



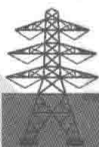
电力运维检修专业技术丛书

变电运维核心技能 基础与提升

国网天津市电力公司检修公司 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



电力运维检修专业技术丛书

变电运维核心技能 基础与提升

国网天津市电力公司检修公司 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书是《电力运维检修专业技术丛书》之一，结合变电运维专业的特点，根据该专业需要掌握的核心技能进行编写，主要内容涵盖了变电运维基础、设备巡视与缺陷、变电运行倒闸操作技术、变电站异常及事故处理、工作现场安全防控等五部分，涵盖设备、技能和安全管理等全部核心技能。本书侧重讲解变电站现场工作的实际技能，力求通过实例进行深入浅出地讲解，使运维人员能够不断提升业务水平，通过借鉴和学习，快速解决变电站生产中的实际问题。

本书可供从事变电运维专业的新员工学习，亦可作为该专业技术人员和管理人员的培训和提升参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

变电运维核心技能基础与提升 / 国网天津市电力公司检修公司主编. — 北京：中国水利水电出版社，2020.10
（电力运维检修专业技术丛书）
ISBN 978-7-5170-9088-5

I. ①变… II. ①国… III. ①变电所—电力系统运行
IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第213703号

书 名	电力运维检修专业技术丛书 变电运维核心技能基础与提升 BIANDIAN YUNWEI HEXIN JINENG JICHU YU TISHENG
作 者	国网天津市电力公司检修公司 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13印张 316千字
版 次	2020年10月第1版 2020年10月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	58.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《电力运维检修专业技术丛书》编委会

主 编 殷 军

委 员 王永宁 周文涛 贺 春 廖纪先 鲁 轩

何云安 朱会敏 王 慧

本书编委会

主 编 殷 军

副 主 编 王永宁 周文涛 贺 春 廖纪先

委 员 丁连荣 任 毅 白永磊 鲁 轩 张 尧

李杨春 王振岳 赵婧宇

编写组组长 白永磊

参 编 人 员 刘 磊 王学军 孙长虹 高洪超 李 谦

潘 旭 韩翔宇 艾士超 张 东 薄婷婷

庞 瑞 魏文思 李 祺 韩 彧 谷瑞政

李 圣 李 真 薄文武 王哲豪 梁 弘

张筱文 董 帅 王 宁 王明行 邹培根



序

随着我国特高压主干网的建设投入，全球能源互联网建设加快世界各国能源互联互通的步伐，科技进步有力地促进国内智能电网的快速发展，特高压输电技术、数字化数据传输、一体化成套设备等变电新技术广泛采用，对运维、检修人员的业务素质和技能水平提出更高的要求。

如何在有限时间内，提高生产一线人员的整体业务能力，快速熟悉事故反措、规程规范、管理要求，迅速掌握新设备、新技术、新工艺，成为目前员工素质培养的关键。国家电网有限公司高度重视安全生产标准化、规范化、精益化的管理要求，以应对运维检修业务的时代发展变化，保障电力供应满足人民日益增长的物质文化需求。

为此，我们搭建经验交流平台，促进理论制度在实践的进一步应用。通过集中专业优势力量，结合目前国家电网有限公司的最新运检管理规定和反措要求，聚焦实践应用，聚焦人才培养，组织编写了《电力运维检修专业技术丛书》，以期为业务提升与人才发展相融共进提供一些有益的帮助。

丛书共四个分册，分别是《电网重大反事故措施分析与解读》《变电运维核心技能基础与提升》《二次专业基建验收实践》和《变压器检修典型案例集》。作为开发变电运行、二次检修、主变检修等专业的培训用书，丛书深刻剖析各种技术工作的内在要点并详加讲解，真正让生产人员能够通过全方位学习，掌握运检生产过程中的关键技术，使其从容应对电网大踏步发展背景下的变电运检工作，提升电网运行安全保证能力。

丛书编写人员包括运行经验丰富的班长、专业带头人、技能骨干等，丛书力求贴近现场工作实际，具有内容丰富、实用性和针对性强等特点，满足技能人员实操培训需求。

下一步本书编委会将立足国家能源战略需求和形势，围绕国家电网有限公司建设具有中国特色国际领先的能源互联网企业的战略目标，不断整合资源、推陈出新，为全方位帮助一线工作人员提升技术技能基础不懈努力。

《电力运维检修专业技术丛书》编委会

2020年9月



前言

为适应电网建设步伐加快、变电站增多、新员工增加的状况，需要尽快提高变电运维人员的技能水平。同时大量新技术、新设备的使用对变电运维人员的专业技术素质也提出了更高的要求。为不断夯实变电运维人员核心技能基础，提升运维和管理水平，国网天津市电力公司检修公司组织变电运维专业技术人员编写了《变电运维核心技能基础与提升》。

本书针对性强，主要面向从事变电站运维、管理工作的一线工作人员，参考了国家电网有限公司关于变电运维专业的最新要求，力求通俗易懂。本书实用性强，侧重讲解变电站现场工作的实际技能，归纳总结运维实践中一些简单易行的经验做法，并通过实例进行图文并茂、深入浅出地讲解，以解决变电站生产中的实际问题。

本书涵盖面广泛，结合变电运维专业的特点，根据该专业需要掌握的核心技能进行系统编写，从变电运维新入职员工需要掌握的变电一、二次设备认知开始讲解，主要内容涵盖了变电运维基础、设备巡视与缺陷、变电运行倒闸操作技术、变电站异常及事故处理、工作现场安全防控等五个章节，涵盖设备、技能和安全管理等全部核心技能。

本书是变电运维人员掌握运维核心技能基础与提升的培训教材，通过本书的学习，能够全面提升变电运维人员的业务素质，为保证电网安全稳定运行提供技术、技能支撑。

本书由变电运维中心组织编写，分别成立了五个编写小组，每组设指导专家1名，组长1名，组员若干，在编写组成员的排序上按照成书章节的顺序进行排列。本书的编写过程得到了运维检修部、安全监察部（保卫部）和党委组织部（人力资源部）众多技术专家的大力支持和帮助，在此一并表示深切的谢意。

由于变电运维技术涉及领域广、技术发展迅速，加之编者水平有限，编写时间仓促，本书难免存在错误和不足，恳请专家、读者批评指正。

编者

2020年5月



目 录

序

前言

第一章 变电运维基础	1
第一节 变电站在电力系统中的重要性	1
第二节 变电站一次设备	2
第三节 变电站二次设备	24
第四节 站用交直流电源系统	30
第五节 变电站附属设施	33
第六节 变电站接线方式	36
第二章 设备巡视与缺陷	39
第一节 设备巡视基础	39
第二节 设备发热的鉴别与监测	44
第三节 变电站一次设备巡视与常见缺陷	47
第四节 变电站二次设备巡视及常见缺陷	70
第五节 站用交直流电源系统巡视及常见缺陷	73
第三章 变电运行倒闸操作技术	78
第一节 概述	78
第二节 单一设备倒闸操作	83
第三节 线路单元倒闸操作	89
第四节 母线单元倒闸操作	96
第五节 变压器单元倒闸操作	101
第六节 倒闸操作常见问题与解决办法	111
第四章 变电站异常及事故处理	115

第一节	概述	115
第二节	高压开关类设备异常及事故处理	120
第三节	变压器设备异常及事故处理	131
第四节	母线常见异常现象及事故处理	145
第五节	站用交直流电源系统常见异常现象及事故处理	152
第六节	无功设备常见异常现象及事故处理	159
第七节	二次设备常见异常现象及处理	167
第五章	工作现场安全防控	174
第一节	变电站安全措施管控	174
第二节	检修作业现场“口袋式”临时安全措施的设置与实施	179
第三节	总、分工作票的制度建立与实施	183
第四节	变电站危险源可视化辨识及实例	187
参考文献	193

第一节 变电站在电力系统中的重要性

电力系统是由发电厂、输配电线路、供配电所和用电等环节组成的电能生产与消费系统，它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输电、变电和配电系统将电能供应到各用户，其构成如图 1-1 所示。

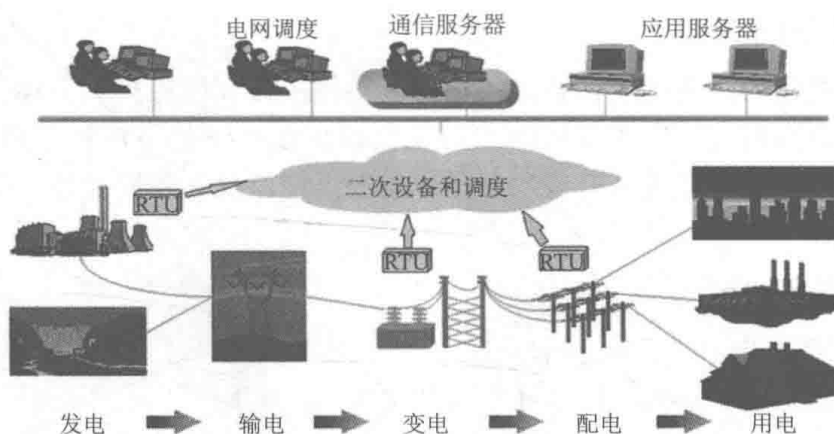


图 1-1 电力系统构成

在电力系统中，变电站的功能是变换电压等级、汇集配送电能，以满足电力系统与用户的需要。电是一种特殊产品，它的产供销瞬间完成。发电厂起到产的功能，变电站起到供的功能。发电厂的升压变电站把发电机出口电压升到所需要的电压，经必要的输电线路把电能输送到远方的降压变电站，把电压降到用户所使用的电压等级以满足用户的需要。

变电站把一些电气设备组装起来，用以切断或接通必要的设备，改变或调整电压，满足系统的需要。在电力系统中，变电站是输电和配电的集结点，是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的重要单元，通过变压器将各级电压的电网联系起来。由此可见，变电站对于电力系统的重要性不言而喻，相对于输电线路，变电站的结构复杂、功能多样、设备众多，集中了电网的绝大部分资产，是电网运维的重中之重。了解并熟悉变电站的构成，掌握变电站的日常工作技能，对于电网从业人员来说至关重要。



第二节 变电站一次设备

为了满足电能的生产、输送和分配的需要，发电厂和变电站中安装有各种电气设备。按所起的作用不同，电气设备可分为一次设备和二次设备两大类。随着电力工业数百年来年的发展，变电站主要设备的性能和设计理念日新月异，GIS设备、SVG、智能变电站……各种新设备、新技术的出现也在推动着变电站不断发展变化。

变电站中直接用来接受与分配电能以及与改变电能电压相关的所有设备，均称为一次设备或主设备，由于它们大都承受高电压，故也多属高压电器或设备。它们包括变压器、GIS设备、断路器、隔离开关、接地开关、母线、电流互感器、电压互感器、开关柜、避雷器、并联电容器、电抗器、站用变压器、消弧线圈及小电阻等。由一次设备连接成的系统称电气一次系统。

一、变压器

(一) 变压器的作用

变压器是变电站的主要电气设备之一，其主要作用是变换电压。升压变压器将低压变成高压，用于远距离输送。降压变压器将高压变成低压，满足不同用户需求。随着光伏、风电等清洁能源的发展，变压器升压和降压作用根据潮流变化不断变换，实际起到了联变的作用。

(二) 变压器的分类

1. 按冷却介质和冷却方式分类

变压器按冷却介质可分为油浸式和干式两大类。

变电站中的主变压器一般都采用油浸式变压器。油浸式变压器的冷却方式分为强迫油循环水冷（OFWF）、强迫油循环风冷（OFAF）、自然冷却（ONAN）和自然油循环风冷（ONAF）四类，其各字母含义见表1-1。

表 1-1 油浸式变压器冷却方式各字母含义

位置	字母	含 义
第一个字母	O	矿物油或燃点不大于 300℃ 的合成绝缘液体
第二个字母	N	流经冷却设备和绕组内部的油流是自然的热对流循环
	F	冷却设备中的油流是强迫循环，流经绕组内部的油流是热对流循环
第三个字母	A	空气
	W	水
第四个字母	N	自然对流
	F	强迫循环（风扇、泵）

变电站内站用变压器和接地变压器一般采用干式变压器。干式变压器分为自然空气冷

却 (AN) 和强迫空气冷却 (AF) 两大类。自然空气冷却干式变压器可在额定容量下长期连续运行; 强迫空气冷却变压器输出容量将会提升 50%。

2. 按调压方式分类

变压器按调压方式可分为有载调压变压器和无载调压变压器两大类。

有载调压开关是有载调压变压器的关键设备, 有载调压变压器可在变压器带负载的情况下变换绕组的分接头, 变电站内主变压器一般采用有载调压变压器。

无载调压变压器则需要在变压器停电后才可调整分接头位置, 额定调压范围较窄, 调节级数较少, 只适用于不经常调节或者季节性调节的变压器。变电站内的干式站用变压器、小容量的油浸式所用变压器, 以及接地变压器一般采用无载调压变压器。

3. 按相数分类

变压器按相数可分为单相变压器、三相变压器。

500kV 电压等级的变压器一般采用单相变压器, 在站内主变压器设备区分相布置, 占地规模比较大, 如图 1-2 所示。随着绝缘技术的发展, 国内少数容量为 750kVA 的 500kV 变压器采用了三相共体设计, 大大节省了占地面积, 如图 1-3 所示。

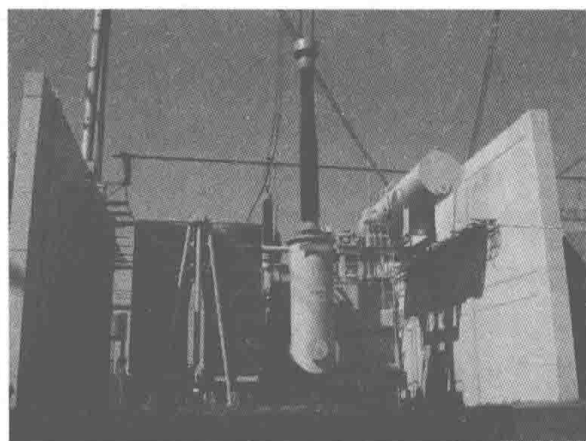


图 1-2 某 500kV 单相变压器

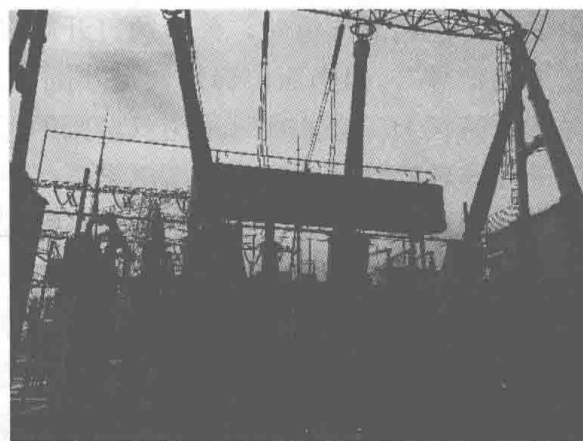


图 1-3 某 500kV 三相变压器

220kV 及以下电压等级的变压器都为三相共体变压器。

一般情况下, 只要运输条件允许, 在工程设计中都选用三相共体变压器。

(三) 变压器的主要结构

变压器本体的主要构成包括铁芯、绕组、绝缘、外壳及其他必要的组件。变压器的辅助设备包括油箱、油枕与呼吸器、压力释放装置、散热器、绝缘套管、分接开关、瓦斯继电器、测温装置等。

1. 油箱

油箱内装满变压器油, 保护铁芯和绕组不受潮的同时, 又可起到绝缘和散热的作用。大型变压器一般有两个油箱, 一个是本体油箱, 一个是有载调压油箱。有载调压油箱内装有分接开关, 分接开关操作时产生电弧, 频繁操作将会降低油的绝缘性能, 因此单独设置有载调压油箱。工程实践中, 为了便于分析和检测电缆油仓绝缘油指标, 220kV 和 110kV 电压等级电缆油仓与本体油箱分开布置, 因此也会单独设置油箱。



2. 油枕与呼吸器

油枕与油箱相通，起到储油和补油的作用，以保证油箱内充满油。油枕还能减少油与空气的接触面，防止油氧化和受潮。油枕进气管的端部装有呼吸器，空气进入油枕之前先经呼吸器吸潮处理。呼吸器中放有变色硅胶，常规蓝色硅胶受潮后由蓝变红，一般变色达到 2/3 时，需要进行更换。大型变压器常采用隔膜式油枕或者胶囊式油枕。油枕的侧面装有油位表，用以观察油面的高低，油面以一半高为宜。对于隔膜式油枕，可以安装磁力式油表，油表上部安装接线盒，当油枕油位高度过高或者过低时，可发出报警信号。

有载调压侧设有有载调压油枕和呼吸器。有载调压油枕油位应低于本体油枕，以防止分接开关的油渗入本体。

3. 压力释放装置

压力释放装置包括防爆管、压力释放阀与速动油压继电器。

防爆管安装在变压器的油箱盖上，当变压器发生内部故障，油箱内压力升高时，隔膜片破裂向外喷出高压气体和油，减轻油箱所承受压力。

近年随着设计理念的更新和技术的提高，防爆管已逐渐被更为先进的压力释放阀所代替，压力释放阀与防爆管的区别在于压力释放阀以弹簧阀反映油箱内压力。当压力释放阀腔内的压力达到动作值时，弹簧阀打开阀门，释放压力。相关运行规程规定压力释放阀接点宜发“信号”，但当压力释放阀动作而变压器不跳闸时，可能会引发变压器的缺油运行而导致故障扩大。为此，可采用双球阀的瓦斯继电器与之相配合来保护变压器。当压力释放阀动作导致油位过低时，瓦斯继电器的下部浮子下沉导通发出跳闸信号。

速动油压继电器是一种新型的变压器油箱压力继电保护装置。它是利用油箱内由于事故造成的动态压力增速来动作的。油压增长速度越快，动作越迅速，由于油压波在变压器油中的传播速度极快，所以速动油压继电器应反应灵敏，动作精确，以迅速发出信号。在变压器上安装速动油压继电器，一旦主变压器内部发生恶性短路故障，可有效防止油箱爆炸。目前在大型主变压器上同时装有压力释放阀和速动油压继电器，两者配合使用。

4. 散热器

当变压器上层油温与下层油温产生温差时，通过散热器形成油的循环，使油经散热器冷却后流回油箱。为了提高变压器冷却效果，可以采用强迫油循环水冷、强迫油循环风冷和自然油循环风冷等方式。

5. 绝缘套管

绝缘套管是变压器高中低绕组的引线到油箱外部的绝缘装置，起到固定引线和对地绝缘的作用。依据运行电压不同，将其分为充气式、充油式和固体式三种。

6. 分接开关

分接开关一般安装在高压侧（自耦变压器装在中压侧），通过改变一次侧绕组匝数来调整电压。分接开关有手动、电动操作方式。如今主变压器多采用有载调压方式，通过 AVC 进行实时控制。

7. 瓦斯继电器

瓦斯继电器安装在油箱和油枕之间的管道中。变压器有缺陷时，油分解产生气体，气体进入继电器中，轻瓦斯发出报警信号。通过检测瓦斯继电器中的气体，可监测变压器的

运行状态。变压器内部故障时，产生的强烈气体推动油流，重瓦斯动作跳闸。

8. 测温装置

一般大型变压器都装有测量主变压器上层油温的测温装置。当主变压器过载或内部出现异常运行情况时，变压器油温将上升或出现异常。这也是日常变电运维巡视过程中需要重点关注的一点。一般每台主变压器会设置两个上层油温及一个绕组温度。由于上层与下层之间存在油温差，所以将测量点设置在上层能够更加及时地反映主变压器过热情况。同时由于绕组处于主变压器内部位置，不易直接测量其温度，所以绕组温度并非直接测量，通常采用在上层油温叠加 TA 二次电流进行补偿的方式进行显示，根据绕组温升曲线可以近似得到绕组温度，供运维人员参考。

(四) 变压器的参数

每个变压器都有铭牌，铭牌记载了变压器的各种额定参数。

1. 型号

变压器型号含义如图 1-4 所示。

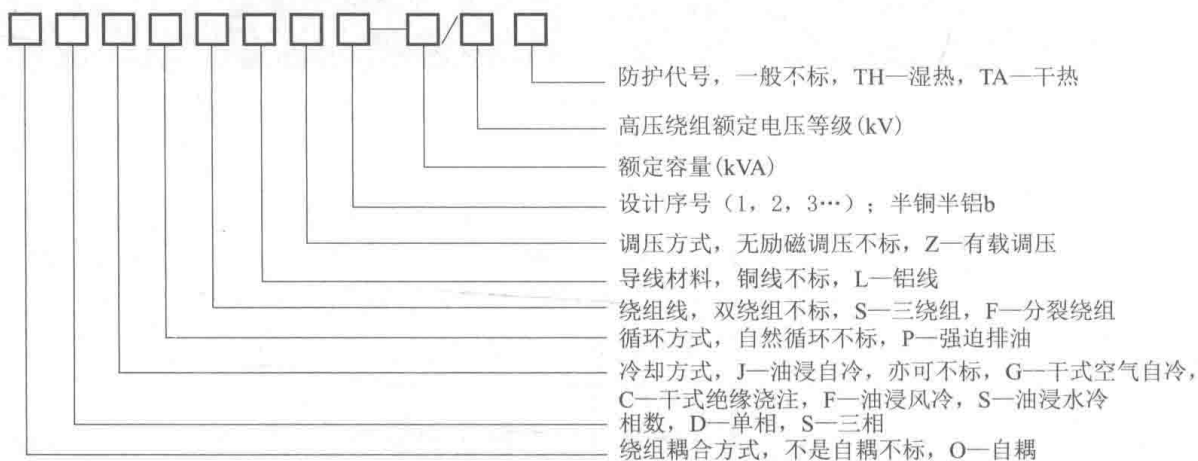


图 1-4 变压器型号含义

根据变压器型号，可以了解到一台变压器的相数、冷却方式、绕组数、额定容量等基本信息，各种一次设备的铭牌也是运维人员进行设备信息收集、台账录入时需要重点关注的一个地方。

2. 技术参数

技术参数包括额定容量 (kVA)、电压等级 (kV)、各电压等级下的额定电流、额定频率、相数、使用条件 (户内式、户外式)、冷却方式、联接组标号、绕组电路接线图 (包括分接开关的设置情况) 及相量图、海拔、空载损耗、空载电流、阻抗电压、绝缘水平、绝缘油重量、套管安装位置、套管型电流互感器 (型号、数量及电流比) 等。

二、GIS 设备

(一) GIS 设备的定义

GIS (Gas Insulated Switchgear) 设备是指将断路器、隔离开关、接地开关、快速接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线等单独元件连接在一起，封装在以一定压

力的 SF_6 气体作为灭弧和绝缘介质的金属封闭外壳内，并与出线套管、电缆连接装置等共同组成，且只在此种形式下才能运行的高压电气设备。GIS 设备还包括用于 GIS 设备控制、测量、信号及调节的辅助部件及回路。GIS 设备外观如图 1-5 所示。

HGIS 设备的结构与 GIS 设备基本相同，区别在于 HGIS 设备不包含母线设备，其母线不装于 SF_6 气体中，所以占地面积相对于 GIS 设备较大，接线清晰，安装及维护检修方便，如图 1-6 所示。

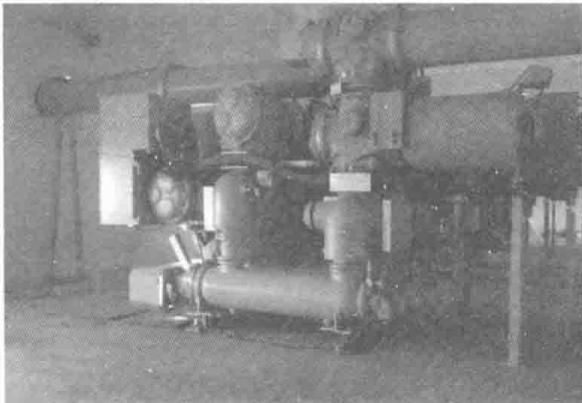


图 1-5 GIS 设备外观

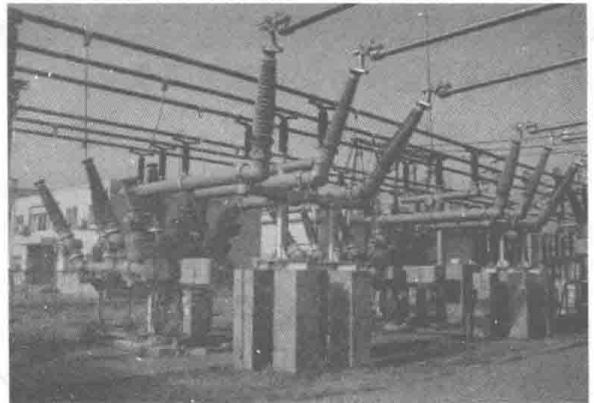


图 1-6 HGIS 设备外观

(二) GIS 设备的结构

根据外部的壳体类型，GIS 设备可以分为三相共筒式和单相式两种，壳体材料有铝合金和钢两种。GIS 设备内部有许多相同压力或不同压力的各电气元件的气室，由气隔将气室密封，使各气室气体互不相通。在日常运维工作中应关注各气室压力是否在规定范围内，若出现漏气则需要及时补气或者停电检修。

GIS 设备的基本结构包括断路器、隔离开关、接地开关、电压互感器、电流互感器、避雷器、套管、母线、密度继电器、汇控柜等。

1. 断路器

断路器是 GIS 设备的核心元件，断路器和其他电气元件必须分为不同气室。主要原因在于断路器的 SF_6 气体压力的选定要同时满足绝缘和灭弧两方面的要求，而其他气室的 SF_6 压力只需要满足绝缘要求。另外断路器动作时产生的高温会使 SF_6 分解出腐蚀性和毒性物质，需要避免这些物质污染其他气室元件。

2. 隔离开关

GIS 设备中的隔离开关具有电气联锁功能，可防误操作，且带有电阻，用以降低隔离开关操作时的操作过电压。

3. 接地开关

GIS 设备中进线侧大多是快速接地开关，具有关合接地感应电流的能力。

4. 电压互感器

大多数电压互感器是电磁式。

5. 电流互感器

在单相式 GIS 设备中，电流互感器的铁芯位于壳体外侧，确保壳体和导体之间的电场