

CNIC-01429

CIRP-0029

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

大亚湾地区建筑物辐射屏蔽因子的计算

CALCULATION OF SHIELDING FACTOR OF
BUILDING TO RADIATION FOR DAYA BAY AREA

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告. CNIC-01429. CIRP-0029: 大亚湾地区建筑物辐射屏蔽因子的计算 / 胡二邦等著. —北京: 原子能出版社, 1999. 12

ISBN 7-5022-2119-0

I. 中… II. 胡… III. 核技术-中国-研究报告 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 54015 号

原子能出版社出版发行

责任编辑: 孙凤春

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16 · 印张 3/2 · 字数 36 千字

1999 年 12 月北京第一版 · 1999 年 12 月北京第一次印刷

印数: 1—200

定价: 5.00 元



胡二邦：研究员，中国辐射防护研究院环境科学所所长。中国环境评价学会常务副主任，中国大气环境学会副主任，中国环境评价学会环境风险专业委员会主任，国家环保局核环境专家技术委员会成员。享受政府特殊津贴，被授予部级“有突出贡献的中青年专家”称号。作为主持人完成的科研项目中，获国家级科技进步三等奖一项，部级二等奖四项，部级三等奖三项，在国内外杂志及学术会议上发表论文 70 余篇，1964 年毕业于清华大学工程物理系。

Hu Erbang; Professor, director of Environmental Science Institute, China Institute for Radiation Protection; executive deputy president of Chinese Association for Environment Assessment (CAEA); deputy president of Chinese Association for Atmospheric Environment (CAAE); director of Speciality Committee of Environment Risk, CAEA; Member of Specialist Committee for Nuclear Environment, NEPA. Enjoy special government allowance and being granted the Ministry-level Outstanding Young and Middle-aged Specialist, CNNC. Win some prizes for progress of science and technology of third class at national-level, second and third class at ministry-level respectively in these research projects which he took charge of. More than 70 papers were published in international or domestic journals and symposiums. Graduated from Department of Engineering Physics, Tsinghua University in 1964.

大亚湾地区建筑物辐射屏蔽因子的计算

胡二邦 高占荣

(中国辐射防护研究院, 太原, 030006)

摘 要

采用点核积分技术计算了大亚湾地区建筑物对平面沉积源及飘过烟羽的屏蔽因子。计算中考虑了地面沉积源、外墙沉积源及屋顶沉积源对室内参考点剂量的贡献, 还考虑了用 0.5 MeV, 0.75 MeV 和 1.25 MeV 三组能量光子分别代表软、中、硬三类光子。计算结果给出了一层、二层、新式三层及大型办公楼房对平面沉积源的屏蔽因子推荐值分别为 0.22, 0.15, 0.10 和 0.03, 对飘过烟羽的屏蔽因子推荐值分别为 0.16, 0.10, 0.08 和 0.03。最后采用蒙特卡罗方法作了比较计算, 并对外墙厚度、窗户面积比例及 γ 光子能量对屏蔽因子值的影响进行了讨论。

Calculation of Shielding Factor of Building to Radiation for Daya Bay Area

(In Chinese)

HU Erbang GAO Zhanrong

(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, 030006)

ABSTRACT

A point-kernel integrated technique is adopted to calculate the shielding afforded by building against a surface deposited radioactivity and a moving radioactive plume for the Daya Bay Area. In calculations the contribution from radioactivity deposited on the ground, outer wall and roof to the dose received by a reference point indoors is considered. Three sets of photon with energy 0.5 MeV, 0.75 MeV and 1.25 MeV are selected as representative of photons with low, medium and high energy. Calculation result shows that a set of shielding factors 0.22, 0.15, 0.10 and 0.03 are suitable for surface deposited radioactive sources for the houses with one-storey, two-storey, three-storey and tower respectively and another set of shielding factors 0.16, 0.10, 0.08 and 0.03 for moving radioactive plume for buildings mentioned above respectively. A comparison of results given by point-kernel integrated technique and Monte Carlo technique is done. The effect to shielding factor is discussed from the following three parameters: thickness of wall, area of windows and photon energy.

前 言

前苏联切尔诺贝利核电站事故造成的重大损失,引起了世界范围核电国家对核事故应急措施的重视,并表示了巨大的关注,各核电国家对核事故早期三个最重要的防护措施即隐蔽、内服碘片、撤离的防护效果进行了广泛的研究。

作为最直接的防护措施之一的隐蔽是指当通知发生核事故后,居民马上应关闭所有门窗,躲进室内,防止过量放射性对人体造成辐射。隐蔽的好处之一是建筑物对居民提供了屏蔽,阻止了落下灰对人体皮肤的沾染,同时还减少了放射性烟羽和放射性沉积物对人体造成的外照射。

放射性烟羽是指当发生核事故泄漏,放射性物质通过烟囱进入大气环境,并以双正态形状向下风向输送扩散的烟羽。通常,烟羽的尺度同寓所的尺度相比较,因此本文假定放射性烟羽源为半无限源,并认为源内为各向同性分布的均匀源。

Burson 和 Profio 对机动车辆和建筑物对放射性烟羽和落下灰的屏蔽效果作了详细的研究,他们的计算结果被广泛地应用于各国的核事故应急评价,但是由于中国建筑物的结构和材料都同他们的研究有很大的不同,中国建筑物的布局与西方国家的布局相差很大,所以基于中国实际情况对其进行重新评价在我国应急领域有其实际意义。

当前,反应堆工程屏蔽的计算有很多种方法,其中有离散纵标法,点核积分法和蒙特卡罗随机模拟法等。各国在计算建筑物屏蔽因子时大量使用的方法是点核积分法和蒙特卡罗随机法。点核积分法是一种格林函数积分方法,它使用了一种积累因子对光子的散射进行了修正,该方法大量应用于反应堆工程屏蔽,本文使用的点核积分法程序是美国 Los Alamos 和 ORNL 国立实验室研制开发,经加拿大原子能公司(AECL)和日本原子能研究所(JAERI)改进的 QAD-CGGP 程序,该程序以它的程序参数完整和使用组合几何受到各国从事反应堆工程屏蔽的技术人员的青睐和应用;蒙特卡罗随机法是一种概率统计方法,它通过大量粒子的随机实验,以大量统计结果的期望值构造为计算结果的一种方法,自计算机出现以来取得了很大的发展。本文使用的蒙特卡罗随机程序是由 Los Alamos 国立实验室开发的 MCNP4A 程序,该程序是目前最出色的蒙特卡罗程序之一,它以完整的核截面数据,处理几何能力强而出名。

为了简化计算,本报告只考虑 0.5 MeV, 0.75 MeV 和 1.25 MeV 三组光子以分别代表软、中、硬三类光子。

1 广东核电站周围建筑物结构特征

1997 年我们对大亚湾地区 10 km 范围内的建筑物类型和有关特征(主要包括层次,外形,尺寸,窗户位置与结构材料等)作了调查。并与广东核事故应急办公室联系,由有关当局获取了深圳市龙岗区大鹏镇目前各类建筑物散量的分布数据。表 1 给出各类建筑物的栋

表 1 深圳市龙岗区大鹏镇各类建筑物分布

建筑物类型	平房	二层楼房	三层与多层楼房 ¹⁾	高层 ²⁾
数量	3050	3820	3130	无
百分比	30.5	38.2	31.3	0

注: 1) 这里多层指三层以上至十层建筑物;

2) 高层指十层以上建筑物。

数和所占比例。由表可见,在广东大亚湾核电厂周围平房,二层楼房,三层与多层楼房几乎各占三分之一。建筑物外墙以砖石结构为主,外墙厚度为 25~35 cm 之间。作为例示,图 1、2、3 分别给出大亚湾周围旧式二层平顶、新式三层、大型办公三类建筑物的 CAD 视图。表 2 则给出了我国大亚湾地区各类建筑物使用的材料。

表 2 大亚湾地区各类建筑物使用的建筑材料

建筑材料	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	建筑材料	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
西洋森板	0.38	石榴水泥板	1.5~1.6
熟石膏板	1.1	石膏板	0.95~1.4
泥土	1.1~1.3	机制石膏板	0.93~1.4
灰泥	2.0~2.15	玻璃	2.5
水泥	2.3~2.35	黏土屋顶瓦	1.73
轻水泥	1.6	纤维板	0.99
空心水泥块	1.21	铁皮	7.86
保利板	0.63	大理石	2.35

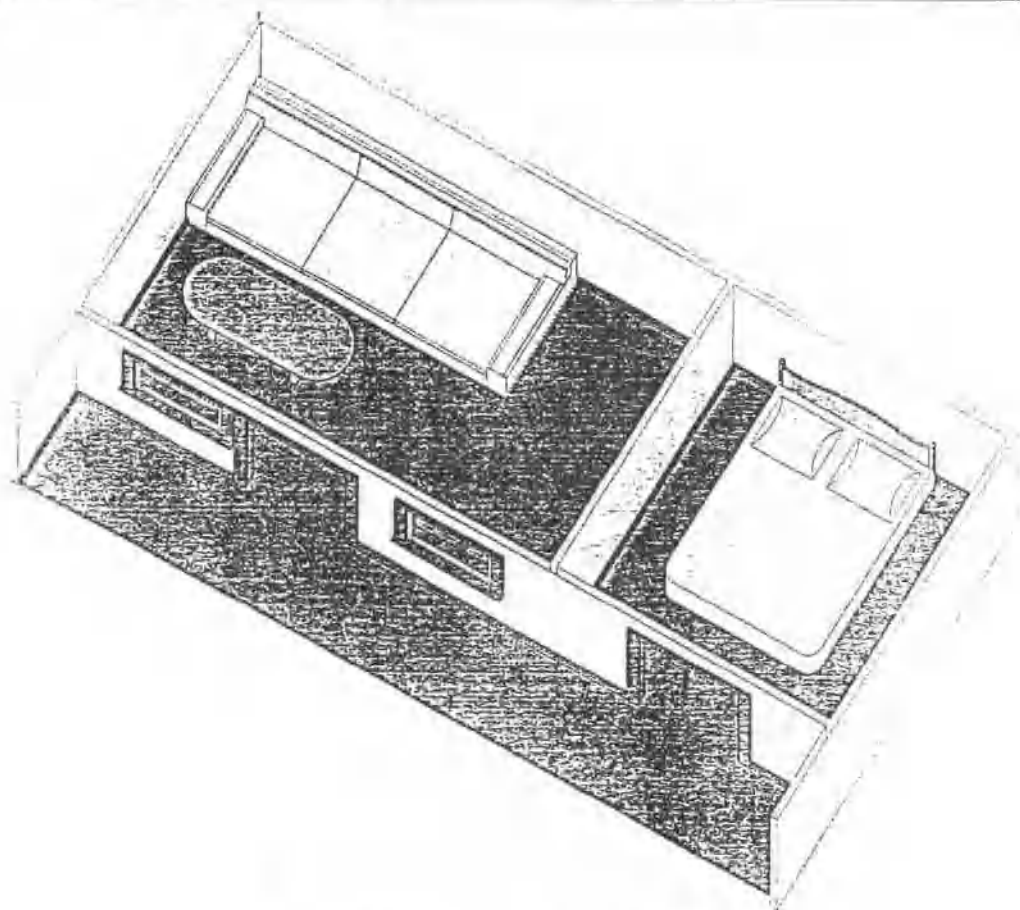


图 1 旧式二层平顶建筑物三维 CAD 视图 (一层)

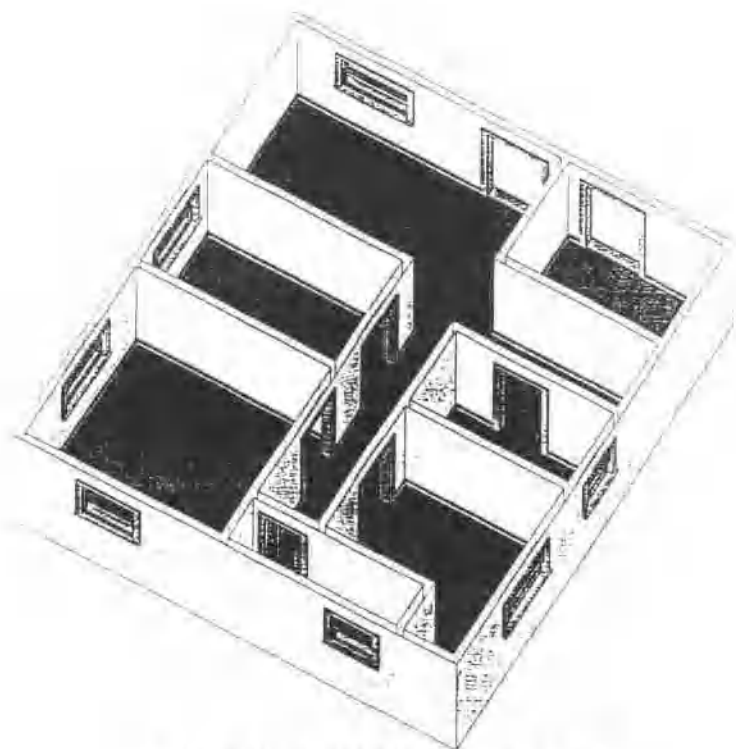


图2 广东新式三层建筑物三维 CAD 视图

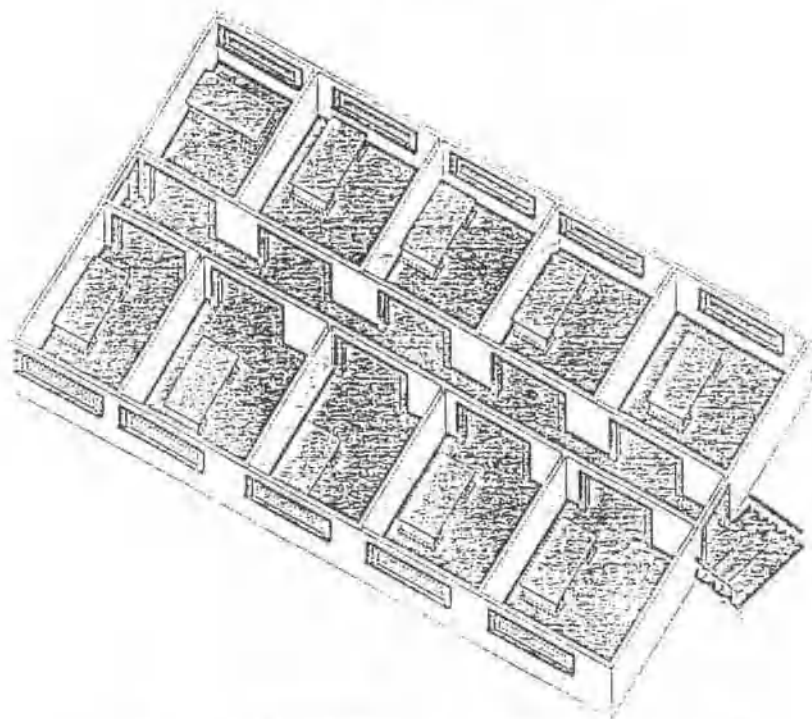


图3 大型办公建筑物三维 CAD 视图 (建筑面积 540 m²)

目前, 大亚湾地区的住房使用的建筑材料大部分为钢筋混凝土, 砖块, 玻璃, 木头等, 为了简化计算, 我们仅取以下几种材料, 并假定所有的窗户和门都为玻璃结构, 表 3 给出各建材的成分和所占比例。

表 3 大亚湾地区各类介质元素成分

g · cm⁻³

建筑材料名称	混凝土	大理石	玻璃	空气	砖块
H	0.032	0.0	0.01	0.0	0.018
O	1.217	1.248	1.188	0.0003	0.72
Ca	0.101	1.04	0.15	0.0	0.013
Si	0.775	0.0	0.857	0.0	0.417
Na	0.037	0.0	0.267	0.0	0.008
K	0.03	0.000	0.00	0.0	0.000
Al	0.078	0.0	0.017	0.0	0.086
N	0.0	0.0	0.0	0.001	0.086
C	0.0	0.312	0.0	0.0	0.0

2 计算模式

2.1 建筑物屏蔽因子

建筑物对平面 γ 放射性沉积源的屏蔽因子 (SF) 定义为平面 γ 放射性沉积源对建筑物内某关心点造成的剂量率 $\dot{D}(\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1})$ 与污染源对室外参考点 (距地面上方 1 m 处) 造成的剂量率 $\dot{D}_{\text{ref}}(\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1})$ 之比, 即 $\text{SF} = \dot{D} / \dot{D}_{\text{ref}}$ 。本文考虑的平面放射性污染源包括事故造成的建筑物周围地面沉积源、外墙表面沉积源和屋顶沉积源。因此本文中的建筑物屏蔽因子由下式给出:

$$\text{SF} = \frac{\dot{D}_g + \dot{D}_w + \dot{D}_r}{\dot{D}_{\text{ref}}} \quad (1)$$

式中, $\dot{D}_g$, $\dot{D}_w$ 与 $\dot{D}_r$ 分别表示建筑物周围地面沉积源、外表面沉积源和屋顶沉积源对室内关心点造成的剂量率, ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)。

计算采用点核积分技术, 具体计算公式在下面几节给出。

2.1.1 无限地面沉积源对室外参考点的剂量率

均匀源强为 Q_s ($\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) 的无限地面 γ 沉积源在距源上方某距离 a 米处 (对于参考点, 取 $a = 1 \text{ m}$) 的光子通量密度 ϕ_{ref} ($\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) 由下式给出:

$$\phi_{\text{ref}} = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{Q_s}{4\pi r^2} B_r(\mu_s r) \exp(-\mu_a r) l \cdot d\theta dl \quad (2)$$

式中:

B_r —— γ 光子的剂量累积因子;

μ_a —— γ 光子在空气中的线性减弱系数, m^{-1} ;

r —— 地面 γ 沉积源面积元 $l \cdot d\theta dl$ 距计算参考点的距离, m;

l ——面积元 $l \cdot d\theta dl$ 距坐标原点的距离, m;

参考点的坐标为 $(0, 0, z = 1 \text{ m})$;

$$r^2 = l^2 + 1.$$

无限地面 γ 沉积源对参考点造成的剂量率 $\dot{D}_{\text{ref}}$ 则由下式给出:

$$\dot{D}_{\text{ref}} = \alpha \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_a \cdot \phi_{\text{ref}} E_{\gamma} \quad (3)$$

式中:

$(\mu_{\text{en}}/\rho)_a$ —— γ 光子在空气中的质能吸收系数;

E_{γ} ——光子能量, MeV;

α ——单位换算因子。

2.1.2 地面沉积源对室内参考点的剂量率

地面 γ 沉积源对建筑物内某参考点的光子通量 ϕ 可由下式表示:

$$\phi = \frac{Q_s}{4\pi} \int_A \frac{B_r(\sum \mu R)}{r^2} \exp(-\sum \mu R) dA \quad (4)$$

式中:

dA ——地面沉积源的面积元, m^2 ;

r ——面积元至参考点的距离, m;

A ——考虑的地面沉积源的总面积, m^2 ;

$\sum \mu R$ ——光子在从源至参考点过程中穿过的空气和建筑材料的平均自由程之和。

假定考虑的是一栋其四周被马路所围的多层建筑物 (图 4 和图 5 分别给出此楼房的水平截面及垂直截面与马路表面 γ 沉积源的相对几何位置示意图), 那末, 事故造成的四周马路表面的 γ 沉积源对位于该楼房第 n 层房间中心地板上方 a 米处的某参考点的光子通量 ϕ_s 由下式给出:

$$\phi_s = 4 \cdot \frac{Q_s}{4\pi} \left\{ \int_0^{(c/b)y} \left[\sum_{j=0}^n \int_{y_j}^{y_{j+1}} \frac{B_r(\mu R_{0,j,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{0,j,n}) dy \right] dx + \sum_{i=1}^M \int_{(2i-1)(c/b)y}^{(2i+1)(c/b)y} \left[\sum_{j=0}^n \frac{B_r(\mu R_{i,j,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{i,j,n}) dy \right] dx \right\} \quad (5)$$

式中,

$$r^2 = x^2 + y^2 + [n(z_0 + x_g) + a]^2 \quad (6)$$

$$\mu R_{i,j,n} = \mu_w \left[(n-j)x_g \frac{r}{n(z_0 + x_g) + a} + (x_g + x_n) \frac{r}{y} + ix_g \frac{r}{x} \right] + \mu_a \cdot r \quad (7)$$

$$y_j = b \frac{n(z_0 + x_g) + a}{(n-j)(z_0 + x_g) + a} \quad (8)$$

$$y_0 = b + x_f \quad (9)$$

$$y_{n+1} = y_0 + W_{\text{road}} \quad (10)$$

式中:

b —— 计算点 (房间地板中心) 至房间前墙的距离, m;

c —— 计算点至房间边墙的距离, m;

x_f —— 前墙的厚度, m;

x_g —— 地板的厚度, m;

x_s —— 边墙的厚度, m;

x_{in} —— 内墙的厚度, m;

z_0 —— 各层房间的高度, (这里假定每层房间高度都相同), m;

计算参考点的坐标为 $[0, 0, n(z_0 + x_g)a]$;

M —— 相邻房间数目;

W_{road} —— 马路宽度, m;

μ_w —— 地板或墙 (包括外、边、内墙) 的 γ 光子线性减弱系数 (这里假定它们的值相等)。

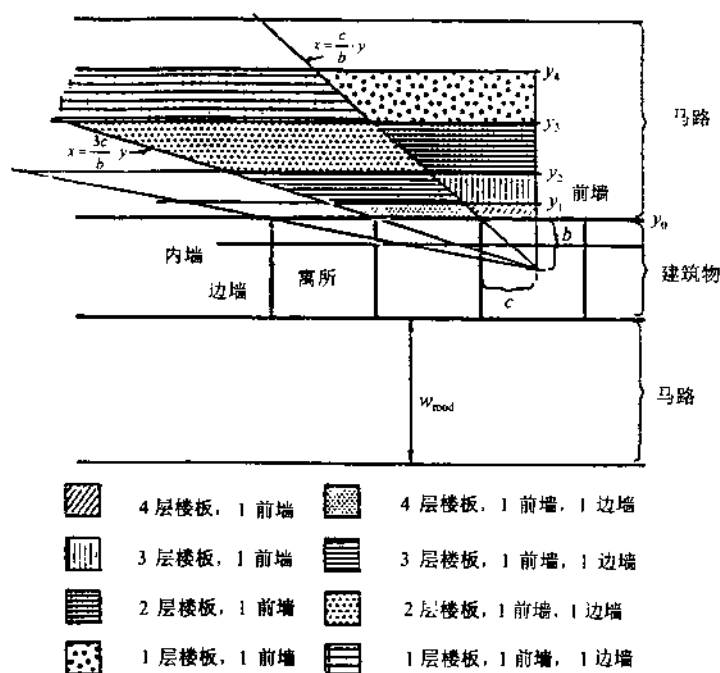


图4 马路边多层楼房的水平截面与马路地面沉积源几何相对位置示意图

注: 计算参考点位于4层, 图中图例表示位于马路沉积放射性穿透4层楼房, 一层前墙和一层边墙。

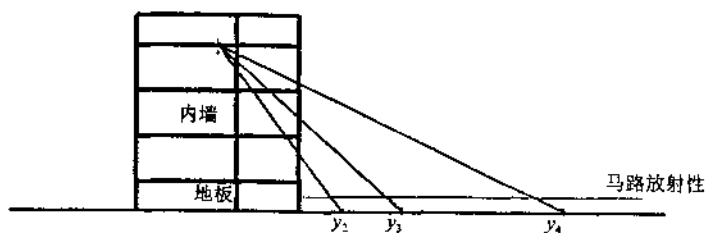


图5 建筑物的垂直截面和地面沉积放射性相对几何位置示意图

由图4和图5可见,对于 y 方向即与前墙垂直的方向或横截马路方向而言,由 $y_0 < y < y_1$ 地面沉积源发射的 γ 光子到达参考点需穿过前墙和 n 层地板,由 $y_1 < y < y_2$ 地面源发射的 γ 光子,则需穿过前墙和 $(n-1)$ 层地板,依此类推。对于 x 方向即沿马路或前墙方向而言,由 $0 < x < \frac{c}{b}y$ 地面源发射的光子到达参考点只需穿过前墙,由 $\frac{c}{b}y < x < \frac{3c}{b}y$ 地面源发射的 γ 光子则需穿过前墙和一层边墙,而由 $\frac{3c}{b}y < x < 5\frac{c}{b}y$ 地面源发射的光子则需穿过前墙和二层边墙,依此类推。

马路地面沉积源对参考点的剂量也可由式(3)计算,只需以 ϕ_s 替代式(3)中的 ϕ_{ref} 。

2.1.3 外墙沉积源对室内参考点的剂量率

来自外墙沉积的放射性核素导致的室内参考点的光子通量 $\phi_w(\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$ 可由式(11)给出,其源与参考点的相对几何位置示于图6。

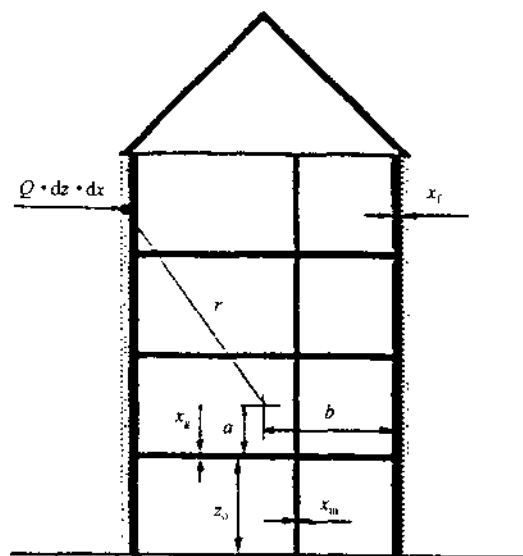


图6 来自外墙的放射性穿透建筑物的示意图

$$\phi_w = 4 \cdot \frac{Q_w}{4\pi} \left\{ \int_{x=0}^c \left[\sum_{j=0}^p \int_{z=z_j}^{z_{j+1}} \frac{B_i(\mu R_{0,j,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{0,j,n}) dz \right] dx + \sum_{i=1}^M \int_{x=(2i-1)c}^{(2i+1)c} \left[\sum_{j=0}^p \int_{z=z_j}^{z_{j+1}} \frac{B_i(\mu R_{i,j,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{i,j,n}) dz \right] dx \right\} \quad (11)$$

式中,

$$r^2 = x^2 + (b + x_1)^2 + [n(z_0 + x_0) + a - z]^2 \quad (12)$$

$$z_j = j(z_0 + x_g) \quad (13)$$

$$\mu R_{i,j,n} = \mu_w \left\{ (n-j)x_g \frac{r}{[n(z_0 + x_g) + a - z]} + (x_f + x_{in}) \frac{r}{b + x_f} + ix_s \frac{r}{x} \right\} + \mu_a r \quad (14)$$

式中: Q_w ——外墙沉积放射性源, $Bq \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$; P ——该楼房的总层数。与前同理, 对参考点的剂量率 $\dot{D}_w$ 也由式 (3) 给出, 式中的 ϕ_{ref} 应由 ϕ_w 替代。

2.1.4 屋顶沉积源对室内参考点的剂量率

来自屋顶沉积的放射性核素导致的室内参考点的光子通量密度 $\phi_i (Bq \cdot s^{-1} \cdot m^{-2})$ 可由式 (15) 给出, 图 7 则给出源与参考点的相对几何位置。

$$\phi_i = 4 \cdot \frac{Q_r}{4\pi} \left\{ \int_{y=0}^b \int_{x=0}^c \frac{B_r(\mu R_{0,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{0,n}) dx + \sum_{i=1}^M \int_{x=(2i-1)c}^{(2i+1)c} \frac{B_r(\mu R_{i,n})}{r^2} \exp(-\mu R_{i,n}) dx dy \right\} \quad (15)$$

式中,

$$r^2 = x^2 + y^2 + [(p-n+1)(z_0 + x_g) - a + a_{roof} + x_{roof}]^2 \quad (16)$$

$$\mu R_{i,n} = \mu_w \left[(p-n+1)x_g \frac{r}{(p-n+1)(x_0 + x_g) - a + a_{roof} + x_{roof}} + ix_s \frac{r}{x} \right] + \mu_a r \quad (17)$$

式中:

Q ——屋顶沉积源强, $Bq \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$;

a_{roof} ——尖屋顶等效为平屋顶的等效

高度, m;

x_{roof} ——屋顶厚度, m。

2.2 建筑物对飘过的放射性烟羽的屏蔽因子

核电厂发生事故时, 从烟囱释出的放射性烟羽随风向下风向漂移的同时, 因大气湍流而不断扩散, 其烟羽尺寸也不断扩大, 鉴于影响建筑物屏蔽因子的主要因素是建筑物的材料与厚度, 作为简化处理, 计算中把建筑物简化为半球状, 在这个半球上, 窗户、屋顶和墙按一定比例和位置排列, 放射性烟羽也简化为一个半球。本文假定放射源为一半径 500 m 的半球。

3 计算结果及初步分析

3.1 程序计算比对验证

为验证计算程序的正确性, 以美国民防局提供的一栋一层无分隔平房为标准建筑

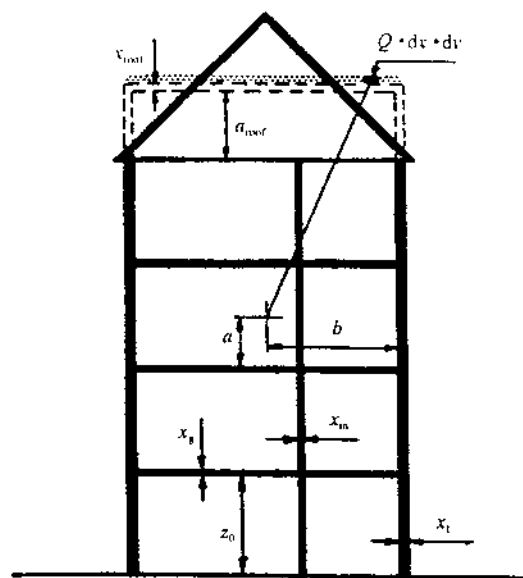


图 7 来自屋顶的放射性穿透建筑物的示意图

物进行了计算，并和丹麦雷沙实验室的计算结果及美国国防局的实验测量结果进行了对比。图 8 与图 9 分别给出本程序计算得到的该建筑物的屏蔽因子的等值线分布图与三维分布图。表 4 给出了屏蔽因子的比对结果。结果表明，二者结果基本吻合，本程序计算结果是合理的。

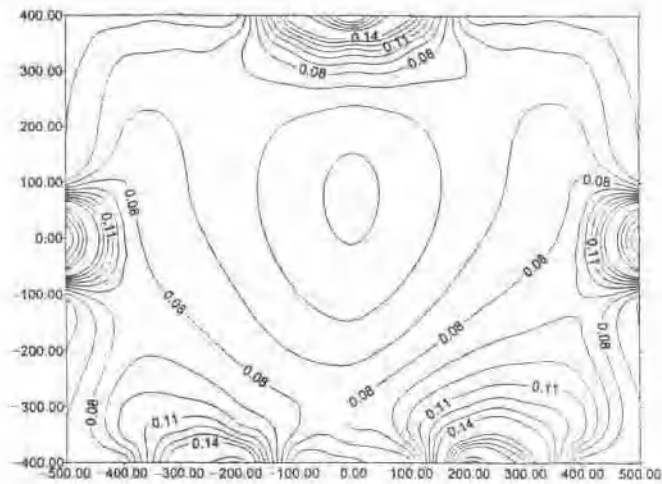


图 8 一层无分隔平板建筑物屏蔽因子等值线分布图（80 m²）

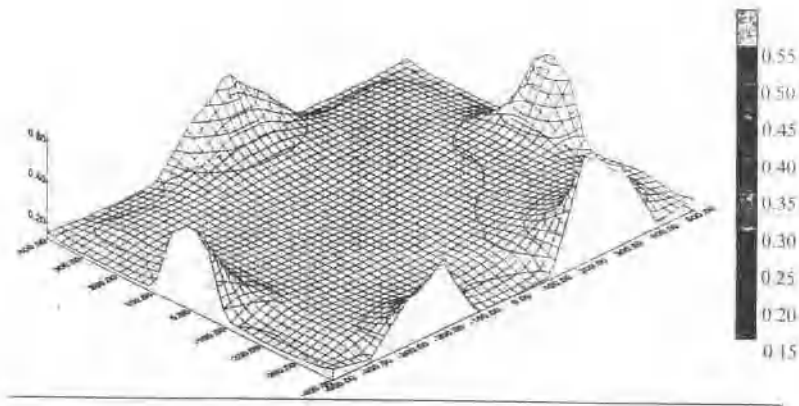


图 9 一层无分隔平板建筑物屏蔽因子三维图（80 m²）

表 4 一栋标准建筑物屏蔽因子的比较

	光子能量 / MeV	屏蔽因子		
		最大值	最小值	平均值
本文计算值	0.5	0.543	0.114	0.17
	0.75	0.582	0.12	0.19
	1.25	0.62	0.14	0.22
雷沙计算值				0.22
美国测量值				0.23~0.3

3.2 对平面沉积源屏蔽因子的计算结果及初步分析

3.2.1 平房和二层平顶建筑屏蔽因子的计算结果及初步分析

表 5 给出了广东大亚湾核电厂周围一层尖顶建筑物对地面沉积放射性（包括外墙和屋顶的沉积）的屏蔽因子值。作为例子，图 10 给出一层尖顶建筑物对 1.25 MeV γ 光子的屏蔽因子分布图。

表 6 则给出建筑面积为 60 m² 的二层平顶建筑屏蔽因子的计算结果。图 11 与图 12 给出建筑物一楼与二楼对 0.5 MeV γ 光子的屏蔽因子等值线分布图，图 13 则给出一楼屏蔽因子的三维分布。由表 6 可以看出，对于同一建筑物，各位置的屏蔽因子的值变化很大，对于我国最典型的二层平顶建筑，最大值同最小值差别也在数十倍以上。能量越大，屏蔽因子的值越大，建筑物的防护效果也就越差。

从表 6 与图 11、12、13 也可看出，有了分隔墙和楼板的二层平顶建筑物的屏蔽效果要明显好于第一种建筑物，对 0.5 MeV 的 γ 射线，其屏蔽因子值约为一层尖顶建筑物的二分之一。屏蔽因子的最大值仍出现在窗户和门口的位置，这是由于窗口和门的屏蔽材料的厚度（0.5 cm 的玻璃）同墙体的厚度（35 cm）相比太薄，故屏蔽效果差，而屏蔽因子的最小值出现在射线很难穿透的角落和屏蔽材料很厚的分隔墙的附近。同时也可以看出二楼的屏蔽因子值要小于一楼，这是由于对于三种源（马路地面，外墙，屋顶），贡献最大的是来自地面的放射性落下灰的外照射。

3.2.2 二层建筑物和多层楼房的屏蔽因子计算结果及初步分析

近年来，随着我国经济的高速增长和人民生活水平的提高，住房也越来越现代化，最新调查表明：三层或三层以上建筑物已成为或即将成为大亚湾地区居民居住的主流建筑，该建筑的特点是建筑面积大，实用，舒适。图 2 为其二维视图。

表 5 广东一层尖顶建筑物的屏蔽因子值

光子能量 MeV	屏蔽因子		
	最大值	最小值	平均值
0.5	0.560	0.114	0.208
0.75	0.565	0.123	0.212
1.25	0.574	0.153	0.221

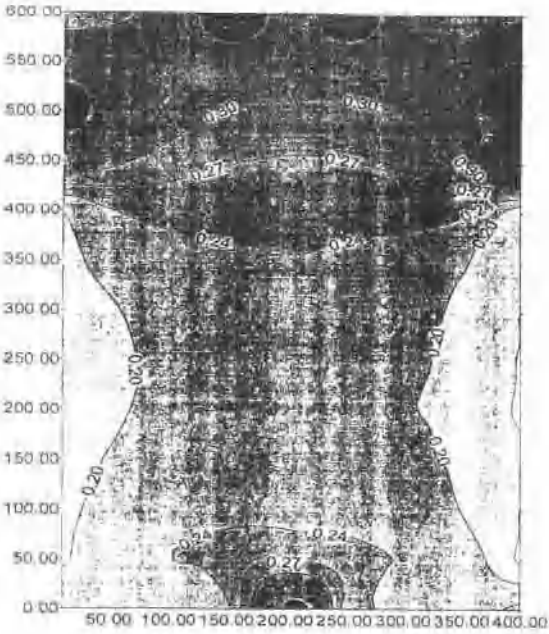


图 10 一层尖顶建筑物的屏蔽因子分布图（1.25 MeV）

表 6 二层平顶建筑的屏蔽因子(点核积分技术)
(对于地面、外墙和屋顶沉积)

	γ 光子能量 MeV	屏蔽因子		
		最大值	最小值	平均值
一 层	0.5	0.34	0.057	0.11
	0.75	0.35	0.058	0.12
	1.25	0.352	0.062	0.13
二 层	0.5	0.436	0.008	0.09
	0.75	0.437	0.01	0.10
	1.25	0.441	0.015	0.12

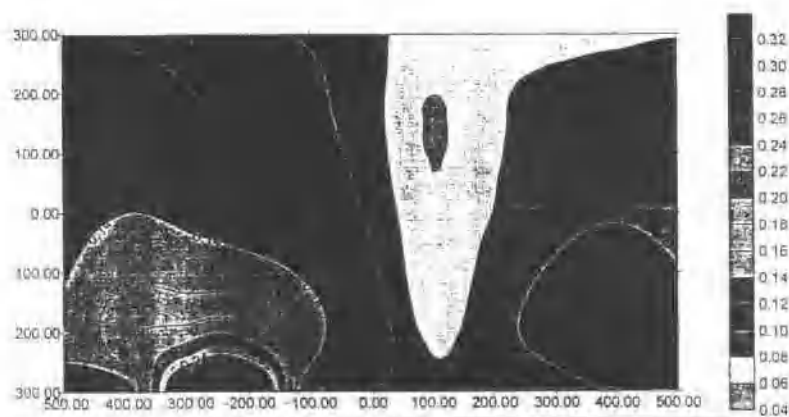


图 11 二层平顶建筑物屏蔽因子 (0.5 MeV) 等值线分布图 (第一层)

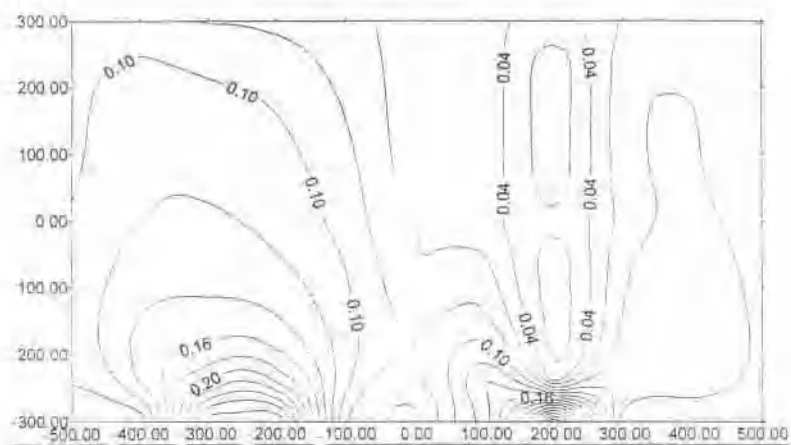


图 12 二层平顶建筑物屏蔽因子 (0.5 MeV) 等值线分布图 (二层)

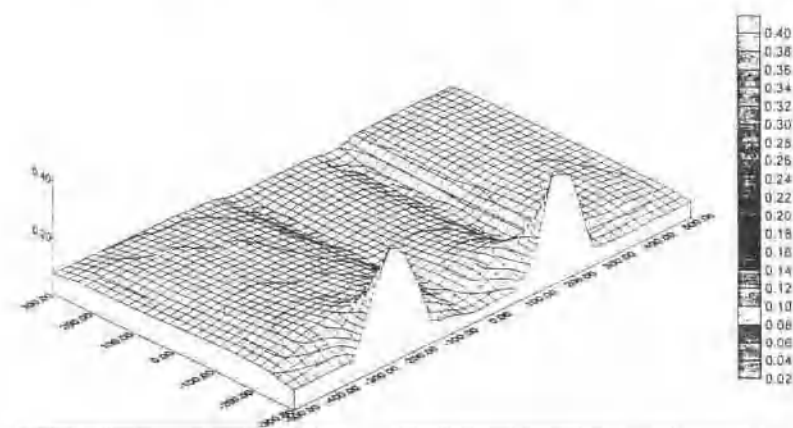


图 13 二层平顶建筑物屏蔽因子 (0.5 MeV) 三维分布图 (二层)

表 7 给出该建筑物一、二、三楼对三类能量 (0.5, 0.75, 1.25 MeV) γ 光子的屏蔽因子计算结果。图 14 和 15 作为例示分别给出一层和三层对 0.75 MeV γ 光子的屏蔽因子等值线分布图。

