

地下金屬管道銹蝕防止法

Л. Я. 契格尔曼 著

建筑工程出版社

地下金屬管道銹蝕防止法

于 忠 張會諤 等 譯
王秉鑫 趙中寅

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本书所述为引起地下管道锈蝕的一些现象，同时介紹了一些现代的管道保护法，以防止管道因受锈蝕的影响而过早的毀坏。此外，并簡要地說明了使用保护设备的若干問題。

本书供設計和管理地下金属管道的工程技術人員之用。

原本說明

书 名 БОРЬБА С КОРРОЗИЕЙ ПОДЗЕМНЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ
著 者 Л. Я. Цикерман
出版者 Государственное издательство литературы по
строительству и архитектуре
出版地点 及 年 份 Москва—1951—Ленинград

地下金属管道锈蝕防止法

于 忠 張曾麟 等 譯
王秉鑫 趙中寅

*

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外大街)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第052号)

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書号841 110千字 850×1163 1/32 印張4 9/16

1958年7月第1版 1958年7月第1次印刷

印数: 1—2,945册 定价: (10) 0.35元

目 录

序 言	5
第一章 地下金属管道锈蚀的因素	9
1. 锈蚀反应历程概論	9
2. 土壤成分对于管道锈蚀过程的影响	11
3. 关于金属在土壤中锈蚀的一些知識	23
4. 管道各种接合零件的锈蚀	27
5. 杂散电流对管道锈蚀过程的影响	32
6. 輸送物温度对管道锈蚀过程的影响	36
第二章 地下金属管道锈蚀危害程度的估价	38
1. 破坏的危害性决定于管道表面锈蚀分布的特征	38
2. 管壁上锈孔数目的变化特性	39
3. 在锈蚀的影响下管壁上压力的变化特性	41
4. 估計管道锈蚀危害性的一些其他因素	45
第三章 防止管道锈蚀的现代方法	48
1. 现代地下金属管道锈蚀防止法的分类	48
2. 利用特殊鋪設方式防止地下管道锈蚀法	48
3. 用复盖物保护管道法	52
用瀝青或树脂絕緣層保护管道外部表面法	52
用复盖物保护管道內部表面法	57
利用涂料和磁漆复盖物保护管道法	63
金属保护性复盖物	65
保护性复盖物质量的选择和評价須知	66
4. 地下管道的电气保护法	71
电气保护法的分类	71
管道分区保护法	71
用电子过滤層保护管道法	80

用电气排流法保护管道	82
简单的排流保护	82
極化排流保护	85
阳極(保护器)保护	89
附加接地保护	104
加强的排流保护	106
采用多層管(組合管)防止地下管道銹蝕法	109
管道的阴極保护	114
第四章 使用保护装置时的几点注意事項	124
1. 电气特性现象	125
2. 机械特性现象	128
附 录 表示电气保护系統接地装置特征的主要参数	137
参考书籍	145

序 言

在苏联,正在鋪設的和使用的地下金属管道有成千上万公里。所以,防止管道銹蝕的工作,在国民經济中就具有重大的意义。

由于党和政府对于广泛发展我国工业和民用建筑事业(其中也包括地下管道的建筑)的特別关怀,这就給运用最新的保护技术創造了很大的可能性。

关于“管道保护”一詞的意义,一般是意味着:有关提高管道的坚固性和耐久性等問題的一种技术。

地下(或水中)管道从敷設在土壤或水中之后,就成为管理人員所不能目睹的一种管綫,因此对它的情况不能直接掌握;但是,地下管道却又經常处在能引起它破坏的环境中,所以对于它的管理則又是十分必要的。

研究使用地下管道的經驗証明:欲使管道有效地工作,不仅需要管道的結構坚固,而且也要防止各种不同的破坏力量,以保証管道在长期使用中的完整。

事实証明,地下管道的破坏是由于下列各种不同原因:地下水对管道支撑点的冲刷,管道下土壤的挤压和沉陷,地震的影响及温度的影响等。此外,对于管道的不合理使用,也会使其损坏,特别是当开关閘門及水泵設備驟然开动或停止时,在管子的断面上更会造成过快的节流而发生水力冲击。最后,管道破坏的最严重原因乃是能引起地下金属管道里面和外面銹蝕的电化作用。一般地說,电化作用是繼續不断地作用于管道上面的,所以它对于管道的破坏程度,較之其他大多数现象(如水力冲击及温度的作用等)所帶來的短暫時破坏作用來說,其危险性尤为巨大。

苏联在研究和制造新的完善而有效的地下管道保护設施方

面,进行了巨大的科学研究工作。

由于苏联科学研究机构的实验室和设计、建筑以及管理部门具有的良好工作条件,从而促进了地下管道防蚀理论的不断向前发展。

功勋科学家、苏联科学院通讯院士Г.В.阿基莫夫(Акимов)化学科学博士Н.Д.托馬晓夫(Томбшов)、教授Н.А.伊兹加雷舍夫(Изгарышев)等苏联学者们的劳动,对于保护理论和技术的发展作出了有价值的贡献。

各共和国的学者们也以自己的劳动促进了地下管道防蚀科学的发展。

按照科学思想的深度和创造性来说,苏联科学家的研究工作远远超过了外国专家们。

乌克兰共和国科学院黑色冶金研究所科学工作者、通讯院士И.Н.弗朗泽维奇教授(францевич)、Е.В.赫鲁晓娃(Хрущева)及Т.Ф.弗朗泽维奇扎布魯多夫斯卡娅(францевич-Заблудовская)在制成了煤气管道实验模型后,曾进行了土壤的腐蚀活性、电流方向和电位大小的研究,并且对阴极保护提出了具有很大实际意义的精确的新计算方法。

研究的结果,他们发现了许多外国专家们的严重错误,尤其是劳根(美国国家标准局)的错误。

在巴庫,以阿集茲別科夫命名的阿塞拜疆工业研究所地下电流实验室完成了许多有价值的研究工作,例如:锈蚀的原因,防止土壤腐蚀的方法,测定锈蚀的方法,以及其他有关防止地下金属管道过早损坏的一些问题。在地下电流实验室成立的14年历史中,由于该室的工作人员们富有成效的工作,因而,它获得了很大的声誉。实验室制订了一整套工作细则,并进行了若干防蚀问题的研究,它所研究出的一些仪器和装备已经广泛地应用在管道防蚀的技术上。

В.С.卡里曼(Кальман)副教授及阿塞拜疆工业研究所其他同志们的著作,对于从事管道防蚀的工程技术人員有很大的

益处。

应当指出,全苏铁路运输科学研究所防蚀方面的一些著作,特别是И.М.耶尔晓夫(Ершов)工程师的论文集“杂散电流锈蚀地下构筑物的防护法”(国立铁道运输出版社,1948年出版)。在这本论文集中,叙述了耶尔晓夫领导下的研究所多年来所进行的研究工作的经验。

耶尔晓夫的著作帮助设计、建筑及管理机构的工程技术人员了解了許多杂散电流所引起的管道锈蚀的复杂问题。

全苏铁道运输科学研究所曾拟出若干不同类型的装备来防止金属构筑物的锈蚀。现在,这种装备已为工业部门所掌握,并在工厂中进行制造了。这样,就大大地加速了防护设备在实际工作中的应用。

В.А.普里图耳(Причул)及М.Д.德查法罗夫(Джафаров)等工程师们在防止土壤对地下管道的锈蚀方面亦作了許多工作。

在这一简短的概述中,不可能把苏联学者们对这一课题所作的多种多样的科学研究工作及实际工作完全叙述出来。

全苏动力科学技术工程学会阿塞拜疆分会和以阿集兹别科夫命名的阿塞拜疆工业研究所发起的科学技术会议于1949年年底在巴库举行。会议对于电气防护方法的工作曾作出经验总结。莫斯科、列宁格勒、基辅,梯比里斯、塔什干、里加、薩拉托夫及苏联其他城市的代表们也出席了这次会议。会议通过了一系列的决定,特别是,认识了设法减低电化腐蚀对于地下金属管道破坏的必要性,要在管道及地下电缆的一切设计工作中加入防止设计对象遭受侵蚀的必要部分。

1951年4月,全苏科学技术学会电镀及腐蚀委员会召集了科学技术会议,讨论在伟大的共产主义建设中有關地下锈蚀及如何防止地下构筑物锈蚀的问题。

会议指出了地下构筑物防蚀技术方面所取得的成就,同时,在这个问题上,也提出了一系列的实际措施,特别是,讨论了如何建立防护设备以防止杂散电流的腐蚀问题。

上述一切，再一次証實了地下构筑物(其中包括管道)的防蝕工作，在國民經濟中的重大意義。

為了順利地進行防蝕工作，首先必須全面地研究已有的防護措施，並確定它們的使用範圍。此外，對於防護設備還應當進一步尋求新的更完善的形式；同時，也應解決關於把這些設備最正確和最合理地布置(從技術經濟觀點而言)在現有的管道上、以及改進它們的管理方法等問題。這樣，就有可能使蘇聯全國現有的數十萬噸金屬管道得到應有的保護。

上述一切問題，都是彼此密切聯繫着的，因此，就需要在理論和實踐的基礎上，予以綜合地解決。

作者著述本書的目的，是為了研究地下管道發生銹蝕的一些主要原因，分析管道銹蝕的危險程度，將現代防護方法加以分類和評述，並對管理現有管道防護設備的一些實驗數據進行總結。

上面所提及的一些問題，本書並未完全解決，作者以感激的心情歡迎一切批評和要求，以便再版時加以修訂。

第一章 地下金属管道锈蚀的因素

1. 锈蚀反应历程概論

地下金属管道内部锈蚀反应历程的现代观点，是建筑在金属的电化锈蚀理論上的。在锈蚀过程中，純化学锈蚀与电化锈蚀相比，是微不足道的。因此，今后提到“锈蚀”一詞时，就意味着金属管道是因电化过程所受到的破坏。

电化锈蚀过程，与一般原电池中所发生的现象沒有任何原則上的不同。

在管子表面上相邻的金属质点間，可以形成小的原电池(微电池)。在这种情况下，管子周围的介质(土壤)就是电解质。

微电池不同于原电池，它具有下列几个基本特征：1) 阳极与阴极面积較小；2) 阳极与阴极是在一个水平上排列着（在大多数情况下）；3) 阳极和阴极是直接接触的；4) 在金属表面上形成大量的微电偶，也就是很多的微阴极与很多的微阳极（与一般原电池中仅具有一个阳极与一个阴极不同）〔1〕。这种类似的体系称为多电极体系。每一个微电池的电流在电极中間連通，这些电极的分布間距为 10^{-6} 厘米或更小。用一般的电測量仪器来測量此类电流是不可能的。

管道金属的电化溶解（电化锈蚀）会引起它的晶体结构的破坏。这种过程的特征就是，由于金属离子进入溶液，而使管道表面上的电中和性遭受破坏。

在金属管道的电化锈蚀过程中，电子从阳极区流向阴极区。与此同时，在电解质(土壤)中，发生着离子的交流作用，阳离子向阴极区移动，而阴离子則向阳极区移动。这些过程都发生在空間彼此隔开的各管段間，在这些管段內发生着阴极反应和阳极反应。

技术科学博士H. Д. 托馬曉夫(Томашов)〔2〕把金属电化溶

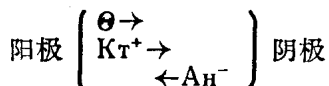
解历程原则上分为下列三个基本过程：

(1) 金属离子(Me^+)变成溶液的阳极过程。在金属阳极区附近发生过剩(游离的)的电子(θ),在电解质中发生金属离子(Me^+)。这一过程的原则形式可以写作：



式中： $[\theta Me]$ ——金属中性分子。

(2) 电子从阳极段沿管道金属流向阴极段，同时阳离子与阴离子亦在溶液中相应地移动：阳离子 $[K^+]$ 向阴极移动，而阴离子 $[AH^-]$ 则向阳极移动。这可以用下列形式表示：



(3) 最后,第三个过程,即所谓阴极过程,也就是溶液中某些离子或分子(去极剂D)对电子的同化作用,这些离子或分子在锈蚀情况下于阴极上具有还原性。此一过程可以用下列形式表示：



地下金属裸管表面上微阳极与微阴极的理想分布情况如图1。

上述三个基本锈蚀过程的任何一个,都是由一些单独的复杂阶段所组成的。

敷设在土壤中的管道表面上,只有在阴极区和阳极区存在时,才会发生电化锈蚀过程。管道上这种区域的形成,决定于金属表面的电化不均匀性。管道金属表面上电化不均匀性(多相)的发生原因是十分不同的[1]。其中的一些原因列于表1中。

由表1中可以得出结论,管道金属的化学不均匀性是决定电化锈蚀速度的主要因素之一。

金属锈蚀过程的速度,取决于在阳极和阴极间流动的电量,而电量又取决于敷设管道的土壤的电阻,以及发生在阳极与阴极的过程的性质。

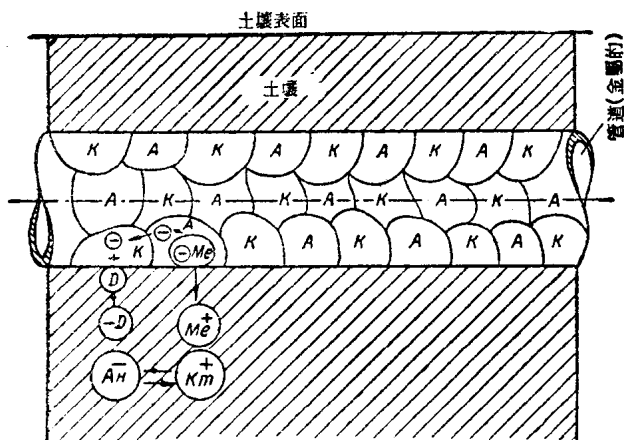


图 1 地下金属管道锈蚀表面上微阳极与微阴极的分布原理图

K—陰極；A—陽極

因为在地下管道的锈蚀过程中，金属的锈蚀产物并不发生可逆的还原作用，所以，在一般情况下锈蚀过程的曲线是随着时间而一直上升的，既没有什么最高点，也没有什么最低点〔1〕。

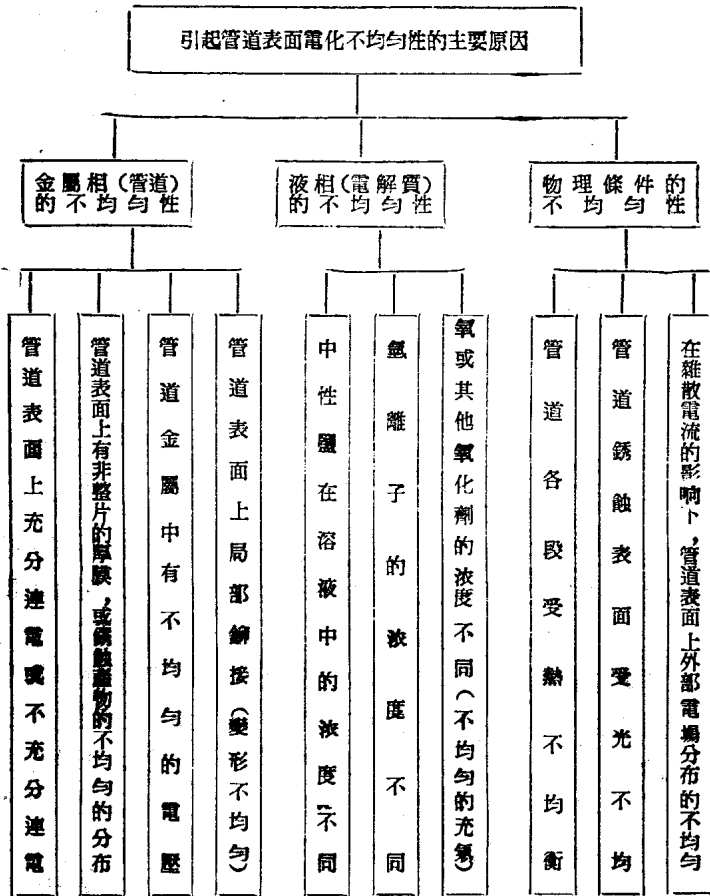
为了停止锈蚀过程，就必须把流动于管段上阳极区和阴极区间的电流减到最小的数量。要想达到这个目的，一方面是，急剧地加大“腐蚀对偶”的内阻，实际上，也就是在管子的表面上施涂防护性绝缘物；而另一方面，锈蚀金属的阳极和阴极的电位的人工（强制的）平衡，也可以保证适当地降低锈蚀过程的速度。

因此利用外部的人工作用，可使管道的锈蚀过程大大地减缓，或者是完全停止。

2. 土壤成分对于管道锈蚀过程的影响

当无杂散电流或其他外部电源所引入之电流的影响时，管道受周围物质的直接作用而发生的表面破坏过程，就叫土壤的锈蚀。土壤的锈蚀作用基本上决定于土壤的成分。此外，还有另外一些因素可以加速或减缓地下金属的锈蚀过程。地下管道的使用期是由下列几个基本因素所决定的：

表 1



- 1) 在管子敷設于溝槽前,它上面最初所涂絕緣防護層的厚度;
- 2) 與管道金屬相接觸的土壤的腐蝕性;
- 3) 被銹蝕的管道的壁厚;
- 4) 防護性絕緣損傷時,管道金屬光裸表面的大小;
- 5) 管道的使用條件——此項條件決定于管道防護性絕緣大修與維修的周期,並決定于管道靜水壓的變化幅度和特點,以及水

力冲击的影响等等。

当然,土壤锈蚀的过程也取决于管道在土壤中埋存的时间。

土壤结构的特征是:组成土壤主体的颗粒的大小。例如,可以按照土壤组成颗粒的直径(成粒作用),把土壤加以分类(表2)①

土壤按颗粒大小的分类

表 2

土壤级别	土 壤 名 称	颗 粒 直 径 (毫米)
1	岩 石	大于 100
2	卵石,碎石,礫石,礫	由3至100
3	砂	由0.1至3.0
4	粉 砂	由0.001至0.1
5	冲积土	由0.002至0.05
6	粘 土	小于0.002

土壤的重要特性之一,就是它的疏松性(充气性),亦即其所具有的通入空气(在一定的深度)和水分的能力。在很大的程度上,土壤的通气率与腐蚀性取决于它的主体的颗粒直径,以及充填土壤主要组成颗粒间空隙的粘土和冲积土的百分数。

兹将某些土壤中所含的粘土和冲积土百分比示于图2。从表中可以看出,由于粘土的主体是由直径十分微小的(2微米)颗粒所组成的,所以,它是属于疏松性极坏、对于空气和水分的渗透具有高度阻力的土壤。因为这个缘故,就腐蚀方面来说,显然,粘土是有害最大的土壤之一。

含粘土和冲积土最少的土壤要算是砂土;砂土具有很好的透气性,因为它是由较大直径(可达3.0

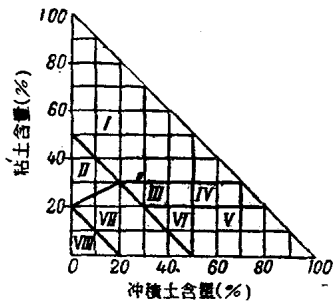


图 2 依粘土和冲积土含量的土壤分类图

I—粘土; II—瘠粘土; III—砂质壤土; IV—冲积壤土; V—冲积壤土; VI—砂质壤土; VII—瘠粘土; VIII—砂

① 由于进行了某些归纳,所以这一分类与习惯的分类方法有些不同。

毫米)的顆粒所組成的,在顆粒中間可以滲透空氣和水分。經驗証明,敷設在砂中或砂性土壤中的管道是最不易受蝕銹破壞的。

在一般情況下,腐蝕性土壤具有下列一些特征:

1) 透氣性不好,即主要組成物質有較高的密度,因此土壤中的空氣含量(空氣的可導度)很低;

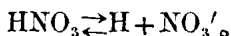
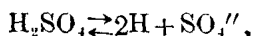
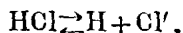
2) 酸度強;

3) 導電力好;

4) 各種鹽類的百分含量很大;

5) 濕度(含水量)高。

可以認為:透氣優良的土壤是沒有或者是僅具有很小的腐蝕性的。電阻很大的(導電力不好)和透氣很好的土壤,可以稱為無腐蝕性土壤。土壤的活性酸度,也就是它的腐蝕性,與各種土壤中氫離子的濃度有密切的關係。其所以如此,是因為地下所含的酸離解為氫離子和酸根離子:



必須指出,僅有極少部分的水分子可離解為離子,可是酸、碱及某些鹽類卻能很好地離解成離子(具有很好的離解度)。

提到氫離子濃度影響的問題,必須注意,通常是用pH值來表示濃度的大小—— $\lg[\text{H}]$ 。

數值 10^{-14} 意味着在室溫時 H^+ 離子濃度與 OH' 離子濃度的乘積。在水中這二種離子的數量是相同的(各為 10^{-7} 克當量/升)。此種水就是中性介質,它既沒有酸性也沒有碱性。當氫離子 $[\text{H}]$ 數量增長時,例如增至 10^{-5} ,則氫氧離子 $[\text{OH}']$ 就減少到 10^{-9} (因為乘積 $10^{-5} \times 10^{-9} = 10^{-14}$ 系常數)。此種介質(埋設管道的土壤)就叫作酸性介質。當氫離子濃度的數值為 10^{-10} ,而氫氧離子的濃度為 10^{-4} 時,就是碱性介質。我們可以利用上述的符號表示,例如:

pH=7——氫離子濃度為 10^{-7} ;

pH=5——氫離子濃度等於 10^{-5} ,依此類推。

表3〔3〕中所列，是氢离子浓度与氢氧离子浓度（克当量/升）不同的溶液的特性：

在不同溶液中氢离子及氢氧离子的浓度

表 3

溶 液 性 質	氢离子及氢氧离子 浓度（克当量/升）	pH 值	附 注
酸性溶液	1.0	0	氢离子(H ⁺)占優勢
	0.1	1	
	0.01	2	
	0.001	3	
	0.0001	4	
	0.00001	5	
	0.000001	6	
中性溶液	0.0000001	7	氢离子(H ⁺) 及氢氧 离子(OH ⁻)
碱性溶液	0.000001	8	氢氧离子(OH ⁻) 占優勢
	0.00001	9	
	0.0001	10	
	0.001	11	
	0.01	12	
	0.1	13	
	1.0	14	

在不同的土壤中，pH值是不同的。pH值与土壤种类的相互关系示于下表(图3)；为了相互比较起见，表中举出了七种不同种类的土壤，它们的pH值的变化是很大的。泥炭和沼泽土是酸性很强的土壤，其pH值=2.6~2.9。

pH值、土壤总碱度及生铁管金属的重量损失间的相互关系，列于表4。

根据表的分析，以及对于土壤腐蚀性的最新的研究〔4〕证明：pH值及总碱度不可能是检验腐蚀性的十分可靠的准绳。

在管道锈蚀过程中，十分现实的因素是土壤的湿度，因为锈蚀是在电解质的溶液中进行的，因而锈蚀的顺利进行，就需要一定的最小限度的水量。土壤中含有的Cl⁻及SO₄²⁻的离子影响着金属锈

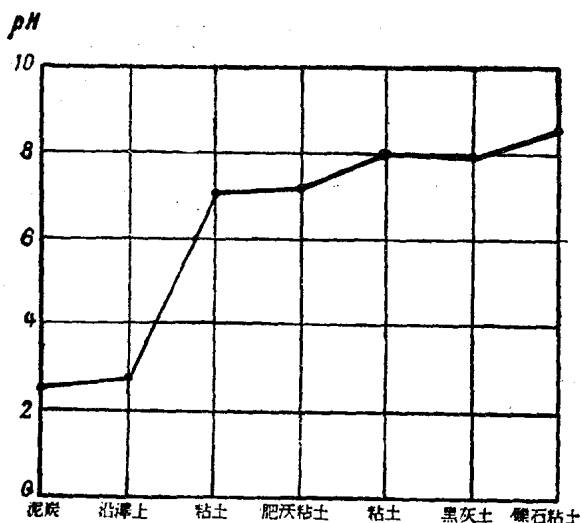


图 3 不同土壤的PH值

金屬的重量損失与pH 值的关系(九年間)

表 4

pH 值	總 碱 度	金屬重量損失(克/平方分米)
2.6	0.00	30.0
2.9	0.00	30.4
8.3	0.89	129.8
7.1	0.80	100.8
7.2	1.30	30.3
8.7	0.73	28.9

蝕过程,特別在潮湿的土壤(水分為25%或以上時)中,以及在每100克土壤中所含 Cl^- 及 SO_4^{2-} 的总量大于100毫克当量時,銹蝕就更为劇烈。

土壤中氯化物及硫酸鹽的含量低時(每100克土壤中少于1毫克当量時),則不能看出管道金屬因銹蝕所受之損傷[3]。

根据化学分析常常得出关于土壤腐蝕性的相互矛盾的数据。对貝斯麦鋼在不同土壤中經過十二年的實驗証實了这一点。

这些經驗数据列于表5中。