

# 橡树岭国家实验室的放射性同位素

——使用户满意的四十年

Carolyn Krause

1946年8月2日，在橡树岭的石墨反应堆上生产出少量的放射性同位素碳-14，由专业部门制备封装好，发送给密苏里州圣路易斯城的 **Barnard Free** 皮肤和肿瘤医院，供核医学研究使用。从那时以来，已经制备与封装了大批地放射性同位素，提供给工业、农业、科学研究以及宇航等部门去使用，特别是核医学的应用。毫无疑问，橡树岭国家实验室最重要的一项贡献，就是把原子核领域的技术，扩展到外界中去，它向社会提供的放射性同位素，可与核能的发展相媲美。它一方面将曾经是不公开的放射性同位素生产技术予以转让，同时它也用浓缩的稳定同位素，从中得到许多纯度很高的放射性同位素，继续向社会提供。

今天，橡树岭国家实验室，利用电磁分离器、粒子加速器和研究反应堆，已经能够制造250多种稳定的和具有放射性类型的元素，实际上它可以制造出已知的所有元素。它制造的这些同位素都达到了高纯度级，供应药物与其它产品，1984年出售的价值有一五百多万美元。

西方世界，医学方面使用的最重要的放射性同位素，是铯-201，用它来进行心脏扫描，每年在五十万例以上。对铯-201本身，橡树岭国家实验室并不直接生产，然而其源材料却是浓缩的铯-203，一种稳定的同位素，橡树岭产的铯-203，是西方世界取得铯-201的主要来源。为了增加产额，并提高同位素最终产品的纯度，铯-203是用电磁分离器生产的，然后由美国、欧洲以及日本，各自在回旋加速器上，再改制成为放射性的铯-

201。对于一个病人，他是否就是由于心脏的疾病，而危急发作，或者早已是心脏病患者，在治疗方面是否已经见效，均可从用铯-201拍摄的心象图上测定出来。

橡树岭国家实验室，通常直接地用高通量同位素反应堆，或者是该堆的元素裂变产物，来制备放射性同位素。这个实验室，还利用巧妙的方法，封装放射性同位素，以满足用户的需要。

下面先列举几个突出的例子：

**心脏摄象制剂铯-191**，是在高通量同位素反应堆上生产出来的，这种放射性同位素，迅速地衰变成短寿命的子体产物铯-191m，放射强度很弱、剂量很小的 $\gamma$ 射线，所以用来检测儿童先天性的心脏缺陷特别安全。橡树岭国家实验室卫生与防护研究部核医学小组的科研工作者们，在 **Russ Knapp** 的领导下，利用特殊吸收体束缚铯同位素，研制成一种新型的、比常规型更加安全有效的心脏摄象用的器件——床头发生器。橡树岭的发生器，已在比利时的100个病人身上试验成功了，在德意志联邦共和国，临床研究也在进行中，期望于今年年底，能在美国获准临床应用。

**检测骨骼中无机物缺损程度的钷-153**，是在高通量同位素反应堆上，用中子照射钷，产生的一种稀土放射性同位素。用钷-153来扫描骨骼，能够检测出骨骼中无机物的丧失量。在美国，至少有一百万人因骨骼中无机物缺损，或患骨质疏松病，而影响着他们的健康，大部分已到绝经期后期的妇女，以及老年人中，每年大约有五万人，因出现

并发的髌骨裂碎而死亡。这可能是由于钙逐渐丧失导致耗损严重,而使骨骼变脆造成的。幸运地是,如今对这类病症,已经能够有效地医治了,即给病人补充钙和氟化钠,以减缓骨骼的矿化。钷-153具有 $\gamma$ 和X两种射线,无论是骨骼中无机物缺损,或是由于治疗而已获增加,都可通过骨骼吸收的钷-153测量出来,从而推算出骨骼的密度。橡树岭制备的医用放射同位素钷-153,当前是畅销品,三年来产量成倍地增长,仅1984年,橡树岭销售给骨扫描机制造商的钷-153球丸,价值就达五十万美元。

**治疗肝癌的钷-90**,是耗尽的核燃料铀-90的衰变产物,因为它强有力的辐射剂量,能够在局部集中地破坏癌细胞,故可以作为一种抗癌剂。它的半衰期很短(63.4小时),且没有 $\gamma$ 辐射,所以比其他同位素安全。临床研究者们,研究并肯定了它的治疗肝癌的效果,还打算试验它对乳腺、结肠、前列腺和皮肤癌的治疗效果。用化学疗法医治肝癌,至今效果不佳;外科医生也感到切除肝脏组织上的肿瘤,是十分困难的。正因为如此,研究者们,无论如何也得研究各式各样的放射性药物,以期达到较好的效果。

橡树岭国家实验室,在James Wike领导下的运行部,将提纯了的钷-90,制成焦化的球形微粒(直径仅为 $27\mu\text{m}$ ),并进行可靠的密封。这种钷-90,经亚特兰大医学研究基金会所做的老鼠试验表明,它是可以在血液中溶解的。球形微粒的大小,必须保证它顺利地通过血管进到肝脏肿瘤里去,又能使它停留在肿瘤的毛细血管中,来射杀癌变组织。因为强有力的 $\beta$ 射线,在身体组织内有一定的射程,需使多余的、潜在的、对健康组织有害的辐射能,减少到最低限度。该基金会已得到联邦政府的批准,可以把钷-90应用到人体上,做为一种试验性的放射性治癌药物。

在巴尔的摩,Johns Hopkins 肿瘤学研究中心里,医学研究工作者,还在研究另

一种有前途的医治肝癌的新疗法。用钷-90标记的复合无性系抗体,对一百多名晚期肿瘤患者,进行了试验性的治疗。在患者的血液中,一经注入这种抗体,每一个抗体,都好比作一枚“导弹”,携带着短寿命的钷-90,直接奔向癌细胞中去,钷-90则可譬作“弹头”,在肿瘤内杀伤癌细胞。

1985年夏,Johns Hopkins 等人,利用橡树岭国家实验室提供的短射程、短寿命的钷-90,首次研究就获得了高度地成功,并得到国际的公认。这种用钷-90标记的抗体的另一优点是,在门诊上就可直接应用。

**氙放射性发光器件**。橡树岭国家实验室,研制并试验了一种为边远地区机场使用的,以氙为动力的着陆灯。目前在美国最边远、纬度最高的阿拉斯加使用。那里有800多个简易机场。这种灯,将能帮助在灌木林上空飞行的驾驶人员减少事故发生率。那里一旦发生丛林火灾,往往有些金矿工人被围困,甚至住屋被焚烧,造成人员的伤亡,利用这种着陆灯加强陆空联络,就能够帮助应急的医务小分队及时迅速地将伤员抢救出来;当然也能把被困在冰天雪地里的人们抢救回来。橡树岭国家实验室制造的这种灯,可发出黄色与绿色的辉光,能见度达11公里(7英里),是在玻璃管内部涂有荧光物质,并装有氙,氙的 $\beta$ 辐射激发荧光物质,导致连续发光。因为它不用电,所以对于遥远地边疆缺乏电路的地区特别适用。甚至它连电池组也不需要,又不用维修,就能持续工作十年之久。

在橡树岭国家实验室出售放射性同位素的订货单上,氙是最佳畅销品;最高级的医用放射性同位素钷-153占第六位;居于二者之间销路广的,是用于工业射线照相的材料铯-137,用它可检测有缝钢管的焊缝情况。还有,在电离型烟尘探测器上,以及在油井记录中应用的钷-241,在电器元件密封检漏中应用的氙-85,尤其是用于医疗器械杀菌消毒、防止粮食或食品发霉变质而大量应用的钴-60等等。每年仅放射性同位素一

项，美国能源部即可得到橡树岭国家实验室的上缴金额七百至一千万美元。

下面概述一下橡树岭国家实验室发展放射性同位素的经历。在橡树岭国家实验室放射性同位素计划的四十三年历程中，有三十年的光阴，是在Art Rupp的领导下进行的，他原来本是一位化学工程师，现已退休。1943年秋天，他来到橡树岭以前，曾与杜·庞特一道在芝加哥大学参加曼哈顿计划的工作，由于他的科学成就，挤进了 Arthur Compton、Enrico Fermi等科学巨匠的行列，他们的小组，首次论证了可裂变铀的链式反应。

他来到橡树岭的第一件工作，是在 X-10堆（后来被称为石墨反应堆）上，从消耗燃料中分离毫克量的钚，证明了橡树岭的这种反应堆，是能够生产钚的。后来他被派到华盛顿州去参加 Hanford钚计划的工作，帮助制造原子弹。

第二次世界大战以后，他要求建立一项发展放射性同位素的十分广泛地计划，其中包括：从反应堆的裂变产物中分离放射性同位素；用中子辐照绝大多数元素以及多种多样地物质与材料（从动物的精卵，直到活塞环）的效果试验。

在《科学》杂志1946年六月号上，由Waldo Cohn等人发表文章，宣布Clinton实验室（即现在的橡树岭国家实验室），具备向社会服务的可能性，能够向科学研究、医学、农业和工业各部门提供放射性同位素，随后便成立了销售与分配经营处。

1946—1947年间，Rupp用了大约18个月的时间，花费三百万美元，设计并制造了一整套加工、处理和封装放射性同位素的专用设备，这套设备运转30多年来，从未发生过严重事故，对操作人员即使长时期封闭在这一地区里，也无任何伤害。

大约在同一时期，放射性同位素小组，作为一个庞大计划中的一部分。该计划还包括有在Y-12站的电磁分离器上分离稳定的同位素，也有许多高纯度稳定的放射性同位

素，是用加速器辐照生产的。

1949年，橡树岭国家实验室首次生产钴-60，用以代替昂贵的镭治疗癌症。1950年，提供用于治癌、检查疾病、与农作物病虫害作斗争，以及鉴别输送管道内原油和汽油产物的各类放射性同位素，竟达20000件之多。

同期，还在放射性同位素的容器设计、封装与运输方法等方面做了大量的工作，制定与编写出安全规程，由商业与政府分别确立为标准，并传遍全世界。橡树岭国家实验室的技术转让，是通过技术报导和访问实验室进行的。

要使放射性同位素适用，必须要符合它的具体特性。作为产品，考虑到封装、运输、使用与存放等时间因素，必须有足够长的半寿命（原子核衰变一半的时间），但也无需太长（譬如放射性同位素氯-36就不必要生产，因为它的半寿命有308,000年，对辐射生物化学而言，是不切实际的）。放射性同位素的射线，在有效能量范围内具有辐射能，人们所需要的是它特有的活性。

此外，在有效的中子通量条件下，生产放射性同位素还必须比较容易，一个很好的实例是，1954年发现铯-137在治癌与研究中很有用，于是便从消耗的反应堆燃料中，首次分离出大量的铯-137放射性同位素。又如在五十年代中期，发现诊治甲状腺失调症，需要碘-131制剂，为满足不断增长的需要，橡树岭国家实验室就大量生产了一批。

1953—1954年，橡树岭国家实验室建造试验性的裂变产物生产装置，分离与提纯单体的裂变产物，并制造了几十万居里的热源。用化学的处理方法，分离出大量地纯度非常高的裂变产物。

1957年，橡树岭国家实验室向用户提供放射性同位素，达85种之多，从铯-122直到镭-95。但是，长时期以来，经营这项业务，却一直没有掌握专利权，国会及原子能

委员会一直要求把大量地放射性同位素生产，逐步移交给私营企业去搞，后来终于将一些放射性药物交给两家公司去搞。而该实验室自己，则继续制造工业上不热心生产的一些特异的同位素，例如用处极大、制备代价很高、放射性又很强的热源。

1960年，橡树岭国家实验室的研制与生产工作，转到三座新建的反应堆——低强度实验反应堆、研究反应堆和高通量同位堆反应堆上面来。进一步研究改进如何提高放射性同位素的纯度，及其特殊活性。在高通量同位素反应堆中，以其燃料和特殊的靶材料，制备与分离超铀的同位素，将铟-90和钨-242制备成热源，供太空的辅助动力装置使用。

1966至1972年间，橡树岭国家实验室出版了《同位素》和《辐射技术》两种刊物，由 Phil Baker 为主编（现已退休）。在当时，被看做是政府同位素计划在技术方面的最佳的情报来源。

目前，橡树岭国家实验室的放射性和稳定的同位素计划，仍在强有力的执行中。现在是 Joe Setaro 负责运行部的工作。Russ

Knapp 的核医学小组正在研究几种可供心脏和脑组织照相用的同位素，例如碘-123等。

橡树岭国家实验室，不仅向全世界提供了放射性同位素产品和技术，在放射性同位素的应用方面具有鲜明的特色，成为人们非常感兴趣的“麦加”。它还有另一个荣誉，这就是世界上首先由 Rupp 在橡树岭倡导的在医疗方面使用放射性同位素。1950年橡树岭核研究所，开办了技术学校（现橡树岭联合大学），吸收世界各地的医生、放射学家、物理学家及生物学家们，来橡树岭听取放射性同位素的工作原理。这些“研究生”们，返回到他们各自的岗位上去，传播关于放射性同位素方面的新知识，建立与发展他们的核医学部门。随之，无数的利用放射性同位素作辐射分析与治疗的医院或研究室，也都蓬勃地发展起来。

Rupp 认为，将放射性同位素用于医疗与诊断，或从事生物的、医学的研究而造福于人类，是个最伟大的贡献。

（张毓亭译自 Oak Ridge National Laboratory Review Vol.19N0.1(1986)）