

内部资料
注意保存

国外腐蚀及防腐蚀情况

上海化学工业设计院
石油化工设备设计建设组复

一九七二年八月

毛主席语录

打破洋框框，走自己工业发展道路。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

独立自主、自力更生。

外国一切好的经验、好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。

目 录

- (1) 国外腐蚀及防腐蚀情况.....兰州化工机械研究所(1)
- (2) 国外非金属材料在耐腐蚀工程中的应用.....国家建委建筑材料科学研究院(16)
- (3) 国外塑料与玻璃钢在化学工业中的应用及其发展....上海科学技术情报研究所(31)
- (4) 碳纤维在化工设备中的应用.....中国科技情报研究所重庆分所(39)

一、国外腐蚀及防腐蚀情况

兰州化工机械研究所

为了与帝、修、反抢时间，争速度，知己知彼，百战不殆，兰州化工机械研究所编写了《国外腐蚀及防腐蚀情况》，供有关人员参考。应该说明的是：由于了解及掌握资料情况不多，限于时间关系，这次我们仅对防腐蚀领域的几个部分进行了一些调查，加之水平有限，情况不一定全面、准确。同时，我们必须指出：帝、修国家的杂志惯用吹嘘的作法或者去其核心留其枝节的手段刊载各类文章和报导，尽管我们在取舍方面作了努力，但不妥之处还可能存在，因此，必须批判地进行阅读。

一、概 况

腐蚀是金属在周围介质的化学、电化学作用下所引起的一种破坏。本质上它是一个自发过程。人们虽然不能杜绝腐蚀现象的发生，但可以通过某些办法去减轻或防止它。目前腐蚀损失包括如下几个方面：一个是更换腐蚀设备、零部件，造成材料、人力上的直接损失；另一个是由于腐蚀引起的停车、原料的跑冒滴漏、产品的污染、设计上的保守、新工艺不能上马，所造成的间接损失；另外，腐蚀还常常造成公害及人身安全事故，危险不浅，因此腐蚀问题不仅是一个经济问题，而且也是一个社会问题。所以，防腐蚀工作是一项很重要的工作，也是一件很有意义的工作。

目前国外腐蚀问题是一个很普通的、很严重的问题，腐蚀遍及各个行业，每年要造成巨大的经济损失和钢铁损耗。几个主要资本主义国家因腐蚀每年所造成的经济损失见表1。估计全世界每年的腐蚀损失为100亿英镑(折合人民币约590.8亿元)。从钢铁损失方面考虑，国外的报导数据很不一致，甚至还有矛盾之处。美国估计每年就有4000万吨钢铁因腐蚀而损失掉，约占美国钢铁年产量的40%以上。苏联估计钢铁设备的腐蚀损失约为全年总产量的三分之一，为4000万吨左右，其中约占总产量的10%(即1200万吨)完全报废。据澳大利亚腐蚀工程杂志估计，全世界每年金属的腐蚀损失约为全年总产量的20%，则全世界每年有约1亿吨金属因腐蚀损失掉。从各个行业腐蚀的情况来看，也可以很清楚地看出，腐蚀也是国外一个很普遍的严重问题。现以美国为例，仅每年汽车消音器的腐蚀损失一项，就与巴拿马运河建设费用相当。美国因锅炉腐蚀，每年损失3亿美元(折合人民币约6.8亿元)。汽车的腐蚀损失，每年5亿美元(折合人民币约11.3亿元)。石油炼制的腐蚀损失，每年0.5亿美元

表 1

国 家 名 称	腐 蚀 损 失	占国民经济总值 %
美 国	100 亿美元 (折合人民币约 226.7 亿元)	1.25
英 国	13.65 亿英镑 (折合人民币约 80.5 亿元)	3.5
日 本	6250 亿日元 (折合人民币约 45.6 亿元)	1.25
西 德	15—20 马克 (折合人民币约 10.5—14.0 亿元)	
加 拿 大	10 亿美元 (折合人民币约 22.7 亿元)	3
瑞 典	20 亿克郎 (折合人民币约 9.06 亿元)	1.25

(折合人民币约 1.13 亿元)。石油贮槽的腐蚀损失, 每年 0.75 亿美元 (折合人民币约 1.70 亿元)。地下石油构筑物的腐蚀损失, 每年 3.65 亿美元 (折合人民币约 8.27 亿元)。包括化学工业在内的其他行业, 腐蚀的损失最大, 每年竟达到 86.7 亿美元 (折合人民币约 196.57 亿元)。

鉴于腐蚀问题的严重, 目前国外许多国家都采取了各方面的措施, 对防腐蚀工作普遍都较为重视。具体表现在如下几个方面。

投资方面: 工业发达的资、修国家每年在防腐蚀上都要花费大量的投资。美国每年投入防腐蚀的费用为 30 亿美元 (折合人民币约 68 亿元), 相当于化学工业设备投资的十分之一。英国每年投入防腐蚀的费用为 1.95 亿英镑 (折合人民币约 11.52 亿元), 相当于化学工业及关连工业投资费用的五分之一强。估计全世界每年的防腐蚀投资费用达 150 亿美元 (折合人民币约 340 亿元)。

科研方面: 为了解决目前所存在的腐蚀问题及今后可能产生的严重腐蚀问题, 在资、修国家的许多高等院校、研究机构、公司都设有防腐蚀科研工作人员, 开展腐蚀理论及防腐蚀应用方面的工作。据报导, 国外腐蚀工作者在技术工作者中的比例, 最近有很大的增长。

组织机构: 工业发达的几个资本主义国家都设有全国性的一至几家防腐蚀业务组织, 开展防腐蚀业务的领导工作。如英国的“腐蚀工艺学会”、“英国腐蚀工程师协会”、“腐蚀和保护协会”、“英国腐蚀联合小组”、“腐蚀科学协会”, 美国的“全国腐蚀工程师协会”, 欧洲的“欧洲腐蚀同盟”, 澳大利亚的“澳大利亚腐蚀协会”, 日本的“日本学术振兴会”的第 97 委员会等。

在技术交流方面: 美、英、苏、日、西德、法、澳等工业发达的资、修国家都出版一至几本专业性腐蚀与防腐蚀杂志, 开展交流活动, 为了促进国际间的腐蚀科学、技术研究, 交流各国间的成果, 自 1961 年在伦敦召开第一次国际金属腐蚀会议以后, 定每三年召开一次, 今年将在日本召开第五届国际金属腐蚀会议。国外还召开地区性防腐会议, 如“经互会”会员国 1971 年在莫斯科召开了第一次金属防腐会议, 以后定每三年召开一次。同时, 许多国家也定期召开全国性防腐会议, 如美国每年召开一次全国性的腐蚀与防腐蚀会议, 1970 年召开了第 26 次会议, 日本腐蚀防腐蚀技术讨论会由 1950 年开始, 每年举办一次, 1970 年已开了第十七回, 苏联则经常召开各防腐专业的座谈会及举办专业研究班来交流研究和技术成果。

在耐蚀材料及防腐技术的供应方面: 各国商界建立了许多专业性的防腐蚀公司, 提供各

种类型的耐蚀材料、出售防腐蚀商品、商品技术，承包防腐蚀设计、施工和维修工程。

总之，资本主义国家、修正主义国家他们从经济的观点出发，为了少出钱，而获得更大利润，在投资、研究、机构交流推广及材料的供应等方面，都采取了一定的措施，对防腐蚀工作普遍都予注意。

目前国外防腐蚀工作总的情况是：耐蚀金属结构材料的使用量还是大大超过非金属结构材料，但寻找金属代用品在工业发达国家是一种普遍趋势，非金属设备，特别是塑料的用量每年都有增加。对有腐蚀性介质浸蚀的设备，大多采取了防腐蚀措施。对腐蚀性不太强的介质，如冷却水，土壤、大气等，广泛采用涂料、阴极保护、缓蚀剂或耐蚀的低合金钢，腐蚀问题基本上获得了解决。对石油、化学工业中最常见的腐蚀性较强的介质，大多采用各种类型的不锈钢、塑料、玻璃钢、石墨、硅酸盐材料等，获得了显著的经济效果。对高温、高压及强腐蚀性介质，一般均采用镍基合金、钛制设备，在某些场合也采用氟塑料、石墨等非金属材料来解决，并收到了一定的效果。对高温卤化物及稀硫酸等等介质的严重腐蚀问题，目前尚未见到一个令人满意的解决办法。

二、防 腐 蚀 技 术

一、电 化 学 保 护

电化学保护有两种，一种是阴极保护，另一种是阳极保护。1824年国外就有人提出阴极保护可以防止腐蚀，但是这一方法直到本世纪三十年代才在工业上开始应用，四十年代才开始应用于石油、化工设备的防腐蚀上。阴极保护国外主要用来保护船舶、地下金属结构（如地下贮槽、地下管道、地下电缆等）、受海水及淡水腐蚀的设备。在化学工业中主要用于卤化物结晶槽、制盐蒸发罐、浓缩苛性钠、硫酸盐等设备的保护上。同时它还可防止某些金属的应力腐蚀破裂、腐蚀疲劳、黄铜的脱锌等特殊腐蚀。如果它与缓蚀剂联合防腐，可以保护阳极作用达不到的地方，效果会更好。因此，阴极保护在国外应用非常广泛，在防腐蚀上占有很重要的地位。目前国外阴极保护技术非常成熟，已发展成为一种商品技术。例如美国到1969年为止，已有20余家防腐蚀公司承包各种阴极保护的设计、施工和维修工程。另外，阴极保护所需的自动控制直流电源、检测设备以及作为牺牲阳极保护的镁、锌、铝等合金材料，都已标准化、商品化。应该特别指出：目前国外地下油、气输送管道，大多是采用阴极保护防腐的。例如到1970年年底，美国有64万公里的油、气管道采用阴极保护，也就是说几乎是所有美国油、气管道都已采用这种防腐方法了。此外，苏联有6万公里，西德有1.7万公里，法国有2万公里的输气管道采用了阴极保护。涂料和阴极保护联合防腐蚀，可以互相弥补各自的不足，可获得很好的保护效果。采用这种方法后，管道使用寿命至少延长20年，维修费用可降低到几十倍，国外已供认它是一种最经济、最有效的防腐手段。

阳极保护是一门较新的防腐技术，直到1954年国外才有人提出阳极保护可以防止腐蚀，1958年才第一次得到工业应用。以后，在几个工业发达的资本主义国家及苏联，阳极保护陆续用到硫酸、磷酸、有机酸、液体肥料等系统中。目前国外可以保护 170°C ，容积 100米^3 的

碳钢纸浆蒸煮锅，保护度 85%。另外还可以保护容量为 750 米³的浓硫酸大贮槽，使用十年以上，仍在继续使用中。但是，这门技术发展较晚，使用上有局限性，目前国外大量的工作是从理论方面的研究，探索各种介质应用阳极保护的可能性。在生产应用方面，迄今为止，阳极保护在各国都还没有大量采用，即使在目前阳极保护技术比较成熟的美国，使用的实例也是屈指可数的，而且大部分仍局限于碳钢-浓硫酸系统。但在应用的这些有限实例中，却绝大部分是有自动控制装置的。

二、缓 蚀 剂

国外石油化学工业中，使用缓蚀剂进行防腐很普遍，特别是石油工业使用缓蚀剂的数量更多，它是目前国外缓蚀剂的主要用户。据报导，美国含硫油井不予防腐的话，一口井每月腐蚀损失约为 50 美元，如果采用缓蚀剂保护，每月费用平均只有 13.5 美元。不予防腐的每口凝水井，每生产 100 万呎³气，腐蚀损失为 4.27 美元(折合人民币为 8.68 元)，如用缓蚀剂保护，费用少于 1 美元(折合人民币 2.27 元)。因此美国在石油工业中广泛使用缓蚀剂防腐，每年缓蚀剂的费用就达到二千五百万美元(折合人民币约五千六百七十万元)。就目前缓蚀剂的品种来说，估计有几千种，而且国外每年还有大量缓蚀剂专利公布，在国际市场上也可以买到适合于各种用途的商品缓蚀剂。就应用场合来说，国外主要是用于酸性气体、水系统、酸洗及化工生产过程中。

酸性气体缓蚀剂主要用于石油工业，以解决含硫化氢、二氧化碳的原油和天然气的开采、输送、炼制过程中设备的腐蚀问题。无机类缓蚀剂除在某些高温腐蚀情况下有一些应用外，实际上国外使用得最多的还是有机类缓蚀剂，主要有烷基脂肪酸衍生物、咪唑啉盐及衍生物、四元化合物、松香衍生物、有机硫化物等几大类，其中尤以含氮的长链有机化合物最为有效。属于这一类缓蚀剂的商品名称也很多，如资本主义国家的 Contol、Corbon，苏联的 ИКБ-2、ИКБ-4，罗马尼亚的 CNHTAM12、CNHTAM42、CNHTAM50，都是专门用于石油开采和炼制工业中的这一类缓蚀剂。它们的缓蚀剂效率很高，在生产上取得了满意的使用效果。例如，美国含硫高的凝析气田、加拿大“阿克托克”气田采用这类有机缓蚀剂防腐后，年腐蚀率分别降低到 0.025 毫米及 0.58 毫米。苏联“依申拜”油田采用这类缓蚀剂防护后，腐蚀速度降低到原来的 1/60 以下。法国“拉克”气田采用这类缓蚀剂后腐蚀速度降低到原来的 1/40。水系统缓蚀剂国外大多用于动力工业部门。在石油、化学工业中主要是用于冷却水及冷冻盐水设备的保护，其中在密闭循环水系统中的使用效果最好。早期使用的缓蚀剂大多是亚硝酸盐、铬酸与重铬酸盐、磷酸与焦磷酸盐、水玻璃等无机类缓蚀剂。近年来已开始广泛采用无机-有机类及有机类缓蚀剂。据报导，无机、有机缓蚀剂联合使用，其效果常比它们单独使用时要好。为了避免水系统的传统缓蚀剂铬酸盐、磷酸盐的某些缺点，国外对有机类缓蚀剂也进行了大量的研究与应用工作。例如，最近美国研制出敞开式循环水系统的新缓蚀剂，它是有机杂环化合物、锌盐和碱性稳定剂的复合体。它的正常使用量为 100PPM，腐蚀速度可以降到 0.3—3.7 密耳/年。另外，国外在酸洗工作中也广泛采用缓蚀剂。属于这类缓蚀剂的也大多是一些有机类缓蚀剂。资本主义国家中作为盐酸、硫酸酸洗的商品缓蚀剂很多，在此不一一列举。值得注意的是：近年来苏联对过去很通行的一些酸洗缓蚀剂也将逐渐被取代掉。例如以 C-1、КПН-2、КПН-4 代替了 ЧМ 和 ПБ 型酸洗缓蚀剂。目前国外在

化工生产过程中采用缓蚀剂虽有不少研究与应用,但迄今为止应用并不广泛。

三、防 腐 蚀 涂 料

随着国外工业大气的污染,海洋的开发,地下构筑物的扩建,金属建筑结构方面的腐蚀问题显得很普遍,也很严重。例如,苏联每年在金属建筑结构方面的腐蚀损失就达到6亿卢布(折合人民币约13.3亿元)。因此,采用防腐涂料保护建筑结构、石油化工设备、防止大气、水、土壤及化学介质的腐蚀国外一直很重视。如英国每年用在工业、船舶航运及建筑工程部门的有机保护层费用就达到6.4亿英镑(折合人民币约37.8亿元)。近年来随着国外石油化工的迅速发展,合成树脂得到了广泛的使用,目前以合成树脂为基础的涂料工业逐渐取代了以植物油、天然树脂为基础古老的油漆工业。

就涂料工业总的情况来看,目前美国涂料的产量占世界第一位,1969年产量为399万吨。其次是苏联,1969年产量为188.5万吨。日本的发展速度最快,从1950年到1968年之间,产量增长了11倍,1969年已跃居世界第三位。英国由于工业发展较早,城市集中,四面临海,气候潮湿,建筑结构物的腐蚀严重,因此,耐蚀涂料的研究与应用工作,长期来处于领先地位。

从防腐涂料品种上考虑,国外主要有环氧树脂涂料、聚氨基甲酸酯涂料、乙烯类树脂涂料、橡胶类涂料及其他等几大类。其中在环氧树脂涂料中又有胺固化、无溶剂、环氧沥青、环氧酚醛、湿面固化、环氧酯、环氧粉末等几种;聚氨基甲酸酯涂料中又有油改性、湿固化、封闭型预聚物、含羟基聚合物固化、聚氨基甲酸酯沥青等几种;乙烯类涂料中又有过氯乙烯、含氟乙烯、氯乙烯-醋酸乙烯、氯乙烯-偏氯乙烯等几种;橡胶类涂料中又有氯化橡胶、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯等几种;其他类中主要有酚醛、呋喃、沥青、有机硅及无机高温耐蚀涂料。由于国外各种涂料的品种与商品名称较多,在此不拟一一列举。

从耐蚀涂料的产量方面考虑,现仅以美国耐蚀性能好、国外广泛使用的酚醛、环氧为例,来说明这个问题。表2为美国近年来酚醛树脂作为防腐涂料的吨位数。表3是环氧用于防腐涂料的吨位数。

表 2

1968 年	1969 年	1970 年	1975 年 (预计)
16200 吨	17000 吨	12200 吨	14000 吨

表 3

1968 年	1969 年	1975 年 (预计)
21420 吨	23580 吨	47700 吨

从发展的速度来看,目前国外较老的耐蚀酚醛涂料,产量在某些国家有所下降,在涂料中所占比重在各国则是很快下降,如日本的酚醛树脂漆1951年占18.2%,1968年下降到1.4%,1969年下降到1.2%。环氧防腐涂料国外发展很快,美国从1969年到1975年环氧防腐涂料的使用量就将增加一倍多。而且它在涂料中的比重也在很快上升,如日本的环氧树脂漆

1954年所占的比重为0.08%，1968年则上升到3.2%，1969年为3.3%。另外，在防腐涂料中很有发展前途的聚氨基甲酸酯涂料，它与环氧涂料一样，国外发展也很快，在涂料中所占的比重也在很快上升，如日本1961年占0.8%，1968年上升到1.8%，1969年占2.0%。

从发展趋向上考虑：据国外估计，每利用一百万吨油漆材料，便有40万吨昂贵的有机溶剂逸入空气中，为了降低这种损失和减轻公害，国外对水性漆、无溶剂漆、固体粉末化等方面进行了大量的工作，并且生产了许多的漆种。水溶性涂料是很有前途的，它可以用廉价的水代替昂贵的有机溶剂，而且无毒、不可燃、便于施工，目前国外水溶性涂料的比重在逐年上升，估计目前美国已占20%左右。为了满足海洋开发的需要，以防止海水的腐蚀，国外已广泛采用富锌涂料，同时还发展了湿面固化的涂装技术。例如，英国涂有富锌涂料的钢铁每年就有15万吨之多，占钢铁产量的0.62%。为了解决高温氧化和高温腐蚀问题，国外广泛采用有机硅铝粉漆和磁漆，可以耐1000℃的高温。近年来又发展了无机高温耐蚀涂料，如目前硅酸盐的无机涂料，已成了国外耐高温耐腐蚀涂料的重要品种之一。为了简化涂装前设备的表面处理，国外发展了带锈涂料。属于这种涂料的有转化型与稳定型等几种。涂装时只要将被涂物件上的兰皮、旧漆、浮锈除去，便可在带锈痕的钢铁表面上使用带锈涂料，藉助于它，使锈层转化或稳定，作为底漆，然后再在带锈底漆上涂装二道漆和合适的耐蚀面漆。这种方法国外目前在船舶、桥梁、建筑等方面已有应用。

四、砖 板 衬 里

国外采用砖板衬化工设备的历史较久，德国大概在1930年前后采用，后来发展到美国和其他国家。早期他们所使用的砖板材料是耐酸砖和陶瓷砖。胶泥主要用硅酸盐胶泥、硫磺胶泥、沥青-煤焦油胶泥。在结构上通常采用联合衬里，并在衬层下面增设铅板、聚异丁烯、丁基橡胶等防渗透层。随着合成材料工作的发展，先后出现了一些具有优良性能的新型树脂胶泥，如酚醛胶泥、呋喃胶泥、环氧胶泥、聚酯胶泥等。块材也发展到采用天然耐酸岩石、石墨、熔凝硅石、碳化硅等材料。由于砖板衬里在耐蚀、耐磨和耐热性方面效果极为显著，许多年来砖板衬里一直是国外一项传统的防腐技术，广泛应用于各个工业部门，特别是用于化学工业的氯碱、硫酸、硝酸和肥料等生产中，衬制各种类型的吸收塔、冷却塔、干燥塔、氯化塔、蒸发器、贮槽以及各种反应釜等。到目前为止，砖板衬里在国外仍然是一种重要的防腐措施。

1. 胶泥

硅酸盐胶泥是最老的一种胶泥，德国大概在1925年采用。它的最高使用温度约为1000℃，但通常推荐的上限温度为410℃。除含氟酸、热的浓磷酸和碱性溶液外，这种胶泥几乎稳定于所有的腐蚀介质中。缺点是孔隙率较高，在衬里时须设防渗透层。最近国外已广泛采用硅酸钾胶泥代替硅酸钠胶泥，优点是易于潮解，衬里层不易破坏。能耐900℃以下的硫酸、盐酸、硝酸、醋酸等。另外，季胺硅酸盐在250~300℃间让有机组份分解挥发后，也可制成硅酸盐的耐酸胶泥，其特点是不含碱金属。

硫磺胶泥是1925年美国开始应用，苏、英、法、日、西德都进行过研究与应用，它是由硫磺、填料、增韧剂配成。其优点是抗氧化性、抗水性、抗渗性好，成本低廉。缺点是不耐

碱和非极性有机溶剂，使用温度低（约 93°C）。目前国外主要用作耐酸槽衬及地坪的胶结材料。

酚醛胶泥是 1930 年德国开始采用，美国 1935 年用于化学工业中。最高使用温度可达 182°C。对大多数无机酸、无机盐及较多的溶剂具有优良的耐蚀性，但不耐强氧化剂和碱类，国外应用很广泛，但目前发展速度不快。

呋喃胶泥国外大约在 1940 年开始应用，最高使用温度可达 190°C。它除了具有酚醛胶泥的耐酸、耐溶剂性能外，还具有良好的耐碱性能，抗渗透性能，而且成本低廉，所以国外发展速度很快。

环氧胶泥它能耐非氧化性酸、碱、盐及有机溶剂，具有最好的粘结力，较高的机械强度，不透水，耐磨，适于热震动的环境。工作温度 150°C。但这种胶泥成本较高，在应用上受到一定限制。

聚酯胶泥耐酸、耐碱、耐油，不耐苛性碱，耐温达 140°C。另外，某种聚酯胶泥的硬化速度很快，在 15°C 下 3 小时或 30°C 下 1 小时即可完全硬化，适合停车检修时采用。

2. 预应力衬里技术

为了克服砖板衬里时砖与胶泥开裂导致衬里层的脱落，国外采用了预应力衬里技术。这种新的衬里技术最初为西德采用，它是 1950 年以后发展起来的，以后在欧洲和美国逐渐推广应用。其原理是采用一种有自胀能力的胶泥，即所谓预应力胶泥衬砌设备，然后在一定的温度和压力条件下进行预应力处理，使胶泥永久固化。因而在砖衬中存在预压应力，在钢壳中存在预拉应力，避免了砖衬的开裂损坏。目前国外采用的预应力胶泥有两种，一种是有机树脂胶泥，它是酚醛与其他缩合型树脂共聚而成，其中较好的一种是西德和美国生产的“AspLit CN”，它对 190°C 以下的酸、碱具有优良的抗蚀性，但对强氧化性酸如浓硝酸、发烟硫酸则不耐蚀。另一种为无机硅酸盐胶泥，其中较好的一种是西德的“Hoechst HFR-Z”，它对氢氟酸以外的任何酸都耐蚀，但耐碱性较差，可在 980°C 高温下连续使用，短期使用还可以高到 1100°C。据报导，1962 年前后欧洲每年完成 500—1000 台预应力衬里容器，而且还在继续增长。美国 Pennsalt 化学公司与西德的 Hoechst 染料公司在预应力衬里方面进行了长期的协作，并先后衬砌了几十个预应力衬里的容器和塔。其中的一个应用实例是有机氯化反应塔，直径为 7 呎，高 50 呎，操作条件是：温度 677°C，压力 28 个表压。预应力衬里后，设备连续使用了六年多未坏。

三、耐 蚀 材 料

一、金 属 材 料

在石油、化学工业中，目前国外所使用的耐蚀材料大部分仍是金属材料，其中以碳钢和不锈钢为主，其次是铸铁、铅、铜、铝、镍等。在碳钢基础上加入少量元素而发展起来的普低钢、“半不锈钢”，用于解决弱腐蚀介质上国外已很普遍。但耐蚀性能好的材料基本上还是

立足于铬镍基的高合金钢和镍基合金，如蒙乃尔、哈斯特洛伊等。在研究改进中，主要是在这些合金中加入钼、铜、硅等元素，藉以提高对特殊介质的耐蚀性及克服晶间腐蚀、应力腐蚀、点腐蚀等方面作了不少努力。另外是继续深入研究以锰、氮代镍和节镍的工作。此外，就是发展有色金属及稀有金属，特别是大力推广使用钛作为铬镍不锈钢不能解决的腐蚀问题上。

1. 不锈钢和合金钢

近年来，国外耐蚀合金和不锈钢等特殊钢的产量和品种都在不断增长。1970年几个主要资本主义国家的特殊钢产量见表4。合金钢和不锈钢的品种方面，就牌号而论，1970年已经

表 4

国 家 名 称	产 量(万吨)	占总钢产量的比例(%)
美 国(合金钢)	1157	9.7
日 本	1181	12.7
西 德	611	13.6
英 国(合金钢)	216.1	7.6
法 国	302.5	12.7
意 大 利	264.1	15.3
瑞 典	131.8	24.0
荷、比、卢	42.4	1.8

达到了230多种。至今成熟的品种主要有Cr13、18-8型以及18-12Mo、18-18Mo、20-24MoSiCu、镍基合金等。而其中又以18-8型不锈钢占大部分，例如，苏联18-8型奥氏体不锈钢占总的不锈钢产量的70%，美国占45%。

为了避免晶间腐蚀，国外常常采用超低碳不锈钢。这些钢是硝酸、尿素、亚硫酸盐、维尼纶工业和其它生产中很有前途的结构材料。近年来国外陆续发展了一些无镍的不锈钢新品种，如E-Brite26-1，这种钢特别耐孔蚀，也耐应力腐蚀。二次世界大战后，国外开始重视无镍或节镍不锈钢的研究。以锰氮代镍以及随后研制成功的在钢中加铝、钛、铜、钼、铍等其他元素的节镍不锈钢种都获得实际应用。目前已形成铬锰系奥氏体、高铬铁素体和铁素体-奥氏体双相等三类节镍不锈钢。

2. 低合金钢

由于镍的供不应求，国外很重视低合金钢的研究和推广应用工作。目前国外低合金钢的牌号近400种；而常用的仅有20—30种。耐蚀低合金钢主要有锰-铜类、铬-镍类、铬-铝及铬-钼-铝类、硅-锰类、含铌或含钒类等。国外发展趋势大体是发展低碳、多元微量钢种，发展调质钢，逐渐形成专用钢。

国外比较著名的钢种有美国的耐大气腐蚀用钢 Cor-ten 和法国的耐腐蚀和耐氧化用钢 APS 铬-铝钢。法国彭贝厂生产的一组含铬、铝的低合金耐蚀及耐氧化用钢包括有在表面腐蚀条件下宜于选用的钢种,在应力腐蚀条件下选用的钢种,在氧化和在其它热腐蚀条件下选用的钢种,在有蠕变及氧化的条件下选用的钢种和在腐蚀及腐蚀同时存在的条件下选用的钢种。日本近年来研制了一组耐硫酸腐蚀的低合金钢,包括有耐 1% 浓度的硫酸腐蚀用钢;耐温度为 60°C,浓度为 40~50% 的硫酸腐蚀用钢;耐温度为 40~100°C,浓度为 20~70% 的硫酸腐蚀用钢;耐高温(160°C)浓硫酸(90%)腐蚀用钢。

3. 稀有金属

随着石油、化学工业的发展,新工艺、新流程不断出现,因而要求结构材料能适应高温、高压、强腐蚀性的工作条件。因此国外进行了钛的研究与应用工作,解决了不少合金钢难以解决的腐蚀问题。美国是五十年代最先把钛用于化学工业,它是目前生产钛最多的一个国家,其次是日本。美国钛量的绝大部分是用于军事工业,用于化学工业作耐蚀材料的比重不大,大约是 8% 左右。日本情况有些不同,前期国内用钛量的 95% 是化学工业。最近英国用钛合金制设备的发展速度也很快,七十年代每年将增长 30% 左右。目前国外生产的钛合金共计 25 种,常用的有三类,即 α 、 $\alpha\beta$ 和 β 。 α 合金主要由钛、铝、锡、锆组成; $\alpha\beta$ 合金由钛、铝、锡、钼、硅或钛、铝、钼、钒或钛、铝、锰组成; β 合金则由钛、铝、铬、钒或钛、钼组成。在应用技术方面,国外是把爆炸焊接和衬里应用于化工设备的制造上。以制造高压釜、热交换器、蒸馏塔、洗涤器、泵、阀门、管道,解决含有氯离子的介质,如湿氯气,氯水,热氯化物溶液等的严重腐蚀问题。例如,外层为碳钢、低合金钢,内衬 0.125—0.75 吋厚钛、钽的此类设备在石油化工中已广泛应用, Kelomet 就是其中的一种商品名称。另外国外也采用稀有金属锆制耐热硫酸泵,每分钟 2175 加仑(493.9 立方米/小时),压头 90 呎(27.43 米)。

二、非金属材料

1. 塑料

国外塑料工业发展非常迅速,特别是近二十年来,几乎是每五年产量就要翻一番,1970 年全世界已经达到 3000 万吨。按体积计算,估计 1985 年塑料产量就要超过金属的产量。目前以美国产量最多,1970 年年产量为 900 万吨,占全世界总产量的三分之一弱。日本的发展速度最快,每年增长 25% 强。从品种上考虑,国外已正式投产的有 300 多种,主要产品 40 多种。作为防腐蚀材料广泛采用的有:聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、氟塑料、氯化聚醚等。从使用量来看:仅日本每年就有 15 万吨的聚氯乙烯管、板作为耐蚀材料,占聚氯乙烯年产量的 15%,年产量 1403 吨的氟塑料也大多是用于防腐蚀工程上。其应用范围主要是用来制作储槽、排气筒、塔器、干燥、离心、分离设备、管道、阀门等等。从经济效果来看:由于塑料的比重轻,加工损耗少,国外总的制造成本低于金属,如用聚氯乙烯代替黄铜,其成本可低 50—87% 左右;用塑料代替优质钢和不锈钢的经济效果也很好。由于塑料容易加工成型,可以减少制造工时,如国外用塑料制造一顿设备和零件,所需的劳动量为 120—2000 个工时,

平均比金属低 67—88%，用塑料代替黑色金属铸件，劳动量平均降低 75—83%。更重要的是塑料的耐蚀性能好，可以大大延长设备的使用寿命，例如，采用聚氯乙烯制作管道和容器，可以使用若干年，每年损耗量比钢低 50%。因此，目前国外在石油，化学工业中已广泛采用塑料来代替金属，它的发展将有并肩于金属材料的趋势。

(1) 聚氯乙烯

聚氯乙烯是三十年代的塑料，目前广泛用于制作鼓风机壳体、储罐、排气筒、吸收塔、洗涤塔、容器、泵、管道等。由于聚氯乙烯的耐热性低，强度不高，因此，目前多从增强、衬里、改性方面来扩大它的应用范围。例如，国外采用 28% 的玻璃纤维增强，其性能改进很大，在 18.6 公斤/厘米² 负荷下的热扭变温度为 120°C，抗张强度达到 1370 公斤/厘米²，冲击韧性比未增强的提高 20 倍。另外还广泛采用粘贴与螺栓固定的方法，将聚氯乙烯作钢外壳的内衬材料，用来制作石油、化工设备，特别是用于制作大型的塔器等。如日本用粘贴法制作了直径 7.4 米、高 12 米的较大的二氧化硫气体吸收塔，使用了八年。最近国外又综合利用塑料的优点，在搞塑料的复合材料。它是用聚氯乙烯作耐蚀内层，玻璃钢作增强外层，玻璃交织布或泡沫塑料作粘结的中间层。这种复合塑料，它的热变形温度由 78°C 提高到 140—150°C，拉伸强度由 590 公斤/厘米² 提高到 800 公斤/厘米²。另外国外用氯化进行改性，可以提高耐温性能。还用有机溶胶、塑性溶胶等方法将聚氯乙烯制成涂料涂于各种容器上进行防腐。

(2) 聚乙烯

聚乙烯是三十年代的塑料，因为原料来源广泛，它是目前世界塑料产量最多的一个品种。它的使用温度可以达到 80~100°C，具有良好的耐蚀、耐溶剂性能，因此在国外石油，化学工业中得到了较为广泛的应用。由于它的强度低，国外多采用衬里的方法制作酸、碱贮罐、反应设备等，同时也广泛采用粉末喷涂的方法，作为耐蚀覆盖层进行防腐。如果采用玻璃纤维增强聚乙烯，抗拉强度可由 260 公斤/厘米² 增加到 705 公斤/厘米²，缺口冲击韧性由 0.9 达到 2.3。如果通过氯化进行改性，耐蚀性能有较大提高。采用聚酯玻璃钢作外层，聚异丁烯作中间层，内层为聚乙烯的复合塑料，可以用来制作鼓风机、旋风分离器、容器等。另外，聚乙烯的耐老化性能好，用塑料带包覆进行防腐的各种地下管道，国外已有二十年的历史，到 1970 年为止主要用聚乙烯塑料带包覆进行防腐的管道达到 75000—100000 哩，（约合 120000—160900 公里）。

(3) 聚丙烯及其他烯烃塑料

聚丙烯是五十年代的塑料，用它作为耐蚀结构材料，国外还是近几年的事情。由于这种塑料的原料来源容易，成本低廉，国外在产量、质量、性能、应用范围等方面都有很大发展。作为耐蚀材料，它可以代替有色金属、钢铁、木材，因此得到了国外的重视。耐热聚丙烯具有良好的耐蚀性能、耐冲击，长期使用温度在 120°C 以下，国外多用来制造大型管道，贮槽、容器等设备。如国外挤压法生产的厚壁管，壁厚达到 25.4 毫米，直径最大达到 1 米。绕带法生产的管子最大直径达到 2.44 米。采用绕带法成批生产的全聚丙烯贮槽容量已达 5000 加仑（合 18.93 米³）焊制的可达 10000 加仑（合 37.85 米³），衬里的可达 100 吨，汽车槽车容量可达 2000 加仑（合 7.57 米³）。塔器方面有直径 2.4 米，高 8 米的洗气塔。另外还有 32 米高的聚丙烯大烟囱。为了提高耐温性能，国外采用 40% 玻璃纤维增强，在 4.6 公斤/厘米² 负荷

下热扭变温度达到 150°C , 用 40% 石棉纤维增强, 热扭变温度达到 154°C 。从施工方面考虑, 这种塑料可以采用热气焊和热熔融焊接的方法, 焊速一般比焊聚氯乙烯慢, 但采用所谓高速焊嘴后, 焊速可提高到 800—1000 毫米/分钟。焊接强度一般可达到焊缝系数 90% 以上。最近美国又发展了 1.2 聚丁二烯塑料, 它的热变形温度为 260°C , 耐强氧化性的发烟硝酸。它可容纳 70% 的填料, 采用增强的办法, 可以达到很高的强度。含高乙烯基聚丁二烯, 它的耐蚀性好, 特别耐 N_2O_4 , 在 18.6 公斤/厘米² 负荷下热扭变温度 254°C 。最近国外在寻找金属的代用品方面又发了一种 Sconater 塑料, 它耐温, 耐蚀, 耐冲击, 能镀上铜、镍、铬及其他金属, 据称它的性能超过了金属。总之, 今后在防腐领域中这些新的聚烯烃塑料也将会逐渐得到推广与应用的。

(4) 氟塑料

氟塑料的耐蚀性能很好, 耐温高、强度较好, 是耐腐蚀的好材料。国外多用衬里及喷涂层防腐。使用较为普遍。聚三氟氯乙烯在 $200\text{—}275^{\circ}\text{C}$ 下烧结衬里, 使用温度 200°C 。聚四氟乙烯在 $360\text{—}400^{\circ}\text{C}$ 下烧结, 使用温度达到 290°C 。国外用聚四氟乙烯衬水洗塔, 直径 2.5 米, 高 15 米, 可以用来防止酸性盐的结巴。英国最大的高压吹酸塔是用四氟衬里, 而且可以消除衬里和钢的热胀冷缩差别。另外用聚四氟乙烯制的换热器管束, 换热面积达 650 米²/米³, 为其他管束换热面积的 5 倍, 允许压力 4—18 个大气压, 特别适于氯气和氯化物介质的处理。国外氟塑料的另一个用途是制作某些重要部位的阀门、管道, 防止跑、冒、滴、漏, 同时也广泛用于无油润滑与密封情况。最近国外出现氟磺酸共聚物 XR, 可长期耐铬酸, 适于高温强氧化性介质中使用。全氟乙烯基醚橡胶耐浓硝酸、三氟化氯、四氧化二氮等强氧化性介质, 在空气中可使用到 260°C 。在防腐蚀施工方法上, 国外针对氟塑料抗粘敷性非常差的缺点, 采用物理化学方法, 改善了表面的抗粘性能, 剪切应力达到 10~21 公斤/厘米², 比原来提高了 10 倍左右。

(5) 其他耐蚀塑料

氯化聚醚是六十年代才开始工业化的塑料。它的耐蚀性仅次于氟塑料, 但机械性能好, 特别耐磨, 目前国外多用它来制造泵、阀门与设备的衬里。现英、美、日等国只有少量生产, 应用还不太广泛, 发展速度也不太快。聚砜是 1965 年以后才出现的耐热热塑性材料, 具有很好的抗低温性能 (-100°C), 长期使用温度 150°C , 耐酸、碱及有机溶剂。最近国外研制的一批耐高温塑料中, 有些品种的耐蚀性能也很好。例如, 聚二甲苯醚在 18.6 公斤/厘米² 负荷下热扭变温度 191°C , 耐酸、耐碱, 并可用纤维增强作结构材料。线型热固性聚苯硫醚, 工作温度为 315°C 左右, 耐酸碱和溶剂, 在 225°C 下不溶于任何溶剂。这类高温耐蚀的新型塑料, 目前国外正在进行研制, 它们基本上都属于杂环、醚类塑料。

2、玻璃钢

(1) 特点

美国玻璃钢发展的特点是: 发展最早、品种最多、产量最大、应用最广, 可以代表资本主义国家玻璃钢发展水平。由于玻璃钢用于民用的成本问题、技术问题、使用范围等问题先后得到解决, 因此玻璃钢在美国发展很快。1968 年玻璃钢总产值达到 70 亿美元, 1969 年玻璃钢年产量为 45 万吨, 占资本主义国家的一半。英国玻璃钢发展的特点是: 发展较早,

1956年以后,使用就趋于稳定。现有1000多家玻璃钢工厂,但大多是一些手工操作的小厂。目前发展速度虽不及西德、法国与日本快,但是英国玻璃钢研究工作搞得好。而且根底雄厚,具有潜在力量。法国玻璃钢发展的特点是:从民用开始,以后转向军民并用。引用进口原料和技术,因此法国玻璃钢发展速度快,目前产量已超过了英国。在技术上它与英国相似,手工操作的比重大。西德玻璃钢发展的特点是:发展速度快,自1950年开始使用玻璃钢后,至1968年玻璃钢的年产量超过英、法,跃居世界第二位。目前西德有几百家玻璃钢工厂,而且近年来价格也在大大下降。日本玻璃钢发展的特点是:发展较晚,它从国外引进原料、技术、设备,因此它的发展速度很快。但是,目前总的水平还是落后于美国、英国、西德和法国。

(2) 品种与产量

国外的耐蚀玻璃钢多为聚酯树脂玻璃钢、环氧树脂玻璃钢、酚醛树脂玻璃钢等几大类型。其中以聚酯树脂玻璃钢使用得最多,美国聚酯树脂玻璃钢就占总用量的85%,如牌号为CR1、CR2、CR3、CR4、CR5、CR6的含双酚A的耐蚀聚酯树脂,常用来制作各种玻璃钢制品。环氧树脂的耐蚀性能及机械性能都很好,国外这类树脂牌号特多,大多可用来制造玻璃钢管和容器。酚醛树脂的耐蚀性好,有机硅的耐温性高,国外用它们进行改性,用于制作高温耐蚀玻璃钢制品。

据报导,1970年美国用于耐蚀材料的玻璃钢为63900吨,占玻璃钢总产量的12.8%,英国用于化学和耐蚀工业的玻璃钢为5000吨,西德用于制作贮罐、管道及其他耐蚀制品的玻璃钢为16000吨,法国为7500吨。1968年日本用于制作贮罐、容器的玻璃钢为2500吨,1970年意大利用于制作耐蚀化工容器和管道的玻璃钢为4800吨。预计1975年美国用于防腐材料的玻璃钢将达到289350吨,将占玻璃钢总产量的20%。1980年英国用于化学与耐蚀工业的玻璃钢将为19000吨。1973年日本将有7300吨玻璃钢用于制作贮罐和容器,意大利将有5400吨玻璃钢用于制作化工耐蚀容器和管道。

(3) 原材料

国外耐蚀玻璃钢的树脂以不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂、呋喃树脂最为普遍。其中以不饱和聚酯树脂最多,如美国1969年有48000吨不饱和聚酯树脂用于制作玻璃钢,环氧树脂才12375吨用于制作玻璃钢的贮槽、管道。近年来硅氟树脂、呋喃树脂也得到了相应的发展,特别是芳杂环的出现,为耐高温玻璃钢提供了新的树脂来源。如英国生产的XYIOK树脂,是苯酚与芳烷基醚缩合而成的,能很快固化,且有好的耐蚀性能和高温性能,在18.6公斤/厘米²负荷下热扭变温度330°C。用这种树脂制成的玻璃钢,可以用来制作高温高压的设备与容器。国外耐蚀玻璃钢的增强材料以玻璃纤维(玻璃布、合股纱、毡等)、石英纤维应用最为普遍,如美国1968年用玻璃纤维增强的塑料其年产值达10亿美元(折合人民币约22.7亿),石英纤维增强的塑料年产值达20亿美元(折合人民币约45.3亿元)。近年来又发展了硅硼、碳素、石墨和金属单晶纤维。其中以碳素纤维最有前途,因为它的来源容易,是由聚丙烯腈纤维在300°C于电压下经空气氧化制得,比玻璃纤维轻,抗张强度为118公斤/毫米²,国外已用来制作化工设备和压力容器等。

(4) 成型方法

国外玻璃钢的成型方法很多,在防腐蚀上主要采用手糊法、缠绕法、模压法、喷射法、

连续成型法等，其中美国机械化的程度较高，英、法手工操作比重大。玻璃钢的连接技术上大多采用热固性、热塑性粘接剂、橡胶基树脂粘接剂。各国成型方法的比较见表 5。

表 5

成型方法	美国(%)	西德(%)	法国(%)	意大利(%)	西班牙(%)	比利时(%)	瑞士(%)	日本
手糊法	30	27	46	37	35	19	59	50
喷射法	8	7	6	6	3	3	3	
连续法	5	30	36	46	51	71	21	24
缠绕法	10	6	3	2	3	4	7	—
模压法	26	9	9	8	8	2	10	
其它	2	—	—	—	—	—	—	

(5)应用

国外石油、化学工业中玻璃钢主要是用来制作管道、容器和贮罐。目前美国以很快的速度采用玻璃钢管代替石油与耐蚀钢管，如果以 1966 年的玻璃钢管道为 1 的话，1967 年为 1.25，1968 年为 1.5，十年后预计将为 7.5。应用部门是化学工业居第一位，其次是石油工业。其中以环氧、聚酯树脂玻璃钢管使用得最多。美国石油、化学工业玻璃钢管使用量(吨)见表 6。

表 6

部门	1966 年			1967 年			1968 年			1972 年(预计)		
	聚酯	环氧	其它	聚酯	环氧	其它	聚酯	环氧	其它	聚酯	环氧	其它
石油	无	1800	无	无	2250	无	225	2700	无	9000	8100	450
化工	2030	1350	225	2250	1575	315	2430	1710	360	12300	10800	2250

玻璃钢管经常使用的温度为 100°C，压力 10 公斤/厘米²。施工上可以缠绕 0.4—1.65 米直径的管子，速度每小时 15 米。用环氧增强的塑料制作的氯化氢管道，耐温为 260°C，压力可达 70 公斤/厘米²。玻璃钢的另一个应用是制塔器，如苏修在一个年产 60 多万吨的肥料厂里由法国人给他们建了 8 个气体洗涤塔，直径 7.5 米，高 15 米。另外，国外采用玻璃钢制作贮槽代替钢槽的比例也在不断增长。据美国欧文公司报导，1969 年地下贮罐的产量从 2500 个增加到 5000 个，估计每年有 3 万个贮罐为石油工业服务。在制作大型化的贮槽方面，美国欧文·康宁公司最近制造了 380000 升的大罐，计划生产 760000 升的罐子，有的厂还准备生产直径 9—12 米的特大罐。英国制作了 600—800 吨的玻璃钢罐。日本制作了容重 200 吨的硫酸铝溶液贮槽。最近荷兰也制作了一个聚酯玻璃钢贮槽，容量为 800000 升。在铁路槽车上美国可以缠绕直径 2.7 米，长 16.5 米，容重 100 吨的槽子，另外汽车油槽也广泛采用玻璃钢，体积为 17000—18000 升，可用于运输硝酸、硫酸等强腐蚀性介质。

3、不透性石墨

国外不透性石墨是因盐酸工业的需要而发展起来的,以后又推广到其他既要耐蚀又需要有优良导热性能的化工设备上。迄今为止它有三十年的制与造使用经验。目前工业发达的苏修国家碳素工业发展较快,在化学工业中已广泛应用这种材料,而且品种也很多,各国与厂家均有自己的商品出售。如美国的 Karbate、西德的 Durabon、日本レスボン、英国的 Dleanium、东德的 Iгурит、苏联的 Графалъ、АРВ 和 Графенолъ。在制换热器、管道、泵、阀门方面,美、日、法、西德、苏联等国家且不少已经系列化、标准化。资本主义国家中不透性石墨的研究、设计和制造都是在专业性的碳素公司进行。苏修和东德除在电碳厂进行这工作外,还在某些化工厂进行这项工作。

目前国外所采用的浸渍剂有酚醛、呋喃、有机硅树脂、水玻璃、悬浮氟塑料、酚醛—过氯乙烯等,但在技术上用得成熟的只有酚醛和呋喃系的树脂。常用的粘接剂有酚醛、呋喃、环氧和环氧—酚醛四大类。据报导,其中一种环氧—酚醛粘结剂可以在 260°C 下工作,另外,国外在高温不透性石墨方向也取得了很大成绩。从应用方面考虑,国外主要以不透性石墨制造塔器、热交换器、管道、泵、阀门等,用来解决盐酸、磷酸以及氢氟酸、醋酸等介质中的腐蚀问题。例如日本、美国、法国和西德在盐酸、磷酸生产中主要腐蚀设备都是用不透性石墨制作的,与氟氢酸、醋酸接触的设备也有许多是用不透性石墨制造。生产上采用这种不透性石墨制作的设备后,不但延长了设备的使用寿命,而且简化了盐酸的生产流程,提高了生产效率。例如,用石墨制作的氯化氢合成炉使用寿命可达 7—10 年,而用碳钢制作的只能用 3—4 年,延长了使用寿命一倍多。又如,美国一种用于盐酸生产中的降膜式石墨吸收器它的直径为 5 呎(合 1.52 米),长 20 呎(合 6.10 米),950 根管子,每天就可以生产 20³ 波美的盐酸 2200 吨,生产效率很高。另外,石墨制换热器及泵等也是国外一个重要的应用方面。目前国外石墨换热器主要发展管壳式和块式两种。例如美国一种管壳式石墨热交换器,它的传热面积达到 15000 呎²(合 1393.5 米²);另一种重 13 吨以上,直径大于 5 呎(合 1.524 米),长大于 20 呎(合 6.096 米),含有 5000 根管子的巨型石墨换热器,已在化肥工业中使用。美国孔道十字型交叉的圆柱块式石墨换热器的工作压力可达到 14.5 公斤/厘米²,工作温度为 202.4°C ,传热面积从 1.96—43.66 米² 不等。与上述结构相似的另一种圆柱型式石墨热交换器,它的有效传热面达到 70 米²,它能承受 100 磅/吋²(合 7.031 公斤/厘米²)(表压)的蒸汽压力,适合于高压情况下使用。另外美国还可生产大流量的石墨泵,其流量每分钟为 1400 加仑(合 317.94 米³/小时)。

4、玻璃

玻璃有优良的耐蚀性,除氢氟酸、热浓碱外,几乎能耐所有的腐蚀性介质。同时它的表面光滑,不易挂料,具有保持产品的高纯度、便于观察生产过程等特点,所以许多年来玻璃一直是国外的一种传统性耐腐蚀材料。然而玻璃易碎,抗热冲击性低,受烧制技术的限制,体积不能过大,在一定程度上限制了它的广泛应用。为了克服这些缺点,国外是从玻璃的组成、结构设计和施工方面进行改进。特别是从增加玻璃的结晶相,使之成为微晶玻璃,在克服玻璃的脆性等方面取得了很大成绩,扩大了玻璃的应用范围。