

环氧树脂浇注干式变压器的绕组浇注工艺

翁永华

(福州变压器厂,福建福州 350012)

摘要 介绍了环氧树脂浇注干式变压器无填料绕组浇注的工艺特点、材料的选择和配方设计,提出了浇注过程中应注意的事项。

关键词 环氧树脂 浇注 ;干式变压器 绕组 ;工艺

中图分类号 :TM412.05 **文献标识码** :B **文章编号** :1001-8425(2001)03-0018-03

1 概述

环氧树脂浇注干式变压器由于具有难燃、安全、运行可靠、维护方便、体积小等特点,已在城市的高层建筑和电站等场所得到广泛的应用。近几年来,我国干式变压器的生产有了较大的发展,生产厂家由20世纪90年代初的七、八家迅速增加到了近百家,生产能力也从3000~4000MVA提高到了20000MVA以上。产品的性能和外观都有了较大的改进。

环氧树脂浇注干式变压器的绕组绝大多数是采用环氧树脂浇注成型(许多厂家的低压绕组采用铜箔绕制的,成型后绕组的内在性能也随之确定,一旦成型后的绕组性能达不到规定的标准,就只好报废。所以,为了保证绕组的浇注质量,要求预浇注绕组的结构必须可靠。同时,要求绕组浇注材料配方要合理,且浇注工艺要先进。本文提出了无填料绕组浇注材料的选择和配方设计、工艺参数的选择,以及浇注过程中应注意的一些事项。

2 环氧树脂浇注工艺特点

环氧树脂浇注工艺属于模注成型技术,是干式变压器中浇注绕组较为成熟的一种工艺,世界许多国家都已广泛使用。其主要特点是:

(1)绕组被固定在金属模内,注入的环氧树脂混合料渗透至绕组各层间,将其固化成型,使之与导线、绝缘材料牢固地结合成一体,固化成型后的绕组具有极高的机械强度。

(2)由于绕组和树脂混合料均在高真空状态下脱气,所以固化成型后,绕组的局部放电量(实测结果一般在10pC以下)很低。

(3)在凝胶过程中,保持一定的压力,使补偿罐内的树脂流入模腔内,以补偿因树脂固化收缩引起的缺料,防止出现浇注缺陷。

(4)在固化过程中,采用阶梯固化工艺,使绕组的内应力降到最低,避免绕组开裂。

3 环氧树脂浇注材料的选择和配方设计

3.1 环氧树脂混合料的选择

环氧树脂混合料的选择应从对产品的性能要求和浇注工艺性两方面加以考虑。

对于干式变压器来讲,由于绕组体积大,对电气性能、机械强度要求高,所以,所选用的浇注材料必须满足变压器的各方面性能要求,且绝缘等级一般要求达到F级以上。

就工艺性而言,主要是要求在一定的工艺条件下,混合料具有较高的流动性、易浸性以及混合料的适用性,即在一定条件下可以控制混合料的浇注时间。

目前,干式变压器绕组浇注用的混合料(无填料型)的组分为:环氧树脂、固化剂、增塑剂、促进剂和色浆等材料。

3.1.1 环氧树脂

浇注工艺中,可使用的环氧树脂品种较多,但由于干式变压器受技术条件和工艺条件的限制,因此对环氧树脂的材料性能要求非常严格。如要求有机氯和无机氯含量必须低,因为在环氧树脂中若有机氯含量较高,则会导致环氧树脂固化物的电气性能在高温时降低,而在环氧树脂中若存在无机氯,则会使环氧树脂固化物的电气性能在常温下变差或使固化物开裂。同时,由于环氧树脂中存在氯离子等杂质,促使环氧树脂混合料在浇注过程中凝胶时间缩

短,使浇注工艺无法顺利进行,导致混合料过早凝胶而报废。

目前,用于浇注变压器绕组的环氧树脂基本上都是中粘度液态双酚 A 环氧树脂。该树脂无论是进口的,还是国内生产的,其性能基本相同,均为高纯度环氧树脂。

3.1.2 固化剂

在环氧树脂混合料中,由于环氧树脂必须与固化剂交联固化形成不熔、不溶的体型网状结构才能显示出环氧树脂的优良的电气性能和机械性能。所以,在环氧树脂浇注过程中,固化剂是必不可少的的重要组成部分。

固化剂的种类及品位直接关系到浇注固化体系的主要性能。由于固化剂中的杂质、挥发分及主要成分含量高低不一,不仅会使浇注过程发生异常情况,同时也会降低固化体的电气性能和机械性能。所以,固化剂的选择必须慎重,一个品种确定之后,不宜轻易改变。

为了满足变压器的性能要求,变压器浇注绕组所选用的固化剂基本上都是在高温下固化的。这是由于早期所采用的固化剂多为固态酸酐,如聚壬二酸酐,邻苯二甲酸酐等。它们均有良好的电气性能和机械性能,且价格也较低。但由于浇注工艺性差,如升华问题、混合料温度控制问题、过滤器的堵塞问题都难以解决,因此已被全液态高温固化剂所取代。目前,变压器绕组浇注用的固化剂基本上都是异构化甲基四氢(或六氢)苯酐。这种固化剂粘度低,挥发分低,浇注工艺性优良,固化后的固化体电气性能和机械性能良好。

3.1.3 增塑剂

在环氧树脂混合料的配方中或多或少都要加入一定量的增塑剂,以改善环氧树脂固化体的脆性,防止固化体出现开裂,满足产品的性能要求。但是添加的份量不宜过多,因为在混合料中,随着增塑剂的增多,环氧树脂固化体的热变形温度逐渐下降,电气性能也随之降低。所以,在环氧树脂混合料中,增塑剂的份量应加以控制。

适用于干式变压器绕组浇注用的增塑剂必须是在高温条件下性能稳定的材料,而且本身的粘度要小,有利于浸润、扩散和吸附。目前,变压器绕组浇注用的增塑剂主要有两大类:一类为侧链型环氧树脂;另一类为多元醇化合物。

3.1.4 促进剂

在环氧树脂混合料中,促进剂的主要作用是加速交联固化反应,调节凝胶时间,使之满足浇注工艺

的要求。同时,它还具有降低混合料固化温度的作用,从而起到降低固化物的收缩量,避免浇注固化体产生龟裂。

在高温固化的混合料配方中,促进剂的用量一般不应超过 0.5%,特别是象浇注变压器绕组这样大型浇注件,更需严格控制。因为这种浇注件所使用的混合料一次投料较多,一旦促进剂过量,将使混合料很快凝胶固化而报废。另外,即使浇注能顺利进行,也将使环氧树脂固化体在固化过程中,过早地凝胶导致反应时大分子不能继续延伸而断裂,造成固化体的开裂。

3.1.5 色浆

在环氧树脂混合料加入少量色浆,其目的是使浇注体着色以获得所需要的颜色。

环氧树脂混合料的色浆必须具备下列条件:着色力强,即添加少量色浆就能达到染色的效果;在环氧树脂中具有良好的分散性,优良的耐热性,对于 F 级干式变压器来讲,应在 155℃ 下不分解、不褪色;具有良好的电气性能,即加入色浆后不影响环氧树脂固化体的电气性能和其他综合性能。

3.2 环氧树脂浇注材料的配方设计

环氧树脂浇注料的配方设计是整个浇注工艺的关键。对配方设计着重考虑被浇注产品的性能要求和浇注过程中的工艺要求。

3.2.1 浇注品的性能要求

对于干式变压器来讲,要求浇注绕组有优良的电气性能,达到相应的绝缘等级(国内一般要求达到 F 级),有优良的机械性能。同时要求浇注绕组有相当好的韧性和刚性,以保证变压器长期运行中浇注绕组不开裂、不脱层。浇注品要满足上述性能,一般都要选择高温固化的环氧树脂混合料。

3.2.2 浇注工艺方面的要求

对环氧树脂混合料的配方设计还必须满足工艺方面的要求,主要考虑混合料的粘度和凝胶时间。

对同样都符合产品性能要求的环氧树脂混合料,应选择粘度较低的配方。因为粘度低的混合料便于真空脱气,而且流动性好,对浇注件的渗透性也好。

凝胶时间是环氧树脂浇注工艺中极其重要的工艺参数。凝胶时间太短,有可能造成混合料未浇注,即凝胶固化而无法进行浇注,从而造成严重的后果。但凝胶时间也不宜过长,否则会给批量生产带来诸多不便。所以混合料的凝胶时间必须控制在适当的范围之内。从实际操作情况来看,干式变压器绕组浇注工艺一般要求凝胶时间在 3~5h 之间较合适。

4 绕组浇注过程中应注意的几个问题

4.1 浇注料的配制

应根据工艺配方配制浇注料,在配制时应精确控制各组分的加入量,尤其是促进剂,虽然其加入量所占比例很小,但对固化反应影响极大。促进剂的加入量与绕组的结构、体积有关。一般说来,体积小的绕组,促进剂的加入量可以多一些,反之应少一些。加入的比例应通过试验加以确定。

4.2 浇注温度的控制

应根据浇注材料的性能确定真空浇注温度,该温度既要保证浇注材料有较低的粘度,使其流动性好,便于真空脱气和在较短时间内浸透被浇注件,又必须保证浇注材料的使用周期。如某环氧树脂混合料加入促进剂后在 80℃ 时即可固化,在选用这种组分的环氧树脂混合料时,其浇注温度就不能超过 80℃。在实际使用中,一般将浇注温度控制在 60 ~ 70℃ 之间较合适。

4.3 真空度的控制

浇注过程中,真空度对消除混合料中的气体和浇注品的质量有直接影响。若真空度低,则应延长脱气时间,但并不是真空度越高越好,因为它受浇注材料的饱和蒸汽压所限制。如果真空度超过材料的饱和蒸汽压,就会导致材料的挥发,引起混合料配比的变化,浇注品的质量就无法保证,甚至报废。所以,只有真空度比混合料中最高组分的饱和蒸汽压低,才能保证混合料的配比是稳定的。

4.4 固化时间和固化温度的控制

绕组浇注完毕,必须进行固化处理。对于固化

的工艺参数和过程,各厂都有自己的特点。但根据环氧树脂的固化反应特点和对绕组电气性能的要求,一般都采取两步法固化工艺,即较低温度下的前固化和较高温度下的后固化。采用 METHA 作固化剂的前固化时间一般为 3 ~ 5h,温度控制在 90 ~ 110℃ 之间。这时候的固化过程是混合料的液体状态向固体状态转化过程。前固化后的环氧树脂呈弹性体,便于脱模。脱模后,浇注绕组必须进行后固化处理。其目的是使环氧树脂进一步发生交联固化,使环氧树脂最终形成不熔、不溶的固体。为了获得最佳的电气性能和机械性能,这个阶段的固化应采用阶梯固化工艺,阶梯的级数和温度梯度可根据工件的大小来确定。升温速率一般控制在每小时 25℃ 以下,这样可以避免因升温速度过快,固化反应激烈而造成应力集中。

5 结束语

多年来,国内已在环氧树脂浇注工艺方面做了大量研究工作,并积累了丰富的制造经验,该技术已得到了广泛的应用。随着干式变压器结构的改进和对性能要求的提高,对环氧树脂及其辅料的技术指标要求也随之提高,对浇注工艺也提出了更高要求。为了满足干式变压器的电气和机械性能要求,除了合理设计环氧树脂混合料的配方外,还必须有可行的浇注工艺及合理的工艺参数。这样才能保证浇注品的优良性能,而这一领域的许多工作还有待于我们进一步的探索和研究,以不断提高浇注工艺水平和产品质量。

Cast Process of Winding in Epoxy Resin Cast Dry – Type Transformer

WENG Yong-hua

(Fuzhou Transformer Factory , Fuzhou 350012 , China)

Abstract : The formulation design , processing characteristic and material choice of winding without filling in epoxy resin cast dry – type transformer are introduced. The warnings in cast process are presented.

Key words : Epoxy resin ; Cast ; Dry – type transformer ; Winding ; Process