

应系数有着很大的实际意义。研究者们为了确定相对生物学效应系数应用了各种指标。例如, Storer等应用脾重的变化、甲状腺的变化以及 ^{59}Fe 标记的红细胞作为损伤作用的标准, 确定了氧化氙的相对生物学效应系数 $^{226}\text{Ra}\gamma$ -辐射比较相当于1.3, 1.5和1.64。Furchner根据小鼠死亡率的标准, 确定了氧化氙的相对生物学效应系数与 $^{60}\text{Co}\gamma$ -辐射相比等于1.7。Москаленев为了研究氧化氙的相对生物学效应系数应用各种指标与 $^{137}\text{Cs}\gamma$ -辐射比较, 所用的指标有: 脾重, 甲状腺、肾上腺、肝脏的变化, 白细胞、淋巴细胞、中性白细胞的组成数量和生化指标的改变。根据生存时间和远期乳腺肿瘤发生率的标准, 氧化氙的相对生物学效应系数为1.35~2.1。

为了制订卫生标准和论证氙对人体作用的容许水平, 了解关于生产状态空气中各种氙化合物年平均容许浓度具有重要意义。例如, 考虑到各种照射因素年平均容许浓度值对气态氙等于 2×10^{-6} 居里/升, 对氧化氙为 5.10^{-9} 居里/升。此时, 氧化氙在组织中的浓度不应超过 1.72×10^{-8} 居里/克, 在体液中不应超过 $2.4 \sim 2.65 \times 10^{-6}$ 居里/升, 而体内总放射性不应超过 1.2×10^{-3} 居里。

McEwan认为, 在气态氙的作用下紧要器官不是全肺, 而只是肺泡上皮。职业人员一周工作40小时的条件下, 空气中年平均容许浓度值对肺泡上皮细胞形成的剂量每年为15雷姆, 相当于 8×10^{-3} 微居里/厘米³。如果把紧要器官当作是整个肺时, 那么, 空气中的年平均容许浓度值是0.2微居里/厘米³。

Vennart根据大鼠的实验及组织和器官所形成的平均剂量评价了含氙化合物(水、

叶酸、肾上腺皮质醇类、性激素和胸腺核苷)一年最大容许进入血液的量。 ^3H -胸腺核苷和 ^3H -叶酸的容许进入量不应超过10毫居里, 对含氙的肾上腺皮质醇类不应超过1~2毫居里。最大容许进入量的值的差别与微观范围内的辐射剂量的不均匀性有关, 尤其是在 ^3H -胸腺核苷进入时更是如此。

在注入间隔不少于14天时, 作为用于诊断目的的氧化氙最大容许放射性的建议值为150微居里。一年中上述放射性形成的剂量甚至在整个一年过程中进入时也不超过0.5雷姆。此时, 氧化氙最大年进入是不超过2400微居里。

在氙的最大容许水平的论据方面, 有关动物实验外推于人的资料具有非常重要的意义。例如, Журавлев认为, 为此目的应该使用特有的转换系数, 用于校正的指标包括氙体内半排出期, 功能破坏的半恢复期, 肺通气系数, 动物生存时间等。

由此可见, 列举的文献资料证明, 文献中对氙的危害性的卫生学和毒理学方面的问题都给予了极大的注意。同时, 还有许多问题直到现在尚未得到应有的解决。关于氙在食物和生物链中转移的研究工作进行得很少, 也没有关于氙的遗传效应及其对中枢神经系统和内分泌系统作用的资料, 更没有关于小剂量慢性作用和关于氙放射性及非放射性因子复合损伤形式的资料。

所有这些问题对制订氙的卫生标准具有重要的科学实践意义, 并且需要进一步继续研究。

(Журавлев В Ф等: Гиг и Сан (1): 66~68, 1977(俄文)孝延令译 卢德恩校)

地下核爆炸时的氙

进行地下核爆炸会有少量的同位素进入外环境, 由此也就产生了辐射安全问题。

地下核爆炸时由于坑腔破裂随着土壤喷出, 可有一定量的放射性裂变产物。其中有

些排入大气。放射性总量决定于裂片的数量及其产生的放射性大小。坑洞内地下核爆炸时由于岩石破坏和裂缝形成产生了连结坑腔喷口与大气之间的通道。由超压的通气作用或扩散作用使一定量的放射性产物沿着这个通道进入大气。这些产物中有放射性氦、氩和氡。

地下核爆炸时，尤其是热核爆炸，氡可以直接进入土壤之中。

据推测，全部释放出的氡通过氧化或者交换途径变成水。这是因为 T_2O 的蒸气压力比普通水的蒸气压力低，其蒸发量也比普通水少。因为氡不是以固体粒子的形式存在，因此在爆炸时释出的氡几乎全部转变成氧化氡，并相当均匀地与喷出的大量土壤混合。土壤中大量的氡降落到坑口之外，由能见到的坑底到爆炸中心96米之内基本上是一个常数。氡的浓度随爆炸中心距离的增加而降低。降落到坑口之外的土壤中的浓度比其它都高。

据Твюес的资料，在进行强度为2万6千吨级热核爆炸时，气体中氡的浓度为0.65微居里/升。氡是由于中子照射锂而形成的。形成氡的其他来源是三分核裂变过程，裂变时每公斤装料形成约0.0001克这种同位素。作者强调指出，看来使用热核装料时最严重的问题显然与浸出溶液中氡的存在有关。

由于爆炸地点周围环境中氡的测定困难，氡含量可能与实际的量相差数倍。据Холбцера的资料，在Гасбагги地下核爆炸时，气体中氡的浓度为680~706微居里/米³，形成总量为4克，而且1克以上是依赖于中子活化土壤中含有的⁶Li形成的。Хиггинс所引述的资料得出，在Ласбагги地下核爆炸时，氡以不同数量的三种化合物形式而存在。例如，气态氡为3215微居里/米³，³CH₃T为314微居里/米³，而氡的C₂HT化合物为15微居里/米³。作者认为，25%的氡含于有

机相中，而75%含于水中。Шор均报导了“轿车”式核爆炸坑四周的喷出土壤中氡含量的资料。同位素的总放射性为 1×10^6 居里。研究资料表明，“轿车”式爆炸后外环境中各种放射性同位素中氡的含量最多。热核装置“轿车”式爆炸时形成的其余的氡，见于天然生态学系统的整个供养水平，同时由于爆炸的结果氡不仅进入于下层土，而且进入植物和动物合成的有机物质中。

由列举的资料可以认为，研究生物环节中氡的转移有着非常重要的卫生学意义。因此，必须进行毒理学实验以查明同位素由各种食品转移至动物体内的问题，研究这种元素的积聚、分布和由体内排出的特点，要特别注意氡进入器官和组织的结构成份。Ефимова在“Плашпер”计划的综述文章中指出，地下核爆炸后圆锥形倒塌物中氡含量可达1300居里。Радфорд报导，热核装料爆炸时聚合反应的唯一的放射性产物是氡和由于俘获中子而形成的放射性同位素。按其放射性形成大量的氡，每兆三硝基甲苯当量若同时取样比依靠裂变反应产生的长寿裂变产物约大10倍多。据Cohnen的资料，核爆炸产物中约有 10^{24} 中子/千吨，释放出约20,000居里氡。由于爆炸放出的氡迅速被氧化，并参与自然界中水的循环。

由此可见，文献资料证明，地下核爆炸时进入外环境的除有其他放射性同位素外，也有大量的氡。它以气体、液体或有机化合物的形式存在。其中以氧化物的形式释放到外环境的同位素具有最大的毒理学意义，这是因为元素氡迅速扩散至大气表层或者氧化成水，而氟化有机化合物只有局部性意义。进入外环境的氡可掺入含氢的各种化合物之中。元素的代谢速度决定于含氟化合物的代谢的复杂性。包含氡的水将经历各个阶段的水文学循环。如果其他放射性同位素转移的速度由于放射性同位素的吸附作用而低于水的运动速度，那么氡的转移速度相当于水的

运动速度,可见它比其他放射性同位素的转移速度显著地高。

地下核爆炸时在多数情况下爆炸地带土壤的多孔性和渗透性比未遭受爆炸作用的周围岩石为高。因此,当大量被污染的水进入土壤水系时,它比爆炸地带岩石拥有更大的体积,土壤水系中被污染的水散布的面积要比爆炸地带污染的水散布的面积更广。土壤水系起着浓缩氚水的贮水池作用,其最后结局流入江湖之中。

进行核爆炸时在逸出问题上应采取措施最大限度的减少放射性物质降落于爆心周围的土壤表层。因为从爆炸地区范围内水的污染观点看,氚具有最大的毒理学危害性,如果不能采取其他方法降低氚的污染的话,就必须选择裂变反应比聚合反应占优势的那种核装置。在爆炸后降落头场雨时,使氚几乎完全由地表被冲走,可是由于头场雨冲入地表排水渠在河中出现氚浪。以后氚进入河中的唯一来源是土壤水。根据Вернер的资料,由集水区来的土壤水每年氚的输送量约为降落到土壤上的该同位素总量的 10^{-3} 。这些资料证明,以水的形式含有的氚对生活在爆炸区的居民可能有一定的危害性,而进入河、湖和大洋中的氚将促进其积聚达到可容许水平以上。

如上所述,气态氚由于它的不活泼,危害性比氧化氚小。气态氚和氧化氚的毒性比较研究指明,气态氚的毒性比氧化氚约小520倍。这种化合物的毒性小决定于它在体内的溶解不超过1.6%,大白鼠体内气态氚的氧化量只占总量的0.5%。气态氚的毒性小还可解释为它从体内的半排出期为3.3分钟,而氧化氚则为10天。因此,评价进行爆炸地区的放射性环境应该首先着重于氧化氚的含量,而不是气态氚,因它的数量是很少的。

在进行地下核爆炸时探讨氚的毒理学问题时,应该特别注意氚和 γ -辐射外照射的复合损伤。正像Журавлев和Капанов指出

的那样,外照射明显地延长体内氧化氚的半排出期。在受照机体内形成了器官和组织的有机结构大量利用氚的条件。根据实验的研究结果判断,在复合作用的条件下产生生物学作用的总和效应。在评价照射总剂量时必须考虑到这点。许多美国作者列举了有关由于进行核爆炸居民受照射的长期予后的资料。例如,Cockcroft认为到二〇〇〇年世界上作为裂变产物的氚将积聚有96兆居里。如果二〇〇〇年后核能的生产仍保持同样水平,约到二〇六〇年作为裂变产物的氚将积聚260兆居里,而且比二〇〇〇年所形成的照射剂量水平高3倍以上。

另外还要考虑到全球性的不均匀分布,表现为整个世界上由于氚所致的剂量增加与本底辐射所致的每年100毫拉德相比虽然不大。然而进行核爆炸时生活在爆区的大部份居民可遭受到各种氚化合物的作用。此时还应考虑到同位素是长寿命的,而且对广大居民的全身剂量范围包括外照射不应超过0.5雷姆/克。

对居民和对在国民经济中和平爆炸应用原子能时从事同位素工作的人员的辐射允许水平,应该取决于辐射安全的主要标准。对工作人员年最大容许进入量(经呼吸器官)不应超过 1.2×10^4 微居里/年,对居民中的个人经呼吸器官年最大进入量不应高于 1.2×10^3 微居里/年,而经消化器官进入的不应高于 2.6×10^3 微居里/年。大气中气态氚年平均容许浓度对居民中的个人为 6.6×10^{-8} 居里/升,氧化氚为 1.6×10^{-10} 居里/升,而水中氧化氚的年平均容许浓度对居民中的个人为 3.2×10^{-6} 居里/升。

[Журавлев ВФ等, Гиг и Сан(8): 78~82, 1976(俄文) 孝延令译 卢德恩校]