

我对工频变压器设计软件的现状的看法

中国三江航天集团 黄永吾

「摘要」本文介绍了工频变压器设计软件的现状。分析了软件编制中的部分重要问题。可供软件编制、实验者参考

改革开放以来。变压器生产企业得到了春天的雨露，象雨后春笋一样蓬勃发展起来，在当时的条件下，大、中专生分配不到开放地区，也认识不到开放地区的“金饭碗”。但开放地区的电子变压器行业也要发展，大批高中以下（含高中）文化程度的优秀人才，脱颖而出，用师父带徒弟的方法填补了工程技术人员的空白。经过几年的锻炼，他们熟练的掌握变压器的设计工作，对工作精益求精。一些变压器参数，不需翻阅资料能背的滚瓜烂熟。不少人在理论上也有不小的进展。

中国有句俗语叫“名师出高徒”，既然是由师父带出来的，师父水平的高低、能否全部都教给徒弟、徒弟理解的能力、接受能力与徒弟创新的能力等等都会直接影响徒弟的水平，由于不是按一本教科书教出来，这样就给变压器的设计带来很多问题。首先是设计方法不统一，有的要求输出是空载电压，有的要求输出是负载电压，有的要求输出是负载电流，有的要求输出是功率，电压调整率的定义也有两种：一种分母是负载电压，另一种与“电子变压器手册”一书中的定义一样分母是空载电压。测试方法也有多种，譬如说电压要求 6 伏，一种测试方法是，验收时我当场测，你能达到 6 伏就是合格产品，另一种是要求温升稳定时达到 6 伏我才能认为合格。诸此之类的设计方法，要一个软件全能满足，我看软件的编者虽能做到，但用起来不好用，你首先要选择你是那一类设计方法。

就目前的国内工频变压器的设计软件大致作一个分类

1. 按铁心片类型分：

- a) GEI 铁心片设计软件，由于 GEI 铁心片是老产品，老产品有铁心模具在，这类软件有一部分变压器生产厂家使用。
- b) EI 铁心片设计软件,由于 EI 铁心片在珠江三角洲、港、澳、台、日本使用的较广，绝大多数厂家用此规格铁心片，软件采用此以规格铁心的编者较多。
- c) YEI 铁心片设计软件.这类铁心片规格，来自国际电工委员会 IEC 740 相当于我国标准 GB 虽立为国家标准但鲜为人用，既鲜为人用，自然生产胶心的厂家也不会多，也不可能会有全系列胶心尺寸。当然软件编者也可虚拟一些胶心尺寸，但软件的准确度不可而知。
- d) 有的软件编者将上述三种铁心规格全编入软件中，看起来很全面。软件编者要将以上铁心片尺寸编入软件内，可以说是轻而易举，不费吹灰之力。但其中一些数据例如胶心尺寸、磁性能、温升实验数据从何而来，大有造假的嫌疑。

2. 按软件的功能来分：

- a) 所有的软件都可直接输出变压器的各项参数，输出的参数要按变压器技术条件的要求来设定。这是变压器软件的基本要求。
- b) 有的软件除可直接输出变压器的各项参数，还能输出变压器电原理图、变压器结构图。图纸能否满足生产要求，要用 ISO9000 认证的要求来衡量，

3. 按编者的经历来分

- a) 工厂提供资料，请学校懂编程的专家来编或由使用者提供资料，懂编程的计算机人员来编

- b) 自编自用的软件，专业的变压器工作者，掌握软件编程手段编出的软件，这类软件是自编自用。由于工厂的条件，在一定范围内肯定好用。否则自己也不会去编它。
 - c) 熟悉软件编程手段，精通变压器计算方法编写的软件
 - d) 精通软件编程手段，熟悉变压器计算方法编写的软件
4. 软件编制中绕线方法上的不同，这一指标十分重要，能否与实物一致，就看这一招。下面介绍软件中对绕线方法的看法。
- a) 采用排绕系数与叠绕系数来计算绕组能否绕下，也就是说绕线采用“平密绕”这种计算方法是 60—70 年代电子部牵头，组织变压器工作组来确定这些数据，当是用手绕，因用的是底筒，不是现在的骨架，并且是绕一层垫一层纸，用机绕还没手绕快，每层是很整齐的，没由擦线，用来编现代的变压器软件有点采用不当。
 - b) 有的软件用“槽满率”来计算变压器的绕组，是借鉴鼠笼式电机中得一个设计参数，原在电动机设计中检验导线放入电机槽中能否放得下，有成熟得经验可取，只不过电机设计中的“槽满率”是按圆面积来计算，变压器的“槽满率”是按矩形面积来计算，两者相差一个常数。国外软件中相类似的参数叫占空系数或填充系数。采用“槽满率”或骨架的“占空系数”来计算绕组能否绕下，也就是说绕线采用的是“不规则绕法”。“槽满率”采用多大合适，除可借鉴电机设计中的数据外，有实践经验的工程技术人员大多心中有数。
5. 铁心材料的参数：
- a) 主要铁心材料磁化曲线与损耗曲线软件中给出
 - b) 部分铁心材料磁化曲线与损耗曲线软件中给出，软件中没给出的铁心材料由用户自备。
6. 线材的规格：
- a) 软件中提供国家线材标准与英、美线规，以国标为主，英、美线规换算到公制。
 - b) 软件中选择国家线材标准为主选线材，不在国标中的线规，考虑到用户可能用国标，也可能用英美线规，更可能用日本线规一及港、澳、台一些非标准线规，有些软件可输入任意规格的线径。输入任意规格的线径，要对导线重量有一个合理的理解，总之任意规格的线径也要算出导线重量。不突破理论上的局限，是做不到的。
7. 各软件对变压器的电压调整率处理
- a) 固定一个电压调整率，计算后电压调整率不作修正，圈数不修正。
 - b) 固定一个电压调整率，计算后电压调整率作反复修正，直到设定值与计算值误差小于特定值后停止，圈数自然跟着修正。
- 两种计算方法，那一种方法好，不言而喻不需作什么说明。
8. 较好的软件目前计算精度可达到水平：
- a) 直流电组与导线重量可达到 $\pm 5\%$ 以内，如胶心的尺寸来源生产厂，此精度应无问题，如胶心尺寸是臆想出来的，除非是巧合，不可能达到这一精度；
 - b) 温升计算误差在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。温升的精度是建立在实验基础上，没有足够的实验数据，恐难达到这一精度；
 - c) 空载电流在 $\pm 30\%$ 以内；空载电流的公差较为复杂，同样的图纸不同铁心片厂家，提供不同类型铁心片，空载电流会在一定的范围内变化，掌握较多的

参数，此问题应不难解决：

环形变压器软件还能达到以下要求

- a) 绕好变压器的外形尺寸误差在 2mm 之内，理论计算完全能达到这一要求，不同的是，要说明引出线的情况，计入引出线的粗细，是能够达到这一要求；
- b) 绕好变压器的重量误差与软件计算的误差在 $\pm 5\%$ 之内，需要说明的是含浸前的重量还是含浸后的重量。

9. 关于软件中线径的确定方法

a) 软件自动计算出线径

圈数确定以后，最大线径也就确定了，但这仅仅是最大线径，到底小多大合适呢？这就需要软件作些修正，例如 EI 57×19 铁心，输出 20 瓦与输出 18 瓦应有区别。温升允许 50 度与允许 60 度也要有区别，这个问题在解决温升计算精度以后，要软件去完成这个任务应不是困难的事。国外软件大多数不需要输入电流密度就可算出线径；

b) 有的软件需要输入电流密度才能计算出线径

1. 根据个人的经验输入电流密度计算出线径，线径确定是否合适，这要看个人的水平了；这个问题软件不难解决，看一下绕线松满成度。就可看出线径是否合适，但要反复调整。才能达到满意的效果

2. 在软件中编有计算电流密度的公式。在软件中根据电流密度计算出线径。计算电流密度的公式中牵涉到导线的总面积，这里计算出的是导线的裸线直径，但变压器能否绕下是由带绝缘的直径来确定的，换句话说 0.08mm 的线与 1mm 的线绝缘面积占铜线面积的百分比不同，例如牌号 QZ-1 的 0.08mm 导线。导线面积与带绝缘导线面积之比为 100 比 141。而 1mm 导线为 100 比 115 业就是说有 26% 的差距。当然电流密度会有较大的区别。

3. 由计算电流密度专用软件根据功率大、小、允许温升、材料的品种、输出电压的高低、电压调整率的大小、初级电压的大小、工作频率等等计算出初、次级合适的电流密度，再将此电流密度输入到变压器设计软件中，或变压器软件本身有此功能。应该说明的是这一切计算的准确度是建立在温升计算的准确度这一基础上。如温升计算精度高，要编制这样的软件并不困难。

c) 有的软件输入变压器参数后，自动算出线径，也可输入电流密度算出线径，要软件完成这两个任务对软件的编者来说轻而易举。问题是要计算出最合适的线径，这就要看软件编者的水平与掌握实验数据的深浅了。

10. 对软件的定位

a) 软件定位为计算机辅助设计功能

通过软件计算出变压器主要参数，再人工绘出设计图纸与编出作业指导书供生产使用或编出客户承认书。这条途径是符合 ISO9000 认证的要求的。

b) 软件除有计算机辅助设计功能还能绘出电原理图与变压器结构图供生产使用。此电原理图只能是示意图，变压器的抽头有原线加套管、软接线、原线弯成迴形作焊片用、用焊片引出、用插座引出等等，软件即使有如此大的库存，但要满足各种变压器的要求，可不是短期内可解决的，一个工厂变压器外表含引线，完全相同的是很少的，软件仅仅绘出的简单电原理图与变压器结构图来指导生产，小单位可以。如果简单的电原理图、变压器结构图与实物有一点不符，作为客户承认书送出去反而容易引起变压器生产厂被动。变压器的客户承认书要远多于生产单，不能打出客户承认书。增加这一内容实用价值不大。一般工厂生产要用的是作业指导书，每一工序都要有分解图，

要软件来完成生产图纸可能只是一厢情愿的事。

11. 软件由输出功率与电压调整率选铁心规格有两种形式

- a) 由使用者输入铁心规格
- b) 由软件自动显示铁心规格，软件能自动显示铁心规格是基于参数表的准确。参数表又依靠温升计算的准确与绕法计算的准确，更少不起了材料的性能，否则是一句空话。这个铁心规格只是特定条件下的参数表，可以作为参考，再作调整。

现将以上分类对重点问题作一简单的评述：

1. 从以上叙述来看软件有明显的差别，典型的可分为两类
 - a) 一类软件掌握充沛的实验数据，计算精度较高
 - b) 另一类软件较好的掌握编程手段。软件的功能较多
 - c) 同时具备以上两个条件的软件，依我个人的看法认为目前尚没有出现。
2. 各软件的计算公式除了温升计算，特别是适配器的温升计算外，估计不会有太大的出入，只不过是大同小异，由于以下原因软件就有差别
 - a) 没有充沛的实验数据，就影响计算精度，有的软件依靠客户自备实验数据来弥补软件的计算精度。
 - b) 用户的计算方法是五花八门，没有统一的计算方法，使一种软件难以适从客户的要求，需要根据客户的要求修改你的软件的内容。
3. 实验数据的分析

实验数据可分为磁性材料实验数据与温升实验数据，现作简单的分析

- a) EI 铁心磁性材料的实验数据较复杂，与原材料的磁性曲线相去甚远，EI-76 以下规格的铁心，不同的铁心有不同的磁化曲线与损耗曲线，以 H50-0.5mm 的材料来说，原材料的检验标准是直流性能而我们使用的是交流性能，绝大多数铁心片生产厂只提供铁心某一点的性能，要拿出完整的磁化曲线只有极个别生产厂能做到。能做到不一定能提供给用户，就这一点就使个别软件计算精度具备达到一定水平的可能，但不是每一个软件编者具备这种条件。不入虎穴夷的虎子。

损耗曲线则更为复杂，以 H50 为例。标准本身定的较低 1.5 特磁通密度时的每公斤损耗（下同）标准定为 13 瓦，国外原材料厂推荐客户使用的典型数据为 8 瓦，铁心片生产厂与原材料供应厂的合同可能在 6 瓦左右，而铁心片 EI28 与 EI57 同样条件下的损耗可能相差一倍左右。没有生产第一线经验的人要编出有价值的软件是有一定难度的。

- b) 环形铁心生产中较复杂的问题是短料铁心的性能，材料本身来自拆大型变压器铁心的材料，要生产一定性能的铁心是难而可贵的。好在事在人为，世上无难事，只要肯登攀。短料生产的环形铁心厂家，各有各的绝招。没有主管部门来统一标准，谁能来做统一工作。只有软件的编者去适应客户的要求了。
- c) 温升的实验数据应该说是大量的，但这种条件是分布在各厂的工程部门里。数量之多，又不能带走，难度在于每一个厂只生产铁心规格中的一部分，由于客户对象的原因，没有一个厂会生产全系列铁心的变压器，因此每一个厂的温升实验数据都不全，而软件的内容缺一不可，这就要求软件的编者在变压器理论上有所突破。特别是适配器的温升计算，有开百叶窗的与不开百叶窗的。总不能计算出同样的温升。环形变压器的温升计算更为复杂，铁心尺寸不象 EI 形铁心是固定的，前面变压器试验的

温升数据，相同铁心规格后面的设计数据可以借鉴。环型变压器铁心的尺寸是五花八门的，前面的实验数据即使相同铁心尺寸，而内孔不同都不能借鉴，要解决这个问题只有另辟途径，

4. 软件好坏的试金石

- a) 好坏首先要有一个标准，按国标变压器总技术条件来检验软件计算的结果，变压器技术条件没有的项目，说明对变压器不重要，再好也是画蛇添足。符合变压器总技术条件应是软件的基本要求。
- b) 用生产过的变压器实际数据来检查软件的计算结果，若在大庭广众之中，计算结果使大家鸦雀无声，软件应是大家基本满意的。
- c) 软件计算的数据要能一次打样成功、或不拆卸被仿制的变压器（要求多绕组）能仿制出变压器，检验最有效的方法是拿一个生产过的变压器，提供空载电压、空载电流、初级电压、频率、直流电阻，不说一句话，要软件计算出变压器的参数来，看与实物符不符合，误差有多大。
- d) 考软件也是考编者的设计水平，不熟悉变压器的人编出的软件要好用，岂非天方夜谭。
- e) 与书本不同，软件有一个售后服务问题，不仅有修改软件的问题也有教会客户使用的问题，还有进行技术咨询交流。软件编者是应有一定业务水平。

编后语：

变压器虽小，无非是铁心、线圈、配件。再小的东西也是五脏俱全，一本“新编电子变压器手册”要 25 人之多去编它，还不包括现在整个电子变压器的范畴，足见变压器领域不可小看。由于工作的原因一个人不可能去接触那么多变压器知识。但要把这 25 个在不同领域，不领你薪俸的人组织起来共同去完成一本书，也不是一件容易的事，好在主编者有这样组织能力。编写软件也是这样，它要靠许多人的努力，积累丰富的实验资料，才能不断的完善，前三年我说过变压器软件日趋完善，行业内的权威人士就告诫我。这样说不对，说日趋完善，不是还有不完善的地方吗，如果有人将其软件称自为国内最好得软件，但住在同一城市的客户买了它的软件以后又到千里之外舍近求远买第二家的软件。不会客户有收藏癖吧，看来说与软件实际水平不能等同，不能相信“王婆卖瓜”的吆喝。买卖和写文章不是一码事，买卖的过程是你的钱到我的口袋，这是我的本领，写文章则“与事实出入较大”与“与事实出入不大”一样的能得到稿费，只要得到主编的赏识。目前的软件属于小打小闹范围，个人搞得多，没有单位出面组织这个项目，离形成较完善的设计软件尚有不小得距离，软件不象书本，书一出版自然就形成交流，软件表面的东西很容易掌握，内在的核心很难拿出来交流，应该说软件的编者要在书的基础上有所创新，软件才有生命力，书上有的，别人也有，你能编，我也能编，只有你创新的东西，别人也创新才能一比高低。只有百家齐放，百家争鸣，变压器软件才能得到新的发展。我们特别强调的是实践是检验真理的唯一标准，脱离实践的软件决不会有生命力。