

[变压器]

环境温度对变压器温升影响的分析

文/大庆油田电力集团油田热电厂电气分厂 唐鹏翔

作为电力系统的关键设备，变压器对电力系统的平稳运行有着重要作用。变压器在运行过程中会产生热导致内部温度上升，从而对内部零配件的使用寿命造成一定的影响。在所有影响变压器温度的因素中，外部温度是主要影响因素。就环境温度对变压器温升影响的分析作简要的阐述。

电力的稳定供给对社会经济的健康发展有重要的作用，作为电力系统的核心，变压器正常运行对温度有一定的要求。由于外部温度的不可调节性，在冬夏两季变压器出现问题的概率也相对较大。现有的电力系统中常用的主要是油浸式变压器，结合变压器的自身的特点来看，温度的变化决定了变压器使用寿命的变化。

温升

变压器在运行过程中各部分的温度存在着不均匀性。在理论研究的时候，为了便于计算分析，通常会将绕组与铁心，油认为是温度均匀的发热体，同时忽略了油箱壁的温度。变压器的温度从开始启用到停止，温度会经历从零到上升保持平稳的状态，当停止工作的时候，温度又会慢慢地降到初始值。变压器各部分的温度由材料决定，材料的性质，变压器使用期限，自然环条件则决定了温升限值标准。对于油浸式变压器而言，在夏季外部的温度达到40℃时，绕组的平均温度的允许值为105℃，实际上最热点的温度可能会超过这一数值。

变压器温升的重要性主要体现在对变压器效率的影响。结合电磁学相关知识，在不考虑温升的前提下，可以用较小的铁心构成大容量变压器。铁心的截面应该更多地考虑到工作时的允许

温度而不是截面大小。

变压器散热

变压器散热主要有三种方式，在油浸式变压器中对流与传导有着重要的作用，热辐射作用也相对较小。相比较于自然油循环，强油循环的热辐射作用可以被忽略。而在自然油循环变压器中，起到主要作用的是传导，其次才是对流，最后是辐射。

对于热传导而言，热量的传递从铁心及绕组产生进入到冷却介质。在具体的传递路径上，铁心产生的热通过表面，绕组产生的热通过绝缘包层。物质的不同形态之间会存在温度差，温度差的存在就会产生热量的交换，变压器内部组件如绕组，油，铁心与外界的交流工作都是通过热对流的方式进行的。对于变压油而言，温度与压力的变化会导致体积的变化，在温度的作用下使的油的体积发生变化产生流动从而达到冷却效果。自然油循环变压器中增加温度导致了流体体积的增加，流体的密度相应减小，受到重力作用，变压油上升，将热量传递到周围的空气中。热量散发后，密度变化在重力作用上油会回到原来的位置，并吸收新的热量，形成循环从而实现散热降温的效果。周围的空气在受热的情况下也会出现体积的变化，但是空气在流动的过程中并不会由

于热量的散发而回到原来的位置，而是由同样密度的空气流动补充。

物体在自身的温度高于周围环境温度的时候都会产生一定的辐射将热量传递。变压器内部的组件由于在材料上有一定区别，在受热之后会存在温度差。存在温度差就会存在热辐射。相对于热传导与对流，热辐射的量可以被忽略。对于强油循环的变压器来说，油的循环流动是主要的散热因素，辐射对于变压器温升的作用较小。而对于自然油循环变压器来说，向外界散热的主要的途径就是对流。由于油流动速度较缓慢，辐射的作用小到可以忽略。

变压器冷却方式

1. 油浸自冷式

此种方式下，热量散发主要是经过油箱的冷却外表面，散热的方式主要是辐射及对流。大容量的变压器必须要人为地增大油箱外壁与周围环境的接触面。常用的方法是在油箱壁垂直方向加装散热器或者是油管，在增大面积的同时促进了对流。

2. 油浸风冷式

此种方式是将吹风装置加装于散热器之上，通过增大对流系数，提升变压器的散热与冷却能力。

3. 强迫油循环式

变压器无油管及散热器时，油流经管道及油泵导入到冷却器，经过冷却的油重新回到变压器。冷却器可以分为两种，强油水冷与强油风冷。对于前者而言自身的结构较为复杂，耗水量大，对环境条件有一定的要求，但是效率高。

4. 其他冷却的方式

其他的冷却方式如蒸气冷却。该种冷却方法的原理是利用液体的汽化对热量进行吸收，从而达到冷却的效果，进一步提升变压器的运行效率。该种方式的难点在于冷却液体的确定，该种冷却液体必须要冷却的效果好，沸点要低，介电强度要高，防火，化学结构要稳定。

温升的影响因素分析

1. 负载系数

负载系数的增大会导致绕组的温度相应增加，温度上升经历了一个多变过程。首先是温度缓慢上升，并随着负载损耗不断增加，温度上升的速度会进一步加快，在达到一定程度之后就会

放缓。通过对实践总结可以得出，负载系数的变化的范围在0.6以内的，温度上升的范围在20K。平均温度在负载系数内，温度上升的幅度要小于非平均状况下温度上升的幅度。相对于低压绕组而言，平均温度的上升与损耗是保持同步的，并且中层的平均温度最高，外层的平均温度最低，内层的绕组居于中间位置。铁心的温度变化情况相对较为平缓，其增加的值均低于高低压绕组的最高及平均温度。其原因就在于铁心的损耗并非与负载系数保持同步增长，主要的影响来自于低压绕组的温升。

2. 散热器

散热器散热的中心位置是随着散热器高度的变化而变化的，高度增加，散热中心位置的高度就会相应的增加。其原因就在于高度的增加，受到重力作用，在竖直上方向流动的速度也会相应增加，热量的置换能力就会相应提升，冷却效果就会较好。在势能增加的前提下，在散热器的下端油的流动速度会相应增大，从而改变了整体的油流动的状况，冷却的效果自然就得到了提升。

3. 水平油道高度

在变压器设计方面，考虑成本问题，同时压缩变压器的体积，油道的宽度适当地被减小。相关试验已经证明了，在油道增宽的情况下，由于增宽油道后，油流的速度由于线饼间的阻力减小而进一步加快，对流散热的作用就更加明显。但是散热的效果并不是无限增加的。当管道的宽度达到一定数值时，温升减缓的作用就不是那么的明显，此时的原因就在于油流动速度没有较大变化，对流的效果也不是特别明显。

4. 环境温度

对流与辐射换热的效果与外界的温度有着密切联系。温升的增幅与环境温度的变化呈正相关。环境温度升高，变压器绕组与铁心的温度就会相应增高。环境温度越低越利于变压器散热。

从变压器的内部来看，绕组的增温速度要远远高于铁心的最高及平均温度，其原因在于各自的结构不同，绕组的结构相对较为复杂，油道也较多，在高温条件下油流动的速度也比较快，散热的效果也较好。而铁心的表面只有油道冷却，效果无法与绕组相比。

温度对绝缘老化的影响

变压器最为核心的部分就是绝缘，主要有两

个部分，油，固体绝缘。变压器在运行的过程中会受到温度，水分，热量，氧气及相关材料的催化作用而逐渐老化，影响到变压器的使用寿命。对于油来说可以更换，但是对其他的固体绝缘物，老化的过程是不可逆的。

变压器油的主要的成分是烷烃、环烷烃、少量的芳香烃，绝缘及抗氧化的能力都较强。由于变压器是密封的结构，外部的水分及氧气难以进入，但是油本身能够溶解一定量的含氧气体，在高温条件下纤维素会分解一定的氧和水，温度越高，油的老化速度就会越快。

绕组绝缘主要是油纸结构，随着设备运行时间的增加会发生一定的变化，其劣化的速度主要由温度、湿度、氧气的浓度决定，在所有因素中最关键的就是温度。相关的研究已经证明：导线保持其力学性能的温度在一定的范围内。在这个温度范围内，材料中的某些元素会发生热降解，

并且随着温度的升高，降解的速度同步加快，降解的过程会受到水与氧的作用，变化更加剧烈。

为了保证有效使用寿命，应该将变压器的温度变化控制在一定的范围内，研究表明，温度在80℃以下时，纸绝缘发生劣化的情况很小。但是使变压器保持在这样的温度下，不具有合理性，因此在设计的过程中要设定合理的温度范围。

结束语

变压器运行过程中，除过自身产生的温度还会受到外部温度的影响，考虑到变压器散热原理及影响因素，在外部环境因素无法有效改变的前提下，尽可能地对内部环境进行改良，将运行时的温度限定在合适的范围内。保证变压器正常工作，从而为电力系统的正常运行提供相应的保障。EA

(收稿日期：2016.07.18)

(编辑：白文亭)

2017中国天津（京津冀）国际装备制造业发展论坛 暨工业城市、工业园区京津冀推介会在津召开

2017年3月9日，2017中国天津（京津冀）国际装备制造业发展论坛暨工业城市、工业园区京津冀推介会〔以下简称：（京津冀）装备发展论坛〕，在天津梅江会展中心隆重召开，国内相关地方政府代表、企业代表、工业园区代表以及百余家主流新闻媒体共同参加了本次活动。

在京津冀协同发展、《中国制造2025》和供给侧改革进程不断加速实施的大背景下，京津冀区域其制造业发展优势日益突出，在新一轮产业规划建设中地位尤为重要，行业影响力引发行业和各地方政府广泛关注。本次活动共有来自河北省工信厅、山西经信委，以及自贡市、攀枝花市、玉溪市、双鸭山市、天水、玉林市和韩城市等地方政府、工业园区参加本次活动，宣传地方产业优势，对接京津冀产业资源。

（京津冀）装备发展论坛得依托第十三届中国（天津）国际装备制造业博览会（简称“中国制（工）博会”）举办。中国制（工）博会是中国工业领域著名的品牌展会，以展会实效性著称于业界，集品牌展示、技术交流、贸易合作、宣传推广于一体的综合性平台，已成为我国工业企业采购设备及原材料的权威平台，及海内外装备制造业了解市场动向、发布前沿信息的重要窗口，在业内影响广泛。本届展会展出面积近90 000 m²，有来自全球20多个国家和地区的近90 000人次专业买家到场参观及采购，展会国际化比例达到25%。

（京津冀）装备发展论坛依托京、津、冀三地制造业优势，立足中国经济新环境，关注制造业有序转移承接，关注产业向智能化、绿色化和服务化转型升级，推动中国制造业产业价值链向高端迈进。