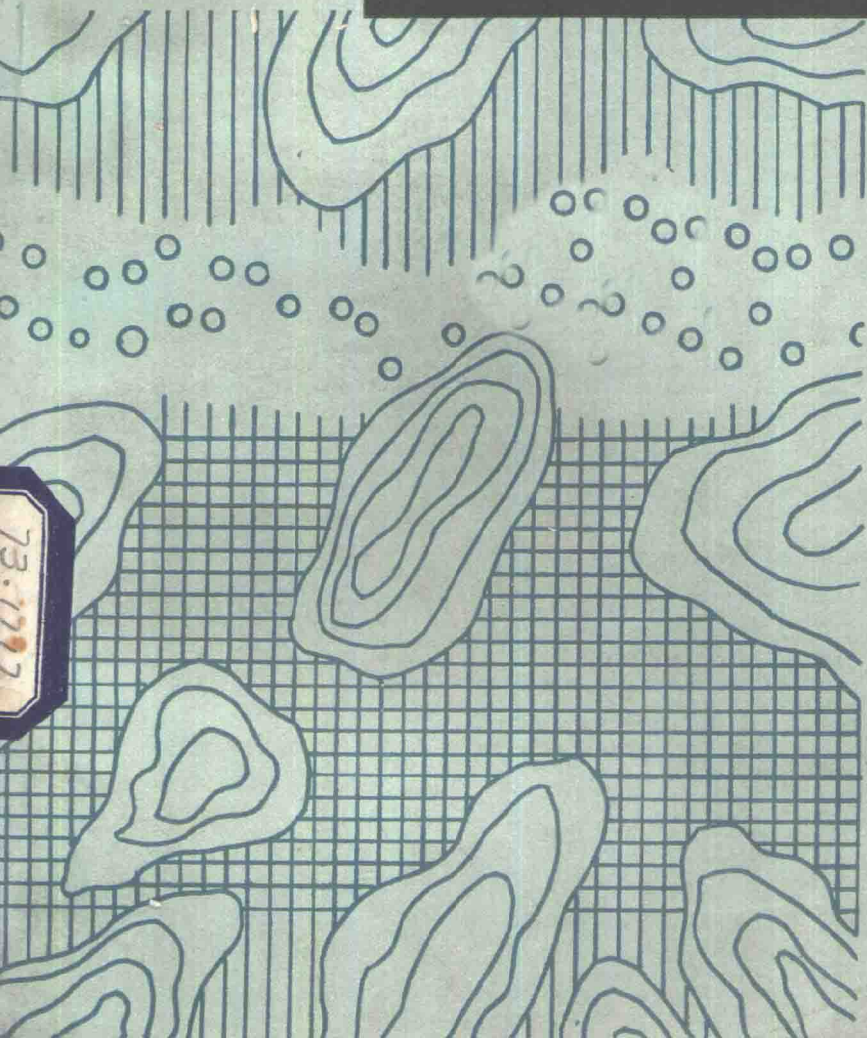


怎样防止 电缆腐蚀

人民邮电出版社选编



怎样防止电缆腐蚀

人民邮电出版社 选编

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

开展电缆防蚀工作是市话挖潜的重要内容之一，是减少电缆障碍、延长电缆使用寿命、保证通信安全的一种主要措施。为了配合邮电部电信总局开展电缆防蚀工作，本书收集了近年来在“电信技术”期刊上曾发表过的和1980年在上海召开的“市话电缆防蚀技术讨论和经验交流会”上所作的经验介绍的部分文章，可作为电缆防蚀培训人员的学习资料，也可供从事电缆防蚀及其他系统金属管线防蚀工作人员学习参考。

怎样防止电缆腐蚀

人民邮电出版社选编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1982年5月 第 一 版

印张：3 16/32 页数：56 1982年5月河北第一次印刷

字数：79 千字 印数：1—7,000 册

统一书号：15045·总2588—有5248

定价：0.31 元

目 录

- 一、电信电缆的防蚀……………王瑞壁 (1)
- 二、电缆防蚀入门……………苑绍成 黄宗荣 (20)
- 三、电缆防蚀措施简介……………万益山 (26)
- 四、电缆防蚀集粹……………上海市市内电话局等单位 (34)
- 五、地下电信电缆阴极防蚀工作经验介绍
……………上海市市内电话局 (43)
- 六、石墨接地体在地下通信电缆防蚀中的应用
……………天津市市内电话局 邮电部第五研究所 (67)
- 七、管道电缆腐蚀的原因及其保护法……………王瑞壁 (80)
- 八、厂矿电话电缆腐蚀的调查与分析……………王瑞壁 (92)
- 九、牺牲阳极法在电缆防蚀中的应用
……………苑绍成 梁 举 (98)

一、电信电缆的防蚀

王 瑞 壁

开展电缆防蚀工作是减少电缆障碍、延长电缆使用寿命、保证通信安全的主要措施之一。这项工作要开展得好，了解电缆腐蚀的类型和内外因素对电缆腐蚀的影响，增加防蚀技术知识是很必要的。

电缆腐蚀主要是指电缆的金属护套（铅、铝、钢）受周围介质的化学或电化学作用而引起的破坏或变质的现象。根据线路的性质、容量、数量以及环境条件等，电缆有不同的建筑方式。有的架设于空间或附挂在墙壁上；有的直埋在土壤中或敷设在管道内；也有布放在隧道、管廊（架）或渠槽内。电缆的建筑方式虽然不同，但是都会受到其周围环境侵蚀性介质的作用而被腐蚀。侵蚀性介质主要来源于电缆周围的气体、水、土壤及漏泄电流等外界物质，这些物质与电缆腐蚀有什么关系，是怎样引起腐蚀的，尤其是大气对架空电缆的腐蚀，在某些地区还相当严重。本文针对这些问题作些介绍。由于电缆腐蚀是受周围介质的化学及电化学作用而被破坏，因此，在防蚀工作中常常用到一些化学方面的腐蚀用语，为了掌握电缆防蚀技术，对这些常用的腐蚀用语，从概念上作进一步了解是很必要的。

1. 常用的一些腐蚀用语

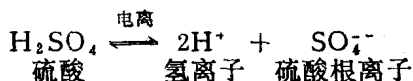
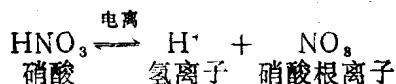
(1) 介质和侵蚀性介质

电缆产生腐蚀的外界条件是包围在电缆周围的介质。介质也称媒质。从物理概念来讲，介质就是物体系统在其间存在或物理过程在其间进行的物质。一般来讲，介质就是指客观存在的实物。例如，自然界中的气体、水、土壤等都是介质。在金属腐蚀技术中常说的侵蚀性介质（也叫做腐蚀性介质）就是指对电缆金属护套起侵蚀作用的物质。例如：含有氟素的气体、含有硝酸盐的水溶液及含有有机质的土壤等，都是侵蚀性介质，对电缆金属护套都会产生腐蚀。

从理论上讲，固态和气态的侵蚀性介质，在绝对干燥的条件下，对电缆金属护套是不起侵蚀作用的。但是在自然界的空气和土壤中，或多或少总是含有一定数量的水分，只要固态和气态的侵蚀性介质被水分所吸附、化合或溶解，就会对金属产生侵蚀作用。例如，生石灰与水化合生成熟石灰；氯气溶于空气中的水分而生成盐酸和次氯酸，它们对电缆金属护套都产生腐蚀。

(2) 酸和碱

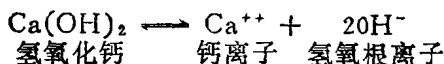
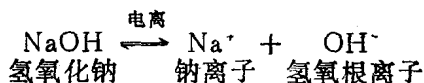
酸和碱是介质性能的一种反应，介质的酸、碱性对不同金属具有不同的侵蚀性。一般来讲，酸性或碱性介质对电缆金属护套（铅、铝、钢）都会产生不同程度的腐蚀。酸和碱的含意，从化学概念来讲，酸通常是指在水溶液中电离时能生成带正电荷的氢离子和带负电荷的酸根离子的化合物。例如：



从上面的电离过程来看，电解质（如硝酸、硫酸等）在水溶液中电离时，如果生成的阳离子全部是氢离子（ H^+ ），则这种电解质就叫作酸。酸的强度决定于氢离子浓度的大小。一般来讲，氢离子浓度越大，则酸性越强，对电缆的腐蚀就越严重。反之，氢离子浓度越小，酸性就越弱，对电缆的腐蚀就越轻微。

不同的酸电离都产生氢离子，这就是不同的酸而具有相同的性质。如溶液具有酸味，可以使蓝色石蕊试纸变红等等。

化学上的碱通常是指在水溶液中电离时，能生成带负电荷的氢氧根离子和带正电荷的金属离子的化合物。例如：



从上面的电离过程来看，电解质（如氢氧化钠、氢氧化钙等）在水溶液中电离时，如果生成的阴离子全部是氢氧根离子（ OH^- ），则这种电解质就叫做碱。碱的强度决定于氢氧根离子浓度的大小。一般来讲，氢氧根离子的浓度越大，则碱性越强，对电缆的腐蚀就越严重；反之，对电缆的腐蚀就越轻微。

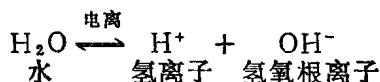
由于不同的碱都能电离出氢氧根离子，所以各种碱类都具有相同的性质。如溶液具有涩味，可以使红色石蕊试纸变蓝等等。

酸和碱在性质上虽然不同，但也有共同点。酸和碱都易溶于水，它们的水溶液都具有导电的性质。这是因为溶液里有带电的微粒。当通电时，在静电引力的作用下，它们作定向流动，起到传导电荷的作用。酸和碱溶于水后，都会被电离成带电的微粒，带正电的微粒叫做阳离子，带负电的微粒叫做阴离子，分子离解成离子的过程叫做电离。

(3) 水和 pH

电缆在侵蚀性介质中的腐蚀，用电化学的观点来看，可以把它看作为在导电水溶液中的腐蚀。不同的水溶液具有不同的 pH ，对电缆的腐蚀程度也不一样。下面对 pH 的含意及 pH 和水溶液的关系作些说明。

水是由氢原子和氧原子结合而成的。水是电解质，通电后能够电离出氢离子和氢氧根离子。即：



氢离子带正电，氢氧根离子带负电，正电和负电是对立的两个方面，这种对立表现在酸和碱的化学性质上。如果某溶液中氢离子的数目大于氢氧根离子的数目，则溶液呈酸性反应；反之，溶液中氢氧根离子数目大于氢离子数目，则溶液呈碱性反应。如果这两种离子的数目相等，由于酸性和碱性抵消，溶液呈中性。溶液的酸、碱性可以用数学式表示如下：

$$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \quad \text{酸性}$$

$$[\text{H}^+] < [\text{OH}^-] \quad \text{碱性}$$

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \quad \text{中性}$$

实验表明：水电离出的 H^+ 和 OH^- 的数目是相等的。在

25°C 时，一升水中氢离子浓度和氢氧根离子浓度相等，均为 0.0000001 （即 1×10^{-7} ）克离子/升，而且 H^+ 和 OH^- 浓度的乘积是一个常数。即：

$$[H^+] \cdot [OH^-] = (1 \times 10^{-7}) \cdot (1 \times 10^{-7}) = 1 \times 10^{-14}$$

上式说明，在常温下水或其他电解质的水溶液中， H^+ 和 OH^- 浓度的乘积是不变的，总是等于 1×10^{-14} 。根据氢离子浓度，溶液的酸、碱性可表示如下：

$$[H^+] > 1 \times 10^{-7} \quad \text{酸性}$$

$$[H^+] < 1 \times 10^{-7} \quad \text{碱性}$$

$$[H^+] = 1 \times 10^{-7} \quad \text{中性}$$

为了便于计算和使用，现取氢离子浓度的倒数 $1/[H^+]$ 的对数（或称负对数）用 pH 来表示。即：

$$pH = -\log[H^+]$$

若溶液呈酸性， $[H^+] > 10^{-7}$ ，如为 10^{-6} 则

$$pH = -\log[10^{-6}] = 6$$

若溶液呈碱性， $[H^+] < 10^{-7}$ ，如为 10^{-9} 则

$$pH = -\log[10^{-9}] = 9$$

若溶液呈中性， $[H^+] = 10^{-7}$ ，则

$$pH = -\log[10^{-7}] = 7$$

pH 值与 $[H^+]$ 、 $[OH^-]$ 的关系表示如下：

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$[H^+]$	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
$[OH^-]$	10^{-14}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0

$\longleftarrow$ 酸性增强 中性 碱性增强 $\longrightarrow$

从以上关系可以看出， $[H^+]$ 浓度增大， $[OH^-]$ 浓度便减

小； (H^+) 浓度减小则 (OH^-) 浓度便增大。但二者浓度的乘积不变，总是 1×10^{-14} 。同时还可以看出， pH 值越小，溶液的酸度越强， (H^+) 越多；相反， pH 值越大，溶液的碱度越强，溶液所含的 (OH^-) 就越多。测定土壤和水的 pH 值，是判定介质侵蚀性的根据之一。一般来说，强酸和强碱溶液对电缆都会产生严重腐蚀。

(4) 化学腐蚀和电化学腐蚀

化学腐蚀和电化学腐蚀是两种不同的概念。在电缆防蚀工作中，有时分不清是化学腐蚀还是电化学腐蚀，为了便于鉴别，下面对这两种腐蚀的不同点作些说明。

化学腐蚀——电缆金属护套与外界介质直接进行化学反应而产生的腐蚀。这种腐蚀属于纯化学作用过程，在腐蚀时没有电流产生。一般来说，化学腐蚀只发生在金属表面，腐蚀过程比较简单，有时可以在金属表面形成各种化合物（氧化物、硫化物等）。这些化合物如果形成一层致密的膜覆盖在金属表面上，常常可以保护金属内部使腐蚀速度降低。例如，电缆铅皮常常于其表面形成一层氧化铅保护膜，能够阻止铅皮继续进行腐蚀。除有特殊气体（氯气、四氯化碳、酸雾、纯碱粉尘、煤气等）的环境对电缆产生腐蚀外，在一般情况下，电缆遭受化学腐蚀的机遇是比较少的。

电化学腐蚀——电缆金属护套与外界介质发生电化学反应而产生的腐蚀。这种腐蚀在反应过程中有隔离的阴极区和阳极区，电子通过金属由阳极区流向阴极区，有电流产生。这是区别化学腐蚀与电化学腐蚀的重要标志。这个电流有的是在金属腐蚀的过程中产生的，有的是在某种外来的电源作用下产生的。因此，在电缆周围是否存在导电的腐蚀性介质是产生电化

学腐蚀的重要条件。电缆在酸性或碱性溶液(水或潮湿的土壤)中发生的各种微电池和大电池腐蚀都属于电化学腐蚀。

电化学反应有时单独造成腐蚀,有时和机械作用、微生物作用共同造成腐蚀。电缆金属护套在制造、施工和运营过程中,由于外部的各种机械作用(冲击、磨损、振动等)而受到固定的或交变的应力,当电化反应和机械作用同时进行,二者互相促进加速电缆腐蚀。微生物的新陈代谢活动能够直接促进阳极区或阴极区的电化学反应或削弱金属表面膜的抵抗力,为电化学腐蚀创造必要的条件,直接或间接地促进电缆腐蚀。

2. 电缆腐蚀的形式

侵蚀性介质对电缆金属护套的腐蚀,可以分为以下几种形式:

(1) 大气腐蚀

由于某种特殊环境,大气中含有某些特种气体而引起的腐蚀。如化工厂、化学冶金厂、炼钢厂等发出的气体多半都具有腐蚀性。架设在工业区、沿海、煤井等地区的电缆容易遭受这种腐蚀。大气腐蚀与大气中的湿气含量有密切关系。如果在无湿气的条件下,电缆暴露在大 气中,其腐蚀率是很小的。随着湿气含量的增加,一般来说腐蚀率也随着增加(当湿度增加到一定程度后,腐蚀率就保持在一定范围)。另外,与尘埃成分和气体不纯物有关系。尘埃是许多大气的主要污染物,在都市上空大气中尘埃的含量平均约2毫克/立方米;工业区的大气中尘埃含量可达1000毫克/立方米或者更高。这些尘埃和电缆金属表面接触与湿气结合形成氧浓度差电池,或因它们的吸湿

性使它们在表面上形成电解液而产生腐蚀。实验表明，无尘埃成分的大气比负载多量尘埃（特别是尘埃中含有水溶液质点或能吸附硝酸的质粒）成分的大气不易造成腐蚀。

大气腐蚀可按照地区分为海岸地带、工业地带、都市和乡村几类。由于大气中的湿气、温度和污染物变化相当大，因此，电缆在不同的地区，其腐蚀率有显著的不同。如接近海边地区的大气中含盐分较多，在工业区的大气中含有相当数量的 Cl 、 H_2S 、 NH_3 、 NO_2 等气体，以及若干种悬浮盐类，它们与水结合后对电缆产生强烈腐蚀。

（2）土壤腐蚀

电缆金属护套与周围土壤的电化学作用而引起的破坏。土壤中含有各种可溶性盐类和酸、碱物质（如硝酸盐、石灰、醋酸盐及有机物质等）对电缆的危害极大。由于土壤中含有不同程度的水分及电解质，而且各处的组分常常差异较大，故可将潮湿土壤看成是不均匀的电解液。电缆埋设在土壤中，由于土壤通气的难易、干湿度的差异、含盐浓度的多寡，以及电缆金属护套本身的杂质和不均匀性等因素，在土壤与电缆之间会构成各种类型的腐蚀电池，使电缆受到腐蚀。土壤作为腐蚀介质的电解液具有以下特点：

①土壤是具有离子传导性的多孔的胶体系统，由于气温和湿度的经常变化以及人们的耕作影响，对土壤的腐蚀性影响很大。如在土壤比较干燥和含水量较大的条件下，腐蚀速度并不大，在干湿交替和水分变化频繁的地带，电缆腐蚀就比较严重。

②在不同的地区土壤的发生和发展具有不同的性质，土壤的结构也有较大的不同，电缆埋设在土壤中，可能在很小的范

围内形成微腐蚀电池，也可能在很长的距离内形成大型腐蚀电池。

(3) 漏泄(杂散)电流腐蚀

从各种不同的电气设备(有轨电车、电气机车、电解槽、电焊机以及利用大地做回路的直流电气装置等)漏失到大地中的电流叫做漏泄电流。这些电气设备的电源输出来的电流由正极流出，通过负载从地线(铁轨)流回负极，见图1-1。其中有一部分电流由于地线和大地的绝缘不良就从地线的某处流入土壤，这部分电流在土壤中寻找电阻最小的地方流过，这时埋在附近的电缆上就会有电流流进流出，然后再通过土壤流回电源负极。电流从电缆流出的地区(阳极区)由于电解作用使电缆护套金属表面失去电子而受到腐蚀。

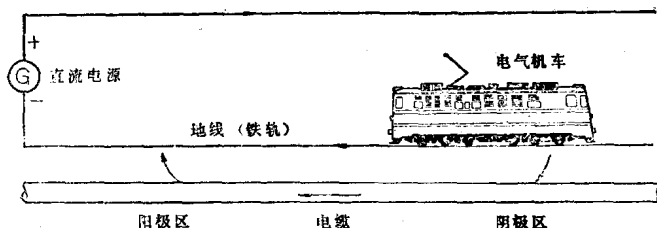


图 1-1

电缆金属被腐蚀的损失量(腐蚀量)与流过漏泄电流的电量成正比，即：

$$W = mQ = mIt$$

式中：W——腐蚀量(克)

m——电化当量(克/安秒)；

Q——电量(库仑)；

I——漏泄电流(安)；

t ——通过电流的时间（秒）。

漏泄电流对地下电缆的腐蚀是相当严重的。如1安的电
流在铅皮电缆上流过一年，就会有34公斤的铅被腐蚀掉。漏泄电
流严重的地方有的高达300安以上。

（4）管道电缆腐蚀

管道电缆使用的管材有混凝土管、塑料管、钢管、陶瓷、
石棉水泥管等等。其中对电缆腐蚀作用比较大的是混凝土管。
十多年来，产生混凝土管对电缆铅皮的腐蚀障碍屡见不鲜。

混凝土管是用水泥和粗沙按照一定的配合比用水混合后，
经加工成型、养护而成。混凝土管对电缆产生腐蚀的主要原因是
混凝土管在养护期间水湿条件不充分，游离的氧化钙未能充分
析出（所谓脱碱），当电缆敷设在管道内，在潮气和水分的作用
下，水泥中未水化的水泥颗粒及游离的氧化钙会继续进行化学
反应，同时与铅进行化合生成铅酸盐而被腐蚀。

3. 内外因素对电缆腐蚀的影响

电缆的腐蚀速度主要取决于腐蚀电池的电极过程，但是各
种内在的和外界的因素也影响着电极过程的进行。主要影响因
素有以下几点：

（1）由于电缆护套金属本身的特性而产生的腐蚀，称为腐
蚀的内在因素。如合金的纯度、颗粒大小、金属的热处理或机
械处理等。

两相或多相合金，由于各相具有不同的电位，在合金表面
形成腐蚀电池，各相之间的电位差越大，腐蚀的可能性就越大。
国产电缆的铅皮使用*3或*4铅，其中含有金属杂质铜和银。

等（含量在0.002左右），当它们与电解质溶液接触时，这些杂质的电位比铅高（铜+0.34伏，银+0.8伏）成为微阴极，而铅的电位低（-0.13伏）成为微阳极，它们之间形成了微小的电池，造成微阳极的腐蚀，如图1-2所示，腐蚀时微阳极上进行铅的溶解反应如下：

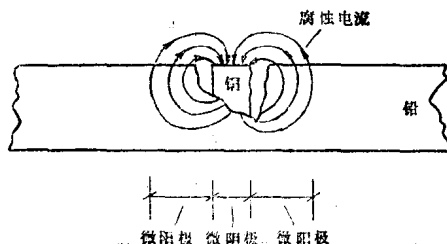
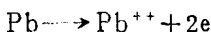


图 1-2

微电池作用的结果，使铅皮受到腐蚀，其腐蚀的程度和速度与腐蚀电流的强度成正比。

另外，金属表面的状态对腐蚀也有影响。粗糙的金属表面比光滑的表面容易腐蚀，这是因为粗糙的金属表面的保护膜致密性差，容易被腐蚀。在抽换电缆时可以看到，电缆在管道中被磨损的部位比其他地方往往要腐蚀得严重。

(2) 决定金属腐蚀进行的外界条件，如介质的性质、溶液运动的速度、氢离子浓度等都是腐蚀的外界因素。影响腐蚀进行的外界因素有以下几点：

①介质的pH值

pH值是电缆腐蚀的很重要的影响因素。但是pH的影响是比较复杂的。不同的介质，不同的金属，pH的影响都不一样。介质的pH值与电缆腐蚀速度的关系大体可分为二种类

型，如图1-3所示：

铅、铝、锌、锡等金属，都是两性金属，它们在酸性和碱性介质中都会发生腐蚀。这是因为它们的氧化物在酸、碱中都能溶解，从图1-3(a)中可以看出，无论 pH 升高或降低，腐蚀都会增加。其中有个特殊情况。就是铝在浓硝酸中由于钝化

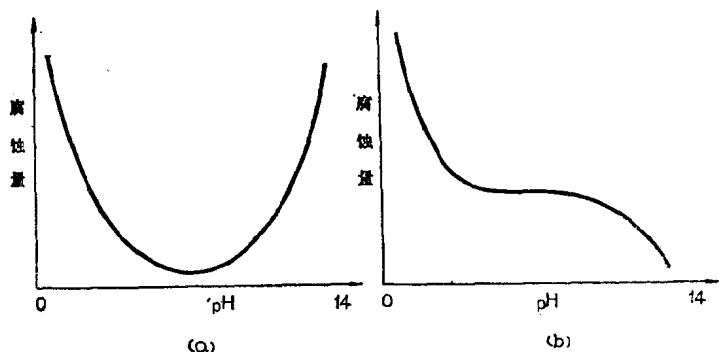


图 1-3(a)

图 1-3(b)

而变得很耐蚀。铁的氧化物易溶于酸而不溶于碱，它在酸中很容易被腐蚀，尤其是在非氧化性的酸中， pH 值降低能使铁表面膜的溶解度增加，腐蚀速度相当快。但是在碱性溶液中，由于其腐蚀产物氢氧化铁的不溶性，其腐蚀速度是比较慢的，如图1-3(b)所示。

②土壤的物理化学性质

a. 土壤结构

土壤是由土壤颗粒（岩石碎片、砂、细泥、尘埃和腐殖质）、水分和空气所组成的复杂的混合物，如图1-4所示。不同类型的土壤具有不同的结构特性。

土粒与土粒之间为土壤孔隙，它由大孔隙和微孔隙组成，孔隙被水分和空气占据着。土壤的孔隙、透水性、通气度以及

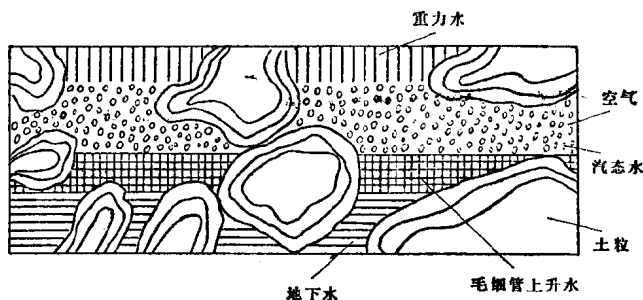


图 1-4

微生物等都直接影响电缆的腐蚀过程。如粘土的土粒较小以微孔隙为主，粒间孔隙都很小，孔隙中常常充满着水分而通气度并不大；砂土的土粒较大以大孔隙为主，粒间孔隙都比较大，因之土粒间常充满着空气，透水性较强，对水的毛细管作用较弱。电缆埋在土壤中，由于土壤结构和潮湿程度的不同，会产生通气差（充气不均匀）电池而受到腐蚀。在图1-5中，处在砂土部分的电缆由于通气容易，氧容易进入，电位高成为阴极，在粘土部分由于缺氧成为阳极，使电缆受到腐蚀（根据电化学不均匀性来表示，氧或氧化剂浓度较小处为阳极，金属腐

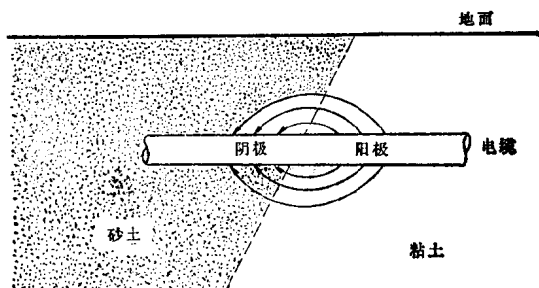


图 1-5