

工业核仪表的现状与发展(续完)

安继刚

(清华大学核能技术研究所)

三、能谱分析型仪表

物质在辐射作用下所产生的激发、电离、散射、核反应等物理效应，特别是由该物质发射出的射线能谱，是鉴别物质元素组成和进行微量分析的理想手段。近年来由于出现了高分辨率的核探测器和多道脉冲幅度分析器等核电子学仪器，核分析技术的灵敏度和准确度大为提高。电子计算机的广泛应用，进一步改善了核分析仪表的性能，实现操作程序化、简便化、数据处理自动化、智能化、结构也更趋于小型化、轻便化。这为核分析仪表的现场和野外使用提供了前所未有的条件。目前国外已有多种现场核分析仪器产品投放市场，成为工业过程控制和野外现场分析的重要手段。这类核分析仪表可以分为三类：(1)荧光类仪表，如放射性同位素x射线荧光分析仪表等；(2)活化类（主要是中子活化）仪表；(3)核测井（石油测井、煤田测井等）仪表。

1. x射线荧光分析仪

x射线荧光分析技术是六十年代中迅速发展起来的一种新的快速仪器分析技术。物质受x射线或质子等辐射激发可产生次级荧光射线(特征x射线)，测定此荧光x射线的能谱与强度，可以确定物料的成分以及厚度与密度等。x射线荧光分析是一种性能优良的仪表，分析速度快、精确可靠、灵敏度高、成本低、易于操作、不受样品物理状态限制，而且可进行不取样非破坏分析，特别适用于在线矿石分析与野外地质普查，在国外已得

到大力推广。

第一台便携式x射线荧光分析仪是英国地质局、英国原子能局与美国原子能委员会于1966年联合研制成功的，以后法国、加拿大、日本、东德、波兰、瑞典和澳大利亚先后研制出或引进了各类的x射线荧光分析仪。目前便携式x射线荧光分析仪中，采用放射性同位素（或小型x光管）作为激发源，并配有高分辨率半导体探测器、多道脉冲幅度分析器与微处理机，以电池供电，能够在几分钟，甚至几秒钟内完成现场样品定量或半定量测定。美国曾将x射线荧光分析仪送上月球，用于月面地质化学考察。此外，美国还利用x射线荧光分析仪普查陆地与海洋深处的矿藏。这种分析仪对钠、镁、铝、硅、氯、钾、银等元素的测定灵敏度达2~10ppm。例如曾将一台x射线荧光分析仪放至海下300米深处，对20多种元素进行定量分析，精度达10ppm。

x射线荧光分析仪在地质勘探和矿物开采中的作用尤其突出。在地质勘探中，这类仪表除可用于钻井岩芯分析外，还可用于野外露天勘探，发现地质异常，确定矿脉走向与分布，测定矿物品位，估算储量。在矿石开采中，x射线荧光分析仪可实时指导现场掘进。此外，在选矿过程中，采用在线x射线荧光分析仪，可能对矿石中全部有经济价值的重要金属——铜、镍、锌、锡、钼、铋、钨、铀等进行连续分析，为选矿作业自动化提供了一种有效的手段。

在冶金工业中，x射线荧光分析仪可用于炉前分析等；在化工和水泥制造等工业

中,可用于物料中元素成分分析;在石油煤炭工业中用于产品的纯度、灰分测定;在水利工程中进行水系沉积物分析;环境中大气和水源污染物含量监测等;x射线荧光分析技术甚至还可用于文物分析鉴别等;x射线荧光式复盖层厚度计可用于极薄镀层和涂层厚度的精确测量,正有取代 β 散射式复盖层厚度计之势。可见,x射线荧光分析仪表的应用范围是十分广泛的。

x射线荧光分析仪的发展趋向是:

(1)多元素同时分析。目前一台x射线荧光分析仪可以同时分析30~40种元素。1983年芬兰一家公司研制成功一台可同时分析80种元素的x射线荧光分析仪;

(2)大幅度提高仪表的精度灵敏度;

(3)小型化、轻便化、专用化;

(4)微处理机的应用。主要是用于仪器的自动启动和调度,连续核对分析结果,监视和校正仪器性能变化,及时提供数据显示,确保仪器更加稳定、可靠、精密、快速、价廉。

我国x射线荧光现场分析技术虽然在七十年代已开始用于地质、冶金部门,然而,总的说来目前尚处于实验研制阶段。现在,上海263厂批量生产的Ca-Fe分析仪在水泥行业中得到用户的好评。清华大学核能技术研究所研制的x荧光分析仪,采用微机处理信息,可用于分析水泥的Ca、Fe、Si、Al四元素,也可用于金属矿成份分析,目前已小批量生产。当前限制我国x荧光分析仪发展的首要问题是缺乏分辨率高、能承受现场恶劣条件的x探测器。目前尚无薄铍窗(25 μ)x正比管供应。硅-锂探测器又必须使用液氮,给现场应用造成很大困难。室温半导体探测器尚处于探索阶段。另外,配套的x荧光激发源也是影响发展的主要技术关键。

2. 活化分析

在各种核分析技术中,中子活化分析取样量少(1~100毫克),灵敏度高(1ppm~ 10^{-6} ppm),可同时测定十几种或几十种元素,

准确度高、精密度好,而且分析时不破坏样品。国外近十几年来,现场中子活化分析技术得到了迅速发展。自从美国²⁵²Cf自发裂变中子源于1968年投入市场后,现场中子活化分析技术有了重大发展。此外,国外中子发生器也逐步向小型化、轻便化中子管发展,中子出率可达 10^{12} ~ 10^{13} 中子/秒,完全适于野外作业。因而国外中子活化分析有取代常规化学分析的趋势。

中子活化分析应用范围十分广泛,现场中子活化分析目前最主要用于矿业、石油、煤炭等部门的矿样分析与环境污染监测。例如美国制成的一种²⁵²Cf源中子活化分析装置,用于海洋或河流等水下沉积物的普查及陆上地质普查,对近30种元素的分析灵敏度都达到ppm级。

我国用Am-Be中子源(10居里)的在线中子活化分析仪已有样品研制成功,用于水泥生产线。另外也正在研制²⁵²Cf源在线中子活化分析仪,将用于冶金行业。

3. 核测井

核测井是利用辐射与物质相互作用的各种效应或利用岩石本身的放射性,对地层物理性质以及井下技术参数进行探测的一种先进的物探方法。它是目前地质勘探和资源开发中应用广泛的一种主要地球物理测井手段。核测井包括通常所说的放射性测井,以及核磁测井与放射性同位素示踪测井。

核测井技术起始于三十年代。当时主要是通过测定地层中的天然 γ 放射性,以确定铀、钍、钾的含量。四十年代开始研究中子- γ 测井。50~60年代天然 γ 测井、 γ - γ 测井和中子- γ 等核测井技术逐渐成熟,并开始在美苏等国石油与煤炭的勘探和开发中获得应用。与此同时,开始研究天然 γ 能谱测井、碳-氧比能谱测井、x射线荧光测井和核磁测井。七十年代以来,核测井发展更为迅速,应用范围更为扩大,各种高性能的核测井仪表不断涌现。电子计算机的引入,进一步使核测井技术达到数控测井的水平。出现了双

(或多)探头中子寿命测井和密度测井、岩性密度测井、各种能谱测井、脉冲中子测井、 ^{252}Cf 中子源-锗半导体探测器能谱测井、x射线荧光测井、缓发中子测井以及核和非核各种测井技术相结合的组合测井。

国外各工业发达国家根据各自的国情,对核测井发展的侧重面各不相同。例如美国主要注重石油核测井,而苏联则不仅注重石油核测井,而且也重视煤田和金属矿核测井。美国的石油核测井行业在美国国内是仅次于核医学的第二大同位素应用行业。美国的一家公司(斯伦贝谢公司)是当前世界最大的油气测井跨国公司,拥有各种先进的核测井手段,为世界许多国家提供服务。1980年该公司来我国华北、新疆、四川等地的油、气田提供测井服务,取得了良好效果。苏联在金属矿物探方面一直居世界领先地位,拥有庞大的测井队伍,建立了完整的测井理论和方法,确立了自己的体系,取得了良好的效果,这一点是美国所不及的。此外,苏联有1000多个测井队,采用放射性测井技术,主要是 γ 测井和中子测井,活跃在辽阔的油、气田上,为数十万口油井、气井提供测井服务,测井总进尺达到20万千米。此外,苏联是世界上最早将核测井技术应用于煤田勘探的国家。

七十年代,西方国家连续受到两次石油冲击,因而对煤炭资源进行了重新评价。一些西方国家的测井公司也开始重视核测井在煤田勘探和开发中的应用,近年来发展很快。例如英国一家公司(BPB公司,1970年成立)是世界上唯一的煤田测井公司,承揽世界各地的测井任务。英国自称它在煤田测井领域居世界领先地位。

核测井技术经过五十年代的发展已趋于成熟,它与声学测井、电学测井一起构成了三大支柱测井技术。随着矿物的日益贫化,核测井的作用日益重要,反过来对核测井提供了更高的要求。今后核测井的发展趋向主要是:

(1) 从定性向定量化方向发展,从强度测量向能谱分析方向发展;

(2) 大力发展综合测井,核技术与非核技术并用,采用多参数分析系统以求取得最多的井下信息,提高测井效率;

(3) 测井仪器向组合化、轻便化、小型化方向发展;

(4) 发展数字化传输,开发电子计算机应用。

我国核测井技术始于五十年代中期。那时主要是应用苏制或仿苏仪器进行试验研究。六十年代我国开始研制自己的中子发生器。1964年生产出的脉冲中子发生器的中子输出约为 10^8 中子/秒。七十年代以来,我国测井技术向数字化迈进。七十年代末从美国引进数字测井仪并进行仿制。几十年来我国共生产各种核测井仪器仪表约4000套。其中石油核测井仪表约1000套,包括天然 γ 测井仪、中子- γ 测井仪、热中子测井仪、地层密度测井仪(γ - γ 测井仪)、中子寿命测井仪、碳/氧比能谱测井仪、以及碘-131和铯-131-GTP微球示踪剂测井,应用于大庆、四川、华北、江汉等油田;煤田组合测井仪1000多套。我国各地地质勘探队及生产部门目前共有230多个煤田测井组,几乎都配备了这种煤田测井仪表;此外,还生产了主要供铀矿测井用的天然 γ 测井仪1413台;生产了400余台钴-60闪烁测井仪。然而,我国核测井就整体(理论研究、仪表种类、电子元器件、制造工艺、数字化程度、资料解释、信息传输等)而言,与国外发展水平相比,大约落后两代,约落后15~20年,尤以煤田核测井技术更为落后。目前国外核测井仪表的元器件产品可耐温 170°C 以上,耐压1400大气压,适应深度达7000米或更深的井下操作。而我国的测井元器件大多只能适应 100°C (最高达 120°C)的环境,目前正在研制 150°C 的高温元器件。国外中子管的中子输出已高达 10^{12} 中子/秒,最长寿命1000小时。而我国中子管中子输出仅为 10^8 中子/秒,只能稳定工作在

10^7 中子/秒,寿命只有100小时。而且由于我国核测井仪表制作工艺水平落后,因而仪表在使用中返工率高,测井成功率低。此外,我国核测井的标准化工作进展也十分缓慢,一些油田至今没有刻度井,因而很多测井资料难于进行定量解释。

四、数字图象处理型仪表

这类仪表主要是核无损检验(即射线探伤)装置,如x射线探伤和 γ 探伤仪、加速器探伤装置、中子照相以及工业断层显像(即工业CT)装置等。核无损检验是工业无损检验技术重要组成部分之一。除核无损检验以外,工业无损检验已广泛用于石油、化工、机械、建筑、造船、铁路、汽车、航空、原子能以及市政工程等部门,初步形成了一个独立的“无损检验产业”。工业发达国家,各种工业无损检验技术中,目前射线探伤所占比重最大(38.5%),其次为超声(17.5%),磁力第三(12.3%)。由于各种无损检验技术的特点和应用范围有所不同,因而它们并不相互排斥,而是相互补充。例如超声技术对探测厚材料,特别是探测材料内部裂缝具有突出的优点,然而却不能适应表面或内部结构复杂的工件的检验。

射线探伤的主要特点是:

(1) 它是一种非破坏性检验,省时、省工、省料。又是一种百分之百的质量检验,检验可信度高,防止了抽样检验的“错”、“漏”;

(2) 灵敏度高、适应面广、通用性好。射线照相检验可用于各种材料、不同厚度工件的检验;

(3) 直观性好,胶片可记录存档;

(4) 随着支持性技术的发展,例如电子计算机的应用等,射线探伤可能实现检验自动化、实时化、定量化、立体化,以适应现代工业的要求。因此,可缩短射线探伤周期和简化工序,有利于进一步提高成品率和

成材率、减轻劳动强度、保证质量、降低成本;

(5) 射线探伤装置较为复杂,一次性投资较高,此外还必须重视辐射安全防护问题。

在世界工业发达国家中射线照相技术已发展到相当规模。据1978年统计,美国专门从事工业射线照相的承包公司共有778家,从业人员3400人,营业额1.12亿美元,利润7300万美元。目前美国x射线探伤与 γ 探伤比例为1:1,欧洲为2:1。美国工业探伤用加速器共50多台。苏联最早实现 γ 探伤商业化,现共有各种型号 γ 探伤仪10000多台,在输油和输气干线铺设工程中以及造船工业中发挥了巨大作用。据报道,全苏 γ 探伤仪的年经济效益高达9000万卢布。目前,性能良好的 γ 探伤仪是苏联的重要出口货物。日本射线照相技术发展极为迅速,现共有200家无损检测私人公司,拥有各种工业探伤加速器66台,x射线探伤机1000多台, γ 探伤仪931台,其中钴-60探伤仪247台,铯-137探伤仪22台。1955年日本成立了第一家私人公司。专门从事造船工业的无损探伤,当时主要用钴-60 γ 探伤仪进行厚钢材工件的探伤。六十年代由于15百万电子伏工业电子感应加速器的发展,高能x射线照相取得成功,因而钴-60探伤相对衰落。1966年后日本开发放射性同位素铯-137 γ 探伤仪,主要用于飞机喷气发动机涡轮叶片等无损探伤,目前已实现商业化。近十年来,电子直线加速器又逐步取代了电子感应加速器。

1. x射线探伤仪

50~120千伏的x射线探伤仪,可检测的钢板最大厚度为10~20毫米,120~250千伏的x射线探伤机可探厚度为20~80毫米;250~400千伏x射线探伤机可探厚度为120毫米;超过500千伏的x射线探伤机的制造工艺已很复杂。

目前x射线探伤机中传统的玻璃x光管已被金属陶瓷x光管所代替。金属陶瓷x光管的

球管头比玻璃管头轻三分之二以上，体积减小一半，重量减轻。例如160千伏的金属陶瓷x光管的管头仅为8千克，420千伏的为80~100千克。便携式x射线探伤机继续朝高效能方向发展。例如日本制造的200千伏5毫安，焦点为1.5×1.5毫米的x射线探伤机的球管头重量只有20千克。此外，可移动式脉冲式x射线探伤机也取得了重要进展，一种常用的脉冲x射线探伤机，管压为200千伏，焦点3毫米，重仅22千克，工作寿命为10⁶脉冲，可检验厚40毫米的钢板。另一种能量更高的可探厚100毫米的钢板。最近，国外还出现了一些新型的x射线探伤机，例如360°周角x射线探伤机，棒阳极x射线探伤机，轻便直流x射线探伤机。这后一种探伤机专门检查电子元件及角焊缝，焦点0.1毫米，可发现0.025毫米的缺陷。

2. γ探伤仪

二次世界大战后，由于反应堆可以大量生产人工放射性同位素，故γ探伤技术得到了发展。在早期，钴-60γ探伤仪专门用于检验x射线无法达到的一些厚工件。近年来，随着体积小、比放射性活度高、能量合适的γ射线源和新型屏蔽材料——贫化铀的应用，γ探伤仪在结构、材料以及照相技术等方面有了很大改善，因而适应范围不断扩大。

贫化铀的密度比铅大65%，且原子序数高，故采用贫化铀作为屏蔽材料，可使γ探伤仪的重量大大减轻、便于移动，可做成便携式γ探伤仪。

工业探伤用γ射线源主要有以下几种：钴-60、铯-137、铯-137、铯-137、铯-137和铯-137。使用最广的是钴-60和铯-137。钴-60的γ射线等效于3000千伏x光机的x射线，可用于厚工件探伤，钢板最佳探伤厚度为50~150毫米，最大200毫米。铯-137的γ射线等效于900千伏的x射线，适用于较薄工件的探伤，钢板最佳探伤厚度10~50毫米，最大100毫米。铯-137的γ射线大致相当于250~300千伏的x射线，适于10毫米左右的薄钢板和厚薄不均的工件

的探伤。铯-137的γ射线能量最低，适于厚度为10毫米以下钢板和厚铝件的探伤。目前铯-137已趋淘汰，主要是由于难以制得高比放射性活度的铯-137源，而且它的化学形态（氯化铯）也不甚理想。

目前世界上应用γ探伤技术的国家日益增多，应用范围也不断扩大。据估计，大约40% x射线探伤已为γ探伤所代替。目前世界γ探伤仪市场由西德的绍尔瓦因博士公司和美国的美国技术操作公司两家公司所垄断。绍尔瓦因博士公司共有50人，十年来共生产了3500台铯-137γ探伤仪，200~300台钴-60γ探伤仪，赢利700万马克，美国技术操作公司共生产了800台铯-137γ探伤仪，其中62%销往国外，此外还生产探伤用γ源6000多个，该公司1981年产值2800万美元，利润230万美元。

3. 加速器探伤装置

加速器可产生高能x射线，故在较厚工件的无损探伤中一直占有不可缺少的一席。

1百万电子伏的静电加速器可探伤的最大厚度为200毫米；2百万电子伏的为300毫米；而6~31百万伏电子感应加速器最大可探厚度为500毫米钢板。前已述及，超过500千伏的x射线探伤机的制造已十分困难。而γ探伤仪，射线能量比较单一，且不可调节，较厚工件探伤时曝光时间要很长。加速器探伤弥补了这两者的不足，显示了它的优越性。

目前用于工业无损探伤的加速器主要有三种：电子感应加速器、电子直线加速器和电子回旋加速器。加速的电子能量最高可达31百万电子伏，照相灵敏度一般优于1%，辐射强度比放射性同位素射线源高1~2个数量级。

早期使用的电子感应加速器及高压型加速器现已逐步为电子直线加速器所取代。使用电子直线加速器的优点是：（1）在最适于工业无损探伤的电子能量范围（4~12百万电子伏）内，可以输出较强的x射线，一般照射量率可达400~2000伦琴/分·米；（2）

曝光视野大、分布均匀对称、固有不清晰度小、通用性强,可用于实时动态检验;(3)照射头较轻便、噪声小、耗电少。

目前工业探伤用的电子直线加速器在国际市场已有系列化产品供应。电子回旋加速器虽然具有接近于电子直线加速器的优点,然而技术上还不够成熟,造价偏高,特别是焦点较大(2~3毫米),影响成像质量,因而目前在工业无损检验中的应用尚不普遍。

全世界现共有工业探伤加速器400多台,其中电子直线加速器250台,电子感应加速器100台。这些加速器大都为美国、日本、苏联、英国、法国、瑞士、瑞典、中国等十多个厂家生产。其中美国的Varian公司生产了100多台工业探伤加速器,日本三菱公司生产了约70台。

工业探伤用加速器今后朝小型化、高可靠、长寿命、低成本的方向发展。例如加速器照射头的重量已从过去的几吨减轻到目前的几百公斤,甚至几十公斤。此外,加速器的停机维修时间与工作时间之比也接近1:100,可连续运行10年以上。

4. 中子照相

中子照相与x射线探伤或 γ 探伤类似。各种材料对中子的“透明度”与x射线或 γ 射线恰好相反,中子易于穿透钨、铅、铁、铋、铀、钚等重金属材料,而在氢、锂、硼等轻元素组成的材料中却发生明显衰减。这一特点可以填补x射线或 γ 射线难以奏效的轻材料探伤,以及若干由金属或非金属、特别是含氢物质构成的组合件的内部缺陷的检验。中子照相是对x射线探伤和 γ 射线的一种强有力的补充。目前,中子照相多用于核燃料元件、炸弹的火药装填状况、飞机发动机与火箭部件等的检验。

据统计,目前欧美各国已有上百座反应堆从事中子照相工作。美国、法国等一些国家还设有专门的中子照相反应堆。近年来,随着高中子产额的²⁵²Cf中子源与中子发生器(10^{12} 中子/秒)的出现,为中子照相技术提供

了一种体积小、重量轻、便于移动的小型中子照相装置。

5. 工业断层显像技术

八十年代以来,射线断层显像(CT)技术在医学诊断中取得了巨大成功,目前正向着工业领域转移,称为工业断层显像,即工业CT。工业CT是电子计算机应用于无损检验的最富有代表性的成就,它使核无损探伤提高到了一个全新的水平。几乎每一种用于无损检验的射线都可有相应的工业CT装置,如工业XCT、工业 γ CT、工业中子CT等。工业CT的主要特点是:

(1)可取得检验对象各方位的断面图像,有助于克服当前射线探伤,包括无胶片射线探伤,是平面投影的根本弱点。平面投影无法真实反映垂直于该平面方向上材料内部所有信息,因为射线照相时,反映材料内部不同深度处的信息的画面在同一平面投影图上相互重叠,因而大大降低了检验的可信度。工业CT的立体探伤效果,是任何其它工业无损检验方法无法取代的。

(2)灵敏度高。用工业CT探伤时,由于空气与材料对射线的吸收差别显著,因而当象素的大小可能超过缺陷的几何尺寸时,缺陷仍然对测量数据有明显影响。裂缝的情况也如此。由于工业CT采集数据是以众多方位的检测为依据,故对材料裂缝探测要比一般射线探伤灵敏、可靠得多,目前工业CT在某一断面图上可分辨的最小密度差别已可低达9%,空间分辨率是0.5~1毫米以内,最近有人达到50微米。

(3)直接提供定量结果。工业CT是通过电子计算机直接采集探伤断面每一点上射线减弱情况的定量数据,这样就可大大减少缺陷评价工作的主观性,给无损检验技术带来了质的飞跃。

工业CT几乎可以解决工业无损检验的全部问题。它的突出特点与巨大潜力已为人们所认识。这就是为什么在工业CT问世短短几年中就已取得了迅速发展原因。

日本曾研制出一种用于森林工业的便携式工业CT装置，最近又推出一种型号为TOSC—ANER—3000的工业CT产品，最大直径为40厘米，长度为60厘米，用于检验塑料、陶瓷、铝及橡胶制品等。法国也研制出一种利用同位素放射源的工业CT装置，可以扫描直径为80厘米的工件。美在工业CT方面开展了大量的研制工作，扫描了上百种不同的物体，取得了上千张断层显影图象。最近美国采用加速器产生的高能x射线，对直径为2米的三叉戟火箭进行CT检验。此外，美国还开展了用中子CT检验反应堆燃料元件的研究。英国正准备大力发展x射线和γ射线工业CT研究，进行飞机涡轮发动机叶片的探伤。

6. 我国核无损检验技术现状

我国现有X射线探伤机5000多台。五十年代从苏联进口了钴-60γ探伤仪200台，由于探伤装置故障多以及心理因素等多方面原因，现绝大部分弃之不用。近年来，有关单位小批量进口了西德、美国、日本等国的γ探伤仪，然而难以满足全国的需要。核工业部研制成功铯-137γ探伤仪，并通过鉴定。今后国内还将开发钴-60、铱-192等γ探伤仪。

我国自五十年代开始研制工业探伤用电子感应加速器和行波电子直线加速器。近年来从美国进口了两台探伤用驻波电子加速器，其中一台已投入运行。

清华大学近年来从事工业CT的研制工作，88年已完成一台工业CT的实验样机，已经取得了被检物体的断层显像照片。目前正为实现工业CT的实用生产样机而努力。

五、其它同位素仪表

同位素仪表种类繁多，用途各异，工作原理也不尽相同。有些无法归入上面各类，如放射性同位素火灾预警装置、放射性同位

素静电消除器、放射性同位素放电装置、放射性避雷针等。

放射性同位素火灾预警装置，是现代社会的不可缺少火灾预警手段。该装置灵敏、快速，目前已普遍安装在高层建筑、剧场、宾馆、学校、库房、图书馆、博物馆、计算机房以及其它重要设施和场所。它是利用在空气中烟雾粒子较浓时，α射线的电离效果显著降低这一原理制作成功的。放射性同位素火灾预警装置目前在国外已是一种产值数亿美元的产业。美国1976年生产了300万个家用放射性同位素火灾预警装置。据1978年统计，美国生产这种装置的厂家共有23个，产量达2400万个，盈利1亿美元。苏联在1974年就生产了95000个火灾预警装置用的α放射源，七十年代末有数千套放射性同位素火灾预警装置安装在诸如办公大楼、宴会厅、电视塔、甚至克林姆林宫。

放射性同位素静电消除器成功地解决了生产过程中的静电危害。它是利用放射性同位素射出α射线使工件周围空气电离，中和带电工件上的静电来消除静电危害的。放射性同位素静电消除器结构简单、不需电源、不发热、不打火、无电击，故特别适于纺织、橡胶、化工、造纸、胶片、印刷等生产过程，效果与效益均十分明显。1974年苏联生产了4万8千个静电消除器用α放射源，到七十年代末，苏联放射性同位素静电消除器的产量增加了29倍。仅在莫斯科的一家纺织厂就安装有39种不同规格的放射性同位素静电消除器，不但消除了静电危害，保证了产品质量，而且还使梳丝机的转速提高了40%。据估计，每台静电消除器年经济效益为1.4~3万卢布。苏联由于在全国轻纺工业大力推广放射性同位素静电消除器，其年经济效益达1亿卢布，而取得的社会效益无法计算。

我国的火灾报警器已大批量生产，静电消除器也已投产。

六、我国工业核仪表的形势、问题及建议

我国工业核仪表的发展已有三十多年的历史。尽管过去由于种种体制、政策等方面的原因，发展速度受到了限制，但近年来，随着改革形势的深入发展，我国工业核仪表也有了明显的进展。这表现为以下三点：

1. 质量提高。现在的料位开关已经过关，在厚度计密度计等方面都有许多已经过关的型号。工业核仪表的可靠性已大大提高，已经得到广大用户的好评。近年来发展起来的微机核仪表已在现场应用中取得良好的效果。

2. 应用面扩大，数量增加很快。现在应用国产工业核仪表的单位已遍及冶金、矿山、发电、水泥等各部门，在用仪表数目已由1985年的2500台左右上升至1988年的6000台左右。

3. 工业核仪表的应用已取得明显经济效益。按国家科委新技术局统计，用户得到的效益大致为几万~几十万/年·台。同时，研制生产单位也得到了明显的收益。

这些成绩的获得一方面由于从业人员的努力，另一方面更是由于改革为工业核仪表的发展创造了一个更好的大环境。例如，工厂收入与产品质量、数量直接挂钩，大大促进了工厂采用新技术（包括核仪表）的积极性。另外，竞争机制的引入，以及科技人员的商品意识的形成也都大大促进了这一事业的发展。“军转民”方针实行后，又使得大量技术力量雄厚、技术装备先进的军工企业投入民用工业核仪表行业，对提高这一行业的

水平、实力起了很大的作用。

当前我国的工业核仪表除了需要在质量、水平上进一步提高外，更应在标准化、系列化方面作出努力。我国目前从事工业核仪表生产的单位有数十家，各有各的标准，各有各的型号，各家的规模也都不大（最多不过一、二百万的年产值），而且还缺乏正当的竞争秩序，出现不少不执行协议，侵犯技术权益等混乱现象。这些都十分影响我国工业核仪表方面有限的力量发挥更大的作用。

为此，建议：

(1) 国家机关及行业的领导部门应加强宏观管理与宏观指导，制定必要的法规，以建立正常的工作秩序，防止内耗不断增大。

(2) 继续强调提高工业核仪表的质量。应当以“稳定、可靠、方便”为当前的主攻方向。只有在实现这三点以后，提高水平、扩大功能的工作才有意义。

(3) 要强调“以市场为导向，以产品为目标”。鼓励研究人员把技术研究同产品开发相结合，鼓励研究人员参加经营管理，增强商品意识与竞争意识，应当鼓励、支持教授企业家的队伍逐步形成与壮大。

(4) 国家应当支持骨干企业的形成。希望能够出现工业核仪表产值在千万元以上，品种、规格系列化，而且能够承担大系统工程的企业。

(5) 从现在起就应该把眼光盯住国外市场。只有在国际市场竞争中站住脚，而且形成相当规模的出口创汇能力以后，我国的工业核仪表行业才能算是接近或达到了国际水平。

(续完)