

# 放射性物品安全运输常识

韩开春 海 涛 张军锋 编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 8 年 · 北 京

# (京)新登字 063 号

## 内 容 简 介

本书以简单明了的方式,介绍了放射性物品运输管理、防护及应急措施,是放射性物品运输的普及读物。全书共分六部分,内容包括放射性物品运输防护基础知识、包装要求、辐射防护、应急处理措施、事故案例、术语含义解释及常用防护材料等。

本书可供各类铁路运输人员、辐射防护人员、环境保护人员学习参考,特别是对现场人员学习、掌握《危规》有较大的帮助。

### 放射性物品安全运输常识

韩开春 海 涛 张军锋 编

\*

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 胡彝 封面设计 薛小卉

中国铁道出版社印刷厂印 各地新华书店经售

1998年5月第1版 第1次印刷

开本:787×1092 1/32 印张:1 字数:18千字

印数:1—3000册

---

ISBN 7-113-02919-1/U · 800 定价:2.30元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

# 前 言

放射性物质的发现是人类科学技术发展史上的一件大事。1896 年至今,一大批科学家艰苦卓绝的工作,为人类利用放射性物质开辟了条条通道。

放射性物质进入生产实践,使人类的生活环境发生前所未有的变化:核能的开发使人类对能源利用得到极大的改善;放射性物质在食品保鲜、防霉变中发挥着神奇的作用;放射性物质和射线是当今医疗诊断的重要手段……。可以毫不夸张地说:20 世纪放射性物质的开发利用与科学技术和生产力的发展有着密切联系。我国铁路从核工业一起步就担负着极其重要的运输任务,展望我国核能开发的前景,放射性物品在铁路上的运量必将有大的增长。希望本书能有助于从事危险品运输的有关人员对放射性物品安全防护基础知识的学习,以提高对放射性物品安全运输认识。

作者

1997 年 11 月

# 目 录

一、放射防护的基础知识 .....	1
1. 放射现象与放射性物质 .....	1
放射现象.....	1
放射性物质.....	1
2. 运输中常见射线的实质与特性 .....	2
射线 .....	2
射线 .....	2
射线 .....	3
中子.....	3
3. 射线与人体健康 .....	4
二、铁路运输对放射性物质的包装要求 .....	6
1. 可以按普通货物运输的包装 .....	6
2. 工业型包装 .....	6
3.A 型包装 .....	7
4.B 型包装 .....	7
5. 关于 $A_1$ 和 $A_2$ 值 .....	8
三、放射性物质运输中的辐射防护 .....	9
1. 外照射防护 .....	10
距离防护 .....	11
时间防护 .....	11
屏蔽防护 .....	11
2. 内照射防护 .....	12

四、放射性物质运输中的应急防护措施.....	13
1. 天然放射性物质运输中的应急防护措施 .....	13
2. 运输人工放射性物质中的应急防护措施 .....	14
粉末状放射性内容物外逸的应急措施 .....	14
液状放射性内容物外溢的应急措施 .....	15
五、放射性物品运输中的事故案例.....	16
例 1 包装不符合规定引起的事故 .....	16
例 2 放射性包装件破损引起的放射性污染 .....	17
例 3 “空容器”里仍有放射源 .....	18
六、《危规》中放射性物品运输涉及的符号含义一览表.....	19
七、一般射线的特性及常用防护(屏蔽)材料一览表.....	24

# 一、放射防护的基础知识

## 1. 放射现象与放射性物质

### 放射现象

自然界中有些物质能够不断地发射出某种射线(或者称某种粒子),然后变成另一种物质,这是某些物质的固有特性,称为放射现象。人的感官(包括眼睛、鼻子、耳朵、舌头和皮肤等)无法觉察它们的存在,只有通过特殊的方法才能发现。1896年法国物理学家贝可勒尔从沥青铀矿中发现这一现象,以后又经许多科学家努力探索,发现自然界中具有放射特性的不仅是铀,还有镭、钋等。到了20世纪,发现在人类生存的周围环境到处都有射线存在。它们来自宇宙(称为宇宙射线,主要是 $\gamma$ 伽玛射线、中子和一些高能带电粒子)、地壳的岩石、土壤,还有的来自空气。人类生存环境中这些射线通常称为“放射本底”(或称放射性天然本底)。

### 放射性物质

具有放射现象的物质称为放射性物质。自从人类有了核工业以后,人工制造出来的放射性物品大大地超过天然放射性物质。由于射线对人体有一定的损伤作用,有些放射性物质本身就有毒性,因此放射性物品被列入危险货物。我国在70年代起,规定一公斤(kg)物质,如果所含放射性强度(现在称活度)达到1微居里(即37千贝可),铁路运输中即称为放射性物质。为了与国际上相关标准一致,1995年颁布的铁路《危规》规定:凡每公斤物质,其所含放射性活度达到70千贝

可( $\text{kBq}$ )或2微居里,即为放射性物质。目前铁路运输的一些稀土矿(砂或粉末)有相当一部分所含的放射性活度达到70千贝可,如氟碳铈镧—独居石等,且大多以整车运输。在运输中铁路承运的放射性货包,大多是原子能工业产品,例如钴-60( $^{60}\text{Co}$ )、铯-137( $^{137}\text{Cs}$ )等。

## 2. 运输中常见射线的实质与特性

运输中涉及的射线有(阿尔发)、(贝塔)、(伽玛)和n(中子)等。

**射线。** 射线是由 $\alpha$ 粒子构成, $\alpha$ 粒子实际上是惰性气体氦的原子核。这种射线一般是从原子量很大的元素(例如天然铀)的原子核中发射出来。 $\alpha$ 粒子的重量是氢原子核的4倍,且带有两个正电荷。所以它在物质中(如空气中)穿行比较困难,天然铀所发出的 $\alpha$ 射线,在空气中的射程仅3厘米左右,很快就把能量传给被照射物质。通常 $\alpha$ 射线穿不过一张牛皮纸,一般人体的皮肤就可以挡住 $\alpha$ 射线(损伤的皮肤例外)。也就是说,如果带有放射性的放射源, $\alpha$ 射线引起的外照射危害可以忽略不计。然而当放射性物质进入体内(即形成内照射),那么对人体形成的损伤效应就大多了。例如通过呼吸、饮食,放射性物质有可能(若违反安全防护规则)进入体内(消化道或气管),这时 $\alpha$ 射线直接作用于体内组织,辐射能量直接传给组织或细胞,这种危害就远不同于外照射。

**射线。** 射线是由某些原子核发射出来的一种粒子流,例如磷-32( $^{32}\text{P}$ ),是一种放射性核素。它发射出来的仅有 $\beta$ 粒子。 $\beta$ 粒子实际上就是电子,可能是正电子或负电子,与此相对应称为 $\beta^+$ 或 $\beta^-$ 粒子。 $\beta$ 粒子的质量(即电子的质量)仅为氢原子核质量的 $1/1830$ ,在一般叙述中认为 $\beta$ 粒子的静止质量为0。 $\beta$ 粒子带有一单位(正或负)电荷。与 $\alpha$ 粒子相比较,

粒子是非常轻的粒子,所以 粒子在物质穿行时就容易得多,换句话说,即 粒子在物质中的射程比较大。例如磷-32发射出来的 粒子在空气中的射程可达10米。因此, 粒子(射线)不仅进入体内可引起损伤效应,在体外如果距人体较近仍可以对人体造成危害。为了减弱 射线的强度可采用适当的屏蔽物,通常采用铝板或有适当厚度的有机玻璃板即可以有效地将 射线屏蔽。

射线。 射线也是由某种原子核发射出来的射线,也是由粒子组成,这种粒子称为光子。所以 射线与普通无线电、可见光的实质是一样的,都是由电磁波构成。在医疗诊断与某些工业生产中采用的 x 射线,实质上也是电磁波,不过由于来源不同和各自波长不一样,所以各具有不同的能量和名称。光子不带电荷而且静止质量也为零。在三种常见的射线中, 射线在物质中的穿透能力最强。在一个发射 射线的放射源周围空气中, 射线的强度随距离增大而迅速减小(与距离平方成反比)。放射性货包的“辐射水平”一般指的是 射线的强弱。例如“货包表面辐射水平”就是货包内放射源发射的 射线在货包表面的强度。

对于 射线,衡量其穿透能力大小是采用“半厚度”,即将该 射线强度减弱一半所需的物质厚度。“半厚度”越大说明该 射线的穿透能力越强。例如钴-60发射的 射线对铁(密度7.8克/厘米<sup>3</sup>)的半厚度为3.15厘米;而铯-137发射的 射线对铁的半厚度为2.3厘米。可知钴-60的 射线穿透力比铯-137的 射线强(其原因主要是钴-60的 射线能量较大)。为了减弱 射线的强度,通常采用重金属作屏蔽物,例如铅(Pb)、铁(Fe)等对 射线都具有显著的屏蔽作用。

中子。中子(n)是一种不带电荷的基本粒子,是构成原



子核的基本粒子之一。它的质量与氢的原子核差不多。中子流具有极强的穿透能力。货运部门有时会碰到“中子源”货包，这类货包表面就有中子射出。在以前的《危规》中，凡中子源货包一律定为三级货包。其货包表面中子密度的限值为：每秒钟每平方厘米不得超过 20 个快中子。在新《危规》中没有此限值，统一用辐射水平衡量。在承运中子源货包时，必须采用一种称为“中子雷姆 (rem) 计”的仪器来检测。该仪器能将“中子密度”转化为“毫雷姆 / 小时” (m rem / h)，然后根据“m rem / h”数定其货包运输等级。

中子流的生物效应特别为人们重视，因为人体中碳和氢元素占很大比重，而碳和氢都是很容易和中子发生作用的。常用于屏蔽中子的材料是石蜡或水层，利用一定厚度的石蜡或水层可以有效地将中子密度降低至安全水平。衡量中子的穿透能力也采用“半厚度”，不同中子源所发射的中子对于某一物质具有不同的“半厚度”值。

以上介绍的几种射线，由于它们不能直接被人的感官觉察出来，但在实际生活中，人们与射线的关系是非常密切的。特别是当今人类进入高科技时代，核电的开发、食品的辐射保鲜、核方法在医疗诊断和科研上的应用等都是直接利用射线。同时生活在地球上的人们每时每刻都吸入和食入一定数量的放射性物质；每个人都不可避免地受到来自地壳（岩层和土壤）和空间某些射线的作用。总之，放射性物质和射线时刻与你同在，它们并不是什么神秘的东西。

### 3. 射线与人体健康

虽然人类生活在一个处处都有一定数量的放射性物质及射线的环境中，但由于其量少，人们在长期生存斗争中已适应这种环境。因此，通常不会表现出射线引起的危害。而在环境

中放射性物质和射线突然增多(例如原子战争或某种核事故发生)时,那么在该环境中就可能受到大剂量的照射,这些受大剂量照射者身上就可能出现由射线引起的症状。电离辐射对人体引起的损伤效应与受照剂量大小、持续时间、受照射部位、受照者的年龄、性别和身体状况等因素都有关系。而且大剂量照射引起的人体效应还分为躯体效应和遗传效应。由射线引起的损伤效应是一门非常新的学科,称为放射医学。不管照射与生物效应有多复杂的关系,大剂量照射可以使人死亡这是肯定的。原子战争中,受难者大多死于大剂量照射。在和平时期由于放射性事故,也有人死于大剂量照射。操作大型辐射源由于系统故障或不慎引起大剂量照射致伤残的事例时有发生。射线为什么会机体引起伤害呢?主要原因是射线都带有一定能量,人体受射线照射其实质就是受辐射能量的照射,大剂量照射使人体细胞或组织受伤害而导致某些症状出现甚至死亡。

射线对人体产生的损伤效应,从其表现形式上可以分为两种:

**躯体效应:**由射线大量照射造成机体宏观的效应。如毛发脱落、白内障、白血球下降、急性呕吐、腹泻等等。

**遗传效应:**射线照射造成人体生殖细胞(精子或卵细胞)致畸,而将损伤带至下一代的效应。

从射线导致机体损伤的规律上可以将射线生物效应分为以下两种:

**随机效应:**这类效应产生的可能性(或称产生概率)与受照剂量成正比,也就是说受照剂量越大产生这类效应的概率越大;但在受照剂量较小的情况下,此类效应仍可能产生,只是其产生概率较小而已。射线对人体引起的遗传效应和白

血球下降等致癌效应就属于随机效应。

非随机效应:这类效应的产生必须在机体受照射达到一定量以后才可能发生,其严重程度与受照剂量成正比,例如射线引起白内障,这种效应的产生必须在眼睛晶体受到 15 戈瑞的照射后才会发生;还有照射引起皮肤烧伤和不育等效应就属于非随机效应。制定辐射安全防护标准(或条例)时,就是以这些作为理论依据提出各种运输条件和各种限制。以便限制由射线引起的随机效应和防止非随机效应的产生,保证有关人员的健康和安全。

## 二、铁路运输对放射性物质的包装要求

放射性物质运输时,货物包装设计是非常重要的。《铁路危险货物运输管理规则》中放射性包装分为下列四种:

### 1. 可以按普通货物运输的包装

《危规》第二十七条列出了这种包装应有的起码条件:

保证包装件表面辐射水平(以前亦称“射线强度”)应小于 0.005 毫希/小时;

包装件表面放射性活度必须小于《危规》表 1 所列相应限值。有了以上两个条件后,作为可以按普通货物运输的包装件还应符合下列两项中的任何一项:

a. 包装件中的放射性内容物必须小于表 2 所列限值;

b. 对于装运含放射性物质的仪表或工业制品的包装件,对距该仪表或工业制品表面 10 厘米处任何一点其辐射水平不得大于 0.1 毫希/小时。

### 2. 工业型包装

工业型包装通常用于装运低比放射性物质和表面污染物

体。这里讲的低比放射性物质通常指天然放射性矿物和一些放射性比活度低于某一限值(如比活度小于 20 居里/升的氡水)的物质;而表面污染物体是指那些本身属非放射性物质但其表面附着超过一定量的放射性物质,表面污染物体一般来自核工业企业。在我国铁路运输中,那些放射性比活度达到 70 千贝可/公斤的稀土矿物的包装就属于工业型包装。此类包装除可以由双层编织袋和两层塑料袋构成外,还可以罐装(如装运氡水)和货物集装箱。

### 3.A 型包装

在《危规》中称为“放射性同位素”这类物质的运输包装就是 A 型包装。一般情况下,放射性同位素(准确地讲应称为放射性核素)是被装在密封的玻璃容器里,只有密封容器被破坏放射性物质才能逸出。这种形式的放射性物质,在国家《放射性物质安全运输规定》中称它为“特殊形式的放射性物质”。在放射性物质运输中,A 型包装是最常见的,其基本构造见图 1。在包装设计中,屏蔽容器一般采用重金属(例如铅)构成。

A 型包装这个名称是由国际原子能机构提出的,在国际原子能机构 1973 年安全丛书里,A 型货包的定义是:其设计经得起正常运输条件的包装。到了 80 年代 A 型包装的定义改为:装有活度低于  $A_1$  的特殊形式放射性物质或低于  $A_2$  的非特殊形式放射性物质的包装、罐或集装箱。它们应满足“对一切包装和货包的一般要求”。

### 4.B 型包装

此类包装比 A 型包装要求更高,按 1973 年国际原子能机构对 B 型包装的解释:B 型包装系指经得起运输事故破坏作用的包装。也就是说经历运输事故后,包装的可靠性仍不受破坏。这种包装常用来装运放射性活度极大的放射性物质。例

如从核电站反应堆里撤换下来的燃料棒(铀-235 或钚-239), 即被称为乏燃料的放射性物质,其包装件重量可达百吨以上。

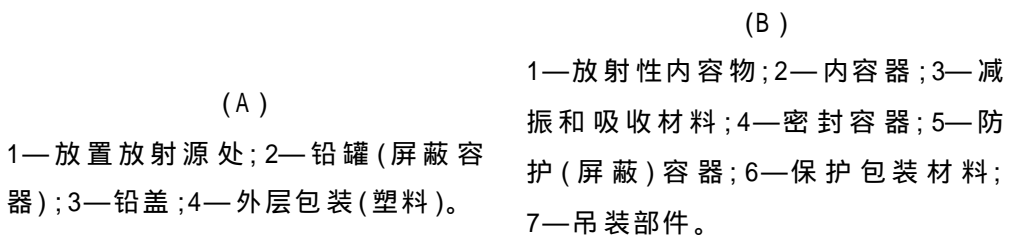


图 1 A 型包装结构示意图

说明:(A)图为小型包装,通常多属运输等级较低的包装,通过行李车运输的放射性包装件多为这类形式;

(B)图为大型包装,一般内容物的活度较大一般按整车运输,如钴-60多属这类形式。

## 5. 关于 $A_1$ 和 $A_2$ 值

《危规》中多次出现  $A_1$  和  $A_2$  这两字样,在其附录六中还列了很长的表,表中的  $A_1$ 、 $A_2$  与条文中各处出现的  $A_1$ 、 $A_2$  含义都是一样的,它们是 A 型包装中容许装入的放射性活度限

值。例如,对于钴-60( $^{60}\text{Co}$ )的  $A_1$  值是  $0.4 \times 10^{12}$  贝可,  $A_2$  值也是  $0.4 \times 10^{12}$  贝可。其近似值(即采用居里为单位)为 10 居里。 $A_1$  是“特殊形式的放射性物质”限值;  $A_2$  是其它形式的放射性物质限值。而所谓特殊形式的放射性物质指的是下列两种形式的物质;

不可弥散的固体;

被装在密封容器里的放射性物质。除此之外的各种形态物质称为“其它形式”在《危规》中将物理状态为粉末、晶体和液体的放射性物质均作为其它形式的放射性物质,其限值采用  $A_2$  值。包装中的放射性活度如果超过  $A_1$  和  $A_2$  值,那么该种货包就不属于 A 型包装,从《危规》第三十九条可知这类包装件的运输,须由托运人的主管部门与铁道部商定运输条件。

在《危规》附录六中  $A_1$  和  $A_2$  值都有一行“近似值”并附有“Ci”(即居里)字样。因为 Bq(贝可)是目前国际单位制里放射性活度的基本单位,而居里是以前的放射性强度单位,近似值的列入是为照顾使用习惯。从“贝可”及“居里”的本来含义可知 1 居里 =  $3.7 \times 10^{10}$  贝可。但在“ $A_1$ ”值及“ $A_1$ ”近似值中可以看出,近似值总是小于  $A_1$  值。例如钴-60 的  $A_1$  值为  $0.4 \times 10^{12}$  贝可,但“ $A_1$ ”近似值为 10 居里,仅相当于  $3.7 \times 10^{10} \times 10 = 0.37 \times 10^{12}$  贝可。从这里可以看出《危规》是从管理角度上来促进计量单位的标准化使用。

### 三、放射性物质运输中的辐射防护

放射性物质运输中的辐射防护问题可以概括为两个方面:首先是避免放射性物质发射出来的射线的照射;另一方面

是防止放射性物质进入体内,防止内照射危害。根据 GB 11806—89《放射性物质安全运输规定》和行业标准 TB 2089—89《铁路运输放射性物质卫生防护规定》,一般运输人员(我国铁路运输中没有从事放射性物品运输的专业人员,均属一般人员),每年由于从事放射性物质运输工作所致射线照射(包括吸入或食入放射性物质引起的内照射)剂量当量限值不得大于 5 毫希。辐射防护工作中要充分利用各种条件,使有关人员所受的照射保持在尽可能低的水平。

### 1. 外照射防护

运输中外照射防护就是要尽可能降低货包发出的射线引起的照射。操作时,可以把放射性包装件看成一个“点状放射源”,放射性货包周围就是一个点状源辐射场。场中任何位置的射线强度(放射卫生学中称“照射量率”)可以近似地用下列公式描述:

$$X_r = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \quad (\text{伦琴/时})$$

式中  $X_r$ ——距放射源  $r$  米处的射线强度,伦琴/时;

$A$ ——放射源的活度,(居里,Ci);

——该放射源(核素)的特征常数,(伦琴·米<sup>2</sup>/(居里·时));

$r$ ——该点距放射源距离,(米)。

如果工作人员在距放射源  $r$  米处停留了  $t$  小时,那么他所受照射总量

$$X = X_r \times t = \frac{A \cdot \Gamma \cdot t}{r^2} \quad (\text{伦琴}) \quad (1)$$

从(1)式可知,对于一个指定货包(或一堆货包  $A$ (活度)、(指定核素)都是常数,要想降低受照剂量只有两种方法:

## 距离防护

增大距离  $r$ , 从(1)式中可知, 受照量  $X$  与距离平方成反比, 当距离  $r$  增大 1 倍时, 受照量  $X$  将减至原来的  $1/4$ 。因此, 只要条件许可 (即保证操作合乎规范) 时, 工作人员尽可能远离放射性包装件, 这是减少受照量最有效的方法。例如, 对于在货场存放的放射性包装件应该放置在与工作人员尽可能远的专用货位上; 又如, 当放射性货包采用零担运输时, 那么除应将放射性货包安排在车辆中间外, 还应尽可能将车辆编在列车中部 (使其远离守车和机车)。在装卸过程中更应注意距离防护。尽量避免手捧、肩扛等直接与放射性货包接触的操作方式, 积极采用机械化或半机械化进行装卸作业。

## 时间防护

缩短在放射性货包附近的停留时间, 在(1)式中受照量与受照时间成正比, 为了使工作人员少受射线的照射, 应该尽可能减少作业时间, 特别是靠近放射性货包的停留时间。例如对大型的包装件加固、吊装等操作, 应该在平时进行必要的模拟操作, 使从事该工作的人员能熟练准确地进行作业, 达到缩短时间的目的。加强放射性包装件安全管理工作, 使放射性货物一到站能尽快交付。

## 屏蔽防护

在放射性物质运输中, 如果人员与货物距离和在货物周围停留时间上已无法使受照射减少, 而有关人员的受照射还有可能超过限值时, 那就需采取屏蔽放射源的方法, 即在放射性货物与人员之间设置屏蔽物, 例如构筑一道混凝土墙, 设该墙的厚度为  $d$  厘米, 如果空间不容许可采用铅或铁诸类的重金属。加了屏蔽物后受照量的计算式中增加了一个因素, (1)式变成:



$$X = \frac{A \cdot t}{r^2} \cdot \frac{1}{e^{\mu \cdot d}} \quad (\text{伦琴}) \quad (2)$$

式中 d——屏蔽物厚度,厘米;

$\mu$ ——屏蔽材料对射线的减弱系数,其单位为 1/厘米,该系数从防护手册可以查到;

e——数学常数,即自然对数的底数,  $e = 2.7130$ ;

其它符号含义与(1)式相同。

从(2)式可以看出,利用屏蔽方法对降低受照量是很有效的。例如,采用铅板作屏蔽物,只要 1.5 厘米厚的铅板就能将钴-60的 射线强度降低一半;若采用 11 厘米的混凝土墙也可达到同样效果。在实际工作中可以充分利用本单位的条件,如有的货场利用废集装箱,将放射性货物(暂时)存放在集装箱中,对于在货物周围活动的有关人员来说,这个废旧集装箱起到屏蔽作用,同时又起到距离防护作用。

## 2. 内照射防护

运输中一旦放射性物质(通过食入、吸入或皮肤渗透等)进入人体内,该放射性物质所发射的射线都直接作用于人体组织和细胞,即形成内照射。吸入的放射性物质越多,内照射剂量也越大。放射性物质进入人体有三个主要途径:

吸入,即放射性物质(如粉尘中)通过呼吸系统进入血液或停留在气管或支气管里。在一些可能产生粉尘的操作中应特别注意由呼吸进入体内这个途径。带好防护口罩是防止放射性物质由呼吸系统进入体内最有效的方法。

食入,被放射性物质污染了的食物可以导致这种危险。工作人员如果饭前没有洗手、洗脸有可能通过进食将放射性物质引入体内。放射性物质操作场所应该保持干净,定期用表面放射性污染监测仪进行监测,发现有放射性污染应及时去

污。严禁在工作场所进食等措施是防止食入放射性物质的重要方法。

皮肤渗透,人体皮肤有一定的防止放射性物质进入体内的功能,外表的角质层能阻止放射性物质渗入。但如果皮肤受损伤导致角质层破坏(出血是皮表角质层受破坏的最明显标志)时,皮肤的防护功能大大下降,放射性物质极容易通过伤口进入体内和血液从而导致内照射。所以皮肤受损伤的人员不宜进行放射性物质的操作。

为了切实防止内照射危害应做好两件事:其一是严格控制货包表面和工作场所的污染水平,特别是货包表面;其次是在操作场所严格控制空气中放射性物质的浓度,防止因呼吸及粉尘沉降造成危害。

## 四、放射性物质运输中的 应急防护措施

### 1. 天然放射性物质运输中的应急防护措施

天然放射性物质,主要指放射性矿物质,它们是《危规》中“低比放射性物质”的一种。我国有丰富的稀土资源,目前铁路承运的稀土矿中,有些稀土矿的放射性比活度达到70千贝可/公斤以上。铁路运输天然放射性物质有的是用企业专用车,有的是用铁路专用车(如毒品车等),也有用普通敞车运输的情况。此类货物运输中主要表现为包装有时破损,矿粉(砂)撒漏,造成车辆和货位污染。其应急方法为:

应急人员均应带好口罩先将撒漏矿物装入牢固的塑料袋,现场清扫干净后,用清水冲洗被污染处,并用表面污染监测仪测量。如果表面放射性物质超过容许限值即对于放射

性物质 $> 0.4$  贝可/厘米<sup>2</sup>，放射性物质 $> 0.04$  贝可/厘米<sup>2</sup>），应继续去污直至符合标准。在去污过程中应防止放射性污染的转移扩散，洗刷的污水要有序排放，洗消过程产生的废弃物应收集后专门进行处理。

## 2. 运输人工放射性物质中的应急防护措施

这类物品是原子能工业产品，在《危规》中称为“放射性同位素”。其放射源都是用人工方法生产出来的，与天然放射性矿物最显著的不同是此类放射性物质一般都具有很高的放射性比活度。例如经常运输的碘-131，它以碘化钠的形式供用户使用。这种碘化钠溶液（装在密封的玻璃瓶中）的放射性比活度达  $185 \times 10^7$  千贝可/公斤。而磷-32，如磷酸钠，它的放射性比活度为  $5.7 \times 10^7$  千贝可/公斤。因此，这类货物运输中一旦发生事故可能导致较大危害。对于这类货物事故的处理方法，国家和铁道部都有专门规定。如公安部和卫生部联合颁布《放射事故管理规定》，铁道部行业标准 TB 2089 中对运输放射性物质发生事故时的应急方法也有专门规定。放射性同位素运输中一旦发生事故应立即向所属地区卫生防疫站、公安部门和主管部门报告，并立即封锁现场防止事故扩散。这里介绍两个现场应急处理的具体方法。

### 粉末状放射性内容物外逸的应急措施

a 立即用浸透清水（以不流出水为好）的纱布或吸水纸将外逸出的粉末覆盖起来，防止粉状物飞扬；

b 用镊子将蘸有放射性物质的纱布等覆盖物揭下来，放入塑料袋内；

c 用脱脂棉沾水（让其湿透，但不流出水），将残留在事故现场处污染物体上的粉末由外向里蘸取干净；

d 用湿润的脱脂棉在被污染表面反复擦拭，并用放射性

表面污染监测仪进行监测,以决定是否进一步采取去污措施;

e 若被污染表面是质地疏松的物质(如泥土等)不宜采取擦拭方法或擦拭不下时,可以将其表面层除掉,直至符合放射卫生标准为止;

f 如果装粉末状物质的玻璃瓶没有完全破损,且其中有残留放射性粉末,应首先将那个容器转移至安全处(最好是铅罐中),然后再按上述步骤处理;

g 上述过程中,一切沾有放射性物质的废物都必须妥善地装在塑料袋中,按放射性废物处理规定处理。

#### 液状放射性内容物外溢的应急措施

“放射性同位素”中,有一部分货包的内容物是液态的,由于运输事故导致放射性液体外流,如能及时处理可以大大缩小污染区域,应急措施如下:

a 若内容器未完全破损,且其中尚有残留液体,应首先将容器扶正并转至安全处;

b 若容器已破坏,液体外流,应马上用纱布、脱脂棉或吸水纸将液体蘸取干净,并将吸有放射性液体的各种东西装入塑料袋;

c 用脱脂棉或纱布等在被污染表面反复擦拭,并用表面污染监测仪鉴别以决定是否进一步采取去污措施;

d 如果擦拭不下,应根据可能将被污染表面一层层铲下,直至表面污染水平达到有关规定要求;

e 若被放射性液体污染的表面质地疏松(如泥土等)应将其表面层除掉,直至符合放射卫生标准为止;

f 该处理过程中一切沾有放射性的废弃物均应妥善收集处理。

上面介绍的应急措施中,操作人员的受照剂量应严格控

制。应该特别指出的是,当放射性内容物外逸时,通常其周围(即事故地点)辐射水平会急剧增高,为保证事故应急人员的受照量尽量减少,在有关人员进入现场前,应对事故地点用仪器监测,并按事故处理中关于剂量限值的规定执行:即“事故处理人员一次全身接受的有效剂量当量不得大于 100 毫希(100m Sv)”以控制有关人员在事故地点的工作时间。

## 五、放射性物品运输中的事故案例

### 例 1. 包装不符合规定引起的事故

承运前货包检查不严格,造成已失去屏蔽能力的货包进入运输环节造成照射事故。

事故概况:1988 年 5 月 $x$  日,华北地区 $x$   $x$  站有一列客车,离开车还有 5 分钟,行李车厢装完 20 件  $\gamma$  级放射性包装件,铁路防疫站的工作人员在该站进行放射性物品运输安全状况调查。当时测得车上的辐射水平很高,正常情况,行李车门口  $\gamma$  射线的强度不得超过 50 微伦/小时,而此时已超过 200 微伦/小时。查出其中 $x$   $x$  号包装件辐射水平接近 1 伦/小时。按当时铁路《危规》规定,该货包属于四级货包,应该按整车运输。将该货包卸下后行李车厢辐射水平恢复正常。列车晚开 10 分钟,防止了一起重大放射性事故的发生。

原因分析:该包装件取下后,由卫生防疫人员会同货主将货包打开,发现货包内起屏蔽射线作用的铅罐盖子脱落,装放射性物质(当时该瓶子装碘-131)的玻璃瓶子弹出铅罐,落在铅罐与塑料桶之间的空隙里(塑料桶是包装的外层)。货主用专用钳子将尚未破碎的玻璃瓶转移至铅罐中,加盖后进行加固,货包表面的辐射水平此时小于 0.5 毫伦/小时,已属于

级货包可以在行李车内运输。

该事故的教训：

如果该货包没有及时发现，根据有关规定衡量造成的超剂量照射事故是最高等级的事故而受害者首先是铁路运输人员。此事故在尚未造成大的危害前就被发现纯属偶然。如万一当时未被发现，经计算：该货包从 $\times \times$ 站出发至抵达终到站旅行时间为44小时（行程2600多公里）一个行李车厢的工作人员，即使只有一半时间在行李车内停留，也将受到140毫希的照射，远远超过一年剂量当量限值仅为5毫希的规定。

例2. 放射性包装件破损引起的放射性污染

放射性货包破损，内容物脱落造成大面积放射性污染。

事故概况：1978年夏天，西南地区某车站到达一个放射性包装件。货主领取时，发现该货包外盖已开过（铅封已坏），再查看，发现货包铅罐里的小玻璃瓶不见了，当时该货包内装的是 $\times \times$ 毫居里碘-131。立即报告该站所在地的卫生防疫站和公安部门，经过放射监测仪探测，装放射性物质（碘-131）的玻璃瓶掉落在站台上，且已被车轮压碎。监测表明：放射性污染已扩散到行李房，加上人员走动，放射性污染面已达到几百平方米。

应急措施：当确定放射源已被压碎并污染了站台和行李房后，立即对该站台和行李房进行封锁，由货主协助，防护人员进行大量除污工作，废弃物全部收集由货主带回处理。由于污染较严重，根据碘-131的半衰期较短这个特性（碘-131的半衰期为8.04天，即经8.04天，其放射性活度就减少一半），站台和行李房封闭了几个星期后，放射性污染自行消失。事故处理直接经济损失达几十万元人民币，而且造成不良的社会影响。

事故的教训：

该事故告诉我们：当货包到达目的地后，卸货前，应检查货包是否完好，如发现异常，应马上用仪器检查，以防止放射性物质泄漏的发生。

例 3.“空容器”里仍有放射源

以“放射性空容器”托运的货包里仍有放射性物质。

事故概况：1988 年 8 月，铁道部组织的放射性物品运输安全状况调查组，在成昆线上某车站货场检查，当检查人员带着 辐射仪进入放有一个放射性空容器的专用仓库时，辐射仪的指针突然指向最高点。听货场工作人员介绍，那个空容器（铅罐）是车站附近某工厂的“回收空容器”。在距该货包 1 米处，测得辐射水平为 1 毫雷姆/小时，完全可以肯定铅罐里仍装有放射性物质，不是空容器。经向货场与货主仔细了解后，才知道该货包是货主不用的放射源，由于保管工作非常麻烦，请该厂给处理掉。发站在承运时，只单凭“证明书”轻信该货包是回收空容器。

应急措施：由于该货包已置于专用仓库里，仪器检查表明该货包没有放射性物质外逸。其照射危害仅在装卸过程和运输途中。当时决定关闭库门。仓库外围辐射水平监测表明：仅稍高于天然本底。随后货场立即通知货主，用汽车将货包取走，并按有关规定对货主进行了严肃的安全教育。

事故的教训：1996 年 1 月实施新《危规》后，托运放射性空容器时，应提出经铁路卫生防疫部门检查签发的“铁路运输放射性物品空容器检查证明书”车站方可受理，以防止意外事故发生。另一方面，从上述事故中可以得出，如果货运部门配备必要的射线监测仪，甚至只要一只射线报警器，那么无论运输途中或存放处出现的事故都可及早发现，以减少乃至消

除事故产生的危害。

## 六、《危规》中放射性物品运输涉及的符号含义一览表



附表 2 运输中常见的 射线半厚层和分价层\* 数值表(厘米)

发射体 (源)	混凝土		砖		铁		铅	
	半厚层	分价层	半厚层	分价层	半厚层	分价层	半厚层	分价层
钠-24 ( $^{24}_{11}\text{Na}$ )							1.7	5.6
钴-60 ( $^{60}_{27}\text{Co}$ )	11.0	31.3	10	31.5	3.15	10	1.5	4.5
碘-131 ( $^{131}_{53}\text{I}$ )	6.0	21				5.6	0.7	2.4
铯-137 ( $^{137}_{55}\text{Cs}$ )	8.5	18.5			2.3	6.4	0.78	2.5
铱-192 ( $^{192}_{77}\text{Ir}$ )	4.1	13.5			1.3	4.3	0.6	1.9
金-198 ( $^{198}_{79}\text{Au}$ )	4.1	13.5					1.1	3.6
镭-226 ( $^{226}_{88}\text{Ra}$ )	8.0	25			2.5	7.5	1.3	4.4

\* 注：“半厚层”是指将 射线强度减弱一半所需的屏蔽材料厚度；“分价层”是指将 射线减弱到原来 1/10 所需的屏蔽材料厚度。

附表 3 若干种材料对 neutron 源的半厚层值\* (厘米)

	钋—铍中子源 ( $^{210}\text{Po}$ —Be)	镭—铍中子源 ( $^{226}\text{Ra}$ —Be)
石蜡	6.63	6.30
水	5.36	4.70
12% 硼砂水溶液	5.26	4.65
黄铜	4.85	4.70
钢(冷轧)	4.95	4.98
铅	6.76	6.46
铝	7.82	7.47

\* 注:中子源的半厚层是指将中子通量减弱一半所需的屏蔽材料厚度。运输中“钋—铍”中子源和“镭—铍”中子源最为常见。