

HUANLIU BIANYAQI
GONGCHANGHUA JIANXIU

换流变压器 工厂化检修

李士杰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

HUANLIU BIANYAQI
GONGCHANGHUA JIANXIU

换流变压器 工厂化检修

李士杰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以尽量缩短故障换流变压器的检修时间,提高直流输电系统运行可靠性,满足换流变压器工厂化检修的需要为编写依据。全书共9章,主要内容有:换流变压器的一般结构,换流变压器工厂化检修范围,换流变压器附件拆除与安装,换流变压器油、气处理,换流变压器有载分接开关检修,换流变压器器身检修及绕组更换,换流变压器引线及内部绝缘检修,换流变压器器身整理及干燥和换流变压器试验。

本书涵盖换流变压器从现场拆装到出厂试验的全部过程。以检修工艺详细过程为主线,包括每个工艺过程的人员分工、风险分析与控制措施、详细的工器具清单及检修内容等。可供换流变压器检修技能人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

换流变压器工厂化检修 / 李士杰主编. —北京: 中国电力出版社, 2017.3
ISBN 978-7-5123-9785-9

I. ①换… II. ①李… III. ①换流变压器—检修 IV. ①TM422

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 219664 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 岳 璐 (010-63412339) 邓慧都

责任校对: 李 楠

装帧设计: 王英磊 左 铭

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京市同江印刷厂印刷
版 次: 2017 年 3 月第一版
印 次: 2017 年 3 月北京第一次印刷
开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本
印 张: 11
字 数: 198 千字
印 数: 0001—1000 册
定 价: 49.00 元



版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

组 编 中国南方电网超高压输电公司检修试验中心

主 编 李士杰

副 主 编 张新波 陈 欢

主 审 夏谷林

参编人员 李士杰 刘 畅 徐德增 伍 衡 李 青

霍立海 陆 海 徐 朕 曹田波 熊 纽

罗亚运 黄伟雄

随着我国直流输电技术的蓬勃发展,自 1987 年舟山直流输电工程投入运行以来,我国已建成及在建的直流输电工程已达二十余项,构成了我国西电东送、交流异步联网的电网结构格局。其中,中国南方电网有限责任公司(简称南方电网公司)区域内自 2000 年天广直流输电工程投运以来,已经建成的有包括天广直流、兴安直流、高肇直流、楚穗直流、普侨直流、牛从直流六项工程,以及在建的有金中直流、滇西北直流及鲁西背靠背三项工程,直流系统已经成为南方电网主网架的一个重要组成部分。直流输电系统朝着大容量、远距离的方向逐年发展,最近投运的牛从直流工程容量 6400MW、距离 1250km,都处于该技术领域的世界领先水平。

直流输电工程的相继投入运行提高了电力系统的运维难度,直流系统带来的如高次谐波、直流入地、非线性元件等影响因素给交直流联网系统和设备提出了更多的要求和挑战。作为直流输电系统重要设备之一的换流变压器持续运行在大电流、高电压、交直流混合、高次谐波等工况下,其可靠性面临极大的考验。

换流变压器体积大、质量大,一旦出现内部故障,返厂检修十分困难,通用的做法是就近建设检修厂房,及时检修。检修期间,换流站将备用换流变压器替代故障换流变压器投入运行,而故障变压器如果长期在检修状态,运行换流变压器在无备用状态下会给系统带来可靠性隐患。此外,随着直流输电系统运行年限的增加,为保证直流输电系统可靠运行,换流变压器会根据状态评估相继进入大修周期。在密集的检修工作到来之前,应提前思考换流变压器的检修方式,并做好各方面的准备。

为尽量缩短故障换流变压器的检修时间,提高直流输电系统运行可靠性,南方电网公司根据实际情况在广州建立了工厂化检修基地,对广东境内的一百余台换流变压器提供检修保障,避免因返厂检修带来的耗时长、费用大的缺点。

为满足换流变压器工厂化检修的需要编制了本书。本书共 9 章,主要内容有:换流变压器的一般结构,换流变压器工厂化检修范围,换流变压器附件拆除与安装,换流变压器油、气处理,换流变压器有载分接开关检修,换流变压器器身检修及绕组更换,换流变压器引线及内部绝缘检修,换流变压器器身整理及干燥和

换流变压器试验。本书涵盖换流变压器从现场拆装到出厂试验的全部过程。以检修工艺详细过程为主线，包括每个工艺过程的人员分工、风险分析与控制措施、详细的工器具清单及检修内容等。力求给换流变压器检修技能人员提供一本可参考与学习的指导书。

本书由南方电网公司超高压输电公司检修试验中心组织编写，其中第1、2、8、9章由李士杰编写，第3、4、6章由刘畅编写，第5章由徐德增编写，第7章由张新波分工编写，并由李士杰、张新波统稿，全书由夏谷林主审。

限于编者水平，疏漏错误之处在所难免，衷心希望专家读者提出宝贵意见。

编 者
2016.8

前言

第 1 章 换流变压器的一般结构	1
1.1 铁芯及金属件	4
1.2 线圈	5
1.3 引线	6
1.4 分接开关	8
1.5 油箱	8
1.6 总装组件	9
第 2 章 换流变压器工厂化检修范围	12
2.1 器身检修	13
2.2 引线、绝缘支架及分接开关检修	16
2.3 油箱及整体组装检修	18
第 3 章 换流变压器附件拆除与安装	20
3.1 检修前准备	20
3.2 风险分析及控制措施	23
3.3 附件拆除	25
3.4 附件安装	29
3.5 油箱上盖切割、焊接	37
3.6 箱体检修	46
第 4 章 换流变压器油、气处理	50
4.1 检修前准备	50
4.2 风险分析及控制措施	52
4.3 换流变压器排油	54
4.4 换流变压器抽真空注油	56
4.5 换流变压器气体套管 SF ₆ 气体回收净化	59
4.6 换流变压器气体套管 SF ₆ 气体充气	61

第 5 章 换流变压器有载分接开关检修	64
5.1 检修前准备	64
5.2 风险分析及控制措施	67
5.3 有载分接开关安装与拆解	69
5.4 有载分接开关的干燥处理	86
5.5 有载分接开关切换开关检修	89
5.6 有载分接开关的调试与试验	95
第 6 章 换流变压器器身检修及绕组更换	101
6.1 检修前准备	101
6.2 风险分析及控制措施	104
6.3 换流变压器器身检修及绕组更换	105
第 7 章 换流变压器引线及内部绝缘检修	113
7.1 检修前准备	113
7.2 风险分析及控制措施	115
7.3 引线及内部绝缘件检修	116
第 8 章 换流变压器器身整理及干燥	121
8.1 检修前准备	121
8.2 风险分析及控制措施	124
8.3 器身整理及干燥	125
第 9 章 换流变压器试验	130
9.1 试验前准备	130
9.2 试验风险分析及控制措施	132
9.3 诊断试验	133
9.4 半成品试验	136
9.5 出厂试验	137
9.6 部分试验项目的试验方法及注意事项	143
附录 A 换流变压器工厂化检修总结报告	161
附录 B 换流变压器工厂化检修处理记录	163
附录 C 换流变压器工厂化检修相关标准及规程	167
参考文献	168

换流变压器的一般结构

换流变压器是直流输电及异步联网系统中最重要设备之一，处在交流与直流电互相变换的核心位置，与换流阀一起实现交流电与直流电之间的转换，其可靠性与可用性对系统正常运转极为关键。其作用是将送端交流电力系统的电功率送到整流器、再从逆变器接受电功率送到受端交流电力系统，利用两侧绕组的磁耦合机理传送电功率，同时实现交流系统和直流系统的绝缘和电气隔离，实现电压的变换；抑制直流故障电流，削弱交流系统入侵直流系统的过电压；实现换流桥与交流系统的连接，为换流桥提供一个中性点不接地的三相换相电压。

现代高压直流输电系统一般都采用每极一组 12 脉动换流器的结构，由两个电压相位相差 30° 的 6 脉动换流单元在直流侧串联而在交流侧并联组成， 30° 的相角差由换流变压器两组不同接线方式的直流侧绕组提供。以三相三绕组换流变压器为例，串联结构的 12 脉动换流器在换流系统中的位置如图 1-1 所示。

换流变压器按用途可分为直流输电用换流变压器和直联联网用换流变压器，南方电网公司的 7 个直流输电工程及 1 个直流背靠背联网工程，分别采用两类不同换流变压器。按结构型式可分为单相双绕组、单相三绕组、三相双绕组及三相三绕组换流变压器，如图 1-2 所示。

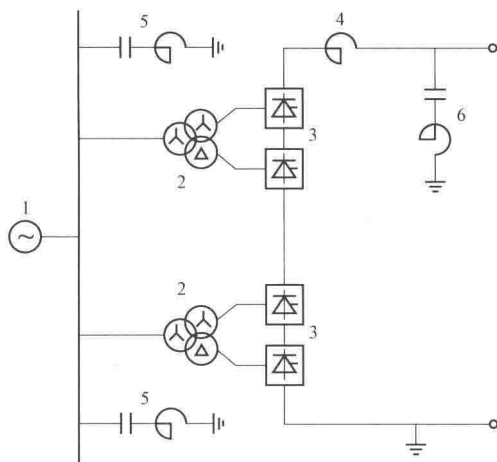


图 1-1 串联结构的 12 脉动换流器接线图
1—交流系统；2—换流变压器；3—12 脉动换流器；
4—平波电抗器；5—交流滤波器；6—直流滤波器

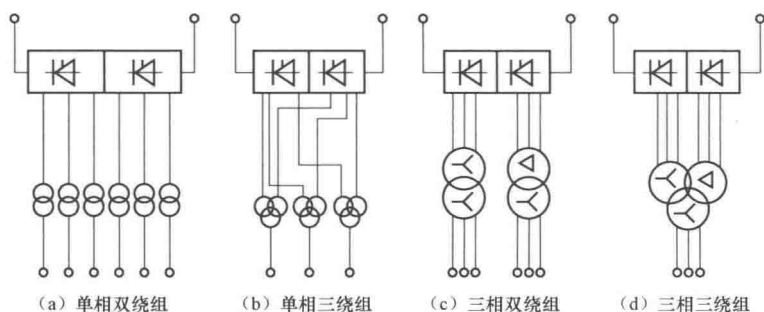


图 1-2 换流变压器结构型式示意图

采用何种结构型式的换流变压器，应根据换流变压器交流侧及直流侧的系统电压要求、变压器的容量、变压器的生产制造能力、运输条件以及换流站布置要求等因素进行全面考虑确定。

对于中等容量和电压的换流变压器，可选用三相变压器。三相变压器的优点是接线布置简单、制造材料用量少、占地空间及损耗少，特别是空载损耗少。但相对单相变压器，其体积及重量将会大幅度增加，不利于运输和现场安装。所以，容量较大的换流变压器，都采用单相变压器组，这也是目前主流的直流输电用换流变压器型式。

对于三绕组型式而言，在容量不大且运输能力允许的条件下采用单相三绕组变压器，除损耗少、占地面积小外，其在铁芯、油箱、套管及有载调压开关的用量上都更少，因此采用三绕组变压器更经济、更可靠。天广直流输电工程采用的是三绕组换流变压器。

近几年投运的直流输电工程都朝远距离、大容量等方向发展，输送容量大多超过 3000MVA，如果采用三绕组型式变压器，其体积及重量较双绕组型式都大幅增加，其中重量增加 1.6 倍，制造难度、运输难度及成本成倍增加且存在安全风险，所以综合考虑，采用单相双绕组变压器。南方电网公司近几年建设的所有直流输电工程都采用单相双绕组结构型式换流变压器。

由于换流变压器与产生大量谐波的非线性设备——换流器相连，其运行环境、功能地位与普通交流变压器相差较大，在短路阻抗、绝缘、谐波、有载调压、直流偏磁和试验等方面有很多不同的特点。

(1) 短路阻抗。为了限制阀臂及直流母线短路时的故障电流以免损坏换流阀的晶闸管元件，换流变压器应有足够大的短路阻抗。但短路阻抗也不能太大，否则会使运行中的无功损耗增加，需要相应增加无功补偿设备容量，并导致换相压降过大。大容量换流变压器的短路阻抗百分数通常为 12%~20%。换流变压器阻

抗的大小决定系统提供的无功补偿量,对换流阀的运行性能和系统谐波含量都有影响,此外,大容量换流变压器的阻抗还影响换流变压器的运输方式。

(2) 绝缘。换流变压器阀侧绕组同时承受交流电压和直流电压。交直流电压作用机理不同,给换流变压器绝缘带来很大的挑战:在交流电压作用下,绝缘结构内部的电压分布由介电常数决定,由于油和纸的介电常数相差不大,电场同时分布在油和纸中;而在稳态直流电压作用下,油纸绝缘中的电场分布取决于绝缘材料的电阻率,纸板的电阻率比变压器油高一个至几个数量级,因此,直流电场主要集中在绝缘纸板上,此时绝缘的弱点在绝缘纸板中。由两个 6 脉动换流器串联形成的 12 脉动换流器接线中,由接地端算起的第一个 6 脉动换流器的换流变压器阀侧绕组直流电压垫高 $0.25U_d$ (U_d 为 12 脉动换流器的直流电压),第二个 6 脉动换流器的阀侧绕组垫高 $0.75U_d$,因此换流变压器的阀侧绕组除承受正常交流电压产生的应力外,还要承受直流电压产生的应力。另外,直流全压启动以及极性反转,都会造成换流变压器的绝缘结构比普通的交流变压器复杂。

(3) 谐波。换流变压器在运行中有特征谐波电流和非特征谐波电流流过,大量谐波电流流过换流变压器使得变压器的漏磁增加,变压器漏磁的谐波分量会使变压器的杂散损耗增大,有时还可能使某些金属部件和油箱产生局部过热现象。对于有较强漏磁通过的部件要用非磁性材料或采用磁屏蔽措施。数值较大的谐波磁通所引起的磁滞伸缩噪声,一般处于听觉较为灵敏的频带,必要时采取更有效的隔音措施。

(4) 有载调压。为了补偿换流变压器交流网侧电压的变化以及将触发角运行在适当的范围内以保证直流输电运行的安全性和经济性,要求有载调压开关的调压范围较大,特别是可能采用直流降压模式时,要求的调压范围高达 20%~30%,且要求每档档距较小,在 1%~2%内,以达到分接头调节和换流器触发角控制联合工作时无调节死区和避免频繁往返动作的目的。

(5) 直流偏磁。运行中由于交直流线路耦合、换流阀触发角不平衡、接地极电位升高以及换流变压器交流网侧存在 2 次谐波等原因将导致换流变压器阀侧及交流网侧绕组的电流中产生直流分量,使换流变压器产生直流偏磁现象,造成变压器铁芯周期性饱和,导致变压器损耗、温升及噪声都有所增加。但是,直流偏磁电流相对较小,一般不会对换流变压器的安全造成影响。

(6) 试验。换流变压器除了要进行与普通交流变压器一样的型式试验和例行试验之外,还要进行直流方面的试验,如直流电压试验、直流电压局部放电试验、直流电压极性反转试验等。

换流变压器不但型式多样,其内部结构也很复杂,不同类型间亦是千差万

别，但换流变压器制造技术发展至今已相当成熟，各类型换流变压器在基本结构方面已经相对稳定，差别不大。为更好的分析换流变压器的基本结构，本章以一台典型的直流输电用单相双绕组换流变压器为例，对换流变压器的一般结构进行说明。

本台换流变压器容量为 317MVA，电压比 $525+18-6 \times 1.25\% / \sqrt{3} / 210.5\text{kV}$ ，频率 50Hz，接线组别 $\text{Ii}0$ ，冷却方式 ODAF，噪声水平 75dB。以制造工序来说，换流变压器的主要结构包括铁芯及金属件、绕组、引线、分接开关、油箱和总装组件（包括冷却器、套管及控制保护测量装置等）。

1.1 铁芯及金属件

铁芯是换流变压器重要的组件之一，是由高导磁的硅钢片叠积和钢夹件夹紧而成。铁芯主要有两个方面的功能：构成换流变压器的磁路部分，是电能转换的媒介；在结构上是构成换流变压器器身的骨架，套装绕组，支撑引线、木支架、分接开关和其他一些组件。

本台换流变压器铁芯结构为单相四柱式，两个铁芯柱、两个旁轭、拉板结构，铁芯材料为高导磁的 0.27mm 冷扎取向硅钢片，中间两个铁芯柱套有绕组，两个铁芯柱上的线圈并联连接，每柱容量为单相容量的一半，外侧两个旁轭不套绕组。铁芯直径为 $\phi 1290 \sim \phi 1298\text{mm}$ ，铁芯总高 4000mm，铁芯重约为 140t，铁芯主柱最大片宽为 1280mm，旁柱轭片宽为 650mm，采用六级接缝以减小接缝处的空载损耗和空载电流、十级步进形式（亦有全级接缝、六级步进等形式），全斜无孔绑扎结构，间隔一定厚度放置减震胶垫，以降低铁芯磁滞伸缩而引起的噪声。铁芯结构如图 1-3 所示。

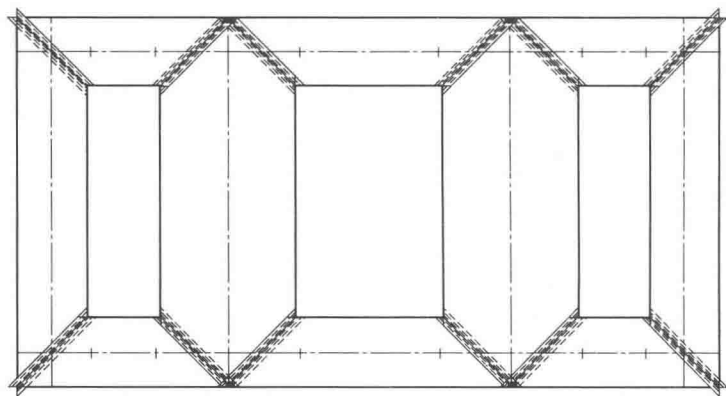


图 1-3 铁芯结构

对于换流变压器而言，铁芯内部最高温度不能大于 140°C ，与油接触的表面温度不能超过 120°C ，这就要求铁芯的涡流和磁滞损耗尽可能小。铁芯硅钢片加工应尺寸准确，断口处光滑无毛刺。

图 1-4 为器身金属组件装配图，金属组件是器身紧固及连接定位必不可少的组成部分，包含上下夹件、拉板拉带、上梁和侧梁等。其中，铁芯夹件为板式结构，一般用整块铁板制成，夹件整体结构应避免轴销、压钉结构所产生的尖角凸棱，使线圈端部出头及引线的布置简单方便；而铁芯拉板采用条状高强度的钢板，可降低损耗、避免过热。

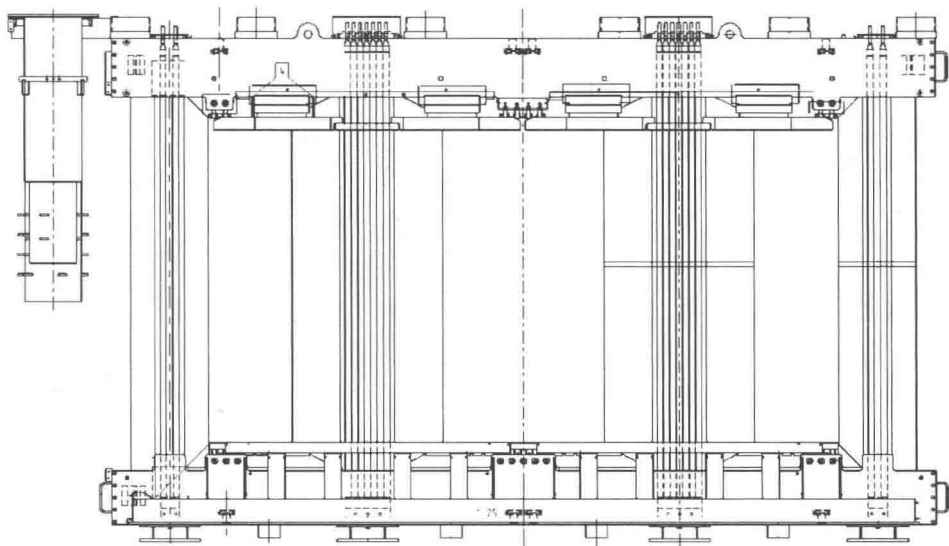


图 1-4 器身金属组件装配图

1.2 线圈

线圈是换流变压器输入和输出电能的电气回路，是换流变压器的基本部件，是电压和电流的承接载体，绕组更换也是近年来换流变压器工厂化检修最频繁的项目之一。换流变压器运行在高电压、大电流环境中，其绝缘结构紧凑、电应力大，如果换流变压器线圈存在内部缺陷或者经历了短路大电流的冲击，极容易在运行时发生故障导致系统停运。

换流变压器线圈布置为：铁芯—地屏—阀线圈—网线圈—调压线圈。

网线圈含固定绕圈和调压线圈，采用换位自粘铜导线。线圈接线如图 1-5 所示。

图 1-5 中两侧分别为柱 1 和柱 2，调压线圈在最外侧，最内侧为阀线圈。柱 1

与柱 2 的绕组绕向相反，保证两柱的磁路相反，磁路如图 1-6 所示。

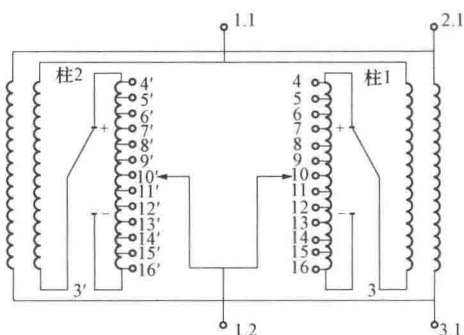


图 1-5 线圈接线

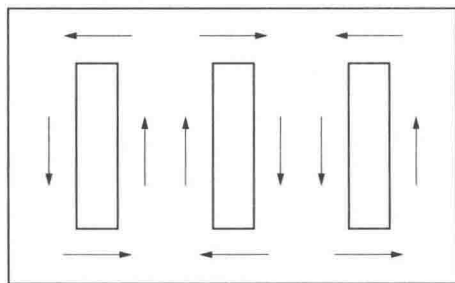


图 1-6 磁路

网线圈采用纠结连续式结构，线圈内部没有硬纸筒，首端为 10 个纠结双饼，每个双饼间根据要求加垫 Nomax 纸或者不加。线圈首末端，内外径侧导线加包小角环，线圈不满匝放于正段，用垫条填平，引线段采用阶梯导线，线圈匝间有轴向油道。阀线圈采用连续式全绝缘结构，线圈内部无硬纸筒，线饼间设有轴向油道，场强较高区域及换位处加 1mm 护板。调压线圈采用单层层式结构，内部有硬纸筒，采用上下并联结构，并联引线间用铜棒联接。换流变压器调压级数多，调压线圈导线并绕根数较多，设计成一个独立线圈，与网线圈末端相连。

换流变压器的线圈导线应采用优质铜材，表面光滑无毛刺，绝缘纸带质地均匀、包裹紧密、厚度合格、搭接到位。所有绕组均采用漆包线。

1.3 引线

换流变压器网侧绕组是分级绝缘结构，并伴有调压功能，阀侧绕组是全绝缘结构，相应地，换流变压器引线可以分为网侧首头引线、阀侧引线和调压引线三部分。

网侧首头引线采用铜编织带引出，铜管屏蔽，铜管外侧包绝缘结构，导线夹材料采用层压纸板 T4，绝缘螺杆、螺母为层压木螺杆、螺母，图 1-7 就是网侧 1.1 套管引线及出线装置。

阀侧引线同样采用铜编织带引出，铜管屏蔽，铜管外侧包绝缘结构。导线夹材料采用层压纸板 T4，绝缘螺杆、螺母为层压木螺杆、螺母。铜编织带规格为 25 铜编织带 TZ-05，每柱出头连接 12 根铜编织带，用白布带半叠 2 层包扎。图 1-8 就是阀侧两个套管引线及出线装置。

调压引线分接间并联 ZnO 避雷器，带两只电阻器，导线夹材料采用层压纸板 T4，绝缘螺杆、螺母为层压木螺杆、螺母。分接引线、电阻器接线、ZnO 接

线分别采用 150mm^2 、 95mm^2 、 16mm^2 引线电缆。如图 1-9 所示为调压线圈引线引出结构。

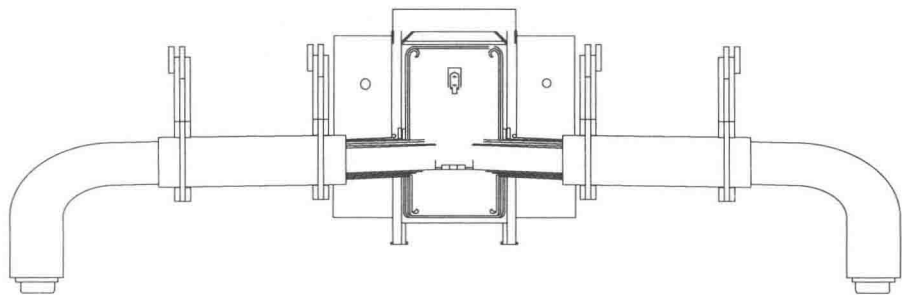


图 1-7 网侧 1.1 套管引线及出线装置

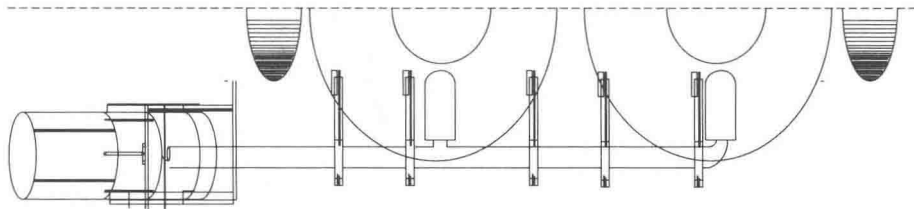


图 1-8 阀侧两个套管引线及出线装置

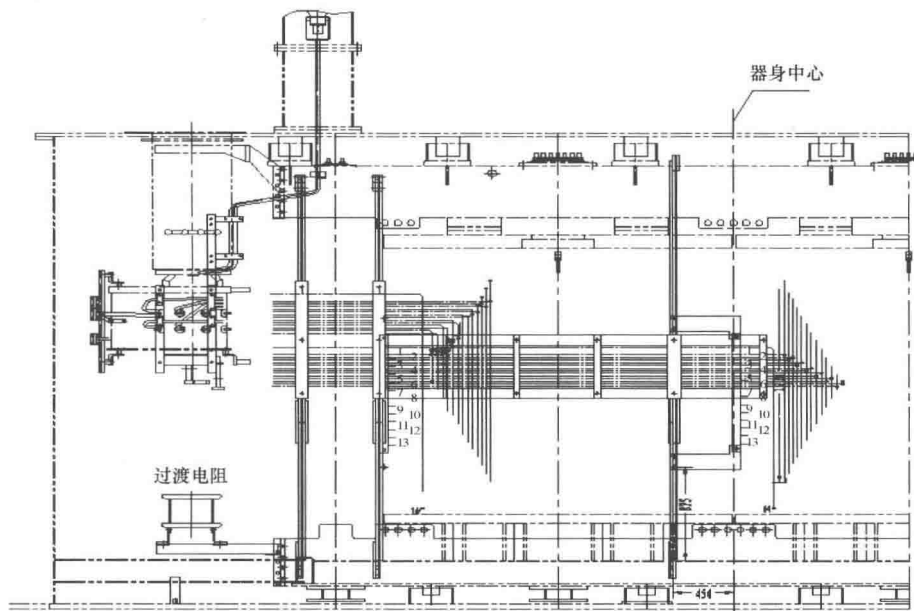


图 1-9 调压线圈引线引出结构

1.4 分接开关

换流变压器采用有载分接开关，其特点是分接范围大、开关触头动作频繁、开关过零点冲击电流大。换流变压器的有载分接开关按绝缘介质可分为油浸式分接开关和真空式分接开关，按其开关切换电流转换方式可为分电阻式分接开关和电抗式分接开关。本台换流变压器采用的是油浸式有载分接开关，电阻式，带有极性选择器。

在图 1-9 中，左侧所示结构就是换流变压器的有载分接开关，两柱并联引出各分接接头，通过引线支架接到分接开关上。有载分接开关相对无励磁分接开关而言，是可以在负载条件下通过改变换流变压器网侧线圈匝数来改变变比实现不间断地电压调节。其在直流输电系统中的作用是：提供较大范围的调压能力，保证换流阀触发角运行在适当的范围内，特别是在直流系统降压模式运行时；补偿换流变压器交流网侧电压的变化；此外还有调节功率、提高系统性能、改善电能质量的作用。

有载分接开关的设计要求是能在换流变压器运行时高 du/dt 、 di/dt 和调压范围大以及操作频繁的特殊要求下正常工作。换流变压器分接开关内的油具有严格的质量要求，在试验时，不得出现特征气体乙炔在 3 个操作切换循环后超过 0.1×10^{-6} 的情况。分接开关具备电气限位功能及机械限位功能。具有有载分接开关本体油室的冷却管路，具备统计极性转换开关切换次数的功能。油浸式有载分接开关的机械及电气寿命要求为：机械寿命不小于 80 万次、电气寿命不小于 30 万次、不维护及不换油切换次数不小于 10 万次。

1.5 油箱

换流变压器油箱是容纳器身、充注变压器油及散热冷却的载体，体积庞大，其周围装设有各种保证换流变压器正常运行的附件。因为换流变压器的特殊功能和结构，其油箱多采用桶式油箱结构，主要分为箱盖、箱壁、箱沿、箱底和磁屏蔽五大部分。油箱结构如图 1-10 所示。

换流变压器在直流输电系统中作用极为关键，其本身容量大、体积大，因此对油箱强度及密封性能有严格的要求。本台换流变压器箱沿宽度为 120mm，厚度为 32mm。磁屏蔽为条状板式结构，是由 30mm 宽、0.3mm 厚的硅钢片制成，油箱上焊有接地座用于和箱盖的电位连接。油箱四周装有加强筋，确保油箱强度能达到真空度 20Pa 和正压力 98kPa 的机械强度要求。长边侧分别有两个起吊用吊拌，应能保证有足够的强度。油箱箱盖部分材料采用 Q345B 钢板，箱盖与箱沿配钻孔，

且比箱沿宽出 5mm，箱盖上加强铁沿长轴方向布置，加强铁厚 32mm。

油箱应具有坚固的由水平梁组成的底架（或平板），并与油箱两侧装有起重吊点的竖梁牢固焊接，上面有供液压顶使用的垫块，侧面有运输用的牵拉点。油箱下部焊有两个以上的接地孔板，油箱侧面装有固定的梯子，油箱或者盖板上设有人孔和手孔。全密封结构，油枕中安装有与外界空气隔离的胶囊，并与装有吸湿器的呼吸器相连。油箱上装设有滤油阀，底部有排油阀。油箱侧面设有油样阀，可取上、中、下油样，一般而言，取样阀应装设在离本体底部不高于 1.5m 的位置，无风扇、无套管面遮挡。

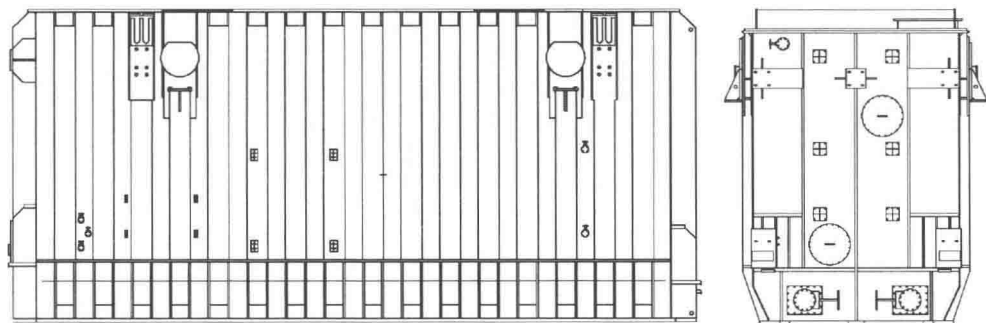


图 1-10 油箱结构

1.6 总装组件

总装组件包括阀侧套管、网侧套管、油枕、分接开关、温度计、冷却器、压力释放阀、测量控制监测装置等。

其中，阀侧两只套管上下布置，冷却器在换流变压器一侧集中布置，压力释放阀、温度计采用防雨罩，阀侧升高座深入阀厅部分采用油导出结构，本体转接箱、在线监测装置落地布置，器身浇注定位。换流变压器本体结构如图 1-11 所示。

网侧和阀侧套管均采取屏蔽措施，确保网侧和阀侧高压套管端部不产生电晕。网侧套管经螺栓固定在换流变压器箱盖的法兰盘上，内部为油浸式绝缘，外绝缘为瓷套，中性点套管一般采用干式结构。高压套管有独立的油室，其油室与油箱不相通，套管顶部有油位玻璃视窗以监视套管油位，套管底部装有电压试验抽头（即末屏），末屏通过末屏盖接地。阀侧两套管在本体侧面，且深入阀厅，内部为气体绝缘，气室独立，设有取气口，有些套管安装有气体在线监测装置，同样套管底部装有电压试验抽头，并通过末屏盖接地。

油枕装在靠近阀厅侧的油箱盖上端，高度离箱盖约 3m，通过油管道与油箱本