

---

# 利用整流器的 電力傳動裝置

苏联Ф. И. 布塔葉夫等著

電力工業出版社

---

## 內 容 提 要

本書敘述直流和交流電動機從三相電網供電時，控制電動機的啓動、停止和調速的方法。

書中詳述了每一控制方法的優點和缺點，介紹了主要的控制和保護回路的電路圖，並提供了選擇設備和計算各種狀態所必須的電磁關係。

本書可供從事於大型電力傳動裝置工作的工程技術人員參考。

\* \*

\*

**Ф. И. БУТАЕВ Е. Л. ЭТТИНГЕР**

**ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

根據蘇聯國立動力出版社 1951 年莫斯科版翻譯

書 號 273

**利用整流器的電力傳動裝置**

姚承三譯 楊仲平校

\*

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證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

\*

編輯：廖美壁 李勉 校對：隗家繹

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 \* 8 $\frac{1}{2}$ 印張 \* 197千字 \* 定價(9)：一元九角四分

一九五六年一月北京第一版第一次印刷(1—1,900冊)

## 前 言

苏联工業在斯大林五年計劃時代的飛速發展，不僅表現在數量的增長上，而且也表現在企業技術裝備的質量提高上。還在偉大的衛國戰爭以前，苏联在技術方面就已超过先進的資本主義國家。在苏联，最先進的技術思想已得到迅速的發展和实际的應用。

在電力傳動的範圍內，在戰前和戰爭的年代裏就廣泛採用了若干電力傳動的控制和調速方法，例如電機自動裝置的各種綫路，電子調整器系統以及利用可控制離子變流器的電子傳動裝置。

在離子電力傳動的領域內，最早的研究工作於1932年在全蘇電工研究所開始。這些工作的結果已在一系列的論文中發表出來。除了全蘇電工研究所以外，其他的機關（列寧格勒工業學院，以С. М. 基洛夫為名的基納摩工廠，頓尼茲工業學院等）也已從事於離子電力傳動問題的研究。

在這些研究工作的基礎上，出現了巨型的工業設備，其中像功率880瓩的軋鋼感應電動機調速用的整流筒串級系統，是最先在世界上出現的。具有經常燃着的勵弧的單陽極水銀整流筒也製造成功，並應用於生產中，且証實為整流器的標準新形式。許多柵極控制綫路和所需的控制裝置也已研究成功了。苏联學者所創造的理論不僅能幫助分析離子傳動系統的複雜過程，並且提供了工程計算的可靠方法。

1940年，Ф. И. 布塔也夫，Г. С. 潘杜雪夫及Е. Л. 艾金格撰寫了「利用可控制水銀整流器的調速電力傳動裝置」一書以敘述全蘇電工研究所從1932年到1933年的工作成果。該書很快地就賣光了，故在1941年曾準備再版，但是衛國戰爭使其未能實現。最近幾年間，在調速電力傳動裝置方面獲得了許多重大的成就。在這種條件下把1940年所出的書再版一次是沒有意義了，所以作者決定完全重新改寫，並考慮近幾年來的主要研究成果。由於書本篇幅的限制，我們尚不能敘述最近幾年中出現的許多裝置，也不能闡述某些尚未獲得一定實際應用的理論問題（高次諧波所產生的附加損耗及轉矩等等）。至於敘述水銀整流器及其輔助設備的構造的章節，也大大地縮減了。

我們希望，本書對於利用整流器的電力傳動此一新的和富有前途的領域中的工作人員能有裨益。

作 者

# 目 錄

## 前 言

|     |   |
|-----|---|
| 緒 論 | 3 |
|-----|---|

### 第一編 關於可控整流器的構造及工作的基本概念

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 第一章 現代整流器                          | 5  |
| 第二章 金屬水銀整流器及其工作原理和主要構造             | 8  |
| 第三章 包括整流器的回路的电磁过程, 及水銀整流器的<br>供电系統 | 18 |
| 第四章 可控制整流器                         | 26 |

### 第二編 向直流電動机供电的可控制水銀整流器

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 第五章 向直流電動机供电的可控制整流器的綫路系統的特<br>點。电力回路系統的主要類型 | 43  |
| 第六章 整流电压和整流电流的高次諧波                          | 53  |
| 第七章 从可控制整流器供电的電動机的机械特性曲綫                    | 64  |
| 第八章 电压調整及人工特性曲綫                             | 79  |
| 第九章 整流电压的突然改变                               | 103 |
| 第十章 可控制水銀整流器系統的过渡过程的特點                      | 108 |
| 第十一章 功率因數及效率                                | 115 |

### 第三編 向直流電動机供电的可控制水銀整流器 电力傳動裝置的綫路

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第十二章 綫路系統概論         | 130 |
| 第十三章 可逆軋鋼机的电力傳動系統   | 150 |
| 第十四章 礦井提升机的电力傳動綫路系統 | 163 |

### 第四編 無整流子的整流電動机, 整流筒串級 系統及頻率变换器

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第十五章 用直流激磁的整流電動机 | 171 |
| 第十六章 整流筒串級系統     | 189 |
| 第十七章 頻率变换器       | 234 |

## 緒 論

在發明了控制柵極之後，离子交流器(水銀整流器，~~索引燈管~~)便成為電能的萬能變換器。

可控制的离子儀器提供變交流為直流(整流)，或變直流為交流(逆變)，變更交流電流的頻率，及和緩地調整整流電壓的可能性。因此，可控制的离子儀器即能用來代替電動機-發電機組，以變換電能，特別是在調速的電力傳動裝置中。

近年來大量工業用的調速電力傳動設備已製造成功，這些設備採用可控制的水銀整流器來代替一般的電動機-發電機組。此種傳動裝置包括：容量達 2000 瓩的礦井提升機，容量達 14 000 瓩的軋鋼機，軋管機，冷軋機，造紙機，紡織機，輸送機等。

可控制的水銀整流器的電力傳動裝置所以迅速流行的原因是：這些系統比起已知的電動機-發電機組有許多重大的優點：

主要優點如下：

1. 大大地節約了有色及黑色金屬：PMBH—1000 型(690 瓩)水銀整流器帶變壓器(無油)共重 4 100 公斤，而近於同樣功率的電動機-發電機組重 10 800 公斤，即比前者大 1.5 倍。

2. 價廉：水銀整流器連同一切附屬設備和變壓器的價格比電動機-發電機組便宜得多。對於功率為 300—500 瓩的變流機組可節約資金約計 25%，對於功率為 1 000 瓩左右時——節約 35—40%，對於更大的功率——節約 50% 或 60% 或更多。

例如，裝設在蘇拉姆斯基山區變電所內，用來向電氣化鐵道供電的電動機——發電機組的數據如下：

|         |             |         |            |
|---------|-------------|---------|------------|
| 功率..... | 2 000 瓩     | 重量..... | 65.6 噸     |
| 電壓..... | 1 500 × 2 伏 | 價值..... | 410 000 盧布 |

裝設在另一牽引變電所的附有 PB-20 型整流器的整流裝置的數據如下：

功率..... 2000 瓩

重量..... 18.5 噸

电压..... 3000 伏

價值..... 47 000 盧布

(價值按 1937 年計算)

3. 水銀整流器和變壓器佔的地方比電動機-發電機組小得多; 此外, 整流器不需要基座<sup>①</sup>, 故可以裝設在機器房旁的普通房屋內。這就能削減基建費用。

4. 整流裝置的效率顯著地高於電動機-發電機組, 而功率係數則平均等於用感應電動機的電動機-發電機組的功率係數。

5. 整流器的柵極控制具有靈活性, 並且實際上來說是無慣性的。此一特點對於需要逆轉的傳動裝置有很大的意義, 並為變流所的自動化提供了廣闊的可能性。

6. 當整流電壓從零調整到最大值時, 水銀整流器保持控制的準確性, 而且在整流電壓很低時, 控制的準確性不僅不減低, 甚至还增加。可是電動機-發電機組的綫路在電壓低於 40% 額定值時, 就失去控制的準確性, 而在電壓低於 10% 額定電壓時, 其工作就變成不穩定的了。所指出的水銀整流器的優點對於需要在深度調整的條件下穩定工作的傳動裝置來說是具有很大的意義的。

7. 可控制整流器使得創造無整流子的調速電動機成為可能, 這種電動機能得到任何樣式的特性。此特性與直流電機的特性, 與整流子交流電動機的特性或與按照某一串級系統來調速的感應電動機的特性相似。

① 指水泥或其他用以固定機器的堅實基礎。——譯者

# 第一編 關於可控整流器的構造及 工作的基本概念

## 第一章 現代整流器

目前正在生產並獲得廣泛应用的整流器有下列各種類型：

1. 金屬有泵多陽極和單陽極水銀整流器；
2. 金屬鋸接型（無泵）多陽極和單陽極水銀整流器；
3. 玻璃水銀整流器；
4. 金屬引燃管；
5. 玻璃引燃管；
6. 充氣管；
7. 閘流管（Тиратрон）；
8. 電子管；
9. 固體整流器；
10. 機械整流器。

其他為大家所熟悉的整流器類型例如：電弧式及水銀流式，僅供特殊目的之用，並未獲得廣泛的应用；電解液式整流器，曾在弱電（電信）工程方面採用過，近年來已由其他型式所代替。

金屬有泵水銀整流器是按下列條件製成的：當電壓近 1000 伏時，電流為 6000 安以下；電壓達 100 千伏時，電流為 100 安以下。

戰前在蘇聯金屬水銀整流器由以 С.М. 基洛夫命名的「電力」工廠生產。那時，PB-5, PB-10, PB-20, PB-50, 等型整流器曾被製成無柵極的，以及帶有可以調整整流電壓的控制柵極的。

在現時，金屬水銀整流器由「烏拉爾電器」工廠進行生產。該廠製造 PMHB-500 (PB-5) 型及 PMHB-1 000 (PB-10) 型（圖 1-1）多陽極整流器，以及由六個或十二個單陽極整流筒組成的、最

先由全苏电工研究所研究成功的 PMHB-500×6 型 (圖 1-2) 及 PMHB-500×12 型多筒整流器。單陽極整流筒具有較小的尺寸，很小的电弧电压降，並且由於其外壳有互相絕緣的条件，便於应用在各种需要單陽極儀器的綫路系統中，例如：三相桥式綫路系統 (A. H. 拉利昂諾夫綫路)，各种整流電動机綫路系統等。

單陽極整流筒最初是在全苏电工研究所按每筒电流 200 安而製成的 (PMHB-200×6 型)，並曾应用於許多工業設備中，在無控制或有控制的狀況下工作 (圖 1-3)。除此以外，全苏电工研究所曾出產过第一批 PMHB-500×6 型的整流器，这种類型的整流器後來在「烏拉尔电器」工廠生產。

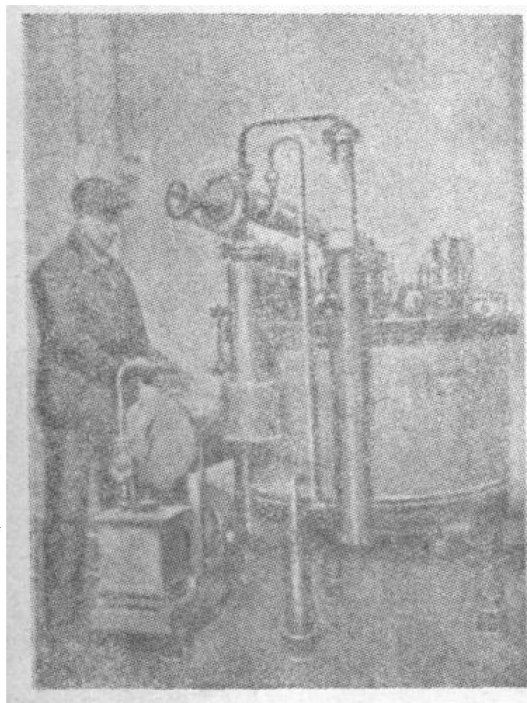


圖 1-1 水銀整流器 PMHB-1000 型

金屬鉚接型(無泵)水銀整流器是近年來的新出品。它是按电压在 600—800 伏的範圍內時，电流为 100 到 1000 安的規格製造的。鉚接型金屬整流器非常適用於中等功率的設備，因為它們幾乎不需要任何看管，並佔据很小的地方。

玻璃水銀整流器製成無控制柵極的。

在我國玻璃引燃管由「斯惠特蘭那」工廠出產。

在此应当指出，在目前，由於引燃管的現有引燃系統很複雜和不够可

靠，使引燃管在逆变狀態中的工作幾乎成為不可能，且使整流电压的調整也很困難，因之引燃管在調整可逆電力傳動裝置中的应用遇到了嚴重的障礙。

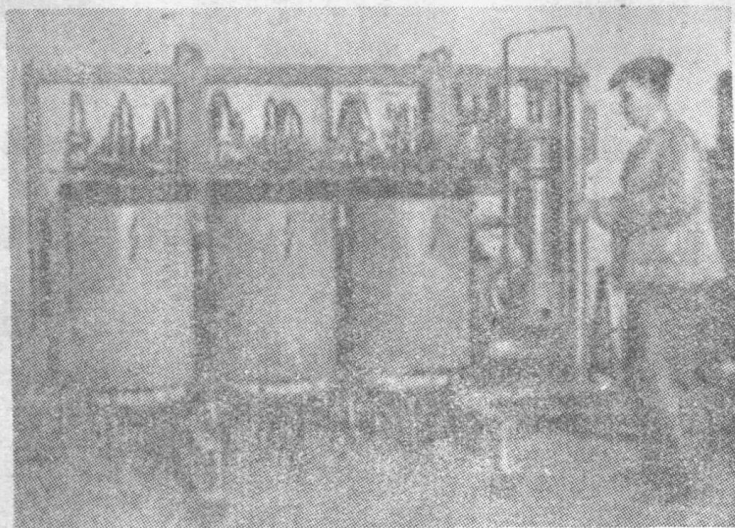


圖 1-2 水銀整流器 PMHB-500×6

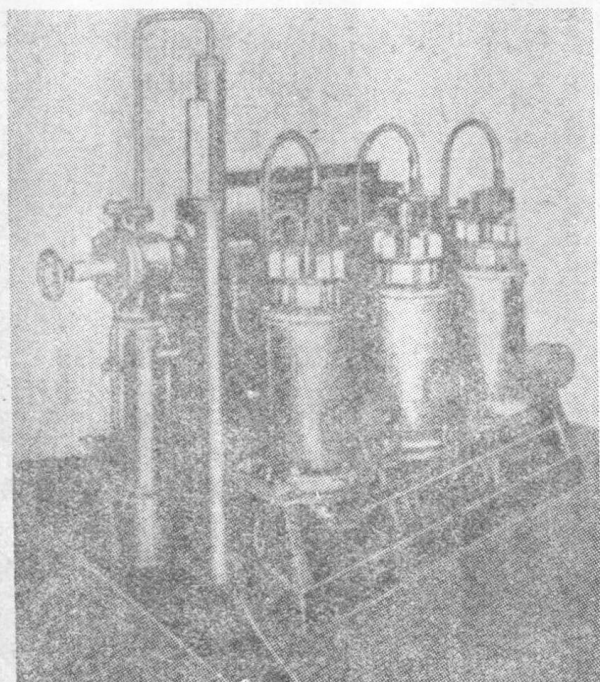


圖 1-3 水銀整流器 PMHB-200×6

充气管和閘流管——非控制的和可控制的灼熱陰極离子儀器可按最大反电压 15 千伏(以下)時，电流到達 50 安製造。

电子管通常不用來供給电力回路。在可調速的电力傳動裝置中，电子管用於自動調節綫路。工業上生產的电子管品种和用法是多种多样的。關於这方面的参考書也極為丰富，現在我們可不必在这些問題上多費工夫。

固体整流器的出產也有多种形式。养化銅和硒整流器应用最为廣泛。它們按各种电流和电压來製造：从十分之幾安到千安和从幾個伏特到數千伏不等。

苏联有許多工廠都生產养化銅和硒整流器；它們的圓盤尺寸(直徑)从 2 到 120 公厘，可以配置成从 1 千分安到 1 千安电流的整流器。

在上面所列举的整流器中，用金屬可控柵極和玻璃水銀整流器，充气管和閘流管向調速的电动机供电。

电子管和固体整流器只用於輔助回路和各种調整綫路中。

最常用的是多陽極和單陽極金屬水銀整流器。下面的一章將要更詳細敘述它們。

## 第二章 金屬水銀整流器及其工作原理 和主要構造

低压离子整流器(水銀整流器，引燃管，閘流管)包括兩個電極：陽極和陰極，放在抽空到  $10^{-2}$ —— $10^{-3}$  公厘水銀柱压力範圍內的气体或蒸汽中。陽極通常由石墨或鉄製成。陰極是液体的——水銀(水銀整流器，引燃管)或是灼熱固体(閘流管)。容器用玻璃或金屬製成；也有混合的〔玻璃-金屬〕構造形式。金屬容器可製成鉚接式，或帶有密封物的裝配式；在後一情況下，需要特殊的真空泵以維持真空。

整流器中的电流由从陰極流向陽極的电子流組成。为了保證这种單向的傳導採取特殊办法：創造条件，有利於电子从陰極表

而發射，並阻碍这种發射从陽極發生。在灼熱陰極儀器(閘流管)內，陰極电子發射是由陰極的高溫來保證的。

在水銀陰極式儀器中，有灼熱的「陰極點」在水銀表面產生；这种陰極點由特殊的「勵弧」陽極來維持(水銀整流器)，或者週期性地由特殊「引燃器」來引燃(引燃管)。当电流通过時，在陽極与陰極間形成电弧，同時有电弧电压降發生，这个电压降与电流大小很少關係。水銀整流器电弧中的电压降通常共計15—30伏，引燃管为15—20伏，閘流管則为10—15伏。当計算時，通常視电弧电压降为常数。

金屬水銀整流器主要应用在可調速的电力傳動裝置中。

圖 2-1, 2-2 及 2-3 表示「烏拉尔电器」工廠所製造的金屬水銀整流器的外型尺寸圖。下面介紹關於真空系統，冷却系統，及自用电气綫路的特点的一些概念。圖2-4表示全苏电工研究所出品的 PMHB-200×6型整流器的圓筒的截面圖。

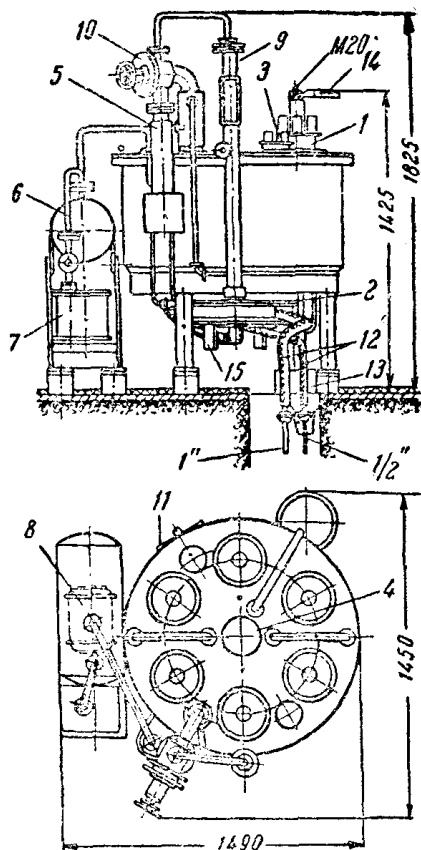


圖 2-1 PMHB-500及 PMHB-1000型水銀整流器尺寸圖

1—陽極；2—陰極；3—勵弧陽極；4—點弧器；5—水銀泵；6—預抽貯气器；7—預抽泵；8—电动机；9—气压表；10—真空栓；11—輔助接綫；12—冷却水橡皮管；13—排水溝；14—陽極電綫接头；15—陰極电流引出接头。

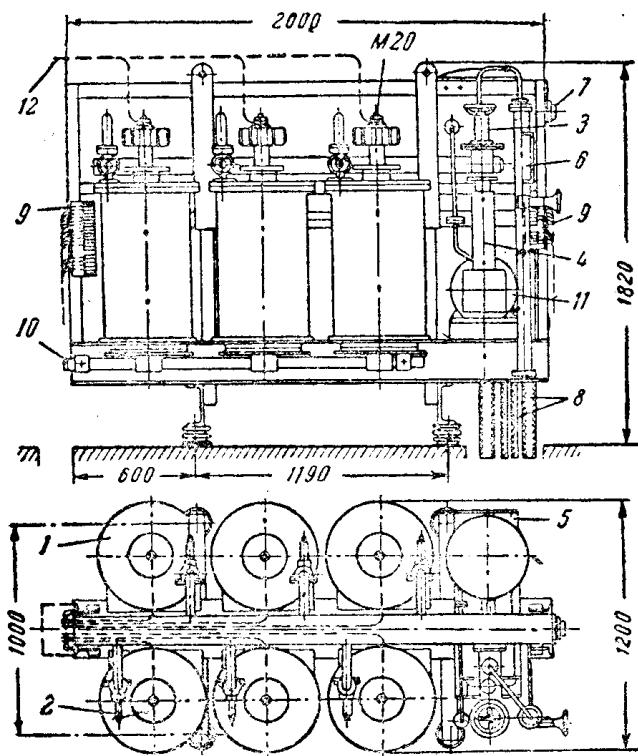


圖 2-2 PMHB-500×6 型整流器尺寸圖

1—整流筒；2—分真空栓(每筒)；3—總真空栓；4—水銀泵；  
5—預抽泵；6—水銀气压計；7—熱控信號器；8—冷卻水橡皮  
管；9—輔助接縫板；10—陰極電流引出接头；11—電動機；  
12—陽極電纜接头。

## 真 空 系 統

在水銀整流器中電弧放電是在陽極和陰極間的低壓水銀蒸汽中進行的。我們現在暫且不涉及稀薄水銀蒸汽中發生的過程的物理本質，僅指出當正常工作時，整流器容器內部的局外(電弧外)氣體壓力不應超過 1 微米水銀柱。

在可拆卸金屬水銀整流器中，包括密封得極完全的在內，總是要有一些空氣滲入容器；除此以外，在長時間的工作後，水銀整流器中不斷地有氣體從受熱部分放出。這種情況使我們不間歇

地將水銀整流器抽氣，因而使整流器的真空系統成為保證它的工作可靠性的、極其重要的元件。

水銀整流器真空箱的抽氣工作由兩級的水銀泵來進行。這種型式的真空泵能保證高度真空度並具有很大的生產率，但不能直接把抽出氣體驅入大氣：它們需要減低反壓力——預先抽稀出氣處的气体。

這種預先抽稀气体的工作是用旋轉式油泵在預抽貯气器中進行。這種油泵可抽到數十微米範圍內的真空度，但能直接把气排到大氣中去。

用气压計來測量整流器內的壓力。通常應用壓縮式水銀气压計或电气气压計。

在真空泵工作停歇時間，真空系統的通气管子用真空栓閉

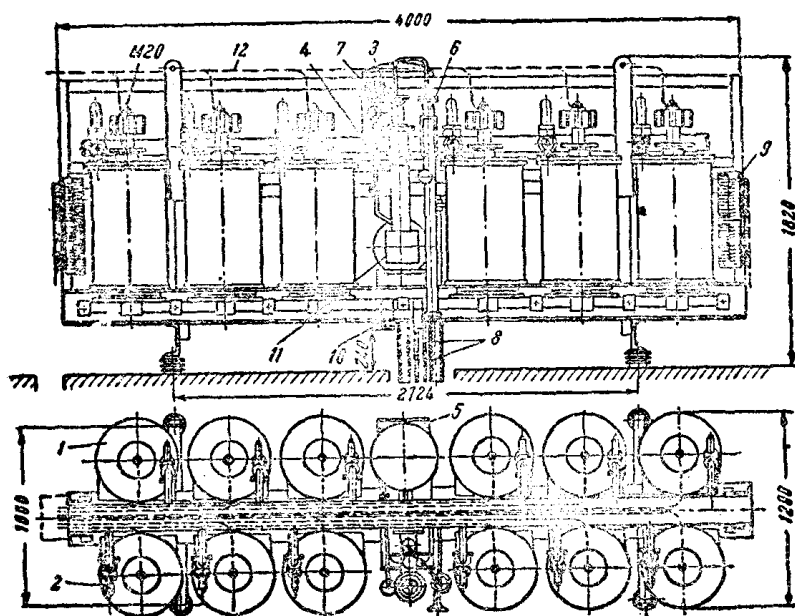


圖 2-3 PMHB-500 × 12 型整流器外型尺寸圖

- 1—整流筒；2—分真空栓（每筒）；3—總真空栓；4—水銀泵；5—預抽泵；  
6—水銀气压計；7—熱控信号器；8—冷却水橡皮管；9—輔助接綫板；10—  
陰極电流引出接头；11—电动机；12—陽極電纜接头。

塞。在全苏电工研究所出品中为了要達到自動化的目的，真空栓帶有电磁控制。

所有上述元件和气管系統共同組成了水銀整流器的抽气系統。

## 冷 却 系 統

水銀整流器的冷却水应具有一定的温度；除此以外，冷却水不应在水銀整流器的受冷壁上產生沉澱，也不应引起迅速的腐蝕作用。最合理的整流器冷却系統是封閉式循环系統（帶有水冷熱交換器或帶有气冷散热器）。在封閉式循环系統中很容易保持必需的水温；应用加了重鉻酸鈉的蒸餾水可防止析出有害的沉澱和腐蝕作用。

如果沒有熱交換器，就用開啓式循环系統。

这种系統的主要元件是：容量不小於3立方公尺的水压槽，放在距地平面4公尺以上的高处；低水槽，放在地平面以下；抽換水的水泵；和冷却器。

可以用螺圈管來作冷却器。这种螺圈管有自來水环流，並放在低水槽或高水槽內。在冬季可能不要冷却器而需要熱水器。

冷却水是用橡皮水管通向整流器並流入裝有閘門的配水管。冷却水从配水管經過橡皮水管而流入陰極水套，再从那兒流到整流圓筒水套。为了能觀察在各个圓筒中冷却水的流動情况，在每一圓筒上都裝有單独的出水管。

用橡皮水管上的鉗子或閘門來調節各个圓筒中的水的消耗量。各別地來調節各个圓筒只有在開啓式循环系統中才有必要。在帶有熱交換器的封閉循环系統中，所有出水管联成一个，而对各圓筒冷却水的平均分配則由相当大的水压力來保證。

水銀泵裝有單独的閘門，並应从另外与圓筒無關的水源來供給冷却水，因为冷却水銀泵的水温不应超过  $20^{\circ}\text{C}$ 。

用普通水銀溫度計或电阻溫度計來測量冷却系統各部分的水温。

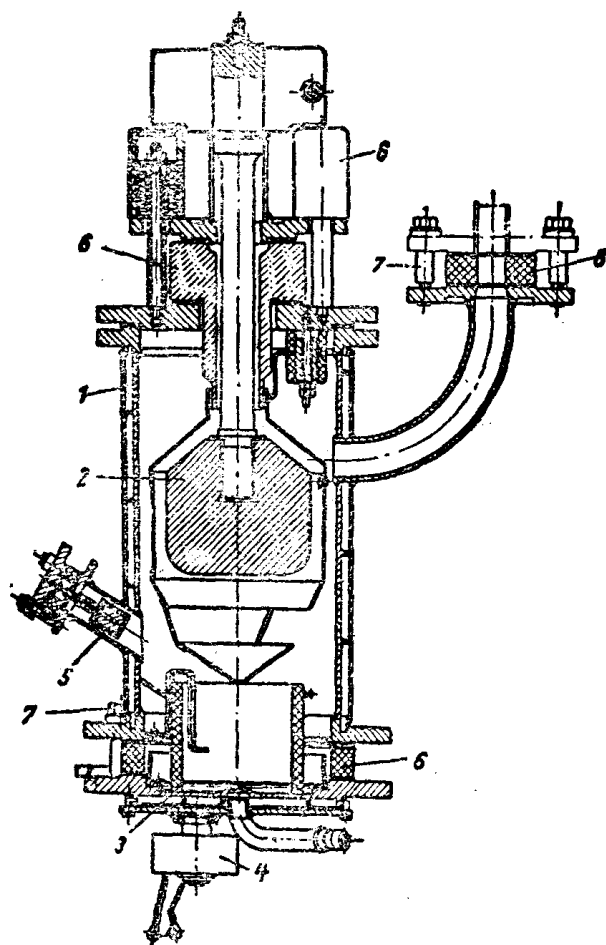


圖 2-4 PMHB-200×6 型整流器圓筒剖面圖

1—筒身，帶有水套，水套有裝置電極，抽水管之凸緣，並有包紮；2—陽極頭；3—帶有河泥和石英（或耐火磚）壁的陰極；4—電磁點弧器；5—勵弧陽極；6—絕緣子及密封物；7—釘合零件（螺釘等）。

### 點弧和勵弧系統

在多陽極整流器中有一個點弧裝置和兩個勵弧陽極。在多筒型整流器中這種系統的數目等於圓筒（陰極）數。

因為激勵電弧在電位上與陰極相聯系，而多筒型整流器可能

按某种接綫系統联結，这种系統中陰極与陰極間因有高电压而必須彼此絕緣，所以各个不同圓筒的勵弧和點弧系統也应互相絕緣起來。全苏电工研究所为它所出產的水銀整流器設計的綫路能滿足这个要求。烏拉尔电器工廠的標準綫路圖未考慮這一點，因此在必要的情况下这种綫路必須由製造廠或者在現場加以改变。

所有現有的綫路都自動地工作；这就是說，当合閘時这些綫路应使所有圓筒的點弧裝置同時作用或依次作用，其結果应建立激勵电弧。由於在主电弧中發生大的电流衝擊，逆弧，及自用电網电压降低等情况下，在个别整流筒中勵弧可能熄滅，这个(指熄滅者)筒中的點弧系統应自動地開始動作。为了同一目的，綫路中应接入信号元件——無論是勵弧工作正常或者是勵弧熄滅都应有信号。

### 水銀整流器的自用綫路

从上面關於水銀整流器輔助裝置的敘述中可明顯看出：水銀整流器的自用綫路应保證对點弧和勵弧系統，抽气系統(水銀泵及油真空泵，帶有电磁控制的真空栓，电气气压表)和循环冷却系統(熱交換器的水泵，通風机，檢視及測量温度的电气器械)供电。这些自用电能用戶大部分是在电位上与水銀整流器的陰極或外壳相連系的，因之應該事先把它們与地絕緣。

自用回路的所有供电和控制系統都集中在自用櫃(ШПБ)中，在櫃中也放置相应的絕緣变压器。柵極控制系統和保護系統的元件通常也放在同一櫃內。

### 高速陽極開關

为了防止水銀整流器受到逆弧的損害，要用高速開關：陰極開關用在整流电流回路中而陽極開關用在陽極回路中。

在最近年代裏，由於單陽極(多筒)水銀整流器的發展，陽極開關的应用日漸增多。这种開關可以遮断整流器中一个損坏了的整流筒，而不致破坏整个机組的工作。

下面簡短地敘述  $6 \times \text{BAB-10}$  型，亦即工程師 А.И. 哥魯貝夫 (烏拉爾電器工廠) 式的高速陽極自動開關。

$6 \times \text{BAB-10}$  型陽極開關用來保護  $\text{PMHB-500} \times 6$  和  $\text{PMHB-500} \times 12$  型水銀整流器 (當整流器電壓為 825 伏和 600 伏時)。這種開關的最高遮斷能力 (電流) 未有規定，因為這種開關動作快速，具有限制電流沖擊的性能。

陽極高速開關  $6 \times \text{BAB-10}$  包括六個單獨的單極開關，安裝在公共的架子上。

開關的工作原理可由圖 2-5a 及 b 來說明。

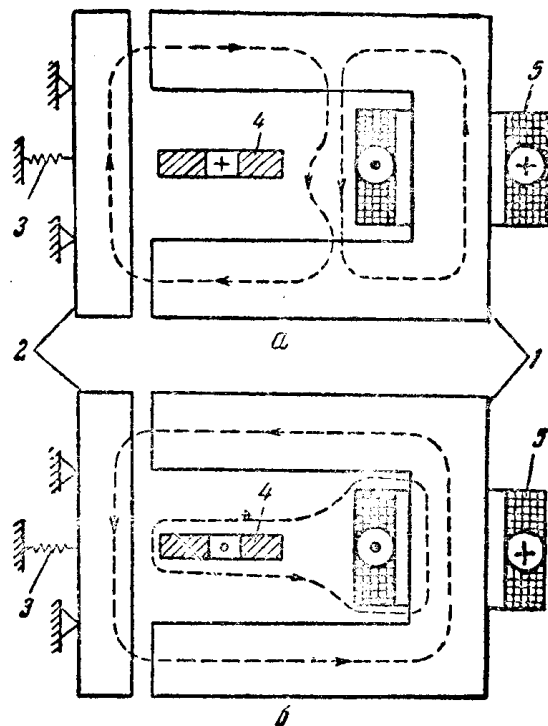


圖 2-5 陽極開關構造示意圖 a, b

陽極電流流經母綫 4，而綫捲 5 則由另外的電源通入電流。圖 2-5a 表示在正常工作時電流的方向和它們所產生的磁通的方向；圖 2-5b 則表示逆弧時電流和磁通的方向。

彈簧 3 在選配時，應恰使銜鐵 2 不能夠被吸向磁極 1，而銜