

电气化铁路培训班教材

电力机务设施

张炳基 编

铁道部铁路电气化研修中心
一九九二年六月 天津

11264/022

目 录

第一章 电力机车	1
(一). 概 况	1
(二). 电机常识简介	5
(三). 电力机车技术性能	8
(四). 电力机车的检查、试验与操纵	56
(五). 世界干线电力机车简介	58
第二章 电力机务设施	64
(一). 机车交路	64
(二). 电力机车检修设备	69
第三章 站段关系及段内布置	72
(一). 站段关系	72
(二). 段内布置	76
第四章 电力机务段在运输管理中需要特别 考虑的问题	85
(一). 切实做好发展电气化铁路的归划	85
(二). 铁路局管内建立第一个电力机务段的规模问题	86
(三). 改、扩建与新建段的关系	86
(四). 电力机车整备场须与内燃、蒸汽机车分开布置	87
(五). 接触网高压电不得入库	87
(六). 电力机车机械部分影响检修间走行公里	88
第五章 提高电气化铁路运输效果的意见	88
(一). 提高电力机车制造、运用维修质量减少临修	89
(二). 专用线电化问题	89
(三). 机车砂箱容量问题	89
(四). 运输组织和指挥调度	90

(五). 机车通过相分段问题	90
(六). 货物线电化后注意事项	91

第四篇 电力机务设施

第一章 电力机车

(一)概况:

铁路电气化迄今已有上百年的历史了。世界上第一条电气化铁路是1879年5月由德国西门子和哈尔期公司建造的。过去由于油价便宜,电气化铁路和电力机车的技术水平较低,发展缓慢。各国的牵引动力改革主要是向内燃牵引发展。近年来,由于技术水平的提高,尤其是1973年以后几次石油涨价和世界范围的能源紧张,电气化铁路引起世界各国的广泛重视。电力牵引可综合利用各种能源,环境保护好,列车正点率高,机车损坏少。还可利用再生制动,提高安全运行。今天,无论是发达国家或发展中国家,山区铁路或平原铁路,郊区铁路或干线铁路,重载铁路或高速铁路,运量大的铁路或次要铁路,也无论是产油国家或产煤国家,都在积极发展电气化铁路,它已成为世界各国铁路的发展方向。

电力机车的发展史,其基本上是从直流到交流,从简单到复杂。其中交流制式又从单相交流到三相交流。

1. 直流制:本世纪50年代以前,大多数国家电气化铁路采用直流电力机车。即由牵引变电所馈直流电经接触网供给电力机车。原理图如图1—1。

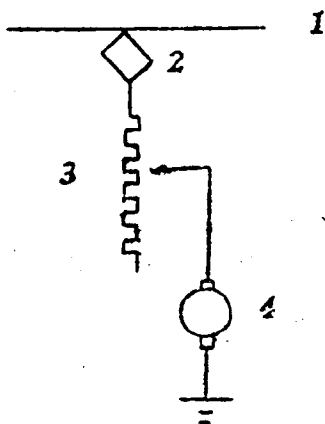


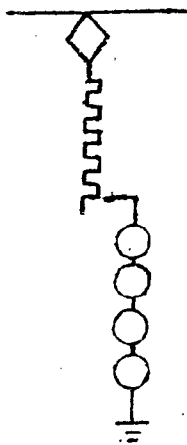
图1—1 直流电力机车原理图

1——接触网; 2——受电弓; 3——调压变阻器; 4——直流串激牵引电动机。

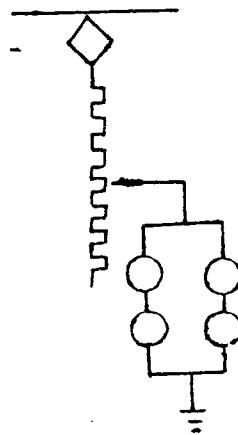
这种制式的接触网电压为直流600伏(城市电车),1500伏、3000伏(矿山及铁路干线)

电力机车)。机车的起动调速主要靠调压变阻器及牵引电机的串并联。以四动轴电力机车为例：

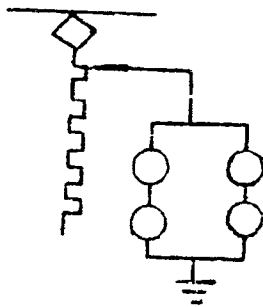
(1) 起动：



(2) 中速：



(3) 高速：



在起动、中速与高速之间,通过调压变压器的逐段切除而逐级变速。

这种制式的电力机车结构简单。

2 单相交流制:从本世纪 50 年代中期开始,电力机车转向单相工频交流制方面发展。我国铁路电气化事业受其影响很大,宝成线的电气化,起初是按直流制设计的(1955 年),因在当时国外刚开始发展起来的单相工频交流制的影响下,修改了宝凤段的设计,使我国电气化铁路一起步就跨入了先进行列。这种制式的特点是接触网的电压为单相交流电,经受电弓进入机车整流成直流电后供给牵引电动机,由于每台机车都相当于直流制的小变电所,故机车构造较为复杂。原理图如图 1—2。

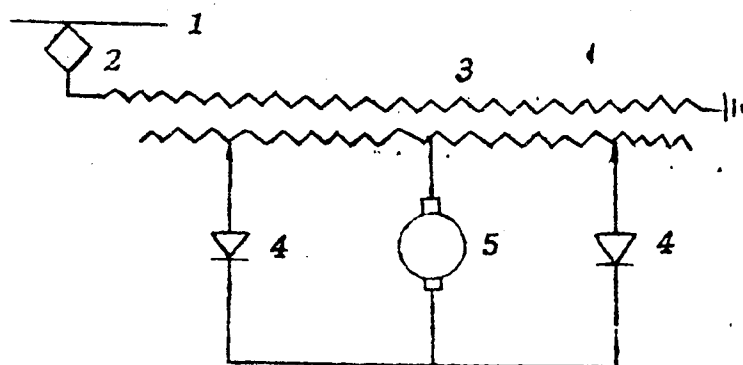


图 1—2 单相交流电力机车原理示意图

1——接触网; 2——受电弓; 3——变压器; 4——整流器; 5——直流串激牵引电动机。

这种制式的接触网电压为 50、25、16 $\frac{2}{3}$ 周波, 6.6、11、15、20、25 千伏单相交流电。1958 年曾设计出 35 千伏电力机车, 25 千伏为非标准电压制, 但未生产, 也未发展。机车的起动调速主要靠与变压器次边相连的调压开关(图中箭头代表)改变变压器次边抽头。调整加在整流器、牵引电动机的电压而实现的, 和直流制一样仍然使用直流串激牵引电动机。(使用单相整流子牵引电动机的单相交流制从略。未来城市近、远郊区发展客运电气化有可能使用, 必竟结构简单)。

3. 三相交流制: 上述直流制、单相交流制均采用直流串激牵引电动机, 这种电机因带有整流子, 它在制造、成本以及维护检修方面均较复杂。而交流无整流子牵引电动机(即三相异步电机)的许多优点, 早为人们所了解。它在制造、性能、功率、体积、重量、成本、维护、可靠性等方面远比整流子牵引电动机优越的多。但是由于技术上不能很好地解决它的经

济调速问题。所以这种电机得不到很好的发展。相反,长期以来各种牵引传动,几乎都为整流子牵引电动机所占领。

今天,由于电子技术和晶闸管(即可控硅)变流装置的迅速发展,特别是大功率快速晶闸管性能不断的提高和半导体集成电路不断发展,及其在大功率变流装置上的广泛应用,为交流电机变频调速提供了一个新的技术途径。近 20 年来,这种半导体变流装置,在牵引变流调速方面发展很快,特别是在逆变器方面的应用与发展实际上为交流电机的变频调速提供了充分良好的条件。

一九六四年以后,可控硅交流技术开始进入了交流电机变频调速的领域。近 20 年来,先后在英国、苏联、西德、瑞士、美国、法国、日本、意大利等国。开展了采用三相交流牵引电机的试验研究和试制工作。而且制造了许多样机。个别国家已经开始小批量地生产中等功率的电力机车。

在上述各国的研究试验工作中,西德取得了相对的领先地位,而且也是至今为止最先开始小批量生产中小功率变频调速机车的国家。在研究试验大功率干线电力机车方面也取得了领先地位。西德也是最先将自己的研究成果售与外国的国家。

三相交流制又称交——直——交系统。其原理示意图如图 1——3。

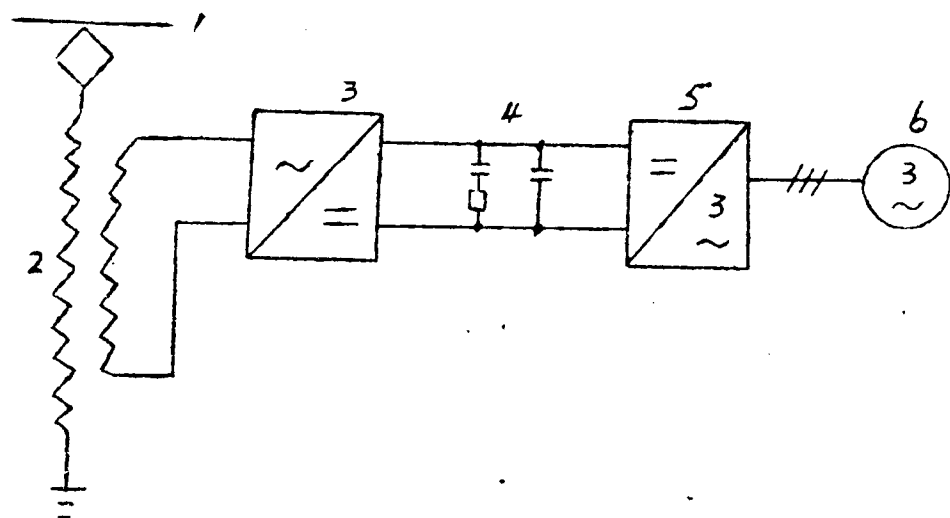


图 1——3 三相交流制电力机车原理示意图

1——接触网; 2——变压器; 3——电源侧变流器; 4——中间储能环节(由滤波器和储能电容组成); 5——电机侧变流装置(逆变器); 6——三相牵引电动机(三相异

步电机)。

所谓交——直——交系统,系指牵引功率传递过程中,电能形式上的一些必要的变化,三相交流电机与脉流整流子牵引电机(以及单相整流子牵引电机)不同。三相交流电机,基本上是一个平稳的功率负载。而整流子电机则可以是一个脉动功率的负载。由于单相牵引网也是一个脉动的功率电源,所以这种电源系统和三相电机负载之间,必须有一个电能平衡装置。另一方面,单相电网是一个频率固定的电源,而三相牵引电动机是一个频率随转速要求而变化的系统,这两个系统间又存在相数和频率的变换问题。正是由于以上两个要求,出现了交——直——交系统。这个系统实际上由三部分组成。如图 1——3 所示,第一部分称为电源侧变流器(序号 3),它将固定频率的单相电源变为直流电源;第二部分为中间储能环节(序号 4),作为平衡和隔离电源和负载两者间的过渡装置;第三部分为电机侧变流装置,亦称逆变器(序号 5),即将中间环节的直流电源,变为可以平滑调整频率调整电压的三相交流电源并向三相牵引电机供电。

交——直——交系统,正是由于以上原因而得名。

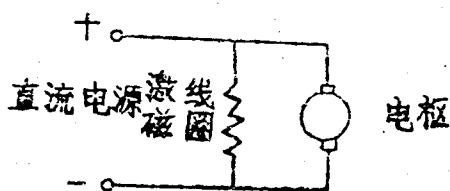
当前我国已批量生产韶山 1 型(SS_1 型)。而韶山 2 型(SS_2 型)只生产了一台样机。韶山 3 型(SS_3 型)将代替韶山 1 型。从韶山 1~韶山 3 均为六轴电力机车。韶山 4 为八轴电力机车。不久的将来还将在八轴电力机车的基础上改装生产四轴机车,从而完成我国电力机车的系列化以满足国内不同坡度、定数、半径、有效长等电气化的要求。

综上所述可见,我国电力机车制造水平与世界先进国家还有差距。我国的交——直——交系统还处于研究阶段。

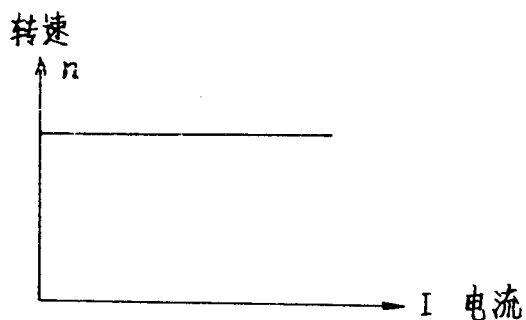
(二)电机常识简介:关于一般电工原理、变压器及其它高压电器在牵引变电所、接触网等专业授课内容中已做介绍,故此从略。这里只简介与电机有关的一般知识如下:

1. 直流电动机的特性:直流电动机由于激磁型式不同,它们的特性也就各异,按激磁线圈接入电枢的方法分为串激、并激和复激,而复激电动机的特性介乎串激、并激之间,并激电动机接线原理及特性如下:

接线原理:

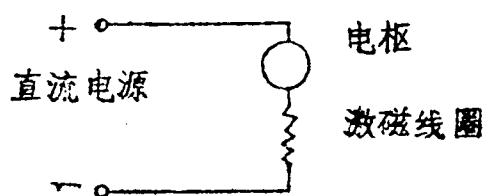


特性曲线:

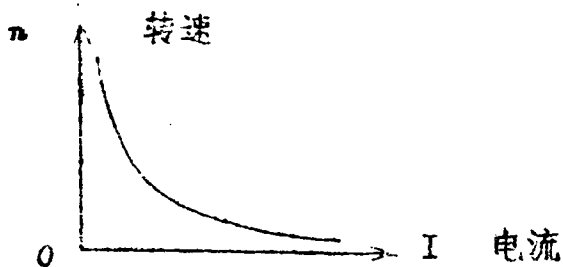


即当电源电压一定时,转速几乎不随负载电流的大小而变化,可想而知,这种特性是无法实现牵引特性的。顺便提一句三相无整流子牵引电动机(三相异步电动机)也属这一特性,只有串激电动机才适合于电力牵引,其接线原理及特性如下:

接线原理:



特性曲线:



串激牵引电动机具有人们常说的牛马特性。即上坡时,电流很大,速度可以很慢,理论上不会停车(即特性曲线永远不会与横坐标相交)即所谓的爬坡像牛;在平原上行驶时,电流很小,速度很快,理论上可以达到无限快(即特性曲线永远不会与纵坐标相交)即所谓的平道行驶像马一样跑的快。

复激电动机的工作特性又分加复激和差复激。视串、并激线圈作用大小而定,从略。

2. 直流串激牵引电动机的调速:我们知道当电动机的电枢(转子)在磁场内旋转时,电枢上的绕组内即将产生感应电势,其值可由下式表示:

$$E = \frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N\varphi$$

式中 E——电机电势(近似电机外加电压)

P——电机磁极对数

a——转子上并联支路对数

N——转子上导体数

n——电机转速

φ ——磁极的磁通量

对于某一具体电机而言,式中 P、a、N 为一特定常数,如用 K 表示,则上式可改写为:

$$E = K\varphi n$$

则

$$n = \frac{1}{K} \cdot \frac{E}{\varphi} \text{ 或 } n \propto \frac{E}{\varphi}$$

可见,电动机的转速是与电枢的电势成正比,而与磁场的磁通成反比例。也就是说:当逐渐提高电动机的外加电压时,电机的转速就逐渐加快;当外加电压一定时,减少磁通(亦即减少激磁电流)电机转速还可以进一步提高。这一概念对于理解电力机车调速及机车高速下使用磁场削弱进一步提高机车运行速度颇为重要。

3. 三相感应电动机的调速:感应电动机是应用最广的电动机。由定子和转子组成:定子是电动机的不转动部分。它的任务是利用三相交流电形成一个旋转磁场;转子是一个可以转动的部分。它的任务是在旋转磁场的作用下产生感应电流。并因受到磁力矩的作用而转动。转子受到磁力矩的作用,将依磁场的旋转方向转动,但转子的转速永远不能达到旋转磁场的转速,因为如果转子的转速与旋转磁场的转速是相等的话,那转子与磁场之间就没有相对转速。这时转子内不再有感应电势和电流的存在。正是由于这一原因,所以感

应电动机又称异步电动机或称做 非同步电动机。

感应电动机的转速可由下式表示：

$$n = \frac{60f}{P} \text{ 或 } n \propto \frac{f}{P}$$

式中 n ——电机转速

f ——电源频率

P ——电机的极对数

即电机的转速与电源频率成正比，与电机的极对数成反比，当电源频率一定时（我国为 50 赫芝）极对数越少转速越高。正如我们常识所知的那样，常用的二极、四极感应电动机其同期转速分别为 3000、1500 转/分。综上所述，可知感应电动机的转速调节只有改变频率或极对数。这一概念对于理解先进的交——直——交电力机车将有用途。

4. 劈相机原理：由于机车上辅助电机（压缩机、通风机等）除了特殊需要外均采用了三相感应电动机，其三相交流电靠劈相机供给。劈相机的功能是将主变压器次边的单相电源变为三相电源以供机车上三相感应电动机使用。其原理接线图如图 1——4。

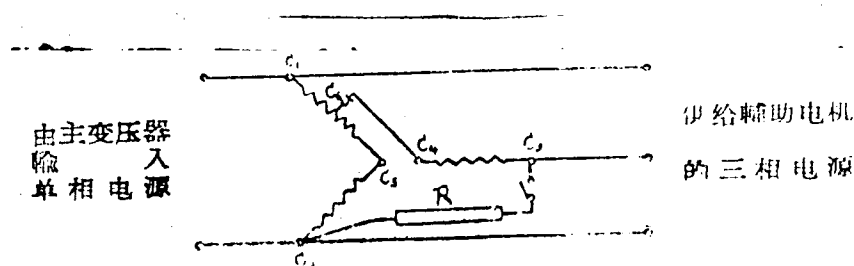


图 1——4 劈相机定子绕组原理接线图

图中 C_1 —— C_2 为电动绕组， C_3 —— C_4 为发电绕组。绕组 C_1 —— C_2 接在主变压器辅助绕组上，各辅助电动机由绕组抽头 C_1 、 C_2 、 C_3 上得到三相电源。其作用原理为电动绕组 C_1 —— C_2 在空间产生一旋转磁场，这一与转子磁场交链的旋转磁场在定子的三相绕组中感应出近似平衡的三相发电机电势，即将单相变为三相电。 R 为启动电阻，供启动电机用，启动后切除。劈相机系旋转机械式的，今后将被静止式的劈相器代替。

(三)电力机车技术性能

1. 国内现有电力机车主要性能:

1961年8月15日,我国历史上第一条电气化铁路宝成线宝鸡至凤州区段正式通车,结束了我国铁路干线没有电力牵引的历史。此后,电力机车以其功率大、爬坡性能好、能源取用方便、环境污染小等优点显示了强大的生命力。截止1990年,国产电力机车已发展成为具有4、6、8轴型谱、客货牵引多种用途的机车,累计产量1300多台。它们在全国7000多公里的电气化铁路干线上,承担着近20%的运量,为我国国民经济的发展起到了巨大的推动作用。

1985年12月28日,第一台国产电力机车在湖南湘潭落成。以毛泽东主席的故乡“韶山”命名。该车是以苏制H60型力机车为基础制造的。

1959年10月改由铁道部株洲电力机车厂承担“韶山₁型”2号电力机车,1961年3月完成。从1968年8月机车开始批量生产。至1988年“韶山₁型”电力机车共产826台并停止生产。它是“六五”“七五”期间的电力牵引主力。

1966年,随着电子控制技术和大功率半导体元器件的发展,国际上电力机车技术有了较大的进步,新一代“韶山₂型”电力机车开始研制。1969年9月制成。“韶山₂型”电力机车采用了半控桥式相控调压整流电路及新型集成化的电力控制电路。并改造应用了晶闸管相控无级调压。

“韶山₃型”电力机车吸取了前两机型的研制经验,采用了这两种机车的成熟技术研制而成的。1978年12月“韶山₃型”电力机车落成。该车采用了800千瓦牵引电机桥平滑电路、晶闸管与调压开关相结合的级间平滑调压等新技术。至1991年5月“韶山₃型”已生产525台。

根据我国电气化铁路在繁忙干线牵引量大的需要及山区的运行特点,1981年开始,1983年9月,“韶山₄型”八轴电力机车制成。截止1991年共产48台。“韶山₄型”电力机车大量采用了八十年代国际先进技术,诸如四段经济半控桥式整流电路、中压脉流牵引电动机、真空断路器等。

1990年9月21日,我国铁路干线准高速客运电力机车“韶山₅型”1号机车制成。该车系国家“七五”重点科技攻关项目。此车采用了空心轴牵引电动机和再生制动等技术。其技术达到了八十年代相控电力机车的国际先进水平。时速140公里。

以成熟技术设计的“韶山₆型”电力机车,于1991年4月23日落成。

采用较多新技术新部件的“韶山₇型”和时速160公里的“韶山₈型”电力机车已开始设计。预计,本世纪内将研制200公里/小时或以上速度的电力机车。

当今世界最先进的交——直——交电力机车已进入研制技术准备阶段。

此外,在 1989 年底由长客生产的 DKJ—1 型电动车组,最高时速已达 141 公里。

总之,国产电力机车的研制经历了从无到有,从简单低级技术到复杂高级技术,从单一机型到多品种机型的型谱系列化过程,从客货兼用到重载、高速专用车型。概括起来为:

1. 从引燃管整流到大功率硅整流技术的进步;

2. 从单一的调压开关控制到调压开关与晶闸管相结合的级间平滑调压。进而采用 4 段经济半控桥式主电路,取代传统的调压开关;

3. 具有八十年代末国际先进水平的“韶山₇”型电力机车在原有基础上采用二段桥相控加功率因数补偿,即可简化设计节约晶闸管,又可以取较高的功率因数,机车牵引采用了特性控制技术,兼有恒流控制的优点,再生制动技术可使机车在 10~60 公里/小时速度范围内提供恒定的最大制动力。

4. 不断吸收消化国外先进技术,取人之长补己之短,少走弯路。我国先后从法国、苏联、日本等国引进了 6Y₂ 型、6G 型、8K 型、6K 型、8G 型等不同类型的电力机车。

综上所述,国产与进口电力机车总计已有 13 个类型,表中仅列出 10 种型号。60 年代初从法国进口的 6Y₂ 型 25 台,70 年代初从法国进口折 6G 型 40 台,从罗马尼亚进口 2 台,有的已完成历史使命,其余均在宝成线宝广段使用,故未列入。

截止到 1990 年年底,韶山₁型生产 826 台、韶山₂生产 1 台、韶山₃生产 303 台、韶山₄生产 23 台、韶山₅生产 2 台、韶山₆生产 1 台、韶山₇技术设计已鉴定,8K 型进口 150 台、8G 型进口 100 台,6K 型进口 85 台。其中韶山₁为仿苏 H60 机车,韶山₂为仿法 6Y₂ 型。

截止到目前,我国交——直系统电力机车的系列化已经完成,四轴、六轴、八轴机车均有,可以满足不同限坡、牵引定数、客货运输需要。

今后韶山₁~韶山₅型停止生产,改由韶山₄~韶山₆替代,设计中的韶山₈专为广深 160 公里/小时准高速电气化铁路应用,模式类似韶山₆型,韶山₇型将代替韶山₃型。

附单位换算

$$1 \text{ 升} = 10^{-3} \text{ 米}^3$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ 公斤力} = 9.80665 \text{ N (牛顿)}$$

$$1 \text{ mmHg} = 9.806375 \text{ Pa (巴)}$$

$$1 \text{ 马力} = 735 \cdot 49875 \text{ W (瓦)}$$

机车型号			韶山 ₁	韶山 ₂	韶山 ₃	韶山 ₄
别名			SS ₁	SS ₂	SS ₃	SS ₄
制造厂家			株洲	株洲	株洲	株洲
车轴排列			C ₀ —C ₀	C ₀ —C ₀	C ₀ —C ₀	2(B ₀ —B ₀)
构造速度(公里/小时)			95	100	100(货) 120(客)	120
通过最小曲线半径 $\frac{\text{米}}{\text{公里/小时}}$			125/5	125/5	125/5	125/5
机车总重(吨)			138	138	138	184
平均轴重(吨)			23	23	23	23
牵引性能	功率(马力/千瓦)	小时制	5700/4200	6530/4800	6530/4800	9245/6800
		持续制	5140/3780	6270/4620	5914/4350	8702/6400
	牵引力/速度 (吨/公里/小时)	小时制	33.7/46.6	36/49	34.4/49.9	44/51.9
		持续制	29.5/48.9	33/51.5	33.9/44.3	44/51.9
		起 动	54	54	54	64
	电 流 制		工频、单相 交流	工频、单相 交流	工频、单相 交流	工频、单相 交流
电 流 制 式	额定工作电压(千伏)		25	25	25	25
	最高/最低电压(千伏)		29/19	29/19	29/19	29/19

韶山 ₆	8K	8G	6K	韶山 ₆	韶山 ₇
SS ₆				SS ₆	SS ₇
株洲	法国	苏联	日本	株洲	大同
B ₀ —B ₀	2(B ₀ —B ₀)	2(B ₀ —B ₀)	B ₀ —B ₀ —B ₀	C ₀ —C ₀	B ₀ —B ₀ —B ₀
140 160	100	100	100 120	100	100
125/5	125/5	125/10	125/5	125/5	125/5
88	124	184	138	138	138
22	23	23	23	23	23
		9000/6620			
4351/3200	8702/6400	8702/6400	6526/4800	/4800	6526/4800
	65./45	48.2/49.3			
137KN116.2 /80、94.3	48/48	46/50	43.3/48	351KN/48	355KN/47.8
235KN 200KN	66.7	64	49.5~54	485KN (最大 530)	485KN (最大 530)
工频、单相、 交流	工频、单相、 交流	工频、单相、 交流	工频、单相、 交流	工频、单相、 交流	工频、单相、 交流
25	25	25	25	25	25
29/20	29/19	29/19	29/19	29/19	29/19

受 电 弓	型式/个数	单臂/2	单臂/2	单臂/2	单臂/2
	额定工作电压(千伏)	25	25	25	25
	额定工作电流(安)	600	600	600	600
	工作高度范围(毫米)	400~1900	400~1900	400~1900	400~1900
	最大允许速度(公里/小时)	150	150	150	150
	额定工作气压(公斤/厘米 ²)	5	5	5	5
	最小升高气压(公斤/厘米 ²)	3.75	3.75	3.75	3.75
	上升时间(秒)	6	6	6	6
	下降时间(秒)	7	7	7	7
	重量(公斤)	400	400	400	300
主 断 路 器	型号	KT-25G	KT-25G	TDZ1-400/25	
	额定工作电压(千伏)	25	25	25	25
	额定工作电流(安)	400	400	400	400
	额定断开容量(兆伏安)	200	200	200	200
	额定断开电流(安)	8000	8000	8000	
	极限通过电流(千安)	19	19		
	额定工作气压(公斤/厘米 ²)	5	5	5	5
	固有断开时间(秒)	0.025	0.025	0.025	0.025
	总分闸时间(秒)	0.06	0.06	0.06	0.06
牵 引 变 压 器	型号	JDFP 6300/25	JDFP 7000/25	TBQ3 7000/25	TBQ4 4760/25
	额定容量(千伏安)	6300	7000	6925	2×4760
	一次侧容量(千伏安)	5770	7000	6210	4760

单臂/2	单臂/2	3Y ₁ 双臂/2	LV2600 单臂/2	单臂/2	单臂/2
25	25	25	25	25	25
400	400	550	400	600	630
400~1900	400~1900	400~1900	600~1930	400~1900	400~1900
					140
	7	5	7		
	5.2	3.5	5		
	6~8	7~10	4~9		
	5~8	3.5~6	4~10		
	209	270	250		
	DBTF301300	DBTF301250	QRCB-201A 真空		
25	25	25	33	25	25
	400	400	600		400
	250	250	250	250	200
					8000
					20
7~8	7	7			
	30ms	18~30ms	40ms		0.025
	28~35ms	0.05~0.06	150ms		0.045
TBQ5- 5225/25	EFAT 6844	OH445- 4550/25	SUB/CLS		
5687	2×5606	2×4550	7316	7274	7178(不含 800 辆车取暖)
	5126	4550	7316	6932	