

油浸式自冷变压器及其冷却系统内流动的数值模拟

Numerical Simulation Of Flow in Oil-immersed Natural Cooling Transformer and its Cooling System

白书战 胡玉平 李鹏飞

山东大学能源与动力工程学院

摘要：本文应用 Pro - star 对一油浸式自冷变压器及其散热片内的流动进行了数值模拟，变压器油的参数都采用随温度变化的函数，真实的模拟了整个自然对流循环过程，从模拟结果来看，所有散热片内的流动情况非常均匀，能够满足变压器的散热需要。

关键词：变压器、散热器、CFD、STAR - CD

Abstract : This paper presents a numerical simulation of a oil-immersed natural cooling transformer and its cooling system, the parameters of the transformer are the function about temperature, the natural convection of the transformer was simulated in this paper. the cases of flow in every radiator were well-proportioned according to the result, so the condition simulated satisfied the cooling need of the transformer.

Key words: Transformer、radiator、CFD、STAR - CD

1 引言

随着国民经济的飞速发展和人们生活水平的不断提高，对电力系统可靠运行的要求越来越高；而电力变压器是电力系统的枢纽设备，其运行的可靠性直接关系到电力系统的安全与稳定。随着变压器容量的不断加大，变压器的散热器问题也不断突出，因此对变压器热性能的研究成为变压器研究领域的热点问题。

变压器运行时，由于电阻和磁阻的存在，铁心、线圈和钢结构构件中均要产生损耗。其中线圈中的损耗要占总损耗的 80% 左右，为了使变压器各部分的温度都不超过规定的限值，必须保证热量能有效的散出去。导向冷却结构变压器中的油在内外温差所产生的浮升力的推动下，从油箱底部进入，经过绕组加热流向油箱顶部，然后流经冷却器循环冷却。片式散热器是中小型变压器普遍选用的散热器型式，其工质变压器油再自然循环状态下运行，无需能动部件。片式散热器结构如图 1 所示，片式散热器一般是多组并排安装在变压器两侧，每一组散热器由一定数量的散热片与上下集油管连通构成。每个散热片由两片铁板压焊而成，形成若干竖直油道。来自变压器的热变压器油通过集油管分配到各散热片，经竖直油道自上而下流动，将热量不断从片外侧借助对流空气带走。冷却后的变压器油汇集于下集油管流回变压器。

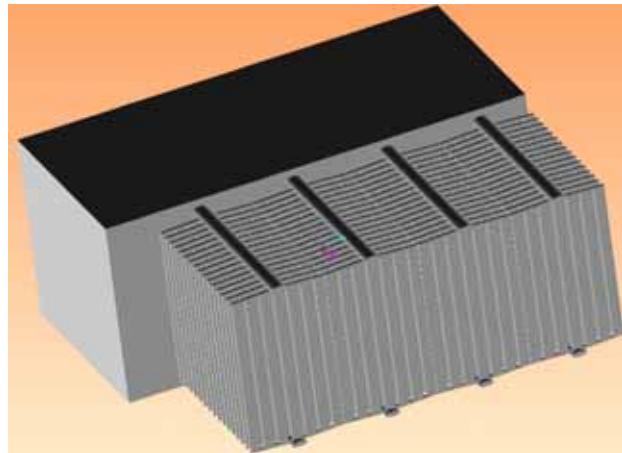
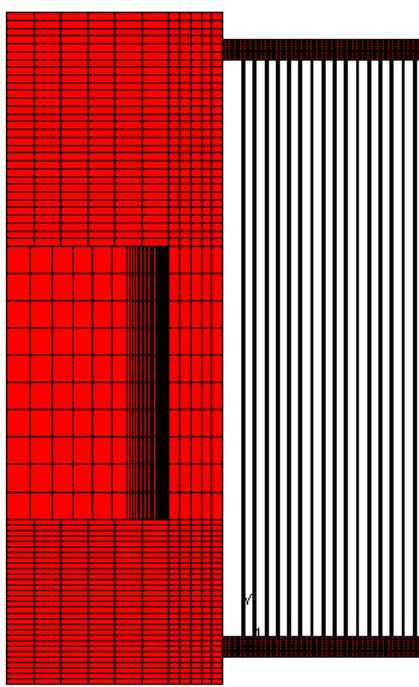


图 1 片式散热器三维结构模型

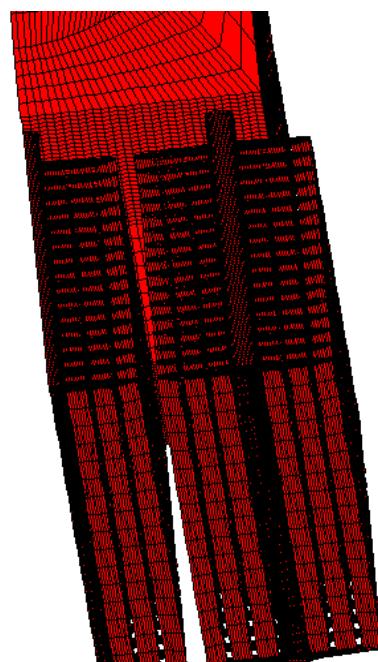
2 计算模型的建立

2.1 几何模型及网格的划分

首先应用 Pro/E 建立了变压器、连接管道和散热器的三维几何模型，如图 1 所示。将面网格导入到 Pro - star 中，取单个绕组的 1/4 进行计算，在保证计算网格质量的前提下，为了提高计算速度，应尽量减少网格的数量，本模型采用 BLOCK 技术，手动生成计算网格。在散热器内，由于变压器油的粘性比较大，并且是自然对流循环方式，因此流动方式为层流，在散热的过程中，从油到壁面的热边界层对于换热有重要的影响，因此要着重考察热边界的影响。在网格划分时，由外到内在厚度方向上采用不均匀网格，由外到内网格厚度上为等比数列分布。这样既保证了网格的精度，又减少了网格的数量。在变压器内部，由于形状比较规则，采用尺寸较大的网格。网格总数为 496488，总的节点数为 620718，Couple 总数为 9266，计算网格如图 2 所示。



(a) 网格左视图



(b) 三维视图

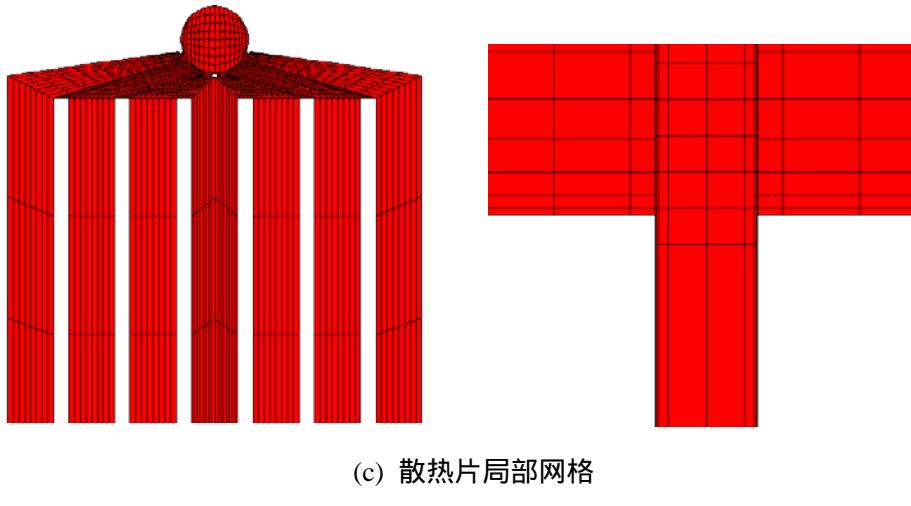


图 2 计算区域网格划分

2.2 边界条件的设定

变压器油的密度、粘度、比热以及导热系数都是随温度变化的，在计算中都设定为温度的函数，如表 1 所示，使用范围为 $10 \sim 100$ 。变压器的损耗 80% 以上集中在绕组线圈处，因此将变压器绕组设定为整个自然对流循环的加热面，将绕组上的功率损耗换算成绕组表面上的热流密度；散热器的表面设定为散热面，温度设定为夏天的最高空气温度，将对流换热系数换算成流体表面到空气的热阻，其余的除对称表面外都假定为绝热面。在计算中设定 Y 的负方向为重力加速度方向，设定浮升力计算项，设定 $(0, 0, 0)$ 水平面为基准面，参考密度为变压器油在 50 时的密度。边界条件如表 2 所示：

表 1 变压器油参数随温度的变化关系

变压器油参数	温度的函数
密度 (kg/m^3)	$\text{DEN}=877.059*(T-273.)$
动力粘度(kg/ms)	$\text{ISM}=11.71*\exp(-0.02*T)$
比热(J/kgK)	$\text{CP}=1791.3+5.0453*(T-273.)$
导热系数(W/mK)	$\text{CON}=0.1255-0.000065*(T-273.)$

表 2 边界条件设定

	边界类型	边界条件
绕组表面	加热面	热流密度 $19774 \text{ W}/\text{m}^2$
散热片外表面	散热面	温度 40°C ，热阻 $0.04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
对称面		
其余	绝热面	

3 结果分析

3.1 流动结果分析

本文对变压器油在变压器和散热器内部的自然对流循环进行了三维数值模拟。在中心截面上的速度矢量分布如图 3 (a) 所示，散热器内的流速如图 3 (b) 所示，由结果可以看出，

流速最大的地方出现在变压器到散热器的进出口位置，在变压器内绕组的上下部分均有较大的漩涡出现。由于变压器和散热片间的连接管道直径为 80mm，相对于较小的管道与散热片间的连通面积而言，可以起到较好的稳压作用，因此每片散热器内的流速分布非常均匀，在每片散热器中，自上而下成明显的层流状态，如图 3 (b) 所示，在截面上的流速成抛物线分布。

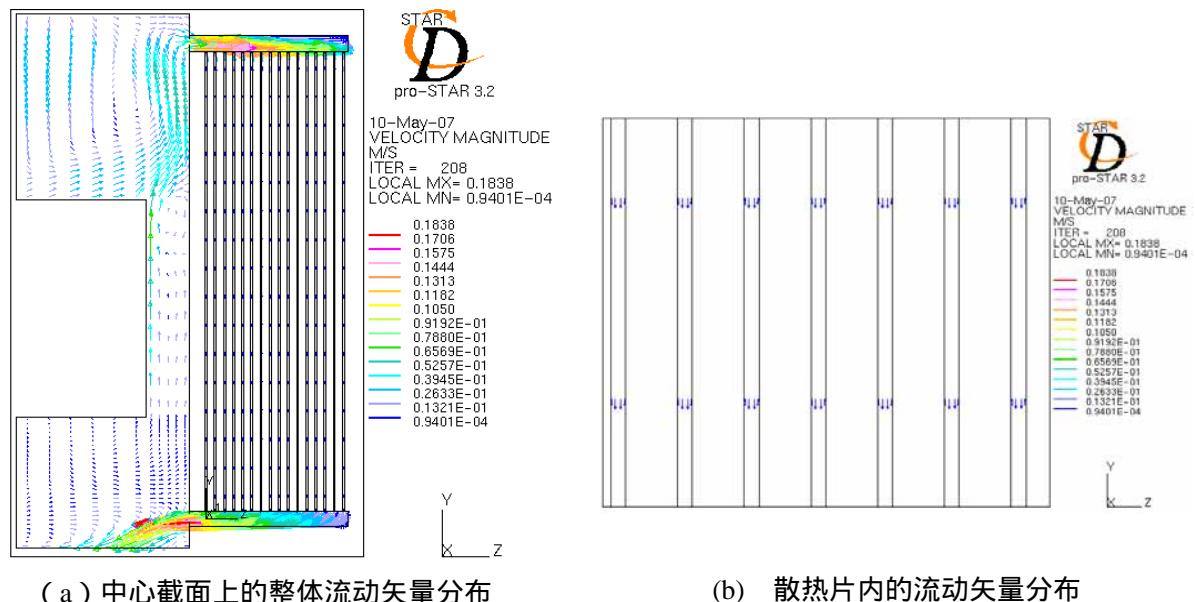


图 3 中心截面上的流动矢量分布

3.2 温度分布结果分析

如图 4 为中心截面上的温度分布，在模型中仅有变压器内的绕组为热源，在变压器内部变压器油由下向上流动，最高温度出现在变压器的上部；在散热片内，流体由上向下流动，经过散热片的冷却，然后流入变压器内，并且在散热器与变压器的下部连接管道处出现最低温度，从而在冷却介质在变压器和散热片内进行自然对流循环。由图 4 (a) 可以看出，最高温度为 356K，低于标准规定的 358K (85)。

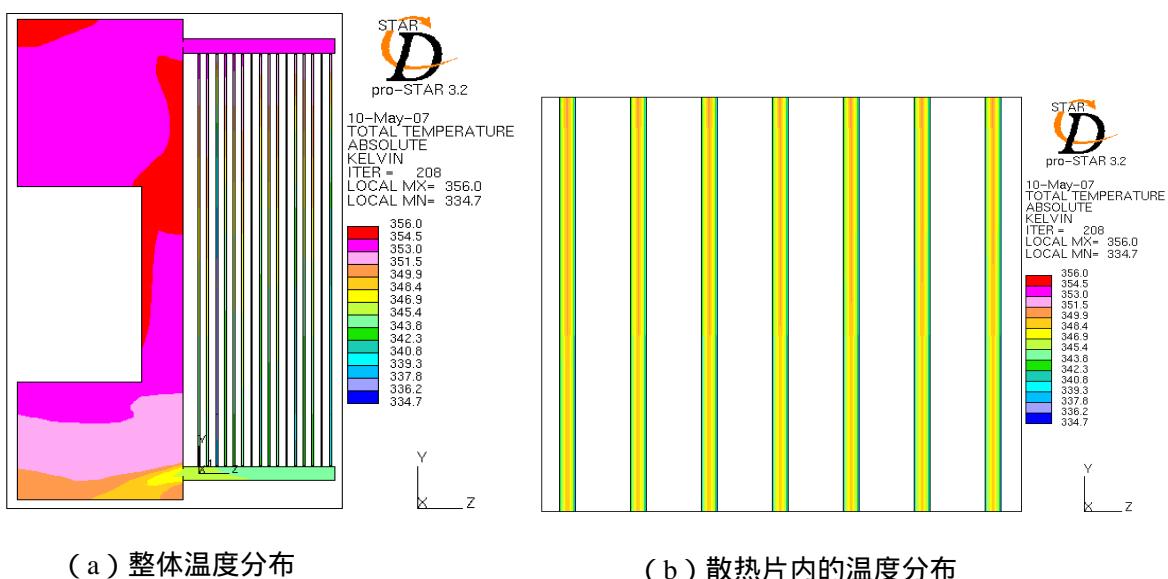


图 4 中心截面上的温度分布

3.3 密度分布

如图 5 为流通区域的密度分布，在计算中密度是温度的一次函数，由对应图 4 温度分布结果可以看出温度最高的地方对应的密度最小，在散热片内，整体上由上到下密度逐渐增加，密度最小的地方出现在散热片的边界处，因为此处为散热面，温度最低。

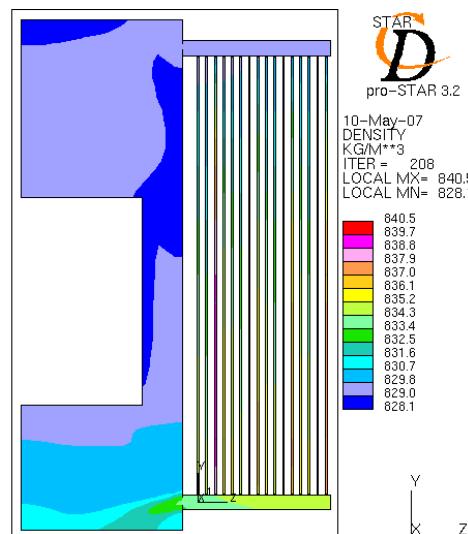


图 5 中心截面上的密度分布

4 结束语

通过对变压器及散热器内冷却油的自然对流循环的 CFD 计算，分析了整个流场的速度矢量分布、温度分布及密度分布，结果表明该散热器完全能够满足该种型号的变压器的散热要求。这说明 Star - CD 软件在电力系统散热元件的现代优化与设计中发挥着重要的作用。

参考文献

- [1] 丛龙飞，冯恩民，郭振岩等。油浸风冷变压器温度场的数值模拟。变压器，2003，40(5)，1-5
- [2] 刘枫林，徐魏。石蜡基和环烷基变压器油的性能比较。高桥石化，2004，12，6-9
- [3] 马书杰，张玲俊，于会民等。超高压换流变用变压器油。电力设备，2004，5(11)，79-82
- [4] 袁道君。浅谈油浸式自冷变压器冷却系统优化方案。湖北电力，2005，29(12)，17-19