

蒸汽锅炉 金属晶粒间的腐蚀

苏联 И.А. 阿柯里津 Г.Р. 里别尔曼著

水利电力出版社

蒸汽鍋爐 金屬晶粒間的腐蝕

蘇聯科學技術副博士 И. А. 阿柯里津 工程師 П. П. 里別爾曼著

馬文禮譯

顧逢時校

水利電力出版社

內 容 提 要

本书阐述蒸汽锅炉各元件結合部分金属晶粒間腐蝕过程的一些重要問題，研究晶粒間腐蝕引起损坏的一些典型例子，敘述防止腐蝕的主要措施和檢查晶粒間裂紋的現代方法；此外，还研究了鑲接汽鼓晶粒間裂紋的一些焊补問題。本书可供发电厂和工业企业的鍋爐房及調整机构的工程技術人員参考。¹

本书系馬文鳳同志翻譯，鄧世棟同志校閱了部分章节；最后，由顧遂时同志校訂了全稿。

КАНД ТЕХН. НАУК П. А. АКОЛЬЗИН ИЖ. Г. Р. ЛИБЕРМАН
МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ
МЕТАЛЛА ПАРОВЫХ КОТЛОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО МИНИСТЕРСТВА КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА РСФСР МОСКВА 1955

蒸汽鍋爐金屬晶粒間的腐蝕

根据苏联俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国公用事业部出版社

1955年莫斯科版翻譯

馬文鳳譯，顧遂时校

*

2261B494

水利电力出版社出版（北京西郊科学院路二里内）

北京市书刊出版业营业登记证出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168毫米开本 * 4幅印張 * 99千字 * 定价(第10类)0.70元

1960年1月北京第1版

1960年1月北京第1次印刷(0001—2,580册)

前 言

晶粒間腐蝕是蒸汽鍋爐金屬的一種最普遍而最危險的損壞形態。在B.И.諾也夫所著的“鍋爐元件結合處的脆化破壞”(蘇聯國立動力出版社1947年出版)一書中已闡明了這一問題。自該書問世以來到目前為止，在研究蒸汽鍋爐金屬這類破壞的過程、檢查方法和防止對策等方面已積累瞭許多資料。因此，就有必要補充總結一下在這些方面已完成的各項工作的成果，並將其推廣到廣大的發電廠工程技術人員和調整人員中去。作者編寫此書時就是本着這個精神，主要以Φ.Э.捷爾任斯基蘇熱工研究所（水研究室）和俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國市政公用部所屬市政動力技術改進局（鍋爐組和用電監察處）的資料為根據，並利用蘇聯國家地區發電廠及輸電綫路技術改進局、中央機器製造和工藝科學研究所及有關部門的一些研究工作成果寫成本書。

書中第一、二（第1、2、3節）、四、七章（第1節）、緒言及附錄等是科學技術副博士И.А.阿柯里津寫的；第三（除例8到例13外）、五、六、八章、第七章的第2節等是工程師Г.Р.里別爾曼寫的；第二章第4節、第三章的例8到例13是二人合寫的。

目 录

緒論	3
第一章 蒸汽鍋爐金屬晶粒間腐蝕的理論	6
一、关于裂紋形成过程的主要假說	6
二、金屬腐蝕的电化学理論	7
三、鍋爐金屬晶粒間腐蝕的實驗研究	12
第二章 蒸汽鍋爐金屬晶粒間腐蝕的主要因素	17
一、形成裂紋的主要条件	17
二、金屬成份及其处理的影响	19
三、鍋爐水成份的影响	20
四、机械应力的作用	23
第三章 蒸汽鍋爐因晶粒間腐蝕而損坏的典型实例	25
第四章 鍋爐水侵蝕性的运行監督	52
第五章 檢查附加应力的方法	58
第六章 檢查裂紋的方法	64
一、磁性探伤法	64
二、射綫照相法	72
三、磁性螢光探伤法	73
四、超音波探伤法	74
第七章 防止晶粒間腐蝕的方法	80
一、鍋爐水侵蝕性的消除	80
1. 鍋爐水的純磷酸盐碱度的处理	80
(1) 純磷酸盐碱度处理的作用(80) (2) 磷酸盐品質的檢查(81)	
(3) 采用純磷酸盐碱度处理的条件(82) (4) 实际采用純磷酸盐处理	
所收到的效果(87)	
2. 鍋爐水的硝酸盐处理	88
(1) 硝酸盐处理的作用(88) (2) 硝石品質的檢查(88) (3) 采用硝	
酸盐处理的条件(89) (4) 实际采用硝酸盐处理所收到的效果(90)	
3. 水的硝酸处理	90
4. 鍋爐水的亚硫酸盐紙漿和紙漿厂廢液濃縮物的处理	91
5. 鍋爐水的硫酸盐处理	92
二、附加应力的消除	93
第八章 遭受晶粒間裂紋損坏的汽鼓的檢修	104
附录 I 硝酸根的測定規程	115
附录 II 論鍋爐水安全碱性处理法	118
参考文献	125

緒 論

近几年来，在苏联发电厂和工业鍋炉房內，鍋炉金属上广泛地出現了一种特殊形态，即所謂“碱性脆化”的局部腐蝕現象。这种腐蝕是以裂紋形式出現在沸騰管和水冷壁管的两端及汽鼓本体上；在蒸汽鍋炉元件的銲縫和脹接处的金属多半是由于这类腐蝕而遭受损坏。

这类损坏的产生是由于鍋炉金属同电解液(鍋炉水)相互作用的結果。裂紋产生在金属內应力較高的部分。就金相而言，裂紋具有混合的性質：裂紋的开端部分及其分支部分是沿晶粒間的边界而穿透金属的(图1)；視力所能看到的一些主要裂紋常常是穿过金属晶粒的内部。这种性質的裂紋是由晶粒間腐蝕所引起的集中的机械应力所造成的。

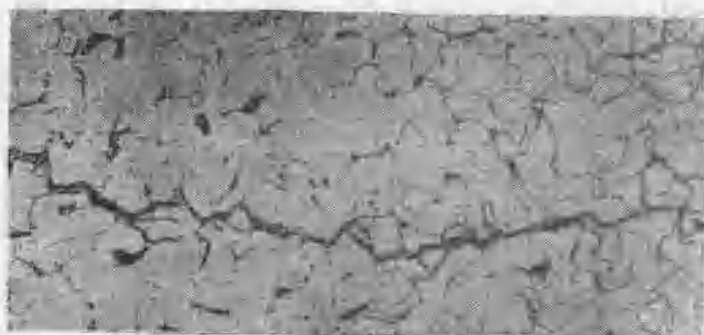


图1 晶粒間裂紋的显微照像

某些研究者指出，在高温下发生的裂紋天然具有晶粒間裂紋的特征。当温度較低时，出現的裂紋大都是穿过晶粒的裂紋。細小的裂紋主要是在濃度較低的碱溶液对金属的作用之下产生的。含有大量黑色磁性正、亚混合氧化鉄的較粗的裂紋，是在高濃度碱

溶液对金属作用下所产生的。

在产生上述裂纹的地方，总是没有金属的变形，因此，这类破坏就叫做“脆性破坏”或“无变形破坏”。

金属的机械性能如：塑性、强度和屈服点，并不因这类破裂而改变。通常，裂纹都具有强烈的分支性质。由于金属晶粒间的腐蚀，是在下列因素很长时间内不断的作用下才形成的，故沿金属裂纹的断口，是呈暗黑色的细晶粒状；它显然不同于纯机械作用所产生的“鲜明有光泽的”断口。

这类晶粒间腐蚀是以一定的加速度发展着，也就是说，在初期金属破坏得很慢，随后其速度很快地增加，并可能带来严重的后果。曾有过由于这种腐蚀而致蒸汽锅炉发生爆炸的事故。

裂纹通常发生在铆孔之间，常是平行的，一个靠近一个，剩下的未被破坏的金属成为被裂纹隔开的小岛形状。裂纹都是从锅炉元件的各种接合的间隙中的金属表面逐渐扩展起来的。在沸腾管和水冷壁管的胀接口处常常形成的环形裂纹，与铆缝内的“典型”裂纹性质相同。

应当指出，在采用离子交换水处理法以前，这种锅炉金属破坏事故的次数是较少的；显然，这是由于水垢堵塞接合的不严密处所起的保护作用，以及由于用硬水补给的锅炉水中没有碱或碱的浓度较低的缘故。

采用阳离子交换法处理过的补充水及其他以药剂防止水垢的方法，常会使锅炉水的绝对和相对碱度升高，因而引起锅炉金属发生“苛性脆化”的实际危险。但不能因此就说锅炉给水的阳离子交换法是一种不正确的方法；问题在于要建立这样一种锅炉水处理，使能保证既无水垢，又无腐蚀现象。

苏联国家地区发电厂及输电线路技术改进局是综合研究蒸汽锅炉金属“苛性脆化”现象以及制定检查和防止这类破坏的有效方法的倡议者。

关于这些问题，在B.И.诺也夫的专题论文中，以及A.И.馬迈特的书中已有论述。

近来，苏联国家地区发电厂及输电线路技术改进局、中央机器制造和工艺科学研究所及国家矿山技术监察局的中央科学研究所已制定并实施了一些利用磁性探伤器和超音波探伤器来检查锅炉内“苛性脆化”裂纹的新式有效方法。全苏热工研究所、国家矿山技术监察局的中央研究试验室、中央机器制造和工艺科学研究所及波尔宗诺夫中央锅炉汽轮机研究所，在研究锅炉水中溶解物质对晶粒间腐蚀的产生和发展的影响以及这种腐蚀的进程方面，进行了广泛的工作。市政动力技术改进局在市政发电厂系统内，对实际使用上述方法来检查和防止锅炉金属的“苛性脆化”方面做了许多工作，它们的锅炉也面临了此类损坏的危险。

本书旨在简要地叙述在研究蒸汽锅炉金属晶粒间腐蚀过程及其防止对策方面的最重要的研究和实际成就。

第一章 蒸汽鍋爐金屬晶粒間腐蝕的理論

一、关于裂紋形成过程的主要假說

对鍋爐鋼的“碱性脆化”虽然做过許多研究工作，但这方面的个别問題还缺乏充分明确而一致的意见。

絕大多数研究者都認識到这种現象的复杂性，它是由于鍋爐水的碱性濃縮液和金属內的过高应力两者共同作用所产生的。各种物質的溶液和溶液的碱性对于承受着应力的金属所起作用的过程应该如何解釋，是目前爭論的焦点。

某些研究者認為，鋼在水的作用下所发生的純化学性的溶解是形成金属“碱性脆化”的基本过程：



此时，碱只起催化剂的作用。如果没有碱，这种反应只能在温度为500~600°C时才可以相当快的速度进行。

除了把碱的影响估計为加速这种过程外，对于它所起的作用还有由郝尔、巴尔特利得和施里捷尔等人所提出的某些其他解釋。按照他們的見解，認為即使存沒有碱时，水也会按上述反应式以很慢的速度同鉄起作用，不过此时产生了一种磁性氧化鉄的薄膜；由于这种薄膜能起保护作用，大大地阻碍了这种反应的进行。反应能否延續，則要視鍋爐水中所含物質对薄膜的影响而定。如果薄膜被破坏，則反应繼續进行；否则，反应即行停止。

研究者把碱看成是破坏氧化膜而形成亚鉄盐的作用物。他們認為，薄膜也可能由于碱的胶体溶化(胶体电化学的)作用而破坏。关于促成局部腐蝕和形成裂紋的条件問題，現有兩種主要假說：第一种假說認為碱对金属的侵蝕作用是由于碱同鉄的反应或碱使晶粒間的杂质溶解。此时，假定水中有某种只能使金属顆粒的表面上生成保护膜的催化剂(例如：矽酸盐)，因而引起晶粒邊緣上的局部腐蝕。金属內的应力过高时，由于在晶粒邊緣上不可

能形成充分坚强的保护膜，就使侵蚀性的溶液渗入这些地带。假定碱的作用在于将分布在晶粒边缘部分的金属原子引入溶液中，而形成铁的氧化物。这种氧化物的体积比金属体积大，因此，加强了金属内的应力。他们还设想碱能溶解积聚在晶粒边缘的杂质。这种假说认为反应式(1)所析出的氢并不起重要的作用。

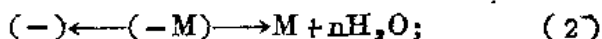
第二种假说则认为氢起主要作用。这个理论的拥护者认为：由于金属结构内出现有铁的氢化物，故析出的氢会引起所谓钢的“氢脆化”，并认为很可能由于被析出的氢同沿晶粒边缘的杂质发生反应而生成气态的反应产物。这种气体产物不同于氢，它不能从金属内扩散出来，同时它促进过高应力的发展和裂纹的形成。这样，在这里就把“苛性脆化”和工程学中众所周知的“氢脆化”现象(例如：当金属被酸侵蚀时)混为一谈了。“氢理论”直到现在还为英国学者杰士和美国冶金专家查波夫所支持。他们认为金属吸收氢是锅炉金属内形成裂纹的主要原因。此时，可认为：溶于锅炉水中的矽酸在金属吸收氢的过程中起催化剂的作用。

二、金属腐蚀的电化学理论

显然，只有金属腐蚀的电化学理论才可以对锅炉金属内出现晶粒间裂纹的原因提出最切合实际地解释。因此，有必要将这种理论的基本原理简要地叙述如下：

根据Г.В.阿基莫夫和Н.Д.托马绍夫等人所发展的现代的理论，在金属或合金表面上微电化电池的存在，也即具有不等的电位的部分的存在是金属和电解液分界处发生电化学过程的一个必要的基本条件。因此，金属的腐蚀决定于许多共同作用的因素，其中主要的是：

1. 主要依靠水合能量而使金属离子转移到溶液中的阳极过程，这个过程可用下式表示之：



2. 能促进还原作用的离子或分子，其中特别值得提到的为氢

离子，同阴极上的电子相结合的阴极过程：



3. 金属和溶液的欧姆电阻。

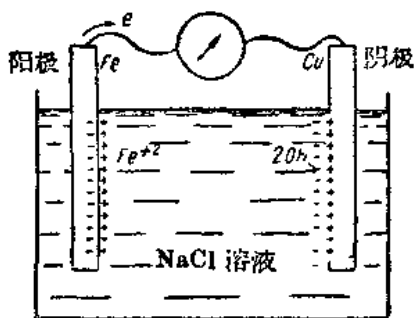


图2 腐蚀电池的模型

腐蚀电池的作用，可以用浸没于电解液中（例如：NaCl溶液）的钢和铜的电极所组成的原电池为例来说明。在用导线从外面接通两极以前，在“金属和电解液”的分界面上生出平衡而相对的电层；这种电层的大致结构如图2所示。铜电极表面上的带电层是由于铁的离子-原子同水分子发生水合作用而形成的。水合能量

大于离子-原子同电子的结合能量。因此，水分子就从铜电极的表面把 Fe^{2+} 离子引入同金属相接触的电解液层中。相当于这些铁离子量的负电荷（电子）则留在金属中，而形成了负电荷层。它借静电的力量将水合的金属离子保持在金属和液体的分界面上。

由于部分的铁离子-原子离开了电极，与自由电子集聚在金属表面上，所以金属的电位就向负的方向转移。同样地所有成为腐蚀电池阳极的非贵金属都起着这种作用。

贵金属（例如铜）上所产生的电位变动同上面所谈到的有根本的区别。这类金属的特点是离子-原子和电子之间的结合能量大于水分子和离子-原子的水合能量。铜电极表面上双电层的形成是由于金属表面对电解液中阳离子的吸附作用的结果，因此，这类金属的电位就向正值范围转移。这类金属一般都成为腐蚀电池中的阴极。

因此，在电极的外部未用导线接通时，电解液和金属间的相互作用的结果仅在金属表面上形成双电层，因而实际上不会使金属发生显著溶解。

在两电极外部用导线接通时，由于电子从铜电极（阳极）移向

銅电极(阴极-电子接受器),导线中就现出电流。

由于电子离开了銅电极,就使相应(按电荷的数量)数量的鉄离子-原子游离而轉入溶液中。这些离子-原子原先是被負电荷中的电子固定在金属表面上的,因此,接通电极所引起的第二个后果,就是使鉄轉入溶液中;換句話說此种金属遭受了腐蝕。第三个后果是移向阴极的电子被电解液中的离子或分子所吸收。

上面所叙述的腐蝕电池模型,基本上說明了腐蝕介質(电解液)对金属或合金的作用性質。当把这类金属(或合金)浸没于溶液中,它的整个表面即分成了很多的阳极区和阴极区(微电池);这些阳极区和阴极区就給腐蝕过程的进行創造了条件。

当电解液对碳素鋼发生作用时,純鉄体的顆粒成为阳极区,而在金属結構中所有的导电杂质以及附于金属表面的氧化物和鉄锈即构成阴极区。这些杂质的电位要比純鉄的电位高得多。

如果在金属上没有保护膜,則顆粒本身与其边緣所形成微电池的作用就有重要意义。沿顆粒边緣的原子分布情况不如晶体内部的原子整齐,因此,晶粒边緣就能够成为阳极,而晶粒本身则为阴极。在金相学的研究中,

一向均利用金属晶粒的这种特性而以适当的葯剂侵蝕法来显现金属的显微結構。当金属含有各种杂质,在金属凝固时杂质沉淀于晶粒之間,晶粒边緣的局部腐蝕就更加严重。图3表示的即为这一类腐蝕电池的示意图。

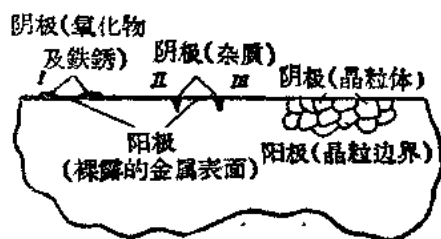


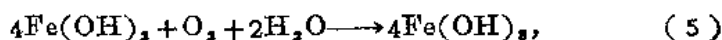
图3 腐蝕电池示意图

在腐蝕电池作用的过程中阳极和阴极附近的电解液的成份发生一定的改变。在阳极区金属离子的濃度增高起来,而在阴极区則由于氢离子的放电或水中所含氧分子的还原就使氢氧根(OH^-)积聚起来。在阳极反应的和阴极反应的产物(OH^- 根和阳离子)相遇的地方生成受蝕金属的氢氧化物。在鋼发生腐蝕时,其

过程可用下列反应式说明:



应该着重地指出: 沉淀物 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 一般并不是直接产生在金属受蚀表面上的, 而是在溶液的內部, 即在腐蚀过程的阴极和阳极反应中扩散出来的产物彼此相遇的地方。此时所生成的疏松沉淀物不能阻止电解液对金属的侵入, 因此, 就不能制止金属的腐蚀。只有当阴极和阳极处于直接接触的情况下, 才可以指望在腐蚀的表面上形成一种可以防止金属腐蚀的氢氧化化合物的薄膜。在某些情况下, 腐蚀产物同某些物质相互作用时会进一步发生较复杂的变化, 例如同溶解于水中的氧发生如下的作用:



或同强碱发生作用而生成亚铁盐和铁酸盐。

应当把腐蚀电池的发生看作是必然而且不可避免的事, 但并不是使腐蚀过程向前进行的唯一条件。只有在能够满足几个附加要求时电化学的腐蚀过程才能实现。这些要求的第一项是: 必须有阳极区阴极区的去极化作用。这一点可以用上述腐蚀电池 (如图 2, 把钢和铜的电极插入 NaCl 溶液时所形成的) 的工作为例来说明。在两极被接通前, 电位是固定不变的: 正极金属 (阴极— Cu) 为 V_K^0 ; 负极金属 (阳极— Fe) 为 V_A^0 。

显然, 在两极被接通后的最初瞬间内, 所形成的电池 ($\text{Fe}/\text{NaCl}/\text{Cu}$) 发出的电流为:

$$I_{\text{нач}} = \frac{V_K^0 - V_A^0}{R} \quad (6)$$

式中 $V_K^0 - V_A^0$ ——阴极和阳极间的初电位差;

R ——腐蚀电池的內、外电阻之和。

实验指出, 在接通此电池的两极以后经过一段时间, 电流降到一个比较稳定的数值 I ; 它小到只有 $I_{\text{нач}}$ 的许多分之一。在很多情况下, I 值甚至可认为是零。毫无疑问, 电池强度的这种急剧降低乃是由于电极电位的改变所引起的。

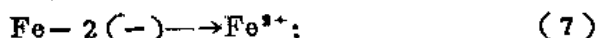
当电流通过时, 原电池的电极初电位差即行减小, 从而引起

电流强度的减弱，上述这种现象叫做极化作用。极化作用分为两种：阳极极化作用——在电流通过时，阳极电位向正的方向移动；阴极极化作用——在电流通过时，阴极电位向负的方向移动。

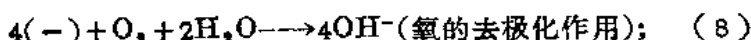
极化作用可阻碍腐蚀电池的作用；因而它的存在可使腐蚀的速度大为降低。如果没有极化现象存在的话，那么电化学腐蚀就会非常迅速地进行。

如果电解液内存在着某些特殊物质(去极化剂)时，极化作用即会降低。阴极部分的去极化作用对钢的腐蚀过程的情况有重大的影响。这种作用是由于电解液内的氧化剂(例如：溶解的氧或氢离子)所供给的。因此，根据上述理论，钢的腐蚀决定于下列过程的进行情况：

1. 阳极过程金属转移到溶液中而放出电子：



2. 阴极过程吸收由阳极所放出的电子的去极化作用：



根据电流通过时电位位移的程度(或者换句话说，电极的极化程度)，可以判断电极过程进行的“容易程度”。每个单位电流所引起的电位位移愈小，电极过程受到的阻碍也就愈小；反之，电极的极化程度很大时，这种过程就会很快的衰减以至停止。

电位和加于电极电流的上述关系，通常采用极化曲线来表示。绘制极化曲线已成为研究腐蚀现象的主要方法。这种方法是经 H. И. 托马绍夫多次的研究而发展的。在下面所列举的有关研究锅炉金属的“苛性脆化”产生的进程和各类物质在脆化中所起的作用几项实验中，一部分是以这个方法为基础的。

在下面列举的几幅曲线图中(见图7、65、66)，纵坐标表示随极化作用而改变的电位值，自下而上它的数值逐渐变成更大的负值；横坐标表示极化电流的数值。

最后必须指出，借助于实际金属或合金的阴极极化作用，也

就是說將实际金属或合金接至直流电源的負极上，可以完全制止微電池的作用。在這種情況下，在金属表面的所有点上，不論它原先是阳极或阴极都將有氫离子放电現象，即阴极区所固有的作用过程。阴极电流的这种特性——“抑制”腐蝕过程(阴极保护)，在許多工程结构的金属防腐方面已得到广泛的应用。

当阳极电流使金属发生极化作用时，由于所謂阳极的溶解会产生很大的金属重量損失，但是当阳极极化电流达到一定密度时，在許多金属(包括鋼在內)上能形成保护膜(鈍化膜)；这种保护膜能大大地减弱腐蝕过程的强度，甚至使它完全停止。

这种阳极鈍化的方法也广泛地用来防止金属的腐蝕。

三、鍋炉金属晶粒間腐蝕的实验研究

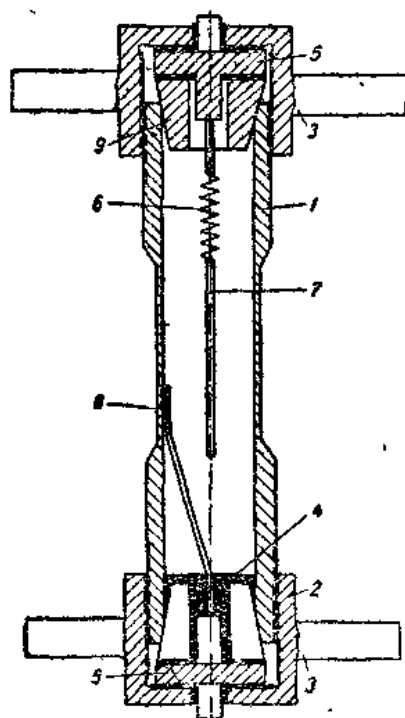


图4 腐蝕試驗用的仪器

为了研究鍋炉水的侵蝕性，也就是說研究鍋炉水引起金属晶粒間腐蝕的能力，曾做了几种仪器。但是这些仪器都有許多重大缺点：笨重，不能在金属內造成所需要的而又准确地測得其应力的大小，使用的手續又复杂，不能在压力大于35~40大气压时应用等等。为了在100大气压以上的情况下檢驗水的侵蝕性和鍋炉金属的性能，又制出如图4所示的一种仪器。

取直徑为28×5毫米、长度为200毫米的一段管子制造試样，将其中間部分旋薄，旋薄段与原来直徑段之間有逐漸均匀地改变尺寸的过渡段。这样的旋薄，就使試样强度降低。旋薄处的管壁

厚度为 1 毫米。試样两端的外面均有絲扣，用以同仪器联接。此仪器的主要部分如下：

带有內螺紋的端盖 2 和便于将盖拧到試样上的手把 3；5 为密封試样用的閥；白金絲 6，它和上部閥 5 联接处卷成螺旋形；銀电极 7 和螺旋形的白金絲 6 相联接；氯化銀电极 8 用以測量試样薄壁附近电位并且連接下部的閥 5；9 为密封圓錐；1 为管子。

上下两个閥 5 和試样表面及端盖 2 之間应垫以石棉橡胶紙板，并涂以耐高温的油漆使在电气上相互絕緣。

試样在各种物质的溶液中的稳定性曾在完成下列工序后作过試驗。即在装好密封圓錐、石棉橡胶紙板垫衬和表面涂过漆的閥并接上氯化銀电极后，将端盖 2 拧紧在試样的下端。仍把試样保持在垂直位置，向試样中灌注石膏以便形成絕緣层 4。当石膏硬化后，向管中灌入要試驗的溶液到管子容积的三分之二为止。

用电炉将注入的溶液加热到沸点。在这种沸騰状态下，用端盖 2 压紧上部閥 5。作腐蝕試驗时，把上述装配好的仪器(10只)放入一个空气恆温器內，其中保持温度 320°C ，它相当于約 100 表大气压的蒸汽压力(由于在試样內溶液沸騰所生成的)。在此压力下試样金属受到一个恆定的应力，在中間旋薄之处应力最大，并可按下式求之：

$$\sigma = \frac{P}{230} \left(\frac{d_s}{S} + 1 \right), \quad (10)$$

式中 σ ——在試样中間旋薄处的拉伸应力，公斤/毫米²；

P ——試样中的蒸汽压力，公斤/厘米²；

S ——試样旋薄处的管壁厚度，毫米。

在这些試驗中 σ 值一般为 20 公斤/毫米²。試样金属机械的和热力的工作情况，可以由选择相应的 P 、 d_s 和 S 的数值来改变。

介質侵蝕性的强弱是以試样中間旋薄部分的持久程度来判断的，这里金属处于电解液和較高机械应力的双重作用下。在电解液有侵蝕性时，試样上便有裂紋出現，随即有針孔形成。在作此試驗时，試样中的溶液对周围并无危險，因为恆温器是做成密閉的

金属容器的形式，而且容积既大又坚固。因此，当试样破裂时能把溶液限制在恒温器之内。

所试溶液的作用大小以试样破裂所需之小时数来判断，并和蒸馏水（在蒸馏水中金属是完全抗蚀的）的作用相比。在被蚀表面有着阴极的和阳极的极化作用的试验中，有直流电按六种方向通过试样和电极之间。对于由于直流电的通过而蓄积在仪器中的氢，可令低压交流电间歇地而瞬时地通过试样和电极使它在白金螺旋线上烧尽。试样破裂后，将仪器拆卸。除被破坏的试样（试验后须加以研究）外，仪器的一切部件以后仍可用来作这类试验。

为了研究承受应力的钢(20号)在碱水中发生裂纹的过程，曾在阴极和阳极的各种极化程度下作过试样的机械稳定性试验。试验是在试样内压力为 100 表大气压，苛性钠浓度为 30% 和机械应力约为 20 公斤/毫米² 的条件下进行的。

图 5 表示在阴极和阳极极化时试样稳定性和电流密度之间的关系。纵坐标表示试样遭受介质作用的时间，横坐标表示极化电流的密度。曲线上的各点说明在试样旋薄部分内形成裂纹时的电流密度。

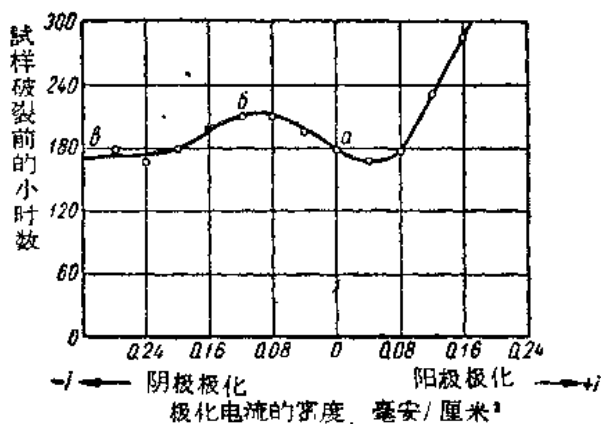


图 5 在 30% 的 NaOH 溶液中试样稳定性同极化电流密度的关系曲线