

美国国家腐蚀工程师协会 标准选编

中国化工防腐蚀技术协会 组织翻译
化工部化工防腐蚀科技情报中心站

涂 湘 緬 校译

化学工业出版社



美国国家腐蚀工程师协会

标准选编

中国化工防腐蚀技术协会 组织翻译
化工部化工防腐蚀科技情报中心站
涂湘湘 等译

化学工业出版社

内 容 提 要

美国国家腐蚀工程师协会 (NACE) 标准选编包括腐蚀标准 20 篇。其内容涉及钢和水泥的基层表面处理方法及其检验标准, 石油、天然气及化学物料管道系统的内外部腐蚀控制方法; 涂料、阴极保护、化学清洗及缓蚀剂等技术的现场施工及其处理措施; 材料及缓蚀剂的实验室腐蚀试验方法以及施工安全规则等。

该书适用范围广泛, 是化工、石油、石油化工、冶金、轻工等部门以及防腐蚀施工工程公司的实用手册; 也是科研、企业技术人员及领导、高等学校有关专业师生的重要参考资料。

本书由下列人员翻译 (按姓氏笔划序): 于连成、王命元、龙学义、和仲祥、徐自立、涂湘细、姚善长、聂德华、蔡应桃、魏刚、魏振祖、袁美琴、戚惟凯、贺爱玲。全部译文由涂湘细校编完成。

美国国家腐蚀工程师协会标准选编

中国化工防腐蚀技术协会 组织翻译
化工部化工防腐蚀科技情报中心站

涂湘细 校译

责任编辑: 李志清

封面设计: 任 辉

*

化学工业出版社 出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $7^{7/8}$ 字数 213 千字

1990 年 10 月第 1 版 1990 年 10 月北京第 1 次印刷

印 数 1—1,520

ISBN 7-5025-0789-2/TQ·453

定 价 6.50 元

目 录

NACE腐蚀标准简介	1
NACE Standard RP—01—73 腐蚀产物的 收集和鉴定	3
NACE Publication 6G186 (№.54257) 受污染钢的 表面预处理	20
NACE Standard RP—01—72 钢和其他硬质材料在 涂层施工或维修前的水剂喷砂	35
NACE Publication 6G166 钢和混凝土槽罐 的内表面处理	41
NACE Standard TM—01—70 新钢件表面空气喷砂 后的目测标准	54
NACE Standard TM—01—75 新钢件表面钢砂和钢 丸离心喷射后的目测标准	57
NACE Standard RP—01—75 钢管及管道 系统内部的腐蚀控制	60
NACE Standard RP—01—69 (1983年修订本) 地下或水下金属管线装置的外部腐蚀控制	74
NACE Standard RP—05—72 (1985年修订本 №.05012)外加电流深埋接地床的设计、安装、操作 和维护	115
NACE Standard RP—03—72 煤焦油环氧树脂 涂料 涂覆石油油罐的施工方法	131
NACE Publication 6D170 涂层破坏的 原因和防止办法	138
NACE Publication 6A181 (№.54165)无机和有机保	

护涂料理论覆盖率的测定.....	152
NACE Standard RP0487—87 (№.53066)暂时性石	
油基涂料的选择依据和评定方法.....	160
NACE Publication 1D166 缓蚀剂膜耐久性试验	
方法的综合评定.....	171
NACE Publication 3M182 (№.54254)化学清洗剂的	
腐蚀试验.....	189
NACE Standard RP—01—82 (№.53141)水冷却设	
备的初始调节.....	200
NACE Standard TM—01—71 金属在高温水中的高	
压釜腐蚀试验方法.....	206
NACE Standard TM—02—70 实验室腐蚀试验控制	
速度的指导性方法.....	220
NACE Publication 6F264 设备衬里施工用	
安全检验检查规则.....	229
NACE Standard RP—01—78 化学药品浸渍用衬里	
金属容器的设计、制造和表面精整.....	236

NACE腐蚀标准简介

美国国家腐蚀工程师协会(National Association of Corrosion Engineers、简称NACE)自1962年开始公开发表腐蚀标准。截至1989年5月共计158项。

美国国家腐蚀工程师协会于1943年10月11日在休斯敦成立。是美国最权威的腐蚀与保护组织。NACE腐蚀标准是美国国家腐蚀工程师协会公开发表的腐蚀标准，在世界上享有最高权威。

NACE的技术规范委员会是NACE的主要组成部分。该组织于1945年成立，是美国国家腐蚀工程协会长远建制的腐蚀标准委员会。NACE技术规范委员会下设若干个专业委员会，每个专业委员会又设若干个专业组。

NACE腐蚀标准的制订十分严格，共分成八个步骤：第一草案；第二草案；第三草案；专业委员会评议；专业组书面投票；专业委员会书面投票；NACE技术规范委员会书面投票表决；董事会通过。

NACE腐蚀标准有五种形式：

- (1) 实用技术。
- (2) 实验方法。
- (3) 材料的要求。
- (4) 定义及术语。
- (5) 图表及数据。

其中绝大多数为第一种形式，其次为第二种形式。每种形式的标准均由NACE中心办公室制订“标准说明书”及标准的建立、评审、批准等程序的细则。

实用规范以两种形式出现：

- (1) NACE标准 (以NACE Standard编号)

(2) NACE技术委员会报告(自1969年开始,采用 NACE publication 编号。)

我们就已经公开发表的标准编号及内容整理出十大类:

- (1) 油田装置的腐蚀与防护。
- (2) 管道防腐蚀。
- (3) 运输设备的腐蚀与防护。
- (4) 阳极保护。
- (5) 过程工业的腐蚀与防护。
- (6) 基层表面处理、涂层、衬里、铺砌等防腐蚀工程。
- (7) 水的腐蚀与防护。
- (8) 炼油装置的腐蚀与防护。
- (9) 军用设备的腐蚀与防护。
- (10) 地下和水下埋设物的腐蚀与防护。

每一大类又按A、B、C……分成若干小类,每小类又分成若干细类。

NACE 腐蚀标准是与相关学科最优秀的技术相一致的,内容代表该项技术的最低要求。但决不限制用户采用其他标准。只要工程来源是常规的,任何用户都可以无更改的,全部或部分的沿用NACE标准。但是,不应当认为每个标准都能应用于学科的一切情况,在一些特殊场合下或不可预测的情况下,可能会出现与标准有出入之处。

NACE技术规范委员会对腐蚀标准要作定期检查,一些标准经过实践考验后可能作一些修改或撤销。NACE要求,自初次出版日期算起,在两年内要对出版标准进行重订,修正或撤销。我们翻译出版的NACE腐蚀标准,均为肯定的和最后一次修正过的。

NACE腐蚀标准适用于制造,用户和一切施工单位。

(涂湘细)

腐蚀产物的收集和鉴定

(实用技术)

前 言

对腐蚀问题的研究和检验判断通常需要收集和分析有关的腐蚀产物。因为腐蚀产物种类繁多，所以许多工业实验室和专用实验室都颁发了他们自己的方法，用以对他们感兴趣的特殊领域内所碰到的腐蚀产物进行收集和分析。

对腐蚀产物的分析和鉴定可以帮助工程师分析腐蚀问题，为其提供可能有助于如下几方面鉴定的信息：（1）腐蚀破坏的性质和类型；（2）合金中遭到腐蚀的金属或金属相；（3）促使腐蚀的介质条件。

美国国家腐蚀工程师协会腐蚀产物专业委员会T—3B颁布了这一标准，供作指南。本标准对人们需要收集和分析腐蚀产物的大多数情况都是适用的。专用实验室可规定标准中某些章节适用于他们的特殊操作。本标准可使一个具有有限技术经验的人能收集到适合在实验室中作进一步分析的腐蚀产物样品。

本标准对腐蚀产物分析的详细过程不作介绍，但是在收集腐蚀产物样品的方法和技术方面给予了指导。这个标准还介绍了一些在腐蚀产物的分析和鉴定方面已被成功使用的方法，以指导工程师和即将承担实际分析工作的分析员进行讨论。

第一节 概 述

1.1 这一推荐的实用规范提供了对大多数要收集和~~分析~~腐蚀产物的情况都适用的准则。因为在现场收集腐蚀产物的人，可

能原来没有处理腐蚀问题方面的经验，本标准对其收集方法作了说明，应该按此方法去做，以便把适用的样品提供给实验室，使其检验分析能有助于腐蚀问题的解决。

1.2 因为大多数腐蚀产物的分析是在实验室进行的，而且不是由在现场收集腐蚀产物样品的人做的，所以这个标准介绍了一些腐蚀产物的分析和鉴定方法，以指导工程师和实验室的分析员进行讨论。

1.3 如果所遇到的腐蚀问题是不熟悉的或不常见的，那么强烈呼吁，对腐蚀产物进行鉴定或分析的实验室，在取样之前，实验人员应该是已经接受过一些可适用于特殊腐蚀问题的专门训练的人。

1.4 在某些情况下，腐蚀产物接触到皮肤和眼睛，吸入其粉尘或释放出的蒸汽，受到其辐射线的照射等等均可能引起伤害，因此，无论在取样过程还是随后分析人员的处理过程中，都必须采取适当的预防措施。对于那些无论已知还是怀疑其内含有有害物质的腐蚀产物样品，应该作适当的鉴定，以减少伤害的危险。某些腐蚀产物性质上是可自燃的，在与空气接触中，它们将放出热量或燃烧起来，这不但可能涉及安全问题，而且可能引起化学成分的改变，从而导致分析结果的错误解释。

第二节 腐蚀样品的描述

2.1 故障历史资料

2.1.1 搜集被腐蚀部件的故障历史，只要有可能获得，则应包括如下资料：部件编号、设备的制造日期、暴露时间的长短、被腐蚀部件暴露的环境、部件中出现的金属和非金属以及遭到腐蚀的金属和非金属、邻近区域的金属、以及与部件所处服役条件有关的任何其他资料。

2.2 拍照

2.2.1 在取走腐蚀产物之前和之后对被腐蚀区进行拍照。

2.2.2 如有必要，可用分解示意图标明，所有照片应该注

明有关的材料、部件名称和编号以及部件的特殊形貌。

2.2.3 建议使用彩色摄影术。

2.3 目视检查

2.3.1 检查被腐蚀区域和腐蚀产物，以便能作出一个关于颜色、组织、损伤程度和其他有关资料的书面描述。

2.3.2 用 $7\times\sim 10\times$ 放大倍率的手持式透镜帮助做目视检查。

2.4 磁性检查

2.4.1 用小型磁铁检查，以确定腐蚀产物中铁磁物质的存在。

第三节 收集腐蚀产物样品

3.1 一般程序

3.1.1 如有可能，应该将整个被腐蚀的部件送到实验室去。

3.1.2 如果不能将整个部件送去，应该取有代表性的部位送去。

3.1.3 在切割或取部件的某一部位或整个部件时，可能必须用特殊的方法，以防腐蚀产物脱落或污染（参看后面附录1所列检查项目；参看第四节往实验室装运的准备）。

3.2 pH值的测定和浸提

3.2.1 用pH纸（如果沉积物是干的，则用去离子水弄湿pH纸）测定被腐蚀区或其附近的水溶性物质的酸碱性。

3.2.2 有些实验室可能要求用去离子水或其他特殊的溶液浸取被腐蚀区附近部位的水溶性物质，并将浸取物收集在清洁、干燥的非金属瓶内。

3.2.2.1 确保瓶塞或螺旋帽盖的衬里是不会和溶液起反应的材料。

3.2.2.2 一般说来，软木、橡皮、或塑料衬里的螺旋帽盖，比纸或金属衬里的帽盖更可取。

3.3 收集样品

3.3.1 用一把小的非金属刮铲、勺子或坚硬的钢凿把腐蚀产物收集到广口玻璃瓶内或塑料容器内。

3.3.2 如果腐蚀产物是潮湿的，则用瓷的刮勺更好。

3.3.3 确保腐蚀产物的任何液体部分连同腐蚀产物样品一块都要收集。

3.3.4 如果腐蚀产物的颜色、外观等等不同，应该结合目视检查（2.3节）鉴别，把不同部分的腐蚀产物分别收集到各个容器内，并在照片或示意图上加以标注（2.2节）。

3.4 样品体积

3.4.1 按体积计，腐蚀产物量最多可能用大约30cc(1盎司)。

第四节 运送样品到实验室

4.1 容器密封

4.1.1 所有盛装腐蚀产物的容器都应该用压合胶带加封，以防容器口松脱。当运送会受到光、空气、盛装容器材料等等影响的腐蚀产物时，需要采取特殊的预防措施。

4.2 液体样品或潮湿样品

4.2.1 如果腐蚀产物样品含有液相，并且在装运期间可能经受过高过低的温度，那么应该采用适当的绝热材料把盛装腐蚀产物样品的容器包起来，并在容器外部贴上警告标签。

4.2.2 如果腐蚀产物样品含有强酸或强碱溶液，则应把样品放在塑料容器内，因为这些溶液可能把玻璃容器中的二氧化硅浸取出来。

第五节 分析和鉴定方法

5.1 本节的目的是简单地介绍一些在腐蚀产物的分析和鉴定方面已被成功使用的方法，以便能指导从事解决腐蚀问题的工程师以及即将负责实际分析工作的分析员进行讨论。

5.2 对所使用的分析方法作出决定后，分析员在过去经验、样品特征和如2.1节所提到的收集的故障历史资料的基础上，按

照决定进行分析。

5.3 文献目录列于附录2,那一节是供希望在分析方法方面获得更多信息的人们用的。近代发展起来的技术,如象俄歇光谱法、化学分析的电子光谱法(ESCA)、离子显微探针和其他一些近代分析方法没有编入目录,但它们对腐蚀产物分析的未来应用却显示了潜力。

5.4 显微镜检查法

5.4.1 可以按下述技术中的任一种技术,通过更详细的检查,对初步的目视检查(2.3节)加以补充:

5.4.1.1 光学显微镜检查法

5.4.1.1.1 如果可得到被腐蚀的样品本身,在双筒显微镜下检查,常可揭示出由于腐蚀而造成的金属点蚀、裂缝或明显的渗透迹象。

5.4.1.1.2 为了确定腐蚀类型和腐蚀程度,应该把被腐蚀样品的横断面制备成标准金相磨片。腐蚀类型可以分为一般腐蚀、点蚀、晶间腐蚀、穿晶腐蚀等等;腐蚀程度可以记述为渗透深度、单位面积的点蚀数、横截面面积估计的降低数等等。

5.4.1.1.3 对各种腐蚀产物的显微镜检查,可以得出关于组织和结晶特性的有用信息。脱落的粒子可用镊子或尖利的针将其取下,它们常可用已知物质的图谱,通过比较的方法得到鉴定。

5.4.1.1.4 有些材料通过显微镜检查其在偏振光情况下发生的变化可以得到鉴定。已知波长的紫外光($3650\text{\AA}$)和一些其他光源可能会引起某些物质按已知的方式发荧光。

5.4.1.2 电子显微镜检查法

5.4.1.2.1 在电子显微镜检查法中,是用电子束“照明和观察”物体的,这在某种意义上是与光学显微镜检查法中使用光束相类似的。在真空中,高能电子束撞击到样品上,经散射后,透过样品的电子被磁透镜重新聚焦而形成图象,可用照相的方式把这图象记录下来。因为电子束具有比可见光短得多的波长,所以

可获得高得多的放大倍率和好得多的分辨率。典型的直接放大倍率从100倍到300,000倍,而且分辨率可好到约5 Å。透射电子衍射花样可按选择的区域成象,衍射花样还可被记录下来(参看5.5节)。

5.4.1.2.2 电子显微镜可提供关于材料的形状、尺寸和结构的信息,也可提供晶粒和亚晶尺寸、相分布以及晶体缺陷类型和特性的信息。

5.4.1.2.3 电子显微镜可提供关于结晶学方位的信息,有时还可得出确切的鉴定。

5.4.1.3 扫描电子显微镜检查法

5.4.1.3.1 虽然一般电子显微镜是以类似于光学显微镜的方式操作的,然而扫描电子显微镜的操作却是与电视摄像的方式相类似的。在真空中,细电子束在样品的一个小区域内扫描,电子束与成分或形貌的细节相互作用,产生的信号(例如背散射电子信号)被探测器接收,并用来调制与样品扫描器步扫描的阴极射线管上的图象亮度。由于扫描电镜好的景深兼有好的分辨率,故可获得高放大倍率下的、三维的、清晰的照片。典型的直接放大倍率从20倍到50000倍,目前分辨率大约为200 Å。被扫描的样品还发射出特征X射线,可利用它们作定性化学分析,这与电子探针显微分析仪是类似的(5.7节);或利用特征X射线作表面成分图。

5.4.1.3.2 对电子显微图或立体对的检查,可获得有关材料的形状、尺寸和形态的信息。如果有X射线分析附件,则有可能鉴别相,另外还可鉴定材料中存在的主要元素。微粒的大小分布和表面面积也可测量。

5.4.1.3.3 表面导电的样品可以直接检查;非导电的表面可通过蒸发的办法,使它们镀上一层铝或金的薄层而使其导电。可检查标准金相样品,也可检查断口表面、粉末等等。

5.5 X射线衍射分析

5.5.1 粉末状晶体材料的X射线衍射花样广泛用于鉴定化

合物和固体样品中存在的各种相。这些资料还可给出一些关于粉末微粒的晶粒度、晶粒尺寸和方位的信息。

5.5.2 当一已知波长的平行X射线束透过粉末样品的晶体材料时，X射线将按某一方式发生衍射，这种衍射方式是由晶体结构类型和特有的晶面间距所决定的。衍射花样可被记录在照相底片上或者用电离检测器探测并将其显示在带式图象记录仪上。粉末衍射花样中线条的位置和强度可用来鉴定粉末材料。这种鉴定工作可通过比较的办法来做，用实验室做出的衍射花样与已发表的和已被联合委员会在粉末衍射标准中编入索引的那几千种化合物的衍射花样进行比较。

5.5.3 如果直接在形成腐蚀产物的金属表面上用X射线衍射检查腐蚀产物，那么对衍射花样的解释必须考虑到入射的X射线束会扩散入样品表面内10到20微米这一事实。如果腐蚀产物层比该厚度薄得多，那么衍射花样也会包括有表层下基体金属反映的特征。如果腐蚀产物层的厚度大于 $20\mu\text{m}$ ，那么，深于 $20\mu\text{m}$ 的基体金属其衍射花样特征就不会反映出来，此时，虽然基体金属与表面腐蚀产物层的成分不同，也会因此而被忽略掉。

5.5.4 当一单色电子束透过薄截面的材料发生衍射或被非常薄的表面层反射而发生衍射时，得到的衍射花样是相似的。电子衍射花样更普遍地是用电子显微镜的附件获得的（5.4.1.2节）。

5.5.5 样品要求和分析能力

5.5.5.1 一般说来，对于定性鉴定有10毫克粉末样就足够了。

5.5.5.2 在顺利的情况下，在不到1毫克的样品上或在直径为 $10\sim 100\mu\text{m}$ 的单个微粒上就可进行鉴定。大于 $10\mu\text{m}$ 的微粒可能会产生能导致不可靠的鉴定的斑点。

5.5.5.3 定量探测极限随材料的性质而定，在 $0.1\sim 10\%$ 范围内变化。准确度通常为其含量的 $5\sim 10\%$ 。

5.5.5.4 微晶尺寸大小通常为 $30\sim 5000\text{\AA}$ 。

5.6 X射线发射摄谱仪法

5.6.1 X射线发射摄谱仪法被用于定性鉴定和定量测定固体或液体样品中的元素。对表面沉积物进行扫描对定性鉴定是有用的，有时还可用它来测量覆盖层的平均厚度。

5.6.2 当样品受到波长范围接近 $0.5\text{ \AA}$ 的高能辐射时，样品将发射出二次X射线，它是表征样品中存在元素特征。X射线发射摄谱仪法包括对这些特征X射线的激发、为了鉴定各个元素对它们的波长进行测量、以及为确定其含量测量它们的强度。一台普通型号的设备具有一个提供激发X射线的钨靶管，一个用作使谱线色散的、作为光栅使用的分光晶体，和一个用于测量选定波长下谱线强度的气体正比计数器。

5.6.3 X射线发射摄谱仪法对原子序数大于21的元素作定性鉴定一般是有价值的。在某些情况下，甚至原子序数低到9的轻元素也可被探测。

5.6.4 需要的样品量随所要鉴定的元素而异，但通常 0.1 mg 就足够了。对于定量分析应该用10毫克。探测极限一般是在 $10\sim 100\text{ ppm}$ 之间，测量精度取决于标定标样可达到的质量。

5.7 电子探针显微分析

5.7.1 除了激发辐射是用可被电磁透镜聚焦的高能电子束撞击到直径小到 $2\sim 3\mu\text{m}$ 的面积上而产生的这点外，电子探针显微分析同X射线发射摄谱仪法是相似的，在电子束作用的面积内所含元素，可通过测量它们发射出的特征X射线的波长加以鉴定，其含量可由发射的X射线的强度来确定。

5.7.2 因为样品的激发必须在真空室内进行，所以只能分析固体材料。被电子束激发的材料的有效量大约是 10 g 。原子序数大于4的元素一般都可探测，并且对于原子序数为11或大于11的元素，探测门槛量约为百分之 $10\sim 150$ 。对于原子序数为 $5\sim 10$ 的元素，很难说出一个门槛量。

5.8 火花源质谱测定法

5.8.1 虽然常规的质谱测定法一般只限于测定能被蒸发的、在 300°C (572°F) 或更低的温度下没有降解的化合物，然而火

花源质谱测定法却特别适于稳定的、不易挥发的固体，能以几乎相等的灵敏度探测所有的元素。

5.8.2 高压火花使少量样品蒸发并电离而产生离子束，离子束通过狭缝系统被加速、被聚焦，然后以磁性方法把离子按组分分离离子的荷质比(e/m)分离开。质谱可用照相的方式记录下来，或者可探测散开的离子束并以电子方式读出。

5.8.3 所有元素都可探测到低至十亿分之几的含量。分析的绝对精度受到参考标样可用性的限制。对所有元素来说，相对精度有可能约为10%。

5.8.4 尽管分析时实际蒸发的样品量可能只是零点几mg，但准备更多量的样品是必要的。不管样品的原始形状如何，都必须使它变为一个导电电极（例如通过和导电基质相混合并压制成块的办法），或者使它与导电电极良好接触。

5.9 光学发射光谱法

5.9.1 光学发射光谱法通常被用于测定存在于固体、粉末或液体样品中的金属元素。样品在电弧或电火花中蒸发并受到电子激发，表征电弧或电火花所激发出的元素。特征的发射光的波长，用光栅或棱镜使其色散，并将其记录在照相胶片上，或用光电倍增管将其探测在直读仪中。谱线的波长供作定性鉴定，谱线的强度可同标样作比较而供作定量判断。

5.9.2 可在少到0.1mg的样品上作主要组成元素的定性分析，但定量分析需要10~1000mg样品，并要求有与被分析样品性质密切相配的标准参考资料。在制定好标准操作程序和标定程序之后（这常常需要几天时间），即可测定从百万分之几到百分之几的浓度。

5.9.3 无机固体和粉末可被直接打电弧或发火花。有机物质在被传送到摄谱仪之前，通常已被分解为无机的灰烬了。液体可以直接分析（直接激发*）或者可在蒸发溶剂之后用残渣分析（干渣激发*）。

* 为译者加著。

5.10 红外光谱法

5.10.1 红外光谱法主要用于对有机固体、液体和气体的鉴定，但是从一些具有共价键基团的无机化合物中也可获得有用的红外谱。正常情况下红外谱是透过样品而获得的，但是也可通过衰减全反射 (ATR) 或多次内反射 (MIR) 的特殊技术来检查表面覆盖层和表面膜。

5.10.2 分子中的原子以特有的频率相对于周围作振动，如果在这种振动期间，化学键的偶极矩发生变化，则那种特定频率的红外辐射当其通过材料的有限厚度随将被吸收。在红外分光光度计中，样品受到频率大约从 $300 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ (2.5~30 μm) 连续变化的辐射并将作为频率函数的透过样品的那部分入射辐射记录下来。分子中的红外活性键用出现在红外吸收谱中的吸收峰的频率来鉴定。衰减全反射 (ATR) 和多次内反射 (MIR) 带有对红外能的测量，这种红外能在它被反射和传送到探测器之前，仅仅穿入样品几微米。

5.10.3 样品要求

5.10.3.1 液体：一般说来，1~2ml 是需要的。但是用特殊的设备，少到 50 μl 的样品也可分析。

5.10.3.2 固体：0.01~0.25mg 的粉末样品，按惯例可用 KBr 压片技术处理。0.025~0.1mm 厚的薄膜也可使用。欲用衰减全反射 (ATR) 和多次内反射 (MIR) 得到好的光谱，取决于棱镜和样品表面间的内部联系。样品尺寸依赖于所使用的特殊仪器的特性。

5.10.3.3 气体：需要量为大气压下几毫升。

5.11 紫外和可见分光光度法

5.11.1 液体样品或在适当溶剂中的样品，是用紫外线范围 (200~400nm) 或可见光范围内 (400~800nm) 的已知波长，

①原文如此。若此数字与后面括号数呼应，则应为 $\frac{1}{4000} \sim \frac{1}{300} \text{ cm}^{-1}$ ——译者著。