

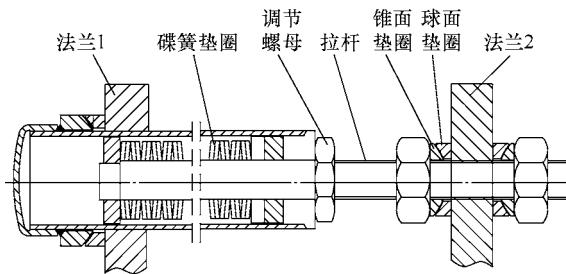


图 4 碟簧组件

补偿器碟簧组件预紧力的计算如下：

$$F_{\text{预}} = p_{20}A \quad (1)$$

式中， p_{20} 为环境温度为 20℃ 时筒体内气体的相对压力； A 为母线筒体内腔最大截面积。

2 补偿器的设置原则

对于有压力平衡装置的波纹管温度补偿节，为了保证设备筒体的热胀冷缩的尺寸变化由补偿器来补偿，而不是作用在 GIS 设备上，其调节范围内的筒体两端应设置固定支撑，并且主固定支撑的刚度值应大于补偿节的整体刚度。

这里应注意的是，必须在整条母线两端可靠固定的情况下才允许充额定压力气体，否则当时的环境温度大于 20℃ 时，母线内气体的盲板推力将大于补偿器的预紧力，此时补偿器被拉伸伸长，从而导致母线偏离理论安装位置。

3 补偿器的工程应用计算

补偿器工程应用中的理想模型如图 5 所示。

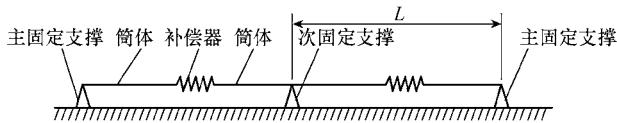


图 5 补偿器的理想应用模型

首先假定计算条件：

1) 固定支撑刚度（考虑地基的强度足够）大于补偿器总体刚度，筒体热胀冷缩引起的尺寸变形全部由波纹管吸收。

2) GIS 筒体的原始加工长度为环境温度为 20℃ 时的长度。

定义设计参数如下：

GIS 设备所在地的最高环境温度为 T_{max} ，取 40℃；GIS 设备所在地的最低环境温度为 T_{min} ；补偿器碟簧组件预紧力平衡时的温度为 20℃；设备正常运行时，壳体温升取 30K（运行人员易触及部位）；日照温升取 15K；铝合金筒体线膨胀系数为 α_1 , mm/°C · m⁻¹，取值 0.022~0.024；混凝土线膨胀系数为 α_2 , mm/°C · m⁻¹，取值 0.01~0.014；补偿器的最大压缩补偿量： $\Delta L_{\text{压}}$ ；补偿器的最大伸长补偿量 $\Delta L_{\text{伸}}$ ；补偿器可调节的筒体长度范围 L 。

则

在最高环境温度下，补偿器的压缩量计算为

$$\Delta L_{\text{压}} = L(\alpha_1 - \alpha_2)(T_{\text{max}} - 20) + L \cdot \alpha_1(30 + 15)$$

则

$$L = \frac{\Delta L_{\text{压}}}{(\alpha_1 - \alpha_2)(T_{\text{max}} - 20) + 45L\alpha_1} \quad (2)$$

在最低环境温度下，补偿器的伸长量计算为

$$\Delta L_{\text{伸}} = L(\alpha_1 - \alpha_2)(20 - T_{\text{min}})$$

则

$$L = \frac{\Delta L_{\text{伸}}}{(\alpha_1 - \alpha_2)(20 - T_{\text{min}})} \quad (3)$$

补偿器可调节的筒体长度取两者 L 中的较小值。

以实际户外工程为例，GIS 设备所在地常年环境温度为 -25℃~40℃，补偿器的补偿量为 ±10mm，则在 +40℃ 时补偿器所能调节的母线段长度为

$$10 = L(0.024 - 0.01)(40 - 20) + L \times 0.024(30 + 15) \quad (4)$$

式中， $L=7.4\text{m}$ 。在 -25℃ 时补偿器所能调节的母线段长度为

$$10 = L(0.024 - 0.01)(20 + 25) \quad (5)$$

式中， $L=15.9\text{m}$ ，即补偿器可调节的筒体长度为 7.4m。

补偿器设置示意图如图 6 所示。

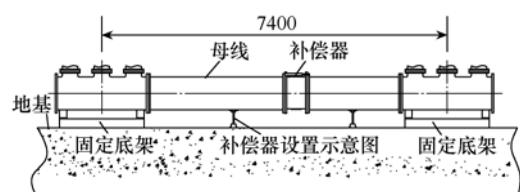


图 6 补偿器设置示意图

上述计算是整套设备布置在一整块地基上的情况，在这种情况下地基和筒体热胀冷缩方向对波纹管的作用是相反的，也就是说，地基和筒体的热胀

冷缩对补偿器作用发生了一定的抵消。有时因母线筒体的长度较长，整块地基的长度会较大，这时地基设计往往设置伸缩缝来避免因热胀冷缩对地基造成的破坏。为了配合这一设计，GIS 会在地基伸缩缝处设置膨胀节来补偿地基的热胀冷缩和不同地基相对沉降等尺寸变化。在这种情况下，筒体和地基的热胀冷缩方向对波纹管的作用是相同的，这时补偿器所接受的压缩量或伸长量因地基和筒体的同向热胀冷缩而增大，因此，在这种情况下补偿器的设置原则应重新考虑。下面就这种情况进行具体分析和计算。补偿器的实际应用模型如图 7 所示。

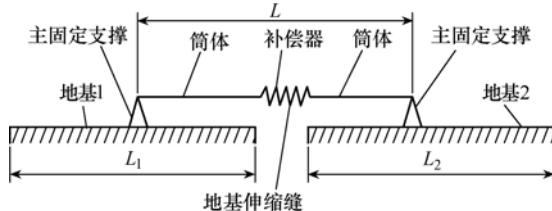


图 7 补偿器的实际应用模型

在高温环境下，筒体伸长压缩波纹管，地基 1 和地基 2 同样伸长压缩波纹管（如图 6 所示），两者同时压缩波纹管；在低温环境下，筒体收缩拉伸波纹管，地基 1 和地基 2 同样收缩拉伸波纹管，两者同时拉伸波纹管。

在最高环境温度下：

$$\Delta L_{压} = \left(\frac{L_1 + L_2}{2} - L \right) \alpha_2 (T_{max} - 20) + L \times \alpha_1 (T_{max} + 30 + 15 - 20)$$

则

$$L = \frac{\Delta L_{压} - \frac{L_1 + L_2}{2} \alpha_2 (T_{max} - 20)}{\alpha_1 (T_{max} + 25) - \alpha_2 (T_{max} - 20)} \quad (6)$$

在最低环境温度下：

$$\Delta L_{伸} = \left(\frac{L_1 + L_2}{2} - L \right) \alpha_2 (20 - T_{min}) + L \alpha_1 (20 - T_{min})$$

则

$$L = \frac{\Delta L_{伸} - \frac{L_1 + L_2}{2} \alpha_2 (20 - T_{min})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(20 - T_{min})} \quad (7)$$

同样，对补偿器可调节的筒体长度取两者 L 中的较小值。

仍以上述实际户外工程为例，地基 1 和地基 2 总长度分别为 19m，则在+40℃时补偿器所能调节的母线段长度为

$$10 = \left(\frac{19+19}{2} - L \right) \times 0.01 \times (40 - 20) + L \times 0.024 (40 + 30 + 15 - 20) \quad (10)$$

式中， $L=4.6\text{m}$ 。在-25℃时补偿器所能调节的母线段长度为

$$10 = \left(\frac{19+19}{2} - L \right) \times 0.01 \times (20 + 25) + L \times 0.024 (20 + 25) \quad (9)$$

式中， $L=2.3\text{m}$ ，即补偿器可调节的筒体长度为 2.3m，补偿器设置示意图如图 8 所示。

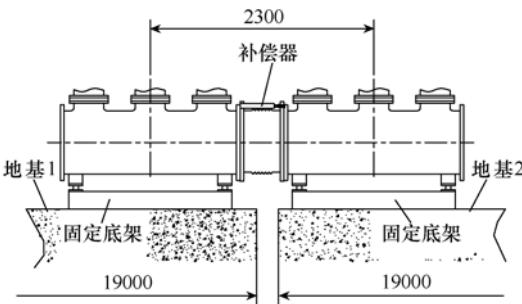


图 8 补偿器设置示意图

以上所有计算均假定当 GIS 现场安装时，周围的环境温度为 20℃，但在实际产品安装时很难实现在环境温度 20℃条件下进行安装，在这种情况下，GIS 筒体在安装时其自然状态就已经伸长或收缩，故此时补偿器的安装长度不再是原始理论长度，而应该根据筒体的实际伸长或收缩量对补偿器进行人工补偿调节，以保证补偿器在环境温度 20℃下的理论状态。下面对补偿器的安装长度进行计算。

设 GIS 安装时的环境温度为 T ；补偿器的理论长度为 $\Delta L'$ 。

补偿器的人工补偿量（注：有日照时考虑日照温升，此处计算忽略日照的影响）为

$$\Delta L' = L \alpha_1 (T - 20) \quad (10)$$

则补偿器的安装长度为

$$L_{安装} = L - \Delta L' \quad (11)$$

4 固定支撑的受力计算

母线固定支撑是起支撑母线、设置固定点、将母线分段和限制约束母线的位移方向的作用。固定支撑分为主固定支撑和次固定支撑。主固定支撑主要承受母线内压产生的盲板推力、膨胀节位移时的刚度反力等，其支撑设置在母线端部；次固定支撑主要承受母线最大截面积与膨胀节有效面积的压力差等，其承受的力较之主固定支撑所受的力要小的

很多，故固定支撑受力按照主固定支撑进行计算。

下面对主固定支撑的受力情况进行计算。支撑计算模型如图 9 所示。

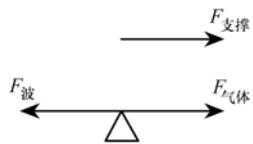


图 9 支撑计算模型

定义设计参数如下：

补偿器波纹管的刚度为 K_1 ；碟簧组件的刚度为 K_2 ；支撑所受的力为 $F_{\text{支撑}}$ ；波纹管对支撑的力为 $F_{\text{波}}$ ；气体对支撑的力为 $F_{\text{气体}}$ 。

计算在最高环境温度下：

$$F_{\text{波}} = F_{\text{预}} + (K_2 - K_1) \Delta L_{\text{压}} \quad F_{\text{气体}} = pS$$

则

$$F_{\text{支撑}} = F_{\text{气体}} - F_{\text{波}} \quad (12)$$

在最低环境温度下：

$$F_{\text{波}} = F_{\text{预}} + (K_1 + K_2) \Delta L_{\text{伸}}$$

则

$$F_{\text{支撑}} = F_{\text{波}} - F_{\text{气体}} \quad (13)$$

固定支撑所受的最大力取其两者中的较大值。

5 结论

在工程设计时，有压力平衡装置的波纹管温度

(上接第 119 页)

取 A、D 象限 2015 年 1 月至 11 月累计线损率异常的台区进行重点分析，发现台区线损异常主要是台区抄表管理和台区计量管理因素造成的，两者导致的台区线损异常占比接近 80%，其次是在管理过程中缺乏台区线损标准化管控、供电半径较大以及三相不平衡等因素造成的。

通过对临沧供电局线损异常台区的分析研究，临沧供电局着力从台区线损指标管理、台区线损统计分析管理、台区线损理论计算管理、台区用户抄表管理、台区电能计量装置管理五个维度构建符合地方实际情况的台区线损标准化管理模式。

台区线损指标管理是台区线损管理工作的核心，是完成台区线损目标管理的可靠手段；台区线损统计分析管理是台区线损管理过程中的重要环节，是制定台区降损措施的重要依据；台区线损理论计算管理是判断台区是否经济运行的依据，台区用户抄表管理是开展理论线损计算和统计线损计算数据的依据和来源，台区电能计量装置管理是台区

补偿器应根据工程当地的环境温度和工程具体设计进行如上计算，并进行科学合理地设置，保证正常发挥补偿器的作用，从而保证高压开关设备的正常运行。

参考文献

- [1] 徐开先. 波纹管类组件的制造及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，1998.
- [2] 王文斌. 机械设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004.
- [3] DL/T 5139—2001. 水力发电厂气体绝缘金属封闭开关设备配电装置设计规范[S].
- [4] JB/T 10617—2006. 高压组合电器用金属波纹管补偿器[S].
- [5] 刘俞铭. 波纹管设计计算与生产新工艺新技术实务全书[M]. 北京：北方工业出版社，2012.
- [6] GB/T 11022—2011. 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求[S].
- [7] GB 16749—1997. 压力容器波形膨胀节[S].

作者简介

王军飞（1979-），男，河南省平顶山市人，本科，工程师，从事高压电器的工程设计工作。

统计线损的准绳和数据来源。

4 结论

临沧供电局台区线损管理以创先工作为契机，以台区线损统计分析和理论计算管理为基础，以台区线损指标管理为导向，扎实推进台区线损基础管理工作，完善台区线损考核制度，有针对性的提升工作目标，逐步探寻建立符合临沧供电局特点的台区线损标准化管理模式。

参考文献

- [1] 王双. 波士顿矩阵的运用[J]. 企业改革与管理，2001(8): 36-37.
- [2] 赵晋. 波士顿矩阵分析在实际案例中的运用[J]. 中国高新技术企业，2008(8): 25.

作者简介

王家华（1982-），男，汉族，湖北宜昌人，大学本科学历，技师，工程师，主要从事电网运行方式安排、电网风险管控及电力调度管理等工作。