核技术利用建设项目

厦门弘爱医院
新建硼中子捕获治疗系统（BNCT）项目
环境影响报告表
（公示文本）

建设单位名称：厦门弘爱医院

2019 年 07 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

厦门弘爱医院
硼中子捕获治疗系统（BNCT）项目
环境影响报告表
（公示文本）

建设单位名称：厦门弘爱医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：厦门市湖里区仙岳路 3777 号

邮政编码：361000　　联系人：李挚

电子邮箱：123214084@qq.com　　联系电话：18459222191

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">硼中子捕获治疗系统（BNCT）项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">厦门弘爱医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>应敏刚</td><td>联系人</td><td>李挚</td><td>联系电话</td><td colspan="2">18459222191</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">厦门市湖里区仙岳路 3777 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">厦门市湖里区仙岳路 3777 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td>项目环保投资（万元）</td><td></td><td>投资比例(环保投资/总投资）</td><td colspan="2">%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">■新建 □改建 □扩建 □其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>约 1000</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>销售</td><td colspan="6">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">□Ⅰ类（医疗使用）□Ⅱ类□Ⅲ类□Ⅳ类□Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>生产</td><td colspan="6">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>生产</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>销售</td><td colspan="6">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>使用</td><td colspan="6">■Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

项目概述

1.项目建设情况

厦门弘爱医院是由仁爱医疗基金会投资建设的三级非营利性综合医院，仁爱医疗基金会的出资方是建发集团。

厦门弘爱医院和南京中硼联康医药科技有限公司合作，拟引进 1 套南京中硼联康最新研发的硼中子俘获治疗系统（BNCT），对恶性肿瘤开展治疗。

BNCT 设备拟放置在医院 9#楼地下负一层和负二层，设备主要由 1 台质子加速器、靶站与整形体以及照射室组成。加速器用来加速带电粒子，加速器产生的高能质子撞击靶站中的 Li-7 靶后产生中子，中子经整形体慢化后变成超热中子，超热中

子进入照射室，在照射室内中子与富集在人体癌变部位的 B-10 原子发生反应，反应产生的 α 粒子和 Li-7 粒子作为重离子对癌细胞起到杀伤作用。

本项目使用的射线装置一览表见表 1-1。

表 1-1 厦门弘爱医院核技术应用项目一览表（射线装置）

名称	数量（台）	能量（MeV）	流强（mA）	安装位置	射线装置类型	备注
串级式加速器	1	2.75	10	加速器室	Ⅱ类	新建

2.项目周边情况

厦门弘爱医院拟建 BNCT 项目位于厦门市湖里区仙岳路 3777 号，企业地理位置见附图 1，BNCT 项目在医院内的位置见附图 2，厂址现状见图 1-1。



图 1-1　本项目 BNCT 厂址现状

本项目 BNCT 拟放置在于弘爱医院西南角沿马路的 9#楼地下 1 层、地下 2 层（9#楼尚未建设）。9#楼的北侧为医院 6#综合楼，东侧目前为医院内绿地，南侧为医院南厂界，南厂界外为道路，道路对面为绿地，西侧为一片露天篮球场，球场西侧医院厂界外为正在修建的道路。本项目周围情况见附图 3，项目边界外 50m 范围无学校、居

民点等敏感点，北侧 20m 有医院综合楼 1 栋，综合楼高 18 层。

9#楼为 BNCT 项目专用楼，地上共计 2 层，地下也是 2 层。二层主要是 BNCT 相关的实验区域；一层为接待室、会议室和办公室；地下一层西侧为实验区、照射前准备区和照射后休息区，东侧为 BNCT 治疗区；地下二层西侧为照射前准备区和照射后休息区，东侧为 BNCT 治疗区。地下一层和地下二层的 BNCT 照射治疗区域为相对独立的区域。

3、原有核技术利用情况

医院目前开展的核技术利用项目为：使用 6 枚放射源（其中 1 枚Ⅲ源、5 枚Ⅴ类源）、使用 19 台射线装置（7 台Ⅱ类射线装置、12 台Ⅲ类射线装置）、一处乙级非密封放射性物质工作场所。医院的Ⅱ类射线装置、Ⅲ类放射源、乙级非密封放射性物质工作场所（包括场所内使用的核素、Ⅲ类射线装置及Ⅴ类校准源）均于 2016 年 7 月 14 日取得福建省环境保护厅（现福建省生态环境厅）环评批复（闽环辐评【2016】16 号），其他 III 类射线装置已登记表备案，辐射安全许可证正在申报中。原项目环评报告批复文件等材料见附件二。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
本项目不涉及								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及										

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/ 剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	串级式加速器	Ⅱ类	1	Tandem accelerator	质子	2.75MeV	10mA	轰击靶站产生中子	质子加速器室（9#地下 1~2 层）	/

（二）X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
本项目不涉及									

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
本项目不涉及													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
活化气体	气态	Ar-41	7.125×10^{5} Bq/次	2.14×10^{7}Bq	2.565×10^{8}Bq	1.14×10^{3}Bq/m^{3}	活性炭吸附过滤后从屋顶排放	大气

靶站及束流整形体	固体	Be-7、Cu-64 等	每个跟换的靶 Be-7 活度约 5.68E+10Bq Cu-64 活度约 4.84E+10Bq	/	/	/	暂存于束流转换及贮存室和放射存储间	定期送交放射性固体废物处置单位处置或存放至达到清洁解控水平
通风过滤活性炭	固体	Ar-41	约 3.7E+05Bq	/	/	/	暂存于放射存储间	存放 10 个半衰期以上，经检测活度低于豁免水平后作为普通废物处理
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	少量	少量	/	通过通风系统排入大气环境	臭氧 50 分钟后自动分解

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	1）《中华人民共和国环境保护法》（修订），2015 年 1 月 1 日； 2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订本），2018 年 12 月 29 日中华人民共和国主席令第 24 号公布实施； 3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； 4）《建设项目环境保护管理条例》（修订），2017 年 10 月 1 日起施行，国务院令第 682 号； 5）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018 年修改版），生态环境部令第 1 号，自 2018 年 4 月 28 日起实行； 6）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修改），国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日起实施；； 7）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日； 8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 年修正），环境保护部令第 47 号，自 2017 年 12 月 20 日起施行； 9）关于发布《射线装置分类》办法的公告，国家环保部、国家卫生和计划生育委员会，2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日； 10）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施； 11）《放射性废物安全管理条例》国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行； 12）《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部 工业和信息化部 国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行； 13）《福建省环保厅关于印发）《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》，闽环保辐射〔2013〕10 号，2013 年 3 月 15 日。

技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T 10.1-2016）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； （4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （5）《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）； （6）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）； （7）《室内空气质量国家标准》（GB/T18883-2002）
其他	**与本项目有关的文件** 附件一：环评委托书； 附件二：现有项目环保手续履行情况； 附件三：环境本底检测报告； 附件四：医院成立辐射安全管理小组及事故应急预案。 附件五：医院 BNCT 项目说明

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据 HJ/T10.1-2016 要求，新建 BNCT 项目的评价范围取射线装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 范围。

保护目标

本项目对环境的影响主要是加速器开机治疗过程对周围环境产生的辐射影响，辐射工作人员和医院内的非辐射工作人员均是需要关注的对象。本项目评价范围的情况详见附图 3，评价范围内的建筑目前有医院 6#楼，6#楼在 BNCT 治疗区域的北侧 20m，为 18 层高层建筑，目前用途为医院的综合楼，综合楼有医院的工作人员长期居留，属于保护目标。同时 9#楼内其他医护人员也是本项目的保护目标。



图 7-1 医院 6#楼

医院 6#楼共有约 550 间房屋，踏勘期间楼内共有医护人员约 110 人，这些人员作为本项目周围长期居留的公众。另外，9#楼内非直接参与 BNCT 项目的医护人员约 60 人。职业人员主要考虑本项目的工作人员。环境保护目标分布情况见表 7-1。

表 7-1　环境保护目标分布一栏表

场所	方位	距离 m	保护目标
6#楼内其他医护人员	北	20	约 110 人，公众
9#楼内其他医护人员	西、上方	—	约 60 人，公众
BNCT 治疗核心区域	周边	—	约 6 人，职业人员

评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

	剂量限值
职业照射	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ① 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可做任何追溯平均），20mSv； ② 任何一年中有效剂量，50mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估算不应超过下述限值： ① 年有效剂量，1mSv；特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv，则某个单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv。

（2）《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）

本项目剂量率限值标准参考《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ141-2002）：5.1.3Ⅱ类电子束辐照装置（Ⅱ类电子束辐照装置是指安装在屏蔽室（辐照室）内的辐照装置，运行期间借助于入口控制系统防止人员进入辐照室）空气比释动能率的测量位置：距辐照室各屏蔽墙和出入口外 30cm 处，测量结果应符合 GB17279 第 5 条，即由穿透辐射所产生的平均剂量率应不大于 2.5μGy/h。

（3）《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）：

本项目剂量约束值根据《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85），从事加速器工作的全体放射性工作人员，年人均剂量当量应低于 5mSv。加速器产生的杂散辐射、放射性气体和放射性废水等，对关键居民组中的个人造成的有效剂量当量应低于每年 0.1mSv。

（4）放射性废水排放限值

本项目放射性废水排放参考《医院污水处理技术指南》（环发[2003]197 号）放射性废水至少需存放最长半衰期核素的 10 个半衰期；放射性废水排放限值：总 α＜1Bq/L；总 β＜10Bq/L。

（5）放射性固废排放要求

参考《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）中附录 B：“根据 GB18871-2002 中 4.2.5.5 的原则将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据”。

核素	活度浓度（Bq/g）	活度（Bq）
Be-7	1E+03	1E+07
Cu-64	1E+02	1E+06

参考 GBZ133-2009 中的 6.3.3 条款，未知核素的废物活度在其活度浓度小于或者等于 2×10^{4}Bq/kg 时，可以作免管固体废物处理。

（6）《室内空气质量国家标准》GB/T18883-2002

室内臭氧浓度 1 小时均值小于 0.16mg/m^3。

综上所述：

1. 人员受照剂量管理目标（剂量约束值）

   职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

2. 环境剂量率控制限值

   控制区外 30cm 处，最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、 项目地理和场所位置

目前医院的 9#楼尚未开工未建，项目所在位置目前为草地绿化。拟建 BNCT 项目区域位于整个院区西南角的 9#楼。9#楼北侧为一栋 18 层综合楼，西侧为篮球场，南侧为医院边界，边界外是道路，东侧现状为绿地。

2、环境现状评价的对象、监测因子和检测点位

1）评价对象

本项目为新建硼中子俘获治疗系统项目，使用质子加速器加速质子撞击靶站产生中子，中子与富集在人体癌变部位的 B-10 原子发生核反应，因此现状评价对象为拟建设 BNCT 区域的天然贯穿辐射环境现状和中子剂量率。

2）环境监测因子

根据项目污染特征因子，环境监测因子为：空气中 X-γ 剂量率、中子剂量率。

3）检测点位

在拟建 BNCT 区域布设检测点位，点位布设详见图 8-1。

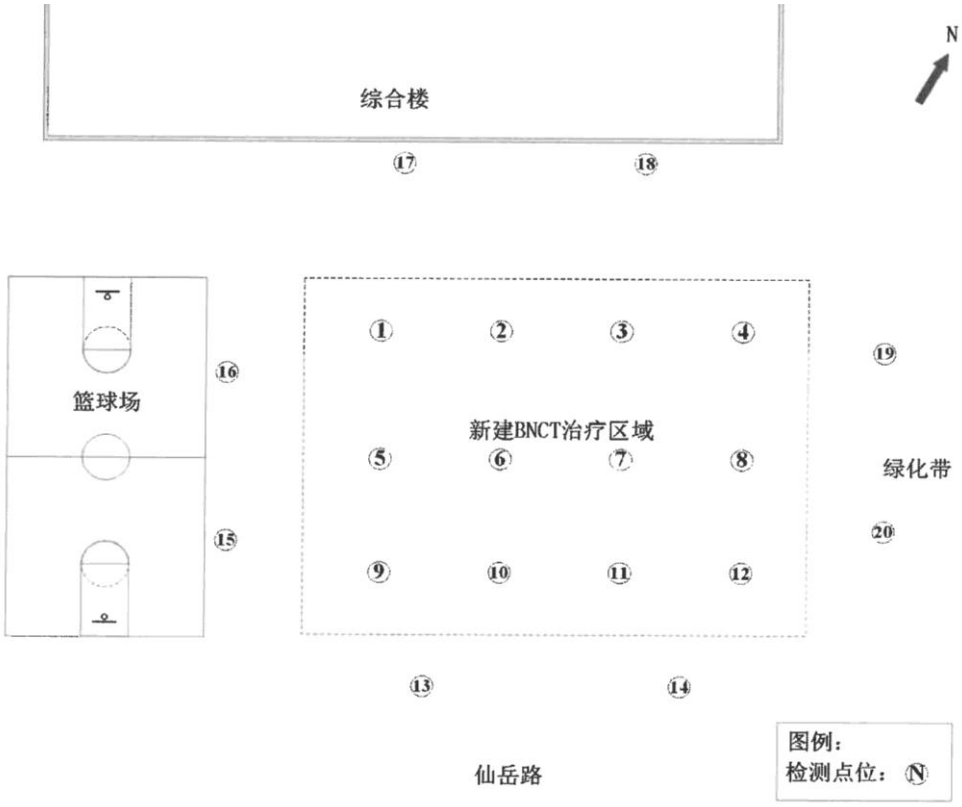


图8-1　本项目现场环境辐射本底检测点位布设图

3、监测方案、质保措施、监测结果

1）监测方案

检测时间为 2018 年 11 月 29 日，检测采用 FH40G+(672E-10) X-γ 辐射剂量率仪和 FHT762 中子周围剂量当量率仪，仪器在有效检定日期内，分别是 2018 年 10 月 10 日~2019 年 10 月 09 日及 2018 年 10 月 26 日~2019 年 10 月 25 日。按照《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T4583-1993）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）和《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2008）中的要求进行，监测时仪器探头水平距离地面 1m，每组读 10 个数据，读数间隔 10s。

2）质量保证

①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测上岗证；

⑤检测报告实行二级审核。

3）监测结果

厦门弘爱医院新建 BNCT 区域周围 X-γ 辐射剂量率范围为（0.092~0.111）μSv/h，中子辐射剂量率水平均低于仪器的检测下限（1nSv/h）。

4、环境现状监测结果评价

检测结果表明：厦门弘爱医院拟新建 BNCT 区域环境 X-γ 辐射剂量率处于室外放射性环境本底水平的正常范围。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1. 设备组成

本项目设备主要由质子加速器、靶站、3 个照射室的治疗床等部件组成。除此之外加速器运行还配套有电源系统和冷却水系统，照射室配备通风系统。电源系统放置在地下一层加速器室北侧的配电间，冷却水系统放置在地下二层的照射室和加速器室北。通风系统由 9#楼的暖通系统统筹考虑。

2. 工作原理

1、质子加速器工作原理

本项目质子加速器为串级式加速器(Tandem accelerator)，为一种静电加速器，串级式加速器具有能精准控制离子种类并能有效率的提高离子能量及电流大小等优点。

基本的二级串式加速器主要包含两个加速管、一个高压电极端、电荷剥离器和包覆加速管并填充绝缘气体的压力容器，如图 9-2 所示。

本项目的加速器由阴离源产生带负电的质子，经初步的预加速及分析磁铁后，进入阴离子加速管，在管内由于受到带正电的高压电极端吸引，H^-离子朝正电极端移动并加速，进入高压电极端内部时，经过电荷剥离器使其由 H^-离子变为带正电的质子，质子经高压电极端内部的偏转磁铁转向 180 度后进入第二根加速管中，在加速管中由于受到高压正电极排斥而往电极端的反向移动并加速。通过两次加速产生的高能质子离开加速管后再经分析磁铁、转向磁铁和射束聚焦磁铁后便可导出至射束出口使用。

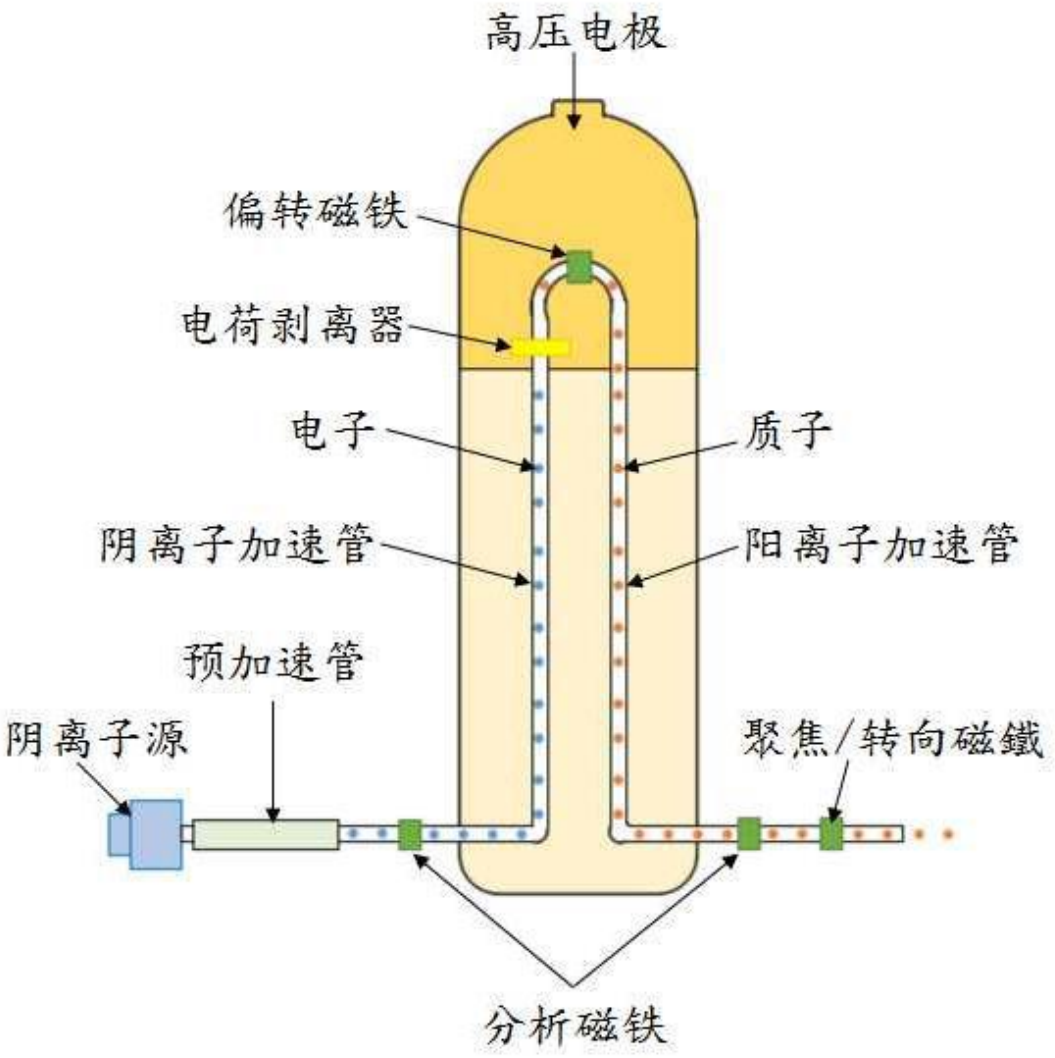


图 9-2　串列式加速器原理示意图

本项目使用的加速器主要技术参数见下表：

表 9-1　本项目加速器技术参数

名称	加速粒子	能量（MeV）	流强（mA）
串级式加速器	质子	2.75	10

2、靶站工作原理

加速后的质子轰击 Li 靶产生中子，产生的中子经过整形体处理后变成超热中子用于治疗。靶站示意图见图 9-3。

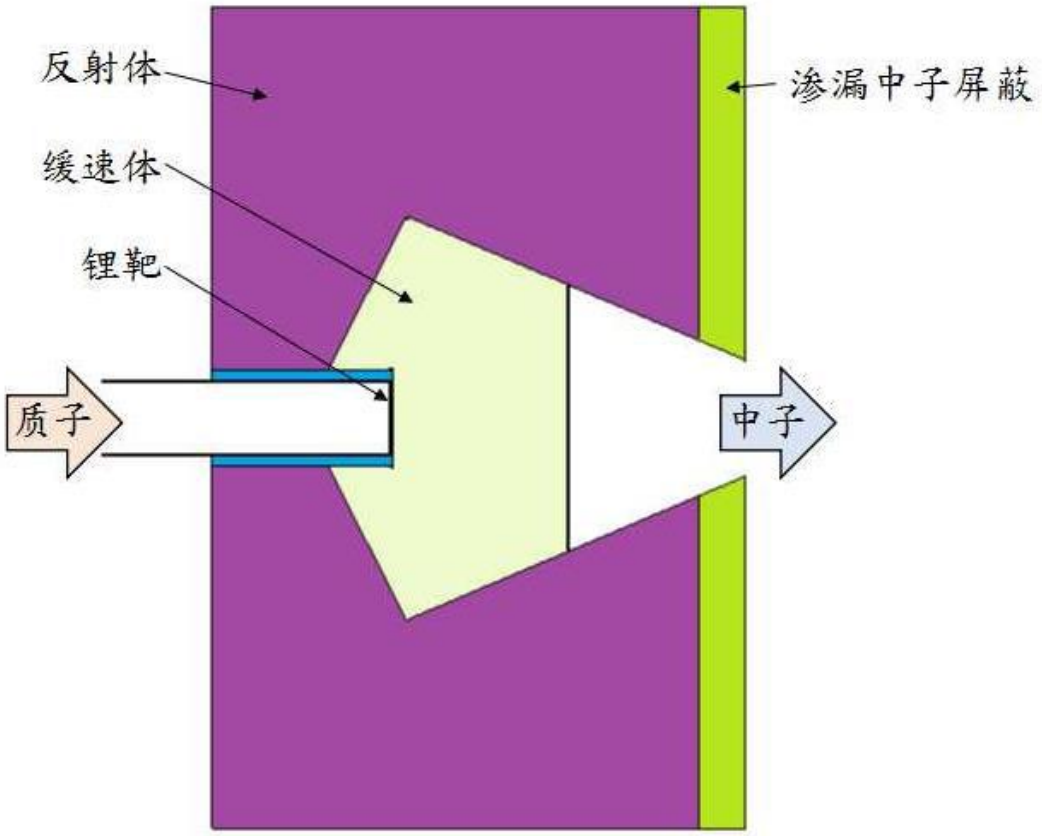


图 9-3　BNCT 靶站结构示意图

Li 靶的主要成分是 Li-7，能量为 2.75MeV 的质子轰击 Li 靶发生的核反应为：

$$Li\text{-}7 + H^{+} = Be\text{-}7 + n$$

Li 靶产生中子后，中子进入慢化体，慢化体主要成分是二氟化镁和氟化锂的混合物，两种化合物均对中子有高作用截面，中子在慢化体内与各原子发生碰撞，降低自身的能量造成减速的作用。中子减速后从靶站出口射出，中子能量范围在 0.5eV~2MeV。

3、BNCT 治疗原理

B-10 元素与热中子有很大的反应截面。治疗前，病人持续服用靶向治疗药物 4-二羟基硼基苯丙氨酸（以下简称 BPA），BPA 药物会在肿瘤组织富集，每克肿瘤组织内 ^{10}B 的量可以达到（10-30）μg，是未发生癌变的人体组织的 2~3 倍。病人进入照射室，在的治疗床上根据需照射肿瘤的位置摆位并固定，然后开启加速器进行照射，期间通过点滴持续注入 BPA，中子与富集在肿瘤细胞内的 B-10 元素发生核反应，反应式为：

$$n+B\text{-}10 = Li\text{-}7 + \alpha$$

该反应产生的 Li-7 为重离子，α 粒子带电+2，均具有较高的电离能力，有较高的细胞杀死率。重离子及 α 粒子在细胞内的射程均小于 10 微米，因此只对富集了 B-10 的癌细胞有良好的杀灭作用而不损伤周围正常组织细胞。

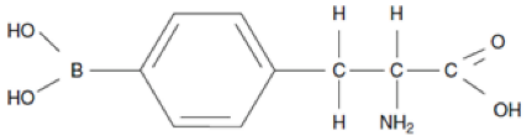


图 9-4　BPA（中文名 4-二羟基硼基苯丙氨酸）分子图

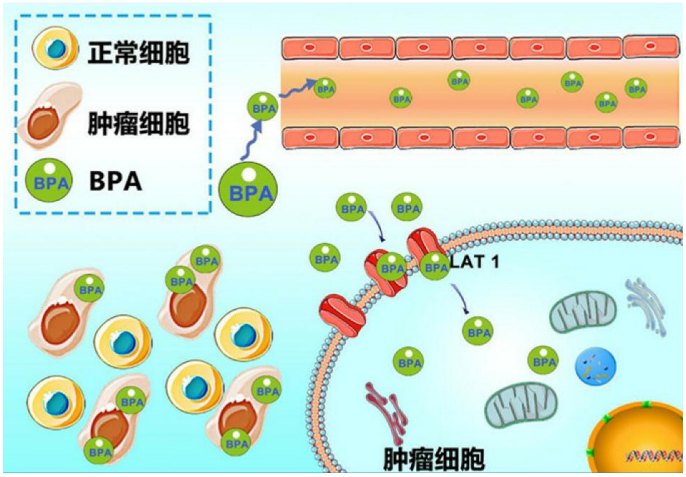


图 9-5　BPA 在人体组织内的分布示意

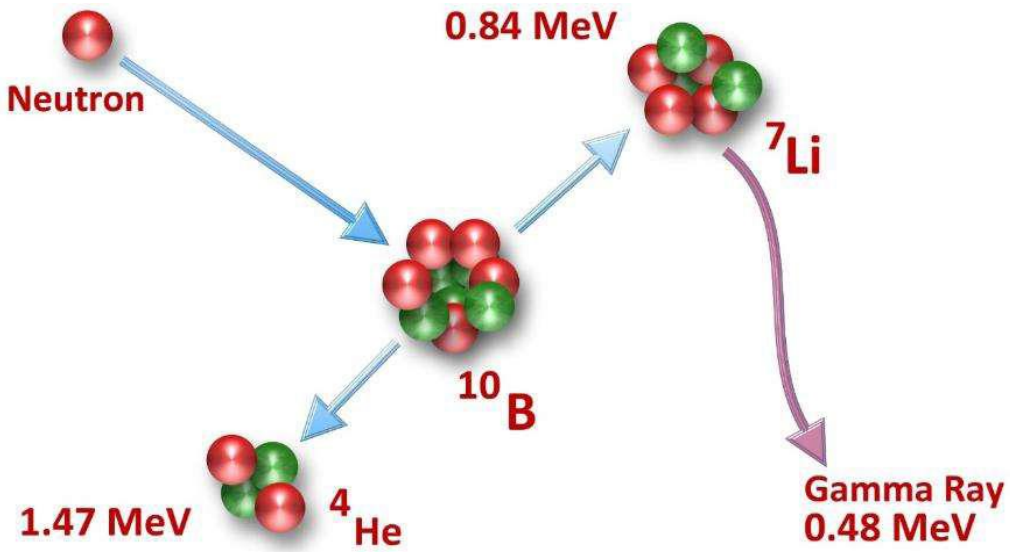


图 9-6　硼、中子反应示意图

3. 工艺流程

BNCT 治疗流程大致如下：

1、前期筛查：病人进入医院后先要进行前期的筛查，确认是否适用 BNCT

进行治疗，考量指标主要是 BPA 在癌细胞内的富集度以及持续给药时癌细胞和正常组织细胞内的 BPA 浓度的差异。

2、确定治疗方案：根据病人实际情况确定治疗方案，包括治疗次数、照射时间、照射角度等，然后对需照射部位进行模拟定位。

3、治疗前准备：在照射前需持续注射 BPA 药物，待肿瘤位置的 BPA 浓度达到可照射的阈值后才能进行中子照射。

4、定位照射：病人在治疗床上根据之前的治疗方案进行摆位并固定，然后开启加速器进行中子照射。照射期间 BPA 通过点滴持续给药。

5、术后休养：中子与 B-10 发生反应的同时也会与人体内的其他核素发生反应，生成的微量的放射性核素有 Na-24、Cl-38、Ca-49、In-116m、Au-198。在照射治疗刚结束时，照射部位的感生核素造成的剂量率大约为 40~60μSv/h。在治疗后 20 分钟后，距离患者头部 2m 处的剂量率将小于 1μSv/h。治疗结束后病人离开 BNCT 照射室，先到恢复室休息 2 小时以上，然后才能离开医院。

本项目工艺流程及产污环节如图 9-7 所示。

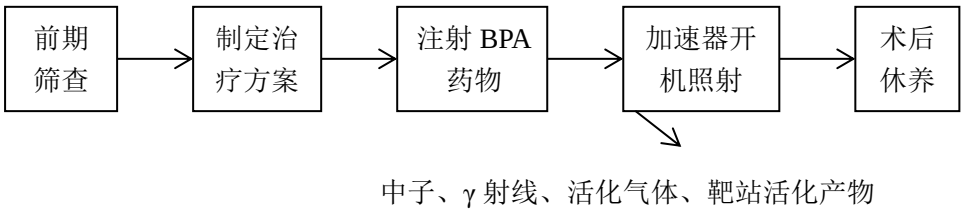


图 9-7　BNCT 治疗流程及产污环节示意图

污染源项描述

1. 放射性源项

1）质子加速器源项分析

串级式加速器加速的束流为 H^-和 H^+粒子，第一根加速管中加速 H^-粒子所能达到最高能量为 1.375MeV，第二根加速管中加速 H^+粒子所能达到最高能量为 2.75MeV。当质子偏转与加速器管管壁或偏转磁铁发生碰撞时，他们的相互作用以库伦电场相互作用为主，不会发生韧致辐射，同时由于本项目加速后质子能量较低，因此几乎不会与加速管或偏转磁铁的材料发生核反应。

2）靶站的源项

本项目加速器产生的质子轰击靶站 Li-7 核素产生中子，通过慢化体调控后，能量缓速至超热中子区。

质子在靶站轰击 Li-7 核素产生中子的同时伴随着 γ 射线，γ 射线各向同性，产额比中子低一到两个数量级。

3）放射性废气

本项目加速器室内空气受照射后可能生成放射性活化气体，主要核素有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{41}Ar 等，其中关键核素为 ^{41}Ar。^{41}Ar 为惰性气体，其所致照射路径为空气浸没照射。加速器产生的 ^{41}Ar 主要通过 ^{40}Ar（n，γ）^{41}Ar 反应生成。

^{41}Ar 的产生量计算公式如下：

$$Q=\lambda \cdot Y_0 \cdot R \cdot N \cdot \sigma \cdot t$$

式中：

Q：核素^{41}Ar的产生速率，Bq/次；

λ：核素^{41}Ar 的衰变常数，$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1.8\text{h} \times 3600\text{s/h}} = 1.07 \times 10^{-4}$

Y_0：加速器大厅内中子发射率，1.24×10^9n/s；

σ：^{40}Ar母核素的活化截面，15.7mb=15.7×10^{-27}cm^2；

R：房间内空气的有效半径，309.7cm；

N：单位体积空气中的^{40}Ar 原子个数3.49×10^{17}n/cm^3。

t：运行时间，$1.5\text{h} \times 3600\text{s/h} = 5.4 \times 10^3$（依照病患的需要，单次治疗时间可到1小时或以上，不会长于1小时30分）；

由上述公式计算可得，在1个治疗室开展1次治疗工作后，^{41}Ar的排放量为

1.22×10^{3}Bq。

4）放射性废水

本项目病人使用的药物及加速器的冷却水均无放射性。使用经过净化处理的去离子水对靶站进行冷却时，产生的中子会与冷却水接触，由于中子能量较低，与冷却水中的氢元素与氧元素基本无反应截面，没有潜在的中子活化问题。因此本项目运行过程中不产生放射性废水。

5）放射性固体废物

（1）本项目加速器会定期更换锂靶，靶连续照射会产生感生放射性核素。单个靶站的总活度低于清洁解控水平，该靶站可作为普通固废处置。

（2）本项目通风系统中安装的过滤用活性炭平均每年更换一次，由于该活性炭中吸附了一定量的放射性气溶胶，所以活性炭按低放固废处理，年产生量约 60.0kg/年。

2. 非放射性源项

1）气体

本项目加速器由于高强度的射线照射容易电离空气产生臭氧和氮氧化物。根据经验，臭氧和氮氧化物的产额约为 2:1。照射室内臭氧浓度计算公式如下：

$$C=\frac{PG}{(\lambda+KF)TV_0}\left[T+\frac{1}{\lambda+KF}(e^{-(\lambda+KF)T}-1)\right]$$

$$P=6.24\times10^{18}\Phi K'R\rho$$

$$C_{质}=CM/(Na)$$

$$C_{源}=C_{质}\times V_0$$

P：单位时间内空气吸收的中子辐射能量；

6.24×10^{18}：单位转换系数，1J=6.24×10^{18}eV；

Φ：中子发射率，1.21×10^{9}n/s；

K'：空气比释动能因子，1.08×10^{-15}J ㎡/kg；

R：房间空气的等效球半径，3.097m（照射室1、2）4.254m（照射室3）；

ρ：空气密度，1.293kg/m^3；

G：单位辐射能量的O_3产额，0.1分子/eV；

λ：O_3的分解速率，2.31×10^{-4}/s；

K：混合均匀系数，取1/3；

F：辐射区域（治疗室）的通风换气率，10次/h（2.78×10^{-3}/s）；

TV_0：运行T时间的总排风量，m^3；其中，T为每次加速器运行时间，s，此处T=0.5h=1800s；V_0为通风量，m^3/s，照射室1/2：1250m^3/h=0.347m^3/s；照射室3：3250m^3/h=0.903m^3/s

$C_{质}$：辐照空间中某分子的平均质量浓度，mg/m^3；

C：辐照空间中某分子的平均分子浓度，分子/m^3；

M：分子的摩尔质量，O_3为4.8×10^4mg/mol；

Na：阿氟加德罗常数，6.02×10^{23}分子数/mol。

$C_{源}$：排风口处的源强排放速率，mg/s；

根据上述理论计算得知，在本项目运行时，照射室3内的O_3产生浓度为1.98×10^{-4}mg/m^3，排气口O_3的排放速率为1.79×10^{-4}g/h，氮氧化物的产生浓度为0.99×10^{-4}mg/m^3，排放口氮氧化物的排放速率为0.90×10^{-4}g/h；照射室1/2内的O_3产生浓度为3.76×10^{-4}mg/m^3，排气口O_3的排放速率为1.30×10^{-4}g/h，氮氧化物的产生浓度为1.88×10^{-4}mg/m^3，排放口氮氧化物的排放速率为0.65×10^{-4}g/h。

本项目 3 个照射室内臭氧的浓度均低于国家室内空气 1 小时均值0.16mg/m^3，故臭氧不会对工作人员产生影响。

2）液体

加速器检修等产生的废水、医护人员及病人的生活污水，作为普通的医院废水排放。

3）固体

前文提到更换下来的靶站放置 670 天至清洁解控后作为普通固废处置。本项目每个照射室的通风系统是独立的，其活性炭按照相应的核素衰变 10 个半衰期达到豁免水平后作为普通废物处置，活性炭年产生量约 60.0kg/年。

表 10 辐射安全与防护

项目采取的辐射安全措施

1. 辐射工作场所分区管理

企业将辐射工作场所进行分区管理，将需要专门防护手段或安全措施的区域设为控制区，将控制区周围需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域设为监督区。

控制区主要有加速器室（地下一层、二层贯通）、束流转换室（地下一层）、照射室 1（地下一层）、照射室 2（地下一层）、照射室 3（地下二层）、放射存储间（地下二层）。

监督区主要有治疗监控室（地下一层）、加速器控制室（地下一层）、吊装洞（地下一层）、水冷室（地下一层）、配电间（地下一层）、放射存储间（地下二层）、组装间（地下二层）、治疗监控室（地下二层）、模拟定位间（地下二层）、水冷室（地下二层）、附属设备间（地下二层）等房间。

各区域的管理措施如下：

所有进入控制区的防护门（放射存储间除外）均与加速器出束系统联锁，防护门在打开状态下加速器无法开机，加速器在开机期间打开防护门，加速器自动停止出束。防护门显著位置张贴电离辐射警示标志。对于加速器室、束流转换及储存室的防护门设置门禁系统，只有授权人员才有权限进入，人员进入时佩戴个人剂量计和报警仪。放射存储间设置双人双锁，钥匙由专人保管，防护门显著位置张贴电离辐射警示标志。

监督区中，运行时不需要人员进入的加速器组装间（地下二层）、附属设备间（地下二层）、水冷室（地下一、二层）、配电间（地下一层）使用钥匙门锁，钥匙与加速器的开机钥匙穿在一起，如需进入首先要拔出加速器开机钥匙。对于开机时需要有人员的进入的治疗监控室（地下二层）、模拟定位室（地下二层）、加速器控制室（地下一层）、治疗监控室（地下一层）等区域设置门禁系统，只有授权的人员才允许进入工作。人员进入监督区时需佩戴个人剂量计。

医院对于 BNCT 治疗区域辐射工作场所的分区管理措施是合理可行的，可有效加强辐射安全管理。

由于患者治疗后体内会产生感生放射性，因此接受照射治疗后的患者将经过

相对独立通道进入恢复室休息，照射后的病人路径和待照射的病人进入照射室的路径基本不重合。辐射安全场所屏蔽设计方案

（1）屏蔽结构：

本项目屏蔽为特殊配方混凝土，

（2）屏蔽材料：

医院使用的特殊配方混凝土。

防护门使用含硼聚乙烯和铅。

（3）其他屏蔽：

本项目更换下来的废靶使用铅罐运输、储存。

企业设计使用的屏蔽措施可以有效降低辐射工作人员的受照剂量，并使项目周围的辐射剂量率满足标准要求。

2. 辐射安全设施描述及评价

加速器机房及照射室配备了安全联锁系统，该系统包括门机联锁、紧急停止开关、安全巡检、钥匙开关等设备及措施。通过这些安全措施，可以降低潜在照射的风险，从而保护相关工作人员的身体健康。

三废的处理：

1、放射性废气

1）本项目治疗室的排风系统中加装活性炭过滤装置，活性炭过滤器使用寿命 8~12 个月，建设单位每半年对过滤器过滤效率进行测试，如有必要增加更换频次。照射室 1、照射室 2 的通风量不低于 1250m^3/h，照射室 3 的通风量不低于 3250m^3/h，风管至建筑顶端高出屋面。

2、放射性固废

（1）废弃的靶站

本项目产生的放射性固废主要为废弃的靶站，靶站连续照射 10h 后涉及的放射性核素大多为短半衰期核素，核素半衰期从 2.24min~53.28d 天，因此通过一定时间的存放，这些含有放射性核素的固废即可衰变达到较低的水平。

根据放射性核素的初始活度及半衰期时间，废靶分阶段在不同地点暂存。准备更换的靶站在结束照射后需要冷却 6h，此时半衰期短或产生量小的核素基本衰变完全。靶站放入铅罐，此时铅罐外剂量较高，放置于束流转换及储存室。贮存时间主要取决于核素半衰期，其中 Be-7 半衰期为 53.28 天，Cu-64 半衰期为 12.7 小时，因此 Be-7 为主要考虑的核素。铅罐放置在束流转换及储存室 280 天后，通过核素的自然衰变，铅罐外的剂量率可降至 2.5μSv/h 以下。

然后将表面剂量率较低的铅罐搬运至放射存储间继续暂存 390 天，单个靶站的 Be-7 元素的总活度低于清洁解控水平，该靶站可作为普通固废处置。

（2）排风系统的活性炭

照射室通风系统更换下来的活性炭作为放射性固废贮存衰变。按照其主要核素 Ar-41 的半衰期存放 18.3 小时后作为普通的固废处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目施工期需新建医院的 9#楼，在施工期需要建设医院房屋并对楼内空间进行分隔、装修。建 9#楼期间同时浇筑本项目地下一层和地下二层的特殊混凝土屏蔽体。施工阶段包括钢筋结扎，模板搭设，混凝土浇筑，砖墙的垒砌；衰变池的开挖、防渗；水、电、暖通的铺设；地面、墙体的铺设；门、窗、设备安装等工序。施工期的环境影响如下：

1、大气环境影响分析

项目施工期主要是向环境排放少量的有机废气。

在施工中，选用质量合格、通过国家质量检验的低污染建材，所产生的少量有机废气经大气扩散后，对当地大气环境质量无明显影响。

2、水环境影响分析

施工期污水主要为施工人员生活污水，排入项目所在地的污水管网，对周边水环境质量无影响。

3、声环境影响分析

施工期噪声发生源有电钻、电锯等。由于本项目地处医院地块内，且北部 20m 即有医院 6#综合楼，因此需严格安排施工时间，在夜间和节假日均不进行施工作业。注意高噪声施工设备的放置，并进行隔声降噪处理。噪声经以上措施后，基本能够达到《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的要求，对周围声环境影响较小。

4、固体废物影响分析

在施工期间，将产生一定量的建材废料，有回收利用价值的，回收利用，其他固废及时清运至专用垃圾场所。

综上所述，本项目施工期所产生的污染均得到有效控制，并且施工期短，施工量小，对周围环境影响较小，且影响在项目施工结束后消失。

运行阶段对环境的影响

1. BNCT 治疗时对周围辐射环境的影响

本项目为硼中子靶向治疗，本项目使用的特殊混凝土屏蔽材料为设计单位为本项目专门研发的专利材料，参考文献中无法给出其与对应的能量的中子及光子的十值层数据，因此本项目使用蒙特卡罗方法进行模拟计算。蒙特卡罗方法以它的跟踪粒子逼真和不受求解问题边界条件、维数限制等特性，在粒子输运领域获得了越来越广泛的应用。它求解问题不是采取数学分析的方法，而是模拟随机过程，当所求问题的解是某个随机事件出现的概率，或者是某个随机变量的期望值时，可以通过数字模拟的方法得到这种事件出现的频率，或者这个随机变量抽样试验值的算术平均值，并用它作为问题的近似解。在用蒙特卡罗方法处理问题的过程中，大量粒子被逐一跟踪。从抽样出源粒子到认为该粒子死亡（对通量贡献很小）时便停止跟踪，一般来说，粒子在整个历程的各个阶段，以各种基本作用来确定其命运，这些基本作用通常以截面的形式来表达。

本项目源项计算见“表 9 项目工程分析与源项”中的“靶站源项”章节，屏蔽情况见“表 10 辐射安全与防护”中的“（1）屏蔽结构”和“（2）屏蔽材料”章节。本项目开展治疗时，使用 1 间照射室，其余 2 间照射室对病人进行治疗前准备或空置。，本报告在计算周围剂量率时保守按照 3 个照射室同时使用进行模拟。

计算点位布置图见图 11-1 和图 11-2，计算结果见表 11-1。

本项目 3 个照射室对周围的剂量率贡献值仅为（0.006~＜0.001）μSv/h，最大点位出现在束流转换室防护门门口的门缝处，对其剂量率的贡献来自于照射室内的中子和光子通过质子束流穿墙管道造成的泄露。由于本项目采取了保守、冗余的屏蔽设计，因此由于 BNCT 照射治疗造成的附加剂量非常小，以每天开机 5h，一年工作 300 天计，辐射工作人员年受照剂量为 0.009mSv，公众年受照剂量＜0.001mSv。职业人员剂量低于国家标准 GB18871-2002 中的职业人员的年剂量限值（20mSv）的要求，同时也低于年剂量约束值（5mSv）。对公众的年受照剂量影响值＜0.001mSv/a，低于国家标准 GB18871-2002 公众的年剂量限值。

2. 更换靶站时对辐射工作人员造成的剂量

本项目更换的靶站所含的放射性核素（主要为 Be-7 和 Cu-64）对环境产生的辐射剂量影响可采用《辐射防护手册 第三分册》（潘自强等主编，原子能出版社，1990.3）中的公式进行源项估算。计算公式如下：

$$\dot{H}_{L.W} = 8.69 \times 10^{3} \times A \times \Gamma_{\gamma} / r^{2} \qquad (1)$$

式中：$\dot{H}_{L.W}$ — 空气吸收剂量率，μGy/h；

A — 放射性活度，mCi；

Γ_{γ} — 常数，R cm^2/(mCi ·h)，计算中 1R=1×10^{-2}Sv（主要参考《放射性同位素手册》中的表 1-18）；

r — 预测点距源的距离，cm。

表 11-2 靶站主要放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	Γ_{γ} R cm^2/(mCi ·h)	最大 γ 射线能量（MeV）
Be-7	53.28	0.27	γ0.478（10.3%）
Cu-64	12.7h	1.17	γ0.511（34.79%）

本项目多人分担工作后，人均剂量低于国家标准 GB18871-2002 中的职业人员的年剂量限值（20mSv）的要求，同时也低于年剂量约束值（5mSv）。

3. 放射性废气排放的影响

本项目放射性废气主要为照射室内被中子活化的空气，其中关键核素为 Ar-41，由于本项目中子产生量小，运行时间短，因此活化能力有限，Ar-41 的产生量小，同时设置了过滤设施，可以有效控制 Ar-41 的排放，对周围环境影响较小。

4. 其他影响

1）臭氧和氮氧化物

通风装置将照射室内臭氧和氮氧化物抽至排风管内，最终排入大气中，其外排放口高于本建筑楼顶。本项目排放的臭氧无排放标准，氮氧化物产生浓度和产生量均很小，不会对周围大气环境产生明显影响。

2）废水

本项目不产生放射性废水，生活污水纳入医院现有污水管网，接管医院所在区域的污水处理厂，不会对周围水体产生影响。

3）固废

本项目产生的放射性废物暂存足够长时间后，衰变达到豁免要求，作为普通固废处置。

事故影响分析

本项目可能发生的事故是工作人员误操作或设备安全联锁装置失灵，造成工作人员误入或滞留在高辐射区内，发生人员超剂量照射事故。

本项目使用的加速器属于Ⅱ类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145 号）之规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。为杜绝事故隐患，医院应加强管理，严格按操作规程操作，每次作业前确保各控制区无无关人员滞留后方可开机，定期检查各项安全联锁装置的有效性，定期监测控制区外的辐射水平，确保工作安全有效运转。

当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1. 辐射安全管理机构设置情况

医院已成立了辐射安全管理小组，配备 1 名兼职组长、3 名兼职副组长，具体负责辐射工作的人员参加了审管部门认可的培训后持证上岗，其他非专业部门人员协助辐射安全管理工作。

2. 人员配备与职能

医院已配备 15 名辐射工作人员，本项目拟新增 4 名辐射工作人员，辐射工作人员不兼职其它辐射工作。

辐射安全管理规章制度

根据已修订的“放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（环境保护部第 3 号令）中的有关要求，使用放射性同位素与射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、设备使用登记制度、人员培训计划、检测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

目前，医院已制定了各科室岗位的岗位职责、现有辐射设备的操作规程、各科室的辐射防护与安全管理制度、设备检修维护制度、设备、药品使用登记制度、人员培训计划以及各科室检测方案，制定了辐射事故应急处理预案。本项目实施后，需将本项目相关内容纳入医院的辐射安全规章制度。

辐射监测

1. 环境监测方案

（1）个人剂量检测

医院已开展辐射工作人员个人剂量监测，每 2~3 个月将个人剂量计收集后统一送有资质的单位检测。医院内辐射安全管理机构对个人剂量监测结果（检测报告）统一管理，长期保存。

（2）工作场所辐射环境检测

医院每年委托有资质单位开展年度检测工作，编制年度辐射环境评估报告一并在次年 1 月 31 日前送交环保部门。

每月用 X-γ 巡检仪和中子仪对控制区周围环境剂量率进行环境自检，保存相关记录。

在发生事故或设备出现故障维修后，委托开展环境检测达到国家标准后再次启用。

2. 环境监测仪器配备

企业需要为职业人员每人配备个人剂量计和可有效响应本项目辐射种类的个人剂量报警仪，工作时随身佩戴。

企业已配备 1 台 X-γ 剂量率巡检仪，同时应增加 1 台中子巡检仪，定期自检，保存检测记录。

辐射事故应急

1. 辐射事故应急响应机构、预案建立情况

医院已制定“辐射事故应急预案”，并规定事故预防措施与应急处理预案，建立了“辐射安全管理与应急小组”，并在制度中规定医院内辐射事故情况下应急措施，报告程序和时限要求。

表 13 结论与建议

结论

1. 项目概况

厦门弘爱医院和南京中硼联康医药科技有限公司合作，拟引进硼中子俘获治疗系统（BNCT），对恶性肿瘤开展治疗。BNCT 设备拟放置在医院的 9#楼地下负一层和负二层，设备主要由 1 台质子加速器、靶站与整形体以及 3 个照射室组成。

加速器产生的高能质子撞击靶站产生中子，中子在照射室内中子与富集在人体癌变部位的 B-10 原子发生反应，反应产生的 α 粒子和 Li-7 粒子作为重离子对癌细胞起到杀伤作用。

本次新建 BNCT 项目周围 50m 范围内没有居民点、学校等。经检测厦门弘爱医院新建 BNCT 区域周围 X-γ 辐射剂量率范围为（0.092~0.111）μSv/h，中子辐射剂量率水平均低于仪器的检测下限（1nSv/h）。

2. 辐射安全防护结论

本项目屏蔽体主要采用特殊混凝土，屏蔽设计厚度满足辐射防护要求。

本项目控制区采取了门机联锁、紧急停止开关、开门开关、安全巡检开关、钥匙开关、警示、提示装置、监视系统、剂量监测系统等措施保障运行安全。

本项目新增的辐射工作人员上岗前参加辐射防护知识培训，经考核合格后上岗操作。辐射工作人员在操作时佩带个人剂量计，工作场所配备 2 台有效的个人剂量报警仪，医院配备 1 台 X-γ 剂量率巡检仪，需增配 1 台中子巡检仪，定期自检。

3. 环境影响分析结论

根据软件计算和理论计算，BNCT 开机治疗时对职业人员的年受照剂量影响值为 0.009mSv，周围公众的最大年受照剂量小于 0.001mSv，符合国家标准 GB18871-2002 年剂量限值（职业人员 20mSv，公众 1mSv）的要求，同时也符合年剂量约束值（职业人员 5mSv，公众 0.1mSv）。在更换靶站时，需要多名辐射工作人员轮流操作，单人受照剂量符合国家标准 GB18871-2002 年剂量限值（职业人员 20mSv，公众 1mSv）的要求

本项目电离辐射产生的少量废气不会对周围环境产生影响。

4. 可行性分析结论

本项目新建 BNCT 出于医院的治疗需要，工作场所采用满足标准的屏蔽设计方案，设置有辐射安全措施，采取保守的屏蔽设计方案，人员受照剂量和环境辐射剂量率处于较低的水平，符合“辐射防护三原则”的要求。

从保护环境的角度而言，在实现本项目“三同时”一览表中的各项辐射防护措施的条件下，本项目是可行的。

建议

1．该项目运行中，严格遵循操作规程，加强对操作和管理人员有关辐射防护培训，避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：   公　章 经办人　　年　月　日
审批意见：   公　章 经办人　　年　月　日

附表：“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于 1 名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作	设立辐射安全管理机构，指定 1 名或多名管理人员，并以文件形式明确机构内各人员职责。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	治疗系统的主体屏蔽结构主要使用特殊混凝土，严格控制门缝宽度和搭接长度。项目实施后屏蔽体外的剂量率低于 2.5μSv/h。	/
	安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停开关等）	1、门机联锁，控制区的防护门与加速器系统高压联锁。2、急停开关，控制区内、操作台等位置安装急停开关。3、开门开关，治疗室防护门内外安装开门开关。4、安全巡检开关，各个控制区设置安全巡视开关。5、钥匙开关，操作台设置钥匙开关，钥匙由专人保管。6、警示、提示装置，关键出入口张贴警示标示。7、监视系统，照射室内安装视屏监控。8 剂量监测系统，照射室内安装剂量检测系统。	/
通风措施	通风措施	3 个治疗室每小时通风 10 次以上，通风系统的排放口安装活性炭过滤系统。	/
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	医院新增的辐射工作人员均应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	/
	个人剂量监测	医院的辐射工作人员均应进行个人剂量监测和职业健康体检。	/
	人员职业健康监护	建立个人剂量档案和职业健康监护档案。	/

监测仪器和防护用品	环境辐射剂量仪	医院应配备 1 台 X-γ 剂量率巡检仪和 1 台便携式中子仪。	/
	个人剂量报警仪	每人职业人员工作时随身佩戴个人剂量报警仪。	/
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、设备台账和使用登记制度、人员培训计划、监测制度、辐射事故应急措施	根据环评要求，按照项目的实际情况，建立完善的辐射安全规章制度。	/
总计	—	—	/

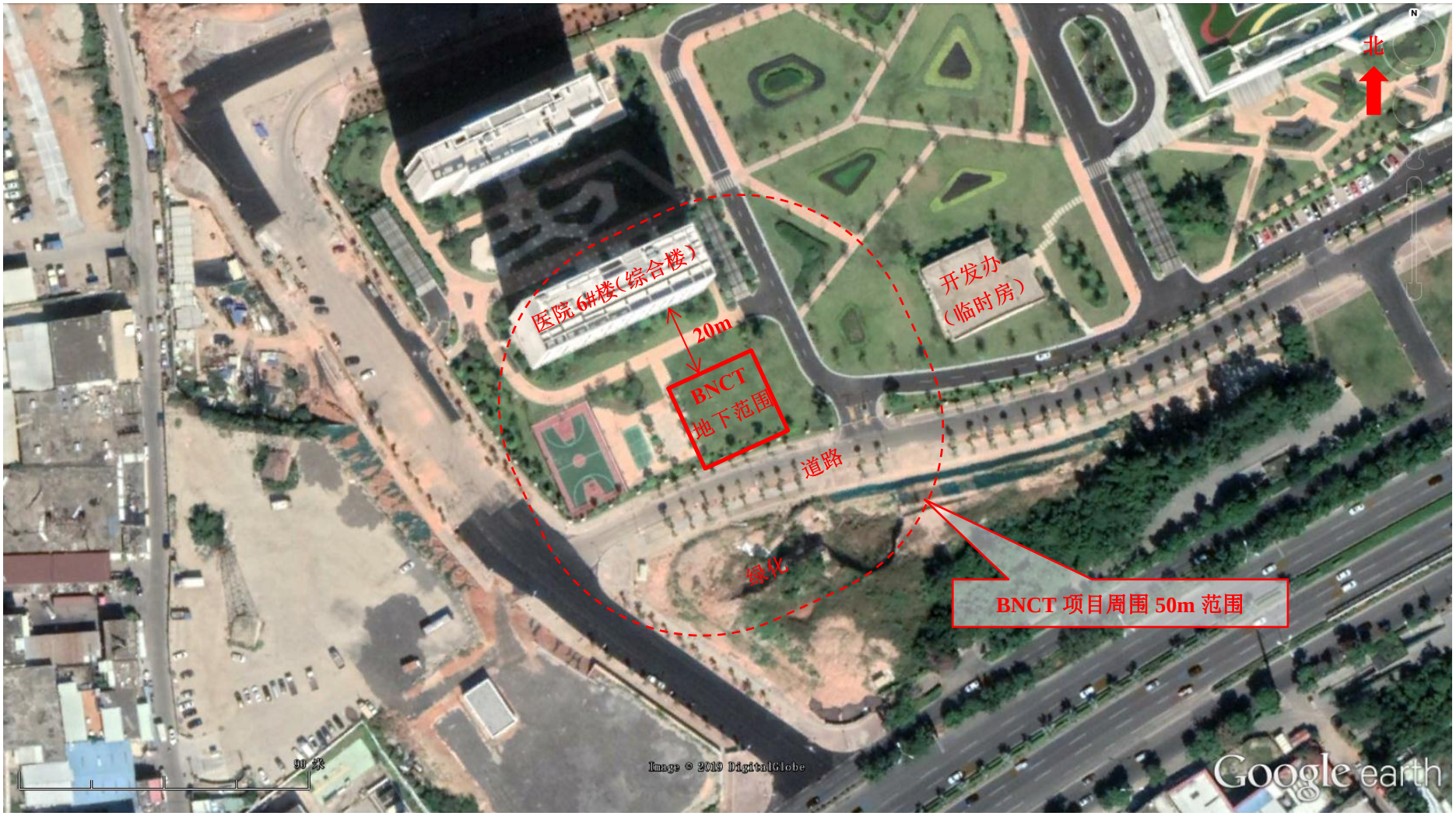
以上措施应在试运行前落实到位。


厦门弘爱医院
北
厦门市
五通立交
万达广场
观音山商务运营中心
厦门悦华酒店
石鼓山立交
厦门高崎国际机场
厦门高崎站
江头立交
仙岳公园
厦门市体育中心
忠仑公园
石塘立交
蔡尖尾山
海新立交
青礁枢纽
SEC泰地海西中心
海沧体育中心
海湾公园
中山公园
厦门站
轮渡
鼓浪屿
厦门外国语学校(嵩屿中路)
万石植物园
厦门大学(思明校区)
曾厝垵
厦门国家会计学院
椰风寨
厦门市城市职业学院
厦门大学(翔安校区)
华天涉外职业技术学院
厦门海洋职业技术学院
翔安南立交
翔安区海西明珠大厦
西岩山
华侨大学(厦门校区)
集美大学
集美大学财经学院
杏林湾商务运营中心
杏林湾水库
杏林站
园博苑
灵玲国际马戏城
前场站
前场良种场
共享物流中心
泽邦物流
凤泉广场
厦门医学院
厦门工学院
双龙潭生态运动景区
厦漳大桥
宇宏大厦
牛角山
大山顶
大股山
塔山
大帽山
乳山
2 公里

附图 1　项目地理位置图



附图 2　BNCT 项目选址位置图



附图 3　BNCT 项目周围 50m 范围

附件一

厦门弘爱医院 BNCT 项目设备环境影响评价委托书

苏州热工研究院有限公司：

根据贵我双方前期接洽及商谈情况，我司拟委托贵司负责由我司代建的厦门弘爱医院 BNCT 项目设备环境影响评价咨询工作，包含硼中子加速器环评报告制作、PET-CT 设计咨询等相关工作。请贵司接收本委托书后即开展报告编制工作，我司将在 15 个工作日内与贵司洽谈签订本项目相关工作的合同文件。请收悉！

顺颂商祺！

厦门建发兆信建设运营管理有限公司

经办人：　　签发人：

2019 年 3 月 18 日

附件二

福建省环境保护厅

闽环辐评〔2016〕16号

福建省环保厅关于批复厦门弘爱医院新建核技术利用项目环境影响报告表的函

厦门弘爱医院:

你单位报批《厦门弘爱医院新建核技术利用项目环境影响报告表》的函收悉。经研究，现批复如下:

一、在落实报告表提出的各项环境保护及辐射防护措施的前提下，同意你单位按照报告表中所列的项目性质、规模、地点以及拟采取的环境保护及辐射防护措施进行项目建设。

二、该项目位于厦门岛东北部五缘湾片区仙岳路与金山北路交叉口西北侧。拟使用1台回旋加速器、2台直线加速器、1台螺旋断层放疗设备、3台DSA机，为II类射线装置；使用2台SPECT/CT机 、1台PET/CT机和1台CT机，为III类射线装置；使用1枚Ir-192放射源（活度为3.7E+11Bq），为III类放射源；使用2枚Cs-137放射源（活度为1.11E+6Bq）、3枚Ge-68放射源（活度为 1.11E+8Bq）、2 枚 Na-22 放射源放射源（活度为3.7E+6Bq），为V类放射源；在核医学科拟使用F-18、C-11、N-13、

O-15、Mo-99、Tc-99m、Tl-201、Ga-67、I-131、Sr-89、I-125粒籽等放射性核素，为乙级非密封放射性物质工作场所。

三、你单位必须全面落实环评报告表提出的各项辐射防护与安全管理措施，并着重做好以下工作：

（一）严格按照设计方案开展建设，确保各辐射工作场所满足防护要求；辐射工作场所出入口要安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防止人员受到误照射；核医学科要按规范划定监督区与控制区，在相关区域设置明显的警示标志并划定分区警示线，配备放射性监测及去污设施设备。

（二）健全辐射安全管理组织架构，建立并完善各项规章制度，严格按照环保要求和技术操作规程开展作业，加强设备维护，定期对设备的操作、维修和管理措施进行检查，完善辐射事故应急预案并定期开展演练。

（三）严格履行放射性同位素转让审批手续，建立规范的放射性药品使用台帐。放射性药品要存放于专用贮存间，防止放射性药品丢失、被盗等辐射事故的发生；严格按照《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）的要求，落实各项放射性废物处置措施。

（四）配备符合防护要求的辅助防护用品。现场必须配备辐射剂量率巡测仪，开展周围环境的辐射水平巡测，发现安全隐患应立即整改。

（五）要做好放射源退役后回收处理工作。与放射源供应商签订废源回收协议，待放射源退役后送贮原厂家处理。

（六）使用放射性同位素和射线装置的操作人员和相关管理人员应按要求参加辐射防护培训并取得合格证书，做到持证上岗；建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

四、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评报告表的预测，本项目公众按0.25毫希沃特/年执行，职业人员剂量约束按5毫希沃特/年执行。

五、你单位应按规定向我厅申领辐射安全许可证，在许可范围内从事核技术利用相关活动，按时向环保部门报送辐射安全年度评估报告。

六、项目建成后应依法向我厅申请办理竣工环保验收手续。请厦门市环保局加强对项目的日常监督管理。你单位应在20日内将经审批的环评报告表送厦门市环保局。

福建省环境保护厅

2016年7月14日

（此件主动公开）

抄送：厦门市环保局，福建省辐射环境监督站。

受理编号：
受理日期：

辐射安全许可证

申 请 表

申请文号：

申请单位 厦门弘爱医院 （盖章）

申请日期 2018-12-10

中华人民共和国生态环境部制

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

辐射工作单位基本情况

<table>
<tr><td>单位名称</td><td colspan="5">厦门弘爱医院</td></tr>
<tr><td rowspan="2">注册地址</td><td colspan="3">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>邮编</td><td>361000</td></tr>
<tr><td>经度</td><td>东经 度 分 秒</td><td>纬度</td><td colspan="2">北纬度 分 秒</td></tr>
<tr><td rowspan="2">联系方式</td><td>通讯地址</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>邮编</td><td>361000</td></tr>
<tr><td>联系人</td><td>文奇伟</td><td>电话</td><td colspan="2">0592-5261506</td></tr>
<tr><td>单位性质</td><td colspan="2">民办非企业</td><td>行业分类</td><td colspan="2">综合医院</td></tr>
<tr><td rowspan="2">法定代表人</td><td>姓名</td><td>应敏刚</td><td>电话</td><td colspan="2">0592-5261001</td></tr>
<tr><td>证件类型</td><td>身份证</td><td>号码</td><td colspan="2">350201195609080356</td></tr>
<tr><td rowspan="7">涉源部门</td><td>序号</td><td>名 称</td><td colspan="2">地 址</td><td>负责人</td></tr>
<tr><td>1</td><td>放射治疗科</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>孔祥泉</td></tr>
<tr><td>2</td><td>放射诊断科</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>李槐</td></tr>
<tr><td>3</td><td>核医学科</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>张凤阁</td></tr>
<tr><td>4</td><td>体检中心</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>李槐</td></tr>
<tr><td>5</td><td>消化内科</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>李槐</td></tr>
<tr><td>6</td><td>口腔科</td><td colspan="2">福建省厦门市湖里区仙岳路3777号</td><td>李槐</td></tr>
<tr><td>种类和范围</td><td colspan="5">放射源活动种类—使用 ： III类, V类 射线装置活动种类—使用 ： II类, III类 非密封放射物质活动种类—使用 ： 乙</td></tr>
</table>

所附材料：（请在所提供材料前的□内打"√"）

☑1.企业法人营业执照或事业单位法人证正本复印件及法定代表人身份证复印件；

☑2.环境影响评价文件审批批复复印件；

☑3.满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十三条至第十六条相应规定的证明材料；

☐4.环境保护主管部门要求提供的其他资料；

所附申报材料应按以上顺序排列，使用明显的标志区分，并装订成册。

法定代表人声明：本申请表所提供的全部资料均为真实信息。本人已熟悉《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）的要求，愿依法对本申请表的申请事项的安全和防护工作负责，并依法对其造成的放射性危害承担责任。

法定代表人签字：　　日期：2018.12.10

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

活动种类和范围

（一）放射源

序号	核素	类别	总活度（贝可）/ 活度（贝可）×枚数	活动种类
1	Ge-68	V类	3.5E+6	使用
2	Cs-137	V类	2.22E+6	使用
3	Ir-192	III类	3.7E+11	使用
4	Na-22	V类	7.4E+6	使用
5	Ge-68	V类	5.5E+7	使用
6	Sr-90	V类	1.48E+9	使用

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

活动种类和范围

（二）非密封放射性物质

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类
1	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	P-32	4.63E+8	4.44E+10	使用
2	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	I-125(粒子源)	3.7E+9	1.85E+11	使用
3	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	O-15	7.4E+9	1.85E+12	使用
4	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	C-11	7.4E+9	1.85E+12	使用
5	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	Tl-201	9.25E+8	4.63E+10	使用
6	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	Tc-99m	5.55E+7	1.16E+13	使用
7	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	N-13	7.4E+9	1.85E+12	使用
8	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	Sr-89	7.4E+8	3.7E+10	使用
9	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	I-131	3.7E+9	9.25E+11	使用
10	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	Ga-67	1.85E+9	9.25E+10	使用
11	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	Mo-99	5.92E+10	2.96E+12	使用
12	厦门弘爱医院地下一楼核医学科	乙级	F-18	7.4E+9	1.85E+12	使用

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

活动种类和范围

（三）射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	医用电子直线加速器	II类	1	使用
2	模拟定位CT	III类	1	使用
3	口腔颌面锥形束计算机体层摄影	III类	1	使用
4	牙片机	III类	1	使用
5	乳腺钼靶机	III类	1	使用
6	骨密度仪	III类	1	使用
7	DR	III类	3	使用
8	体检CT	III类	1	使用
9	胃肠机	III类	1	使用
10	移动DR	III类	1	使用
11	C臂机	III类	1	使用
12	乳腺钼靶机	III类	1	使用
13	骨密度仪	III类	1	使用
14	CT	III类	2	使用
15	DSA	II类	3	使用
16	DR	III类	2	使用
17	ERCP造影机	III类	1	使用
18	PET-CT	III类	1	使用

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

活动种类和范围

（三）射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
19	SPECT	III类	1	使用

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

台帐明细登记

（一）放射源

序号	核素	出厂日期	出厂活度（贝可）	标号	编码	类别	用途	场所	来源/去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

台帐明细登记

（二）非密封放射性物质

序号	核素	总活渡（贝可）	频次	用途	来源/去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	
					来源	
					去向	

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

台帐明细登记

（三）射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	额定电压（V,kV,MV）	额定电流（mA,A）	额定功率（W,kW）	用途	工作场所	来源/去向	
1	数字化X射线透视摄影系统	Ultimax-I DREX-UI80	III	150 kV	1000 mA	80 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院二楼内镜中心ERCP治疗室	来源	自购
									去向	
2	移动式C形臂X射线系统	BV Vectra	III	120 kV	60 mA	7.2 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：四楼手术室	来源	自购
									去向	
3	X射线计算机断层摄影设备	Brilliance ICT	III	140 kV	1000 mA	120 kW	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：一楼放射诊断科	来源	自购
									去向	
4	X射线计算机断层摄影设备	Ingenuity CT	III	140 kV	663 mA	60 kW	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	厦门弘爱医院二楼体检中心：体检中心	来源	自购
									去向	
5	X射线计算机断层摄影设备	Brilliance BigBore	III	140 kV	500 mA	60 kW	放射治疗模拟定位装置	厦门弘爱医院地下一楼放射治疗科：放射治疗科	来源	自购
									去向	
6	医用X线摄影系统	Digital Diagnost C50	III	150 kV	800 mA	65 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：一楼放射诊断科	来源	自购
									去向	
7	医用X线摄影系统	DuraDiagnost Compact Release 2	III	150 kV	630 mA	50 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院二楼体检中心：体检中心	来源	自购
									去向	
8	移动式摄影X射线机	Mobile Diagnost WDR Release 2	III	125 kV	320 mA	20 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：病房及急诊	来源	自购
									去向	

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

台帐明细登记

（三）射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	额定电压（V,kV,MV）	额定电流（mA,A）	额定功率（W,kW）	用途	工作场所	来源/去向	
9	医用血管造影X射线系统	Uniq FD 20C	II	125 kV	1000 mA	100 kW	血管造影用X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：三楼介入中心	来源	自购
									去向	
10	医用血管造影X射线系统	Uniq FD 2020	II	125 kV	1000 mA	100 kW	血管造影用X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：四楼复合手术室	来源	自购
									去向	
11	口腔CT	OP300 -1	III	90 kV	16 mA	1.75 kW	口腔（牙科）X射线装置	厦门弘爱医院门诊楼三楼口腔科：三楼口腔科	来源	自购
									去向	
12	牙片机	Focus	III	70 kV	0.7 mA	0.82 kW	口腔（牙科）X射线装置	厦门弘爱医院门诊楼三楼口腔科：三楼口腔科	来源	自购
									去向	
13	医用电子直线加速器	Vitalbeam	II	--	--	--	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	厦门弘爱医院地下一楼放射治疗科：加速器机房二	来源	自购
									去向	
14	单光子发射断层扫描装置	Discovery NM 630	III	140 kV	30 mA	--	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	厦门弘爱医院地下一楼核医学科：SPECT机房1	来源	自购
									去向	
15	正电子发射断层及X射线计算机体层摄影成像系统	Discovery PET/CT 710	III	--	--	72 kW	医用X射线计算机断层扫描（CT）装置	厦门弘爱医院地下一楼核医学科：PET-CT机房	来源	自购
									去向	
16	X射线骨密度检测仪	Prodigy	III	220 V	3 mA	--	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：骨密度室	来源	自购
									去向	

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

台帐明细登记

（三）射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	额定电压（V,kV,MV）	额定电流（mA,A）	额定功率（W,kW）	用途	工作场所	来源/去向	
17	X射线骨密度检测仪	Prodigy	III	220 V	3 mA	--	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院二楼体检中心：骨密度室	来源	自购
									去向	
18	乳腺X射线机	Senographe Essential	III	--	100 mA	5 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院一楼放射诊断科、三楼血管造影室及四楼手术室：乳腺钼靶室	来源	自购
									去向	
19	乳腺X射线机	Digital Mammography	III	--	--	5 kW	医用诊断X射线装置	厦门弘爱医院二楼体检中心：乳腺钼靶室	来源	自购
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	
									来源	
									去向	

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

监测仪器、报警仪器和辐射防护用品登记表

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	手持式中子巡测仪	RTM-3020	20180528	正常	1	
2	表面污染仪	inspector	20180528	正常	2	
3	活度计	CRC-25PET	20180528	正常	2	
4	辐射剂量仪	SEA SCINTO	20180528	正常	7	
5	个人剂量报警仪	RAD-60	20180528	正常	5	

辐射防护用品			
名称	数量	名称	数量
铅衣	49	铅帽	45
铅手套	3	铅眼镜	4
铅围裙	0	铅围脖	43
铅屏风	6	个人剂量计	54
其他			

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

辐射安全与环境保护管理机构

及专/兼职管理人员表

机构名称		辐射安全管理小组					
联系人		姓名	毛辉		电话	0592-5261113	
		手机	13799590131		传真		
		Email	maoh@haxm.org				
序号	管理人员	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	成员	康远逢	男	医学影像技术	组长	放射科	兼职
2	负责人	张凤阁	女	临床	科室主任	核医学科	兼职
3	成员	颜志平	男	行政	科员	医务部	兼职
4	成员	林文	男	生物工程	经理	保障部	兼职
5	负责人	夏天	男	法律	主任	医务部	兼职
6	核辐射防护负责人	李槐	女	临床	影像中心负责人	影像中心	兼职
7	成员	赖友群	男	生物医学工程学	组长	放射治疗科	兼职
8	成员	高延新	男	临床	主任	院感科	兼职
9	成员	刘璟	女	药剂	主任	药剂科	兼职
10	核辐射防护负责人	许树根	男	临床	院长助理	院长办公室	兼职

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

辐射工作人员登记表

序号	姓名	性别	出生日期	证件类型	号码	工作岗位	毕业学校	学历	专业	辐射安全与防护培训时间	培训证号
1	陈辛宇	男	1994-06-30	身份证	350524199406300038	放射科技师	福建中医药大学	本科	医学影像技术	2017-10-27 至 2017-10-29	FJ1709103
2	洪佳亮	男	1992-03-31	身份证	350521199203312515	放射科技师	中国医科大学	本科	医学影像技术	2017-10-27 至 2017-10-29	FJ1709102
3	林雅	女	1993-08-17	身份证	350322199308173828	放射科医师	中国医科大学	本科	医学影像学	2017-10-27 至 2017-10-29	FJ1709101
4	袁鸿珍	女	1991-07-08	身份证	350823199107086326	核医学科技师	福建医科大学	本科	医学影像技术	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801086
5	曹叶	女	1990-05-25	身份证	432522199005255802	放射治疗科物理师	南京航空航天大学	硕士研究生	核技术与应用	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801080
6	张文新	女	1994-10-22	身份证	412727199410228428	放射科技师	天津医科大学	本科	医学影像技术	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801088
7	吴瑞玲	女	1994-06-05	身份证	3506261994060525 2X	放射治疗科技师	泉州医学高等专科学校	专科	医学影像技术	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801084
8	张凤阁	女	1955-02-15	身份证	110225195502152423	核医学科医师	苏州大学	本科	放射医学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801087
9	罗水英	女	1990-05-16	身份证	350824199005162865	放射治疗科医师	福建医科大学	硕士研究生	临床医学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801082
10	陈春红	女	1990-12-15	身份证	350524199012157427	放射科医师	福建医科大学	硕士研究生	临床医学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801079
11	王丽	女	1994-12-03	身份证	350702199412038921	放射治疗科技师	莆田学院	专科	医学影像技术	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801083
12	熊志成	男	1990-11-27	身份证	360702199011270617	放射治疗科医师	中国医科大学	硕士研究生	内科学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801085
13	吴桂珠	女	1986-01-30	身份证	350427198601305044	放射科护士	北华大学	专科	护理学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801077
14	康远逢	男	1978-09-24	身份证	352101197809243716	放射科技师	福建医科大学	本科	医学影像技术	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801081
15	史萌萌	女	1987-07-01	身份证	232131198707012728	放射科护士	辽宁中医药大学	本科	护理学	2018-05-28 至 2018-05-29	闽 201801078

本页由【试用版打印控件Lodop6.2.2.1】输出

附件三

171012050252

苏州热工研究院有限公司环境检测中心

检 测 报 告

报告编号：SNPI环检(电离)字[2019]第026号

项 目 名 称 新建BNCT治疗区域环境本底检测

委 托 单 位 厦门弘爱医院

检 测 类 型 电离环评检测

报 告 日 期 2019年1月11日

苏州热工研究院有限公司环境检测中心

（加盖检测报告专用章）

苏州热工研究院有限公司环境检测中心
检 测 报 告

检测报告内容

检测项目	X-γ辐射剂量率，中子辐射剂量率
委托单位	厦门弘爱医院
委托单位地址	福建省厦门市湖里区仙岳路3777号
委托日期	2018年10月17日
检测日期	2018年11月29日
检测类别	空气中放射性
检测方式	现场检测
检测地址	福建省厦门市湖里区仙岳路3777号厦门弘爱医院新建BNCT治疗区域
检测所依据的技术文件名称及代号	《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》 GB/T 14318-2008 《辐射环境监测技术规范》 HJ/T 61-2001 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》 GB/T 14583-1993
检测结果	见检测结果表。
检测结论	经检测，厦门弘爱医院新建BNCT区域周围X-γ辐射剂量率范围为（0.092～0.111）μSv/h，中子辐射剂量率为低于仪器探测下限。
备注	/

报告编制人	李远	报告审核人	黄彦君	授权签字人	陈超峰
签　　名	李远	签　　名	黄彦君	签　　名	陈超峰
编制日期	2019.1.10	审核日期	2019.1.11	签发日期	2019.1.11

现场情况说明

检测环境条件	天气：晴　温度：17℃　湿度：51%RH
检测设备	X-γ辐射剂量率仪 FH40G+（672E-10） HJ-4 能量响应范围：40keV-4.4MeV；剂量率测量范围：1nSv/h-100μSv/h 有效期:2018-10-10至2019-10-09 中子周围剂量当量率仪 FHT762 HJ-183 1 nSv/h～100 m Sv/h 有效期:2018-10-26至2019-10-25
检测对象参数	环境本底。
检测工况	环境本底。
现场情况记录	本次检测环境本底，新建区域尚未土建。
检测点位	见检测点位示意图。

表1 新建BNCT区域周围X-γ辐射剂量率检测结果

检测点序号	检测点位置	辐射剂量率(μSv/h)
1	新建BNCT治疗区域1号检测点位	0.093±0.001
2	新建BNCT治疗区域2号检测点位	0.093±0.001
3	新建BNCT治疗区域3号检测点位	0.094±0.001
4	新建BNCT治疗区域4号检测点位	0.092±0.001
5	新建BNCT治疗区域5号检测点位	0.093±0.001
6	新建BNCT治疗区域6号检测点位	0.093±0.001
7	新建BNCT治疗区域7号检测点位	0.093±0.001
8	新建BNCT治疗区域8号检测点位	0.093±0.002
9	新建BNCT治疗区域9号检测点位	0.094±0.002
10	新建BNCT治疗区域10号检测点位	0.094±0.001
11	新建BNCT治疗区域11号检测点位	0.096±0.002
12	新建BNCT治疗区域12号检测点位	0.095±0.003
13	新建BNCT治疗区域周围13号检测点位	0.098±0.002
14	新建BNCT治疗区域周围14号检测点位	0.100±0.002
15	新建BNCT治疗区域周围15号检测点位	0.105±0.002
16	新建BNCT治疗区域周围16号检测点位	0.107±0.002
17	新建BNCT治疗区域周围17号检测点位	0.111±0.001
18	新建BNCT治疗区域周围18号检测点位	0.111±0.001
19	新建BNCT治疗区域周围19号检测点位	0.104±0.002
20	新建BNCT治疗区域周围20号检测点位	0.103±0.001

表2 新建BNCT区域周围中子辐射剂量率检测结果

检测点序号	检测点位置	辐射剂量率(μSv/h)
1	新建BNCT治疗区域1号检测点位	<0.001
2	新建BNCT治疗区域2号检测点位	<0.001
3	新建BNCT治疗区域3号检测点位	<0.001
4	新建BNCT治疗区域4号检测点位	<0.001
5	新建BNCT治疗区域5号检测点位	<0.001
6	新建BNCT治疗区域6号检测点位	<0.001
7	新建BNCT治疗区域7号检测点位	<0.001
8	新建BNCT治疗区域8号检测点位	<0.001
9	新建BNCT治疗区域9号检测点位	<0.001
10	新建BNCT治疗区域10号检测点位	<0.001
11	新建BNCT治疗区域11号检测点位	<0.001
12	新建BNCT治疗区域12号检测点位	<0.001
13	新建BNCT治疗区域周围13号检测点位	<0.001
14	新建BNCT治疗区域周围14号检测点位	<0.001
15	新建BNCT治疗区域周围15号检测点位	<0.001
16	新建BNCT治疗区域周围16号检测点位	<0.001
17	新建BNCT治疗区域周围17号检测点位	<0.001
18	新建BNCT治疗区域周围18号检测点位	<0.001
19	新建BNCT治疗区域周围19号检测点位	<0.001
20	新建BNCT治疗区域周围20号检测点位	<0.001

注：检测结果均未扣除宇宙射线响应值；<号后的数值为仪器探测下限。

—以 下 数 据 空 白—

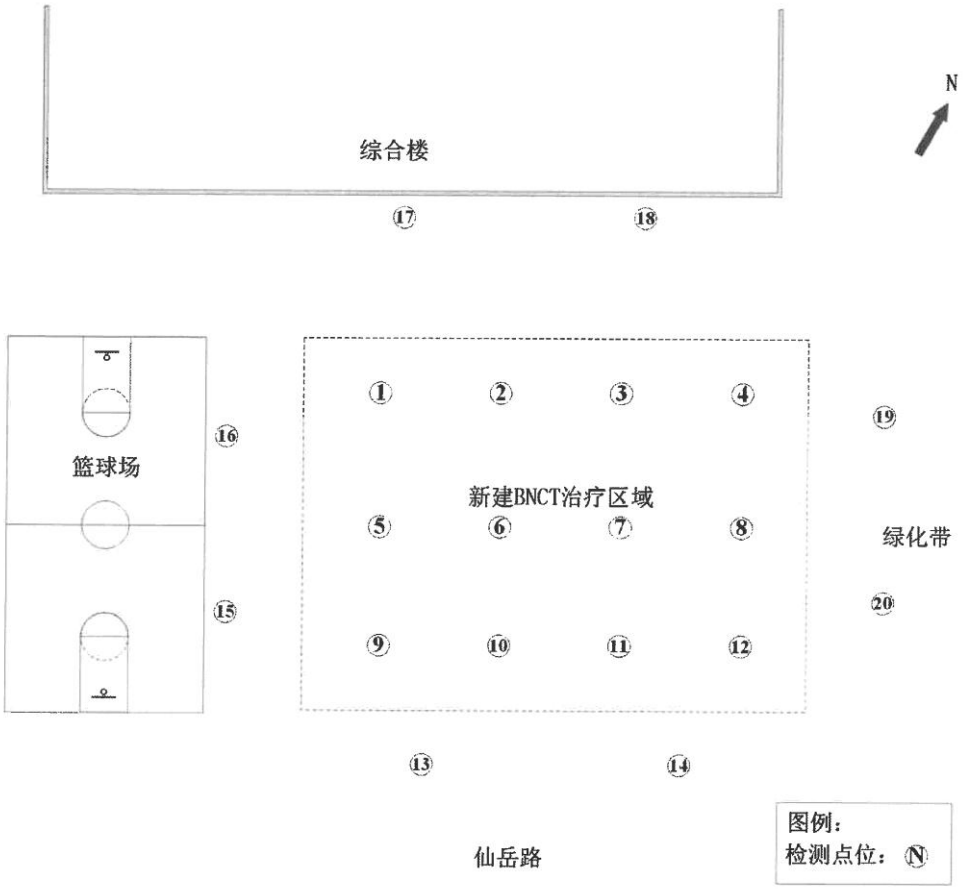


图1 新建BNCT治疗区域周围检测点位示意图