

中等专业学校教学用书

工业企业
变电与配电

上册

鞍山冶金专科学校合编
吉林冶金电气化专科学校



中国工业出版社



中等专业学校教学用书



工业企业 变电与配电

上册

工业企业电气化专业适用

鞍山冶金专科学校 合编
吉林冶金电气化专科学校

中国工业出版社

本書內容分为四大部分，上册包括第一、二两部分；下册包括第三、四两部分。

在第一部分中，除了簡單介紹電力系統和我国電力事业发展概况外，着重对工业企业供电系統、高低压綫路、变电所和主要电器設備的构造原理作了全面而系統的論述；在第二部分中，討論了負荷計算、短路电流計算以及导綫和主要电器的选择的原理方法；在第三部分中，集中叙述了变电所的二次系統，包括繼电保护装置、操作綫路、信号綫路和自动与运动等；在第四部分中，叙述了整流所、电气照明、节约用电和防雷接地的問題。

本書由冶金工业部教育司推荐作为中等专业学校“工业企业电气化”专业教学用書。

工业企业 变电与配电 上册

(工业企业电气化专业适用)

鞍山冶金专科学校 合編
吉林冶金电气化专科学校

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市書刊出版事业許可証出字第110号)

地质印刷厂印刷

新华書店科技发行所发行·各地新华書店經售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $10^{3/8}$ ·插頁2 字数250,000

1961年7月北京第一版·1961年8月北京第二次印刷

印数1,434~2,746 定价(9—4)1.05元

統一書号: 15165·325(冶金—105)

前 言

本書系根据1959年冶金工业部制訂的中等专业学校“工业企业电气化”专业四年制教育計劃及鞍山冶金专科学校和吉林冶金电气化学校共同制訂的“变电与配电”教学大綱編写的。講授时数为178学时，其中并不包括課程設計、实验和練習時間。

現將本書的基本內容作如下的介紹，供教学中参考。

本書共十六章，分为四大部分：在前四章中，除了簡單介紹电力系统基本概念和我国电力事业发展概况外，着重对工业企业的供电系統、高低压綫路、变电所及主要电器設備的原理和結構作比較全面而系統的敘述，使学生首先对工业企业供电的实际情况得到比較完整和系統的了解。这样做，对于缺少一般供电知識的学生來說是很必要的，既可为全部課程的教学打下基础，也便于安排集中的時間进行認識实习或現場教学，使教学效果更好。从第五到第八章，着重討論了負荷計算、短路电流計算及导綫截面和主要电器的选择原理及方法。由于有前四章的知識基础，学生学习这一部分不但感到有的放矢和容易接受，而且对选择导綫和电器的理解更加全面。在第九至第十二章中，集中敘述变电所的二次系統。由于繼电保护装置、断路器操作綫路、信号綫路、自动和远动以及操作电源問題都有密切关系，又由于学生已經对变电所基本結構和供电运行情况有些了解，同时学生在“工业企业电气设备”課中已經具有对小功率电动机的繼电保护、操作綫路的知識和分析展开图的能力，所以进行这一部分內容的教学时，可以根据学生具体情况对教材作适当的精簡和綜合。但考虑到各校具体情况并不尽同，因此本書并未作較大变动。因为本書最后一部分的四章中，分別敘述了整流所、照明、節約电能和防雷与接地等內容。

本書以敘述本門課程最基本原理为主。有关实际安装、运行和設計等等更詳尽的經驗和方法，建議在講授、实习和設計中加以充实。

本書系吉林冶金电气化专科学校供电教研組高岑和鞍山冶金专科学校工业企业电气化教研組卞福民共同执笔，并經鞍山冶金专科学校工业企业电气化教研組集体审查討論。

編 者

目 录

第一章 緒論	6
1—1 电力系统一般概念	6
1—2 工业企业供电概述	7
1—3 电力网的电压級	9
1—4 电力事业发展概述	9
1—5 工业企业变电与配电的目的和任务	11
第二章 电器	12
2—1 电弧和电器中消弧原理	12
2—2 高压断路器概說	14
2—3 多油式断路器	15
2—4 貧油断路器	18
2—5 高压空气断路器和自动产气开关	21
2—6 多油、貧油和空气断路器的比較	23
2—7 高压断路器的传动装置	23
2—8 隔离开关	27
2—9 負荷开关	30
2—10 空气自动开关	32
2—11 熔断器	33
2—12 电抗器	34
2—13 电流互感器	35
2—14 电压互感器	37
第三章 工业企业供电系統	41
3—1 中点不接地和中点接地的三相系統	41
3—2 高压架空綫路	43
3—3 高压电力电纜的敷設	47
3—4 工业企业厂区供电方式	48
3—5 工业企业車間供电方式	54
3—6 車間低压綫路敷設	56
3—7 变电所的一次結綫	58
第四章 工业企业变电所結構	64
4—1 总降压变电所	64
4—2 車間变压所	76
第五章 負荷計算	82
5—1 負荷曲綫的基本概念	82
5—2 按需要系数法計算最大計算負荷	84
5—3 按二項式法求最大計算負荷	86
5—4 变电所容量估算	88

第六章 导线截面选择	91
6—1 按发热条件选择导线电缆和母线截面	91
6—2 熔断器的作用及其额定电流的选择	93
6—3 导线的电阻和感抗	96
6—4 电压损失	98
6—5 电压损失计算	101
6—6 按允许电压损失选择导线截面	105
6—7 按最少有色金属需要量和允许电压损失选择导线截面	106
6—8 摩擦导线截面的选择	109
6—9 按经济电流密度选择导线截面	109
第七章 短路电流	112
7—1 概说	112
7—2 由无限大容量供电的短路电流	115
7—3 发电机突然短接的电压电流过渡过程	117
7—4 相对单位制	120
7—5 高压回路主要元件相对电抗的计算	120
7—6 短路电流的计算	124
7—7 两电源与短路地点间的电距离不相同, 短路电流的计算	127
7—8 两相短路电流的计算	131
7—9 感应电动机对短路电流冲击值的影响	132
7—10 电压在1000伏以下的短路电流计算	132
7—11 短路电流的电动力效应	134
7—12 母线电动应力计算	134
7—13 短路电流热效应和短路电流假想时间	136
7—14 用图解法决定短路电流作用下导体的温度	140
第八章 电器选择	143
8—1 概说	143
8—2 开关电器的选择	144
8—3 电流互感器的选择	147
8—4 电压互感器的选择	150
附录	151

第一章 緒 論

1-1 電力系統一般概念

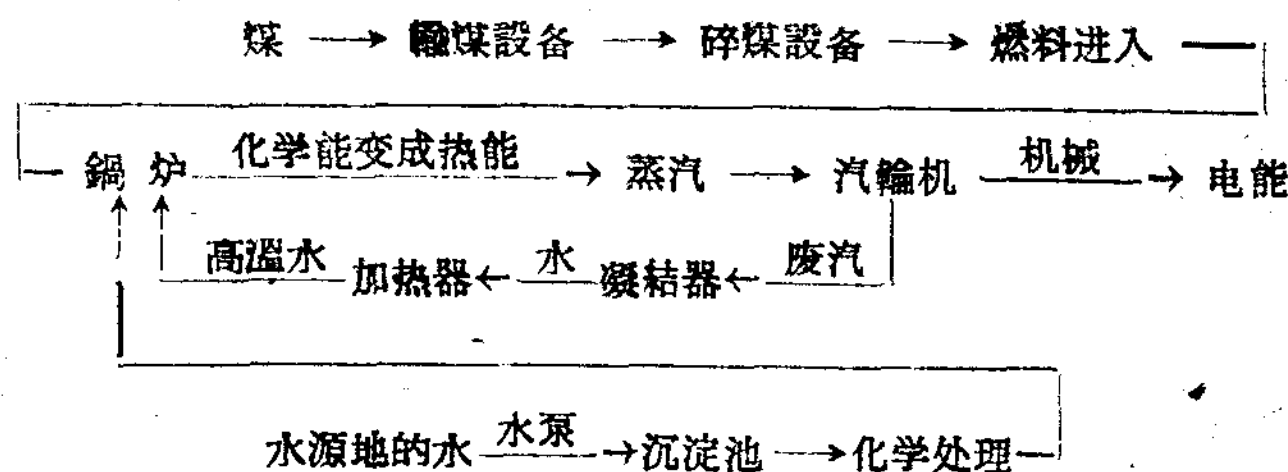
由電力網和熱力網所連接起來的許多發電廠、變電所和用電用熱設備的總體，稱為動力系統。動力系統由兩類元件組成：1. 輸送元件，其主要任務是輸送能量，如電力綫路、發電廠和變電所的配電設備、熱力管道等；2. 變換元件，其主要任務是：將一種形態的能量變換為另一種形態的能量，如鍋爐、汽輪機、發電機和電動機等。

電力系統是動力系統的一部分，由發電機、配電設備、變電所和電力網以及用戶的用電設備所組成。電力系統並不包括熱力和水力系統。

(一) 發電廠是產生電能的工廠，是電氣化的物質基礎。

火力發電廠借熱力機械將燃料的熱能變成機械能，再由發電機將機械能變成電能。

下面是一般工業發電廠的生產過程示意圖：



熱電廠。為了充分利用熱能，提高電廠的熱經濟性，因而設有熱電廠。它既發電又供熱，一般設在用熱中心地點。

水力發電廠是將天然河流的水能變成電能。為了利用河流的能量，必須在建設水电站的地点造成一個集中水頭。就是說要在水電廠的上下游構成水位差。水沖動水輪機即把水能轉變成機械能，轉動發電機而變成電能。

水流的理論功率為：

$$N = 9.81QH \text{ 千瓦}$$

式中 Q ——流量（米³/秒）；

H ——水頭（米）。

大型水電廠的功率很大。蘇聯古比雪夫水電廠、我國小豐滿、新安江等水電廠，如果用相同容量的火電廠來代替，則一年要多消耗好幾千萬噸煤。水電廠發電成本比火電廠低得多，但是在建設上投資大、工期長，資金周轉期也長。

原子能電廠。在原子鍋爐中，鈾原子核分裂而放出大量熱，然後把熱用導熱物質傳到“換熱器”，使換熱器中水管中的水變成蒸汽，用蒸汽推動汽輪機。

因為鈾的消耗量很小，所以它可以建立在離水力資源和煤區很遠的地方。

蘇聯早已建成容量為5000千瓦的原子能電廠，又將建成總功率為42萬千瓦的原子能電

厂。我国在1958年大跃进中，已建成原子反应堆，使原子能开始为和平建设服务。

(二) 电力网是输送和分配电能的装备，由变电所和各种不同电压的线路组成。它的任务是将发电厂生产的电能输送和分配到用户。

电压不超过110千伏，供电距离不大于50公里的电力网，称为地方电力网，例如一般工业企业、城市和农村电力网等；而电压更高和供电距离更远者为区域电力网。

随着电力工业的发展，把各个孤立的发电厂联成电力系统，并且进一步把这些较小的电力系统结成庞大的联合电力系统。由电力系统向工业企业、城市等用户供电具有高度的可靠性和经济性（图1—1）。

(三) 变电所就是由电力变压器为主和一些配电设备组成，用为变换电压的场所。配电站与变电所不同，没有电力变压器，而只有配电设备。在一般情况下，变电所与配电站合而为一。

大型发电厂中装有升压变压器，把发电机与高压电力网联接起来（图1—1中的A变电所）。

区域变电所的作用是由电力系统的主要电力网受电，用来供电给大区域，其中包括若干工业区、城市和农村用户。其一次电压为110~600千伏，二次电压为35~110千伏。区域变电所也往往把两个不同电压级的电力系统联系起来，起着强力枢纽作用（图1—1中的B变电所）。

地方性变电所由电力系统受电，有时也由本地发电厂受电。它的作用是将35千伏及其以上的电压降低为3~10千伏，供电到一个城市或一个工业区。在工业企业中，它就是所谓总降压变电所，是工业企业供电的枢纽（图1—1中的C变电所）。

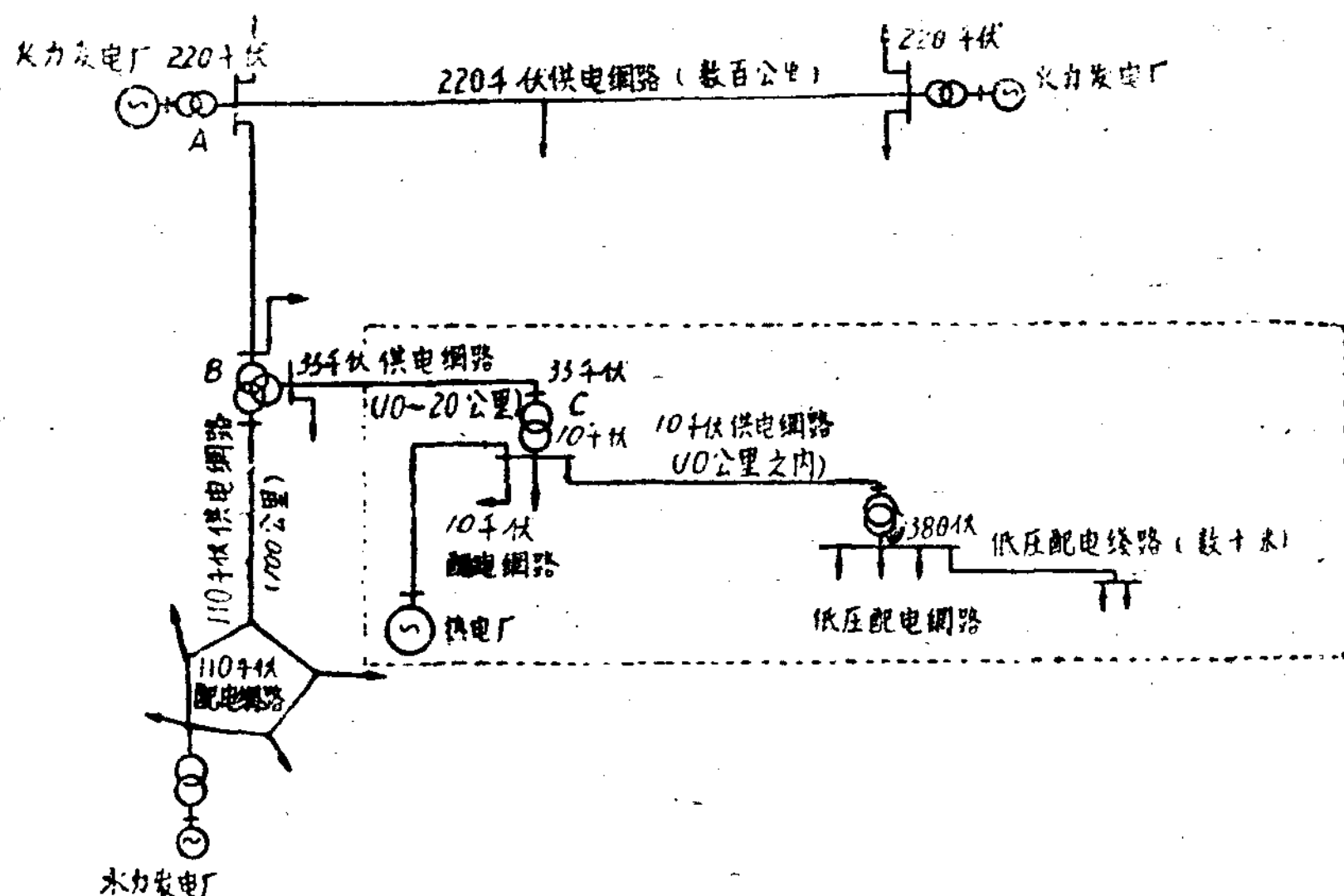


图 1—1 电力系统示意图（虚线范围内表示工业企业供电系统的一部分）

1—2 工业企业供电概述

电能的主要用户是工业企业。工业企业内部的供电系统是由高压及低压线路、变电所、变流所和用电设备所组成的。它的任务是按所需电力的数量和规格要求，将电能从电源输送和分配到用电设备。

工业企业供电系统一般是联合电力系统的一部分（图1—1）。也就是说它主要从联合电力系统受电。钢产量在10万吨以上的冶金企业通常由两个电源供电，以保证供电的充分可靠。小型冶金企业一般仅由电力系统供电。

只有在下列情况下，才考虑自备发电厂：

- 一、企业位于离电力系统较远的地点，或电力系统容量不足；
- 二、必须有自备电厂作为备用电源者；
- 三、建立自备热电厂在经济上有显著优越性者。

对小型企业来说，主要考虑第一种情况。

在大型冶金联合企业中，设有几个总降压变电所分担着企业内部几个供电区的供电，但它们之间也有电的联系。在中型冶金企业中，一般只有一个总降压变电所；而小型企业则可以由相邻企业供电或设有简单变电所由电力系统受电，视具体情况而定。

在大型或中型企业的总降压变电所中，一般设有二台电力变压器，其容量达几万千伏安。总降压变电所把电压降至3~10千伏送到各个车间变电所或其他用户。供电范围在几公里之内。

在一个生产车间中，根据生产规模和用电情况等条件，设有一个或几个车间变电所。在变电所中设有一台或二台（一般不超过三台）容量不超过1000千伏安的电力变压器，将电压变为380和220伏等低电压，并送至各个小功率用电设备。对功率较大的用电设备可以用3~10千伏供电（如高压大型电动机等）。车间供电范围在几百米之内。

为了供应大功率直流电力（例如电气机车、有色冶金车间、某些化工车间、离子拖动等等需要直流），必须设立整流所。整流所中设有电动发电机组或水银整流器等整流设备。整流所一般是与变电所合并在一起。

电力变压器和配电设备是变电所的主要电气装备。所谓配电设备就是用来分配电能的电气装置，其中包括开关设备、保护电器、测量仪器、母线和辅助设备。在这些设备中以具有灭弧装置能够切断大电流大功率线路（达到几万安培、几百兆伏安以上）的断路器最为重要。在总降压变电所高压侧的高压断路器是仅次于电力变压器的贵重设备。在变电所中，继电保护装置的任务是及时反映和使断路器正确地切除故障线路，保证供电的安全和可靠。

工业企业高压线路主要作为厂区间输送电能之用。高压线路尽可能地采用架空线。但在企业内部，由于厂房和建筑物和铁道运输网较多，所以一部分地区必须采用地下电缆。低压线路多在车间内部，利用低压电缆、穿管敷设的导线或明设导线送电到用电设备。在车间内的低压供电距离虽不远，但用电设备多，配线也多，功率不大电流却大，所以有色金属消耗量却会超过高压网路。因此，正确地选择车间变电所的数量和位置以及配电系统是很复杂而重要的工作。

在工厂中，几乎全部采用电气照明。电气照明线路与动力线路是分开的，但是它们尽量由一台变压器供电，例如380/220伏三相四线制。对事故照明来说，必须有可靠的独立电源来供电。

使用自动重合闸和备用电源自动合闸，提高了供电的可靠性；当使用自动重合闸时，线路发生故障就使断路器开闸（停电），而后又自动再合闸（再送电）；而使用备用电源自动合闸，则当供电电源因故障而停电时，将自动地由备用电源供电。近年来又采用遥控、

遙測和遙信裝置，可以在一個控制中心來監視各個變電所的工作情況，並且可以進行調度電力的操作。

1—3 電力網的電壓級

為了節省有色金屬，500伏以下電壓網路的供電半徑不超過0.5公里；3~10千伏者約為5~10公里。供電功率很大、距離又遠（數十或數百公里）的電力網電壓就更高（35、110、220千伏或更高）。由於電氣設備生產標準化，電氣設備的標稱電壓就必須統一。發電機和用電設備的標稱電壓必須分成若干等級。電力網的標稱電壓與用電設備的標稱電壓相等，並且也分成若干電壓級。

由於供電綫路在饋送負荷電流時，綫路上產生電壓損失，所以發電機的標稱電壓值高於電力網的標稱電壓，用以補償綫路電壓的損失。發電機標稱電壓一般高出電力網電壓5%。電力變壓器的二次標稱電壓高出電力網標稱電壓10%。其原因是電力變壓器的二次標稱電壓是對空載而言。當變壓器在滿載時，由於綫圈本身的電壓降落，其二次綫圈的端電壓較空載時約低5%。

有時，也用供電綫路平均標稱電壓 U_{cp} 來表示電壓等級（如在短路電流計算時即用平均標稱電壓——見第七章）。所謂平均標稱電壓就是供電綫路的初端最大電壓和終端電壓最小值的平均值，例如標稱電壓為110千伏的電力網的平均標稱電壓為 $U_{cp} = \frac{121 + 110}{2} = 115$ 千伏。

在輸送同樣功率時，導綫所用的有色金屬量，隨着電力網電壓級的提高而降低。但是提高電力網電壓後，電力網的控制和運行所須的儀器和投資也隨之增大，對技術水平的要求也高些，所以在選擇電力網電壓時，必須全面考慮。

當一綫對地的電壓在250伏以上的電壓稱為高壓；否則稱為低壓。380/220伏中性綫接地的電力系統為低壓。在車間內，以及人們經常接觸到的電氣設備，均應以低壓運行。一些小功率電動機，應採用低壓者。

1—4 電力事業發展概述

我國在第一次世界大戰後，曾建立了一些發電廠。但是在解放前，由於反動政府的統治和帝國主義的侵略壓迫，我國電力事業限於殖民地性質，發展速度平均每年不過2%。到1949年每年發電量不過43億度，裝機容量只有185萬千瓦。外國投資約占70%，官僚資本占30%。並且電廠也都集中在帝國主義直接控制下的沿海城市中，劃分供電勢力範圍，分區割據，供給規格互不相同的電力，以保持自己的經濟勢力和電氣設備傾銷市場。甚至在一個城市中、各區之間、各“租界地”之間供電規格就不相同。例如交流頻率有60、50及25赫，還有用直流作為居民用電；在電壓級上就有1.1、2.2、5.5和33千伏等十七種以上各種不同的電壓級。幾乎不可能形成較大電力系統，嚴重的限制了我國電力事業的發展。只有在社會主義國家，才能從整個國民經濟的全面發展來考慮電力事業的建設問題。從蘇聯和我國電力事業的飛躍發展情況來看，更突出表現了它的系統性、計劃性和整體性。充分根據和利用本國的自然環境條件，全面規劃安排整個國民經濟中各項事業的發展。對於大用戶的位置作合理分布，同時考慮到發電廠的位置和輸電網路的布局。在蘇聯

表 1-1 标 称 电 压

	受电器			发电机		变压器				供电线路		说明 (一般使用范围)
	直流	50 赫 交流		直流	50 赫 三相交流	单相		三相		平均 标称电压		
		单相	三相			一次	二次	一次	二次			
低电压装置 (伏)	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	蓄电池电压 蓄电池电压交流12伏, 用在潮湿场所工作条件不良的安全照明 明蓄电池, 变电所中信号设备和继电保护装置上使用 工业中局部照明上使用 (如车床照明) 同24伏直流电 大型变电所自用电 (如事故照明, 信号设备, 继电保护装置等) 一般照明及小型电器使用 很少使用220/127伏为三相四线制系统, 可用在照明等 380/220伏为三相四线制。作为动力、照明及变电所自用电
	12	12	—	—	—	—	—	—	12	—	—	
	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	36	36	—	—	—	36	—	—	—	—	
	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	110	—	—	115	—	—	—	—	—	—	—	
	—	110	—	—	—	—	110	—	—	—	—	
—	127	127	—	133	127	133	127	133	—	—	—	
220	220	220	230	230	220	230	220	230	230	230	—	
高电压装置 (千伏)	—	—	0.38	—	0.4	0.38	0.4	0.38	0.4	0.4	—	电动机 直流电动 现很少使用动力电 工业企业内部供电电压, 即在工厂区域之内供电电压 大型电动机也可用此高压 6~10 千伏供电线路, 供电范围半径在10公里之内 供电范围半径10~20公里。35千伏以下网路, 一般称为地方网路 供电范围半径约100 公里
	0.44	—	—	0.46	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	0.5	—	0.525	—	—	0.5	—	0.525	—	
	—	—	3	—	3.15	—	—	3	—	3.15	—	
	—	—	3	—	3.15	—	—	3.15	—	3.15	—	
	—	—	6	—	6.3	—	—	6	—	6.3	—	
	—	—	6	—	6.3	—	—	6.3	—	6.3	—	
	—	—	10	—	10.5	—	—	10	—	10.5	—	
	—	—	10	—	10.5	—	—	10.5	—	10.5	—	
	—	—	60	—	—	—	—	60	—	—	—	
	—	—	35	—	—	—	—	35	—	37	—	
	—	—	110	—	—	—	—	110	—	115	—	
	—	—	154	—	—	—	—	154	—	—	—	
—	—	220	—	—	—	—	220	242	230	—		
—	—	330	—	—	—	—	330	363	—	—		

由于电压频率早已标准化，所以巨大的联合电力系统不断形成。在一些资本主义国家，例如美国，电压级过多，频率还没有完全统一，不但影响电力系统的联合而且电机、电器生产规格也很繁杂。

我国在解放后国民经济恢复时期，对原有的电力工业进行了巨大的恢复与改造工作。经过第一个五年计划时期的生产改革和大规模建设，到1957年全国发电量已达193亿度，装机容量已达463.5万千瓦；新建和扩建了一大批火力和水力电厂，还建设了一批热电站。输电线路增加4781公里，变电所设备增加406万千瓦安。新电厂的建成和一些电力网的形成，使我国电力工业原来在地区分布上极不合理的状况有了很大的改变。在西北地区，发电设备比过去增加了16.8倍，在西南地区也增加了2.7倍。

在大跃进的1958年一年之内，全国发电量又增加42.5%；装机容量约等于第一个五年计划全部新增设备容量的四分之三。

我国解放后的前十年之中，在党的领导下，电力工业飞跃发展，发电设备增加了3.6倍，发电量增加了8倍以上。在全国形成110千伏及其以上的高压电力系统达25个，包括了全国80%的发电设备。由于我国电力工业迅速发展，工业用电容量也大大增加，电气化的规模迅速扩大，电气化水平也大为提高，许多冶金企业的电气化程度已达世界水平。

1—5 工业企业变电与配电的目的和任务

电力是工业企业生产的主要动力和能源。由于电动机构造简单，工作可靠，能制成任何容量，控制方便，所以电动机已经成为工业企业中最主要而且应用最广泛的原动机。在生产自动化设备中，几乎全都采用了如继电器，电动开关，电工测量仪器，以及电子计算机等电的设备和仪器。企业中的通讯，调度，运输和照明等也几乎全都使用电力。近年来，由于我国铁合金工业和有色冶金工业的发展，电解电热所消耗的电能，日益增多。

解放前，我国的工业落后，所以也没有研究工业企业供电技术的学科。解放后，由于电力事业迅速地发展，新的工厂企业不断建成，为了减轻工人的体力劳动，提高生产率，大力推行了生产机械化与电气化。尤其对自动化的新企业，必须可靠地、安全地、经济地将电力供应到各种各样的用电设备上，以保证社会主义建设不断跃进。其次在设计上如何正确选择供电方案和导线电器设备等问题，也成为工业企业供电方面的专门内容了。

在工业企业电气化专业中，设置本科的目的，就是有系统的学习冶金企业（以黑色冶金企业为主）供电装置的维护，安装及简单设计所需的基本知识，作为进一步研究和解决供电中的实际问题的基础。

第二章 电 器

2-1 电弧和电器中消弧原理

开关电器的主要性能之一是消弧能力。当开关开断电路时，互相分离的两个触头間发生电弧。开关电器的任务是迅速消弧切断线路电流。在电器的标称电压下，开关电器都有一定的最大断弧能力（开断电流值）。超过开关电器的开断能力，电器本身可能发生严重的损坏，和使各相载流部分、导线和绝缘子发生电弧閃絡、以及发生接地故障。

大多数开关电器的电弧是这样发生的：当开关电器的触头分开时，在它們之間便形成电场。加到触头上的电压愈大和触头間距离愈小，則电场强度愈大；在触头分离之初，它們之間的距离很小，因此电场强度很大；在电场力作用下，电子便从触头表面拉出。电子在电场作用下，在两触头間加速运动，其能量达一定值时，碰撞中性分子（原子）而使气体游离成正负离子。由于碰撞游离又得到新的自由电子，在电场作用下，能繼續扩大碰撞游离效应。触头間由于离子导电性，即产生电流，这种情况进一步发展即可形成电弧放电。

电弧的温度很高（約 3000°C ），在高温下弧隙中的气体分子（原子）动能增加，互相碰撞之中也能产生热游离，这样弧际的离子数大为增加，两触头間电导大为增加。

阴极表面受到正离子的打击，温度升高可以产生电子的热放射。阴极材料的熔化温度与沸腾温度愈高，則阴极的发热和与此相应的电弧燃烧时热放射的值和作用便愈大；如碳、钨、铜作成的阴极就是如此。当阴极为沸腾温度不高的铜触头，热放射的作用較小，并且当电弧不断的沿铜电极表面移动时，阴极仍是相当冷的。

在高温下能产生金属蒸气，气体中只要有少量金属蒸气，就严重的降低气体的游离电位，并使游离作用加强，增加消弧的困难。

电弧电流与电弧电压（两触头間的电压）成反比；所以电弧电阻与电弧电流的平方成反比。这是因为电弧电流愈大，电弧温度愈高，热游离作用愈强，触头間电导愈大，維持电弧的电压也就愈低（关于电弧的伏安特性，可参看“电工基础”一書）。

沿电弧的电压并非均匀分布的。在阴极附近有很多正离子集結在一起，形成空間正电荷，靠阴极附近的电弧电压降較大，尤其是短电弧，电弧电压大部份分布在阴极附近。

消弧主要措施是去游离，使正负离子复合成为中性质点，以及使离子向弧际外面扩散来减少离子数，削弱弧际电导，为促进去游离作用，創造一些有利条件：

1. 冷却电弧——既促进复合也加强了扩散。

由于温度的降低，离子运动速度都降低了，不但减少热游离作用，同时复合作用也增强。

降低电弧温度，使电弧和其周围介质的温度差增大，引起质点的迁移现象——从温度高的部分向温度低的部分移动；也同时因为电弧内部和外部离子的浓度不同，促使电弧内部的离子不断向外飞跑到周围介质中去。这就是离子扩散。用任何一种較冷的、未游离的

气体吹动电弧时，扩散和复合都得到加强。气体吹入电弧区域内时，气体分子发生极快的热运动。如果气体温度因电弧燃烧而达到一定程度，气体分子互相碰撞，分离成原子，就吸收大量热量，强烈地冷却了电弧。利用高游离电位和高导热率的气体（如氢、二氧化碳和水汽等）吹弧效果好。

将电弧导入冷的介质、或将电弧分成许多排直径较小的平行电弧、以及将电弧拉长等办法，都能促进离子复合和扩散。

2. 迅速减小单位长度电弧电压——例如迅速拉长电弧，使触头间的电压不足以维持电弧的燃烧而致电弧很快的熄灭。

3. 利用固体介质帮助离子复合——由于电子是较活动的质点，不易与运动速度很低的正离子复合，所以先使它与固体介质相遇，使固体介质充负电子，提高介质的负电位。这时固体介质可以排开周围的负离子而吸引正离子，并与它复合。

创造上述的条件的方法有下列几种：

1. 利用特制的弹簧增大开断触头分离的速度。

2. 用空气或其他气体吹弧。气体吹弧有横吹及纵吹两种。以横吹的作用比较有效，因为这时，电弧被迫沿气流方向迁移，就增大电弧的长度和它的表面积，同时也使气流和电弧接触得更紧密，电弧的冷却效应较好，离子扩散作用也较大（图2—1）。

3. 利用电动力使电弧移动，起电磁横吹的作用。

图2—2中所示是利用电弧受它本身各部分电流间的电动力作用，以及电弧电流和开关的载流部分中电流的电动力作用，因而发生移动（也会因电弧周围热空气上升迫使电弧顺气流方向移动）。

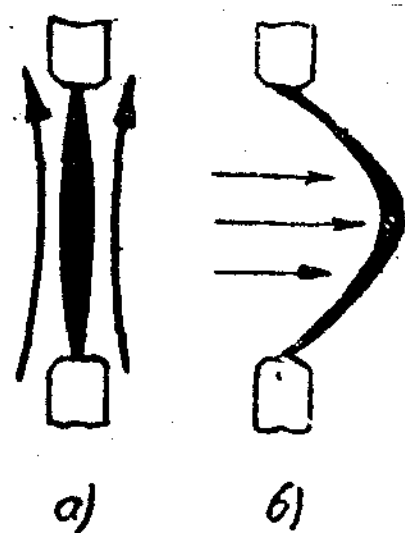


图 2—1 纵向(a)和横向(b)吹弧

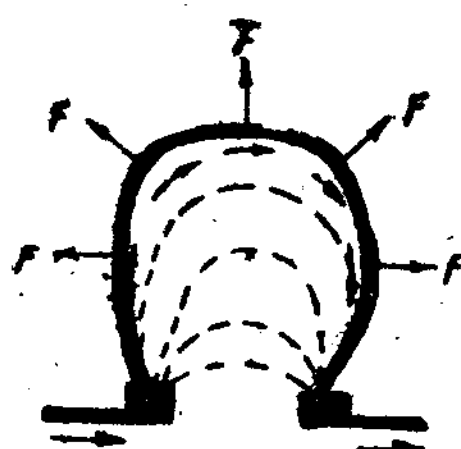


图 2—2 在电动力作用下电弧的伸长

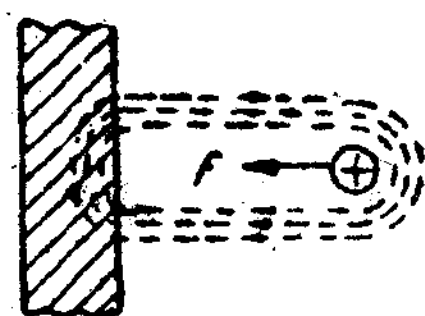


图 2—3 在磁性材料影响下电弧的移动

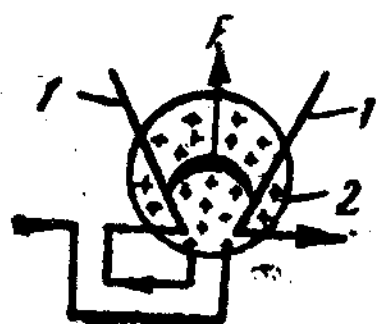


图 2—4 在磁吹影响下电弧的移动

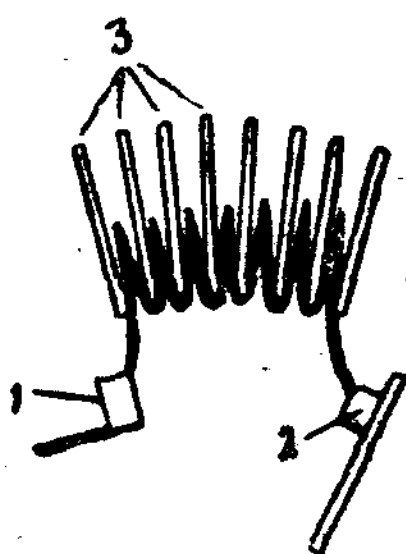


图 2—5 用耐弧绝缘材料制的灭弧栅
1—固定触头；2—可动触头；3—灭弧栅。

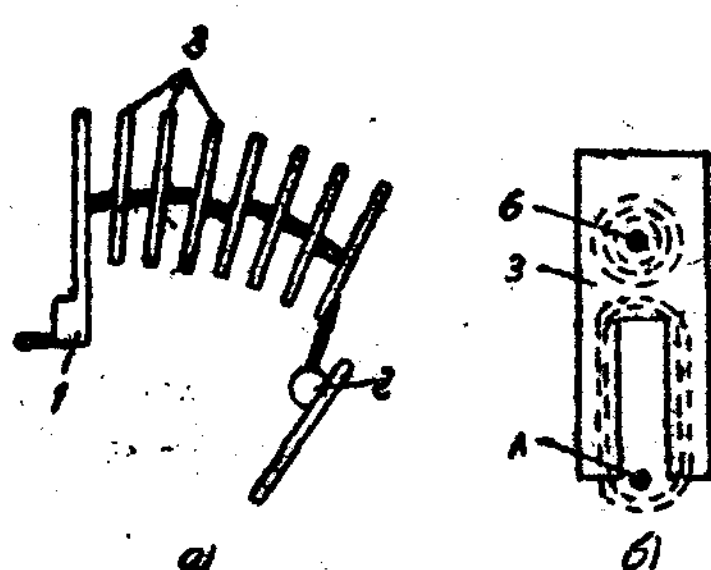


图 2—6 (a) 用金属片制成的灭弧栅；(b) 带矩形缺口的灭弧栅片

图2—3中所示是利用电弧电流和磁性材料间的相互作用，磁性材料受电弧电流磁场影响而磁化，增强磁场磁感应强度，故电弧受电磁力的拉力而移向磁性材料。

图2—4是磁力吹弧的另一种情况。触头上装置两根钢管制的导弧角1，另外有线圈2，这线圈与电弧是串接的，线圈所造成的磁场与电弧垂直，因此所产生的电磁力使电弧沿弧角向上移动。

4. 引导电弧和固体介质相接触的最普通一法是利用耐弧绝缘材料的灭弧栅。利用磁吹把电弧驱入灭弧栅中去，不但加强冷却作用而且加强离子复合作用（图2—5）。这种方法一般用在电压在10千伏的开关电器之中。

5. 把粗大电弧分裂成若干并列截面较小的细电弧。用一排绝缘板顺着电弧纵长的方向排列，形成许多纵长的间隙，当电弧进入栅板后，即被分割成一些并列细小电弧，加强冷却和消电离作用。

6. 对于电压为380伏以上10千伏以下或电压低而电流很大的开关电器，可利用平行金属片所构成的灭弧栅（图2—6），将电弧割成若干短电弧。结果每个短电弧都有一个阴极。前面已提过，电弧的电压降主要集中在阴极和阳极。如果触头间所加的电压小于所有短电弧电压降的总和时，则电弧很快熄灭。

交流电弧比直流电弧容易熄灭。每当电流经过零值时，电弧即熄灭。此时如果去游离作用很强，两触头已离远，两极间电压不足以击穿触头间绝缘介质，则电弧不会再度发生。对于低压开关（如220伏）交流电弧是容易熄灭的。只有当触头发热，即切断大电流时，电弧才会延长燃烧时间。

在电感负载时，电弧电流比较难以切断。因为电弧电流为零时，触头电压上升的很快（电路中产生自感电势），容易再度击穿两极触头而发火。

在交流情况下，围绕电弧和电弧空间的气体以及电极材料的优良热传导性，能使电弧容易消灭。所以以铜触头较宜。

2—2 高压断路器概说

高压断路器是高压装置中最重要的电器，用来使高压电路在负载下通路和断路，以及在短路时断路。

高压断路器的最重要的参数，是用来说明它的断路能力的标称断路电流 $I_{OTK \cdot HOM}$ ，即在开关的标称电压下，遵照一定的操作循环，并且不使发生妨碍开关继续正确工作的任何损害时，开关所能可靠地截断的最大电流。在不同的电压下，而其余条件不变，开关都有一定的最大断路电流，则称为极限断路电流 $I_{OTK \cdot O}$ 。

开关的断路能力也用标称断路功率（切断容量）来表示：

$$S_{OTK \cdot HOM} = \sqrt{3} U_{B \cdot HOM} I_{OTK \cdot HOM}$$

式中 $U_{B \cdot HOM}$ 为开关的标称电压。

当装置电压不同于开关的标称电压时，用断路功率来表示：

$$S_{OTK} = \sqrt{3} U I_{OTK}$$

式中 U 为装置电压。

所谓“操作循环”是指在确定标称断路电流时，开关应按一定开断的循环来试验：

$$O-180-BO-180-BO$$

式中 O——开关自动断开短路电流的操作；

BO——从断路状态接通短路电路而随后馬上再切断短路电流的动作；

180——操作之間的时间間隔（秒）。

在断开操作后，由自动驱动机构无延时的立即将开关閉合，称为瞬时自动重合。允許在瞬时自动重合綫路上工作的开关，还要經受下面的試驗循环：

BO—O—BO；

BO—O—BO—15—BO；

BO—O—BO—15—BO—60—BO。

經過循环試驗，开关不会有任何损坏或故障。

帶有驱动机构的开关的断路时间是从通电到驱动机构断路綫圈起到电弧彻底熄灭为止这时间来决定的。显然这段时间包括驱动机构和断路器动作时间和电弧熄灭时间。

低速断路器的断路时间約0.15~0.25秒，其中驱动机构和开关的动作时间約0.1~0.15秒；高速开关的断路时间約0.05~0.08秒，而驱动机构和开关动作时间約0.03~0.05秒。

高压断路器有下列几种：

1. 多油式断路器；
2. 貧油式断路器；
3. 空气开关和自动产气开关；
4. 負荷开关（只能切断負荷电流，不能切断短路电流）。

2-3 多油式断路器

多油式断路器是高压断路器中最普通的一种。小型多油式断路器构造很简单，就是将断路器的触头部分浸在油里。油盛在一个大桶中。油的作用主要有二：就是起絕緣作用（触头之間、載流部分与断路器外壳之間）和熄弧作用。在电弧的高温影响下，其四周的油就会气化，电弧就在充气的空間中燃烧，这个空間的气体中含有70%的氢，氢气有利于熄弧。图2-7表示多油式开关的基本結構和工作原理。

电弧发生时，气体的气压达2~4大气压，气体膨胀时，就挤迫絕緣油上升，空气区域10（图2-7）成为压力的緩冲空間。沒有緩冲空間就可能在油箱的压力增大时发生爆炸。

因为温度很高的氢气一旦遇到空气（緩冲空間的空气）就会引起燃烧爆炸，所以触头必須深在油面之下，这样可以冷却电弧所引起的可燃气体的气泡。

断路器內的油面，不能过高（減少了緩冲空間），也不能过低。

过于頻繁的开断和合閘，能使油开关爆炸，就是因为可燃气体产生的太多，未及冷却

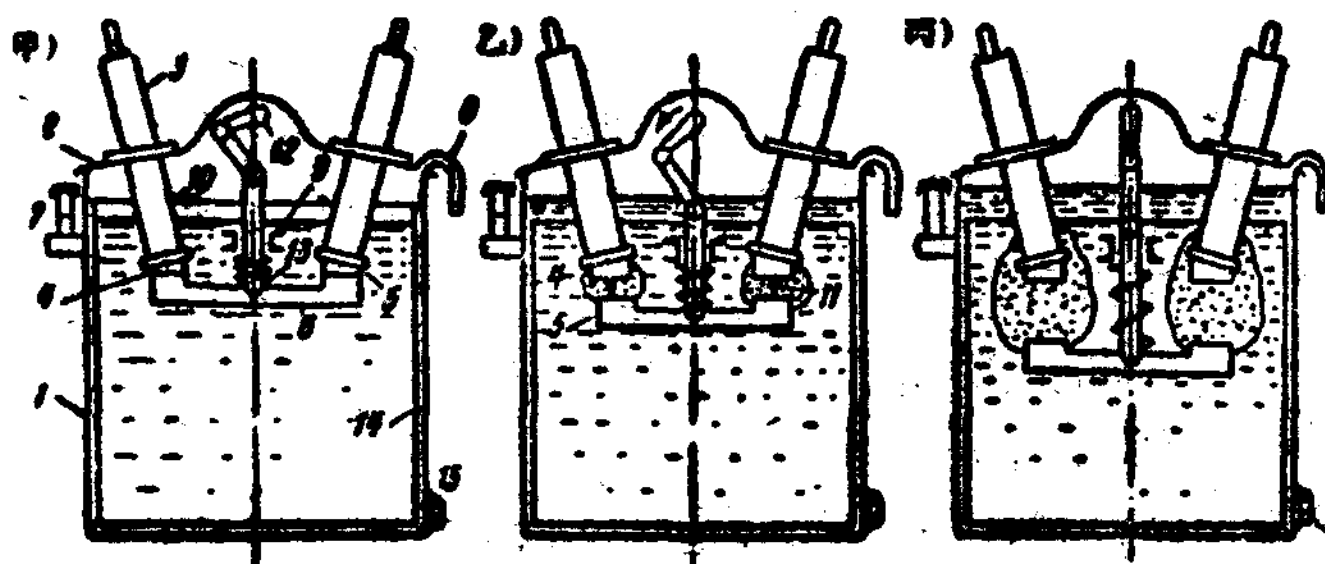


图 2-7 多油式开关的略图和其工作原理

甲—閉合情况；乙—开断的起始；丙—开断的終了

1—油箱；2—盖；3—套管絕緣子；4—固定触点；5—活动触点；6—橫臂；7—油面指示器；8—导气管；9—油面；10—緩冲空間；11—在气泡內燃烧的电弧；12—传动机构的曲柄；13—开断弹簧；14—胶合板或胶木的絕緣墊衬；15—取油样用的旋塞（或插塞）

而与空气混合引起燃烧。

图 2—8 所示的 DN1-10 型油开关（苏联型号为 BME-10 型）就是一种简单的多油式开关，象这样的一类开关，只能使用在电压不超过 10 千伏，开断较小的短路电流的线路上（切断能力不超过 100 兆伏安）。

为了切断更大的短路功率，通常采用有特种灭弧装置的多油断路器，也就是在触头上装上灭弧室（图 2—9）。灭弧室完全浸在油内。从灭弧方法上，可将灭弧室分为四种：

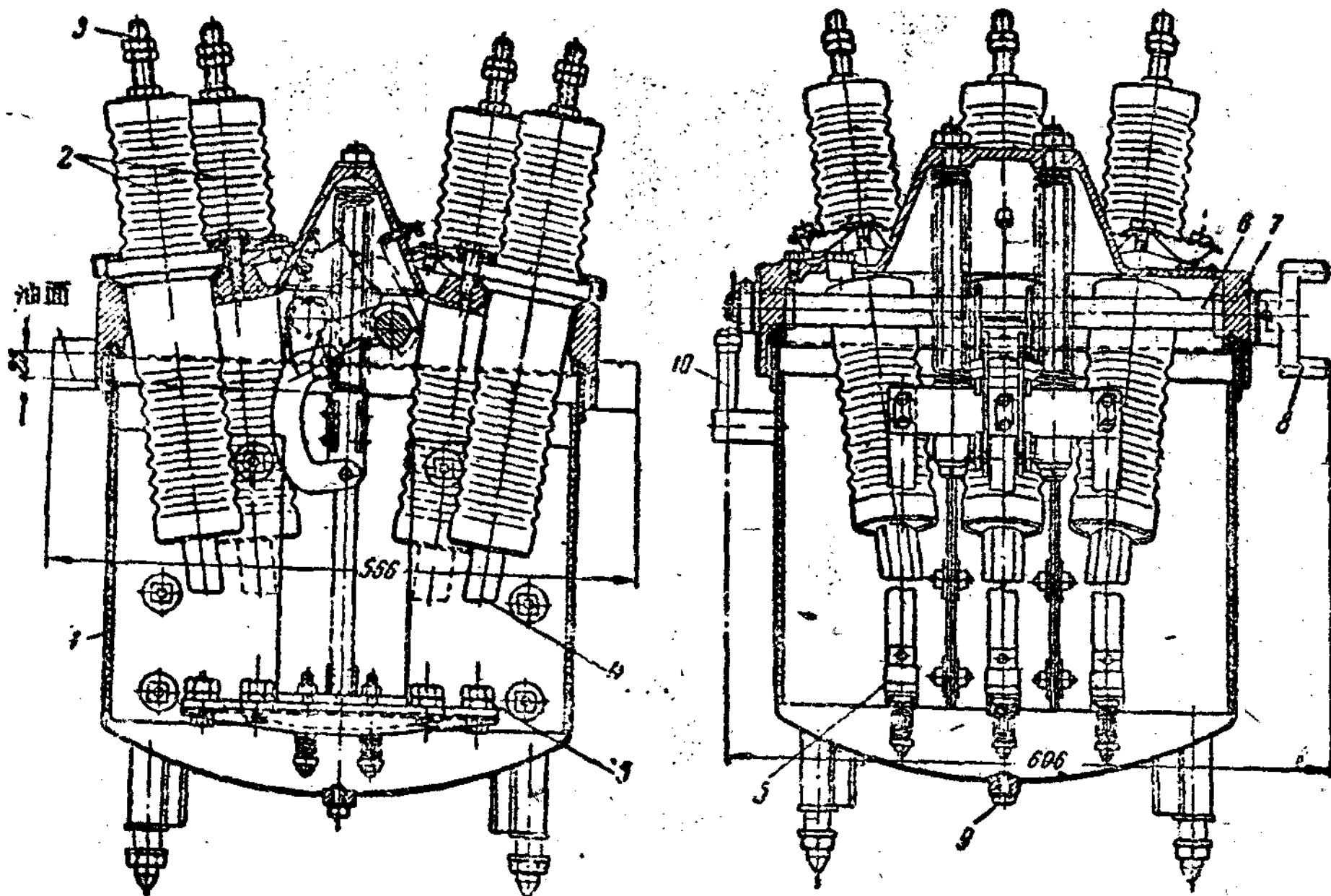


图 2—8 10 千伏，600 安，100 兆伏安的 DN1—10 型油开关

1—油箱；2—瓷绝缘子；3—导电杆；4—固定触点；5—活动触点；6—轴；7—盖；8—断路器与其传动机构的连接叉；9—放油及取油样的塞子；10—油面指示器

1. 用沿弧体的气吹——纵向气吹灭弧室，这种灭弧很少使用；
2. 用沿弧体的油流吹弧——纵向油吹灭弧室；
3. 用横向弧体的油流吹弧——横向油吹灭弧室；
4. 在油中的狭缝内——纵缝灭弧室（去离子栅）。

灭弧室的作用是：

1. 电弧燃烧时所生的压力，大部分由灭弧室室壁来承受，所以对开关油箱的压力就减少了；
2. 上升到缓冲空间的气体的速度较小，所以得到较好的冷却，因而使爆炸的危险性大为降低。

图 2—10 表示横向油吹灭弧室灭弧的过程。当断路器开断时，可动触头杆 3 与固定触头 2 分离，电弧的形成增加油的压力，缓冲空间 6 中的空气被压缩；当可动杆继续下移时（B, Γ, A 图），横缝 5 便一个个地开放，于是发生激烈的横向油吹，极迅速地吹灭电弧。DW 型（MKII 型）油断路器即利用此种灭弧室。开断容量达 2500 兆伏安或更多；电压达 35 千伏或更高。在工业企业中，多用于总降压变电所。