



国家电网  
STATE GRID

国家电网公司运行分公司

GRID OPERATION BRANCH OF  
STATE GRID CORPORATION OF CHINA

特高压直流换流站检修标准化作业指导书

# 特高压直流换流站 换流变压器特殊性检修工艺

国家电网公司运行分公司 组编





国家电网  
STATE GRID

国家电网公司运行分公司

GRID OPERATION BRANCH OF  
STATE GRID CORPORATION OF CHINA

特高压直流换流站检修标准化作业指导书

# 特高压直流换流站 换流变压器特殊性检修工艺

国家电网公司运行分公司 组编

**图书在版编目 (CIP) 数据**

特高压直流换流站检修标准化作业指导书. 特高压直流换流站换流变压器特殊性检修工艺/  
国家电网公司运行分公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5123-6093-8

I. ①特… II. ①国… III. ①特高压输电—直流换流站—换流变压器—设备检修—标准化管理—中国 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 137887 号

---

**特高压直流换流站检修标准化作业指导书. 特高压直流换流站换流变压器特殊性检修工艺**

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

2014 年 6 月第一版

880 毫米×1230 毫米 横 16 开本 9.75 印张

北京丰源印刷厂印刷

2014 年 6 月北京第一次印刷

317 千字

各地新华书店经售

定价 **596.00** 元 (1 套)

---

**敬告读者**

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

**版权专有 翻印必究**

## 编 委 会

主 任 叶廷路

副 主 任 熊幼京 余克武

编写人员 陕华平 廖卉莲 胡锦涛 常 勇 张 豪 曹力潭 靳海路 李腾亮 何露芽 许 杨

廖文锋 阮思焯 喻春雷 马永斌 张一坤 鲁 阳 朱云华 李锋锋 徐 兵 魏华兵

杨世贵 吴 宁 刘之奎 郝跃东 欧阳震 张 勇 程 锦 焦晨骅 桂传林 李跃婷

审核人员 张 平 李建建 彭广才 殷俊新 汤晓峥 李继辉 仝培理 衣福全 张 民 孙 杨

李 辉 程 炯 凌 云 郭 涛 张海滨 沈志刚 钟 义 曾喜闻 李华兵 屈万一



# 序

特高压直流输电工程具有输送容量大、送电距离远、功率损耗低等特点，在促进能源资源大规模、大范围优化配置，推进实施“一特四大”战略，推动能源发展方式转变，破解当前雾霾困局方面具有重要的基础性作用。作为特高压直流输电工程的核心组成部分，换流站的运维检修水平的高低在很大程度上决定了整个直流输电工程能否安全可靠运行。国家电网公司运行分公司是从事直流输电工程换流站运维检修业务的专业公司，主要负责±800kV及以上换流站的运维检修管理，并为属地化管理的换流站提供运维检修技术支持和运维检修技能培训等专业化服务。

特高压直流换流站设备检修是国家电网公司运行分公司核心业务之一，是发现设备隐患、消除设备缺陷、提高设备性能、提升直流输电系统可用率的有效方法。与常规换流站相比，特高压直流换流站检修有设备多、工作量大、技术复杂和创新点多等特点。为做好特高压直流换流站设备检修工作，国家电网公司运行分公司按照“标准统一、纵向贯通、横向协同、管控有力、运转高效”的原则，在充分总结多年换流站检修经验的基础上，组织多名长期从事换流站检修工作的专业技术人员，经过前后长达五年的时间编写完成了《特高压直流换流站检修标准化作业指导书》，用以指导特高压直流换流站现场检修标准化作业的开展，实现特高压直流换流站检修工作规范、高效、经济的目的。

期望这套指导书的出版发行，能对推动特高压直流换流站的检修标准化作业起到积极作用，为直流输电事业健康发展作出贡献。

叶廷路

2014年5月



# 前 言

检修标准化作业是将检修工作以安全、质量、效益为目标，对检修的安全、质量、技术、工艺和流程要求，以制度标准的形式发布，现场按标准的工艺、流程进行实施的作业。

为规范特高压换流站检修工作，国家电网公司运行分公司全面总结 20 年来直流换流站运维检修经验，组织公司系统多名长期从事直流换流站检修工作的专业技术人员编制了本套标准化作业指导书。本指导书是基于国家电网公司相关检修试验标准、设备结构原理、厂家运维说明及换流站故障抢修实际事例编制而成的，编制目的是为了进一步规范检修现场作业，实现检修流程、工艺、质量标准化。

特高压直流换流站按照检修方式分为例行检修和特殊性检修；按照检修对象可分为换流阀、直流控保、阀水冷等核心设备检修及交直流一二次电气设备、辅助设备设施检修。本指导书分为六册，包括《特高压直流换流站设备检修、例行试验工艺和质量标准（一次设备、二次设备、例行试验共三册）》《特高压直流换流站换流变压器特殊性检修工艺》《特高压直流换流站大型设备更换标准化作业指导书》《特高压直流换流站自验收标准化作业指导书》，适用于直流输电工程运维检修和生产管理人员。

本书在编写过程中得到了国家电网公司、有关省公司、技术监督单位、检修施工单位以及设备制造厂家的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！限于编者水平和经验，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎批评指正。

编 者

2014 年 5 月



# 目 录

## 序 前言

1 范围	1	5.9 阀侧套管更换	47
2 规范性引用文件	2	5.9.1 ABB 套管	50
3 总则	3	5.9.2 HSP 阀侧套管	53
4 油务处理	4	5.9.3 传奇套管	54
5 换流变压器附件检修	22	5.10 网侧套管顶部密封检查	59
5.1 储油柜油位检查	22	5.11 冷却器散热片更换	60
5.2 储油柜胶囊更换	23	5.12 铁芯、夹件接地线引出	64
5.3 压力释放阀更换	24	5.13 SF <sub>6</sub> 气体渗漏检测及处理	65
5.4 油流(气体)继电器更换	26	6 换流变压器更换	68
5.5 有载分接开关检查	28	6.1 800kV 换流变压器更换	68
5.5.1 ABB 有载分接开关	28	6.2 500kV 换流变更换	101
5.5.2 MR 有载分接开关	33	6.3 400kV 换流变更换	104
5.6 套管末屏检查	38	7 换流变压器极低环温启动运行	136
5.6.1 ABB 套管	38	8 1000kV 变压器附件检修	140
5.6.2 HSP 套管	39	8.1 1000kV 套管更换	140
5.6.3 传奇套管	43	8.2 1000kV 套管升高座渗漏油处理	143
5.7 阀侧套管 SF <sub>6</sub> 密度继电器校验	44	8.3 1000kV 主变压器压力释放阀更换	145
5.8 阀侧套管 TA 绝缘检查	46		



# 1 范 围

本检修工艺规定了±500kV、±660kV、±800kV、背靠背直流工程换流变压器，以及1000kV特高压交流变压器特殊性检修工艺，包括：

换流变压器型号：TCH 146DR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

应用站点：±500kV 宜都、华新、鹅城换流站。

换流变压器型号：ZZDFPSZ-299100/500；生产厂：特变电工沈阳变压器集团有限公司。

应用站点：高岭背靠背换流站。

换流变压器型号：ZZDFPSZ-300870/500；生产厂：西安西电变压器有限责任公司。

应用站点：灵宝背靠背换流站。

换流变压器型号：TTT145TR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

换流变压器型号：ZZDFPZ-403000/330；生产厂：西安西电变压器有限责任公司。

应用站点：±660kV 宁东换流站。

换流变压器型号：TCH 146DR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

换流变压器型号：ZZDFPZ-386400/500；生产厂：特变电工沈阳变压器集团有限公司。

应用站点：±660kV 胶东换流站。

换流变压器型号：TTT 146DR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

换流变压器型号：ZZDFPZ-297100/500；生产厂：特变电工沈阳变压器集团有限公司。

应用站点：±800kV 奉贤换流站。

换流变压器型号：EFPH 8557；生产厂：德国 SIEMENS 公司、西安西电变压器有限责任公司。

换流变压器型号：ZZDFPZ-321100/500；生产厂：保定天威保变电气股份有限公司。

应用站点：±800kV 复龙换流站。

1000kV 主变压器型号：ODFPS-1000000/1000；生产厂：保定天威保变电气股份有限公司。

应用地点：1000kV 长治变电站。

1000kV 主变压器型号：ODFPS-1000000/1000；生产厂：特变电工沈阳变压器集团有限公司。

应用地点：1000kV 荆门变电站。

其他大型充油设备可参照执行。



## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本工艺的引用而成为本工艺的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本工艺，然而，鼓励根据本工艺达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本工艺。

GB 50148—2010 电气装置安装工程\_\_电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范

GB 50150	电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
GB/T 14542—2005	运行变压器油维护管理导则
GB/T 4109	交流电压高于 1000V 的绝缘套管
DL/T 573	电力变压器检修导则
DL/T 574	变压器分接开关运行维修导则

DL/T 596	电力设备预防性试验规程
DL/T 722	变压器油中溶解气体分析和判断导则
DL/T 1096	变压器油中颗粒度限值
Q/GDW 168	输变电设备状态检修试验规程
Q/GDW 220	±800kV 换流站换流变压器施工及验收规范
Q/GDW 275	±800kV 直流系统电气设备交接验收试验
Q/GDW 299	±800kV 特高压直流设备预防性试验规程
Q/GDW 220	±800kV 换流站换流变压器施工及验收规范
Q/GDW 275	±800kV 直流系统电气设备交接验收试验
Q/GDW 322—2009	1000kV 交流电气设备预防性试验规程
	换流变压器及特高压交流变压器厂家技术说明书
	直流换流站一次设备检修工艺和质量标准

## 3 总 则

**3.1** 为规范换流变压器（以下简称换流变）及特高压交流变压器的特殊性检修工艺，确保设备安全运行，制订本检修工艺。

**3.2** 换流变及特高压交流变压器的特殊性检修除执行本规定外，尚应执行有关现行国家标准、行业标准和企业标准的规定。

**3.3** 检修中的安全技术措施应符合本规定和现行国家有关安全技术标准及产品的技术规定。对本工艺所述的重要项目或关键工序，应事先制定标准化作业指导书。

**3.4** 检修用工器具，必须校检合格并在有效期内。

**3.5** 所有拆开的密封圈不得重复使用。

**3.7** 不同牌号的绝缘油或同牌号的新油与运行油混合使用前，必须做混油试验。具体执行 GB 14542—2005。

**3.8** 本体暴露在空气中内检或附件安装时的环境要求，应符合下列规定：

(1) 凡雨、雪、风（4级以上）和相对湿度 80%以上的天气不得进行内检。

(2) 进入器身内部进行内检的人员一般不超过三人。内检人员必须明确内检的内容、要求及注意事项。

(3) 在内检过程中，必须向器身内持续补充露点低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 的干燥空气，补充干燥空气速率符合产品技术文件要求，并保证器身内空气压力值为微正压，相对湿度不大于 20%。

(4) 器身持续暴露在空气中的时间不得超过 8h。

(5) 调压切换开关吊出检查、调整时，暴露在空气中的时间应符合表 3-1 规定。

表 3-1 调压切换装置露空时间

环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$>0$	$>0$	$>0$	$<0$
空气相对湿度 (%)	65 以下	65~75	75~85	不控制
持续时间不大于 (h)	24	16	10	8

(6) 空气相对湿度或露空时间超过规定时，必须采取相应的可靠措施。时间计算规定：由揭开顶盖或打开任一堵塞算起，到开始抽真空为止。

(7) 抽真空及真空注油不宜在雨雾天气进行。

(8) 器身检查时，场地周围应清洁并有防尘措施。

**3.9** 安装用的紧固件应采用热镀锌、渗锌制品或制造厂成套配供的不锈钢制品。

**3.10** 连接螺栓应使用力矩扳手紧固，螺栓受力应均匀，其紧固力矩值应符合产品的技术规定。

## 4 油务处理

### 4.1 滤油准备

(1) 按照标准化作业指导书布置真空滤油机、油泵、真空泵、干燥空气发生器、指针式或电子式真空表、油管路、储油罐。

(2) 将储油罐内部清理干净,保持储油罐内部密封清洁。使用前需用合格的变压器油全面冲洗内壁 2~3 遍,冲洗时油从顶部阀门注入,从底部阀门排出。为提高滤油质量,储油罐应加装呼吸器,并检查呼吸器内部吸湿剂颜色正常,油封油位正常。

(3) 真空滤油机、干燥空气发生器性能要求宜执行 Q/GDW 220—2008。

(4) 油管路及抽真空管路可用加强 PVC 塑料软管。

(5) 用 6mm<sup>2</sup> 黄绿接地线将滤油机、油泵、真空泵、干燥空气发生器、油管路、储油罐、临时电源箱等可靠接地。

(6) 现场应布置临时水源及灭火器材。

### 4.2 绝缘油处理

(1) 用真空滤油机进行换流变油过滤。为提高滤油效果,储油罐油过滤应采用倒罐滤油方式。

(2) 滤油过程中应注意,滤油机的出口温度不应低于 (65±5)℃。

(3) 过滤后的换流变油要取油样试验,判断换流变油是否净化处理合格。

(4) 为了使油罐内的换流变油充分得到过滤,从而使换流变油的各项试验指标达到相关规程要求,可在滤油机出油口处增设一台精滤机,提高滤油效果。

(5) 真空滤油机流量应达到 6000L/h~12000L/h。

(6) 滤油结束后,需取油样进行油化试验分析,注入换流变的油应符合表 4-1 要求。

表 4-1 油化试验分析技术指标

序号	试验项目	技术指标		
		±500kV	±660kV/±800kV	1000kV
1	油耐压试验	≥60kV	≥70kV	≥70kV
2	油介质损耗因数	≤0.5 (90℃)	≤0.5 (90℃)	≤0.5 (90℃)
3	油中气体含量	<1	<1	<0.8
4	油中含水量	<10	<8	<8
5	油颗粒度试验	大于 5μm 的颗粒 小于 2000 个/100mL	大于 5μm 的颗粒小 于 1000 个/100mL, 无 100μm 以上颗粒	大于 5μm 的颗粒 小于 1000 个/100mL, 无 100μm 以上颗粒
6	油色谱分析	无 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	无 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	无 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>

### 4.3 抽真空及注油

#### 4.3.1 TCH 146DR 型换流变

换流变型号: TCH 146DR; 生产厂: ABB 公司。

应用站点: ±500kV 宜都、华新、鹅城换流站。

抽真空及注油流程如图 4-1 所示。

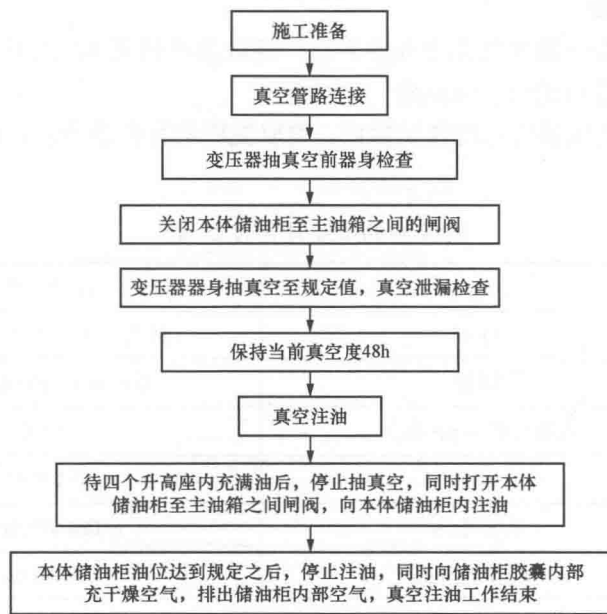


图 4-1 抽真空及注油流程图

### 一、抽真空

(1) 拆下换流变顶部抽真空阀 146.1 盖板, 将抽真空的管道装在此处, 如图 4-2 所示, 并将管道与真空泵相连, 在此真空管道上装一个真空表; 分接开关油箱应与本体一起抽真空。

(2) 接通真空泵的电源, 启动真空泵, 抽真空直至压力降到 300Pa; 抽真空过程中若真空上升缓慢, 应停止抽真空查找漏气点。

(3) 停真空泵, 1h 后记录真空表读数为  $p_1$ 。

(4) 再过 30min 记录真空表读数为  $p_2$ 。

(5) 记录换流变的油量, 记为  $v_1$ 。

(6) 若  $(p_2 - p_1) \times v_1 < 30$ , 等待 30min 后记录  $p_2$  确认该结果, 若  $(p_2 - p_1) \times v_1 > 30$ , 则查找渗漏点并消除。

(7) 若密封性试验合格, 启动真空泵, 继续抽真空直至压力降到 100Pa。

(8) 抽真空 48h。

### 二、真空注油

(1) 将滤油机的进油管与储油罐相连, 出油管与换流变底部注油阀 140.2-1 相连, 如图 4-2 所示。

(2) 在换流变底部取油样阀 142 处接一个透明塑料管作为油位指示器, 在气体继电器处装一个真空表。

(3) 关闭本体储油柜和本体油箱之间的阀门 143.1。

(4) 启动真空泵对本体油箱抽真空, 启动滤油机对本体油箱进行注油, 注油速度不大于 4000L/h~6000L/h。待油位距离本体油箱顶盖 50mm~100mm 时, 停止抽真空。

(5) 继续注油直至注满本体油箱。

(6) 继续注油使本体油箱有一个微小的过压, 打开本体储油柜和本体油箱之间的阀门 143.1, 对储油柜注油至适当的油位。

(7) 停止滤油机, 对换流变进行排气。

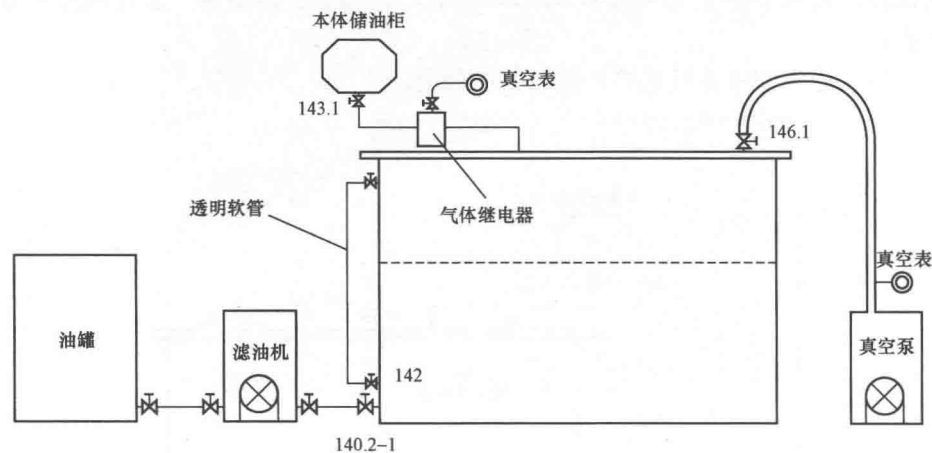


图 4-2 换流变抽真空、真空注油示意图

### 三、热油循环、静放排气

(1) 将滤油机的进油管与换流变本体油箱排油阀 140.2-1 相连, 出油管与换流变顶部注油阀 141.1-1 相连, 如图 4-3 所示。

(2) 启动滤油机进行热油循环, 热油循环的速度控制在 4000L/h~6000L/h,



变压器进口油温应达到 65℃，出口油温应达到 60℃。在冬季气温较低造成循环温度无法满足要求时，应对油管和本体油箱采取保温措施。

(3) 油循环初期不得打开散热器阀门。热油循环过程中应保持呼吸器畅通。

(4) 热油循环的油量为换流变油箱油量的 2 倍；若油箱周围的温度在 0℃ 以下，循环的油量为换流变油箱油量的 3 倍；若油箱周围的温度在 -20℃ 以下，循环的油量为换流变油箱油量的 4 倍；循环时间  $h \geq 72h$ ，最终以油试验合格为标准。

(5) 热油循环中后期，应按顺序逐个打开冷却器的潜油泵，每组开 2h，但不得打开冷却器的风扇。

(6) 取换流变油样进行化验，油色谱、微水、介损、耐压、含气量、颗粒度均合格。

(7) 热油循环后，静放 120h（或按厂家说明）。静放过程中，进行整体密封试验，充入干燥空气 30kPa，本体、套管、冷却器无渗漏油，套管端部无漏气点。

(8) 排气完毕并经试验合格后才能带电。

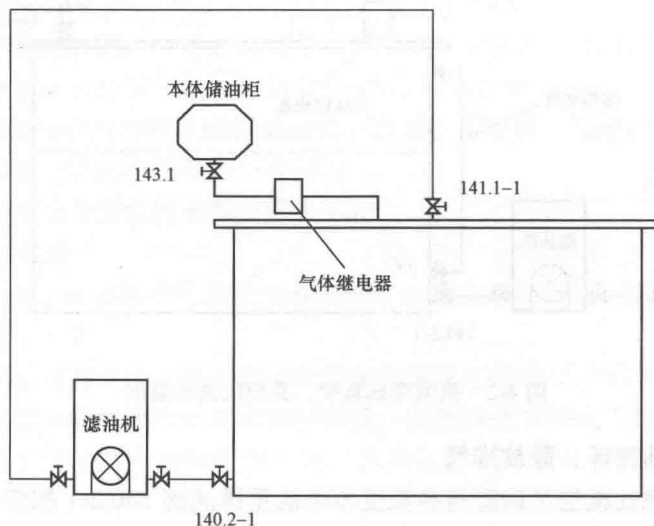


图 4-3 换流变真空注油示意图

#### 四、油化验

(1) 换流变压器安装完成并静置后，须取油样按表 4-2 项目进行油试验，油试验合格后方可进行特殊试验。

(2) 换流变压器进行特殊试验后，须取油样进行色谱分析，合格后方可进行带电。

表 4-2 绝缘油的试验项目及标准

序号	项 目	标 准
1	外观	透明，无沉淀和悬浮物
2	酸值	$\leq 0.03\text{mg (KOH) / g 油}$
3	水溶性酸 (pH 值)	$\geq 5.4$
4	闪点	$> 130^\circ\text{C}$
5	击穿电压	$\geq 60\text{kV}/2.5\text{mm}$
6	90℃时的 $\tan\delta$	$\leq 0.5\%$
7	体积电阻率 (90℃)	$\geq 6 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$
8	含气量	$< 1\%$
9	含水量	$< 10 \times 10^{-6}$
10	油中溶解气体的色谱分析	无乙炔
11	颗粒度	大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒小于 2000 个/100mL

#### 4.3.2 ZZDFPSZ-299100/500 型和 ZZDFPSZ-300870/500 型换流变

换流变压器型号：ZZDFPSZ-299100/500；生产厂：特变电工沈阳变压器集团有限公司。

应用站点：高岭背靠背换流站。

换流变型号：ZZDFPSZ-300870/500；生产厂：西安西电变压器有限责任公司。

应用站点：灵宝背靠背换流站。

抽真空及真空注油流程如图 4-4 所示。

#### 一、抽真空

(1) 拆除气体继电器、油流继电器并用专用工装连接，如图 4-5 所示。

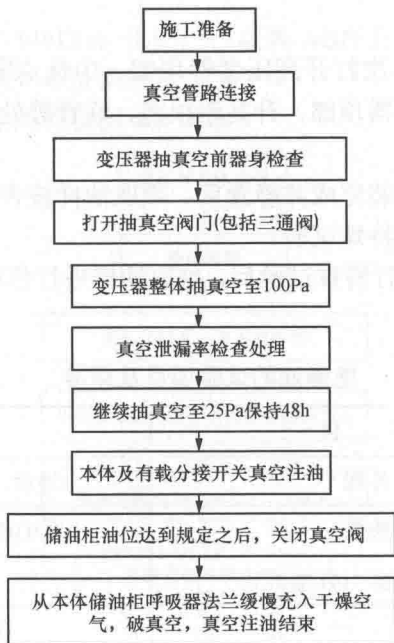


图 4-4 抽真空及真空注油流程图

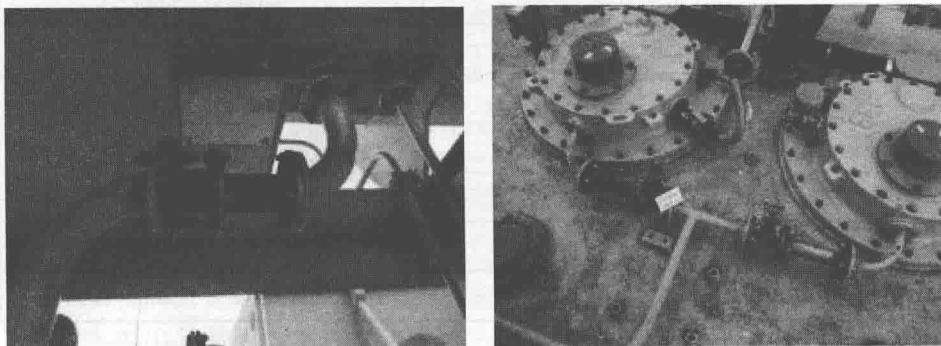


图 4-5 换流变气体继电器、分接开关油流继电器安装工装联管

(2) 打开储油柜顶部用于平衡胶囊内外压力的 $\phi 25$ 铜阀, 确认油箱顶部导油管与散热器的阀门在打开位置, 使散热装置与本体保持连通。抽真空管路和平衡胶囊内外压力的 $\phi 25$ 铜阀分别如图 4-6 和图 4-7 所示。

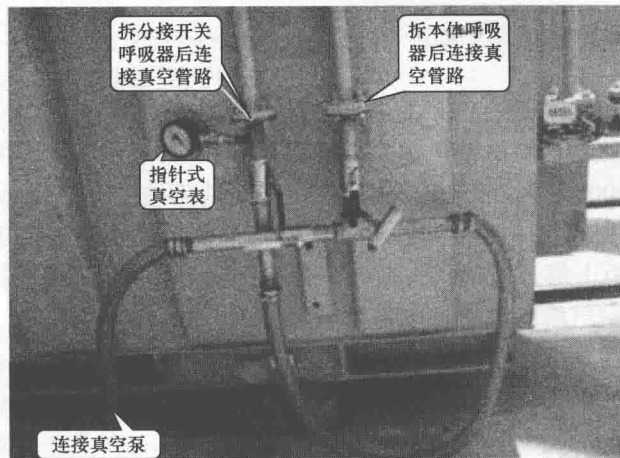
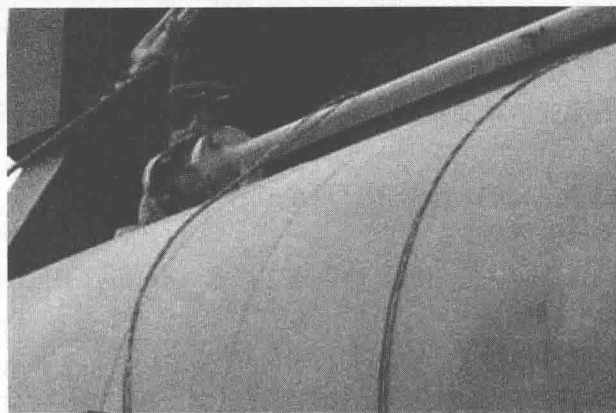


图 4-6 抽真空管路

图 4-7 平衡胶囊内外压力的 $\phi 25$ 铜阀

(3) 当真空度小于 100Pa 后关闭抽真空阀门, 测量泄漏率。泄漏率合格后, 继续抽真空至 25Pa, 连续 48h, 否则应仔细检查和处理换流变的密封面; 在抽真空过程中注意观察冷却器和本体是否存在异常变形和声响; 抽真空时每 2h 记录一次真空度。

(4) 抽真空过程中应保持储油柜的旁通阀完全打开, 以免胶囊存在受压破裂的风险; 应保持冷却器的连通阀正常打开, 以免造成阀门损坏或冷却器的



变形。

## 二、真空注油

利用滤油机的调速性能，从油箱底部注入合格绝缘油，在注油过程中，开启滤油机加热器，将滤油机出口处油温控制在  $60^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$  之间，真空注油速度控制在  $4000\text{L/h}\sim 6000\text{L/h}$ 。当油面上升至油箱顶以下  $200\text{mm}$  时，减缓抽真空速度，根据温度—油位曲线注油至合格油位后停止注油，关闭抽真空阀门，关闭储油柜上部旁通阀，将抽真空管路接至干燥空气，缓慢打开抽真空阀门，充入干燥空气解除真空，安装呼吸器。

## 三、热油循环

(1) 启动滤油机进行热油循环，热油循环的速度控制在  $4000\text{L/h}\sim 6000\text{L/h}$ ，变压器进口油温应达到  $65^{\circ}\text{C}$ ，出口油温应达到  $60^{\circ}\text{C}$ 。在冬季气温较低造成循环温度无法满足要求时，应对油管和本体油箱采取保温措施。

(2) 油循环初期不得打开散热器阀门。热油循环过程中应保持呼吸器畅通。

(3) 热油循环的油量为换流变油箱油量的 2 倍；若油箱周围的温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下，循环的油量为换流变油箱油量的 3 倍；若油箱周围的温度在  $-20^{\circ}\text{C}$  以下，循环的油量为换流变油箱油量的 4 倍；循环时间  $h\geq 72\text{h}$ ，最终以油试验合格为标准。

(4) 热油循环中后期，应按顺序逐个打开冷却器的潜油泵，每组开 2h，但不得打开冷却器的风扇。

(5) 取换流变油样进行化验，油色谱、微水、介损、耐压、含气量、颗粒度均合格。

## 四、整体密封性试验

(1) 热油循环静置 24h 后，待油温降至环温后，开始进行整体密封性试验，应关闭储油柜顶部用于平衡隔膜袋内外压力的  $\phi 25$  铜阀。利用储油柜呼吸器管路向隔膜袋内缓慢充入干燥空气并打开储油柜顶部放气孔，直至储油柜顶部放气孔溢油为止。拧紧放气塞，继续充干燥空气至  $30\text{kPa}$  压力。试验持续时间为 24h，换流变应无渗漏情况。

(2) 从呼吸器处加入干燥空气过程中，注意检查呼吸气囊不可破裂，以免油中混入气体；同时注意储油柜气囊旁通阀及时关闭，以免导致气体进入油内。

## 五、静置

(1) 呼吸器安装后开始静置并计时，静置时间不少于 120h（或按厂家说

明）。

(2) 静置期间应多次打开高压套管顶部、中性点套管顶部、出线装置顶部、储油柜顶部、冷却器顶部、升高座顶部、联管等处的放气塞进行放气。

## 六、油化验

(1) 换流变压器安装完成并静置后，须取油样按表 4-3 项目进行油试验，油试验合格后方可进行特殊试验。

(2) 换流变压器进行特殊试验后，须取油样进行色谱分析，合格后方可进行带电。

表 4-3 绝缘油的试验项目及标准

序号	项 目	标 准
1	外观	透明，无沉淀和悬浮物
2	酸值	$\leq 0.03\text{mg (KOH) / g 油}$
3	水溶性酸 (pH 值)	$\geq 5.4$
4	闪点	DB-10 $\geq 140^{\circ}\text{C}$ DB-25 $\geq 140^{\circ}\text{C}$ DB-45 $\geq 135^{\circ}\text{C}$
5	击穿电压	$\geq 60\text{kV}/2.5\text{mm}$
6	$90^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$	$\leq 0.5\%$
7	体积电阻率 ( $90^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 6 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$
8	含气量	$< 1\%$
9	含水量	$< 10 \times 10^{-6}$
10	油中溶解气体的色谱分析	无乙炔
11	颗粒度	大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒小于 2000 个/100mL

### 4.3.3 TTT145TR、TCH146DR、TTT146DR 型换流变

换流变型号：TTT145TR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

应用站点： $\pm 660\text{kV}$  宁东换流站。

换流变型号：TCH 146DR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

应用站点： $\pm 660\text{kV}$  胶东换流站。

换流变型号：TTT 146DR；生产厂：瑞典 ABB 公司。

应用站点：±800kV 奉贤换流站。

抽真空及真空注油流程如图 4-8 所示。

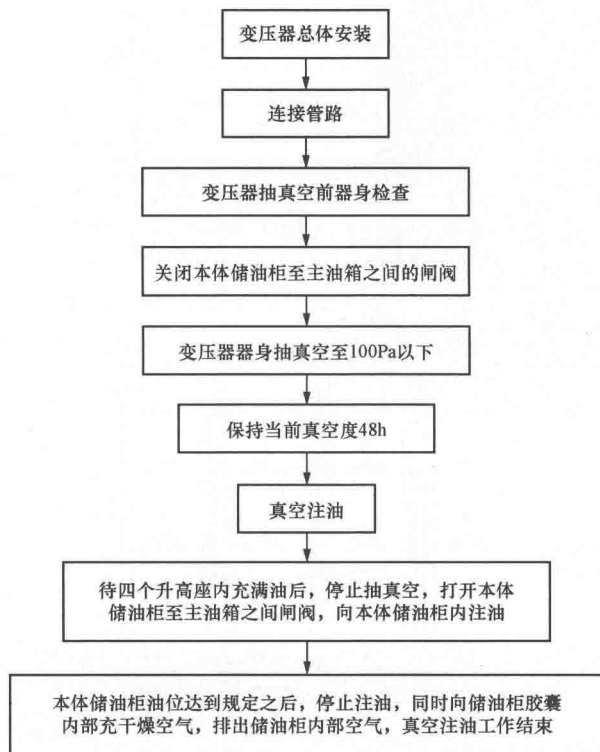


图 4-8 抽真空及真空注油流程图

### 一、抽真空

(1) 在确定变压器及管路系统的密封性能良好的情况下，方可进行抽真空。

(2) ABB 产换流变本体及分接开关储油柜不参与抽真空，在抽真空之前，关闭本体储油柜至本体油箱之间的闸阀 V12、蝶阀 V13 和 V14，以及分接开关储油柜至油箱之间的阀门 V32。

(3) 通过抽真空专用工具将真空泵、换流变网侧套管升高座气体继电器、中性点升高座气体继电器、阀侧套管气体继电器、有载分接开关气体继电器以及换流变顶部抽真空阀门连接在一起，同时使用抽真空管将有载分接开关油箱

排油阀 V28、V29 与变压器油箱阀门 V30 并联起来，打开 V22、V23 使有载分接开关油室与变压器油箱同时抽真空。

(4) 拆除换流变本体呼吸器、分接开关呼吸器，同时关闭有载分接开关在线滤油机进、出油阀门 (V24~V27)。

(5) 打开各升高座气体继电器、有载分接开关气体继电器的阀门 (V16、V17、V18、V19、V34、V35) 以及本体与冷却器之间的阀门 (V02、V03)。

抽真空示意如图 4-9 所示。

(6) 换流变抽真空专用工具及抽真空专用阀门 V20 如图 4-10 所示。抽真空之前，先关闭变压器本体抽真空阀门 V20，对抽真空管路进行抽真空处理，确认真空泵以及抽真空管路的真空度满足要求后，打开抽真空阀门进行变压器、冷却器、分接开关抽真空。真空管道上安装真空表。

(7) 接通真空泵的电源，启动真空泵，抽真空直至压力降到 300Pa，期间每小时记录 1 次真空值。

(8) 停真空泵，1h 后记录真空表读数为  $p_1$ 。

(9) 再过 30min 记录真空表读数为  $p_2$ 。

(10) 记录换流变的油量，记为  $v_1$ 。

(11) 若  $(p_2 - p_1) \times v_1 < 30$ ，等待 30min 后记录  $p_2$  确认该结果，若  $(p_2 - p_1) \times v_1 > 30$ ，则查找渗漏点并消除。

(12) 若密封性试验合格，启动真空泵，继续抽真空直至压力降到 150Pa 或按厂家规范要求值。

(13) 抽真空 48h。

(14) 在抽真空过程中，监视并记录油箱的弹性变形，其最大值不得超过壁厚的 2 倍。

### 二、真空注油

(1) 真空保持 48h 后，打开阀门 V31，在换流变本体真空度小于 150Pa 的条件下，开始注油。在注油过程中，开启滤油机加热器，将滤油机出口处油温控制在  $60^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$  之间，真空注油速度控制在  $4000\text{L/h} \sim 6000\text{L/h}$ 。

(2) 当注入变压器油的高度距离换流变顶盖 200mm 时，减慢注油速度，同时关闭换流变顶部抽真空阀门 V20。当换流变有载分接开关气体继电器（通向本体油箱）顶部排气管处出油后，关闭阀门 V18、V19。



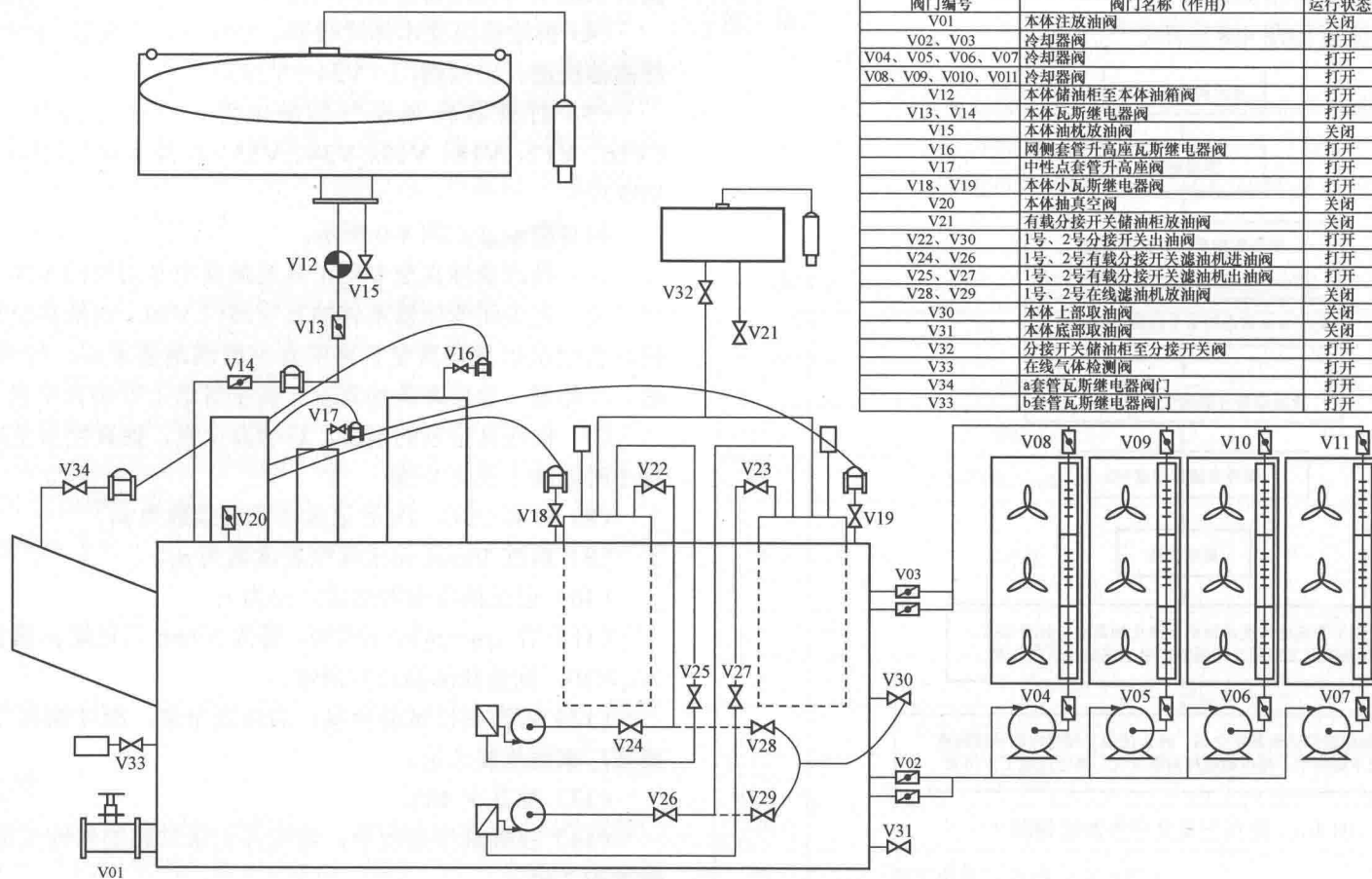


图 4-9 ABB 660kV TCH 146DR 型换流变抽真空管路连接示意图