

高等学校教学用书

大型变流装置

苏联 Г. А. 利夫金著

电力工业出版社

高等学校教学用书

大型变流装置

苏联 Г. А. 利夫金著
朱有鼎翻译 姚承三校订

苏联高等教育部批准作为高等学校动力和电工院系的参考书

电力工业出版社

本書敘述各種主要類型的變流所（為牽引、電解、離子驅動、直流遠距離傳輸等所用的變流所）的電力設備的運行方式和故障情況。

在研究運行方式的基礎上，介紹控制設備、自動裝置、保護裝置、測量和維護設備的線路圖和結構形式。

本書可供變流所的設計、安裝及運行方面的工程技術人員參考，也可供高等學校電工專業學生參考。

本書主要由朱有鼎同志翻譯，姚承三同志校訂。閻善福和鄂奎純兩同志也擔任了部分翻譯工作。

Г. А. РИВКИН
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1951

大型變流裝置

根據蘇聯國立動力出版社1951年莫斯科版翻譯

朱有鼎翻譯 姚承三校訂

*

448D 162

電力工業出版社出版（北京府右街26號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

787×1092¹/₂ 開本 • 10 1/8 印張 • 184 千字 • 定價（第10類）1.50 元

1956年11月北京第1版

1956年11月北京第1次印刷（0001—6,600冊）

序 言

在叙述本書內容时，假定讀者已熟悉了水銀整流器的基本原理、結構和它的供电系統，以及高压电器及配电設備的基本知識。因此，本書內容完全環繞着与变流裝置直接有关的主要問題，同时，在这些問題上所闡明的也仅仅是容量比較大的裝置；因为小容量的裝置——半导体整流器、閘流管和充气管——都具有不同的特性。这些小容量裝置在其他有关書籍中叙述。

因为本書篇幅有限，而又必須充分地說明原則性的問題，所以只能叙述一些主要型式的变流裝置(如用在牽引、电解、电力驅動和电能傳輸的变流裝置)，对其他一系列同样具有重要意义的裝置(例如無綫电設備、电焊、調頻和变頻等的供电裝置)并未涉及，运行和檢修規程也沒有列入本書。

对校訂者 B. K. 克拉比溫的宝貴指示表示衷心感謝。

——作 者——

目 录

序 言

第一章 緒 論	6
1-1. 变流裝置發展概述	6
1-2. 現代大型变流裝置的特性	10
1-3. 变流裝置的部件和元件	10
第二章 变流器的主要型式与其优缺点的比較	15
2-1. 变流器的主要型式	15
2-2. 水銀整流器的分类	20
2-3. 水銀整流器和电动發電機組的主要技术經濟特性的比較	22
第三章 整流器的电压調整	28
3-1. 柵極調整	28
3-2. 引燃管电压的調整	38
3-3. 交流側电压的調整	40
3-4. 直流逆变为交流	43
第四章 整流器的負荷参数及負荷特性	46
4-1. 整流器的負荷参数	46
4-2. 外特性曲綫	49
4-3. 整流器的并列运行	51
4-4. 水銀整流器的無效功率消耗及功率因数	53
4-5. 逆变状态时的極限負荷	58
4-6. 效 率	59
4-7. 整流器供电系統对負荷参数及負荷特性的影响	60
第五章 变流裝置的故障情况	67
5-1. 变流裝置故障情况的一般特性	67
5-2. 交流側的短路	68

5-3. 直流側的短路	69
5-4. 逆 弧	72
5-5. 過電壓	80
第 六 章 整流器運行時電流及電壓波形畸變的影響	81
6-1. 交流電流內所含的諧波	81
6-2. 一次電網電壓中的諧波含量	83
6-3. 一次電網的諧波對發電廠內發電機的影響	84
6-4. 考慮電容時交流供電電網內的現象	86
6-5. 直流側的諧波含量及其濾平	88
6-6. 對電話綫路的影响	91
6-7. 等值多相制的形成	92
第 七 章 研究裝有可控制離子變流器的變流裝置工作的圖解分析法	95
7-1. 實際計算時可容許的簡化	95
7-2. 整流狀態下圓圖的繪制和應用	96
7-3. 逆變狀態下圓圖的繪制和應用	100
第 八 章 輔助設備	104
8-1. 點弧和勵弧	104
8-2. 柵極控制的設備	107
8-3. 真空的維持	109
8-4. 水銀整流器的溫度情況的保持	111
8-5. 具有和整流器同一電位的輔助設備的控制和供電	118
第 九 章 測量和監視設備	120
9-1. 直流側的測量	120
9-2. 交流側的測量	123
9-3. 真空的測量	123
9-4. 監視設備	125
第 十 章 故障情況下的保護措施	127
10-1. 保護裝置的用途	127
10-2. 對保護裝置的一般要求	128

10-3. 交流側的保护設備	130
10-4. 速动柵極保护	133
10-5. 快速开关	137
10-6. 保护裝置的原理示意圖	146
第十一章 变流所的自动化	152
11-1. 变流所自动化的优点	152
11-2. 变流所备用元件的自动化	154
11-3. 整流器輔助設備的自动化	158
11-4. 整流器起動和停止的自动化	161
11-5. 自动調整	162
第十二章 变流所自用电	163
12-1. 变流所自用电系統的分类及特性	163
12-2. 变流裝置交流自用电的供电系統	166
12-3. 化成設備	169
第十三章 牽引变流所	173
13-1. 牽引負荷的分类	173
13-2. 牽引負荷的特性及整流器的选择	174
13-3. 牽引变流所主結綫系統和保护系統的一些特点	177
13-4. 消除負荷很小时的电压突升	178
13-5. 反饋(再生)制动	181
第十四章 电解工業用的变流裝置	184
14-1. 用水銀整流器作为电解用变流器的优点	184
14-2. 电解过程的电气特性	185
14-3. 电压的联合調整	187
14-4. 电解用变流裝置运行方式的分析	188
14-5. 电解用变流裝置的原理綫路圖	189
14-6. 电解用变流裝置中陰極电抗器的作用	191
第十五章 应用离子变流器来向电力驅動裝置供电	
(离子电力驅動)	197
15-1. 离子电力驅动的任务	197

15-2. 离子电力驱动的应用范围	198
15-3. 离子电力驱动的优点	199
15-4. 离子电力驱动的缺点	200
15-5. 离子电力驱动运行时的能量关系	201
15-6. 用于电力驱动时离子变流器运行的若干特点	205
15-7. 离子电力驱动的原理系统图	206
15-8. 自动实现整流方式和逆变方式的设备	210
15-9. 利用整流器-逆变器串联系统来进行感应电动机 的速度调整	213
15-10. 离子电力驱动保护装置的特点	214
第十六章 利用直流电来传输电能的变流装置	215
16-1. 利用直流传输电能的优缺点	215
16-2. 电力传输用变流装置中的整流器供电系统的选择	218
16-3. 直流电能传输系统中的调整	220
16-4. 逆变时的人工换弧系统	222
16-5. 直流电能传输的原理线路图	223
第十七章 变流装置的布置	225
17-1. 若干关于元件和部件的数据及关于配置的建议	225
17-2. 变流装置的一般布置	234
17-3. 标准布置的例子	235
17-4. 装有無泵气冷整流器的变流装置布置图	241
本书采用符号	245
附 录	248

第一章 緒 論

1-1. 变流裝置發展概述

在电工發展初期，直流电是電能的發生、分配和使用的唯一形式。当时發電站容量不大而且供电範圍亦有限，故可应用直流电。但随着电气事業的發展，直流电已經不能担負产生大电力和远距离輸送電能的新任务了。这是由于制造大型高压直流發電机在結構上有困难，同时直流电又不能变压(指利用变压器)。十九世紀九十年代，交流电即开始和直流电竞争，交流电的胜利，在很大程度上是由于变压器的發明和应用(还在 1876 年 П. Н. 雅勃洛契可夫就發明了变压器)。然而交流电获得决定性的胜利是俄国学者 М. О. 陶利沃·陶勃洛伏尔斯基發明了感应电动机，三相交流制和三相变压器的时候。1891 年陶氏建立了距离为 175 公里电压为 15 000 伏的第一条三相电能輸送綫。

从那时起，交流电就在輸电方面佔了优势，在絕大多数情况下在用电方面也佔优势，促进了电力工業的繁荣。直流电仅在按工艺过程的条件来說是必不可少的(如电镀、电解、蓄電池)，不过它也有很多为交流电所沒有的优点，例如：对調速範圍很广而又要平滑的电动机來說仍有用处。因为，对我们來說，直流电的需要不大，所以長期被忽視。然而近几十年来，特别是在第一次世界大战以后，这种狀況根本改变，因为在技术發展的过程中，直流电的应用範圍得到很大的發展。直流电大規模地应用在飞速發展的电气化運輸中——城市电車、工矿电机車及电气化鐵道。此外又出現了新的具有極其重要經濟意义的，以采用电解过程为基础的生产部門(鋁、鎂、鋅、电解銅、硝酸的生产等)。在这些生产部門中应用直流电規模之大是前所未見的。

除电气运输和电解工业外，直流电还大规模地应用在金属冶炼和金属加工工业中。因为这些工业有许多电气化的机床和机械以及完善的电力驱动装置。这些电力驱动装置在多数情况下必须采用直流电来实现调速。为了说明在这些部门中直流电的需用量，我们可以指出，在现代金属冶炼工厂中直流电能的消费量约佔全部用电量的30—40%以上。

还必须指出，有几种直流电的应用虽然能量较小，可是极其重要。这里所指的就是最近二三十年才发展起来的用直流电源工作的无綫电设备，充电装置以及其他工业电气装置。

虽然直流电在应用方面有很大的发展，但是电能的發生和傳輸仍然依靠交流电。在这种情况下，把一种电压的交流电变成另一种电压的直流电的电能变换装置有着极其重要的意义。直流电的运用視变流器的完善程度、价格及运转的技术经济指标而定。变流技术的发展是与目前广泛采用作为变流器的金属水銀整流器的創造和进一步改善有密切联系的。不但如此，变流器的改进，給电气技术創造了为使用交流电所不能有的新的手段。这点可由已接近解决的、利用高压直流来远距离傳輸电能的問題来说明。交流电虽能滿意地解决电能的發生和变压的問題，然而在电能的輸送方面，还有若干缺点，这些缺点使輸送的功率和距离都受一定的限制。这些缺点是：稳定度有由傳輸的功率和距离所决定的極限、綫路上有电抗压損失、电容导納以及絕緣沒有得到充分利用等。这些缺点在远距离輸电上表現得尤为突出。不久的将来的更远距离和更大的功率的輸电任务，交流將不能担負。很自然，电气工作者的視綫早就集中在直流电上了。因为直流电無上述交流电所有的缺点，并有很多附加的优点。有趣的是第一条三相輸电綫的創造者陶利沃·陶勃洛伏尔斯基本人就是首先預言直流电在将来电力輸送範圍內的作用的人之一。然而用直流輸送电能的問題，又只有在确实掌握了高电压和大电流的整流器之后

才能解决。

在工業很落后的革命前的俄国，直流电的主要用戶是電車。电流由專用的直流發電站供給，或者如在莫斯科一样从25週波的專用交流發電站通过牵引变流所內設置的廻轉變流机供給。应用25週波的原因是由于当时制造电压600伏，額定頻率50週波的廻轉變流机有困难。在工業企業中（主要在金屬冶煉厂）直流电也得到了一些应用。在那兒常采用專用的直流發電站作为电源，而很少由交流發電站經過廻轉變流机或电动發電机組来取得直流电。

在偉大的十月革命以后，在新的技术、工業和運輸業电气化（按国家电气化計劃实行的）的基础上，国家工業化需要大規模地应用直流电。不仅在運輸業中，在斯大林五年計劃的每一巨大的建設里，变流裝置都佔有極重要的地位。

苏联第一个金屬水銀整流器是于1924年在B. K. 克拉比溫工程師领导下由“电力”工厂制造出来的。

从1925年起，水銀整流器已經开始在电气運輸上代替了廻轉變流机。最初水銀整流器出現在城市電車的变流所里。1931年，在电气化的城郊的鐵道干綫上安裝了电压为1650伏的水銀整流器，1934年就在那兒应用了3300伏的电压。所有以Л. М. 卡岡諾維奇命名的于1935年竣工的第一批莫斯科地下鐵道的变流所，也設置了本国出产的水銀整流器。

在建立强大的本国电解工業时，整流是特別重要的。这些生产部門（如鋁、錳、鋅、硝酸等的生产）都需要使用直流电。其規模之大是前所未有的。而且許多第一批祖国的变流所就已設置了水銀整流器。應該指出，电解工業中采用水銀整流器还是在30年代的初期，在此問題上苏联是很年青的。

第一个五年計劃末期，在电解企業中已有許多本国出产的电动發電机組在順利地运行着。而在第二个五年計劃中，就同时使

用本国出产的水銀整流器了。第一批利用水銀整流器的大型電解工業用的變流裝置，是由電氣安裝設計公司(現名重工業企業營造部電氣安裝總局)設計和安裝的。在這種功率很大的領域內，用水銀整流器代替迴轉變流機組可以為國家節省數千萬盧布的投資和每年數千萬瓩時的能量損耗。

水銀整流器在製造和推廣應用方面的勝利，在很大的程度上是應歸功於水銀整流器製造廠和科學研究機構的研究工作，特別是以B. И. 列寧命名的全蘇電工研究所的工作。在那兒，從三十年代初期起就在蘇聯科學院通訊院士K. A. 克魯格的領導下，其後又在И. Л. 卡岡諾夫教授的領導下進行了水銀整流器中現象的理論探討和實驗研究，並設計了新的結構和新的結綫圖。

在無線電台中應用水銀整流器是大家一致公認的。還在1921年，蘇聯科學院通訊院士B. П. 伏洛格金創造了玻璃水銀整流器和特殊的高壓結綫系統，這些整流器和高壓系統勝利地應用在無線電裝置中；其後又在和充氣管的同时採用了電壓達11仟伏的金屬水銀整流器。

這樣，我們有充分根據可以斷言，在電氣化運輸、電解和大功率的無線電裝置的供電中，水銀整流器現在已奪取了迴轉變流機組的地位。然而水銀整流器仍將繼續取得新的應用範圍。首先我們注意到，水銀整流器可用作可調速電力驅動裝置的電源(“離子驅動”)，這裡應用水銀整流器同樣可得到很大的技術經濟效果。然而在這條道路上尚有一系列的困難需要克服，這些困難主要是柵極控制有若干缺點(可靠性不高，消耗無效功率，由於負載變化而引起的電網電壓變化)。嚴重的困難是在選擇驅動裝置的供電變流器型式時，技術條件的要求異常嚴格。克服這一困難應歸功於第一台實驗裝置(在Д. А. 札瓦里新教授、全蘇電工研究所的Ф. И. 布塔也夫和Е. Л. 艾金格的科學研究工作以及他們所擬制的原始結綫圖的基礎上設置的)的經驗和整流器的進一步改善。

按照苏联 1946—1950 年恢复和发展国民经济五年计划的法律規定，应该在高压大型整流器的基础上进行并胜利完成用高压直流傳輸电能的研究工作。

这样，目前利用水銀整流器的大型变流裝置已是电气化系統的重要环节。但在不久的将来，由于技术过程的要求，水銀整流器和变流裝置的不断改善，水銀整流器必然在新的部門中广泛使用，因而这种大型变流裝置將起更大的作用。

焊接型(無泵)气冷金屬水銀整流器的运行，比目前制造的有泵水冷水銀整流器簡單和安全得多，它們全套裝置的价格也比较便宜，这种型式的創造，將有助于水銀整流器更广泛更大量地使用。利用焊接型气冷水銀整流器的小型或中型整流裝置，可以直接放在用电的地方——車間、矿井等。

1-2. 現代大型变流裝置的特性

从变流裝置的發展概述中得知，变流裝置的用途和作用各式各样的。因而变流裝置的参数相差很大，它們的工作状态、条件以及对它們的要求也各不相同。关于这点可參看表 1-1，表中列有各种用途的大型变流裝置的基本特性。从表 1-1 可看出，变流裝置的整流后电流是在几十安培到几万安培的广大范围内变动的，而整流电压則从几百伏特到几十万伏特。各种变流裝置在調整方面的要求也各不相同，例如很多裝置在运转时不需要調整整流电压；而有些裝置則不仅需要調整电压，而且还需要变直流为交流。就变流裝置的运行來說，也有各种不同的負荷曲綫，从完全平稳的(电解)到急驟变化的(牽引)。

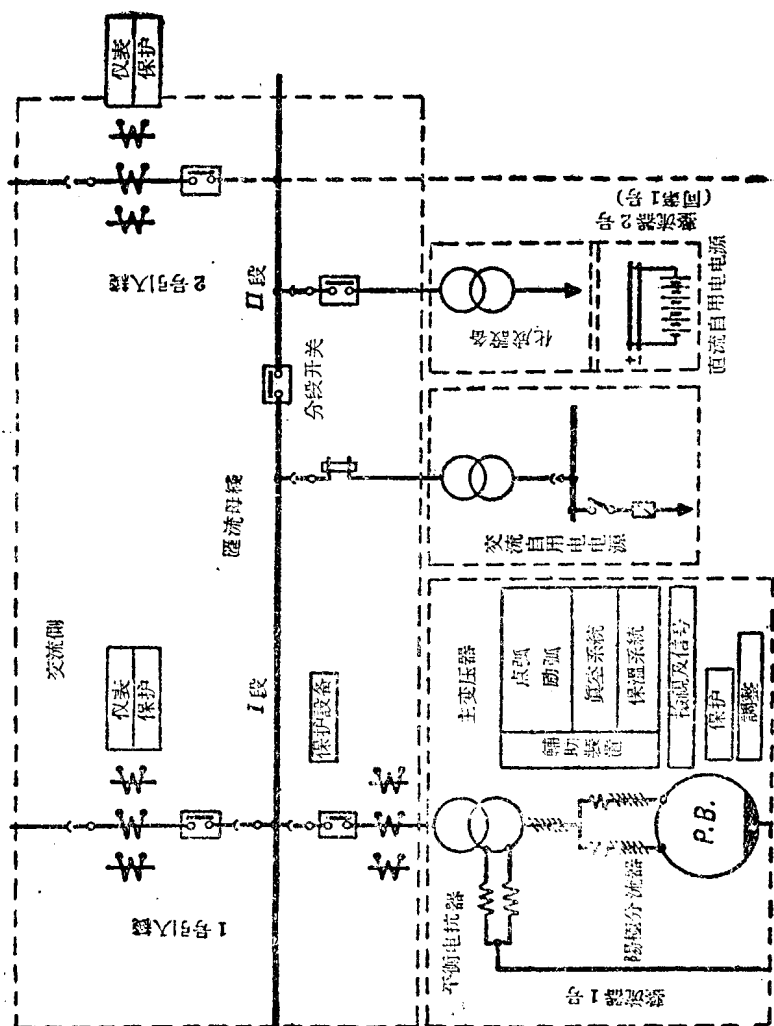
1-3. 变流裝置的部件和元件

圖 1-1 是表示大型变流裝置原理系統圖的范例。圖中区分为若干元件，这些元件可組成多种不同用途的变流裝置。

表 1-1

整流裝置的特性和基本参数

应 用 部 門	設 备 参 数		关于工作状态的数据				水銀整流器型式	
	安 培	伏 特	調 整	逆 变	特 点	安 培	構 造	材 料
牵引負荷	2000—10 000	220—3300	正常不需要	正常不需要	1. 冲击性的过 負載 2. 适合自动化	300 以內	玻璃与金屬-玻璃	金 屬
各种工業用戶	1000—4000	220—440	不需要	不需要	—	1000—5000	金 屬	金 屬
單独的电力驅動	100—5000	220—800	需要	个别情況下 需要	适合驅動特性	1000—2000	金 屬	金 屬
电 解	2000—60 000	220—1500	一般需要	不需要	不断和均匀的 負荷曲綫	300 以內 1000—5000 1000—5000	金 屬	金 屬
無縫电設備	50—100	5000—11 000	一般不需要	不需要	—	50—100	充气管, 玻璃和金屬	金 屬
远距离电力輸送, 电力系统非同步 联系	很大	200—400 千伏	需要	需要	—	很大	金 屬	金 屬



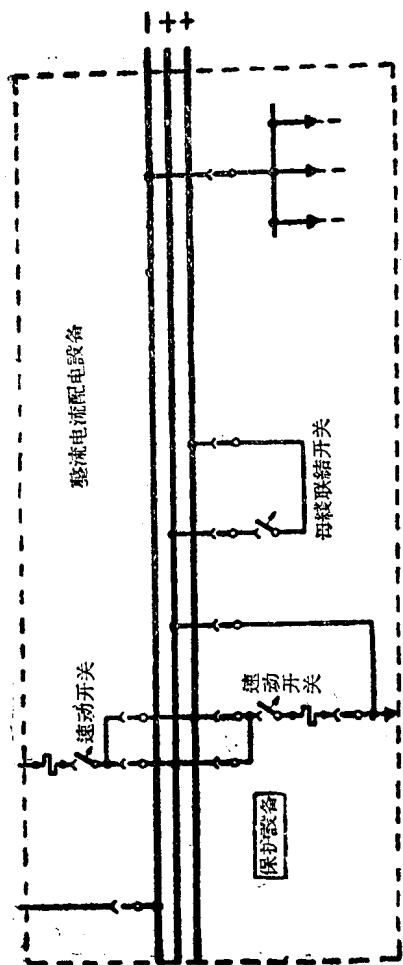


图 1-1 大型变流装置的原理系统图

变流裝置是極其复杂的組合，按照系統圖 1-1 可將其分为下列部件和元件：

1. 交流側，包括引入綫、母綫、交流設備和帶有一切交流測量仪表及保护裝置的儀用互感器。

2. 变流器，包括主变压器及水銀整流器。

3. 輔助性的保护和調整裝置，这是整流器及整个变流裝置所必需的。

4. 直流側的配电裝置，包括母綫、直流电气設備、測量設備及其他。

5. 变流裝置的自用电設備，包括自用电变压器、蓄電池組、自用电配电盤等。

在設計变流裝置时，必須正确地繪制总的結綫系統圖（包括直流側和交流側的），确定参数和工作以及备用变流器的台数，選擇开关設備和保护以及控制設備，選擇調整系統、輔助裝置和自用电系統。

所有上列問題不应孤立地来解决；而应統一起来，根据总的目标——建立符合一定用途的裝置、保証最大的經濟性，在最小的投資下，达到对于某种具体条件所必需的可靠程度——来解决。为了正确地解决变流裝置的設計問題，必須注意下列各因素：交流供电電網的特点、負荷曲綫、用戶所要求不間断供电的等級（由此决定备用整流器的数目）、对变流器所規定的工作狀態的特点、運轉情况（例如有值班人員或完全自动化）和設備佈置情况。