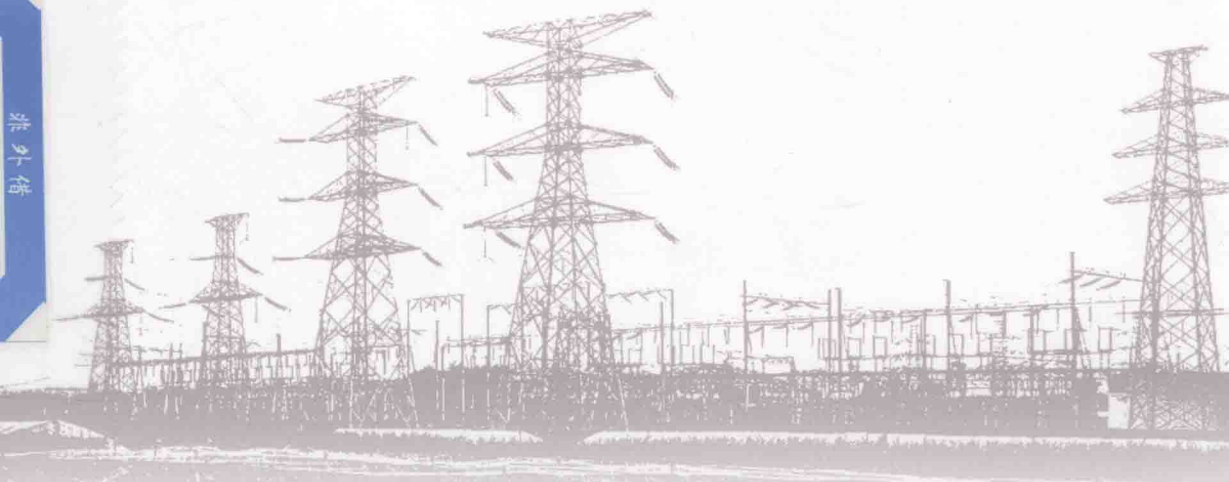


变电站 运行与维护



许傲然 杨 林 谷彩连 ◎ 编 著

变电所



 首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

变电站 运行与维护



许傲然 杨 林 谷彩连 ◎ 编 著



首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

变电站运行与维护/许傲然,杨林,谷彩连编著. --北京:
首都经济贸易大学出版社,2018.2

ISBN 978-7-5638-2752-7

I. ①变… II. ①许… ②杨… ③谷… III. ①变电
所—电力系统运行—维护 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 000625 号

变电站运行与维护

许傲然 杨 林 谷彩连 编 著

责任编辑 刘元春 田玉春

封面设计



砚祥志远·激光照排
TEL: 010-65976003

出版发行 首都经济贸易大学出版社

地 址 北京市朝阳区红庙(邮编 100026)

电 话 (010)65976483 65065761 65071505(传真)

网 址 <http://www.sjmcbs.com>

E-mail publish@cueb.edu.cn

经 销 全国新华书店

照 排 北京砚祥志远激光照排技术有限公司

印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司

开 本 710 毫米×1000 毫米 1/16

字 数 426 千字

印 张 24.25

版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5638-2752-7/TM·13

定 价 45.00 元

图书印装若有质量问题,本社负责调换

版权所有 侵权必究

《变电站运行与维护》

编 委 会

主 编 许傲然 杨 林 谷彩连

参 编 刘 军 赵守忠 王 亮 张宇时

王 凯 范优子 马晓路 李凤羽

李文文 赵泓博 史兴才 徐大海

内容提要

《变电站运行与维护》一书以电力行业有关规程、标准和国家电网公司相关规定为依据,并结合变电运维岗位生产实际编写,旨在提高变电运维岗位人员专业技能水平,增强岗位胜任力。

本书分为7章,主要内容包括:电气设备、继电保护及安全自动装置、二次回路、倒闸操作、变电站设备巡视与异常处理、变电站事故处理、变电运维管理规定。

本书可作为220kV及以下变电运维专业岗位员工和电气专业大学生的培训教材,也可供变电专业技术管理人员参考使用。

前 言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略,努力满足省公司对于加强生产专业全员培训的新要求,我们组织有关专业人员编写了此书,其目的是促进变电运维岗位员工尽快适应公司和岗位需要,提高员工培训的针对性、有效性和实用性。沈阳工程学院与国网辽宁省电力有限公司技能培训中心共同组织优秀专兼职培训师和生产现场专家,以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》和变电运维岗位工作实际情况为依据,编写本培训教材,旨在提高变电运维岗位员工岗位胜任力。参加编写的单位主要有:沈阳工程学院、国网辽宁技培中心、国网辽宁省电力公司调控中心、国网锦州供电公司、国网辽宁电科院。

本书借鉴国内外先进的培训理念,以培养职业能力为出发点,注重学以致用,注重情境教学模式,把“教、学、做”融为一体。本书共包括7章。第1章电气设备,第2章继电保护及安全自动装置,第3章二次回路,第4章倒闸操作,第5章变电站设备巡视与异常处理,第6章变电站事故处理,第7章变电运维管理规定。全书由许傲然和杨林组织编写,杨林统稿。

在编写过程中,参考了许多规程规范和文献,在此向他们表示衷心的感谢!由于编者的水平有限,加之时间仓促,难免存在疏漏及差错之处,恳请各位专家和读者批评指正,并提出宝贵意见,以便修订时改进完善。

编者
2018年1月

目 录

1 电气设备	1
1.1 电力变压器	1
1.2 高压断路器	7
1.3 SF ₆ 全封闭组合电器	16
1.4 隔离开关	19
1.5 高压开关柜	22
1.6 互感器	25
1.7 补偿设备	30
1.8 避雷器	32
1.9 变电站一二次设备间的联系	36
2 继电保护及安全自动装置	38
2.1 继电保护的基本概念	38
2.2 高压线路的继电保护	46
2.3 电力变压器的保护	79
2.4 自动重合闸装置	101
2.5 备用电源自动投入装置	113
3 二次回路	121
3.1 二次回路概述	121
3.2 二次回路图识读方法	130
3.3 电气测量与绝缘监察装置	142
3.4 典型二次回路	150

4 倒闸操作	164
4.1 倒闸操作的一般要求	164
4.2 倒闸操作的执行顺序	165
4.3 操作设备的规定	166
4.4 两票的管理	167
4.5 设备管理	169
4.6 安全管理	172
4.7 无人值班变电运行管理	176
4.8 倒闸操作的基本原则及注意事项	179
4.9 倒闸操作的标准化程序	187
5 变电站设备巡视与异常处理	192
5.1 变电站设备巡视	192
5.2 变电站异常与缺陷的处理	198
6 变电站事故处理	218
6.1 变电站事故处理概述	218
6.2 变电站主要设备的事故处理	220
7 变电运维管理规定	228
7.1 油浸式变压器(电抗器)运维细则	228
7.2 断路器运维细则	245
7.3 组合电器运维细则	256
7.4 隔离开关运维细则	264
7.5 开关柜运维细则	272
7.6 电流互感器运维细则	283
7.7 电压互感器运维细则	290
7.8 并联电容器组运维细则	297
7.9 消弧线圈运维细则	304
7.10 电力电缆运维细则	311
7.11 避雷器运维细则	316

7.12	避雷针运维细则	321
7.13	站用变运维细则	324
7.14	站用交流电源系统运维细则	329
7.15	站用直流电源系统运维细则	334
7.16	母线及绝缘子运维细则	342
7.17	干式电抗器运维细则	347
7.18	端子箱及检修电源箱运维细则	352
7.19	辅助设施运维细则	356
参考文献		373

1 电气设备

学习目标

掌握变电站各种电气设备包括变压器、断路器、GIS、隔离开关、开关柜、互感器、补偿设备、避雷器等设备的结构、作用及相关运行知识。

1.1 电力变压器

1.1.1 基本结构

电力变压器（简称变压器）是变电站最主要的一次设备，它的作用是进行电压变换和电流变换。变压器主要由变压器本体、冷却器装置、调压装置、套管、保护装置及其他附件组成。

1.1.1.1 变压器本体

铁芯和绕组是变压器本体的主要部分，铁芯是导磁部件，绕组是导电部件。为防止变压器在运行或试验时由于静电感应使铁芯等金属构件上产生悬浮电位，造成对地放电，铁芯及其金属附件必须且仅有一点接地。

变压器运行中会产生铜损和铁损，使铁芯和绕组发热，温度升高，影响变压器的运行，尤其影响变压器绝缘材料的绝缘强度。温度越高绝缘老化越快。在我国，电力变压器大多数采用 A 级绝缘，正常运行中，铁芯和绕组温度不能超过 105℃。

电力变压器大都是油浸式变压器，变压器油对绕组起绝缘和冷却的密封作用，一般通过监测上层油温来控制变压器绕组最热点的工作温度，使绕组运行温度不超过其绝缘材料的允许温度，以保证变压器的绝缘使用寿命。由于绕组的平均温度比油温高 10℃，当周围最高空气温度为 40℃ 时，油浸自冷或风冷变压器上层油温允许值一般不宜超过 85℃，最高允许温度为 95℃，220kV 变压器一般采用油浸

自冷、风冷。

1.1.1.2 冷却装置

运行中变压器铁芯和绕组产生的热量，是通过绝缘油经油道带出并传至散热器和油箱散发冷却的，带风扇加强散热的称为油浸风冷式。有油泵加强油的循环的称为强迫油循环风冷式，其冷却方式为变压器油箱上部的热油，由潜油泵抽入上集油器，经风扇吹风降温的冷却通道，由下集油器回流入油箱中。串联的冷却管道之间，可接入净油器。

油浸风冷变压器在风扇停止工作时允许的负荷和运行时间应遵守制造厂的规定，其中油浸风冷变压器，当上层油温度不超过 65°C ，允许不开风扇带额定负荷运行。

1.1.1.3 调压装置

调压装置又叫分接开关，是变压器为了稳定负荷中心电压的调压设备。它是在变压器的某一绕组上设置分接头，当变换分接头时就改变了绕组的匝数，改变了绕组的匝数比。绕组匝数的改变使电压相应改变，从而达到了调整电压的目的。

分接开关的调压方式有无载调压和有载调压两种。

(1) 无载调压装置。无载调压装置是用于油浸变压器在无励磁状态下进行分接变换的装置。按相数分有单相和三相；按安装方式分为卧式和立式；按结构形式分为鼓形、笼形、条形和盘形；按调压部位分为中性点调压、中部调压和线端调压。

变压器无载调压装置的额定调压范围较窄，调节级数较少。在额定调压范围以变压器额定电压的百分数表示为 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2 \times 2.5\%$ 。

无载调压装置要求开关动作位置准确，操作灵活、方便，有良好的绝缘性能和稳定性能，同时要求机械强度好，寿命长，外形尺寸小且便于维护等。在对二次侧电压进行调整时，首先对该变压器进行停电。变换分接头位置时，要求正反转三个循环，消除触头上的氧化膜及油污，然后正式变换分接头。变换分接头后测量绕组档位的直流电阻，并检查销紧位置，以确保接触良好、可靠。分接头变换情况应做好记录并报告调度部门。

由于每次变换分接位置比较麻烦，无载调压装置只适用于不经常调整电压或季节性调整电压的变压器。

(2) 有载调压装置。有载调压装置是用于油浸变压器在变压器励磁（带负载）状态下变换分接位置，它必须满足以下两个基本条件：①在变换分接过程中保证电流的连续，不能开路；②在变换分接过程中，保证分接过程中不能短路。

为满足以上两个基本条件，在变换过程中必然在某一瞬间同时桥接两个分接

头以确保电流连续。在桥接的两个分接头间，必须串入阻抗以限制循环电流，该阻抗称为过渡阻抗。调压变压器绕组有多个分接头，需要一套电路来选择这些分接头，该电路称为选择电路。不同的调压方式要求有不同的调压电路。因此有载调压装置的电路由过渡电路、选择电路、调压电路三部分组成。

有载调压时应遵守以下规定：①有载分接开关切换调节时，应注意分接开关位置指示、变压器电流和母线电压变化情况，并做好记录。②有载调压时应逐级调压，原则上每次只操作一档，隔1min后再进行下一档的调节。严禁分接开关在变压器严重过负荷时进行切换。③分相安装的有载分接开关，应三相同步电动操作，一般不允许分相操作。④两台有载调压变压器并联运行时，其调压操作应轮流逐级进行。⑤有载调压变压器与无载调压变压器并联运行时，有载调压变压器的分接头位置应尽量靠近无载调压变压器的分接位置。

1.1.1.4 保护装置

(1) 储油柜。储油柜也称油枕，用以补偿油的热胀冷缩或缺油漏油引起的油位变化，并能使空气与本体油不直接接触，减少油的氧化。储油柜储油的总量为变压器油的10%，其面积小，缩小了空气与油的接触面。

(2) 吸湿器。吸湿器也称空气滤过器，可防止空气中的水分和杂质进入储油柜，安装在变压器油枕的呼吸器管路上。吸湿器是一个圆形的玻璃容器，上端通过联管接通到油枕里面油面上，下端是空气的进出口，通过油封与大气相通，可以起到呼吸作用。其中的变色硅胶吸湿后，由蓝色变粉红色，或紫色变白色。当变色达2/3时应予以更换。

(3) 气体继电器。气体继电器也称为瓦斯继电器。常用的有浮子式和挡板式气体继电器。

①浮子式气体继电器。浮子式气体继电器是比较老旧的，其应用历史比较长，目前在很大一部分变压器上还在使用。在浮子式气体继电器容器内部上下各有一个带水银触点的玻璃泡，它们可以以支点为中心自由转动。正常运行时，气体继电器整个容器内充满油，上触点保持水平，下触点保持垂直状态。当变压器内部有少量不正常气体产生时，气体上升到变压器箱壳的顶部，然后沿着管道流向气体继电器，由于气体发生比较缓慢，气体开始凝聚在容器的上部，迫使油面逐渐下降，当下降到一定程度，上玻璃泡内的水银触点闭合，接通信号回路，发出轻瓦斯信号。当变压器内部故障，大量气体突然发生，强烈的油流会急促地涌向气体继电器冲动下玻璃泡，水银触点闭合，接通跳闸回路，将故障变压器从系统中切除。

②挡板式气体继电器。挡板式气体继电器是比较新型的，比浮子式气体继电

器动作更为可靠。它也是装在储油柜与变压器箱盖的连接管之间，运行时气体继电器整个容器内充满油。当变压器内部轻微故障时，产生少量气体聚集于继电器顶部，使上油杯带动磁铁下降，使干簧继电器触点接通，发出轻瓦斯信号。当内部严重故障时，急速的油流冲击挡板，使挡板向上撬起，磁铁吸合干簧继电器触点，接通跳闸回路。

(4) 压力释放阀和防爆管。压力释放阀和防爆管是变压器的安全装置，作用是当变压器内部发生故障，变压器油产生大量气体，使变压器内部压力骤然猛增时能有一个排气泄压处，以避免变压器壳因受高压而发生爆裂。当油箱内的压力降低或恢复正常值后，阀盖自动复位，使箱内变压器油与外部空气隔绝。

(5) 净油器。净油器也称温差过滤器，是一个充满吸附剂的金属容器。变压器油流经吸附剂时，油中水分、游离酸和各种氧化物均被吸附剂吸收，使油得到连续再生，使油质能长时间保持在合格状态。如果压力释放阀与全密封式储油柜配合使用，可以不装净油器。常用的净油器有温差环流法净油器和强制环流法净油器。

1.1.1.5 监测部件

(1) 温度计。电力变压器中散装设有油面温度指示计和绕组温度指示计，用来监视上层油温和绕组的温度。常用的温度计形式有水银温度计、指针式温度计和电阻式温度计。

(2) 油位计。变压器油位过高可能因温度上升溢出，过低可能因温度下降引起气体继电器动作，因此必须监视变压器油位的高低。油位计上标有 -30°C 、 $+20^{\circ}\text{C}$ 、 $+40^{\circ}\text{C}$ 时的油位。

1.1.2 基本参数

(1) 额定电压。额定电压是变压器长时间所承受的工作电压。它关系到主绝缘和纵绝缘的承受能力。

(2) 额定电流。额定电流是允许长时间通过的电流。它关系到变压器的发热、温度和寿命。

(3) 温度及温升。变压器中所使用的材料，在长期温度作用下，会逐渐降低原有的绝缘性能，温度越高绝缘老化越快。电力变压器大多都是油浸式变压器，运行中各部分的温度是不同的，绕组温度最高，铁芯温度次之，绝缘油的温度最低。运行中必须监视各部分温度的变化，确保变压器绝缘使用寿命。

运行中的变压器不仅要监视上层油温，而且还要监视上层油温的温升。当周围环境温度较低时，变压器外壳的散热能力大大加强，使外壳温度降低较多，但

内部散热能力却提高很少，即使上层油温不超过允许值，变压器绕组温度可能会超过允许值。油浸自冷或风冷变压器上层油的允许温升（周围环境温度为 +40℃，额定负荷）为 55℃。

(4) 效率。效率是二次输出功率 P_2 与一次输入功率 P_1 之比，即为：

$$\eta = P_2/P_1 \times 100\%$$

效率大小关系到变压器的经济运行。

(5) 频率：50Hz。

(6) 变比、视在功率及组别。

当忽略励磁电流、铁芯损耗和绕组损耗时，变比 K 为：

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

对于单相变压器额定容量为：

$$S_N = U_N I_N$$

对三相变压器额定容量为：

$$S_N = \sqrt{3} U_N I_N$$

变压器的联结组别就是表示绕组的连接形式及用时钟表示的方法标示出高低压绕组相位的关系。220kV 变电站主变压器联结组别多为：双绕组变压器为 $Y_N d11$ ，三绕组变压器为 $Y_N y0d11$ 。66kV 变电站主变压器组别多为 $Yd11$ 。

1.1.3 变压器的运行规定

1.1.3.1 过负荷的一般规定

(1) 变压器允许的过负荷倍数和时间按照厂家说明书或现场运行规程掌握。

(2) 有缺陷的变压器不宜过负荷运行。

(3) 变压器的载流附件和外部回路元件应能满足超额定电流运行的要求，当任一附件和回路元件不能满足要求时，应按负载能力最小的附件和元件限制负载。

1.1.3.2 运行电压要求

变压器的运行电压一般不应高于 105% 的运行分接电压。

1.1.3.3 运行温度要求

油浸式变压器顶层油温一般不应超过表 1-1 规定（制造厂另有规定的除外）。当冷却介质温度较低时，顶层油温也相应降低。自然循环冷却变压器的顶层油温一般不宜经常超过 85℃。

表 1-1 油浸式变压器顶层油温一般限值

冷却方式	冷却介质最高温度 (°C)	最高顶层油温 (°C)
自然循环风冷	40	95
强迫油循环风冷	40	85

1.1.3.4 冷却装置的运行要求

(1) 不允许在带有负荷的情况下将强迫油冷却器（非片散）全停，以免产生过大的铜油温差，使线圈绝缘受损伤。在运行中，当冷却系统发生故障切除全部冷却器时，变压器在额定负载下允许运行 20min。当油面温度尚未达到 75°C 时，允许上升到 75°C，但冷却器全停的最长运行时间不得超过 1h。

(2) 同时具有多种冷却方式（如 ONAN、ONAF 或 OFAF）的变压器应按制造厂规定执行。如型号为 SFPSZ10-180000/220 的片散式变压器在各种冷却方式下允许长期运行的负荷如表 1-2 所示。

表 1-2 SFPSZ10-180000/220 型片散式变压器在各种冷却方式下允许的负荷

冷却方式	长期运行负荷允许值	冷却方式	长期运行负荷允许值
ONAN	63% S_N	OFAF	100% S_N
ONAF	80% S_N		

注： S_N 为变压器的额定容量，kVA。

(3) 油浸风冷变压器，风机停止工作时，允许的负载和运行时间应按制造厂的规定。

(4) 冷却装置部分故障时，变压器的允许负载和运行时间应按制造厂规定。

1.1.3.5 并列运行要求

(1) 变压器并列运行条件是：一次和二次额定电压分别相等或电压比相等，联结组别相同，短路阻抗百分值相近。

(2) 电压比不等或短路阻抗不等的变压器并列运行时，每台变压器并列运行绕组的环流应满足制造厂的要求。

(3) 短路阻抗不同的变压器，可通过调整分接头位置，适当提高短路阻抗大的变压器的二次电压，使并列运行变压器的容量均能充分利用。

1.1.3.6 三相负载不平衡

变压器三相负载不平衡时，应监视最大一相的电流。

1.1.3.7 共用中性点电流互感器

对变压器间隙过流保护与零序过电流保护共用中性点电流互感器时要求在变

压器投入运行时，中性点放电间隙保护应退出运行，合上变压器中性点接地刀闸投入零序过流保护（零序过流保护投入运行）。送电结束后，根据运行方式安排拉开中性点接地刀闸，投入间隙过流保护压板。间隙过流保护必须在变压器中性点刀闸合上前停用，拉开后投入。对变压器间隙过流保护采用间隙回路单独电流互感器时，在变压器中性点切换时，间隙过流保护压板可不用切换。

1.2 高压断路器

1.2.1 高压断路器的类型

高压断路器是变电站的重要设备，既用来断开或闭合正常工作电流，也用来断开或闭合短路电流。

高压断路器主要由导流部分、绝缘部分、灭弧部分和操动机构几部分组成。根据高压断路的装设地点，可分为户内和户外两种形式。按断路器使用的灭弧介质和灭弧原理可分为六氟化硫（ SF_6 ）断路器、真空断路器、油断路器（多油断路器和少油断路器）、空气断路器等。由于油断路器运行维护量大，且有火灾的危险，而空气断路器结构复杂、制造工艺和材料要求高，有色金属消耗量大，维护周期长等缺点，目前油断路器、空气断路器逐渐被 SF_6 断路器和真空断路器取代。操动机构应用最多的是液压机构、气动机构、弹簧储能机构。

1.2.1.1 SF_6 断路器

采用具有优良灭弧性能和绝缘性能的 SF_6 气体作为灭弧介质的断路器，称为 SF_6 断路器。这种断路器具有开断能力强、全开断时间短、体积小、运行维护量小等优点，但结构复杂，金属消耗量大，价格较贵。由于六氟化硫（ SF_6 ）断路器的优良性能，目前 35kV 及以上系统得到广泛应用，尤其以 SF_6 断路器为主体的封闭式组合电器（GIS），在高压电网应用广泛。

1.2.1.2 真空断路器

利用真空（ $133.3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下）的高介质强度来实现灭弧的断路器，称为真空断路器。这种断路器开断能力强，灭弧迅速，运行维护简单，灭弧室不需要检修。目前真空断路器在 10kV 配电系统得到广泛应用。

1.2.2 高压断路器的基本技术参数

1.2.2.1 额定电压（ U_N ）

额定电压是指断路器长期工作的标准电压。产品铭牌上标明的额定电压是指

正常工作的线电压。我国采用的额定电压等级有 6kV、10kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV 等。

考虑到输电线路的首、末端运行电压不同及电力系统调压要求，高压断路器又规定了与额定电压对应的最高工作电压 U_{alm} 。当 $U_N \leq 220\text{kV}$ 时， $U_{alm} = 1.15U_N$ ；当 $U_N > 220\text{kV}$ 时， $U_{alm} = 1.1U_N$ 。额定电压的高低影响断路器的外形尺寸和绝缘水平，电压越高，要求绝缘水平越高，外形尺寸越大。

1.2.2.2 额定电流 (I_N)

额定电流是指断路器长期允许通过的最大工作电流。电气设备长期通过 I_N 时，其发热温度不会超过国家标准规定值。额定电流的大小，决定断路器导电部分和触头的尺寸及结构，在相同的允许温升下，电流越大，则要求导电部分和触头的截面越大，以便减小损耗和增大散热面积。

1.2.2.3 额定开断电流

开断电流是指断路器在开断操作时，首先起弧的那相电流。额定开断电流是指断路器在额定电压下能保证正常开断的最大短路电流。它是标志断路器开断能力的一个重要参数。开断电流和电压有关。在低于额定电压下，断路器开断电流可以提高，但由于灭弧装置机械强度的限制，开断电流仍有一极限值，此极限值称为极限开断电流。

1.2.2.4 关合电流

当线路上存在短路故障时，断路器一合闸就会有短路电流流过，这种故障称为“预伏故障”。当断路器关合有预伏故障的线路时，在动、静触头接触前几毫米就发生预击穿，随之出现短路电流，给断路器关合造成阻力，影响动触头合闸速度及触头的接触压力，甚至出现触头弹跳、熔化、焊接以至断路器爆炸等事故。

短路时，保证断路器能够关合而不致发生触头熔焊或其他损伤的最大电流，称为断路器的关合电流。其数值以关合操作时瞬态电流第一个最大半波峰值来表示，制造部门对关合电流一般取额定开断电流的 $1.8\sqrt{2}$ ，即

$$i_{Nel} = 1.8\sqrt{2}I_{Nbr} = 2.55I_{Nbr}$$

断路器关合短路电流的能力与断路器操动机构的功率、断路器灭弧装置性能等有关。

1.2.2.5 t 秒热稳定电流

t 秒热稳定电流是指在 t 秒内，通过断路器使其各部分发热不超过短时发热允许温度的最大短路电流。它是标志断路器承受短路电流热效应能力的一个重要