

高等學校教學用書

變壓器計算

季霍米羅夫著



機械工業出版社

3300138

电子学研究所
3300138
3300138

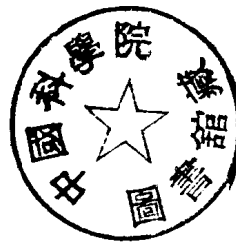
高等學校教學用書



變 壓 器 計 算

徐嘉誥、蔡 頤、鄧友豹譯

蘇聯文化部高等教育司審定為動力學院及
電工學院和大學動力系及電機系的教學參考書



电子学研究所



機械工業出版社

3300138

出版者的話

本書敘述電力變壓器計算理論的基本知識，詳盡地敘述了它的計算方法，並附有具體的計算實例。

書中還介紹了計算時必需的關於變壓器冷卻系統、線捲及鐵心構造上的知識以及參考材料。

本書可供我國高等學校動力及電機專業的學生作設計課程教本之用，也可作為現場技術人員設計變壓器的參考書。

DS43

蘇聯 П. М. Тихомиров 著 'Расчет трансформаторов' (Госэнергоиздат 1953 年第一版)

* * *

No. 0835

1955 年 10 月第一版 1956 年 6 月第一版第二次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 214 千字 印張 9⁴/₉ 2,801—6,800 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(10) 1.40 元



电子学研究所

目 次

原序	5
第一章 變壓器設計的一般問題	7
1-1 蘇聯變壓器製造的發展簡述和目前變壓器生產的趨勢	7
1-2 變壓器設計的總任務	9
1-3 變壓器設計的任務書	10
1-4 變壓器鐵心結構的主要型式	10
1-5 變壓器線捲按用途、位置和形狀的分類	12
1-6 變壓器的冷卻系統	14
1-7 變壓器計算的步驟	15
第二章 變壓器主要尺寸的選擇及磁路的初步計算	17
2-1 確定變壓器主要的電氣數據	17
2-2 芯式變壓器的鐵心結構	18
2-3 矽鋼片型號及疊片間絕緣的選擇	21
2-4 變壓器製造中的增長定律	24
2-5 決定變壓器主要尺寸的公式之導引	25
2-6 β 的數值對變壓器經濟的和技術的特性之影響	27
2-7 變壓器主要尺寸的決定	30
2-8 鐵心的初步計算	32
2-9 變壓器計算例題。任務書與主要尺寸的決定	32
第三章 變壓器絕緣	38
3-1 變壓器絕緣的類別	38
3-2 變壓器在運用時絕緣所受到的影響	38
3-3 對變壓器絕緣的一般要求	39
3-4 在變壓器中所採用的電氣絕緣材料	42
3-5 絕緣間隙的主要型式	44
3-6 容許絕緣距離的選擇	46
3-7 某些個別情況下(油浸式變壓器)最小容許絕緣距離的決定	48
3-8 乾式變壓器中最小容許絕緣距離的決定	57
第四章 變壓器線捲結構的選擇	58
4-1 對變壓器線捲的一般要求	58
4-2 線捲結構的一般說明	58
4-3 線捲的結構單件及其絕緣	60
4-4 線捲型式的類別	65
4-5 扁線繞的圓筒式線捲	65
4-6 螺旋式線捲	68
4-7 多層圓筒式線捲	72
4-8 多層圓筒線圈式線捲	75

4-9	連續盤旋線圈式線捲	77
4-10	線捲結構的選擇	80
第五章	變壓器線捲及短路特性的計算	83
5-1	低壓線捲的計算	83
5-2	高壓線捲的計算	87
5-3	計算例題。線捲的計算	95
5-4	短路損耗的確定。計算例題	104
5-5	短路電壓的計算。計算例題	113
5-6	變壓器線捲中機械力的確定。計算例題	118
第六章	變壓器磁路系統的最後計算	127
6-1	鐵心幾何尺寸的確定	127
6-2	變壓器無載損耗及無載電流的決定	130
6-3	計算例題	137
第七章	變壓器的熱計算	145
7-1	變壓器中熱的傳送過程	145
7-2	變壓器冷却系統簡述	149
7-3	極限溫昇標準	151
7-4	變壓器熱計算的程序	161
7-5	線捲發熱的校核計算。計算例題	162
7-6	油箱的熱計算	167
7-7	變壓器油及線捲溫昇的最後計算	163
7-8	變壓器油重及儲油筒容積的決定	164
7-9	計算例題。油箱熱計算	164
參考文獻		169
中俄名詞對照表		170

高等學校教學用書



變 壓 器 計 算

徐嘉誥、蔡 頤、鄧友豹譯

蘇聯文化部高等教育司審定為動力學院及
電工學院和大學動力系及電機系的教學參考書



機械工業出版社

出版者的話

本書敘述電力變壓器計算理論的基本知識，詳盡地敘述了它的計算方法，並附有具體的計算實例。

書中還介紹了計算時必需的關於變壓器冷卻系統、線捲及鐵心構造上的知識以及參考材料。

本書可供我國高等學校動力及電機專業的學生作設計課程教本之用，也可作為現場技術人員設計變壓器的參考書。

DS43/11

蘇聯 П. М. Тихомиров 著 'Расчет трансформаторов' (Госэнергоиздат 1953 年第一版)

* * *

No. 0835

1955 年 10 月第一版 1956 年 6 月第一版第二次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 214 千字 印張 9⁴/₉ 2,801—6,800 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(10) 1.40 元

目次

原序	5
第一章 變壓器設計的一般問題	7
1-1 蘇聯變壓器製造的發展簡述和目前變壓器生產的趨勢	7
1-2 變壓器設計的總任務	9
1-3 變壓器設計的任務書	10
1-4 變壓器鐵心結構的主要型式	10
1-5 變壓器線捲按用途、位置和形狀的分類	12
1-6 變壓器的冷卻系統	14
1-7 變壓器計算的步驟	15
第二章 變壓器主要尺寸的選擇及磁路的初步計算	17
2-1 確定變壓器主要的電氣數據	17
2-2 芯式變壓器的鐵心結構	18
2-3 矽鋼片型號及疊片間絕緣的選擇	21
2-4 變壓器製造中的增長定律	24
2-5 決定變壓器主要尺寸的公式之導引	25
2-6 β 的數值對變壓器經濟的和技術的特性之影響	27
2-7 變壓器主要尺寸的決定	30
2-8 鐵心的初步計算	32
2-9 變壓器計算例題、任務書與主要尺寸的決定	32
第三章 變壓器絕緣	38
3-1 變壓器絕緣的類別	38
3-2 變壓器在運用時絕緣所受到的影響	38
3-3 對變壓器絕緣的一般要求	39
3-4 在變壓器中所採用的電氣絕緣材料	42
3-5 絕緣間隙的主要型式	44
3-6 容許絕緣距離的選擇	46
3-7 某些個別情況下(油浸式變壓器)最小容許絕緣距離的決定	48
3-8 乾式變壓器中最小容許絕緣距離的決定	57
第四章 變壓器線捲結構的選擇	58
4-1 對變壓器線捲的一般要求	58
4-2 線捲結構的一般說明	58
4-3 線捲的結構單件及其絕緣	60
4-4 線捲型式的類別	65
4-5 扁線繞的圓筒式線捲	65
4-6 螺旋式線捲	68
4-7 多層圓筒式線捲	72
4-8 多層圓筒線圈式線捲	75

4-9	連續盤旋線圈式線捲	77
4-10	線捲結構的選擇	80
第五章	變壓器線捲及短路特性的計算	83
5-1	低壓線捲的計算	83
5-2	高壓線捲的計算	87
5-3	計算例題。線捲的計算	95
5-4	短路損耗的確定。計算例題	104
5-5	短路電壓的計算。計算例題	113
5-6	變壓器線捲中機械力的確定。計算例題	118
第六章	變壓器磁路系統的最後計算	127
6-1	鐵心幾何尺寸的確定	127
6-2	變壓器無載損耗及無載電流的決定	130
6-3	計算例題	137
第七章	變壓器的熱計算	145
7-1	變壓器中熱的傳送過程	145
7-2	變壓器冷卻系統簡述	149
7-3	極限溫昇標準	151
7-4	變壓器熱計算的程序	151
7-5	線捲發熱的校核計算。計算例題	152
7-6	油箱的熱計算	157
7-7	變壓器油及線捲溫昇的最後計算	163
7-8	變壓器油重及儲油筒容積的決定	164
7-9	計算例題。油箱熱計算	164
參考文獻		169
中俄名詞對照表		170



原 序

蘇聯共產黨第十九次代表大會關於發展蘇聯的第五個五年計劃的指示中指出：‘保證迅速增加電站的發電能力，以便更充分地滿足國民經濟日益增長的電力需要和居民生活對電力的需要，並增加動力系統的儲電量’。發電站及電氣網絡和電氣系統的迅速增長也要求大大地提高各種形式電氣設備的生產量；變壓器也是其中之一，而且也要求製造出新式的超強力的高壓變壓器，以及各種型式的特種變壓器。這裏最重要的是指示中的要求，即‘在設計新機器時，力求減輕其重量而提高其質量’。

目前，無論在電氣網絡或電氣系統中，在用於電爐、水銀整流器、電動機啓動等特殊用途的生產裝置中，在無線電工程中，及自動化和通訊系統中都極廣泛地應用着變壓器。變壓器的型式、構造以及冷卻系統是非常多樣的，它的容量又可能由幾個伏安直到幾萬仟伏安。顯然，包括所有型式的變壓器計算的教本是會異常龐大的。因此本書只研究應用得最廣的鐵柱式同心三線捲或雙線捲的油浸或乾式電力變壓器。關於特種變壓器的計算特點則不加研究，但是，書中所講到的材料，在計算這些變壓器時，在很大程度上是會有用處的，因為線捲、鐵心及冷卻系統在這些變壓器中和在電力變壓器中的構造常常是一樣的。

本書主要目的是供動力和電機高等學校的學生作變壓器設計課程的教本之用。對於高等學校作畢業設計以及技術學校的學生也能有所幫助。作者希望本書對青年工程師——設計者和在工作中有需要計算或是驗算變壓器的其他專門人才亦能有所裨益。

爲應用便利起見，所有必要的具體說明及參考資料都穿插在敘述計算的理論及方法的文字中。書中並做出兩個變壓器：180 仟伏安電壓爲 10 仟伏和 1800 仟伏安電壓爲 35 仟伏的計算例題。對第一個變壓器還用了冷軋矽鋼片作了另一個計算方案。這些計算例題以附錄形式附於有關各章中。這樣，可以使讀者了解根據前面的敘述進行計算的方法。

變壓器的計算是和設計的第二階段——構造緊密地聯系着的。如果沒有變壓器各部分構造的知識，計算者是不能很好地完成自己的任務的。因此作者認爲有必要在敘述計算的理論和方法的過程中，介紹一些計算時在構造方面所需要的最低限度的知識。

其中首要的是線捲，它的構造在計算時已大部分肯定了。關於鐵心及冷卻系統的構造則介紹得比較簡略。爲了要能更好地把計算與構造聯系起來，在設計的第一階段，最好手邊能有一本關於構造的書籍，例如：沙博日尼可夫（А. В. Сапожников）所著的‘變壓器的結構設計’（國家動力出版社，1952 年）[●]。

對於從變壓器在一定工作時間內能量損耗的價值來確定變壓器的最小價值的問

● ‘變壓器的結構設計’已由本社譯成中文本出版。——編者

題，本書不作介紹，因為在編製蘇聯國家標準 (ГОСТ) 時，這個問題已經解決了，而且在計算單獨的變壓器時，也無需考慮這個問題。

在編寫本書時，作者採用了莫斯科莫洛托夫 (В. М. Молотов) 動力學院的變壓器設計講義的經驗和莫斯科古比雪夫 (В. В. Куйбышев) 變壓器工廠的經驗。

作者希望所有關於本書缺點的意見都能寄至下列地點： Москва, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат 轉交。

作 者

第一章 變壓器設計的一般問題

1-1 蘇聯變壓器製造的發展簡述和目前變壓器生產的趨勢

電力變壓器是每一個電力網絡或電力系統中最重要的一部分。在近代的輸電系統中，電能由發電的地方經過很遠的距離輸送到用電的處所，需要在昇壓及降壓變壓器中變壓三四次以上。因此，變壓器安裝的總容量就要超過發電機的安裝容量好幾倍。由於在極多的小用電戶間配電的需要，也使變壓器的數量遠較發電機的數量為多。

蘇聯變壓器製造事業隨着蘇聯整個國民經濟的增長而成長和發展。在發展強大電力系統方面，國民經濟增長着的要求把在數量上和質量上提高變壓器生產的新任務擺到蘇聯電器工業的面前。在大河流上興建的強大水力發電站和在燃料產區附近興建的火力發電站都需要大量容量極大的變壓器。隨着發電站和電力系統容量的增加，又增加了輸電線路的長度，這樣就引起了提高輸電線路以及變壓器電壓的要求。

蘇聯電器工業滿足了國民經濟增長的全部需要，在五年計劃的年代裏掌握了高壓方面額定電壓為 6, 10, 35, 110 及 220 仟伏，從每台 10 仟伏安到三相 60000 仟伏安及單相 45000 仟伏安(構成 135000 仟伏安三相變壓器組)的各種雙線捲及三線捲變壓器的生產。為供應古比雪夫及斯大林格勒水電站，容量更大的額定電壓達 400 仟伏的變壓器的生產問題被提到日程上來。變壓器的每台容量(即每一台三相或單相變壓器的容量)及電壓的逐年增長情況如圖 1-1。

以古比雪夫命名的，曾獲得列寧勳章和勞動紅旗勳章的莫斯科變壓

器工廠[●]所生產的 ТМТТ-60000/110 型，三相，三線捲，電壓為 110、35 及 11 仟伏的抗雷變壓器可做為蘇聯變壓器製造業在生產強力變壓器方面的成就的一個例子。

蘇聯國民經濟除了要求一般電力變壓器外，還要求電器工業供給一系列有特殊用途的變壓器；例如饋電給水銀整流器和電爐的變壓器，特殊試驗變壓器，表用變壓器等等。在蘇聯電器工業生產的這些特種型式變壓器的製造中，應當提到的是 40000

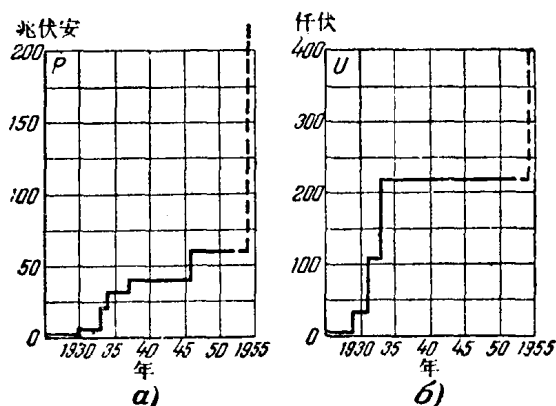


圖 1-1 蘇聯變壓器容量及電壓的逐年增長圖：

a—每台容量；b—高壓側電壓。

● 在本書中，莫斯科古比雪夫變壓器工廠以後一律簡稱為莫斯科變壓器工廠 (MTS)。

安、三相電爐變壓器以及饋電給水銀整流器用的變壓器，它們要在經常有短路和逆弧的異常艱巨情況下工作。創造這種機械方面極端堅固的構造的彼德羅夫（Г. Н. Петров）教授，莫斯科變壓器工廠工程師滿金（Э. А. МАНЬКИН）和哥爾新（Н. Н. Корсун）都獲得了斯大林獎金。

爲了提高強大電力系統中控制的靈活性及便利性，控制方法的自動化，尤其是在不間斷負載的情況下能遠距離控制變壓器的電壓是具有極大的意義的。這個任務因製造了極大數量裝有有載電壓調整機構，電壓爲 35 及 110 仟伏的各種容量的變壓器而獲得解決。

在有載調壓系統新的構造的發展方向中，下一步就應該是製出電壓爲 220 仟伏的調壓系統。

製造在高建築物及特種車間等處用的防火變壓器是變壓器製造業面臨的重要任務之一。這一任務由於創造了用耐熱石棉或玻璃絲絕緣的大型乾式變壓器的製造方法而得到解決。

在蘇聯變壓器製造的發展中，莫斯科變壓器工廠的工作人員是主要的人物，他們在兩年半的時間內完成了第一個五年計劃；首先製造並生產了各種蘇聯大型高壓變壓器系列及一系列的特種變壓器，並且製出電壓達 400 仟伏的新式超強力變壓器供古比雪夫及斯大林格勒水電站之用。莫斯科變壓器工廠的變壓器在以列寧命名的第聶伯爾水電站，莫斯科運河，齊姆良水電站及其他許多蘇聯的大企業裏運行着。

與發展大型高壓變壓器生產的同時，蘇聯電器工業對改進它們的品質和提高電氣及機械強度和耐熱性也給予極大的注意。尤其是在偉大的衛國戰爭時期及其後的年代裏，在這方面獲得極大的成功。在這些時間內，生產了一系列電壓爲 110 及 220 仟伏的新型的大型抗雷變壓器，並大大地提高了 6、10 及 35 仟伏的配電變壓器的衝擊強度。莫斯科變壓器工廠的工程師拉比諾維奇（С. М. Рабинович），克郎高斯（Ю. С. Кронгауз），切而金（А. М. Чертин），別而林（А. Г. Перлин）和格而別林（Б. Б. Гельперин），因爲由理論上創造了蘇聯大型抗雷變壓器的新的結構方法，都獲得了斯大林獎金。因不再採用 1.5~2 公厘薄鋼板焊接的油箱和散熱器，而改用管式油箱及管式散熱器，油箱的機械強度就大大地提高，並減少了它的重量和成本。

用一個強大的風扇和一套粗笨的分佈冷却室及管子的舊式空氣冷却方法已被用許多小風扇裝在每個冷却器上的更現代化的、堅固而價廉的冷却方法所代替。

蘇聯變壓器製造業在變壓器製造中提高勞動生產率，減低製造成本及改善勞動條件方面也獲得巨大的成就。這些任務的完成或由於工廠內一系列的措施，如個別生產過程的機械化，或由於變壓器本身構造的改進，如採用需要勞動量較少的線捲、鐵心及油箱的結構，以及節省材料，用便宜的材料代替等等。

目前蘇聯變壓器製造業的主要任務是由電力網絡的擴展決定的，這一擴展隨着古比雪夫及斯大林格勒水電站的興建而俱來；並且除了電壓爲 400 仟伏的超強力變壓器外，還需要極大數量的容量較小、電壓較低的變壓器。這些變壓器容量的總和是

非常大的；它們一方面應該很便宜，另一方面又應該在電氣、機械及耐熱的方面都是堅固耐用的；並且需要最少的維護費用。

採用新型的有效材料和絕緣材料是能有效地幫助完成這些任務的。使用冷軋出來的有高導磁率的變壓器矽鋼片就能夠大大地節省有效材料——變壓器矽鋼片與線捲銅線，絕緣及其他材料。這種矽鋼片的單位損耗低，所以與普通所用的熱軋矽鋼片比較，它的磁通密度可以允許用得高得多。在換用冷軋矽鋼片的同時，還應該提出提高變壓器效率的問題，它在電力系統的運用上有極大的經濟性。

1-2 變壓器設計的總任務

設計者在計算變壓器時總的任務就是要得出一個指定的容量，有指定的線捲電壓的變壓器，它要具有指定的特性，機械和電氣方面都有足夠的強度，能耐熱，並且在製造中是最簡單和最經濟的。

在絕大多數的情況下設計出的變壓器都應該符合標準的或特殊的技術條款所規定的要求；這樣，它們就應完全具有一定的技術特性。在這些特性中一般是規定：短路損耗及電壓，無載損耗及電流。在設計實踐中都知道這個任務的解決方法是多樣的，因為同樣的原始數據（容量、線捲電壓及特性）在變壓器主要尺寸之間的關係有不同的時候，可能得出一系列不同的變壓器。這些變壓器不論在主要尺寸方面。或在電磁負載的大小，有效材料（線捲銅線、鐵心矽鋼片）的重量及成本，線捲的機械強度和耐熱性方面都可能互有差別。

設計變壓器時，在計算的第一階段中就已經應該確定變壓器的主要尺寸：鐵心的直徑，線捲的高度及兩個線捲的每匝平均長度。因此，就應該用某一種方式來選擇這些尺寸之間的一定關係。

幾十年來，許多俄國以及國外的研究者曾從事於關於選擇最好的變壓器主要尺寸關係這一問題的工作。接觸到這一問題的第一篇創作發表於1892年，這是創造第一個三相變壓器構造的俄國學者多里沃-多布羅沃爾斯基（М. О. Доливо-Добровольский）所做的。

在1920到1950年之間，蘇維埃學者彼德羅夫（Г. Н. Петров），特拉比斯基（А. В. Трамбицкий），特拉別斯尼可夫（В. А. Трапезников），布爾加可夫（Н. И. Булгаков），巴達克（Н. Ф. Байдак）等人曾對這個問題做了一系列的工作。在許多國外學者的工作中對這一問題也做了研究。在這些工作中，對選擇變壓器主要尺寸這一問題的解決大多數都基於下列的論點：即要得出一個有效材料的價值最低的變壓器；或者在某些情形下，變壓器成本要是最低的，這就是說，變壓器本身和在一定時間內變壓器內部能量損耗的價值總和是最低的。

1926年特拉比斯基首先指出應當根據標準所規定的短路電壓來確定變壓器主要尺寸的關係。1931年彼德羅夫提出一個公式，表示出變壓器主要尺寸與它的容量，鐵心中容許磁通密度及短路電壓的無效分量間的關係。在目前，根據彼德羅夫提出的公

式和其他關係,並且考慮到不僅要使有效材料成本最低和達到規定的特性,而且線捲要有一定的機械強度和耐熱性;那麼從計算的最初起,就可以選定變壓器的主要尺寸了。

1-3 變壓器設計的任務書

在變壓器設計的任務書中,一定要指明下列各點:

- 1) 變壓器總容量 S (仟伏安);
- 2) 相數 m ;
- 3) 週率 f (赫芝);
- 4) 初級及次級線捲的相間額定電壓 U_1, U_2 (伏);
- 5) 線捲聯接圖和線捲聯接組;
- 6) 變壓器的冷卻方式;
- 7) 負載的特性——連續或短時,如果是短時則應指明負載的大小和時間,以及負載間間隔的時間;

除了這些數據外,在任務書中一般還指出變壓器的主要特性:

- 8) 短路電壓 u_k (%);
- 9) 短路損耗 P_k (瓦);
- 10) 無載損耗 P_x (瓦);
- 11) 無載電流 i_0 (%)。

這些特性可以直接指定,也可以參照適當的蘇聯國家標準。任務書中也可能指明變壓器裝置的方式——戶內的(在室內)或戶外的(在露天)。

變壓器應該這樣設計:使它不但能滿足特性方面和保證連續運用的強度方面的所有要求,並且在製造上要儘可能地簡單和經濟。對油浸式變壓器來講,在設計時應該注意的是變壓器的主要特性——短路及無載損耗,短路電壓及無載電流——在ГОСТ 401-41 中都有規定。對於特種用途的變壓器;例如饋電給水銀整流器或電爐的變壓器,乾式變壓器等等,它們的特性在有關的蘇聯國家標準中也有規定,或者可以規定於變壓器設計時的技術條款中。

選擇有效材料的適當負載比率和合理地選擇變壓器的主要尺寸可以使變壓器具有一定的特性。製造一個具有最大的強度和耐用性,在製造時又是最簡單和最經濟的變壓器的問題,可由正確地確定變壓器在運用時所要受到的影響,正確地選擇個別部件的尺寸、材料和零件的結構來解決。關於這些問題一系列的介紹將見於關於變壓器鐵心、線捲及其他部分計算的各章中。

1-4 變壓器鐵心結構的主要型式

變壓器的磁路是由特種電工矽鋼片組成的,叫做鐵心。鐵心的機械夾緊是藉特種結構完成的:如用木塊, U 形鋼(槽鋼)或鉚接鋼等形狀的夾緊橫樑(鐵軀橫樑)及各

種不同的夾緊螺釘或螺桿與其他的夾緊零件。裝好的鐵心連同全部的夾緊裝置及零件叫做變壓器的身架(圖 1-2)。在油浸式變壓器裏變壓器身架連同線捲及線捲引線叫做變壓器的器身。

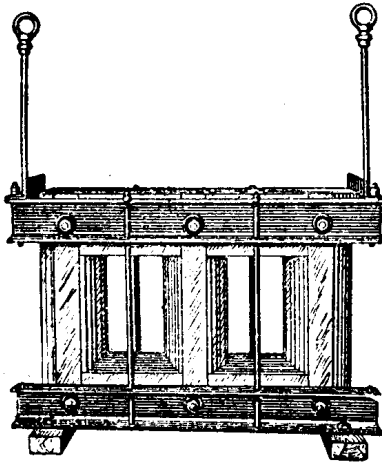


圖 1-2 180 仟伏安、6 仟伏的三相芯式變壓器的身架

鐵心可分為鐵柱及鐵軛兩部，鐵柱是鐵心中套有線捲的部分，鐵軛是沒有線捲的部分，用它來閉合磁路(圖 1-3)。鐵軛普通都用夾緊橫樑來夾緊，而鐵柱則用螺桿及特種夾片夾緊；但也可以完全沒有特別的夾緊裝置而僅靠在線捲與鐵柱間插入的木條來夾緊。

按照鐵柱、鐵軛及線捲間的相互位置，鐵心又可分為芯式及殼式。在芯式中，鐵軛靠着線捲的頂面和底面，而不包圍線捲的側面(圖 1-3)。

這類變壓器的鐵柱的安置是豎立的。

在殼式鐵心中，鐵軛不僅包圍着線捲的頂面和底面而且包圍着它的側面。線捲好像是被鐵殼掩護着似的，所以這種鐵心獲得了殼式這個名稱(圖 1-4)。

除了這兩種型式之外，還有着幾種芯式的變形，按照性質說，它們是種中間型式。圖 1-5 所示的所謂五柱三相鐵心就是這類中間型式的一例。

在芯式變壓器中鐵柱的橫截面絕大多數是做成內接於圓的階梯形，以便採用圓筒形的線捲(圖 1-3)。殼式鐵心的最大特點是它的橫截面是長方形的，便於採用有圓角的長方形線捲。

按照鐵軛及鐵柱的相互位置，鐵心又可分為對稱式與非對稱式。圖 1-4 所示的單相鐵心是對稱式的一個例子。在圖 1-3 及 1-5 上所示的三相鐵心是非對稱式的，因為它們中間的鐵柱及兩邊的鐵柱對鐵軛而言，其相互位置是不同的。

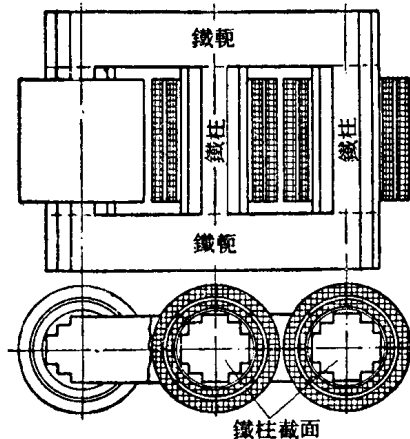


圖 1-3 裝上線捲的三相芯式變壓器的鐵心

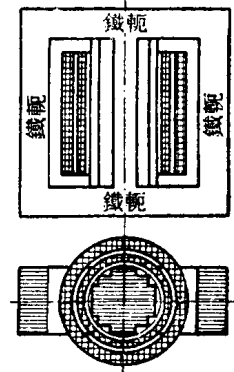


圖 1-4 裝上線捲的單相殼式變壓器的鐵心

在變壓器製造的實踐中，裝有圓筒形的線捲、鐵柱截面為內接於圓的階梯形的芯式鐵心得到最廣泛的應用。在線捲及鐵柱截面的式樣與芯式相似的殼式變壓器(圖 1-4)中，兩側的鐵軛需要特殊的夾具，因而在構造上較為複雜，所以這種結構只用在某些特種型式的變壓器中；如表用或試驗變壓器中。至於線捲及鐵柱截面都為長方形

的殼式變壓器較之芯式變壓器不僅在鐵心夾緊方面，就是在線捲的安裝和固定方面都要大為複雜。

鐵柱為水平置放的這種型式的鐵心，在裝置由線捲接到裝在變壓器箱蓋上的絕緣套管的引線時有些優點。一些國外廠家在饋電給電爐用的變壓器中採用這種型式。蘇聯變壓器製造業在採用構造上更簡單的芯式鐵心的基礎上，把這些變壓器的有極大電流的出線問題解決了。

如圖 1-5 所示的五柱鐵心則在極大的變壓器中應用。其某些構造上的複雜和外形長度的增加由於鐵心高度的減少而得到補償；與容量相同的三柱鐵心比較，五柱鐵心的高度可以減低將近一個鐵軛的高。這種鐵心外形以至整個變壓器高度的減低在用鐵路運輸大型變壓器時非常重要。

按照裝配的方法鐵心可分為：對接鐵心及疊接鐵心兩種；對接鐵心的鐵柱和鐵軛是分別裝配和夾緊的，在鐵心裝配時再對攏來並用特種夾緊設備夾緊。疊接鐵心通常採用的裝置次序如圖 1-6。裝配是在平台上進行，將一層層矽鋼片（一般是兩張一層，少數是三四張一層）用交疊的方法放上去，先照方式 I 放第一層，再照方式 II 放第二層，依此類推。裝配完成並用夾緊橫樑將鐵軛夾緊以後就得到變壓器的身架，一般的說，不再需要任何附加的夾緊裝置。圖 1-6 所示的裝配次序是最簡單的一種，但並不是唯一

可能的方法。在將線捲套到鐵柱上時，疊接鐵心（身架）的上部鐵軛要一層層地取下，線捲套入後再重新裝好。

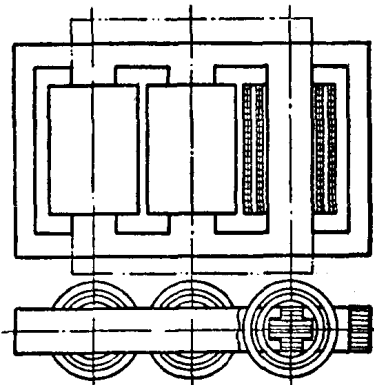


圖 1-5 帶有同心式線捲的五柱三相變壓器的鐵心

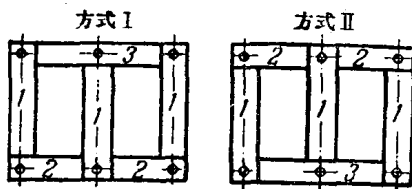


圖 1-6 三相疊裝鐵心的裝配次序

分別裝好鐵柱及鐵軛的對接鐵心，較之疊接鐵心需要更大更堅固的夾緊設備來夾緊鐵柱和鐵軛，並需要有如夾緊螺釘、金屬夾板等特殊的構造來夾緊鐵柱與鐵軛。此外，為了減少對接鐵心中的空氣隙，還需要額外地將它用機床去加工，以鉋平鐵柱與鐵軛的對接表面，或者要在特種磁性平板上裝配鐵柱及鐵軛。

由於夾緊構造的簡單和經濟，以及裝配非常簡便，疊接鐵心得到最廣泛的應用。在蘇聯變壓器製造中，一切型式，包括最大容量的變壓器都採用這種鐵心。對接鐵心過去在國外，主要是歐洲的工廠中曾被廣泛採用，現在則僅部分地被應用着。

1-5 變壓器線捲按用途、位置和形狀的分類

在雙線捲變壓器中有兩個電氣方面互不相聯的線捲，即與較高電壓的電路相聯的高壓線捲及與較低電壓的電路相聯的低壓線捲。在三線捲變壓器中有三個電氣方