

第一章 概论

第一节 变压器分类和构造

一、变压器分类

变压器是利用电磁感应原理来改变电压的电气设备。发电机发出的电，要升高电压才能输送到远方；升高电压后的电能送到目的地后，要降低电压才能使用。电压每改变一次，都需要变压器。据统计，电力系统中每装 1kW 发电设备，需要增加 6~8kVA 变压器。变压器在国民经济发展中具有十分重要的作用。

变压器一般分为电力变压器和特种变压器。

电力变压器系指为适应电力输送和用电的需要而改变电压大小的电气设备。电力变压器的种类很多，按照运行时的作用，可分为升压变压器和降压变压器两大类。

升压变压器一般用于输电线的受电端，其一次侧是接受电能的，电压较低，联结于发电机，二次侧输出电能，将低电压变为高电压送上输电线路。为了克服输电线路的电压降落，升压变压器的高压侧电压要比线路的额定电压高出 10%。如用于 110kV 输电线路的升压变压器，其高压侧的额定电压应为 121kV。

降压变压器恰好与升压变压器相反，高压侧接受电能，低压侧输出电能，其作用是将高压输电线路的高电压变成较低的电压，再分配输送给几个用电区。降压变压器安装在高压输电线路的受电端，其高压侧的额定电压正好等于线路的额定电压，而其低压侧是联结到下一级较低电压的输电线路，所以其低压侧的电压要比该线路的额定电压高出 10%。如用于 110kV 输电线路的降压变压器，降压后送到 35kV 的线路，其低压应为 38.5kV。

降压变压器中还有一种中小容量的配电变压器，其高压侧接于线路，低压侧直接为动力或照明设备提供电源，低压侧电压通常为 400V 或 230V。

按照变压器在运行过程中调整电压的方式来区分，电力变压器又可分为无励磁调压变压器和有载调压变压器两大类。无励磁调压变压器在带电时不能调压，只有当它与电源断开的情况下，才允许操动分接开关变换调压分接头。有载调压变压器在运行中可以不用切断电源，能在带负载的情况下调整电压。

按照变压器线圈的多少，电力变压器又可分为双线圈变压器和三线圈变压器。三线圈变压器中有三个电压不同的线圈，分别称为高压、中压和低压线圈。一般容量较大的变压器才制成三线圈，中小容量的变压器几乎都是双线圈。

自耦变压器是变压器中的一种特殊结构。在自耦变压器线圈中，有一部分线圈为高压和低压所共用。自耦变压器的高压线圈和低压线圈间，除有电磁感应的关系外，还有电路上的直接联结。自耦变压器与相同容量的双线圈变压器相比，具有用料少、成本低的优点。

按变压器的相数来区分，电力变压器又可分为单相变压器和三相变压器。三相变压器结构紧凑合理，比制造单相变压器节省大量的材料和工时，故绝大多数的电力变压器都做成三相的。专供照明用电的小容量变压器大都为单相结构。容量很大的变压器，为不致使变压器的体积和总重超出运输尺寸和吨位的限制，一般采用单相组合结构。超高压变压器，为了降低绝缘造价，减少许多超高压下不易解决的绝缘问题，也往往采用单相组合结构。

用于特殊工业部门和场所的变压器称为特种变压器，例如：电炉变压器、整流变压器、试验变压器、牵引变压器、启动变压器、矿用变压器、防爆变压器、船用变压器、脉冲变压器、音频变压器等。

此外，电压互感器、电流互感器、电压调整器、电抗器、消弧线圈等，其基本原理和结构与变压器相似，故也划归为变压器类产品。

二、变压器的结构

变压器结构的主要部分是铁心和线圈，其他部分是为了使其功能达到更加完善和理想的目的而设计的。现将变压器结构的主要部分及附属部分分述如下。

（一）铁心

限定主磁场范围的闭合磁路称为铁心。铁心一般由铁心柱、铁轭及夹紧部分组成，铁心的典型结构如图 1-1 所示。装有线圈的那一部分磁路称为铁心柱，其余部分统称为铁轭。常用铁心结构形式有：外铁式（壳式）、内铁式（心式）、环形等，分别如图 1-2 所示。外铁式铁心结构线圈被铁心包围。内铁式铁心结构铁心柱被线圈包围。铁心材料目前一般采用厚度为 $0.28\sim 0.35\text{mm}$ 的具有晶粒取向和高磁导率的优质冷轧硅钢片，热轧硅钢片已逐渐淘汰。为了减小铁心的磁滞及涡流损耗，硅钢片中一般含有硅的质量分数为 $3\%\sim 5\%$ ，其两表面在轧制过程中形成一层极薄的绝缘保护膜。

铁心具有很高的磁导率，可以减小变压器主磁路磁阻，产生一定的磁通所必须的磁势将显著下降；同时还能增大线圈之间的电磁耦合，有利于一次向二次传输能量。变压器在运行中，铁心及其夹件、其他结构件（如线圈压板、压紧螺钉等）、油箱等均必须可靠接地，避免它们之间产生断续放电。

（二）线圈

形成变压器电路的匝数总和称为线圈，常用的线圈结构形式有：层式（圆筒式）、螺旋式和饼式（包括连续式和分段式）线圈。还有由铜箔或铝箔绕制的箔式线圈，它主要用于配电变压器。

变压器线圈是采用铜或铝的圆导线、扁导线绕制，再配置各种绝缘件而组成。根据变压器容量的大小和电压等级的不同，采用不同结构形式的线圈。在变压器运行中，线圈是变压器的关键部位，经常有电流通过，因此要求变压器线圈除了具备一定的绝缘和机械强度外，还应有良好的散热条件，以保证在长期运行中温度不致过高。

电力变压器常用的线圈形式如图 1-3 所示。其基本结构特征及适用范围见表 1-1，连续式线圈如图 1-4 所示。

1. 层式线圈

层式线圈习惯上叫圆筒式线圈，可绕成单层、双层或多层线圈。双层式线圈一般用于三相容量 500kVA 以下，电压为 0.4kV 的低压线圈；多层式线圈可用于电压 35kV 以下，

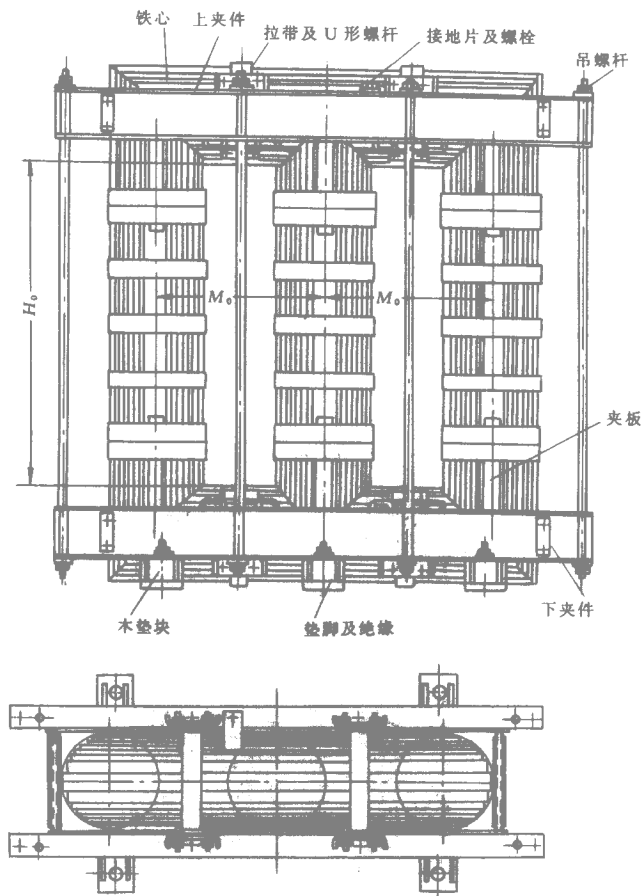


图 1-1 铁心结构部件图

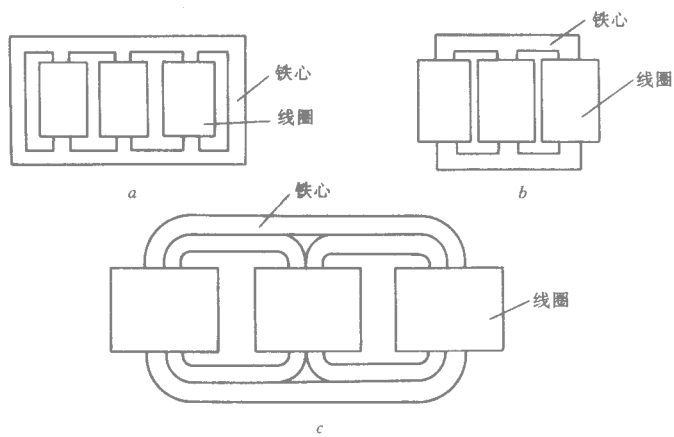


图 1-2 常用铁心结构形式

a—外铁式；b—内铁式；c—环形

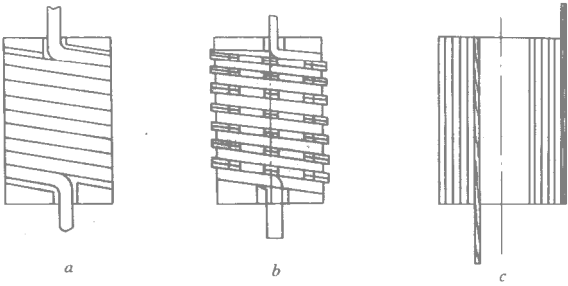


图 1-3 常用线圈形式
a—层式线圈；b—螺旋式线圈；c—箔式线圈

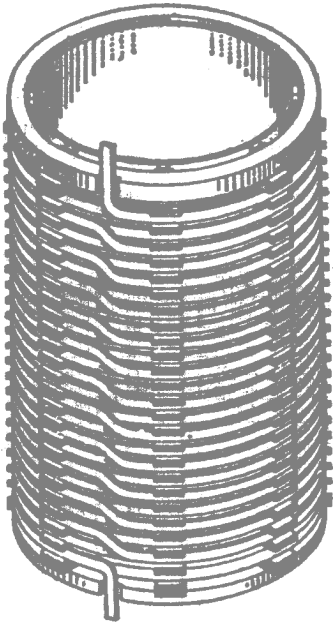


图 1-4 连续式线圈

表 1-1 各类型线圈适用范围

容量/kVA	电压/kV	线圈形式	线圈类别
630 及以下	35 以下	双层或多层圆筒式	内线柱（双层） 外线柱
800~2000	0.4	双螺旋或四螺旋	内线柱
4000~63000	35 以下	单或半螺旋	
800~31500	35 以下	连续式或半连续式	外线柱
2500~5000 及以上	60~110	纠结连续式或内屏蔽连续式	
31500 及以上	220	纠结式	

容量较小的变压器线圈，高电压大容量变压器的高压线圈也常采用多层式线圈，并设置层间油隙以利散热，端部设置有改善电场的屏蔽环，但绝缘结构较复杂。一般中小型层式线圈结构简单，工艺性能好，便于绕制，层间油道散热效率高，但端部支撑的稳定性较差。

2. 分段式线圈

分段式线圈相当于将多层式线圈沿轴向分成若干线段组成。线段间放置绝缘纸圈。一般段数为偶数，便于各段的出头连接。分段式线圈可以降低层间绝缘所承受的工作电压。其制造工艺比层式线圈略复杂。电压互感器或高压试验变压器的高压线圈多采用这种形式的线圈。

3. 箔式线圈

中小型变压器线圈可采用此种线圈形式，与多层式线圈相似，每一层仅为一匝，铜箔或铝箔的宽度等于线圈的高度。线圈可以绕得很密实，空间利用率高，并可绕成矩形结构，这样变压器器身尺寸和重量均可减小。并可自动绕制，可以提高生产效率。

4. 连续式线圈

连续式线圈由单根或若干根（并联）导线连续不间断地绕制成若干饼状线段，一般线段数为偶数，段间用油道（垫块）或纸圈隔开，两端有油道和绝缘圈。常用于 110kV 以下的中等容量变压器。

5. 纠结式线圈

这是一种特殊的连续式线圈，相邻的两线匝不是直接相联，而是间隔几个线匝后再相串联，目的在于改善在冲击电压作用下的起始电压分布。有时，根据设计要求仅在线圈首端一定区域内采用纠结式，而其余部分则采用普通连续式线圈，这时称为纠结连续式线圈。线匝由 1 根导线组成时，用 2 根导线并绕；由 2 根导线并联组成时，用 4 根导线并绕。其焊接接头较多，对可靠性有一定影响。

6. 螺旋式线圈

螺旋式线圈是由若干根导线沿辐向叠在一起，再沿轴向绕成一个螺旋式的线圈。其外形与连续式线圈相似。其一匝相当于连续式线圈的一段（单螺旋）、二段（双螺旋）或四段（四螺旋）。匝间用横垫块隔开，既作绝缘又起散热作用。对容量较小电压不太高的螺旋式线圈，有时卷成“半螺旋”式，即匝间绝缘一半采用 0.5~1mm 的线圈，一半采用横垫块，形成不均匀的螺旋式，这样可降低铁心窗口高度。由于线圈高度的限制，螺旋式线圈匝数不能太多，一般用于电流较大的低压线圈和有载调压线圈。

（三）油箱及其附件

油浸式变压器的油箱用钢板焊成，不仅是变压器器身的保护外壳，又是盛装变压器油的容器，变压器油则具有绝缘和散热的作用。油箱结构一般随变压器容量的大小而不同。其局部结构也由其附件种类的多少、大小而异。

变压器油箱主要有两种基本结构型式：平顶油箱和拱顶油箱。前者箱沿设在油箱上部，箱盖是平的，多用于容量 6300kVA 及以下的变压器；后者箱沿设在下部，油箱分成两节，下节油箱作成长盘形或槽形，上节油箱作成钟罩形，故又称钟罩式油箱，多用于容量 8000 kVA 以上的变压器。大型变压器采用拱顶油箱，其机械强度较好，变压器油的需要量也较同规格的平顶油箱少，而且在检查变压器器身时，只需吊起上节油箱，其起吊装置吨位可以减小。

油箱体的横切面形状一般为扁圆形和长方形以及圆形。箱壁厚度一般在 10mm 以下。

油箱应具备一定的机械强度和良好的密封性能。根据变压器容量的大小和电压等级的不同，其要求也不一样，一般要能承受变压器整体的重量，并要能承受在运输过程中的静载荷和动载荷，以及变压器油的内部压力和抽真空时的外部压力。

变压器在运行过程中要产生电磁损耗，并且转变为热量，使变压器温度升高。为了使变压器的温升不超过绝缘材料所允许的温度限值，必须采用散热器将温度降低到所允许的限度。按照变压器不同的容量和电压等级，可选用油浸自冷、油浸风冷、强迫油循环风冷、强迫油循环水冷等各种散热方式以降低温度。

（四）其他附件

随着变压器结构与性能的不断完善与改进，变压器附件的结构型式和品种也随之不断改进和发展，主要附件有：

套管：将变压器高、低压线圈的引出线从油箱内引出至油箱外，并使引出线与接地的油箱绝缘。

分接开关：分接开关是用来切换变压器的高压或低压线圈的分接头，以满足因电网电压变化需调整输出电压的要求。不带励磁切换分接头的开关，称无励磁分接开关；在电网上带负载切换的开关，称有载分接开关。

安全保护装置：为了提高变压器安全运行的可靠性，在变压器上还需要配置各种保护装置，用来保护和监测变压器内部状况和反映故障情况，以降低事故率。主要安全保护装置有：气体继电器、油流继电器、测温装置、压力释放阀、净油器、吸湿器、隔膜式油膨胀器（包括气体采样器）等。

还有各类散热与冷却装置用的油泵、风机及其控制柜等。

第二节 变压器制造工艺简介

变压器制造工艺是变压器制造厂一项重要的基本技术。它贯穿于从原材料进厂直到产品出厂的整个生产活动中。

变压器制造工艺是实现产品设计、保证产品质量、节约能源、降低消耗的重要手段，是工厂进行生产准备、计划调度、加工操作、安全生产、技术检查、优化劳动组织的技术依据。

提高产品制造工艺水平，是工厂发展新品种，提高产品质量和技术水平，从而提高经济效益的重要保证。

工艺工作的范围较广，其中应以开展工艺技术的研究与开发，以及设计先进实用的工艺装备和成套设备为其主要内容。由工艺装置、专用设备、检测装置、试验设备构成的专用工艺装备，是实现工艺技术的主要物质手段。具备先进的工艺装备水平，才能以可靠、先进、合理的制造工艺，生产出质优价廉的产品。

变压器制造工艺，涉及一般机械和电器产品的制造工艺技术，并具有一定的行业特殊性。

变压器制造工艺的性质、特点以及生产工艺的划分，是由其产品结构特点及其电气参数决定的。

一、工艺特点

(一)专业范围广

从变压器分类和结构分析可以看出,变压器结构并不复杂,但产品规格品种多。容量从几千伏安至几十万伏安,电压从几千伏至几百千伏(目前我国最大单台容量为720000kVA,电压最高为500kV)。从全国主要变压器生产厂家的产品品种统计来看,目前我国变压器行业的产品共有约2000个品种。

(二)生产自动化水平低

由于变压器产品品种规格多,具备批量生产条件的产品品种规格极少,小型产品也只能是小批量生产,大型产品多为单台重复生产。除了极少数形状简单、工艺参数变化少的零部件(如铁心片、片式散热器)外,很少有条件建立自动生产流水线。相对某些行业而言,变压器行业手工操作比重较大,半机械化操作较多,这也是影响提高劳动生产率和产品质量稳定性的因素之一。

(三)大型设备比重大

生产厂要具备必要的生产条件,才能组织生产。厂房、设备、试验装置等是主要生产条件。大型变压器的外形尺寸大,重量高达数百吨,从而生产厂房和设备大型化重型化,大型专用设备(百吨以上的起吊设备、几百立方米的干燥设备、大型试验装置等)占的比重较大。

(四)产品电气性能与工艺密切相关

产品电压愈高,容量愈大,对工艺设备及其参数要求也愈严格。220kV及以上电压的产品,主要生产厂房要求恒温、低湿度,并要有净化防尘设施,高压试验厅还应为抗干扰的全屏蔽空间。电压等级不同的产品,结构虽然近似,工艺过程参数控制大不一样,零部件质量要求差别甚大。

(五)非金属材料生产工艺比重较大

变压器的导电和导磁系统及油箱等都采用有色和黑色金属材料,绝缘结构部分则采用固体和液体非金属材料,其所占的比重也不小,如绝缘纸、纸板、层压木板、各类木材、电瓷、工程塑料、环氧树脂以及油、油漆等。非金属件的制造工艺及处理在全部工艺过程中占有相当重要的位置。因此,生产条件中必须具备各类专用设备。

二、制造工艺的重要性

产品功能相同,其结构愈简单,则设计愈合理愈先进。对变压器而言,合理、适用而先进的产品设计,仅按图纸要求和规定施工制造,还不可能生产出优质并可靠的产品,因为变压器的许多性能参数都有一定的偏差范围,其偏差范围的大小(如损耗、局放等)均与工艺装备水平和工艺技术水平有关。

变压器在输变电系统中,具有十分重要的地位,要求安全可靠地运行。变压器运行的高可靠性和造价,除了绝缘结构设计合理外,在很大程度上取决于制造工艺水平和工艺装备水平。变压器一般都安装在户外或在某些特殊的环境下运行,应能长期经受日照、风沙、雨雾冰雪等大气因素的侵蚀。在有化学腐蚀气体和湿热带的环境中,应对酸碱气体、盐雾、霉菌等各种有害因素有足够的耐受能力。变压器在户外或特殊条件下,长期安全可靠地运行,其运行寿命一般在20年以上。如果没有严格的质量保证,将很难满足使用要求。产品质量,如绝缘结构的老化、渗漏油、表面防腐蚀处理不当等,都与制造工艺水平有关,都

影响变压器的安全可靠。先进的工艺水平，主要由设备、工装、测试装置、仪器等工艺装备来体现。只有不断开发研制新的专用工艺装备，才有可能不断提高变压器制造工艺水平，才有可能提供高可靠性的产品。

三、工艺类型划分

变压器一般按产品结构组成划分生产车间，各车间工艺性质截然不同，因此，工艺类型因车间而异。从变压器生产必备条件来看，不论大、中小型变压器制造厂，其工艺类型和生产车间划分基本相同，但厂房设备的规模差别极大。根据工艺类型划分车间如下。

(一)铁心车间

铁心制造主要是将 0.35mm 及以下的冷轧成卷硅钢带(板料已极少),通过剪切冲裁等加工工序,加工成铁心叠装所需的各种尺寸片形,经检查合格后,再叠装成铁心。铁心车间的工艺特点是加工的铁心片形状简单,片形单一,规格繁多,尺寸精度较高,重复加工量大,因此铁心制造需要有高效率和高精度、高耐用度的剪切设备或生产线。铁心装配以重复的手工劳动为主。小型变压器铁心若采用卷铁心结构,手工劳动量可相应减少。

(二)绝缘车间

变压器的绝缘结构由形状各异的许多绝缘零件组成,绝缘零件由绝缘纸、绝缘纸板及工程塑料、木材等加工而成。绝缘零件除作绝缘件外往往还作带电体的支撑件,不仅有电气性能要求,还要有一定的机械强度。绝缘车间的加工对象为各种非金属材料,常用的冲剪设备较多,但吨位和动力均不大。还有少量压制成形设备,手工操作比重较大。

(三)线圈车间

线圈被称作是变压器的心脏,由表面覆盖绝缘层(漆或纸)、截面为矩形和圆形的导线卷绕而成,还有由箔带卷绕的,导线材料为铜或铝。线圈结构型式虽有所变化,但卷线设备结构大同小异。线圈车间设备种类单一,但数量较多,大部分为半机械化操作。各种结构形式线圈的卷制,均有一定的规范操作要求。线圈卷成后,还需要干燥和整形。

(四)油箱车间

油箱是变压器器身的外壳和盛油的容器,特大型油箱还有作为运输承载件的功能,因此,机械强度和密封性能要求较高。油箱由普通碳素钢板焊接而成,焊接工艺极为重要,焊接工作量大,这是油箱车间的主要特点,所以习惯叫焊接车间。除焊接工艺技术外,还有焊接前的冲剪和切割下料矫正等工序。油箱喷防护漆前的预处理也占有一定比重。油箱车间的加工对象是各种规格的钢板和型材。油箱附件是各种类型的小型焊接件,工艺性质和油箱雷同。油箱车间内各种电焊机数量较多,是主要工艺设备,其次为冷冲压和剪切设备,通用设备多,专用设备少。

(五)装配车间

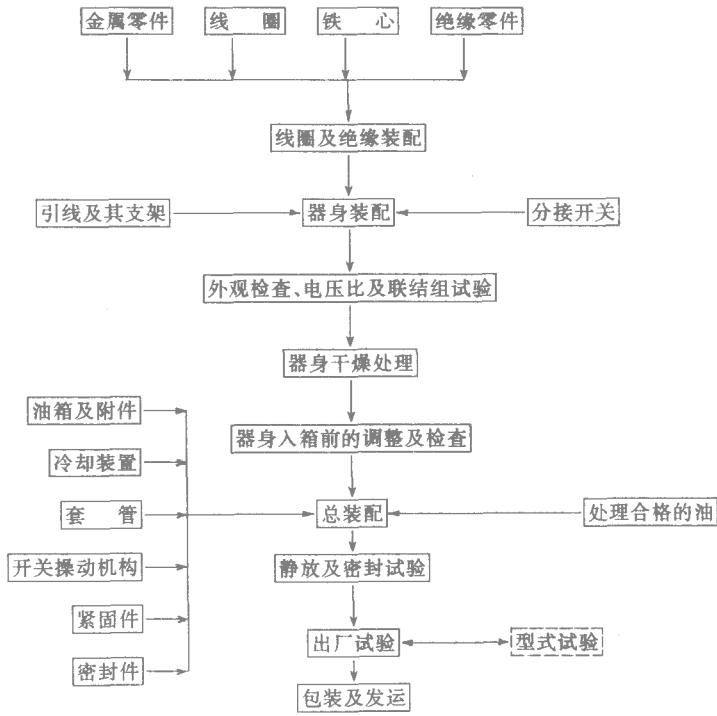
将铁心、线圈、绝缘零件、油箱和其他附件组装在一起成为一台合格的产品,是装配车间的任务。总装工序完成之前,还要进行某些分工序,如先将铁心、线圈、绝缘件及分接开关等组装成器身,并进行真空干燥处理。浸油的变压器,还需要将变压器油处理合格。此时才可以将检查或试验合格的各部分组装成产品,最后进行出厂试验和型式试验。

变压器的绝缘结构受温度和压力的影响较大,是一个“弹性”系统。总装配中的形位公差不像机械产品那样严格,而且装配工作的特点是绝大多数工序由手工操作进行,装配质量的高低取决于操作者的技术素质和经验。

大型真空干燥设备及电动装配架是主要工艺装备，变压器油处理设备及其检验装置也必不可少。高压试验装置一般设在单独的高压试验室内，也有放在装配车间内的。

四、简要工艺流程

对一般电力变压器的典型工序之间的关系，可用下面的流程图简要标示。特种变压器还有一些特有的工序，其工艺流程略有变化，但主要工序还是差不多。



第三节 变压器制造专用设备概述

一、专用设备在变压器制造中的作用

(一) 变压器生产的必要物质手段

变压器产品的生产不同于一般的机电产品，其生产过程不能使用大量通用设备，而需使用大量专用设备。建立一个新的变压器厂所需资金有相当大的部分投入到购置专用设备上去。变压器行业老厂改造、调整更是要用大部分资金来更新各类设备，其中专用设备占大部分。20 世纪 80 年代以来，我国变压器行业从国外引进了许多先进技术，其硬件部分主要也是专用设备。企业家们纷纷不惜重金从国外进口专用设备，可见专用设备在变压器生产过程中的重要性。

(二) 推动变压器行业技术进步的重要手段

变压器行业的技术进步，一是靠产品更新换代，二是靠新工艺的采用和推广。这两方面都要依靠相当一部分专用设备来实现。例如 20 世纪 80 年代我国发展了铁心全斜接节能变压器，要生产这种变压器必须采用能剪切各种片型的横剪设备。90 年代生产干式变压器掀起高潮，但生产浇注式干式变压器必须采用专用的绕制设备和环氧树脂浇注设备。要发

展结构紧凑且节材的箔式线圈就一定要购置箔式绕线机等。采用推广新工艺更是离不开专用设备,如大型变压器器身干燥,国外 20 世纪 70 年代已开始应用气相干燥技术,以缩短处理周期,提高绝缘干燥效率和质量。这种工艺的実施必須購入真空气相干燥设备。

(三) 提高生产效率的必要手段

变压器生产所用的专用设备有简单的也有较复杂的,两者相比生产效率差异甚大。随着生产的发展,市场需求和产量的不断增加,企业为了满足市场需求和提高企业的经济效率,必须不断提高劳动生产效率。如铁心片剪切在通用剪床、冲床上也可加工但效率极低,若采用硅钢片横剪线专用设备,其送料速度可高达 $240\text{m}/\text{min}$,生产效率是手工剪切的 20~30 倍。先进的气相干燥或低频电热干燥可比传统的真空热风循环干燥缩短一半时间,大大地提高了效率并节约了能源。

(四) 产品质量的保证手段

生产高质量产品及保证产品质量稳定均离不开可靠的专用设备。变压器主要部件铁心、线圈、油箱等制造质量均需设备来保证。铁心质量主要靠硅钢片纵、横剪切设备保证。线圈制造质量在很大程度上取决于设备水平,如线圈绕制过程中要求辐向、轴向紧密,靠人工很难控制,若绕线机有这套装置就可以保证线圈的制造质量。器身干燥是保证变压器绝缘质量的关键工序,人工控制很难保证干燥程度,人工记录也很难如实准确,若采取微机控制就可排除人为因素,保证干燥质量。由此可见,专用设备对保证变压器产品质量的重要性。

综上所述,专用设备在变压器制造过程中,不但是不可缺少的,而且还是促进技术进步,提高生产效率,保证产品质量的重要手段。

二、变压器专用设备的发展历史、现状及方向

(一) 变压器专用设备发展历史

我国变压器制造专用设备的发展历史,大体可分为四个阶段:

1) 建国初期,我们自制一些简单的工装设备,大部分产品靠手工生产,少部分产品是靠从国外回来的专家见到国外一些生产手段,结合我国当时技术水平自行设计制造的简单设备生产的。例如简单的线圈绕制设备、干燥设备等。基本上适应了当时变压器修理和小型变压器制造的需要。

2) 第一个五年计划期间,当时学习前苏联的技术和经验,我们曾有一批专家赴前苏联学习,也从前苏联带回来一些专用设备图纸,经过消化制造了一些设备。例如,硅钢片涂漆设备、真空干燥设备等。

3) 进入 20 世纪 60 年代,我国自行研制了一批设备。当时没有条件借鉴和学习国外经验,变压器生产的发展又要求提供一批专用设备。我国自行设计制造了一大批专用设备,如卧式绕线机、热风循环真空干燥设备、简易的硅钢片纵横剪切设备、线圈浸漆设备、铁心翻转台及一些互感器生产专用设备。其中不少设备至今还在使用,为我国变压器制造业的发展提供了必要的条件。这一过程一直持续到 70 年代末期。

4) 进入 20 世纪 80 年代,随着改革开放进口了一批国外先进设备,同时也为我国研制新一代变压器制造专用设备提供了有利条件。我国先后进口了铁心剪切线(纵剪、横剪)、煤油气相干燥设备、低频电热干燥设备、箔式绕线机、立式绕线机、波纹油箱制造设备、真空净油机、恒压干燥装置、环氧浇注设备等一大批专用设备。在这之后,我国设计和研究

部门、专用设备制造厂及使用厂家的工程技术人员借鉴国外这些先进设备，结合我国国情设计研制了一批具有 20 世纪 80 年代国际水平的专用设备，先后投入使用，促进了我国变压器行业的产品结构调整和技术进步。

（二）变压器专用设备的现状

我国变压器制造行业使用的专用设备大体上可分为三种类型：

1) 20 世纪 70 年代我国自行研制的一批设备至今仍在使用。应该说这批设备比起先进的国外设备是落后了，但由于我国一大批中小型工厂的生产量不大，生产水平不高，资金又不足，因此，即使明知已落后，但目前只好继续使用。

2) 20 世纪 80 年代进口的一批设备装备了一批大中型企业及部分干式变压器制造厂。这些设备在生产中发挥了较大作用，在一定程度上改变了变压器行业部分厂家装备落后的面貌。

3) 20 世纪 80 年代初开始，我国自行研制的一批专用设备已先后投入使用，其主要性能指标已达到或接近国际水平。可望在几年内用国产专用设备更新国产旧设备。

（三）我国变压器制造专用设备发展方向

1. 研制国产新的专用设备

为适应变压器产品结构的不断调整，需要研制一批新的专用设备。例如：近几年小型干式变压器有较快发展，其中线圈制造需特殊专用设备，不论是薄绝缘浇注式还是包绕式均需专用设备来完成。小型卷铁心单相变压器，国内有的厂家已研制成功，其铁心制造需研制专用的设备。为便于运输，国外发展大型壳式变压器，它的线圈是由扁平的矩形的线饼组成，而这种线饼必须在专用的立式绕线机上绕制而成。

2. 微电子技术 在变压器制造专用设备上开始应用

例如，横剪线就是应用计算机进行控制的，变压器出厂试验、器身干燥过程控制、切割设备等都不同程度地应用了微电子技术。随着科技的发展，不论研制新的设备还是改造旧的设备，均需推广应用微电子技术。

3. 更新补充一批先进适用的设备

目前圆筒式线圈制造设备还较落后，满足不了需要；绝缘件加工需用先进的绝缘件加工中心设备代替手工操作；油箱制造普遍还比较落后；小型变压器装配尚未形成生产线，也缺少专用设备。

4. 跟踪国外发展方向

20 世纪 80 年代，我国通过吸收国外先进设备的经验，使我们专用设备水平提高了一大步，缩短了与国外的差距。如果今后我们不继续努力，不研究国外变压器专用设备的发展情况，也许过若干年后又会拉大与国外的差距，势必会造成再一次大批进口国外设备的局面。

第二章 铁心制造专用设备

第一节 硅钢片纵剪线

一、概述

(一) 纵剪线在铁心制造中的作用

变压器铁心制造工艺的第一步为硅钢片的下料。来料一般是宽 1000mm 左右，内径 510mm 左右的卷料。国产或从国外进口的卷料重 2.5t 左右，个别国家的卷料重 3.5t。

纵剪线要完成铁心下料的第一道工序，也就是将卷料纵向剪切成变压器铁心所需要的宽度，然后再卷绕成卷料，以便下道工序上横剪线。

纵向剪切的质量不但将影响铁心的质量，也会影响到下道工序——横向剪切的进行。片宽公差、片边的不直度直接影响铁心的几何尺寸精度，这是不言而喻的。如果剪切的毛刺过大将会影响心片间的电磁性能，增加变压器工作过程中的能量消耗。因此，设计、制造性能优良的纵剪线是保证铁心制造质量的重要手段。

纵剪后的毛刺和片边的不直度过大的硅钢片，在横剪线的“通道”中不能顺利通过，我国有些剪切质量差的纵剪线被淘汰，这是一个最主要的原因。另外，纵剪后的卷料如果卷绕得不紧不齐，会增加横剪线上料工作的困难，收卷质量过差的卷料无法在横剪线上使用。

总之，设计、制造一条性能优良的纵剪线，首先要从剪切质量，即片宽公差、片边不直度、剪切毛刺和收卷质量等方面着手。

(二) 纵剪线的组成

我国生产的纵剪线从剪切工艺方面可分为两大类：一类是送剪工艺的纵剪线；另一类是拉剪工艺的纵剪线。

1. 剪切工艺及其效果

送剪工艺（见图 2-1）是我国 20 世纪 60 年代以来一直使用的落后工艺，这种方法很难保证剪切质量。送剪工艺就是指硅钢片在送料辊的作用下前进，然后送入圆盘剪刀，剪刀和送料辊线速度应保持一致。这种工艺方法很可能会使硅钢片在送料辊和剪刀之间弓起，此类现象严重时，硅钢片甚至会随着刀的旋转方向卷起。这样，导致硅钢片的剪切毛刺和单边不直度超差。

拉剪工艺如图 2-2 所示，硅钢片在拉料辊的作用下前进，圆盘剪刀被动剪切。由于拉料辊线速度稍大于纵剪刀，因此硅钢片在拉料辊和圆盘刀之间始终保持平直，处于拉剪状态，保证剪切质量。

80 年代研制的 ZX75、ZX76 纵剪线以及后来设计的 ZX140 纵剪线采用了拉剪工艺，保证了剪切毛刺小于 0.02mm，单边不直度小于 0.10mm/m。纵剪后的条料在张紧力和导向轮

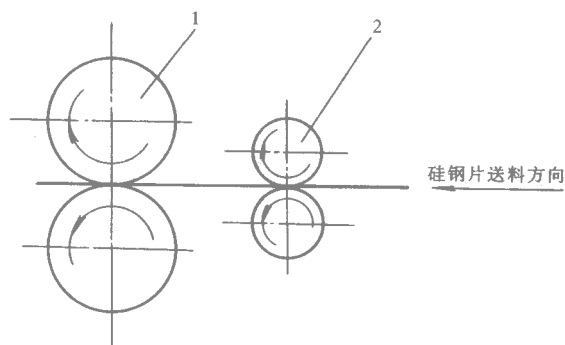


图 2-1 送剪工艺
1—纵剪刀；2—送料辊

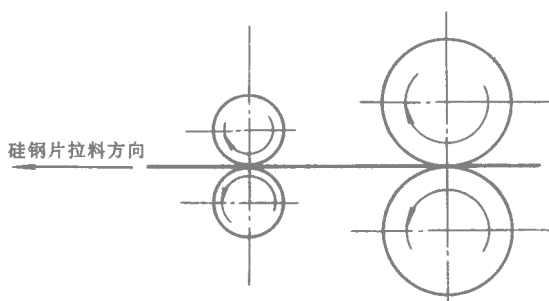


图 2-2 拉剪工艺

的作用下收得很紧，当卷料放在平地上时其内孔椭圆度可在 6mm 以内，而且卷料端面的不
齐度可小于 2mm。

国产纵剪线的性能指标已接近 80 年代初的国际先进水平，如图 2-3 所示。

2. 国外纵剪线简介

国外纵剪线一般均采用拉剪工艺，且剪切速度可达 120m/min。日本的硅钢片精整设备——纵剪线，为了收卷整齐，还采用光电调偏系统，收卷机随片边的变化而移动，这个系统收卷精度较高，但却大大地提高了生产线的造价。

德国乔格公司生产的纵剪线于 70 年代已在国际市场上广为销售，我国从国外进口的纵剪线大多是乔格公司的产品。我国设计的新型纵剪线如图 2-4 所示，其性能指标可达到乔格纵剪线的水平。

从图 2-3、图 2-4 中可以看出，纵剪线主要由以下设备组成：开卷机、纵剪机、边料切碎机、压紧装置、收卷机等。

3. 纵剪线性能指标

各种纵剪线性能指标见表 2-1。

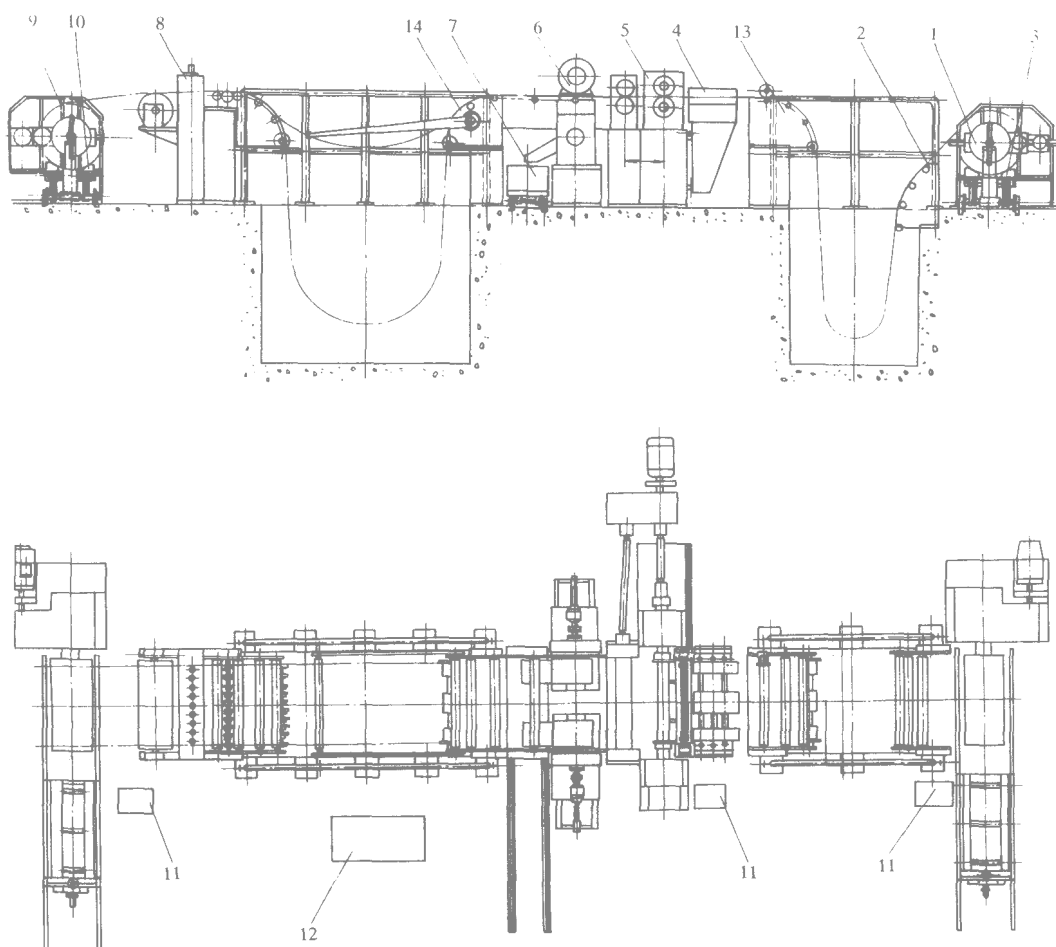


图 2-3 国产纵剪线

1—开卷机；2—导向装置；3—上料小车；4—活动导向装置；5—纵剪机；6—边料切碎机；7—废料车；
8—压紧装置；9—收卷机；10—下料车；11—按钮站；12—操纵台；13—导向装置；14—导向装置

表 2-1 各种纵剪线性能指标

型 号	ZX75 (ZX76)	ZX140	QZ ₁ -1030	乔格线
指 标				
剪切宽度/mm	1050	1050	1030	1050
剪切厚度/mm	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5
剪切速度/m·min ⁻¹	50	0~120	30~55	0~120
剪切最多条数/条	10	10	6	10
剪切最小宽度/mm	40	40	40	40
剪切后毛刺高度/mm	≤0.02	≤0.02	≤0.03	≤0.02
剪切后单边不直度/mm·m ⁻¹	≤0.08	≤0.08	≤0.10	≤0.08

续表 2-1

型 号	ZX75 (ZX76)	ZX140	QZ ₁ -1030	乔格线
指 标				
剪刀在刀轴上的端跳/mm	≤0.01	≤0.01	≤0.02	≤0.01
剪刀在刀轴上的径跳/mm	≤0.03	≤0.03	≤0.04	≤0.02
剪刀的轴向窜动量/mm	0.005	0.005	0.01	0.005
剪刀外径/mm	φ250	φ250	φ270	φ250
刀轴直径/mm	φ125	φ125	φ140	φ125
刀轴平行度允差/mm	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.02
剪刀材料	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
剪刀（一次刃磨后）使用寿命/m	14000	50000	10000	50000
滚剪机电机功率/kW	5.5	11	4	11

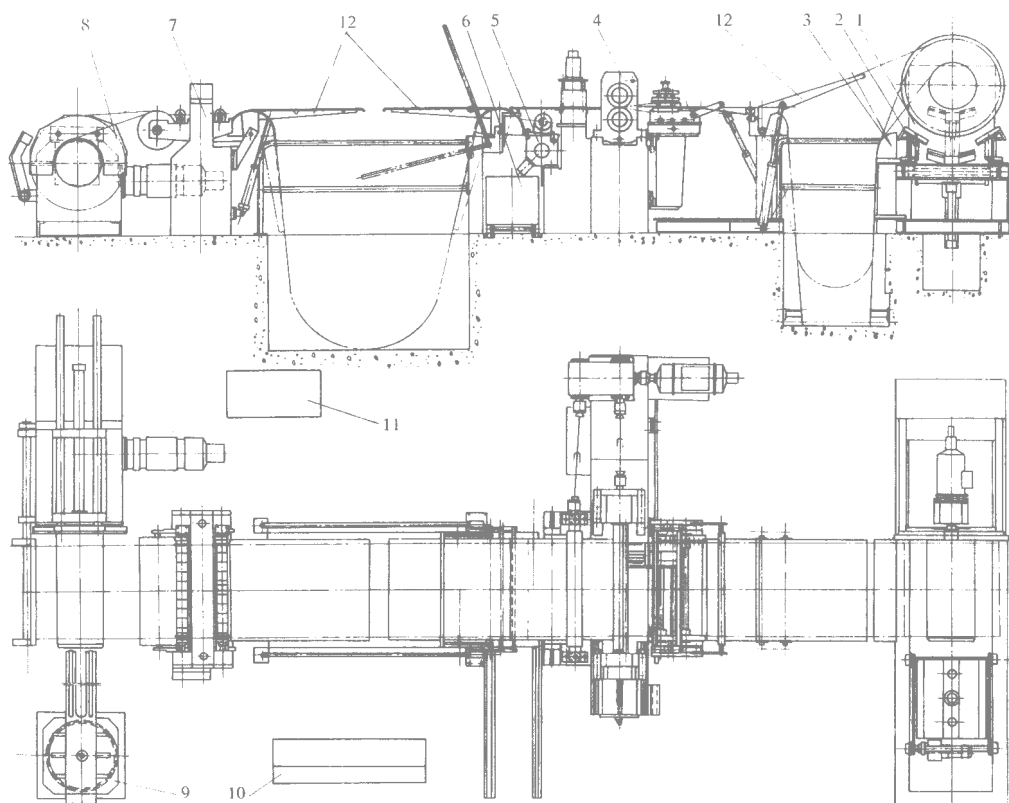


图 2-4 国产新型纵剪线

1—开卷机；2—上料车；3—导向装置；4—纵剪机；5—一边料切碎机；6—废边车；
7—压紧装置；8—收卷机；9—下料台；10—操纵台；11—液压站；12—摆动台板

二、开卷机

(一) 开卷机组成与功能

ZX75 开卷机结构见图 2-5。

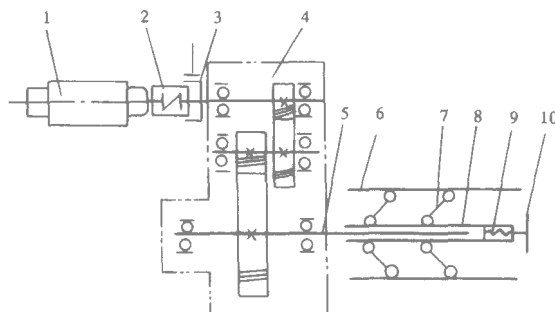


图 2-5 开卷机示意图

1—电机；2—联轴器；3—制动器；4—减速箱；5—主轴；6—卷筒；7—连杆；8—滑套；9—螺杆副；10—手轮

开卷机用于纵剪线上料和放料。通过手轮旋转螺杆副，带动主轴上的滑套，滑套又通过连杆带动卷筒做胀开或收缩运动。也可采用液压传动完成上述动作。

来料一般是内径为 $\phi 510\text{mm}$ 左右的卷料，将卷料套在处于收缩状态下的卷筒上，然后转动手轮，卷料被撑紧，完成上料动作。放料动作由开卷机的直流电机驱动，其线速度应与纵剪机保持同步。

(二) 上料方式

开卷机的上料方式也直接影响到纵剪线的运行。有些工厂采用吊车上料，这样容易将硅钢片吊坏，并且卷料在开卷机上的放置位置不易控制，容易给硅钢片平展进入缓冲坑带来困难，导致纵剪线不能正常运转。因此，设计纵剪线时，一般都应配置上料车。上料车有手推式、手动机械升降；也有采用液压行走、升降的方式。

(三) 胀缩卷筒的设计

开卷机的设计差别最大的是卷筒机构的设计。但在众多的设计中，卷筒机构不外属于两种类型：一类为连杆式，见图 2-6；另一种为锥形滑块式，见图 2-7。从运动方式看，可分为手动机械式和液压传动式两种形式。一般卷筒由 3 块或 4 块弧形板组成，胀缩范围在 $\phi 450 \sim \phi 520\text{mm}$ 左右。卷筒设计应注意以下几点：

1) 承载能力

硅钢片卷料的总重是设计的依据，应由此考虑主轴、连板、轴销、撑板架等强度和刚度。卷筒的支承属悬臂支承，因此，卷筒主轴轴承的设计应首先确定两支承间距。

2) 机构的设计

螺旋副或油缸的设置是为了产生滑套的轴向运动，由此带动连板或锥形滑块作径向为主的运动。但是，连杆和滑块式的机构也都会产生少量的轴向运动趋势。为了限制这个方向的运动，有些设计设置了在轴向固定、径向滑动的滑环（见图 2-6）或导向键。

另外，油缸一般设置在主轴上，当主轴回转时，为了保持进出口油管不随之回转，必须设置配油阀。

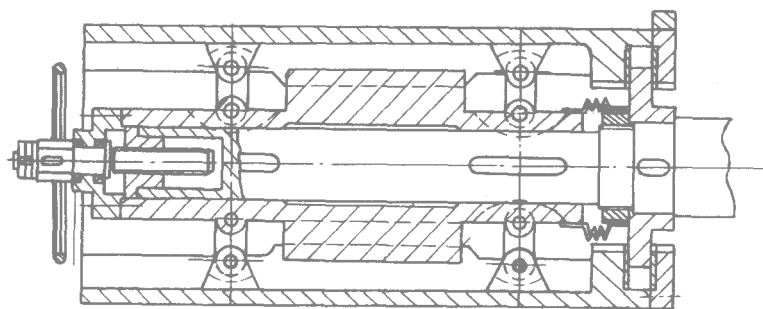


图 2-6 连杆式卷筒机构

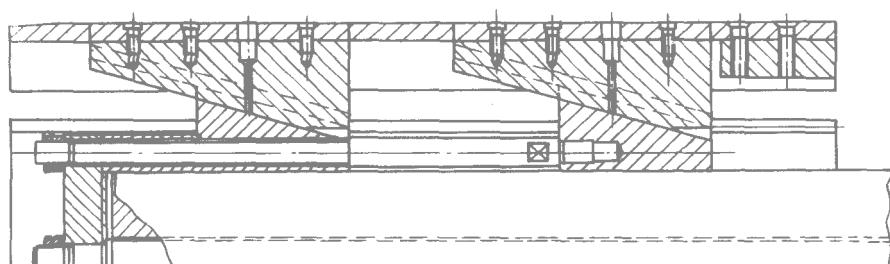


图 2-7 锥形滑块式卷筒机构

3) 形位公差

在设计连杆式机构时，除标注各运动副之间的公差配合外，尤为重要是必须规定各铰接点的孔间距公差，以免连板与销轴“别劲”，甚至装配不上。在设计滑块式结构时，值得注意的是滑套 T 型槽的对称度，否则也会产生类似的问题。

总之，对于重载的开卷机而言，采用滑块式结构较好；对于轻载的开卷机而言，采用连杆式结构较简单。

(四) 传动机构设计

开卷机的传动采用直流电机减速系统。开卷机的速度应与纵剪机同步。在开卷机和纵剪机之间设一个缓冲坑，在缓冲坑内放置光电管，发讯号控制开卷机的速度，使之与纵剪机相匹配。

1. 功率的确定

从图 2-8 中可知，开卷机卷筒上的硅钢片通过固定导向装置进入缓冲坑，张力 T 是由于带料的自重而产生。因此，开卷机胀缩卷筒的传动力矩 M_i ，单位为 $N \cdot m$ ，可按下式确定：

$$M_i = TR - M_m = TR - Q\mu \frac{d}{2}$$

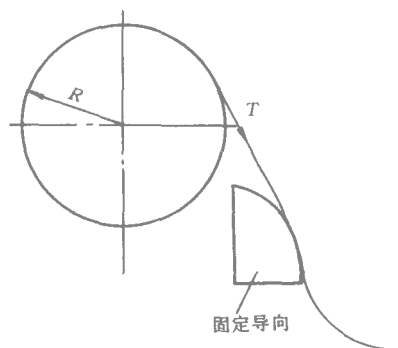


图 2-8 硅钢片通过固定导向装置