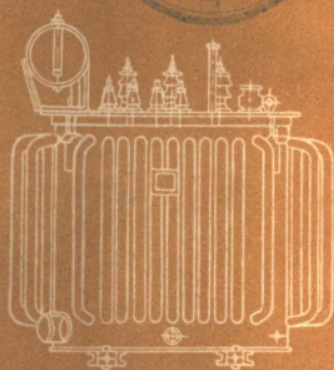


36323



变压器运行

苏联 B. C. 康達赫尧著



燃料工業出版社

51
034



638 电 267

定價 1.39 元

变 压 器 运 行

苏联B. C. 康達赫著

王天仁 王貴華譯

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書包括電力變壓器運行方面的知識。書中材料分成兩部分：

第一部分是從運行觀點闡述變壓器個別部件的構造，並討論了現有變壓器構造的優缺點；

第二部分討論變壓器在正常和不正常工作條件下的運行問題，並詳盡地說明了變壓器的並列運行、試驗、檢修和乾燥，以及變壓器油的運行。

本書供發電廠、變電所和錢路運行方面的工程技術人員作為研究問題和提高技術的參考書。

В. С. КОНДАХЧАН

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

根據蘇聯國立動力出版社1950年莫斯科版翻譯

書號638電267

變 壓 器 運 行

王天仁 王貴華譯

燃料工業出版社出版（北京前門外大街26號）

北京市書刊出版登記證出字第012號

北京市印刷一廠印刷 新華書店發行

編輯：杜全恩 田德志 校對：戴佩瑛

850×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 7 $\frac{1}{2}$ 印張 * 196千字 * 定價(8)一元三角九分

一九五五年十二月北京第一版第一次印刷(1—3,600冊)

序 言

著者打算將此書作為動力工作人員在研究變壓器運行問題和在該部門中提高技術時用的參考書。

本書第一部分是從其可靠性、優缺點方面的觀點來研究構造問題。特別詳細地研究了蘇聯動力業中廣泛應用的國產變壓器的構造。

本書第二部分敘述了運行問題，特別注意變壓器不對稱運行方式的研究——兩線-地結線法，兩相結線法，組中單相變壓器的參數不相同的結線法等的研究，並詳細地闡明了變壓器並列運行、故障和試驗問題。

本書限於篇幅，不能更詳細地說明許多其他問題。

寫著本書時所參考的文獻均列於本書之末，文獻中包括蘇聯電站部(МЭС)所頒佈的指示和規程、製造廠規程、蘇聯國家標準以及蘇聯動力業在變壓器運行方面的多年經驗。

這種類型的書是初次出版，書中可能有很多缺點。

C. B. 阿列克謝也夫工程師在審閱原稿和最後校訂時均給予著者很多寶貴的指正，著者謹表謝忱。

對本書內容和缺點的所有批評和意見，著者均願意虛心接受。

著 者

目 錄

序言

第一部分 变压器的構造

第一章 導磁体	5
1-1. 变压器鋼片	5
1-2. 導磁体的型式	7
第二章 線捲	11
2-1. 線捲的結線方式及其符号	12
2-2. 線捲的構造	15
2-3. 線捲的絕緣和緊定	20
2-4. 線捲的电容補償	22
第三章 外殼、頂盖、散熱器、油枕和安全管	23
3-1. 無散熱器外殼	23
3-2. 有散熱器外殼	25
3-3. 頂盖	26
3-4. 油枕、安全管	27
第四章 套管	32
4-1. 电压 500 伏以下的套管	32
4-2. 电压 500 伏以上的套管	33
4-3. 導电部分、墊料和套管在頂盖上的配置	37
第五章 电压变换器	39
5-1. 無負荷用的电压变换器	39
5-2. 帶負荷用的电压变换器	45
第六章 变压器附件、測量儀表和保護裝置	53
6-1. 支架小車、滾輪	53
6-2. 油門	54
6-3. 溫度表	55
6-4. 保護裝置	58
第七章 变压器的冷却	61
7-1. 主要的冷却方法	61
7-2. 空气冷却	62

7-3. 自然油冷却	62
7-4. 通風油冷却	62
7-5. 油循环冷却	64
7-6. 水循环油冷却	65

第二部分 变压器的运行

第八章 变压器设备	67
8-1. 室内变压器设备	67
8-2. 室外变压器设备	70
第九章 对变压器设备在运行方面的主要要求	72
9-1. 变压器室的通風	72
9-2. 变压器下面的蓄油坑	74
9-3. 測量儀表和溫度表	74
9-4. 对变压器设备的其他要求	76
9-5. 备品	78
9-6. 技術文件	79
第十章 运行标准	80
10-1. 容許溫度	80
10-2. 容許負荷	82
10-3. 容許电压变动	89
10-4. 人工冷却变压器的容許运行方式	90
10-5. 絕緣电阻容許值	91
第十一章 正常条件下变压器的运行	92
11-1. 变压器負荷和溫度的監視	92
11-2. 变压器的檢查	93
11-3. 变压器的合閘和拉閘; 分線头的变换	95
11-4. 瓦斯保護裝置的运行	103
11-5. 变换裝置	104
第十二章 变压器运行的不对称結線法	107
12-1. 一般部分	107
12-2. 变压器按「兩線-地」(II3) 結線法的运行	108
12-3. 变压器的兩相运行	110
12-4. 参数不同的單相变压器組的运行	127
12-5. 利用預备相提高可用容量	134
第十三章 变压器的故障和事故	135
13-1. 一般部分	135

13-2. 变压器个别部分的破損	136
13-3. 变压器的不正常运行方式	141
13-4. 瓦斯保護裝置的動作	145
13-5. 变压器的自動切斷	147
13-6. 变压器着火	148
第十四章 变压器的並列运行	148
14-1. 正常並列运行的条件	148
14-2. 变压比不同的变压器的並列运行	149
14-3. 短路电压不同的变压器的並列运行	152
14-4. 線捲結線組不同的变压器的並列运行	153
14-5. 容量比大於 3:1 的变压器的並列运行	157
14-6. 三線捲变压器的並列运行	160
14-7. 变压器的經濟运行方式	161
第十五章 变压器的試驗	163
15-1. 一般部分	163
15-2. 变压器的製造廠試驗	164
15-3. 变压器的运行試驗	164
15-4. 試驗的方法、時期、結線圖和標準	167
第十六章 变压器檢修	203
16-1. 变压器檢修的時期	203
16-2. 变压器檢修項目	204
16-3. 变压器个别部分的檢修項目	205
16-4. 变压器檢修和安裝後的驗收	210
第十七章 变压器乾燥	210
17-1. 通則	210
17-2. 不經乾燥將变压器接入运行	213
17-3. 在真空箱中乾燥	214
17-4. 在变压器外殼中乾燥	215
17-5. 在特殊室(無真空)中乾燥	219
第十八章 变压器油及其运行	220
18-1. 一般部分	220
18-2. 变压器油的標準	221
18-3. 油的运行試驗的期限和範圍	223
18-4. 防止油的潮濕和过早腐坏	225
18-5. 油的淨化和再生	230
附錄	233

第一部分 变压器的構造

第一章 導磁体

1-1. 变压器鋼片

变压器的導磁体是由單独的、厚度为 0.35 和 0.5 公厘的变压器用特殊合金鋼片所疊成。

苏联國產变压器是用在磁感应为 10 000 高斯時損失係數約为 1.2 瓦/公斤的变压器鋼片所製成。按照苏联國家標準 802-41 的規定, 标号 EC4A 的电工鋼片, 在磁感应为 10 000 高斯時, 其厚度为 0.35 公厘者, 損失为 1.2~1.3 瓦/公斤; 而厚度为 0.5 公厘者, 損失为 1.45~1.8 瓦/公斤。

苏联製造之鋼片的实际損失低於此數值, 厚度为 0.35 公厘的鋼片等於 1.15~1.25 瓦/公斤, 而厚度为 0.5 公厘者等於 1.6 瓦/公斤。

最近苏联製造一种特殊的冷压鋼, 其損失係數相当低, 等於 0.75~0.85 瓦/公斤。

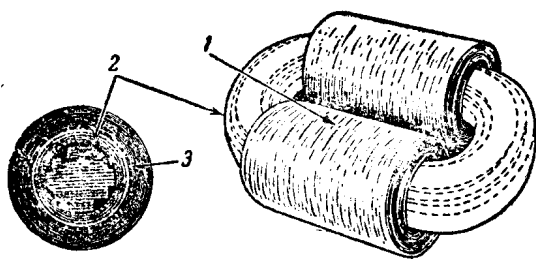
莫斯科变压器製造廠(MT3)已用上述的磁感应約为 16~16.5 千高斯的鋼製成導磁体, 當時普通鋼所採取的磁感应一般还是 14~14.5 千高斯左右。

最近莫斯科变压器製造廠用高導磁率的冷压鋼作導磁体, 已製成 3×46 兆伏安、电压为 220 千伏的大型單相变压器組。这些变压器的無負荷电流, 較用普通鋼作導磁体的变压器約小 $\frac{1}{2}$ 。这些变压器的磁化(無效)电力, 也相应地減少。後一种情况, 从減少輸电線路的大量無效电力和線路損失的觀點來看, 是具有重大意义的。

使用冷压鋼可以提高鋼中的磁感应, 这样就減少了变压器的

重量和尺寸。

最近容量較小(50千伏安以下)的、所謂「纏繞鐵心」的單相變壓器得到廣泛的應用。該變壓器的導磁體是用磁感應為10 000高斯時損失係數為0.8~0.9瓦/公斤的特殊冷壓鋼帶製成的(第1-1圖)。此種鋼帶只在順壓延方向磁化時,才有如此小的損失。在橫壓延方向磁化時,損失約增加50%,而導磁率減少50~75%。由於鋼帶的此種特性,便產生用整條鋼帶纏繞的特殊構造的鐵心。上述變壓器的線捲是用手工纏繞或在特殊機床上纏繞。



第1-1圖 具有纏繞鐵心的變壓器

1—線捲; 2—鐵心; 3—線捲間的絕緣。

我國工業已掌握並製造類似此種構造的變壓器。

變壓器鋼片的絕緣 最近用厚約0.04公厘的薄紙作為變壓器鋼片的絕緣,薄紙用漿糊貼在鋼片上。因為紙絕緣有許多嚴重的缺點:機械強度小、耐熱性小、導熱性不良和富於吸濕性,所以最近由紙絕緣改用漆絕緣。

漆絕緣沒有上述的缺點,此外,還有可能減小絕緣層的厚度,即能更好的利用鋼片,鋼片的加工也比較完善。

用耐油漆作鋼片絕緣,漆塗在鋼片上之後,在溫度400~500°C下烘乾,因而得到很强的耐熱性。

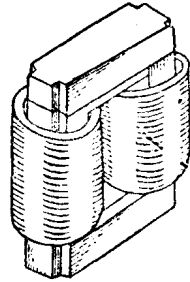
漆絕緣能長時期保持在溫度150°C下而不失去其絕緣性質,而紙絕緣在溫度高於100°C時就開始碳化。現在蘇聯國產變壓器的導磁體幾乎都用漆絕緣鋼片製成。

1-2. 導磁体的型式

變壓器的導磁体按其形狀與製造方法可分為內鐵導磁体和外鐵導磁体。

內鐵導磁体的接合部分——軛鉄——只包圍線捲的端部表面(第1-2圖)。線捲表面是開敞的,不為導磁体所包圍。

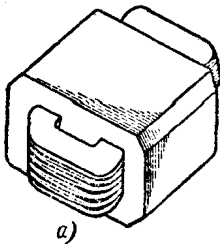
外鐵導磁体的變壓器鋼片包圍着線捲,在線捲側面上方互相接合,並像鎧裝一樣覆蓋着線捲。因此曾得「鎧裝」型一名称。第1-3圖中所示為單相和三相外鐵導磁体。



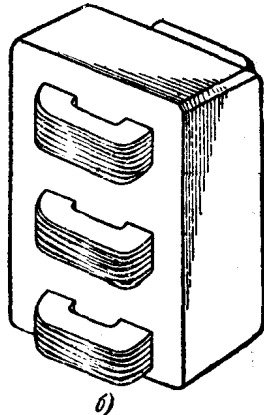
第1-2圖 內鐵導磁体

除鉄心形狀區別很大而外,內鉄型變壓器和外鉄型變壓器的另一區別是線捲的形狀和配置不同。內鉄型變壓器的線捲為圓形,線捲同心地裝在導磁体柱上。外鉄型變壓器的線捲為矩形,其側面完全為軛鉄所覆蓋,此種線捲具有「端面部分」和槽內部分,恰與电机相似。同時,外鉄型變壓器的特點是:線捲是交疊地排列着。

除一般單相和三相內鉄導磁体(第1-2圖)外,還採用特殊型式的內鉄導磁体:具有分磁路的



a)



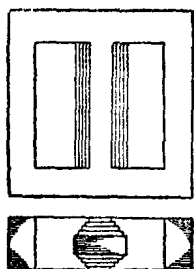
b)

第1-3圖 外鉄導磁鉄

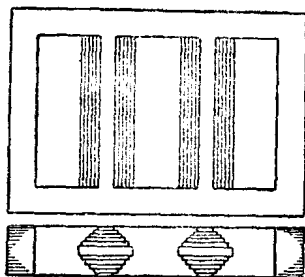
a—單相導磁体; b—三相導磁体。

單相內鉄導磁体(第1-4圖),四鉄心單相導磁体(第1-5圖),以及

五鉄心三相導磁体(第 1-6 圖)。採用五鉄心導磁体可以大大減少鉄心的高度,這一點對大型變壓器,特別是對移動變壓器具有相當大的意義。



第 1-4 圖 具有分磁路的單相內鉄型變壓器的導磁体

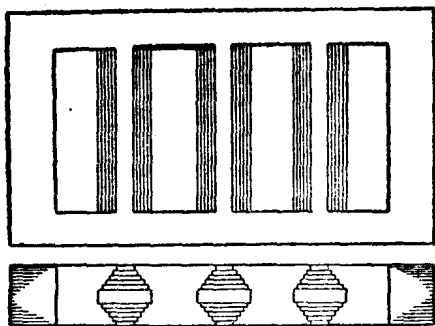


第 1-5 圖 四鉄心單相變壓器的導磁体

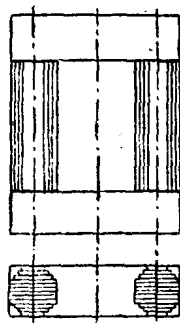
現在應用最廣泛的是內鉄型變壓器;通常電力變壓器很少採用外鉄型。我國工業只製造內鉄型變壓器。

把內鉄導磁体與外鉄導磁体相比較,前者的主要優點是:構造非常簡單,高壓線捲絕緣費用低廉且方便,線捲便於修理,這些在運行條件下具有重大的意義。其缺點是三相變壓器的磁路不對稱。

但是在許多情況下,外鉄型也有其優點。例如,二次線捲電流相當大的電爐變壓器,用外鉄型時,線捲便於製造,並便於線捲並聯支路間的連接。同時,線捲到變壓器頂蓋的引出線是最短的,



第 1-6 圖 五鉄心三相變壓器的導磁体

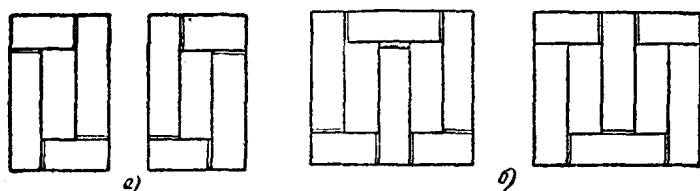


第 1-7 圖 對接式變壓器圖

在鋼線截面大和電流大的情況下，這樣既能節省有色金屬，又能減少引出線中的損失；引出線中的損失一般能達到相當大的數值。外鐵型三相變壓器的磁路是對稱的。

因鋼片的裝配方法不同，導磁體分為對接式和錯疊式。對接式導磁體的鐵心（柱）和軛鐵分別單獨裝成，然後「對接」在一起，並用特種螺絲桿夾緊。第1-7圖為單相對接式鐵心。

錯疊式變壓器的導磁體裝成一個整體，同時，軛鐵和鐵心的鋼片交錯重疊裝成。第1-8圖為在製造中最常使用的單相和三相導磁體的錯疊法。



第1-8圖 錯疊法

a—單相導磁體；b—三相導磁體。

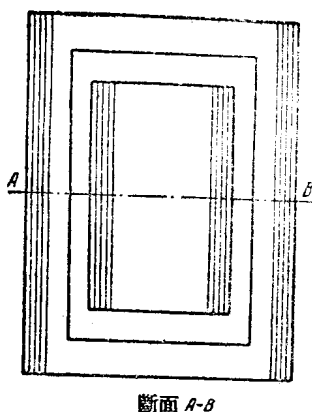
當大型變壓器的鋼片太寬時，為減輕裝配工作，導磁體作成雙重的，即由幾個分開的框子所併成（第1-9圖）。莫斯科變壓器製造廠（MT3）製造容量為10 500千伏安及以上的單相變壓器時，採用此種構造。

錯疊法是比較完善的、現在應用最廣泛的裝配方法。

錯疊式導磁體具有下列優點：磁路沒有中斷處（具有連續性），導磁體的機械強度大和裝配工作比較簡單。

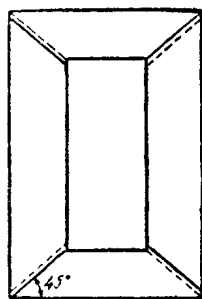
對接式導磁體的磁路中斷處是變壓器最弱的地方。磁路中斷會使無負荷電流增大（與錯疊式導磁體相比較），並且會引起導磁體對接處的鋼片有過熱的危險。

通常在对接處裝上厚約1—2公厘的絕緣（石棉）墊，以避免鋼片接觸。在運行過程中，接縫絕緣破損、鋼片局部接觸和因渦流而使導磁體過熱等情況並非稀有，這會引起「鐵心起火」的嚴重事故。



第1-9圖 莫斯科變壓器製造廠製單相變壓器的雙重導磁體

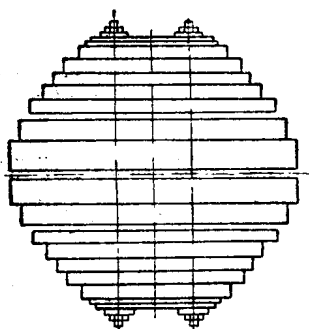
具有相當巨大的緊定裝置，同樣也是對接式導磁體的缺點，這樣就會使導磁體與線捲間的空間無益的增大。



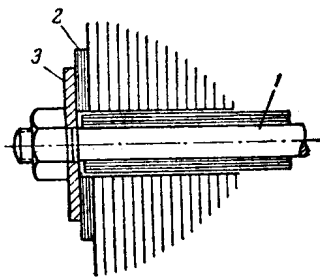
第1-10圖 冷壓鋼導磁體的錯疊法(45°角)

錯疊式導磁體的缺點是：裝配過程較長，修理（更換）線捲時必須拆除錯疊的上部軛鐵。

採用沿壓延方向磁化時具有較低損失的變壓器鋼片時，鋼片的錯疊法與一般不同，一般是直角交錯，而在這種情況下是在45°角下交錯（第1-10圖），以減少磁通由鐵心柱到軛鐵的過渡處的損失。



第1-11圖 設有冷壓鋼的變壓器鐵心的斷面



第1-12圖 鐵心的壓緊法
1—絕緣的雙頭螺絲；2—絕緣墊圈；3—金屬墊圈。

为了更好的冷却鉄心柱和軛鉄,在大型变压器的導磁体中,沿鋼片縱方向留出溝隙(第 1-11 圖)。

莫斯科变压器製造廠製造的 750 千伏安及以上的变压器內部都設有此种溝隙。比較更大一些的变压器內部,不但設有縱溝,而且还設有橫溝。

以白克萊漆紙仔細絕緣的裝配螺絲桿將鉄心压緊(第 1-12 圖)。

第二章 線 捲

2-1. 線捲的結線方式及其符号

依照电力变压器的苏联國家標準 401-41, 苏联國產变压器具有下述的標準結線方式和線捲結線組。

从所引用的結線方式和結線組中可以看出, 苏联國產变压器線捲的結線方式採用星形-星形或星形-三角形, 同時星形側的性點还可以引出。

在苏联, 对星形-星形結線方式, 採取 12 型結線組, 而对星形-三角形則採取 11 型結線組。

莫斯科变压器製造廠所製造的、容量为 100 千伏安以下的变

a) 三相二線捲变压器

線捲結線圖		向 量 圖		標誌符号
高 压	低 压	高 压	低 压	
				Y/Y_0-12
				$Y/\Delta-11$
				$Y_0/\Delta-11$

压器的結綫方式和結綫組只有 Y/Y_0-12 。容量由 100 千伏安到 1800 千伏安範圍內的變壓器的結綫方式和結綫組有 Y/Y_0-12 和 $Y/\Delta-11$ 。容量在 1800 千伏安以上的變壓器的結綫方式和結綫組只有 $Y/\Delta-11$ 或 $Y_0/\Delta-11$ 。

6) 三相三線捲變壓器

線捲結綫圖			向 量 圖			標誌符號
高 压	中 压	低 压	高 压	中 压	低 压	
						$Y/\Delta-12-11$

Б) 單相二線捲變壓器

線捲結綫圖		向 量 圖		標誌符號
高 压	低 压	高 压	低 压	
				$1/1-12$

Г) 單相三線捲變壓器

線捲結綫圖			向 量 圖			標誌符號
高 压	中 压	低 压	高 压	中 压	低 压	
						$1/1-12-12$

上述係指正常變壓器而言。

為了發電廠及變電所的本身需要，莫斯科變壓器製造廠按特殊技術條件製造各種所需容量之廠用變壓器，其短路電壓值 (u_k) 較高，結綫方式為星形-星形和星形-三角形。

依照蘇聯國家標準 401-41 之規定，電力變壓器高壓線捲的符

号如下:

單相者 始端为 A , 末端为 X

三相者 $\left\{ \begin{array}{l} \text{始端为 } A, \text{ 末端为 } X \\ \text{始端为 } B, \text{ 末端为 } Y \\ \text{始端为 } C, \text{ 末端为 } Z \end{array} \right.$

線捲中性點为 O 。

中压線捲除上述符号外, 尚附有标记 (m), 即: $A_m, B_m, C_m, X_m, Y_m, Z_m$ 和 O_m 。

低压線捲符号与高压線捲同, 不过是用小写字母:

始端为 A , 末端为 x

始端为 B , 末端为 y

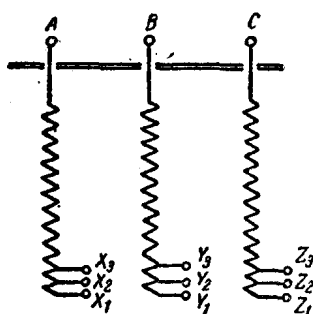
始端为 C , 末端为 z

線捲中性點为 O 。

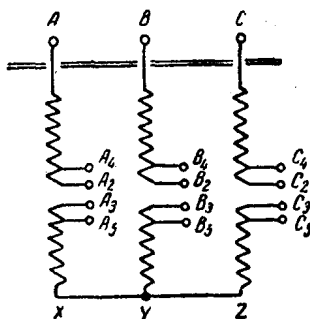
美國標準也和我們的一样, 三相变压器線捲始端的符号是 A, B, C , 線捲末端为 x, y, z , 而單相变压器線捲始端的符号是 A , 末端是 X 。

依照德國標準, 三相变压器的線捲始端符号是 U, V, W , 而末端符号是 X, Y, Z ; 單相变压器的線捲始端符号是 U , 末端是 V 。

第 2-1 到 2-5 圖为莫斯科变压器製造廠所製造的变压器的線捲結線圖, 並註明三相及單相变压器線捲的始端、末端、分線头及



第 2-1 圖 在中性點附近
具有調压分線头的線捲的
結線圖



第 2-2 圖 具有四个調压
分線头的線捲的結線圖