

中等专业学校教材試用本

地球物理測井

第一册

(理論基础与資料解释部份)

北京地質学校編

只限学校內部使用



中国工业出版社

中等专业学校教材試用本



地球物理測井

第一册

(理論基础与資料解釋部份)

北京地質学校編

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国工业出版社

本書介紹了視電阻率法、接地電阻法、自然電位法、電極電位法及電池偶場法、人工電位法、放射性伽瑪測井、伽瑪伽瑪測井、中子伽瑪測井、放射性同位素法、磁測井、熱測井等的理論基礎及應用。內容豐富，可供中等地質學校物探專業學生作為教科書，也可供地質人員和中等物探人員學習參考。



地 球 物 理 測 井

第 一 冊

(理論基礎與資料解釋部份)

地 球 物 理 測 井

第 一 冊

(理論基礎與資料解釋部份)

北京地質學校編

地質部地質書刊編輯部編輯

中國工業出版社出版(北京佟麟閣路丙10號)

(北京市書刊出版事業許可証出字第110號)

中國工業出版社第四印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行·各地新華書店經售

開本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $9^{7/8}$ ·字數205,000

1961年11月北京第一版·1961年11月北京第一次印刷

印數0001—993·定價(9-4)0.95元

統一書號: 15165·1000 (54-49)

目 录

緒 論	5
-----------	---

第一部分 电法测井理论与解释

第一篇 电阻法测井	9
第一章 视电阻率测井法	9
§ 1 视电阻率法测井的理论基础	9
§ 2 电场	11
§ 3 非均匀介质中的电场分布	17
§ 4 相当于无穷厚介质中在井内点电源的电场分布	25
§ 5 电阻率为无穷大的有限厚岩层之井中的电场分布	27
§ 6 根据视电阻率 (ρ_k) 曲线划分地层之原则	32
§ 7 其它因素对 ρ_k 曲线的影响	38
§ 8 标准电极及标准电极系的选择	44
§ 9 横向测井法	46
§ 10 微电极系测井	59
第二章 接地电阻法	64
§ 11 接地电阻法的理论基础	64
§ 12 记录电流法	67
§ 13 屏障接地电阻法 (CЭ3 法)	67
§ 14 滑动接触电极法 (MCK 法)	71
§ 15 屏障电极系侧向测井及微屏障电极系侧向测井	72
第二篇 自然电位法及人工电位法	74
第一章 自然电位法	74
§ 16 自然电位法的理论基础概述	74
§ 17 产生自然电场的电化活动性	75
§ 18 影响自然电位曲线变化的因素	80
§ 19 自然电位测井结果的解释	81
第二章 电极电位法及电池偶场法	83
§ 20 电极电位法 (MЭП 法)	83
§ 21 电池偶场法 (人工伽法尼电偶电位法或 ПГП 法)	84
第三章 人工电位法	85
§ 22 人工电位法的物理化学基础	85
§ 23 影响人工电位测量结果之干扰因素	87
§ 24 人工电位测井资料整理及应用	89

第二部分 非电法测井理论与解释

第一篇 放射性测井	92
第一章 放射性测井基本理论	92
§ 25 有关放射性的一般概述	92
§ 26 γ -射线与物质的相互作用	98
§ 27 中子和物质的相互作用	101

§ 28 中子源	102
§ 29 放射性的单位	103
第二章 伽偶测井法 (γ —法)	103
§ 30 伽偶 (γ) 测井法的地质基础	103
§ 31 伽偶测井的理论基础	106
§ 32 对伽偶测井结果的影响因素	107
§ 33 放射性测井中误差判断	109
§ 34 伽偶测井的应用	110
第三章 伽伽伽偶测井法 (γ — γ 法)	114
§ 35 γ — γ 测井法的理论基础	114
§ 36 对 γ — γ 测井资料的影响因素	116
§ 37 γ — γ 测井结果的应用	118
§ 38 选择 γ — γ 测井法	121
第四章 中子伽偶测井法	122
§ 39 中子伽偶测井的实质	122
§ 40 井内参数对中子 γ 测井结果的影响因素	124
§ 41 中子伽偶测井法的应用	125
第五章 放射性同位素法	133
§ 42 基本原理	133
§ 43 放射性同位素测井法的应用	135
第六章 放射性测井在勘探有用矿床中之应用	139
§ 44 可以利用的放射性之性质	139
§ 45 放射性测井在勘探有用矿床中之应用	139
第二篇 磁测井、热测井及其它测井法	141
第一章 磁测井	141
§ 46 岩石的磁学性质	141
§ 47 岩石的磁化率法 (磁场强度垂直分量变化法)	142
§ 48 磁化率差值法 (磁通量法)	143
§ 49 磁测井资料解释	145
第二章 热测井	147
§ 50 地球的自然热场	147
§ 51 局部热场	148
§ 52 人工热场测井法	150
§ 53 引起热测井曲线图上异常变化的干扰因素	151
§ 54 热测井结果的应用	152
第三章 其它测井法	153
§ 55 气测井	153
§ 56 荧光测井	154
§ 57 机械测井及地震测井	156

中等专业学校教材試用本



地球物理測井

第一册

(理論基础与資料解釋部份)

北京地質学校編

中国工业出版社

本書介紹了視電阻率法、接地電阻法、自然電位法、電極電位法及電池偶場法、人工電位法、放射性伽瑪測井、伽瑪伽瑪測井、中子伽瑪測井、放射性同位素法、磁測井、熱測井等的理論基礎及應用。內容豐富，可供中等地質學校物探專業學生作為教科書，也可供地質人員和中等物探人員學習參考。

地 球 物 理 測 井

第 一 冊

(理論基礎與資料解釋部份)

地 球 物 理 測 井

第 一 冊

(理論基礎與資料解釋部份)

北京地質學校編

地質部地質書刊編輯部編輯

中國工業出版社出版(北京修羅閣路丙10號)

(北京市書刊出版事業許可證出字第110號)

中國工業出版社第四印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行，各地新華書店經售

開本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $9\frac{7}{8}$ ·字數205,000

1961年11月北京第一版·1961年11月北京第一次印刷

印數0001—993·定價(9-4)0.95元

統一書號：15165·1000 (33-49)

目 录

緒 論	5
-----------	---

第一部分 电法测井理论与解释

第一篇 电阻法测井	9
第一章 视电阻率测井法	9
§ 1 视电阻率法测井的理论基础	9
§ 2 电 场	11
§ 3 非均匀介质中的电场分布	17
§ 4 相当于无穷厚介质中在井内点电源的电场分布	25
§ 5 电阻率为无穷大的有限厚岩层之井中的电场分布	27
§ 6 根据视电阻率 (ρ_k) 曲线划分地层之原则	32
§ 7 其它因素对 ρ_k 曲线的影响	38
§ 8 标准电测及标准电极系的选择	44
§ 9 横向测井法	46
§ 10 微电极系测井	59
第二章 接地电阻法	64
§ 11 接地电阻法的理论基础	64
§ 12 记录电流法	67
§ 13 屏障接地电阻法 (CЭ3 法)	67
§ 14 滑动接触电极法 (MCK 法)	71
§ 15 屏障电极系侧向测井及微屏障电极系侧向测井	72
第二篇 自然电位法及人工电位法	74
第一章 自然电位法	74
§ 16 自然电位法的理论基础概述	74
§ 17 产生自然电场的电化活动性	75
§ 18 影响自然电位曲线变化的因素	80
§ 19 自然电位测井结果的解释	81
第二章 电极电位法及电池偶场法	83
§ 20 电极电位法 (MЭП 法)	83
§ 21 电池偶场法 (人工伽法尼电偶电位法或 ПГП 法)	84
第三章 人工电位法	85
§ 22 人工电位法的物理化学基础	85
§ 23 影响人工电位测量结果之干扰因素	87
§ 24 人工电位测井资料整理及应用	89

第二部分 非电法测井理论与解释

第一篇 放射性测井	92
第一章 放射性测井基本理论	92
§ 25 有关放射性的一般概述	92
§ 26 γ -射线与物质的相互作用	98
§ 27 中子和物质的相互作用	101

§ 28 中子源	102
§ 29 放射性的单位	103
第二章 伽偶测井法 (γ —法)	103
§ 30 伽偶 (γ) 测井法的地质基础	103
§ 31 伽偶测井的理论基础	106
§ 32 对伽偶测井结果的影响因素	107
§ 33 放射性测井中误差判断	109
§ 34 伽偶测井的应用	110
第三章 伽伽伽偶测井法 (γ — γ 法)	114
§ 35 γ — γ 测井法的理论基础	114
§ 36 对 γ — γ 测井资料的影响因素	116
§ 37 γ — γ 测井结果的应用	118
§ 38 选择 γ — γ 测井法	121
第四章 中子伽偶测井法	122
§ 39 中子伽偶测井的实质	122
§ 40 井内参数对中子 γ 测井结果的影响因素	124
§ 41 中子伽偶测井法的应用	125
第五章 放射性同位素法	133
§ 42 基本原理	133
§ 43 放射性同位素测井法的应用	135
第六章 放射性测井在勘探有用矿床中之应用	139
§ 44 可以利用的放射性之性质	139
§ 45 放射性测井在勘探有用矿床中之应用	139
第二篇 磁测井、热测井及其它测井法	141
第一章 磁测井	141
§ 46 岩石的磁学性质	141
§ 47 岩石的磁化率法 (磁场强度垂直分量变化法)	142
§ 48 磁化率差值法 (磁通量法)	143
§ 49 磁测井资料解释	145
第二章 热测井	147
§ 50 地球的自然热场	147
§ 51 局部热场	148
§ 52 人工热场测井法	150
§ 53 引起热测井曲线图上异常变化的干扰因素	151
§ 54 热测井结果的应用	152
第三章 其它测井法	153
§ 55 气测井	153
§ 56 荧光测井	154
§ 57 机械测井及地震测井	156

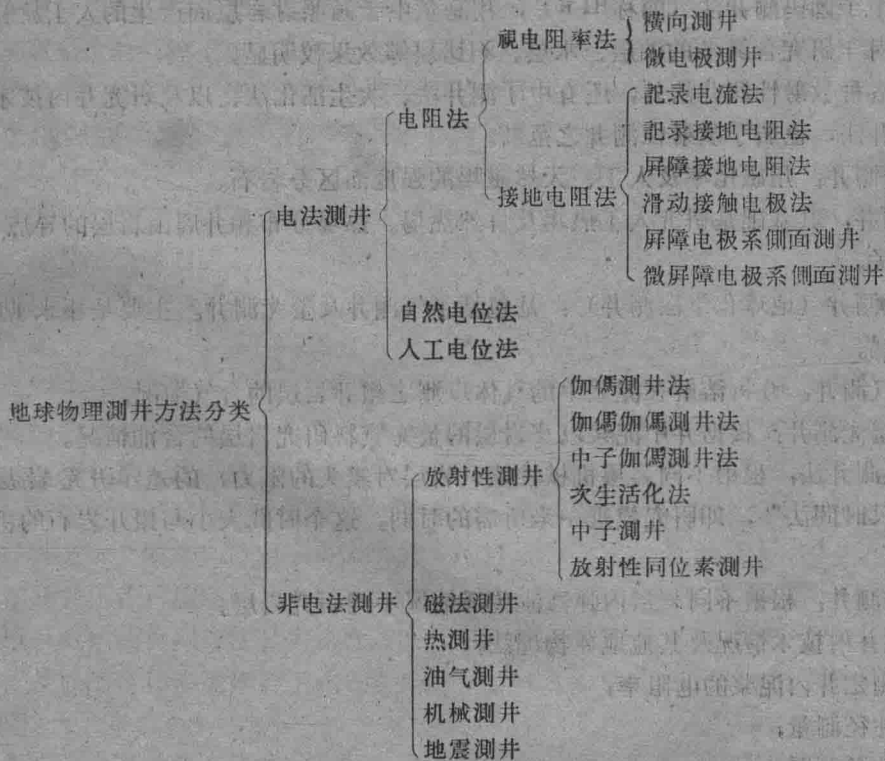
緒 論

地球物理測井是勘探地球物理的一部分，它是应用地球物理的方法研究井內岩石的物理性质、划分井的地质剖面，进而确定有用矿床，以及研究井內技术情况。

在研究上述問題时，若只有岩石的一种性质，則很难获得单值的和唯一的解答。因此，在地球物理測井中，使用测定岩石各种物理性质的多种地球物理方法。根据各种方法得到的資料进行綜合解释，而确定有用矿床。目前，这种綜合方法在各地特別广泛的应用着。

綜合法的基础主要是应用地球物理的各种方法，探測井內岩层的各种物理性质。地球物理測井一般又簡称“測井”。

根据測井所研究的物理性质可分为：（見下表）



（一）电法測井：电測井应用到生产上較早，由于生产发展的需要，其种类較多。

1. 电阻法

（1）视电阻率法：根据各种岩层的电阻率之差异来确定鑽井的地质剖面 和 有用矿层。如經常进行的横向測井及微电极測井等，都是应用很广，且取得資料較可靠的一些基本方法。

（2）接地电阻法：也叫作单电极測井，它包括了记录电流法、记录接地电阻法、屏障接地电阻法（C93法）、滑动接地电极法（MCK法）、屏障电极系侧面測井及微屏障电

极系侧面测井等。

2. 自然电位法（岩石自然极化电位法）：此法是测量由于岩石的由化学活动性所产生的电位。近几年来探测某些金属矿层中常用电极电位法及电池偶场法，也曾获得较好的效果。

（二）非电法测井：除了电法测井外，还广泛利用岩石的其他各种物理性质的差异，来划分井的地质剖面 and 确定有用矿层的测井方法。

1. 放射性测井：其主要优点是：可以在下套管的和未下套管的充满油基泥浆、盐水泥浆的井中，以及在干井中测定岩层。

（1）伽玛（ γ ）测井法（简称ГК）：根据岩石的天然放射性资料研究地层，以及顺便检查放射性矿体是否存在。

（2）伽玛伽玛测井法（ $\gamma-\gamma$ 法）（简称ГГК）：用测量伽玛源照射岩石而产生的二次伽玛射线的强度，来研究密度低的煤层和密度高的金属矿层。因此，也经常称此法为“密度测井”。

（3）中子伽玛测井法（简称НГК）：用测量中子源照射岩层而产生的人工放射性研究岩石。这对于研究含氢多的油层、水层、石蜡层等效果较明显。

除上述各种放射性测井法外，还有中子测井法、次生活化法、以及研究井内技术情况的同位素测井法，也属于放射性测井之范畴。

2. 磁法测井：用磁化率及人工、天然磁场的强度而区分岩石。

3. 热测井：其基础是研究人工热场及自然热场。热场分布和井周围岩层的导热率与其他因素有关。

4. 油气测井（地球化学法测井）：是包括了气测井及荧光测井。主要是用来勘探石油及天然气层。

（1）气测井：分析溶解在泥浆中的气体以测定鑽井岩层的含气情况。

（2）荧光测井：根据井中泥浆以及岩层的荧光资料研究岩层的含油情况。

5. 机械测井法：根据不同岩层机械性能（岩层对鑽头的阻力）的差异研究岩层。一般多用“进尺时间法”，即研究鑽进一米所需的时间。这个时间大小与鑽开岩石的机械强度成正比。

6. 地震测井：根据不同岩层内弹性波传播情况不同研究岩层。

7. 研究井内技术情况及其他地球物理法：

（1）测定井内泥浆的电阻率；

（2）井径测量；

（3）井斜测量；

（4）水泥面的上返高度；

（5）套管射孔及油井爆炸；

（6）井壁取心。

我国于 1939 年第一次在石油探孔中试用了测井方法，1940 年又在某油田应用。以后逐渐试用于生产，但由于当时的反动政府，对于祖国的地质事业极不重视，这门新的年轻的科学更得不到支持，技术人员寥寥无几，仪器设备极其缺乏，使用方法单纯，使得测井工作的发展受到阻碍。

解放后，在党的领导下，以及苏联在技术上、设备上直接的帮助下，这门年轻的科学得到了迅速的发展。在解放后最初几年，测井工作只在油田上进行。1954年开展了煤田测井，配合鑽探确定鑽孔中煤层的位置和厚度取得了显著的效果。从此以后，测井队伍每年都有很大发展。特别是1958年以来，在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，开展了轰轰烈烈的群众性的技术革新与技术革命运动，克服了仪器设备不足等困难，迅速地发展壮大测井队伍，与此同时，也大大地扩大了测井的应用范围，由比较简单的煤田电测井和少量的石油测井，迅速地在金属、非金属矿床和水文方面，几十个矿种和矿床类型上分别得到了不同程度的地质效果。以不取心或部分不取心鑽进与测井紧密配合为主要内容的快速综合勘探是地质工作大跃进的产物。用测井方法配合不取心或部分不取心鑽探，可大大降低成本，加快勘探速度，保证勘探质量，这就为地质勘探事业找到了一条多快好省的道路。

煤田测井的工作方法和效果比较成熟和肯定；用测井方法来确定煤层的层位与厚度，寻找丢失煤层，搞清煤层的结构，进行鑽孔間的煤层对比，都取得了显著的地质效果。目前在解决煤质问题上有关部门也从不同方面进行研究工作，取得了一些成果。

金属矿测井的试验工作，经过近几年来实践，证明了凡物性和围岩有较明显差异的矿床，特别是硫化矿床，测井工作都获得了明显的反映和良好的效果。可以用测井方法确定矿化带的层位和厚度，弥补岩心采取率低的不足；定性校正曲线，指示劈样分析，在物性条件好的情况下，可定性区分矿石的矿物成分及贫富矿带。在地质情况较简单的情况下，在非矿地段配合无岩心鑽探。在金属矿测井中根据矿层特点，正在研究可行办法，逐步解决矿石的成分和含量的问题。

水文测井工作自1958年大跃进以来，虽然应用的时间不长，方法技术不十分成熟和肯定，但是所取得的某些地质效果是良好的。实践证明，水文测井具有极大的发展前途。目前用水文测井方法可以确定含水层位置、厚度、相互补给关系、涌水量、渗透速度、流速流向、暗河的流动情况等一系列的地质问题。另外，用自然电场法求鑽孔抽水时的影响半径和综合应用多种测井方法求岩层孔隙度等问题。这样水文测井就有可能代替鑽孔中的抽水试验，或使抽水试验降到最低限度，因而大大地提高了鑽探效率，降低了成本，所以说水文测井也是水文地质勘探中一条多快好省的道路。

石油测井工作可协助地面物探队完成石油普查任务，协助地质部门编制正确的鑽孔柱状剖面图并给地面物探方法提供物性参数。目前鑽孔間岩层对比及在含油有希望的地层中，求岩层孔隙度和渗透率的工作也在开展。在指导油田开发方面，测井工作起到非常积极的作用。

近年来，非金属测井工作，虽还处在初期试验阶段，在不同类型的矿种上分别取得了不同的地质效果，在有些矿种上测得的结果，不但能够确定矿层的层位和厚度，在有利的条件下还可以定性求得品位的变化。因此，在多种多样的非金属矿床上应用测井方法有着极其广阔的发展前途。

在综合普查勘探中，测井工作起着更重要作用，密切结合地面物探更好地研究岩石矿石的物性参数，各种物理场和矿量的空间分布，以便合理地布置物探工作和解释异常、指导勘探工作的有效布置，放稀勘探网，减少鑽孔数目，配合地面物探工作寻找鑽孔間的盲矿体，以及补充地面物探勘探深度不足，研究深部矿体。

解放以来，由于我国地质勘探事业的迅速发展，因而大大地促进了测井队伍的发展与技术水平的不断提高。同时，又由于测井队伍和应用范围的日渐扩大，因此对于测井仪器无论在数量上、种类上的要求也就十分迫切。过去使用仪器大多是进口的，近年来采取自力更生的办法，加强了仪器的试制工作。在党的社会主义建设总路线的光辉照耀下，发挥全体物探工作者的主观能动性，陆续制成了几种类型的测井仪器，有了专门制造测井仪器工厂。不但摆脱了完全靠进口的被动局面，而且又大大地促进了测井队伍的发展。特别在1958年大跃进之后，为了适应不取心或部分不取心快速勘探，仪器方面开展了以轻便化、自动化、机械化和多道化为中心的双革运动，发扬了发奋图强、自力更生的革命精神，采取了两条腿走路的方针，一方面依靠仪器工厂和有关研究部门制造成套的定型的仪器，另一方面，各省局生产队，根据本矿区的具体情况，制造了适合地区特点的仪器设备。在制造过程中采取了土洋并举的办法，因地制宜，因陋就简的制造了成套的井下仪器及各种电测、放射性磁测井等主要仪器，解决了仪器跟不上生产需要的矛盾，也弥补了由于我国土地辽阔、地形、气候等条件复杂，仪器工厂制造仪器类型不能完全满足各地实际需要的缺陷。不但对促进生产，发展队伍起很大作用，而且，对一些仪器作了不少重大改进和创造，使得群众性运动和仪器制造部门、研究部门紧密配合起来，这样对测井仪器制造业的发展起着很大的促进作用。

我国的测井工作，也和其他工作一样，在党的正确领导下以豪迈的步伐，迅速地赶上世界先进科学技术水平。

第一部分 电法测井理论与解释

第一篇 电阻法测井

第一章 视电阻率测井法

§1 视电阻率法测井的理论基础

电阻法测井是以岩石的导电性为基础。岩石的导电性通常用岩石的电阻率表示。所谓视电阻率测井法，即是以测定岩层的电阻率为基础的一种方法。其测定的结果，虽与岩层电阻率有密切关系，但并不相同，所以称之为视电阻率法，以示区别。

为了测定视电阻率，必须研究当岩石中通入电流时所形成的电场之分布规律。

我们用电场中各点的电位能说明电场的性质。电位的分布符合于欧姆定律。

欧姆定律 电流强度 I 与导体两端的电位差 $U_1 - U_2$ 成正比，而与其电阻 R 成反比：

$$I = \frac{U_1 - U_2}{R} \quad (1)$$

当导体具有固定的截面并且用均匀物质制成，则其电阻 R 与其截面 S 成反比，而与其长度 L 成正比，其比例系数为 ρ 。

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2)$$

比例系数 ρ 叫做物质的电阻率，它是决定于物质本身性质，可以表示物质导电能力的参数。

要测定某物质的电阻率，就把用此物质制成的具有固定几何形态的导体连接到电路中去。测出电路中的电流强度 I 及导体上的电位降 $\Delta U = U_1 - U_2$ 后，就可从 (1) 式求出导体的电阻：

$$R = \frac{U_1 - U_2}{I} = \frac{\Delta U}{I}$$

然后再测出导体的截面 S 及其长度 L 。由 (2) 式

$$\text{得：} \quad \rho = \frac{S}{L} R = \frac{S}{L} \cdot \frac{\Delta U}{I} = K \frac{\Delta U}{I} \quad (3)$$

就可求出物质的电阻率。

$K = \frac{S}{L}$ ，对于某个有固定形状的导体来说 K 是个常数。

在电测实际应用中，用欧姆表示电阻，用米和平方米表示长度 L 及面积 S ，所以岩石的电阻率用欧姆·米 (OM·M) 表示。

将电流 I 通过岩层，并在某些点上测量电位差 ΔU 。但在这种情况下计算电阻率，不用(3)式，因为我们所研究的是扩展到四面的无限介质，而不是有限的（线状的）导体。要得出能够计算岩石电阻率的公式，就必须知道电流是如何分布于介质中的。

§ 2 电 场

假定有一无限分布介质，此介质有一定导电性，利用两个电极 A 及 B ，将电流通入介质，将电极 A 接到电源之两端形成一回路。可认为，电流通过电极 A 流入介质，而通过电极 B 从介质中流出来，当电流分布于介质中时，便在介质中产生电场。

物理学中之静电场，就是电荷在非导电介质中所造成的电场。利用电极 A 及 B 导入导电介质的电流所造成的电场，与放于非导电介质中的电荷 A 及 B 的静电场是一样的。因此，在研究用电极 A 及 B 导入介质的电流所造成的电场时，静电场的基本理论就完全可以应用。现在首先研究一下静电场。

一、静电场概述

电场可以用电场内每一点的电场强度来表示。电场强度 E 是个向量，它有大小及方向。

据库仑定律得出，在与 Q 点处之点电荷 e 相距为 r 的 P 点（图2）上的电场强度其大小为：

$$E = \frac{e}{r^2} \quad (4)$$

如果电荷 e 是正的，电场强度就向着离开电荷 e 的方向。如果电荷 e 是负的，电场强度就指向 e 的方向。如果电场是由几个电荷所造成的，电场内某一点的电场强度，就等于个别电荷造成的电场强度在该点的几何和（即电场的重叠原理）。

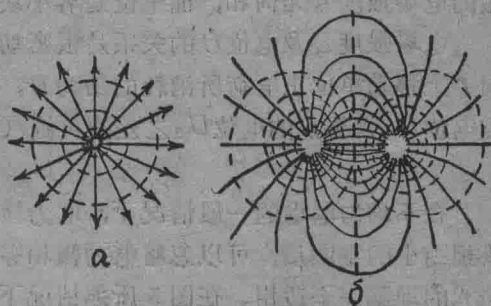


图 3

a —点电荷的电场； b —两个异性，大小相等点电荷的电场； c —两个同性，大小相等点电荷的电场；——电力线；---等电位面

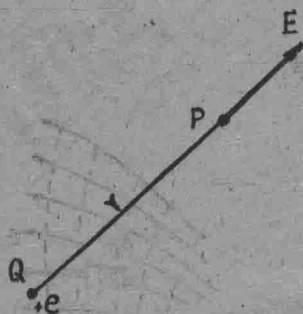


图 2

通常利用电力线，可以明显的表示出电场、电力线的密度和电场强度成正比，图3为用电力线（实线）表示的不同电荷造成的电场。

当把单位正电荷从无穷远移动到 P 点所作功的负值，称为 P 点的电位；它等于放在 P 点的一个绝对单位电量的位能。因为在电场的每一点上，电位有一定的数值，所以它也

是与电场强度 E 有同等意义的一个说明电场性质的参数。

从电位的定义就可看出，在电力线前进的方向，电位是逐渐减低的。可以利用绘制等电位面的方法，将电场内的电位表示出来。所谓等电位面，即是在某一面上任意一点之电位是常数，则此面即等电位面（图3）。因此，沿等电位面上移动任一电荷，所作的功均为零，所以等电位面在各处都是与电力线垂直的。在均匀无限分布的介质内点电源造成的电场中，等电位面为球面，电力线为从点电源为圆心的放射状直线（图3a）。

现在讨论一下电位公式：在一点电源形成的电场中，某点的电位 U 值与电源之电荷成正比，与电源和该点的距离 r 成反比。

$$U = \frac{e}{r} = Er \quad (5)$$

如果电场是几个电荷 $e_1, e_2, \dots$ 形成。此场中某一点之电位就为个别电荷所造成的电场在该点电位之代数和。

$$U = \frac{e_1}{r_1} + \frac{e_2}{r_2} + \dots = \sum \frac{e_i}{r_i} \quad (6)$$

在一般情况下，电荷都是以某种面积密度或体积密度分布于物体的表面或物体的内部。那么，把这个面或体分成很多足够小的小块，电场强度便是每一小块具有的电荷所产生的电场强度的几何和，而电位是各小块电荷所产生电位的代数和。

电场强度 E 及电位 U 的关系是很密切的。在电场强度为 E 的均匀电场中，逆着电场方向 r 上移动单位正电荷所消耗的功为 E ，根据电位的定义，所消耗的功就是在路线中的始点电位 U_1 及终点的电位 U_2 之差的负值（图4）。

$$U_1 - U_2 = -Er \quad (7)$$

在不均匀电场的一般情况下，电力线已不是直线，等电位面也不是平面。但取任何一段相当小的空间后，可以忽略电力线和等电位面的弯曲，对极小（无穷小）的距离，前边所研究的理论完全适用。在图5所述情况下，在极小的距离 δr 上的电位差 δU 将为：

$$\delta U = -E \delta r$$

$$E = -\frac{\partial U}{\partial r} \quad (8)$$

据此式，电场强度即等于沿电力线方向电位减低的速率。

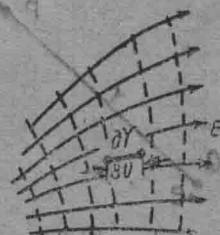
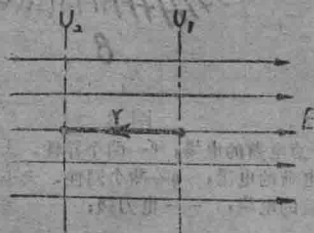


图4 图5

负号表示电场强度是向着电位减低的方向，亦即电场强度就是电位梯度的负值。

二、A、B供电电极在无穷介质中所造成的电场

将电流导入无限介质内所造成的电场和静电场一样，具有电场强度、电位，并且这种