

核医学工作中的放射性废物处理

第三军医大学 程绍钧综述 闵长庚* 张景源**审

摘要:科学技术的发展促进了开放型放射性核素的广泛应用,但随之而来的是放射性废物的种类和数量势必日趋增多。妥善、安全、有效地处理这些废物,已成为卫生、环保工作者日益关注的问题。本文结合已经进行并正在实施的研究、研制工作,从放射性废物处理方法改进、安全措施及废气净化等有关放射性废物变化处理的重要问题,综述了日本近十年来列入专利项目的放射性废物处理装置的研制概况。

核医学工作中产生的放射性废物,种类很多,尤其是实验核医学中,经常产生出大量的长半衰期核素的固态和液态放射性废物,如 ^3H 、 ^{14}C 标记物体内示踪实验后的动物尸体,此类核素测量后的废闪烁液等。采用长期贮存法以待自行衰减既不现实也不经济,唯一的办法是将这类含长半衰期核素的放射性废物浓缩减小容量后再贮放。近十年来,国外的研究仍然沿袭这种方法,如日本国自1982年至1990年,列入专利的十项放射性废物处理装置,虽然主要用于核动力设施(核电站、反应堆)的放射性废物处理,但其处理原则乃是通过热处理以达到减少废物容量为基本目的。现结合我们对放射性废物处理的实验性研究,将近十年来日本国的研究概况综述如下,以吸收其科学合理的方法原理,运用于我们针对核医学工作中小型放射性废物变化装置的研制。

一、热处理方法的改进

针对实验研究工作中日益积累的大量含 ^3H 的废闪烁液,我们曾用减压蒸馏法^[1]将占闪烁液组成99%的二甲苯进行回收,并再用于配制闪烁液。使废液容量减少了90%~95%,回收的二甲苯不仅放射性本底计数率与市售分析纯二甲苯接近,而且重新配成闪

烁液后,在相同条件下对同一样品测量,其计数效率也与市售二甲苯无显著性差异。这个简易的处理装置,近十年来处理了废闪烁液近千升,有效地减少了废液量,也降低了液体闪烁测量的成本。

对于放射性固(液)体废物,为了更有效地减容并尽可能地避免二次废物产生,国外在热处理方法上作了多种改进。如:将低水平放射性废物装入密闭的金属容器内,输入含氧气体的助燃法^[2,3];将含水的离子交换树脂、活性炭等放射性废物,先用重力式脱水机脱水后再送入微波炉的干燥法^[6];利用热蒸汽使放射性废液加热至沸腾的减容法^[7];将可燃性固体废物与输入处理装置的丙烷气混合,通过丙烷燃烧的火焰使废物熔化的熔化法^[8];还有将放射性固体废物与可燃性放射性废气或有机溶剂混合,共同燃烧并加入助燃剂使其完全燃烧的燃烧法^[11,12]等。为使燃烧处于最佳状态,井上^[9]等研究了用连续监测焚烧炉排气中残留氧浓度的方法来确定投入废物的适宜时相。在投料焚烧的不同阶段,由于对氧气的消耗量不同,使排气中残留氧浓度出现先降低,而后又逐步回升恢复原始状态的动态时相过程。研究认为,只有在残氧浓度回升的过程中进行再次投料,才能避免焚烧炉内着火不

良,并能使烟尘量和排气量降至最少。

二、处理装置的安全措施

放射性废物热处理中的安全性是十分重要的,诸如防爆炸、防泄漏、防腐蚀,以及对操作人员的核辐射防护等。平竹等〔4〕的连同废物容器一起熔化的熔化法,对装入密封容器内的废物,在进入熔炉前先用穿孔机对容器穿孔以防爆炸。还在熔炉的入口处设置了前室,前室内可进行空气与氮气置换,利用氮气的填塞而保持与废物装载机之间的气密性,既避免了装载机在载物投料时被放射性污染,又可防止炉内放射性粉尘和废气泄漏。他们还熔炉炉体作了精心设计〔5〕,在炉体顶部安装了与废物容器直径相匹配,且与炉体紧密连在一起的导入筒,废物容器通过导入筒并借助其上方的废物容器的推压而进入熔炉的熔融器。熔融器中产生的放射性烟气、微尘等则顺着导入筒上行,但能被不断进入的废物容器阻隔,不会向外泄漏,既保障了操作人员的安全,又防止了放射性对环境的污染。为了防止或减轻含氯及酸性废液对装置的腐蚀,内山〔7〕设计的放射性废液浓缩装置,采取监测废液中氯浓度和pH值,并依据监测结果用碱液调整其酸碱度,以及用热蒸气控制废液浓缩倍数。细井等〔1〕为了克服放射性废物在燃烧过快与温度过高时可能发生的危险,将废液以滴状供给,或与固体废物混合燃烧,以缓解焚烧速度。

三、处理过程中产生的废气净化方法

放射性废物处理过程中产生的废气含有放射性物质,所以废气的处理是涉及环境卫生、保护环境的重要问题。各种处理装置的研制都要注意废气的净化处理设计,鹤田〔2〕的装置是将废气在进入脱炭塔前先作脱酸处理,根据废气中可能含有的HCl, SO_x (SO₂, SO₃), P₂O₅等无机强酸性成分, CO₂等弱酸性成分,经pH8~9的碱液处理后

进入脱炭塔。脱炭塔内除用Na₂CO₃外,还可以使用其它强碱性金属的碳酸盐,以吸收废气中的CO₂: Na₂CO₃ + CO₂ + H₂O ⇌ 2NaHCO₃。对于不易用物理吸附法除去的含³H, ¹⁴C核素的废气,重松等〔3〕采取回收法,将能产生含³H, ¹⁴C核素废气的废物装入密闭容器,加热到规定温度后用氧气置换空气,并在切断与外界联系后加压、加热燃烧,继后通入惰性气体,利用温度与气压差使之生成³H₂O和¹⁴CO₂而被回收。这种装置运行实践证明,投入的废物放射性活度尽管相差很大(2 × 10²~2 × 10⁵dpm),但处理后的回收率均在98.0%~99.8%,说明废气的净化效果很好。平竹等〔4〕将熔炉、前室、固化室等产生的废气,通过炉顶部管道送至废气处理装置,先后经稀释、混合、降温、除尘后,再用高性能的过滤材料(Нара滤纸)滤除微细粉尘,最后经活性炭吸附有害气体后排出。我们在实验室用小型放射性废物焚烧装置研制中,对于废气净化亦曾采用水雾稳压、冲击泡沫洗涤、干燥过滤及载银活性炭过滤等作为烟气净化系统,多次进行模拟实验研究,取得了能使烟气中的残余放射性减少81.6%; CO₂去除率为97.5%,烟气含水量接近大气含量,以及烟尘零排放的良好效果。

四、提高处理装置的使用效率

一台放射性废物处理设备的使用效率,不仅表现在它对废物处理的能力与效果,也反映在使用寿命及其附属材料的更迭周期和再利用度方面。采用热处理原理的处理装置,若适当降低其所处于的温度,对延长使用寿命有积极意义。因此,有设计成中空的双层炉壁结构,中空层通水降温,可使耐火金属与炉内气体接触时不产生张力,以防放射性物质穿透炉壁与炉体共融〔2,3〕³;有的则在炉壁外侧安装循环水冷却装置〔8〕。充分利用热能,设法延长某些材料的更迭周期或

再利用,也是设计者潜心研究的问题。例如将加热用的蒸汽使用后,通过冷凝器冷凝成水以再利用^[7];通过冷却压缩除去废气中的大量水分,以减少硅胶的水负荷,可延长其更迭周期。同时还可利用热交换器产生的热量来再生硅胶,既能减少二次废物的生成量,也提高了装置的处理效果和经济效益^[10]。

参 考 文 献

- 1 程绍钧.重庆环境保护,1983;2:11-13
- 2 鹤田英正.公开特许公报,1982;昭57-133399;477-482
- 3 重松昭世·他.公开特许公报,1982;昭57-133400;483-488
- 4 平竹彦·他.公开特许公报,1982;昭57-187697;559-562
- 5 平竹彦·他.公开特许公报,1982;昭57-187698;571-573
- 6 能見光彦.公开特许公报,1984;昭59-46899;571-574
- 7 内山義雄.公开特许公报,1984;昭59-88697;547-548
- 8 千野耕一·他.公开特许公报,1984;昭59-88700;559-561
- 9 井上俊二·他.公开特许公报,1986;昭61-90100;585-588
- 10 井上俊二·他.公开特许公报,1989;昭64-61698;587-591
- 11 细井融·他.公开特许公报,1989;平1-150900;595-597
- 12 柳瀬哲也.公开特许公报,1990;平2-259599;643-645

人类放射生物学的最新进展

Stather JW

目前,在人类放射生物学领域中,放射治疗和辐射防护都发生着重大的变化。

放射治疗

Kallman拓宽了与放射治疗有关组织和细胞放射生物学的看法。他提议,在受照组织经典细胞反应的五“r”——“修复”(repair)、“再分布”(redistribution)、“复原”(recruitment)、“再生”(repopulation)和“再氧合”(reoxygenation)的基础上,再增加一个名为“排异”(rejection)的第六个“r”。前五个“r”是治疗成功的关键,第六个“r”指的是免疫学排异作用,是一种期望而非临床事实。肿瘤是由正常组织产生的变异体,可认为是遗传上的不同,表型表达为抗原差异。如果其差异足够大,其抗原性就应反映在免疫原性上,从而可能产生排斥肿瘤细胞的抗体反应。由于尚不清楚的原因,这种期望未被实验和临床所证实,但根据机体的防御系统建

立治疗方法还是有吸引力的。要弄清组织对辐射的反应,还需单个肿瘤细胞效应的详尽材料。确定受辐射肿瘤细胞周期的研究是把体内照射的鼠肿瘤细胞分散成单个细胞悬液,然后离体培养。单个存活细胞用定时显微摄影术可得到生长模型,也可连续几代的跟踪观察大量单个细胞的分裂速率。研究证明,某些辐射过的肿瘤快速再生,可能是由于激发静止细胞进入分裂。

中子在放疗中的应用越来越引人注目。现今世界上已有18个研究中心应用快中子对15000例病人进行常规治疗,或单独用快中子,或与其它放疗或化疗技术合并使用,已积累了丰富的经验。根据现有的临床资料可有效地判断肿瘤的种类和位置,与光子辐射相比,它具有明显的优势。组织对中子和光子反应的根本区别在于,不同的细胞系和组织对光子辐射的敏感性变异很大;无论是正常的还是恶性的组织,对中子的敏感性变异