

变压器的修理

苏联B.B.伊瓦舍夫著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書研討配電用及一般工廠用的容量在1000千伏安以下、電壓在10千伏以下的電力變壓器的修理，敘述這類變壓器的各個元件的修理工藝和所用材料的主要數據，闡明變壓器的試驗問題，並載有同變壓器修理問題有關的參考用表和各種標準。

對變壓器的基本作用原理已具有一般知識，並且正從事變壓器修理工作的一般中等技術人員，適于閱讀本書。

В.В.ИВАШЕВ

РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1954

變壓器的修理

根據蘇聯國立動力出版社1954年莫斯科第2版翻譯

倪鍾煥譯 吳維誠校訂

*

656D168

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 開本 * 7%印張 * 194千字

1957年8月北京第1版

1959年4月北京第3次印刷(8,621—14,750冊)

統一書號：15143·565 定價(第10類)1.40元

目 录

緒言	5
計劃修理的週期标准和分类	5
事故修理, 主要損坏的分类	7
修理变压器的基本任务	8

第一章 电力变压器的構造

第 1 节 导磁体	10
a) 导磁体的类型	10
b) 鉄心柱和軛鉄的配置和形式	12
B) 导磁体材料	14
r) 鋼片的絕緣	14
第 2 节 导磁体的輔助結構	15
a) 鉄心柱的構造	15
b) 軛鉄的構造	15
B) 夾紧螺栓	16
r) 导磁体的接地	17
第 3 节 綫卷	18
a) 同心式綫卷	18
b) 綫匝的换位	23
B) 交疊式綫卷	24
第 4 节 綫卷的引出綫	25
a) 引出綫的标誌	25
b) 引出綫的形式、截面和連接	26
B) 調整电压用引出綫	28
第 5 节 变压器的絕緣	30
a) 总則	30
b) 絕緣距离	33

a) 絕緣材料	36
第 6 节 綫卷的結綫圖和連接組	39
a) 結綫圖	39
b) 連接組	41
第 7 节 調整电压用切换开关的安裝和構造	46
第 8 节 變压器的油箱	49
第 9 节 變压器的附件	52
a) 油枕	52
b) 油位指示器	56
c) 防爆管	58
d) 瓦斯繼电器	58
第 10 节 磁套管	58

第二章 變压器修理工作中的計算和設計要点

第 11 节 总則	60
第 12 节 典型計算單	61
第 13 节 導磁体的測量、繪制草圖和計算	66
第 14 节 綫卷和絕緣的測量、繪制草圖和計算	69
第 15 节 短路电压的驗算	84

第三章 修理工艺

第 16 节 总則	89
第 17 节 變压器的接受修理，查明缺陷和确定修理范围	90
第 18 节 導磁体的修理	98
a) 总則	98
b) 在工厂条件下變压器鋼片的絕緣和准备	100
c) 上軛鉄的裝配和夾紧螺栓的絕緣	106
第 19 节 綫卷的修理	108
第 20 节 新綫卷的制作	112
第 21 节 綫卷接綫圖的改接和變更	120
第 22 节 綫卷的浸漬	124
第 23 节 綫卷的焊接	125
第 24 节 鉄心的裝配	128
第 25 节 綫卷和鉄心絕緣的干燥	130
第 26 节 綫卷的压紧和楔紧，器身的裝入油箱	137

第 27 节	瓷質出綫套管的膠合	141
第 28 节	切换开关的修理	145
第 29 节	油箱、油枕和附件的修理	146
第 30 节	变压器的灌油和試驗的准备	151

第四章 修理組織

第 31 节	总則	152
第 32 节	修理的分类	153
第 33 节	典型的修理工艺程序表	163
第 34 节	修理所的組織	165

第五章 变压器修理时的試驗

第 35 节	試驗的分类	168
第 36 节	試驗方法和試驗标准	171
a)	絕緣电阻的測量	171
б)	变压比的測量	172
в)	綫卷連接組的确定	176
г)	綫卷欧姆电阻的測量	182
д)	空載試驗	184
е)	短路試驗	188
ж)	絕緣的电气强度試驗	190
з)	綫卷匝間絕緣强度的試驗	193
и)	油箱和棚垫严密度的試驗	194
第 37 节	溫昇試驗	194
第 38 节	修理中的若干特种試驗	199
a)	确定綫卷并联可能性的試驗	199
б)	确定綫卷匝数	202
в)	确定导磁体的空載特性的試驗	204
г)	确定变压器容量和电压的試驗	204
第 39 节	故障的特征和查寻的方法	205
第 40 节	試驗的記錄文件	205
第 41 节	进行試驗时的基本安全規程	213
参考文献		214

附 录

附录 1 技术通报第 26/234 号莫斯科, 1944 年 5 月关于变压器密封

用抗油橡膠和軟木的代用品問題	216
附录 2 莫斯科变压器厂制造的切换开关的使用說明	219
附录 3 試驗站所需的設備和仪器一覽表	222
附录 4 变压器用数种型式瓷出綫套管的数据	224
附录 5 电工絕緣漆和瓷漆	226
附录 6 变压器的計算-設計数据	229
表 A. 符合全苏标准(OCT) 2524 規定的三相油浸自冷式 电力变压器的主要数据	229
表 B. “电气”制造厂 1929 年出品的标准系列变压器的 基本計算数据	233
表 B. “电力”制造厂出品(1925—1928)油浸自冷式三相 电力变压器的基本数据	237
表 Г. KO 型和 MO 型三相电力变压器的特性	239
表 Д. К 型和 КР 型三相变压器的特性	241
表 E. 符合全苏标准 OCT4315 規格的第 I—III 类变压器 (自 1933 年 4 月 1 日开始生产的出品)的基本計算数据(書末插頁)	
表 Ж. KO 型变压器的基本計算数据(書末插頁)	
表 3. К 型和 КР 型变压器的計算数据(書末插頁)	
表 И. 数种型式变压器的計算設計数据(書末插頁)	

緒 言

現今苏联生产的变压器理應認為在运行上最可靠，維護最簡便，以及由于構造極合理簡單，因而也是最經濟的。

苏联的变压器制造工業，由于以 B. B. 古比雪夫命名的莫斯科变压器厂的主要作用所获得的巨大成就，保證了工業和城市电力網新建工程所需的全部更完善的变压器的生产，不断增長。

除此以外，目前在运行中尚有数量較多的其他类型的变压器，即远在 1917 年以前便已經开始使用的外国厂家制造的旧式变压器和苏联制造厂所制造的各种各样構造的变压器（“电力”工厂，哈尔科夫电机厂，及“發电机”工厂在 1928 年以前的产品），以及莫斯科变压器厂 1928—1931 年間生产的第一批变压器等等。

采用先进生产工艺的新的变压器厂对于变压器構造上的改进所造成的結果是不仅不繼續生产許多旧式和構造陈旧的变压器，而且也停止制造这些变压器的备品；但正是这些已經运行了廿年或廿年以上的变压器需要修理，且往往需要整个重裝。

因此，各运行和修理機構，尤其是成立較早的企業和电力網，会遇到很多型式和構造不同的变压器。

这些变压器大部分缺少計算設計数据和技术数据，沒有备品，則又必須保證这些变压器在修理后能够可靠地工作，这便是摆在修理機構面前的極其复杂而重要的任务。

計劃修理的週期标准和分类

“电力工業技術管理法規”[文獻 27]內規定的所謂变压器取出鉄心的大修期限是按照变压器的型式、出品年份和利用小时数而定，每 10 年內至少一次。

在“电力变压器运行及維護規程”（电站部 1946 年出版）內，根据运行技术文件、預防性試驗結果和在运行中所發現的缺陷（漏

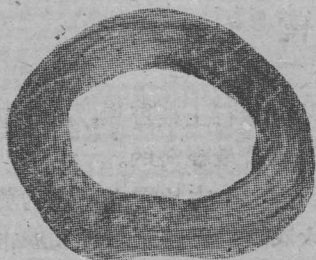


圖 1 6 千伏变压器綫卷段的匝間短路

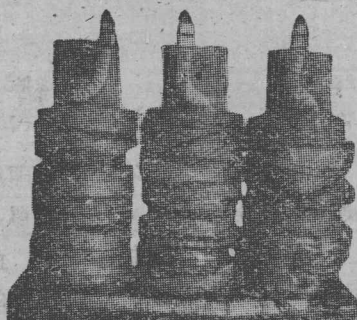


圖 2 180 千伏安变压器的綫卷
由于机械强度不够，在
發生穿通短路时所引起
的綫卷损坏情况



圖 3 由于絕緣损坏和經過螺栓形成短路回路而引起
导磁体的夾緊螺栓熔化的情况



圖 4 由于磁套管受
大气过电压襲击，發
生閃絡所引起損
坏的情况

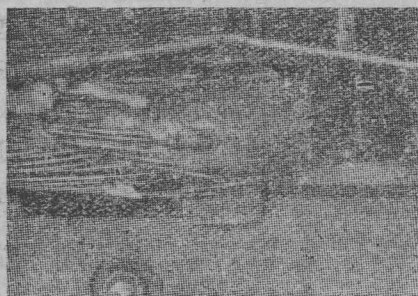


圖 5 6 千伏綫卷發生匝間短路时，
因局部發熱在綫卷上所形成的变压
器油的分解物

油、附件和套管的缺陷、油的陈老等等)规定了变压器大修的期限和进行大修的程序。

在修理场或工厂的条件下,只进行变压器的取出铁心的修理。所以把电力工业技术管理法规中所称的在修理场或工厂条件下的“大修”理解为下列三种基本类型的取出铁心的大修,是非常合适的。

a)小修理,其范围包括无需拆卸铁心的各项工作;

б)中修理,其范围包括上项所述的工作和拆卸铁心的工作,但不包括绕线卷的工作;

в)大修理,其范围包括前两项所述的工作和所有绕线卷的工作。通常根据这样的分类来确定修理工艺和大规模修理的扩大的工作量指标,并确定编制计划和进行计算所需的数据等等。

同时也必须考虑到很少遇见的一种修理——即由于变压器的不可靠,必须改变其参数,或者由于发生了事故,需要将变压器全部改造等的重装工作。在这种情况下,修理工艺也决定于修理范围,而且连变压器的构造特点都已经考虑在内。

事故修理,主要损坏的分类

除了计划修理以外,常常还必须进行事故修理或恢复修理,这种修理是由于变压器发生事故而造成的某种损伤所引起的。

实践证明,事故变压器的恢复,其工作范围一般是相当于上述计划修理的分类中的(直到全部重装)某一种,它是根据变压器损坏范围的大小和构造上所存在的各种缺陷而定。

最常遇到的变压器损坏的几种主要形式及其发生的原因列于第1表内。

变压器的事事故损坏的几个典型例子示于图1、2、3、4和5(参阅插图)。

在所有这些情况下,经过详细研究了变压器的构造和明确了它们的运行条件之后,就能决定发生事故的原因,并提出对构造上的改变,以及对运行人员的建议。

在以后按计划將同一类型的一系列变压器交付修理时，在構造上进行一定的改变，就使变压器的可靠性大大提高，并减少了它們的事故率。

变压器损坏的主要形式

表 1

損 坏 的 特 点	原 因
繞卷絕緣的陈老	由于过負載或冷却不足或因絕緣油陈老时發生油泥，引起过热
繞卷匝間短路	涌動負載，匝間絕緣的缺陷，繞卷各匝安裝得不正确，繞卷夾压得不正确，發生穿通短路时的繞卷变形
繞卷段間的击穿和短路	發生穿通短路时所引起的机械应力，使繞卷段变形，大气过电压，絕緣选用得不正确
繞卷受电动力的破坏	發生穿通短路时繞卷的机械强度不够，在运行中繞卷坚固裝置的松动等等
內部絕緣和外部絕緣的击穿和閃絡	受潮和氫暈，絕緣有裂縫和其他缺陷，大气过电压
局部發熱	連接部分接触不良，导磁体的夾紧螺栓的絕緣損坏，鋼片絕緣和接合处絕緣的破坏和局部發熱

修理变压器的基本任务

从修理的主要目的——保証变压器日后長期可靠的运行——就可以提出修理工作的基本任务如下：

1. 对于所有送往修理的变压器的構造——特別是常遇到的几种型式的变压器——进行仔細的和批判的研究。

2. 通曉变压器計算和設計的原則（特別是关于莫斯科变压器厂出品的变压器）。

3. 通曉变压器制造工艺的原則，拟訂和准确地执行修理工艺，使俾可能接近于制造厂的工艺，对于所用材料的質量进行检查。

4. 对于典型和頻發的缺陷——特別是發生事故的缺陷——进行詳細研究，并加以系統化。对于所有送往修理的同一类型的变

压器拟訂措施，并消除相类似的缺陷(不管是否有这种缺陷)。

5. 將运行人員所提意見进行确切的登記并加以系統化(例如：絕緣油的迅速陈老，溫度的升高，噪音的变剧等等)。

6. 將修理时的試驗結果和試驗数据进行登記并加以系統化，以便积累經驗，并供日后作檢查比較之用。

許多修理機構的經驗証明，实行了上述各項要求之后，可以确定事故的原因和存在的缺陷；然后，經過構造上的改变和对运行人員提出建議。以及对所有同一类型的一系列变压器（不管是否有这种缺陷）采用所拟訂的措施，就使变压器的事故率急剧下降，它們的可靠性和使用期限可以大大的增長。

第一章 电力变压器的構造

变压器的主要構成部分^①包括:

a) 構成有效磁路(或鉄心)并附帶所有堅固裝置和輔助元件的導磁體;

b) 附有主絕緣和匝間絕緣、引出綫、連接綫和堅固裝置的綫卷;

b) 附有基礎(在干式變壓器為底座)以及所有附件的油箱(在干式變壓器為外殼);

r) 出綫套管。

同時一起裝入油箱內的各部件的整體, 稱為變壓器的器身。

第 1 節 導磁體

a) 導磁體的類型

變壓器的導磁體分為單相和三相兩種; 三相者當制成一個相連接的構造時稱為磁聯導磁體, 它又可分為具有三柱, 四柱或五柱的對稱和不對稱系統。

無論單相導磁體或磁聯三相導磁體均可分為心型和殼型(或分支型)兩種。

其次, 按裝配方法的不同, 變壓器可分為由各單獨鋼片重疊而成的錯疊式者, 由各單獨的夾緊的鉄心塊對接而成的對接式者, 和同時由重疊與對接組成的混合式者數種。上述各種型式的導磁體如圖 6 所示。

^① 到現在為止變壓器的構造及其零件, 尚無準確的技術名詞。

在下述各章內多半採用了莫斯科變壓器廠所用的技術名詞, 因為在蘇聯的變壓器製造業中莫斯科變壓器廠起主要作用, 它所用的名詞最為普遍[文獻 1]。在個別情況下採用了 A. B. 特拉姆比茨基[文獻 2]所建議的技術名詞。

圖 7 表示最普遍采用的导磁体的叠裝方法。在同一平面上的鋼片組的位置次序(位置)在圖內用数字标明。

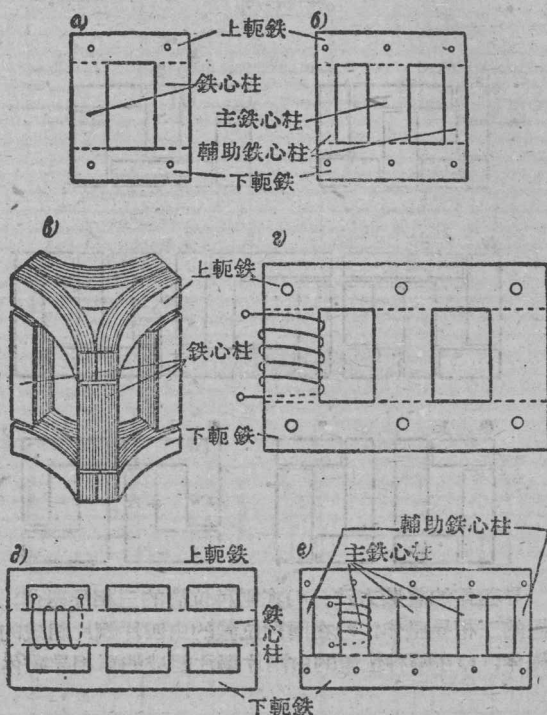


圖 6 导磁体的类型: a) 單相心型; b) 單相壳型; c) 三相对称心型; d) 三相不对称磁联心型; e) 三相壳型; f) 三相五柱心型。

無論單相或三相导磁体,在現代構造中均以錯疊式最为普遍;因为这种構造在运行上比較可靠,而且由于裝配时所需用的复杂装备和工具比較少,故制造上也較為方便。

容量在 1000 千伏安以下的变压器,在其三相磁联导磁体的構造中广泛地采用三柱心型不对称系統。

在不对称系統中鉄心柱配置在同一平面上,因此,中間的鉄心柱和兩端的鉄心柱对磁通的阻力是不相等的。中間的鉄心柱的磁通經過兩端的鉄心柱而組成閉合回路,而任何一端的鉄心柱的

磁通則必須經過中間的和另一端的鐵心柱而閉合。这样就使得不对称变压器中的中間一相的磁化电流略小于任何外端一相的磁化电流。

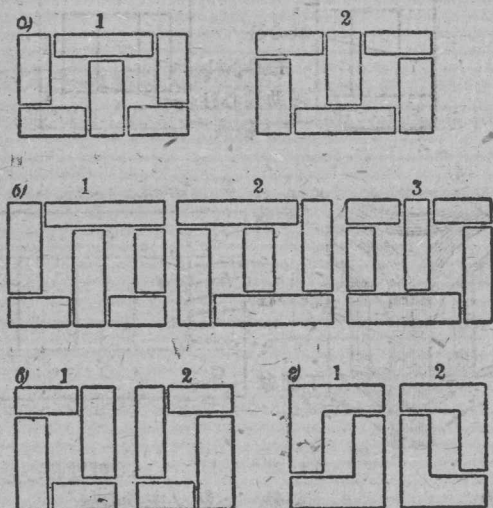


圖 7 導磁體的疊裝方法：а)在兩種位置的三相導磁體；б)在三種位置的三相導磁體；в)在兩種位置的由四片鋼片組成的單相導磁體；г)在兩種位置的由兩片鋼片組成的單相導磁體。

6) 鐵心柱和軛鐵的配置和形式

現在广泛采用的是鐵心柱为垂直安裝而軛鐵为水平安裝的導磁體。

在旧式構造中(例如，西門子厂所造的变压器)，特別是干式变压器的構造，为了使綫卷冷却得更好，也常采用水平安裝的鐵心柱。

为了更可靠起見，变压器的綫卷多半制成圓形。所以为了更好地利用鐵心柱的截面，常把它制成阶梯狀。

鐵心柱的截面积对鐵心柱外切圓面極的比，称为利用系数(k_s)。

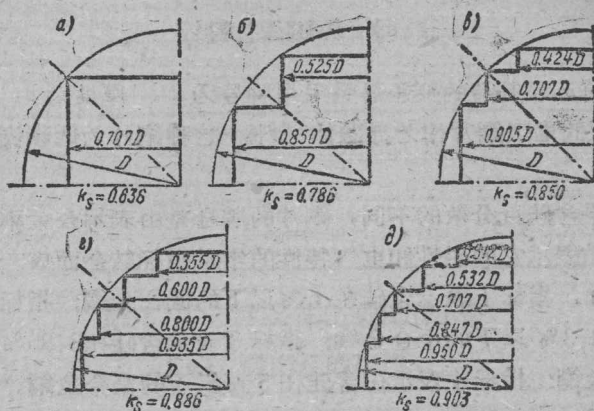


圖 8 鉄心柱截面形状和利用系数 k_s

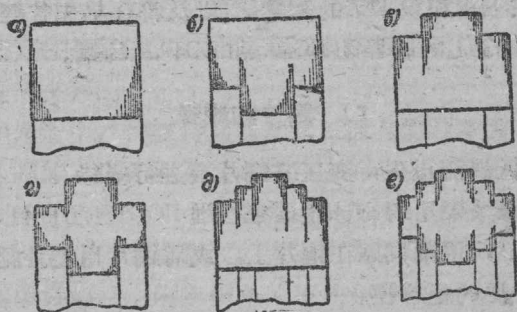


圖 9 心型变压器的軛鉄截面的各种形状

圖 8 內列有目前采用的鉄心柱的截面形状(圖內表示 $\frac{1}{4}$ 截面)和利用系数 k_s 以及最有利的鋼片寬度对外切圓直徑 D 的关系。

軛鉄的形状和截面應該这样选择，使磁通在軛鉄和鉄心柱中能够保証得到最均匀的分佈，因而同鉄心柱的形状和阶梯数有关。由于这个原因，在許多情况下軛鉄截面略較鉄心柱的截面大些。

圖 9 內列有錯疊心型变压器中最普遍采用的軛鉄截面的形状。

в) 导磁体材料

目前苏联制造的变压器系采用牌号为 Θ ，厚度为 $\delta=0.35-0.5$ 公厘的电工鋼片作为导磁体材料。这种鋼片为低碳素鋼与硅的合金。

按照含硅百分数的不同，鋼片的牌号是由表示合金率的数字指标，和表示它的磁性和电气特性的字母指标結合而成。

譬如，指标 1 表示含硅在 1% 以下的低合金鋼；指标 2 表示含硅在 3.3% 以下的中合金鋼；指标 3 表示含硅在 3.85% 以下的增高合金鋼；指标 4 表示在含硅在 5% 以下的高合金鋼。指标 A 表示降低損失率的鋼；指标 AA 表示低損失率的鋼。

电力变压器所用的鋼片系采用符合苏联国家标准 ГOCT 802-41 的牌号为 $\Theta 4A$ 和 $\Theta 4AA$ 的鋼^①，以及符合早先曾經实行的全苏标准 OCT 6391 的牌号为 EC4A 和 EC4AA 的鋼。

г) 鋼片的絕緣

为了降低渦流損失，变压器鋼片要进行絕緣。

鋼片絕緣系采用符合苏联国家标准 ГOCT 1201-41，厚 0.03 公厘的裱糊紙，用漿糊貼在鋼片上，或將鋼片用特种絕緣漆刷成厚約 0.01 公厘的絕緣膜。

漆絕緣比紙絕緣具有許多大的优点：

- а) 耐热性較大；
- б) 防湿性較大；
- в) 机械强度較大；
- г) 傳热率較大，可使导磁体塊中所产生的热更易于导出；
- д) 佔积系数 k_0 ，即鋼片的有效截面对帶有絕緣的几何截面(总面积)之比較大。

表 2 內列有系数 k_0 对絕緣种类与鋼片厚度的关系。

^① 苏联在 1954 年修改硅鋼片牌号标准，按苏联国家标准 ГOCT 802-54 內規定，相当于 ГOCT 802-41 的 $\Theta 4A$ 和 $\Theta 4AA$ 号鋼为 $\Theta 41$ 和 $\Theta 42$ 。——譯者註

表 2

系数 k_c 对絕緣种类与鋼片厚度的关系

鋼片厚度, 公 厘	鋼 片 絕 緣 种 类	
	$\delta=0.03$ 公厘的紙	$\delta=0.01$ 公厘的漆
0.35	$k_c=0.85$	$k_c=0.90$
0.5	$k_c=0.83$	$k_c=0.93$

第2节 导磁体的輔助結構

a) 鉄心柱的構造

为了保証可靠地支持綫卷, 必須創制一种構造坚固的鉄心柱的意見, 直到目前还存在着。

为了这个目的, 曾經采用鋼的或青銅的薄板或压板 (往往是复杂的形狀) 来压紧鉄心柱, 这些薄板或压板是用穿过鉄心柱全厚度的鋼螺栓来夾紧的。

在这样構造中, 曾經特別注意到压板与螺栓对鉄心柱的有效鋼片之間的絕緣, 以免圍繞鉄心柱的一部分截面形成短路回路。

苏联制造的小容量和中等容量的变压器的新構造中, 在裝上綫卷之后, 在綫卷与鉄心柱間的通道內安裝由絕緣材料制成的隔离楔条来压紧鉄心柱。隔离楔条紧压鉄心柱的鋼片, 使鉄心柱具有必要的剛性。

6) 軛鉄的構造

在錯疊式导磁体中, 通常用木梁或用与軛鉄的有效部分相絕緣的短槽鋼和夾紧螺栓来压夾紧軛鉄。按照变压器型式和容量的不同, 可采用穿过軛鉄的穿心螺栓或用露在軛鉄端外的外部螺栓来压紧軛鉄。

压紧軛鉄的結構——軛鉄梁——是坚固导磁体和綫卷的基础。因此, 軛鉄梁應該具有能受得住綫卷在短路时所产生的机械应力和器身重量的强度安全系数。