

# 高能粒子加速器设施的辐射安全分析

夏晓彬

中国科学院上海应用物理研究所 上海201800

([xiaxiaobin@sinap.ac.cn](mailto:xiaxiaobin@sinap.ac.cn))

上海光源

2016. 9. 22 东莞



中国科学院上海应用物理研究所

Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

# 内容提要

- 👉 高能粒子加速器的发展与现有安全评估体系
- 👉 高能粒子加速器设施的辐射安全分析的主要内容
- 👉 辐射安全分析中的问题和议

# 中国科学院高能粒子加速器设施

- 👉 北京高能物理研究所：同步辐射光源（2代）、正负电子对撞机、中国散裂中子源等
- 👉 上海应用物理研究所：先进同步辐射光源（3代SSRF、4代SFEL）、质子治疗装置、加速器中子源等
- 👉 兰州近代物理研究所：重离子加速器及医学应用加速器、ADS
- 👉 合肥物质研究院：国家同步辐射光源（1代+改造）

集中了我国主要的高能粒子  
加速器研究、开发和应用

# 我国现行的关于大型加速器设施的安全评价体系和基本程序

## 👉 环境影响评价报告

—依据环评法规&针对建设项目本身&审批制  
**程序上**：建设项目立项后、可研阶段、开工前

## 👉 辐射安全许可证制度

—依据管理条例&针对设施本身&环保主管部门  
颁发制

**程序上**：建设完成、试运行前→调试前

# 环评基本程序

- 👉 环评报告草稿:
- 👉 公众调查与公示 (3次)
- 👉 环评报告最终稿
- 👉 审定批复

# 环评报告的主要内容

- 👉 目的意义
- 👉 可行性分析（拟定建设和操作内容、厂址、设施要求、建设、运行、污染防治与废物最小化、退役）
- 👉 目前环境状况（地理位置、气候气象、土地规划、人口、地质条件、地震、空气质量、水利、地表水、地下水、水灾、辐射、植被、文物、公用设施、交通）
- 👉 潜在的环境影响（建设期间、运行期间、事故和应急）
- 👉 结论

环评报告关注对象不同，  
加速器安全分析被淡化！

# 安全分析报告的主要内容

- 👉 I 设施基本概况
- 👉 II 主设备和系统
- 👉 III 辐射危害因素
- 👉 IV 安全措施
- 👉 V 危险和事故分析
- 👉 VI 结论与建议

# 安全分析报告的主要内容

## I 设施基本概况

- 👉 厂址、位置、布局图
- 👉 周边建筑物和功能、人员出入情况
- 👉 设施内主要设备及功能
- 👉 分区和出入口描述
- 👉 设施功能布局
- 👉 共用的仪器设备和基础设施



# 安全分析报告的主要内容

## II 主设备和系统

- ➡ 加速器主设备
- ➡ 光束线及实验站主设备
- ➡ 实验内容与程序
- ➡ 保护系统和定时系统

# 安全分析报告的主要内容

## III 辐射危害因素

- ➡ 加速器运行产生的辐射源项
- ➡ 运行模式假设（系统调试、联合调试）
- ➡ 工况的分类

# 安全分析报告的主要内容

## IV 安全措施

- 👉 纵深防御系统：监督控制系统--机器保护系统--人身保护系统
- 👉 安全系统/设备及操作规程（屏蔽、联锁、束损监测、辐射剂量）
- 👉 安全管理：操作和维修规程、安全有关的项目配置要求、应急、环境和废物管理、出入管理、辐射安全委员会等

# 安全分析报告的主要内容

## V 危险和事故分析

- 👉 定义恰当的风险控制水平
- 👉 明确对极低概率事件的分析原则
- 👉 始发事件选定
- 👉 分析步骤：1) 危害识别和筛选; 2) 潜在风险发生的频率和后果; 3) 相关因素识别和减缓/预防措施; 和4) 减轻风险措施评估

事故分析重要，但方法学本身适用性评价困难

# 辐射安全分析中的问题和议

- ➡ 加速器安全标准落后
- ➡ 评价区域范围和剂量约束值不一
- ➡ 计算条件假设及参数选取的合理性（过保守）
- ➡ 对介于职业人员和公众之间人员的评价缺失
- ➡ 对调试期间的安全评估严重不足
- ➡ 装置分类的欠妥性

# 我国目前加速器安全标准状况

- ☞ GB18871-2002 Basic standards for protection against ionizing radiation from sealed sources and radiation sources 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- ☞ GB 5172-1985 粒子加速器辐射防护规定。
- ☞ GB 126-2011-Z 电子加速器放射治疗放射防护要求
- ☞ GB 15213-1994 医用电子加速器性能和试验方法
- ☞ GBZ 126-2002 医用电子加速器放射卫生防护标准
- ☞ GB/T 20129-2006 无损检测用电子直线加速器
- ☞ GB/T 19046-2003 GB/T 19046-2003 医用电子加速器 验收试验和周期检验规程
- ☞ EJ 346-1988 粒子加速器工程设施辐射防护设计规范
- ☞ EJ/T 682-1992 粒子加速器设施安全分析报告的标准格式与内容
- ☞ DB31/527 -2011 医用电子加速器治疗机房卫生防护与检测评价规范

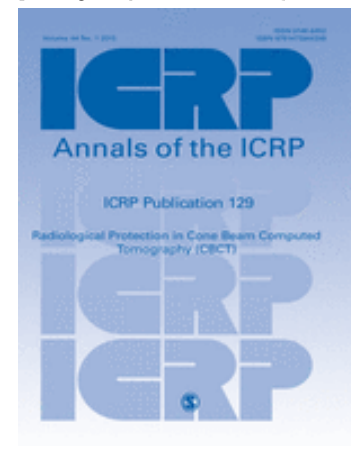
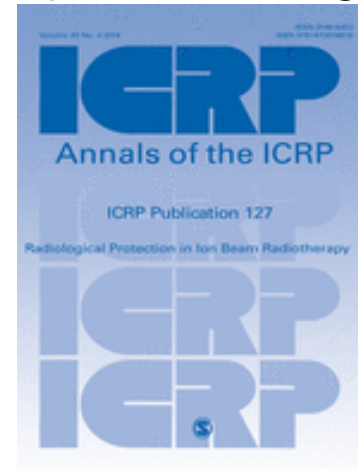
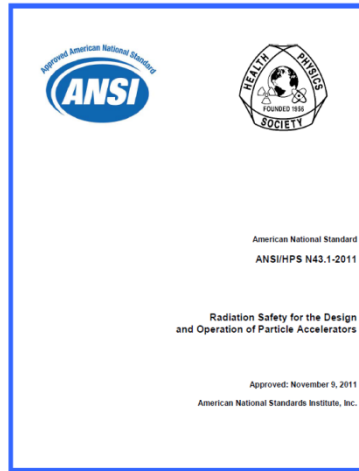
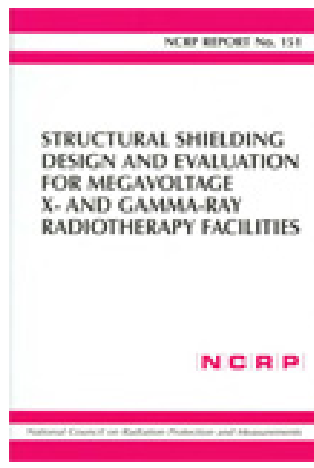
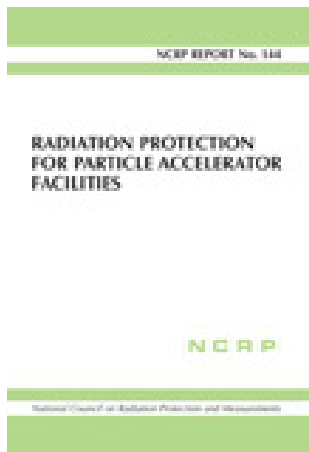
我国加速器安全标准落后现状

Serious lag

# 国际上高能粒子加速器安全标准状况

- 👉 NCRP Report No.51 (1977)
- 👉 NCRP Report No.144 (2003)
- 👉 NCRP Report No.151 (2005)
- 👉 ANSI/HPS N43.1-2011 (2011)
- 👉 ICRP Pub.127 (2015) [Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy](#)
- 👉 ICRP Pub. 129 (2015)  
Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT)

国际标准也在发展中



## 空气的活化（SNS例子）

👉 保守估算：3.2E3 m<sup>3</sup> ， 循环空气流速1.8m/s，  
排出高度10m 均匀混合

Radionuclide	Production rate (nCi/s)	Concentration at release point (nCi/cm <sup>3</sup> )
H-3	0.2	1.1 E-10
Be-7	5.7	3.0E-9
C-11	22000	5.8E-6
N-13	49000	8.4E-6
O-15	220000	1.0E-5
Ar-41	200	9.0E-8
Total	290000	2.4E-5



# 评价区域范围和剂量约束值不一

- 👉 距离设施源点中心周围1km、5km、10km
- 👉 距离设施边界 20m、50m、100m、500m

- 👉 职业照射 5mSv/a
- 👉 非辐射工作人员：1mSv/a
- 👉 公众：0.1-0.5mSv/a

# 计算条件假设及参数选取的合理性（过保守）

- 👉 计算方法本身成熟可靠（过去研究在 $\pm 26\%$ 内符合）
- 👉 但是，由于边界条件和假设的不同，可能造成2个量级的差异：
- 👉 例1: 由于设施产生的影响园区边界处瞬发辐射（24h/d, 365d滞留） $0.053\text{mSv/a}$   
→ (2h/d, 30d滞留) $3.6\text{E-}4\text{mSv/a}$
- 👉 例2: 由于活化气体对公众的剂量：（保守） $3.2\text{E-}4\text{mSv/a}$  → （实际出束） $5.7\text{E-}6\text{mSv/a}$ （都远远 $<$ 标准 $0.1\text{mSv/a}$ ）

# 对调试期间的安全评估严重不足

👉 大型高能加速器特点

👉 通常由多个分加速器组成

👉 建设周期长

👉 现场调试的重要

👉 过去的经验教训

👉 SSRF的调试期间

👉 SHIPC的调试期间

👉 J-PARC调试期间

👉 BNL直线加速器改造

# 装置分类的欠妥性

- 👉 目前我国射线装置分为I类、II类、III类
- 👉 能量大于100MeV为I类（不管粒子种类和功率）
- 👉 我们实际各大装置调试中遇到的安全许可困难（甚至出现要求停止调试,严重影响进度）
  
- 👉 国际上分阶段安全评价，不需要等验收发许可证
- 👉 不是所有都要许可证

## 几个相关问题的建议

- ➡ 加速器**安全标准**落后→发挥学术团体作用，促进加速标准修订和制定
- ➡ 评价**区域范围和剂量约束值**不→以距离区域**边界50m**为基本要求，可根据公众剂量为依据增减
- ➡ 计算条件**假设及参数**选取的合理性→**审评依据和安全设计规范**中体现科学合理性、避免过保守

## 几个相关问题的建议（续）

- 👉 对介于职业人员和公众之间人员的评价缺失  
→ 非放射职业人群设定 $0.5\text{mSv/a}$ ,且不需要个人剂量监测, 也符合我国管理规定
- 👉 对调试期间的安全评估严重不足 → 增加阶段性安全分析报告备案制度
- 👉 装置分类的欠妥性 → 针对加速器特点同时考虑能量和功率来划分类

谢谢! 请批评指正!

