

利用 RADTRAN4 程序估算放射源运输对工作人员和公众辐射影响

韩春彩¹, 陈春燕¹, 陈超¹, 廖运璇²

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2013)05-0596-03

【摘要】 目的 利用国际原子能机构提供的 RADTRAN4 程序, 对我国⁶⁰Co 放射源运输引起的辐射影响评价中参数的确定进行说明, 并对其评价结果进行分析。方法 通过几个⁶⁰Co 放射源运输实例, 给出了正常情况和事故情况评价中所需各种输入参数的取值, 并估算了正常及事故情况下工作人员及公众所受剂量。同时, 实际测量了某运输公司的几名工作人员的个人剂量, 并与估算结果进行了比较。结果 在正常运输情况下, 工作人员所受剂量最大的为司机兼押运人员、公众所受剂量最大的为高速公路服务区工作人员。事故情况下, 工作人员及公众所受剂量低于事故情况下对事故处理人员和公众的剂量控制值。用个人剂量计实际测量了某运输公司的几名工作人员的个人剂量, 其人均剂量约为 9.0×10^{-2} mSv。结论 运输过程中, 实测剂量结果均低于估算结果, 并针对该结果提出几点建议。

【关键词】 ⁶⁰Co 放射源; RADTRAN4 程序; 运输; 剂量估算

随着放射性同位素和辐射技术在工业、农业、医学、科研等部门日益广泛的应用, 以及核能的开发和核电事业的发展, ⁶⁰Co 放射性物质(活度 $\geq 3 \times 10^{13}$ Bq) 货包的运输量与日俱增, 其在运输过程中引起的辐射影响也越来越受关注。

国务院公布的《放射性物品运输安全管理条例》^[1](以下简称条例)于 2010 年 1 月 1 日施行, 这对于我国放射性物品运输管理、促进核能、核技术的开发与和平利用, 保障公众和环境安全具有重要意义。根据《放射性物品运输安全许可管理办法》^[2](环境保护部令第 11 号 2010 年 9 月 25 日)及《放射性物品分类和名录》(试行)中的相关规定, ⁶⁰Co 放射性物质属于一类放射性物品。在运输实施前, 需对⁶⁰Co 放射源运输过程中的辐射安全进行评价, 并编制核与辐射安全分析报告书。

为了解我国目前⁶⁰Co 放射源运输在正常及事故情况下对工作人员和居民的辐射影响, 采用了国际原子能机构向其成员国提供的 RADTRAN4 程序, 对我国⁶⁰Co 放射源运输引起的辐射影响进行了评价。本文主要通过几个运输实践介绍在评价中一些参数的确定及其评价结果。

1 RADTRAN4 程序介绍

RADTRAN 计算机程序是美国圣地亚国立实验室开发的, 它早期用于进行 USNURREG-0170 研究, 为了满足放射性物质运输辐射影响评价的需要, 圣地亚国

立实验室修改和重新加工了 RADTRANII。1978 年, IAEA 承担了一项评价世界范围内放射性物质运输产生的危害的计划。1979 年, 瑞典与 IAEA 签订了合同, 由瑞典 KEMAKTA 公司开发放射性物质运输产生的危害评价模式。KEMAKTA 公司在 RADTRANII 的基础上开发了 INTERTRAN 程序。1983 年, IAEA 提供给其成员国使用, 用于评价放射性物质运输引起的辐射影响。在 INTERTRAN 程序的使用中, 发现了一些缺陷和不足。美国圣地亚国立实验室开发的 RADTRAN4 弥补了存在的缺陷和不足。RADTRAN4 程序用 FORTRAN77 书写, 总长度为 10 109 行^[3]。对正常运输, 该程序可计算出工作人员、运输线周围居民所受的个人剂量和集体剂量^[4]。

2 运输过程剂量计算参数的选择

RADTRAN4 计算结果的正确性主要决定于计算参数的质量, 因此要根据我国运输的实际情况, 对计算参数值进行获取和确定。

2.1 正常运输情况下的计算

2.1.1 人口密度 根据调查的运输线路, 取三类人口密度与行程份额相乘之和较大值, 作为运输沿线周围公众剂量的计算参数。将运输线路两边各 50 m ~ 1 000 m 宽的窄带内的人口密度划分为高、中和低三类。采用以县、市为单位的平均人口密度作为近似的人口密度, 大于 1 000 人/km² 的区域定为高人口密度区, 200 ~ 1 000 人/km² 的区域定为中等人口密度区, 200 人/km² 以下的定为低人口密度区。

2.1.2 运输沿线周围公众距装运中心线的距离 人

群到装运中心线之间的最大距离,取 1 000 m;人群到装运中心线之间的最小距离,取 50 m。

2.1.3 运输速度 对于公路运输,由运输单位提供,由于运输线路多为高速和二级公路,因此,运输车辆的平均速度取 70 km/h 计算。

2.1.4 高速公路服务区工作人员受照距离和时间 根据实地调查,在实际运输过程中一般会选择大型的高速公路服务区休息,停车场面积均比较大,在高速公路服务区内的工作人员受照距离一般大于 50 m,因此,工作人员受照距离保守取 50 m;由于各高速公路服务区内的工作人员实行倒班制,保守假定高速公路服务区内工作人员受照时间为 8 h。

表 1 单次运输中各类实践活动对参运人员所致剂量的计算参数

实践类型	受照时间	受照距离(m)	计算模式
行驶	运输线路总长度/运输平均车速	3	线源
监测	由运输天数和每天监测时间决定	1	线源
安全保卫	由运输天数和每天值班的时间决定	20	点源
货包栓系	一般栓系一个货包需要 3~5 min	0.5	线源

2.1.7 装卸人数、装卸时间和操作距离 放射源运输过程中的装卸人数一般为 2~3 人,其中包括吊车操作员和装卸工,操作距离为 3 m 左右。

2.1.8 货包类型及运输指数 一般放射源运输的运输指数,利用剂量率仪实测或屏蔽计算得到距货包表面 1 m 处的辐射水平(以 mSv/h 为单位)乘以 100 得到,再根据《放射性物质安全运输规定》(GB 11806)的相关规定查出货包类型。大部分⁶⁰Co 放射源运输均为 B(U)型Ⅲ级(黄)货包,货包的运输指数不大于 10 和运输工具的运输指数不大于 50。

2.2 事故情况下的计算 公路运输事故的主要计算参数有:不同类型严重事故发生的概率,事故时距离货包表面 1 m 处的剂量率,事故处理人员受照时间和距离,事故点公众的受照时间和距离等。

根据⁶⁰Co 放射源运输的特点,主要发生的严重事故有:超 0.5 h 火灾事故和跌落事故发生。根据几个运输实践的事故概率分析,超 0.5 h 火灾事故概率一般在 $10^{-11} \sim 10^{-13}$;跌落事故发生的概率在 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 。因此,⁶⁰Co 放射源运输过程主要考虑跌落事故。发生跌落事故时,距离货包表面 1 m 处的事

2.1.5 收费站工作人员受照距离和时间 在实际运输过程中,出入高速公路时,需要通过高速公路收费站,一般情况下,一辆运输车通过收费站的时间为 0.5 min 左右(约 0.008 h),受照距离取 1.5 m。

2.1.6 参运工作人员的受照距离和时间 目前,大部分放射源运输活动中,单次运输活动的参运人员一般为 3 人:1 名司机,1 名押运员,1 名为司机兼押运员(3 人全部坐在运输车内)。司机受到的剂量来自于行驶过程中,押运人员受到的剂量来自行驶过程、安全保卫、货包栓系和监测过程。单次运输中各类实践活动对参运人员所致剂量的计算参数见表 1。

处理人员的受照时间保守取 2 h,其估算模式按线源计,距离货包 10 m 处的公众的受照时间保守取 4 h,其估算模式按点源计算,对公众和工作人员的剂量控制值分别为 1 mSv 和 2 mSv。

3 几个运输实例的剂量估算结果

表 2 给出了事故情况下,事故处理人员和事故点公众所受剂量。我国几个工业用⁶⁰Co 放射源运输实例的综合情况见表 3,确定一系列参数后,用 RADT-RAN4 计算模式对每个工业用⁶⁰Co 放射源运输实例在正常运输和事故情况下分别计算。正常运输情况下,几个工业用⁶⁰Co 放射源运输实例对工作人员和公众的剂量估算结果列于表 4。

表 2 事故情况下,事故处理人员和事故点公众所受剂量

序号	事故 1 m 处 剂量率(mSv/h)	事故处理人员 剂量(mSv)	事故点公众 (mSv)
1	8.5E-02	5.9E-01	2.0E-02
2	2.1E-01	8.8E-01	3.3E-02
3	1.8E-01	6.8E-01	2.5E-02
4	6.0E-01	2.3	8.6E-02

表 3 我国几个工业用⁶⁰Co 放射源运输实例的综合情况

序号	单个货包放射性总活度(Bq)	路线条数	运输容器	运输指数	单次运输货包(个)	年运输货包个数(个)
1	5.92E+15	5	俄罗斯容器	8.6	10	25
2	7.40E+15	2	国内容器	4.9	2	23
3	1.48E+16	2	国内容器	4.4	2	40
4	7.40E+15	5	加拿大容器	1.2	4	30

表 4 正常运输时,几个实例运输对工作人员和公众的剂量估算结果(单次)

序号	公众	剂量估算结果		工作人员	个人剂量(mSv)
		个人剂量(mSv)	集体剂量(人 · mSv)		
1	运输沿线公众	5.8E-06	1.1E-02	载货司机	1.7E+00
	服务区工作人员	8.3E-03	1.7E+00	押运人员 ¹⁾	2.6E+00
	收费站工作人员	8.0E-03	4.8E-01	货包装载吊装	2.5E-02
2	运输沿线公众	1.1E-04	2.5E-01	载货司机	6.0E-01
	服务区工作人员	8.0E-04	1.6E-01	押运人员 ¹⁾	7.4E-01
	收费站工作人员	4.5E-04	4.1E-03	货包装载吊装	2.8E-02
3	运输沿线公众	8.4E-06	1.6E-02	载货司机	3.8E-01
	服务区工作人员	9.5E-04	1.9E-03	押运人员 ¹⁾	4.8E-01
	收费站工作人员	4.4E-04	5.2E-03	货包装载吊装	2.7E-02
4	运输沿线公众	1.2E-06	1.0E-02	载货司机	9.0E-01
	服务区工作人员	3.7E-04	3.7E-02	押运人员 ¹⁾	9.1E-01
	收费站工作人员	1.5E-04	1.0E-02	货包装载吊装	3.9E-03

注:1) 此处的押运人员指司机兼押运员,在运输过程中参与的活动有:行驶过程+安全保卫时间+货包栓系+监测过程。

4 运输工作人员剂量实测结果

根据某运输公司提供的资料,该公司 5 名运输工作人员年剂量监测结果见表 5。

表 5 某运输公司运输工作人员个人剂量实测结果

序号	年剂量(mSv)	运输次数(次)	单次运输所受剂量(mSv)
1	0.78	59	0.03
2	1.34	50	0.05
3	0.75	20	0.09
4	0.63	62	0.03
5	0.47	63	0.02

由表 5 可见,实际运输过程中,工作人员的单次运输所受剂量人均约为 0.09 mSv,低于剂量估算结果单次运输所受剂量。

5 结果与讨论

用 RADTRAN4 程序估算我国工业用⁶⁰Co 放射源运输对工作人员和居民的辐射影响时,在正常运输情况下,无论是工作人员还是公众所受剂量均低于其剂量约束值(工作人员剂量约束值为 5 mSv/a,公众剂量约束值为 0.02 mSv/a)。事故情况下,工作人员及公众所受剂量低于事故情况下对事故处理人员和公众的剂量控制值(工作人员剂量控制值为 5 mSv/a,公众剂量约束值为 1 mSv/a)。结合运输工作人员剂量监测结果,该程序估算方法对工作人员剂量估算值高于实际测量值。其原因主要有以下几方面:①采

用 RADTRAN4 程序估算我国工业用⁶⁰Co 放射源运输对工作人员及公众剂量时,计算模式及选取的参数较保守;②实际运输过程中,路线的选取与剂量估算时选取的路线有所不同,导致运输时间有所不同。

因此,在剂量估算时,应尽量采用实际路况调查的相关数据,在剂量估算的输入参数数值的获取和确定方面尚有待进一步研究。

为了准确获得运输工作人员的个人剂量数据,运输单位应加强个人剂量管理,将根据个人剂量监测结果及运输任务情况,合理安排工作人员的参运时间、参运次数,适时增加工作人员数量,采用工作人员轮班制度并严格执行,控制司机兼押运人员的受照剂量,保护工作人员安全,为了减少放射性物质运输活动对公众造成的辐射影响和心理影响,应尽量避免运输事故。同时,相关管理部门应加强对具有运输资质的单位进行监督管理。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院令 第 562 号. 放射性物品运输安全管理条例[S]. 2009.
- [2] 中华人民共和国环境保护部令 第 11 号. 放射性物品运输安全许可管理办法[S]. 2010.
- [3] 汪佳明. RADTRAN4 程序的移植和应用[J]. 辐射防护, 1994, 14(1): 68-70.
- [4] 邓戈. 《INTERTRAN》程序在 VAX-II 机上的开发[J]. 辐射防护通讯, 1991, 11(1): 28.

(收稿日期: 2013-03-19)