

核安全文化宣贯推进专项行动系列教材之三

核技术利用辐射事故（事件）

典型案例剖析

环境保护部（国家核安全局）

2014年11月

序

为贯彻习近平总书记“理性、协调、并进”的新核安全观，落实核与辐射安全工作新要求，应对核与辐射安全形势新挑战，强化核与辐射安全从业者法规意识，加强核安全文化建设，进一步提升我国核与辐射安全水平，实现核与辐射安全监管能力和监管体系现代化。环境保护部（国家核安全局）于2014年8月开始组织开展为期一年的“核安全文化宣贯推进专项行动”，按照核安全文化宣贯推进专项行动总体方案的安排部署，国家核安全局计划对核与辐射从业人员组织一次大规模的核与辐射安全法规宣贯活动，做到两个“全覆盖”，即覆盖全体持证单位和所有持证的骨干人员；同时做到两个“零容忍”，即对隐瞒虚报零容忍，对违规操作零容忍；切实提高所有从业人员5种意识，即忧患、责任、诚信、敬畏及守法意识，使核与辐射从业人员学法、知法、用法、守法。

宣贯内容的核心是核与辐射安全法规及核安全文化基本要求，重点针对弄虚作假和违规操作行为。针对不同单位、不同岗位人员情况应体现不同的核安全要求。要克服传统法规宣贯的不足，通过案例剖析进行宣贯，以案例说法，发现问题，给出启示，并明确核安全要求，包括现行法规及主要监管法律制度。从业者必须遵守的相关规定，从业者必须履行的核安全法律义务，违反法律法规所应承担的法律责任。

按照总体方案的要求，核三司组织编制核技术利用辐射事故/事件的典型案例剖析教材，以及经验反馈与法规汇编辅导材料等。接到

任务后，核与辐射安全中心立即组织成立本教材编制课题组，认真学习了李干杰副部长有关讲话精神，认真研究了总体方案。在此基础上研究讨论了教材主要内容和格式，组织资料收集、案例编写工作。

本教材收集、汇编了五方面的十四个较为典型的辐射事故案例，并进行了剖析。其中第一章由陈栋梁、王晓涛整理编写，第二章由王晓涛、周晓剑整理编写，第三章由党磊、彭慧整理编写，第四章由周晓剑、彭建亮整理编写，第五章由陈栋梁、党磊整理编写，第六章由彭建亮、周晓剑编写，全书由陈栋梁、王晓涛进行通稿。核三司核技术利用处为本教材的编写提供了大力指导，教材编制完成后，编写组组织了业界多位专家进行审定，在此一并表示感谢。由于时间有限、涉及内容较多，难免存在不足之处，希望读者多提宝贵意见。

此教材是内部资料，仅作为核安全文化宣贯推进专项行动教材使用。

环境保护部（国家核安全局）

二〇一四年十一月

目 录

| | |
|--|-----------|
| 一、辐照行业典型案例剖析 | 1 |
| 1 山西忻州辐射事故 | 1 |
| 2 山东济宁某辐照厂人员受超剂量照射事故 | 6 |
| 3 山西省农科院工作人员超剂量受照事故 | 9 |
| 4 河南省杞县某辐照装置卡源事件 | 12 |
| 二、工业 γ 探伤典型案例剖析 | 18 |
| 1 黑龙江哈尔滨 γ 探伤放射源失控致人员受照事故 | 18 |
| 2 安徽非专用车辆运输探伤机致放射源丢失事故 | 22 |
| 3 江苏南京 γ 探伤放射源丢失致人员受照事故 | 25 |
| 三、放射源丢失被盗和测井卡源典型案例剖析 | 31 |
| 1 重庆南川放射源被盗后转卖废品收购站事故 | 31 |
| 2 陕西富县石油测井放射源落井事故 | 33 |
| 四、医疗辐射事故典型案例剖析 | 37 |
| 1 湖北某医院钴-60 治疗机放射源脱落导致过量治疗事故 | 37 |
| 2 江苏某肿瘤防治研究所违章操作医用加速器致人员受照事故 | 39 |
| 3 黑龙江某医科大学附属肿瘤医院工作人员受超剂量照射事故 | 41 |
| 五、放射性污染典型事件剖析 | 43 |
| 1 废旧金属放射性污染事件案例 | 43 |
| 2 重庆市后装治疗放射源引起的放射性污染事件 | 46 |
| 六、事故（事件）剖析与小结 | 49 |
| 1 事故（事件）后果分析 | 49 |
| 2 事故（事件）原因分析 | 50 |
| 3 建议 | 51 |
| 4 结束语 | 52 |

一、辐照行业典型案例剖析

1 山西忻州辐射事故

山西忻州辐射事故是发生在 1992 年 11 月山西省忻州地区某监测站院内的一起退役钴-60 放射源失控导致公众死伤多人的重大辐射事故。事故造成 3 人死亡，多人受到超剂量辐射照射。

1.1 事故经过

1973 年原忻州地区行署科技局为了培养良种，筹建了钴-60 辐照装置，并从上海引进钴-60 放射源，使用一段时期后闲置不用。1980 年，忻州地区科委另建新址，将地区科委原建筑小红楼产权划归属忻州地区某监测站，待钴-60 迁走后，全部建筑物移交忻州地区某监测站。

1991 年，忻州地区某监测站因扩建需使用忻州地区科委的照射室场址。山西省辐射站建有城市放射性废物库，是忻州科委废源的合理去处。由于钴源的强度较大，山西省辐射站请中国辐射防护研究院的两位专业人员参加收贮。收取放射源之前，地区环监测站，忻州科委，山西省辐射站，和中国辐射防护研究院相关人员到忻州钴源房查看现场，并讨论收贮方案。当中国辐射防护研究院专业人员韩某问到有几枚放射源时，忻州科委的贺某回答为 4 枚。在将放射源从不锈钢管倒到白瓷盘里时，发现是 5 枚源。即问贺某怎么回事，贺某说有一枚是铅堵头。负责倒装源的人将 4 枚放射源和“一个铅堵头”全部倒装到了铅罐中。

1992 年 10 月 27 日，开始基建施工，承建单位为省建五公司某处，雇用了忻州市附近的民工进行挖掘地基等工程。据民工张某证实，11 月 9 日上午 9 时许，民工张某昌在钴-60 放射源井外东北侧拾到一圆柱形钢体装入身穿的皮夹克口袋内。大约 11 时感到头晕、恶心、呕吐，不能继续劳动，由同事董某将其送回南关家中。下午，其兄张某双等人陪同张某昌到地区医院就诊。张某双在陪侍张某昌的第四天也发病住院，两兄弟的症状体征基本相同。

11 月 26 日，张某昌，张某双病情进一步恶化，下午转入山西医学院第一附属医院（山医一院）继续治疗，医治无效，张某昌于 12 月 2 日出院回到家中死亡。陪侍的张某双于 12 月 7 日也在家中死亡。其父张某亮一直陪侍两个儿子看

病也相继发病，于 12 月 10 日死亡。张某昌之妻张某于 12 月 17 日到北京医科大学第二人民医院（北医大人民医院）就诊，诊断为放射病。经中辐院根据受照条件，对张某昌、张某双、张某亮估算了受照剂量，张某昌为 44Gy，张某双为 8.9Gy，张某亮为 8.1Gy。

1992 年 12 月 31 日，得知张某住北医大人民医院，诊断为急性放射病。省卫生厅成立了事故调查组，抽调 5 名专业技术人员赴忻州追寻放射源。1992 年 12 月 31 日-1993 年 2 月 3 日，组织专业技术人员曾先后 8 次对死者住地、火葬场、坟地、周围环境及钴源辐照室源井旧址等可疑地方进行了全面监测，均未找到放射源。

从张某昌的岳父张某处了解到，其在山医一院陪侍张某昌时，曾看见从张某昌的皮夹克衣袋中掉出一个“铁疙瘩”。另据山西医学院一位学生提供，1992 年 11 月 26 日晚，在急诊室给张某昌检查诊断中，发现从张某昌皮夹克右侧兜里掉出一个褐色圆柱金属体，病人家属拾起，问张某昌有没有用，张当时摇了摇头，于是家属就把那个金属体扔到废纸篓里了。为此，省卫生厅组织省防疫站有关技术人员，对山医一院所有垃圾堆、急诊室、传染科、厕所和山医一院垃圾站到市垃圾场沿途等可疑地点进行了监测，均为本底水平。从 1993 年 1 月 6 日到 2 月 1 日，组织有关技术人员 6 次对民工倒垃圾现场和东山 50 米深的大沟内垃圾进行监测。经反复做倒垃圾工人的工作，最后倒垃圾工人翟某终于承认，从 1992 年 11 月 26 日后，他将山医一院的垃圾倒在晋祠公路旁的田地里。2 月 1 日下午，省卫生厅技术人员携带仪器在晋祠公路南屯村以南发现了钴-60 放射源。由卫生厅与省公安厅联系，对现场进行了警戒。同时与中辐院联系，请该院制定收源方案。经过 40 多分钟的紧张工作，将放射源挖出倒在指定位置上，源回收装入铅罐，运到中辐院废物库暂存，并经中辐院和省防疫站在收源的地方进行了监测，未再发现辐射水平升高现象。

1.2 事故处理

为了查清忻州辐射事故的真实情况，须对忻州地区科委所有放射源的数量、活度、尺寸、几何形状以及省辐射环境管理站到底收贮了几个放射源进行鉴定。

省卫生厅组织召开了有省卫生、公安、环保、科委有关领导参加的会议，研究部署了将放射源运往北京，委托中国原子能科学研究院同位素所进行鉴定有等事宜，并决定由卫生厅、公安厅、环保局、科委和中辐院派人员到现场监察鉴定工作。放射源运到同位素所后，1993年4月7日组织专家进行了鉴定，其结果为：1号放射源即肇事放射源，活度为466.2GBq(12.6Ci)、尺寸为26mm×27mm、圆柱形、颜色较暗、焊口平滑。2-6号即从忻州科委钴-60室收贮的5个，均为圆柱形、表面略带水锈，有光泽，其中4个是放射源，1个确是没有放射性（“假源”）。

1.3 事故后果

事故造成3人相继死亡和多人受照致病的严重后果。11月19日张某昌发病，后来陪侍人张某双、张某亮也发病先后进行抢救治疗无效，相继在家中死亡。魏某于11月19-23日在地区医院急诊室与张某昌同住观察室治疗而受到照射，于1993年1月12日到北医大人民医院住院治疗。张某母女在中辐院附属医院及北医大人民医院检查住院治疗三次。

这次事故发生后，有关部门和单位对放射事故开展了生物剂量估算及血象分析。按受照剂量大小将受照人员分为七类，见下表。

表1 受照剂量当量情况（引用资料）

| H_E 表示人体的有效剂量当量,Gy | |
|----------------------|-------|
| $H_E > 1$ | 5 人 |
| $0.5 < H_E < 1$ | 3 人 |
| $0.25 < H_E < 0.5$ | 7 人 |
| $0.1 < H_E < 0.25$ | 25 人 |
| $0.05 < H_E < 0.1$ | 28 人 |
| $0.01 < H_E < 0.05$ | 58 人 |
| $0.005 < H_E < 0.01$ | 16 人 |
| 共计 | 142 人 |

1997年10月9日，忻州地区中级人民法院下达终审刑事判决书，纠正了曾

于 1994 年 11 月 28 日忻州市人民法院的错误判决。法院查明：忻州科委作为钴-60 放射源的拥有者，自 1973 年购进放射源至停止使用 18 年间，没有办理登记、许可、注销、退役手续，也没有建卡立簿，资料缺乏妥善保存，以致钴-60 放射源处于无账目、无档案、底数不清的状况。在法庭上，无人拿出证据证明那只肇事源何时丢失，当然也无法证明肇事源是在倒装时被失落。终审刑事判决贺某 2 年有期徒刑，判陈某、韩某、白某、卜某和李某无罪。

1.4 事故原因分析

本起事故的肇事钴源何时失控及如何失控至今还不很清楚。造成该事故的直接原因有：一是收源操作人员工作不严谨。当放射源从不锈钢管倒到白瓷盘里时，发现放射源数目与科委报告的不符，只有口头质疑和询问，没有用文字记载放射源数目的变更情况。二是放射源倒装、收贮过程中，操作规程不规范。倒装放射源期间有专人照相，放射源从不锈钢管倒到白瓷盘里时，在储源井边上的人员都清楚地看到了 5 枚源，事后得知，负责照相的人听说放射源倒出来了，因害怕放射性，使这一张关键照片没有拍下来。

事故的根本原因：一是地区科委作为钴源所有权的单位，在移交过程中，对房屋移交以及迁源手续的办理检查不严，对钴源管理不严，账目不清。二是放射源送贮前没有办理注销许可登记、申请退役和相关评价，就实施倒装、收贮。三是贺某身为放射源的专职管理人员，工作失职，对放射源实际数目掌握不准。四是在倒装、收贮时，未通知所有相关人员到场监督。

1.5 经验教训

忻州放射源事故后果是惨痛的，教训是多方面的。

(1) 放射源使用单位，从事放射源倒装、收贮单位，都应重视辐射防护及安全工作，增强法制意识，认真执行国家相关法规、规章。放射源的拥有者应严格遵循相关管理要求，建立完善的管理规章制度，务必使放射源时时处处处于有效监控之下。

(2) 从事放射源使用与安全管理工作，要提高专业技术人员的基本专业知识，树立认真负责的工作精神及严谨的工作方法和实事求是的科学态度。

(3) 从事与放射源安全相关的工作，要仔细严谨，避免失误，确保安全。倒装放射源是一项技术性、专业性强的工作，需制定周密工作计划，工作人员须经过专业培训和实际操作训练后方可从事此工作。

(4) 医务人员缺乏放射病诊断治疗的基本知识。在这起事故中，所发生的放射病临床症状典型，但在太原、北京部分医院及地区医院住院治疗，都未能确诊，最后专业机构才确诊为急性放射病。

(5) 须普及核与辐射安全文化。按照安全文化的理念，在核与辐射领域出了安全问题，首先应是查找和分析问题的原因，而不是在情况不明时追究人员责任，更不应先抓人逼供。第一时间追究责任不利于查找和分析真正原因，也难以使“失败变为成功之母”。忻州事故先抓人，在高压下取证，不符合安全文化的理念。在事故处理中部分人存在一种狭隘的偏见，在涉及到人命关天的重大问题上，这种偏见对事件的分析和处理会产生干扰，甚至酿成冤案。

(6) 监管部门须依据按照法律、法规进一步加强对放射源的安全管理，强化辐射安全防护监督检查，宣传并普及防护知识和安全文化。

2 山东济宁某辐照厂人员受超剂量照射事故

2.1 事故经过

山东省济宁市某辐照厂是一家民营企业，其静态堆码式钴-60 辐照装置（设计装源活度 30 万 Ci，事故时活度约 3.8 万 Ci），建于上世纪 90 年代，用于辐射加工大蒜、圆葱、中药和医疗器具等。辐照室规模较小，主屏蔽材料为石材及土砖等，设备设施十分简陋，后来自行改造加装了货物自动输送系统。

2004 年 10 月 21 日 17 时，由于该辐照装置的铁网门安全联锁、降源限位开关、踏板降源装置、三道防人误入光电联锁、拉线开关等安全联锁系统全部失灵，放射源未能正常回落到井下安全位置，该辐照厂两名工作人员在未携带辐射监测仪器及个人剂量报警仪的情况下，通过迷道（与货物输送同一通道）进入辐照室，查看装有脱水蔬菜的货架是否到位。两人在辐照室距放射源约 0.8-1.7m 距离内整理和摆放货物，10 分钟左右感觉有些不舒服，便跑出辐照室，进控制室观察发现放射源在升起位置，随即降源到安全位置，之后不久出现呕吐症状。

事故发生后，该单位立即将两人送往县医院就治，于 22 日 6 时 30 分将两人送往山东省疾病预防控制中心，之后转入省立医院诊治，23 日下午又将两人送往北京 307 医院接受治疗，最终治疗无效身亡。



图 1 静态辐照时人员通过门（左箭头），事发时人员进入途径（右箭头）

2.2 事故处理

10 月 22 日 12 时 40 分，山东省环保局接到济宁市环保局事故报告后，立即启动辐射事故应急预案，与当地有关部门展开事故现场调查，在确认放射源已安全归位的前提下，对该厂辐照室进行了查封，责令其停止辐照室的使用。

事故发生后，省辐射环境管理站对辐射室外传送轨道附近、控制室内、仓库、辐照室及周围环境进行了 γ 剂量水平监测，监测结果为本底水平，未对辐照室和周围环境造成辐射污染。

山东省环保局在全省范围内对此次事故责任单位及其负责人进行了通报；责成当地政府对事故责任单位下达停产整顿的决定，并在其停产期间加强放射源管理，防止放射源的转移和丢失。要求事故单位恢复生产时，须向国家环保总局重新申请许可证；当地环保部门对事故责任单位给予 10 万元的罚款。

国家环境保护总局要求该辐照厂在 2007 年 12 月 31 日前完成辐照装置的退役工作，在放射源送贮前不得擅自启动辐照装置。事后，中核清原环境技术工程有限责任公司收贮了辐照装置放射源。该辐照厂在监督下排放井水，并对场所进行了退役监测。

2.3 事故后果

该辐照厂两名工作人员前后受照时间达 10 分钟左右，受照人员距离放射源约 0.8-1.7m，受照剂量约 8-12Gy，其中受照人员初期全身红肿、口干、腹部疼痛、视物不清，白细胞下降明显。临床分别诊断为轻度肠型放射病和重度骨型放射病。虽经多方抢救，终因受照剂量过大，病情过重，两人分别于 2004 年 11 月 23 日和 2005 年 1 月 4 日医治无效死亡。

根据现场的监测结果，厂区周围的 γ 剂量率在(6-15)E-8Gy/h 之间，为该地区的自然放射性水平，未造成辐射污染。

2.4 事故原因分析

本起事故的直接原因是：

(1) 工作人员违反安全操作规程，在辐照装置未降源、未携带辐射监测仪器和个人剂量报警仪的情况下进入辐照室。

(2) 辐照室的铁网门安全联锁、降源限位开关、踏板降源装置、三道防人误入光电联锁、拉线开关等安全联锁系统失灵，放射源未能正常回落至井下安全位置，辐照装置处于“带病”工作状态。

本起事故的根本原因：

(1) 该辐照装置建于上世纪 90 年代初，后又自行改造，设计不规范，设备简陋，没有达到国家标准的相关安全要求。

(2) 该单位管理混乱，规章制度和操作规程不健全；辐照装置控制室门锁破损，无专人管理，人员可以随意进出；辐照装置安全设施未进行必要的维修维护工作，必要的安全设施失效，致使人员受照。

(3) 辐照装置操作人员缺乏必要的防护知识和安全意识，进入辐照室未携带辐射监测仪器及个人剂量报警仪，违规操作。

2.5 经验教训

(1) 辐照装置的设计、建造（包括改造）必须严格遵守国家相关的法规标准要求，确保其固有安全性，并经安全评价及监管机构的审批确认，严禁私自建设和改造。

(2) 辐照装置运营单位应严格遵守国家有关法规要求，建立健全辐射安全管理制度和安全规程，落实安全责任，加强安全管理，确保辐射工作人员按章操作，做好辐射安全和防护工作。

(3) 辐照装置运营单位应对辐照装置及其安全设施进行定期的维修维护，保证各项安全连锁系统和安全设施的有效性。

(4) 辐照装置运营单位应加强安全文化建设，做好辐射工作人员安全和防护培训工作，增强安全和防护意识和能力，严禁未经相关培训的无资质人员上岗操作。

3 山西省农科院工作人员超剂量受照事故

3.1 事故经过

山西省农科院某辐照科技开发有限公司有两座钴-60 辐照装置，一旧一新。发生事故的旧辐照装置建于 1975 年，设计装源活度 2 万 Ci，新装置建于 2005 年，设计装源活度 20 万 Ci。旧辐照装置于 1975 年~2003 年分 6 个批次了加装 52 枚钴-60 放射源，事故发生时在用放射源活度约 1.7 万 Ci。

山西省环保局对该公司进行执法检查后发现旧辐照装置缺少最基本的安全联锁设施，具有重大安全隐患，先后于 2005 年、2007 年两次责令该公司关停旧辐照装置，并尽快送贮该装置到达使用寿命期的放射源。国家环保总局也于 2007 年 6 月对该公司辐照装置进行了现场检查，要求该公司完成旧辐照装置退役和废旧放射源的送贮工作。该单位该公司也每次向环保部门承诺停用具有重大安全隐患的旧辐照装置并按要求尽快完成放射源送贮和装置退役工作，但并未履行承诺，多次擅自启用责令关停的旧辐照装置。



图 2 辐照室安全设施情况（辐照室门采用挂锁，无与放射源提升系统联锁措施；迷道内无防人误入光电联锁，辐照室内唯一的紧急降源按钮早已损坏）

2008 年 4 月 11 日下午 13 时左右，该公司员工郭某某、姚某某等 5 人再次进入已被环保部门责令关停的旧辐照装置作业，在未进行安全检查的情况下，5 名工作人员携带不能正常工作的 FD-71 辐射检测仪进入未降源的辐照室，且未佩戴个人剂量报警仪。工作约 20 分钟后，姚某某发现放射源提升钢丝绳绷紧，判断辐照装置未降源，立即通知辐照室内工作人员撤离，并将放射源降至水井，后向该公司负责人报告情况。



图 3 监测及防护仪器情况(辐照室门口无检验源,FD-71 便携式辐射检测仪不能正常工作,人员未配带个人剂量报警仪)

3.2 事故处理

事故发生后,山西省环保厅接到该公司负责人的报告后,立即向山西省政府和环保部报告,并启动应急预案,派出两个工作组赶赴现场调查处理,其中一组负责事故辐照装置处理,查封了该公司运行的两座辐照装置,防止二次事故发生;另外一组监督和协助公司对受照的 5 名工作人员进行医疗救治。

4 月 11 日下午 15 时前,受照人员被送往中国辐射防护研究院医院进行初期诊断和治疗。由于受照人员受照后不同程度地出现了头晕、恶心、呕吐等症状,根据医院的建议和省环保厅的要求,农科院立即联系太原机场送病人赴北京救治。因当天飞往北京的航班已满,后联系直升机,但考虑在直升机上不能连续对病人救治而放弃,其后由当地急救中心调遣 5 辆急救车,将 5 名受照人员送往北京 307 医院救治,并于 4 月 12 日凌晨抵达北京 307 医院。

事故发生后,由山西省监察厅牵头、省环保厅参加的专案组对事故及相关责任人进行了调查、处理,事故装置被查封并于 2009 年完成了放射源送贮和辐照装置退役工作。

3.3 事故后果

事故直接造成了工作人员超剂量受照。经检测分析,5 名人员受到的生物剂量分别为 14Gy、3.5Gy、2.8Gy、2.2Gy 和 1Gy。5 人经全力救治,3 人幸存,2 人先后死亡。

3.4 事故原因分析

事故的直接原因:

(1) 该公司拒不遵守环保部门的监督执法要求，擅自启用已责令关停、存在严重安全隐患的辐照装置。

(2) 该公司辐照装置工作人员违规操作，安全意识淡漠，未进行安全检查，携带不能正常工作的辐射检测仪进入未降源的辐照室，且未佩戴个人剂量报警仪，致使发生“人源见面”事故。

事故发生的根本原因：

(1) 该公司旧辐照装置设计、建造不符合国家标准，缺少最基本的安全联锁装置和安全措施，存在严重的安全隐患。

(2) 该公司法人及安全负责人守法意识及安全观念淡漠，安全文化缺失，拒不遵守环保部门的监督执法要求，未按要求及时完成旧辐照装置退役和放射源送贮工作，片面追求经济利益，暗中启用已责令封停、存在严重安全隐患的辐照装置。

(3) 该公司辐射工作人员防护知识和安全意识匮乏，违规操作。

3.5 经验教训

(1) 辐照装置所用的放射源属于高危险放射源，其设计、建造和使用必须严格遵守相关的法规标准要求，其安全设施和措施必须满足冗余性、多元性、独立性和纵深防御要求。

(2) 绝大部分上世纪 90 年代以前建造的小型辐照装置，其安全措施不符合冗余性、多元性、独立性和纵深防御的安全要求，应按照国家标准的要求，严查事故隐患，加快完成整改或强制退役的步伐。

(3) 辐照装置运营单位应加强守法意识，建立健全辐射安全管理制度，明确安全责任，强化人员培训，完善内部管理。

4 河南省杞县某辐照装置卡源事件

4.1 事件经过与处理

河南省杞县某辐照厂有静态堆码式辐照装置 1 座，始建于 1997 年，设计装源量为 30 万居里，卡源事件发生时的放射源活度约 14 万居里。该厂主要从事辐射消毒灭菌和辐射加工工作。2009 年 6 月 7 日，该辐照厂在环境保护部华北核与辐射安全监督站要求限期整改的情况下，为追求经济利益，突击作业。因被辐照的货物（辣椒粉）堆放不合理，堆码过高，发生大面积倒塌，造成放射源护源罩倾斜，致使放射源不能降入源井内，发生了卡源故障。



图 4 被辣椒粉压倒的护源罩，以及周围燃烧后的辣椒粉

6 月 14 日，辐照室内的辣椒粉由于放射源的长时间照射，温度过高，发生冒烟自燃现象。在消防及环保部门采取灌注水等措施后，引燃物于当晚 24 时得到控制。

7 月 10 日以后，国内外一些网站开始传播虚假报道和不实消息，引起当地部分不明真相公众的恐慌。7 月 15 日以后，针对当地部分群众出现恐慌问题，环保部门与当地政府启动了突发公共事件处理程序。环境保护部于 7 月 15 日在多家媒体发布“答记者问”，引导舆论和公众，澄清事实。7 月 17 日，由于谣传钴-60 将于 15:00 爆炸，当地一些群众因缺乏辐射安全知识、听信谣传而恐慌外逃。环保部派出的专家组以及当地党委、政府及时开展多种方式的宣传劝服工作，使外出群众短时间内平安返回。



图 5 杞县卡源事件导致群众大规模逃离

公众恐慌事件发生后，党中央、国务院领导对此高度重视，并对事件处理做出重要批示。为安全稳妥处置卡源事件，环保部周生贤部长、李干杰副部长直接指挥，并要求科学决策，精心组织，确保社会稳定，务求圆满解决。李干杰副部长亲临现场视察指导，核安全司刘华司长多次赴现场指导工作。环保部一方面协调、督促“机器人”降源方案加快实施进度，另一方面组织制定了备用方案，力争一次性处置成功。地方政府制定了公共宣传和信息发布计划。环境保护部门定期开展环境辐射监测。

8月19日，经周密计划、积极推进，卡源处置工作正式启动。核安全司叶民副司长担任卡源处置前方组总指挥，环保部专家组和监管人员驻现场指导督促处置工作。开封市政府成立了由环保部派出的专家参与的公众宣传工作组，开展多种形式的宣传和科普工作，为降源处置工作提供了宽松的社会环境。由西南科技大学、广西柳工机械股份有限公司、中国工程物理研究院组成的“机器人”降源处置组，首先利用“机器人”清理迷道和辐照室内的障碍物，再由“机器人”将迫降钢丝绳传入辐照室，将特制挂钩与迫降钢丝绳连接在一起，挂至护源罩顶部。8月24日晚，在专家组的指导下，处置组缓慢拉动钢丝绳，逐步减小护源罩倾斜角度，被卡的放射源安全降落至贮存井内。至此，历时79天的卡源事件得到根本解决。

整个事件进展过程见图 1.5。

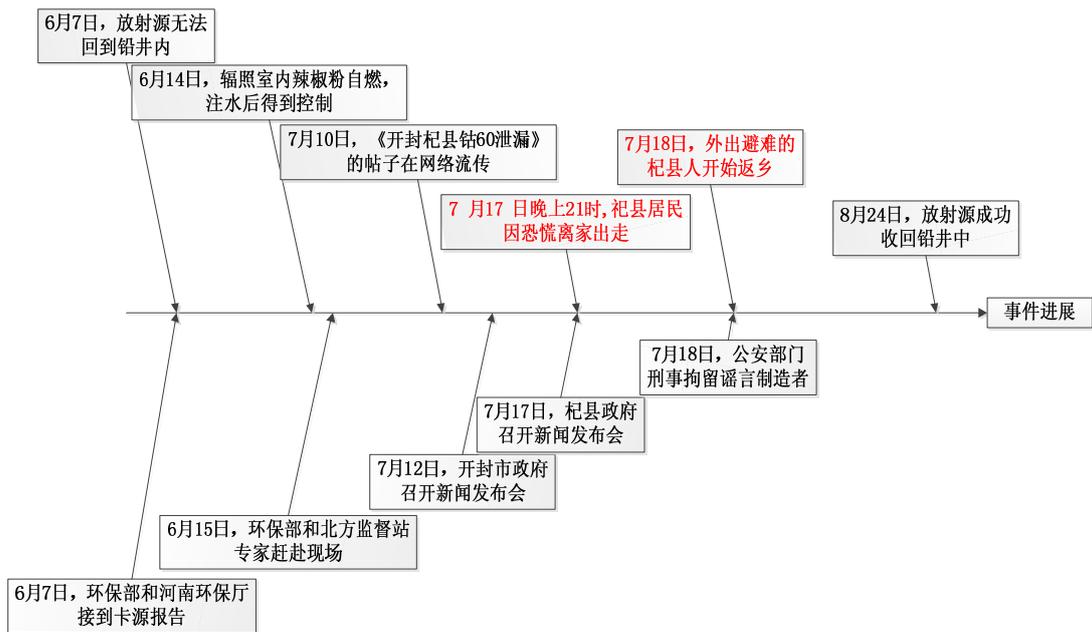


图 6 杞县卡源事件进展



图 7 李干杰副部长现场指导工作



图 8 核安全司司长刘华同志现场指导工作

4.2 事件后果

此次卡源事件具有“非事故级别、次生后果大、舆论影响广、历经时间长”等特点。事件本身没有发生放射性泄露、没有发生放射性环境污染、没有人员受到超剂量限值照射、更没有人员因辐射受到健康伤害。但卡源事件处理持续时间长，因网络造谣引起的舆论影响很大，涉及人员多、还导致了大批居民逃离迁移的不良后果。

4.3 事件原因分析

事件的直接原因：

(1) 业主在监管部门要求限期整改的情况下，为片面追求经济利益，不顾安全隐患，突击进行辐照加工。

(2) 业主单位违规操作，忽视了安全管理，码放货物过高，且堆放方式不合理、不稳，加之护源罩的固定铆钉已松动，导致货物倒塌后压倒护源罩，致使放射源无法正常回到贮源水井中，加上接受辐照的辣椒粉由于放射源的长时间照射，温度过高容易发生自燃现象。

(3) 卡源事件演变导致为一个公众恐慌事件，直接原因是由于一些网络谣言和不实信息的传播，引发了一些不明真相群众的恐慌，导致人员大量外逃。

事件的根本原因：

(1) 该辐照装置是早期业主委托个人设计，装置设计、建造不规范，运行时间较长，设备老化、护源罩固定措施不牢固，检修更新不及时。

(2) 企业管理人员文化素质较低，安全知识匮乏，安全观念淡漠；企业缺乏专业技术人员，没有能力应对运营中出现的各类技术问题。卡源故障发生后，业主单位束手无策，不知道怎样排除故障，也不知道该找谁来处理。

(3) 卡源事件演变成一个公众恐慌事件，直接原因虽是由于一些网站的虚假报道和不实信息传播，引起了一些不明真相群众的恐慌外逃，但根本原因却是我国长期以来缺乏对核与辐射安全文化的培植，公众核与辐射知识匮乏，对核与辐射的极度敏感，导致恐慌情绪蔓延；另外，相关部门早期未能及时公开有关信息，针对网络谣言和媒体的不科学言论没有采取及时的关注和引导，给不实言论的传播和公众恐慌情绪的滋长留下了时间，这也是造成此次公众性事件的原因之一。

4.4 经验教训

辐照装置卡源事件本身属于纯技术问题，不存在人员受照和环境污染的问题，算不上辐射事故，但最终演变成公众恐慌的社会问题，这一方面表明了核与辐射安全问题具有高度的社会敏感性，另一方面也反映出部分辐照装置在其固有安全性、设计建造、运营管理以及事件处置的信息公开、舆情引导等方面需要进一步加强和改进之处。

(1) 辐照装置运营单位须严格按照法规标准要求，建立健全辐射安全管理制度，加强辐射安全管理，规范操作和运行。

从 2009 年全国发生的几起卡源事件来看，固然有装置设计不规范、固有安全性不够的问题，但直接引发故障的，都是违规操作。如杞县辐照厂未按法规标准要求定期对设备进行维修维护，不按监管部门要求限期完成整改，为追求经济利益突击作业，违规码放辐照货物，导致卡源故障发生。

(2) 需进一步提高辐照装置的固有安全性，规范辐照装置的设计和运营管理工作。

鉴于 2009 年全国发生的几起卡源事件，环境保护部先后发布了《关于开展辐照装置卡源故障专项整治工作的通知》（环办函[2009]1277 号）和《辐照装置卡源故障专项整治技术要求（试行）》（环办函[2010]662 号）两份文件，要求各辐照装置运营单位查找安全隐患，开展辐照装置卡源故障专项整治工作，并对其专项整治工作予以检查验收。该项工作成效显著，极大地提升了全国辐照装置在防止卡源方面的固有安全性，同时也提升了卡源事件的后续处理能力，消除或减少了安全隐患。

为进一步规范辐照装置的设计及运营管理工作，减少事故隐患，环境保护部还发布了《关于加强 γ 辐照装置设计单位监督管理的通知》（环函[2010]76 号）和《关于加强 γ 辐照装置退役管理工作的通知》（环办函[2011]1150 号）等管理文件，明确辐照装置设计单位的能力、资质和责任，鼓励辐照行业产业升级，督促老旧辐照装置退役，提高行业准入门槛，严格控制小装源量和静态装置的审批。目前，我国已经有 50 座左右的老旧辐照装置完成了废源送贮和装置退役验收工作，同时新建了一批采用先进设计技术、符合新标准规范的 200 万 Ci 以上设计装源容量的大型辐照装置，我国辐照装置的总体安全水平得到明显提升。

(3) 信息公开和事件处理能力有待进一步加强。

杞县卡源事件处置中未能在第一时间公开信息，致使网络谣言有机可乘，误导了公众，造成公众恐慌，导致了群体事件。后通过电视媒体滚动放映科普宣传片、权威专家现身说法、发布监测数据、公布处置信息等措施，消除了群众的恐慌心理。及时发现并防止核与辐射安全社会群体事件的发生，要充分重视核与辐射安全舆情处置与引导工作。

（4）加强科普知识宣传，科学引导舆论导向。

我国虽然很早就开展了核能及核技术利用工作，但长期以来对核与辐射安全文化的宣传和培育不足，公众对于核与辐射极度敏感，一些地方人员和媒体缺乏对相关知识的了解，谈核色变，在事故发生时不仅没能合理地进行舆情引导，反而发布了一些不科学的言论，误导了公众，甚至影响了社会稳定。当然在此次事件处理后期，形式多样公宣工作的开展、针对性的舆情引导对事件的平息起到了至关重要的作用。特别是广州番禺辐照装置卡源事件充分汲取了杞县卡源事件的经验教训，当地政府部门及时向公众通报卡源事件信息和事件处理情况，有效地引导了舆论导向，消除了公众的担忧，为卡源事件处置创造了良好的社会舆论环境，避免了类似杞县的情况发生。

（5）事件应急响应

由于辐照装置卡源事件不存在人员受照和环境污染的情况，仅影响辐照装置单位的正常生产，按照我国现行的法规和管理要求，构不成辐射事故的等级，通常不启动地方政府和监管部门的应急响应程序。环境保护主管部门首先要督促事发单位采取安全可靠的措施，在确保排障人员和环境安全的前提下解除装置故障，使放射源返回安全贮存位置即可，然后再要求辐照装置运营单位根据事件发生的原因进行设施硬件或安全管理上的整改，防止此类事件再次发生。

二、工业 γ 探伤典型案例剖析

1 黑龙江哈尔滨 γ 探伤放射源失控致人员受照事故

1.1 事故经过

2005 年 7 月 13 日，哈尔滨市道里区建国北头道街 8 号 3 楼居民徐某某到黑龙江省辐射环境监督站（以下简称省辐射站）反映，自己的母亲因不明原因生病住院，其 12 岁女儿也因出现手红肿、疼痛、脱皮等症状住进医院，医生根据病情，初步诊断二人为“骨髓造血受抑症”，并怀疑病人可能接触过放射源。因此，徐某某请求对其住宅进行放射性监测。

省辐射站立即派出工作人员对徐某某家三处住所及周边环境进行了监测。上午 11 时，工作人员在徐某某位于哈尔滨市道里区建国北头道街 8 号 3 楼住所阳台外侧下方监测到 γ 辐射剂量率为 $320\mu\text{R}/\text{h}$ ，并判断其来自楼下。通过拉网式监测，最终确认高辐射水平来自于搭建在 8 号楼旁的一间简易平房。省辐射站和哈尔滨市辐射站随即启动辐射事故应急预案，并通知省卫生厅监管部门和小区派出所干警赶赴现场。

该简易平房户主白某某，对进户搜查不予配合，在小区派出所民警的强制监督下才打开房门。监管人员身穿防护服对现场进行巡测，逐步缩小监测范围，最终锁定室内书架下一堆放杂物的角落（约 1 平方米），其 γ 辐射剂量率高达 $20\text{R}/\text{h}$ 。当工作人员讯问白某某是否捡过小铁链或发亮的钢棒等物品时，白某某仔细回忆后确认捡过，遂从书架下拉出一个装满废锁头、废轴承、废铁的塑料袋。塑料袋移出房间后，房间内辐射剂量水平立即下降，遂确认该塑料袋内装有高活度放射性物质。经工作人员仔细清理，从该塑料袋所装杂物中取出一个 $\phi 8\times 80\text{mm}$ 长圆柱形工业 γ 探伤使用的源辫子，当即装入铅罐并运送到黑龙江省放射性废物贮存库。事后工作人员对白某某家及周边环境进行辐射监测，辐射剂量水平恢复到本底范围内。

事故处理期间发现白某某家 9 岁男孩手掌已出现红肿症状。

1.2 事故处理

事故发生后，省环保局、哈尔滨市政府、市环保局、市卫生局等部门高度重

视，及时启动辐射应急预案，科学应对，及时处置，避免事故进一步扩大。

(1) 组织召开了放射性影响区域界定专家论证会，并根据事故现场辐射剂量、住宅结构等情况，将居住或经常路过建国北头道街 8 号楼栋白某某家周围疑似受照的 114 名居民确定为体检观察对象，对 5 名受高剂量照射需要治疗的居民均指定医院对其实施救治。

(2) 省辐射站及时向国家环保总局核安全司请求支援。在核安全司的协调下，中国原子能研究院专家对引发事故的放射性物质进行了鉴定，确认事故放射源为铯-192，属 III 类放射源。源辫子后送贮到中国原子能研究院暂存。

(3) 省辐射站和市环保部门联合哈尔滨市公安局侦查大队，对全省辖区内申报登记的铯-192 探伤源进行逐一检查。为尽快查清放射源的来源，发函至国内生产放射源及源辫子的生产单位，请其提供 2003-2005 年销往黑龙江省的所有铯-192 放射源和源辫子详细名单。国家环保总局核安全司下发《关于协查黑龙江省 7.13 放射源事故的通知》，要求黑龙江、辽宁、吉林三省环保部门协查“7.13”事故放射源。哈尔滨市环保局派人专程赴北京、成都、盘锦、丹东等放射源和探伤设备生产厂家对该类放射源的包壳进行了比对。公安部门对放射源丢失事故进行立案。当事人白某某涉嫌盗窃被公安机关刑事拘留，多次对白某某进行审讯，均说不清该放射源捡来的确切时间、地点、来源。上述措施也未查出“7.13”事故放射源及源辫子生产厂家和使用单位。

1.3 事故后果

(1) 本次事故造成较多公众的恐慌，在群众中产生了不良的心理影响，也在社会产生了不安定的负面影响。

(2) 从事故的发生到处理结束，黑龙江省、哈尔滨市环保部门以及公安部门联合排查企业 128 家，行程上万公里，连续奋战 26 个工作日，向上级政府报告信息 30 多份，经济和人力消耗较大。

(3) 事故造成 6 人入院治疗，其中 1 人后来因年老原因死亡（非受照直接致死），117 名疑似受照人员体检，由于未查出放射源丢失的单位，政府和红十字承担医疗救治费用近 200 多万元，付出了较大的经济代价。

1.4 事故原因分析

本次事故的直接原因是：当事人白某某捡到一个工业 γ 探伤使用的源辫子，误当普通小金属铁链，放置在屋内的角落，对家人及附近居民造成了直接照射。被遗失的放射源归属已无法查明，是“孤儿源”。

事故的发生不是偶然的，有其根本的原因：

(1) 国家虽然对放射源的安全监管有法规上的明确要求，但在监管职能移交的过渡阶段，个别单位还存在使用放射源没有按照法规要求进行申报、放射源使用管理不严、放射源交接检查制度不落实、放射源异地使用不备案、放射源台账不清等违法违规现象。

(2) 放射源使用单位在辐射安全管理方面存在严重漏洞，从单位领导、管理人员到操作工人对放射源丢失造成危害的严重性重视不够，放射源丢失不及时报告。

(3) 在放污法及国务院第 449 号令实施以前，我国没有放射源统一编码的管理制度，导致放射源信息资料不全、事故的调查处理困难、“孤儿源”现象多发等问题，不能对放射源实行有效的全过程监管。

(4) 环保部门负责放射源安全统一监管工作后，当时受条件所限，基层辐射安全监管能力处于起步阶段，机构建设和人员配置不能满足工作的需要，清查放射源还不彻底。

1.5 经验教训

(1) 放射源使用单位应当认真执行国家有关法律、法规，建立健全辐射安全管理制度，并采取有效措施，保证辐射安全管理制度得到有效落实，彻底消除事故隐患。

(2) 要切实加强基层环保部门的辐射安全监管能力建设，树立责任意识，落实管理责任制度，加大日常监督管理力度，严格放射源许可及放射源从摇篮到坟墓的全过程管理。

(3) 加快辐射安全相关法律法规建设，完善现有管理模式，使辐射环境安全管理逐步走上法制化、规范化、科学化的轨道上来。

(4) 政府应采用多种形式，加强法规以及辐射安全和防护知识的宣传，增强放射源使用单位的守法意识，增强公众对放射源的了解，提高辐射安全和防护意识。

2 安徽非专用车辆运输探伤机致放射源丢失事故

2.1 事故经过

安徽华夏某有限责任公司（以下简称“华夏公司”）成立于 1985 年，专业从事压力容器和管道无损监测，辐射安全许可证编号为皖环辐证（00018）号。2013 年 8 月 19 日上午，华夏公司员工赵某某、胡某某、郑某某 3 人因公司放射源专用运输专车不在公司内，临时调用公司一辆银色长安之星微型面包车，携带编号为 10119# γ 射线探伤机，从位于合肥市双凤工业园区内的华夏公司源库出发，前往合肥市燃气公司的合水路高压燃气管线施工现场，对燃气管焊接缝进行探伤。

中午 12 时 50 分左右探伤结束，3 人携带探伤机乘坐面包车返回源库。13 时 10 分左右，在合肥市蒙城北路高速路桥处，3 人发现该面包车后车门打开，靠边停车检查时发现车上装载的 γ 射线探伤机丢失。

此 γ 射线探伤机内含有 1 枚铯-192 放射源，编码为 0413IR001092，2013 年 3 月 3 日由中国原子能研究院生产，事故时活度为 $8.28E+11Bq$ ，为 II 类高危险放射源。华夏公司随即组织人员沿面包车行驶路线找寻，在找寻 2 小时后，依旧没有发现，下午 15 时 25 分向合肥市环保局电话报告。

2.2 事故处理

合肥市环保局接报后，立即向省环保厅、合肥市委、市政府报告，并向合肥市公安部门通报了有关情况，请求协助查找丢失的放射源。省环保厅接到报告后，辐射事故现场处理人员及辐射监测专业技术人员于 17 时携带放射源搜寻设备赶到事发现场，会同合肥市环保局分两路在运源车经过的路线步行查找放射源，同时要求华夏公司在运输放射源的沿途粘贴寻物启示。19 日晚，相关部门组织人员连夜开展摸排和调查工作，并组织召开事故处理协商会，研判事故发展走向，确定下一步处理方案。20 日上午 8 时 30 分，省环保厅召集省公安厅、省卫生厅等相关部门召开辐射事故应急领导小组会议，研究事故处理方案及申请省政府批准启动省级辐射事故应急预案等事宜，并着手准备辐射事故应急新闻发布会，下午 3 时，省环保厅主持召开辐射事故专家论证会，就事故可能演变以及信息公开

进行讨论。

经查，8月19日下午4时，保洁工人陈某某（女）在合肥龙湖路与蒙城北路交口北慢车道绿化带中发现1件金属物，后通知其家人带回位于双墩镇富水村的家中，放置在院内。8月20日，陈某某在其保洁的蒙城北路路段，看到华夏公司寻物启事后，于下午2时40分电话告知华夏公司。合肥市环保局会同华夏公司一同前往其家中，经辨认为其丢失的探伤机。省环保厅立即派辐射监测人员使用谱仪确认，铯-192放射源仍在探伤机内，设备无打开迹象，未见对周边环境及人体健康造成伤害。该放射源随即运回华夏公司源库保管。

事后，合肥市环保局要求暂停华夏公司探伤工作，责令其对违法行为进行整改，并对华夏公司相关违法行为进行立案查处。

2.3 事故后果

丢失的放射源被找回，未对周边环境及人体健康造成伤害。该事故造成了一定程度的社会影响，应急工作人员多人数天调查处理，行政资源与工作日损失较大。

2.4 事故原因分析

（1）直接原因：8月19日华夏公司射线检测组2台放射源运输专车不在公司内，员工赵某某、胡某某、郑某某3人临时调用超声组银色微型面包车运输 γ 射线探伤机。该车辆非放射源运输专车，车上没有固定放射源专用的铅箱，亦未按照《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2004）第6.14.4.3款的规定，对探伤机采取临时固定措施，保持其运输条件下在车辆内的位置不变。随车人员责任心不强，未能在运输前检查车门情况，在运输时未能及时发现车门已打开。

（2）根本原因：一是华夏公司辐射安全管理松懈。作为移动使用高危险II类放射源的单位，未将辐射安全管理放在首要位置，内部管理链条缺失，辐射安全负责人和工作人员责任心不强，公司法人监督管理不到位，导致员工可以调用非放射源运输专车运输放射源。二是华夏公司漠视辐射相关法律法规。华夏公司《射线无损探伤技术应用项目》未申请该项目的环保竣工验收；企业营业执照注册地点已变更，未及时变更辐射安全许可证。

2.5 经验教训

(1) 运输放射源的车辆不同于运输一般物品的车辆，应使用放射源运输专车运输；运输前，应对运输车辆进行全面安全检查，发现问题及时解决。

(2) 放射源运输应按照《放射性物质安全运输规程》(GB11806-2004)的规定，对探伤机采取临时固定措施，保持其运输条件下在车辆内的位置不变，确保途中运输安全。

(3) 应增强运输与随车人员的责任心，在运输前、运输中特别关注车辆状态、行驶安全、车门情况，确保及时发现和解决运输中的问题。

(4) 加强对社会公众法律、法规和辐射安全与防护知识的宣传，发现可疑的物品应及时向有关部门报告，不能随意捡拾。

3 江苏南京 γ 探伤放射源丢失致人员受照事故

3.1 事故经过

2014年5月，天津某探伤公司在江苏省南京市作业期间，违法雇用无资质人员进行 γ 射线移动探伤作业，使用的放射源出厂活度为 $3.77\text{E}+12\text{Bq}$ ，现存活度为 $9.6\text{E}+11\text{Bq}$ （约 26Ci ），属于II类放射源。

2014年5月7日凌晨3点，该公司2名工作人员完成在南京中石化五公司管道车间内的 γ 射线探伤作业，回收放射源时违反操作规程，两名工作人员同时操作，一人摇动放射源驱动装置，另一人负责拆卸导管。在源辫子回到贮存位前，工作人员手动解除探伤机的安全闭锁，卸下导源管，导致源辫子与驱动钢丝绳脱钩。其后，负责拆卸导管的工作人员发现驱动导管无法从探伤机上拆卸下来，怀疑源辫子未回收到位，便使用辐射监测仪对探伤机表面进行测量，以便核实放射源是否已回收到探伤机内。当操作人员发现辐射监测仪读数升高时，便认为放射源已被回收到位。实际上放射源处于脱落状态，监测仪的读数升高是由于探伤机贫化铀屏蔽体和放射源裸露在外共同导致。为了进一步检查放射源是否脱落，一名操作员手持导源管中部，将导源管拖到车间门口处，抖动导源管，结果未发现源辫子，其实，脱落的源辫子在其拖动导源管的途中可能已从导源管中滑落。经过上述监测和检查后，2名操作人员没有再做进一步检查确认，经向现场探伤负责人（在宿舍休息，未在现场）报告后，直接将探伤机（连同未拆卸下来的驱动导管一起）装车，回到距该车间约1km的宿舍休息。

5月7日晚上，2名工作人员再次来到该车间探伤。8日早上，工作人员发现探伤胶片未曝光，以为设备故障，便联系设备厂家前来维修。8日傍晚，设备厂家维修人员确认放射源已丢失。探伤公司工作人员在探伤作业区寻找，未发现放射源，于是向该公司领导报告。该公司又派人寻找，结果也未找到。5月9日凌晨，该公司才开始向当地公安部门及南京市环保局报告。

5月9日上午，公安人员通过监控录像，将进入厂区的所有人员集中询问。经调查，5月7日7:00左右，中石化五公司工人上班，有20人在探伤作业区周围工作，其中有一人发现源辫子，捡起看了看，便将其丢弃。8:00左右，该公司工人王某

路过源辫子丢弃处，发现并捡起源辫子，装入工作服的右侧口袋，回休息室及附近休息。9:00王某带着源辫子在厂区仓库门口搬工件，一直工作到11:30，随后带着源辫子骑车回家，并将源辫子从口袋中取出，放在自家后院杂物堆的一个编织袋中。



图9 探伤作业、放射源丢失和被捡地点

5月9日11:00左右，王某担心公安人员会到自己家中搜查，打电话让其妻子将装有源辫子的编织袋转移到距王某家200m的父母家中。王某了解到他所捡到的金属物是有害的，不敢再留在家中。5月10日凌晨6:00，他从其父家中取出源辫子，装在蓝色小塑料袋中，将源辫子丢弃在距其父母房子后面100m的路边草丛中。9:00左右，环保部门搜寻人员通过巡测发现放射源的位置，并由公安部门对该区域进行控制，防止人员接近放射源，至此，失控放射源得到控制，等待下一步的安全回收。

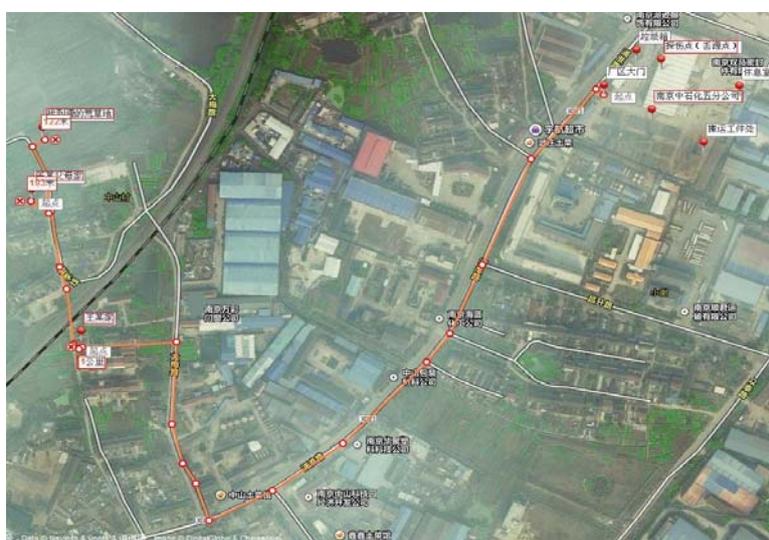


图10 放射源被捡后的转移路线

3.2 事故处理

江苏省环保部门接到事故报告后，立即启动辐射事故应急预案，应急人员赶赴现场进行事故调查处理，并开展放射源搜寻等工作。环境保护部也按照事故等级启动了其应急预案，李干杰副部长亲自在北京事故应急指挥大厅指挥应急工作，并派出技术专家赶赴南京参与事故应急及处理工作。5月10日上午，通过巡测发现并锁定放射源的位置后，应急指挥部组织研究在杂草丛生、地形复杂的区域内如何及时、准确定位放射源，如何将放射源装入铅罐等问题。在综合考虑时间、天气和人员受照剂量等多种因素后，现场指挥部决定采取辐射探测结合金属探测方法，对放射源进行定位，对参与探测和回收人员通过时间防护、距离防护和屏蔽防护措施，严格控制回收放射源人员的受照剂量在1mSv以内。经过多名回收人员多轮接力进行定位探测和回收作业，5月10日下午18:00，现场应急人员成功将放射源安全收贮到专用屏蔽容器内，并送到江苏省放射性废物库贮存。



图11 李干杰副部长亲临环境保护部辐射事故应急指挥大厅



图12 现场应急人员进行放射源定位回收方案排练



图13 放射源成功回收至屏蔽容器

2014年6月，天津市环境保护局根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第449号令）第六十一条规定，向该公司下达了行政处罚决定书，对该公司处人民币20万元罚款，并吊销辐射安全许可证。

3.3 事故后果

经过走访调查，在放射源失控期间，其周边附近约有80多人活动，共有100余人接受了医学检查。其中，受照剂量最大者为捡拾源辫子的王某，以局部照射为主，右侧大腿局部受照剂量较大，物理估算右大腿的受照剂量约100多Gy，右侧大腿皮肤放射性烧伤明显，局部溃烂，生物剂量测量结果显示，王某全身有效剂量约为1.3Gy左右。其全身生物剂量约1.3Gy；其次为王某的妻子，受照主要发生在转移放射源过程中、以及放射源在其家中存放，长时间接近放射源所致，估算的受照剂量约为270mGy左右，没有明显的临床症状；其余受照人员的剂量均小于40mGy，未造成临床上的放射性损伤。



图14 王某受照后第7天，右侧大腿

3.4 事故原因分析

本次南京重大辐射事故是一起典型的由于公司违法雇佣无资质人员导致违规操作，管理层安全意识淡薄导致处置不当的责任事故。

事故的直接原因：

（1）操作人员多次违反操作规程，两名工作人员同时进行放射源回收，在源辫子回到贮存位前即手动解除安全闭锁，卸下前导管，导致源辫子与钢丝绳脱钩。

（2）操作人员未使用辐射剂量监测仪对探伤机表面剂量进行正确监测和判断，导致放射源遗留在作业现场。

（3）该公司管理人员接到报告后，没有按照运营规程要求将探伤机返回贮

存库，而是要求将其带出作业区维修，错失再次确认放射源是否安全返回贮存位和及时找回脱落源的最佳时机,最终导致重大事故发生。

事故的根本原因：

(1) 该公司违法雇用无资质人员从事探伤作业，作业人员不具备专业技能，又缺乏安全防护知识，违规操作，导致事故发生。

(2) 该公司管理人员安全意识和责任意识淡漠，探伤作业期间现场负责人员擅离职守，脱离工作岗位，在接到现场作业人员的报告后，又违反运营规程，要求将探伤设备带回宿舍维修，致使放射源失控，导致人员受照。

(3) 该公司辐射安全管理规章制度不健全，操作规程不符合法规标准要求，安全文化缺失，管理松懈，未按法规要求对从业人员进行必要的辐射安全与防护培训，未对探伤设备进行定期的维修维护，未落实现场探伤作业的安全管理要求。

3.5 经验教训

对本次辐射事故的经验教训总结如下：

(1) γ 射线移动探伤是辐射事故多发的行业之一，从事 γ 射线移动探伤的企业要严格遵守《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》（环发〔2007〕8号）的要求，明确并牢记辐射安全主体责任，完善辐射安全管理规章制度和操作规程，及时履行环保手续，加强企业自身的辐射安全管理，强化辐射工作人员的法律法规学习，培植单位的核安全文化，防止事故发生。

(2) γ 射线移动探伤装置使用单位应加强从业人员管理，严格按照法规要求做好人员培训工作，严禁无证人员操作探伤装置。

(3) γ 射线移动探伤作业时应在作业现场边界外公众可达地点放置安全信息公示牌，配备现场安全员，做好作业场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并落实探伤装置的领取、归还以及确认探伤源是否返回装置等工作。

(4) 从事 γ 射线移动探伤的企业应定期对探伤机进行检修与维护，禁止探伤设备带病使用。

(5) 各 γ 射线移动探伤装置生产单位应对探伤装置的设计进行持续改进，提

升装置的固有安全性，避免人为违规操作导致安全事故发生。

(6) 监管部门应强化对 γ 射线移动探伤装置生产、销售、使用单位的监督管理，加大监督检查力度，及时处理公众举报，对违规操作零容忍，对弄虚作假零容忍，对违法行为从严查处；应强化对 γ 射线移动探伤异地使用备案的管理，在 γ 射线移动探伤异地首次作业时，作业现场所在地承担监管职责的环保部门应进行现场检查，核实相关信息，督促企业做好辐射安全工作，消除安全隐患；各省级环保部门间应加强联动，相互支持，共同做好移动探伤跨省（区、市）作业的监管工作。

南京重大辐射事故发生后，环境保护部及时总结事故的经验教训，印发了《关于开展放射源安全专项检查的通知》（环办[2014]46号），要求全国开展以高风险放射源为重点的专项检查，排查和消除安全隐患。2014年6月，环境保护部组织召开全国辐射安全监管经验交流座谈会，将 γ 射线工业探伤辐射管理作为议题做了深入讨论。2014年10月，环境保护部印发了《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》（环办函[2014]1293号），对 γ 射线移动探伤辐射安全管理工作进一步明确了要求。

三、放射源丢失被盗和测井卡源典型案例剖析

1 重庆南川放射源被盗后转卖废品收购站事故

1.1 事故经过

2004 年“清查放射源，让百姓放心”专项行动期间，南川市环保局在对企业申报的放射源进行核查时，发现南川某水泥厂因效益不好而停产，两枚料位计所用的放射源闲置。9 月 16 日上午，南川环保局对已停产的该水泥厂进行检查，进一步核查闲置放射源的安全状况时，发现一个料位计的放射源容器不见了。环保部门和该单位 10 余人迅速分头寻找，把厂区搜寻了一遍，仍一无所获。经初步调查确认，该单位一枚料位计放射源遗失。因无放射源资料，根据公司知情人员回忆和环保局执法人员当时对申报放射源的现场核查情况分析，该失踪放射源为铯-137、出厂活度约 $1.11\text{E}+7\text{Bq}$ (0.3mCi)，为 V 类放射源。

1.2 事故调查处理

南川市委、市政府接到事故报告后，南川市委书记立即指示南川环保、公安、卫生部门和某镇政府，要不惜一切代价查找和追回被盗的放射源，确保群众和环境安全。重庆市环保局在接到报告后，立即启动重庆市核安全事故应急预案，并通报市公安局，组织人员赶赴现场，并要求南川环保局与当地公安、卫生部门一道，封锁现场和附近废品收购站，向广大干部群众宣传放射源的危害性，发动群众积极提供有关线索。

环保、公安部门通力合作。经调查，2004 年 8 月 28 日，南川市某中心学校一群初一学生溜进管理松懈的某水泥厂，在一堆废铁烂铜中间，发现了一个圆柱型的金属体，某学生捡拾该“废铁”并带出了厂区；随后，他将其拿到邻村妇女余某处换得了几元钱。余某于两天后将收得的这个废金属转卖给废旧物品回收老板黄某，黄某又将其卖给了南川城郊一谢姓人员的废铁收购点。谢某将其胡乱丢放在店里面，并很快将这个“废铁”遗忘。根据这一线索，应急人员当即赶往该废品收购点，对废品收购人员作详细询问，并对收购点所有废铁堆放场地进行仔细监测，发现某堆废铁处局部地方辐射剂量异常。9 月 16 日晚 7 时，应急人员终于从一堆废铁中找到装有放射源的铅罐，经某水泥厂有关人员和南川环保局执

法人员辨识，确认为该单位被盗的放射源。放射源铅容器的射束关闭装置已经损坏，处于开启状态，但源容器未遭破损，未造成放射性污染。应急人员在源容器采取屏蔽防护措施后，连夜运送至重庆市城市放射性废物暂存库收贮。为彻底消除安全隐患，17日下午，环保部门强制收贮了该公司的另一枚闲置放射源，并依法对该单位立案进行了行政处罚。

1.3 事故后果

该起放射源被盗事故导致该枚放射源流动范围较大，造成了一定的社会影响；接触到放射源的人员受到不必要的照射，但未发现人员受超剂量照射，未造成人员辐射损伤；寻找被盗放射源造成了一定的经济损失，市、区环保和公安部门多名工作人员参加应急调查处理工作，造成行政资源与工作日损失。

1.4 事故原因分析

本次事故由于公众普遍缺乏电离辐射安全相关常识，对放射源危害的认识不足，某中学生为谋利盗卖放射源是造成该起事故的直接原因。

南川某水泥厂安全观念薄弱、管理不善，对因停产闲置的放射源安全保卫管理措施不到位，未安排专人负责看管闲置放射源，没有采取有效的安全防范措施，是导致该起事故的主要根本原因。

1.5 经验教训

(1) 在辐射安全监管工作中应完善并落实辐射安全责任制，进一步强化放射源安全管理和监督检查，尤其要加强对停产半停产、经营转包、改制转型、破产关闭过程中放射源的安全监管。

(2) 加强辐射环境管理法律法规及安全防护常识的宣传，增强放射源使用单位和公众的守法意识，提高对放射源危害与辐射防护科普知识的普及率。

(3) 应强化放射源安全现场检查，加大监管力度，及时发现放射源被盗事故，并迅速启动应急预案，形成环保和公安部门的联动和协同作战，进行全面、细致的调查走访和宣传工作。此次事故的调查处理果断、妥善，侦查和搜寻失踪放射源的措施有效，使得在短时间内成功追回了该枚被盗的放射源。

2 陕西富县石油测井放射源落井事故

2.1 事故经过

2006年5月12日21:10,中原油田测井公司陕北项目某测井队在执行中原油田分公司陕北油气项目管理部牛西1井(该井位于陕西省富县茶坊镇岔口西北8公里处,由内蒙古煤建陕北项目部某队承钻)的完井测井施工任务过程中,由于夜间作业,现场没有足够照明条件,使用汽车前大灯照明,操作人员使用长竿夹具拆卸放射源时未能锁定放射源,长竿夹具与井架磕碰后,放射源脱落,加之井盖与井盘不配套,有一个10厘米的缝隙,脱落的放射源从缝隙滚落,造成中子放射源(裸源)落井。放射源落井事故发生后,事故单位没有按照规定向监管部门报告,内部商定了打捞方案,采用辐射监测仪器探测到放射源落在井下1268.5米处。

2.2 事故处理

2006年5月23日上午,延安市安监局接省安监局转批国家安监总局《安全生产隐患及其它举报信息》称“5月13日左右,中石化中原油田测井公司(位于河南濮阳市)在陕西富县测井起杆卸放射性中子源时掉入井口中发生事故,现无法打捞,事故发生后隐瞒不报”。延安市环保局在接到市安监局放射源落井事故通报后,立即向省环保局电话报告,请求技术援助。

省环保局在接到延安市环保局初步调查的报告后,于23日下午16时分别向省政府和国家环保总局报告事故发生情况,同时将事故情况向河南省环保局通报。根据对事故单位的调查证实,该落井放射源为一枚活度 $5.92E+11Bq$ (16Ci)的镅铍中子源,属于III类放射源,因对该枚放射源实施的打捞失败,属失控状态,按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的有关规定,此次事故定性为较大辐射事故。事故单位携带放射源到陕西省开展放射性测井工作,未按国家有关规定向陕西省环境保护局备案。

事故发生后,延安市政府5月23日指派市安监局和市环保局成立了市政府事故调查组,对事故展开调查。调查组在事故现场听取了情况汇报,进行了现场查看后,采取控制措施:一是要求钻井单位和测井单位立即停止井下作业,防止

造成放射源破损，设立警戒线保护好现场；二是责成测井单位尽快制定施救方案，送请省市环保部门专家对方案进行论证和审定后，再行处置；三是富县县政府发出事故公告，做好周围群众稳定和安全宣传教育工作，并做好应急疏散准备。

省环保局技术人员于5月23日17时赶到现场，立即对事故现场进行了勘察，通过技术人员对现场的监测和调查后认定，周围环境处于正常本底水平状态，事故现场未受到放射性污染。因此，省环保局建议事故调查组现阶段不必疏散群众，以免引起社会恐慌；同时建议立即召集辐射防护等专家进行辐射安全论证，确定工作重点尽快打捞落井放射源。

5月25日，省环保局组织专家组，就落井放射源对环境的危害等问题进行了论证。5月26日，延安市事故调查组根据专家组意见，制定了“富县‘5.12’镅铍中子源落井事故调查组关于打捞回收放射源的工作要求”，上报市政府批准。5月27日，调查组根据市政府的批示召开会议，对中原石油勘探局宣布了工作要求，要求事故单位立即组织聘请业内权威专家对打捞方案及应急预案进行论证和完善，尽快组织实施打捞，打捞过程必须要由业内高技术专业队伍实施，打捞决不能发生放射源破损；一旦打捞失败立即实施安全封井，并进行环境影响评估。

5月29日，中原油田勘探局聘请业内专家论证了落井放射源安全打捞方案，并将打捞方案上报市事故调查组。中原油田测井公司经过精心准备，于6月23日按照方案实施打捞，在连续进行8次打捞后，28日14时，中原油田测井公司宣布打捞失败，并向事故调查组上报打捞失败的书面报告。6月29日，中原油田测井公司对事故油井采取了封井措施。

从6月23日起，延安市环保、安监、公安、卫生等部门及富县政府对落井放射源打捞和封井工作进行了现场监督，省辐射环境监督管理站技术人员对打捞过程辐射环境进行了监测，确定打捞过程未对放射源造成破坏，井场及周边环境没有放射性污染。随后富县人民政府在事故发生地设置了永久警示标志。

延安市富县环保局根据事故单位的违法事实，依法向事故单位下达了责令限期办理相关环境保护手续，罚款5万元的行政处罚决定。

2.3 事故后果

(1) 经省辐射环境监督管理站的现场监测，放射源打捞及封井过程未发现放射源破损现象，此次放射源失控事故没有对地面环境造成放射性污染。

(2) 此次放射源失控事故没有对人员造成辐射伤害。

(3) 针对落井放射源在采取安全封井措施后对环境的影响问题，事故单位委托核工业二〇三所对中子源落井进行环境影响评价，邀请专家进行技术评审。7月14日，省环保局根据技术评审会专家的评审意见，批复同意了环境影响评价文件关于在采取水泥塞封井措施后，不会对周围居民日常生活和地下水及油气资源开发造成辐射影响的评价结论。

(4) 事故造成了当地群众的恐慌情绪。6月23日富县人民政府向茶坊镇发出中子源落井事故公告。7月21日，富县人民政府在事故现场组织召开了落井放射源辐射环境影响通报会，县政府有关部门、省辐射站、核工业二〇三所的辐射防护专家和当地群众150人参加了通报会。政府的公告和通报会打消了群众的疑虑，起到了宣传法律法规和普及放射性知识的作用。

(5) 此次放射源落井事故造成事故单位的直接经济损失50万元，浪费大量行政和社会资源。

2.4 事故原因分析

此次放射源失控事故直接原因是由于夜间作业，现场照明条件差，操作人员使用长竿夹具拆卸放射源由于操作失误，未能锁定放射源，长竿夹具与井架磕碰后，放射源脱落，滚落至因井盖与井盘不配套产生的缝隙中，造成中子放射源（裸源）落井。

事故的根本原因一是事故责任单位的安全生产意识薄弱，测井准备工作不充分，加上工作人员违反测井操作规程作业；二是事故单位在发生事故后隐匿不报，错失了打捞放射源最佳时间，也未采取有效打捞措施，最后导致放射源无法打捞，只能在论证后采取封井措施。

2.5 经验教训

(1) 放射源测井工作单位应当认真贯彻国家有关法律、法规，建立并严格

按照放射性测井操作规程使用放射源。

(2) 井的钻探和井面布置应符合相关技术规范。放射性测井工作应选择良好的工作环境和条件下进行，避免的夜间、雨天等时间作业。

(3) 放射性测井工作前应做好相关准备工作，操作人员应熟练掌握操作技巧，避免操作失误引起放射源落井。

(4) 要加强法律、法规和辐射安全与防护知识的宣传，正确引导媒体报导，增强守法意识和对放射源危害及防护知识的了解。

(5) 各级环保部门应严格履行监管职责，加强信息交流，加强异地使用放射源的安全监管。

四、医疗辐射事故典型案例剖析

1 湖北某医院钴-60 治疗机放射源脱落导致过量治疗事故

1.1 事故经过

1972 年 12 月 8 日，湖北武汉市某医院的钴-60 治疗机发生故障，翌日请人检修，修理结束后转动机头时，听到一个响声（可能是钴-60 源掉落在机头射线出口处的过滤板上），但机器运转正常，误认为已经修好，未经输出剂量的测试，即按原来操作程序继续对病人进行治疗。而后受照病人诉说治疗反应特别严重，但并未引起操作人员的重视。直至 12 月 25 日，该室工作人员为了检查钴-60 治疗机的机头，在卸下机头螺丝钉取下过滤板时，发现一金属圆柱体落地，认清是该机的钴-60 源。

1.2 事故处理

事故后，医院组织对受照病人进行了紧急救治，由相关单位开展了事故处理事宜。

1.3 事故后果

事故造成 21 名恶性肿瘤病人受到多次超出治疗剂量的意外照射。照射面积超出了肿瘤部位，使病人受到了以局部为主的多次全身不均匀的大剂量照射，导致 2 人发生了重度骨髓型急性放射病，7 人中度急性放射病，6 人轻度急性放射病，5 人急性放射反应。另外，造成 IV 度放射性皮肤烧伤 2 例，III 度 4 例，II 度 6 例。另有 10 名医务人员也受到程度不同的放射损伤。事故照射还促使了病人肿瘤的发展、转移和病情恶化，其中两名病人于受照后 10 天左右先后死亡。这次事故造成了不良的社会影响，医院也付出了相当大的经济代价。

1.4 事故原因分析

事故的直接原因是钴-60 治疗机发生故障后，未找专业人员检修；修理结束后转动机头时，听到异常响声但未引起重视，只是试机运转正常，误认为已经修好，也没有经过输出剂量的测试即按原来操作程序继续对病人进行治疗。

事故的根本原因是该单位辐射安全管理不严格，规章制度建立不完善，未按设备检修维护制度、操作规程等规章进行检修、测试和日常检查；人员缺乏安全

文化，发现异常没有表示怀疑和谨慎的态度对待，麻痹大意。

1.5 经验教训

(1) 开展放射医疗诊治的辐射工作单位应加强辐射安全管理，建立完善的规章制度，并按设备检修维护制度、操作规程等进行检修、测试和日常检查。

(2) 应加强辐射工作单位及人员的核安全文化培育，保持严谨的工作作风和安全第一的工作态度，在辐射工作中，发现异常情况应表示怀疑和谨慎态度对待，并加以安全检查。

(3) 发生医疗照射事故后，应及时、尽最大努力救治受照人员，做好公众及家属的思想引导工作，维护社会稳定，减少不良的社会影响。

2 江苏某肿瘤防治研究所违章操作医用加速器致人员受照事故

2.1 事故经过

1985年5月13-14日，江苏省某肿瘤防治研究所放射科技师张某等人违章操作，切断加速器的剂量连锁装置，采用手动模式用电子束治疗病人，致使25名病人（其中肿瘤患者21人，非肿瘤患者4人）受到超剂量照射。病人在受到照射过程中，多人反映照射部位皮肤有灼热感和痛感，甚至大声喊“吃不消”，但工作人员却误以为强迫体位或照射筒压迫所致，以至使本可以按操作常规从电视观察中能及时发现的问题得不到解决，终于酿成重大责任事故。

2.2 事故处理

事故后，受害人联合给国务院总理联系，反映受害情况，要求关心他们的病情。南京市人民检察院提出公诉，经过法院审理，认定这是一起重大责任事故，主要责任人和直接责任人受到了判刑。

2.3 事故后果

受到过量照射的病人，照射部位的皮肤、器官、内脏、神经、肌肉甚至骨骼等均遭受不同严重程度的放射损伤。如出现即感乏力、局部皮肤潮红灼痛、发麻，进食困难、恶心，少数还引起了骨坏死、上肢瘫痪、神经疼痛、肌肉萎缩等症状。事故导致了病人多器官组织损伤，加速了病人死亡进程或终身残疾，后果非常惨重。

为处理此事故，事故单位花费了巨大的经济代价，一度干扰了相关单位的正常工作，造成了较坏的社会影响。

2.4 事故原因分析

事故的直接原因是操作设备的医生违章操作，切断加速器的剂量连锁装置，致使病人受到超剂量照射。

事故的根本原因是辐射工作人员核安全文化淡漠，缺乏安全意识，未落实操作规程等制度，未按作业程序进行照射治疗，麻痹大意，没有谨慎的工作态度。

2.5 经验教训

(1) 开展放射诊疗的辐射工作单位应加强辐射安全管理，建立健全辐射安全管理规章制度和放射诊疗的质量保证体系，杜绝违章操作的行为发生。

(2) 应加强辐射工作单位及人员的核安全文化培育，保持严谨的工作作风和安全第一的工作态度，在辐射工作中，发现异常情况应表示怀疑和谨慎的态度。

(3) 辐射工作单位应定期检查维护相关设备，并不断提高其安全性能，任何时候不能随意拆除设备自身的安全联锁装置。

(4) 发生医疗照射事故后，应及时、尽最大努力救治受照人员，做好公众及家属的思想沟通工作，减少不良的社会影响，维护社会稳定。

3 黑龙江某医科大学附属肿瘤医院工作人员受超剂量照射事故

3.1 事故经过

黑龙江省辐射环境监督站在监督检查中发现，某医科大学附属肿瘤医院 PET/CT 中心 1 名药剂师 2010 年一季度个人累计剂量当量为 234.19mSV，二季度为 48.20mSV，四季度为 191.08mSV；1 名物理师 2010 年一季度个人累计剂量当量为 68.62mSV。

经调查，该药剂师在 2010 年一季度合成碳-11 药物时，合成器排风系统发生故障，排风扇反转，导致放射性气体富集，该药剂师在故障没有排除的情况下仍继续工作 3-4 天；二季度该药剂师个人剂量超标的原因是患者多，工作时间长；四季度合成氟-18 药物时，药物输出管线两次出现断裂，该药剂师在没有采取任何防护措施的情况下，违反操作规程进行人工收集、过滤和分装药物，累计操作时间近 3 个小时。该单位物理师个人剂量超标是由于滤膜先后几次出现堵塞、破裂，物理师违反操作规程徒手换滤膜，累计操作时间近 1 个小时。

3.2 事故处理

事故发生后，省环保厅组织对个人累计剂量超标的工作人员进行了详细调查，对该单位进行 5 万元处罚并责令限期整改。

3.3 事故后果

该事故导致 2 名工作人员受到超过年剂量限值的照射。

3.4 事故原因分析

事故的直接原因：

(1) 该单位辐射安全设施未定期检查维护，合成器排风故障，药物输出管线断裂，滤膜堵塞，设备带病运行。

(2) 工作人员违反操作规程，在设备故障时，未采取任何防护措施情况下人工收集、过滤和分装药物，徒手换滤膜。

事故的根本原因：

(1) 该单位辐射安全管理制度不健全，安全文化和安全管理缺失，未对放药生产设备和辐射安全设施进行定期的检修维护，设备发生故障后仍然带病运

行。

(2) 辐射工作人员安全意识淡薄，自我保护意识不强，违规操作。

3.5 经验教训

(1) 医院应建立健全辐射安全设施维修维护制度和操作规程并严格落实，确保设备运行正常。

(2) 在发现安全防护设备故障时，应及时报告和检修，重大维修后应进行相关辐射防护核实。

(3) 核技术利用单位应加强安全防护培训教育，增强工作人员辐射安全意识，培育良好的核安全文化。

五、放射性污染典型事件剖析

1 废旧金属放射性污染事件案例

1.1 综述

我国已成为世界最大的产钢国之一，废钢是钢铁生产，特别是电炉炼钢生产的重要原料。2000 年我国废钢消耗总量 2920 万吨，到 2007 年废钢消耗总量增至 6850 万吨，2008 年废钢消耗总量约 7800 万吨（进口废钢 334 万吨），增幅较大。

我国废旧金属主要来自于生产返回、社会收购和进口废旧金属三个途径。生产返回的废旧金属一般不涉及放射性问题，而社会收购和进口的废金属可能会含有放射性物质。含放射性的废旧金属一旦进入金属生产流程，不仅会给整个工艺流程和产品质量带来影响，而且严重时会导致放射污染事故，对社会和公众的健康和安全造成危害

1.2 今年发生的几起污染事件

2001 年，香港生产的手表表链中有放射性污染，经查其钢铁原料来自于广东。

2008 年，从上海出口到美国的钢铁产品，有五个集装箱被美国海关查出放射性水平超标，原因是钢丝绳（产品厂家在江苏）中含有放射性物质 Co-60。

2008 年，中国某不锈钢公司在出口到意大利的 160 吨不锈钢中被查出 30 吨产品 Co-60 超标。

2009 年，由浙江出口到英国的紧固件产品（两个集装箱）被英国海关查出放射性超标，同样是 Co-60 污染造成。

2009 年，中央电视台报道了陕西富平一家钢厂将一枚 Cs-137 放射源溶化，其炉渣中测出放射性物质。

上述事件对当事企业造成了经济损失，对金属回收熔炼企业的健康发展带来了风险和隐患，也在国际上造成了一定的负面影响。

宁波某金属工业有限公司铜材放射性污染事件是一起典型的废旧金属放射性污染事件。2011 年 3 月 18 日，嘉兴市某电力设备铸造厂生产的熔断器配件出

口时被检出放射性异常，环保部门于3月19日追溯至慈溪某金属公司，共检出约80吨放射性异常的铜产品及约30吨原料（含部分铜渣），各种铜材的放射性活度浓度介于 5.5Bq/kg - $9.99\text{E}+6\text{Bq/kg}$ ，经估算，钴-60放射源熔入熔化炉时的放射性总活度约为 $6.14\text{E}+10\text{Bq}$ （约 1.66Ci ）。



图 15 被污染的放射性铜产品

1.3 事件经过与处理

环保部门排查了所有的下游客户，有约150吨原料和产品被检出放射性异常并就地封存。在监督下，对封存铜棒进行钢板隔离，并将钢板相互焊接，对封存区域用37cm厚、2.5m高的墙体进行了封闭，保证隔离墙外的辐射空气吸收剂量率在本底值，并做好防盗措施。



图 16 封存放射性铜产品（原料）的库房

封存和整改后，应该金属公司的请求，环保部于4月19日召集了第一次专家会议，要求由浙江省辐射监测站和宁波环境监测中心专家牵头，中核四〇四有限公司于4月23日至5月5日派出技术人员对封存的铜材按 γ 剂量率与活度浓度的对应关系进行了初步的分拣。5月17日环保部召集第二次专家会议，对分

拣的情况及分拣所采用的方法进行论证。同意对 20000Bq/Kg 以下部分进行循环再利用，并要求对受到污染的产品及铜棒进行回收，以利于集中处理。

按环保部要求，该单位对发出的辐射异常货物（包括原材料及客户已经加工过的产品）均予以回收，封存于暂存库等待统一处理。该单位用铜棒给客户予以调换后，最终共约 200 吨异常物品需处理。

该公司编制了《污染铜材清洁解控方案》，提出了污染铜清洁解控、处置目标、控制限值以及具体可行的实施方案。2012-2014 年，该公司在环保部门的监管下，实施为期一年多的污染铜材清洁解控工作，对这批放射性污染铜材进行安全、合理的处理。

1.4 经验教训

（1）各级环保部门应切实履行好监管职责。金属制品放射性污染关系到辐射环境安全和人民生命安全，也影响到我国的国际声誉，各级环保部门要高度重视，按照相关法规要求，认真梳理各监管环节，采取有效措施，切实履行好监管职责。

（2）废旧金属熔炼企业应落实法规中的监测要求。新建、改建、扩建项目含有废旧金属回收熔炼工艺的，应当配套建设辐射监测设施；未配套建设辐射监测设施的，环境保护主管部门应不予通过其建设项目竣工环境保护验收。

（3）应加强监督执法。要强化对废旧金属熔炼企业的监督检查力度，对不按照规定配备监测设备，配备仪器后不开展监测工作，监测过程中发现异常隐瞒不报以及恶意掺杂或稀释含放射性钢材的企业，要依法处理。

（4）应做好相关技术指导和培训工作。研究出台相应技术手册，规范门禁式放射性监测系统、便携式放射性监测仪器的监测方法、记录格式、报告要求和受污染钢材处置程序等，并做好培训工作。

（5）应提高废旧金属回收及熔炼企业的准入门槛。各级政府及有关部门应考虑制定废旧金属回收及熔炼企业准入门槛和优化产业布局的方案，推动产业健康有序发展。同时要以“环评”为抓手，严格把好废旧金属回收及熔炼企业的“环评”和“三同时”关。

2 重庆市后装治疗放射源引起的放射性污染事件

2.1 事件经过

2005年9月28日，重庆市辐射环境监督管理站对巴南区某人民医院进行现场检查、监测时，发现该院放射治疗中心场地存在放射性污染。监测数据表明，后装机室内最大 γ 辐射剂量率为 $177\mu\text{Gy/h}$ ，其中机房内的一块铅玻璃表面 γ 辐射剂量率为 $450\mu\text{Gy/h}$ ；放射治疗中心走廊环境 γ 辐射剂量率为 $2.4\mu\text{Gy/h}$ ，其中地毯表面最大 γ 辐射剂量率为 $155\mu\text{Gy/h}$ ；该院维修室环境 γ 辐射剂量率为 $0.5\mu\text{Gy/h}$ ，其中地面最大 γ 辐射剂量率为 $428\mu\text{Gy/h}$ ；维修人员陈某家中洗衣机内桶和棉被最大 γ 辐射剂量率分别为 $49\mu\text{Gy/h}$ 、 $7.3\mu\text{Gy/h}$ 。

经检测分析，放射性污染源项来自该医院后装治疗用的铯-192放射源，泄露的放射性物质活度约为 $1.11\text{E}+7\text{Bq}$ (0.3mCi)。重庆市环保局立即组织开展事件调查、污染控制工作。

2.2 事件处理

为控制污染的扩散与蔓延，保障群众与环境安全，应急处理小组立即跟医院沟通、研究，决定对污染场所进行污染治理、封闭停用，待至医院相关场地的辐射水平降到本底水平，其相关物料及场地达到清洁解控要求后，医院才能恢复后装治疗工作。

现场首先封锁了后装机房及其走廊，将所有被污染的物品（包括陈某家的洗衣机、棉被及被污染的衣物等）放入后装机房内，并将该机房大门进行封闭；对污染较轻的放疗中心走廊、维修室等场所进行清洁去污。应急处理小组及时将此次放射性污染通报了市卫生局，并建议该院委托有资质的卫生部门对受污染人员和可能受污染人员进行剂量监测和体检。

在执法人员的现场督促和市辐射站的技术指导下，该院对除后装机房外的其他污染较轻的场所和物品进行了清洁去污，将所有污染较重的物品及去污物放入后装机房，并用砖墙封闭了后装机房大门。市辐射站于2005年9月28日至10月13日期间对污染场所及其去污染处理进行了跟踪监测。同时，市疾病预防控制中心对12名受污染人员和可能受污染的人员进行了监测，未发现异常。

2.3 事件后果

对 12 名受污染人员和可能受污染人员的相关检测，未发现异常；事故造成了一定程度的放射性污染，该次事故造成了一定程度的社会影响，同时给肿瘤病人的治疗带来了不便；后装机报废处理、购置新的后装机，以及污染场所的清污处理等工作，造成医院较大的经济损失；监管部门事故调查、污染治理指导及其监督跟踪与相关监测，耗费人员较多、时间较长，造成较大的行政资源与工作日损失。

2.4 事件原因分析

经调查，该院放射治疗中心于 2005 年 7 月初购回的一枚铯-137 源安装使用不久，源辫出现故障不能正常使用，即请原天津某公司维修人员白某对后装机进行维修，该院维修人员陈某配合其维修工作。白某违反安全操作规程，在后装机房对后装源源辫进行更换，操作时用铅玻璃遮挡在胸前，使用锉刀等工具强行打开装有铯-137 放射源的源辫后，再取出放射源装入其带来的“新源辫”中。

经现场核实分析，维修人员违反安全操作规程更换后装源源辫，是造成此次放射性污染事件的最大可能原因。因在换后装源源辫后医院未对后装机工作场所及周边环境进行相应的辐射监测工作，所以也不排除铯-137 放射源是在后续使用过程中破损而导致放射性污染的可能性。

无论什么是原因造成该起放射性污染事件的发生，该起事件都暴露出该医院辐射安全管理不到位、辐射安全防护意识不强、辐射监测制度未落实、维修人员违反设备检修安全操作规程等问题。

2.5 经验教训

(1) 辐射工作单位应加强辐射安全相关法规标准的学习，提高安全文化素养，强化防护意识和责任意识，建立健全辐射安全管理制度，落实辐射安全与防护措施。

(2) 辐射工作单位应在设备安装或更换放射源后，对辐射工作场所及周边环境进行辐射监测，确保含源设备及其工作场所符合使用要求及辐射安全相关要求。

(3) 含源设备的使用及维修，必须严格遵守相应的操作规程，严禁违规作业，野蛮操作。

六、事故（事件）剖析与小结

上述几个方面的典型辐射事故（事件）案例及相关剖析比较清晰描述了每个事故的情况，综合起来看，我们进一步进行分析如下。

1 事故（事件）后果分析

1.1 辐射损伤

从上述典型事故看，辐射事故后果最直接的是辐射导致的工作人员或公众伤害。辐照装置发生的人员受超剂量照射事故，受到超剂量照射的人员往往会出现严重伤害或死亡；工业探伤事故导致放射源丢失，可能会造成很多人员的不同程度的辐射损伤，受超剂量照射的经历也会给受照者造成沉重的心理负担。

1.2 放射源失控

历次发生的放射源丢失、被盗、失控事故，大多数未找回，不知去向。这些未找回的放射源大多是 IV、V 类放射源，虽然基本不会对直接接触的人造成永久性损伤，但存在潜在的影响。因为绝大多数丢失、被盗放射源的最终去向都是有回收熔炼废旧金属能力的金属熔炼企业，如果不能在熔炼前及时发现放射源，待其熔入金属材料中，可能会造成产品的放射性污染。

另外，放射源落井或卡井事故也导致了放射源遗留并封固在了井下，给环境造成一定程度的潜在影响。

1.3 经济损失

辐射事故（事件）另外一个直接后果就是经济损失。经济损失包括人员伤害救治费、事故处理费、停工停产损失费、事故单位的行政处罚，还有无法估算的人力资源和行政资源消耗，经济损失有时难以量化。而一般事故(事件)经济损失越大，社会影响越严重。

1.4 社会影响

辐射事故(事件)发生后，对社会的影响可能要比其它行业事故的影响要大得多。我国发生的上述等多起辐射事故(事件)都造成了一定的社会影响。造成影响的原因是广大公众对辐射危害敏感，但又缺乏正确认识，存在恐慌心理，再加上一些媒体对辐射危害的夸大报道，特别容易在社会和公众中引起恐惧、不安，造

成社会动荡和混乱。

2 事故（事件）原因分析

辐射事故（事件）的发生往往是多方面原因导致的，引起辐射事故（事件）的原因可分为人为因素、技术因素或其它因素。人为因素如蓄意破坏、偷盗、违反操作规程、操作失误、安全观念薄弱、管理不到位等；技术因素为设计不合理、设备故障等；其它因素如自然原因等。如放射源被盗事故，除了盗窃者蓄意偷盗的直接原因外，也有事故单位安保措施不到位、辐射安全管理松懈等因素，因此着重分析辐射事故直接原因的同时，还应分析其根本原因，从中汲取经验教训。鉴于各应用领域发生的辐射事故存在共性，在此对各应用领域中的事故原因进行归纳分析，其中有些虽不是事故的直接原因，但对事故的发生有很大影响。

2.1 辐照事故原因分析

辐照装置在安全联锁正常的情况下发生辐射事故的几率不高，但安全联锁部分或全部失效后，装置的纵深防御能力降低，在人员违反操作规程进入辐照室后，极有可能会发生人员超剂量受照事故。且由于放射源的活度很大，短时间照射即可造成人员致残或致死。第 4 章节对几起辐照事故的原因进行了具体分析。

2.2 工业探伤事故原因分析

据统计，我国 2004-2013 年共发生工业探伤类辐射事故 20 起，其中有 19 起属于工业 γ 射线探伤类，另外 1 起为工业 X 射线探伤类，基本都发生在移动式探伤应用中。移动式探伤作业时间常为晚上，作业现场不固定，经常需要转场，转场中经常使用一般交通工具，这些因素都增加了放射源安保难度。另外，作业人员人数少，现场操作时经常缺少监督，作业人员经过成百上千次的重复操作之后，容易产生麻痹思想，在不按照规程管理和使用探伤机的情况下，很容易发生事故。

引发工业探伤类辐射事故的主要原因：（1）运输探伤机的车辆、工作现场、临时场所贮存等安全保卫措施不到位导致的放射源丢失或被盗。（2）操作人员违反操作规程。（3）未使用可靠的辐射监测仪器和个人剂量报警仪。（4）法律意识薄弱，安全文化和培训缺失。

2.3 核子仪类事故原因分析

料位计、核子秤、测厚仪、湿密度仪等核子仪，广泛应用于化工、建筑、交通等领域，也是发生辐射事故最多的应用领域。核子仪应用的特点是应用面广、分散、数量多，并且容易拆卸或可移动，多含IV类或V类放射源，操作和维护均比较简单，日常使用时一般不会发生人员受照或放射性污染的辐射事故，但管理松懈或安全意识薄弱时容易发生丢失或被盗事故，引发事故的原因主要有以下几方面：（1）安全保卫措施不到位导致放射源丢失、被盗。（2）闲置、废弃放射源未及时送贮，看管不力。（3）放射源无专人负责保管。（4）无证使用放射源，脱离安全监管。（5）工作人员缺乏辐射安全防护知识，违反操作规程。

2.4 放射性测井类事故原因分析

放射性测井中发生的辐射事故主要为放射源意外落井失控或放射源丢失、被盗，引发事故的原因有自然客观因素，也有人为主观因素：（1）放射源意外卡井。

（2）安保措施不到位导致放射源丢失或被盗。（3）不遵守测井操作规程。（4）含源仪器安全设计上存在缺陷。

3 建议

通过对辐射事故（事件）的分析，可以发现辐射事故（事件）大多发生在工业应用领域。辐射事故（事件）大多数是人为因素造成的，有操作人员的问题，也有事故单位管理层面的问题，但大部分事故的直接原因都体现了辐射事故单位存在辐射安全意识薄弱、安全管理不善、核安全文化缺失等深层次的问题。为解决这些问题，降低辐射事故风险，提出以下建议：

一是要始终高度重视辐照装置运营单位辐射安全管理。鉴于辐照装置运营单位使用的放射源活度大，发生事故的危害大，因此辐照装置运营单位应始终高度重视辐射安全管理，严格遵守各项规章和操作规程，保持安全联锁可靠有效，妥善处理运行事件，确保不发生事故。

二是要加强移动探伤的辐射安全管理。从事移动探伤的企业应严格遵守《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》等规定的要求，建立健全本单位辐射安全内部管理机构 and 规章制度，逐级落实探伤作业的辐射安全责任制，认真落实探伤作

业各项辐射安全要求，张贴作业公告，优化作业时间并确保及时告知管理者和周围人员，加强工作现场的辐射安全措施，配备必要的辐射监测设备并保持良好的运行状态，减少放射源在临时存贮和运输过程中丢失的可能。对于异地作业还应遵守相关的备案制度。

三是要加强易拆卸、可移动含源设备的安全保卫措施。放射源使用单位应进一步加强此类设备的安全保卫措施，从建立健全各项安全保卫制度出发，安排专人负责，定期对使用的含源设备进行安全自查，及时排除安全隐患。要确保警示标识、警示语句等清晰可见，含源设备不用时应送至专用的放射源暂存场所安全贮存，保持良好的台账管理制度和记录，定期盘查。要加强停产、维修、放假等特殊时期的放射源安全管理。

三是加强闲置、废弃放射源的管理。应加强相关辐射工作单位对闲置、废弃放射源的管理，避免其脱离监管范围流入社会，形成安全隐患，是降低辐射事故发生率、保障社会稳定、降低社会危害的重要手段。放射源使用单位应及时将闲置、废弃的放射源送贮，送贮前应妥善保管。监管部门应关注关停并转类放射源使用单位的辐射安全管理，督促其依法处置闲置、废弃放射源，消除安全隐患。

四是要加强对公众的辐射安全知识的宣传教育。应加强对公众的正面宣传教育，使其在了解放射源用途的同时，也了解放射源的危害。另外，废旧金属回收人员虽然不属于辐射工作人员，但也应给予适当的宣传教育，使之熟悉基本的辐射安全知识。从事废旧金属回收和熔炼的企业，应建立监测措施，防止流入废旧金属回收渠道的放射源被熔炼。

五是要增强事故应急管理 with 响应能力。事故发生后，事故单位和相关部门应急响应及时性、有效性关系到辐射事故后的危害和影响。部分单位辐射安全管理混乱，辐射事故应急机制未建立或不健全，事故发生后不及时上报甚至瞒报，这些都给事故处理增加了难度，错过了最佳时机，往往会造成更大的事故后果和社会影响。

4 结束语

防止辐射事故（事件）发生，最根本的还是从核技术利用单位自身出发。核

技术利用单位必须始终贯彻执行各项法律法规，牢记安全责任，重视辐射安全与防护，建立完善的辐射安全管理体系，警钟长鸣，才能实现企业的健康、可持续发展。

核技术利用的快速发展，在带来经济利益和社会效益的同时，也带来了一定的事故风险。前车之鉴，后事之师。让我们共同努力，确保核技术的安全利用、造福社会，保护环境，保护辐射工作人员和人民群众的身体健康和生命安全。