

中等专业学校交流讲义

电工仪表和测量

哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室编



中国工业出版社

73.16
406

中等专业学校交流讲义



电工仪表和测量

哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室編

中国工业出版社

本书是根据1959年制订的中等专业学校“电工仪表和测量”课程的教学大纲编写而成。

本书论述了测量电流、电压、电阻、电感、电容、功率、电能、相位差和频率的仪器及其他各种型式仪器的使用方法。第一部分研究了各种型式的电工仪表、互感器和比较仪器的理论与结构；并讲述了使用上述的仪器对电量和磁量的测量方法。第二部分研究各种型式的变换器；也论述了温度、机械、液体和气体的温度各种非电量的测量方法和使用的仪器。本书可作中等专业学校「电工仪表制造专业」的教材，也可以作为工程技术人员参考书。

本书是由哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室编写的。

电工仪表和测量

哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室编

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第117号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $17 \frac{3}{8}$ · 字数 405,000

1951年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数 0001—3033 · 定价(9-4)1.65元

统一书号: 15145·561(—Ⅱ—95)

緒 論

測量，即用實驗的方法確定各種量的數值，是認識自然界所不可缺少的方法之一。它在國民經濟的各個部門中都起着很重要的作用。

各項科學技術的發展及其實際應用是和測量技術的發展往往分不開的。測量技術愈完善，就愈能促進科學技術的發展。例如，由於提高了測量重量的準確度的一位數字，就使在1892~1894年發現了一種新的氣體——氫；由於測量角度的高度準確（準確度可達十分之一秒以上），就使我們有可能確定星際的距離。從上述例子中可以說明，測量技術的發展能促進科學技術的發展。因為要研究某種現象，就必須創造出新的、更完善的儀器來滿足它。

另一方面，科學技術的發展又能促進測量技術的發展和新的測量儀器的出現。電荷間有相互作用力的發現，使庫倫做出了扭擺；由於人們對於原子結構方面的進一步認識，就創立了測量恒定磁場的新方法——利用核磁諧振來測量磁場。

從科學技術發展的歷史上可以看出，科學技術是和測量技術互相伴隨著發展的。在電工技術的發展史中，這樣的例子很多。事實上，電工技術發展史本身就可以看成是電工測量技術的發展史。

目前，由於「電」被廣泛地應用，電工測量就更具有特別重要的意義。在很多工廠企業中，產品質量的改善，勞動生產率的提高以及原材料和半成品的檢查等，都是與測量、特別是電工測量，緊密相關的。譬如，利用磁性探傷儀來檢查鉄磁性原材料，半成品及其成品零件的內部各種缺陷（如裂縫、含有有害物或雜質等）的方法，就應用得極其普遍；在冶金和化工等部門中的某些生產過程的檢查，也是通過電工測量來實現的。在近代化的工廠企業里，生產的高度自動化和電工測量的關係就更加密切。例如，通過電工測量來控制生產的自動化、工藝過程和檢查工序的自動化等。除此以外，近代勘探石油及礦藏的方法也完全是根據電的，特別是磁的測量方法。例如航空勘探能準確和連續地把地面的磁場強度的分布情況進行測量和記錄；當鉆探石油時，可以通過測量土壤的電阻系數來對地層結構進行研究等等。

從以上這些情況，可以說明電工測量的重要性及其應用的普通性。其所以能這樣，是因為電工測量具有很多優點，主要是：

1. 測量內容的廣泛性。它既能測量電量，又能測量非電量。
2. 測量過程的連續性。它有可能把被研究對象連續地記錄下來，以保證对被檢查過程狀態的監視，並使之自動化。
3. 測量距離的遠程性。它可以遠離被研究對象進行測量，使有可能在難以直接達到或甚至不能達到的地方進行測量（例如星球溫度的測量、旋轉機械上特性的測量和射擊過程的測量等等）。

此外，電工測量還有較高的準確度、靈敏度以及有可能對測量數據進行數學運算等等一系列優點。

解放前，我国的电工测量技术和电工仪表制造工业和其它工业一样，是很落后的。那时可以说根本就没有仪表制造工业，甚至也没有仪表制造工厂。解放后，由于党的重视和关怀，使我国的电工测量技术和电工仪表制造工业得到了飞跃的发展。特别是在1958年全国大跃进以后，由于贯彻了一整套「两条腿走路」的方针，使电工测量技术和电工仪表制造工业得到了更加迅速的发展。目前，我国不但成立了从事电工测量技术的专门研究机构，而且还有很多大、中、小型电工仪表制造工厂，大量生产我国社会主义建设所急需的各种仪表仪器。从而使我国电工测量技术和电工仪表制造工业的面貌有了很大的改变。从我国的社会制度和几年来的发展情况，可以充分地说明，我国的电工测量技术和电工仪表制造工业在党的领导下，不但能飞跃的发展，并且一定能在不久的将来迈入世界先进的行列。

在进行测量时，需要掌握测量方法和测量仪器的结构、原理及特性；需要会选择适当的测量方法和相应的测量设备；会装配电路、进行观测和记录、处理所得的数据以及会校验测量仪器。

根据以上要求，在本课程中就包括了两个部分：一是理论部分，给学习者以电工测量仪表和测量方法方面的必要知识；一是实践部分，通常是在实验室中进行，使学习者能掌握测量过程中的基本技术，并熟悉以及会使用电工测量仪器和辅助设备。

在本课程中，讨论有关电工仪表，仪器理论问题用的篇幅较多，这是因为本课程要给本专业的其他专业课打下较为巩固的基础。

目 录

緒論	5
----------	---

第一部分 电工仪表和电磁测量

第一章 直讀电工仪表概論	7
1-1 定义和分类	7
1-2 直讀电工仪表的基本結構和理論	8
1-3 直讀电工仪表的主要特性	15
1-4 直讀电工仪表的主要零件	21
1-5 直讀电工仪表的标志符号	24
第二章 磁电式仪表	25
2-1 測量机构的結構及理論	25
2-2 安培表·分流器	28
2-3 伏特表·附加电阻	31
2-4 安培表和伏特表的誤差和特性	32
2-5 欧姆表	33
2-6 檢流計	37
2-7 冲击檢流計	40
2-8 檢流計的选择	41
2-9 韋伯表	42
2-10 安時計	43
2-11 具有固定磁鉄的振蕩式檢流計	46
2-12 具有活动磁鉄的振蕩式檢流計	46
2-13 热电式仪表	47
2-14 整流式仪表	50
2-15 电子管式仪表	54
第三章 电磁式仪表	55
3-1 測量机构的結構及理論	55
3-2 电磁式安培表和伏特表	58
3-3 电磁式安培表和伏特表的誤差和特性	61
3-4 电磁式法拉表	62
3-5 电磁式相位表和同步指示器	63
3-6 电磁式赫芝表	64
第四章 电动式仪表	65
4-1 測量机构的結構及理論	65
4-2 电动式安培表及伏特表	68
4-3 电动式瓦特表	70
4-4 电动式安培表、伏特表及瓦特表的誤差和特性	72
4-5 电动式瓦時計	75

4-6 电动式相位表	78
4-7 电动式法拉表	80
第五章 鉄磁电动式仪表	80
5-1 測量机构的結構及理論	80
5-2 鉄磁电动式安培表及伏特表	82
5-3 鉄磁电动式瓦特表	83
5-4 鉄磁电动式赫芝表	85
第六章 感应式仪表	86
6-1 測量机构	86
6-2 单相瓦時計	88
6-3 三相瓦時計	97
第七章 静电式仪表	99
7-1 測量机构的結構及理論	99
7-2 静电式伏特表、誤差和特性	101
第八章 自录仪器和示波器	103
8-1 用途和分类	103
8-2 自录仪表	104
8-3 振蕩式示波器	108
第九章 測量用互感器	112
9-1 概述	112
9-2 电流互感器的理論	114
9-3 电流互感器的結構	118
9-4 电压互感器	123
9-5 仪表通过測量用互感器的接法和守則	126
第十章 比較仪器	128
I 度量器	128
10-1 关于度量器的一般概念	128
10-2 标准電池	128
10-3 标准电阻綫圈和电阻箱	130
10-4 标准电感綫圈、标准互感綫圈和电感箱	136
10-5 标准电容和电容箱	137
II 电桥	138
10-6 直流电桥	139
10-7 交流电桥	141
10-8 自动平衡电桥	151
III 补偿器	152
10-9 直流补偿器	152
10-10 交流补偿器	160

第十一章 电测量	164	第十三章 参数变换器	211
11-1 测量方法的分类	164	13-1 变阻器式变换器	211
11-2 测量误差	165	13-2 电阻丝变换器	213
11-3 消除系统误差的方法及测量结果的 处理	166	13-3 热电阻变换器	216
11-4 用安培表和伏特表测量直流电阻	170	13-4 电解质变换器	218
11-5 绝缘电阻的测量	171	13-5 电感变换器	220
11-6 用交流安培表、伏特表和瓦特表测量 电阻、电感和电容	173	13-6 电容变换器	222
11-7 在直流和单相交流电路里测量功率	175	13-7 电离变换器	223
11-8 在三相电路里测量有功功率和电能	177	第十四章 发电变换器	224
11-9 在单相和三相电路里测量无功功率和 电能	184	14-1 感应变换器	224
第十二章 磁测量	191	14-2 热电变换器	226
I 磁通、磁场强度和磁位差的测量	191	14-3 压电变换器	228
12-1 用冲击检流计测量磁通	191	14-4 电位变换器 (PH计的变换器)	230
12-2 磁场强度和磁位差的测量	192	第十五章 温度的电测法及仪器	233
II 磁化曲线与磁滞回线的获得	194	15-1 概述	233
12-3 磁滞图	194	15-2 用毫伏表式热电高温计测量温度	234
12-4 冲击法	195	15-3 用自动补偿器式热电高温计测量 温度	240
12-5 电动法	199	15-4 用电阻温度计测量温度	246
12-6 感应法	199	15-5 用辐射高温计测量温度	251
III 铁磁材料损耗的测定	202	第十六章 机械量的电测法及仪器	256
12-7 概述	202	16-1 直线尺寸的测量	257
12-8 用瓦特表法测定损耗	203	16-2 液位的测量	259
12-9 用差值法测定损耗	206	16-3 形变的测量	261
12-10 用电桥法测定损耗	207	16-4 集中力及压力的测量	265
12-11 用补偿器法来测定损耗	208	16-5 转速的测量 (转速计)	267
第二部分 非电量的电测法		第十七章 液体和气体浓度的电测法及 仪器	268
概述	209	17-1 盐度计	268
		17-2 气体分析器	270
		17-3 pH计	276

73.16
406

中等专业学校交流讲义



电工仪表和测量

哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室編

中国工业出版社

本书是根据1959年制订的中等专业学校“电工仪表和测量”课程的教学大纲编写而成。

本书论述了测量电流、电压、电阻、电感、电容、功率、电能、相位差和频率的仪器及其他各种型式仪器的使用方法。第一部分研究了各种型式的电工仪表、互感器和比较仪器的理论与结构；并讲述了使用上述的仪器对电量和磁量的测量方法。第二部分研究各种型式的变换器；也论述了温度、机械、液体和气体的温度各种非电量的测量方法和使用的仪器。本书可作中等专业学校[电工仪表制造专业]的教材，也可以作为工程技术人员参考书。

本书是由哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室编写的。

电工仪表和测量

哈尔滨电工学院中专部电工仪表教研室编

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第117号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $17 \frac{3}{8}$ · 字数 405,000

1951年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数 0001—3033 · 定价(9-4)1.65元

统一书号: 15145·561(—Ⅱ—95)

目 录

緒論	5
----------	---

第一部分 电工仪表和电磁测量

第一章 直讀电工仪表概論	7
1-1 定义和分类	7
1-2 直讀电工仪表的基本結構和理論	8
1-3 直讀电工仪表的主要特性	15
1-4 直讀电工仪表的主要零件	21
1-5 直讀电工仪表的标志符号	24
第二章 磁电式仪表	25
2-1 測量机构的結構及理論	25
2-2 安培表·分流器	28
2-3 伏特表·附加电阻	31
2-4 安培表和伏特表的誤差和特性	32
2-5 欧姆表	33
2-6 檢流計	37
2-7 冲击檢流計	40
2-8 檢流計的选择	41
2-9 韋伯表	42
2-10 安時計	43
2-11 具有固定磁铁的振盪式檢流計	46
2-12 具有活动磁铁的振盪式檢流計	46
2-13 热电式仪表	47
2-14 整流式仪表	50
2-15 电子管式仪表	54
第三章 电磁式仪表	55
3-1 測量机构的結構及理論	55
3-2 电磁式安培表和伏特表	58
3-3 电磁式安培表和伏特表的誤差和特性	61
3-4 电磁式法拉表	62
3-5 电磁式相位表和同步指示器	63
3-6 电磁式赫芝表	64
第四章 电动式仪表	65
4-1 測量机构的結構及理論	65
4-2 电动式安培表及伏特表	68
4-3 电动式瓦特表	70
4-4 电动式安培表、伏特表及瓦特表的誤差和特性	72
4-5 电动式瓦時計	75

4-6 电动式相位表	78
4-7 电动式法拉表	80
第五章 鉄磁电动式仪表	80
5-1 測量机构的結構及理論	80
5-2 鉄磁电动式安培表及伏特表	82
5-3 鉄磁电动式瓦特表	83
5-4 鉄磁电动式赫芝表	85
第六章 感应式仪表	86
6-1 測量机构	86
6-2 单相瓦時計	88
6-3 三相瓦時計	97
第七章 静电式仪表	99
7-1 測量机构的結構及理論	99
7-2 静电式伏特表、誤差和特性	101
第八章 自录仪器和示波器	103
8-1 用途和分类	103
8-2 自录仪表	104
8-3 振盪式示波器	108
第九章 測量用互感器	112
9-1 概述	112
9-2 电流互感器的理論	114
9-3 电流互感器的結構	118
9-4 电压互感器	123
9-5 仪表通过測量用互感器的接法和守則	126
第十章 比較仪器	128
I 度量器	128
10-1 关于度量器的一般概念	128
10-2 标准電池	128
10-3 标准电阻綫圈和电阻箱	130
10-4 标准电感綫圈、标准互感綫圈和电感箱	136
10-5 标准电容和电容箱	137
II 电桥	138
10-6 直流电桥	139
10-7 交流电桥	141
10-8 自动平衡电桥	151
III 补偿器	152
10-9 直流补偿器	152
10-10 交流补偿器	160

第十一章 电测量	164	第十三章 参数变换器	211
11-1 测量方法的分类	164	13-1 变阻器式变换器	211
11-2 测量误差	165	13-2 电阻丝变换器	213
11-3 消除系统误差的方法及测量结果的处理	166	13-3 热电阻变换器	216
11-4 用安培表和伏特表测量直流电阻	170	13-4 电解质变换器	218
11-5 绝缘电阻的测量	171	13-5 电感变换器	220
11-6 用交流安培表、伏特表和瓦特表测量电阻、电感和电容	173	13-6 电容变换器	222
11-7 在直流和单相交流电路里测量功率	175	13-7 电离变换器	223
11-8 在三相电路里测量有功功率和电能	177	第十四章 发电变换器	224
11-9 在单相和三相电路里测量无功功率和电能	184	14-1 感应变换器	224
第十二章 磁测量	191	14-2 热电变换器	226
I 磁通、磁场强度和磁位差的测量	191	14-3 压电变换器	228
12-1 用冲击检流计测量磁通	191	14-4 电位变换器 (PH计的变换器)	230
12-2 磁场强度和磁位差的测量	192	第十五章 温度的电测法及仪器	233
II 磁化曲线与磁滞回线的获得	194	15-1 概述	233
12-3 磁滞图	194	15-2 用毫伏表式热电高温计测量温度	234
12-4 冲击法	195	15-3 用自动补偿器式热电高温计测量温度	240
12-5 电动法	199	15-4 用电阻温度计测量温度	246
12-6 感应法	199	15-5 用辐射高温计测量温度	251
III 铁磁材料损耗的测定	202	第十六章 机械量的电测法及仪器	256
12-7 概述	202	16-1 直线尺寸的测量	257
12-8 用瓦特表法测定损耗	203	16-2 液位的测量	259
12-9 用差值法测定损耗	206	16-3 形变的测量	261
12-10 用电桥法测定损耗	207	16-4 集中力及压力的测量	265
12-11 用补偿器法来测定损耗	208	16-5 转速的测量 (转速计)	267
第二部分 非电量的电测法		第十七章 液体和气体浓度的电测法及仪器	268
概述	209	17-1 盐度计	268
		17-2 气体分析器	270
		17-3 pH计	276

緒 論

測量，即用實驗的方法確定各種量的數值，是認識自然界所不可缺少的方法之一。它在國民經濟的各個部門中都起着很重要的作用。

各項科學技術的發展及其實際應用是和測量技術的發展往往分不開的。測量技術愈完善，就愈能促進科學技術的發展。例如，由於提高了測量重量的準確度的一位數字，就使在1892~1894年發現了一種新的氣體——氫；由於測量角度的高度準確（準確度可達十分之一秒以上），就使我們有可能確定星際的距離。從上述例子中可以說明，測量技術的發展能促進科學技術的發展。因為要研究某種現象，就必須創造出新的、更完善的儀器來滿足它。

另一方面，科學技術的發展又能促進測量技術的發展和新的測量儀器的出現。電荷間有相互作用力的發現，使庫倫做出了扭擺；由於人們對於原子結構方面的進一步認識，就創立了測量恒定磁場的新方法——利用核磁諧振來測量磁場。

從科學技術發展的歷史上可以看出，科學技術是和測量技術互相伴隨著發展的。在電工技術的發展史中，這樣的例子很多。事實上，電工技術發展史本身就可以看成是電工測量技術的發展史。

目前，由於「電」被廣泛地應用，電工測量就更具有特別重要的意義。在很多工廠企業中，產品質量的改善，勞動生產率的提高以及原材料和半成品的檢查等，都是與測量、特別是電工測量，緊密相關的。譬如，利用磁性探傷儀來檢查鉄磁性原材料，半成品及其成品零件的內部各種缺陷（如裂縫、含有有害物或雜質等）的方法，就應用得極其普遍；在冶金和化工等部門中的某些生產過程的檢查，也是通過電工測量來實現的。在近代化的工廠企業里，生產的高度自動化和電工測量的關係就更加密切。例如，通過電工測量來控制生產的自動化、工藝過程和檢查工序的自動化等。除此以外，近代勘探石油及礦藏的方法也完全是根據電的，特別是磁的測量方法。例如航空勘探能準確和連續地把地面的磁場強度的分布情況進行測量和記錄；當鉆探石油時，可以通過測量土壤的電阻系數來對地層結構進行研究等等。

從以上這些情況，可以說明電工測量的重要性及其應用的普通性。其所以能這樣，是因為電工測量具有很多優點，主要是：

1. 測量內容的廣泛性。它既能測量電量，又能測量非電量。
2. 測量過程的連續性。它有可能把被研究對象連續地記錄下來，以保證对被檢查過程狀態的監視，並使之自動化。
3. 測量距離的遠程性。它可以遠離被研究對象進行測量，使有可能在難以直接達到或甚至不能達到的地方進行測量（例如星球溫度的測量、旋轉機械上特性的測量和射擊過程的測量等等）。

此外，電工測量還有較高的準確度、靈敏度以及有可能對測量數據進行數學運算等等一系列優點。

解放前，我国的电工测量技术和电工仪表制造工业和其它工业一样，是很落后的。那时可以说根本就没有仪表制造工业，甚至也没有仪表制造工厂。解放后，由于党的重视和关怀，使我国的电工测量技术和电工仪表制造工业得到了飞跃的发展。特别是在1958年全国大跃进以后，由于贯彻了一整套「两条腿走路」的方针，使电工测量技术和电工仪表制造工业得到了更加迅速的发展。目前，我国不但成立了从事电工测量技术的专门研究机构，而且还有很多大、中、小型电工仪表制造工厂，大量生产我国社会主义建设所急需的各种仪表仪器。从而使我国电工测量技术和电工仪表制造工业的面貌有了很大的改变。从我国的社会制度和几年来的发展情况，可以充分地说明，我国的电工测量技术和电工仪表制造工业在党的领导下，不但能飞跃的发展，并且一定能在不久的将来迈入世界先进的行列。

在进行测量时，需要掌握测量方法和测量仪器的结构、原理及特性；需要会选择适当的测量方法和相应的测量设备；会装配电路、进行观测和记录、处理所得的数据以及会校验测量仪器。

根据以上要求，在本课程中就包括了两个部分：一是理论部分，给学习者以电工测量仪表和测量方法方面的必要知识；一是实践部分，通常是在实验室中进行，使学习者能掌握测量过程中的基本技术，并熟悉以及会使用电工测量仪器和辅助设备。

在本课程中，讨论有关电工仪表，仪器理论问题用的篇幅较多，这是因为本课程要给本专业的其他专业课打下较为巩固的基础。

第一部分 电工仪表和电磁测量

第一章 直讀电工仪表概論

1-1 定义和分类

我們要認識和改造客觀世界, 測量是一個不可缺少的過程。為了達到認識客觀事物的數量這個目的, 我們必須有一定的依據, 這就是說必須製出各種量的單位, 測量就是將被測的量和某一個取為單位的數值進行比較的過程。比較的結果用兩部分來表示: 一部分是單位的名稱, 另一部分是數值。如測量結果為 A_x , 則它等於被測的量 X 與測量單位 X_D 之比。即:

$$A_x = \frac{X}{X_D}$$

由此

$$X = A_x \cdot X_D \quad (1-1)$$

根據上式, 可以這樣來讀它: [被測量 X (電流、電壓、長度、速度等等) 是多少個 (A_x) 單位 (X_D)]。

方程式 (1-1) 為測量的基本方程式, 它表明被測量與單位量進行比較的過程。可見, 測量單位必須與被測量屬於同一類。至於單位的大小, 一般說來是可以任意的。但選定的單位必須是公認的, 而且是固定不變的。例如, 目前國際上通用的長度單位 (米) 規定為地球子午綫全長的四千萬分之一。

確定了測量單位, 還必須複製所選測量單位的實物。以便將被測量與之作比較。按預先給定的準確度實際複製出來的測量單位的技术工具之總和稱為度量器。有了度量器, 還不能實現一般的測量過程。為此, 還必須具有將被測量與度量器進行比較的設備。例如, 為將被測量與質量砝碼進行比較, 就得用秤。因此, 在用來測量的技术工具中, 除了度量器之外, 還包括測量儀器及其它技术工具。

包括度量器在內的这样的技术工具之總和稱為測量設備。

所有測量儀器可以分為兩大類:

1. 直讀仪表 在這類仪表中, 測量過程本身並不與度量器直接進行比較, 而被測量的值是直接根據事先已刻度好的仪表指示讀取的。

2. 比較儀器 與直讀仪表相反, 它在測量過程中, 被測量與度量器是直接進行比較的。

直讀仪表所以能指示讀數, 是因為它受到由某種形式的能量轉變為機械能作用到仪表活動部分的結果。因此, 根據能量來源不同, 直讀仪表可分為四類:

(1) 电气机械式仪表 在這種仪表中, 利用電磁場的能量來使仪表活動部分發生位移。大多數的电工仪表都屬於這類 (包括磁電式、電磁式、電動式、靜電式及感應式等等)。

(2) 电热式仪表 這種仪表利用電流熱效應。

(3) 电化学式仪表 這種仪表利用電流的化學效應。

(4) 电子射綫式仪表 這種仪表利用電磁場的能量來控制電子束。

电气机械式仪表又可以依據不同的方式進行分類。如按被測量的種類, 仪表有: 安培

表——用于电流的测量；伏特表——用于电压的测量；欧姆表——用于电阻的测量；瓦特表——用于功率的测量等。如按电流的种类，仪表有：直流仪表；交流仪表；交直流两用仪表。如按准确度分，仪表有：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 七级。如按对外磁场、电场的防御等级，仪表分成四等，用罗马数字 I、II、III、IV 代表[参阅 § 1-3(Z) b]。如按使用条件，仪表分成 A、B、C 三组（A 组在周围气温为 0°C 到 $+40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不超过 85% 的条件下工作；B 组在周围气温为 -20°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不超过 85% 的条件下工作；C 组在周围气温为 -40°C 到 $+60^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不超过 98% 的条件下工作。如按用途来分，仪表有：开关板仪表和实验室仪表。

总之，分类的方式很多，这要根据我们生产者和使用者的要求来决定。

1-2 直读电工仪表的基本结构和理论

1 电气机械式仪表的一般原理

不管电气机械式仪表的种类多么繁杂，但其结构原理基本上是相同的。我们可用图 1-1 来说明电气机械式仪表的动作原理和结构的主要组成部分。

一般来讲，电气机械式仪表活动部分的位移反映为偏转的角度，简称偏转。这偏转相当于仪表接受的被测量。

每个电工仪表，为了把所测的电气量转换为偏转，必须具有接受电气量以后能产生转动的机构，这机构我们称之为测量机构。在每个测量机构中，有固定部分和活动部分。如图 1-1 所示，当被测量作用于测量机构的固定部分 7 或者活动部分 13 上后（有的仪表两者同时接受被测量），由于电磁作用而产生力，这力对活动部分的轴 6 引起一力矩，使活动部分偏转。

在活动部分上若只有转动力矩作用，则不论转动力矩的大小如何，活动部分总是偏转到头，这就无法达到测量的目的。为了使一定大小的转动力矩（即一定大小的被测量）只引起相应的偏转，在活动部分上必须有一个与转动力矩方向相反，而其大小与偏转有关的力矩，即所谓反作用力矩。这好像用秤秤东西必须有秤锤一样。我们可以设想一下，秤若没有秤锤，则不论物体重量大小如何，总是使秤杆一样翘起。在图 1-1 中，用游丝 11 来产生反作用力矩。我们熟知，游丝产生的反作用力矩是与其扭转的角度成正比的。这样一来，转动力矩愈大，它使活动部分偏转后扭转游丝的角度也愈大。当游丝扭转至它所产生的反作用力矩和转动力矩相等时，活动部分便停止不动，此时即得到某一偏转。假如转动力矩的大小和被测量有一定的关系，那么偏转的大小就反映了被测量的大小。

但是，当活动部分受到力矩作用而产生运动后，就具有一定的动能。这动能会使活动部分在达到一定偏转之前发生来回摆动的现象。我们若要迅速获得指示值，就必须设法消

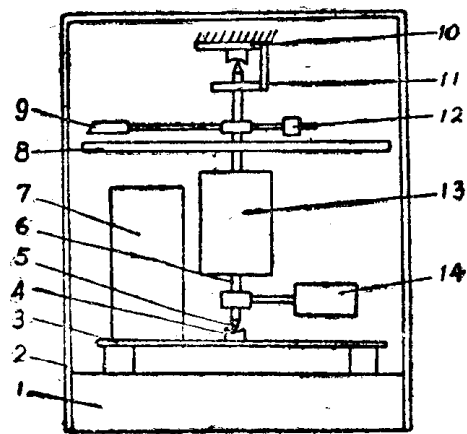


图1-1 电气机械式仪表的结构原理示意图：

1—底座；2—外罩；3—测量机构底座；4—轴承；5—轴尖；6—活动部分的转轴；7—产生转动力矩的主要固定部分；8—标尺；9—指针；10—调零器；11—游丝；12—平衡锤；13—产生转动力矩的活动部分；14—阻尼器。

除这种摆动现象。为此，在活动部分上装一阻尼器14，以吸收这部分动能。活动部分运动时，阻尼器便产生一个与运动方向相反的力矩，我们称之为阻尼力矩。它总是力图阻止活动部分运动。运动一旦停止，阻尼力矩也就等于零。因而阻尼力矩只影响活动部分的运动过程，而不影响仪表的指示。

综合上述，作用在电气机械式仪表活动部分上的主要力矩有：

- (1) 转动力矩——使活动部分偏转；
- (2) 反作用力矩——控制活动部分的偏转；
- (3) 阻尼力矩——消除活动部分的摆动。

与此相应，仪表的测量机构必须具有以下主要部分：

- (1) 驱动装置——接受被测量后产生转动力矩；
- (2) 控制装置——产生反作用力矩；
- (3) 阻尼装置——产生阻尼力矩；
- (4) 读数装置——使活动部分偏转表现为一定读数。

2 电气机械式仪表的基本结构、转矩和能量表达式

上面曾经提到，仪表活动部分的偏转是和测量机构系统的电磁场能量变化相联系的，即转动力矩和测量机构系统的电磁场能量的变化有关。如果测量机构系统是由两个载流回路组成的，如图1-2所示，其中一个回路是可动的，另一个回路是固定的。当系统接上电流后，回路1就要受到机械力 F_x 的作用，使其产生 dx 的位移。力的大小决定于能量对位移的变率，即

$$F_x = \frac{dA}{dx}。$$

如果位移是偏转角 $d\alpha$ ，则能量随偏转角变化而变化的速度，就是作用于活动部分上的力矩 D ，即

$$D = \frac{dA}{d\alpha}。 \quad (1-2)$$

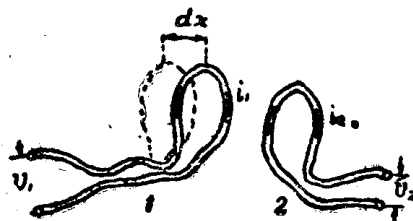


图1-2 两个载流回路所组成的系统。

(1-2)式是由两个载流回路之间的磁场能量的变化而引出的，可以证明，它对测量机构系统是电场能量的变化或既有电场能量的变化又有磁场能量的变化的情况下也完全适用。所有结构型式的电气机械式仪表的转矩表达式均可按着(1-2)式推得。

下面是几种主要电气机械式仪表的结构型式及相应测量机构系统的能量表达式：

(1) 磁电式机构

图1-3所示，是磁电式仪表最普通的一种结构。此结构具有活动线圈 A ，通常称为动框。此动框在永久磁铁 NS 的狭窄空间中所形成的磁场里偏转。而通过动框 A 的电流则由游丝 C_1 引入， C_2 引出。

很明显，储蓄于测量机构系统的能量为：

$$A = \frac{1}{2}LI^2 + I\Psi, \quad (1-3)$$

式中 I ——通过动框线圈的电流；

L ——动框线圈的自感；

Ψ ——永久磁铁产生的与动框线圈交链的磁通。

(2) 电磁式机构

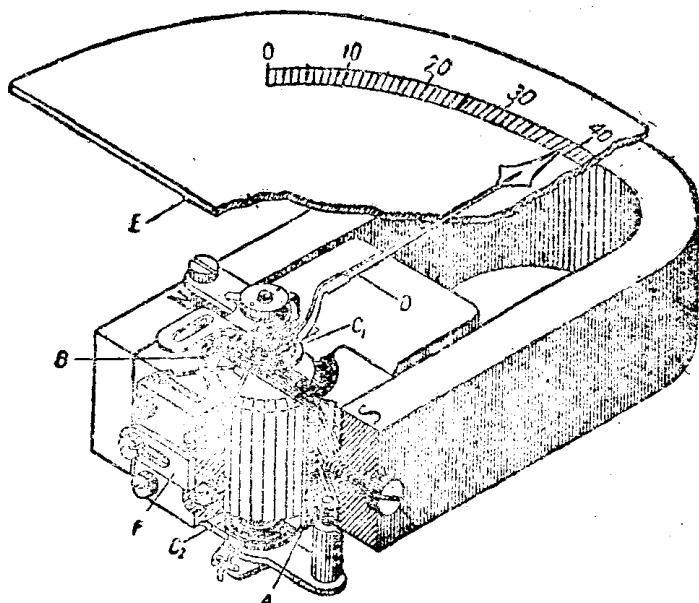


图1-3 磁电式测量机构的结构。

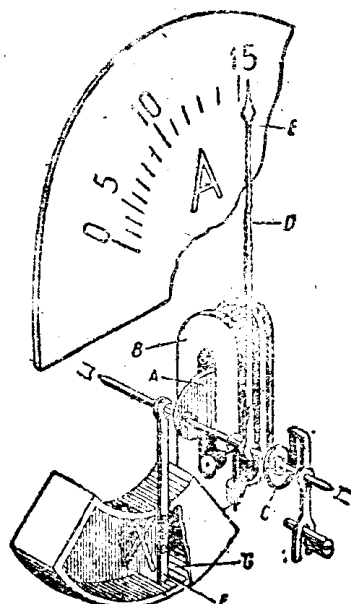


图1-4 电磁式测量机构的结构。

图1-4所示，是电磁式仪表的一种结构（扇线圈）。此机构的活动部分轴上偏心地固定着由铁磁材料做成的平面铁芯A。此铁芯在固定线圈B（通以电流）磁场的作用下被吸入线圈的狭缝中，因而引起活动部分的偏转。

在此机构中只有一个通电流线圈的磁场能量，在这种情况下，储蓄于测量机构系统的能量为：

$$A = \frac{1}{2} LI^2, \quad (1-4)$$

式中 L ——线圈的自感；

I ——线圈中的电流。

(3) 电动式机构

如图1-5所示，是电动式仪表的一种结构。此结构在活动部分的轴上固定着线圈A，电流是通过游丝 C_1 引入，经过线圈A后由 C_2 引出。一对固定线圈B产生磁场，由于此磁通与活动线圈A的磁通相互作用，而引起活动部分的偏转。

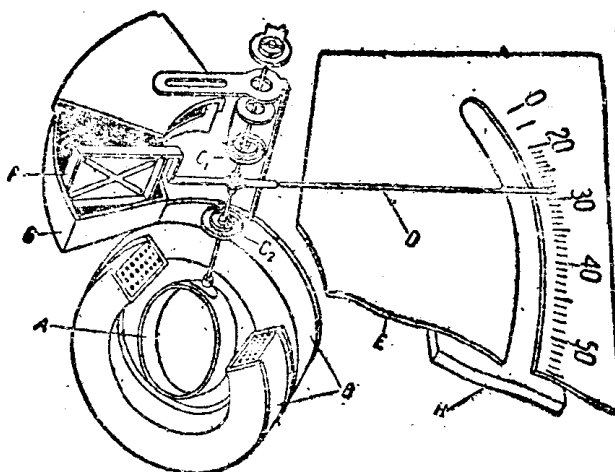


图1-5 电动式测量机构的结构。

由于这种机构是由两个电流回路所组成，它们除了有自感之外，还有互感的存在。因此，储蓄于测量机构系统的能量为：

$$A = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M_{12} I_1 I_2 \quad (1-5)$$

式中 I_1 、 I_2 ——通过固定线圈B和活动线圈A的电流；

L_1 、 L_2 ——固定线圈B和活动线圈A的自感；

M_{12} ——两个线圈的互感。

如果为了增强固定线圈的磁场而把固定线圈安置在铁磁材料做成的磁导体上，则这样的机构称为铁磁电动式。

(4) 静电式机构