
长途通信电缆的防蚀

М. И. 米哈依洛夫

苏联 В. Н. 阿庫廖諾克 著

А. Ф. 馬尔欽科

人民邮电出版社

內 容 提 要

本書不僅從物理化學概念上對電纜腐蝕的類型，產生腐蝕的原因進行了論述，而且還舉出了有關的計算公式，防蝕辦法和電氣測量等。雖然本書重點是講述長途電纜的防蝕，但對從事市話電纜，電力電纜及其它地下金屬管道防蝕工作的工程技術人員來說也是一本有用的參考書籍。

М. И. МИХАЙЛОВ, В. Н. АКУЛЧЕНКО,

А. Ф. МАРЧЕНКО

ЗАЩИТА МЕЖДУГОРОДНЫХ
КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ОТ КОРРОЗИИ
СВЯЗЬКАБЕЛ

長 途 通 信 電 纜 的 防 蝕

著 者:	蘇 聯	М. И. 米 哈 依 洛 夫	В. Н. 阿 庫 廖 諾 克	А. Ф. 馬 爾 欽 科
譯 者:	曾 德 汲	區 惟 煦	高 攸 綱	李 國 瑞
出 版 者:	人 民 郵 電 出 版 社			
	北京東四區 6 條胡同 13 號			
印 刷 者:	人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠			
	南京太平路戶部街 15 號			
發 行 者:	新 華 書 店			

1957 年 4 月南京第一版第一次印刷 1—2,267 冊
850×1168 1/32 68 頁印張 4 $\frac{8}{32}$ 印刷字數 102 千字 定價(10)0.80 元
北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號
統一書號: 15045·總 593-有 103

序 言

在苏联电信事業中，地下电纜綫路佔有重要的地位。長途电纜干綫尤其是得到了很大的發展。在苏联共產党第19次代表大会对于發展苏联的第五个五年計劃的指示中，已規定在1951年到1955年的五年內，長途电话—电报电纜的長度至少要增加一倍。

地下电纜網的广泛發展，对人民电信事業提出了一个非常重要的任务，就是要防止电纜金屬外皮遭受腐蝕。

由于电纜外皮腐蝕所引起的損失，不僅是在修理和恢复电纜綫路时造成額外耗費，而且更重要的是破坏了大量电信通路的工作。所以与地下电纜腐蝕作斗争具有特別重大意义。

金屬設備腐蝕和防蝕的这門科学早在前一世紀就有了。但是这种科学得到最广泛的發展还是在我國的工業化时期。随着許多新城市和新工厂的建立，以及成千累万公里的通信电纜、强电流电纜和輸送管的敷設，已制定了一些有关保护金屬免于过早地被腐蝕破坏的措施。

在金屬腐蝕和防蝕科学的發展过程中，苏联学者 *H. A. 伊茲加雷舍夫*，*A. Γ. 阿基莫夫*和*H. Д. 托馬肖夫*等有过很大的貢獻。

在發展通信电纜腐蝕及其防护的理論方面，以及在漏洩电流的研究方面，*П. А. 阿茲布金*的工作具有特別重要的意义。

*B. H. 阿庫廖諾克*和*H. M. 耶尔肖夫*首先在苏联拟制了特种的測量設備和防蝕設備，并將它們运用到与电纜防蝕作斗争的实际工作中。在防止电纜網和电纜干綫上由于受漏洩电流而引起的通信电纜腐蝕方面，他們作了極大的貢獻。

本書供電信工程技術人員使用。書中敘述了郵電部中央電信科學研究所所做過的、有關市內和長途通信電纜防蝕方面的一些理論和實驗研究結果。同時因為長途電纜的防蝕問題，在技術書籍中講述得非常少，所以本書內容着重在長途通信電纜的防蝕。

本書敘述了在土壤腐蝕的情況下，以及在漏洩電流作用的情況下確定電纜外皮危險區的近似分析法。同時對於在電纜綫路上確定危險區的試驗方法和實際如何實現電纜的防蝕也給予了相當的重視。

此外，書中還說明了在確定防蝕措施時和檢查電纜外皮腐蝕時所進行的基本測試方法。

書中有关土壤腐蝕理論及其防蝕問題的材料（第一章§§1—2和第二章§§7—8）是由А·Ф·馬爾欽科執筆的。

有关由于外部電流的腐蝕理論問題，以及計算和防止這種腐蝕方法的材料（第一章§§9,11—15和第二章§§1—3,6）是由М·И·米哈依洛夫執筆的。

有关防止漏洩電流的電氣方法以及漏洩電流測量方法諸問題的材料（第一章§10，第二章§4、5、9—11及第三章）是由В·Н·阿庫廖諾克執筆的。書中的附錄是由В·Н·阿庫廖諾克和М·И·米哈依洛夫共同執筆的。

對技術科學碩士大林獎金獲得者В·Н·庫列肖夫在編審本書時所給予的寶貴指示，著者們深表謝意。

對本書的一切意見，請寄郵電出版社（Москва Центр, Чистопрудный бульвар, 2）

著 者

目 录

序 言

第 一 章

通信电纜腐蝕理論的簡述

电纜外皮發生障礙的原因

1. 电纜外皮障碍的类型..... (1)
2. 电纜外皮的腐蝕..... (6)
3. 电纜外皮的机械应力和变形对腐蝕速度的影响..... (8)

电化学腐蝕的理論

4. 电化腐蝕的理論基礎..... (10)
5. 鉛的防腐蝕性..... (14)
6. 鉛的液体腐蝕..... (19)
7. 土壤(电化)的腐蝕..... (21)
8. 大气的腐蝕..... (25)
9. 电纜鉛皮在电化腐蝕情况下發生的电动势和电流..... (26)

漏洩电流所引起的腐蝕的理論

10. 漏洩电流的电源..... (29)
11. 在單側供电的电气铁道上, 铁軌的电位和电流..... (34)
12. 当在敷設于大地中的圆柱形絕緣导体与大地之間接入电流
电源时, 在此导体上的电位和电流..... (37)
13. 在与一点激励的地下导体平行敷設地下电纜时, 地下电纜
外皮上的电位和电流..... (41)
14. 当电纜位于漏洩电流的平行平面場中时, 电纜皮上的电位

- 和电流 (43)
15. 由于远距离供电的漏洩电流在電纜皮上所引起 的电位和电
流 (47)

第 二 章

電纜防蝕的各种方法

从强电流設備方面着手的各种防蝕方法

1. 減低鉄軌內的电压降 (52)
2. 增加鉄軌与大地間的接触电阻 (57)

从電纜綫路方面着手所用的各种防蝕方法

3. 鉛皮加裝复蓋物 (58)
4. 陰極保护 (60)
5. 电气排流裝置 (61)
6. 采用外加直流电源的陰極保护 (66)
7. 用电極保护電纜 (76)
8. 用电極防止電纜受土壤腐蝕的例子及在裝設方面的主要說
明 (87)
9. 輔助的保护办法 (89)
10. 保护電纜不受远距离供电的漏洩电流的腐蝕 (94)
11. 保护長途電纜不受電車及电气鉄道的漏洩电 流 腐 蝕 的 实
例 (99)

第 三 章

通信電纜外皮上的电气測量

电阻系数及絕緣电阻的測量

1. 測量的分类 (103)

2. 測量土壤的电阻系数 (104)
3. 電纜皮与大地間絕緣电阻的測量 (108)

电位及电流的測量

4. 測量電纜皮上电位及电流的仪表 (110)
5. 利用不極化的電極測量电位 (112)
6. 測量電纜皮的电位 (113)
7. 電纜皮中漏洩电流的測量 (115)
8. 从電纜皮流向周圍媒質的电流密度的測量 (116)
9. 由于远距离供电設備在電纜皮中所引起的电位及电流的測量 (118)
10. 用引出接地電極法測量电位 (119)
11. 通信電纜上檢查測量点的安裝 (120)
12. 关于整理測量資料的指示 (121)

附錄: 关于長途通信電纜防蝕設計和維護防蝕設備的簡

- 要指示 (124)
- 參考資料 (129)

第 一 章

通信電纜腐蝕理論的簡述

電纜外皮發生障礙的原因

1. 電纜外皮障礙的类型

電纜外皮的用途 通信電纜按其外層遮蓋物的不同可分為裸的和鎧裝的。僅僅只有鉛皮的電纜叫做裸電纜，而在鉛皮之上還有一層絕緣間層和鋼帶或鋼綫做成的鎧裝的電纜叫做鎧裝電纜。

對電纜外皮一個基本要求——就是它的密閉度。使電纜具有密閉性的鉛皮，它保護了電纜的心綫使它不致受到外界的影響。因此不論是在安裝時，或是在電纜的整個運用期間里都必須保持其密閉度。外皮的密閉度一遭到破壞一般都要求立即修好，在某種情況下還要換上新的電纜。

採用鉛來作電纜的外皮，是由於它的可塑性和它對抵抗許多化學作用的高度穩定性所決定的。

鉛皮保護着電纜心綫，而其本身則遭受外界的影響，這些影響在某些情況下能使鉛皮遭到損壞，直至其密閉性被破壞為止。

鉛皮大部分的障礙是發生在運送、安裝及電纜的運用過程中，工廠的廢品沒有及時地被發現也可能是障礙的原因。

在工廠中製造電纜時所造成的外皮障礙和缺陷 鉛皮是用一種專門的壓鍛機將它壓復在電纜心綫上的。分成兩股流到壓鍛機模板中的鉛，在壓復下形成了一條完整無縫的管子。只有當鉛在熔接的地方是十分純淨時，兩股鉛液方能熔接得好。

在形成了一層氧化物薄膜的情況下，鉛的熔接就是部分的或是完全不相熔接。因此在某些長度上外皮就不是均勻的管狀，而是兩個半管彼此緊密相連的形狀，形成了縱的裂縫。

因為鎧裝電纜的鉛皮在包鉛後，馬上全部纏以瀝青浸透的紙帶和纏以麻纖維，所以這種裂縫不致立即被發現。在運用過程中當麻和紙腐爛後，這一缺陷就會被發現了。縱的裂縫一般具有尖銳的邊緣，並且長度可達10—30厘米，而且有時還有更長的。

在實際運用中，雖然這種障礙的最初原因是工廠在製造時的缺陷，但常把它當作是腐蝕的結果。因此用嚴格遵守和改善生產技術手續的方法，以及用改進檢查的方法來減少這種缺陷乃是一個重要的任務。

在電纜生產時也可能有鉛皮的機械障礙，但在大多數的情況下這種障礙是易於發現的。

在運送和安裝時的障礙 常常有這樣的情況，在長距離運送電纜時鉛皮上出現了障礙。這種障礙的形狀是小得用肉眼剛能看到的一些裂縫。這是由於某些鉛的顆粒彼此接合得不緊密，在折損處甚至可能脫落。折損處的邊緣成為鋸齒形的。

這種障礙是由於金屬的《疲乏》。任何金屬都是由小的顆粒—晶體所構成。每一個這樣的晶體被另外其他結構的金屬層所包圍。如果鉛皮經受長期的交變負載（例如，在振動情況下頻繁地拉伸和壓縮），則沿晶粒的邊界上形成裂縫。因而，《疲乏》降低金屬的機械強度。

鉛皮的抗《疲乏》度，在頗大程度上是決定於材料中相聯接着的晶體。在製造鉛皮的鉛中攪入錫、銅、碲和其他金屬，就可以提高鉛皮的抗《疲乏》度。

由於在安裝工作中粗枝大葉或不正確的操作，可能形成鉛皮的橫裂縫、凹陷和壓扁等類的損傷。

如果電纜在安裝工作進行前長期受振動，或者在急劇地彎曲后又繼而伸直，因而引起嚴重的變形時，則常常產生橫裂縫。當電纜受到急劇的彎曲，以及鉛皮不是緊貼着心綫束時，則形成凹陷。

大的機械壓力能使鉛皮發生褶皺、變形甚至破裂。

以上那些后果可能是這樣引起的，例如，在管道中牽引電纜時電纜纏紮得不妥當。這時加到電纜外皮上的負載有時能重達兩噸。而當電纜被正確地纏紮時，主要的負載應該是加到心綫上。

在使用電纜時的障礙 電纜在運用時，鉛皮可能經受恆定的或交變的機械壓力。這些機械力的大小可能達到足以損害鉛皮金屬晶體的結構。迅速變化的機械應力（一般是在振動時產生的）是特別危險的。可能發生地下電纜振動的地方，是在橋梁上、在鐵道和電車道的附近，以及在有重負載行駛的街道上。架空電纜遭到振動則是由于風的作用。因振動而引起的鉛皮《疲乏》通常是顯著地縮短電纜的壽命。

由于振動而使通信電纜鉛皮受損壞的情形如圖 1, a（約為實物的大小）和圖 1, b（放大之後）所示。

電纜的障礙也可能是由于雷擊而產生的。這主要是敷設在高電阻系數（超過 500 歐·米）土壤中的長途電纜。這種障礙在沙礫的，石質的和泥炭的地帶常發現。直徑較小的電纜所遭到的損壞比直徑較大的為重。

由于雷擊而引起的電纜外皮障礙可分下列兩種：

- 1) 產生凹陷、鉛皮和鎧裝彎曲、疏層破裂以及鉛皮上裂縫等類的機械變形，
- 2) 使鉛皮和鎧裝鋼帶熔化并形成孔穴。

由于鉛皮的機械變形，電纜心綫上的絕緣紙帶破裂。因而上面各層的電纜心綫就發生短路。

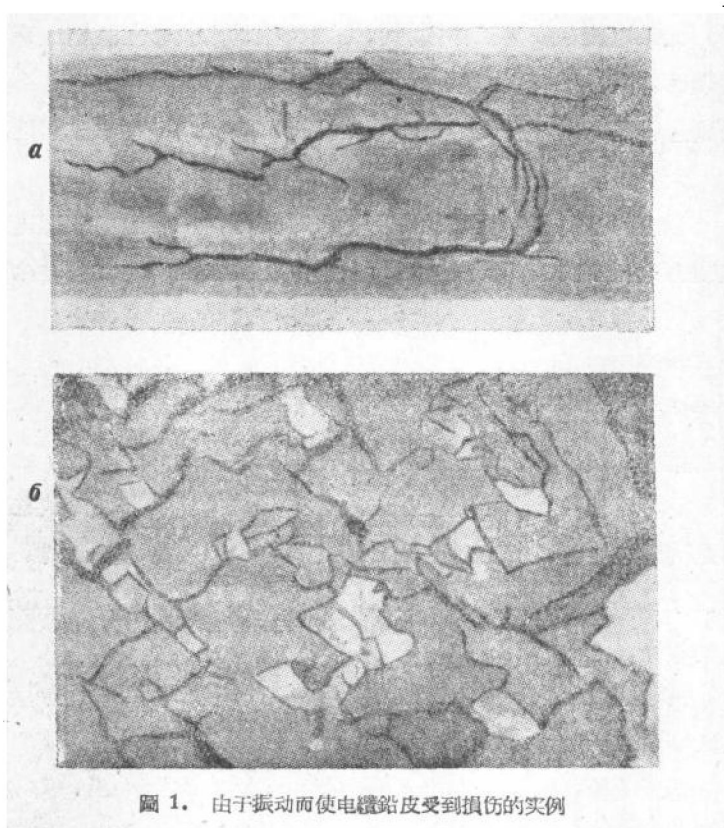


圖 1. 由于振动而使電纜鉛皮受到损伤的实例

已知的電纜鉛皮障碍还有被昆虫（鑽孔甲虫）及鼠类造成的伤害。鼠类引起的鉛皮障碍易于由其齒痕得知。曾經發現的鼠类啃伤障碍，其形状是面积为1至20平方厘米的孔穴。

在运用过程中，電纜皮最常發生障碍的原因之一就是腐蝕。

由于鉛皮与外界物質發生化学的或是电化学的作用，而引起電纜外皮金屬的损坏，叫做電纜鉛皮的腐蝕。

電纜鉛皮外貌特征的改变，是電纜皮受到腐蝕障碍的主要标志。损伤段落在其表面上呈现出各种凹陷、小坑、斑点和裂縫等形

狀（圖2）。照例地，在外皮金屬腐蝕損傷的同時，伴隨着外皮金屬轉變成各種化合物——腐蝕的產物，這些產物部分地和全部地留在外皮的表面上。

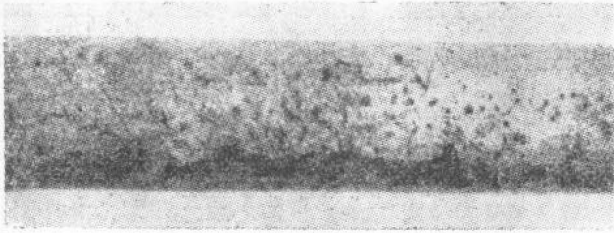


圖 2. 電纜皮受土壤腐蝕而損壞的實例

電纜皮的腐蝕是一種複雜的過程，在此過程中電纜所處媒質的化學成分和狀況，土壤中漏洩電流存在與否，以及一系列其他原因都有着很大的影響。書中以下的內容完全是用來研究這一過程和探尋對其有害結果進行鬥爭的辦法。

對腐蝕鬥爭的成效，主要決定於在擬定、設計和建築電纜干綫時，對此問題的解決情況。從電纜干綫建築一開始時就正確地解決這一問題，會促使顯著地改善電纜干綫的工作，並且延長其壽命。

鉛皮損傷原因的分析 從以上所提到的概述中可以看出來，電纜皮的障礙及其原因是非常多样化的。為了能夠擬定有效的保護方法，仔細的分析所有電纜障礙的原因是重要的。

分析外皮障礙的原因最好是按以下順序來進行：

1) 在障礙處及其鄰近的地方檢查電纜皮，在電纜與土壤和水接觸的地方檢查外表面的狀況。

2) 當有電蝕的特徵存在時，在鉛皮上進行電位和電流的測量。

3) 檢查有否地下水的存在以及在電纜敷設處有否與該地區不

相干的物質（溶渣、腐植質、石灰等等）堆積着。

4) 如果在当地檢查得不到必需的解答，那就必須送一段損坏的電纜，以及土壤和地下水的样品到實驗室去研究。

實驗室的研究应包括：鉛皮損坏处与非損坏处的顯微鏡觀察研究，腐蝕產物、土壤和地下水样品的化学分析，必要时还要对鉛皮做金相学的研究。

土壤和地下水的样品必須在發生障礙的地方直接裝入干淨的瓶子中。土壤要取 2 公斤，地下水要取 1 公升。鉛皮的样品不得洗淨和弯折。

2. 電纜外皮的腐蝕

基本定义 前面已經說過，由于外界化学或电化学的作用而使金屬遭到損坏叫做金屬的腐蝕。

引起該种金屬腐蝕的媒質叫做侵蝕性的腐蝕媒質，或者簡称为侵蝕媒質。为了說明金屬对外界媒質作用的关系，因而就需要談論到金屬的防蝕性。應該随时注意，防蝕性这个概念是具有相对性的。在某一些条件下有防蝕性的金屬可能在另一些条件下就沒有防蝕性。例如，鉛在硬水中是穩定的而在軟水中就不穩定，鋁在大气中是穩定的，而在土壤中就不穩定。因此，在說明金屬对腐蝕的关系时，需要随时考慮腐蝕的条件，即外界的化学特性、物質的濃度、溫度和一系列的其他因素。

按照物理化学的性質（歷程），腐蝕的过程可分为兩大类：化学腐蝕与电化腐蝕。

金屬与媒質間的純粹化学作用过程屬於第一类。这一类腐蝕可以用下面这些情况來作为特征性的例子：在有氧化皮形成的高溫情況下，气体媒質中的金屬氧化（气体腐蝕）；在酒精，石油，汽油等各种有机液体之中的金屬腐蝕（非电解液中的腐蝕）。

以各种电化学反应为基础的腐蚀过程为第二类。这类过程的重要标志是和金属的损坏同时存在有电流。这种电流或是在自己腐蚀的过程中产生，或者是在某种外加电源作用下产生。因而，是否存在有导电的腐蚀媒质乃是电化腐蚀产生的条件。电化腐蚀是在电解液，即传导电流的溶液中进行的。金属在水中，在酸、碱及盐的溶液中的腐蚀（在电解液中液体腐蚀）；在潮湿土壤中的腐蚀（土壤腐蚀）；在空气中，更确切地说，在常温时在复罩于金属表面的潮气薄层中的腐蚀（大气腐蚀）都是电化腐蚀的实例。

在绝大多数情况下，电缆外皮的腐蚀过程是电化学的过程。因此对于电化腐蚀应特别重视。

金属在固体状态时是由小的晶体——晶子所构成。晶子的形状不一定与其在结晶学上的体系相符，因为当液体金属凝结时，同时成长的各晶子彼此相撞，因而打乱了相互之间的自由生长。结果晶子的形状便有畸变。

晶子的变形，破坏了各原子的空间位置，畸变了各个原子之间的相互作用力，这便使得在晶子内部和边界上的金属物理状况有所不同。因此金属就具有不均匀的结构。

结构不均匀性可以成为腐蚀的原因（结构腐蚀）。腐蚀可能沿晶子（颗粒）的边界向金属内部蔓延。这种情况下的腐蚀称为晶子间的（ИНТЕРКРИСТАЛЛИТНЫЙ）腐蚀。这种腐蚀是很危险的，因为由于腐蚀的结果，颗粒间的联系，亦即金属的机械特性显著地降低。这样一来，电化腐蚀就在金属的表面或者在构成金属的晶子的边界上发展起来。

由外部电源电流的作用而引起的腐蚀，是一种常常容易遇到的特别形式的电化腐蚀。以下如不特别说明，则《电化腐蚀》这一术语，我们将只是指那些没有外部电流作用时产生的电化腐蚀。而

由外部电流的作用而引起的腐蝕則將称为外部电流引起的腐蝕或是电蝕。因漏洩电流而產生的电蝕称为《漏洩电流引起的腐蝕》。

電纜外皮腐蝕的特征 長途通信電纜外皮的腐蝕多半是由于土壤中所含各种侵蝕性物質的电化作用而發生的（电化腐蝕），也有是由于漏洩电流作用而發生的（漏洩电流引起的腐蝕）。以下所示是这两种腐蝕形式中每一种的特征。

被 腐 蝕 处 的 形 狀	腐 蝕 產 物
电 化 腐 蝕	
在鉛皮表面上相当大的部分均匀腐蝕； 晶子边界明顯地分出，凹处具有平盤狀。	鉛的 碳酸鹽 ，鉛的氧化物和氢氧化物，为量不多的氯化物。腐蝕的產物——淺藍色或紅色的——晶粒的氧化鉛 PbO 。二氧化鉛的存在是極其少的現象。
漏 洩 电 流 引 起 的 腐 蝕	
具有陡壁的凹坑，有时为分散无規則或是沿電纜按直綫分佈的長的凹槽。	由氯化物和 碳酸鹽 構成的多水的晶体或白色針狀物。在很多情況下發現二氧化鉛 PbO_2 。

在实际的情况下可能两种腐蝕都同时表現出，在某种程度上是一种腐蝕掩雜了另一种腐蝕。所以不是常常易于認清腐蝕是哪一种。只有根据在这方面的經驗才便于确定腐蝕的原因和种类。

3. 電纜外皮的机械应力和变形对腐蝕速度的影响

由于腐蝕所生的鉛皮障碍，以及通信電纜过早的损坏，都在相当大的程度上决定于鉛皮的机械狀況。如果鉛皮屡次遭受机械作用，使鉛皮上產生了机械应力或变形，則这样的鉛皮要比沒有机械应力

和变形的鉛皮遭到更剧烈的腐蝕。

因此，在应力作用下的腐蝕，即在腐蝕性的媒質和机械应力同时作用下的腐蝕，比只有一种腐蝕性媒質作用的情况下要腐蝕得快。

有彈性和可塑性的被变形的金屬，其变形越大，則其腐蝕速度增加的程度亦越大。当腐蝕媒質及机械应力（外部的或内部的）同时作用时，則在金屬上有裂縫加剧地形成（腐蝕的破裂）。在金屬或合金中存在的內应力越大，常常出現沿着晶子边界腐蝕的蔓延也越剧烈（晶子間的腐蝕）。

沿鉛皮軸心綫上的很大的拉力和引起內部应力的鉛皮变形，在電纜从压鍛机出來的那一时刻就开始有，并且在以后所有的檢查和安裝的操作中都繼續存在。

將電纜敷設到管道中去时所發生的瞬时拉力是特別危險的。

在很多情况下（当运送时，当运用时）電纜可能經受反复交变的負載（例如振动），这会引起裂縫的出現和机械强度的降低（金屬的《疲乏》）。浸入裂縫中的腐蝕剂（电解液）促使裂縫加深，因而促使其机械特性的進一步变坏。另一方面，由反复交变負載所引起的裂縫的加深促使腐蝕加剧。因此，遭受反复交变負載的金屬比沒有負載的金屬腐蝕得剧烈。

在这些条件下，那些可能在制造过程中，以及尤其是在不經心的安裝工作中所造成的擦伤、刻痕和凹陷，即使驟然看來似乎是不关緊要的，实际上却是危險的。因为这些会促使机械应力的集中，因而使腐蝕竟可剧烈到这种程度，以致使金屬裂成碎塊。这样的损坏伴随着有时可能形成很大顆粒的再結晶。

鉛的再結晶是在溫度为攝氏 50° — 80° 时开始的。例如架設在屋頂上南方的電纜鉛皮，就出現顆粒很快生長的現象。而敷設在大地內

和水中的電纜就沒有遭受到这样程度，只有在交变負載的情況下才有顆粒生長。

为了避免由于机械应力的影响而使電纜皮抗蝕性降低，必需采用特殊方法。

这些方法是采用穩定性較大的鉛合金來提高外皮材料的机械强度（特别是对于振动）。为了提高鉛在可能發生晶子間腐蝕时的抗腐蝕性，在鉛中攪入合金加入剂，这些合金加入剂分布在顆粒的边界，能阻止再結晶。例如在鉛中攪入少量的銅和錫，腐蝕疲乏的極限就比純鉛要提高到2—3倍。

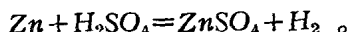
在一些必要的情况下，需要采用能降低交变应力大小的特殊安裝設備。

最后，在生產、运送、安裝与运用中，必須非常謹慎地來照顧電纜。

电化学腐蝕的理論

4. 电化腐蝕的理論基礎

很多金屬，在它和酸相互作用时發生溶解而由酸中排出氫气。例如，鋅与硫酸作用时就產生硫酸鋅和游离的氫：



只有这些在化学上比氫更活潑的金屬才能由酸中排出氫。根据金屬各自的化学活性，可將它們排到名为金屬化学活性次序中。这种次序示于表1.中。

在本次序中，由左边开始为最活潑的金屬——鉀K，在次序末了——最不活潑的金屬——金Au。位于氫以前的金屬都能够由酸中排出氫，在氫以后的金屬則不能由酸中排出氫。此外，每一个在前面的金屬都能够由后面金屬的鹽中排出后面的金屬。原電池工作就