

管道和油罐的 阴极防护

苏联 B·A·普里都拉 著

石油工业出版社

管道和油罐的 阴极防护

苏联 B·A·普里都拉著

李金洋 王成义译 李奉孝校订

石油工业出版社

內 容 提 要

本書敘述了防止地下設備腐蝕的新方法——阴极防护法。

書中介紹了阴极防护的勘查工作和設計方面的問題，講述了阴极防护的应用条件。本書也着重地講述了阴极防护站功率計算的詳細步驟，根据这些計算步驟就可以直接进行实际計算。

本書可供設計和建造阴极防护的工程技術員参考，也可作高等學校師生的參考書。

В. А. ПРИТУЛА

КАТОДНАЯ ЗАЩИТА

ТРУБОПРОВОДОВ И РЕЗЕРВУАРОВ

根据苏联国立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1950年列宁格勒版翻譯

統一書号：15037·359

管道和油罐的阴极防护

李 金 洋 王 成 义 譯

李 奉 孝 校訂

*

石油工业出版社出版 (社址：北京六鋪炕石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可証出字第088號

北京市印刷一厂排印 新华書店发行

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印張5 $\frac{1}{2}$ * 123千字 * 印1—900册

1958年3月北京第1版第1次印刷

定价(10)1.30元

目 录

緒論

第 一 章	陰極防护的基本原理	4
第 二 章	勘查工作	12
第 三 章	設計陰極防护的原始資料	28
第 四 章	管段的陰極防护計算	43
第 五 章	陽極接地	59
第 六 章	陰極防护的电源	78
第 七 章	陰極防护的設置	101
第 八 章	用自动陽極来防护	130
第 九 章	油庫的陰極防护	141
第 十 章	陰極防护站的建筑	149
第十一章	陰極防护的管理	150
第十二章	陰極防护的經濟	153
参考文献		159

緒 論

在本書中將研究管綫和儲罐的地下腐蝕及防腐的方法。這種腐蝕是屬於危害性最大的一種腐蝕。它不僅能引起金屬的損耗，而且也能引起貴重石油產品或氣體的大量損失。由於這些石油產品都是可燃性的，因此當這些產品從被腐蝕穿了的方處漏出時，常有發生火災或爆炸的危險。

目前，石油和氣體的地下管綫網的總長度已超過 500 000 公里[14]。假如我們假設這些管綫的平均直徑等於 10''，那麼便可算出土壤中埋入了約為 2000 萬噸金屬。也有不少金屬以水管形式埋於地下。如果再算上其它的地下金屬設備（儲罐、電綫、支柱等），那麼受到腐蝕的金屬總量就大大地超過 4000 萬噸。如果每年要腐蝕掉全部地下設備的 3%，那麼每年金屬的損失量便要超過 100 萬噸了。

在發生地下腐蝕時，凹眼的生成是有很大的危害的，因為它能使管壁產生透孔。通常這種透孔在管綫敷設後的第三年即出現。但是也有這樣的情形：厚度為 8 公厘的管綫，在敷設後僅過了一年就產生最初的透孔。如果不採取應有的措施，那麼透孔的數目便要不斷地增加。正如統計研究所指出的，透孔數目可以粗略地用下式來表示：

$$R = eT^f, \quad (1)$$

式中 R ——透孔的總數；

T ——由出現第一個透孔開始，管綫的使用年數；

e ——由出現透孔時起，一年內所產生的透孔數；

f ——曲綫指數，一般在 1.5—3 之間（圖 1）。

今舉出幾個例子。

某一直徑為 10'' 壁厚為 9.2 公厘的大型油管，在敷設後三年便出現了第一個透孔；再過三年透孔已達 200 左右。在敷管時管

面上已塗了鉛丹，根据管綫的情况需要采取一些紧急补救办法，来防止在某些管段上發生腐蝕，結果在其上塗了一層瀝青防腐層。然而后来在塗防腐層和在未塗防腐層的管段上仍有透孔出現，并且經過一段時間后，在塗有新防腐層的管段上也出現了透孔。

另一种情况：敷設时塗有瀝青防腐層的水管綫，使用了八年以后，由于腐蝕而产生了 400 多个透孔。透孔严重地破坏了管綫的工作，以致于必需敷設新的管綫。

另一个直徑为 20'' 的水管，虽然其壁厚为 16 公厘，但使用了 15 年，平均每年产生透孔 80 个左右。因此要求采取紧急措施来防止其进一步的损坏。

有一个巨大的城市水道的水管，其管壁厚度为 12 公厘，当使用到第八年时，即出現深达 8 公厘的凹眼。

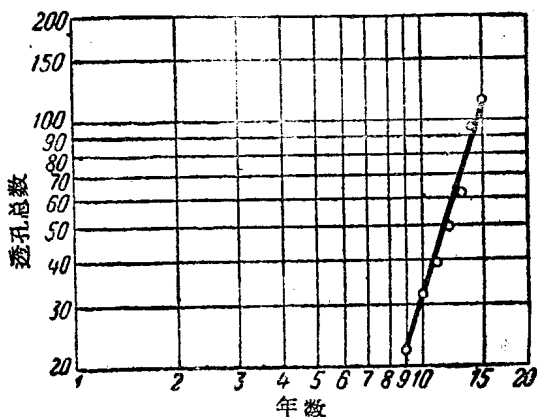


圖 1 透孔的曲綫(相当于 $R=0.0297T^{0.02}$)

在不久以前，防腐的唯一方法就是在地下設備的表面上塗防腐層。近来陰極防护法已得到了广泛的使用。此法可以加强新管綫和旧管綫上的防腐層之防护作用，并且在某些情况下可以代替防腐層。陰極防护在实际上应用的可能性早在 1824 年便有了記載。不过对于地下管綫來說，此法仅在 1923—1928 年才开始应

用。在1939年有542个陰極防护站。至1940年增加到750，迄今已超过1000个了。

由于陰極防护法之效率高、簡單和价廉，因而迅速地获得了广泛的推广。正确地应用陰極防护，不仅能够防止腐蝕，并且也能使得管綫上已經开始了的破坏过程停止。

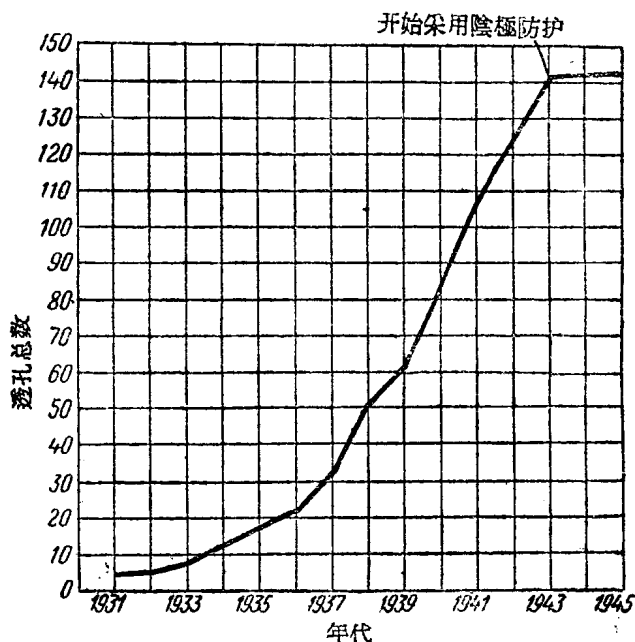


圖 2 采用陰極防护以前和以后，在鋼制城市用气管上透孔数目的增加情况

今將陰極防护法对城市用支管綫的防护效果示于圖 2。

談到陰極防护的效果时，必須指出，当正确采用陰極防护时，沒有一次是对管綫的防护無益的。价廉、簡單和使用上的方便，使得这种方法在許多情况下已成为地下防腐的不可缺少的方法。

第一章 陰極防护的基本原理

腐蝕概念的定義 金屬由于外界介質的作用而在其表面發生的破壞過程，稱為金屬的腐蝕。

由于介質的性質的不同，腐蝕可分為下列三種。

1) 在非電解質中的腐蝕：

(a) 于高溫下，金屬在氣體或蒸汽中的腐蝕(氣體腐蝕)；

(б) 在液態非電解質(石油產品、酒精等)中的腐蝕。

2) 在電解質中的腐蝕：

(a) 在空氣中所發生的大氣腐蝕(因空氣中含有各種各樣的氣體和蒸汽)；

(б) 在各種水溶液中發生的水腐蝕，包括海水和河水；

(в) 在化學試劑(酸、鹼、鹽等)的高濃度溶液中發生的化學腐蝕；

(г) 在各種不同性質和組成的土壤中發生的土壤腐蝕。

3) 雜散電流引起的腐蝕：

土壤腐蝕和雜散電流引起的腐蝕總稱為“地下腐蝕”。

本書就是要研究金屬管綫和油罐的地下腐蝕之電防護法。

腐蝕破壞的形式 因腐蝕而引起的金屬破壞，可分為下列各種形式(圖3)。

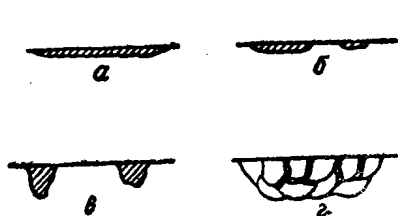


圖3 腐蝕的各種形式

均勻腐蝕或全面腐蝕

就是金屬的整個表面或者幾乎是整個表面的腐蝕過程。

在大多數情況下，其腐蝕之深度較淺(見圖3, a)。

局部腐蝕 所謂局部腐蝕

就是金屬被腐蝕時在其表面

上產生一個個的小斑點(見圖3, б)，其腐蝕深度一般也是不深

的。

点腐蚀或凹眼腐蚀就是破坏面仅仅集中在較小的面积（通常为几公分）上。虽然腐蚀面积不大，但是在發生这种腐蚀时，自表面向構件深处腐蚀之速度是最大的。在地下金屬设备上常常發生此种腐蚀，同时对于輸送或儲存石油、汽油、水、气体等之金屬管綫或油罐來說，也是一种危害性特別大的腐蚀。

选择性腐蚀就是合金中某一組成首先遭到破坏的腐蚀（圖 3, 6）。

晶格間的腐蚀就是在金屬表面上沿金屬各晶体的稜面所發生的腐蚀作用（見圖 3, 1）。

腐蚀的測量 均匀和局部腐蚀是以每小时、每天或每年中每 1 公分² 構件表面上所損失的金屬的克数（克/公分²）来衡量。因此对于局部腐蚀來說，通常仅須計算出已被腐蚀的面积即可。

腐蚀时若有凹眼生成，則其腐蚀强度可由凹眼的深度来决定，以公厘/年表之。

發生凹眼腐蚀时有利的因素，是随着時間的进展，凹眼变深的速度会漸漸減慢。在圖 4 上示出了在各种土壤中产生凹眼之速度曲綫。由圖上可看出，产生凹眼之速度曲綫的形状为一逐漸平行于 x 軸的拋物綫，即凹眼变深的速度随時間的进展而減慢。

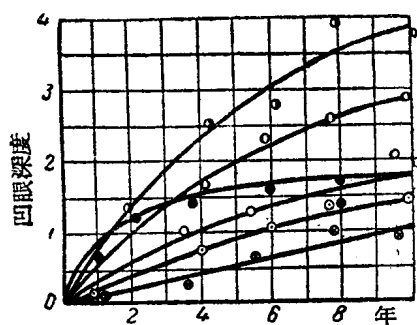


圖 4 各種土壤中凹眼生成速度的曲綫

土壤腐蚀的本質 土壤腐蚀过程是由于土壤中的电解質同埋在地下的金屬互相作用而發生的。

根据涅尔斯特原理，任何一种金屬浸在电解質溶液中时，金屬晶格中的陽离子便有跑入溶液中去之趋势。这种趋势被称为溶解压 P 。金屬的溶解压的作用方向和溶液的滲透压 P 正好相反。

因此可产生三种这两个力互相作用的情况。

当 P 大于 p ，陽离子便由金屬跑入溶液中，但停留在金屬表面的附近，这是由于金屬上的多余陰离子之靜电引力之作用結果。因而金屬表面由于有剩余的負荷帶有負电，而靠近金屬的那部分溶液則由于有陽离子跑入而帶有正电(圖 5, a)。

如果 P 小于 p ，則溶液中的陽离子便会跑入金屬的表面，因而使金屬表面帶正电。为了保持电平衡，溶液中之陰离子必須集聚到金屬的表面上来(圖 5, b)。

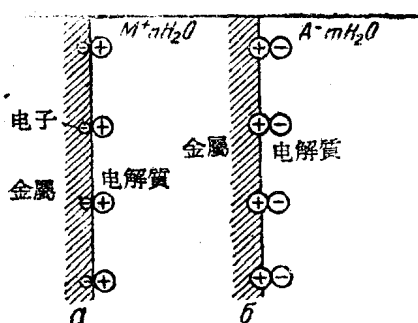


圖 5 在金屬表面附近双电層發生的情况

a —金屬离子由金屬表面跑入溶液；

b —金屬离子从溶液跑到金屬表面。

最后，在理論上还可能有这样的情况，即 P 等于 p ；此时离子將不轉移，金屬表面上不产生电荷。两个相反电荷的电層間有显著的互相作用，因此若不受外界因素的破坏，那么所形成的电系統可以保持稳定。这时金屬不發生任何明显的腐蝕。如果双电層遭到破坏，例如，設

法減少进入溶液中的自由离子，那么金屬將繼續腐蝕，因为金屬表面上游离的电子沿構件开始向帶过剩陽电荷的表面移动。这样在金屬表面上和電解質中便發生电流循环，即所謂電池或局部電池。局部電池如圖 6 所示。金屬表面上在循环电路中双电層电位的改变是突变的，其特性如圖 7 所示。

电流自其上移向電解質中去的那部分金屬表面称为陽極，电流由電解質移向金屬上的那部分金屬表面称为陰極。实际上金屬只在陽極區遭到危險破坏，在陰極区内只發生腐蝕产物的积聚，但不使金屬破坏。放在電解質中的金屬表面被大量的此种局部電池遮盖，同时由于过程进行的結果，其大小和位置都不固定。

發生电位差的原因 同一金屬的个别部分間的电位差，是由

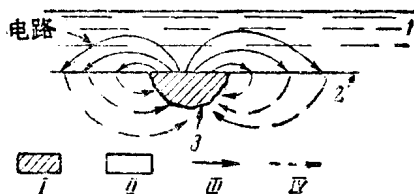


圖 6 局部電池的簡圖

1—電解質；2—金屬表面；3—金屬中的外來物；I—陽極；II—陰極；III—電解質中的電流運動；IV—金屬中電流的運動。

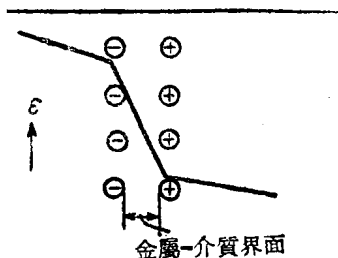


圖 7 金屬表面處電位的突變

于各种不同的因素的影响而产生的。如电位差可能在金属上有机机械应力和无机机械应力的部分間發生。

由于电解质的组成和浓度的不同，也能造成电位差。铁渣和腐蚀产物（铁锈）也能和纯金属間形成电位差。具有不同充气度（即被空气饱和度）的土壤段在金属表面上能造成相当大的电位差。例如，泥质和沙质土壤能使空气以不同的量渗透至埋在其中的管綫表面上，这也就在不同管段間造成了局部電池。

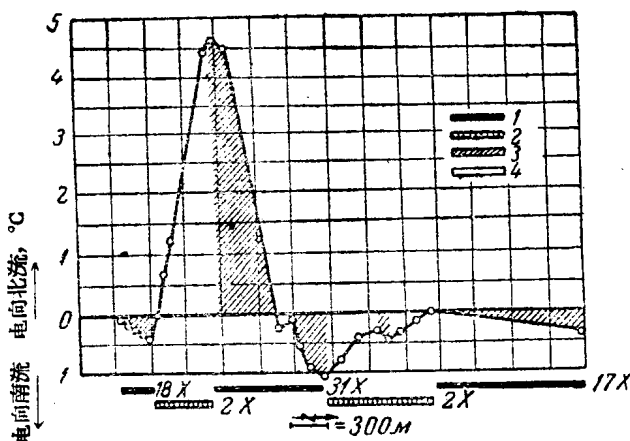


圖 8 電流放電和破口區的关系

1—有大量破口的地段；2—几乎沒有破口的地段；數字系指破口數量；
3—管端電流放電；4—管端電流收集。

圖 8 可作為一個例子來說明，沿管綫上收集電流的大的陰極段和放電的大的陽極段的分佈，便會引起放電陽極段的金屬腐

蝕。在圖下面所引出的數字是說明各段上的腐蝕量。

極化和去極化作用 很多研究指出，局部電池中的最初電位差幾乎經常減低得很快。這是由於局部電池系統中電流流動時發生極化而引起的。這種現象在陽極表面和陰極表面的附近都會發生，前者稱為陽極極化，後者稱為陰極極化。

陽極極化是由於在陽極附近被溶金屬之濃度的增加而發生的，於是使陽極的電位向正的方向移動。

陰極極化是使陰極電位向負方向移動。陰極極化是由於從陽極來的電子的積聚和生成的氫排除得緩慢的結果而發生的。

為了維持腐蝕過程必須去極化，即極化作用的中和過程。去極化作用可按兩個基本方向發生：生成的氫或是被加入的氧所氧化，或呈氣體狀從表面上分出。在不同的極化情況下，局部電池的陽極和陰極電位的變化列於圖 9，由圖可以看出，起主導作用的是陰極極化作用，這種極化能使局部電池的電位差發生最顯著的改變。

陰極防護的基本原理 研究上述各種腐蝕過程的結果，發明了陰極防護法。這個方法的基本原理就是：利用直流電源使被防護設備的全部地下表面成為陰極，而此電路中的陽極則為特殊的接地。陰極防護電路的形式如圖 10 所示。直流電從電源的陽極 1，經過導線 2，而進入陽極接地 3，再從接地 3 轉入土壤中。電流在土壤中經過絕緣層 4 的被破壞了的地方而流入被防護的管

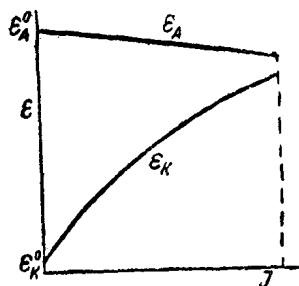


圖 9 因極化作用而使陽極和陰極的電位發生的變化

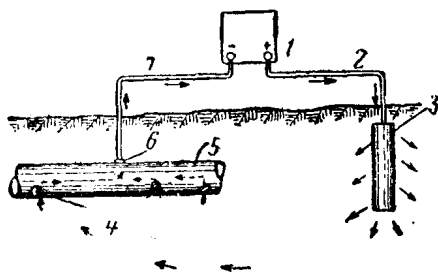


圖 10 陰極防護的原理圖

綫 5 中，然后沿管綫向匯流点 6 的方向流去，由此电流沿着导綫 7 而流回电源的陰極。这样，地下的金屬设备的整个表面便成了陰極，因而便能防止腐蝕。但是陽極接地却要受到强烈的破坏，而陽極接地通常是由廢棄的金屬(旧鋼管、旧鋼軌等)所制成。

陰極防护的电路如圖 11 所示。直流电源 I 在端鈕上給出防护一定管段时所必須的电压 E 伏特。电流从正極沿着电阻为 R_1 的导綫而流入陽極接地，陽極接地的电阻为 R_2 ，包括陽極-土壤的过渡电阻。随后經過电阻 R_3 ， R_3 是土壤和导管間的过渡电阻。在陽極接地和导管間的土壤的电阻是可以不予考虑的，因为它的量很小。导管的防腐絕緣層愈好，則过渡电阻 R_3 便愈大，因为防腐絕緣層通常是由介电質制成的。用 R_4 表示管子本身的电阻。电阻 R_5 是从匯流点到电源的一段导綫的电阻。通常把連接电源正電極与接地的导綫的电阻 (R_1) 和連接电源負電極与匯流点的导綫的电阻 (R_5) 合併起来用 R_1 表示它們的总电阻，并把 R_4 包括在 R_3 里面。

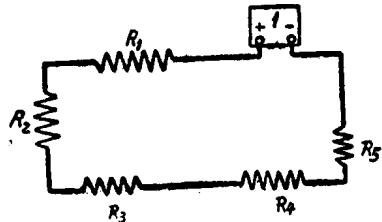


圖 11 陰極防护的电路圖

整个系統的总电阻等于各分电阻之和，因为在电路中各电阻是串联的。

对陰極防护电路中各个电阻大小的大約估計如表 1 所示，在表 1 中指出，在两个典型陰極防护裝置中，总电阻沿电路各段的分配情况。从表 1 中可以看出，接地的电阻为主要的电阻，等于該系統总电阻的 60—80%。联接导綫上的电阻为总电阻的 10—20%，而消耗在防护本身的电阻仅为很小的一部分，在大多数情况下共为总电阻的 5—10%。

在电路中的电能損失与电阻成正比，电能主要是損失在接地上。

防护时的电能損失主要决定于防护層的状态，即防护層的导电性，其导电性为电阻的倒数：

在陰極防护电路中能量消耗的大約分佈情况 表 1

能量消耗的形式	第 一 站 0.8 欧姆, 32 伏特		第 二 站 2.7 欧姆, 108 伏特	
	欧 姆	%	欧 姆	%
在連接上的电能損失	0.1	12.5	0.5	18.5
在接地中的电能損失	0.5	62.5	2.0	74.0
用在防护导管上的电能	0.2	25.0	0.2	7.5
共 計	0.8	100.0	2.7	100.0

$$g = \frac{1}{\rho}. \quad (2)$$

导电性的主要單位为西門司 (СИМЕНС) (c); 其較小的單位为毫西門司和微西門司, 这三个單位間的关系如下:

西門司 (c) = 1000 毫西門司 (mc) = 1000 000 微西門司 (μc).

在不久以前西門司曾被称为“姆欧”并相应地采用毫姆欧和微姆欧兩單位。

防护層的导电性直接影响着防护管段的長度。当防护層处于很好的状态时, 共須 0.05 仟瓦的功率便能防护长度为 15 公里的导管, 而当防护層被严重破坏时, 则需要十倍的功率, 即 0.5 仟瓦来防护長度总共为 1.7 公里的导管。

利用陰極防护也能够防护完全沒有防护層的导管; 但是在这种情况下, 各防护管段的長度当直徑为 8—10", 等于 300—400 公尺。

防护層的导电性对于防护时所需的功率的影响見表 2, 从表 2 中可看出, 当防护管段的長度相同时, 随着防护層导电性的增加, 其所需功率的增加有多么快。

除导管外, 利用陰極防护还能够防护任何地下金屬設備, 例如油罐、金屬支柱、电綫桿、电纜等。但是必須記住一点, 陰極防护仅仅是对于由鋼制成的設備來說, 是足够可靠和經過驗定的

陰極防护时防护層的导电性对电能消耗的影响 表 2

防护層的导电性 微姆欧公尺 ²	电流强度, 安培	电压, 伏特	功率, 瓦特
10	0.5	0.8	0.4
100	1.8	2.15	3.9
1 000	8.70	9.20	80.0
10 000	102.8	105.0	10 800.0

防护方法,对于其它金屬來說,陰極防护的应用便要复杂得多。例如,若想对于鉛制地下设备进行可靠的防护是大为困难的,其原因是鉛的被腐蝕不仅只在陽極表面上發生,而且也在陰極上發生,显然,这是由于在腐蝕的主要过程中陰極上所生成的碱性薄膜对于鉛起腐蝕作用的緣故。

另一方面,当利用陰極防护来防护地下電纜时,則在很多情况下,对于電話綫和电报綫會發生干扰。近来,陰極防护已經最广泛地用来防护大型管路和市内导管及電纜,并且較少的用来防护油罐的底部。用陰極防护来防护其它的鋼制地下設備是比較少的。

必須指出一点,就是陰極防护也可以用来防护安設在海中、河水中、湖中等的設備。

进行陰極防护必須解决下列諸問題:

- 1)要进行勘查以便从事設計;
- 2)設計陰極防护电站;
- 3)建造陰極防护电站;
- 4)沿导管的綫路进行电測量以便調节电站;
- 5)陰極防护电站經營的組織。

虽然在个别的情况下,不进行詳細的勘查或設計也能够很有成效地进行导管的防护,但是这样来应用陰極防护不仅会降低防护的可靠性和經濟性,而且有时甚至能使設備上的个别点加速腐

蝕。因此在防護時應該嚴格地遵守上述五個工作步驟。

第二章 勘查工作

探明需要進行陰極防護的管段

為了探明需要補充防護的管段，土壤腐蝕性的測定可根據對埋在地下很久的設備的檢查（這樣可得到確實的結果），或用其他的特殊方法來進行。

現在通常把土壤的腐蝕性分為五等，如表 3 所示。表 3 的數字表明在直徑為 12''、壁厚為 8—10 公厘沒有任何防護絕緣的導管上，出現第一個透孔的大概期限。

土壤腐蝕性的等級 表 3

腐蝕程度	預計透孔出現的期限
低 的	25 年以上
正 常 的	10—25 年
稍 高 的	5—10 年
高 的	3—5 年
很 高 的	1—3 年

導管的檢查 為了確定導管的技术狀況，導管的檢查應該按照一定條件來進行，以便作出足夠正確的估價。這些條件如下。

1. 盡可能在較大的導管面積上進行檢查。更希望檢查整個導管。但這樣需要進行大量挖掘工作，因此在大多數情況下，只好滿足於在個別地區內用挖坑道的方法來檢查導管，坑道間距 50—1000 公尺。當導管的直徑很大時，坑道的間距可增大到 2000 公尺。

2. 坑道之間距應該相同。

3. 除了要挖掘間距相等的主要坑道之外，在綫路中最特殊的地点，可挖掘附加坑道，使導管露出來。這些特殊地点是：池沼地方、濕度變化厉害的地方、堆卸場、接近電氣鐵道的地段等。但希望附加坑道的總數不超過主要坑道數目的 10%。

4. 在每個坑道中檢查的管子面積應相等。檢查 1 公尺² 表面

积就足够了。检查应沿着管子的整个圆周进行。

5. 导管检查结果的记录和导管状况的评价应根据一定的规章进行，规章中包括金属和防护层损伤的等级[13]。

当不能检查正在使用着的导管时，或当设计新的导管时，土壤的腐蚀性可用特殊的方法测定。特殊的方法共计二十多种。目前采用的主要有三种方法：1) 用四电极设备测定电阻率；2) 用两电极设备测定电阻率；3) 管-罐法。

第一个方法是借助四电极设备 $AMNB$ (圖12)[7] 测定土壤的所谓视电阻。所有四个电极都插入土壤中若干公分的深处，并都插在一条直线上。电流由直流电池 3 经过外电极 A 和 B 流入土壤，电流强度用记录仪器 1 测量。借助电位计和內电极 M 和 N ，测定在土壤中形成的电场中二点之间的电位差。然后用专门的公式求得土壤的视电阻。

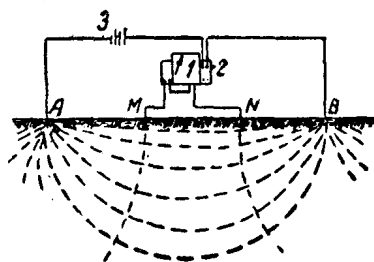


圖 12 用四电极设备法测定土壤的视电阻的示意图
1—毫安计；2—电位计；3—电池。

用两电极设备测定电阻率时[12]，可以直接测定沿导管线路上导管理藏深处的土壤的电阻。测量按圖13进行。

两个尺寸如圖13所示带有铁帽的楔木棒，经电压为3伏特的直流电源(干电池)1及毫安计2连接在一起。陰極棒的铁端具有比较大的表面，以减小极化的影响。

为了在选定的点上进行测量，用手工鑽孔工具鑽两个孔，一直鑽到导管埋藏的深处。在测量之前往两个孔中注50公分³蒸馏水或经过煮沸的水。然后把棒子插入孔中，一直插到使铁端与土壤完全接触。

用此法测定时，电阻的数值经常用欧姆·公分表示。用这个因次表示的数字比用欧姆·公尺表示的数字大100倍。即1欧姆·公尺=100欧姆·公分。