

电力主设备



运行技术 问答

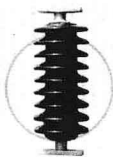
李宏 郭涛 乔长君 主编



化学工业出版社

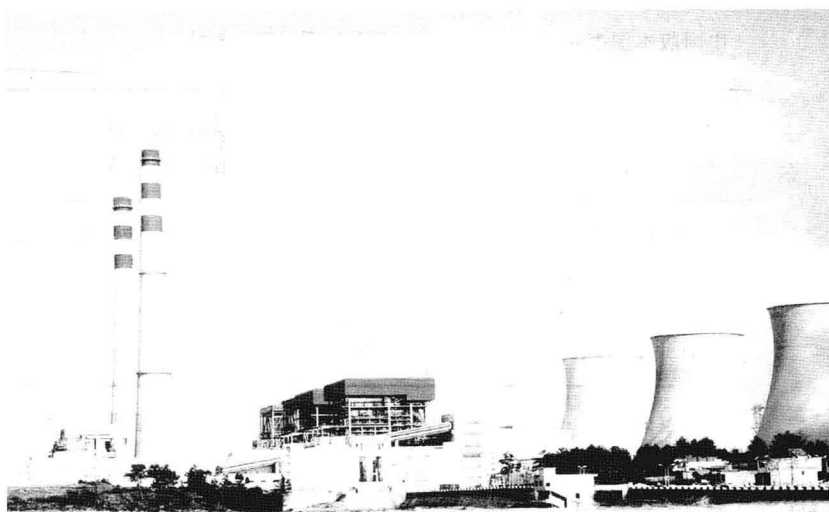
DIANLI ZHUSHEBEI YUNXING JISHU WENDA

电力主设备



运行技术 问答

李宏 郭涛 乔长君 主编



化学工业出版社

· 北京 ·



DIANLI ZHUSHIBEI YUNXING JISHU WENDA

图书在版编目 (CIP) 数据

电力主设备运行技术问答/李宏, 郭涛, 乔长君主编.
北京: 化学工业出版社, 2010.3
ISBN 978-7-122-07516-1

I. 电… II. ①李…②郭…③乔… III. 电力系统运行-问答 IV. TM732-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 000748 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 周梦华

文字编辑: 王 洋
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
850mm×1168mm 1/32 印张 13½ 字数 447 千字
2010 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究



前 言

随着我国电力事业的迅猛发展,各种新技术、新产品在城乡电网建设和改造中,在各类企业生产中得到广泛应用,电力主设备的保护、电子控制操作得到迅速推广和普及。广大电气工作者在实际工作中遇到了各种各样的新问题,急需这方面的科技书籍和对有关问题的解答。为了尽快提高广大电气控制、运行及操作人员的业务水平和操作能力,解决目前广大电气工作者对电气(器)的新知识、新技术、新材料、新设备的需求,满足电气生产中各专业、各层次员工岗位工作和学习的需要,保证电网安全运行,促进企业生产长周期稳定运行,我们组织有丰富实践经验的专业技术人员,根据有关国家标准和相关的电气操作规程编写了这本《电力主设备保护技术问答》一书。

本书主要对电气主设备原理结构、运行、操作、维护与检修、继电保护、微机保护、电气安全等方面的技术知识提出了具体的问题并相应解答。

本书力求突出以下特色。

(1) 实用性强 资料收集比较全面,实例来自生产一线。每个小题目组合起来就是一个完整的知识体系。

(2) 技能性强 在编排上强调知识的系统性和完整性,而且注重知识和技能的紧密联系,突出技能和技巧。

(3) 先进性强 本书系统介绍了近几年普遍采用的微机保护知识、操作方法、检修案例,突出了新知识、新技术、新工艺的运用。

本书内容丰富全面,知识体系完整,条理清晰,语言简练,具有较强的实用性和指导作用。

本书适用于石油化工、化工、炼油、轻工、冶金、建筑安装等行业供变电运行及检修维护人员学习和参考,也可作为企业的培训教材。

本书由李宏、郭涛、乔长君主编，参加本书编写的还有马天钊、汪深平、杨春林、马军等。刘勃安同志对本书进行了审核并提出了修改意见。

由于编者水平有限，加之时间仓促，不足之处在所难免，敬请读者提出批评指正。

编 者



目 录

第一章 电力主设备的原理与结构

第一节	同步发电机	1
第二节	隔离开关与断路器	4
第三节	变压器	10
第四节	电压互感器和电流互感器	17
第五节	无功补偿设备	20
第六节	导电设备	26
第七节	避雷设备	29
第八节	接地装置	33

第二章 电力主设备的运行

第一节	同步发电机	36
第二节	母线及电缆	52
第三节	隔离开关断路器	54
第四节	变压器	56
第五节	电压互感器和电流互感器	62

第三章 电力主设备的操作

第一节	基本概念和术语	64
第二节	操作原则和制度	70
第三节	发电厂和变电站操作	77
第四节	母线操作	79
第五节	断路器和隔离开关操作	81
第六节	变压器操作	84
第七节	电压互感器操作	87

第八节	输电线路操作	89
-----	--------------	----

第四章 电力主设备的检修

第一节	同步发电机	93
第二节	母线	119
第三节	隔离开关断路器	120
第四节	变压器	256

第五章 继电保护基本知识

第六章 线路及母线保护

第一节	线路电流、电压保护	303
第二节	线路零序、负序保护	311
第三节	线路距离保护	318
第四节	线路的纵联和横联保护	324
第五节	线路高频保护	329
第六节	母差保护	338

第七章 变压器保护

第一节	变压器瓦斯保护	348
第二节	变压器差动保护	352
第三节	变压器后备保护	356

第八章 自动装置

第一节	按频率自动减负荷装置	361
第二节	自动重合闸装置	363
第三节	备用电源自动投入装置	372

第九章 电机保护

第一节	发电机过电流、过电压、过励磁、过负荷保护	377
第二节	发电机差动保护	382
第三节	发电机接地保护	387
第四节	发电机失磁保护	390
第五节	发电机失步及逆功率保护	391

第十章 断路器、电抗器、电容器保护

第一节	断路器保护.....	400
第二节	电抗器保护.....	404
第三节	电容器保护.....	404

第十一章 微机保护

第一节	微机保护基本原理.....	405
第二节	微机变压器保护.....	408
第三节	微机线路保护.....	412
第四节	微机电机保护.....	418
参考文献		421

第一章 电力主设备的原理与结构

第一节 同步发电机

1-1 同步发电机的“同步”是什么意思？

发电机带负荷以后，三相定子电流产生的磁场与转子以同方向、同速度旋转，称同步。

1-2 同步发电机的额定值有哪些？

(1) 额定容量 S_n 或额定功率 $P_n = \sqrt{3}UI$ 指输出的额定视在功率或有功功率，常用 $kV \cdot A$ 或 kW 表示。

(2) 额定电压 U_n 指电机在额定运行时三相定子绕组的线电压，常以 kV 为单位。

(3) 额定电流 I_n 指电机在额定运行时三相定子绕组的线电流，单位为 A 或 kA 。

(4) 额定频率 f_n 我国工频 $50Hz$ 。

(5) 额定功率因数 $\cos\varphi$ 指电机在额定运行时的功率因数。

1-3 同步发电机的转速、频率、磁极对数之间的关系是怎样的？

转速、频率、磁极对数之间的关系表达式为 $n = \frac{60f}{p}$ ，其中 n 为转速， f 为频率， p 为磁极对数。

1-4 什么是发电机的励磁系统？它通常由哪几部分组成？

发电机的励磁系统是指向发电机提供可调节的励磁电流，以建立

磁场的设备和装置的组合。它通常由励磁设备（如直流励磁机、交流励磁机、励磁变压器及整流装置）、手动自动调节装置、自动灭磁装置以及断路器等设备和上述装置的控制、信号、测量仪表、保护装置等组成。

1-5 发电机励磁系统主要有哪些作用？

① 在正常情况下，根据发电机电压和负荷情况，按给定规律调整励磁电流，维持发电机端电压为给定水平。

② 使并列运行的发电机的无功功率得到合理分配。

③ 电网发生短路事故或其他原因使发电机端电压严重下降时，能对发电机进行强行励磁，以提高电网的动态稳定极限和继电保护动作的准确性，改善大型电动机的自行启动和自同期时电网的工作条件。

④ 当发电机由于突然甩负荷等原因造成过电压时，能对发电机强行减磁，以免发电机电压过度升高。

⑤ 提高电网的静态稳定性和暂态稳定性。

⑥ 在发电机内部及其引出线上发生短路故障时，迅速进行灭磁，以免事故扩大。

1-6 同步发电机有哪几种励磁方式？各有什么特点？

(1) 直流励磁方式 将直流发电机与发电机同轴连接在一起，当发电机旋转时，直流发电机便与之同步旋转（或用电动机拖动直流发电机旋转），将直流发电机旋转时所发出的直流电压输入发电机转子绕组进行励磁。这种励磁方式因其换向器易产生火花、磨损快、维护工作量大，难以满足大型发电机励磁容量的要求，故仅适用于小容量的发电机。

(2) 交流励磁方式 将专供励磁用的交流励磁机与发电机同轴直接连接，当发电机运转时，将供励磁用的交流励磁机所发出的交流电压通过整流器整流成直流，供给发电机转子励磁绕组。这种励磁方式不需要换向器、无火花、维护简便、技术性能好，但因需要交流励磁机与发电机同轴相连接，使转轴长度增加，会减弱轴系统的刚度与稳定性，因此在大型发电机上较少采用。

(3) 旋转整流励磁方式 这种励磁方式的交流励磁机采用电枢式结构, 即与发电机的励磁相反, 在定子绕组上励磁, 在电枢(转子)上嵌装绕组, 当发电机运转时, 电枢便与之同步旋转, 旋转时切割定子励磁磁场而产生电动势, 经与转子绕组同步旋转的整流器整流后, 直接接入发电机转子绕组励磁。这种励磁方式的特点是无集电环导电装置、无电刷接点, 故又称无刷励磁。其优点是容量大, 已应用于大型发电机上。缺点是当励磁系统发生故障或检修时, 必须停运主机才能处理。

(4) 静止的整流励磁方式 这种励磁方式在发电机的出线端接入励磁变压器, 当发电机运行时, 将励磁变压器输出的电压经整流器整流后, 输入转子绕组励磁。这种励磁方式采用静止的无旋转部件, 维护方便, 在大型发电机上已广泛采用。

(5) 谐波励磁方式 这种励磁方式将发电机气隙磁场中的 3 次及其倍数次谐波磁场产生的电动势, 经过整流后通过集电环导电装置加入发电机转子绕组进行励磁。这种励磁方式不需要旋转励磁机或励磁变压器, 但其不足之处是励磁容量小, 仅适用于小型发电机的励磁。

1-7 什么是自动励磁调节装置?

自动励磁调节装置是励磁系统中重要组成部分, 它通过反馈作用将发电机输出变量(电压、电流、功率因数、功角及角频率等)与励磁供电装置的输入联合起来, 以达到自动励磁调节输出变量(机端电压或无功功率等)的目的。

1-8 自动励磁电流调节装置的种类有哪些? 作用是什么?

自动励磁电流调节装置按作用可分为两种类型: ①利用改变励磁机励磁回路中调节电阻的方法来改变发电机的励磁电流; ②在励磁绕组中加一附加电流来改变励磁。

自动励磁电流调节装置按结构可分为机电型和电磁型两类。

自动励磁电流调节装置的主要作用是: ①提高发电机和电网工作的稳定性; ②短路消除后加速电网电压的恢复及改善发电机的自启动条件; ③保持发电机端电压或电网中某一点电压为给定值; ④提高带

时限的继电保护动作的准确性。

1-9 什么是同步发电机的灭磁？灭磁装置主要有哪几种？

同步发电机的灭磁就是在较短的时间内尽快将转子绕组中的磁能减弱到尽可能小的过程。

最简单的灭磁方法就是尽快断开励磁电源。由于同步发电机转子绕组具有很大的电感，在断流过程中，要在转子绕组两端产生很高的电压，这个电压如果超过转子回路绝缘安全允许值，就可能击穿绝缘，造成故障。因此，断开励磁电源的同时，还应在励磁绕组中接入放电电阻或其他吸能装置，把储存的能量消耗掉。完成这一过程的装置叫自动灭磁装置。

目前的灭磁装置主要有具有短弧栅片的灭磁装置、利用非线性电阻的灭磁装置和利用恒值电阻的灭磁装置。

1-10 汽轮发电机由哪几部分组成？

汽轮发电机主要由定子和转子组成。定子包括基座、定子铁芯、端盖、定子绕组、冷却器等。转子包括转子铁芯、转子绕组、护环以及滑环、风扇的部件。

第二节 隔离开关与断路器

1-11 隔离开关的作用有哪些？

- ① 用于隔离电源。将高压检修设备与带电设备断开，使其间有一明显可看见的断开点。
- ② 隔离开关与断路器配合，按系统运行方式的需要进行倒闸操作，以改变系统运行接线方式。
- ③ 用以接通或断开小电流电路。

1-12 隔离开关有哪些特点？

隔离开关是一种没有专门灭弧装置的开关设备，在分闸状态时有明显可见的断口，在合闸状态时能可靠通过正常工作电流，并能在规

定时间内承载故障短路电流和承受相应电动力的冲击。关合和开断有电压无负荷的线路，主要用于在分闸后建立可靠的绝缘间隙，将被检修的线路和设备与电源分开，根据运行需要换接线路以及开断或关合一定长度线路的充电电流或一定容量的空载变压器的励磁电流。隔离开关具有以下特点。

① 在分闸状态时有明显断口。

② 隔离开关的断口在任何状态下都不能被击穿，因此它的断口耐压一般要比其对地绝缘的耐压高出 10%~15%。

③ 在合闸状态时能可靠通过正常工作电流和故障电流。

④ 必要时应在隔离开关上附设接地开关，供检修时接地用。

1-13 隔离开关的用途有哪些？

隔离开关主要用于检修分段隔离、倒换母线、分合空载线路、自动快速隔离等。

1-14 隔离开关的类型有哪些？

① 按安装地点可分为户内型和户外型。

② 按绝缘支柱的数目可以分为单柱式、双柱式和三柱式。

③ 按极数可分为单极和三极。

④ 按有无接地隔离开关可分为带接地隔离开关和不带接地隔离开关。

⑤ 按用途可分为一般用、快速跳闸用和变压器中性点接地用。

⑥ 按隔离开关配用的操动机构可分为手动、电动和气动操作等类型。

1-15 对隔离开关的基本要求有哪些？

① 隔离开关分开后应具有明显的断开点，易于鉴别设备是否与电网隔开。

② 隔离开关断开点之间应有足够的绝缘距离，以保证在过电压及相间闪络的情况下不致引起击穿而危及工作人员的安全。

③ 隔离开关应具有足够的热稳定度、动稳定度、机械强度和绝缘强度。

④ 隔离开关在拉、合闸时的同期性好，应具有最佳的拉、合闸

速度,以尽可能降低操作时的过电压。

⑤ 隔离开关的结构应简单,动作可靠性高。

⑥ 带有接地的隔离开关,必须装设联锁机构,以保证隔离开关的正确操作。

1-16 常见的隔离开关的基本结构有哪些?

隔离开关的种类很多,常见的隔离开关的基本结构如下。

(1) II型双柱式隔离开关的基本结构 导电部分固定在绝缘子上端,由主闸刀、中间触头及出线座构成。主闸刀分成两半,接触部分在中间。中间触头一端为触子,另一端为圆锥形触头,接地刀主轴上有扇形板,与紧固在绝缘子法兰上的弧形板组成联锁,确保“主分-地合”、“地合-主分”的操作顺序。操动机构根据需求选择手动、电动、气动机构。

(2) V形双柱式隔离开关的基本结构 V形双柱式隔离开关由基座支柱绝缘子左右触头、接线座及导电回路等三部分组成。两支柱绝缘子成V形,安装在左右两轴承支座上,两轴承支座都装有轴承和相互啮合的伞形齿轮,接线座内用紫铜编织带分别固定连接在出线导电杆和夹紧触头的夹板上,保证绝缘子和触头转动 90° 时出线导电杆固定不动。

(3) 三柱式(双断口)隔离开关的基本结构 主要由底座、磁柱和导电回路三部分组成。底座部分由槽钢和钢板焊制而成,在槽钢上装有三个支座,两端支座是固定的,中间支座是可转动的。在槽钢内腔装有主刀闸和接地开关的传动连杆及联锁板。接地开关由刀杆和静触头组成,刀杆头有一对触片与静触头接触,每极的三个磁柱由实心棒式绝缘子叠装而成,它的下端固定在底座的支座上。导电部分由动闸刀和静触头组成,在其端部各焊有一圆柱触头,借助铝罩将两根导电管连成一体。

1-17 什么是高压断路器?它由哪几部分组成?

高压断路器用于高压电网和电源的控制,是具有相当完善的灭弧结构和足够的断流能力的负荷开关。

高压断路器由导电回路、灭弧室、绝缘部分、操动机构和传动部

分、外壳及支持部分组成。

1-18 高压断路器的作用是什么？

① 控制作用。根据电网运行的需要，将部分或全部电气设备以及部分或全部线路投入或退出运行。

② 保护作用。当电网某一部分发生故障时，它和保护装置、自动装置相配合，将该故障部分从系统中切除，减小停电范围，防止事故扩大，保护系统中各类电气设备不受损坏，保护系统无故障部分安全运行。

1-19 高压断路器按灭弧介质不同可分为哪几类？

① 油断路器。利用变压器油作为灭弧介质，又分多油和少油两种类型。

② 六氟化硫断路器。采用惰性气体六氟化硫来灭弧，并利用它所具有的很高的绝缘性能来增强触头间的绝缘。

③ 真空断路器。触头密封在高真空的灭弧室内，利用真空的高绝缘性能来灭弧。

④ 空气断路器。利用高速流动的压缩空气来灭弧。

⑤ 固体产气断路器。利用固体产气物质在电弧高温作用下分解出来的气体来灭弧。

⑥ 磁吹断路器。利用断路时本身流过的大电流产生的电磁力将电弧迅速拉长而吸入磁性灭弧室内冷却熄灭。

1-20 对断路器有哪些基本要求？

由于断路器要在正常工作时接通和切断负载电流，短路时切断短路电流，并受环境变化的影响，故对断路器有以下四方面要求。

① 断路器在额定条件下应能长期可靠地工作。

② 应具有足够的断路能力。由于电网电压较高，电流较大，当断路器断开电路时，触头间会产生较强的电弧，只有当电弧完全熄灭后才能断开电路，因此要求断路器要有足够的断路能力，尤其在短路故障时，应能可靠地切断短路电流，并保证具有足够的热稳定性和动稳定性。

③ 具有尽可能短的开断时间。当电力网发生短路故障时，要求断路器迅速切断故障电路，这样可以缩短电力网的故障时间和减轻短路电流对电气设备的危害。

④ 结构简单、价格低廉。在要求安全可靠的同时，还应考虑经济性，因此，应力求断路器结构简单、尺寸小、重量轻、价格低廉。

1-21 什么是断路器的操动机构？对它的基本要求有哪些？

断路器的操动机构是用来使断路器跳闸、合闸，并维持断路器在合闸状态的设备。

操动机构的性能直接关系到断路器的工作性能，对操动机构的基本要求是：有足够的操作功能，可靠性高，动作迅速，应有自由脱扣装置，应能防止断路器发生跳跃。

1-22 SN10-10 型少油断路器由哪几部分组成？

SN10-10 II 系列少油断路器由框架、传动系统和油箱三部分组成。

框架由角钢或钢板焊接而成。在框架上每相装有两个支持瓷瓶、分闸弹簧、分闸限位器和合闸缓冲弹簧。

传动系统包括大轴、轴承、拐臂、绝缘拉杆。大轴、轴承装于框架上，在大轴上焊有若干个拐臂，其主拐臂通过绝缘拉杆与油箱上的转轴相连，组成四连杆机构。

油箱固定在支持绝缘上。油箱下部是用球墨铸铁制成的基座，基座内装有转轴、拐臂和连板组成的变直机构。基座下部装有油缓冲器的活动塞杆和放油螺栓。油箱中部是用高强度的环氧玻璃布管做成的绝缘筒，绝缘筒用压圈由螺栓经下出线座固定在基座上。绝缘筒内部装有灭弧室，绝缘筒上部是铸铝合金的上帽和上出线，上帽内装有油气分离器，上出线下部有油位指示器。在静触头靠近吹弧口处的三片触片上镶有铜钨合金，下出线内有滚动触头，通过滚动触头将导电杆与下出线连接在一起，导电杆上端装有铜钨合金动触头。

1-23 ZN5-10 型断路器由哪几部分组成？

断路器主要由真空灭弧室、操动机构绝缘支持件、传动件、底座

等组成一体。真空灭弧室由两块压制半圆形的绝缘支架支撑并固定在底座上,由导电夹、软连接线、出线板通过灭弧室两端组成高压回路。底座下部是操动机构,带自由拖扣,包括合闸电磁铁、分闸电磁铁、合闸掣子、抬杠、分闸摇臂、分闸弹簧、三相连动轴、辅助开关等,还设有机械计数器、分合指示、二次线路接线端子等。底部装有四个滚轮和四块弯板,供搬运及安装用。半圆形的绝缘支架是用玻璃纤维压制而成的,绝缘性能好、机械强度高,用它分相支持灭弧室而不需另加相间隔板。高压间无框架连接,不仅能提高相间的绝缘强度,且对真空灭弧室也有一定的防护作用。

传动件,即绝缘子,它既要保证高压对地可靠绝缘,还要传递分合闸功能,经受数万次的冲击振动。ZN5-10型断路器采用玻璃纤维压制成型,不易老化、发脆、断裂,从而满足了真空开关机械寿命长的要求。

1-24 ZN12-35 1250/2000-31.5 型真空断路器由哪几部分组成?

断路器主要由真空灭弧室、操动机构及支撑部分组成。在用钢板焊接而成的机构箱上固定六只环氧树脂浇注绝缘子。三只灭弧室通过铸铝的上下出线端固定在绝缘子上。下出线端上装有软连接线,软连接线与真空灭弧室动导电杆上的导电夹相连。在动导电杆的底部装有万向杆端轴承,该杆端轴承通过一轴销与下出线端上的杠杆相连,开关主轴通过三根绝缘拉杆把力传递给动导电杆,使开关合、分闸。

断路器的真空灭弧室由一个金属圆筒屏蔽罩和两只瓷管封在一起,作为外壳,上下两只瓷管分别封在上下法兰盘上。动静触头分别焊在动静导电杆上,静导电杆焊在法兰盘上,动导电杆上焊一波纹管,波纹管的另一端焊在下法兰盘上,由此形成一个密封的腔体,该腔体经过抽真空,真空度在 $10\sim 4\text{Pa}$ 以上。当合分闸操作时,动导电杆上下运动,波纹管被压缩或拉伸,使真空灭弧室的真空度得到保持。

1-25 SF₆ 断路器由哪几部分组成?

SF₆ 六氟化硫断路器有两种结构布置形式。

(1) 瓷柱式结构 取积木式,系列性强,可用多个相同的单元灭