



BNU

极低本底人体内污染直接测量 关键技术研究

刘圆圆、吴彬
核科学与技术学院
北京师范大学

研究团队



熊莉萍

孟祥鹏

王宇

王菁



面向人民生命健康

➤ 2020年，全球有~1930万癌症新增病例，
~1000万癌症死亡病例

- ❖ 新增病例中肺癌第二 (11.4%)
- ❖ 死亡病例中肺癌第一 (18%)

➤ 2020年，我国有~456万癌症新增病例，
~300万癌症死亡病例

- ❖ 新增病例中肺癌第一 (17.9%)
- ❖ 死亡病例中肺癌第一 (23.8%)

Ref: GloboCan 2020



World Health
Organization

© WHO 2020. All rights reserved

导致肺癌的因素-1

➤吸烟是导致肺癌的首要诱因

- ❖ 全球**13亿**吸烟人群，每天消耗**150亿**根香烟
- ❖ 我国有**3亿**吸烟人群，**7亿**二手烟暴露人群



World Health
Organization

Health topics ▾

Our work ▾

News ▾

Emergencies ▾



26.6% of adults

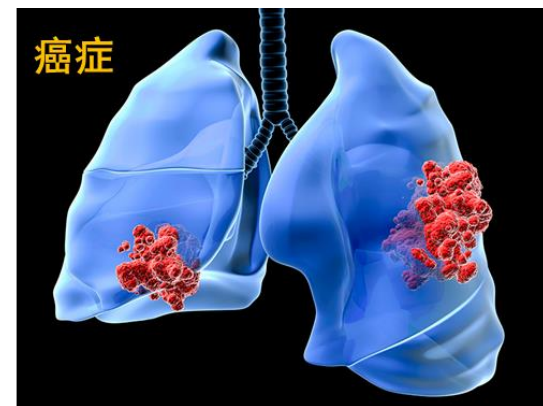
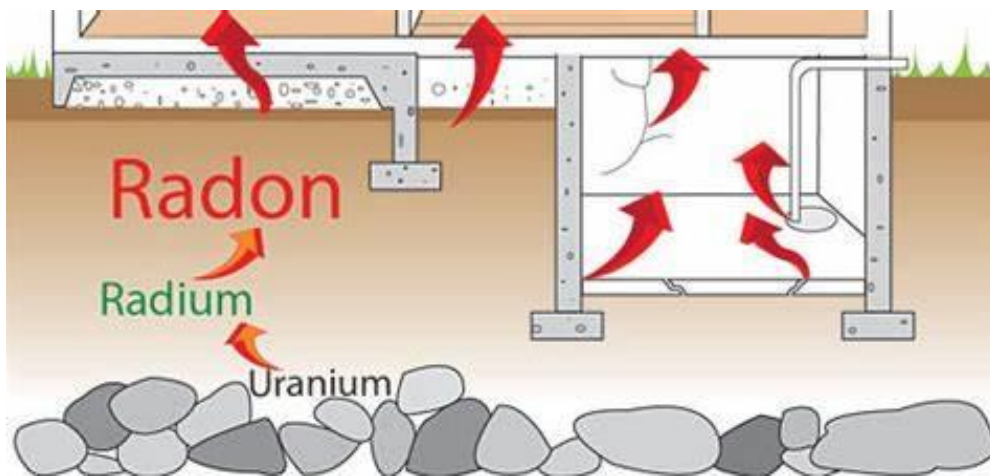
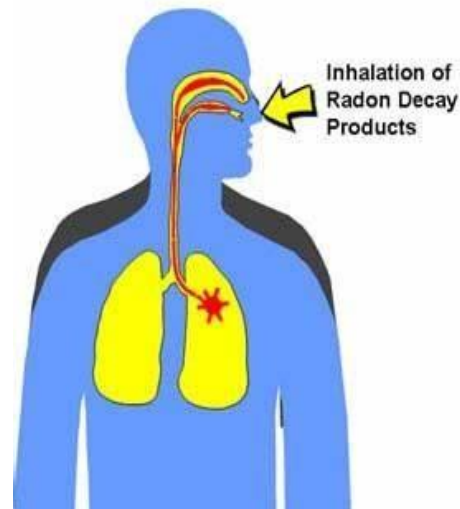
aged 15+ years in China are current smokers

<https://www.who.int/china/health-topics/tobacco>

导致肺癌的因素-2

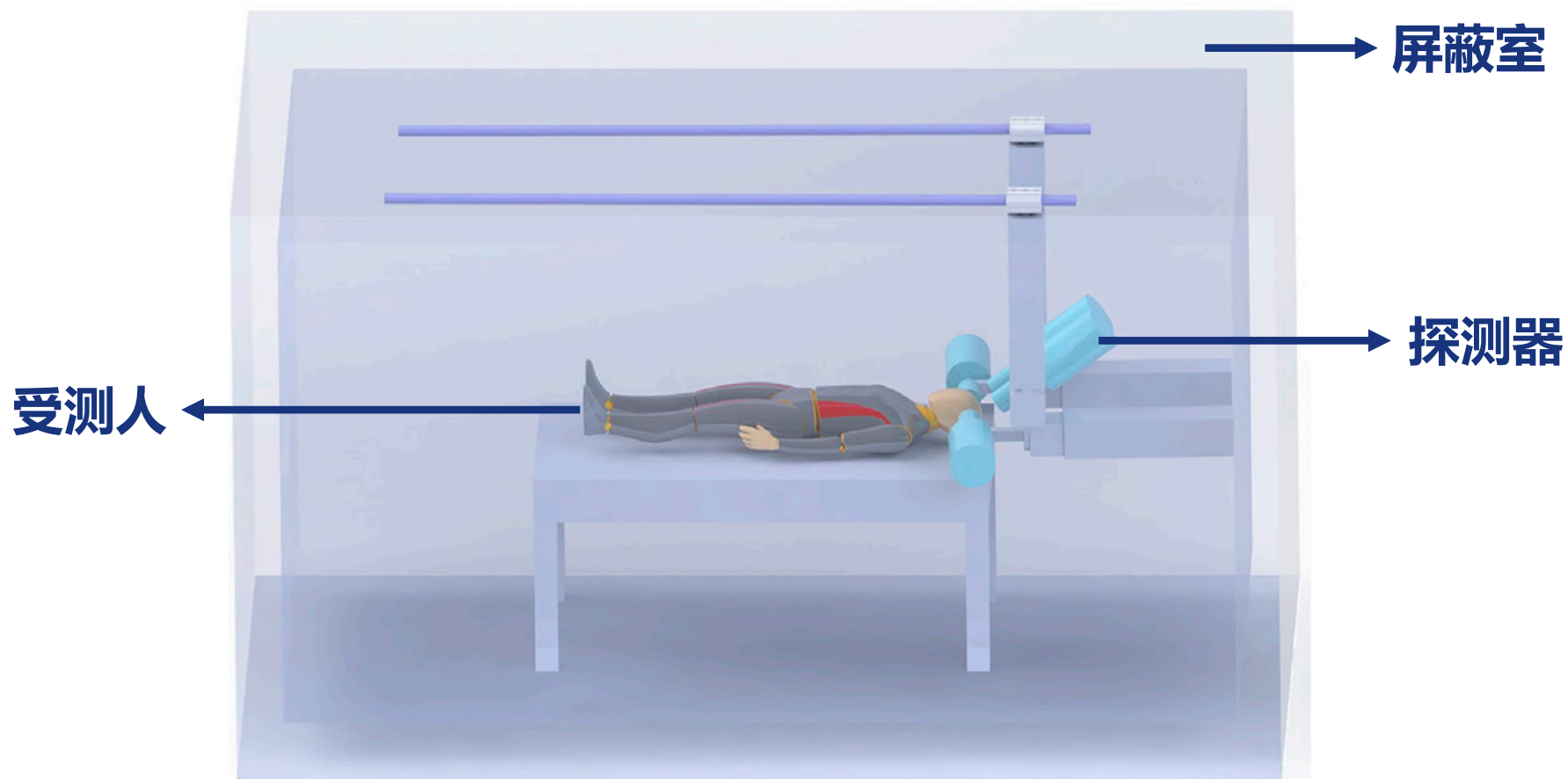
➤ 氡是导致肺癌的第二诱因

- ❖ ~10%的肺癌病例可归因于氡暴露
- ❖ 氡是天然放射性气体
- ❖ 氡及子体可发射高能 α 粒子



课题组研究目标

- 通过低本底直接测量人体骨骼中Pb-210活度
评价个体患肺癌的风险



科学依据

1. 每根香烟中有~30mBq的Pb-210;

Pb-210又是氡的衰变子体。

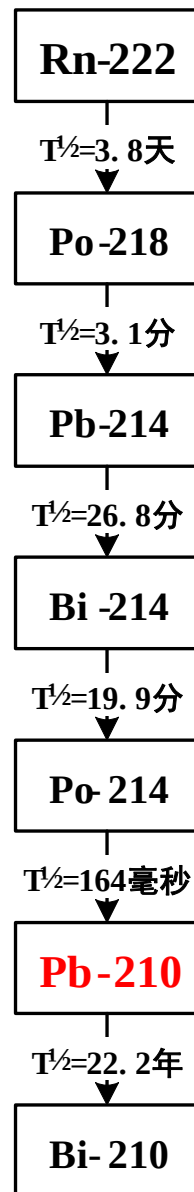
2. Pb-210 亲骨

3. Pb-210的生物半衰期 ~10年

物理半衰期 ~22年 (46keV γ)

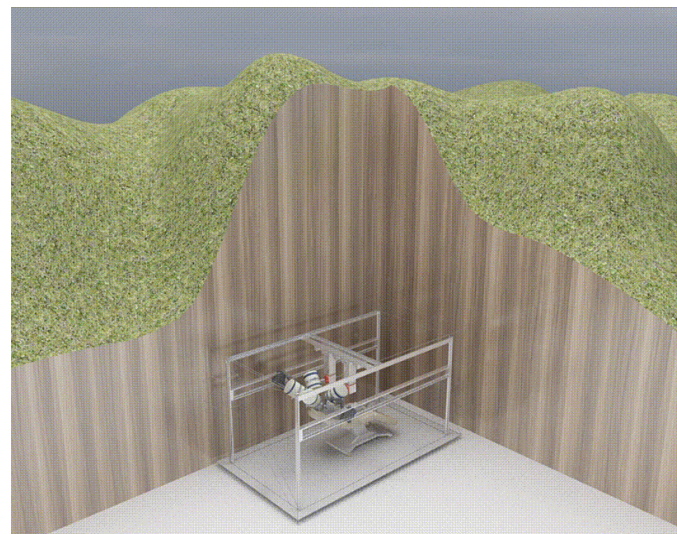
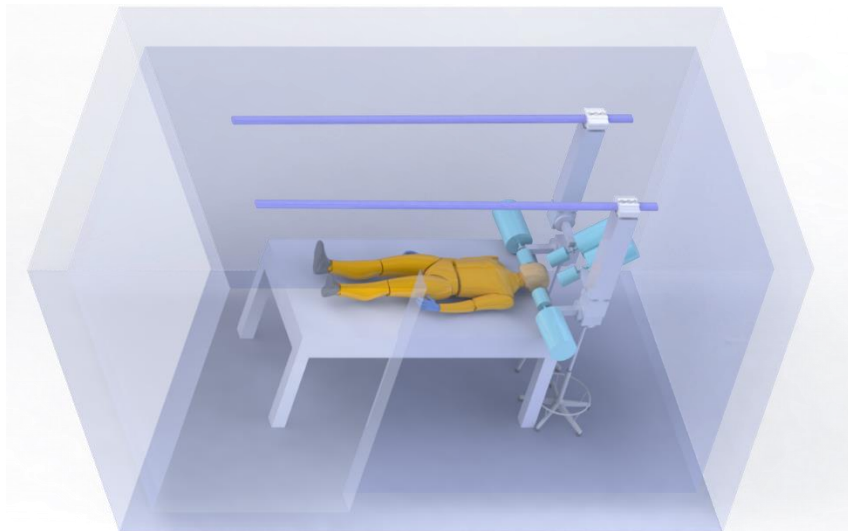
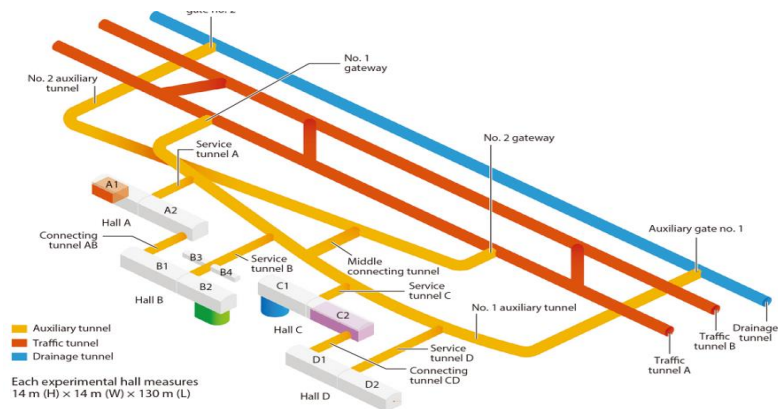


氡衰变链



实验室建设计划

□ 直接测量装置：BNU（第一步）、CJPL-II（第二步）

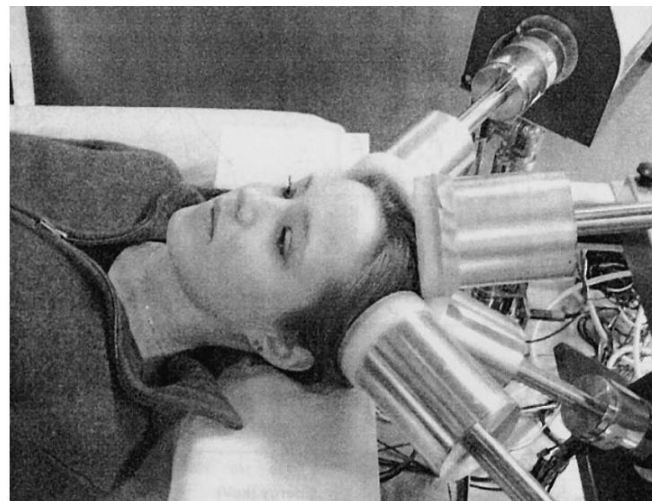


研究难点

1. 测量信噪比低:

- ❖ 信 (Pb-210) : $\sim 0.005\text{cps}$
- ❖ 噪 (本底) : $\sim 0.5\text{cps}$

Radiation Protection Dosimetry, 2003,(105), 615-618.

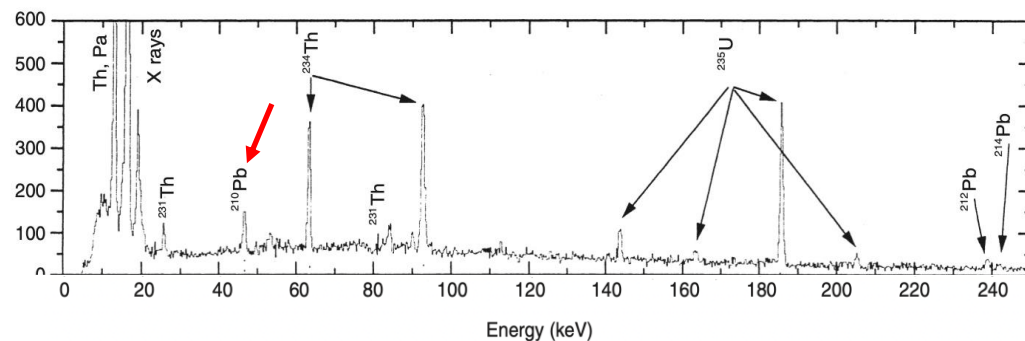


2. 测量装置刻度难

- ❖ 体模中布源难、个体间差异大

3. Pb-210来源复杂

- ❖ 人体代谢过程复杂



目前进展

1. 测量装置研发：

1.1 本底来源分析

1.2 考察、比较探测器

1.3 装置的设计、材料筛选

1.4 样机的制造

1.5 装置的建设

2. 刻度用体模

2.1 物理体模

2.2 精细数字体模

3. Pb-210来源分析

3.1 代谢过程建模

3.2 摄入场景建模

1.1 本底来源分析

4部全身计数器

Experimental group	Body counters	Location	Ventilator state	Tested subject	Measuring instruments
Group 1	A, B, C, D	Inside	ON	×	HPGe detector, CZT detector, emanometer, dosimeter
		Outside	—	×	CZT detector, dosimeter
Group 2	B	Inside	ON	×	HPGe detector, emanometer
			OFF	×	
Group 3	D	Inside	ON	✓	HPGe detector
			OFF	×	



1.1 本底来源分析

4部全身计数器

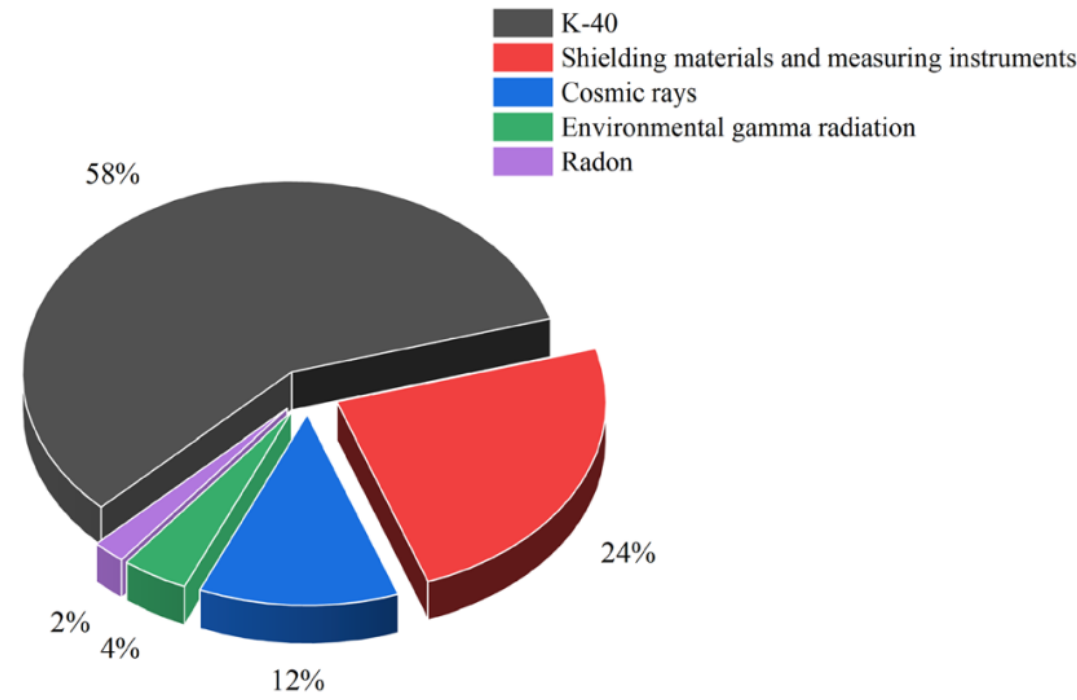
Experimental group	Body counters	Location	Ventilator state	Tested subject	Measuring instruments
Group 1	A, B, C, D	Inside	ON	×	HPGe detector, CZT detector, emanometer, dosimeter
		Outside	–	×	CZT detector, dosimeter
Group 2	B	Inside	ON	×	HPGe detector, emanometer
			OFF	×	
Group 3	D	Inside	ON	✓	HPGe detector
			OFF	×	

高纯锗、镅铍镭、测氦仪、 γ 剂量仪

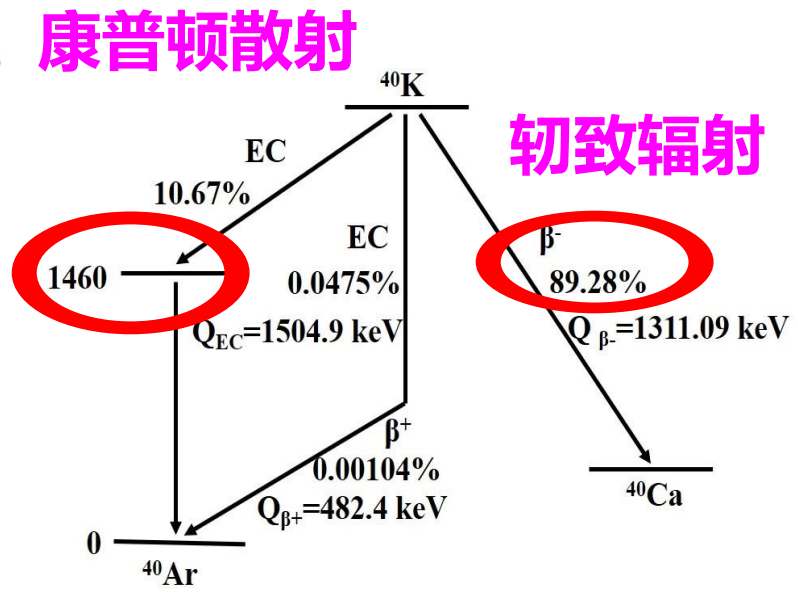


1.1 本底来源分析

人体内K-40
占~60%

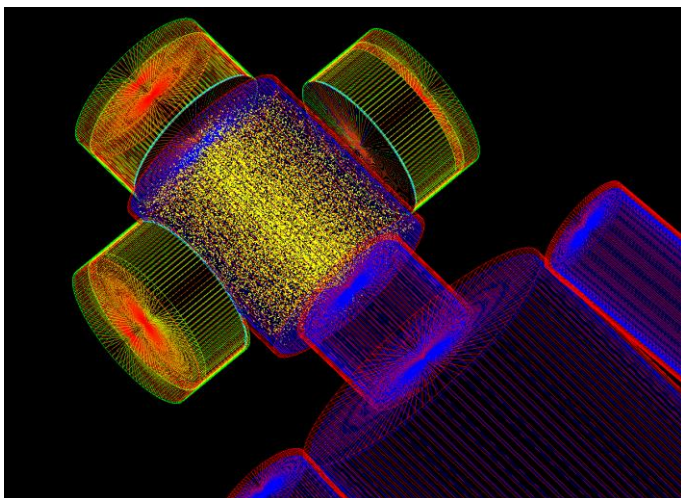
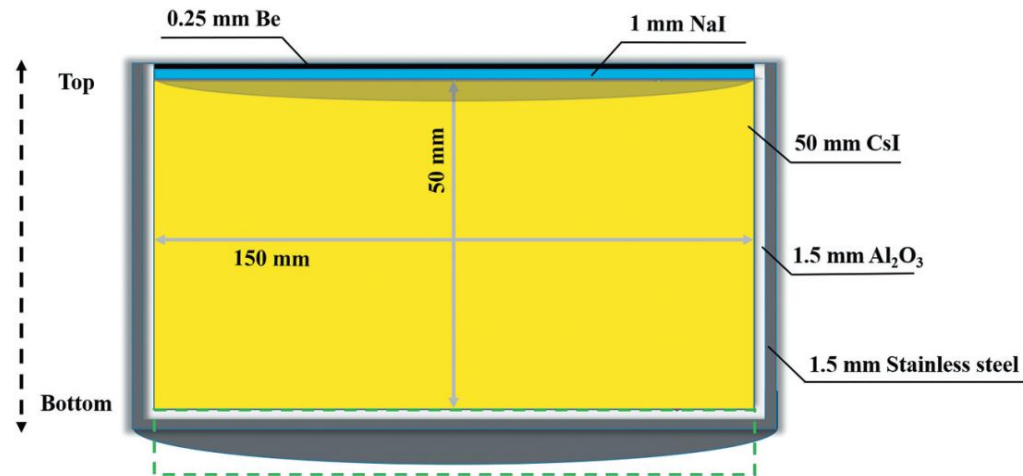


K-40产生本底
的两种途径



1.2 考察探测器

抑制K-40本底：考察Phoswich探测器



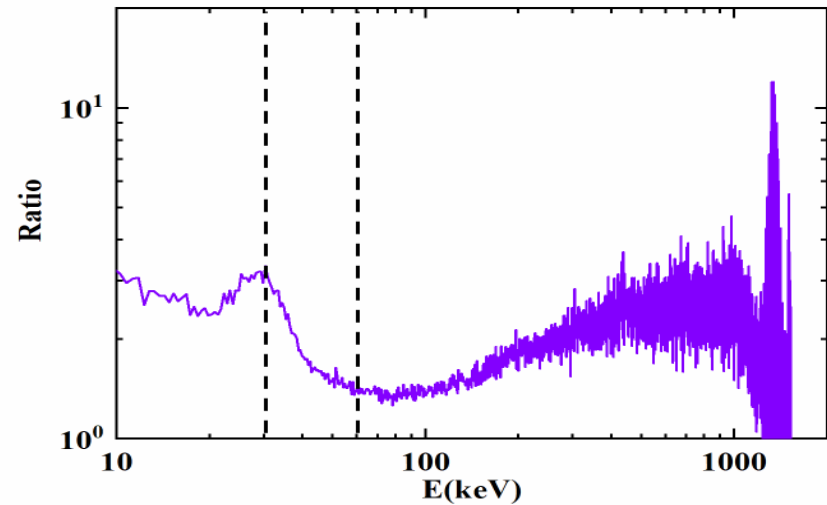
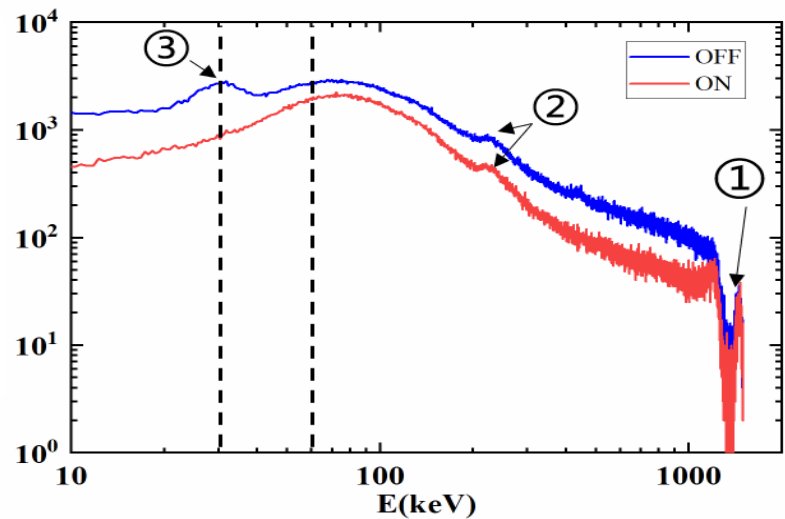
Phoswich探测器

- 双层 (NaI、CsI) 闪烁晶体的反符合方式抑制本底

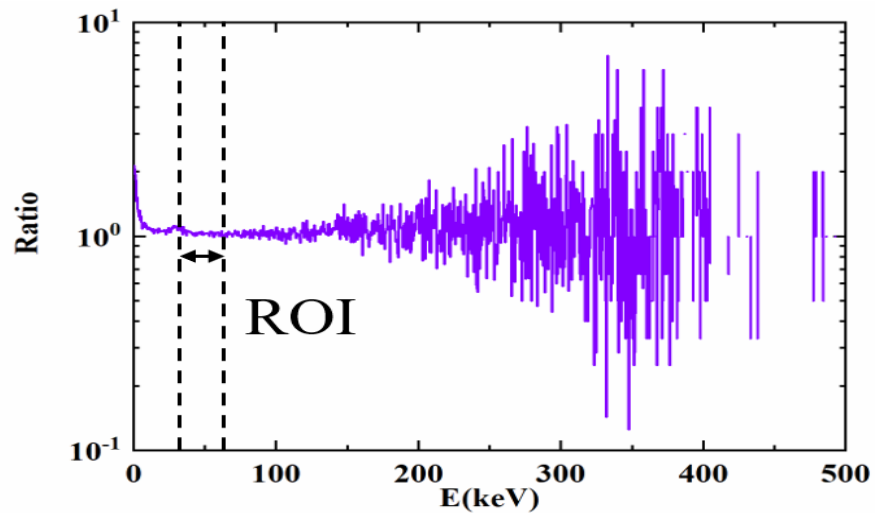
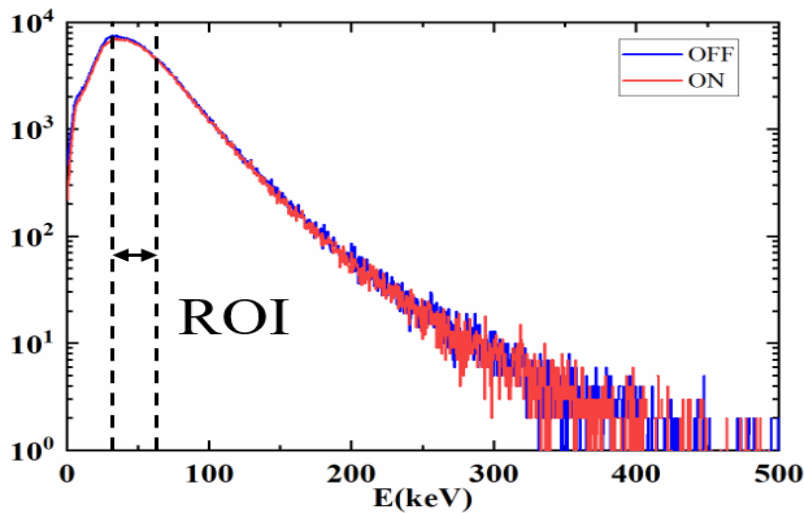
1.2 考察探测器

抑制K-40本底：考察Phoswich探测器

康普顿散射



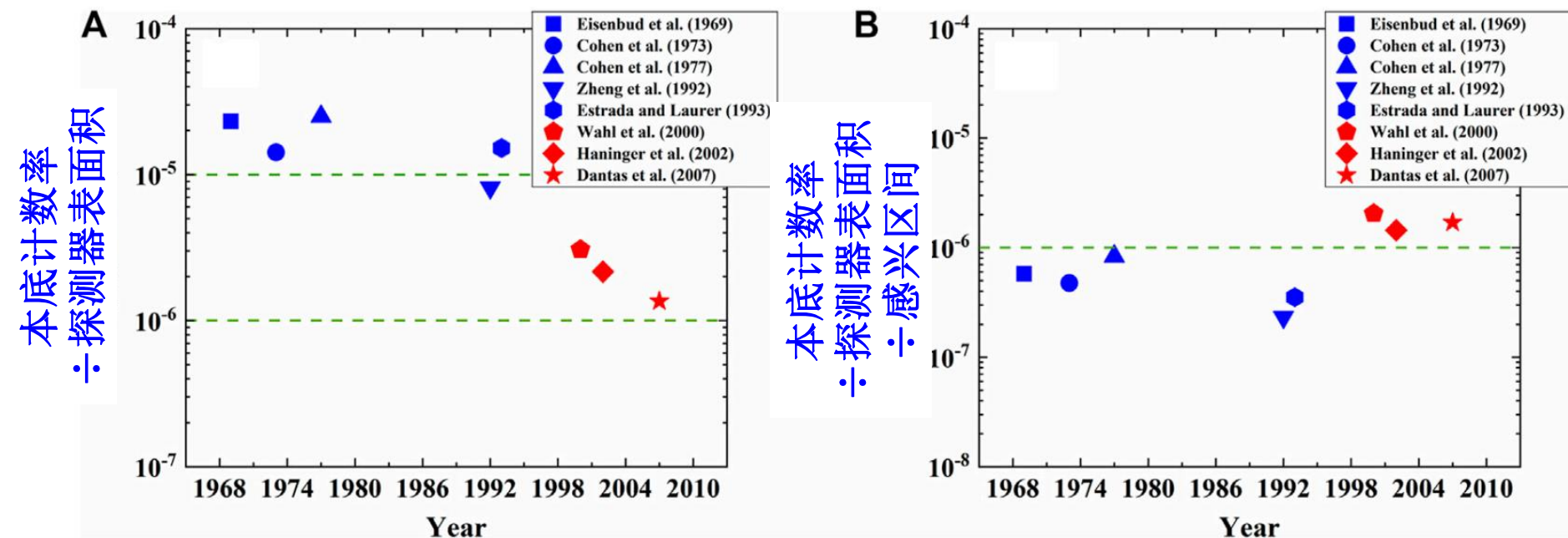
韧致辐射



1.2 考察探测器

Phoswich (蓝色) v.s. HPGe (红色)

本底测量比较

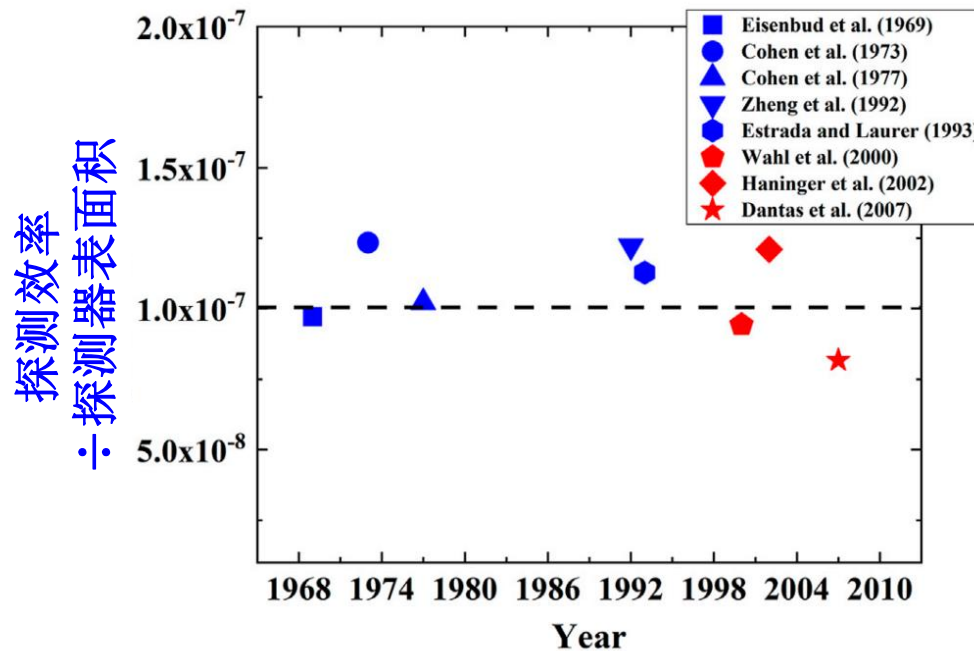


- 前期研究中探测器的种类、数目差异较大
- 通过归一化探测器表面积和感兴趣区间 (ROI) 进行比较

1.2 考察探测器

Phoswich (蓝色) v.s. HPGe (红色)

探测效率比较



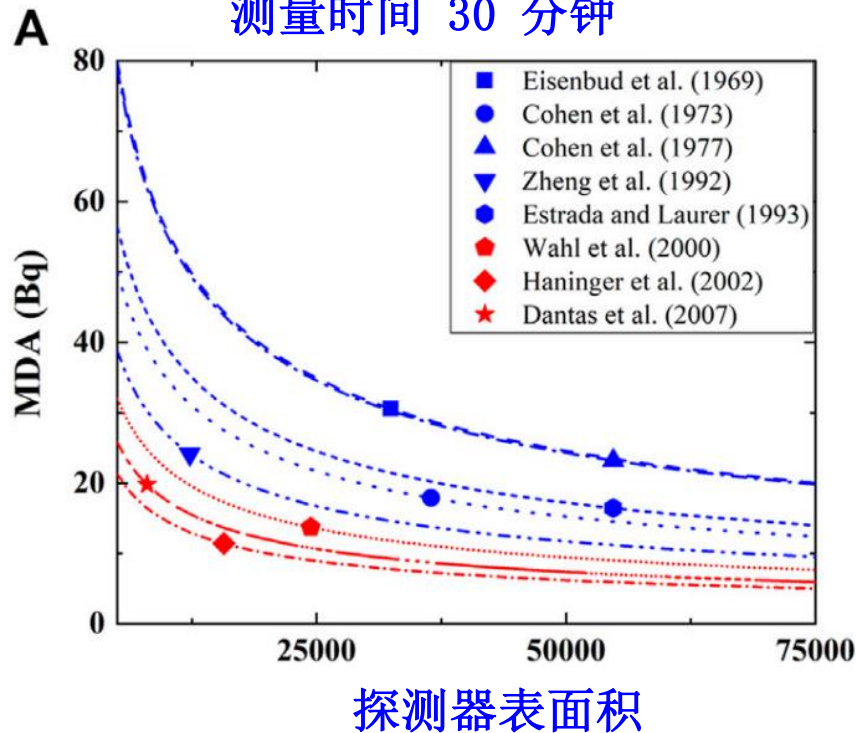
- 通过归一化探测器表面积进行比较
- 探测效率仅与探测器表面积相关

1.2 考察探测器

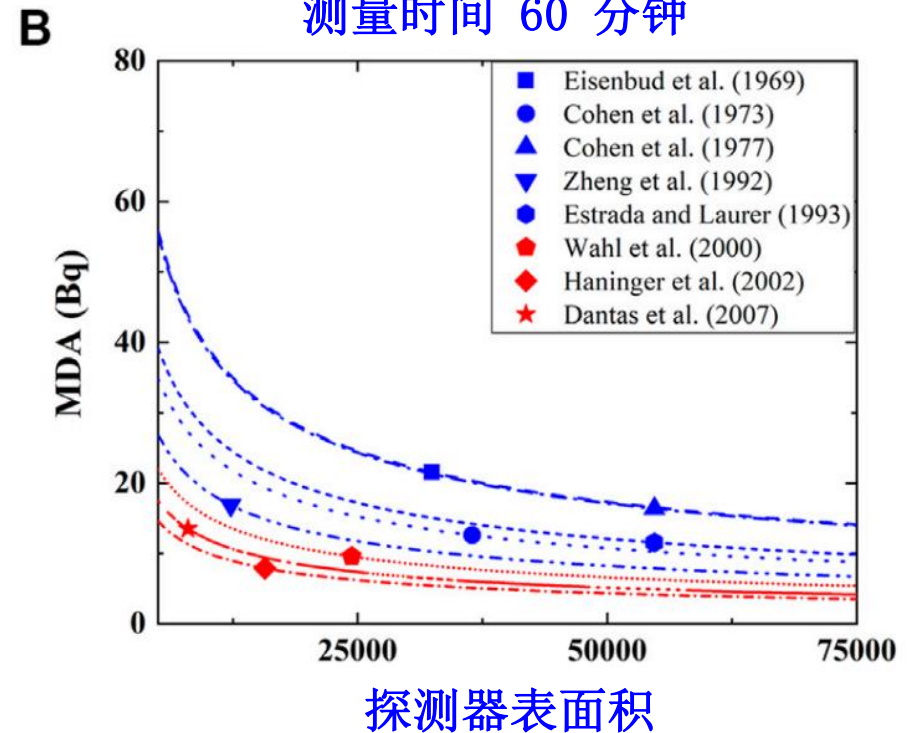
Phoswich (蓝色) v.s. HPGe (红色)

头骨的最小可探测活度 (MDA)

测量时间 30 分钟



测量时间 60 分钟



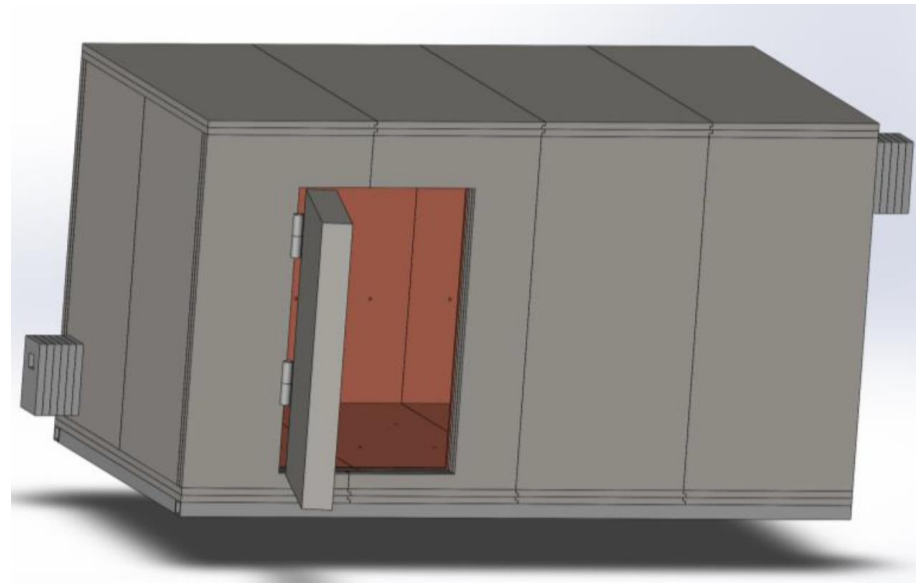
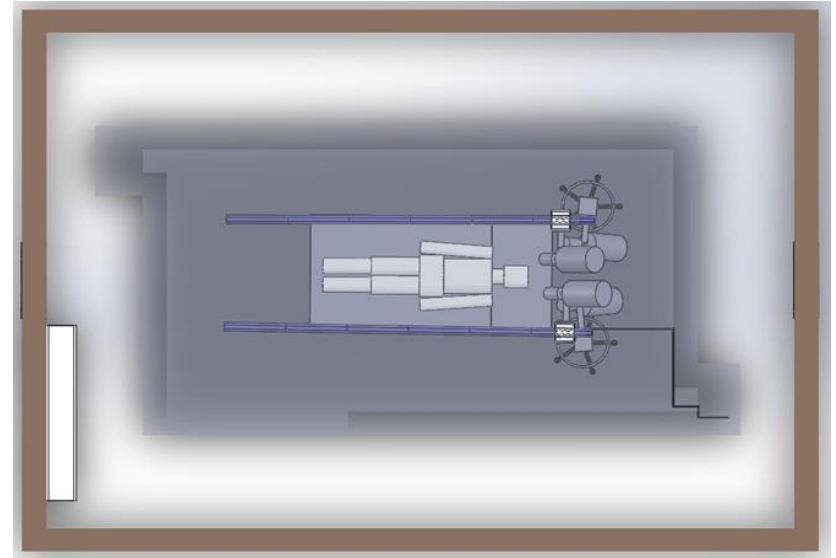
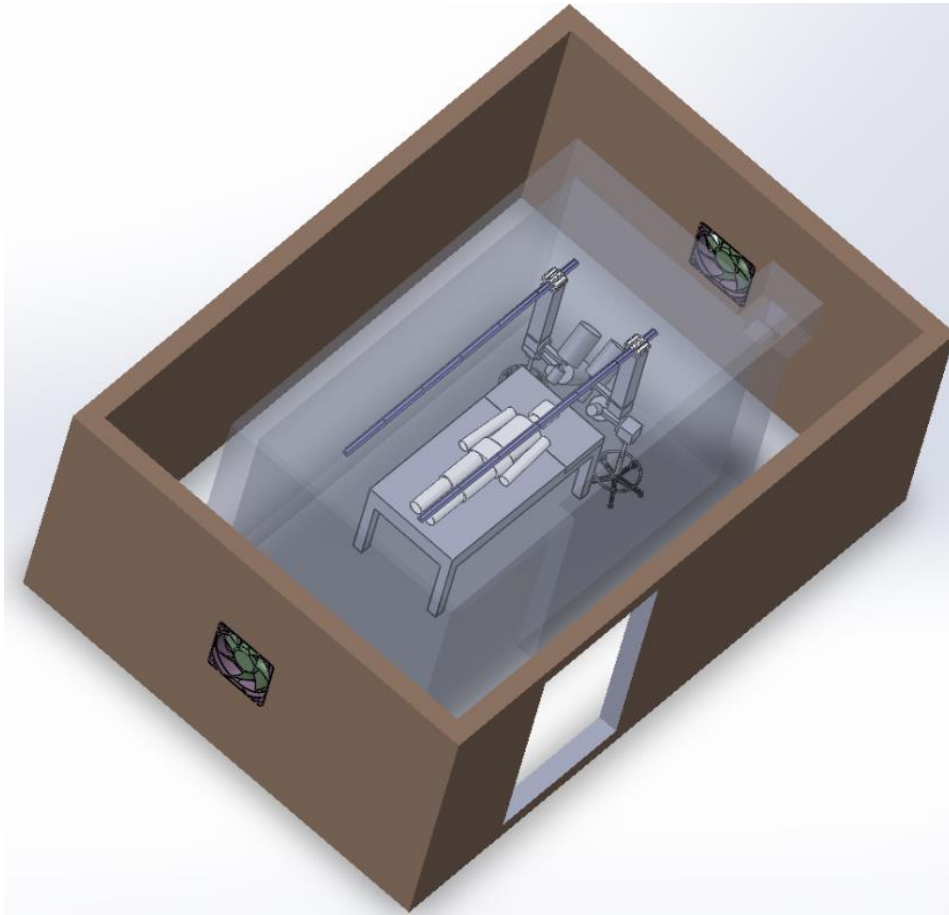
- HPGe要优于Phoswich探测器

1.3 装置的设计、材料的筛选



- 钢、铜、铅、粘胶中的U-238, Th-232, K-40比活度 <100 mBq/kg, 焊材 ~ 1 Bq/kg ; 铅材中Pb-210比活度 ~ 90 Bq/kg

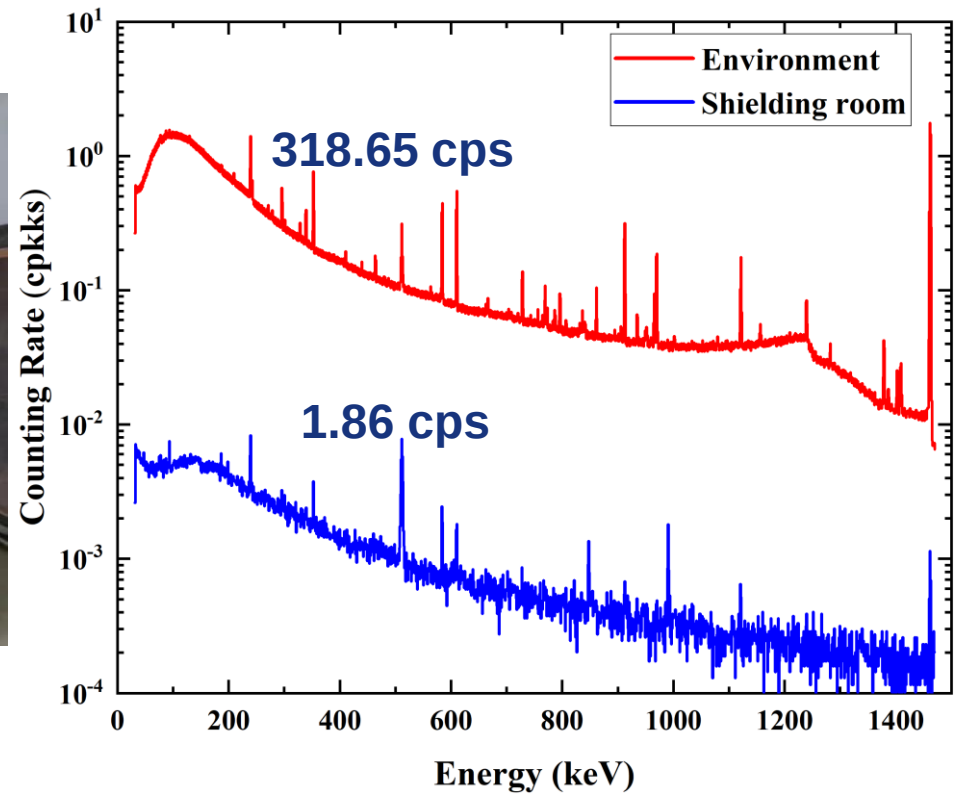
1.3 装置的设计、材料的筛选



1.4 样机的制作



1.4 样机的制作



1.5 装置的建设



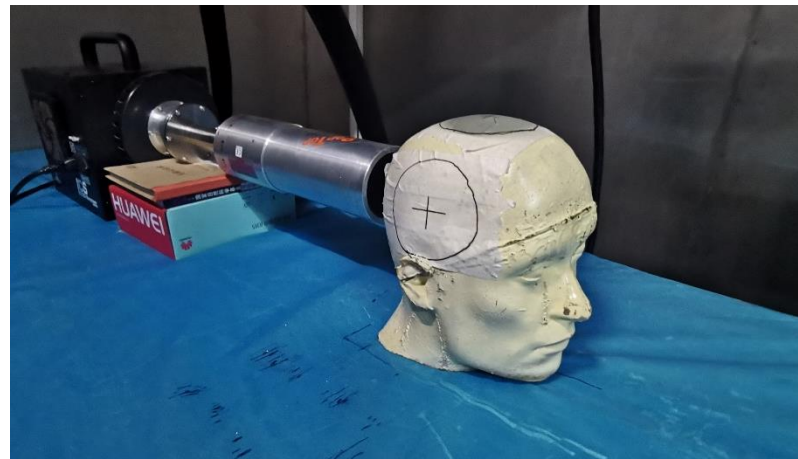
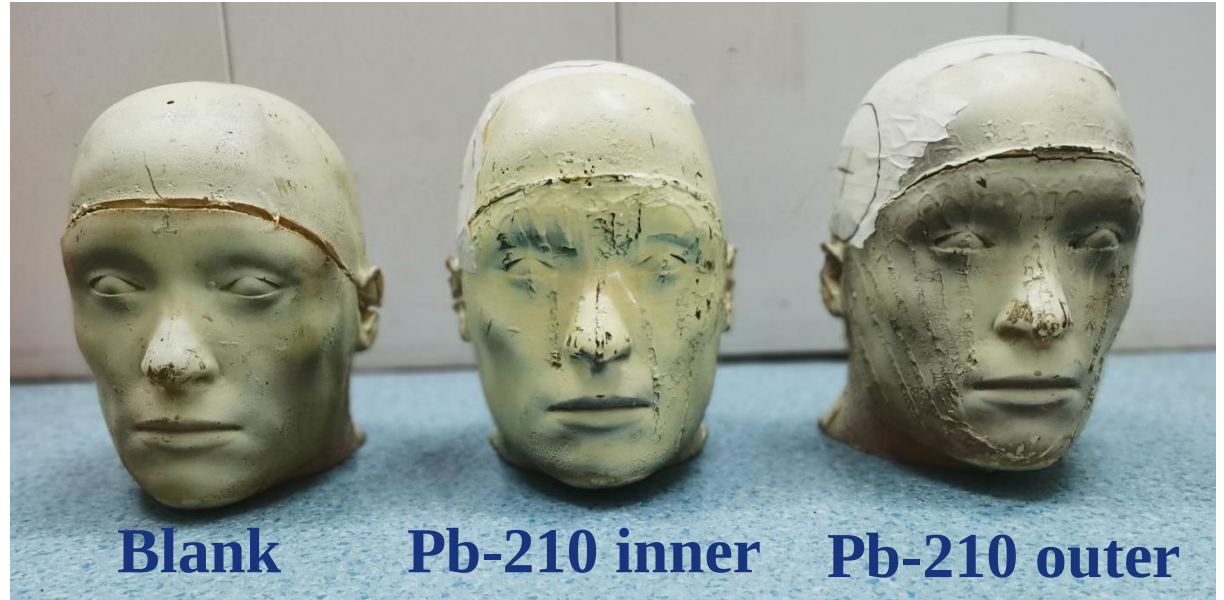
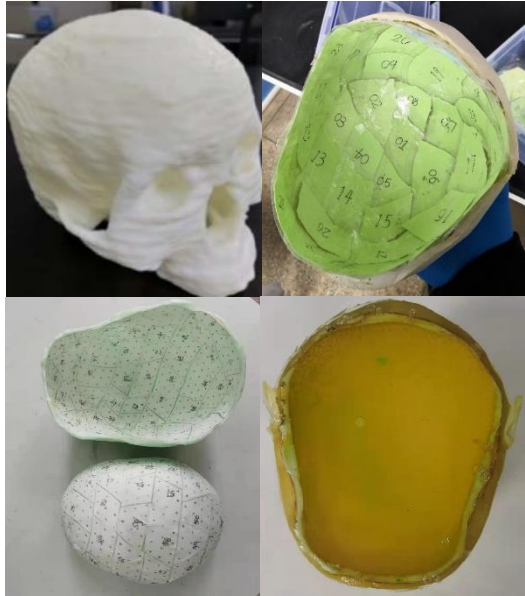
1.5 装置的建设



1.5 装置的建设



2.1 物理体模

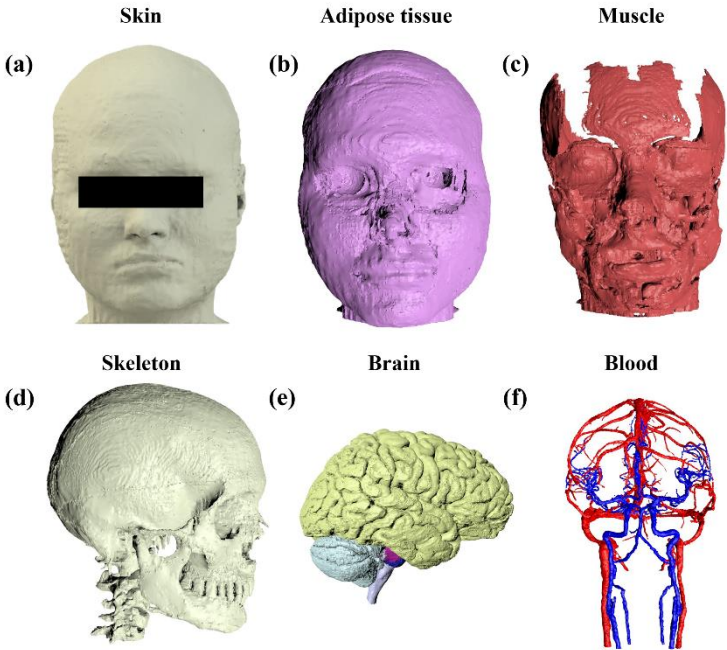


2.2 精细数字体模

FDA
IT'IS

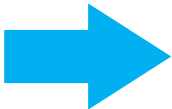
MRI

29岁成年女
性志愿者



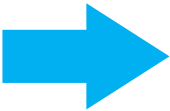
MIDA

MATLAB



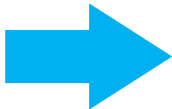
编写.g4dcm格式
的输入文件

GEANT4
A SIMULATION TOOLKIT



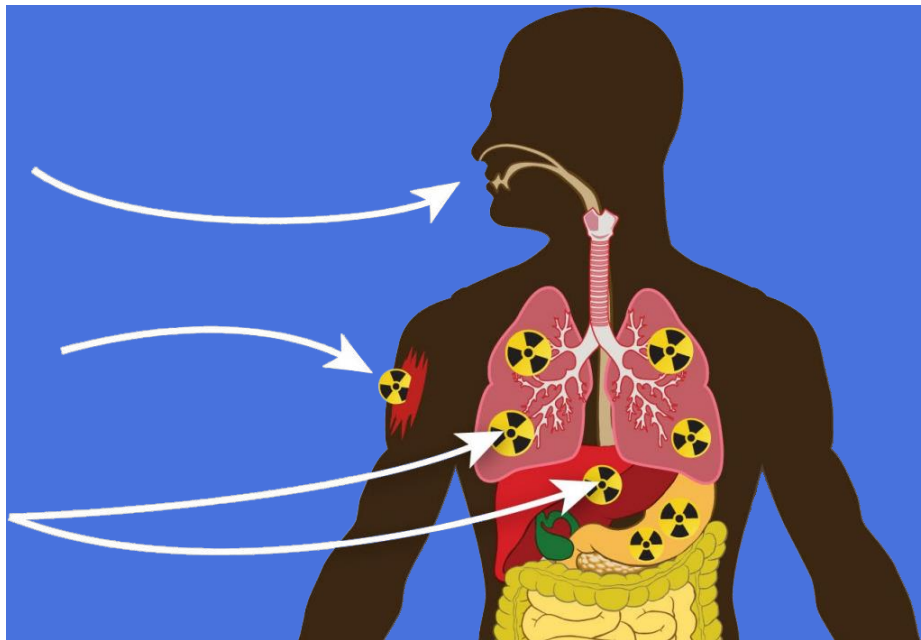
构建物理模型和模
拟相关物理过程

DICOM程序



头颅Pb-210
效率刻度的
研究

3.1 Pb-210来源



- 食入

- 谷物
- 海产品

- 吸入

- 氡
- 吸烟

- 皮肤和伤口

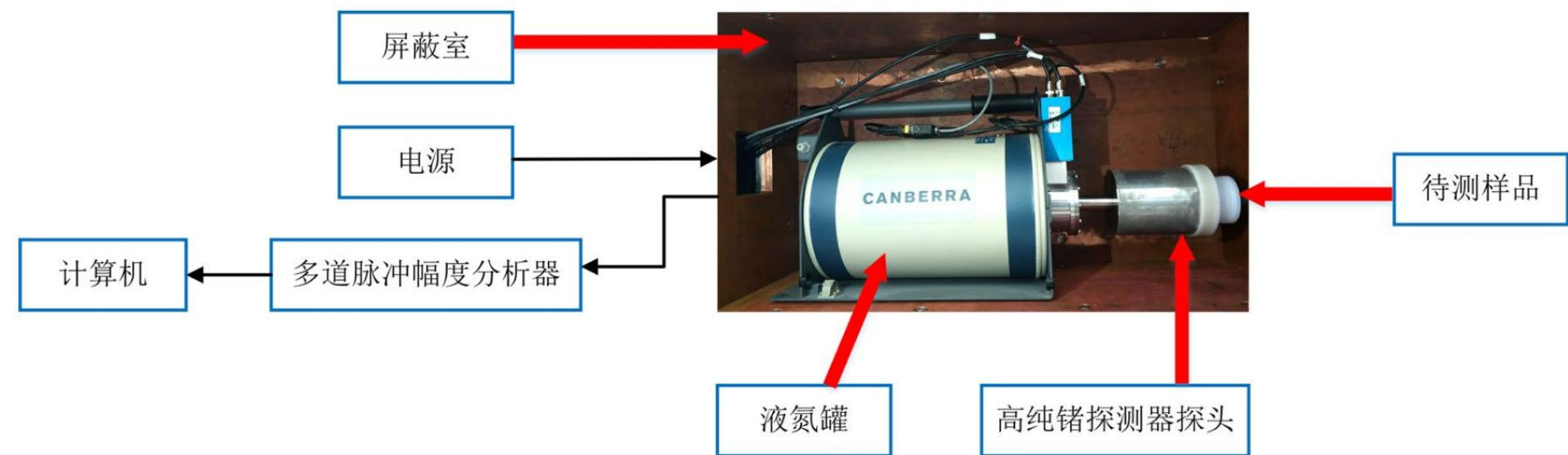
- 可忽略

3.1 Pb-210来源

茶叶、香烟中的Pb-210活度测量



样品制备



低本底 γ 能谱测量

3.1 Pb-210来源

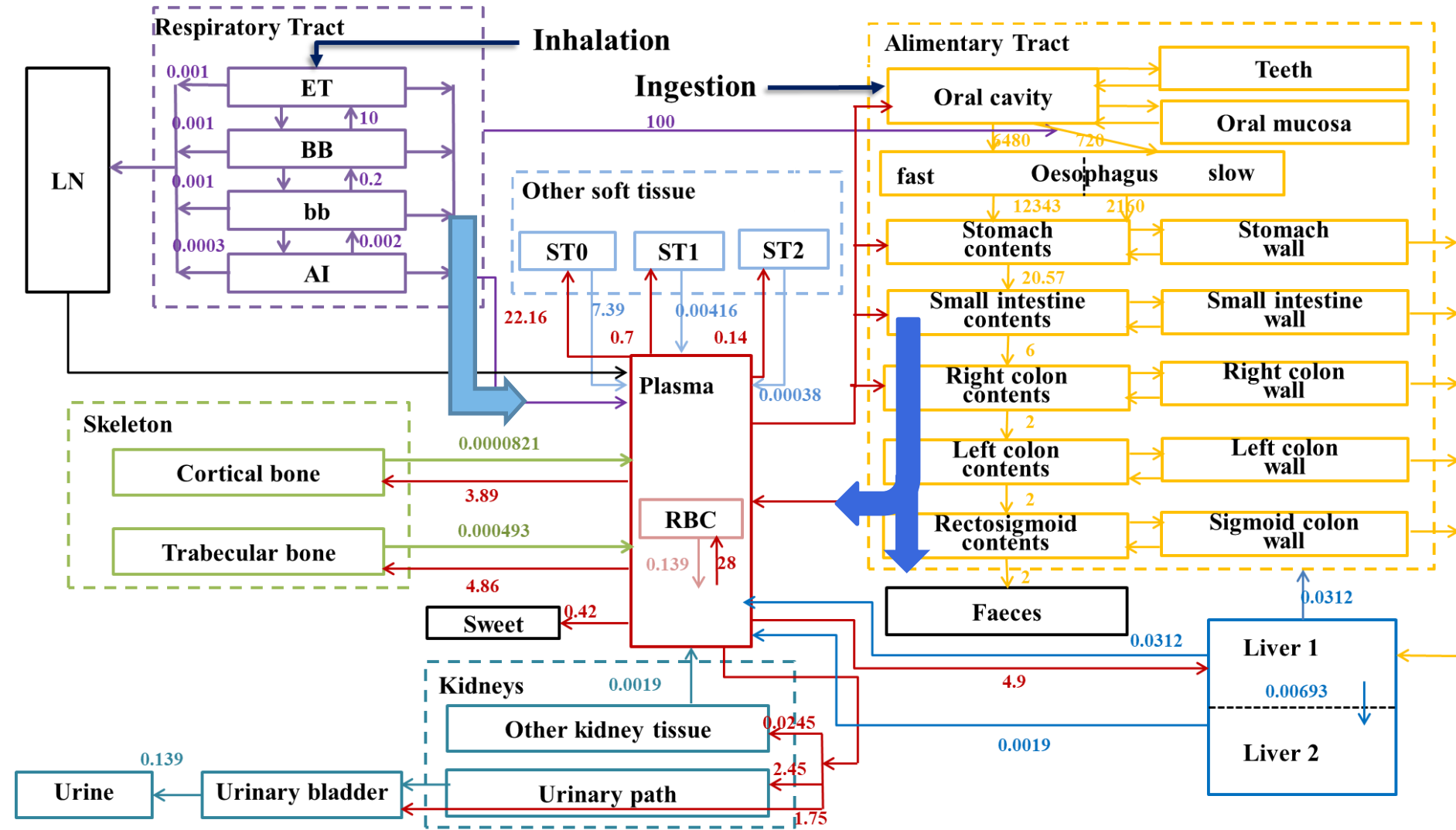
表 2 样品中 ²¹⁰Pb、⁴⁰K 的比活度(Bq/kg)

Table. 2. the specific activities of ²¹⁰Pb and ⁴⁰K in samples (Bq/kg)

种类	品种/产地	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K
茶叶	绿茶	18.70±0.05	351.69±0.16
	红茶	8.32±0.03	350.17±0.16
	乌龙茶	8.15±0.03	310.03±0.13
	青砖茶	49.67±0.08	296.58±0.12
烟草	云南	30.57±0.04	523.91±0.09
	广东	26.41±0.04	474.35±0.12
	贵州	21.74±0.04	470.15±0.13
	吉林	24.42±0.03	514.50±0.09
	内蒙古	31.16±0.04	516.38±0.10

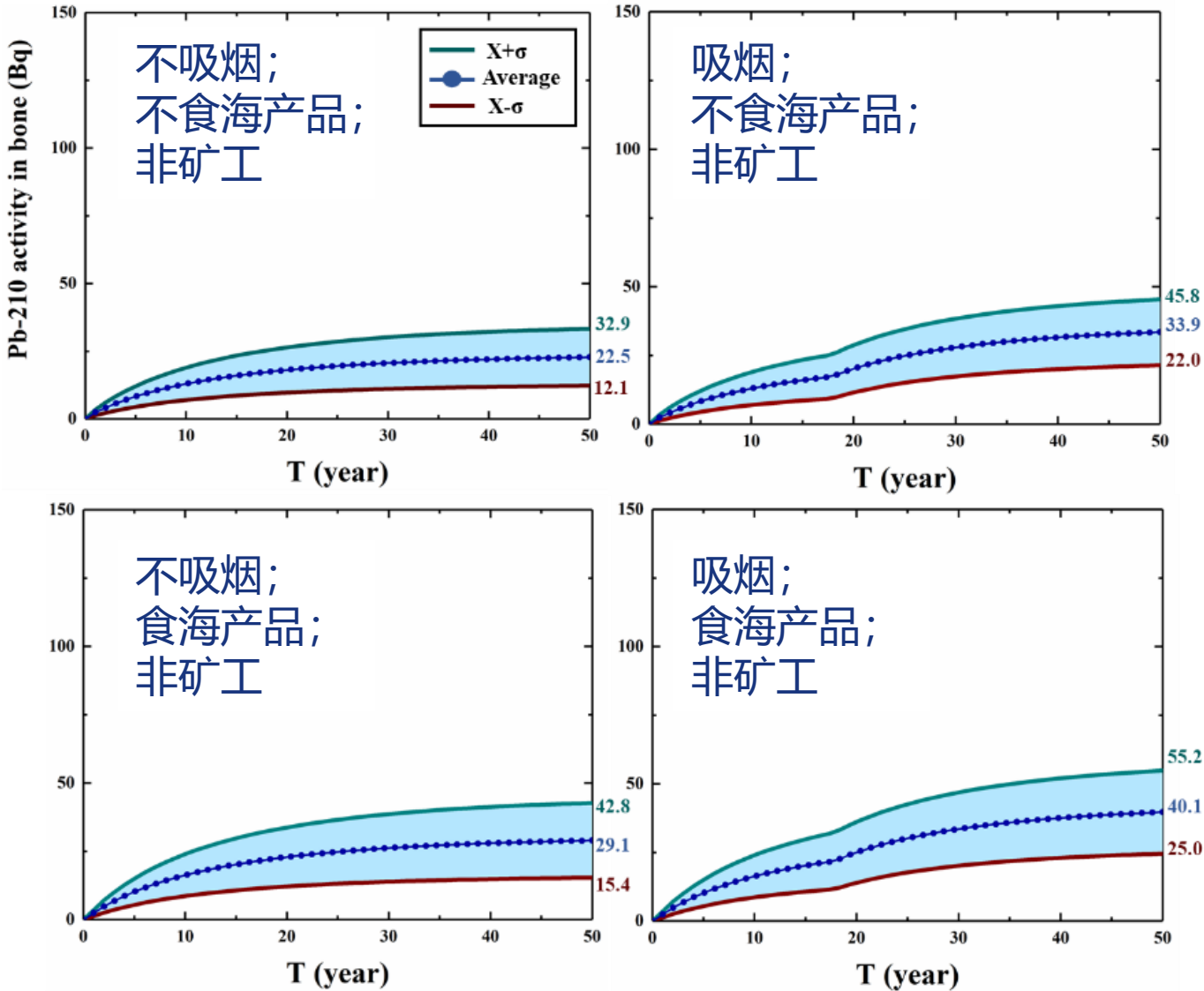
3.2 代谢过程的建模

ICRP的生物动力学模型



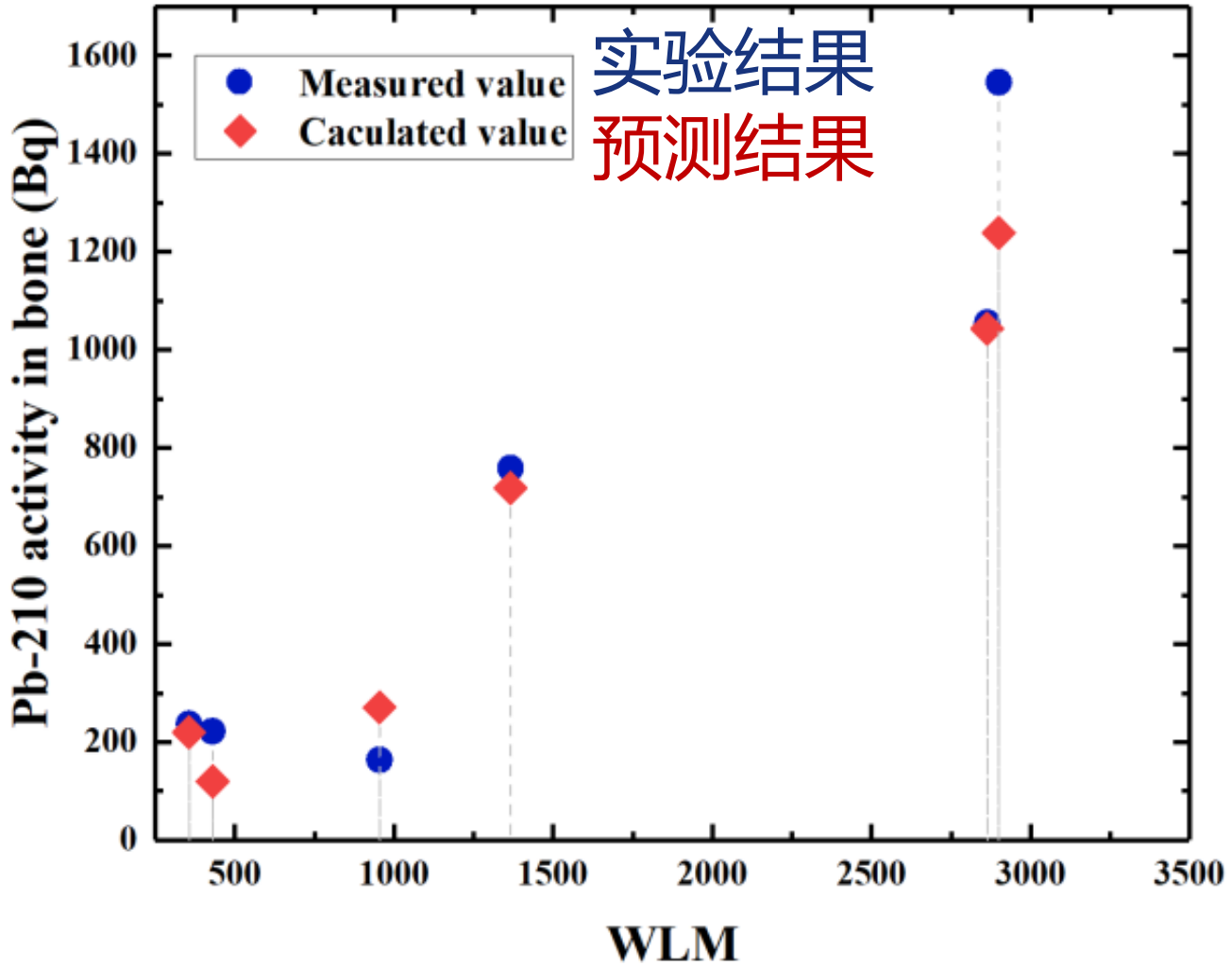
3.2 预测结果——非矿工

骨骼中Pb-210活度



3.2 预测结果——矿工

骨骼中Pb-210活度



氡暴露量

总结

1. “骨骼剂量计”的可行性

- 原理上具备可行性
- 实验上初步得到了验证

2. 实验平台建设

- 北师大平台已接近验收、近期将进行调试
- 北师大平台将为建设锦屏平台提供宝贵经验

3. 展望

- 将结合流调的方法，开展大量的测量，以建立人体骨骼中Pb-210活度与肺癌风险之间的定量关系
- “骨骼剂量计”有望满足个体化、回顾性健康评价的需求



BNU



谢谢

