

小型鋁廠水銀整流所的 設計、安裝和運行

冶金工業部沈陽鋁鎂設計院

動力設計研究室 編著

冶金工業出版社



电子学研究所图

73:69

11

小型鋁厂水銀整流所的 設計、安裝和运行

冶金工业部沈阳鋁鎂設計院动力設計研究室 編著



冶金工业出版社

3308582

小型鋁廠水銀整流所的設計、安裝和運行
冶金工業部沈陽鋁鎂設計院動力設計研究室 編著

— * —
冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行

— * —
1959年11月第一版

1959年11月 北京第一次印刷

印數 2,220 冊

開本 $850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32}$ · 85,000字 · 印張 $3 \frac{28}{32}$ · 插頁 3

— * —
統一書號15062-1928 定價 0.56 元

編者的話

本書對小型鋁廠水銀整流所的設計、安裝、運行作了較全面的通俗介紹。內容包括水銀整流器及其附屬設備的基本原理、型式及構造，整流器的控制、保護及設計、安裝、運行中的有關規定及注意事項。本書敘述力求簡明，並盡力避免數學公式的推導。

本書適用於從事小型鋁廠水銀整流所設計、安裝、運行的工程技術人員及工人，並可供與本專業有關人員參考。

由於時間倉促及水平所限，恐有錯誤和不當之處，希讀者批評指正。來信請寄沈陽鋁鎂設計院動力設計研究室。

本書由我室崔督普同志執筆編寫。

——編者

目 录

第一章 水銀整流器作用原理及构造	1
第一节 水銀整流器的作用原理.....	1
第二节 水銀整流器的型式及构造.....	3
第二章 水銀整流器的点弧、励弧、樞极控制及 IIPB 型控制箱	8
第一节 点弧、励弧作用及其結綫系統.....	8
第二节 樞极控制的原理及其結綫系統.....	12
第三节 IIPB 型控制箱	17
第三章 水銀整流器真空及冷却系統	20
第一节 真空系統.....	20
第二节 水銀真空計.....	21
第三节 水銀真空泵.....	24
第四节 油真空泵.....	25
第五节 整流器的冷却要求.....	27
第六节 冷却系統.....	29
第七节 热交換器.....	33
第四章 主变压器的作用原理及結綫系統	36
第一节 带有均衡电抗器的六相系統及其特点.....	36
第二节 带有均衡电抗器的主变压器作用原理.....	38
第三节 主变压器的实际应用.....	42
第四节 均衡电抗器.....	48
第五节 阳极均流器.....	50
第五章 直流側短綫及逆弧	52
第一节 直流側短路及其外特性曲綫.....	52
第二节 逆弧.....	55

第六章 快速开关的作用原理及其结构	59
第一节 阳极快速开关的作用原理及其结构.....	59
第二节 阴极快速开关的作用原理.....	62
第七章 电源及供电系统	64
第一节 负荷、效率及功率因数的确定.....	64
第二节 电源及电压.....	67
第三节 供电系统.....	68
第四节 母线选择.....	70
第八章 水银整流机组的控制、保护及信号系统	74
第一节 整流机组的保护和阳极快速开关控制系统.....	74
第二节 整流机组的警告信号系统.....	79
第九章 整流机组的自用电及栅极系统	81
第一节 整流机组的自用电.....	81
第二节 栅极系统.....	84
第十章 整流器的安装和安全要求	88
第一节 整流器的安装.....	88
第二节 各种安全要求.....	90
第十一章 整流器解体	91
第一节 解体的意义和要求.....	91
第二节 解体工具.....	94
第三节 解体.....	96
第十二章 整流器的试验和定相位	100
第一节 主变压器试验.....	100
第二节 整流器真空漏洩试验.....	100
第三节 栅极电压和主阳极电压定相位.....	102
第四节 励弧和主阳极电压定相位.....	105
第十三章 整流器的化成和起动	109
第一节 化成的意义和要求.....	109
第二节 化成电源电压.....	109

第三节	化成的步骤	111
第四节	整流器化成与铝电解槽焙烧的配合	113
第五节	整流器的起动和停止	113
第十四章	整流器的安全运行	114

第一章 水銀整流器作用原理及構造

我国的社会主义工业建設，在党的正确領導和社会主义建設总路綫的光輝照耀下，已取得巨大飞跃的发展，炼鋁工业也同样在突飞猛进。我們坚信，在党的领导下，广泛研究和掌握作为小型鋁厂极重要組成部分的水銀整流器的設計、安装和运行方面的知識，对于加速鋁鎂工业的飞跃发展，有着重要的意义。

水銀整流器是近代把三相交流电流变成直流电流的应用最广的整流設備之一，它与电动发电機組及旋轉整流机等整流設備比較起来有着一系列优点，如：整流效率高、寿命較长、投資較少等；在距今約三十年之前，水銀整流器开始在工业部門得到应用，由于鋁鎂工业电解的直流电压較高（通常在460伏以上），而水銀整流器的效率又随着直流电压的提高而提高，所以迄今为止，水銀整流器在許多国家尤其是在我国的輕金屬鋁鎂电解工业的领域中仍居于压倒优势，这一情况要求我們对水銀整流器作更加广泛和深入的研究，更好地为社会主义工业建設服务。

第一节 水銀整流器的作用原理

最简单的水銀整流器原理示意图如图1所示。其中阳极3由石墨制成，阴极4則为盛在容器中的水銀，整流主变压器1的副繞組加交流相电压于阳极及阴极間，在圓桶里另有产生电弧和維持电弧的点弧及勵弧极（图中未示出），并且抽成高度的真空；在正常运行溫度下，水銀从阴极不断蒸发，桶中充滿了水銀蒸汽分子，又不断冷凝在桶壁上再流向阴极。工作时首先由点弧极在水銀阴极上引起电弧，并由勵弧极維持电弧和水銀阴极上的弧点（阴极上电弧集中之点）。所謂电弧就是由于气体导电而有大量电子和离子在气体中流动并使气体游离发出光和热的一种物理現象。我們常見的电焊弧光就是电弧的一种。由勵弧极所維持的电

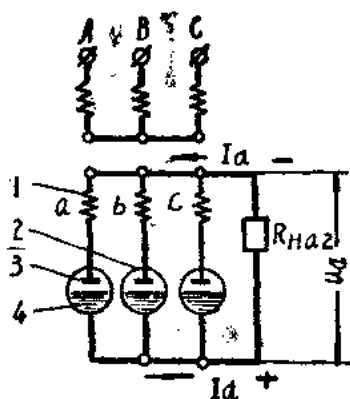


图1 水銀整流器示意图

1—主变压器；2—整流器的圓桶；

3—阳极；4—阴极

沿途不断碰撞尚未游离的中性水銀蒸汽分子，并把他們的电子撞出来使之游离，形成新的电子（又叫二次电子）及正离子；新的电子也受阳极的引力奔向阳极，沿途又撞击其他的中性水銀蒸汽分子并产生三次电子，以此类推，于是电子愈来愈多，都紛紛奔向阳极形成巨大的电子流，电子流的大小仅受外界电路电阻的限制；带负电的电子从水銀阴极奔向石墨阳极就是电流由正极流到负极（电学上公認电流流动的方向与电子移动的方向相反），如图2所示，这就是水銀整流器整流时通过整流器的电流。

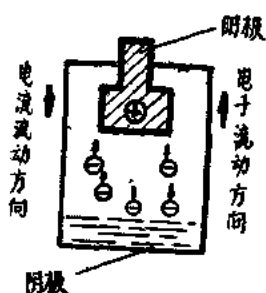


图2 圓桶整流时的示意图

水銀加热，保持阴极弧点的高温，使之成为阴极不停地发射电子

弧不大，但足以使其附近的水銀蒸汽分子游离，亦即使部分的中性水銀蒸汽分子分离成带正电荷的正离子及带负电荷的电子，当外加于阳极及阴极間的交流电压使得阳极电位高于阴极电位，亦即阳极对阴极之电位为正时，則已經存在于圓桶里的电子便受到阳极的吸力（即电场力）而奔向阳极；这些电子在奔向阳极的过程中，

在电子大量奔向阳极的同时，桶內空間的正离子也落到水銀阴极上去，但由于正离子的質量較电子的質量大得多，它的流动性相比之下显得很小时，可以認為电流主要是由电子流动形成的；落在阴极上的正离子撞击着阴极水銀面，放出自己的动能使

的来源。

但是，当外加于阳极及阴极间的交流电压使得阴极电位高于阳极电位，亦即阳极电位对阴极为负时，阳极对空间电子的吸力就没有了，此时阳极对正离子虽有吸力，但由于正离子质量大、流动性小，一般不能形成二次电子；于是，一方面由于石墨阳极不能发射电子（和水银阴极不一样），电子失去了新的来源。另一方面又由于空间本来已经游离的电子和离子又复逐渐合成中性水银蒸汽分子，所以阳极和阴极间的水银蒸汽变成不导电了，也就没有电流流通。正是由于这一原因，使得水银整流器圆桶成为好像仅能单方向通过电子的阀门一样，只能让电流由阳极流向阴极而不能由阴极流向阳极；这样虽然外加于阳极及阴极间的电压是交流电压，而通过水银整流器和外电路的电流却是直流的，因而达到了整流的目的。

选用水银作为整流器的阴极有着这样几个原因：

1. 水银阴极不受磨损，蒸发了的水银冷凝于桶壁后又流回阴极；
2. 水银阴极具有巨大的电子发射能力，水银蒸汽容易游离整流时电力损耗不大；
3. 当圆桶内具有高度真空时水银不会氧化。

第二节 水银整流器的型式及构造

水银整流器圆桶的桶壳通常有玻璃的及金属的两种，按桶内真空保持方法可分为密封不可拆的和带真空抽气泵的两种。按圆桶内阳极的个数又可分单阳极及多阳极的两种。按圆桶运行时的冷却方式又可分为水冷及风冷两种。我们着重介绍的为铝镓电解中常用的 PMHB—500×6 及 PMHB—500×12 型两种整流器，其型号代表的意义如下：

P——俄文「水银」的第一个字母；

M——俄文「金属」的第一个字母；

H——俄文真空泵的〔泵〕字第一个字母；

B——俄文水冷却的〔水〕字第一个字母。

也就是說，我們所介紹的是金屬桶壳帶真空泵及水冷却系統的水銀整流器。

PMHB—500×6 及 PMHB—500×12 型整流器是單陽極的，每台整流器分別由完全相同的 6 及 12 個整流圓桶所組成，整流器型號中俄文字母后面的〔500〕表示每個圓桶在整流電壓為 600 伏時能連續供給平均電流 500 安，因此，一台 PMHB—500×6 型由 6 個圓桶組成的整流器，在整流電壓為 600 伏以下時（包括 600 伏），能供給直流電流 3000 安。同樣，一台 PMHB—500×12 型整流器能供給 6000 安，但是整流圓桶供給電流的能力，隨整流電壓而變，整流電壓愈高所能供給電流的能力也愈小，這是在高電壓下整流圓桶工作條件比較困難的緣故。因此，一台 PMHB—500×6 及 PMHB—500×12 型整流器，當整流電壓為 825 伏時，一般只能供給 2500 及 5000 安。至於整流電壓的大小，系根據電解車間生產的需要，完全視整流主變壓器二次側所加于水銀整流器陽極及陰極間的交流電壓大小而定（基本上成比例）；如果交流電壓的數值高，則在同樣主變壓器接線條件下整流電壓也就愈高。

應該說明，某台整流器過負荷（即供給超過規定的電流）的能力，須視一系列運行條件和維護質量好壞而定。

每一個整流器圓桶的詳細構造如圖 3 所示，其各部名稱及功用如下：

1. 陽極絕緣子——其作用使帶電陽極與桶蓋絕緣，防止陽極引入棒及其根部發生電弧現象。

2. 陽極引入棒——其上部 M20 螺絲與從主變壓器二次來的陽極導線相接，其下部與陽極相連，系用導電材料做成；通過每一圓桶的電流即經過陽極引入棒進入陽極。

3. 陽極——整流器圓桶的最主要部分，由石墨制成，用螺紋緊旋在陽極引入棒上；整流器運行時電弧使陽極的溫度升高

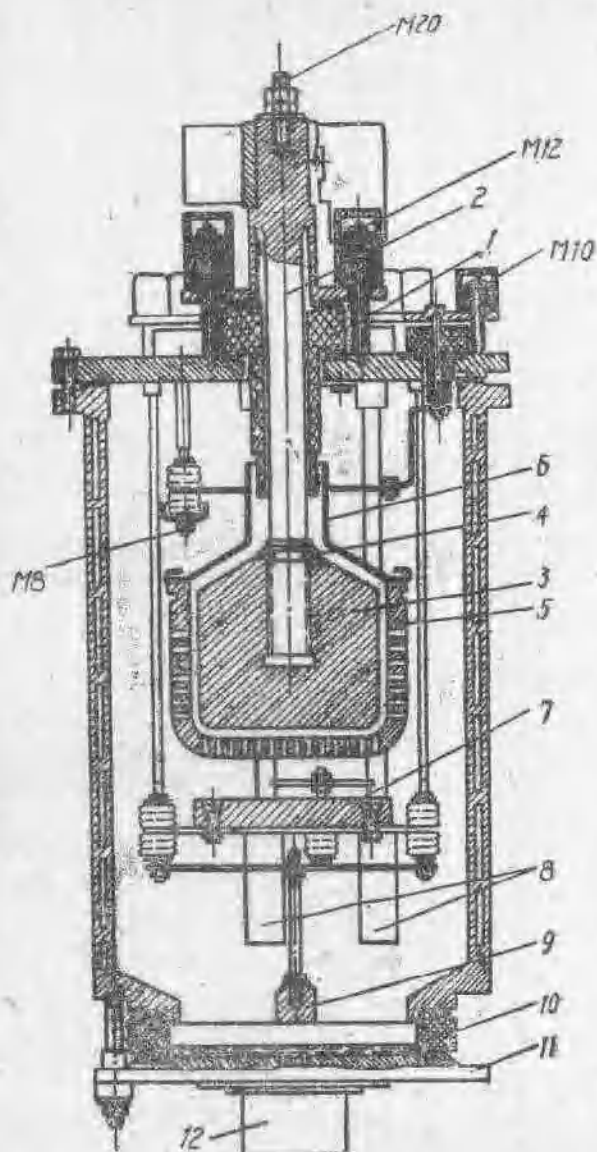


图 3 水銀整流器圓桶構造圖

至 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，其冷却主要靠其上部阳极散热器的辐射；石墨的特点之一是其电阻随温度升高而降低。

4. 垫圈。

5. 栅极——杯状，石墨制成，上有许多圆孔故名栅极；它使阳极的作用不仅限于表面并可扩大到整个周围外表（其作用以后详述）。

6. 遮罩。

7. 反射体——保护栅极与阳极，使水银蒸汽与阴极溅出的水银不能直接溅于其上，也保护阴极水银免受阳极辐射高热的影响。

8. 励弧极——每个整流器圆桶中有两个励弧极，亦由石墨制成；当励弧极与水银阴极间外加电压后能维持整流器圆桶中的电弧不致中断。

9. 点弧极——石墨制，当其上外加电压后与喷射器12一起作用，能使整流器圆桶内形成电弧。

10. 阴极绝缘圈——使阴极底部和圆桶之内壳绝缘。

11. 阴极底部——水银盛于阴极底部之水银盘中，盘中应盛水银0.75升，深度应为7毫米。

12. 喷射器——系与点弧极一起共同作用形成电弧的装置（详见图7）。

每台PMHB—500×6或PMHB—500×12型整流器即分别由上述之6个或12个圆桶组成，连同真空系统及冷却系统共同装于一支架上。

PMHB—500×6型整流器之构造简图如图4所示，其重量如下：

整流器不带水重量2550公斤；

整流器带水重量2650公斤；

整流器圆桶重量300公斤。

PMHB—500×12型整流器之构造简图如图5所示，其重量

如下：

整流器不带水重量 4600 公斤；

整流器带水重量 4800 公斤；

整流器圆桶重量 300 公斤。

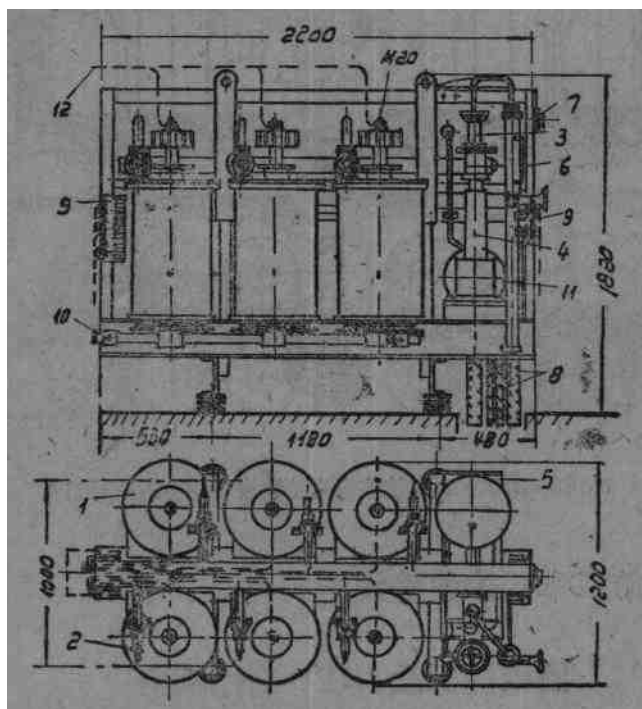


图 4 PMHB-500×6 型整流器构造简图

- 1—整流圆桶；2—各整流圆桶的真空阀；3—主真空阀；4—水银真空泵；
5—油泵真空泵；6—水银真空计；7—温度信号指示器；8—冷却水橡皮管；
9—辅助线路接线板；10—整流器阴极母线引出接头（校正母钱）；11—油泵
电动机；12—阳极导线

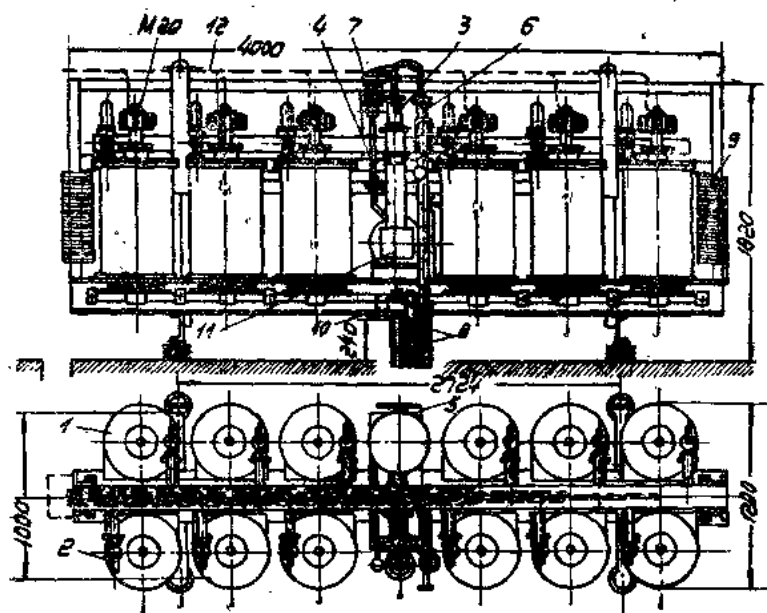


图 5 PMHB—500×12 型整流器构造简图（本图的注同图 4）

第二章 水銀整流器的点弧、励弧、

栅极控制及 IIPB 型控制箱

第一节 点弧、励弧作用及其結綫系統

点弧——其作用为在整流圆桶内引起电弧，这是整流圆桶开始进行整流的必要条件；如第一章所述当整流圆桶停止运转时，桶中阳极和阴极間存在有水銀蒸汽分子，这些分子是中性的，此时即使在阳极和阴极間加以交流电压，当阳极电位对阴极为正时，阳极对中性水銀蒸汽分子也沒有吸力，电流无法在圆桶中

流通；因此，必須先設法在圓桶中引起电弧，亦即使部分中性水銀蒸汽分子游离产生負电子及正离子。点弧裝置正具有这一作用，其所形成的电弧由勵弧裝置来維持。

勵弧——其作用在于維持圓桶中的电弧不致中断，点弧裝置虽然在桶內引起了电弧，但其作用不能持久，必須靠勵弧裝置在整流圓桶內維持一个較小的电弧；我們在前面已經說明当外加于阳极的电位較阴极为低时，整流圓桶不通过电流，电弧熄灭，正負离子复合；如果没有勵弧裝置来維持电弧，那么当阳极电位再变得較阴极电位为高时（阳极上加的是交流电压），由于圓桶內没有电弧仍不能通过电流进行整流。

PMHB—500×6 型整流的点弧勵弧結綫系統見图 6，其动作情况叙述如下：

当給上勵弧变压器 TB 电源的同时，点弧变压器 T3 也加上电压，脉冲接触器的綫圈 KИ 开始有电流通过 $1KИ—1K2—13—T3$ ，于是第一圓桶的噴射器綫圈 13 有电流流过，电流所产生的磁力馬上吸引鉄芯 4 向下（見图 7），压缩弹簧 2，并排出杯形物中的一部分水銀，此时水銀就从噴咀中央的小孔中突破阴极水銀面而噴出，使水銀阴极与点弧极 6 相通（正常情形下弹簧浸于水銀中，鉄芯受弹簧頂力浮在水銀面上部）；于是电流便經水銀阴极——点弧极 6—— $1K1—C3—KИ—T3$ 而流通（見图 6），与此同时，当綫圈 KИ 有电流通过后，跟着便馬上断开自己的常閉接点 $1KИ$ 而閉合 $2KИ$ ，一方面接通了电鈴 3B 及信号灯 ЛС，使維持人員由鈴声及灯光知道整流器圓桶正进行点弧；另一方面由于 $1KИ$ 的断开切断了噴射器綫圈 13 的电流；于是鉄芯 4 停止向下移动；水銀停止从噴咀中央的小孔噴出，水銀阴极和点弧极 6 不相通，其結果原先流通的电流被切断就引起了电弧（好像我們通常晚上切断电气开关时看見的电弧）。同时，由于勵弧变压器 TB 对勵弧极和阴极已加了电压，点弧极所引起的电弧中的电子便馬上为勵弧极所吸引，这样便在勵弧极和阴极間产生了电弧。勵弧

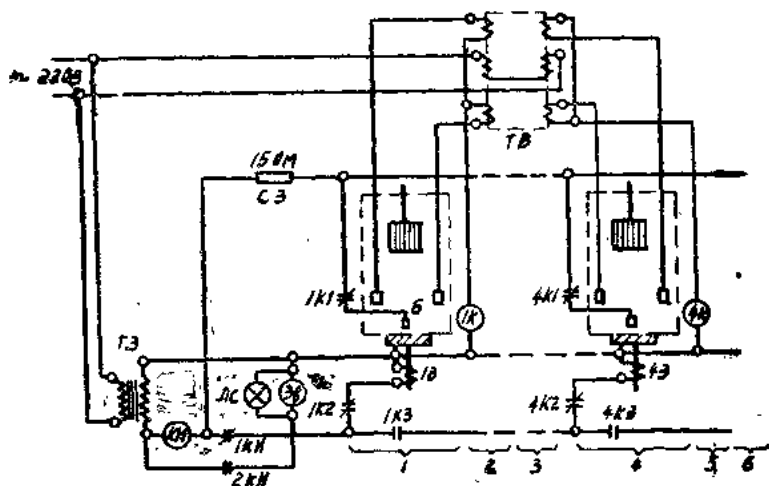


图 6 PMHB-500×6 型整流器点弧、励弧接线系统图

T3—点弧变压器; KH—脉冲接触器线圈; 1KH—脉冲接触器常闭接点;
 2KH—同上、常开接点; 13—43—喷射器线圈; C3—点弧电阻; 3B—
 铃; JC—信号灯; TB—励弧变压器; 1K~6K—励弧接触器线圈; 6—
 点弧板; 1K1~6K1, 1K2~6K2—励弧接触器第一及第二组常闭接点;
 1K3~6K3—励弧接触器第三组常开接点

极能维持电弧不致中断，这是因为励弧变压器对一个整流圆桶中的两个励弧极所加的电压是大小相等方向相反的 100 伏交流电压（电工学通称相差 180° ），在任何一个时刻两个励弧极中总有一个比阴极的电位高，因此两个励弧极轮流地和阴极相通而维持电弧。当励弧已能维持电弧后，图 6 中的励弧接触器线圈 1K 即有电流流通，跟着便断开其常闭接点 1K1 及 1K2 并闭合其常开接点 1K3，这样就切断了第一相整流圆桶的点弧电路和点弧接触器线圈 K1 的电流，于是 1K1 重新闭合而 2K1 打开，电流便又经 K1—1K1—1K3—2K2（图中未示出）—23（图中未示出）—T3 而成通路了，这样第二相的圆桶便开始点弧，然后再重复上述第一