

綜合類

專題情報資料

第 6043 号

**超声波、半导体、放射性同位素等
技术报告记录**

(内部資料 不得遺失)

建筑工程部技术情报局

1960年9月

前 言

为配合当前建筑业正在轰轰烈烈开展的技术革新和技术革命运动，掀起广泛应用尖端科学技术的高潮，今年我局曾邀请中国科学院和北京大学的同志作了超声波、半导体以及放射性同位素的学术报告，介绍了这方面的基本原理和应用知识，现将报告记录整理付印，供有关同志参考，请勿翻印。

建筑工程部技术情报局

1960年9月

超 声 原 理 和 应 用

(报告人: 中国科学院电子研究所 馬大猷)

超声波是技术革命中的一个利器,土法制造的超声波发生器构造简单,携带方便,应用范围广。目前在化学工业和与化学有关的部門应用很普遍,在重工业中(包括金属切削和炼钢)已在应用,在医药卫生,农业也有許多应用。

一、超声波的特性

声波是在彈性媒质(固体、液体、气体)中的机械振动。声波中一部分能为人耳所听见,这部分声的频率在20到2万赫芝(即每秒钟振动20到2万次)称为可听声,超过2万赫芝的叫做超声,低于20赫芝的叫做次声。目前我們应用的超声波并不一定是2万以上,这个频率界限已不必认真考虑。所以我們現在所讲的超声是广义的,理解为不是专为人耳听的,而用它来做工作的声波。在固体、液体和气体中我們平时遇到的低频率也很多,例如建筑业中的水泥捣固,其他如地震波、大海中的波浪,这种波的频率很低,最低的每100秒中震动一次,或每秒几次,水泥捣固所用频率也在100赫芝以下。每秒几次的低频率在火箭研究中也很重要。

一般超声处理都应用较高频率,主要是几万赫芝,有时几十万赫芝,甚至是几百万赫芝。几万到几百万赫芝的频率常应用于检测中,如测量混凝土的强度,金属的探伤,探察鱼群、冰山、水中通讯等。更高的频率应用比较少,每秒几亿赫芝的频率要用特殊的方法来产生,最高的几十亿到几万亿赫芝的频率主要用于研究物质结构。

超声的频率每秒几次到几十亿次范围很大,而每一部分的频率有它一定的应用范围,所以总的說来应用范围很广。

声波在空气的声速为340米/秒

声波在水中的声速为1500米/秒

声波在钢中的声速为5000米/秒

声波在建筑材料(水泥、岩石)中的声速为2300~4000米/秒。

我們把声速除以频率就得到了波长。很容易看出,在空气中每100秒振动一次的声波,波长为34公里

长,这种波长在試驗原子彈时能产生,可利用它来偵察原子彈試驗的地点。高频率声波的波长很短。在鋼和石英中可产生十亿赫芝频率的声波,这种波长为0.5微米。可見光的波长为0.4到0.8微米,而0.5微米的波长相当于綠光的波长。

波长范围从几公里到几微米,它們的性质各不相同。波长短的声波和光波一样,可以沿直綫傳播(有一定方向),这种和光綫一样的声波在測量中特别有用。如需要四面八方傳播时,可用长波长和低频率的声波。

超声波的另一个重要性质是强度。强度是用每平方厘米上傳过的功率多少瓦来表示。因为物质对振动的能量很灵敏,所以超声的能量很小,而作用很大。最小的强度达 10^{-10} 瓦/厘米²,为亿亿分之一瓦。这样小的强度耳朵就开始能听见,一般讲话的强度比之大100万倍,約 10^{-10} 瓦/厘米²(100亿分之一)。这样大小的超声波强度可以用来测定混凝土的质量。通常应用超声波加工如清洗、钻孔、粉碎等超声波强度約为1~2瓦/厘米²,最多也不超过10瓦/厘米²,比可听声的强度又大100亿倍。我們还可产生更高的超声波强度,应用在特殊研究中。至于特别强的超声波作用和特性,我們目前还不清楚。苏联产生的最高超声波强度可达7万瓦/厘米²,这样高强度超声波有很多特殊性质。

我們目前做的土发生器,强度最高能达1~2瓦/厘米²。一般的洋发生器也不过几瓦/厘米²,再高也要坏,要产生高强度一般采用聚声的办法,这和聚光中应用的透鏡的原理一样。超声波的透鏡用金属鋁来做。也可以用反射鏡聚集声能。超声在水里能量损失小,傳得很远,如在水里敲两块小石,在一里以外的水中能听到,如果身体靠近小石将产生很大的超声压力,人体将受不了。而超声在空气中傳遞就差,频率越高能量的损失越大。所以在空气中进行核爆炸声音在距离远处就听不見(极低频率可收到),而在水中的傳播能达2万公里的路程。

超声波是一种机械振动,所以振动的大小和强度有直接的关系,超声强度和电学中有相似的关系,超

强度等于振幅²×声阻。每平方厘米上1瓦超声强度的振动速度究竟有多大呢？在空气中为5米/秒，在水中要小些为8厘米/秒，在钢铁中为5厘米/秒。

加速度 = 振动速度 × 频率 × 2π 。

振幅 = 振动速度 / (频率 × 2π)，加速度和频率成正比，而振幅和频率成反比。以水中强度为1瓦/厘米²的声波为例，当频率为10,000时，振幅为1.3微米，加速度为5000米/秒²，相当于重力加速度10米/秒²的500倍。当频率为100万时，振幅为0.013微米，比光波少数十倍，这时加速度为50万米/秒²，相当于重力加速度的5万倍，而一般人只能承受重力加速度的10倍，如果在水中放一玻璃棒，依靠巨大的声波速度，玻璃棒能顶穿木头。和穿过纸一样容易。这种运动很少而加速度非常大是超声波的一个特点。

在应用超声波时，可以考虑采用高频率或低频率。采用高频率加速度很大，而振幅很小，低频率则相反，如果主要利用超声波的功率，则频率高低都可以，可根据使用方便来定。高频率沿直线方向传播，方向性好，但所能产生的功率不大，应用在测量中特别合适。

二、超声波产生的方法

一般土法的有三种方法

1. 哨笛式超声波发生器：是最常用的，分二种情况

1. 哨子前面的簧片较厚较硬，这时当气体喷出时，簧片不振动，仅仅是气体本身所产生的振动，这样产生的功率较小。

频率的公式可以表达如下：

$$f = \frac{nua}{h} \quad (\text{公式 1})$$

式中：f = 振动的频率

$n = 1, 2, 3 \dots$

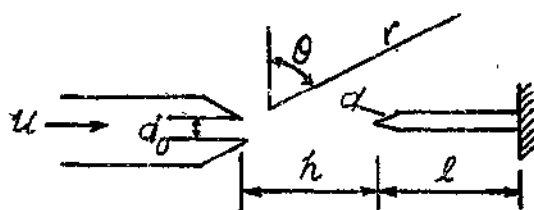
$a = 0.44$ ($n = 1$ 时), 0.58 ($n = 2$ 时)

(当 $d = 0.2$ 厘米, $h = 0.4$ 厘米时)

u = 空气喷出的速度 (米/秒)

h = 喷嘴到簧片的距离 (米)

图例：



在方向 θ 、距离 r 处产生的声压最大可以达到

$$P = \frac{2.36}{rc} \rho_0 ds^2 f^3 \cos \theta \quad (\text{公式 2})$$

式中：P — 声压 (牛顿/米²)

S — 喷嘴有效面积 (米²)

$$\text{一般 } S = \frac{hb}{3}$$

(注：b — 喷嘴宽度 (米))

h — 喷嘴长度 (米)

ρ_0 — 空气密度 = 1.29 公斤/米³

r — 距离 (米)

c — 声速 340 米/秒

f — 频率 (赫芝)

2. 哨子前的一簧片较软，应吹入气流，速度愈大，频率愈高，高到簧片本身固有的频率时，则可以产生很大的功率，一般在簧片附近可得 1~2 瓦/厘米²。当哨子周围套以套子时，效率则可更高一些，使它只向一个方向发射。

利用簧片共振的情况下，频率的公式是

$$\text{公式 1: } f = \frac{22.4d}{4\pi(3.7l)^{3/4}} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中：d = 簧片厚度 (米)

l = 簧片长度 (米)

E = 杨式弹性模量 (牛顿/米²)

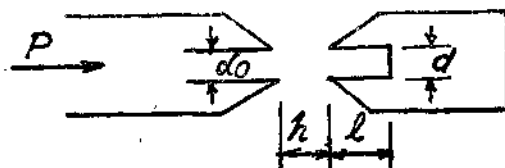
ρ = 簧片密度 (公斤/米³)

功率则需要根据簧片振动的情况进行计算。

2. 共振腔式超声发生器

使喷嘴对着共振腔，当喷嘴直径和共振腔直径及其深度几乎相等时（或喷嘴稍小），效率最高，这种发生器一般可得到 5~6 瓦/厘米² 的强度，在较低频率可能达到 150 瓦/厘米²，是效率最高的哨子。

图例：



当 $d_0 = d = l$ 时，这种超声发生器的最高达频率可用下面的公式表示：

$$f_{max} = \frac{58.60}{d} \quad (\text{公式 1})$$

式中：f_{max} — 最高频率

喷嘴到其共振腔的距离 d — 喷嘴直径 (米)

$$\frac{h}{d} = +0.04(P-0.93) \quad (\text{公式2})$$

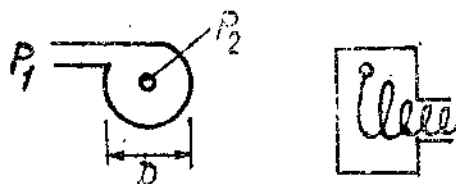
式中: P ——吹入哨内的压缩空气的压力(以大气压力表示)

$$\text{而所产生的声功率} \frac{W}{d^2} = 2,950,000 \sqrt{P-0.93} \quad (\text{公式3})$$

式中: W ——功率(瓦)

3. 旋渦式超声发生器

空气(或液体)从旁边吹入一个圆管,这时经过管内旋转出来的气流就有振动,用这种发生器产生的功率,其功率大小现在尚无材料可以计算,但估计其效率较高。气流旋涡也产生很大作用,应用也比较方便。



其频率可用下式表示:

$$f = \frac{C}{\pi D} \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_2}}$$

式中: C ——声速=340米/秒

D ——圆管直径(米)

P_1 ——吹入的气流压力(大气压力)

P_2 ——出口的气流压力(大气压力)

洋法的超声发生器对于普通所指的超声波(即狭义的高频率超声波 20,000~100,000赫芝来说,可以分成两种:

(1) 压电式超声发生器

它主要是利用压电晶体,当在晶体两边加以电压时,就能产生超声波,最常用的晶体是石英,或用人造材料如钛酸钡这一类的材料烧制而成,这种晶体的厚度最好是半个波长,以利用使晶体产生共振,加大功率,(其功率强度可以不利用共振时大7~14倍),适用的频率一般为从十方赫芝到一千万赫芝。

(2) 磁致伸缩式超声发生器

在磁致伸缩材料周围以线圈,通电流产生磁场,就可引起材料的伸缩而发生超声波,材料最好用镍,用铁要差得多,现有用铝铁合金的,其效果很好,还可以用氧化镍和氧化铁制成的铁氧体,适用频率范围是几千赫芝到10万赫芝。

上面这两种超声发生器都要求有高频的电压来源

一般都是用功率很大的真空管电子振荡器来供应的。

对于低频的超声波来说,例如在50或100赫芝的低频;可以用普通的水电电源就能产生振动,这时超声发生器有下面几种:

(1) 直接用马达——在它的轴上安上一个偏心轮,就可以得很大的振动功率。

(2) 用电动式的发生器——采用类似无线电中扬声器的构造,去其纸盘,利用它的线圈部分,用玻璃棒或细丝接到需要振动的地方,通进交流电(这时电压要根据线圈的情况降低一些)这样就可以得到一个很好的振动器。

这个原理可用来进行地质勘探,采用的频率是500赫芝,似乎再低些到100或50也可以。在这种应用中,振动部分(相当于扬声器的膜电)要比较重(几十或几百公斤)。

另外还可利用低频率声波在矿井内进行检查,以减少安全事故。

(3) 电磁式超声发生器——其原理和普通耳机的磁片振动原理一样,这时亦可利用共振原理使其强度增大几十到二百倍,使效率更高。

(4) 此外还有不用电的超声发生器,例如钻探时在钻管内放入一些带动偏心轮的水轮。当泥浆压入时,水轮转动,偏心轮也转动,因而产生上下振动。当再进一步利用共振时,钻头上的超声强度可达6000瓦/厘米²,其能量大到可以把任何石块打碎,而不需用任何其他动力,钻入速度可达于一般钻机。

(5) 还可利用高压电火花,在水中作高压(5万或10万伏)放电时,可将石头打碎,其粉碎的颗粒直径甚至可小到1微米,这主要是苏联研究成功的。

三、测量声波的频率和强度等的方法

(1) 测频率

洋法较复杂,用普通传声器,如电容式传声器或钛酸钡接收器接受超声频变成的电压变化再加以放大,低频率用电子管或电桥式频率计测量,当频率高时用无线电波长计来测量。

较简便的方法是用孔德管,在一个玻璃管内放上锯末,一端封闭,另一端移近声源,管内即形成驻波现象,锯末集中于波腹,相距半个波长,这样可以准确地测得波长,因而算出频率。这个办法适用于空气中,但同样原理在水中也可以一试。

(2) 测强度

一般方法较麻烦,最简单的可用辐射压力(见下)来测。可以用一个天平或浮标,有一表面正对声

波来向(气流或水流可用薄膜隔掉),标出其上所受压力。

(3)测量超声的总功率可用量热学的方法,其原理是使声波射入橡皮或玻璃丝,被吸收转化成热即可测得。

四、超声作用的原理

超声在物体中主要产生下面四个方面的作用:

(一)机械作用:

由于其能量,使对象产生类似于摇动的效果,使质点接触更多,并且使质点具有巨大加速度。运用这一原理,则可广泛使用超声波于混合、乳化、除尘、凝聚等过程中(主要是利用其能量、振动速度、振幅和加速度等中的一个或几个因素)。

过去这一原理运用在固体和液体中较多,自国内大搞超声波群众运动后,不仅已知的一些运用大大发展了,还在空气中大量利用超声波,作出了许多重要的发明创造。

例如过去在超声清洗方面,仅仅用在一些精密细小零件(如真空管的零件或手表)的清洗方面,现已用于大型钢管甚至整个机器的表面除锈,上海铅笔厂用它来清洗胶泥内的砂子(过去是用人来筛掉的)。

国内利用超声的振动作用创造的新用途有以下几项:

(1)用超声帮助燃烧。可使燃料和氧气混合、接触得更好,因此锅炉烧煤不冒黑烟了——京津铁路段已有三辆机车装上了这种设备,除了消灭煤烟外,由于燃烧更完全,还可省20%的用煤量,也可以改用劣质煤来燃烧。

(2)用超声冷却——例如金属切削时,用超声波促进空气对流,进行冷却可以使切削速度提高1到1.5倍,工具寿命都可延长一倍,切削完毕刀具还不发生热。

(3)用于气焊,气割——提高了效率,还可节约氧气,这也是使燃料(乙炔)和氧气更好混合的例子。

(4)利用超声炼铜——在炼铜过程中,在对炉内吹入氧气的同时吹入超声波,可以加速炼铜的过程,北京某地试验每炉可省10~20分钟,其原理亦通过机械作用有助于氧和铜水的作用。

(二)加热作用:

超声能被物质吸收变为热能,这种作用可用于医疗病症(如关节炎、人体内部的恶性肿瘤等),它的特点是人体外部健康的组织对超声吸收较少,而内部败坏的恶性肿瘤却吸收很多,这样可利用超声来烧掉

体内的肿瘤。这种方法比用X光或伽马(γ)射线来治疗好得多,时间短,见效快,另外还可利用它的聚焦作用,在一定距离的聚焦处,超声的能量才达到最大,这样在治疗时在人体皮肤上不会受到超声波很大能量的冲击。

(三)辐射压力作用:

辐射压力 $P = \frac{I}{C}$ (强度除以声速)这个压力可

以把物体的质点向一个方向推动,因而产生各种作用。也可以利用这个压力测量声强。

(四)空化现象:

当超声波的强度很大时,液体内部逐渐会形成许多空穴,空穴由于声波中的负压力的作用一次又一次地增大,到一定程度时,它就会因声波共振而突然破碎,破碎得很快在这一瞬间就产生了作用。

作用之一是在空穴周围产生很大的压力,有人试验在距空穴1毫米处,压力可大到几百个大气压力。

另外在空穴破碎时,周围的压力将泡内很微小的一部分空气和蒸气(泡内基本上是真空),猛然压缩,由于绝热压缩使空气的温度升高到几百到几千甚至一万度的高温,还引起电离和火花放电现象。

这样在空穴附近就会产生强烈的机械作用和化学作用。在超声利用上大部分都是利用这一空化现象所产生的作用。在一般的水中用0.2瓦/厘米²的强度即可产生空化现象,水中去掉气则需要2瓦/厘米²。这是频率较低(1万赫兹以下)时的情况,频率高时需要的强度大得多。

五、超声波的应用

(1)机械作用

可用于清洗、除炭、凝聚、粉碎、乳化、摇动及其它有关的运动过程中,建筑上可用于提土等过程。

(2)促进化学反应

用超声可以发生氧化作用(例产生过氧化氢把水氧化)催化作用(本来主要在高温高压下进行的作用过程现在可以通过超声处理,在低温低压下进行),聚合作用(合成高分子)解聚作用,帮助结晶酒的醇化(几分钟的超声处理即可相当于放置二年)……

现在化学工业大闹技术革命,主要是有两个方面,管道化和超声化。本来许多化学作用和化学反应过程都要在一些高压釜或反应罐内进行的过程,现在利用管道化,分别将不同的原料通入管子,在一定距离进行作用,同时通入超声波促进它在管道的末端就出来成品。这样就使化学工业改观。

这个革命性的作用是极其深远的

(3) 金属学方面

除上述的可用于炼钢、锅炉除烟、气焊、金属切削等以外，还可用于炼钢中改进其结晶情况等，在硬脆材料（硬质合金、宝石、半导体、牙齿等）上钻孔和切割，探伤、选矿等。

(4) 用在医药、卫生、生物农业方面

医疗上除了上述治疗外还可用超声探伤法来探病变，例如探脑中的肿瘤（X光不能透视，）早期发现肝病，制药，消毒等。

农业中最大的用处在于经超声处理后能使种子提前发芽，另外有许多迹象表明超声处理对提高产量的效果很好，值得进一步研究。

对畜牧业的增产效果亦尚待进一步研究。

(5) 检查测量自动化

可用超声来检查伤痕，测深度，测管子厚度，测流量，河速，测粘土，强度，耐磨度材料的弹性以及其他任何机械性质与力学性能。

利用检查测量的结果可以控制生产过程以形成自动化系统。这样，特别是在化学工业中，可考虑在管道化的基础上进一步全盘自动化（包括成品检查）了。

我们可以断言，超声还有很多可能的新应用等待我们发掘，在已有的应用中还须进一步了解它们的过程机理以便更有效地加以利用，在羣众大搞超声波的运动中，一定可以结出丰硕的果实，大大促进我国社会主义建设事业。

半 导 体

(报告人: 北京大学物理系 黄 昆)

首先说一下, 什么是半导体。

按一般的讲法, 半导体是导电能力介于金属导体和绝缘体之间的物体。但是这样讲, 对于实际上寻找探索半导体往往帮助不大。更重要的是半导体具有一系列特性, 正是由于这些特性使得半导体很有用处。

人们首先发现了一些半导体具有这些性质, 找到了它们的用处, 然后才综合起来, 明确它们都属于导电能力在导体和绝缘体之间这一广泛范围内的物体, 称之为半导体。半导体的一些最简单的特性包括, 导电能力随温度变化很剧烈(常称为热敏性); 导电能力在光照之下有很大的增加(称为光敏性); 和金属接触时有相当的电阻, 而且电流沿一个方向容易通过, 沿相反方向不易通过(称为整流性质)……, 象下面所讲; 这些性质都有直接的应用, 所以, 找寻半导体最直截了当的办法, 就是去试我们所需要的特性。

应当知道, 并不是所有半导体都同样具有以上这些特性。有的半导体这个特性很强, 而其它的特性很弱, 有的虽然从导电能力讲, 属于半导体范围, 但所有以上特点可能都很弱。不但一种材料和另一种材料可以有很大差别, 而且同一种材料制法不同, 所含的成分稍有不同, 各种特性也可以有极大的差别。由此更可以知道, 为什么一般地找寻半导体意义是不明确的, 而应从我们所需要的特性着手去找半导体材料。

下面简单介绍一下, 目前半导体已知的几方面的用处。

热敏电阻, 这是目前制做最简单, 用途十分广泛的一种半导体元件。它所利用的是半导体导电能力随温度很快提高的特性, 常用的材料是铜、锰、锌等金属的氧化物; 制法简单说就是把研磨的细粉胶合起来, 在1000度以上的高温下烧结制成, 然后接出两根引线(由于焊接困难, 一般常先涂导电银膏, 再烧结出引线)。这样做成的热敏电阻, 温度改变一度, 电阻就可以改变百分之几。热敏电阻首先可以用来测量温度, 但是和一般温度计比, 它有重要的优点, 它的体

积可以做得极小, 而且十分灵敏。测量到1/1000度是不困难的; 特别小的热敏电阻可以用于测血液温度、植物茎叶的温度等微小局部的温度, 微小的热敏电阻可以跟得上很快的温度变化, 可以测量到1/1000秒以下的时间内变化, 由于观测是靠了用细丝连出去的电流计, 因此可以测量许多一般不能直接观测的地方的温度, 例如粮食堆内各处的温度、土壤下、水闸下各处的温度等。当然, 这样利用电流来测量温度的变化也十分便于做各种温度的自动控制系统。热敏电阻还可以用来解决许许多多不是测量温度的问题。例如, 利用热敏电阻在有电流通过时它本身加热的程度随四周散热条件而不同, 可以用它来量流体的流速, 真空的程度等。利用它在通过的电流加大时, 本身温度提高, 因而导电能力也很快增加, 可以用并联的热敏电阻来俘获仪器, 使通过仪器的电流不至过大。

光敏电阻利用半导体导电能力在光照下可以大大提高的特性。最常用的是硫化镉和硫化铅的薄膜。制法是多种多样的, 例如硫化铅可以通过在溶液中进行化学反应直接沉淀在玻璃片上, 或是在真空中把硫化铅直接蒸发到玻璃上, 和热敏电阻相似, 由光敏电阻引出的两根引线接在电源上, 所通过的电流大小将随光照的温度而变化, 这样, 光的信号就将变为电的信号。光敏电阻可以用于产品计数, 安全装置、各种生产流程控制等各种自动化的目的。电敏电阻是一种结构简单, 坚实的, 应用极为广泛的光电元件。不同类型的光敏电阻适用于不同的目的。例如, 硫化铅光敏电阻, 跟得上很快的光的变化(如万分之一秒以下的瞬时变化), 而且还对于红外光灵敏, 硫化镉的反应就比较迟慢, 但是对于普通可见的光, 灵敏度十分高。

整流器是利用前面已提到的, 电流方向不同, 导电能力有极大差别的特性。电压在一个方向, 通过的电流可以很大, 电压方向倒过来, 就只有极小的电流。用整流器可以把交流电转变为单方向的电流。平常电源供应的是交流电, 但是很多实际要应用都需要单方向的电流。氧化亚铜整流器就是一种结构很

简单，应用也很广的一种小功率的整流器。制备的过程是很简单的，基本上是把一块薄铜片在约1000度的高温下使两面形成氧化亚铜层，然后把一边的氧化亚铜层去掉，剩下一层铜和一层氧化亚铜，氧化亚铜层便是半导体，它和铜的接触具有整流性质，所以在两面适当地加上电极引线，就形成一个整流器。常见的硒整流器的结构也很相似，平常它是由一块铁板或铅板，上敷一薄层硒，上面制成一层合金，铁板和合金便是两个电极。硒和合金之间的接触导致了整流的特性。近年来更发展了大功率的整流器可以解决工业上大量用直流电的问题，例如，电火车以及各种电牵引的车辆，电化学工业的供电。现在大功率的整流器需要用单晶的和极高纯度的锗和硅。所谓单晶就是说整块材料是由原子整整齐齐排列成的一个完整的整体；而平常我们用的材料是由许许多多的小结晶粒拼合在一起的，只是在每一个小结晶粒的内部原子才是整齐排列的。目前制造这种高纯度的单晶材料的方法和所用的设备都是相当复杂的，因此在成本和产量上都造成很大的限制。

晶体管是用半导体制成的，可以代替电子管的元件。它们的体积微小，结构很简单，用电极少，使用寿命十分长。象电子管一样，晶体管也有着各式各样的不同类型，现在简单介绍两个最基本类型的晶体管。

二极管的一种基本作用是和整流器类似的，就是使交变电流转变为单方向，只不过它主要用于无线电技术中的高频范围。它的核心部分便是一小片半导体的上面垂直地触着一根金属丝（锡、镉、铜……），金属丝端点做得很尖，它和半导体的接触导致了整流的作用，半导体片焊在金属底座上，底座和金属丝便是引出引线的两个电极，实际上，矿石机中的矿石，就是一个最早发现的二极管的雏形。现在用的二极管只是在工艺方法和所用的材料（锗和硅）上有了很大改进，因此，性能有很大的改进，而且坚实可靠。

三极管和电子管中三极管相似，是晶体管中最基本的类型，可以用于信号放大，产生振荡等，一种最简单的三极管和上面的二极管的结构很相似，只是改变为两根金属丝触在半导体面上，它们的触点必须十分靠近。两根金属丝和半导体的底座形成三个极。它们可以和电子管的作用直接对比，一根金属丝有如电子管的灯丝有产生电子的作用，另一个金属丝有如电子管的板极有收集电子的作用，底座的一极具有控制电子流的栅极的作用。现在最主要的三极管构造和以上不同，是用薄的锗或硅片，在片子的两面内用适当的

方法渗进去一定的金属（例如铜、锡……）原子，使片子形成三层，两边的两层含有渗入的金属原子（常称为杂质）使它们成为性质和中间层不同的半导体。三个电极便是由这三层引出来的，两边两层具有和上述的金属丝相似的产生和收集电子的作用，电子所通过的中间一层必须十分薄，一般要薄到1/1000厘米上下。三极管的结构很简单，而且由于它的各种特点对于广泛发展无线电技术在各个方面的利用有极重大的意义。目前在这方面推广使用的障碍是所需材料的制备和三极管制造工艺过于复杂，迫切有待于发展新的途径。

光电池也是一种光电元件，不过和光敏电阻不一样，它在光照之下不用外电源，本身便可以产生电动势，引起电流。所以这里就不仅仅是电学性质改变，而是把光能转变成了电能。已有较长历史的硒光电池，基本结构和前面提过的整流器相似，只是面上的合金电极必须很薄使光照在上面可以透过去，在光照时，就在上下两极之间产生一定的电压，如同一个电池，接通了电路就可以产生电流。象这样的光电池，只能把光能中极小一部分转变为电能，所以主要是用来量度光强或反映光的变化，而不是提供能流。近些年来用硅和其它一些半导体单晶做成了有相当高效率的光电池，可以把一平方米上的日光转变为100瓦的电。苏联的人造卫星、宇宙火箭，就利用了这种半导体光电池借日光来提供用之不竭的电源。

温差变电和致冷、半导体棒如果一端加热，使它的两端冷热不均，就可以产生电压，接入电路就可以产生电流，这样，它直接是由加热的一端吸取热能转变为电能，这种所谓温差电效应虽然金属导体有，但是在半导体中强得多，可以实际用来获得电能，这是一条由热发电的最直接的途径。目前已有小功率（几瓦到十几瓦）的发电机。广泛利用的障碍是效率还比较低，每一块半导体所产生的电压低，为得到一般用的电压，需要很多块串起来，制造还比较繁杂，同时，为得到一定的功率，要的材料也比较多。设想如果能找到适当的材料，可以象砖一样简单和大量生产，那么用在建筑物中，就可以把各种废热都利用起来产生电能，这种效应还可以反过来用于降温，只要用外加的电源使电流反着通过两端冷热不同的半导体（即使电流和温差本身所产生的电压方向相反），就会在冷端不断吸热，使它变冷下去。用这种原理可以制成电冰箱，半导体一端在冰箱内，一端在冰箱外，它不断由冰箱内的一端吸热，使内部冷却。用这种方法已经可以制成许许多多种类为了小范围由局部降温

的致冷装置。

此外，还有许多用途，如利用压力使电阻改变的性质可以制成灵敏的应力计，利用磁场对电流影响的所谓霍尔元件可以准备方便地量磁场，电功率和做自动化计算元件等。

下面介绍一些有助于了解半导体的简单原理。

我們都知道，一般物体中都是由许许多多原子组合而成的，每个原子又包含着许多电子。在金属里面，原子中一部分的电子不再束缚在原子上，而转变成为所谓自由电子，它們可以在金属内部自由来往，使金属具有相当强的导电能力，现在常用的一些半导体，因原子中的电子并不象金属中的电子可以自动地摆脱原子的束缚。它們的导电性一般都是由于某种因内部或外部的作用促使有少数的电子能摆脱了原子的束缚成为自由的，我們知道，一个物体的冷热，反映着它内部原子的运动。一块固体，它的每个原子都在经常不断地振动着，温度愈高标志着这种原子振动愈剧烈。这种所谓热振动就可以使一部分电子摆脱原子成为自由的。这就为半导体导电能力为什么随温度提高提供了一个说明；因为温度提高，说明原子振动加剧，从而刺激出来的自由电子加多，使导电能力相应提高。

光敏电阻导电能力受光照而增强，也就是由于本来束缚的电子由光照可以得到能量而解放出来成为能够导电的自由电子。我們知道，光包含着有一定能量的光子，不同的光，光子的能量大小不同，例如，紫光的光子就比红光的光子能量大，而红外光的光子能量就比可以看见的光要小，不同材料的光敏电阻适用于不同的光原因就在于不同材料中电子束缚的强弱不同，例如，硫化镉中对于被原子束缚较强，因此只有可见光的光子才有足够能量把电子释放出来，红外光的光子能量太低就不能起这样的作用。而硫化铅中电子束缚就弱得多，因此红外光也可以起作用。

上面的这个例子，实际上说明不同的材料在半导体性质上的一个重要区别在于它們束缚电子的强弱不同。不同材料之间另一个主要区别在于电子运动恢复随材料而异。例如，在同样条件下，在锗里面电子就要比在硅里运动快约一倍。这只是一个缘故，为什么锗做的晶体管比硅制的管子能用到更高的频率也就是说能用子更快速度化的电振动。

最前面就已经提到，不但不同的材料半导体性质不同，而且就是同一材料制法不同，性质也可以有极大的差别。一般认为，这主要是由于两种原因，材料中所含的杂质和晶体排列中的“缺陷”譬如，前面说

过，做晶体管时，有意使金属原子渗入锗里边去，这种和原来材料不同的原子就是所谓“杂质”，“缺陷”简单说就是指原子排列不规则处。例如，原来原子整整齐齐排列的晶体中这儿或那儿多出一个原子或缺掉一个原子，或者是在不同的晶粒交界处原子排列都是不整齐的，就是所谓缺陷。一般讲，缺陷和杂质原子具有类似的作用，它們产生的作用是多方面的。这里只讲两个最主要的作用。我们发现，往往极少量的杂质可以对半导体的导电能力产生极大的改变。这是由于它在许多情况下，杂质附近的电子比起一般的电子更容易释放出来。例如，一个半导体由于原子热运动，本来平均每几百亿个电子中才有一个被放出来的导电，而且杂质原子束缚电子可以这样弱，以致几乎每个杂质都把电子放出来，那末，只要几亿个原子中有一个杂质原子，它們放出的电子已将在导电中起着决定性的作用。杂质和缺陷的另一个作用是和我們实际使用半导体时往往是利用所谓“激发”的电子之一事实密切相关的。最简单的例子是光敏电阻，光照下电导的增加是由于吸收热能所“放”出来的自由电子。这种由外界“刺激”所“激发”的自由电子，或迟或早会有又重新被原子束缚了起来。我们发现，有些杂质和缺陷有大大促进这种激发电子重新被束缚（称为复合）的作用，也就是说我們可以使“激发”电子的寿命大大缩短。拿光敏电阻的情形讲，如果光激发电子可以有相当长的时间才复合掉，光敏性自然就很大，如果刚激发的电子立刻就复合掉那末效果就很弱。这个例子就说明，杂质的这种促进复合的作用对于使用的性能可以有很大的影响。

正是由于杂质和缺陷有类如上述的作用，才使得同一种材料由于制备方法的不同，性质上可以有极大的差异。

再谈一点可能对于如何动手搞半导体材料和元件有些帮助的知識。

现在半导体技术中已用的材料范围并不是太广。锗和硅前面已经屡次提到，是目前晶体管，大功率整流器，高效能的光电池等元件的主要材料。锗的来源和提炼，硅的提炼和纯化，以及制造单晶的过程，如不是突破已有的方法，还比较难于广泛地利用，铅，锡与硫硒碲的化合物主要用于制作各种光敏电阻，许多种金属的氧化物被用来做热敏电阻，用来做温差电材料的有铋化碲，碲化铅、锑、铋与碲、硒之间的各种化合物，另外，铝、镓、铟和磷、砷、锑之间的化合物，一般说为是有可能代替锗、硅、有重要前途的材料。

可以探索的半导体材料的范围则是十分广泛的。许许多多的金属矿石不都是半导体。已经用的化合物多半还是两种元素的化合物，但是三种元素，以及更多元素的化合物将提供极广阔的半导体材料，不仅许许多多的东西都是半导体，而且，象前面已经说过，同样的材料还可以由做法不同得到有各种各样性能的半导体，最鲜明的例子是苏联最近公布的高分子半导体。高分子材料，一向被看做是导电能力很低的绝缘体。但是，苏联公布的工作说明，经过适当的制备，它们也可以成为性能优良的半导体材料。目前的理论还只能很局部地说明一些有关半导体的原理，实际上，上面所列举目前已用的各种材料，主要也都是在实际摸索中提出来的，也是在实际利用中，才逐渐发展起所鉴定和改进性能的方法。所以广泛试找半导体材料，试用各种处理方法，加热，辐射照射，加压力来改变它们的性能，完全有可能为最广泛地利用半导体而创

出完全新的基础。

至于试作元件方面，有一些已知的标准的元件是完全可以不用多少设备，自己动手做起来的。前面所介绍的热敏电阻，小功率的整流器，某些光敏电阻和二极管都是如此。

无论是按照已知的办法去做元件，或者我们自己去探寻新的材料来制做元件，都特别值得注意半导体的性能往往随着成份和结构的微小变更而产生很大变化的这一特点。我们会经常遇到这样的情况，今天做出一个有比较好的性能的元件，明天试用同样的方法，就可能得到完全不同的结果，或是，我们今天做好的东西性能很好，但是过上一天或是几天，性能完全变坏。只有对于这样的情况有充分的估计，才能够使我们把一些重要的成果抓住，通过细致的分析和方法的改善，把它们巩固下来，最后做出稳定可靠的元件来。

放射性同位素的原理和应用

(报告人: 中国科学院原子能研究所 张家铨)

近数年来,放射性同位素引起了人们特别的重视。第二次世界大战后,由于人工同位素的生产,同位素的应用范围日渐广泛。世界各国的许多研究单位都对放射性同位素作了深入广泛的研究。我国在1958年建成了7,000—10,000瓩功率的原子能反应堆,这为国内同位素的推广应用打下了基础,为我国工业技术迅速赶上世界先进水平提供了良好的条件。

一、放射性同位素应用的原理

如果用化学方法来分析地球上的物质,结果可以归纳为92种天然元素,例如:氢、氦、锂、氧、铁、等等(其中有两种,镭和钷,在自然界里尚未发现)。同一元素的原子,化学性质都是相同的,但其结构却不一样。例如,氢原子是由一个带正电的原子核和一个围绕在原子核周围的负电子所组成。由于原子核结构的不同,天然的氢可以分为氕和重氢,重氢的原子核除一个质子外,还多一个中子,因此重量是氕的两倍。象这种质子数目相同,而中子数目不同的原子就叫做某元素的同位素。利用人工方法来改变核的结构,还可得到超重氢。超重氢的原子核系由一个质子和两个中子所组成。超重氢也是氢的同位素。

质子与中子都称核子。按核子数的多少可以命名同位素,如:氕¹,氘²和氚³分别代表氢,重氢和超重氢。

碳有很多同位素,其中天然的同位素有C¹²和C¹³。碳¹²的原子核包括6个质子(6P)和6个中子(6n);碳¹³的原子核包括6P、7n。此外,还有人工的同位素C¹¹, C¹⁴, C¹⁰和C¹⁵。

原子序数在84以下的元素,其核结构比较稳定。原子序数在84以上的所有元素都会自发地改变核结构,原子核结构改变时便放出射线。射线有甲、乙、丙(或 α 、 β 、 γ)三种。

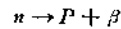
甲种射线是带正电荷的高速运动的粒子,它与氦原子核一样,是由两个质子和两个中子结合而成。

乙种射线是带负电荷的高速运动的粒子,这种粒子就是电子。

丙种射线是不带电的电磁波,性质和X射线一样。

此外还有 β^+ 射线,它是带正电荷的正电子。

一种同位素如果它的中子和质子数的比例与天然存在的同位素有差别时,便有变化为天然稳定同位素的趋势,如氦-3 $\rightarrow$ 氦-3 + β 射线。 β 射线便是母体的核中有一个中子转变成成为质子的结果,用式子表示如下:



α 射线可以看成是由于原子核里所含的核子太多,中子和质子相结合而放射的结果,所以只有在重元素里才容易得到放射 α 射线的同位素。

如果原子核放出 α 射线或 β 射线以后系处于激发状态,则当它由激发状态回到正常状态时就放射出 γ 射线。

射线的性质

放射性同位素由于放射出射线,所以与稳定同位素有显著区别,但在放出射线后便成为稳定的同位素。有的放射性同位素具有一系列的放射性子体,如钍238 $\rightarrow$ 钍234 $\rightarrow$ 镤-234 $\rightarrow$ …… $\rightarrow$ 钍-210等十几代不稳定的同位素。人工放射性同位素一般只有一次放射。

中子过多的放出 β 射线, $n \rightarrow p + \beta$ 。

质子过多时放出 β^+ 射线, $p \rightarrow n + \beta^+$ 。

β 粒子从原子核中放射出来的速度很快,约近于光的速度, α 粒子较重,速度均为光的百分之几。 γ 射线是一种光,波长比X光还短(10^{-11} 厘米),因此能量很大,穿透力很强。

α 、 β 射线带电,穿去介质时产生电离作用。

γ 射线本身不带电荷,但当它经过介质时会打出电子;这些电子有光电子,正负电子对,和康普顿电子等。

现将三种射线的性质分别说明如下:

穿透力: γ 射线的穿透力最大, β 、 α 射线次之;

电离力: α 射线的电离力最大, β 、 γ 射线次之;

被吸收性:最易被吸收的是 α 射线, β 、 γ 射线次之;

散射：带电粒子在物质中通过时，因受原子核库仑电场的相互作用而改变运动的方向，这种现象称为散射。一般说来， α 射线的散射性较小， β 射线较大，至于 γ 射线则由于产生康普敦电子而引起散射，这种作用的强弱，系随其能量不同而变化。

半衰期（半寿期）

原子核改变结构的过程称为衰变，这种变化是自发产生的。衰变的粒子数 ΔN 与未衰变的粒子数 N 成正比关系：

$$\Delta N_t \propto N_0 \quad (t = 0)$$

$$\text{当 } t = T_{1/2} \text{ 时, } \Delta N_t (= -\frac{\Delta N_0}{2}) = \Delta N_t (= -\frac{N_0}{2})$$

$$\Delta N_t (= -\frac{\Delta N_0}{2}) = \Delta N_t (= -\frac{N_0}{2})$$

用符号 $T_{1/2}$ 来代表的时间间隔称为半衰期（半寿期）。半衰期的定义，就是放射性原子数因衰变而减少到原来的一半时所需要的时间。

半衰期长的同位素难于产生很强的放射性，半衰期短的同位素则相反。

各种放射性同位素的半衰期有极大的差异，短者仅为 10^{-10} 秒，而长者（如铀 238）竟达 45 亿年。一般使用的放射性同位素的半衰期，由几小时，几天、几十天，几年以至几千年。

放射性同位素的几种应用方法

1. 作为标记物。

放射性同位素能够放出射线，这些射线虽用眼睛看不见，但用适当的探测器就很容易辨认出来，因此，射线就成为特殊的标志。这种原子称为标志原子或示踪原子。利用放射性同位素的这种特点，可以解决很多别的方法所不能解决的问题。例如，用来研究各种化学变化和生理变化，研究运动情况以及生长过程，等等。

示踪原子在科学研究领域中应用得很广泛，特别在生物、生化、化学、农学、医学等部门应用最广。

2. 射线的应用：

射线的应用又可以分为：射线的直接应用，辐射效应的应用和物质对于射线的作用。

α 射线的直接应用。这里包括直接应用射线的能量，或变成另一种能量，或变成另一种射线。例如，原子电池便是利用射线能量变成电能，但同位素射线的能量甚低，使用不经济，可是其寿命很长。目前能做出的原子电池的能量只有几十微瓦。但由于技术的不断进步，这种缺点，将逐渐消失。

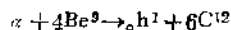
又如，将射线能量转变为光的能量。在本世纪初

已有人开始用天然放射性同位素作为发光涂料，首先是用于夜光表面。如含镭的化合物加进硫化锌就可以做成这样的涂料。

利用射线能量可以做成几十微瓦的小型发动机，如在自动表中应用。

使 β 射线打在重元素上可以产生 X 射线，这便是 X 射线发生器，可在野外供医疗、检验之用。

中子源是通过核反应获得中子的发生器，其作用过程可用式子表示：



这是应用放射 α 射线的同位素和铍粉混合，引起核反应，而放出中子。 α 射线的来源可以是镭或钋-210。镭的半衰期较长（1600 多年），但价昂贵；钋的半衰期为 140 天，价钱较便宜。

b. 辐射效应的应用。辐射效应包括物理、化学和生物效应等三种。

物理效应：

消除静电积累 导电不良的物体在迅速运转的生产过程中，常因摩擦的缘故，而带有很强的静电。静电有很大的危害性，所以随着生产速度的提高，消除静电电荷积累成了一个严重的问题。放射性同位素的三种射线，都可以使空气分子电离。空气中含有离子就能导电，积累的静电荷便从空气中洩去而不再发生危害。通常使用 α 或 β 射线来消除静电积累。

中子活化分析 中子源照射物体时，物体吸收中子而引起核反应，并放出射线。根据放出的射线种类和能量的大小，可以进行物质分析，首先是微量杂质分析。

物理效应还可用来使材料强化。

化学效应：

加快氧化和卤化 例如经过强 γ 射线照射，可以使苯变成酚。又如，666 杀虫剂在制造过程中经 γ 射线的照射，可以将杀虫效率最高的氯化物丙体由 14-16% 提高到 18-22%。

高分子聚合在强射线照射之下，可以降低原来聚合条件的要求，如可以在常温下进行反应，压力也可降低好几倍。

生物效应：

医学上用辐射照射治癌瘤。

在农业上，可以用来处理种子，刺激生长，这和超声波的作用是颇相似的。不过，照射种子对于放射性剂量的要求很严格，剂量用得恰当则会产生相反的作用。

用放射性辐射处理还可以杀死害虫，或使之失去繁殖能力。

用 γ 射綫照射馬鈴薯，如使用10,000倫琴的劑量可使之在半年~一年時間內不發芽。（倫琴為射綫照射的劑量單位，1倫琴的劑量等於每一克物質（生物）吸收93尔格的能量）。

射綫輻射可以殺死蚤蟎，使用的劑量要求較大（25萬倫琴）。殺菌消毒用的放射性劑量要求達到100萬倫琴。

供輻射效應使用的放射源都需要很強大的，一般要達到几百、几千、几万乃至几十万居里（居里為放射性強度的單位，1居里 $=3.7 \times 10^{10}$ 衰變/秒）。

C. 物質對於射綫的作用

在射綫照射的方向放上物體後，由於物體對於射綫的散射和吸收作用射綫的強度將有所改變，利用這種作用可以做成各種探測儀器，這些儀器我們稱為放射性儀表。利用放射性儀表可以檢查物質的質量、成分、厚度、密度、數量以及製品內部的缺陷，等等。例如，測井儀——探測地層的結構；探傷儀——檢查材料內部的缺陷。此外，還有厚度計、濃度計、密度計、位而計，等等。

應用放射性同位素的必需條件

1. 第一個條件是，操作者對放射性同位素要有基本的了解，要有防護的知識和防護設備。

這裡應該提一提關於容許劑量問題，每個人一天能接受的放射性容許劑量不得超過50毫倫琴，最近蘇聯准各將容許劑量降到十，即17毫倫琴。

2. 第二個條件是要有同位素。

3. 第三個條件是要解決探測儀器問題，這一問題在目前還不易解決，將來可以考慮利用土辦法進行探測。通常使用的放射性探測儀器有：計數管、電離室和閃爍計數器等。

放射性同位素在建築工業中的應用

1. 地質勘察方面

國外在地質勘察方面同位素的應用是很普遍的。在蘇聯，差不多每個勘探隊都已使用放射性同位素的探測方法，無論在理論上或實踐中，始終是走在世界的最前列。

測井儀 這種測井儀一般是2米長。在這種方法中所測得的 γ 射綫，是由放入井中的放射源的 γ 射綫與周圍的岩石相互作用而產生的。根據探測器測出的 γ 射綫強度，可以研究岩石密度，並區分出礦化區域。

中子水分測定儀 中子被各種原子吸收而產生放射性物質，並放出 γ 射綫。中子被吸收的條件是一定

要經過慢化，慢化本領最好的是含氫的物質。因此放出的 γ 射綫的強度主要是取決於岩石內氫的含量。這樣由探測器所測得的強度曲綫，便可以知道頁岩、砂岩、粘土等地層的深淺、厚薄及岩石中含氫量的多少和含水量，等等。

利用示踪作用測水的滲透能力 這種方法是於一個井中壓入溶有放射性同位素的水，過一定時間後在另一井進行測定。根據測出的放射性強度可以了解到水的滲透能力。

2. 放射性同位素在建築材料工業中的應用

水泥工業方面 在熱工方面，可用以測定旋密物料運送速度、旋密物料均勻程度、測定并控制裝有料漿過濾預熱器的旋密的料漿面高度，研究煤灰在窯中的分布情況和控制立窯裝料高度等；在水泥化學研究方面，可用以研究熟料礦物的水化過程，研究各種因素對水泥砂漿耐硫酸鹽侵蝕性能的影響和測定鹽類在水泥砂漿中的擴散係數，研究水泥石結構在循環凍融過程中的變化；在物理檢驗方面，可用以測定水泥比表面積，測定料漿密度。

玻璃和陶瓷工業方面 利用放射性同位素的示踪作用和輻射作用，可研究玻璃表面的物質吸收和發散等表面物理化學性能，玻璃中的離子交換功能，玻璃在熔窯中的熔融過程，流動情況和測定玻璃液面高度；用中子吸收法還能快速測定玻璃中的含硼量，利用放射性活化分析法可以測到毫微克（ $10^{-6}g$ ）的精度；用放射性同位素可研究陶瓷在煅燒過程中的胚胎的變化，陶瓷釉料和顏料的吸收、發散和反應速度，釉料和胚料的相互作用等等。

耐火材料方面 蘇聯利用放射性同位素的示踪作用研究了耐火材料的耐蝕性、密度和耐火度，從而得出正確的結論：耐蝕性良好而且非金屬夾雜物最少的是高鋁質耐火材料，其他如氧化鎂質的和粘土質的次之。

塑料方面 塑料等高分子材料經過放射性同位素輻射，可使其內部分子結構和物理化學性質發生變化，從而提高其聚合強度。如聚苯乙烯在110~120°C即開始熔解，但經過放射性同位素輻射後由於架橋形成網狀構造可製成非燃燒體，並可提高其抗藥性及機械性能等。

木材工業方面 用 γ 射綫照射高分子的木材和膠着劑，會增加一定的膠結力，既能提高木材強度，又能提高耐濕性和膠結性，用放射性同位素銮60的 γ 射綫能測定木材圓盤平均含水量分布的情況。利用穿透力強、效率高的 γ 射綫來消滅木材害蟲可以收到很好

的效果。利用放射性同位素作示踪剂可使木材防腐剂的毒性試驗時間縮短，而获得精确的結果。

3. 放射性同位素在建筑施工中的应用

利用放射性同位素射线的穿透作用，透过混凝土体而使底片感光，按照图片可以确定混凝土内部微粒的分布均匀程度和鋼筋埋置位置，測定混凝土中蜂窝的位置与大小，并能探测楼板的厚度、强度和耐蚀性等。此外还可檢查任何断面的管道的灌浆密实性和沥青混凝土的透水性等。

4. 在机械制造中的应用

主要有两方面的用途：（1） γ 綫探伤，（2）磨損測定。

利用放射性鈷60、銻192、銦170和鉍137所放出的 γ 射綫，可以檢查出各种金屬材料和制品的裂紋、砂眼等内部缺陷。

利用放射性同位素可以檢查各种机械部件的磨損，如水泥密球磨机的鋼球的磨耗。用同样的方法亦

可檢查抗磨剂和潤滑油的性能。

5. 在給排水方面的应用

利用示踪原子可以測定水的流速。

应用放射性同位素进行飲用水和工业用水的化学分析，可以使过程簡化，大大地节省時間。

利用放射性同位素，如鈉24，可以檢查水管漏水的地方。

在工业廢水处理方面也可以利用同位素來測定廢水的速度和均匀度。

放射性同位素的生产和应用正日益普遍，发展非常迅速。目前我国同位素的生产还比較少，探测仪器的供应也有些困难。但我們相信，在党的英明领导下，依靠广大羣众的积极性和智慧，这些困难一定能够在全国大跃进的形势下，迅速得到解决，使这門新的技术很快地在我国普遍推广，并在短時間内赶上并超过世界先进水平。