

变电检修技能培训教材

江苏省南通供电局 张士成 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据部颁《变电检修岗位规范》和《电力工人技术等级》编写的，共分六章，着重阐述了变压器检修和变电检修这两个工种岗位的实际检修操作技能和工艺。主要内容包括：第一章，变压器的安装、检修、故障处理；第二章，互感器的检修要求、密封、防爆措施、干燥与缺陷处理；第三章，高压断路器（少油断路器、六氟化硫断路器、真空断路器等）的安装、调试、维修及故障处理；第四章，断路器操动机构（包括电磁式操动机构、弹簧式操动机构和液压操动机构）的检修工艺；第五章，隔离开关的运行与检修；第六章介绍了硬母线、电容器、电抗器和避雷器等高压电气设备的维护与检修工艺。

本书作为变压器检修和变电检修两工种岗位的技术人员、工人和技师的岗位技能培训与考核教材，也作为变电运行和电力工程技术人员、工人和技师以及相关专业的在校师生的阅读参考书。

图书在版编目（CIP）数据

变电检修技能培训教材/张士成编. -北京：中国电力出版社，1997

ISBN 7-80125-481-3

I. 变… II. 张… III. 高压电器-检修-技术教育-教材 IV. TM510.7

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第19171号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

三河市水利局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998年2月第一版 1998年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23.75印张 582千字

印数0001—7630册 定价30.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

随着电力工业的迅速发展，对变电设备的检修技术不断提出更高的要求，要求变电检修人员能合理、正确地掌握检修、测试方法和安装检修质量标准，确保变电设备的安全可靠运行，不断提高经济效益。

江苏省南通供电局在多年变电检修培训实践的基础上，根据部颁《变电检修岗位规范》、《电力工人技术等级标准》和有关规程规范的要求，为加强变电检修人员的岗位技能培训，而编写了《变电检修技能培训教材》。

《变电检修技能培训教材》着重讲述了35kV及以上高压断路器、断路器的操动机构、隔离开关以及变压器、互感器的安装、维护、检修及故障处理等方面的实际检修操作技能和工艺；还介绍了新设备、国外部分产品的检修技术要点。附录中还列出了有关设备的技术参数。

《变电检修技能培训教材》一书可作为变电检修和变压器检修人员的岗位技能培训和考核教材，也可作为变电运行、电力工程技术人员和技校、中专学校、专科学校相应专业的教学参考书。

《变电检修技能培训教材》由江苏省南通供电局张士成同志编写。江苏省电力工业局科教处杨福成同志和南通供电局高守成同志审核了《变电检修技能培训教材》的编写大纲，并审阅了《变电检修技能培训教材》，提出了宝贵的意见。全书由南通供电局朱德林高级工程师、黄瑞彬工程师，顾大忠高级工程师主审。

由于编写人员水平有限，又缺乏经验，本教材中难免存在错误和不妥之处，恳请使用单位和广大读者提出宝贵意见。

江苏省南通供电局

1997年6月

目 录

前 言

第一章 变压器安装与检修	1
第一节 变压器安装	1
第二节 变压器检修	29
第三节 变压器干燥方法	66
第四节 变压器故障处理	78
第五节 变压器节能改造简介	87
第二章 互感器	90
第一节 互感器型号及技术数据	90
第二节 高压互感器检修要求	109
第三节 高压互感器密封措施	112
第四节 高压互感器防爆措施	114
第五节 高压互感器缺陷处理	115
第六节 高压互感器干燥	119
第三章 高压断路器	123
第一节 概述	123
第二节 SW2-35型少油断路器	135
第三节 SW2- $\frac{110}{220}$ 型少油断路器	139
第四节 SW4- $\frac{110}{220}$ Ⅰ型少油断路器	155
第五节 SW4- $\frac{110}{220}$ Ⅲ型少油断路器	187
第六节 六氟化硫断路器	192
第七节 真空断路器	216
第四章 断路器操动机构	224
第一节 操动机构要求及分类	224
第二节 电磁操动机构	226
第三节 弹簧操动机构	229
第四节 液压操动机构	236
第五节 液压操动机构调试检修工艺及质量标准	256
第五章 隔离开关	280
第一节 隔离开关用途、结构及技术数据	280
第二节 隔离开关运行与检修要点	287
第六章 其它电气设备维护与检修	290
第一节 电气防误装置维护与检修	290

第二节	硬母线配置	295
第三节	耦合电容器维护检查	304
第四节	电抗器维护检查	306
第五节	避雷器检修	309
附录 A	预防 110~500kV 变压器事故措施	321
附录 B	预防大型变压器损坏和互感器爆炸事故	326
附录 C	高压断路器设备反事故技术措施	327
附录 D	高压开关产品简介	335
附录 E	SF ₆ 电气设备制造、运行及试验检修人员安全防护暂行规定	370

第一章 变压器安装与检修

第一节 变压器安装

一、变压器安装前组织工作

电力变压器的安装,无论在技术方面,还是在组织方面都是一项十分复杂而繁重的工作,需要消耗大量劳力和材料,而且需要采用复杂的设备、器具、仪表和索具等,所以在安装前要充分做好各项准备工作。

1. 安装前准备工作

(1) 编制变压器安装施工设计,确定组织措施、技术措施、安全措施和工期。
(2) 对参加安装变压器的人员进行技术交底和安全交待、布置任务、分工和提出施工质量要求。

(3) 准备安装用工具、仪器、仪表、起重工具和材料。

(4) 对变压器基础的检查复测。

(5) 按施工设计要求,现场布置安全措施和防火措施。

2. 施工人员准备工作

(1) 选择安装前变压器及其组件的存放方式和地点。

(2) 确定变压器运输和移到安装位置上的方法。

(3) 选择所需变压器油的准备方法。

(4) 准备用于拆除变压器密封和安装成套组件的场地,以及确定在此期间保证绝缘完好的方法。

(5) 确定变压器及其成套组件安装、试验和调试的内容和顺序。

(6) 确定工期及工作量、安装工程队的成员、电功率和电能的需要量、机器和机构的负荷能力,并进行工程预算。

(7) 准备进行变压器安装和验收工作所必需的技术文件。

(8) 制定安全防火措施。

对于十分复杂和繁重的安装工作,还需制订组织工作方案和生产工作方案。

准备工作应提前进行,以便在变压器运到后就能进行安装。变压器必须长期储存时,其储存地点的选择应考虑能及时注油和便于监视变压器的状态。

在变压器运到安装地点前,应准备好变压器安装基础。

用于解除密封、安装成套组件和其它工作的安装平台,可以在变压器的安装地点准备,也可以在铁路车站的铁路支线上准备,后者要考虑到便于安置成套组件、安装时所必需的设备 and 机械,以及便于进行油的准备和注油工作。

安装平台的尺寸应能保证自由地和方便地在其上移动,为安装成套组件所准备的起重工具设备,有移动机械用的通道和防火安全保障。

在安装平台上装有所需功率的电力开关柜、储存油的容器和可移动的或固定的房间。这个房间用于值班人员办公和储存仪器、仪表及材料。平台上还应装有防火设施和电话，并应有充足的照明。

在某些变电所里，有专门安装和修理变压器的修理车间，它的装配架可以用来作为安装平台。施工时，应遵守变压器制造厂出厂技术文件的规定，它包括安装说明书、必要的装配图、工厂试验数据和各成套组件的安装说明书等。

在施工过程中，使用单位负责参与安装工作的各部门的互相协调事宜，实行技术监督，并进行工程的验收。对于大型高压变压器的安装，使用单位需邀请制造厂的人员进行技术指导。

二、运输后验收和变压器状态判断

变压器及其组件运到使用地点后，按制造厂的装箱单进行验收。验收时，检查装箱单中所列的全部物件是否齐全，以及它们在运输后的状态。验收应特别注意检查以下几点。

(1) 变压器在拖车或运输车上的支撑、横向定位、拉紧和其它固定件的状态，变压器油箱上和运输车平台上的相应位置记号。当位置记号不符和固定件被破坏时，说明变压器在运输期间受到了不允许的机械作用。

(2) 变压器本体外壳检查。是否有外力碰撞损伤，密封件是否完整无缺。对充氮运输的变压器应检查充氮装置完好和充气压力是否正常。对真空运输的变压器检查其真空度是否合格。

(3) 充油式套管是否有油迹，其包装是否有机械损伤，易损瓷件、压力箱连管和工厂铅封的状态，以及密封式套管中的油是否有剩余压力。

(4) 单独运输的电流互感器装置和装酚醛纸筒的金属容器是否有损伤和渗油痕迹。

(5) 单独运输或装在变压器里运输的调压装置的状态。

(6) 单独包装运输的零部件的状态，验收时，按其包装的机械完整性来衡量它的状态。

(7) 检查不包装运输的冷却器、储油柜、吸附和热虹吸过滤器、安全气道、连管和其它组件的状态，详细检查零部件的数量，它们的上面不应有的运输损伤。所有连接用的管的管端都应该用盖板密封起来，需检查其是否渗油。

变压器运到安装地点，卸车后，对其绝缘状态应进行预先判断。判断绝缘状态时，所检查的内容取决于变压器运输方式。

对于带油运输的变压器，检查储油柜油位计中是否有油，并取油样化验。当发现油从密封不严处漏出和储油柜中无油或油位偏低时，必须检查油箱中的油面位置，重新密封适当处理漏油点，并向变压器内注入同号油，使油面升到储油柜中所需要的标志处。

对于带部分油运输的变压器，检查其油箱中是否有剩余压力，是否渗油，渗油严重使变压器铁芯、绕组、分接开关外露时，不但要处理渗油点，而且应对变压器进行全面吊芯试验，然后注油，并检查油箱中油的击穿电压、 $\text{tg}\delta$ 值和含水量。

检查油箱中是否有剩余压力或真空的方法是，将变压器油箱上某一个密封件稍微打开一点，按其所发出的特有的吱吱声来判断。当有剩余压力或真空时，检查油中的实际油面，并重新密封。

检查油面上部密封性的方法是，在油箱里建立起 24.5kPa 的干燥氮气或干燥空气的剩余压力。如果 3h 之内油箱中剩余压力不低于 22.5kPa，就认为变压器的密封是合格的，空气是经过装在变压器箱盖上的阀门充入的。

对于不带油而带自动供氮运输的变压器，需检查油箱中是否有剩余压力（油箱中气体的残压不应低于 5kPa）、油箱底部残油的击穿电压、 $\text{tg}\delta$ 值和含水量，以及在运输时装在油箱里硅胶的状态。变压器带油储存时，一般在注油前检查指示硅胶；变压器不带油储存时，在解除油箱密封期间的安装开始前检查指示硅胶应是天蓝色的。油的各项技术指标都应符合该变压器用油的要求。

当变压器油箱中没有压力时，需采取前面介绍的方法，即用干燥氮气或干燥空气剩余压力的方法检查密封性。氮气通常由氮气瓶经减压器供给。空气则由空气压缩机经装硅胶或沸石的空气干燥器供给。当运输和储存供氮条件遭到破坏时，对于容量为 80~100MVA、电压为 110kV 及以上的大型变压器，在解除密封前应补充检查装在器身上的绝缘样品的含水量。

三、变压器安装工作

(一) 主变压器现场安装准备工作

1. 变压器的检查和绝缘判断

在变压器运抵现场后，应及时按出厂技术文件（拆卸装箱清单一览表）清点全部附件，检查附件包装是否完整有无碰损现象，变压器本体有无机械损伤，法兰螺栓有无缺损，各处密封是否严密良好，有无渗漏油现象。确认全部附件基本完好后，应进一步对变压器进行密封性检查和绕组绝缘试验。

(1) 密封检查。一般变压器的密封检查可仅限于外观检查，只要外部无渗漏油的痕迹，即可认为该变压器密封良好。

对于充高纯氮运输的变压器，到达现场后氮气压力不低于 9.8kPa 时，可以认为油箱密封良好。

(2) 绕组绝缘试验。绕组绝缘试验是在油箱充满变压器油的情况下，测量各电压等级绕组的绝缘电阻和吸收比，介质损失角正切值和变压器油箱内油的绝缘强度。当变压器不带套管运输时可打开套管法兰把绕组引线抽出来，用绝缘棒、塑料带固定起来进行测量。试验时注意记录环境温度，以便把实测结果进行换算，用来和变压器出厂值比较。

(3) 绝缘判断。经过以上绕组绝缘试验和密封检查就可以对变压器进行绝缘判断。如果绝缘合格可以继续吊芯检查和安装。如果绝缘不合格时则需要干燥处理。实质上这是确定是否可以不经干燥把变压器投入电网运行的问题，绝缘判断要对各项指标做综合分析。一般 35kV 带油运输的变压器不经干燥投入运行的条件是：

- 1) 变压器密封良好；
- 2) 油箱内变压器油的击穿电压不低于 30kV；
- 3) 变压器油内不含水分；
- 4) 绝缘电阻值不低于制造厂所测数值的 70%， $\text{tg}\delta$ 值不超过制造厂所测数值的 130%，当测量时的温度与制造厂测量时的温度不同时，应把测量值进行换算。

35kV 以上电压等级的变压器不经干燥投入运行的条件更为严格。

绝缘判断是非常重要的，只有根据绝缘判断的结果才能确定变压器是否需要干燥。据此才能最后确定安装方案，从这个意义上来说，绝缘检查应尽早进行。

2. 机具和材料

安装中使用的各种机具应运抵现场并合理布置，材料的准备也是重要的一环。安装工作常用的滤油机、电焊机、乙炔发生器、真空泵、空气压缩机、油罐和起重机具，均应按整个

安装工作的要求合理地有秩序地布置在现场内。变压器油、不同厚度的绝缘板等绝缘材料，各种规格的耐油密封胶垫，长短粗细不同的螺栓紧固件和棉纱、白布、清洗剂等清洁材料都是安装工作中不可缺少的，开工前也应一一准备。这里突出要提到的是变压器油，大型变压器补充油量往往较大，有的多达几十吨。这些变压器油的过滤工作需要时间，往往又受到天气的影响，所以在工程开始前必须提前做好变压器油的过滤工作，使变压器油电气性能（如击穿电压、绝缘电阻、 $\text{tg}\delta$ ）和简化试验合格。

3. 附件检查和电气试验

(1) 套管。

1) 套管的瓷件应完整无损，表面和内腔要擦拭干净。

2) 充油套管要试油压检漏。在套管内加 0.15MPa 的油压，3h 应无渗漏油。检查渗漏时要拆下套管下部的均压罩，仔细检查下端有无渗漏。

3) 套管应电气试验合格。瓷套管和带有附加绝缘的套管应做工频耐压试验。充油套管应做绝缘电阻、 $\text{tg}\delta$ 试验和绝缘油电气试验，有条件时应做工频耐压试验和绝缘油的气相色谱分析。

4) 套管附属的绝缘件应经干燥处理（浸油运输的绝缘件可不处理）。

5) 充油套管应充油至正常油位。

(2) 套管电流互感器（套管 TA）。

1) 变流器和升高座一起做油压试漏。在升高座上加 0.15MPa 的油压，3h 应无渗漏。检查时特别要注意检查变流器二次引出小套管。

2) 变流器应做的电气试验包括绝缘电阻、直流电阻、极性试验和工频耐压试验，并要核对各分接变流比。核对二次引出端子变流比和运行中要求的变比是否相符，必要时还应做工频变流比时的伏安特性曲线。

(3) 散热器（风冷却器、水冷却器）、储油柜、防爆筒、净油器等各附件内部应彻底清理干净，必要时应用干净的变压器油冲洗，或用干燥清洁的压缩空气吹净。各附件还应按不同规定做 0.05~0.15MPa 的油压试漏，持续 3h 应无渗漏油。

(4) 潜油泵。

1) 外观检查无渗漏油，视孔玻璃应完好。

2) 用 0.2~0.3MPa 油泵试漏 3h 应无渗漏油。

3) 泵应做绝缘电阻和工频耐压试验。有条件时可做空载和转速试验。

(5) 气体继电器，除外观检查外，要做 0.05MPa 油压试漏，并按继电保护要求做流速整定、绝缘电阻试验。

(6) 风扇电动机，除外观检查外，要做绝缘电阻和工频耐压试验。有条件时可做空载和转速试验。

变压器附件经检查和电气试验合格后，应妥善保管，做好必要的防护措施，尤其是瓷件防止碰破，充油附件做好密封。根据工程进度和现场条件，适时地运到现场，摆放在适当位置准备安装。

(二) 安装工作内容和程序

中小型变压器是经整装状态运输到用户的。所谓整装状态是指变压器装上全部组件和零件，并注满绝缘油的状态。但是大容量变压器的特点是，变压器主体和成套组件的尺寸大、质

量大、绝缘和油所占体积大，而且装有强油循环的冷却系统、使绝缘和油与周围介质隔绝的密封装置等。

大型变压器是经拆卸运输方式运到指定地点的，运输时，或者不带油但装有供氮装置或密封装置，或者把油充到离箱盖 150~200mm 的高度。

这些变压器的安装工作包括吊芯检查、组装工作和调试工作的复杂组合，这些工作必须按一定程序进行。因此，变压器安装前，应编制一个工作方案，并准备好安装场地、设备、工具和材料。

往大型变压器油箱上安装成套组件的工作，应在变压器自身的基础上、专用安装场地上或变压器修理车间进行。

把组装好的变压器移到基础上的工作，是用自身的小车沿铁轨移动来完成的。

变压器安装开始前和安装过程中，都要对其绝缘状况进行全面的判断、检查，并确定变压器不经干燥处理能否投入运行。当变压器绝缘受潮时，需进行干燥或烘干处理。

为了便于安装成套组件，采用吊挂式装配架或可拆卸的工作架，架子要带栏杆，上面铺上可靠的踏板，以确保工作安全。多数变压器的油箱上有专门固定吊挂式装配架的装置。

安装高压套管时，需打开盖板，并把变压器里的油放出来（为了观察）。注油前和注油过程中，都要对绝缘和油进行真空处理。有些新结构的变压器，在安装高压套管时，不需要从油箱往外放油。

安装埋入式调压装置的准备工作，应在变压器真空注油之后进行。吊挂式调压装置的安装工作在变压器密封期间内，或者油箱注油之后进行。

往变压器油箱上安装冷却系统的同时，准备和安装其余的成套组件。变压器最后注油之后，把冷却系统接到变压器上，并注满油。也允许冷却系统与变压器油箱一起进行真空注油。

装配工作结束后，需进行投入运行前的试验，根据装配工作的完成情况，整理好安装调试文件，然后在额定电压下试验变压器，并投入运行。

（三）变压器吊芯检查

器身检查是为了排除变压器在运输过程中对铁芯、绕组和引线所造成的损伤，处理制造过程中一时疏忽遗留的局部缺陷，清理油箱中的杂物。这对于确保变压器的安全运行是非常重要的。多年来各地坚持器身检查的实践已经证明，这个检查工作是非常必要的，当运行中的变压器内部出现故障时，也需要进行必要的检查和修理。除制造厂有特殊规定的以外，所有变压器投入运行前必须做器身检查。

1. 器身检查的环境条件

吊芯检查时，周围环境温度不宜低于 0℃，且器身温度不应低于周围环境温度。检查应尽量在干燥的室内进行，在露天进行时应选择晴朗天气，并要有必要的防尘措施，在雨、雪、雾天不宜进行。

器身在空气中暴露时间不应超过下列规定：

空气相对湿度不超过 65% 时：16h；

空气相对湿度不超过 75% 时：12h。

暴露时间自油箱开始放油算起至注油开始时止。

2. 器身检查的项目和要求

器身检查根据变压器结构不同可分别采用吊芯或吊钟罩，有时也可以不起吊，由人进入

油箱内部进行检查。在放出油箱内部分或全部变压器油、拆除与器身的机械和电气连接以后，方可进行吊芯或吊钟罩。检查时分绕组绝缘、铁芯、机械结构、调压装置的各自检查并进行电气测试等项目。

(1) 绕组绝缘检查。绕组绝缘完整，表面无变色、脆裂，各线圈排列整齐、间隙均匀，绝缘无移动移位，垫块完整无松动，油路畅通，引线绝缘良好，电气距离符合要求。

(2) 铁芯检查。铁芯无变形，铁芯叠片绝缘无局部变色，铁芯叠片无烧损，油路畅通，铁芯接地良好。

(3) 机械结构。所有螺栓包括夹件、穿心螺杆、压包螺栓、拉杆螺栓、木件紧固螺栓等均应紧固且有防松措施。木质螺栓应无损伤并有防松绑扎。

(4) 调压装置检查。调压装置（如接地板、无激磁调压开关、有载调压开关）与分接引线连接正确、可靠。各分接触头清洁，接触压力适当。活动触头正确地停留在各个位置上，且与指示器的指示相符。调压装置的机械传动部件完整无损，动作正确可靠。

(5) 电气测试。经器身检查后，应拆开铁芯接地片，做铁芯对上下夹件（包括压包钢环）、穿心螺杆对夹件、铁芯的绝缘电阻和1000V工频耐压试验。当铁芯有外部接地套管时，最好做2000V工频耐压试验。有载调压变压器的选择切换开关及无载调压变压器的调节开关各触头应做接触电阻试验。

器身检查全部完成后，应做油箱的清理工作。排净油箱底部的残油，清理一切杂物。检查各个阀门和油堵的密封，检查阀门启闭指示应正确无误。

3. 器身检查的安全注意事项

(1) 器身检查不论是吊芯或吊罩，都是一项起重工作。起重所使用的器具和设备事前必须经过检查，不准超载使用。绳扣角度和吊重位置必须符合制造厂的规定。

(2) 起吊和落下时一定要加强监视，注意不得使芯子和油箱碰撞，起重工作应由富有经验的检修工人指挥。

(3) 做电气试验时要注意相互呼应，避免触电。

(4) 器身恢复前应认真清点工具和材料，对芯子应仔细检查，不得在芯子上遗留任何杂物。

经器身检查后，要密封油箱，注满合格的变压器油。有条件时对110kV及以上电压等级的变压器还要采用真空注油。

器身检查工作要事先做好充分准备，明确分工，尽量提高工作效率，缩短器身在空气中暴露的时间。

(四) 局部拆卸运输的变压器安装

1. 工作程序

35~110kV油浸自冷式或油浸风冷式变压器的安装工作：这种变压器是在绝缘油注到离自身箱盖150~200mm处时运到安装地点的，储油柜、冷却装置和110kV套管是拆下发运的。

安装工作开始前，要判断变压器绝缘是否受潮。在运输和储存期间，如变压器绝缘受潮，在安装开始前，必须进行干燥处理。

安装主要的成套组件（套管、分接开关的驱动机构、安全气道等）时，需要打开盖板和人（手）孔。此时，由于周围空气侵入变压器油箱，会使变压器油和油面上部空间的绝缘件严重受潮，甚至导致变压器必须进行补充干燥处理。因此要把打开变压器盖板和人（手）孔

的时间压缩到最低限度，总的时间不应超过 20h。

必须注意，盖板打开后，变压器里不许落进灰尘、污物和无关的东西，这些东西在工作开始前必须仔细地由油箱和成套组件里清除掉，而且把安装场地的尘源也清除掉。对安装成套组件所用的工具和装置，必须进行清点。

在运输、卸车和保存期间，如果认为变压器内部可能有损伤时，那么变压器在安装开始前要进行吊芯检查。

成套组件安装后，往变压器里注变压器油并完成有关试验工作。

整理好安装调试文件并校验好保护装置后，变压器可以在额定电压下试运行，最后正式投入运行。

2. 套管的安装

变压器用套管在安装前，必须检查瓷件有无裂纹和损伤，仔细地清除污垢，并用 50Hz 电压试验 1min。试验是为了发现瓷件的隐患损伤（裂纹），即使是用于引出较低电压的线圈引线套管，其试验电压也应符合套管的电压等级。试验时，套管的内腔应充满击穿电压不低于 35kV 的干燥变压器油。为此，套管必须装配好，并安装在充油的工艺油箱法兰上。油箱上应连接一个储油柜或漏斗，用以使油箱中的油面达到足以使安装其上的套管内腔充满油的水平。在套管内腔注油的过程中，必须将套管内的空气从其上部的放气孔放出。

注油式套管内有一个用以穿过导电引线的管子。管子外面包上硬质酚醛绝缘纸，两层绝缘纸之内用均压箔片隔开。套管的上部装在瓷件中，其上部有抗油密封垫，而下部固定在连接套筒上。在运输和储存时，套管的下部放在内腔充满油的保护盒里。在连接套管的法兰上还有一个导气连管，在储存期间可以同时作为取油样活塞。

套管在安装前的准备工作有：检查套管外部有无损伤，化验注在套管里的变压器油和测量套管内部绝缘油的 $\text{tg}\delta$ 值。

内部绝缘油的 $\text{tg}\delta$ 值应在 10kV 电压下用交流电桥法测量。用套管的接线端子和测量套管作为电极，电桥按对地绝缘电极所采用的正常测量回路。高电压加在接线端子上，而连接套筒接地。测量前测量套管应接地，而套管内腔应充满变压器油，并没有损伤，注在套管里的变压器油应该符合标准，其击穿电压应不低于 40kV，而 $\text{tg}\delta$ 值在 20℃ 时不超过 0.4%，在 70℃ 时不超过 3.5%。

绕组引线通常采用可拆式套管引出，这种套管的结构便于安装和拆卸，而且从变压器里放出少量的变压器油即可更换瓷套。

变压器高压绕组引线的引出，采用全密封式和不全密封式的高压充油套管，以及固体绝缘的高压套管。高压套管通常固定在升高座的法兰上，升高座的里面应能放下保护和测量用的内装式电流互感器。如果升高座从变压器上拆下来单独运输的话，必须在套管安装开始前把升高座安装上。

安装前，套管应竖直地放在靠近变压器的架子上，并进行检查。架子离变压器的距离以方便吊起和放置套管为准。吊起架子上的套管之前，把均压罩固定在套管的下端，仔细擦净下瓷套，将软牵引绳或绑绳穿过套管和中心管，绳子的机械强度要足以能拽出引线的软电缆。

把套管安装到变压器上的方法如下：为了安装套管，拆除油箱上的盖板，用螺母和止退螺母把导电杆连接到绕组引线的软接线上。导电杆顶应插进瓷套的上端部相应的槽口里，为了避免损伤瓷套，必须沿其圆周小心地、均匀地拧紧螺母。在实践中，也经常采用另外一些

方法安装套管，如先固定和密封带电杆的瓷管，然后通过侧面人孔把引线的软接线连接到导电杆上。

为了把套管装到变压器上，用起重机构和相应承重能力的吊绳通过支撑法兰上的吊环吊起套管。为了达到必要的倾斜角度并防止翻倒，套管上部瓷套需用绳绑在吊绳上。套管的倾斜方向是这样确定的：放气塞和与变压器总连气管连接的管接头应处在套管法兰的最高位置。如果放气塞和管接头的位置不正确，那么在变压器注油之后会形成气泡腔。

将套管从架子上取出之后，往下节瓷套上套上一个酚醛纸筒，并用木块和螺钉把它固定在中间套的下法兰上。此时尽可能精确地把套管安放在升高座孔的中心内，穿过套管中心管的牵引绳的一端固定在线圈软引线的电缆接线头上。然后，电缆接线头用穿过套管中心管的牵引绳小心地拽出。

牵引时，必须注意使电缆拉直拉紧。当电缆部分全部拽进中心管里时，开始往变压器油箱里慢慢地放套管，这时不要过分地拉紧牵引绳。套管放到法兰的密封垫上，套管就位后，先固定密封套管法兰，然后固定密封电缆接线头。此时接线头上的切口应与套管密封法兰上的相应凸部相重合。接线头的下端应当紧密地贴在套管的密封法兰上。套管接线头的密封工作一定要仔细，因为密封不好会使潮气进到变压器里。电缆接线头的密封工作只能采用相应厚度的质量好的密封件。

固体绝缘的高压套管与油纸绝缘套管不同，它下端没有均压罩，而其酚醛筒固定在升高座上。这种套管在安装之前，拆下装在套管下部的运输罩。固体绝缘套管的安装与充油式套管的安装相似。

安装套管时应注意，变压器里不要落进污物、水、无关的东西，特别是电气接触要可靠，套管和导电杆密封要严密，软连接线在变压器里的分布位置要正确。套管软连接线之间的绝缘距离、变压器各相与其它接地部分和导电部分之间的绝缘距离，通常应不小于 50mm。

3. 储油柜和安全气道的安装

电力变压器的储油柜用于保持和控制油箱里所必需的油位和保证变压器运行过程中油的热膨胀。为此，储油柜结构一般都装有油位计、内腔与变压器油箱和周围介质连通的连管、注油管、放残油塞和其它一些附件。储油柜一般是一个圆筒形的密封容器。一般型式有载调压变压器的储油柜里有一个专用的间隔，这个间隔用于保持和控制有载调压装置切换开关容器里所需要的油位和油的热膨胀。

往变压器油箱上安装储油柜之前，要通过端孔检查一下储油柜的内部表面情况，内部表面应是清洁的，而且没有机械损伤。必要时，用干燥的变压器油冲洗储油柜，通过放油塞把残油放掉。同时还要注意内接管焊缝的完整性，因为运输时接管很容易损坏。

排除所发现的异常之后，开始安装在运输时被卸下来的油柜组件（油位计、油位继电器等）。

组装好的储油柜进行密封性检查，检查过程中，要修复好在组装成套件以及运输和储存期间造成的所有密封不严的地方。为此用热的干燥变压器油（50~60℃）充到油位计的上限标志，并在此种状态下至少静置 3h。发现有渗油痕迹时，应可靠地消除密封不严的地方。组装检查好的储油柜固定在变压器的油箱上。

安全气道的作用是当变压器发生内部故障和油箱内压力增高时保护油箱不受损坏。玻璃板是安全气道的爆破元件，当变压器油箱里的压力超过 50kPa 时它就会爆破。

往油箱上安装之前，用干燥的变压器油冲净安全气道的内腔。然后把玻璃板和安全网装在安全气道的上部，并且密封好。密封玻璃板时，必须小心地、均匀地拧紧周围螺栓，以免损坏玻璃板。把组装好的安全气道装到变压器油箱上，并且密封好。安全气道的油面上部空间与储油柜的油面上部空间相连，或者用连接管与吸湿器连通。

(五) 100MVA 及以上、110kV 及以上大型变压器的安装工作

1. 安装工作的内容和程序

这类变压器的特点是，变压器主体和成套组件的尺寸大、质量大、绝缘和油的体积大，而且装有强油循环的冷却系统、大电流高电压的套管和调压装置、使绝缘和油与周围介质隔绝的密封保护装置。这些特点对这种变压器的安装工作提出了更加严格的要求。

这种变压器是以拆卸运输方式运到指定地点的，运输时，或者不带油但装有供氮装置或密封装置，或者把油充到离箱盖 150~200mm 的高度。

往大型变压器油箱上安装成套组件的工作，应在变压器自身的基础上、专用安装场地上或变压器修理车间进行。

(1) 把组装好的变压器移到基础上的工作，是用自身的小车沿铁轨移动来完成的。

(2) 变压器安装开始前和安装过程中，都要对其绝缘状况进行判断，并确定变压器不经干燥处理能否投入运行。当变压器绝缘受潮时，需进行干燥或烘干处理。变压器的干燥处理通常在成套组件安装以前，而烘干处理通常在套管安装以后进行。

(3) 为了便于安装成套组件，采用吊挂式装配架或可拆卸的工作架，架子要带栏杆，上面铺上可靠的踏板，以确保工作安全。多数变压器的油箱上有专门固定吊挂式装配架的装置。

(4) 安装高压套管时，需打开盖板，并把变压器里的油放出来（为了观察）。注油前和注油过程中，都要对绝缘和油进行真空处理。有些新结构的变压器，在安装高压套管时，不需要从油箱里往外放油。

(5) 安装埋入式调压装置的准备工作，应在变压器真空注油之后进行。吊挂式调压装置的安装工作在变压器密封期间内，或者油箱注油之后进行。

(6) 往变压器油箱上安装冷却系统的同时，准备和安装其余的成套组件。变压器最后注油之后，把冷却系统接到变压器上，并注满油，也允许冷却系统与变压器油箱一起进行真空注油。

装配工作结束后，需进行投入运行前的试验，然后敷设变压器的母线，连接和调试保护装置。根据装配工作的完成情况，整理好安装调试文件，然后在额定电压下试验变压器，并投入运行。

电压在 220kV 及以上、容量小于 100MVA 的变压器，原则上也可按以上所介绍的方法进行安装。

2. 解除变压器的密封

为安装成套组件打开变压器油箱上的盖板和安装孔，叫做解除密封。解除密封可以分为两种：局部解除密封（器身的主要绝缘件和部件都浸在油中）和完全解除密封（油箱里的油全放出来）。

安装和连接套管及其它成套组件的工作，是在解除密封时所进行的最复杂和最重要的工作。这时，器身绝缘件容易受潮、污秽和损伤。在变压器完全解除密封情况下，最易使绝缘特性变坏。在完全解除密封情况下进行工作时，必须采取下列技术组织措施：

- (1) 准备好变压器注、放油时所用的设备，准备好所需数量的干燥油，以便注入变压器。
- (2) 准备好往变压器上安装的成套组件和零件。
- (3) 准备好安装所用的设备、装置、用具、工具和材料。
- (4) 明确安装人员的工作职责。
- (5) 制定好在解除变压器密封期间防止绝缘受潮的措施。

装有自动充氮装置的不带油运输的变压器，解除密封前，必须采取措施，从变压器油箱中排除氮气。

排除氮气方法：

- 1) 通过下部闸门向油箱里注入干燥的变压器油，一直注到完全排除氮气为止，然后放出注入的变压器油，并用干燥清洁的空气充满油箱；
- 2) 在残压为 15~20kPa 条件下，对变压器油箱进行真空处理，然后往油箱里面充满干燥清洁的空气；
- 3) 用干燥清洁的空气吹洗油箱，一直吹到油箱内氧气含量不少于 18% 为止。

带油运输的变压器，解除密封时，在放油的同时需向油箱内充满干燥清洁的空气。解除密封的时间从下列时间算起：对带油的变压器，从油箱里放油时算起；对不带油的变压器，从打开第一个盖板时算起。变压器油箱重新密封，并开始真空处理时，认为是解除密封的结束时间。

解除密封期间，除安装成套组件之外，还要拆除运输用的固定件、取出套管酚醛纸筒（如运输时装在变压器里）和准备绕组引线的连接工作等。完全解除密封时，还要从变压器油箱中排除残油，并在运输和卸车后检查器身。

通过人孔进行检查。主要检查变压器身的可见零部件是否有损伤，还要检查运输时将器身固定在油箱上的定位螺栓的状态。螺栓应顶在支撑点上，器身与油箱之间的绝缘垫应处在正确位置和完好状态。绝缘损伤可以导致变压器个别结构件之间短路，形成闭合回路，会在变压器运行过程中析出气体。

当变压器装有埋入式调压装置时，还应检查调压装置有无损伤和驱动机构工作情况等。

在变压器里面工作时应特别谨慎，因为即使绝缘零件有微小损伤和污秽，或者落进异物，都会成为变压器运行时缺陷发展的原因。为了避免发生这类现象，必须遵守下列基本原则：

(1) 变压器里面的操作，应由熟练的有经验的专业人员完成。

(2) 在油箱里面操作的专业人员所穿的衣服应是清洁的，并没有金属钮扣。如果衣服有兜的话，应清除兜内所有物品。

(3) 在油箱里面操作时，不允许蹬踏绝缘零件。

(4) 操作前后应清点所用工具和装置的件数，并检查它们是否完整、无损。

3. 解除密封期间防止绝缘受潮的措施

变压器绝缘很容易吸收水分，在解除密封期间时，如与很潮湿的周围介质接触，将严重受潮。应采取有效措施，在解除密封期间保护变压器的绝缘，确保变压器总装时所需的较长时间内不会受潮。

在解除密封期间向油箱中强行吹入经严格干燥过的空气，这种方法能保持油箱中绝缘件周围空气必要的干燥度。这种防止绝缘受潮的方法有下列优点：

(1) 保证更有效地防止绝缘受潮。

(2) 这种方法解除变压器的密封, 在变压器注油以前可以把变压器完全组装好 (包括冷却系统)。

(3) 变压器不需要预热, 而且无火灾危险。

容量小于 400MVA 的变压器, 在没有空气干燥装置时, 允许在解除密封时不向油箱内吹入干燥空气。这时, 周围空气会渗透到变压器油箱, 使绝缘局部受潮。所以在这种情况下, 为防止绝缘严重受潮, 与解除密封有关的所有工作必须在尽可能短的时间内完成。

为了防止水分冷凝在绝缘上, 解除密封时器身的温度应超过周围空气的露点: 完全解除密封时不低于 10°C , 局部解除密封时不低于 5°C 。周围介质的相对湿度应不超过 85%, 在这种条件下完全解除密封的持续时间应不超过 16h, 局部解除密封的持续时间应不超过 20h。当周围介质的相对湿度超过 85% 时, 不允许解除变压器的密封。

解除密封时, 必须选择干燥和晴朗的天气, 并采取专门措施, 使变压器油箱内绝缘周围的空气维持较低的温度。如果周围介质的自然条件不能保证这些要求, 那么在完全解除密封前必须加热变压器。变压器加热后解除密封会减缓其绝缘的受潮过程, 这是由于周围介质进入油箱的冷空气被热器身加热的同时, 实际上也降低了本身的相对的湿度。

解除密封前, 可用下列任一种方法对绝缘进行加热:

(1) 用缠绕在变压器油箱上的感应绕组加热。该方法主要用于干燥, 而在解除密封前加热变压器时很少采用。

(2) 用装在变压器油箱下面的电炉加热。因为它的效率低而且容易引起火灾, 也不常采用。

(3) 油经过加热器在油箱里循环加热。这是最常采用的方法。用油泵把油注到变压器油箱盖下 100~150mm, 油经过油箱下部阀门打入油加热器里, 在加热器里, 把油加热到 80°C (不要超过 80°C) 然后经过上部阀门再返回油箱里, 油经过加热器的循环一直持续到油箱里的油温达到 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 为止。这种方法的缺点是必须向油箱里注入大量的油, 而且解除密封前还必须把它完全放出来。

器身的温度可用放在铁轭上的任意一种温度计 (水银式温度计除外) 确定。对于没经过加热的变压器, 器身的温度可以认为是油温。

4. 套管的安装

(1) 低压套管的安装。安装 5000A 以下、6~35kV 可拆式套管时, 通常在电流互感器装置开始安装时就把套管的导电杆连接到绕组引线上, 然后安装和密封套管的瓷件。

套管是装在专用包装箱里整装运输的。安装前, 应除掉灰尘和脏物。必要时, 把套管拆开, 清理其内部。拆开套管的顺序如下: 取下均压罩, 沿周边拧下密封螺栓, 然后拆下压环, 并依次拆下其它零件和瓷套。为了取下压环, 首先必须松开压紧螺栓, 在形成的开口处装上一个金属板, 然后拧紧压紧螺栓, 拉伸压环, 使它能足以通过导电管中的挡块。装配套管时, 按相反的顺序进行。

用起重机械通过套管上部接线板上的两个相对的孔吊起套管。在套管必须倾斜安装的情况下, 应用绳套系在瓷套相应的伞裙上, 用钢丝绳或麻绳吊起套管。在钢丝绳的下面必须垫上软垫。安装套管时, 不应使其端部起立, 以免损坏接线板。如果套管需倾斜地安装在油箱上时, 必须注意, 使它的放气塞处于最高位置。

由绕组引出的引线, 分别连接到套管的接线板上。每个引线上都有与接线相对应的数字

标志。标志指明了引线往接线板上连接时，引线沿圆周排列的顺序。运输时，把引线捆在一起，并固定在器身上。套管接线板和引线的接线片之间的螺栓连接是用专用固定板实现的。

(2)220~500kV 套管的安装。220kV 及以上的套管与 110kV 套管不同，这种套管体积大、质量大。往变压器上安装前，需将试验过的和检查过的套管放在安装场地上的专用支架上，以便利用现成的起吊机械进行套管安装。一般采用具有可伸缩臂的（约 12~13m）起重质量为 5t 的汽吊，或履带吊车安装套管。

套管起吊工作是用支撑法兰上的两个吊环实现的。为了避免翻倒，需用绳子把套管上部固定在吊绳上。大多数变压器，220kV 及以上的套管是倾斜安装的。这时，把套管上部用绳索固定在吊绳上的目的是为了在套管吊起后得到所需要的倾斜角度。倾斜吊起时，应注意套管支撑法兰上的连接气体继电器的管接头和放气塞的位置，而非密封式结构的套管，应注意套管上油位计的位置。套管装到变压器上以后，管接头和塞子在支撑法兰上应处在最高位置，而油位计的玻璃应处在与倾斜面垂直的平面上。

为了牵引载流电缆，通过套管的中心管放入一根麻绳，其末端固定一个带螺纹的安装螺栓。麻绳的另一端经过预先固定在吊钩或吊车移动臂上的滑轮引到外面。起吊时，密封式套管的压力箱需用绳索固定在套管的支撑法兰上。这时，连接套管内腔和压力箱的钢管必须小心地拆开，而套管和压力箱上的活门要暂时关上。挂上吊绳之后，把套管从支架上吊出来，并在其下部固定上均压屏。均压屏应是完整的，其绝缘覆盖层应没有损伤。

变压器绕组的载流引线分为绝缘的（从绕组到套管中心管的入端）和非绝缘的两个部分。引线的非绝缘部分是一根软的铜电缆，其末端焊有接线头。接线头本体上钻孔，用以穿入装配螺栓。运输时，把软引线盘起来，并固定在变压器的器身上。

在变压器油箱上，套管固定在预先安装好的电流互感器装置外壳的法兰上，或者固定在（不带电流互感器的）升高座上的法兰上。

装上均压屏后，把套管吊到变压器安装孔的上方。压力箱放在油箱上。然后把装配螺栓拧到套管的中心管里，拽牵引绳，使引线完全伸直。带接线头的引线是用手或手动绞车拉紧的。然后逐渐地把套管的下部伸入到变压器油箱中，直到套管的支撑法兰坐到变压器油箱上连接法兰的密封垫上。逐渐落下套管的同时，用牵引绳将引线拉紧。套管装进油箱时，通过视察孔观察套管的位移和引线的拉紧情况。套管放到密封垫上后，必须检查套管下部在油箱里的位置，以及引线在均压屏里和套管中心管里的位置。套管均压屏应放在酚醛纸筒的轴线上，均压屏与变压器绝缘之间的距离，以及均压屏与纸筒之间的距离都不应小于 20mm。接线头的固定和密封与 110kV 套管相同。

套管安装后必须在变压器油箱上装上固定压力箱，打开连接压力箱内腔和套管的活门，并用压力表检查套管里的压力。

为了便于检查变压器运行期间套管里的压力，建议将压力表装在变压器附近的单独基础上，或金属构件上。这时，检查套管里的压力时，必须考虑压力表的安装水平。

(3) 注油式套管的安装。采用注油式套管的变压器，试验过的套管在安装前竖放在靠近变压器安装场地的支架上或运输箱里。套管装到变压器上以前需放油，并取下保护盒。为了放出套管内腔里的空气，需拆下均压屏，并拧开放气塞。

注油式套管往变压器上的安装与 110kV 套管相同。安装时，不允许这种套管长期处于不带保护盒的状态，并必须注意不要损伤套管的下部。