

邮电部设计院 译

地下电缆防蚀保护

国际电报电话咨询委员会建议

**DIXIA
DIANLAN
FANGSHI
BAOHU**



人民邮电出版社

THE INTERNATIONAL TELEGRAPH
AND TELEPHONE
CONSULTATIVE COMMITTEE
(CCITT)
RECOMMENDATIONS
for the Protection of underground cables
against corrosion
Published by
THE INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION
UNION

内 容 提 要

本书为CCITT编写的。全书除原有的说明、序言、引言以外，共11章。前4章分别说明铅铝外皮电缆的腐蚀类型、过程、鉴别方法，以及土壤腐蚀性的判断和减小漏泄电流的方法。第V~VII章分别说明电缆外皮、护层、铠装、电缆管道和人孔的合理结构，原材料成分和加工或建筑方法，以及可能遇到危害性气体的保护措施。第VIII、IX章叙述电缆网防止漏泄电流或其他危害电流的保护措施，着重说明了阴极保护。第X章介绍了有关防蚀的电气测试。第XI章是结论，提出了电缆安装的有关建议。

本书的这些建议是在一些国家电信网内的地下电缆防蚀工作中经过证实的。所以它的保护原理和方法具有普遍性，可以广泛使用。可供从事地下金属外皮电缆及其他地下金属管线或构筑物有关的教学、科研、设计、施工和维护人员参考使用。

地 下 电 缆 防 蚀 保 护

国际电报电话咨询委员会建议

邮电部设计院译

*

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 1981年3月 第 一 版

印张： 8 页数： 96 1981年3月河北第一次印刷

字数： 135 千字 印数： 1—4,100 册

统一书号：15045·总2435-有5182

定价：0.63 元

译 者 的 话

本书系国际电信联盟出版的活页手册，由于工作上需要，曾由徐松茂、王绪金、王瑞陞、陈昭相同志分章择节翻译过。1974年后经 CCITT 改订的版本，由我院技术情报室冯幼良同志补译，最后全书由徐松茂、金学姚、杨忠国三同志分工校对定稿。限于水平和时间，差错之处望读者批评指正。

邮电部设计院

说 明

本**建议**保留到需要用新章节的出版来代替旧有 部 分 的 时 候。

所以，继1961年初版(新德里)发表后，出版日期将印在每一页上(中译本将出版日期注在目录的各章节上——译者)并与“目录表”中有关章节的出版日期相符。当章节再版时，将同时发表新的索引，以表示所有章节的最近出版日期。

目前这个版本的建议是对1965年和1970年所发表的章节和附件修改而成的(见目录表)，它完全代替本**建议**过去所有各版本。

国际电信联盟总秘书处发行部出售本**建议**最近出版的任何新页或章节。

序 言

国际电报电话咨询委员会起草的这些**建议**是在高压电力系统国际会议(C.I.G.R.E.)、电能源生产和分配者国际联盟(U.N.I.P.E.D.E.)、天然气工业国际联盟(U.I.G.)、铁路国际联盟(U.I.C.)和公共运输国际联盟(U.I.T.P.)等代表参加下进行的。

这些**建议**的目的是从防腐蚀的观点出发，考虑其它地下结构的存在，而为设计地下通信电缆提供方便；同时对现有装置也提供了防腐蚀的方法。

这些**建议**中的迹象虽然是在公共电信网内的地下电缆中证实的，但形成这些**建议**的一般原理则有更广泛的用途，不过其它网络是否使用本**建议**，以及在什么范围内使用，则应由其它网络的负责人根据他们自己的要求来决定。

涉及行政管理或经济性质的一切问题，特别是规章和立法方面的问题，不属于国际电报电话咨询委员会所管辖的范围，因而这里不予以叙述。所以，一方面对电话、电报部门之间、或私营开业公司之间必须遵循的程序规则不提出详细资料；另一方面对电力牵引当局或其它服务行业的程序规则也不述及。

引 言

装备电缆网需要投入大量的资金，这就是电缆本身的费用以及敷设安装的费用。若是电缆能持续使用很长的时间，则这种装备是值得的，因为，诸如路线或管道的改变，或者电缆的更换，都是既困难而又艰巨的工作。通信电缆的一次故障，常常影响到大量的通信联系，而且涉及业务中断，损失很大。因此在研究电缆网设计时，主要考虑的问题之一，便是要保护电缆免受任何损伤或毁坏，特别是由于腐蚀而导致电缆损坏。

提出“地下电缆防蚀保护的建议”，其目的在于汇集相当数量的有效的一般资料，以利于这种电缆网的设计工作。

目 录

	版本	页
序言.....	1965	
引言		
第 I 章 腐蚀类型与腐蚀过程	1974	(1)
附件 1 说明铅的腐蚀性、钝性和抗蚀性区域的 pH —电位图	1974	(6)
附件 2 说明铝的腐蚀性、钝性和抗蚀性区域的 pH —电位图	1974	(9)
附件 3 为避免应力或震动导致电缆铅皮内晶 间破裂所应采取的预防措施.....	1974	(11)
第 II 章 鉴别腐蚀及其起因的方法	1961/65	(13)
附件 1 腐蚀与结构/土壤电位之间的关系		(28)
附件 2 说明腐蚀典型情况的照片.....	1965	(32)
第 III 章 土壤侵蚀性的判断	1961	(45)
第 IV 章 漏泄电流及其减少方法	1965	(65)
第 V 章 电缆外皮	1974	(77)
第 VI 章 护层与铠装	1974	(90)
附件 关于保护金属外皮和铠装外部用作浸渍涂层的 混合物.....	1974	(97)
第 VII 章 管道、管筒、隧道和电缆人孔	1961	(101)
附件 在通信电缆的交接室内可能遇到的爆炸气体 和有毒气体的保护措施.....	1974	(107)

	版本	页
第Ⅶ章 电缆网防止漏泄电流或其它危害电流的保护		
装置（阴极保护除外）	1965	{119}
第Ⅷ章 阴极保护		{125}
A、概要		{125}
B、防止漏泄电流的阴极保护	1970/74	{137}
附件 无保护与有保护管线或电缆之间的互作用		
.....	1970	{146}
第Ⅸ章 电气测试		{149}
A、概述		{149}
B、漏泄电流——专用测试方法用以测定漏泄电流以		
及地中电流的数值等	1970	{164}
第Ⅹ章 结论 关于电缆安装上的建议	1970	{180}

第 I 章 腐蚀类型与腐蚀过程

1.1 定义（参见 2 页表中定义简述）

1.1.1. 腐蚀是指金属在化学或电化学作用下的破坏或变质（转变为各种不同的化合物）。

1.1.2. 化学腐蚀是一个服从动态化学基本定律的多相反应过程，而不出现电流。

例如金属在干燥空气中的腐蚀和在非电解质中的腐蚀。

化学腐蚀不同于电化腐蚀，其特征之一是：腐蚀产物直接地在参与反应的金属表面部分上形成。腐蚀产物所形成的薄膜能否继续增长，则取决于腐蚀剂对这层薄膜的渗透性。通常，在地下电缆上产生这种腐蚀是罕见的。

1.1.3. 电化腐蚀是一个服从电化学动态的基本定律的过程。通常腐蚀时伴随有电流出现。例如，金属在电解液中的腐蚀。

当发生由反应物（电解质）和金属相互作用所形成的电化腐蚀时，通常，其反应特征取决于如下两个不同的过程。

a) 阳极过程 即金属以水合离子的形式溶解，而在金属上则留下与其数量相等的电子。

b) 阴极过程 即金属中过剩的电子被某种去极剂（离子、原子或分子）所吸收。而金属内部的电子则从阳极向阴极移动，以补充阴极所失去的电子。

通过大量的实际观察，电化腐蚀的特点是在不同的区域

(即金属表面上的不同部分——译注)分别进行阳极过程和阴极过程。而这两个区域可能紧靠在一起,也可能离开。

1.1.4. 本章附件 1 阐明了 *pH*—电位图的运用,该图表明了铅的腐蚀性、钝性和抗蚀性区域。

1.1.5. 地下通信电缆保护建议,是为了可以简便地在电化腐蚀类型中识别他们所表现出来的某些共性——电解腐蚀。

1.1.6. 电解腐蚀这个术语,在这里总是意味着在阳极区(或多个阳极区)和阴极区(或多个阴极区)之间伴随着环回电流的电化腐蚀。

损坏性质	破 裂	腐 蚀				烧 坏
损害类型	晶间的	化学的	电 化 的			
作 用	机械的		非电解的	晶 间 的	电 解 的	
特 征	晶间交界处的损坏	均匀的损坏	阳极区和阴极区相邻(测不出电流)	晶体交界处(因引起损坏)而这种损坏有典型的“Y”型腐蚀	阳极区和阴极区相分开(可以测出电缆外皮中的电流)	可以看出碳化(烧焦)或燃烧的面积
原 因	因震动引起金属疲劳	气 体	非电解质	微电池效应, 充气差等	电解的或非电解的, 或两者的综合作用。	不同的金属, 地质电池、充气差引起的长线电流*。外部电源的影响(漏泄电流)。
						由于雷击或电力线故障所引起的大量电流的通过。

*译者注:长线电流(*long—line current*)即由不同金属,地质差或充气差形成的大型腐蚀电池所产生的电流。

1.2 电 解 腐 蚀

1.2.1. 较严重的电解腐蚀，是由外界电气装置的漏泄电流进入电缆外皮之后又流出时所引起的。这类腐蚀通常来源于牵引网（电车、铁路等等）或以大地为回路（部分或全部）的直流配电网。由于这些系统在大地的不同点产生了电位差，所以漏泄电流进入电缆外皮后又流出去。电缆外皮起到这些点之间低电阻导体的作用，它使在阴极区汇集的电流流至阳极区而流散出去。腐蚀产物的形成取决于电缆外皮和电解质（电缆周围的土壤和水）之间的电位差。某些腐蚀产物是低电位差性质的；而另一些腐蚀产物只有在大的电位差下才产生。通常，仅在阳极区发现对金属外皮和钢带铠装有腐蚀损坏（阳极腐蚀）。

1.2.2. 然而，当电解质中含有过多的钙盐或钠盐，又在高 pH 值情况下时，某些金属或合金可能在阴极区发生一种特殊形式的电解（阴极腐蚀）。在铝外皮的情况下，这种形式的腐蚀尤为可虑。对于铅外皮（无论有无阴极保护），当负电位不足时，这类腐蚀也可能发生，但不常见。其次，腐蚀是由于铅的氧化物兼备弱酸性和弱碱性的两种性质。当电流密度足够形成氧化钙，但达不到阴极保护时，氧化钙即与铅作用形成亚铅酸钙。因此，当对电缆铅皮进行阴极保护时，特别是处于强碱介质情况下，在电缆铅皮上产生的负电位必须要充分地负。虽然，由于阴极保护本身引起 pH 增加，能使负电位变得不充分，但首先应看到的是，有效的阴极保护提供了充分负的电位，否则，腐蚀可能比没有采取阴极保护之前发展的更快。即使有这种苛求，阴极保护仍然建议使用，因为无论如何电缆总是要遭受腐蚀的。

1.2.3. 在另一方面，或由于电缆外皮合金结构在不同段的差异，或由于电缆敷设处土壤性质上的差异，或由于附近埋设的金属结构和电缆形成电偶，在电缆网中可能引起环流。这些不均匀性引起微弱的电位差，从而在电缆外皮和大地之间产生环回小电流。这些电流是持久而稳定的，有时又非常小。在这种情况下阳极区有时可以明显地与阴极区分开，这时，虽然在这里没有外来的电动势，但就腐蚀性质看来，和漏泄电流产生的电解腐蚀是相似的。

1.3 电 化 腐 蚀

1.3.1. 当某些腐蚀性物质（如污水、排泄水、湿石灰、腐蚀性的盐等等）和电缆外皮接触时，出现了腐蚀的另一种形式，即金属腐蚀的过程并没有作用物体系统外的电动势参与作用。实际上，在金属和腐蚀物质接触的表面上，产生了极化电动势；而且，金属和周围介质的结构不均匀性（例如存在局部浓差电池、充气差或金属上的杂质等等）会引起局部的电流环流。特别是在铅外皮或铅合金外皮电缆的情况下，铅盐在外表面的每个阳极区上形成，而碱性物质则在每个阴极区形成；这些区域相互间极其接近，因而腐蚀产物可能扩散；它们之间的反应结果，就决定了电缆腐蚀的最后过程。因为这里发生的电位差较小，因而不会出现某些只有在大电位差下才能出现的腐蚀产物。

1.3.2. 在腐蚀的第一阶段，电解质里的阴离子与阳极表面的铅相结合生成如氯化铅、硫酸铅、硝酸铅等盐类；同时在阴极表面形成碱性物质。在第二阶段，铅盐和碱性物质相互扩散成不溶解或轻微溶解的碱性盐。它们能在金属表面上形成保

护性沉积物，似乎最终能减缓腐蚀；但是这个沉积物常常不能形成完整的覆盖层，这就要增加充气差，从而加快了腐蚀。

1.3.3. 地下电缆铅皮的腐蚀率，不可能准确地从其周围水或介质的分析结果准确地判断。

通常，在酸性或碱性水中（ pH 小于6或大于8.5），如还含有硝酸盐，亚硝酸盐或游离的碳酸，则对裸铅皮腐蚀作用有明显的增加倾向，而当水中含有硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐和磷酸盐时，腐蚀即可减缓。而水中含有氯化物、胶质体、淤泥等时，则按不同情况有加速、或减缓腐蚀过程的效应（参见第Ⅲ章）。

1.3.4. 在混凝土或水泥中洗涤出来的碱性物质（主要是石灰），可以产生一种特殊类型的腐蚀。如果水中含有大量吸附的氧，这种形式的腐蚀对铅侵蚀尤其活跃。最初的腐蚀产物是红色的，它由氧化铅所组成，而且只有在干燥或碱性环境中才是稳定的。

1.3.5. 铅的晶间腐蚀，其特点是腐蚀通常沿着晶粒边缘向前推进。这类腐蚀能在显微照片中观察到。其所以出现的原因是很多的。“Y”型腐蚀（*upsilon*腐蚀）用以表征沿着晶粒边缘的晶体腐蚀，它不同于金属疲劳引起的晶间破裂（见1.4.1节）。

在大地中的腐蚀因素和电位，对“Y”型腐蚀过程有着重要的影响。“Y”型腐蚀是通过阳极变化来加速其进程的。它也能用阴极保护来防止。过去，在这类腐蚀中曾认为酚起着重要作用。目前已表明，必须把酚视为防蚀抑制剂，而不是一种腐蚀原因。有必要进一步研究“Y”型腐蚀的确切原因。

1.4 备 注

1.4.1. 当电缆外皮长期遭受机械交变应力（纵向的、横向的或扭转的）或大周期的温度变化时，可能产生晶间破裂效应，这必须与以前提到的腐蚀类型区别开来。

为了避免应力或振动可能引起架空电缆铅皮的晶间破裂，应采取的预防措施在本章附件 3 中叙述。

1.4.2. 当某一表面通过非常大的漏泄电流时，会发生另一种型式的电源损坏，通常把它称之为“烧熔”。当这种大电流在电缆外皮的一个很小表面上流入或流出时，电缆就被烧熔。这类损坏与以上各种腐蚀大不相同，因为它留有电弧烧毁的痕迹。

附件 1（第 I 章）

说明铅的腐蚀性、钝性和 抗蚀性区域的 pH- 电位图

铅——二氧化碳——水系图

依据化学和电气条件的不同，铅表面和水之间能产生五种不同的反应。

它可能遭到（1）酸性腐蚀，（2）氧化作用，（3）碱性腐蚀；它也可能因为（4）钝化而得到防蚀保护，或是由于（5）抗蚀性而不受腐蚀影响。

上述反应描述于 pH 为横轴和 V 为纵轴的图中。在这个

图中，不同类型腐蚀和抗蚀性的情况是以区域来划分的。

图1.1所示是假定铅表面处于平衡状态下的电位与不同浓度的铅化合物溶液以及与不同 pH 值的关系。假若外部电压加到铅皮表面，所产生的电流趋向于沿铅表面建立的平衡电位与所加电压相等。

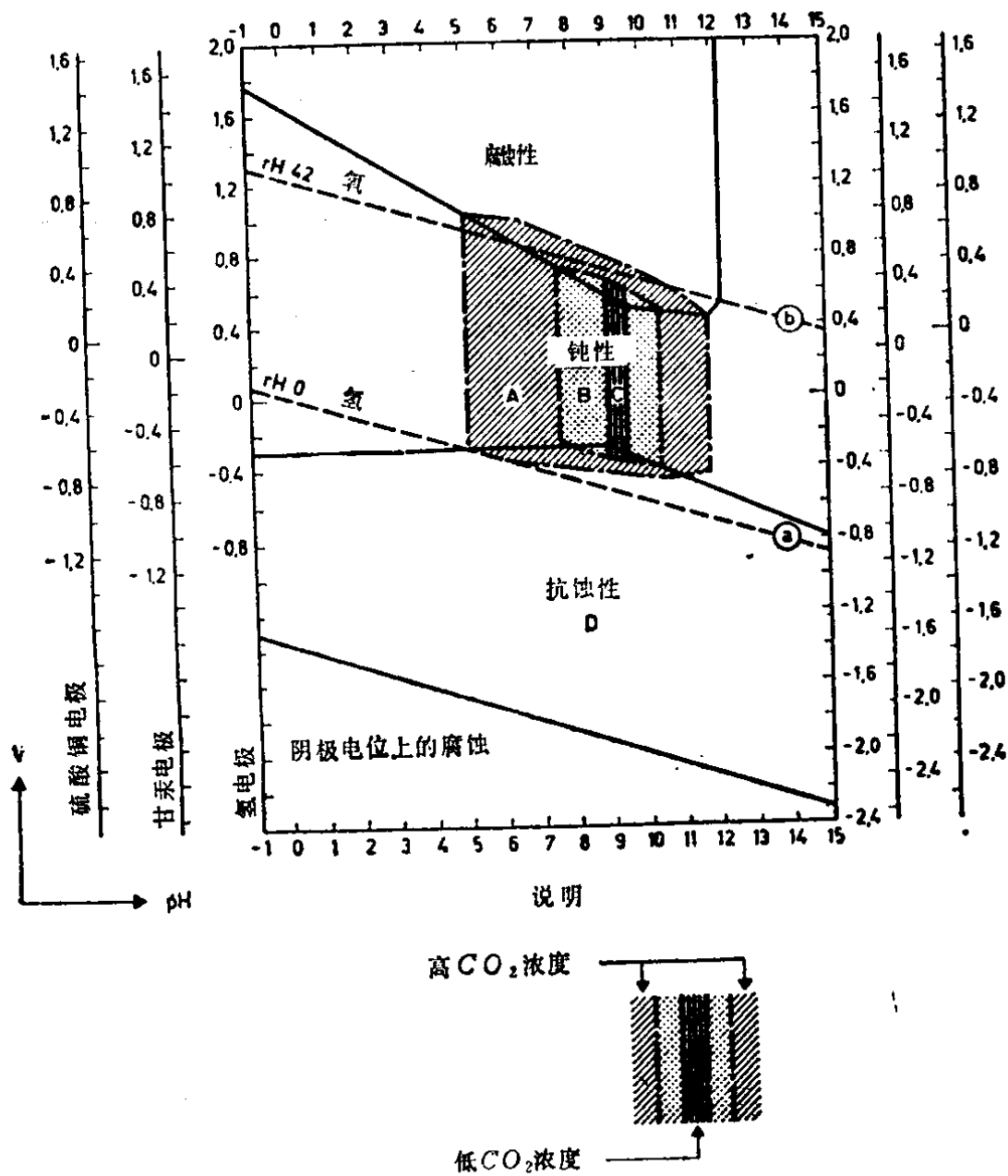


图 1.1 表明铅的腐蚀性钝性和抗蚀性区域的 pH 电位图
原图由 *CEBELCOR* (*Bruxelles* 腐蚀研究中心) 提供给 *CCITT*

在图1.1中，电压用了三个不同的标度，靠里的标度是以标准氢电极为参比电极的读数。中间标度，其零点比氢电极高0.24伏，是以饱和甘汞电极为参比电极的读数。靠外的标度，是以饱和硫酸铜电极为参比电极的读数，其零点比氢电极高0.32伏。

钝性区是图中有阴影的那块面积（ $A+B+C$ ）。在周围介质中的二氧化碳浓度愈高，则这个区域也就愈大。因此图中划斜线的部分（ A ）相应于具有高二氧化碳浓度的污水；划十字斜线的部分（ B ）相应于污水与正常大气取得平衡。而中间阴影部分（ C ）相应于具有低二氧化碳浓度的污水。如若没有二氧化碳参与作用，则钝性不会出现。

抗蚀性区（ D ）的上限同样决定于周围介质的化学性质。顶上那根线相当于特别有利的情况，中间那根线为正常情况，而较低的那根线相当于污水含有有机盐类的不利情况。

氧化——还原系统

铅表面的电位取决于周围介质的 rH 值和任何外加电压。为了估量氧化——还原电位，将 rH 标度用斜虚线划于图中（当纯氢时 $rH=0$ ，当纯氧时 $rH=42$ ）。

当电缆通过具有不同 pH 和 rH 值的土壤时，从图中可以找出这两个区域间的电位差。这里给出了所形成的腐蚀电池的电动势。但还不能由此估算电缆上所产生的电位，因为它还取决于各种环境。诸如与两处土壤相应的接触面积。

当电流从铅表面流向土壤时，引起了极化，并在阳极面附近产生较高的 rH 值和较低的 pH 值。因此，即是在图上指出应该出现钝性的条件下，也可能发生腐蚀。

以上概括的仅是对 pH ——电位平衡图的一个简短介绍。如尚需详细了解，可参阅有关文献（参见第Ⅱ章，第3.6节）。

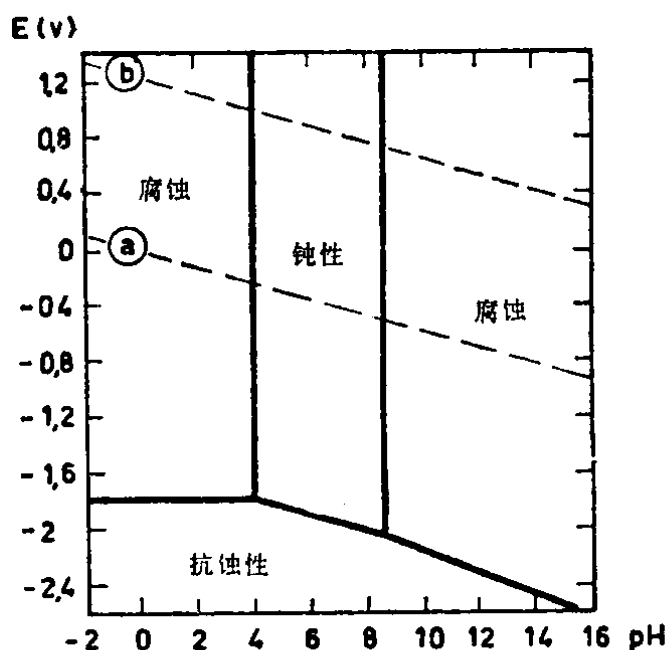
附件 2 (第 I 章)

说明铝的腐蚀性、钝性和 抗蚀性区域的pH—电位图

基于我们对这一课题的理解程度,图1.2说明了控制纯铝的腐蚀性、钝性和抗蚀性的理论条件,铝是浸渍在温度为 25°C 的水溶液中,而且没有与铝形成可溶解的化合物或不溶解盐一类的物质。这个图描述了由于水化物层 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 的形成所产生的钝化作用,在一定 pH 时,整个氧化膜表面的电极电位 $E(\text{V})$ 保持不变。

铝并不是一种非常高贵的金属,并且它在水中的稳定性区域并不

存在。在强酸溶液中,铝把水分解出来,放出氢,并且以三价 Al^{+++} 离子的状态溶解,也可能以一价 Al^{+} 离子的状态溶解。在强碱溶液中,铝分解水,放出氢,并以铝酸 AlO_2^{-} 离子的状态溶解。



②与⑥之间的区域相当于在 25°C 水中的稳定状态。
④线以下,放出氢介质碱化。⑤线以上,由于介质酸化而放出氧。

图 1.2 铝在 25°C 水中的 pH -电位图(水化物膜 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)