

某新建钴源辐照装置的环境影响评价

庞新新, 王莹

中图分类号: R145 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2006)04-0478-02

【摘要】目的 本文介绍一种新建钴源辐照装置的环境影响评价方法。方法 依据国家相关辐射环境标准进行监测与评价。结果 经过实践论证(专家评审及项目竣工验收),该钴源辐照装置对环境的影响是在可控范围内的。结论 所介绍的评价方法符合环境影响评价导则。

【关键词】辐照装置;环境影响评价;辐射防护

辐射加工是原子能民用高新技术,在现代化生产加工中占有重要地位。该技术属冷加工核物理技术,具有高效、节能、无污染、加工操作简便快捷、自动化程度高、总投资少、加工成本低、应用领域广、社会效益和经济效益较高等特点。钴源装置具有 γ 放射性,笔者针对其对环境的影响进行论述。

1 项目概况

该辐照中心厂区占地面积 32 322m²,总建筑面积20 605m²,建、构筑物占地面积 15 375m²,其中辐照厅面积为 500m²,道路、广场面积 5040m²,建筑系数 47%,绿化系数 22%,围墙长度 546m。辐照厅设计装源容量为 1.48×10¹⁷Bq(400 万 Ci),初装源 1.48×10¹⁶Bq(40 万 Ci),辐照源采用⁶⁰Co 源 40 根棒 1.48×10⁶Bq(40 万 Ci),钴棒元件为进口⁶⁰Co 放射源,型号 C-188。生产能力:3.13m³/h·mCi(以容重为 0.2g/cm³,吸收剂量为 25kGy 的产品计)。辐照厅的面积为 500m²,高 4.0m。辐照厅内采用迷宫式迷道,辐照厅四周包括墙体和迷道采用比重为 2.3g/cm³ 钢筋混凝土,主屏蔽墙分别为 2.2m, 2.3m, 2.3m,辐照厅屋顶厚为 1.9m钢筋混凝土。贮源井面积为 8.8m²,井深 7.5m。井四周及底部采用不渗不漏的混凝土和不锈钢的双层保护层。辐照厅设有安全联锁装置、通风设备及废水处理设施。

2 环境背景值调查^[2,4]

2.1 环境辐射 γ 本底水平调查 以拟建项目中的⁶⁰Co 辐照装置为中心,东、西、南、北4 个方位按距中心的各 10、50、100、300、500m 点测量。测量仪器与方法:采用 JW-3104 型微电脑 γ 剂量率仪,能量响应范围为 0.25keV-3.0MeV,灵敏度 nGy·h⁻¹,稳定性±5%。测量方法为瞬时测量,探头距地面 1m 高,每个测点读 10 个数値,取其平均值作为该点的测量值。测量结果列表 1。环境 γ 辐射空气吸收剂量率平均值为 5.79×10⁻⁸Gy·h⁻¹,范围为 4.27~7.14×10⁻⁸Gy·h⁻¹,该公司周围环境 γ 辐射水平在正常范围内^[2]。

2.2 环境 O₃(臭氧)浓度调查 在拟建项目的周围环境开阔地区布测量点进行采样(东、南、西、北各 800m 处)。O₃ 采样方法,按《环境监测技术规范》(大气部分)进行采样。O₃ 分析方法采用紫外光度法(GB/T15438-95)。测量结果见表 2。该工程 1 000m 范围内的 O₃ 小时平均浓度及最大浓度均低于《大气环境质量标准》中规定二级标准值每小时 0.16mg/m³。

3 施工期环境影响评价

项目施工建设过程中对环境主要的影响是施工噪声以及施工扬尘、建筑垃圾等。辐照装置距公司最近北墙外 1m 的白天噪声是 53.6dB(A),夜间噪声是 53.1dB(A),而东、南、北围墙外 1m 的噪声都小于 54dB(A)。厂界噪声预测结果满足三级

表 1 环境 γ 空气吸收剂量率测量结果(×10 ⁻⁸ Gy·h ⁻¹)			
序号	点位	测量值	计算值
1	离中心点(m)	6.9	5.88
2	东 10	6.2	5.07
3	东 50	6.0	4.84
4	东 100	6.1	4.96
5	东 300	5.8	4.61
6	东 500	5.6	4.38
7	南 10	8.0	7.14
8	南 50	7.6	6.68
9	南 100	6.8	5.76
10	南 300	7.5	6.57
11	南 500	7.2	6.22
12	西 10	6.8	5.76
13	西 50	7.0	5.99
14	西 100	6.9	5.88
15	西 300	7.2	6.22
16	西 500	5.5	4.27
17	北 10	6.4	5.30
18	北 50	7.4	6.45
19	北 100	7.7	6.80
20	北 300	7.5	6.57
21	北 500	7.2	6.22

表 2 环境空气臭氧(O ₃) 浓度监测结果(mg/m ³)		
序号	监测位置(m)	小时平均浓度范围
1	东 800	0.007~0.018
2	南 800	0.008~0.021
3	西 800	0.006~0.015
4	北 800	0.006~0.016

标准(白天 65dB(A),夜间 55dB(A)),满足 GB12348-90《工业企业厂界噪声标准》(III类标准)。因此本项目不会对周围环境产生噪声危害。建议采用低噪声的振捣棒以降低噪声。施工期扬尘对大气产生的影响。施工所用混凝土来自混凝土搅拌站,运输时采用密封式槽式车;扬尘原材料的运输、露天堆放均采用帆布覆盖;施工场地定期洒水、清洗等。采取上述措施可避免扬尘对大气环境的影响。施工期产生废水包括施工人员的生活污水和施工本身产生的废水,施工废水主要包括土方阶段降水并排水、结构阶段混凝土养护排水、以及各种车辆冲洗用水。施工期固体废物主要为施工人员的生活垃圾、施工渣土及损坏或废弃的各种建筑装饰材料。

4 辐射环境影响评价^[1-3]

4.1 环境辐射剂量估算模式 本项目设计为 1.48×10¹⁷Bq(400 万 Ci)矩形平面源。矩形源产生的 γ 辐射剂量率与源的相对尺寸 $n'=H/L$ 及到给定点的相对距离 $1/m=b/L$ (H、L、b 分别为源

作者单位:天津辐射环境管理所,天津 300191
作者简介:庞新新(1979~),男,助理工程师,现就读于清华大学工程物理系,从事核技术应用环境影响评价工作。

的长、宽及测量点距源中心的距离)及距离的方位有关。因此,在距源的不同方位和距离。将源视为面源、线源、点源。当 $m \leq 0.1$ 时将源视为点源。 ^{60}Co γ 射线所产生的散射 γ 线基本被辐照厅钢筋混凝土屏蔽掉,因此只作直接穿过墙体剂量的计算。

(1) 线源年剂量计算公式:

$$H = \frac{\gamma_r \cdot n \cdot l \cdot R_x \cdot \eta \cdot T}{di \cdot (di + l)} \cdot K \tag{1}$$

式中: H —测量点处的 γ 辐射年剂量当量, mSv; γ_r 放射性同位素的 γ 常数, $\text{R} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{Ci}$; η —放射性线密度, Ci/cm ; n —居留因子; T —辐照装置年开机时间; l —线源的长度, cm ; R_x — γ 射线透射率; K —照射量对剂量转换系数; di —测量点距线源的距离, m 。

(2) 面源年剂量计算公式

$$H = K \cdot \gamma_r \cdot n \cdot T \cdot \sigma$$

$$\left\{ \frac{\pi}{2} \left[-E_i(-\mu \cdot d) \right] - \int_0^{\arctan \frac{m}{n}} \left[-E_i(-\mu \cdot d \cdot \sqrt{1+m^2 \sec^2 \varphi}) \right] d\varphi - \int_{\arctan \frac{m}{n}}^{\frac{\pi}{2}} \left[-E_i(-\mu \cdot d) \cdot \sqrt{1+m^2+n^2 \csc^2 \varphi} \right] d\varphi \right\} \\ = K \cdot \gamma_r \cdot n \cdot T \cdot \sigma \cdot \Phi(m, n', \mu d) \tag{2}$$

式中第一项确定 $1/4$ 平面的剂量,其余两项表示 $1/4$ 平面除去矩形剩余的总剂量。式中的 $\sigma \cdot \Phi(m, n', \mu d)$ 表示: σ —放射源面密度, mCi/cm^2 ; Φ —矩形平面源的辐射函数; m —矩形平面源至测量点的距离倒数, $m = L/l$; n' —矩形平面源尺寸比, $n' = H/L$; μ —屏蔽材料 γ 线衰减系数, cm^{-1} ; d —屏蔽的材料厚度, cm 。其他符号同公式(1)。

(3) 点源年剂量计算

$$H = \frac{Q \cdot \gamma_r \cdot R_x \cdot n \cdot T}{d_i^2} \cdot K \tag{3}$$

式中: Q —放射源活度, Ci ; 其他符号同公式(2)。

(4) 屋顶散射年剂量计算

$$H_s = \frac{2.5 \times 10^{-2} Q \cdot \gamma_r \cdot K \cdot \Omega^{1.3} \cdot B \cdot e^{-u \cdot d} \cdot n \cdot T}{h^2 \cdot d_i^2} \tag{4}$$

式中: H_s — di 点的天空反散射年剂量当量, mSv; Q —放射源的活度, Ci ; Ω —放射源对天空所张的仰角, 立体角; B —屋顶材料对 γ 辐射的积累因子; h —放射源到屋顶外表面的高度再加上 2m ; u —屋顶材料的线性衰减系数, cm^{-1} ; d —屋顶厚度, cm 。其他符号同公式(3)。

4.2 辐射环境影响评价 根据计算点位置,结合上述计算公式给出辐照装置运行期间对辐射环境影响程度和范围。给出评价区域内公众个人年有效剂量当量及公众剂量限值的百分比。

4.2.1 线源状况 辐照厅 N 墙外 0.5m 处的年剂量 $H_{N0.5}$

采用公式(1), 公式中: 取 $\gamma_r = 1.32$; $\eta = 21739.13$; $l = 184\text{cm}$; $R_x = 1 \times 10^{-10}$; $n = 1/4$; $T = 8760\text{h}$; $K \approx 9.24$; $d_i = 8.63\text{m}$ 。

将上述各参数代入线源公式, 得:

$$H_{N0.5} = 0.118\text{mSv}$$

4.2.2 点源状况 辐照厅 N 墙外 30m 处的年剂量 $H_{N38.13}$ 。距源 38.13m, 线源长 1.84m, 则 $m = 1.84/38.13 = 0.05 < 0.1$, 可用点源代替, 采用点源公式。采用公式(3), 式中:

$H_{N38.13}$ —距源 38.13m 处得年剂量当量, mSv; $Q = 4 \times 10^6 \text{Ci}$; $R_x = 1 \times 10^{-11}$; $d_i = 38.13$ 。其他符号参数同上, 将参数代入点源公式, 则:

$$H_{N38.13} = 7.3 \times 10^{-4} \text{mSv}$$

4.2.3 面源状况 W 墙外 0.5m 处的年剂量 $H_{W0.5}$ 采用公式(2), 式中: $H_{W0.5}$ —辐照厅 W 墙外 0.5m 处年剂量当量, mSv; $\sigma = 1245795.44$; $\Phi = 2.8 \times 10^{-15}$; $m = 1.84/5.3 = 0.35$; $n' = 0.95$; 则 $\mu d = 29.21$ 。其他符号参数同上, 将参数代入面源公式, 则:

$$H_{W0.5} = 0.9 \times 10^{-4} \text{mSv}$$

4.2.4 天空反散射状况 在辐照厅屋顶为 1.90m 厚混凝土情况下, N 墙外 30m, 即距源 38.13m 处得天空反散射年剂量 $H'_{N38.13}$

采用公式(4), 式中: $H'_{N38.13}$ — d_i 点的天空反散射年剂量当

量, mSv; $\Omega = \frac{\pi}{5}$; $B = 60.8$; $\mu = 0.127\text{cm}^{-1}$; $d = 190\text{cm}$; $h = 8.6\text{m}$; $d_i = 38.13\text{m}$ 。其他符号参数同上, 将参数代入天空反散射公式, 则:

$$H'_{N38.13} = 2.8 \times 10^{-5} \text{mSv}$$

4.2.5 辐射环境影响结果与评价^[4] 辐照装置全年运行对辐照厅内外各参数点理论计算年剂量结果列于表 3。

表 3 各参数点年剂量

位 置	居留因子	不同装源量的年剂量(mSv)		年剂量限值(mSv)占%	备 注
		1.48×10 ¹⁶ Bq (40万Ci)	1.48×10 ¹⁶ Bq (400万Ci)		
N 墙外 0.5m	1/4	0.012	0.118	12	
N 墙外 30m	1/4	7.3×10 ⁻⁵	7.3×10 ⁻⁴	0.7	直接透射
N 墙外 30m	1/4	2.3×10 ⁻⁶	2.8×10 ⁻⁵	0.03	天空反射散
W 墙外 0.5m	1/4	0.9×10 ⁻⁵	0.9×10 ⁻⁴	0.1	
已辐照区大厅区	1/4	7.1×10 ⁻⁶	7.1×10 ⁻⁵	0.07	
已辐照区大厅 W 区	1/4	1.5×10 ⁻⁶	1.5×10 ⁻⁵	0.02	
清洁间	1/4	5.3×10 ⁻⁶	5.3×10 ⁻⁷	0.05	
检修人员休息室	1	1.9×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁴	0.2	
待辐照区大厅	1/4	9.5×10 ⁻⁷	9.5×10 ⁻⁶	0	
待辐照区大厅 E 墙外	1/4	1.3×10 ⁻⁷	1.3×10 ⁻⁶	0	
迷道口	1/4	2.0×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁵	0.02	

4.3 环境 O₃ 浓度的估算模式

(1) O₃ 产生率的计算:

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} A \cdot G \cdot V^{1.5} \tag{5}$$

式中: Q_0 — ^{60}Co 辐照厅的 O₃ 的产生率, $(\text{mg} \cdot \text{h}^{-1})$; A —放射源的活度, Ci ; G —空气吸收 100eV 的电离辐射能量产生的臭氧分子数; V —辐照厅体积, m^3 。

(2) O₃ 对环境影响的计算

$$C = \frac{Q}{\pi \cdot V \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \tag{6}$$

式中: C —距排气筒 $i(\text{m})$ 处的空气中 O₃ 浓度, $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$; Q —排气筒排放 O₃ 的速率, $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$; V —排气筒排风速度, m ; σ_y —水平方向的扩散参数, m ; H —排气筒的有效高度, m 。

利用当地气象资料, 预测在 D 类稳定状态下, 下风轴线一次(小时平均) O₃ 落地浓度活量和年平均浓度。将 O₃ 浓度活量, 与现状值迭加, 评价 O₃ 对大气环境的影响程度和范围。

该 ^{60}Co 辐照装置对环境产生 O₃ 浓度为 $2.46 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$, 环境背景值为 $0.006 \sim 0.021 \text{mg}/\text{m}^3$, 运行期间最大叠加浓度 $0.021 \text{mg}/\text{m}^3$, 远低于《大气环境质量标准》 $0.16 \text{mg}/\text{m}^3$, 对大气不会产生负面影响。

经计算, 本项目辐照加工对各参考点产生的 γ 辐射年剂量为 $1.3 \times 10^{-6} \sim 0.118 \text{mSv}$, 为公众允许剂量限值 1mSv 的 $0 \sim 12\%$ ^[1]; 参考点最大剂量值较天津市东丽区环境天然 γ 辐照产生的年平均有效剂量 0.100mSv 高出 18% , 也就是说比环境天然 γ 本底的剂量高出 18% , 对环境影响很小, 可以忽略, 项目是可行的。

参考文献:

[1] GB18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
[2] GB111215—89 核辐射环境质量评价一般规定[S].
[3] GB10252—88 辐照加工用钴—60 辐照装置的辐射防护规定[S].
[4] 庞新新, 唐绪兴. 天津金鹏源辐照技术有限公司一期辐照中心项目环境影响评价报告书[Z]. 2004.
[5] 庞新新, 唐绪兴. 天津市农业科学研究院辐照中心项目环境影响评价报告书[Z]. 2004.

(收稿日期: 2006—05—30)