

內 容 提 要

本書介紹國產電壓調整器中的手動變阻器和炭調整器，書中除對它們的原理、構造、計算以及如何選用，都作了簡要的說明外，並着重介紹了國內工廠的生產經驗和產品的技術數據。

本書可供中、小型工業企業的动力工作者和地方電器工業的技術人員和工人閱讀，對選用電壓調整器的設計人員也有參考價值。

電 壓 調 整 器

張 景 馨 著

1720D476

水利電力出版社出版(北京西便門外大街2號)

北京市書刊出版登記證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

787×1092¹/₃₂開本 * 1¹/₈印張 * 27千字

1958年12月北京第1版

1959年2月北京第2次印刷(5,101—10,320冊)

統一書號: 15143·1350 定價(第9類)0.14元

电压调整器

張景馨著

水利电力出版社

目 录

第一章 励磁变阻器.....	3
第1节 金属励磁变阻器.....	3
第2节 容量功率与电压调整的均匀性.....	8
第3节 金属变阻器的技术数据.....	10
第4节 圆环形滑线变阻器.....	11
第5节 计算或訂購变阻器时所需的数据.....	13
第6节 安装与检修.....	15
第二章 自动电压调整器.....	15
第1节 PYH型炭调整器的結構及作用原理.....	16
第2节 炭调整器的技术数据.....	23
第3节 自动电压调整器中的稳定問題.....	23
第4节 交流发电机的并列运行与无功电流的补偿.....	27
第5节 选用条件.....	30
第6节 PYH100型炭调整器的检查、調整与安装.....	31

第一章 励磁变阻器

发电机的端电压，常因负载或原动机转速的改变而不能保持恒定。电压的变动，会使电灯忽明忽暗和电动机的出率忽大忽小，并有烧毁电灯或电动机的可能，因此必须要求发电机的端电压保持恒定不变。通常用改变电机磁通的方法来保持发电机电压恒定。为了调整磁通，必须改变发电机的励磁电流。这种用来调整发电机端电压的电器，叫做电压调整器。

电压调整器分手动与自动二种。手动的调整器也叫做励磁变阻器，或简称为变阻器。国内生产的励磁变阻器种类很多，但基本上可分为两大类，一为金属变阻器，另一为滑线变阻器。现分别详细叙述于后。

第1节 金属励磁变阻器

在低压配电台上，金属励磁变阻器应用最广。这种变阻器由电阻元件和转换装置两个主要部分所组成，如图1所示。

1. 电阻元件及其技术数据 在励磁变阻器内均采用在磁管上绕有高电阻丝的管型电阻，如图2。这种电阻元件较其他种元件经济，在同样功率下，电阻丝消耗量最少。高电阻丝的种类很多，如最常用的康铜与镍铬合金等，但均含铜或铬较多，而我国镍、铬产量不多，价格昂贵，因此应采用在电气性能上与康铜相仿的新康铜。康铜、新康铜和镍铬合金的成分与电气性能比较如表1所示。

由此可见，新康铜在温度系数和对铜的热电势上比康铜好，为今后我国制造电阻元件的理想材料。变阻器中所用的管

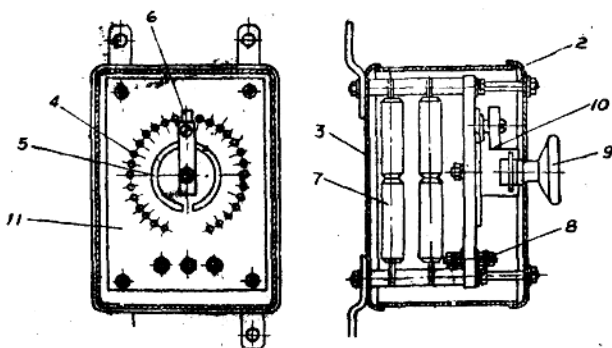


图1 金属励磁变阻器

1—框形罩；2—盖；3—底座；4—静触头；5—静触环；6—动触片；
7—电阻元件；8—接线端；9—手轮；10—拨动触片的杠杆；11—绝缘底板。

型电阻元件的设计，不仅充分利用瓷管来散热，并且两端留有一定距离，使电阻丝与穿过磁管的铁板间保持足够的漏电距离。管型电阻的技术数据列于表2内。

应该指出，表1中的数据是当上述电阻元件垂直放置，而各电阻元件的轴又互相平行，其间距离为50公厘以上时才正确。

自制土变阻器时，如果瓷管供应有问题，可以采用无骨架的电阻元件。将电阻丝在车床（或其他简单的工具）上绕成圆柱形弹簧，并将其拉开使每圈间不致短接，如图3。这样做不但结构简单，而且散热好，省电阻材料。但不宜应用在有震动的地方。绕制时应注意刚度，在表3推荐几个绕制时的参考数字。



图2 管型电阻元件

表 1

电阻絲 名 称	成 份 (%)	电 阻 系 数 (欧·公厘 ² 公尺)	溫度系数	最高工 作溫度 (°C)	对銅的热 电 势 (微伏/度)
新康銅	銅82.5, 錳12, 鋁4, 鉄1.5	0.48	±0.00002	400	-0.3
康 銅	銅60 錳40	0.50	-0.00003	400	-40
康 鋅	鋅80 錳20	1.10	0.00008	1100	—

表 2

序号	直徑36公厘, 長102公厘		直徑36公厘, 長146公厘		电 阻 綫		長期允許 电流(安) 当溫度 升高到 300°C時
	型 号	电 阻 (欧)	型 号	电 阻 (欧)	直 徑 (公厘)	材 料	
1	HC-436/95	95	HC-446/156	156	0.25	新 康 銅	0.99
2	HC-436/65	65	HC-446/108	108	0.30		1.20
3	HC-436/38	38	HC-446/61	61	0.40		1.57
4	HC-436/24	24	HC-446/37	37	0.50		1.98
5	HC-436/15	15	HC-446/22.5	22.5	0.50		2.52
6	HC-436/10	10	HC-446/16.5	16.5	0.60		3.09
7	HC-436/5.8	5.8	HC-446/9.1	9.1	0.80		4.05
8	HC-436/3.7	3.7	HC-446/5.8	5.8	1.00		5.06
9	HC-436/2.5	2.5	HC-446/4.0	4.0	1.20		6.17
10	HC-436/1.6	1.6	HC-446/2.5	2.5	1.20		7.72
11	HC-436/1.2	1.2	HC-446/1.8	1.8	1.40		8.90
12	HC-436/0.9	0.9	HC-446/1.4	1.4	1.60		10.25
13	HC-436/0.7	0.7	HC-446/1.1	1.1	1.60		11.65
14	HC-436/0.58	0.58	HC-446/0.9	0.9	1.80		12.75
15	HC-436/0.45	0.45	HC-446/0.73	0.73	2.00		14.50

若用新康銅作电阻元件, 其电流密度可用下式約略估計。

$$I = \pi \sqrt{\frac{2.5 \times 10^{-8} B_p d^3}{\rho}} = 5.6 d \sqrt{d}$$

表 3

电阻絲綫徑(公厘)	0.8~1.0	1.1~1.4	1.5~1.9	2~2.5
圓柱形彈簧內徑(公厘)	8	10	12	14
拉緊后圈間間隙(公厘)	2~3	3~4	3~4	3~4

式中 d ——电阻絲的直徑(公厘);

μ ——材料散熱系數, 取0.002;

E_y ——允許溫升, 取300°C;

ρ ——新康銅的电阻系數, 取0.48。

2. 轉換裝置 轉換裝置安裝在絕緣板上, 一般調節交流發電機和調節小容量直流電機勵磁電流用的變阻器, 其極限電流在15安以下, 其靜觸頭為黃銅製成的螺釘, 如圖4甲所示。在大量製造時, 可以利用制螺釘的特种設備, 將其形狀改為如圖4乙所示, 可以大量節約工時和銅材。動觸片為由紫銅板彎成圓弧形的板。由圓柱形彈簧保證動觸片與靜觸頭間的壓力, 其值應不小於1.6~2.0公斤。撥動觸片旋轉的杠杆一般由纖維膠

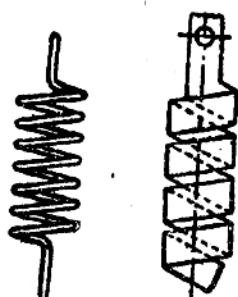


圖 3 無骨架电阻元件

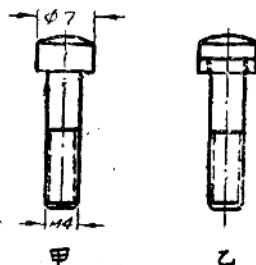


圖 4 靜觸頭

甲—黃銅制的;

乙—改型的。

木粉压制，土法自制时可以用鑄鉄代替，其手柄最好用塑料压制，也可以用硬木車制，但必須涂以絕緣清漆，如图 5。絕緣底板应为經浸漬的石棉水泥板。

膠木板不但价格貴，而且不耐高温。当变阻器內电阻元件热至近 300°C 时，膠木板会起皮裂开，因此非在不得已时，如船舶上所用的变阻器中才应用。

除了轉換裝置与电阻元件外，为防止外界物体落入变阻器內，防止操作人員不慎触及，上述二部分要用外壳圍住。外壳由底座、盖和框形罩所組成。为通风冷却起見，罩上开有孔。自制土变阻器若安装在櫃內或有一定保护裝置，不会发生不慎触及的危險时，可以將底座与框形罩取消。

3. 作用原理 变阻器的动触头由盖上的手柄直接以手来轉动，盖上升釘有指示电压升高与降低的指示名牌，也可以由裝在配电台面板上的傳动机構来轉动。当动触片旋轉时(參看圖 6) 逐級短接(或接入)电阻，使 II 和 II 二点間电阻值减小(或增大)。大家知道，

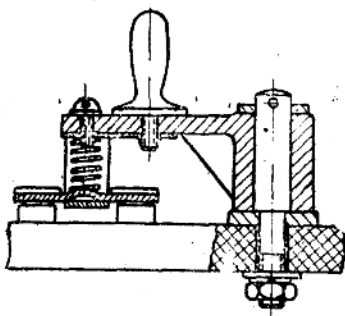


图 5 土制变阻器的操作手柄

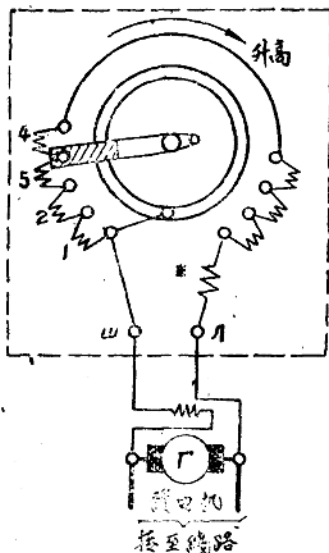


图 6 励磁变阻器内部接线图

串接在发电机励磁回路內的电阻的多少，决定电机的磁通，也即发电机的端电压。当因負載增大等原因而发电机电压下降时，可减少串接在励磁回路內的电阻，將手柄向順时鐘方向旋轉；反之向逆时鐘方向旋轉。

第2节 容量功率与电压調整的均匀性

变阻器的設計除了与上述轉換裝置有关的額定电流外，还得考虑与变阻器的容量功率以及与电压調整均匀性有关的級数。現分別說明于后。

1. 容量功率 变阻器的容量功率为各級电阻最大功率的和，对每一級电阻來說，动触片移至使其成为电流流經的第一級电阻时（即与动触片相連接的那一級，图6中的第4級电阻），其中电流为该級电阻的最大值，故此时的功率为最大。由于变阻器級数比其中电阻元件数大得多，因此不可能每級电阻所用的电阻絲直徑都不相同（由表2中可見，实际上也沒有这么多的标准綫徑）。因此在变阻器內可裝的各电阻元件功率的总和，一定大于該变阻器的容量功率。容量功率与电机功率間的比例，随电机型号、轉速、励磁損耗、調整条件以及电阻元件的种类而不同，因而只能在具体計算中确定。在一般应用中，通常变阻器接在电压恆定的回路內，如保持电机电压恆定的自激电机，則电机励磁綫圈功率与变阻器容量功率間的比例，可以粗略地按表4确定。

表4

R_p/R_M	1	2	2.5	3
P_{OG}/P_M	0.75	0.95	1.1	1.3

- 表中 R_m ——电机励磁线圈冷电阻，欧；
 R_p ——变阻器电阻(包括装在变阻器内的固接电阻)，欧；
 P_{os} ——变阻器的容量功率，瓦；
 P_m ——冷态及最大励磁电流时电机励磁线圈内的损耗，瓦。

当变阻器接在电压改变的回路内时，如在调整电压的并激励磁回路内，变阻器的容量功率则需按发电机特性由具体计算确定。

2. 电压调整的均匀性 满足电压调整均匀性所必需的变阻器级数，现简单解释于后。

试以自激直流电机为例，图7中 ED 与 $E'D'$ 为其空载特性与满载特性曲线， AB 为满载时电枢反应， BC 为满载时电枢(包括炭刷)电压降。任何其他负载时的特性，均在此二曲线范围内，并为与此二曲线平行的曲线族。假设当空载额定电

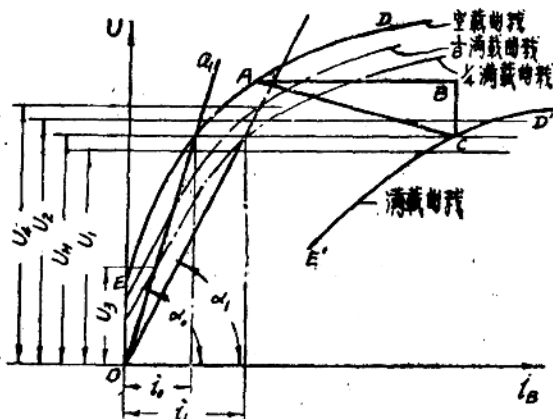


图7 调整直流发电机电端电压时所需级数的示意图

压 U_n ，励磁电流为 i_0 时，励磁回路内电阻为 $R_0 = \operatorname{tg} \alpha_0$ ，当负载增加至 $\frac{1}{4}$ 满载时，若励磁回路内电阻不变，则端电压将沿 Oa_1 直线下降至 U_0 。若此时欲保持电压 U_n 不变，势必须增加励磁电流至 i_1 。此时励磁回路内电阻为 $R_1 = \operatorname{tg} \alpha_1$ ，若 R_0 与 R_1 之间只有一级，必须在负载增至 $\frac{1}{4}$ 满载而端电压下降至 U_0 时再转换；此时，电压已降至 U_0 ，显然太低，不合要求。或者在负载尚不到 $\frac{1}{4}$ 满载（譬如 $\frac{1}{8}$ 满载）时即转换至下一级，则电压会升高至 U_1 ，显然太高，有危险。因此必须在 R_0 与 R_1 间插入若干级，以便使负载逐渐增加，电压尚未降至超过规定下限 U_1 时即可转换至下一级，而当转换时，电压的升高又不超过 U_2 。因此需有必要的级数，使当负载增减时能作均匀（一般 100 瓩以下的发电机 $\frac{U_2 - U_n}{U_n}$ 或 $\frac{U_n - U_1}{U_n}$ 不超过 $\pm 2\%$ ，100 瓩以上者不超过 $\pm 1\%$ ）调节。至于具体的计算可参考电力工业出版社 1956 年出版的“控制电器”第五章。

第 3 节 金属变阻器的技术数据

下面列举几种变阻器的技术数据和其外形尺寸，供设计者参考。

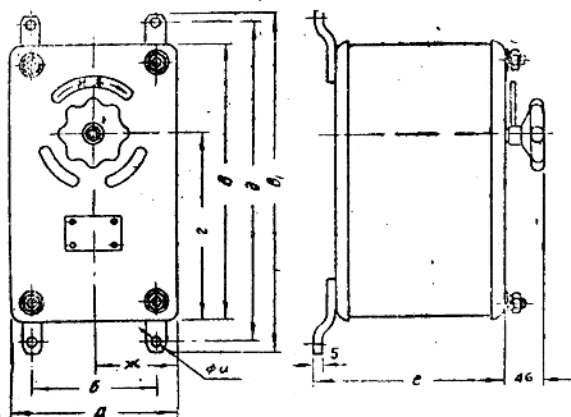
PB 系列为防护式变阻器，其外形尺寸如图 8 所示。P3B 系列为防滴式变阻器，其外形与 PB 相差不多。

能正确掌握动静触头的结构，电阻元件的选择与装置，以及必要级数和计算后，可根据实际需要设计与制造变阻器。设计时还需要注意变阻器内所有带电部分对接地金属部分的漏电距离不得小于 18 公厘，空气间隙不得小于 7 公厘。电阻元件与静触头间用裸铜线联结，为避免其相互短接或与电阻元件相碰起见，裸铜线上穿有碗形磁套管。

表 5

常用变阻器的技术数据

型 号		容量功率 (瓦)	极限电流 (安)	转换级数	重 量 (公斤)•
防护式	防滴式				
PB-3	P3B-01A	300	15	32	6.0/6.5
PB-4.5	P3B-01B	450	15	32	6.5/8.0
PB-6.5	P3B-11B	630	15	40	8.2/11.5
PB-9	P3B-21A	900	15	40	12.0/15.5
PB-12	P3B-31A	1,200	15	64	17.0/24.0
PB-18	P3B-31B	1,800	15	64	20.0/28.0
PB-24	P3B-31B	2,400	15	64	23.0/32.0



型 号	尺 寸 (公厘)								
	a	b	в	В1	Г	Л	Ж	И	е
PB-3	172	120	202	270	91	250	106	9	225
PB-4.5	172	120	202	270	91	250	106	9	275
PB-6.5	208	155	223	310	119	282	104	11	278
PB-9	218	165	362	447	245	421	109	11	248
PB-12	293	229	406	492	266	466	146	11	267
PB-18	293	229	406	492	266	466	146	11	317
PB-24	293	229	406	492	266	466	146	11	367

图 8 PB系列变阻器安装外形图

第4节 圓环形滑綫变阻器

另外一种比較簡單的圓环形滑綫变阻器，为用高电阻絲直接繞在瓷圈上，并涂以珐瑯燒制而成。其动触刷直接在珐瑯外的电阻絲上滑动，如图9所示。这种变阻器的缺点是机械寿命不長，經多次操作后，电阻綫会被动触刷磨損，易燒毀，并且浪費电阻材料。因此不推荐在励磁回路內作經常操作的变阻器用。但不可否認，这种变阻器也有其优点：例如級数多，結構簡單，省材料，体积小，安裝方便；功率小的变阻器这些优点則更显著。

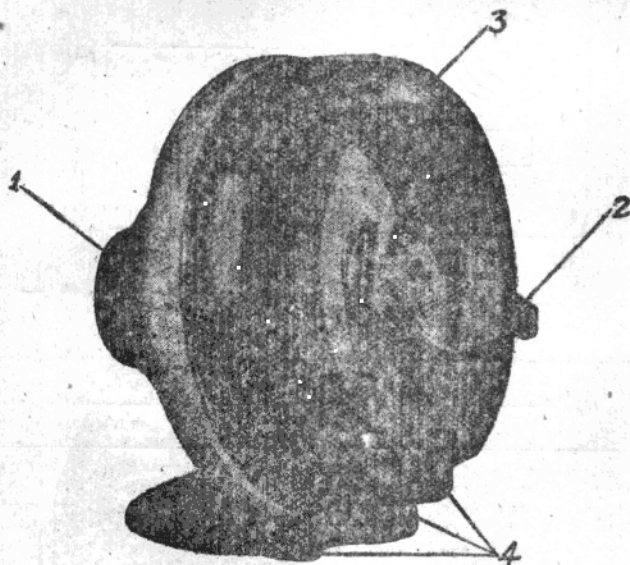
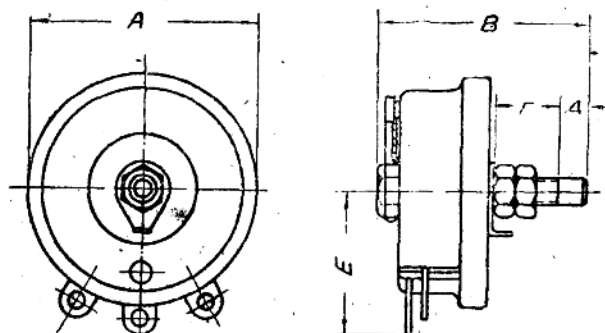


图9 圓环形滑綫变阻器

1—手輪；2—动触刷；3—高电阻絲；4—接綫端。



容 量 (瓦)	尺 寸 (公厘)		
	A	B	E
25	42	61	28
50	64	66	45
100	84	74	50
150	105	82	62

图 10 滑綫变阻器的外形图

第 5 节 計算或訂購变阻器时所需的数据

图10为一般滑綫变阻器的外形图。

除根据发电机数据按第 2 节所述初步确定容量功率多大的变阻器外，变阻器内电阻元件的选择以及各级电阻的計算，还需要下列数据（在向制造厂訂購时也应供給下列数据）：

1. 作保持直流发电机电压恒定的变阻器：

1) 发电机額定功率 P_n ，額定励磁电压值 $U_{e.n}$ 及其种类（他激或并激）；

2) 励磁綫圈的冷电阻 $R_{e.x.o.l}$ 及热电阻 $R_{e.t.o.p}$ ；

3) a. 最小励磁电流 $I_{e.min}$ 及最小励磁电压 $U_{e.min}$ （相当于

发电机空载额定电压 U_n 时);

6. 最大励磁电流 $I_{\text{с. макс}}$ 及最大励磁电压 $U_{\text{с. макс}}$ (相当于发电机满载 I_n 及额定电压 U_n 时)。

2. 作保持交流同步发电机电压恒定的变阻器:

1) 交流发电机功率 P_n 及额定电压值 U_n ;

2) a. 交流发电机最小励磁电流 $I_{\text{с. мин}}$ (相当于交流发电机空载及额定电压 U_n 时);

6. 交流发电机最大励磁电流 $I_{\text{с. макс.}}$ (相当于交流发电机满载 I_n 及额定电压 U_n 额定 $\cos\varphi$ 时);

3) 交流发电机励磁线圈冷态电阻 $R_{\text{с. хол.}}$ 及热态电阻 $R_{\text{с. топ.}}$;

4) 相当于2, a 时, 励磁机的最小励磁电压 $U_{\text{с. мин}}$ 和最小励磁电流 $I_{\text{с. мин}}$, 以及相当于2, 6时的最大励磁电压 $U_{\text{с. макс}}$ 和最大励磁电流 $I_{\text{с. макс}}$;

5) 励磁机励磁线圈冷态电阻 $R_{\text{с. хол.}}$ 及热态电阻 $R_{\text{с. топ.}}$ 。

在可能情况下, 最好供给: 直流发电机的空载及满载特性曲线, 以代替1项3; 交流发电机的空载及满载特性曲线以代替2项2; 交流发电机的励磁机的负载特性(以发电机的励磁线圈为负载)曲线以代替2项4。

表4中的 R_p 对直流电机来说, 约可根据下式求得:

$$R_p = \frac{\text{最小励磁电压}}{0.8 \times \text{最小励磁电流}} - \text{励磁线圈冷态电阻}$$

$$= \frac{U_{\text{с. мин}}}{0.8 I_{\text{с. мин}}} - R_{\text{с. хол.}}$$

对交流电机来说:

$$R_p = \frac{\text{励磁机的最小励磁电压}}{0.8 \times \text{励磁机的最小励磁电流}}$$

— 励磁机励磁线圈的冷态电阻

$$= \frac{U_{\text{с.м.н.}}}{0.8 I_{\text{с.м.н.}}} - R_{\text{ф.х.д.}}$$

在选用繞在瓷环上的圓形滑綫变阻器来作励磁变阻器时，只要其发散功率和电阻值滿足其最大功率（等于最大励磁电流的平方与变阻器电阻的乘积 $I_{\text{с.м.н.}}^2 R_p$ ）与所需电阻 R_p 即可。至于金屬变阻器的具体計算方法，可參閱“控制电器”第五章，本書不拟重复。

第6节 安裝与檢修

金屬变阻器須垂直安裝在牆壁或金屬架上。为通风起見，任何一种变阻器的上下二方均得留出足够的空間，以免妨碍空气的自由流通。在变阻器的上方，当变阻器通电时有灼热空气冲出，因此不宜將其他电器安裝在变阻器的上方，特别是象金屬整流器与仪表等。在安裝变阻器前应預先將其外壳除去，并檢查其各个零件的情况。試將动触片由一个极端位置到另一极端位置旋轉二、三次，若沒有軌住或接触不良的情况，則認為合格。軌住一般是由于压触片的彈簧压力过大所致，用旋凿將彈簧撬开放松彈簧即可。

第二章 自动电压調整器

与手动的变阻器相对应的有自动的电压調整器，簡称自动电压調整器。其种类也很多：有最老式的（在1900~1920年間出現的）振动式（Тиррелль式）調整器，如汽車发电机中所用振动式調整器，有在1930~1940年間出現的电子离子調整器，有在1940~1950年間出現的电机放大器調整器，以及在1950年以后

出現的帶磁放大器的自动电压調整器。其中以帶磁放大的复式励磁自动电压調整器最为先进，沒有任何运动部件，但价格昂貴，适用于大容量电机(国内現在 25,000 瓩以上电机才用这种調整器)，故在本書不多介紹。振动式調整器因其結構較复杂精密，作为交流发电机的电压調整器來說，已逐漸被淘汰。至于电子离子式調整器，由于我国电子工业发展較晚，而且其本身有很多缺点，因此国内沒有正式生产过这种調整器。电机扩大机实际上也很少用来作电站的电压調整器。

本書所介紹的炭調整器是在1920~1930年間出現的，国内已經大量生产。虽然它的运动部分尤其是炭片寿命不長（1年半左右），但由于制造方便，价格低廉，而且能适用于任何种小容量(2,500瓩以下)同步发电机。在我国目前情况下还有生产的必要。應該指出，目前各电机厂正在試制一种不用励磁机而以硒整流器和飽和电抗器来自动調整电压的电机，是有很大的經濟意义和发展前途的。但尽管如此，国内还有大量以前生产的电机，在今后各方面对供电質量要求的提高以及普遍要求自动化时，必然还需要用炭調整器来装备这些老的电机。現將国内生产的PYH型炭調整器，詳細叙述于后。

第1节 PYH型炭調整器的結構及作用原理

炭調整器主要是由量測机构和調节机构两个部分組成的。量測机构是由电磁鉄所組成，調节机构是由炭片柱所組成，其結構如图11。底板1上裝有由鉄芯10和綫圈11所組成的电磁鉄，杠杆7的前端裝有电磁鉄的銜鉄9，杠杆本身挂在四根片彈簧8上，在电磁力的作用下旋轉。杠杆上連有拉杆6，拉杆对炭片柱产生一压力。杠杆的后端被反作用彈簧12拉住。反作用彈簧的下端固定在螺杆13上，借螺帽可以調节彈簧的拉力。