

近红外光谱分析技术在快速分析上的应用

刘发龙, 马新刚, 程福银, 何峻荣

(中国航天科技集团公司 四院四十二所, 湖北 襄樊 441003)

摘 要: 简要介绍了近红外光谱的原理、特点, 综述了近红外光谱在农业、食品、制药、石油化工、高分子等领域快速分析上的研究及应用现状, 并对近红外光谱的应用前景进行了展望。

关键词: 近红外光谱; 快速分析

中图分类号: O657.32

文献标识码: A

文章编号: 1006-3757(2008)04-0241-07

近红外光是指波长介于可见光与中红外区之间的电磁波, 按照 ASTM 定义, 其波长范围为 780~2526 nm, 是人们最早发现的非可见光区, 据今已有近 200 年的历史^[1]。一般有机物的近红外光谱主要是由含氢基团(如 O-H, C-H, N-H, S-H 等)中红外吸收基频的倍频与合频吸收产生的。几乎所有有机物的主要结构和组成都可以在近红外光谱中找到信号而且谱图稳定, 获取光谱容易, 因此近红外光谱法被誉为分析的巨人^[2]。自 20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术、仪器硬件技术的不断完善和化学计量学软件的发展, 近红外光谱分析技术的应用得到急剧发展, 已广泛应用于石油化工、农业、医药、轻工食品、化工、生命科学、环境保护等各个领域。

近红外光谱之所以能够在各个领域得到广泛应用, 是由于它具有以下独特的优越性: (1) 可用于样品的定性, 也可以得到准确度很高的定量结果, 样品的定性采用聚类原理, 定量分析采用多元校正方法以及一组已知性质或组成的样品建立的定量模型; (2) 分析速度快, 产出多, 可用于分析样品的各种性质或多种组分的同时测定; (3) 操作简单, 无需样品的前处理; (4) 不破坏样品、不用试剂、不污染环境, 是一种“绿色分析”技术, 近红外光谱的取得可以是透射方式, 也可以是漫反射方式, 样品可以是气体、液体、固体; (5) 光导纤维的应用使近红外光谱分析技术扩展到过程分析及有毒或恶劣环境的远程分析, 同时也使谱仪的设计更小型化。

1 近红外光谱在快速分析上的应用

1.1 农业领域

近红外光谱最早成功地应用于农产品的品质分析, 因此在农牧领域快速分析上的应用非常广泛, 如测定小麦、水稻、玉米、大麦等农作物中的蛋白质、含油量、淀粉、水分、氨基酸、纤维素等化学组成及硬度、颗粒度等物理参数; 测定水果和蔬菜中的维生素、纤维素、水分、酸度、糖度等; 测定饲料中的粗蛋白、粗纤维、灰分、氨基酸等; 烟草中的总氮、尼古丁、水分、总糖、总氯等指标的测定及产地鉴别、等级分类等; 茶叶中氨基酸、茶多酚、咖啡碱、水分等指标的测定及品质分级等^[1]。

Fernandez Ibanez V 等^[3]研究了利用近红外光谱快速检测了玉米和大麦种的黄曲霉素 B1 用以评价作物的质量, 结果表明近红外光谱法是测定作物中黄曲霉素 B1 快速、廉价的一种方法。Nan Yang 等^[4]利用近红外反射光谱测定苦荞麦中的芦丁和手性肌醇含量, 测定结果与高效液相色谱(HPLC)法相关性好, 该方法具有速度快、非破坏性等特点。卢利军等^[5]利用近红外光谱快速测定了黄豆粕中的水分、粗脂肪、蛋白质含量, 检测结果令人满意。测定一个样品仅需 2 min, 速度较传统方法提高了上百倍。Campbell M R 等^[6]利用近红外光谱快速测定了玉米中的直链淀粉含量, 采用偏最小二乘法建模, 相关系数为 0.94。Shuso Kawamura 等^[7]建立了一套水

收稿日期: 2008-10-06; 修订日期: 2008-11-04。

作者简介: 刘发龙(1978—), 男, 工程师, 硕士生, 主要从事固体推进剂分析测试技术研究。

稻质量自动分析系统,系统采用近红外光谱法分析水稻的水分、蛋白质含量,测定的精密度和准确度高,方法准确、快速,可用于水稻的快速分级。Yande Liu 等^[8]利用近红外漫反射光谱法同时测定了苹果中的葡萄糖、果糖及蔗糖含量,测定结果准确、可靠,方法具有快速、非破坏性特点,速度大大快于 HPLC 法。Luypaert J^[9]等利用近红外光谱结合偏最小二乘法快速测定了绿茶中的咖啡碱、表儿茶素的含量以评价绿茶的质量。Mouazen A M^[10]等设计了一种土壤在线分析系统,采用近红外漫反射光谱快速分析土壤 pH 值、碳、磷及水分含量以评价土壤性能。姜能座等^[11]利用近红外漫反射光谱法同时测定了饲料中水分、粗蛋白和粗脂肪含量,方法准确、快速。王家俊等^[12]利用近红外光谱分析技术测定了烟草中的总氮、总糖和烟碱含量,方法快速、准确,已用于现场分析。

1.2 食品领域

近红外光谱在食品领域快速分析上的应用也非常广泛,例如乳制品中的脂肪、蛋白质、水分和肉制品中的蛋白质、脂肪、水分、氨基酸等的测定;酒制品中的乙醇含量、pH 值等指标的测定;饮料中的咖啡因、糖分、酸度等的测定;食用油中碘值、酸值和不饱和脂肪酸含量的测定。

Slobodan Sasic 等^[13]利用近红外光谱定量分析了牛奶中的脂肪、蛋白质和乳糖含量,方法快速、可靠。Haiyan Cen 等^[14]采用可见-近红外光谱测定了桔子汁的可溶性固含量及 pH 值,方法具有快速、非破坏性特点。Maria G Macedo^[15]等利用近红外光谱测定了肉汁中多糖、乳酸和乳糖浓度,结果表明该方法可用于发酵过程中的快速检测和控制。Armenta S 等^[16]利用近红外光谱测定了不同类别和产地的食用油的酸度和过氧化物含量,该方法无需样品前处理,每个样品的分析时间不超过 30 s。李代禧^[17]等人利用近红外光谱测定了啤酒的酒精度、原麦汁浓度及总酸含量,取得了满意的效果,方法快捷而准确。Sandra E Kays 等^[18]研究了近红外漫反射光谱测定了谷物食品中可溶及不溶性食用纤维含量,结果表明该方法可用于谷物食品中不溶性纤维的快速测定和监控。赵丽丽等^[19]研究了用近红外光谱技术快速测定腌腊肉制品的酸价和水分含量以评价其质量,结果表明该方法可用于腌腊肉制品品质的快速检测。Yiqun Huang^[20]等利用近红外光谱快速测定了鲑鱼油中的 NaCl 和水分含量,可用于产品的过

程控制。Laura Alessandrini 等^[21]利用近红外光谱预测了咖啡的烘焙程度,结果表明测定精度与传统分析方法相当,NIR 可用于咖啡烘焙程度的预测和控制。Hector R Juliani 等^[22]将近红外光谱用于香料油的质量控制和掺假识别,方法快速,可用于香料油的质量控制手段。Savenije B 等^[23]利用可见/近红外反射光谱测定猪肉的滴水损失、色度、pH 值、肌肉脂肪等质量参数,该方法可用于猪肉质量的快速预测。Fei Liu^[24]等将可见/近红外光谱用于方便面品牌的分类,方法具有准确度高、快速、非破坏性等特点。

1.3 制药领域

近红外光谱在制药工业快速分析上的应用也很广泛,如药物中活性组分的测定、中药的鉴别和品质分级,药物生产过程中的在线监控、原料和产品的鉴定等。

Merkle P 等^[25]利用近红外光谱法测定了 3 种不同泡腾片中阿司匹林的含量,HPLC 法作为参照方法,结果表明,NIR 法快速、无需样品制备而优于 HPLC 法。Andersson M 等^[26]利用近红外漫反射光谱测定药物片剂包衣层的厚度,方法可用于在线分析。Ulmschneider M 等^[27]用近红外光谱结合相应的化学计量学校正方法快速非破坏性地鉴别了 11 种固体药用辅料,该方法可在车间、生产线及实验室使用,且样品无需任何预处理。Xiangji Zhou^[28]等利用近红外光谱法快速测定了吸湿性药物中的水分含量,方法的预测标准差为 0.11%。Berntsson O^[29]等利用近红外漫反射光谱在线快速检测胶囊中的水分含量,单个样品分析时间仅为 1~2 min。John P Higgins 等^[30]将 NIR 用于药物制粒过程的在线监快速监测,测得的粒径精度可达 2.4 nm。Sonja Sekulic S^[31]等将近红外光谱应用于制药混合过程的控制,可实现对药物粉末混合均匀性的在线监控。Li W Y^[32]等利用近红外光谱成功监测了湿颗粒处理过程中药物活性成分的多晶型变化。瞿海斌等^[33]利用近红外漫反射光谱法对黄连浸膏粉中的生物碱含量进行了快速无损检测,结果表明方法准确、可靠,适用于工业现场的原位和在线检测。陈斌等^[34]应用近红外光谱快速测定了葛根中的 5 种成分,方法可满足葛根原材料收购时快速、简便、同时分析多组分的要求。杨南林^[35]等以三七总皂苷为检测对象,研究了近红外光谱分析技术在中药过程分析中的应用,发展形成适用于分析复杂物质体系中

有效组分的快速测定方法,经实验证明,该方法能对三七总皂苷进行快速、原位分析,有望用于中药质量的工业在线监控。

1.4 石油化工领域

近红外光谱快速分析技术在石油化工领域的应用发展迅速,也逐步用于在线过程分析。主要应用包括:汽油的辛烷值、密度、芳烃、烯烃等的测定;柴油的十六烷值、密度、折射率等的测定;航空煤油的冰点、芳烃、馏程等的测定;润滑油的族组成、黏度等的测定;重油渣油的SARA族组成、沥青中蜡含量等的测定;原油馏程、密度等测定。

Narve Aske^[36]研究了分别用IR、NIR预测原油的SARA组成,结果表明NIR更适合快速分析。史月华等人^[37]利用近红外光谱法快速测定了汽油的辛烷值,采用主成分回归残差神经网络校正算法,是模型的预测能力明显改善。法国BP Laverre公司采用NIR技术对24台裂解炉的石脑油原料和裂解产物进行在线分析,可在1 min之内完成对石脑油的13个关键性质(如密度、平均分子量、族组成、结焦指数等)及裂解粗汽油16个关键性质(如密度、族组成、BTX、二烯含量等)的测定^[1]。梁仕普等^[38]利用近红外光谱法检测了汽油中的烯烃和芳烃含量,实现了汽油组分中烯烃、芳烃和苯含量的在线检测和精确调和技术。徐广通等^[39]研究了近红外光谱分析技术快速测定柴油物理性质(密度、折光指数、闪点、馏程、凝点等)的方法,该方法测定结果均达到了标准方法的误差要求。杨素^[40]利用NIR快速测定石脑油中的芳烃含量,并且在实际生产过程中得到应用。殷宗玲等人^[41]采用近红外光谱法建立了快速测定柴油氧化安定性方法,与传统方法相比,该方法分析速度快,重现性好。袁洪福等^[42]利用CCD近红外光谱快速测定了喷气燃料的冰点,该方法精度高、快速(单个样品分析时间1 min)、操作方便。邵波等^[43]利用近红外光谱法快速测定了成品罐汽油的有关性质,可在5 min内快速、准确、简便地一次测定其辛烷值、芳烃、烯烃、苯含量。

1.5 高分子领域

近红外光谱在高分子领域快速分析上的应用主要包括测定原料的纯度、水分、羟基含量;加工过程中聚合度、动力学、热力学性质测定;产品的组成、分子量、密度等指标的测定。

Riitta A Heikka等^[44]利用近红外光谱快速测定二元羧酸和二元醇缩聚反应中体系的酸值、羟值

和水分含量,方法可用于缩聚反应得在线监测和控制。Thosar S S等^[45]利用近红外光谱快速测定了丙交酯与乙二醇聚合产物中的共聚比,该方法快速、廉价,可用于聚合物体系的表征。Fontoura等^[46]利用近红外光谱研究了苯乙烯溶液聚合反应单体转化率和树脂的重均分子量的在线监测方法。Cherfi A等^[47,48]将NIR技术用于在线测定MMA溶液聚合反应的转化率及重均分子量,可通过调节近红外光谱实时测定的上述参数得到预期的产物。Frank A Dethomas等^[49]利用NIR技术实时监测了聚氨酯的生产过程。Magali Laasonen等^[50]采用NIR研究了制药工业包装用聚偏二氯乙烯和热塑性弹性体的PVC铝塑包装材料的快速判别分析。Mariano Garrido等^[51]利用近红外光谱测定了硅烷、环氧单体、苯胺反应合成环氧树脂的动力学反应速率常数,测定结果与NMR法无明显差异。Alig I等^[52]将近红外光谱和实时超声反射用于丙烯酸酯光聚合过程,该方法可用于其聚合反应和网络结构的同步监测。Shin Watanabe等^[53]利用近红外光谱研究了聚乙烯晶体加热熔融过程中的结构变化,结果表明NIRS可用于聚乙烯晶体加热熔融过程中的相转变行为。段青兵^[54]利用近红外光谱分析技术实现了聚己内酰胺切片相对黏度的快速分析,方法简便快捷。邬蓓蓓等人^[55]利用近红外漫反射光谱法快速测定聚氯乙烯K值,方法重复性好,快速简便无污染。李伟等^[56]采用近红外漫反射光谱技术快速测定了高硅氧/酚醛预浸布的树脂含量、挥发分含量和预固化度等质量指标,实现了预浸布3项质量指标的同步在线监测。

1.6 其他领域

近红外光谱分析技术在其他领域快速分析上的应用也十分广泛,如临床医学上血清中的血红蛋白、pH值、胆固醇等含量的测定;无创血糖的监测,组织氧含量的测定;生物化工中生物发酵过程的监测;纺织行业中混纺织品中各成分含量、二醋酸纤维素酯化值、棉纤维中还原糖等指标的测定;造纸工业中纸浆中木素含量、卡白值、涂层含量等指标的测定;煤炭工业中水分、挥发分、含热量等指标的测定;制糖工业中成品糖的糖度、浊度、固形物等的测定,环保领域中有有机污染物的快速鉴别,废水的pH值、BOD、COD指标的测定等^[1]。

Zhigang Cai等^[57]研究了利用近红外光谱监测腓骨皮瓣术后区域组织氧饱和度,结果表明NIRS

是监测移植组织特别是皮瓣的血液循环一种可靠、非接触性的分析方法. Latonya Kilpatrick-Liverman 等^[58]研究了利用近红外光谱测定皮肤中的水分含量, 结果表明其测定结果与其它方法一致, NIRS 可用于皮肤护理. Chris J Leach 等^[59]研究了利用 NIRS 快速测定海洋沉积物中总有机碳含量, 结果表明 NIRS 可用于各种海洋沉积物总碳含量的快速、精确测定. John Crowley 等^[60]研究了近红外反射和透射光谱用于重组赤酵母发酵过程的监测, 研究结果表明, NIRS 可用于生物发酵过程的复杂工业生产现场监测.

2 结束语

近红外光谱分析技术是一种应用广泛且最有发展前景的过程分析技术之一, 与传统分析技术相比具有诸多优点, 它能在几分钟内, 仅通过对被测样品一次近红外光谱的扫描和采集, 即可完成其多项性能指标的测定(最多可达十余项指标). 它摆脱了传统分析方法操作繁琐费时、无法满足生产需要的弊端, 实现了快速、无损检测. 作为一种方便、快捷、无污染、适合在线监测的分析技术, 近红外光谱对于经常性的质量监控是十分经济且迅速的, 已广泛应用于各个领域. 在近红外光谱的算法研究、软件开发、应用研究方面, 我国尽管取得了很大的成绩, 但与国外先进水平相比尚有不小的差距. 相信随着仪器和化学计量学软件的国产化及近红外光谱在各个领域应用研究的深入, 近红外光谱分析技术作为一种方便、快速、无污染、适合在线检测的分析技术必将在更多领域得到更广泛、更深入的实际应用, 在产品质量检验、生产过程的质量控制等方面发挥更大的作用.

近红外光谱分析技术与其他分析技术一样, 在具有其优势的同时, 也有一定的局限性和弱点^[4], 主要有: (1) 近红外光谱区的吸收强度较弱, 光谱的信噪比低, 因而其灵敏度低, 检测限低, 不宜做含量过低的样品及微量样品的显微分析; (2) 测定不经预处理的样品的光谱易受样品状态、测量条件的影响而造成光谱的波动性; (3) 光谱背景复杂, 谱峰重叠, 必须依靠算法和计算机软硬件技术; (4) 建模需要投入一定的人力、物力和财力, 且模型只能适应一定的空间范围.

参考文献:

[1] 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国

石油出版社, 2006.

- [2] 王多加, 周向阳, 金同铭. 近红外光谱检测技术在农业和食品分析上的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(4): 447-450.
- [3] Fernandez Ibanez V, Soldado A. Application of near infrared spectroscopy for rapid detection of aflatoxin B1 in maize and barley as analytical quality assessment[J]. Food Chemistry, 2009 (to be published), 113: 629-634.
- [4] Nan Yang. Application of near infrared reflectance spectroscopy to the evaluation of rutin and D-Chiro-Inositol contents in tartary buckwheat[J]. J Agric Food Chem, 2008, 56: 761-764.
- [5] 卢利军, 庄树华. 应用近红外技术测定应用近红外技术测定黄豆粕中水分、蛋白质和粗脂肪[J]. 分子科学学报, 2001, 17(2): 115-120.
- [6] Campbell M R, Brumm T J. Whole grain amylose analysis in maize using near infrared transmittance spectroscopy[J]. Cereal chemistry, 1997, 74(3): 300-303.
- [7] Shuso Kawamura, Motoyasu Natsuga. Development of an automatic rice quality inspection system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 40: 115-126.
- [8] Yande Liu, Yibin Ying. Comparison of the HPLC method and FT-NIR analysis for quantification of glucose, fructose and sucrose in intact apple fruits[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(8): 2 810-2 815.
- [9] Iuypaert J, Zhang M H. Feasibility study for the use of near infrared spectroscopy in the qualitative and quantitative analysis of green tea, Camellia sinensis (L)[J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 478: 303-312.
- [10] Mouazen A M, Maleki M R. On line measurement of some selected soil properties using a Vis-NIR sensor[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93: 13-27.
- [11] 姜能座, 杨德辉. 近红外漫反射光谱因子分析法同时测定饲料中水分、粗蛋白和粗脂肪[J]. 福建分析测试, 1995, 4(3): 301-306.
- [12] 王家俊. FT-NIR 光谱分析技术测定烟草中总氮、总糖和烟碱含量[J]. 光谱实验室, 2003, 20(2): 181-185.
- [13] Slobodan Sanio, Yukihiro Ozaki. Short wave near Infrared spectroscopy of biological fluids. 1. quantitative analysis of fat, protein, and lactose in raw milk by partial least squares regression and band assignment[J]. Anal Chem, 2001, 73(1): 64-71.

- [14] Haiyan Cen, Yong He. Measurement of soluble solids contents and pH in orange juice using chemometrics and Vis-NIRS [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54 (20): 7 437-7 443.
- [15] Maria G Macedo, Marie France Laporte. Quantification of exopolysaccharide, lactic acid, and lactose concentrations in culture broth by near Infrared spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(7): 1 774-1 779.
- [16] Armenta S, Garrigues S. Determination of edible oil parameters by near infrared spectrometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2007, 596: 330-337.
- [17] 李代禧, 吴智勇. 啤酒主要成分的近红外光谱法测定 [J]. 分析化学研究报告, 2004, 32(8): 1 070-1 073.
- [18] Sandra E Kays. Near infrared analysis of soluble and insoluble dietary fiber fractions of cereal food products [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 3 024-3 029.
- [19] 赵丽丽, 张录达. 近红外光谱定量检测腌腊肉制品品质的研究 [C]. 傅立叶红外谱仪技术及应用论文集, 2007. 47-49.
- [20] Yiqun Huang, Todd M Rogers. Detection of sodium chloride in cured salmon roe by SW-NIR spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49: 4 164-4 167.
- [21] Laura Alessandrini. Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree [J]. Analytical chimica acta, 2008, 625: 95-102.
- [22] Hector R Juliani. Application of near infrared spectroscopy in quality control and determination of adulteration of African essential oils [J]. Phytochem Anal, 2006, 17: 121-128.
- [23] Savenije B. Prediction of pork quality using visible/near infrared reflectance spectroscopy [J]. Meat Science, 2006, 73: 181-184.
- [24] Fei Liu. Classification of brands of instant noodles using Vis/NIR spectroscopy and chemometrics [J]. Food Research International, 2008, 41: 562-567.
- [25] Merckle P, Kovar K A. Assay of effervescent tablets by Near Infrared Spectroscopy in transmittance and reflectance mode: acetylsalicylic acid in mono and combination formulations [J]. J Pharm Biomed Anal, 1998, 17: 365-374.
- [26] Andersson M, Josefson M. Monitoring of a film coating process for tablets using near infrared spectroscopy [J]. J Pharm Biomed Anal, 1999, 20: 20-30.
- [27] Ulmschneider M, Penigault E. Direct identification of key intermediates in containers using Fourier transform near infrared spectroscopy through the protective polyethylene primary packaging [J]. Analusis, 2000, 28(2): 136-140.
- [28] Xiangji Zhou, Patricia Hines. Moisture determination in hygroscopic drug substance by near infrared spectroscopy [J]. J Pharm Biomed Anal, 1998, 17: 219-225.
- [29] Berntsson O, Zackrisson G. Determination of moisture in hard gelatin capsules using near infrared spectroscopy: application to at line process control of pharmaceuticals [J]. J Pharm Biomed Anal, 1997, 15: 895-900.
- [30] John P Higgins, Steven M Arrivo. Spectroscopic approach of on line monitoring of particle size during the processing of pharmaceutical nanoparticles [J]. Anal Chem, 2003, 75(8): 1 777-1 785.
- [31] Sonja Sekulic S, Howard W Ward. On line monitoring of powder blend homogeneity by near infrared spectroscopy [J]. Anal Chem, 1996, 68: 509-513.
- [32] Li W Y. Determination of polymorph conversion of an active pharmaceutical ingredient in wet granulation using NIR calibration models generated from the premix blends [J]. J Pharm Sci, 2005, 94(12): 2 800-2 806.
- [33] 瞿海斌, 刘全. 近红外漫反射光谱法测定黄连浸膏粉中生物碱含量 [J]. 分析化学研究简报, 2004, 32(4): 477-480.
- [34] 陈斌, 李军会. 近红外光谱法快速测定葛根中的五种成分 [J]. 现代仪器, 2001, 5: 21-23.
- [35] 杨南林, 瞿海斌. 近红外光谱快速测定三七总皂苷的方法研究 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(4): 463-466.
- [36] Narve Aske, Harald Kallevik. Determination of saturate, aromatic, resin, and asphaltenic (SARA) components in crude oils by means of infrared and near-infrared spectroscopy [J]. Energy & Fuels, 2001, 15: 1 304-1 312.
- [37] 史月华, 陆勇. 主成分回归残差神经网络校正算法用于近红外光谱快速测定汽油辛烷值 [J]. 分析化学研究简报, 2001, 29(1): 87-91.
- [38] 梁仕普. 在线红外光谱法检测汽油中的烯烃和芳烃(苯) [J]. 精细石油化工, 2001, 4: 69-71.
- [39] 徐广通, 袁洪福. 近红外光谱技术快速测定柴油物理性质 [J]. 石油学报, 1999, 15(5): 63-68.
- [40] 杨素. 近红外光谱快速测定石脑油芳烃含量模型的校

- 正研究[J]. 红外, 2007, 28(6): 33-37.
- [41] 殷宗玲, 李克忠. 近红外光谱快速测定柴油氧化安定性[J]. 现代仪器, 2004, 1: 42-44.
- [42] 袁洪福, 岳俊奇. CCD 近红外光谱快速测定喷气燃料的冰点[J]. 分析化学, 1998, 26(5): 603-606.
- [43] 邵波, 黄小英. 近红外光谱快速测定成品罐汽油的有关性质[J]. 石油化工, 2002, 31(10): 848-851.
- [44] Riitta A Heikkaa, Kirsi T Immonena. Determination of acid value, hydroxyl value and water content in reactions between dicarboxylic acids and diols using near infrared spectroscopy and non linear partial least squares regression [J]. *Analytica Chimica Acta*, 1997, 349: 287-294.
- [45] Thosar S S, Forbess R A. Determination of copolymer ratios of poly (lactide co glycolide) using near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 1999, 20: 107-114.
- [46] Fontoura J M R, Santos A F. Monitoring and control of styrene solution polymerization using NIR spectroscopy[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(5): 1 273-1 289.
- [47] Cherfi A, Fevotte G. Robust on line measurement of conversion and molecular weigh using NIR spectroscopy during solution polymerization [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, 85: 2 510-2 520.
- [48] Cherfi A, Fevotte G. On line conversion monitoring of the solution polymerization of methyl methacrylate using near infrared spectroscopy[J]. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 2002, 203(9): 1 188-1 193.
- [49] Frank A Dethomas. Real time monitoring of polyurethane production using near infrared spectroscopy[J]. *Talanta*, 1994, 41(3): 425-431.
- [50] Magali Laasonen, Jukka Rantanen. Near infrared reflectance spectroscopy for the fast identification of PVC-based films[J]. *The Analyst*, 2001, 126(7): 1 122-1 128.
- [51] Mariano Garrido. Kinetic analysis of reactions of Si based epoxy resins by near infrared spectroscopy, ¹³C NMR and soft hard modeling [J]. *Analytic Chimica Acta*, 2007, 583: 392-401.
- [52] Alig I. Polymerization and network formation of UV-curable materials monitored by hyphenated real-time ultrasound reflectometry and near infrared spectroscopy (RT-US/ NIRS) [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2006, 55: 88-96.
- [53] Shin Watanabe. A near infrared study of thermally induced structural changes in polyethylene crystal[J]. *Polymer*, 2006, 47: 2 010-2 017.
- [54] 段青兵, 孙岩峰. 近红外光谱测定聚己内酰胺切片相对黏度[J]. *化工进展*, 2005, 24(5): 556-557.
- [55] 邹蓓蕾, 林振兴. 傅立叶变换近红外光谱法快速测定聚氯乙烯的 K 值[J]. *中国塑料*, 2006, 20(1): 87-89.
- [56] 李伟, 黄玉东, 张翔. 近红外漫反射光谱技术在预浸布质量指标在线测定中的应用[J]. *固体火箭技术*, 2006, 29(1): 75-78.
- [57] Zhigang Cai. Evaluation of near infrared spectroscopy in monitoring postoperative regional tissue oxygen saturation for fibular flaps[J]. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 2008, 61: 289-296.
- [58] Latonya Kilpatrick Liverman. The use of near infrared spectroscopy in skin care application [J]. *Skin Research and Technology*, 2006, 12: 162-169.
- [59] Chris J Leach. Rapid determination of total organic carbon concentration in marine sediments using Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIRS) [J]. *Organic Geochemistry*, 2008, 39: 910-914.
- [60] John Crowley. Monitoring a high cell density recombinant *Pichia pastoris* fed batch bioprocess using transmission and reflectance near infrared spectroscopy[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2005, 36: 621-628.

Application of Near Infrared Spectroscopy Analytical Technique in Rapid Analysis

LIU Fa-long, MA Xin-gang, CHENG Fu-yin, HE Jun-rong

(The 42nd Institute of the Fourth Academy of CASC, Xiangfan 441003, China)

Abstract: The principle and the characteristics of near infrared spectroscopy(NIRS) are presented briefly in this paper. The research and application actualities of NIRS rapid analysis in agriculture, food, pharmaceutical, petrochemical industry, polymer and so on is summarized. The application prospect of NIRS is also proposed.

Key words: near-infrared spectroscopy; rapid analysis

Classifying number: O657.32

请速订阅 2009 年《分析测试技术与仪器》

如果您想

了解当代分析测试领域的新进展与新动向

交流分析测试研究的新理论与新成果

开发分析测试研究工作的新技术与新方法

扩展分析测试仪器的新用途与新功能

研制分析测试的新仪器与新组件

.....

请您订阅向国内外公开发行的《分析测试技术与仪器》杂志, 刊号 ISSN 1006-3757 邮发代号: 54-90,
CN 62-1123/O6

定价 8 元/册, 全年定价 32 元. 投稿请与《分析测试技术与仪器》编辑部联系, 联系电话: (0931) 4968280, E-mail: fxcs@lzb.ac.cn, 联系人: 张晓鸿, 地址: 甘肃省兰州市天水中路 18 号, 中国科学院兰州化学物理研究所.