

# 地下金属管道在我国几类主要土壤中的 腐蚀状况及其与土壤性质的关系

孙慧珍 张道明 吴 洵

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

## 摘 要

地下金属管道在滨海盐土、盐化潮土及黄潮土等弱度淋溶型土壤中腐蚀严重, 10 年内即可出现多处穿孔, 最大孔蚀速率可达 1.5 毫米/年。穿孔多少主要与土壤的电阻率、含盐量和含氯量有关, 其中氯离子含量的影响最大。在砂姜土、棕壤、黄垆土、褐土、栗钙土等中度淋溶型土壤中腐蚀较轻, 一般 10 年内不会出现穿孔。强度淋溶的鳊血水稻土、红壤性、赤红壤性水稻土及赤红壤腐蚀最轻, 最大孔蚀速率 < 0.01 毫米/年。处于嫌气状态的南方沼泽性水稻土地区, 由于出现微生物腐蚀, 最大孔蚀速率可达 0.5 毫米/年。

**关键词** 地下管线, 腐蚀, 土壤性质

早在 50 年代, Denison 等(1957)研究了俄亥俄州 200 英里内五条平行管线的情况, 发现地下金属构件的腐蚀速度跟土壤类型有关<sup>[9]</sup>, 近年来有人提出通过土壤调查来判断土壤的腐蚀性, 并作了一些定性的推论<sup>[10]</sup>。叶炳(1968)曾对北方内陆盐土地区几个油田地下输油管道的腐蚀状况作过较为详细的研究<sup>[11]</sup>。随着国民经济的发展, 埋入地下的金属构件遍及全国各地, 腐蚀问题也越来越突出。系统地研究国内各类主要土壤中金属的腐蚀状况及其与土壤性质的关系, 从而预测各类土壤中金属管线的可能寿命, 并提出相应的防腐措施, 已成为腐蚀研究中的一个重要课题。本工作的目的就是在这方面做一些初步的探讨。

## 一、研究管线的基本情况和研究方法

**研究管线的基本情况:** 所研究的管线选择在没有杂散电流地区, 均为钢质输油管线, 埋入地下的时间在 10 年左右, 普通石油沥青涂层防腐。涂层质量普遍较差, 且各管道涂层绝缘电阻值与检漏结果均无明显差异。但各管道所处的土壤环境差异却很大。管线经过地区主要有弱度淋溶的各类盐土、潮土; 中度淋溶的砂姜土、棕壤、褐土、栗钙土; 强度淋溶的鳊血水稻土、红壤赤红壤及其水稻土, 还有沼泽性水稻土等。这些土壤性质各异, 对金属腐蚀速度的影响大不相同。

**研究方法:** 管线腐蚀状况以单位距离(20 公里、10 公里)内的穿孔数及最大孔蚀速率(毫米/年)来表示。电阻率用四极法测定<sup>[12]</sup>, 盐分、氯离子、有机质及水分等含量均按常规方法测定<sup>[13]</sup>, pH 用玻璃电极法<sup>[14]</sup>, 氧化还原电位用原位法<sup>[15]</sup>。

## 二、结 果

### (一) 不同类型土壤中金属管道的腐蚀状况

表 1 地下金属管道在几类土壤中的腐蚀状况

Table 1 Corrosion of underground metal pipelines in major soils of China

土壤类型 Soil type	所在地区 Location	测定序号 No. of determination	最大孔蚀速率 (毫米/年) Maximum rate of hole corrosion (mm/yr)	10年内每20公里 平均穿孔数 Average of perforated holes/20 km within 10 years
滨海盐土及滨海盐化土	河北、山东	I	1.50	3.6
		II	1.10	2.7
滨海盐土与内陆盐土交界或插花分布	河北、山东		0.88	3.5
内陆盐土(盐化潮土)	河北、山东、山西	I	0.70	1.0
		II	0.80	0.7
		III	0.79	10.9
黄潮土	河北、山东	I	0.72	0.6
		II	0.74	0.4
砂姜土、棕壤	山东		<0.10	0
黄炉土、褐土	山西		<0.03	0
栗钙土	河北与内蒙交界处		<0.01	0
鱗血水稻土	江苏		<0.01	0
红壤性水稻土	江西		<0.01	0
赤红壤性水稻土及赤红壤	广东		<0.01	0
沼泽性水稻土	广东		0.50	0

地下金属管道在各类土壤中的腐蚀状况见表 1。滨海盐土及滨海盐化土中不仅最大孔蚀速率极高,而且穿孔点多。滨海与内陆盐土插花交界地区虽然最大孔蚀速率稍低,但穿孔点仍很多。内陆盐土(盐化潮土)地区多数管线腐蚀较前两类土壤为轻。黄潮土地区孔蚀速率及穿孔数虽均有所降低,但这类地区中 10 年内发生穿孔的例子仍屡见不鲜。

砂姜土、棕壤、褐土、栗钙土等地区,地下管道未见 10 年内发生穿孔的,孔蚀速率也相应降低。苏南的鱗血水稻土及江西、广东的红壤赤红壤地区,孔蚀速率均低于 0.01 毫米/年,是各类土壤中最底的。在这样低的腐蚀速率下,当然也不会 10 年内出现穿孔。

南方的沼泽性水稻土是一类比较特殊的土壤。这类土壤中金属管道的腐蚀一般较为严重,最大孔蚀速率也达到 0.5 毫米/年。其腐蚀性有待进一步研究。

表 2 管线所在地区土壤的有关性质  
Table 2 Soil properties in areas with pipelines studied

土壤类型 Soil type	测定序号 No. of determination	电阻率(欧·米) Resistivity (Ω·m)		含盐量(%) Salt content(%)			氯离子含量(%) Cl <sup>-</sup> (%)		含水量(%) Moisture content(%)		pH 值	有机质(%) Organic matter(%) (Maximum value)	Eh(mV) (最低值) (Eh(mV) (Minimum value)
		最大值 Maximum	平均值 Average	最大值 Maximum	平均值 Average	0.1% 以上 测点所占% % of measuring sites with above 0.1%	最大值 Maximum	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average			
滨海盐土及 滨海盐化土	I 穿孔最集中地段 一般穿孔地段	25.1	9.2	2.243	0.908	75	1.285	0.542	4.6—23.6	14.7	7.0—10.2	0.77	358
		29.5	13.0	0.959	0.810	67	0.525	0.482	13.7			0.76	406
	III 穿孔最集中地段 一般穿孔地段	15.7 20.1	7.1 9.7	0.853 0.669	0.399 0.250	50 29	0.428 0.327	0.192 0.115	20.3—31.7	23.8 25.3	7.8—9.2	0.47 0.59	300 396
滨海盐土与内陆盐 土交界或插花分布	I II III	15.7	8.8	0.300	0.176	80	0.118	0.054	16.0—36.0	24.9	7.6—8.3	0.76	379
		13.8	10.7		0.728			0.249		20.5	7.6	0.37	509
		43.4 15.7	22.9 11.6	0.232 0.128	0.149 0.094	84 44	0.074 0.024	0.027 0.009	5.0—29.0 16.0—35.2	22.0 26.6	7.1—8.5 8.3—8.7	2.66 —	337 271
黄潮土	I II	33.9	25.0	0.072	0.049	0	0.019	0.007	14.0—27.5	19.8	8.4—8.9	0.97	389
		20.1	12.1	0.036	0.031	0	0.005	0.004	20.3—31.7	26.0	7.8—7.9	0.59	456
砂姜土、棕壤		138.2	36.9	0.054	0.032	0	0.012	0.003	4.9—30.6	19.1	7.7—8.6	0.69	113
黄炉土、褐土		88.0	53.4	0.067	0.040	0	0.004	0.001	7.8—23.8	15.8	8.5—8.8	—	367
栗钙土		176.0	96.5	0.034	0.027	0	0.002	<0.001	3.8—18.2	11.1	8.5—8.9	—	435
鲢血水稻土		19.1	15.7	0.026	0.020	0		—	25.2—30.0	27.1	7.2—7.5	—	—
红壤性水稻土		358.0	235.5		0.026	0		0.001	26.0—36.7	31.4	—	—	—
赤红壤性水稻 土及赤红壤		1570.8	390.4	0.050	0.010	0		痕迹	20.2—35.8	27.6	4.7—7.7	2.12	34
沼泽性水稻土		67.9	52.8	0.116	0.071	0	0.004	0.002		57.6	5.7—6.3	8.93	—128

## (二) 管线所在地区主要类型土壤的有关性质

表 2 表明, 腐蚀严重的各类盐土及黄潮土, 含盐量普遍较高, pH 也大都在 7.5 以上。特别是滨海盐土, 含盐量最高达 2.24%, 且盐分中腐蚀性强的  $\text{Cl}^-$  离子达 1.28%。加上这类地区土壤含水量大都较高, 因此电阻率普遍很低, 大部分测点在 20 欧·米以下, 特别是低于 10 欧·米的测点所占比例相当高。

腐蚀较轻的砂姜土、棕壤、黄垆土、褐土及栗钙土等, 含盐量普遍较低, 均在 0.1% 以下, 氯离子含量也很少。电阻率则明显高于前一类土壤, 不少测点接近甚至超过 100 欧·米, 且所有测点均没有低于 10 欧·米的。

腐蚀最轻的赭血水稻土及红壤性、赤红壤性水稻土, 土壤 pH 中性偏酸至酸性, 易溶盐含盐更少, 所有测点都在 0.05% 以下, 基本不含氯离子。因此除赭血水稻土电阻率稍低外, 其余电阻率都比前两类土壤高得多, 最高可达 1571 欧·米。

以上这几类土壤的腐蚀性虽明显不同, 但其含水量、有机质含量及 Eh 值等没有明显差异。

南方沼泽性水稻土的有机质、含水量及氧化还原电位 Eh, 与以上几类土壤显著不同。有机质接近 9%, 含水量高达 57.6%, Eh 低至  $-128\text{mV}$ 。属于有机质丰富的嫌气性土壤。

## 三、讨 论

### (一) 腐蚀状况与土壤类型

从表 1、表 2 的结果可以看出, 不同类型的土壤, 金属的腐蚀状况是很不相同的。从土壤发生的化学过程看<sup>[2,4]</sup>, 腐蚀严重的各类盐土及黄潮土, 均为弱度淋溶型盐基过饱和土壤, 盐基离子很少淋失, 因此可溶盐含量高, 电阻率低, pH 也多呈碱性。腐蚀较轻的砂姜土、棕壤等, 为中度淋溶型土壤, 易溶性盐类已从剖面中淋失, 因此含盐量降低, 电阻率提高。腐蚀最轻的红壤赤红壤等, 则属于强度淋溶型盐基不饱和土壤, 其所在地区雨量丰沛, 淋溶作用十分强烈, 硅和盐基大量淋失, pH 偏酸至酸性, 土壤中基本不含或含极少量易溶性盐类, 因此电阻率都很高。由此看来, 从大范围来讲, 土壤发生类型有可能用来粗略估计地下金属的腐蚀状况。

### (二) 腐蚀状况与土壤性质

土壤性质不同, 金属的腐蚀状况也不同。从表 2 的结果看, 与腐蚀关系较密切的主要是电阻率、含盐量与氯离子含量。因此我们从不同土类 58 个测点的 15 组平均数值来讨论它们之间的关系。

从图 1 可以看出, 电阻率与穿孔数/10 公里之间不存在简单的直线关系。表面看来, 各测点的离散性较大, 但总的趋势还是很明显的, 大体上是电阻率越低, 穿孔数愈多。出现一个以上穿孔点的地段, 电阻率均在 10 欧·米以下, 随着电阻率的增大, 穿孔点数迅速下降。电阻率上升至 10~25 欧·米时, 穿孔点数极少超过一个, 且在这一电阻率范围内, 曲线接近水平状态。电阻率超过 25 欧·米的地段, 10 年内未见穿孔点。这一结果与通常以电阻率来划分的腐蚀等级大体上是一致的<sup>[7]</sup>。

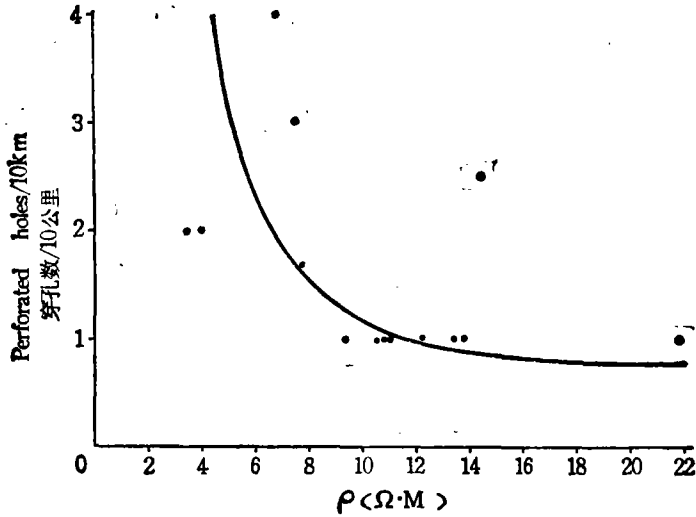


图1 土壤电阻率和穿孔数 /10 公里之间的关系

Fig. 1 Relationship between the soil resistivity and the number of perforated holes/10 km

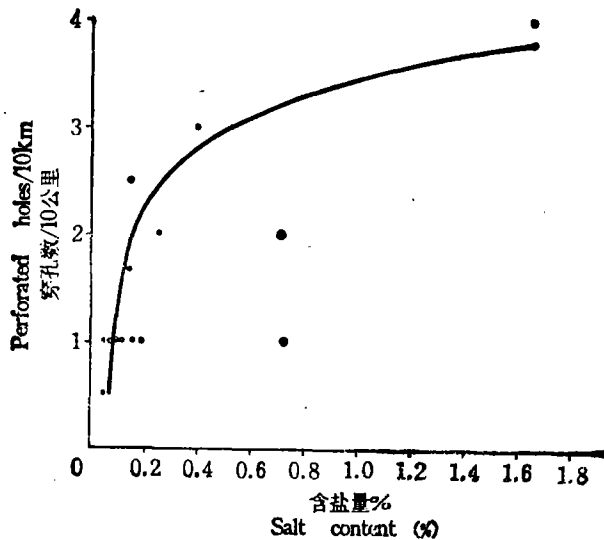


图2 含盐量与穿孔数 /10 公里之间的关系

Fig. 2 Relationship between salt content and the number of perforated holes/10 km

图2所示土壤含盐量与穿孔数/10公里间关系的趋势,与电阻率者相反,但各测点的离散性较小。出现穿孔点的最小含盐量为0.05%,小于0.05%的地段,未见穿孔点。随着含盐量的上升,穿孔点增多,但并不存在直线相关,含盐量增加到一定数值后,穿孔点数不再随含盐量而明显增加,这可能与重盐土中水分含量较高有关。

氯离子含量对穿孔数有很大影响(图3),虽然其总趋势跟含盐量相似,但离散性更小。出现穿孔点的最小含  $Cl^-$  量为0.008%,随着  $Cl^-$  离子含量增加,穿孔数也增加,但不同的含氯量范围,增加速度相差很大。

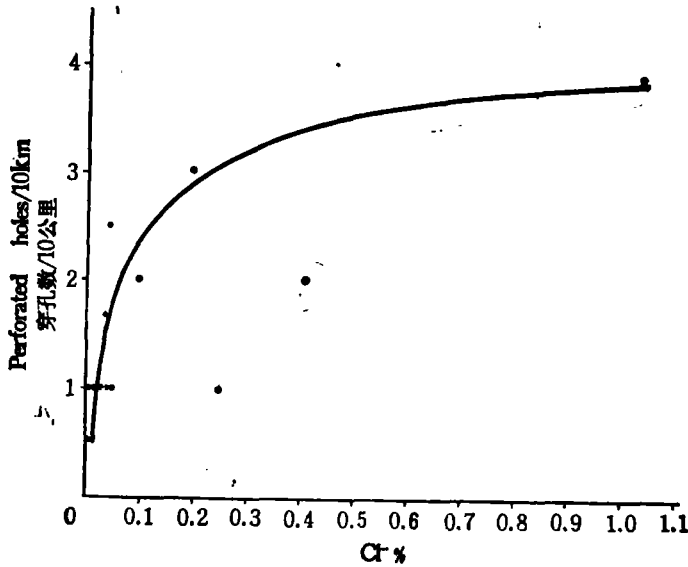


图3 氯离子含量与穿孔数/10公里之间的关系

Fig. 3 Relationship between the chloride ion content and the number of perforated holes/10 km

从图1、图2、图3中测点离散性的差异,可以看出含氯量与穿孔数的关系最密切,其次为含盐量,电阻率则较差。这一结果应该是可以理解的,因为氯离子是对钢铁腐蚀性特强的一个离子,因此其含量对腐蚀速度的影响必然是很大的。另外三个图中都有少数测点离散性特别大,这可能与个别地段涂层质量有关。因为这些管线的涂层质量虽然大体差不多且普遍较差,但也有某些地段特别差而另一些地段则明显较好,这样就可能出现某些偏离,明确的结论还有待于进一步的研究。

至于土壤 pH 对地下管道腐蚀的影响,从表2看,出现穿孔点的地区,土壤 pH 均在7.0以上,而在 pH7~10 之间,穿孔数与土壤 pH 不存在明确的相关,这说明,在此范围内,土壤 pH 已不是影响地下钢铁腐蚀的一个因素。这一结果,与全国土壤腐蚀试验网钢铁试件20—30年埋藏结果完全一致(土壤所腐蚀组资料)。

从总体讲,土壤含水量对金属腐蚀的影响是很大的,含水量极低或水分饱和时,腐蚀速度很小甚至可以忽略<sup>[9]</sup>。但本工作中绝大多数测点含水量在10—30%之间,均处于容易产生腐蚀的范围内,因此含水量与腐蚀状况的关系不明显。

### (三) 各类土壤中金属所属的腐蚀类型

虽然淋溶程度不同的三类土壤中的金属腐蚀均属电化学腐蚀,但由于其中微电池腐蚀与宏电池腐蚀所起的作用不同,往往会出现一些难以解释的现象<sup>[9]</sup>。在表1、表2中就存在一些异常的数值,如含盐及含氯量均不算太高的内陆盐土地区3#管线,穿孔点极多,甚至超过了滨海盐土区。这一情况可能是由于强烈的氧浓差宏腐蚀电池造成的,因为埋管地段为一枯河套,土壤含水量高且纵向及季节性变化均很大,管线长期处于干湿交替的环境中,因而引起腐蚀加速,穿孔点增多。

南方沼泽性水稻土地区盐分及氯离子含量都很低,电阻率也较高,孔蚀速率却达到0.5毫米/年。用一般的规律似乎不好解释。但该类土壤极高的含水量、有机质含量,很低

的氧化还原电位及 pH 接近中性,说明这类土壤极有利于硫酸盐还原菌的生长,因此这类土壤中金属的腐蚀应该主要是由微生物引起,达到这样的速度并不奇怪,腐蚀产物的鉴定结果也证实了这一点<sup>[6]</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] 叶炳等, 1985: 石油管道腐蚀与防护的初步研究。石油腐蚀与防护学术论文选集, 第2集, 18—31页, 石油出版社。
- [2] 孙慧珍等, 1983: 土壤电化学性质的研究 VIII. 土壤电导的直流四极法原位测定。土壤学报, 第20卷1期, 69—78页。
- [3] 孙慧珍等, 1990: 土壤勘测分析方法。材料土壤腐蚀试验方法, 140—157页, 科学出版社。
- [4] 仓东卿, 1980: 玻璃电极及其应用。电化学方法及其在土壤研究中的应用。221—270页, 科学出版社。
- [5] 刘志光, 1980: 氧化还原电位及其测定。电化学方法及其在土壤研究中的应用。408—432页, 科学出版社。
- [6] 于天仁, 1987: 土壤酸碱性。中国土壤, 433—443页, 科学出版社。
- [7] 吴洵, 1981: 土壤腐蚀性及其评价的研究概况。土壤学进展, 第4期, 1—10页。
- [8] 孙慧珍, 1989: 地下金属构件腐蚀因素的研究。土壤学进展, 第6期, 1—7页。
- [9] Romanoff, M., 1957: Underground Corrosion. p. 149—150. NBS Cir. 579. U. S. Government Printing office.
- [10] Escalante, E., 1981: Underground Corrosion. ASTM STP 741, p. 2—21. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

## A STUDY ON CORROSION OF UNDERGROUND PIPELINES AND ITS RELATION TO SOIL PROPERTIES IN MAJOR SOILS OF CHINA

Sun Huizhen, Zhang Daoming and Wu Jun  
(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)

### Summary

Underground metal pipelines are severely corroded in weakly leached soils such as coastal solonchak, salinized fluvo-aquic soil and yellow fluvo-aquic soil. Within 10 years they can be perforated at a number of points, with a maximum rate of hole corrosion of 1.5 mm/yr. The number of perforated holes is associated with such factors as the resistivity, salt content, and chloride content of soil, of which the chloride content is the most important. In moderately leached soils such as Shajiang soil, brown earth, dark loessial soil, cinnamon soil and castanozam, the pipelines are corroded less severely, and commonly no perforation will take place within 10 years; while in strongly leached soils such as paddy soils with Fe-humic coatings, paddy soils developed on red earth and lateritic red earth, as well as lateritic red earths, they are corroded most slightly, with a maximum rate of hole corrosion of 0.01 mm/yr. Yet, in areas of boggy paddy soil under anaerobic conditions in South China, the maximum rate of hole corrosion may be up to 0.5 mm/yr, due to a corrosion by microbes.

**Key words** Underground, Pipelines, Soil Properties, Corrosion