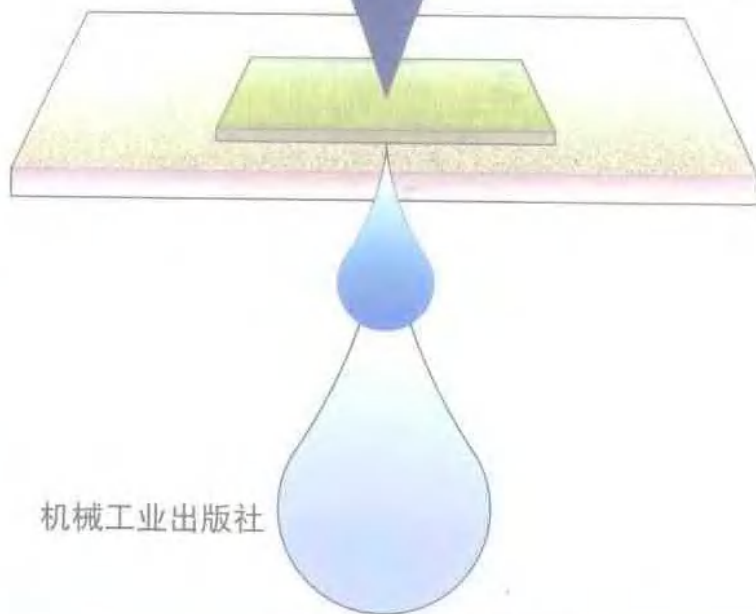


机械工业部技术发展基金委员会资助项目

固—液分离

滤布性能测定 及选用

郭仁惠 张建设 主编



机械工业出版社

71.1.2
807520

机械工业部技术发展基金委员会资助项目

固—液分离
滤布性能测定及选用

郭仁惠 张建设 主编



机械工业出版社

DL-38/25

本书共分六章,第一章综述,介绍国内外过滤介质发展情况,国外过滤介质性能测定标准以及项目成果简介;第二章滤布性能的测定方法,具体介绍性能测定原理和方法;第三章滤布的选型及其适用范围,介绍滤布的分类、物化性质、选型原则,以及国产常用滤布的使用范围;第四章使用滤布的过滤设备简介,简单介绍各类可用滤布的过滤机;第五章滤布性能数据库管理系统,介绍滤布性能数据计算机管理系统的构成及使用方法;第六章常用国产滤布过滤性能数据汇总图表。

此书可供从事过滤与分离的研究、设计、生产的科技人员及有关高等学校师生参考,也可从事过滤单元操作人员进行滤布选型时提供参考数据。

图书在版编目(CIP)数据

周一液分离滤布性能测定及选用/郭仁惠,张建设主编.

—北京:机械工业出版社,1997.3

机械工业部技术发展基金委员会资助项目

ISBN 7-111-05433-4

I. 固… II. 郭… III. 固体-液体混合物-分离-滤布-化学性能-测定 IV. TQ028.5

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第20665号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:王正琼 版式设计:张世琴 责任校对:陈立耘
封面设计:姚毅 责任印制:路琳
机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997年2月第1版 第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·7印张·181千字

0 001—1 000册

定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

编 写 组(按章节顺序排)

赵 扬 郭仁惠 牛洪民

张建设 吴彦冬

前 言

在固—液分离设备中，过滤机占很大的比例。任何一台过滤机都要配有过滤介质才能使用。而滤布则是一种应用非常广泛的过滤介质。

过去，人们对过滤机研究的较多，而忽略了对过滤介质性能方面的研究。虽然有的学者对部分过滤介质的某些性能进行了研究，但系统性差，实际应用价值较小。这样，一方面影响了过滤介质正确合理的选用，另一方面也限制了新型过滤介质的研究与开发。目前，过滤介质的品种和质量还不能满足我国工业发展的需要。为了使过滤介质的研究、生产和应用都有较快的发展，在机械工业部技术发展基金委员会的资助下，由机械部合肥通用机械研究所负责，天津大学参加，合作承担了机械工业技术发展基金项目——“国产过滤介质（滤布）及其过滤特性的研究”课题。经过历时四年的研究，对滤布性能的测定方法作了大量的研究，设计并制造了性能测定装置，对国产常用滤布的性能作了系统的测定。合肥通用机械研究所参加该项课题的主要成员有：张建设、赵扬、牛洪民、郭仁惠、吴彦冬，课题负责人张建设。天津大学参加该项课题的主要成员有：宗润宽、赵宗艾、王淑娥、鲁淑群、孙丰阁、朱企新。课题负责人宗润宽。

为了使该研究成果在生产实际中发挥其应有的作用，便于广大用户根据物料的特性科学地选择滤布，在机械工业部技术发展基金委员会的资助下，由机械部合肥通用机械研究所负责编写了本书。书中不仅较系统地提供了目前常用的 20 余种国产工业滤布的主要性能，供用户选用参考，更重要和更可贵的是本书还提供了经同行业专家论证、认可的科学测试滤布主要性能的方法。相信本书的出版一定会为我国今后在过滤介质方面的研究奠定良好的

基础,为我国分离机械行业和广大滤布用户积累和提供科学、可靠的基础数据,建立我国第一个过滤介质数据库;对提高过滤与分离机械设计、制造及应用水平,科学规范过滤介质的研究和生产起到良好的推动和促进作用。

本书第一章综述由赵扬编写,主要介绍滤布的国内外发展概况、国外过滤介质的测定标准,研究成果简介。第二章滤布性能的测定方法由郭仁惠编写,介绍定量测定滤布性能的10种方法;第三章滤布的选型及其适用范围由牛洪民编写,介绍滤布的分类、选型原则和常用滤布的适用范围;第四章使用滤布的过滤设备简介由赵扬编写,介绍用滤布作为过滤介质的重力、真空、加压、离心过滤设备;第五章滤布性能数据库管理系统由张建设编写,介绍建立数据库管理软件的过程和软件的使用方法;第六章国产常用滤布性能数据汇总图表由吴彦冬编写;本书第二章第六节、第八节、第九节由天津大学副教授宗润宽审核。全书由郭仁惠整理统稿,由合肥通用机械研究所教授级高级工程师章棣同志和天津大学朱企新教授审定。

由于诸多条件所限,对过滤介质的试验研究虽然取得一定成果,但尚有许多课题需进一步研究,如除滤布外的其它过滤介质的性能测定等,因此本书所提供的试验方法和测定数据旨在抛砖引玉。随着科学的发展和研究的深入,本书中的内容将会得到进一步充实和完善。

限于编者的水平,加之经验不足,书中难免有不足之处,望广大读者及从事过滤与分离研究、教学、设计、生产应用的专家们不吝赐教,为振兴我国的分离机械事业共同努力。

编者

1996.9

目 录

前言

第一章 综述	1
第一节 工业滤布国内外发展概况	1
第二节 国外过滤介质性能测定标准介绍	4
第三节 项目研究成果简介	13
第二章 滤布性能的测定方法	22
第一节 断裂强度和断裂伸长率的测定	22
第二节 耐磨性能的测定	30
第三节 透气性能的测定	35
第四节 透水性能的测定	45
第五节 鼓泡孔径的测定	52
第六节 最大透过粒径的测定	59
第七节 加压过滤性能的测定	63
第八节 真空过滤性能的测定	71
第九节 滤饼剥离性能的测定	76
第十节 再生性能的测定	82
第三章 滤布的选型及其适用范围	90
第一节 滤布的分类	90
第二节 滤布的特性	93
第三节 滤布的选型原则	97
第四节 常用国产滤布的适用范围	103
第四章 使用滤布的过滤设备简介	107
第一节 重力过滤设备	107
第二节 加压过滤设备	108
第三节 真空过滤设备	118
第四节 离心过滤设备	133
第五章 滤布性能数据库管理系统	137

第一节 数据库管理系统简介	137
第二节 数据库管理系统构成	140
第三节 软件使用方法	150
第六章 常用国产滤布过滤性能数据汇总图表	182
第一节 常用国产滤布过滤性能数据汇总表	182
表 6-1 常用国产滤布拉伸性能	182
表 6-2 常用国产滤布断裂强力由大到小排序	184
表 6-3 常用国产滤布断裂伸长率由大到小排序	186
表 6-4 常用国产滤布耐磨性能	188
表 6-5 常用国产滤布透气率 Q	189
表 6-6 常用国产滤布透气阻力 $R_{m气}$	191
表 6-7 常用国产滤布透水率 $Q_v \times 10^{-5}$	193
表 6-8 常用国产滤布透水阻力 $R_{m水}$	195
表 6-9 常用国产滤布透水压差为 2.0kPa 时阻力对比	197
表 6-10 常用国产滤布鼓泡孔径	197
表 6-11 常用国产滤布最大透过粒径	198
表 6-12 常用国产滤布加压过滤轻质碳酸钙过滤速 率 $U_f \times 10^3$	199
表 6-13 常用国产滤布加压过滤瓷土过滤速率 $U_f \times 10^3$	200
表 6-14 常用国产滤布加压过滤烟道灰过滤速率 $U_f \times 10^3$	201
表 6-15 常用国产滤布加压过滤硅藻土过滤速率	202
表 6-16 常用国产滤布加压过滤初始滤液浊度	202
表 6-17 加压过滤累积滤液量达 0.4kg 时平均过滤速率对比	203
表 6-18 常用国产滤布真空过滤性能	204
表 6-19 常用国产滤布与轻质碳酸钙滤饼的粘着应力	205
表 6-20 常用国产滤布实际再生效率	206
第二节 常用国产滤布性能关系曲线图	206
图 6-1 常用国产滤布透气压差 Δp —透气量 Q 关系曲线	207
图 6-2 常用国产滤布透气压差 Δp —透气阻力 $R_{m气}$ 曲线	208
图 6-3 常用国产滤布透水压差 p_t —透水量 Q_v 关系曲线	209
图 6-4 常用国产滤布透水压差 p_t —透水阻力 $R_{m水}$ 曲线	210
图 6-5 常用国产滤布加压过滤瓷土累积滤液量 W —过滤速率 U_f 曲线	211

图 6-6	常用国产滤布加压过滤烟道灰累积滤液量 W —过滤速率 U , 曲线	212
图 6-7	常用国产滤布加压过滤轻质碳酸钙累积滤液量 W —过滤 速率 U , 曲线	213
图 6-8	三种代表性物料加压过滤速率对比曲线	214
参考文献		215

第一章 综 述

第一节 工业滤布国内外发展概况

一、国内发展概况

凡能使“固—液”、“气—固”物系统中的液体通过，又能将其中的固体颗粒截流，以达到固液分离目的，或使气体通过，又能将其中的固体颗粒截流以达到气固分离目的的多孔物统称为过滤介质。滤布是过滤介质的品种之一，它在工业生产的固—液分离中应用很广。在使用滤布的过滤设备中，滤布是过滤设备的核心，如果没有滤布就无法实现固—液分离。过滤设备能否满意地工作，往往取决于滤布在使用条件下，分离固—液或气—固的性能。

在工业生产中，由于需要过滤的物料性能千差万别，过滤机的型式又各不相同，这就对滤布提出了不同的要求。在确定过滤机型后，必须考虑解决的另一个难题就是选择合适的滤布。多数情况下，滤布在开始使用时阻力较小，随着使用时间的增加以及滤布再生不完全等原因，使其过滤阻力上升，过滤速率明显下降。滤布的种类、材质、结构形式、过滤精度、可靠性、寿命等参数，对过滤机的生产能力、过滤效率、过滤质量、能耗及过滤操作的可行性和经济效益都具有举足轻重的作用。因此，对过滤操作来说，不同的物料（固—液比、固—气比、固相粒子的形状、大小及其分布、密度、可压缩性、电性、液相的粘度、固—液两相的密度差），不同的分离要求（滤饼的含湿量，滤液中允许的固体粒子大小、多寡、处理量），应选用不同的过滤设备以及能满足生产要求并与设备配套的滤布，才能使过滤过程顺利进行，并最大限度地发挥设备的处理能力，使滤液澄清度、滤饼含液率、固体回收率及单位处理量的成本等综合指标达到最优。

目前,我国在役的过滤设备达30余万台,装机总容量已超过300万kW,设备运行时间平均按每年8000h计,年耗电约240亿kW·h。若能正确选择和合理使用滤布,使生产能力提高1%,就相当平少投入3000台过滤设备,节约大约价值5000万元的投资;每年少耗电2.4亿kW·h。如果再考虑到由于提高了过滤效率使产品质量提高,降低产品后处理(如固体物质干燥、焚烧)的能耗、设备及工艺的简化以及防止二次污染等,其间接经济效益和社会效益会更大。

以前,由于滤布制造厂和科研单位对滤布的性能参数及适用范围等均未进行过系统研究,更没有介绍滤布性能等方面的专业资料书籍,用户常常因缺乏有关滤布使用经验和准确、有效的参考数据而盲目选用,造成过滤设备处理能力小、分离质量差、单位处理量能耗高等后果,从而使滤布的实际应用效果差,过滤设备的能力不能得到充分发挥。随着生产的发展和科学研究的深入,近年来,我国也有学者在这方面做了一些研究,但对滤布性能的测定方法没有统一的标准,对滤布过滤性能也没有做过系统的研究(除本课题外),可查到定量描述滤布性能的数据极少,与国外相比,差距还很大。

在滤布生产方面,过去,由于国内长期以来形成的制造滤布厂家只管制造,不管应用,市场调查和信息反馈工作较少,新结构、新编织方法等技术的开发一般是由用户或设计单位找上门来才进行研制的状况,致使我国生产的滤布使用面较窄,选择余地较小。我国工业滤布的生产仅占纺织品比例的10%,无论在品种、规格上,还是在材质、精度、强度、耐蚀耐磨性等方面均与国外存在相当大的差距。

近年来我国在滤布的材质、结构和规格上也进行了一些开发性工作,如:碳素纤维、聚四氟乙烯纤维等材质的应用;为适应进口及国产的大型自动压滤机、转鼓真空过滤机和带式压榨过滤机等需要,高强度宽幅滤布(滤带)及耐高温金属滤网相继在抚顺、上海、沈阳等地试制成功,为增加过滤介质品种作出了贡

献。

二、国外发展概况

国外对滤布生产和研究都非常重视，很多常用滤布已经形成系列。以 1988 年统计的工业滤布占纺织品市场的比例来看：美国占 31%；日本占 33%。国外对滤布从材质、制造工艺、强度及耐磨性、孔隙率及过滤精度、应用范围、安装方法、再生方式等等都有较详细研究，如：瑞士的 Seidengazefabrik、ZBF；德国的 Hein Lehmann；比利时的 BSS (Bekaert Separation Systems)；日本的 Nagaoka kanani；著名的 Eimco 公司等，其滤布样本通常都能列出了说明密度、厚度、抗拉强度、透气量、筛网孔隙率、平均孔径、耐温性、吸水性及耐酸、碱、氧化等性能资料。用户可以根据制造厂家提供的资料，选择强度大，耐磨、耐腐蚀性好，寿命长的滤布配套使用，以提高设备的处理能力和分离质量，达到理想的分离效果。

滤布的某些性能主要取决于纤维的性能，国外近年来在这方面所做的工作主要是在材质上选用高性能纤维材料，即选用力学性能、过滤性能更好的纤维作滤布；在加工技术上通过若干精整技术，如研光、起绒和热处理等；或改变滤布表面光滑程度、改善卸除滤饼的能力；或改善滤布对细颗粒的保持性；或稳定纤维，使之适用于较高的温度等。

国外还对滤布的纤维材料进行了大量的研究，如高强度、耐温、高收缩、复合、阻燃、抗静电、抗紫外线等特种纤维的研究。利用优质超细纤维制作的高效滤布，可以方便地满足不同行业的高精度过滤的性能要求。

国外对滤布性能测定方法也进行了大量的研究。因为无论是滤布的制造厂或销售商都必须对滤布的性能进行定量的描述，以利于评价和选用滤布。因此从 60 年代起，国外不少学者致力于滤布性能测定方法的研究，国际上也相应制订了一些测定滤布性能的方法和标准。

滤布性能测定的项目通常包括滤布的孔径、清洁滤布的阻力

或渗透率、过滤过程中滤布的阻力、截留效率、过滤精度、滤布的容渣能力和卸饼性能等。

目前,国外制定的滤布性能测试标准主要有:滤布孔径的测定;清洁滤布渗透率的测定,包括透气率和透水率;滤布截留性能的测定。

第二节 国外过滤介质性能测定标准介绍

为了推动过滤介质性能的研究更加深入发展,本书在介绍国外测定标准时,不限于介绍测定滤布性能的标准,对于测定其它过滤介质性能的标准也作一些介绍,为今后研究其它过滤介质性能提供一些资料。

一、过滤介质孔径的测定

过滤介质孔径的测定包括最大孔径、平均孔径和孔径分布的测定。最大孔径表示透过滤介质最大颗粒的直径,它与捕集粒径存在着一定的关系,在一定的程度上可用来表示过滤介质的均匀性;而平均孔径则与过滤介质阻挡效率和清洁过滤介质的阻力有关。测定过滤介质的孔径可以间接估计过滤介质的过滤性能。

测定过滤介质孔径的方法很多,但常用的方法有以下几种:对于孔径规则且均匀的过滤介质,如打孔板、金属丝编织网、单缕纱纺成的滤布均可用显微镜直接测量,这种方法比较简单。对于孔道结构复杂的过滤介质,如用陶瓷、塑料、金属等材料烧结成的硬质多孔类过滤介质、复丝滤布、过滤膜等可用气泡法、汞压法和流体透过度法测量。其中应用最普遍的是气泡法。

国际上测定过滤介质孔径的常用标准有:

- ① 英国标准 BS 3321—86《测定纤维织物当量孔径的鼓泡试验》;
- ② 美国材料协会标准 (ASTM) F902—84《通过测定渗透率和孔隙率计算当量平均孔径》;
- ③ 美国材料协会标准 (ASTM) F316—86《用气泡法和平均流量法测定膜孔径》;

④ 美国材料协会标准 (ASTM) F128—89《实验室用气泡法测量硬质多孔过滤介质的最大孔径及渗透率》;

⑤ 国际标准 ISO 4003—77《用气泡法测量烧结金属孔径》。

(一) 英国标准 BS 3321—86

该标准用于测定织物类过滤介质孔径。其测定原理及测定方法如图 1-1 所示。该标准采用的是气泡法测量原理。图中气源 1 的气体经截止阀 2 和流量调节阀 3 至容积为 2.5L 的缓冲罐 11 中送至下测试腔 10。下测试腔为黄铜制作的圆柱形容器, 滤布 8 放在测试腔中试样圈 9 上, 用测试腔中的卡圈 7 和螺钉 6 卡紧, 内径为 50mm 的合成橡胶密封圈将滤布密封在测试腔的中部。当气体以极缓慢的速度从缓冲罐进入下测试腔 10, 下测试腔内的压力缓慢上升, 其数值可从压力表 5 上读取。测试腔上部装满液体, 当下测试腔的压力达到一定程度时, 滤布表面将出现第一串气泡。标准规定记录出现第三串气泡时的压力作为该过滤介质的鼓泡压力, 则该滤布的当量孔半径 r 的计算式为:

$$r_s = 2\sigma \times 10^6 / (\rho p g)$$

式中 σ ——液体的表面张力 (mN/m);

g ——重力加速度 (mm/s^2);

ρ ——测试温度下水的密度 (mg/mm^3);

p ——滤布表面出现第三串气泡时的压力 (mmH_2O)^①;

r ——当量孔半径 (m)。

英国标准 BS 3321—86 对测试腔内径、测试环境的温度、湿度、测试前试样在测试环境中应放置的时间、试样在酒精中浸泡的时间、测定酒精的表面张力、升压速率、过滤介质的固定、密封等都作了具体的规定。该标准还规定滤布的切割尺寸为 75mm × 75mm, 测试直径为 50mm, 测试时滤布不能发生滑动; 还规定测试 10 次求出平均值作为最后结果。

① 本书在引用国外标准时, 仍保留原标准中所采用的非法定计量单位, 1mmH₂O=9.81Pa, 后同。

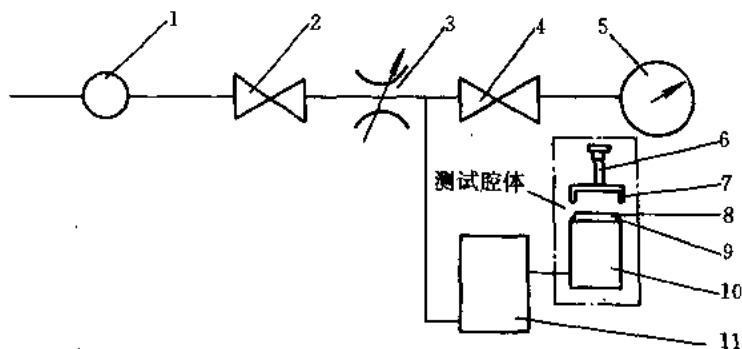


图 1-1 英国标准 BS 3321—86 的气泡法测定当量孔径原理

- 1—气源 2—截止阀 3—流量调节阀 4—截止阀 5—压力表
6—螺钉 7—卡圈 8—试样 9—试样圈 10—下测试腔
11—缓冲罐

(二) 美国材料协会标准 (ASTM) F902—84

该标准应用流体透过度法原理，用于测定深层过滤的过滤介质孔径。测试装置主要由滤室、流量计和测压计构成。根据层流条件下的 Darcy 和 Hagen—Poisuille 定律可得出扁平块状的过滤介质平均孔径：

$$(\bar{D})^2 = (32\mu\delta\beta Q) / (A\Delta p\epsilon)$$

式中 $(\bar{D})$ ——过滤介质平均孔径(m)；

μ ——流体的粘度 (Pa·s)；

δ ——过滤介质的厚度 (m)；

β ——弯曲因子， $\beta > 1$ ， $\delta\beta$ 为流体流过的平均孔隙长度；

Q ——流体通过过滤介质的流量 (m³/s)；

A ——过滤介质的表面积 (m²)；

Δp ——穿过过滤介质的压力降 (Pa)；

ϵ ——过滤介质的孔隙率。

已知过滤介质结构参数 β 、 ϵ 、 δ 的情况下，在压差不超过

0.005MPa 测得层流条件下通过过滤介质的压力降 Δp 和流体流量 Q , 即可求得过滤介质的平均孔径。

(三) 美国材料协会标准 (ASTM) F316—86

该标准用于测定膜的孔径。膜孔径的测定方法为泡点法和平均流量法, 标准中规定以第一个气泡出现时的压力值代入公式计算最大孔径。计算公式为:

$$D = C\sigma/p$$

式中 D ——膜孔径 (μm);

C ——常数, 压力以 Pa 计, $C=2860$; 压力以 $\text{cmHg}^\ominus$ 计, $C=2.15$;

σ ——液体表面张力 ($\text{dyn/cm}^\ominus$);

p ——气体压力 (Pa 或 cmHg)。

上述公式适用于最大孔径为 $0.1\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}$ 的膜, 其测定方法类似于 BS 3321—86 和 ASTM F902—84。标准对试验液体的高度、试样直径、测试所用的液体等作了具体的规定。

(四) 美国标准 (ASTM) F128—89

该标准用于测定硬质多孔类过滤介质的孔径。其原理是用气泡法测定过滤介质最大孔径和渗透率。标准中给出的计算公式为:

$$D = 30\sigma/p$$

式中 D ——过滤介质最大孔径 (mm);

σ ——测试液体的表面张力 (dyn/cm);

p ——出现第一个气泡时的压力 (mmHg)。

标准对不同材质的多孔过滤介质, 推荐采用不同的测试用液体, 例如, 对于玻璃纤维, 孔径大于 $4\mu\text{m}$ 时建议用水, 孔径小于 $4\mu\text{m}$ 时建议用酒精; 对于陶瓷, 孔径大于 $3\mu\text{m}$ 时建议用酒精; 对于不锈钢, 无论孔径大小, 均可用酒精或二甲苯; 对于聚乙烯四氟, 则只能用酒精。标准规定升压速率为 $5\text{mmHg}/\text{min}$ 左右。

$^\ominus$ $1\text{cmHg}=1333\text{Pa}$, 后同。

$^\ominus$ $1\text{dyn/cm}=10^{-5}\text{N/cm}$, 后同。

(五) 国际标准 ISO 4003—77

该标准用于测定硬质多孔类过滤介质的孔径。测定方法为气泡法。如图 1-2 所示, 将试样放入测试液体中的测试腔内, 将带压的气体通入测试腔内, 当气体压力达到某一值时, 过滤介质表面即出现气泡, 以此时的压力来计算孔径。计算公式为:

$$D = 4\sigma/\Delta p$$

式中 D ——最大孔径 (m);

σ ——液体表面张力 (N/m);

Δp ——出现第一个气泡时试样上的压差,

$$\Delta p = p_g - p_L$$

p_g ——气体压力 (Pa);

p_L ——液体静压 (Pa), $p_L = \rho gh$;

ρ ——液体密度 (kg/m^3);

h ——试样距液面的距离 (m);

g ——重力加速度 (m/s^2)。

标准中推荐用甲醇或质量分数 95% 的乙醇作为测试液体, 升压速度规定为 $20\text{Pa}/\text{s} \sim 100\text{Pa}/\text{s}$ 。

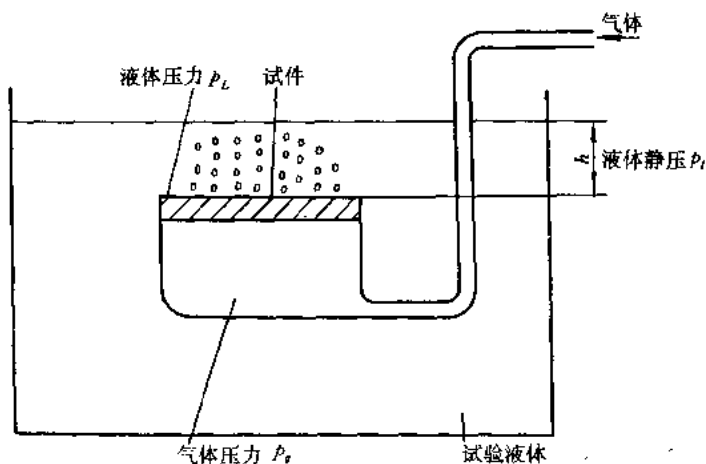


图 1-2 ISO4003—77 标准气泡法测量烧结金属孔径原理