

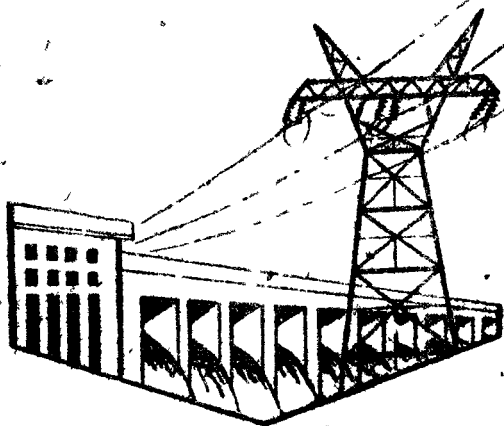
技工学校交流讲义

水电站电气设备

上册

水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校编

学校内部使用



中国工业出版社

本书分上下两册，上册内概述了短路的原因、瞬变过程与后果；着重阐述水电站主结线、厂用交直流系统及厂用电设备、电气布置、电站的监测系统、开关操作与信号系统；附录中介绍了电工图种类与图例图号。下册的内容是继电保护与自动化装置。

有关变压器、各类开关等电气设备在本书前面只有简略的介绍，为避免重复，考虑放在电气安装里一起叙述，水利水电建设总局编的水电站机电设备安装丛书之六“电气设备安装”一书可承接本书。

本书内容结合现场实际，除用作水电电力技工学校教材外，还可供现场培训及水电站电气安装、检修、运行人员参考。

本书上册由杭州水力发电安装技工学校电气教研组楼永仁等编写，并经水利水电建设总局戴君年等审查。

水电站电气设备

上册

水利水电建设总局杭州水力发电安装技工学校编

*

水电技工学校教材编辑组编辑（北京阜外月坛南露房）

中国工业出版社出版（北京阜成路丙10号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印张6插页4·字数121,000

1961年11月北京第一版·1961年11月北京第一次印刷

印数0001—1900·定价(7-2)0.61元

*

统一书号：15165·946(水电-150)

目 录

| | |
|--------------------------------|----|
| 第一章 水电站及其电气设备概述 | 1 |
| 第一节 水电站及其工作状态略述 | 1 |
| 第二节 水电站主要电气设备简介 | 4 |
| 第三节 额定电压、额定电流和额定功率 | 15 |
| 第二章 短路电流 | 18 |
| 第一节 短路的原因和后果 | 18 |
| 第二节 短路过程概述 | 20 |
| 第三节 短路电流的限制 | 23 |
| 第三章 水电站的电气主结綫 | 27 |
| 第一节 概述 | 27 |
| 第二节 单母綫以发电机电压配电的結綫 | 29 |
| 第三节 有升高电压供电水电站发电机电压側結綫型式 | 31 |
| 第四节 升高电压側的各种結綫方式 | 34 |
| 第五节 系統中性点工作状态 | 45 |
| 第四章 水电站的厂用电綫及厂用电设备 | 49 |
| 第一节 水电站厂用电概說 | 49 |
| 第二节 厂用电交流装置結綫 | 50 |
| 第三节 水电站厂用电直流装置的結綫 | 54 |
| 第四节 电站照明供电与事故照明自动切换 | 62 |
| 第五节 厂用电设备 | 63 |
| 第五章 水电站的配電装置 | 80 |
| 第一节 概述 | 80 |
| 第二节 水电站厂房布置及戶內配電装置 | 81 |
| 第三节 成套配電设备 | 86 |
| 第四节 戶外配電装置 | 92 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第六章 水电站的監視測量系統 | 92 |
| 第一节 互感器結綫 | 92 |
| 第二节 仪表的結綫 | 103 |
| 第三节 准同期装置監測仪表結綫 | 109 |
| 第四节 直流电路絕緣的監視 | 115 |
| 第五节 溫度的測量 | 120 |
| 第六节 水輪发电机轉子絕緣測量装置 | 128 |
| 第七章 水电站的开关控制設備与信号設備 | 131 |
| 第一节 开关的操作回路 | 131 |
| 第二节 信号装置 | 143 |
| 第三节 防止隔离开关不正确操作的联鎖机构 | 149 |
| 附录 电路图、电器的图形代号、电工二次結綫的标 号系統 | 156 |
| 一、电路图概說 | 156 |
| 二、二次回路图的种类 | 156 |
| 三、电器的图形代号 | 158 |
| 四、水电站电工二次回路的标号系統 | 173 |

第一章 水电站及其电气设备概述

第一节 水电站及其工作状态概述

水力发动机——水輪应用到生产中，在我国已有好几千年的历史，但是，旧中国几千年来封建統治，致使解放前我国的科学技术处于非常落后的地位。

水力发电就是利用水輪机，将水所具有的压力能量及水流的速度能量轉变为机械能，并带动发电机而产生电力。

图 1-1 示出水电站的截面图，由堤坝 1 維持着高水位的水，經水管 4 进入水輪机的螺旋形机壳 6，接着到水輪机轉子 7，然后經過泄水管 11 自由地泄到低水位 3，水从高水位到低水位时，获得很大的速度并将能量傳給水輪机轉子而轉动起来，因为发电机的軸与水輪机的軸是用法兰盘或其他連接設備連接起来的，所以发电机被带动发出电力来。

发电机发出电力的大小，是决定于堤坝前后的水位之差（水头）与单位時間內流到水輪机的水（流量），水头越大，亦即水的位能越大，流量越多，則水的效能也越大，发电机发出的电力可用下式表示：

$$N = 1000QH\eta \text{ 公斤米/秒} = 1000 \frac{QH\eta}{102} \text{ 瓩}$$

式中 N ——发电机发出的电功率；

Q ——流量，立方米/秒；

H ——水头，米；

η ——效率。

我們知道，用戶用电的情况是在不断变化的，比如电动

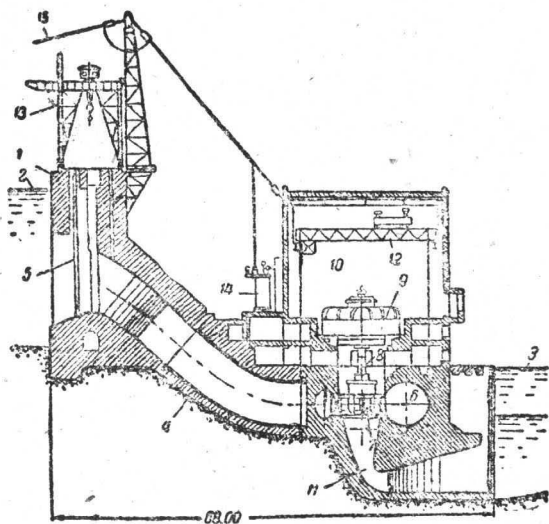


图 1-1 水力发电厂的截面图

1—堤坝；2—高水位；3—低水位；4—水管；5—闸门；6—螺旋形机壳；7—水轮机转子；8—水轮机轴；9—发电机；10—发电机间；11—水轮机泄水管；12—行车；13—闸门用起重机；14—升压变压器；15—高压线路。

机、电灯、工业用电热等的工作状态，都是逐时，逐日，逐月变动，因此发电厂发出的电力不得不跟着变化，以适应用户的需要，所以用水力来发电需要建造一个水库，用来积蓄水量，并根据用电情况而进行发电，只有这样，才能更好地利用水能。

显然一个水电站在一时间內能发出的电量与水库容量和蓄水的情形有关，这就使得水电站的工作与很多因素有关，例如降雨的季候，丰水或是干旱的年份等。为了使水流得到最经济有效地利用，通常将水电站与火电站同时联结在

公共电网上工作，当水电站水量最多，能发出很多的电能的季候(如洪水季节)，将火力发电厂的负荷适当降低，充分利用水流的能量(此时为了减少弃水，常将所有机组投入运转)，将大量的电能送入电网，而大大节省火电厂煤的消耗，降低电能成本。当河内水量不大时，将大部分负荷转移给火力发电厂，同时在水电站的水库内进行蓄水，水电站的这种工作状态称为季候调节。如果水力发电站的蓄水库较小，或者河内水量每天的涨落很大，则采用所谓昼夜调节(或日调节)，水库中的水利用的时间较短，在一昼夜内某几个小时当系统负荷最大的时候(所谓尖峰负荷)，起动机组，若我们用图形来表示，作直角坐标，横轴代表观察负荷变动的時間，纵轴代表电力负荷，画出电力负荷随時間变化的曲线叫做负荷曲线，如图1-2所示，则我们可以看出，担负尖峰负荷的水电站是工作在负荷图形的上部，并且使得火电厂的工作情况就变得比较平稳，这对电力系统的运行是很有利的，因为若单靠火电供电，那么火电厂的工作就不得不跟着变化，火电厂的机组启动(要燃煤，预热锅炉等)不如水电站那样快(水电一般为分钟左右)，而且在启动时，特别耗费燃煤，所以火电厂工作变化愈频繁，则它发出每度电的煤耗以致电能的成本亦愈高，而水电站机组启动非常方便，大部分是自动化的，只要有昼夜调节的水库，进行水量调节，就可以担负时刻变化的尖峰负荷。如果水电站具有较大的水库容量(多年

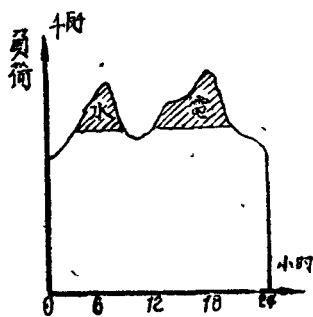


图 1-2 水电站担负尖峰负荷的情况

調節水庫)，足以保證有足夠的水量以全部功率長期工作時，則可以擔負系統中的基本負荷。

舉例如圖1-3示出動力系統全日負載曲線，圖中表明各類發電廠負荷分配的大概情況。

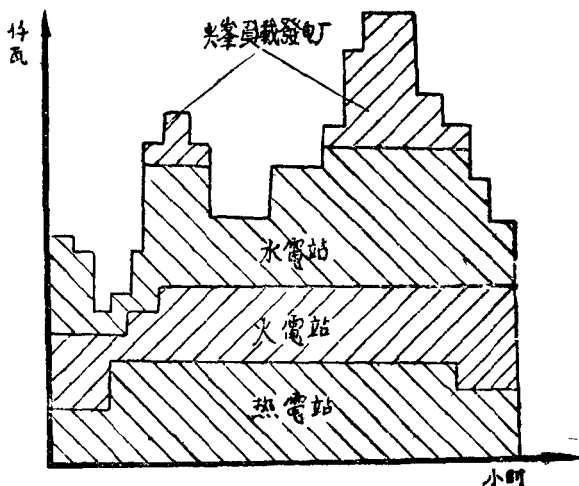


圖 1-3 電力系統全日負載曲線和各種電站間負荷分配

第二節 水電站主要電氣設備簡介

這一節先來認識一下水電站的主要電氣設備。我們從聯系着水電站主要電氣設備的電路圖出發，圖 1-4 示出一個發電廠的主電路圖，圖上注有字母 T 的圖形代表水輪發電機，它是水電站產生電源的設備，電站裝機共 4 台，發電機所發出的電力，經引出的開關設備 B 到 10.5 千伏的總匯流母綫，然後經升壓變壓器 T，將電壓升高到 110 千伏，由 2 路架空

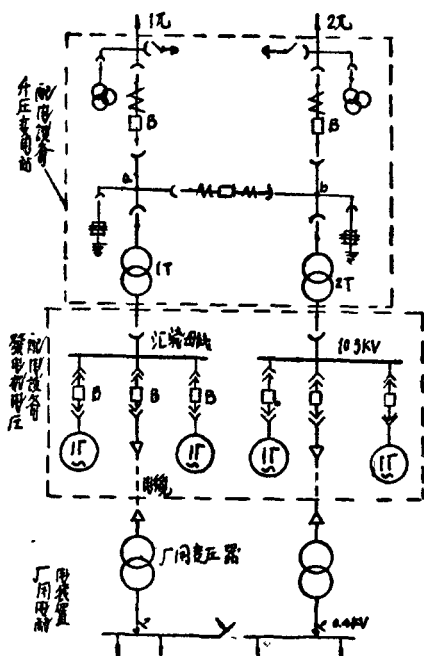


图 1-4 高压发电厂的主要电路图

輸电綫 II 将电力傳送出去，图中还示出厂用电源部分，两台将电压从 10.5 千伏降低到 0.4 千伏的厂用变压器，从 10.5 千伏总汇流母綫經开关装置 B，用电綫引至厂用变压器的。

水輪发电机，是由水輪机作原动机而带动，发电机軸大多是与水輪机軸直接相連，按其布置的不同，可分成臥式与立式两种，臥式的水輪发电机它的主軸与水平面平行，立式的主軸与水平面垂直。通常大型机組为立式的多，发电机結構可以分成两个部分，一为固定的部分，包括定子机架、軸

承、通风冷却设备等，另一为转动部分，称转子。

大型发电机的定子是电枢，其最外层由几块半圆铸钢或钢板转焊而成，圆筒内用很多弧形的薄矽钢片迭成一个圆环，在圆环的内圆上，有很多开口的沟槽，用以放置电枢绕组，绕组本身由矩形断面的铜线所组成，如图1-5所示。

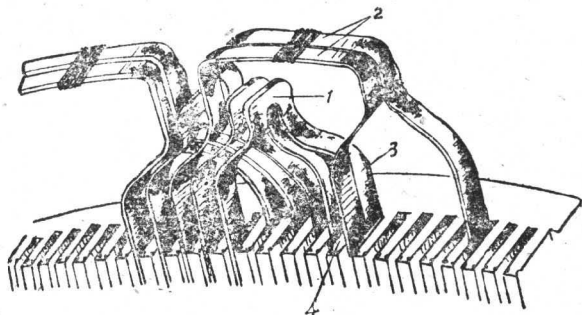


图 1-5 水轮发电机定子

大型电机的转子是电机的磁极部分，由于水轮发电机的旋转速度一般较小，在 $60\sim 750$ 转/分，所以磁极对数多(4~50)，并通常做成凸极式的(图1-6)，大型水轮发电机中最重要的部分之一就是轴承，它必须能够支持住转子本身的巨大重量，此外，还要承受进入水轮机的水的反作用力。支撑轴向压力的轴承，称为推力轴承，根据推力轴承与发电机转子的配置位置不同，而有两种结构，见图1-7甲为悬吊式水轮发电机，它的特点是发电机的推力轴承装在发电机的上部机架上，发电机通常有两个导轴承，即上导轴承与下导轴承，有时上导轴承与推力轴承结构合并在一个油槽里，图1-7乙为伞式水轮发电机，推力轴承装在转子下面的下部机架上，发电机通常只有一个下导轴承在下部机架里。

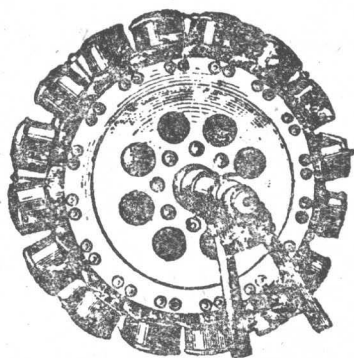


图 1-6 水輪发电机轉子

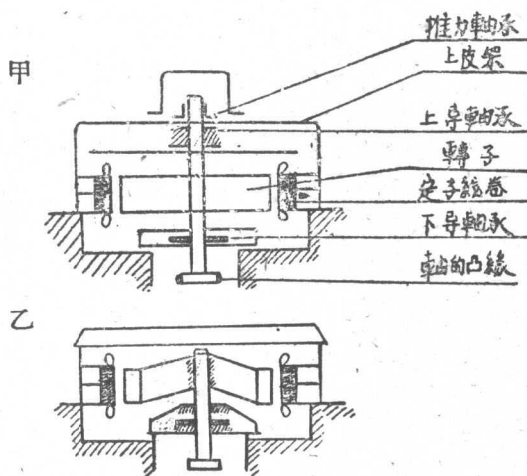


图 1-7

甲—悬吊式；乙—伞式水輪发电机。

此外在水輪发电机的上部，同軸联接着励磁机与永磁机（图中未示出），励磁机为产生供給轉子磁場的激磁电流，是一个直流发电机，永磁机乃是一个同步发电机，专门用来供給带动調速机离心錘的同步电动机的电源用的。

水电站通常离用戶較远，所以，发出的强大的电能，都要远距离輸送出去，只有借助于变压器升高电压，才能使远距离輸电有了实际的可能，此外为供給厂內用电，还装置着厂用变压器，不过它是用来降低电压，滿足厂內用戶的需要。

在电力系统中所采用的是三相交流电，因此在三相系统中，电力变压器按其結構組合可分为单相的与三相的，一台三相变压器比同容量的三台单相变压器，价格上要便宜得多，所占的位置要小，并且运行維護上也較方便，所以三相变压器是最經濟的，在水电站里，除非因制造，运输及安装条件受限时，才考虑采用单相的变压器。

按照冷却的方式不同，电力变压器又可分为油浸自冷，油浸风冷以及强迫油冷却与水冷却等数种，图1-8示出在电站中常用的两种电力变压器的外形。

在图1-4电路中的高压开关B，是用来在正常使用的情况下，使电路接通和断开，并且在发生事故时，使电路自动断开，开关的操纵是利用特种操作机构来进行的，这种机构并使开关維持在合閘状态中，在发生事故时，开关的自动跳閘是用一种专门的继电保护装置来实现，（我们将在第八章內討論继电保护装置）。

高压开关按其使用的場合和条件不同，而制造有很多种类，主要可以分为，少油量开关，多油量开关，空气开关三种，少油量开关用在戶內，多油量开关用在戶外具有更大

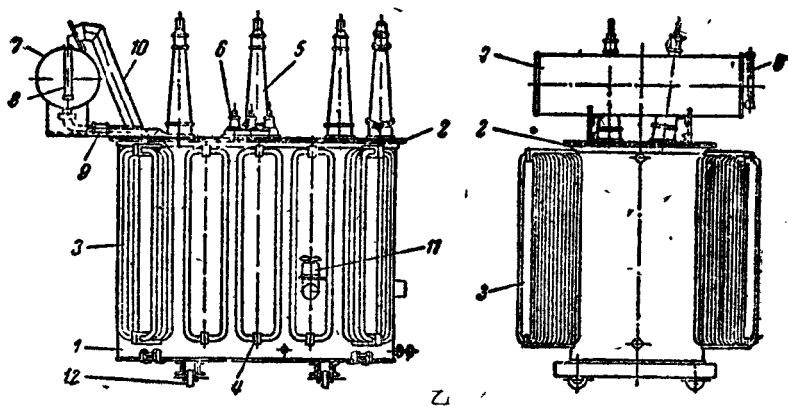
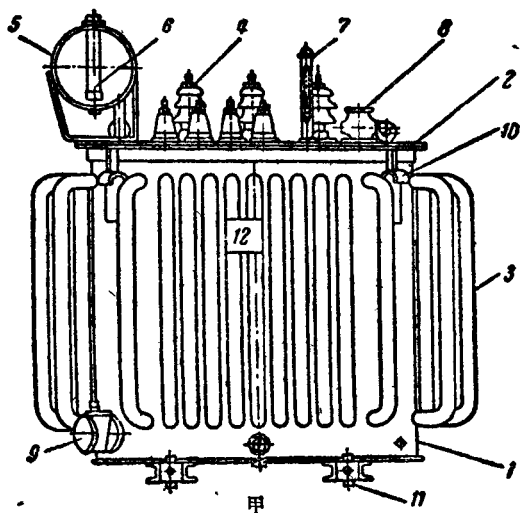


图 1-8 电力变压器

甲—具有多管式油箱的自然冷却三相变压器；乙—具有管形辐射器的强迫空气冷却变压器。

容量与更高的电压，因此其价格亦比少油量昂貴得多。

电器設備有时需要从电路中折出进行檢修与調整，如我們在电路图 1-4 上若需对綫路 1// 上的高压油开关 B 进行檢修时，則必須跳开 B 而切断电路，这时，电路 1// 虽已被切断，不再有电流通过，但是我們仍然还不能对高压开关 B 进行檢修，因为無論是开关的变压器側或綫路 1// 側（当有电源反饋时）都有电压存在，工作人員一旦触及，即电击伤亡，因此还必须使高压开关 B 与变压器側和綫路側的联接切断，在电路图上，这可由开关 B 兩側設置着的隔离开关拉开后来实现。

隔离开关就是用来为了各高压电器和电机或裝置的整个元件（綫路，电力变压器等）的修理、清洗、調整、替換等工作进行时，将需要进行工作的部分与有电压的其余部分可靠地断路。在这里必須特別提出的是，隔离开关照例不用来使有負荷的电路通路和断路，而只用来将已由高压开关断开而沒有电流通过的元件通路和断路，若錯誤地将隔离开关用于开合电路，由于隔离开关本身不具有消灭电弧的能力，因此会造成电力系统的事，这是极其危险的。

在例外情况下，也容許隔离开关来使小功率电路通路和断路，但是必須滿足隔离开关触头上不发生电弧的条件。例如，容許将隔离开关用来使电压互感器通路和断路，用来使 35 千伏以下，长度不大于 10 千米的架空綫和 10 千伏以下，长度不大于 5 千米的电纜綫的充电电流通路和断路（如果通路或断路时电网內沒有一相接地），并用来使变压器的无载电流通路和断路（当电压在 10 千伏以下时功率达 320 千伏安，电压 35 千伏时达 1000 千伏安，电压 110 千伏时达 3200 千伏安）。

綫路上的隔离开关具有接地閘刀：用来将綫路在修理时

短路接地,接地閘刀合上时,綫路上不会由于靜电荷和开关的錯誤投入等原因而出現对于修理人員危險的电压,綫路隔离开关主閘刀与接地閘刀的操作机构,平时机械的联鎖起来,使接地閘刀不可能在主閘刀通路时投入。

图1-9示出,在电站中常用的数种高压开关与隔离开关。

电路图中的总汇流母綫是用来接受电能和分配电能,通常是用距形截面(也有用槽形)的銅排或鋁排作成,固定在絕緣瓷瓶上。

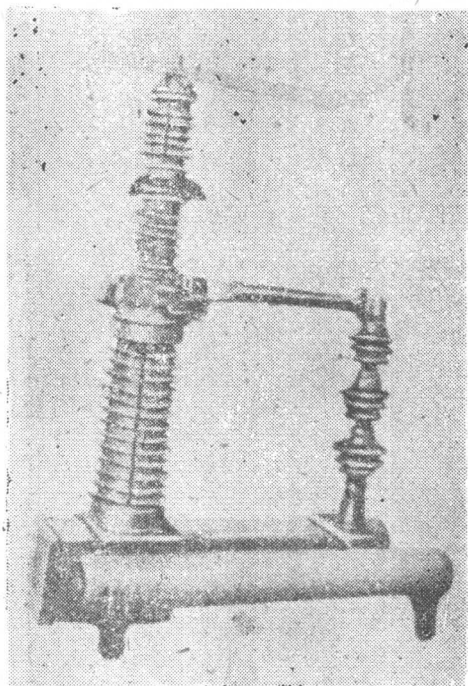


图 1-9甲 KW1-110型空气开关

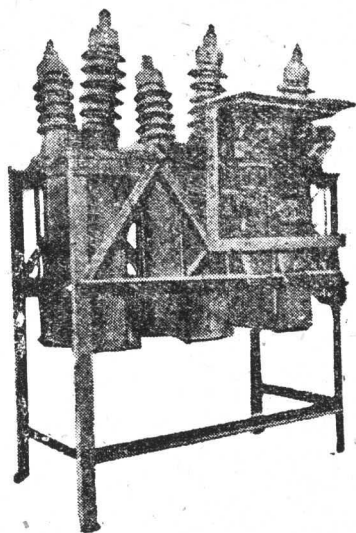


图 1-9乙 DW1-35型高压多油量开关

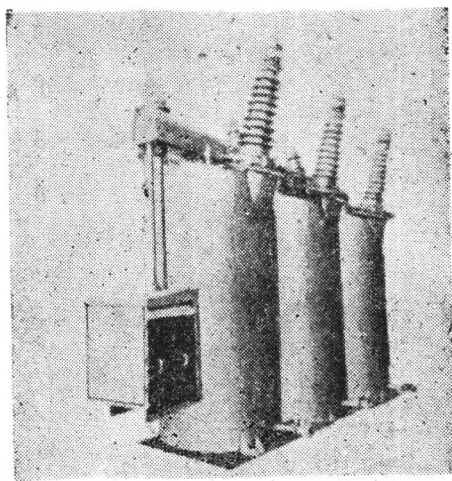


图 1-9丙 DW3-110型高压多油量油开关

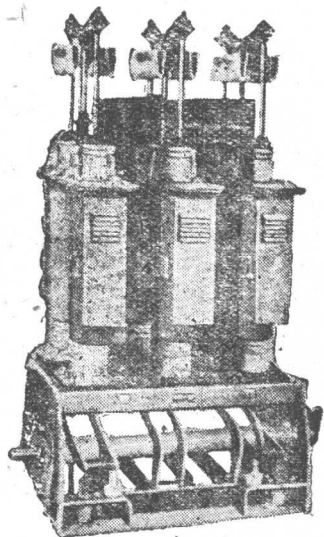


图 1-9丁 SN3-10型高压少油量油开关

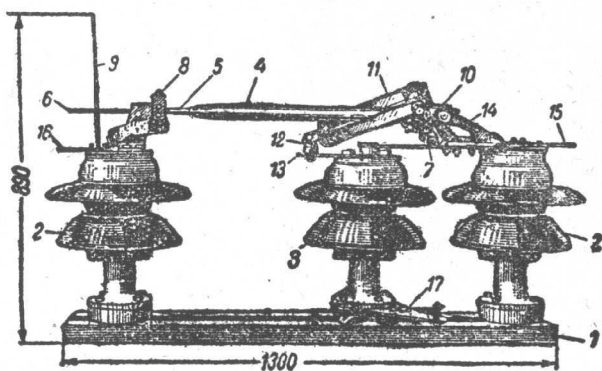


图 1-9戊 户外装置用三极隔离开关的一相