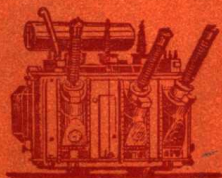


变压器修理和翻新

[苏联] С. А. 法尔勃曼 А. Ю. 布恩 著

范思纯 王仁兴 齐润堂 译 曹耀武 校订



中国工业出版社

变 压 器 修 理 和 翻 新

〔苏联〕C·A·法尔勃曼 A·Ю·布恩 著

范思纯 王仁兴 齐润堂 译 曹耀武 校订

中 国 工 业 出 版 社

本书系苏联国家动力出版社1961年出版的变压器丛书第七集的譯本。

本书介绍了各种变压器的结构和計算方面的基础知识，并对110千伏及以下的大中型变压器就地修理和翻新的工艺，作了尽可能充分的探討。同时，为了满足变压器修理和翻新工作人员的需要，在附录中收集了各种参考用数据、公式、表格和有关资料。

本书可作为变压器修理工作手册。它的讀者对象是工程技术人员、工长和工人。

С.А.Фарбман А.Ю.Бун
РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ
Госэнергоиздат Москва 1961

* * *
变压器修理和翻新

范思純 王仁兴 齐潤堂 譯 曹耀武 校訂

*
水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $15^{3/16}$ ·字数329,000
1965年9月北京第一版·1965年9月北京第一次印刷
印数0001—10,710·定价(科二)1.40元

*
統一书号: 15165·4054(水电-536)

前 言

变压器是任何一种电气装备不可缺少的元件，沒有它就不能运行。因此，随着电气化的发展，变压器投入运行的数量将会日益增加。

在变压器总量增加和质量指标获得改进的同时，运行水平也在提高。停用变压器的相对百分数虽然逐年有所下降，但是，随着現有变压器总量的增长，停用变压器的绝对数量毕竟是增多了（虽然不是直线关系）。

另一方面，苏联目前現有很多的变压器，特别是电炉用变压器有一些已陈旧了，不完全可靠，而且它們的参数也远不能满足生产设备日益增加的要求。

用新的变压器来代替全部运行中陈旧的变压器是不可能的，因为它們的总标称容量数字很大。

因此，在很多情况下，在进行修复工作的同时，为了改进变压器的参数，并提高它們的可靠性，需进行各种变压器的改进和翻新工作。

变压器的修复和翻新工作，尤其是大中型变压器，一般由同意承担这项工作的企业或者在相应的专业部門的帮助下，直接在安装地点进行。

这种情况使上述修理工作具有特殊的性质，与在专业制造厂或修理工場里所进行的类似工作有些不同。

作者总结了自己多年来的經驗，并参考了国内現有的有关文献資料，写出了这本直接在安装地点进行修理工作用的“变压器修理与翻新”。

作者考虑到本书的篇幅，认为有必要将所討論的修理和翻新問題局限于电压为110千伏及以下的大中型变压器，因为220千伏及以上的变压器的修理和翻新工作，一般直接由制造厂来担任。

IV

对各种大中型变压器在安装地点进行修理和翻新工作的有关問題綜合在一起来說明，本书是第一次嘗試。所以本书不可避免地会存在着許多缺点，甚至于錯誤。

作者以感謝的心情接受所有意見，請將意見函寄：莫斯科，
Шлюзовая наб., 10, Госэнергоиздат。

作 者

目 录

前 言

第一篇 緒 論

第一章 变压器修理工作的基本类型	1
1-1 变压器修复	2
1-2 变压器改装	2
1-3 变压器翻新	3
第二章 对变压器的基本要求	6
甲、一般要求	6
2-1 电气强度	6
2-2 耐热强度	16
2-3 机械强度	18
乙、特殊要求	24
2-4 并联运行的可能性	24
2-5 高度的电动稳定性	25
第三章 特种变压器的结构特点	25
3-1 电炉变压器	27
3-2 整流变压器	50
3-3 调压变压器	67
第四章 变压器修理工作中的计算	71
4-1 计算的内容、范围和格式	71
4-2 莫斯科变压器厂典型计算单	73

第二篇 变压器修理和翻新的工艺

第五章 变压器的检查和故障分析	96
5-1 变压器检查和故障分析的任务和意义	96
5-2 检查和故障分析的工作内容	97
5-3 故障分析的项目和顺序	97

V

5-4 了解变压器的工作情况和熟悉該变压器的技术文件	98
5-5 变压器的外观检查、各項試驗和完整程度的鉴定	98
5-6 变压器的拆卸和器身的检查	107
5-7 检查器身时应作的測量和計算	113
5-8 測量、計算和試驗数据的校核	116
5-9 变压器就地修理和制造检修用設備的条件和可能性	117
第六章 变压器拆卸	118
甲、变压器拆卸的項目和順序	118
6-1 放油	119
6-2 擰下螺栓和拆开引线	119
6-3 套管、安全气道、儲油柜、附件和箱盖的拆卸	121
6-4 起吊器身并放在垫木上	122
6-5 散热器的拆卸	124
6-6 拆卸变压器用的工具設備	124
乙、器身拆卸的項目和順序	126
6-7 引线和分接开关的拆卸	126
6-8 上鉄軛夹件和上鉄軛的拆卸	127
6-9 压紧裝置、絕緣和线卷的拆卸	127
第七章 变压器装配	129
甲、器身装配的項目和順序	129
7-1 鉄心的清理和心柱夹紧螺杆絕緣的检查	129
7-2 下部絕緣的放置和线卷的套装	130
7-3 上部絕緣的放置, 压紧裝置的安装和线卷的压紧	135
7-4 上鉄軛的插装和接地片的安装	136
7-5 分接开关的检查和安装	138
7-6 引线的制作、絕緣、装配、焊接和固定	141
7-7 器身装配时的检查試驗	150
7-8 器身的检查、清理和冲洗	153
乙、变压器装配的項目和順序	155
7-9 油箱、儲油柜和安全气道的检查和修理	155
7-10 密封件的制造和装配	157
7-11 散热器及其油門的检查、修理和安装	159
7-12 器身的吊起和放入油箱	162

7-13	箱蓋的組裝和安裝	163
7-14	變壓器注油和密封程度的檢查	173
7-15	變壓器的外部塗漆	176
第八章 鐵心的修理		177
鐵心修理的項目和順序		177
8-1	器身的外部檢查和夾緊螺桿絕緣的試驗	178
8-2	確定更換片間絕緣和重新迭裝鐵心的必要性	178
8-3	專門試驗	179
8-4	工藝裝備的制作和安裝	182
8-5	鐵心的拆卸和迭片的拆除	189
8-6	清除迭片上有缺陷的絕緣	190
8-7	迭片的干燥、塗漆和烘干	192
8-8	迭片塗漆烘干後的檢查	194
8-9	鐵心的裝配	195
8-10	鐵心的最後試驗	199
8-11	鐵心的局部修理	199
8-12	簡化的傳送帶式塗漆裝置	200
第九章 綫卷的修理和繞制		203
9-1	綫卷修理和繞制的項目和順序	203
9-2	舊導線的重新絕緣	203
9-3	繞綫設備的制造和安裝	207
9-4	各種型式綫卷的繞制工藝	214
一、	連續式綫卷	217
二、	螺旋式綫卷	229
三、	餅式綫卷	238
四、	電爐變壓器用的綫卷	242
9-5	綫卷的干燥、壓緊、浸漆和烘干	249
第十章 絕緣零件和電容保護裝置的制造		252
10-1	絕緣件的預先加工	252
10-2	各種墊塊的制造	253
10-3	撐條的制造	255
10-4	絕緣紙圈和絕緣端圈的制造	256
10-5	角環的制造和裝配	258

VII

10-6	絕緣隔板的制造和装配	260
10-7	鉄軛絕緣和平衡絕緣的制造	263
10-8	几种个别的絕緣零件的制造 (楔垫块、紙槽等)	264
10-9	电容式屏蔽线匝的制造	266
10-10	靜电板的制造	269
第十一章	变压器器身的干燥	271
11-1	器身干燥的任务	271
11-2	器身干燥的方法	271
11-3	在自身油箱中用感应加热干燥	272
11-4	“零序”电流干燥法	279
11-5	干燥器身时的消防措施和安全技术措施	282
第十二章	变压器修理和翻新后的試驗	283
12-1	試驗的任务	283
12-2	試驗的范围和标准	283
12-3	試驗时的一般守則	283
12-4	各种試驗方法	295

第三篇 参考資料

第十三章	变压器修理和翻新时采用的主要原材料和制品	327
13-1	主要原材料和制品的种类	327
13-2	变压器修理和翻新时計算原材料用的数据資料	327
13-3	原材料和制品的消耗定額	327
附录		344
附录 I	电力变压器和电炉变压器的参考資料	344
附录 II	整流变压器的参考資料	349
附录 III	油浸式变压器的絕緣	351
附录 IV	調压和分接开关	360
附录 V	結线图和連接組	388
附录 VI	变压器修理和翻新时所用的压紧装置	392
附录 VII	引线	396
附录 VIII	套管	399
附录 IX	鉄心接地	419

K

附录 X	油箱	421
附录 XI	小車和滾輪	423
附录 XII	变压器附件	424
附录 XIII	冷却装置	433
附录 XIV	計算参考資料	444
参考文献		475

第一篇 緒 論

第一章 变压器修理工作的基本类型

在实际工作中，变压器的修理工作可分为下列三种基本类型：

1) 修复 变压器因损伤或故障停止运行时，按原结构进行修理或用新的部件更换旧有的某些部件，称为修复。这种修理工作不改变变压器的参数及其各个部件的结构，而保持着原有的型式。

2) 改装 改变变压器某些部件的结构，但该变压器的参数保持不变，称为改装。例如，由于线卷的电动力不稳定，改变了线卷的结构，这种改装常以连续式线卷代替圆筒式线卷，或改变线卷的压紧结构（轴向夹紧），如用带压环、压钉等压紧装置代替楔紧装置。

3) 翻新 改变变压器参数（例如，改变变压器的容量、电压、电流、线卷连接图和连接组等）的修理工作称为翻新。翻新时，变压器的线卷、引线、套管等部件一般需要改变。

变压器的改装和翻新严格地说属于修理工作，但是，由于需要重新制作的只是变压器的一些个别部件，其余工作均属于修理范围，所以这两种工作实际上也是修理工作。

在所有这些情况下，必须和现成的变压器、特别是现成的铁心和油箱发生关系，即测量铁心的有效截面和所有的内部尺寸及外部尺寸。这是在各种修理工作中（包括翻新在内）必须弄清楚了的。

除上述三种基本类型的修理工作外，实际工作中还有所谓吊心检修和不吊心检修。这两种修理工作是预防性修理，它们基本上是周期进行的，目的是消除检查过程中所发现的各 种 小 的 缺

陷。

本书沒有介紹这类修理工作。

1-1 变 压 器 修 复

在上述三种基本类型的修理工作中，修复工作是最简单的，因为这种工作，在結構上不需要作任何改变。問題在于掌握一定的工艺知識，并善于实地进行工艺操作。

修复工作必須遵守的基本要求，就是尽力按制造厂的原样进行修理。如果由于某种原因不得不作改动(如更换线卷的导线)，那末，这些改动應該仔細加以考虑，并經過論証，以便不致破坏变压器的工作能力和降低质量指标。

1-2 变 压 器 改 装

为了消除出現的缺陷，以提高变压器工作的可靠性，而改装变压器的某些部件，是比較复杂的工作。

这里，除須掌握工艺知識以及实地操作技能以外，还必須找出既符合改装目的，又不改变部件原有尺寸的改装方法。

我們来分析一下这种情况。在某一个化学工厂里有大量外国公司生产的 2×5000 千伏安整流变压器，这些变压器經常停止运行。事故分析表明：线卷結構不适当和引线固定得不牢是发生事故的基本原因。原制造厂把线卷制成具有复杂换位的多层圓筒式线卷，它的电动稳定性不好。这就必須改进线卷和引线，而且变压器所有参数都要保持不变。此外，外国公司制造的变压器每台銅重为4.5吨，更换这样大的数量的銅线是不合算的，应利用原有的导线。后来决定改用苏联产整流变压器的线卷型式，这种型式的线卷曾証明是十分牢固的。

但是，新結構线卷在現有的鉄窗尺寸下只能利用 3.5 吨的原有导线。这就将变压器容量从 2×5000 降到 2×3500 千伏安，可是降低容量是不允許的，所以与线卷改装的同时，需改換冷却系統，即：用带有水-油冷却器和油泵裝置的强迫油循环代替自然

油冷却。

这样就相应地增加了线卷的电流密度以及随之而增加了銅損，这种損耗所产生的热量可由这个更有效的冷却系統传导出去。

这样，由于改装了线卷、引线和冷却系統，就保持了所要求的参数，同时达到了必需的电动稳定性，相应地保证了大批变压器的安全运行。这些改装后的变压器已安全地运行七年多了。

还可以举出許多有关改装变压器的实例。

曾有几台国外公司制造的110千伏31500千伏安三卷帶負荷調压电力变压器，在投入运行后几个月就不能运行了。經過事故分析表明：这些变压器沒有足够的电气强度，尤其对大气过电压沒有采用專門的防护措施，即沒有防雷裝置。

当时决定，在保持变压器各种参数不变的条件下，按苏联同容量同电压变压器的型式加以改装。

为了能在現有的外型尺寸条件下进行变压器的改装工作，不得不放棄帶負荷調压，拆除外部线卷的专供調压用部分的四分之一，以便騰出空位安置适当型式的高压和低压线卷及其所有的絕緣，并采用电容式屏蔽线匝来保护变压器。

由于变压器有了足够的电气强度和防雷能力，現在它們已經安全地运行几年了。

1-3 变 压 器 翻 新

翻新是变压器修理工作中最复杂的一类，翻新时需要改变变压器的参数以及相应地改变各个部件的結構。

在每个具体情况下，必須根据变压器翻新的任务、目的、要求和結構找出解决的办法。

翻新工作最困难的是提高变压器的容量。电炉变压器^①常有这种要求，电炉变压器的容量常由于电炉生产量的增加而感到不

① 为了簡便起見，将供电炉用的变压器簡称为电炉变压器，下同。

足。

在原有外型尺寸的条件下，提高变压器的容量是可能的，因为可通过：1）更充分地利用铁心，即提高铁心磁通密度；2）在原有铁心窗口内加入更多的铜线；3）提高冷却系统效率；4）同时采用上述各项措施。

一般说来，依靠提高制造厂采用的磁通密度来提高容量是不太可能的，因为用一定牌号的硅钢片制成的铁心，一般已经采用最适宜的磁通密度了。

在极个别的情况下，制造厂采用的磁通密度较低时（12000~13000高斯），才能把它稍微提高一些（5~10%）。

但是，热轧硅钢片在任何情况下，磁通密度不应超过 14800 高斯。

应该指出：对装铁心的磁通密度比迭装的稍低一些。电炉变压器所采用的磁通密度同样地比电力变压器为低。

在翻新的实际工作中，增加变压器容量一般依靠在原有铁心窗口内装入更多的铜线，或者采用效率更高的冷却系统，或者这两种办法同时采用。

为了在原有铁心窗口内装入更多的铜线，同时保持磁通密度接近于制造厂的数值，以及保持必需的绝缘距离，并满足根据变压器翻新的任务、目的和运行条件所提出的所有其他要求，一般就必须找出线卷的布置和结构方面与制造厂根本不同的解决办法。

例如，已经成功地翻新了若干台电炉变压器，其原有线卷是交错式布置的，低压线卷是短螺旋式的，线匝是多头并联导线的。翻新后的电炉变压器，容量提高了25~40%。所采用的办法是：线卷用同心式布置代替交错式布置，将低压线卷装在外部，或者采用双饼式线段，并带有沿整个心柱高度均匀布置的大量并联组，或者采用裸铜圆筒式（见图3-10a和b，3-11和3-13）。

但是提高容量会引起负载损耗（短路损耗）的增加，这就需要更有效的冷却系统来代替原有的冷却系统。例如，用强迫油

循环冷却系統代替自然油冷却系統。

應該指出：更有效的冷却系統不需要对变压器作任何其他改造，本身就能完成把变压器容量提高到一定的数值的任务。保証变压器具有必要的耐热强度，即线卷和变压器油的容許溫升。

但是，电炉变压器，尤其是大中型的电炉变压器一般都已采用强迫油循环冷却，这种冷却系統随着变压器容量的提高，其容量往往就不够了。在这种情况下，須借助于导向强迫油循环装置——在油箱下部作一个压力腔，强迫从冷却器流入的油直接通向线卷，使线卷有效地冷却。

在个别情况下，如果工艺过程允許时，可以利用縮小总調压范围和加大調压范围的下限来增加变压器的額定容量。

大家都知道，当調压范围大和下限低时，变压器的額定容量同它的型式容量区别就很大。

变压器模型的选择不是根据額定容量，而是根据型式容量，而型式容量則是由可装入变压器的有效材料的数量（硅鋼片和銅线）来确定。調压范围越大和这个范围的下限越低，則变压器需用的有效材料就越多。这时，硅鋼片的有效截面由磁通密度和与上限相适应的匝数确定，而为了得到电压的低下限，必須将大量线匝填入高压线卷內。这时，磁通密度下降，模型就沒有充分利用起来。

翻新时有符合变压器型式容量的現成的鉄心，所以縮小总調压范围和加大电压的下限，我們就有可能在一定的范围内提高变压器的額定容量，同时改进了模型的使用。

这样，变压器的翻新除解决参数的改变和利用原有尺寸的结构以外，还需具有比改装更深的学識和更大的創造性。这样才能在每个具体情况下找到可能的和最好的解决办法。

第二章 对变压器的基本要求

甲、一般要求

变压器的任何一种修理工作都要求正确地 and 有意識地执行，为此应该通晓与各种变压器的工作能力及其运行的可靠性有关的问题。

从这一点来看，既要概括地掌握对每种变压器的一般要求，也要掌握每台变压器或变压器组，根据它们的容量、絕緣等級、用途和运行条件所提出的附加特殊要求。

每台变压器在任何情况下，都必须满足下列要求。

2-1 电气强度^①

按这个要求，任何变压器都应能承受相应的瞬时过电压，这个过电压能高出工作电压几倍。

过电压可分为两种：一种是操作过电压，即在所有过渡过程中和运行状态下（当接入变压器和切除变压器、負荷有剧烈变化时等等）作用到变压器上的过电压；另一种是大气过电压，即在大气（雷电）放电以及在变压器附近线路上閃絡（电压急剧地下降时）时作用到变压器套管上的过电压，所謂截断波电压。

过电压对变压器的影响与其振幅的大小（ U_0 ）和持續時間有关。大气过电压的振幅比操作过电压的振幅大，甚至比相电压大10倍以上，但是大气过电压的持續時間是很短的，仅是几十微秒。

無論是操作过电压或大气过电压，对变压器的絕緣尺寸都有

① 有关电气强度問題，詳見A.B.沙波日尼科夫，“变压器結構設計”，国立动力出版社，1959年版。（我国已有中譯本——譯者）

直接影响。但是，在解决变压器纵绝缘电气强度问题时，要对由于各种大气过电压所产生的现象作一分析，因为大气过电压对线卷的纵绝缘危害性最大。

进入变压器线卷的大气过电压的振幅和波形，在很大程度上决定于大气放电或线路閃絡发生的地点与变压器的距离，以及变电所及其进线的保护情况，等等。

雷电放电一般能引起具有大振幅放电时间短的单独的冲击波（图2-1）。

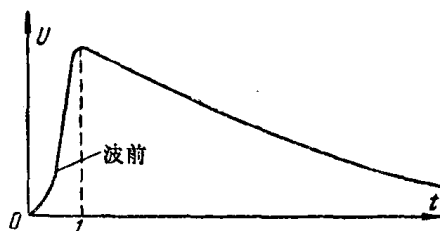


图 2-1 具有非周期冲击特性的电压波

这些冲击波的周期可分为起始周期和終了周期两部分。起始周期经过得很快，因此电压从零升高到最大值的时间用微秒计算。这部分的曲线叫作波前（图2-1）。

在起始周期瞬间，过程的速度是这样地快，致使当具有很陡的波前的冲击波达到变压器的时候，由于线匝具有很大的电抗，电流不能沿线卷的线匝流动，而实际上沿线卷的电容链流动。

换句话说，当非常陡的冲击波（矩形波）侵入变压器的最初（起始）瞬间，可以把变压器的线卷近似地视为电容链 C 和 K （图2-2），这时可以把线卷视为由彼此互不相连的线匝组成。

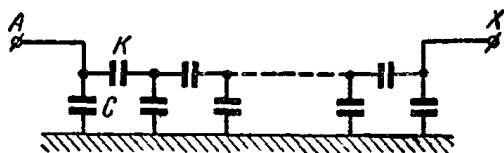


图 2-2 线卷电容链