

高等学校教学用书

# 內燃機車电传动

铁道部教材編輯組选編

人民铁道出版社

高等学校教学用书

# 内燃机车电传动

铁道部教材编辑组选编

人民铁道出版社

一九六一年·北京

本書系鐵道部教材編輯組選編，根據60年3月鐵道部文教局審定的“內燃機車電傳動”教學大綱編寫的。推薦作為高等學校教學用書。適用於高等學校熱力機車（內燃機車）專業。

本書共有五篇。在第一篇中，敘述了內燃機車電傳動的基本問題，即發動機—發電機組的調節和牽引電動機的調節問題；在第二篇中，對內燃機車使用的電機，從理論、構造、設計計算直至試驗都作了介紹；在第三篇中，對內燃機車電傳動所用的各種電器作了系統的介紹；在最後一篇中，對TЭ3型內燃機車的電路圖和變阻試驗作了介紹。

參加本書編寫的有唐山鐵道學院、上海交通大學和北京鐵道學院。

高等學校教學用書

### 內燃機車電傳動

鐵道部教材編輯組選編

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第010號

新華書店科技發行所發行

各地新華書店經售

人民鐵道出版社印刷廠印

書號：1813 開本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  印張  $13 \frac{7}{8}$  插頁1 字數342千

1961年8月第1版

1961年8月第1版第1次印刷

印數0,001—900冊 定價（10）1.90元

# 目 录

緒 論..... 1

## 第一篇 內燃機車电传动基础

**第一章 发动机—发电机的机內調节**..... 3

§ 1—1 发动机—发电机的机內調节的工作条件..... 3

§ 1—2 发动机的調节..... 4

§ 1—3 发电机的調节..... 5

§ 1—4 发动机—发电机組工作的稳定性..... 6

§ 1—5 基本激磁綫路..... 8

§ 1—6 激磁机的理想工作特性及其获得的方法..... 8

§ 1—7 双激磁机系統..... 9

§ 1—8 带有縱向分裂磁极激磁机的系統..... 10

§ 1—9 带有橫向分裂磁极激磁机的系統..... 11

§ 1—10 激磁机的工作特性..... 12

§ 1—11 由分裂磁极激磁机供电激磁的发电机工作特性..... 16

**第二章 发动机—发电机的机外調节**..... 16

§ 2—1 概述..... 16

§ 2—2 带有功率繼电器的調节系統..... 17

§ 2—3 带有功率放大机的調节系統..... 18

§ 2—4 带有磁放大器的激磁系統..... 25

**第三章 发动机—发电机的組合式調节**..... 27

§ 3—1 概述..... 27

§ 3—2 电力液动式功率調节器..... 29

§ 3—3 带有測速发电机的功率調节器..... 30

§ 3—4 带有碳质变阻器的功率調节器..... 32

§ 3—5 最大电流的限制..... 53

**第四章 牵引电动机的調节**..... 37

§ 4—1 內燃機車牵引电动机的激磁方式..... 37

§ 4—2 機車牵引特性曲綫的繪制..... 40

§ 4—3 牵引电动机的串—并联換接..... 42

§ 4—4 牵引电动机的激磁削弱..... 45

§ 4—5 牵引电动机串—并联換接及激磁削弱时的機車牵引特性曲綫的繪制..... 49

§ 4—6 牵引电动机联接方式和調节方式的选择..... 52

## 第二篇 內燃机車电机

<b>第五章 电枢繞組</b> .....	56
§ 5—1 电枢繞組的型式.....	56
§ 5—2 一些術語的定義.....	57
§ 5—3 迭繞組.....	58
§ 5—4 波繞組.....	61
§ 5—5 槽电勢的星形圖和多邊形圖.....	64
§ 5—6 均壓連接綫.....	66
§ 5—7 蛙式繞組.....	69
§ 5—8 同槽式繞組和異槽式繞組.....	69
§ 5—9 繞組型式的比較及其選擇.....	69
<b>第六章 磁化曲綫的計算</b> .....	70
§ 6—1 概述.....	70
§ 6—2 空氣隙所需磁勢.....	71
§ 6—3 齒所需磁勢.....	73
§ 6—4 其他各部分所需磁勢.....	75
<b>第七章 电枢反应</b> .....	76
§ 7—1 电枢电流的磁勢.....	76
§ 7—2 空氣隙中的磁通密度分布曲綫、电枢反应的影响.....	77
§ 7—3 电枢磁勢的計算.....	79
§ 7—4 交軸电枢反应和順軸电枢反应.....	80
§ 7—5 磁性飽和的影响.....	82
§ 7—6 补偿繞組.....	83
§ 7—7 电枢漏磁通.....	84
<b>第八章 整流的理論和方法</b> .....	84
§ 8—1 整流过程概述.....	84
§ 8—2 火花.....	85
§ 8—3 正在進行整流的元件中的电勢、电流和电阻.....	86
§ 8—4 整流元件的基本綫路方程式.....	87
§ 8—5 直綫整流.....	88
§ 8—6 延迟整流和加速整流.....	89
§ 8—7 电抗电勢的計算.....	90
§ 8—8 电枢反应的影响.....	91
§ 8—9 附加极的应用.....	91
§ 8—10 用移动电刷的方法帮助整流.....	93
§ 8—11 新的整流理論——交界膜理論.....	94
§ 8—12 电刷.....	95
§ 8—13 影响整流的机械因素.....	95
<b>第九章 損耗及效率</b> .....	95

§ 9—1 电机的各种损耗	95
§ 9—2 效率	98
<b>第十章 牵引电机的构造</b>	99
§10—1 主发电机	99
§10—2 牵引电动机	107
§10—3 双机机组	115
§10—4 轉速发电机	118
<b>第十一章 通风与发热</b>	120
(一) 通风	120
§11—1 通风系统的分类	120
§11—2 通风道的特性	121
§11—3 独立通风的牵引电动机的通风计算	124
§11—4 通风器特性	125
§11—5 自通风主发电机的通风计算	126
(二) 发热	127
§11—6 发热计算的意义	127
§11—7 傳热学在发热计算中的应用	127
§11—8 用当量热路法进行温升计算	129
<b>第十二章 电机設計</b>	130
§12—1 內燃機車电机設計的一般情况	130
§12—2 主发电机的计算	132
§12—3 激磁机的计算	139
§12—4 牵引电动机的计算	147
<b>第十三章 牵引电机的試驗</b>	151
§13—1 試驗的种类	151
§13—2 牵引电机的試驗綫路	151
§13—3 牵引电机的特性試驗	152
§13—4 牵引电机的温升試驗	153
§13—5 牵引电机的整流試驗	153
§13—6 牵引电机的通风試驗	154

### 第三篇 內燃機車电器

<b>第十四章 牵引电器的一般概念</b>	155
§14—1 牵引电器的工作特点	155
§14—2 电器的触头	155
§14—3 电弧及灭弧装置	157
§14—4 电器的发热	159
§14—5 电磁驱动装置	160
§14—6 电空驱动装置	163
<b>第十五章 继电器</b>	165

§15—1	控制继电器	165
§15—2	接地继电器	166
§15—3	空轉继电器	166
§15—4	限流继电器	168
§15—5	時間继电器	169
§15—6	过渡继电器	170
§15—7	逆流继电器	171
§15—8	振动式电压調整器	173
§15—9	接触变阻器式电压調整器	175
<b>第十六章</b>	<b>接触器、反向器、司机控制器</b>	<b>178</b>
§16—1	电磁接触器	178
§16—2	电空接触器	180
§16—3	反向器	180
§16—4	司机控制器	182
<b>第十七章</b>	<b>輔助电器</b>	<b>184</b>
§17—1	油压继电器	184
§17—2	水温继电器	184
§17—3	电气温度表	184
§17—4	电气压力表	185
§17—5	电阻	186
§17—6	硒整流器	187
§17—7	按钮开关	187
§17—8	联鎖磁鉄	188
§17—9	機車重联联接器	189
<b>第十八章</b>	<b>蓄電池</b>	<b>189</b>
§18—1	概述	189
§18—2	蓄電池的构造	190
§18—3	蓄電池組容量的計算原則	191

#### 第四篇 內燃機車电路图及变阻試驗

<b>第十九章</b>	<b>电路图</b>	<b>193</b>
§19—1	关于电路图的一般概念	193
§19—2	发动机无負載时的启动	195
§19—3	內燃機車的启动	198
§19—4	機車运行速度的調节	201
§19—5	保护电器的电路	203
§19—6	撒沙器和冷却器的控制电路	204
§19—7	开断一組电动机的运行	204
§19—8	照明和輔助电动机的电路	205
§19—9	两节機車重联工作	206
§19—10	联鎖的用途	208
<b>第二十章</b>	<b>內燃機車的变阻試驗</b>	<b>211</b>
§20—1	內燃機車試驗的分类及其目的	211
§20—2	負載变阻器及控制測量仪器	212
§20—3	进行TЭ3型內燃機車变阻試驗的方法	213

## 緒 論

內燃機車的原動機為柴油機。

柴油機有下列一些主要特性：

1. 柴油機有個最低轉速  $n_{min}$ ，小於這個轉速柴油機則不能工作。柴油機可以工作的這個最低轉速大約為額定轉速  $n_n$  的  $\frac{1}{3}$ ，如圖 1 所示。
2. 柴油機的有效功率  $N_e$  與其轉速  $n$  成比例。
3. 柴油機的轉矩  $M$  與其平均有效壓力  $p_e$  成比例；當每循環的給油量固定時，柴油機的轉矩  $M$  幾乎不受轉速的影響。（參考圖 1）。
4. 柴油機承受過載的能力很差。

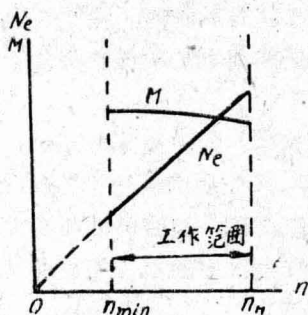


圖 1 柴油機特性

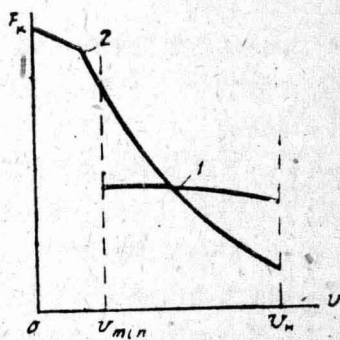


圖 2 內燃機車特性

1——直接傳動的內燃機車特性；2——理想牽引特性。

如果將柴油機的曲軸與機車的動軸直接相聯，在這種情況下，內燃機車的牽引特性如圖 2 的曲線 1 所示。這樣的牽引特性是不適合機車的起動和高速運行的。而且柴油機將會出現過載和輕載的現象。

內燃機車的理想牽引特性是牽引力  $F_k$  與其運行速度  $v$  成反比例，如圖 2 的曲線 2 所示。

從圖 2 可以看出，將柴油機曲軸與機車動軸直接相聯所得到的內燃機車牽引特性（曲線 1）和內燃機車的理想牽引特性（曲線 2）相比，差別太大。說明柴油機不適合直接作為牽引用，在柴油機曲軸與機車動軸之間必須安裝傳動裝置。

內燃機車所用的傳動裝置主要的有機械傳動、液力傳動和電傳動。

電傳動在現代內燃機車上使用的是很普遍的。電傳動系統的示意圖表示在圖 3 上。發電機  $\Gamma$  將柴油機  $D$  的機械能轉變成電能，牽引電動機將電能轉變成機械能，並通過齒輪傳遞給機車的動輪。

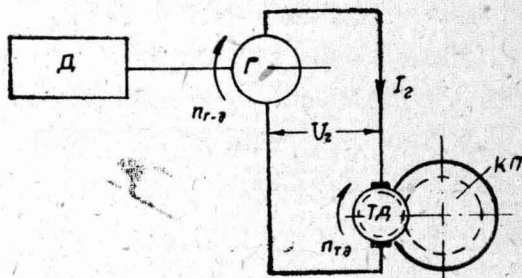


圖 3 內燃機車電傳動系統示意圖



• 2 •

电传动有下列几个主要的优点：

1. 由于柴油机曲轴与机车动轴没有机械的联系，柴油机在恒定的转矩与转速的情况下，内燃机车有可能获得最理想的牵引特性。
2. 为适应运行阻力的变化，机车的牵引力和运行速度可以进行自动调节。
3. 当几台机车重联时，可由一台机车来控制。

除此之外，当然还有其他很多优点。如在柴油机启动时可以利用发电机作为启动电动机等等。

电传动是内燃机车所有传动装置中运用较成熟、应用最广的一种。也是近代大马力内燃机车的最普遍的传动方式。

苏联是发展电传动内燃机车最早的国家。在十月革命以前，虽有电传动内燃机车的设计方案，但由于在帝俄的统治下和经济落后的状况下，一直未能制成机车。直至十月革命以后，在苏联共产党和列宁的领导下，对内燃机车的制造和运用很重视，终于在1924年制成了世界上第一台干线电传动内燃机车（Ш<sup>э</sup>-1）。它是第一台能够使用的内燃机车，是奠定现代内燃机车很多部件的基础。如电传动采用直流电，牵引电动机采用电车式悬挂，柴油机由主发电机进行电启动等等。

为了进行电传动内燃机车的试验，于1930~1931年苏联先后制成了О<sup>э</sup>-6型（成组传动）和О<sup>э</sup>-7型（个别传动）内燃机车各一台。试验证明：成组传动的机械构造复杂，与个别传动相比并无显著优点。

于1940年前，苏联曾成批生产过Э<sup>э</sup>型电传动内燃机车。这种型式的机车，其主发电机用差激磁，从而改善了对柴油机功率的利用。到1947年，又先后成批生产ТЭ-1型和ТЭ-2型电传动内燃机车，在这两种机车上，主发电机改用激磁机激磁，这种激磁机称为纵向分裂极激磁机，它与辅助发电机装在一个壳体内，构成所谓双机组。并且在主电路中采用了电路的串联到串一并联的换接方式，以及采用磁场削弱的装置。

1953年又开始生产ТЭ-3型电传动内燃机车，其主发电机改用横向分裂极激磁机，并且安装了功率自动调节系统，减低了绕组温度和辅助机组功率变化对柴油机功率的影响。

由于苏联科学技术的飞速发展，在内燃机车电传动上也同样得到飞速的发展。于1958年生产的ТЭ-10（货运）和ТЭП-60（客运）电传动内燃机车，都采用了新型的、带有磁放大器的激磁系统，这种新型激磁装置能够使柴油机的功率得到更充分的利用，使主发电机的最高电压和最大电流得到更好的限制。

我国内燃机车电传动的历史是不长的，但几年来发展的速度是惊人的。自从党提出鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线以后，全国人民都积极地行动起来，发挥了敢想、敢说、敢干的共产主义风格，于1958年在全国各个战线上都出现了大跃进的局面。全国各个铁路工厂也是如此，在短短的几个月内（58年底及59年初），先后试制几种型式的电传动内燃机车，这些内燃机车现在正在进行试验和改进。

我们深信，在党的领导下，我国内燃机车电传动的科学技术不仅得到迅速的发展，而且要向世界先进水平迈进！

# 第一篇 內燃機車電傳動基礎

## 第一章 發动机—發电机組的機內調節

### §1-1 發动机—發电机組的工作条件

前面已經說过，对于內燃機車傳动装置的主要要求之一，就是不論在任何运行情况下，必須保証有可能充分利用發发动机的功率，即必須保証發发动机功率恒定。

發发动机所发出的功率为

$$P_z = 0.736 \eta_z (N_e - N_{ecn}) = U_z I_z \times 10^{-3} \text{ 瓩} \quad (1-1)$$

- 式中  $N_e$ ——發发动机的有效功率，馬力；
- $N_{ecn}$ ——輔助設備所消耗的功率，馬力；
- $\eta_z$ ——發电机效率；
- $U_z$ ——發电机电压，伏；
- $I_z$ ——發电机电流，安。

發电机电流  $I_z$  决定于列車的运行阻力，当列車以某一均衡速度行驶时，相应于此时的运行阻力有某一一定的牽引力，亦即有一定的电动机电流和發电机电流。綫路縱断面变化时，列車运行阻力改变，牽引力随之而变，因此影响到电动机和發电机的电流也跟着变化。

輔助設備（冷却器風扇，制动用压气机，牽引电动机冷却風扇，油泵，燃料泵，水泵等等）所消耗的功率决定于它們自己的工作情况，而与列車的运行情况无关。發电机效率一般变化很小，可以認為与  $I_z$  无关而保持恒定。因此，当發发动机功率  $N_e$  不变时，發电机所发出的功率也必須近乎恒定，即

$$P_z = U_z I_z \times 10^{-3} = \text{常数}$$

由此得出，当發电机負載电流  $I_z$  变化时，它的电压  $U_z$  必須与电流成反比地变化。換句話說，發电机的外特性應該近乎等边双曲綫，沿  $U_z$  軸与  $I_z$  軸无限延伸出去。但电压和电流实际上只能在某一範圍内变化。对于每一台發电机來說有一最高电压  $U_{zmax}$  和最大电流  $I_{zmax}$ 。最高电压决定于磁系統的飽和，激磁繞組的发热，絕緣强度，相邻整流片間的許用电压以及機車的最高速度  $V_{kmax}$ 。最大电流則受到下列因素的限制：电刷与整流子之間的火花，主电路內繞組的发热以及車輪与鋼軌之間的粘着。

考虑到上述情况后，理想的發电机外特性就不再是双曲綫，而是象图1-1上所表示的曲綫  $AB'CD$ 。其中綫段  $AB$  表示受电压  $U_{zmax}$  的限制，綫段  $BC$  受發发动机功率限制，綫段  $CD$  受电流  $I_{zmax}$  的限制。 $AB$  綫不一定水平，可以有一些傾斜，因为当电流增大时，許用电压应降低。同样  $CD$  綫也应有些傾斜。这是考虑到当电

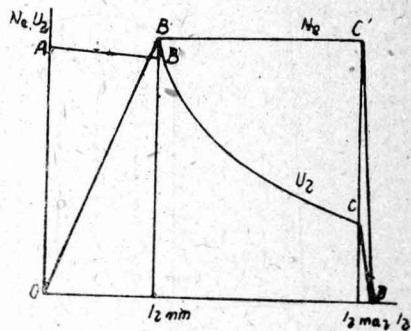


图1-1 發电机极限工作特性：  
 $N_e$ ——發发动机功率； $U_z$ ——發电机电压；  
 $I_z$ ——載荷电流。

压降低时許用电流可稍稍增大，以及当机車速度减小时，粘着系数增大，发电机电流可以增大的緣故。

在同一图上还表示出发动机功率  $N_e$  与发电机負載电流  $I_z$  的关系曲綫  $OB'C'D$ 。这条曲綫是根据曲綫  $ABCD$  而作出的。从图上可以看出，由于发电机的电压和电流受到限制，不可能在全部負載範圍內充份利用发动机的功率。只有在  $I_{zmin} < I_z < I_{zmax}$  时才能利用全部功率。在此范围以外，发动机的功率都降低。

因此，內燃机車的控制系統應該能够使得发电机的工作特性接近或达到理想特性曲綫  $ABCD$ ，以保証利用发动机的全部功率和电机工作的安全。除此以外，在列車起动，經過桥梁，道岔或某些必須限速行駛的綫路区段以及列車載重不足时，都无需發揮发动机的全部功率，在这些情况下，控制系統应保証司机有可能降低发电机的电压和发动机的功率。

从图1—1上还可以看出，单独調节发动机或单独調节发电机都不能保証得出曲綫  $OB'C'D$ 。根据曲綫  $OB'C'D$ ，当发电机負載电流小于  $I_{zmin}$  时，发动机功率随着負載电流的增加而增加，而发电机电压此时几乎保持不变。因而在这区域内，必須調节发动机（改变它的供油量）而不必調节发电机，亦即发电机的激磁和轉速可以維持恒定不变。

当  $I_{zmin} < I_z < I_{zmax}$  时，发动机功率恒定，而发电机电压发生变化。因此，发动机的供油量和轉速必須保持恒定，而調节发电机的激磁。最后，当  $I_z > I_{zmax}$  时，发动机的功率和发电机的电压都在变化，所以必須对双方都进行調节。

这样，通常就形成了三个工作区域，在从  $I_z = 0$  到  $I_{zmin}$  的区域内必須調节发动机，而发电机則可不必要調节；从  $I_{zmin}$  到  $I_{zmax}$  的区域内，必須調节发电机，而发动机的工作情况則可保持恒定；当  $I_z > I_{zmax}$  时，必須同时調节发动机和发电机。

### §1—2 发动机的調节

发动机功率的調节可以通过二种方法来实现：改变发动机扭矩（也就是改变每循环供油量）以及改变发动机的轉速。

在第一种情况下，調节机构与发动机燃料泵齿条相連。調节机构的每一个位置相当于一定的供油量。发动机的轉速与調节机构位置无关，它随着載荷而变。載荷大，轉速降低；載荷小，轉速則升高。在用这种方法进行調节的发动机上装置着二制調速器，以限制最高轉速和保証在最低轉速下稳定地工作。在工作轉速範圍內調速器不发生作用。

用二制調速器时的柴油机工作特性如图1—2所示。当轉速超过  $n_{max}$  时，調速器起作用，

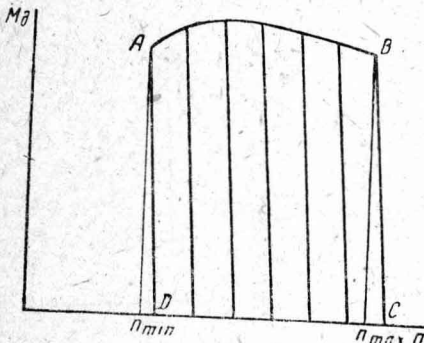


图1—2 在各种供油量下的柴油机扭矩  $M_d$  与轉速  $n$  的关系

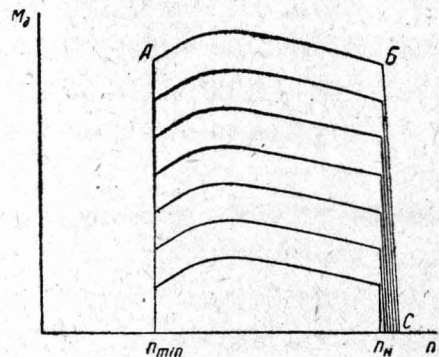


图1—3 在各种轉速下的发动机扭矩  $M_d$  与轉速  $n$  的关系

减少供油量，于是扭矩随转速的增高而急剧降低。

第二种调节发动机的方法——改变转速以改变功率——是由采用多制（或全制）调速器来实现的。当调速器弹簧压缩程度不变时，发动机转速维持恒定。改变弹簧的压缩程度，就可以改变发动机转速。弹簧压缩得越紧，发动机转速越高；弹簧越松，转速越低。至于每循环的供油量此时则决定于载荷。载荷越大，供油量也越大。

用全制调速器时的柴油机工作特性如图1—3所示。曲线AB相当于最大供油量。调速特性BC、AD等的倾斜度决定于调速器的不均匀度。对于恒速调速器，调速特性是铅垂线，即转速与载荷无关而维持恒定不变。

在现代电传动的内燃机车上多采用全制调速器，因为用这种调速器时，发动机和发电机的工作比较稳定。在这种情况下，发动机于全功率下的工作情况相当于图1—3上的B点。而在不需要发挥全功率时则可以降低发动机的转速。但是实现同一较小的功率可以采用不同的转速和不同的扭矩。在大多数情况下，转速高则发动机运动部件的磨损大，效率也较差。对于同一功率，每一台发动机有它自己最好的转速和最好的扭矩，在这些扭矩和转速的配合下，发动机效率最高，经济性最好。图1—4上示出某执行摩托车的柴油机在各种油耗量（克/马力-小时）下的功率与转速的关系曲线[1]。

曲线1是柴油机的外特性曲线。从图上看，对应于每一个油耗量（或即对应于每一效率）有一个最大的功率点。这一点相当于柴油机在该功率下的最经济工况，因为转速升高或降低都使得油耗量增加。因此，通过各油耗量曲线最高点的虚线2就是该发动机的最经济特性。比较外特性与最经济特性得出：只有在全功率时才能使供油量最大；而在部分功率时，应该相应地减少供油量以使发动机最经济地工作。

每一型发动机有它自己的最经济特性。所以在设计调节机构时，应根据所用的发动机来考虑，使得它在额定转速下能够发挥全部功率，而在较低转速时又可按最经济特性而工作。

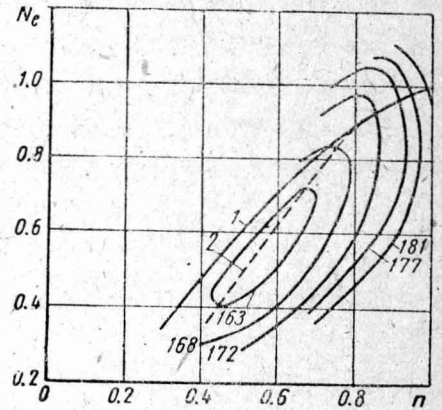


图1—4 在各种油耗量（克/马力-小时）时柴油机功率与转速的关系。

1——外特性；2——最经济特性。

### §1—3 发电机的调节

发电机功率决定于电压和电流的乘积。电压和电流变化时，功率也发生变化。前面我们看到，发电机负载电流与列车运行情况有关，它决定于列车以某一均衡速度行驶时所发生的运行阻力。因此，发电机电流是随运行情况而变化的，不能任意调节。发电机电压决定于公式

$$U_g = C \Phi_s n_s,$$

式中  $C$  ——系数，与发电机结构有关；

$\Phi$  ——发电机激磁磁通；

$n$  ——发电机转速。

在内燃机车上发电机由发动机直接驱动。它们的轴或则直接连接起来或则通过减速齿轮联系起来。总之，发电机的转速与发动机的转速有一定关系。如果发动机转速维持不变，发电机的转速自然也恒定不变；如果调节发动机转速，则发电机转速也跟着起变化。要单独

調節发电机的轉速是不可能的。所以要改变发电机的电压只有通过調節激磁磁通来实现。

发电机調節的最主要任务是在負載电流从  $I_{zmin}$  到  $I_{zmax}$  的範圍内保証发电机功率恒定不变，从而实现发动机功率恒定不变，因为在这个範圍内包含了列車运行的主要工作情况。

在  $I_z = 0$  到  $I_{zmin}$  的範圍内，发电机的自然特性通常与理想特性非常接近，在大多数情况下不需要进行专门的調節。当  $I_z > I_{zmax}$  时則应进行調節，一方面是为了保护发电机，同时也为了获得良好的機車起动机特性。

当不需要发动机發揮全功率时，如上所述，我們通过对調速器的控制降低发动机的轉速，至于每循环的供油量則决定于发电机的負荷。为了保証发动机最經濟地工作，发电机的負荷此时应調節得与发动机的經濟特性相一致，即发电机激磁調節系統应保証实现最經濟的扭矩与轉速的关系。发电机的扭矩与激磁磁通及負載电流有关，而負載电流是由列車运行阻力所决定的，所以要保証一定的扭矩与轉速的关系，必須通过保証一定的发电机激磁磁通与轉速的关系来实现。

調節激磁的方法有下列几种：

- 1) 发电机或激磁机采用一般结构的电机，通过适当選擇其激磁系統或另外添加調節设备，把发电机的特性調節得接近或符合理想特性。这种調節方法称为机外調節；
- 2) 利用特殊结构的电机作为发电机的激磁机，使我們对发电机調節的要求能够在激磁机内实现。这种調節方法也称为机内調節；
- 3) 同时利用上面二种調節方法，即既有结构特殊的激磁机，又在其激磁系統中另加調節设备。这种調節方法也称为組合式調節。

### §1—4 发动机—发电机組工作的稳定性

机組的工作情况可以用下式表示

$$J \frac{dn}{dt} = M_e - M_z, \quad (1-2)$$

式中  $M_e$ ——发动机輸出扭矩（扣除克服輔助載荷所消耗的扭矩）；

$M_z$ ——发电机阻力扭矩；

$J$ ——发动机及发电机的轉动慣量。

在稳定状态时，发动机扭矩和发电机扭矩相等，机組的轉速維持恒定不变。如果  $M_e$  和  $M_z$  由于外来原因而发生变化，則机組的平衡被破坏，轉速就将发生变化。

机組工作稳定性是指当外来影响消失后，如机組能够在正常工作範圍内建立起新的平衡状态，則这样的工作就是稳定的。如果要到正常工作範圍以外才能建立起新的平衡状态，或者扭矩和轉速一直振蕩不已不能維持正常工作，則这样的工作将是不稳定的。

在无外来干扰的情况下，机組工作的稳定性不仅与发动机的特性有关，而且也与发电机的特性有关。如果机組上装設着自动調節设备，則稳定性还与这些調節设备有关。

現在考虑一最簡單的情况：发动机无調速器。当无外来干扰时，发动机的工作如图 1—5 和 1—6 上的曲綫  $M_e = f(n)$  所示。这条曲綫或者相当于外特性曲綫，

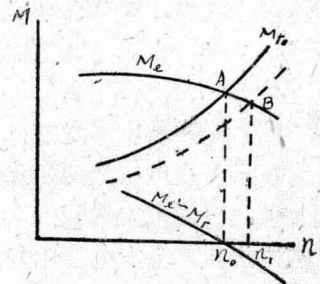


图1—5 稳定的机組

或者相当于部份特性曲线。在图1—5和1—6上还表示出发电机的扭矩与转速的关系曲线  $M_e = \varphi(n)$ 。二条曲线的交点  $A$  就是机组的稳定工作点。假设发电机的阻力扭矩由于某种原因而减小了，如虚线  $M_{e1} = \varphi_1(n)$  所示，则发动机扭矩大于发电机扭矩，机组将加速。在图1—5上我们看到，当机组的转速增加时，发动机的扭矩减小，而发电机的扭矩增大，随着转速的增加，这二个扭矩之差将越来越小，最后达到新的转速  $n_1$ 。此时  $M_e = M_z$ ，机组就在这个转速下稳定地工作。发动机扭矩变化时也是这样。因此，这样的机组是稳定的。

对于图1—6，情况就不同了。当稳定工作一旦遭到破坏，例如发电机的扭矩减小时，机组将加速。此时发动机的扭矩虽略有减小，但发电机的扭矩减小得更甚，二个扭矩之差变得更大，机组的转速将越来越高而得不到新的平衡状态。因此，这样的机组是不稳定的。

在图1—5和1—6的下部还表示出机组的加速力矩与转速的关系  $M_e - M_z = \varphi(n)$ 。比较这二条曲线可以得出：要使机组能够稳定地工作，加速力矩曲线应该是下降曲线。于是机组稳定工作的条件可以表示为

$$\frac{d(M_e - M_z)}{dn} < 0 \quad (1-3)$$

从公式看出：单独考虑发动机或发电机的特性并不能判断机组的工作是否稳定，一定要考虑二者的相互关系。若加速力矩曲线是下降曲线，则机组是稳定的。若加速力矩是上升曲线，则机组是不稳定的。

前面讲过，现代内燃机车的发动机上都装有调速器。调速器自动改变发动机的供油量以与载荷相适应而维持转速恒定。因此当调速器作用时机组的工作将是稳定的。但是当发动机的燃料泵齿条已经接触止档，调速器再要增加供油量已成为不可能的时候，在这样的情况下，机组工作的稳定性就决定于我们在前面在发动机无调节器的前提下分析得出的条件

$$\frac{d(M_e - M_z)}{dn} < 0$$

调速器失灵时，情况也是这样。

对于柴油机来说，它的扭矩的变化通常很小， $\frac{dM_e}{dn}$  几近乎零。于是公式 (1—3) 就变成

$$\frac{dM_z}{dn} > 0 \quad (1-4)$$

即稳定性主要由发电机来保证，它的扭矩应该随着转速而增加。

发电机的阻力扭矩又可以表示为：

$$M_z = C_n \Phi_z I_z + M_m \quad (1-5)$$

式中  $C_n$ ——系数，与发电机结构有关；

$\Phi_z$ ——发电机激磁磁通；

$I_z$ ——发电机负载电流；

$M_m$ ——发电机的机械损耗和铁耗。

铁耗和机械损耗所占的比例不大，通常仅为发电机总功率的2~3%，在公式 (1—5) 中可以忽略不计。因此稳定性条件的公式变为

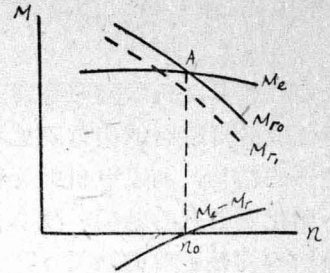


图1—6 不稳定的机组

$$\frac{d(\Phi_2 I_2)}{dn} > 0 \quad (1-6)$$

$I_2$ 只与列车运行阻力有关，而与发电机的转速无关。于是稳定性条件最后变为

$$\frac{d\Phi_2}{dn} > 0 \quad (1-7)$$

在选择发电机的激磁系统时，应该保证满足这个条件。

### §1-5 基本激磁线路

前已述及，机内调节是通过给予发电机或发电机的激磁机以特殊的结构，从而把它们的外特性改变得符合或接近理想特性（图1-1上曲线 $ABCD$ ）。通常所采用的是激磁机具有特殊的结构，而发电机则为普通结构的电机，这样有利于简化发电机的结构，减小它的尺寸和重量。在采用特殊结构的激磁机的情况下，发电机的基本激磁线路如图1-7所示。主发电机 $\Gamma$ 的他激绕组 $H$ 由激磁机 $B$ 供电，激磁机具有二个激磁绕组：一个是他激绕组 $HB$ ，由恒定电压的电源——蓄电池组或端电压不变的辅助发电机供电；另一个是差激绕组 $\Delta B$ ，它接在主发电机的负载电路内。此外，在某些系统中，激磁机还可能具有更多的激磁绕组。

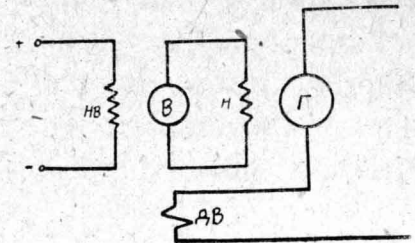


图1-7 基本激磁线路：  
 $AB$ ——蓄电池组； $B$ ——激磁机；  
 $HB, \Delta B$ ——激磁机激磁绕组； $\Gamma$ ——主发电机； $H$ ——主发电机他激绕组。

### §1-6 激磁机的理想工作特性及其获得的方法

激磁机的作用是保证实现发电机的功率恒定不变，即保证发电机的电压和负载电流的乘积等于常数。发电机的激磁绕组由激磁机供电，激磁机电压的高低直接决定了发电机励磁电流的大小和发电机电压的高低，因此要求激磁机的端电压与发电机负载电流成反比的变化。

理想的激磁机工作特性可以通过图解法来求取。在图1-8的右上角引列了发电机理想特性 $E_2 = f(I_2)$ ，在图的左上角引列了发电机的零载特性及负载特性 $E_2 = f(AW_2)$ 。当发电机为他激式时，激磁绕组端钮上的电压降（或即激磁机的端电压）为：

$$U_0 = I_0 R_n = \frac{R_n}{W_n} AW_2 \quad (1-8)$$

式中  $I_0$ ——发电机励磁电流；  
 $R_n$ ——发电机励磁绕组电阻；  
 $W_n$ ——励磁绕组匝数；  
 $AW_2$ ——发电机的励磁安匝。

以原点向下沿纵坐标轴画出 $U_0$ 。因为从公式(1-8)得出 $U_0$ 正比于 $AW_2$ ，所以在图上可

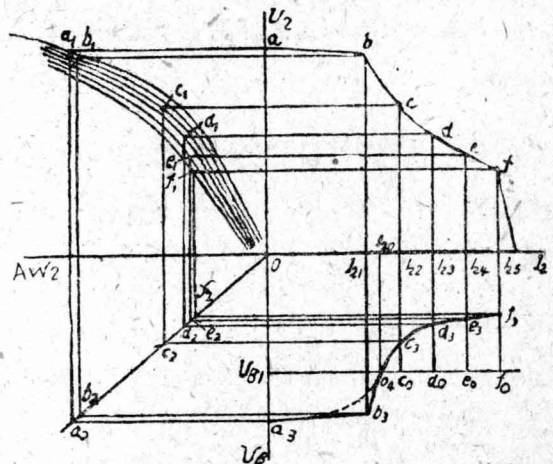


图1-8 决定理想激磁机工作特性的图解法。

用通过座标轴原点的直线 $Oa_2$ 来表示。今从 $E_2=f(I_2)$  曲线上相当于电流 $I_2=0, I_{21}, I_{22} \dots$ 的各点 $a \sim f$ , 分别向左引水平直线与相应于不同负载电流的负载特性曲线 $E_2=f(AW_2)$  相交于 $a_1 \sim f_1$  各点, 根据这些点决定所需的发电机激磁安匝数 $AW_2$ 。然后根据直线 $U_6=f(AW_2)$  决定激磁机电压 $U_6$ 。从 $a \sim f$  点向下作铅垂线, 并从 $a_2 \sim f_2$  各点向右作水平直线, 这些线分别相交于 $a_3 \sim f_3$  各点, 连接这些点就得出欲求的激磁机电压与发电机负载电流的关系曲线 $U_6=f(I_2)$ 。

假如从某一激磁机电压 $U_{61}$ 处引一根水平直线 $O_4f_4$ , 则可把 $U_6=f(I_2)$  曲线一分为二, 其右半段 $O_4f_3$ 可以由电压 $U_{61}$ 减去线段 $C_3C_4, d_3d_4$ 等等而得出。

如果我们取直线 $O_4f_4$ 作为横座标轴, 则曲线 $O_4f_3$ 的形状接近磁化曲线, 它的磁势为:

$$AW\alpha(I_2 - I_{20}), \quad (1-9)$$

式中  $I_{20}$ ——相当于点 $O_4$ 的电流。

点 $O_4$ 左面的曲线 $U_6=f(I_2)$  部分 $O_4b_3a_3$ 与磁化曲线相差较大, 但若以虚线代替实线, 则也可近似地视为接近于磁化曲线。当转速一定时, 激磁机的端电压曲线与磁通曲线的关系仅是比例尺不同, 而形状则一样。因此, 端电压曲线也代表着激磁机的磁通变化特性。从上面的分析可知, 这样的变化特性可由二部分叠加而得出: 其中一部分是不变的磁通(相当于直线 $O_4f_4$ ), 另一部分是按磁化曲线而变化的磁通(相当于曲线 $O_4f_3$ 和 $O_4a_3$ )。激磁机具有了这样的特性, 就可保证发电机获得理想的特性。

### §1-7 双激磁机系统

具有双激磁机的发电机激磁系统表示在图1-9上。发电机 $\Gamma$ 的他激绕组 $H\Gamma$ 由二个串联起来的激磁机 $B1$ 和 $B2$ 供电。激磁机都由发动机直接驱动, 它们的转速和发动机转速成正比。激磁机 $B1$ 是他激式电机。激磁机 $B2$ 除具有他激绕组 $H2$ 外, 还有一差激绕组 $\Delta 2$ , 后者接在发电机负载电路内, 流过的电流就是发电机负载电流, 其激磁磁势与绕组 $H2$ 的相反。激磁机 $B2$ 的磁路做成强饱和的, 它所产生的电势 $E_2$ 的方向与绕组 $H2$ 和 $\Delta 2$ 的激磁磁势的大小有关。

当发电机负载电流 $I_2$ 等于零时, 激磁机 $B2$ 的磁通是由绕组 $H2$ 单独产生的, 其值最大, 同时它的电压 $U_2$ 与激磁机 $B1$ 的电压的方向是一致的。 $I_2$ 逐渐增大时, 绕组 $\Delta 2$ 的去磁作用逐渐增强, 电压 $U_2$ 逐渐减小。当 $I_2$ 继续增大到绕组 $\Delta 2$ 的去磁磁势变得大于绕组 $H2$ 的激磁磁势时, 激磁机 $B2$ 的磁通方向改变, 电压 $U_2$ 的作用也就与 $U_1$ 相反。

加到发电机激磁绕组 $H\Gamma$ 上的端电压可用下式表示。

$$U_{H\Gamma} = U_1 \pm U_2, \quad (1-10)$$

式中 “+” 适用于绕组 $H2$ 的激磁磁势大于绕组 $\Delta 2$ 的情况, 相反则用“-”。

发电机激磁绕组端电压降与它的负载电流的关系表示在图1-10上。作图时忽略了激磁机电枢反应的去磁效应的变化以及当发电机激磁电流改变时, 激磁机内电压降的变化, 因此电压 $U_1$ 与发电机负载电流无关, 而可以近似地用一根水平直线来表示。

至于电压 $U_2$ , 则当绕组 $H2$ 与 $\Delta 2$ 的激磁安匝数相同时,  $U_2=0$ , 这发生某一发电机负载电流时, 例如  $I_2 =$

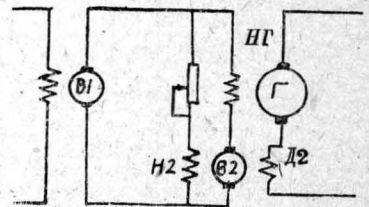


图1-9 双激磁机激磁系统:  
B1, B2——激磁机;  $\Gamma$ ——发电机;  $H1, H2$ ——激磁机他激绕组;  $\Delta 2$ ——激磁机 $B2$ 的差激绕组;  $H\Gamma$ ——发电机他激绕组。



$I_{20}$ 时(图1—10)。当 $I_a$ 增加到超过 $I_{20}$ 时,电压 $U_2$ 为负,其绝对值则随着 $\mathcal{D}2$ 的激磁磁势的增加而增加,并且是沿着激磁机 $B2$ 的磁化曲线而增加。当 $I_a < I_{20}$ 时,电压 $U_2 > 0$ 。此时,如负载电流减小,则 $U_2$ 的绝对值又沿着磁化曲线而上升。

$U_1$ 和 $U_2$ 加起来得出发电机激磁绕组电压降与负载电流的关系  $U_{H2} = f(I_a)$ 。这个关系也表示在图1—10上,它与图1—9上理想的激磁机特性之差别仅在于在发电机低负荷时,它是按虚线变化而不是按实线变化,即此时激磁绕组的端压降略低于理想特性,因而发电机电压也比理想的略低。

这个激磁系统能够保证发动机-发电机组稳定地工作。因为当机组的转速增加时,激磁机的转速也增加,它们的电压  $U_1$  和  $U_2$  以及发电机激磁绕组端压降  $U_{H2}$  也都随着增加。于是发电机激磁电流及激磁磁通 $\phi_2$ 就随转速的增加而增加,即  $\frac{d\phi_2}{dn} > 0$ , 满足了机组稳定工作的条件。

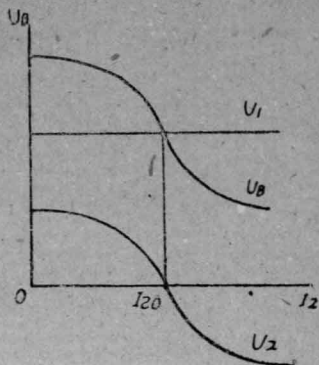


图1—10 发电机激磁系统特性曲线(适用于图1—9)  
 $U_1$ ——激磁机 $B1$ 的端电压;  $U_2$ ——激磁机 $B2$ 的端电压;  $U_{H2}$ ——发电机激磁绕组的电压降;  $I_a$ ——发电机负载电流。

### §1—8 带有纵向分裂磁极激磁机的系统

这种激磁系统用在我国“先行”型以及苏联的 $T\Theta 1$ 、 $T\Theta 2$ 、 $\Gamma^A$ 型等内燃机车上。它的接线图表示在图1—11上。图上 $B\Gamma$ 表示辅助发电机,  $B$ ——激磁机,  $\Gamma$ ——主发电机, 它们都由柴油机来驱动。 $PH$ 为电压调节器, 它的作用是当辅助发电机的转速改变时自动地维持其电压恒定不变。

在这个系统中, 把双激磁系统中的激磁机 $B1$ 和 $B2$ (图1—9)结合成一个电机——纵向分裂磁极的激磁机 $B$ 。

激磁机 $B$ 有二个激磁绕组, 一个是他激绕组 $HB$ , 由辅助发电机和激磁机本身供电; 另一个是差激绕组 $DB$ , 它接在主发电机的负载电路中, 其中流过的电流即是发电机的负载电流。

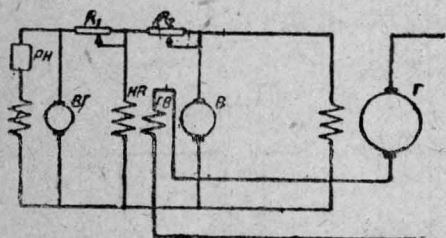


图1—11 采用纵向分裂磁极激磁机的系统简图:  
 $B$ ——分裂磁极激磁机;  $B\Gamma$ ——辅助发电机;  $\Gamma$ ——主发电机;  $DB$ ,  $HB$ ——激磁机激磁绕组;  $H$ ——主发电机他激绕组;  $R_1$ ,  $R_2$ ——电阻。

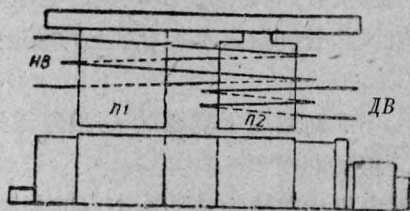


图1—12 纵向分裂磁极激磁机结构简图:  
 $DB$ ——差激绕组;  $HB$ ——他激绕组;  $II_1$ ——磁极的不饱和部分;  $II_2$ ——磁极的饱和部分。

激磁机的构造原理如图1—12上的简图所示。激磁机是一个四极式的直流发电机, 其中每一个磁极都沿电机轴线的方向分成二部份: 磁极 $II_1$ 和磁极 $II_2$ 。在磁极 $II_2$ 的铁芯上套装着差激绕组 $DB$ , 他激绕组 $HB$ 则把二个磁极都包围在内。