

汽车电传动

Qiche Dianchuandong

秦家明 编

人民交通出版社

前 言

随着我国钢铁工业和矿山采掘事业的发展，矿山运输任务必将对大吨位汽车提出新的要求。大吨位汽车将逐渐取代小吨位汽车和部分机车来完成运输任务。

由于技术和经济的原因，目前载重80吨以上的汽车均采用电传动系统。国外年产四、五百万吨的露天金属矿山都采用了百吨级的电传动自卸汽车，因此产量逐年增加。如在美国、日本、苏联和加拿大等国，这类汽车得到不同程度的发展。

我国已试制，并小批生产了百吨级电传动汽车，目前在技术上仍在不断地进行研究。重庆重型汽车研究所、湘潭电机厂、沈阳电传动研究所、本溪重型机械厂、长沙矿山研究院和大连电机厂等单位在这方面都进行了不少工作。

本书所提到的一些技术资料 and 试验数据，均系作者与重庆重型汽车研究所电传动课题组徐韞璋、张光华、王廷春、王先华等同志在实际工作中取得的。

由于我们的经验不多和编者的水平所限，书中一定有不少缺点和错误，望广大读者多提宝贵意见。

本书经孙凯南和黄声显同志审校，在此向他们表示感谢。

编 者

内 容 提 要

本书介绍了重型汽车电传动的电气控制原理，重点对主电路、牵引发 电机、牵引电动机和制动电阻等部件作了较详尽的阐述。同时还对国外同类汽车作了分析比较。此外对汽车电传动的控制、驱动、制动工况的计算和选择作了较通俗的说明。

本书可供使用电传动汽车的驾驶员、修理工学习，也可作为从事汽车制造和研究人员的参考。

汽车电传动

秦家明 编

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：3.75 插页：1 字数：67千

1985年6月 第1版

1985年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—17,700 册 定价：0.77元

目 录

第一章 汽车电传动概述	1
§1-1 汽车电传动的类型	1
§1-2 汽车电传动的功用和生产情况	4
第二章 汽车电传动的控制原理	6
§2-1 汽车电传动的控制方框图	6
§2-2 汽车电传动控制方法的类型	8
§2-3 美国 WABCO 汽车电传动的控制系统	9
一、对控制回路的要求	9
二、励磁控制回路	10
第三章 主回路	37
§3-1 概述	37
§3-2 牵引和制动时的气路工况	39
§3-3 发动机、主发电机和励磁机	43
一、发动机	43
二、主发电机	43
三、励磁机	49
§3-4 牵引电动机	54
一、牵引电动机的选择	54
二、牵引工况的计算	57
三、电动轮结构	61
四、牵引电动机的调速	68
五、制动电阻的选择	83

第四章	仪表及其作用	90
第五章	操纵回路	94
第六章	车型和控制线路	97
§6-1	美国 WABCO Haulpak 150B 型自卸车	97
§6-2	加拿大 Terex 33-15型自卸车	100
§6-3	马克 (Mack) 36 型电传动汽车	103

第一章 汽车电传动概述

§1-1 汽车电传动的类型

什么是电传动汽车？是一种传动系统由发动机拖动直流或交流发电机，并由电动机驱动车轮的汽车。发电机所发出的电能通过输电线路送到直流或交流牵引电动机，该电机装在汽车的驱动轮里或装在驱动轴中。它与机械传动系统的区别，如图 1-1 所示。

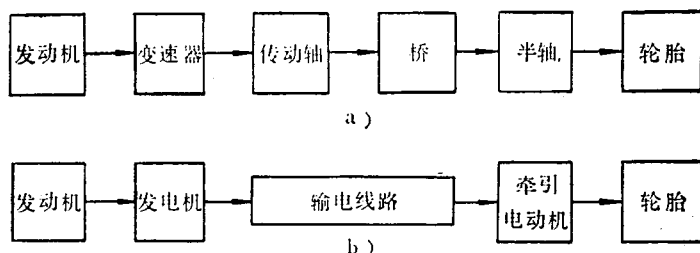


图1-1 机械传动(a)和电传动汽车(b)的动力传递过程方框图

电传动汽车根据装用的发电机和牵引电动机的型式不同，可分为四种：

1. 直流发电机——直流电动机系统，即直——直系统

在直——直电传动系统中，采用的是直流发电机和直流牵引电动机。这种系统的优点是，发电机发出的电能，可以

不通过任何装置的变换，而直接送到牵引电动机，因此系统的结构简单。其缺点是，直流电动机的体积大、重量大和成本高；转速不能很高；整流的火花大等，如图1-2a所示。

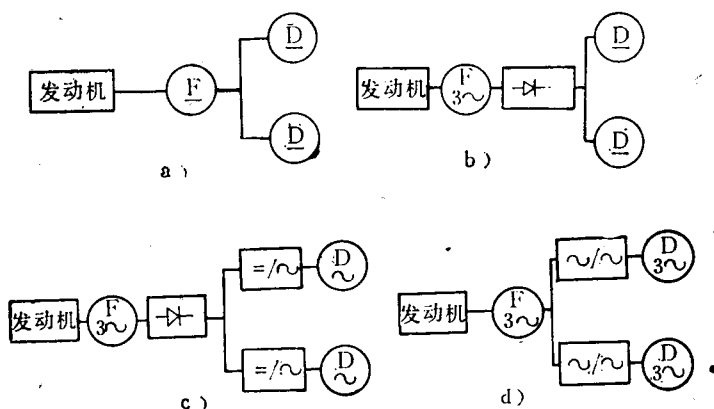


图1-2 电传动车的四种传动型式

a)直——直流传动系统；b)交——直流传动系统；
c)交——直——交流传动系统；d)交——交流传动系统

在该系统中，牵引电动机是采用直流串激电动机。因为这种电机的机械特性（扭矩和转速的关系近似于一条双曲线）好，这比其他直流电动机（并激、他激、复激等）更适合汽车牵引特性的要求。

2. 交流发电机——直流电动机系统，即交——直系统

为了避免直流发电机在结构上所固有的缺点，在多数电传动车上采用了交——直电传动系统。采用交流发电机后可以达到提高转速，缩小体积，运行可靠和维修简便等效果，从而更适用于汽车，如图1-2b所示。

该系统的发电机为三相交流发电机，经过大功率的硅整

流器整流后，把直流电输送给直流牵引电动机。目前国内外生产的大吨位矿用汽车电传动绝大部分属于这种结构。

3. 交——直——交流电传动系统

交流发电机的输出的电能经过整流及变频装置以后，输送给交流电动机，这称为交——直——交流系统。即交流发电机发出的三相交流电，经过硅整流器整流变成直流电以后，直流电再经过可控硅逆变器，把直流电变成预定可变频率的三相交流电，以供给各个交流牵引电动机使用。逆变后的三相交流电的频率根据需要是可控制的。例如，可对交流牵引电动机进行调频和调速。

交流牵引电动机（特别是鼠笼式电动机）与直流电动机相比，由于没有换向器，结构简单，外形尺寸小，所以可以设计出和制造出功率较大、转速较高的电动机，如图1-2c所示。这种电机运行可靠，维护方便。

4. 交——交流传动系统

该系统没有直流环节的直接变频的交流电传动系统。汽车发动机驱动一台同步交流发电机，交流发电机的输出输送给变频器，变频器向交流牵引电动机输送频率可控的交流电。在交——交系统中，对变频技术和电动机的结构都有较高的要求，因此目前尚未广泛应用，交——交系统的示意图，如图1-2d所示。

汽车电传动以机械结构来分，可分为电动轴式和电动轮式。电动轴式汽车的牵引电动机置于驱动轴壳内，由一个电机驱动两边车轮，轮间装有差速器。电动轮式结构则每边车轮分别由一个牵引电动机通过行星齿轮的减速机构来驱动。此外，汽车电传动也可采用双电源方式，即电网电源和发电机电源。

§1-2 汽车电传动的功用和生产情况

电动轮汽车主要用于露天矿山剥离、开采时的土石方、矿石的运输，以及大型建筑工程（如堤坝）和运河等工程中的土石方运输。由于采矿业的日益迅速地发展，规模日趋扩大，所需的运输工具的吨位也愈来愈大。从目前国外大吨位汽车的统计看，载重量在30吨以上的大都采用液力变扭器传动形式；80吨和100吨以上的矿山用车绝大多数采用电传动形式，只有少数用静液或动液传动。目前电传动形式以交——直流传动形式为多。由于硅整流元件和可控硅技术的发展，整流已不再成为问题，因此全直流传动形式已过时，而交——交流传动虽已成功地用于机车和其它固定设备上，但由于变频技术不够成熟和牵引电机结构复杂等原因，尚未广泛用于汽车上。

在大型矿山和工地上，大吨位自卸车不仅是一种运输工具，而且成为一种主要生产设备了。在这种场地上，除去钻孔、装炸药爆破外，百分之八十左右的工作量是装载和运输。为了提高生产率，矿山和工地从五十年代起就不断加大电铲和前端装载机的容量以及自卸汽车的吨位。电铲已由 $2\sim4\text{米}^3$ 发展到 $8\sim12\text{米}^3$ ，汽车的载重也就 $30\sim50$ 吨发展到 $80\sim200$ 吨。用得较多的是 8米^3 的电铲和 $100\sim150$ 吨的自卸汽车。一个年产矿石2000万吨左右的露天金属矿山，大致配备100吨级汽车70~100辆，电铲8~10台和牙轮钻机、推土机、装药车等其他设备。这样的矿山，每个工人每年生产5~8万吨矿石。一个年产2000万吨矿石的矿山的职工人数只有400~500人。因此百吨级矿用自卸汽车、电铲与牙轮钻机被

称为露天金属矿山的三大设备。

为了进一步提高劳动生产率，曾经有过制造300~600吨自卸汽车的打算，但是这样的汽车虽然电传动系统的设计和制造没有困难，但其他部分，如轮胎和行驶条件都受到限制。因此就国外汽车发展情况看，电传动汽车将有向汽车列车化的方向发展的趋势，其吨位也有向千吨级发展的可能。这种汽车与一般的汽车结很不相同，开始时是由制造石油钻机和工程机械的工厂生产，后来一些大汽车公司也生产这类汽车。

现在使用较多的是美国西屋空气制动公司(WABCO)生产的豪拜(Haulpak)系列的120C、120B、150B、3200型；尤尼特钻具设备公司(Unit Rig & Equipment Co.)生产的莱克特拉·豪尔(Lectra Haul)系列的麦克(Mack)—30、33、36、BD—180、M—200；苏联的别拉斯(Белаз)549型等都是电传动汽车。

从60年代以来，我国对电传动自卸汽车就开始了研制工作。例如，甘肃省白银公司的东方红42吨汽车，湖南省湘潭电机厂的韶峰SF-3100型和辽宁省本溪重型机械厂的辽宁LN-3100型汽车等。

电传动汽车之所以受到重视，主要是它有一些很明显的优点：结构简单，不需要变速器及传动轴，只要有电缆的软连接即可，容易布置，灵活方便；它具有无级变速的特性，可使汽车运行平稳；具有恒动控制，功率可充分利用；动力制动行驶安全等。由于汽车的工况不断变化，一般汽车的发动机往往不能经常保持在最佳工况下运转，电传动系统由于能够方便地做到测定转速和测定扭矩，并且可实现反馈控制，所以能保持发动机经常处于最佳工况。由于电传动系统

的这些优点，汽车的燃油消耗率比液力传动式汽车要低。

电传动汽车在制动减速时，可以变换线路，将牵引电动机改为发电机，并将它所发出的电能消耗于制动电阻，变成行驶阻力，这样可以使车速减低，最后再用车轮上的制动器使汽车再度减慢或停止，这就减少了车轮制动器的磨损。

第二章 汽车电传动的控制原理

§2-1 汽车电传动的控制方框图

由于目前的汽车电传动主要采用交一直流电系统，各种型号的汽车电传动系统的原理大致相似，因此本书用一种典型的控制系统来说明它们的工作原理。

机械传动汽车发动机的输出功率是通过变速器、传动轴、主减速器和半轴而传给车轮。在功率传递的过程中，除机械传动的摩擦损失外，大部分功率传给车轮。而汽车电传动是把发动机—发电机的电能通过电缆输送给牵引电动机。由于汽车牵引阻力的大小是由其载荷大小和路面等情况所决定的，所以对于不同的载荷、车速和路面情况要求一定的电压和电流。发电机如要根据汽车工况提供适当的电压和电流，则就要求一个准确灵敏的控制系统。

牵引电机所需电流大小与汽车的载荷大小成正比，而车速的大小与电源电压的高低成正比。所以在这个控制系统中，应能把接受到的载荷和路面情况（即电流大小），车速情况（即电压高低）等信号传送给控制的中心环节（即基准比较环节）。控制中心环节将根据汽车当时的需要，给出适

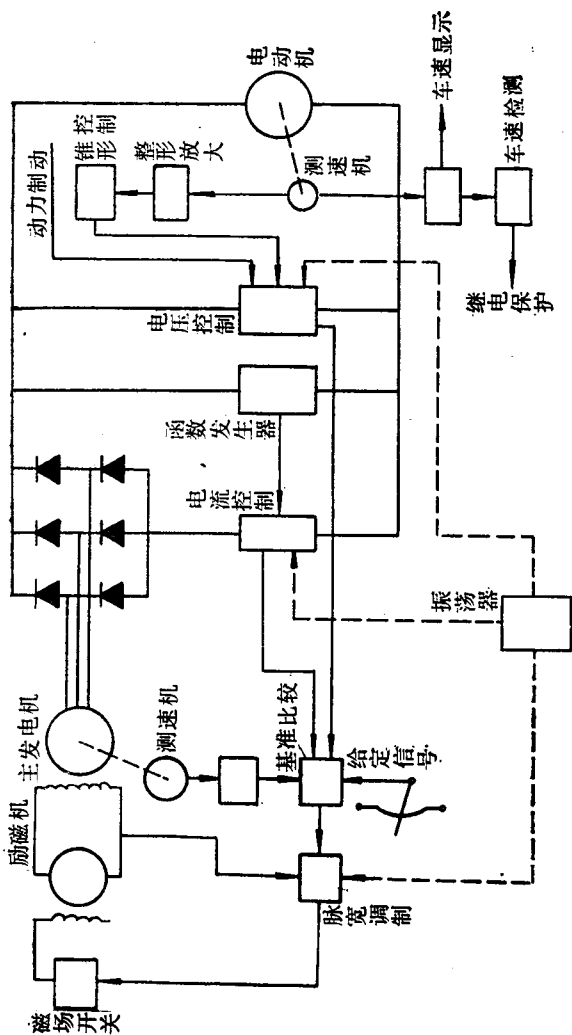


图2-1 豪拜(Haupak)120C汽车控制方框图

当的电压和电流。在汽车行驶时，路面情况是在时刻变化的，所以控制系统也要不断地测定和反映路面、坡度等工况，给出所需的电压和电流。这样一个有反馈的系统称为闭环自动调节系统。美国 WABCO 公司 120C 汽车的控制系统方框图，如图 2-1 所示。

在这个方框图中，电动轮的负载情况是通过测速电动机测得的，这个信号通过整形放大部分和锥形控制部分，再经过电压控制部分送到基准比较部分，这是测得的负载信号。另一方面就是发电机输出的电压和电流，可叫做电源信号，也通过电压控制部分和电流控制部分送到基准比较部分。这两方面信号综合后与给定信号进行比较，比较后向脉宽调制部分给出一个信号。这个给出信号将向励磁机提供一个汽车当时需要的励磁电流，该电流既能满足汽车对牵引功率的需要，又能使发电机的输出功率得到充分的利用，这就是闭环控制系统。它的目的是要使汽车在经济的工况下（即不浪费燃料的情况下）维持恒功率运行。

§2-2 汽车电传动控制方法的类型

目前各国重型汽车电传动的型式多数采用交一直系统，但这种系统中的控制方式各有不同。

前面提到的方框图是用磁性元件进行控制，它把各种信号综合到磁性元件中来，再由磁性元件向励磁机给出需要的励磁电流。

第二种控制方式是，用可控硅元件进行移相触发控制发电机的励磁电流大小，如图 2-2 所示。

还有一些其他的励磁控制方式。例如，有的车上采用运

算放大器作为控制元件；也有些车上采用微处理机，把汽车上的信号综合后，给出需要的励磁信号，达到励磁控制的目的。

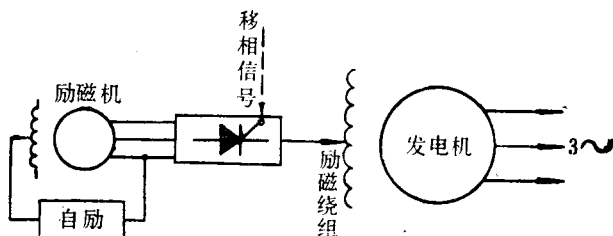


图2-2 可控硅控制原理

§2-3 美国 WABCO 汽车电传动的 控制系统

一、对控制回路的要求

交一直系统的电传动汽车的控制回路比较复杂，控制回路应该使发动机的功率得到充分的应用，也就是说，牵引电动机的功率，包括效率损失在内，应该尽量接近于发动机的工作功率，这就是恒功率调节。在机械传动中由于功率传递是通过传动轴等件进行，所以发动机的功率（扭矩）自然会传到车轮，实际上已经是恒功率传递了。而在电传动中，发动机与发电机直接联接，发电机的输出功率的大小主决定于励磁电流大小和转速。虽然在转速方面，发动机和发电机已经一致（同轴联接），但励磁电流则一定要人为控制才能做到二者恒功率运行。因为发电机的自然特性不是恒功率特性，而是图2-3中的 $EDC'BA$ 特性。控制励磁电流的大小，

来改变发电机的输出特性，使发动机和发电机在恒功率下运行。

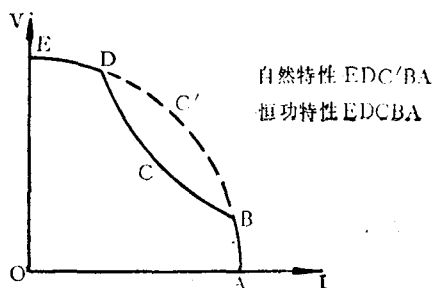


图2-3 牵引发电机的理想外特性

牵引发电机输出的电流经硅整流器整流之后，供给直流牵引电动机。所以要求硅整流器的输出特性应该尽量和牵引电动机的特性一致。从图 2-3 可以看到，牵引发电机外特性线本身分为三段，其中 AB 是电流限制线，DE 是电压限制线，BCD 为恒功率曲线。控制线路的一个重要内容就是把发电机的自然特性曲线 $BC'D$ 改变为理想的外特性曲线 BCD。这个改变是靠对励磁电流进行控制来实现的。使发电机具有 ABCDE 这样一条双曲线输出特性，这就是对控制回路的要求。

二、励磁控制回路

在励磁控制回路磁性元件控制方案中，主要靠几块装有晶体管和磁性元件的电路板装在一起进行电路的控制工作。这些电路板简述如下：

在励磁控制回路中使用的磁性元件也叫饱和电抗器，其

铁芯是由两个高导磁坡莫合金钢带经绕卷做成的磁环。两个磁环的导磁性能应该尽量对称，中频交流工作绕组分别绕在每个磁环上，而直流控制绕组则同时绕过两个磁环，起控制作用，其结构如图 2-4 所示。

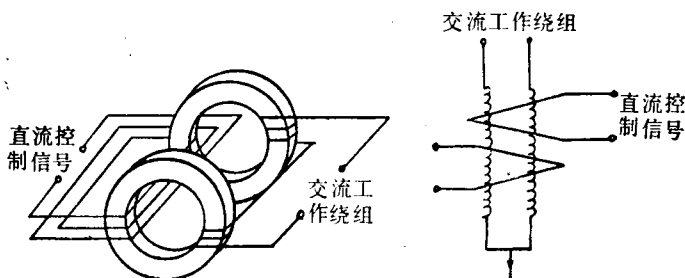


图2-4 磁性元件的构造

信号电流由同名端引入将增加磁性元件的饱和程度，由非同名端引入将削弱磁性元件的饱和程度。负位移绕组使磁性元件的特性向座标负方向移动。如图 2-5 中 a 曲线，其结果当有正信号输入时，使交流工作绕组输出减小，而当有负信号输入时（即控制信号减小），交流工作绕组输出增加，这就是饱和电抗器有控制信号输入时起去磁作用，减少交流工作绕组输出的道理。

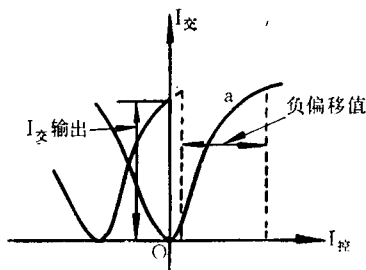


图2-5 磁性元件偏移特性

整个励磁控制回路由十一块控制线路板联结后进行控制。各线路板的作用简述如下：