

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50752 - 2012

电子辐射工程技术规范

Technical code for electronic
radiation engineering

2012 - 01 - 21 发布

2012 - 08 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

电子辐射工程技术规范

Technical code for electronic
radiation engineering

GB 50752 - 2012

主编部门：山东省住房和城乡建设厅

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 2 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2012 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1274 号

关于发布国家标准《电子辐射 工程技术规范》的公告

现批准《电子辐射工程技术规范》为国家标准,编号为 GB 50752—2012,自 2012 年 8 月 1 日起实施。其中,第 3.3.1、3.3.3、4.3.6 条为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一二年一月二十一日

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008 年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标〔2008〕105 号)的要求,由山东高阳建设有限公司会同有关单位共同编制完成。

本规范编制过程中,编写组根据各类电子辐射工程的规划、设计、建造和运行的实际情况,进行了大量调查研究,对国外的相应规范进行了深入解读,并广泛征求了各方面意见,最后经审查定稿。

本规范共分 7 章和 3 个附录,主要内容包括总则、术语与符号、工程规划、工程设计、土建施工、设备安装与调试、检测与验收等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,山东省住房和城乡建设厅负责日常管理,山东高阳建设有限公司负责具体技术内容的解释。在执行本规范过程中,如有意见和建议,请寄至山东高阳建设有限公司(地址:山东省淄博市临淄区管仲路 174 号,邮政编码:255400,传真:0533-7110395, E-mail: gyjs@gyjs.cc),以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 山东高阳建设有限公司

山东蓝孚电子加速器技术有限公司

参 编 单 位: 上海核工程研究设计院

中国科学院高能物理研究所

北京机械工业自动化研究所

中国联合工程公司

五洲工程设计研究院

清华大学

山东建筑大学

主要起草人：	孙裕国	郭彦斌	王明胜	梅其良	赵红兵
	王春光	王庆斌	张在春	郑曙昕	林彦
	侯志强	张秀艳	丁璐	黄昕	赵杰
	李朋	杨波	李庆标	路尚修	
主要审查人：	赵文彦	陈殿华	关洁	吴靖民	黄正新
	张化一	周学军	叶元伟	张同波	焦安亮

目 次

1	总 则	(1)
2	术语与符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	工程规划	(5)
3.1	基本要求	(5)
3.2	选址	(5)
3.3	环境和安全规划	(5)
3.4	工艺规划和构成	(6)
3.5	规划文件和技术经济评价	(6)
4	工程设计	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	工艺设计	(7)
4.3	辐射防护设计	(8)
4.4	建筑设计	(11)
4.5	结构设计	(13)
4.6	公用工程设计	(13)
5	土建施工	(16)
5.1	一般规定	(16)
5.2	屏蔽混凝土材料	(16)
5.3	屏蔽混凝土配合比	(17)
5.4	屏蔽混凝土施工	(18)
5.5	预埋件与施工缝	(20)
6	设备安装与调试	(22)

6.1	一般规定	(22)
6.2	设备安装	(22)
6.3	安全联锁与控制	(23)
6.4	调试	(25)
7	检测与验收	(28)
7.1	一般规定	(28)
7.2	屏蔽混凝土	(28)
7.3	束流设备和束流应用设备	(29)
7.4	安全联锁与控制	(29)
7.5	环境影响	(30)
7.6	工程验收	(31)
附录 A	屏蔽计算	(32)
附录 B	通风设计计算	(35)
附录 C	检测表格	(36)
本规范用词说明	(39)
引用标准名录	(40)
附:条文说明	(41)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Project planning	(5)
3.1	Basic requirement	(5)
3.2	Location	(5)
3.3	Environmental and safety planning	(5)
3.4	Process planning and composition	(6)
3.5	Planning documents and technical economy evaluation	(6)
4	Engineering design	(7)
4.1	General requirement	(7)
4.2	Process design	(7)
4.3	Radiation protection design	(8)
4.4	Architectural design	(11)
4.5	Structure design	(13)
4.6	Public engineering design	(13)
5	Civil construction	(16)
5.1	General requirement	(16)
5.2	Materials of shielding concrete	(16)
5.3	Ratio of shielding concrete	(17)
5.4	Construction of shielding concrete	(18)
5.5	Embedded parts and construction joint	(20)
6	Equipment installation and debugging	(22)

6.1	General requirement	(22)
6.2	Equipment installation	(22)
6.3	Safety interlock and control	(23)
6.4	Debugging	(25)
7	Testing and acceptance	(28)
7.1	General requirement	(28)
7.2	Shielding concrete	(28)
7.3	Beam facilities and beam application equipments	(29)
7.4	Safety interlock and control	(29)
7.5	Environmental impact	(30)
7.6	Completion acceptance	(31)
Appendix A	shielding calculation	(32)
Appendix B	Design of ventilation	(35)
Appendix C	Inspection forms	(36)
	Explanation of wording in this code	(39)
	List of quoted standards	(40)
	Addition; Explanation of provisions	(41)

1 总 则

1.0.1 为了在电子辐射工程建设中贯彻国家有关方针政策,保护环境,确保人身和财产安全,统一工程建设的技术要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于 $0.15\text{MeV}\sim 100\text{MeV}$ 新建、改建和扩建的电子辐射工程的规划、设计、施工和验收。

1.0.3 电子辐射工程的建设应立足工程整体,统筹兼顾,技术先进,经济合理,安全适用。

1.0.4 电子辐射工程的建设除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 电子辐射 electronic radiation

由电子束流引起的电离辐射。

2.1.2 束流设备 beam facilities

产生、加速、引出电子、射线束流的设备。

2.1.3 束流应用设备 beam application equipments

实施电子、射线束流应用的设备。

2.1.4 屏蔽 shielding

用能减弱辐射的材料来降低某一区域的辐射水平的实践。

2.1.5 结构屏蔽体 structural shield

纳入建筑结构并由能衰减辐射的材料构成的屏蔽体。

2.1.6 控制区 controlled area

需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域。如主机室、辐射室及其迷道。

2.1.7 监督区 supervised area

不需要采取专门措施,但需要定时检查和评价驻留人员职业受辐射状况的区域。如控制室、周围辅助用房以及操作区域。

2.1.8 居留因子 occupancy factor

表示工作人员或公众人员在对应场所停留情况的因子,用以校正有关区域的居留程度和类型的因数。

2.1.9 辐射检测 radiation protection

为了评价和控制辐射或放射性物质照射而进行的辐射测量或放射性测量,以及对测量结果的分析 and 解释。

2.1.10 剂量限值 dose limit

受控实践使个人所受到的有效剂量或当量剂量不得超过的值。

2.1.11 屏蔽混凝土 shielding concrete

对 γ 射线、X 射线、中子射线或其组合具有较强衰减能力,用于屏蔽各类射线的混凝土,又称防辐射混凝土。

2.2 符 号

A_1 ——第一次散射的散射面积;

A_m ——迷道的截面积;

B_{x1} ——X 射线的透射率;

C_0 ——辐照停止时,室内臭氧浓度;

C_{03} ——单位体积中臭氧的产生率;

$C(t)$ ——臭氧浓度;

$C'(t)$ ——辐照停止后通风 t 分钟时室内臭氧平衡浓度;

D ——计算剂量率;

D_0 ——离靶 1m 处 X 射线的出射剂量率或距源 1m 处的参考剂量率;

d_m ——第 m 次散射的(射程)距离;

D_m ——剂量限值;

d ——源到参考剂量点的距离或靶与参考点之间的距离;

d_0 ——1m;

d_i ——源至离屋顶外表面 2m 高处的垂直距离;

d_s ——源至剂量点的最小水平距离;

f ——安全系数或通风量;

H_0 ——第一次反射面上的人射剂量率;

H_m ——X 射线在参考剂量点处的剂量率;

H_m ——有效剂量限值;

I ——加速器的电子束流强度;

n ——减弱中子所需的 1/10 值层的数目;

- Q ——X 射线品质因子；
 R_n ——屏蔽透射比或中子在混凝土中的屏蔽透射比；
 S ——屏蔽厚度或所需要的屏蔽层厚度；
 S_{col} ——标准状态下，电子在空气中的碰撞阻止本领；
 T ——居留因子；
 T_c ——屋顶的厚度；
 $T_{c\sim}$ ——第一个 1/10 值层之后的 1/10 值层厚度；
 T_1 ——屏蔽层中第一个 1/10 值层厚度；
 t ——通风时间；
 V ——辐照室自由容积；
 X ——器外电子束在辐照室空气中的穿行距离；
 α_1 ——X 射线第一次的反射系数；
 α_2 ——X 射线第二次的反射系数；
 α_m ——X 射线第 m 次的反射系数；
 Ω ——用球面度量度的立体角；
 ϕ_0 ——距靶 1m 处的中子注量率。

3 工程规划

3.1 基本要求

3.1.1 工程规划应研究和掌握拟建工程相关的技术资料,包括工程运行的内容及其运行扩展的内容,拟选用主机设备及其配套和辅助设备的相关技术资料,以及工程拟选用的主要材料的性能及其使用性技术资料。

3.1.2 工程规划应掌握国家辐射防护安全的法规和规定,以及拟建工程地方法规相关安全、卫生、环保等领域的规定。

3.1.3 工程规划应掌握拟建工程地区的气象资料和地质地貌资料,并应对工程建设的影响及其技术应对措施进行充分论证。

3.1.4 工程规划宜对工程建设地点的区域环境作出详尽调研,并应编制对应的资料,拟定应对的技术措施。

3.2 选址

3.2.1 电子辐射工程的选址应统筹兼顾,地址条件应满足运行内容和运行目标的需求。加工项目应具备基本的物流条件,科研用途应有利于相关活动的开展。

3.2.2 电子辐射工程不得建设在存在地表或地下沉陷、隆起,且可能发生地质不稳定的区域。

3.2.3 电子辐射工程的选址应有利于排放气体的扩散,并应设置在居住区的下风向。

3.3 环境和安全规划

3.3.1 电子辐射工程的建设,必须对环境保护进行规划,并应拟定对环境保护的技术措施,技术措施应保证排放物指标控制在国

家允许的范围內。

3.3.2 电子辐射工程的建设,应对安全进行全面规划,并应对人身安全、设备运行安全,以及突发事件和渐变的有害影响提供相应的措施。

3.3.3 电子辐射工程的建设,必须对卫生防疫进行规划,并应满足国家卫生防疫的规定和要求。

3.4 工艺规划和构成

3.4.1 工程的工艺规划应首先确定工艺路线,应选择适当的束流参数,应确立辐射防护的基本目标。

3.4.2 工程应具备完善的配套设施。

3.4.3 工程的组成应包括下列内容:

- 1 束流设备;
- 2 束流应用设备;
- 3 控制系统;
- 4 建(构)筑物;
- 5 公用设施和附属设施。

3.5 规划文件和技术经济评价

3.5.1 规划文件的格式和内容应符合审批机关的具体规定。

3.5.2 规划文件应满足工程设计的需求。

3.5.3 规划文件的技术经济评价内容应包含节能减排的专题分析内容。

4 工 程 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 设计应根据业主的委托、工程规划、项目可行性报告、环境影响评价文件、安全分析评价、职业卫生评价、水文地质勘察资料、国家监管部门审批(含厂址等)文件进行。设计应满足各种工况下运行的要求,并应满足安全和环境保护的要求。

4.1.2 设计应由具有相应设计资质的单位和人员完成。

4.1.3 电子辐射工程设计宜分初步设计和施工图设计阶段,并应符合下列规定:

1 初步设计应满足编制施工图设计文件、项目报建和相关部门审查的需要。

2 施工图设计应满足设备材料采购、施工和非标准设备设计的需要。

4.2 工 艺 设 计

4.2.1 工艺设计应根据使用要求,确定辐射作业的内容、方式、工序和工序衔接,以及束流设备、束流应用设备及其附属和配套设施的具体内容,并应完成工艺设定。

4.2.2 工程的平面布局和竖向布置应根据工艺流程完成,并应符合下列规定:

1 总平面布置在满足工艺流程的基础上,应结合场地地形、工程地质、风向等因素因地制宜进行设计。

2 总平面布置应紧凑合理,并应有效利用平面和空间。

3 辐射室宜设在多层厂房的底层。

4.2.3 总平面布置的防火间距应符合现行国家标准《建筑设计防

4.3 辐射防护设计

4.3.1 辐射防护设计应符合下列规定：

- 1 辐射防护设计应符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 的有关规定。
- 2 辐射防护设计应遵循最优化原则，其内容应具备纵深防御性、冗余性、多样性、独立性。
- 3 防护应按最大辐射发生条件，含用户指定的扩展条件设计。

4.3.2 辐射防护设计的剂量限值应按下列数据确定：

- 1 职业照射个人年剂量限值为 5mSv。
- 2 公众成员个人年有效剂量限值为 0.1mSv。

4.3.3 辐射的各项属性分析判定及其他设计条件的选定应符合下列规定：

- 1 应对工程运行中产生的各种辐射进行分析。对束流的能量、功率、束流形态，靶的物质和形态，次级 X 射线、中子等射线的相关属性，应根据工艺过程和总平面布置，作出分析和量度判定。对杂散 X 射线应作出合适分析。
- 2 应按工艺设计的竖向和平面布局，并根据辐射水平对工程进行辐射分区；应根据现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 的有关规定将工程分为控制区和监督区。
- 3 应框定和选取工作负荷因子、射线束的定向因子，以及人员在防护计算点处的居留因子。
- 4 控制区的建筑应为设备的后期进入预留孔洞。
- 5 应初步确定屏蔽材料及其组合形式。

4.3.4 屏蔽计算宜符合本规范附录 A 的规定。屏蔽设计应给出屏蔽区域各方向屏蔽体的材料及其几何要素，并应符合下列规定：

- 1 屏蔽区域的六个方位屏蔽体的几何要素、预留孔洞的位置

坐标尺寸、封堵的方法和施工技术要求应满足屏蔽设计要求。

2 屏蔽材料的控制数据应符合下列规定：

1) 标明材料的材质和性能指标；

2) 屏蔽材料选用混凝土墙体时，混凝土的强度等级不低于C20。密度指标可为 $2350\text{kg/m}^3 \sim 5500\text{kg/m}^3$ ，宜给出骨料的名称和成分、某些元素含量指标、骨料不均匀度指标等。

4.3.5 屏蔽设计应符合下列规定：

1 多种射线并存时，应分别计算各种射线的屏蔽厚度，并应采用最大的屏蔽厚度；当最大的两个所需屏蔽厚度差别小于或等于一个半值层厚度时，应在计算的最大屏蔽厚度上附加一个半值层厚度。

2 预留孔洞、门、通道应选取在辐射最弱的方位。

3 微波辐射不可忽视的区域，应对微波防护作出设计。

4 感生放射性分析估算应符合下列规定：

1) 对控制区的物品应作出感生放射性的评估，并应提出防护意见。

2) 对气载放射性应作评估，指导完成通风设计。

3) 对工艺用水的放射性应作评估，指导完成排水设计。

5 对检测内容、检测点应作规定。临近多层建筑的工程，采用天空散射脱离计算模型时，应补充指定检测点。

6 对检测仪器的选取应做选择和指定。

4.3.6 辐射安全系统设计应符合下列规定：

1 必须具备纵深防御的性质，事件发生的最关键环节必须设置防范措施，同时，应选择事件发生的其他重要环节设置防范措施；涉及人身安全的纵深防御不应少于三道，涉及设备安全的纵深防御不应少于两道。

2 防范某一事件的某一个产生条件，所选取的技术措施必须有并行且各自独立的冗余备份。涉及人身安全的备份不应少于两项。

4.3.7 辐射安全系统的设计应包含下列内容：

1 决定出束、产生辐射的主要控制点应采用开关钥匙，当钥匙为实体时，应锁好辐射控制区的门厅后，再拔出并用于主要控制点的开启。采用电子开关开启电源的电子钥匙，门厅的关闭信号应为开机出束的必要条件。

2 辐射作业容易到达的地点，应设置紧急停束开关，开关应有醒目的标志。

3 辐射控制区内人员容易看到的地方应安装闪光式或红色警告灯、音响警告装置，应告知束流设备即将开机出束，预警时间的设置应能满足滞留人员的撤离。

4 在通往辐射控制区的走廊、出入口和控制台上应安装工作状态指示灯。

5 应设计遥测辐射监视系统。监视系统应能全方位观察厅内人员滞留情况、物流状况。必要时，系统宜具备能有效地检测辐照过程的状况和参数，超出设定应发出报警信号。

6 应选定列出能完成监管部门要求的计量检测科目的仪器、仪表内容。

7 设计选用的安全系统的整件、部件、零件、仪器、仪表，应有合理的质量可靠性。用于辐射控制区内时，应耐辐射变性和耐锈蚀。

8 应对警告表示和标志图形的悬挂内容进行设计。

4.3.8 对于射线能量大于 5MeV 的电子辐射工程，下列设计内容可作为补充设计供选取：

1 束流应用装置的任何运转故障发生时，应能自动关闭电子束的控制。

2 所有出入辐射作业区的门均应进行各自独立的联锁安全设计。

3 应设置带报警功能的固定式监测仪。

4 装置检修时，应能联锁关闭电子束流。

- 5 控制台上应设有紧急制动开关或急停开关。
- 6 宜具备加速器实际运行参数的监测和记录。
- 7 宜具有远距离加速器诊断控制的设计。

4.4 建筑设计

4.4.1 辐射室应与中央控制室及其他辅助室分开设置。辐射室与外界宜设置迷宫式人行通道。

4.4.2 辐射室的出入口应设置在次要辐射屏蔽墙体上。

4.4.3 辐射室设置进风口时,其距离地面不应小于 1.0m,进、出风口均应进行防止射线泄漏的设计。

4.4.4 辐射室的门应符合下列规定:

- 1 辐射室的防护门应与所在防护墙具有同等的防护效能。

- 2 防护门应根据通过的物流的大小和方式确定,门的材料、结构尺寸、搭接方式应按屏蔽计算的数据确定。门与墙的间隙应合理,门与墙的搭接宽度和门与墙间隙的比不宜小于 20:1,并不宜小于 100mm。对开门的搭接缝应满足屏蔽计算要求。

4.4.5 辐射室的窗应符合下列规定:

- 1 辐射室不宜设置窗;应设置观察窗的区域,观察窗应采用特种铅玻璃,并应满足屏蔽计算的安全要求。

- 2 必须设置窗时,应保证对观察目标区有良好的视野。

4.4.6 地面应符合下列规定:

- 1 中央控制室宜采用防静电架空活动地板,活动地板宜重量轻、强度大,表面应平整,应尺寸稳定、互换灵便,装饰性及质感良好,并应具备防潮、阻燃、防腐等性能。

- 2 辐射室的地面应不起尘、易清洗,宜采用耐辐射地坪,在工艺需要时应选用耐磨地坪材料。

4.4.7 辐射室墙体可采用特种砂浆做防护砂浆面层,也可采用铅板或铅复合板敷面。墙面应平整,不积灰尘。

4.4.8 屏蔽体的通风管道、电缆管道、物品的传输管道等各类

管道的取向应避开有用辐射及辐射峰值的方向。管道出入口应有防止射线泄漏的设计。管道不宜采取直通形式。通风管道无法避开峰值方向时,可采取局部加强防护(图 4.4.8-1),也可采用折弯形式(图 4.4.8-2);难以规避、采用直通形式时,风管外壁局部区段应包覆强衰减材料,并应采用长筒形辐射衰减模式(图 4.4.8-3)。

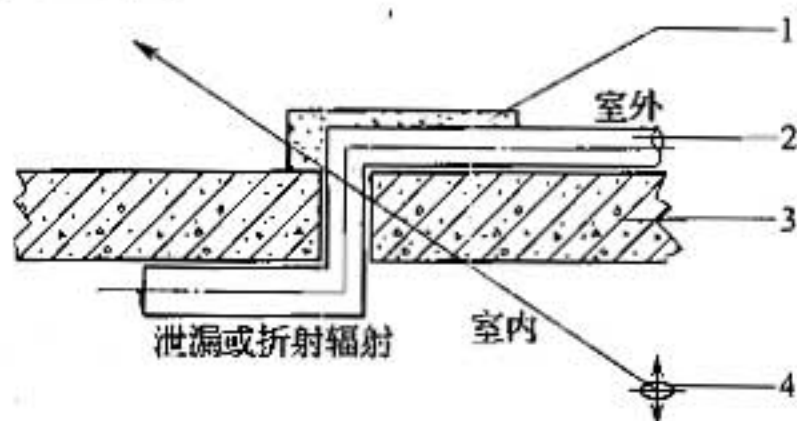


图 4.4.8-1 局部加强防护

1—额外的屏蔽;2—风管;3—顶板;4—辐射源

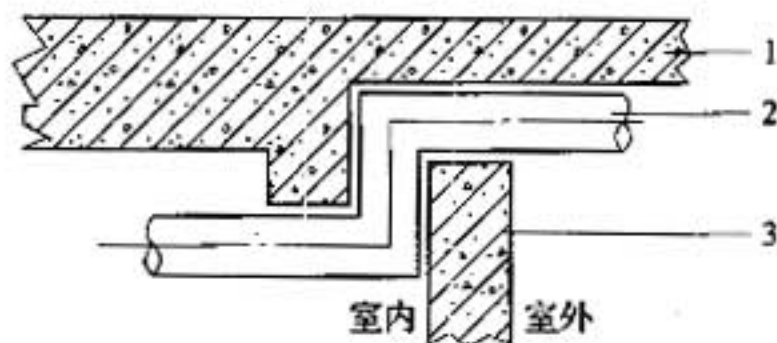


图 4.4.8-2 折弯形式

1—顶板;2—风管;3—墙

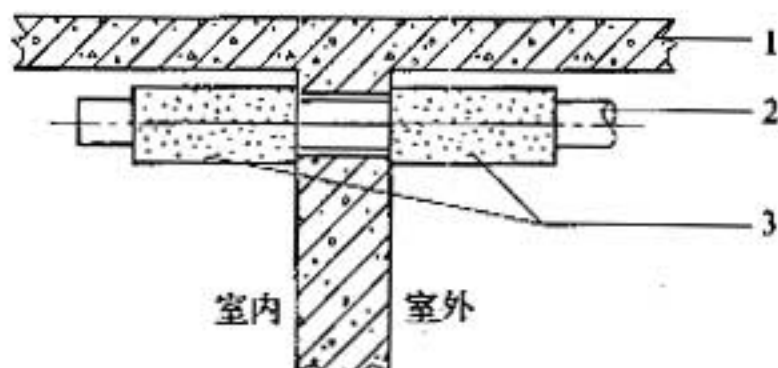


图 4.4.8-3 轴向延伸封闭

1—顶板;2—风管;3—附加屏蔽层

4.5 结构设计

4.5.1 土建结构使用年限应按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的有关规定执行;抗震设防应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定。

4.5.2 结构构件设计应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求,分别对其承载能力、变形、温度应力、抗裂性进行计算和验算,其方法应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 等的有关规定。对不均匀沉降有特殊要求的工程,应对基础和荷载分布作出相应设计,并应满足装置轴线保持高精度的需求。

4.5.3 对于有抗震设防要求的混凝土屏蔽体,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行结构构件的抗震设计,其抗震构造措施应提高一度。已按其他规范要求提高抗震烈度设防时不宜重复提高。

4.5.4 辐射室的防护墙体宜采用中、低水化热水泥的混凝土,强度等级不应低于 C20。混凝土的配合比设计应规定混凝土的密度、含水率、高密度骨料的均匀性等要求。

4.5.5 对屏蔽体混凝土,设计应提出一次连续浇筑完成的要求,以及防止墙体裂缝、贯通裂缝的要求。

4.6 公用工程设计

4.6.1 辐射室通风设计应符合下列规定:

1 通风设计应保证室内空气必要的换气次数;束流输出停止后通风系统应继续运行,室内臭氧浓度应降低到国家规定的允许值后再停止通风。

2 排风系统设计宜按本规范附录 B 进行臭氧浓度计算,应根据臭氧浓度计算通风量。设置双排风口时,排风分配宜为上方排风口排出所需风量的 $1/3$,下方排风口排出所需风量的 $2/3$ 。

3 补风系统设计,室外新风应经过滤处理后由补风机从房间上部送入室内,且应避免补风与排风短路,补风量宜按排风量的80%设定。

4 通风设备和风管材质宜选用铝合金或不锈钢等耐辐照材料。

5 通风系统与束流装置应可靠联锁,当束流装置开启时,排风机应自动开启,稍后补风机应开启;束流停止,排风机和补风机的运行应符合本条第1款的要求,且不应少于10min。

6 室内排出的废气宜经烟囱高空排放,烟囱的高度应由计算确定。

7 当辐射作业时间的占空比较小,且臭氧、氮氧化物、感生放射性物质等废气有害物产额不高时,可相应简化通风设计内容;当辐射作业强度较低且产生的有害物可忽略时,可不设置通风。

4.6.2 采暖和空调系统设计应满足工艺设备对环境温、湿度的要求,同时应满足国家规定的工作环境条件。

4.6.3 给水系统设计应符合下列规定:

1 用水量和水压的确定应按现行国家标准《建筑给水排水设计规范》GB 50015的有关规定执行。

2 应根据工艺和运行设备的需求,完成相关用水的设计。各路供水,其水质、水温及热交换能力应满足需求。

3 一次水的水质应达到现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749规定的生活饮用水指标。

4.6.4 排水系统设计应符合下列规定:

1 生活排水应按现行国家标准《建筑给水排水设计规范》GB 50015的有关规定执行;

2 辐射作业区域排水应单独收集,经处理后的水质应符合国家相关排放标准后再排放或再利用。

4.6.5 消防系统设计应符合下列规定:

1 消防给水系统应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》

GB 50016 的有关规定。

2 灭火器配置应按现行国家标准《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140 的有关规定执行。

4.6.6 供电应符合下列规定：

1 应按电子辐射工程提出的供电要求设计，当电网电压不符合其供电要求时，应设置电压自动调整装置。

2 提供的交流电源应满足束流设备和束流应用设备的供电需求。

3 应设置备用照明系统。

4.6.7 仪表控制设计应满足辐射防护系统内容的需求。

4.6.8 工程内容涵盖的其他设计应按设计任务书的范围，并根据用户需求完成。

5 土建施工

5.1 一般规定

5.1.1 地基、基础、砌体、地面、装饰等工程的施工应符合现行有关房屋建筑标准的规定。

5.1.2 防辐射的门、窗施工应符合设计文件要求。

5.1.3 屏蔽混凝土骨料品种、密度、氢元素含量、硼元素含量、骨料均匀度等应满足设计要求,所用材料应符合产品技术条件的规定。

5.2 屏蔽混凝土材料

5.2.1 骨料的选择宜符合下列规定:

1 密度小于或等于 2300kg/m^3 、屏蔽中子射线的混凝土,主选骨料宜选用蛇纹石。

2 密度为 $2300\text{kg/m}^3 \sim 3600\text{kg/m}^3$ (含 3600kg/m^3)、屏蔽 X 或 γ 射线的混凝土,主选骨料宜选磁铁矿石(砂)或重晶石(砂),应用普通砂石调整混凝土密度。

3 密度为 $3600\text{kg/m}^3 \sim 5700\text{kg/m}^3$ 、屏蔽 γ 射线的混凝土,主选骨料宜选不同粒度的铸铁块(丸)、钢棒(丸)等铁质骨料,应用磁铁矿石调整混凝土密度,应加入褐铁矿粉或铬矿粉。

4 密度大于或等于 5700kg/m^3 、屏蔽 γ 射线的混凝土,主选骨料宜选用铅丸、铅块、铸铁块等骨料,应增加褐铁矿粉的用量。

5 混凝土设计中有含硼量的要求时,可首先加入足够的硼镁(铁)矿石和含硼矿粉,也可掺入人造含硼材料。

6 对氢元素或含结合水和结晶水总量有要求时,宜选用富含结晶水的矿石骨料和选用水合物中结合水多的水泥。

5.2.2 骨料的级配应符合下列规定:

1 屏蔽体混凝土骨料应选用连续级配,骨料间的密度宜接近。

2 选用混合粗骨料和混合细骨料配制屏蔽混凝土,混合粗、细骨料密度之差宜缩小。

3 用铁质骨料调整混凝土密度时,宜优选在细骨料中掺加钢丸或铁矿粉等铁质骨料。铁质骨料宜为多粒径或不同规格的混合物,且表面不应粘混有油污和其他妨碍其与水泥砂浆粘结的杂质,铁质骨料最大规格不宜大于 25mm。

5.2.3 屏蔽混凝土宜掺加一定量的 0.3mm 以下的粉料,宜优选掺褐铁矿粉。屏蔽体混凝土较普通混凝土砂率应适当增大。

5.2.4 屏蔽混凝土中宜掺入减水剂,以及粉煤灰、铬矿粉等掺和料。

5.3 屏蔽混凝土配合比

5.3.1 按配合比产出的拌和物,其表观密度、成分应满足设计指标要求;拌和物的坍落度、和易性、初凝时间等应满足施工工艺的要求。

5.3.2 屏蔽混凝土的配合比应根据设计规定的指标、原材料等因素设计,并应兼顾施工过程的质量控制、施工工艺性,可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定,并结合对密度、氢元素含量、硼含量、骨料均匀度的要求进行。

5.3.3 交叉采用体积法和重量法完成配合比计算时,其主要参数应按下列要求确定:

1 应按体积法计算采用骨料的密度范围;应按重量法,以满足设计规定的成分元素含量为依据,确定骨料的品种;应结合选用的级配方式确定骨料的粒度。

2 应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定,以设计要求的强度指标计算出水灰比,宜以掌握的试

配经验数据对计算公式中的回归系数进行修正。

3 应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定,并以掌握的试配经验数据做调整,计算用水量。

4 为满足设计要求的成分元素含量,选用特种水泥时,除应核算成分元素含量外,还应对工作性、水化热的控制进行设定。

5 应按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定确定砂率,并应根据掌握的试配经验数据进行调整。

6 应按现行行业标准《普通混凝土配和比设计规程》JGJ 55 的有关规定,并根据施工工艺需求确定掺和料和外加剂。其中,以满足设计要求的成分元素含量为依据,补充添加的掺和物应按重量法予以计算。

7 在满足设计成分要求的前提下,应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中有关大体积混凝土配合比的规定。

8 校核影响屏蔽体耐久性的相关因素,应符合现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的有关规定。

5.3.4 试配应符合下列规定:

1 应以计算的配合比进行试验拌和,并应检测拌和物的性能。

2 当试验拌和得出的拌和物表观密度、成分含量实测值低于设计指标时,应调整粗、细骨料各组分的用量,并应直至符合要求。

3 黏聚性和保水性达不到要求时,应在保证水灰比基本不变的条件下相应调整砂率、用水量和掺和料用量,并应直至符合要求。

5.4 屏蔽混凝土施工

5.4.1 模板工程的设计、制作、安装应符合现行行业标准《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162 的有关规定。混凝土应按实际的表观密度取值。

5.4.2 钢筋工程的原材料、加工、连接、安装及验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

5.4.3 拌和物制备应符合下列规定：

1 屏蔽混凝土的粗、细骨料，水，水泥，掺和料均应按重量配料，其成分、质量的允许偏差除应符合结构强度要求外，并应符合防辐射的要求。

2 装料操作应符合下列规定：

1) 应采用强制性搅拌方法，装料率应按表观密度做减少性调整和修正。

2) 应采用顺序上料方法，先骨料，次水泥和砂料，搅拌几秒后，再加拌和水，后加掺和料，全部物料加完后，搅拌至浸润均匀。

3) 以重晶石为骨料的屏蔽混凝土宜采用砂浆裹石法搅拌工艺，先投入水、砂粒、水泥、粉煤灰，搅拌制成浆料，再投入重晶石、重晶砂、外加剂，全部物料加完后，搅拌至浸润均匀。

5.4.4 拌和物的转运与输送应符合下列规定：

1 从搅拌机卸出到浇注完毕的延续时间，其坍落度的经时损失不应影响浇筑施工。

2 输送应按实际情况确定，应保证连续施工。

5.4.5 拌和物的浇注施工应符合下列规定：

1 拌和物的下落高度应控制在 1000mm 范围内，出料口应接水平方向软性延长管。

2 混凝土的浇注厚度，底板每层厚度宜为 250mm~300mm，墙体浇注高度宜为 300mm。

3 混凝土布料宜采用人工辅助布料，分层布料时，不应使用振捣棒振动引流摊平。

4 振捣点的振捣延续时间应使混凝土表面初现浮浆、拌和料

整体性收缩停止为限,提出振捣器后,混凝土应能自然填满振捣器拔出留下的空洞为宜。

5 振捣器宜采用小直径、小距离、多布点、快插慢拔方式;振捣器宜插入下层混凝土 50mm,并应实施二次振捣。

5.4.6 养护应符合下列规定:

1 浇筑后 7d 内应保证混凝土养护温度不低于 10°C ,相对湿度不低于 90%,28d 内不能受冻害,相对湿度不低于 80%。浇筑完毕,应及时覆盖并定时喷水,应根据环境气候覆盖薄膜、织物、保温覆层等。一般养护不应少于 7d;掺有缓凝型外加剂或屏蔽中子辐射时,养护时间不应少于 14d。

2 应严格控制混凝土内外温差值、表面与环境温差值,并应采用避免有害裂缝发生的调温措施。

5.4.7 特殊气候环境的浇筑应符合下列规定:

1 炎热气候条件下屏蔽混凝土施工应合理控制拌和物的出机温度和入模温度,宜对粗、细骨料设置遮阳、采用冰水或冷却水搅拌,宜适当减少浇注层厚度,并宜调整作业时间,宜加强防止水分蒸发的覆盖措施。

2 寒冷气候的施工,对拌和物原料加热时,应慎重拟定加热方式和控制温度。冬季施工应注重减少各环节的热量散发,应对养护中的混凝土加强保温或改善局部条件。

3 雨期施工应注重天气预测,并应采取防雨措施。露天施工,遇大雨浇筑不能继续进行时,应做好善后工作。

5.5 预埋件与施工缝

5.5.1 预埋件的位置和形态应符合设计要求,在混凝土浇注前应核对其位置、尺寸。

5.5.2 预埋件应采取有效的加固措施。

5.5.3 屏蔽混凝土结构的预留孔洞、穿墙管线和施工缝的留设除应符合设计要求外,还应符合下列规定:

1 混凝土的浇筑应连续进行,不得留时,应留凹凸型的施工缝。

2 施工缝处的后续浇筑,应去除浮浆、凿毛、清理干净,应用水充分湿润,在浇筑前应先浇筑一层相近配合比的砂浆,然后再浇筑屏蔽混凝土。

6 设备安装与调试

6.1 一般规定

6.1.1 电子辐射工程设备安装应以设计文件为依据,需要更改时,应征得原设计单位的同意。

6.1.2 建设单位应组织工程设计交底和设计文件会审,安装单位应向施工人员进行技术交底。

6.1.3 设备、部件应在建设单位、监理单位、供应商和施工单位共同参与下进行开箱检查,并应填写开箱检查记录。

6.1.4 设备安装人员应参与土建预埋支撑件,预埋管道,预留孔、洞、沟、槽的施工。

6.1.5 隐蔽项目应在隐蔽前会同建设、监理及设计单位进行检查,并应填写隐蔽工程检查记录。

6.1.6 安装与调试采用的各量具、器具、仪器、仪表,应经检定合格,并在检定周期内。

6.2 设备安装

6.2.1 束流设备、束流应用设备安装应按设计文件、设备技术条件要求进行。

6.2.2 水冷管道的安装应符合设计文件和现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235 的有关规定。

6.2.3 供电设施的安装应符合现行国家标准《电气装置安装工程盘、柜及二次回路结线施工验收规范》GB 50171 的有关规定。

6.2.4 通风工程施工应符合设计文件和现行国家标准《通风与空调工程施工规范》GB 50738 的有关规定。

6.2.5 给水排水工程安装应符合设计文件和现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的有关规定。

6.2.6 火灾自动报警系统安装应符合设计文件和现行国家标准《火灾自动报警系统施工及验收规范》GB 50166 的有关规定。

6.2.7 自动喷水灭火系统安装应符合设计文件和现行国家标准《自动喷水灭火系统施工及验收规范》GB 50261 的有关规定。

6.3 安全联锁与控制

6.3.1 安装前应对照设计文件核对设备的名称、型号、性能、数量及系统的组成,安装方法及内容应符合设计要求。

6.3.2 固定式辐射检测设备安装位置应符合设计要求,当设计未具体明确时,应安装在便于观察的位置,距地坪高度宜为1.2m~1.5m。

6.3.3 探测器安装应符合下列规定:

1 各类探测器应根据所选产品的特性、警戒范围和环境要求等,按设计要求的地点、方位安装。

2 接线完毕后,应将导线全部抽出探测器机壳外。

3 壁挂式和吸顶式探测器应避免探测器直接指向门窗,运动的机械,冷、热源等。

6.3.4 摄像机安装应符合下列规定:

1 摄像机安装位置应满足设计要求的监视目标视场范围的要求,室内安装高度离地不宜低于2.5m,室外安装高度离地不宜低于3.5m。

2 在强电磁干扰的环境下,摄像机应与地绝缘隔离。

3 信号线与电源线外露部分应用软管保护,从摄像机引出的电缆线应留出1m的余量,并不得影响摄像机的正常转动;电缆线

和电源线不得用插头承受电缆的自重。

6.3.5 解码器安装应符合下列规定：

1 解码器应安装在云台附近且便于固定和维修处。

2 解码器的安装顺序应为画出解码器云台、解码器、转码器接线图，确定解码器的工作电压，正确设置解码器的地址，设定好解码器功能中的波特率；应使解码器与控制设备的传输速度相同。

6.3.6 出入口控制设备安装应符合下列规定：

1 屏蔽门与屏蔽墙体的间隙、搭接宽度应符合设计要求。

2 各类读识装置的安装高度距地坪不宜高于 1.5m。

3 感应式读卡机安装时应设定可感应范围，不得靠近强磁场、高频源。

6.3.7 (可视)对讲机安装应符合下列规定：

1 (可视)对讲机主机操作面板安装高度距地坪不宜高于 1.5m，操作面板应面向访客，并应便于操作。

2 (可视)对讲机主机内置摄像机的方位和视角应调整到最佳位置，对不具备逆光补偿的摄像机，应做环境亮度处理。

6.3.8 在线巡查或离线巡查的信息采集点(巡查点)设备安装高度与地坪的距离宜为 1.3m~1.5m，并应采取防意外损坏措施。

6.3.9 控制设备安装应符合下列规定：

1 控制台、机(柜)架、箱安装应便于操作与维护，背面离墙净距离不应小于 0.8m。

2 台、机(柜)架、箱需要固定时，不得采用焊接方法，宜采用不锈钢螺栓。

3 监视器(屏幕)应避免外来光线的直接照射，当不可避免时，应采取避光措施。

4 控制台、机(柜)、箱单独或成列安装时，其垂直度、水平偏差以及平面度偏差和接缝允许偏差应符合表 6.3.9 的规定。

表 6.3.9 控制台、机(柜)、箱安装的允许偏差

项 目		允许偏差(mm)
垂直度(每米)		<1.5
水平度(每米)		<1.0
水平偏差	同一系列规格相邻两台、机(柜)、箱顶部	<2
	同一系列规格成列台、机(柜)、箱顶部	<5
平面度偏差	相邻两台、机(柜)、箱正面	<1
	成列台、机(柜)、箱正面	<5
相邻两台、机(柜)、箱间接缝		<2

注:侧面有通风要求的台、机(柜)、箱间接缝应按产品技术文件要求安装。

5 控制台、机(柜)、箱在安装及维修过程中不得使用火焰切割。

6.4 调 试

6.4.1 安全联锁与控制各系统调试前,应整理技术文件,并应编制实际系统的设备布置图、走线图,以及其他必要的技术文件。

6.4.2 安全联锁与控制各系统调试前,应编制调试大纲和分系统调试细则。

6.4.3 调试前的检查应符合下列规定:

1 应检查防护安全各系统工程的施工质量,对施工过程中出现的问题应进行处理与解决,并应有文字记录。

2 应依据设计和变更文件要求,检查已安装设备的位置、型号、规格、数量及要求等。

3 系统在供电前,应检查供电设备的电压、极性、相位等。

4 系统调试前,应先对有源设备逐台进行通电检查,并应在工作正常后再进行系统调试。

6.4.4 束流设备和束流应用设备的调试应按设备供应商提供的技术文件进行。

6.4.5 开关钥匙的调试,其联锁逻辑关系应符合设计要求。

6.4.6 固定式辐射检测仪的调试,射线检测和联锁逻辑应符合下列规定:

1 位于辐射室通道门口的固定式辐射检测仪应能进行自检,每次开门前应对该辐射检测仪进行检查,该辐射检测仪与门的联锁功能应能防止在辐射水平异常情况下门被打开后,声光警示功能启动,警示响应时间应符合设计要求。

2 位于控制室内的固定式辐射检测仪应达到设计要求。辐射水平超过规定值时,声光警示装置应启动报警功能,相关设备应自动停机。

6.4.7 装置警示功能的调试应符合下列规定:

1 在准备开机状态下,控制台的监视画面上应有该状态的指示,开机警示装置应启动报警。

2 设备运行正常后,开机警示应停止,运行警示装置应启动。

6.4.8 辐射室内的紧急开门按钮的调试,在准备开机或开机状态下,应实现按动紧急开门按钮后,防护门立即开启。

6.4.9 辐射室防人误入安全联锁装置系统的调试,在准备开机或开机状态下,应实现有人误入时,安全联锁装置应发出声光报警,且同时取消开机准备或停机。

6.4.10 辐射室内的安全检查拉线开关的调试,在准备开机状态下,应实现误留在辐射区的人员拉动安全检查拉线开关时,应能终止其准备状态。

6.4.11 控制台上的紧急停机按钮的调试,在准备开机或工作状态下,应实现按动控制台上的紧急停机按钮时,切换至停机状态。

6.4.12 辐射室门的控制系统的调试,其控制逻辑关系应符合设计要求。

6.4.13 通风控制系统的调试应符合下列规定:

1 应满足产品使用说明书要求,补风机与排风机工作应正常,补风量与排风量应达到设计指标。

2 通风系统与控制台联锁逻辑关系、通风系统的停机延迟时

间应符合设计要求。

6.4.14 开机前辐射区内的安全检查按钮的调试,其逻辑关系应符合设计要求。

6.4.15 火灾自动报警系统和自动喷水灭火系统的调试应分别符合现行国家标准《火灾自动报警系统施工及验收规范》GB 50166和《自动喷水灭火系统施工及验收规范》GB 50261的有关规定。火灾自动报警系统应与相关控制联锁,调试在火灾报警条件下,发出声光报警的同时,束流设备应自动停机,通风系统应关闭。

6.4.16 调试视频监控系统的监视范围、遥控功能、视频切换功能、监视图像与回放图像的质量等,应符合设计要求。

6.4.17 调试出入口控制系统的开门、关门、提示、记忆、统计、打印、报警、电子巡查等判别与处理能力等,应符合设计要求。

6.4.18 调试访客(可视)对讲系统的门口机、用户机、管理机、选呼、通话、电控开锁、图像质量,应符合设计要求。

6.4.19 调试电子巡查系统的在线式信息采集点读值的可靠性、实时巡查与预置巡查的一致性,应符合设计要求。

6.4.20 防雷与接地测试,其电阻值应符合设计要求。

6.4.21 系统调试结束后,应填写防护安全调试报告,并应经建设单位认可后再进行试运行。

7 检测与验收

7.1 一般规定

- 7.1.1 检测使用的仪器仪表应经检定合格,并在检定周期内。
- 7.1.2 检测剂量率选用的仪器、仪表应符合相应环保检测的要求。

7.2 屏蔽混凝土

- 7.2.1 屏蔽混凝土工程质量验收除应符合本规范的规定外,其他检测验收项目应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。
- 7.2.2 强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定。
- 7.2.3 材料的检验应检查原材料实验报告和相应的计算书,其材质和性能指标应符合工程设计和配合比设计的要求。
- 7.2.4 拌和物的配合比、坍落度、表观密度、初凝时间、和易性、保水性、含气量检验应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定。
- 7.2.5 屏蔽混凝土的密度不应低于设计要求的数值,应在每次配合比或拌和物材料发生变化、拌和工艺调整时,采取控制拌和物的表观密度的措施,并应留出检测试件。

检验方法:宜借用强度检验试件完成密度检验评定,应在试件未做强度检验评定前测量试件,应为每组三件;质量计量应为误差小于 50g 的台称,测量后应计算,有效数字应取三位,并应计算三件密度的平均值。

- 7.2.6 工程设计对氢元素、硼元素等含量提出要求的屏蔽混凝

土,应根据配合比和原材料的实验报告计算,求出对应的含量百分比。其中混凝土中水泥石含有的湿存水、结晶水,应按矿物湿存水、结晶水检验办法检查测量计算。

7.2.7 工程设计对粗骨料分布提出均匀性要求时,应检验骨料分布状态。

检查数量:每浇注层。

检验方法:观察浇注现场、检查浇注记录并作出判断。

7.2.8 原材料及配合比设计检验批和施工检验批应分别按本规范表 C.0.1 和表 C.0.2 的内容检验验收。质量检验验收应按本规范表 C.0.3 的内容检验验收。

7.3 束流设备和束流应用设备

7.3.1 束流设备和束流应用设备的主机应按其技术条件进行检测和验收。

7.3.2 束流设备和束流应用设备的辅助设备应按相应的设计文件检查和验收。

7.4 安全联锁与控制

7.4.1 检查安全联锁的逻辑功能的控制应符合下列规定:

- 1 控制宜由计算机完成。
- 2 计算机防火墙和操作权限的设定应符合设计要求。

检验方法:检查设计文件和计算机的控制内容。

7.4.2 安全联锁逻辑关系应按束流设备和束流控制设备的技术条件与电器仪表工程设计的内容逐一检测,并应符合下列规定:

- 1 各项逻辑关系应符合设计要求。
- 2 在连续五次检测中,不应有误动作。

检验方法:模拟各种状态,必要时在回路上输入模拟量进行。

7.4.3 检查各紧急停机开关时,应符合下列规定:

- 1 开关型号(式)、位置、数量应符合设计要求。

2 操作应便捷。

3 在连续五次检测中,不应有误动作。

检验方法:实地操作。

7.4.4 检查设置的警示设施应符合下列规定:

1 位置和数量应符合设计要求。

2 各警示标志应醒目,安放端正稳固。

3 各警示灯的灯光颜色、开启和关闭条件应符合设计要求。

4 开机准备警示铃,其声音(语音)应与其他警示声音有显著区别,延续时间应符合设计要求。

检验方法:直观检查法。

7.4.5 检查剂量检测仪器、仪表,其数量、型号、规格及装放时,应符合下列规定:

1 其数量、型号、规格及装放应符合设计要求。

2 质量、精度等证明文件应齐全。

检验方法:直观检查法。

7.4.6 检查控制室内的遥测遥感回路系统时,应符合下列规定:

1 应检查控制室内的监视系统,其视频、音频信号的采集、传输、存储应符合设计要求。

2 应检查红外、火灾自动报警系统,其报警阈值应符合设计要求。检查自动喷水灭火系统,其响应参数应符合设计要求。

3 其他信号采集的范围、精度、报警阈值和控制逻辑关系应符合设计要求,检查远程诊断控制系统应符合设计要求。

检验方法:模拟检查。

7.5 环境影响

7.5.1 监测点应按环保相关的规定设定,应分别在开机最常用的运行工况下、最大输出能量和最大输出功率下,检测剂量率,并应判断屏蔽设施的屏蔽实际效果,应分别计算周、月、年剂量,并应作出评估。

7.5.2 废气排放的检测应符合下列规定：

1 应在开机最大负荷运行工况下、最大输出能量和最大输出功率下进行检测；应检测排出气体的臭氧、氮氧化物含量，检测排出气体存在的剂量率，并应对检测结果进行评估。

2 检测排风、补风系统的开、停与主机运行工况的逻辑关系及延续时间，应符合设计要求。

7.5.3 对辐射区排出的废水、废液，应检测其放射性，并应作出评估。

7.5.4 对运行中产生的固体废弃物的放射性应进行检测，并应作出评估。

7.6 工程验收

7.6.1 工程达到验收条件和要求时，应及时组织工程验收。

7.6.2 环境保护验收应符合下列规定：

1 检测验收应由有资质的单位承担。

2 应按现行行业标准《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》HJ/T 10.1 的有关规定，对环境影响的内容作出检测和验收，并应形成文件。

附录 A 屏蔽计算

A.0.1 一次 X 射线屏蔽厚度可按下式计算:

$$B_{\text{xt}} \geq \left(\frac{D_0 \cdot Q \cdot f \cdot T}{(d/d_0)^2 \cdot D_{\text{mt}}} \right)^{-1} \quad (\text{A.0.1})$$

式中: B_{xt} ——X 射线的透射率;

D_0 ——离靶 1m 处 X 射线的出射剂量率($\mu\text{Gy/h}$);

Q ——X 射线品质因子, 1.0Sv/Gy;

D_{mt} ——剂量限值($\mu\text{Sv/h}$);

d ——源到参考剂量点的距离(m);

d_0 ——1m;

f ——安全系数;

T ——居留因子。

A.0.2 屏蔽厚度可按下列公式计算:

$$S = T_1 + (n-1)T_e \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$n = \log_{10}(1/B_{\text{xt}}) \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中: S ——屏蔽厚度(m);

T_1 ——屏蔽层中第一个 1/10 值层厚度(m);

T_e ——第一个 1/10 值层之后的 1/10 值层厚度(m);

n ——1/10 值层的数目。

A.0.3 迷道散射 X 射线屏蔽厚度可按下式计算:

$$H_{\text{m}} = H_0 \cdot \frac{(\alpha_1 \cdot A_1)(\alpha_2 \cdot A_2) \cdots (\alpha_m \cdot A_m)}{(d_1 \cdot d_2 \cdots d_m)^2} \quad (\text{A.0.3})$$

式中: H_{m} ——X 射线在参考剂量点处的剂量率($\mu\text{Sv/h}$);

H_0 ——第一次反射面上的人射剂量率($\mu\text{Sv/h}$);

α_1 ——X 射线第一次的反射系数;

α_2 ——X 射线第二次的反射系数；

α_m ——X 射线第 m 次的反射系数；

A_1 ——第一次散射的散射面积(m^2)；

A_m ——迷道的截面积(m^2)；

d_1 ——第一次散射的(射程)距离(m)；

d_2 ——第二次散射的(射程)距离(m)；

d_m ——第 m 次散射的(射程)距离(m)。

A. 0.4 天空散射导致的剂量可按式计算：

$$D = [2.5 \times 10^{-2} D_0 \Omega^{1.3} / (d_s^2 d_i^2)] \times 10^{-(T_c - T_1)/T_c + 1} \quad (\text{A. 0.4})$$

式中： D ——计算剂量率($\mu\text{Sv/h}$)；

D_0 ——距源 1m 处的参考剂量率($\mu\text{Sv/h}$)；

Ω ——用球面度量度的立体角；

d_i ——源至离屋顶外表面 2m 高处的垂直距离(m)；

d_s ——源至剂量点的最小水平距离(m)；

T_c ——屋顶的厚度(m)；

T_1 ——屏蔽层中第一个 1/10 值层厚度(m)；

T_c ——第一个 1/10 值层之后的 1/10 值层厚度(m)。

A. 0.5 中子的屏蔽可按式计算：

$$R_n = \frac{H_{\text{mt}} \cdot d^2}{\phi_0 \cdot T} \quad (\text{A. 0.5})$$

式中： R_n ——屏蔽透射比($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2$)；

ϕ_0 ——距靶 1m 处的中子注量率[$1/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]；

H_{mt} ——有效剂量限值($\mu\text{Sv/h}$)；

d ——靶与参考点之间的距离(m)；

T ——居留因子。

A. 0.6 减弱中子所需的 1/10 值层的数目以及所需要的屏蔽层厚度 S ，可按下列公式计算：

$$n = \log_{10} \left(\frac{1}{R_n} \right) \quad (\text{A. 0. 6-1})$$

$$S = T_1 + (n-1) T_e \quad (\text{A. 0. 6-2})$$

式中: n ——减弱中子所需的 1/10 值层的数目;

R_n ——中子在混凝土中的屏蔽透射比($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2$);

S ——所需要的屏蔽层厚度(m);

T_1 ——屏蔽层中第一个 1/10 值层厚度(m);

T_e ——第一个 1/10 值层之后的 1/10 值层厚度(m)。

B.0.1 臭氧产生率可按式估算:

$$C_{03} = 3.25 \times 10^{-3} \left[\frac{S_{\text{col}} \cdot I \cdot X}{V} \right] \quad (\text{B.0.1})$$

式中: C_{03} ——单位体积中臭氧的产生率(ppm/s);

S_{col} ——标准状态下,电子在空气中的碰撞阻止本领(keV/m);

I ——加速器的电子束流强度(mA);

X ——器外电子束在辐照室空气中的穿行距离(m);

V ——辐照室自由容积(m^3)。

B.0.2 辐照过程中,臭氧浓度可按式计算:

$$C(t) = C_{03} \cdot V \cdot (1 - e^{-f \cdot t/V}) / f \quad (\text{B.0.2})$$

式中: $C(t)$ ——臭氧浓度(mg/m^3);

f ——通风量(m^3/h);

t ——通风时间(h);

V ——辐照室自由容积(m^3)。

B.0.3 辐照停止后,辐照室以相同的通风量通风时,辐照室内臭氧浓度的降低可按式计算:

$$C'(t) = C_0 \cdot e^{-f \cdot t/V} \quad (\text{B.0.3})$$

式中: $C'(t)$ ——辐照停止后通风 t 分钟时室内臭氧平衡浓度(mg/m^3);

f ——通风量(m^3/min);

t ——通风持续时间(min);

C_0 ——辐照停止时室内臭氧浓度(mg/m^3);

V ——照射室自由容积(m^3)。

附录 C 检测表格

C.0.1 屏蔽混凝土原材料及配合比设计检验批质量验收记录的格式,宜符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 屏蔽混凝土原材料及配合比设计检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称					
分部(子分部)工程名称				验收部位	
施 工 单 位				项目经理	
施工执行标准名称及编号					
施工质量验收规范的规定		施工单位检查 评定记录		监理(建设)单位 验收记录	
主控项目	1	骨料质量选用要求	本规范第 5.2.1 条		
	2	水泥进场检验	《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204		
	3	外加剂质量及应用			
	4	矿物掺和料质量及掺量			
	5	配合比设计			
	6	氯化物、碱的总含量控制			
一般项目	1	开盘鉴定			
	2	依砂、石含水率调整配合比			
施工单位检查评定结果		专业工长(施工员)		施工班组长	
		项目专业质量检查员: 年 月 日			
监理(建设)单位验收结论		专业监理工程师: (建设单位项目专业技术负责人): 年 月 日			

C.0.2 屏蔽混凝土施工检验批质量验收记录的格式,宜符合表 C.0.2 的规定。

表 C.0.2 屏蔽混凝土施工检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称					
分部(子分部)工程名称				验收部位	
施工单位				项目经理	
施工执行标准名称及编号					
施工质量验收规范的规定				施工单位检查 评定记录	监理(建设)单位 验收记录
主控项目	1	混凝土密度	本规范第 7.2.5 条		
	2	混凝土粗骨料均匀度、强度等级及试件的取样和留置	《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204		
	3	坍落度、和易性、保水性			
	4	原材料每盘称量的偏差			
	5	初凝时间控制			
	6	混凝土养护	本规范第 5.4.6 条		
	7	预留孔洞、施工缝	本规范第 5.5.3 条		
一般项目	1	后浇带的位置和浇筑	《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204		
	2	工作性检查	本规范第 5.4.3 条~第 5.4.5 条		
施工单位检查评定结果		专业工长(施工员)		施工班组长	
		项目专业质量检查员: 年 月 日			
监理(建设)单位验收结论		专业监理工程师: (建设单位项目专业技术负责人): 年 月 日			

C.0.3 屏蔽混凝土质量检验验收记录的格式,宜符合表 C.0.3 的规定。

表 C.0.3 屏蔽混凝土质量检验验收记录

单位(子单位)工程名称					
分部(子分部)工程名称		验收部位			
施工单位		项目经理			
施工执行标准名称及编号					
施工质量验收规范的规定				施工单位检查 评定记录	监理(建设)单位 验收记录
主控项目	1	密度指标	本规范第 7.2.5 条		
	2	骨料及主要材料	检查施工记录		
	3	氢元素(或含水量)	本规范第 7.2.6 条		
	4	氧元素含量			
	5	粗骨料分布均匀性	本规范第 7.2.7 条		
	6	强度指标	本规范第 7.2.2 条		
	7	裂纹检查	《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204		
一般项目	1	外观检查			
	2	实体检查			
施工单位检查评定结果		专业工长(施工员)		施工班组长	
		项目专业质量检查员: 年 月 日			
监理(建设)单位验收结论		专业监理工程师: (建设单位项目专业技术负责人): 年 月 日			

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《建筑给水排水设计规范》GB 50015

《建筑设计防火规范》GB 50016

《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068

《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080

《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140

《火灾自动报警系统施工及验收规范》GB 50166

《电气装置安装工程盘、柜及二次回路结线施工及验收规范》GB 50171

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

《工业金属管道工程施工规范》GB 50235

《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242

《通风与空调工程施工规范》GB 50738

《自动喷水灭火系统施工及验收规范》GB 50261

《生活饮用水卫生标准》GB 5749

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871

《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162

《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》HJ/T 10.1

中华人民共和国国家标准

电子辐射工程技术规范

GB 50752 - 2012

条文说明

制定说明

《电子辐射工程技术规范》GB 50752—2012,经住房和城乡建设部2012年1月21日以第1274号公告批准发布。

一、制定原则

本规范的制定立足于促进我国电子辐射技术相关产业的健康可持续发展,规范我国电子辐射工程建设,提高我国电子辐射工程技术水平,增强国际竞争力。

本规范的制定认真贯彻执行了国家的有关法律、法规和方针政策;规范的编写坚持科学性、先进性和实用性原则,做到技术先进、经济合理、安全适用。本规范的内容以系统有效的实践经验和可靠的研究成果为依据,与现行国家、行业标准相协调,避免产生矛盾和重叠,并积极采纳符合我国国情的国际标准的相关内容。

二、制定过程

制定过程吸纳、整合了国内部分权威研究、设计、建设等单位的成果,集中部分精尖技术力量,以保证标准编制的技术水平和权威性。广泛调查、借鉴业内和国内外先进的设计方案和建设技术,兼顾标准的先进性、实用性。经过准备、征求意见、审查和批准四个阶段程序完成了编制工作。

三、主要技术内容的说明

1. 关于屏蔽体的设计技术数据。

屏蔽体材料的控制数据宜给出骨料的名称和成分、某些元素含量指标、骨料不均匀度指标等。屏蔽混凝土是密度、元素含量、骨料均匀性有特定要求的混凝土,配合比要满足这些要求。屏蔽混凝土的工作性参数是质量控制的基础条件,规范中对此作了规定。

2. 配合比计算。

主要参数的计算,现有的某些经验算式多而杂,不尽相同,但均包括在现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 计算原理的范围内,并对计算公式的参数作了各种调整。经验算式在行业内取得共识,需要较长的过程。本规范暂不统一规定计算方法,在试配中可以借鉴相关的经验算式,或在经过工程验证的配比基础上做某些调整,完成计算。参考这些经验数据可以完成拌和物的配比计算和试配。

四、本规范尚需研究的有关问题

1. 剂量检测点的布设内容,由于不同工程布局差异太大,统一测点布设的条件尚未成熟,本规范未作具体规定。

2. 屏蔽混凝土指标检测对骨料分布均匀性规定和检测、H(或 H_2O)、B元素含量检测仅作了方法性、原则性的规定,待技术进步和实践积累更成熟时予以完善。

3. 工程退役事项的规范:

退役的装置、建(构)筑物的无限制使用,是在对人无害影响的前提下,资源的再利用。电子辐射工程,射线能量超过一定限度就存在器具、建(构)筑物的活化可能,对其通过检测,作出评估,采取无害化处理是必要的。截至目前,国内外该类工程拆除实例不多,待进一步实践积累,规范修编时再对工程退役内容作规定。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《电子辐射工程技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1 总 则	(47)
3 工程规划	(49)
3.1 基本要求	(49)
3.2 选址	(49)
3.3 环境和安全规划	(50)
3.4 工艺规划和构成	(50)
3.5 规划文件和技术经济评价	(51)
4 工程设计	(52)
4.1 一般规定	(52)
4.2 工艺设计	(52)
4.3 辐射防护设计	(53)
4.4 建筑设计	(58)
4.5 结构设计	(59)
4.6 公用工程设计	(59)
5 土建施工	(62)
5.1 一般规定	(62)
5.2 屏蔽混凝土材料	(62)
5.3 屏蔽混凝土配合比	(63)
5.4 屏蔽混凝土施工	(64)
5.5 预埋件与施工缝	(67)
6 设备安装与调试	(68)
6.1 一般规定	(68)
6.2 设备安装	(68)
6.3 安全联锁与控制	(69)

6.4	调试	(70)
7	检测与验收	(74)
7.1	一般规定	(74)
7.2	屏蔽混凝土	(74)
7.3	束流设备和束流应用设备	(75)
7.4	安全联锁与控制	(75)
7.5	环境影响	(76)
7.6	工程验收	(77)

1 总 则

1.0.1 束流设备能提供具有特定品质的电子束,或将电子束转化为其他射线,如 X 射线。可控电子束、X 射线等能够产生预期辐射效应,这些效应以实用工程(电子辐射工程)为载体,在工业、农业、医疗、检测及科研等领域有着广泛的应用。

电子辐射工程与一般工业项目有所不同,电子辐射工程建设的各环节(勘察、规划、设计、施工、安装、验收、鉴定、使用、维护、加固、拆除以及管理等多个环节)显著有别于其他工业工程,如辐射的防护、防护的设计和施工等。作为 $0.15\text{MeV}\sim 100\text{MeV}$ 能量段的电子辐射工程,日前,就工程建设(不含主要设备)的技术层面制定规范,解决了这一领域标准缺少或标准内容深度不够的问题,而且作为独立的标准,为 $0.15\text{MeV}\sim 100\text{MeV}$ 电子辐射工程的规划、设计、施工和检测等提供执行和评价依据,对促进该领域的技术进步具有重要的现实意义。

1.0.2 本规范解决的是建设过程中各环节的技术课题,也就更容易且更应该以该类工程最基本的属性“防护的程度”——辐射强度来划分适用范围,因而应当采用国际、国内以能量为标志的划分方法,选择“低能段”,不超过 100MeV 为范围。

电子束的应用类设施,工程建设必须按照电子束应用的工艺需求和主装置的需要作配置。从配属内容上,工程内容特定的属性是对射线屏蔽的有效性、合理性做有效应对;安全防护的属性是包括合理的、足够高的可靠性和选择上的合理性。上述两类课题作为规范的重点内容,对辐射加工类装置(不含自屏蔽式)、无损检测类装置(不含移动式)等具有客观的积极意义。规范中某些技术内容,其他射线应用类工程认为可取的,不限制采用。

1.0.3、1.0.4 从标准实施的纵向来看,工程建设的科技进步是永恒的,国家的相关政策、法规等有可能发生微调和变动,技术规范具有阶段性稳定的属性。这一属性不应限制,注重技术进步和技术经济指标提升的努力,不应造成与国家最新颁布的政策、法规的偏离。

从标准实施的横向来看,一项技术规范只能解决特定建设实践的技术所需,不可能涵盖工程建设的全部内容;在标准体系构架上,也不允许重复和繁杂。因而,规范未指明的实践活动按照现行的有效标准执行,是可行的、必需的。

3 工程规划

3.1 基本要求

3.1.1 本条的要求是工程规划中技术资料搜集的常规做法,其中,“工程运行的内容及其运行扩展的内容”是指电子束应用内容的变化和伴随着应用变化而需求的工程内容的适配性改变。如电子束能量、功率和其他品质的变化,被照射或被轰击物品的预测变化,工程内容的适配应当作出相应的设定。工程拟选用的主要材料是指屏蔽体工程内容的材料,如对 X 射线表现优良衰减性能的含铁类、含钡类的矿物骨料,对中子辐射有良好衰减性能的富含氢、硼等元素的矿物或合成材料。材料的牌号相同,成分接近,但对不同产地的材料,有用成分含量的差别、施工工艺性的优劣都需要有基本的了解和掌握。

3.1.2~3.1.4 这几条的规定,为工程符合国家和地方法规提供保证,为工程外部条件完备提供保证;地质条件为工程规避安全、长久运行的潜在风险提供保证;气象条件、人居分布等资料的掌握,为工程对人居环境的有害影响降到国家允许、居民可以承受的程度提供帮助。

3.2 选 址

3.2.1 选址的统筹兼顾中对配套条件作了充分性要求,如供水、供电、通讯、交通和物流。这些提示性要求不含有对具备可靠改进前景的某些暂缺项条件的否定性限制。

3.2.3 在满足国家环保、卫生等法规要求,且不利影响不会引起居民反对的情况下,选取地址。

电子辐射工程射线的能量不是选址的唯一因素,某些工程,工

作负荷(workload)不高、功率较小,对环境的不利影响可以忽略,因而环境对该类工程的限制较小。

10MeV 以上、5MeV 且 30kW 以上生产型工程,应考虑环境质量要求提高带来的预期性反对风险,与居民区留有足够的距离。

3.3 环境和安全规划

3.3.1~3.3.3 环境、安全、卫生防疫三项,在核工程项目建设中,是政府掌控的三项基础性课题。尽管通常的电子辐射工程在核工程领域是环境相对友好、安全威胁相对较小、卫生防疫任务相对较轻的核技术应用项目,但是电子辐射工程射线的能量达到一定程度,生物体(如人体)接受过量剂量,会造成伤害,甚至死亡;空气的部分氧气会转化为臭氧,部分氮气转化为氮氧化物;气体分子、尘埃、生产线的废水、物品可能被激活而带有放射性,对环境造成不利影响,对相关人员的会造成放射性危害。因而,对环境的影响、对放射性卫生防疫要作出特别关注和防范。这些关注和防范涉及工程的主要内容和主要技术专业,在规划中必须统筹安排。因此,本规范确定第 3.3.1 条、第 3.3.3 条为强制性条文。

3.4 工艺规划和构成

3.4.1 工艺是指装置运行的主要过程和方式,不涵盖出束方式、辐射化学和辐射效应等工程外的工艺内容。规划中对束流参数和可靠性作出充分性选择是必需的。同时要在节能、运行保障条件等方面作出更有利的选择。

3.4.3 电子辐射工程种类繁多,即使同类工程,往往内容差异显著,只有最常用的某些工程带有基本的重复性,因而对其详细界定和约束是不妥当的。本规范继承了现行国家标准《辐射加工用电子加速器工程通用规范》GB/T 25306 标准的成果,按照工程构成的使用性,对内容提了要求。原则是“成套性充分完整”、“不局限于这些内容”,以便更加符合国家产业结构调整和技术进步的要求

精神,以便促进行业科技水平的提高。

需要进一步说明的是,在规划和工程内容的搭设、匹配中,要考虑可靠性成本因子的等价性原则。某一工程,以失效率对故障源成本的比作为“可靠性成本因子”的度量。工程的技术选择方案采用了可靠性成本因子的等价性原则,就可以避免核心设备优良,因配套内容较弱而不能良好运行的缺憾和通病。

3.5 规划文件和技术经济评价

3.5.1 规划文件的格式和内容,不同行业、不同地区审批机关的要求存在一定差异,因而本条作了条文中的规定。

3.5.3 节能减排是国家的一项基本政策,工程建设在节能减排中的地位十分重要,工程的建设水平决定了运行能量的消耗水平和废弃物的排放水平,因此,工程建设从规划阶段就要注重节能减排,规划文件的技术经济评价内容应包含节能减排的专题内容。

4 工 程 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 工程设计根据委托书和项目可行性报告进行,满足使用性要求。国家监管机构的意见,设计必须遵循;安全预评价、卫生防疫预评价和环境保护预评价结论所依赖的基本条件,设计必须满足。

4.1.2 电子辐射工程具有一定的特殊性,其设计单位必须有工程设计乙级或以上资质,设计人员必须具有对应专业的工程师或以上职称,工程设计项目负责人必须具有高级工程师或以上职称,且具备必要的业绩和经历。

4.1.3 中华人民共和国住房和城乡建设部《建筑工程设计文件编制深度规定》(2008年版)明确了方案设计或初步设计文件的深度要求,同时强调需满足审管机构对文件内容的要求;明确了施工图设计文件的深度要求,电子辐射工程的设计应当遵循。建议结合具体工程的审管机构的审管要求和工程具体情况,确定设计阶段,但必须包括施工图设计阶段,且不少于两个阶段。某些工程设计可以用总体设计代替初步设计,总体设计的内容应基本满足编制施工图设计文件的需要,满足报建和审查部门的要求。

4.2 工 艺 设 计

4.2.1 一般情况下,工艺设计先根据使用要求确定辐射设备规格;根据工艺需求,如工件(或被辐射的物品)及其运转方式来确定作业室的大小和关联设施的空间布设。为射线的属性分析、辐射防护计算确立基础。

4.2.2 先确定工艺流程,是为了保证使用要求。然后根据场地地

形确定工艺需求和工艺辅助用房的位置、人流线路、物流路线,根据辅助设备和辅助设施等确定空间尺寸,从而完成其平面布局和竖向布置。

2 电子辐射工程作为整个生产(或其他实践活动)流程中一道“工序”时,尽量和其他工序的建筑贴建,或建造在整体建筑的内部,可以缩短整个物流线路,优化整个生产(或其他实践活动)的过程。

3 对于能量 $0.15\text{keV}\sim 300\text{keV}$ 的辐射区,其防护成本不高,容易通过防护措施实现防护规划目标,可以设置在整体建筑的内部,当整体建筑为多层建筑时,宜设置在底层。对于能量大于 300keV 的作业室,或防护成本太高时,可以与总体建筑贴连或脱开布置。

4.2.3 不论何种布置,防火设计都应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

4.3 辐射防护设计

4.3.1 束流设备在运行过程中会产生电离辐射,应按照《电离辐射防护与辐射源安全基本准则》GB 18871 的规定完成设计。充分考虑工作人员和公众人员的辐射安全,并留有足够的安全裕度。从辐射屏蔽设定、辐射安全系统的设置等环节,确保人员获得合理的有效防护。辐射防护设施必须与主体工程同步设计、各专业有机衔接和融合。纵深防御性、冗余性的设计是防护效能具有高可靠性的需求,防护措施的独立完整,防护方法多样和多元都是对防护效能获得高可靠性的有效保证。最优化原则体现了对防护、经济、社会等诸因素的兼顾,其目标带有剂量限值尽可能低和投资合理化两个互相影响的因子,以及两个关系取舍的合理性。

4.3.2 现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 中规定的职业照射和公众照射的剂量限值为 20mSv/a 和 1mSv/a ,但是这个剂量限值包括了除天然本底和医疗照射以外的

所有放射源的剂量接受因素。从电子辐射工程接受的辐射剂量仅为可能接受剂量限值的一部分,照搬现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 的剂量限值作为辐射屏蔽设计目标值是不合理的,本规范的剂量限值设计目标值是参照了现行国家标准《 γ 辐照装置的辐射防护与安全规范》GB 10252、《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》GB 17568、和《辐射加工用电子加速器工程通用规范》GB/T 25306 的相关规定和国外标准,并结合国内工程设计的大多数样本而提出的。

4.3.3 本条规定了辐射的各项属性及其他因素的判定。

1 辐射是一个较为复杂的核物理过程。电子辐射以电子为带电粒子。初级辐射为电子束流,束流在空气中射程较长,辐射强度高。电子束流行进中产生次级辐射,除产生特征 X 射线外,轰击阻挡物产生次级 X 射线或产生中子射线。这几类射线,在束流产生装置运行中产生,停机后消失,统称为瞬时辐射。被轰击物质可能产生感生放射性,停机后继续存在。感生放射性随停机时间的延续而减弱,随被轰击时间的积累而增强。这些内容是辐射防护计算的基础和依据。因而,对辐射源的属性进行“工程计算准确度所要求的”的分析是可取的,尤其在无相似工程成功实践借鉴时,是必须进行的。

2 控制区:要求或可能要求采取专门防护措施或安全手段的区域,在正常工作条件下控制正常照射或防止辐射污染扩展、防止潜在辐射或限制其程度。如辐射加工的作业区,工件无损检测的扫描作业区等。某些装置的布置设计,控制区又分为“辐射区”和“控制区”,“辐射区”的防护重于“控制区”,采取了更严格的辐射防护措施,从防护属性上,可以统称为控制区。

监督区:未被确定为控制区,通常不需要采取专门防护措施和安全手段的,但要不断检测其职业照射条件的区域。这些区域不应有无关联的停留,更不得驻留。

3 框定和选取工作负荷因子,射线束流的定向因子,人员

在防护计算点处的居留因子。计算取值为辐射发生最大条件下,为获得更合理的防护设计,取得更经济合理的设计方案,对开机率不高、射线束流非主阻挡方向、人员停留较少的区域,进行防护的数据修正是必要的。

4 某些工程因各种原因,屏蔽区域需要在建筑施工主要阶段完成后,从预先留出的孔洞运入或安装设备,这些孔洞的设置由总设计师的平衡意见指导下,辐射防护、工艺、建筑、结构专业设计相融合,在各因素兼顾下确定设计方案。

5 屏蔽材料种类多样,对射线的衰减能力选择性较强。应根据辐射的属性,结合屏蔽材料对需要防护的射线的衰减能力作选择确定,选择时要考虑空间的利用率和投资控制额度。

4.3.4 对于屏蔽计算,本规范的附录 A 给出了基本的计算方法。更准确、更周密的计算可参照辐射防护专业专著进行,本规范推荐采用 NCRP Report No. 144(2003)——Radiation Protection for particle Accelerator Facilities;NCRP Report No. 151(2005)——Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X and Gamma Ray Radiotherapy Facilities 的计算方法。

2 屏蔽体材料的控制数据中:

1)材料的材质和性能指标是计算的依据,也是施工的备料依据。

2)屏蔽材料选用混凝土墙体时,混凝土墙的截面大,荷载下的应力小,强度可选择不低于 C20,除考虑经济指标外,主要是低强度混凝土的水合热较低,有利于控制屏蔽体内部和外表的温度差别,有利于控制屏蔽体养护早期的温升,减少裂纹发生的概率;尤其是有利于成型混凝土屏蔽层内含有较多的结合水,从而保持对中子射线的衰减能力。

混凝土屏蔽层的密度主要取决于骨料的选取。重晶石(硫酸钡矿)骨料、铁矿石骨料、含硼矿石骨料、铁质或铅质骨料等可以根据屏蔽体的设计所需选取。含水率、骨料不均匀性对强辐射是有

必要关注 and 控制的,对于多数辐射不强的工程,有成熟的对比设计实践佐证的,可以从简,不做含水率、骨料不均匀度的具体要求。

4.3.5 对屏蔽设计提出的要求如下:

1 多种射线并存且某两种射线计算的屏蔽厚度差别等于或不到一个半值层厚度值时,应在计算的较大厚度值上附加一个半值层厚度,是偏重安全且实践验证可行的简化算法。

2 预留孔洞、门、通道应选取在辐射最弱的方位是从防护的角度考虑的,同时要兼顾物流的可能等因素,其决定基点是经济性指标。

3 某些区域微波辐射不可忽视时,对微波防护作出设计。主要指微波源泄露超标的条件下。

4 对感生放射性进行分析估算。

1)控制区的物品、如靶材、加速管可能产生感生放射性,作出评估并设定应对性防护意见是必需的,如缓时进入维修,快速更换备品等。

2)对气载放射性作出评估,某些超过 10MeV 的连续运行的工程,次级辐射与空气相互作用,空气和尘埃会产生感生放射性,尽管放射性产物半衰期较短,但是可知性是必要的。

3)某些工程的工艺用水可能产生感生放射性,尽管水量不大,半衰期不长,局部存放,延时衰减,因累积增加,其可知性是必需的,可在运行阶段结合检测提高评估的准确性。

5 对检测内容、检测点作出规定。计算基点和检测点要合理设置,便于运行管理,便于校核设计计算,积累数据,因而必要。某些脱离计算模型的点,如临近多层建筑的工程,天空散射测点的确定等,也有必要。

6 电子辐射工程的辐射场,具有混合辐射场、辐射水平的量程特别宽、辐射场或带脉冲性及可能受到高频电磁场的干扰的特性。当探测一种射线时,必须考虑仪器对另一种射线的甄别能力;无法选定一台仪器完成所有监测点,就必须组配多台仪器。防护

设计对检测仪器的配置设定是很有必要的。

4.3.6 本条为强制性条文。现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 是国内普遍使用的基础性标准,对纵深防御、冗余性作了原则规定。国际原子能机构安全标准丛书 No. SSG—8《 γ 射线、电子束、X 射线辐照装置的辐射安全——安全导则》(Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities Specific Safety Guide IAEA Safety Standards Series SSG—8)对安全系统的纵深防御和冗余性作了要求。

调查了国内外 29 项符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871、安全标准丛书 No. SSG—8《 γ 射线、电子束、X 射线辐照装置的辐射安全——安全导则》(Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities Specific Safety Guide IAEA Safety Standards Series SSG—8)要求的工程设计实例,为杜绝控制区开机状态下人员存留的恶性事件,具有如下设计内容:

防止人员“误进”(为最主要的步骤):警示性图形标志、开机运行灯光指示、人员出入门关闭上锁。在这一关键阶段,上锁、图形、灯光是“多样性的”,计算具有的备份是三项,冗余备份为两项。

防止人员“误留”控制区(为最关键的步骤):顺序报警点查看系统、摄像机监测系统、控制区紧急停机拉线(横向布设,距离地面 1.2m~1.5m)开关等。检测查看有两项,误留控制区内的人员停机自救为两项(拉线开关、报警点按钮)。

对于防止在辐射室内发生辐射伤害事故,在事件发生的过程中,选取“进入”、“辐射开机前的停留人员检查”、“误留人员的自救”三个阶段,分别设计应对措施。具有“纵深防御”的性质,其防御的层次有三道。

4.3.7 开机联系锁门,是业内通用的必须做法,也是在国际、国内相关规定、标准中共同强调的条款,对安全起到基础性的保障作用。本条内容由防护专业提出大纲,由相关专业,尤其是电气仪

表专业设计完成,在公用工程设计章节不再重复。

4.3.8 对于大于 5MeV 束流设备的辐射安全系统,该条提供了可供选择的、可以提高防护和安全可靠性的做法。本条内容由防护专业提出大纲,由相关专业,尤其是电气仪表专业设计完成。

4.4 建筑设计

4.4.1 考虑到电子辐射控制区辐射水平特别高,中央控制室及其他辅助室基本不存在电离辐射,而且人员居留时间较长,分隔设置利于防护安全,利于降低投资。

4.4.4 本条规定在电子辐射用房设计中,辐射控制区出入口作为一个辐射防护的薄弱环节需要特别关注。在根据被照射物件大小和人员使用要求确定出入口大小后,门与墙、门扇与门扇的搭接要达到射线泄漏处于可以接受的范围内。

4.4.5 本条规定了窗应满足的要求。

1 本款规定辐射控制区不宜设置窗,如确实需要设置且能确保防护安全时,观察窗应考虑采用诸如特种铅玻璃等,或为铅玻璃夹水复合窗,并作为屏蔽防护薄弱环节加以重点关注。

2 本款结合某些辐射作业及特种铅玻璃观察窗可以满足防护安全的前提下,中央控制室对作业区域的视线监控。

4.4.6 本条规定了地面应满足的要求。

1 本款对中央控制室地面采用防静电架空活动地板作了必要的阐述,中央控制室内有较多控制设备,设计时需要考虑地坪具有良好的防潮、阻燃、防腐等要求。如中央控制室采用电缆沟和盖板设计,地坪采用其他设计也是可以的。

2 本款规定了辐射室内地坪面层材料的选择,应不起尘,清洁因素的考虑是次要的,主要考虑尘埃微粒对气载放射性有助强效应,应当减少尘埃。

4.4.7 本条规定了辐射区内墙面材料的选择。墙面平整,不积灰尘是内墙的主要设计条件,当屏蔽体防护能力的冗余度不足时,可

以考虑本条的技术选择。

4.4.8 在屏蔽防护措施中,为了尽可能地减小射线的溢出,应在穿墙管线等薄弱环节采取必要的措施,如轴线的折线、弯曲,截面的台阶形态,封堵,补强等。

4.5 结构设计

4.5.1 按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定,电子辐射工程混凝土结构设计使用年限根据其特性和重要性,普通房屋建筑和构筑物设计使用年限为 50 年,特别重要的建筑结构为 100 年。

4.5.2 对结构构件承载能力极限状态的计算规定和正常使用极限状态的验算规定均应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。某些类型的束流产生装置,如直线电子加速器、回旋电子加速器,电子加速部分不均匀沉降会造成运行设备安装轴线的变动,继而造成束流的故障,需要按照束流产生装置的要求,在基础设计、荷载分布,安装基础设计诸方面予以满足。

4.5.3 对于有抗震设防要求的防辐射混凝土结构,应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定进行结构构件的抗震设计,考虑到电子辐射工程的混凝土主要起辐射防护作用,地震破坏产生的后果较严重,且恢复难度较大,按照抗震设计的基本原则,建议抗震构造措施应提高一度抗震设防。地震烈度为 9 度的应不再提高,在其他规范中已经对抗震烈度作出提高一度规定的也不应再提高。

4.5.5 由于沿屏蔽体厚度方向的贯通裂缝对辐射防护非常不利,因而沿屏蔽体厚度方向不得出现贯通裂缝。

4.6 公用工程设计

4.6.1 本条规定了辐射室通风设计应满足的要求。

1 某些辐射作业,束流能量较高、功率较大,且连续作业,室

内空间有臭氧(O_3)、氮氧化物、感生放射性气体或尘埃产生,因而设置机械通风系统,保证室内有足够的换气次数,保持室内为负压。在停机后通风系统继续运行 10min,臭氧通过换气和分解,浓度降低到 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,空气中残存的感生放射物质大体度过了一个半衰期,人员进入可以认为是安全的。

2 排风系统:由于辐射作业时产生的臭氧密度大,下部浓度高,在房间上部地带设置的排风口排出所需风量的 $1/3$,下部地带设置的排风口排出 $2/3$ 的风量是基本合理的。

3 补风系统:室外新风经过过滤处理后由补风机从房间上部送入室内,补风量按照排风量的 80% 确定,保持室内负压。过滤的目的是减少空气中的尘埃,对于空气中感生放射性物质的控制是有利的。

4 设备和风管材质:通风设备和风管材质宜选用铝合金或不锈钢等材料,使通风系统具备耐辐射变性和耐锈蚀的能力。

7 通风系统的能力设计要根据辐射作业水平决定,一切取决于有害物质的产额,不宜硬性规定。

4.6.3 本条规定了给水系统设计应满足的要求。

某些束流装置运行的除盐恒温水是配套出现的,供水设计到供水设备开口即可;某些辐射加工类装置,加工区的冷却水系统由工程设计完成时,需要根据进出口水温、压力、流量和水流线路完成设计。

4.6.4 本条规定了排水系统设计应满足的要求。

辐射区域排水或可具有感生放射性,尽管其半衰期较短,尽管可以通过延时衰减、隔离使危害降到容许的水平,但处理方法应有防护专业的设计认定,且得到当地环保部门的认可。

4.6.6 本条规定了供电应满足的要求。

2 束流装置对电网电压的要求高于一般工业工程,单独回路供电有利于装置的运行。某项特别需求的工程为保证装置运行的特殊需要,也有双回路供电的设计。

3 监督区、控制区等区域设置备用照明设施,外部供电停止后,可以进行观察、纠正、补救类工作。

4.6.7 仪表控制设计包括防护专业提出设计各项课题,某项课题设备或者已经自带,某些课题建设方可能独立另行分包,仪表设计或可仅完成部分课题的设计。各项控制设计应集合在计算机主机上,各控制间的协议文件应正确无误。

设计的组织安排方式不能影响辐射防护内容的完整。

4.6.8 工程内容涵盖的其他设计允许非总体设计院承担完成,但为了满足工程设计整体性、完整性的需要,本条予以规定。

5 土建施工

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 电子辐射工程的土建施工,包括地基处理、基础施工、门窗施工、地面、装饰等施工内容,现行的工程建设标准能够满足施工需求,因而本规范不再重复规定。辐射室的门、窗等非标准设计,设计文件都给出了设计说明,按照设计文件可以完成相应的施工作业。

5.1.3 屏蔽混凝土满足建筑结构的一般功能外,最重要的是具备足够的屏蔽辐射的能力。屏蔽混凝土的指标除强度值外,还有涉及射线衰减能力的指标,包括混凝土的密度与其衰减射线的能力的近似比例关系,氢元素、硼元素含量的高低影响到对中子射线防护能力的高低。骨料分布是否均匀将决定屏蔽体衰减射线能力是否均等。因而本条提出“骨料品种、密度、氢元素含量、硼元素含量、骨料均匀度等应满足设计要求”。屏蔽体混凝土可使用的材料,尤其是骨料、沙粒料,种类多、性能差异大。某些材料(如重晶石)已经制定了国家标准,某些材料的技术指标尚停留在产品技术条件的层面上,只要正常执行,能满足工程使用的需求,是可行的。

5.2 屏蔽混凝土材料

5.2.1 骨料选择的理由如下:

- 1 蛇纹石含有较多的结晶水,对快中子有较强的衰减能力。
- 2 重晶石或铁矿石密度约为 $4500\text{kg}/\text{m}^3$,与普通砂石调整可以达到要求,且技术经济指标较高。
- 3 一般天然矿石密度不高,要配置 $3600\text{kg}/\text{m}^3$ 以上密度的屏蔽混凝土要掺杂 $7800\text{kg}/\text{m}^3$ 的铁质骨料,用密度较高的铁矿

粉,以减弱拌和物骨料下沉的趋势。

4 铅块密度较大,对射线衰减能力较强,因而选用。

5 对于屏蔽中子射线,原子量低的轻元素物质更为有利,因而对含氢(或湿存水、结晶水的总和)、含锂、含硼矿物或材料从混凝土原料上优选是合理的。

5.2.2 骨料的级配合理是获得合格屏蔽混凝土的基础条件。连续级配是首选,粗、细骨料密度接近有利于缓解骨料下沉。铁质骨料的规格超过 25mm,骨料下沉趋势大,不易获得骨料均匀的屏蔽混凝土。

5.2.3 掺加 0.3mm 以下的粉料,对于解决骨料下沉效果较好。

5.2.4 加入掺和料,是在基本保证屏蔽混凝土性能要求的前提下,改善工作性的通用做法。

5.3 屏蔽混凝土配合比

5.3.1 拌和物密度和成分决定了混凝土成品的密度和成分,因而应按防护要求设定拌和物的密度和成分;拌和物的工作性要求过于苛刻,不仅会增加施工难度,更重要的是质量控制困难,难以稳定地获得合乎设计需求的屏蔽体。因而,对配合比设计提出了应包括施工过程的工艺数据,兼顾施工的工作性的规范要求。

5.3.2 屏蔽混凝土配合比的主要参数的计算,现有的某些经验算式不尽相同,均包括在现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 计算原理的范围内,对计算公式的参数作出了各种调整,经验算式在行业内取得共识,但尚需论证时段。本规范暂不统一规定计算方法,在试配中可以借鉴相关的经验算式,或在经过工程验证的配方基础上做某些调整,完成计算。

5.3.3 配合比的主要参数计算交叉采用体积法和重量法计算是可行的。

1 屏蔽混凝土密度的主要影响因素是骨料的密度和用水量。

2 影响屏蔽混凝土抗压强度的主要影响因素为水灰比,屏蔽

混凝土抗压强度随水灰比的增大而减小。

3 影响屏蔽混凝土坍落度的因素为用水量、水灰比和砂率等,屏蔽混凝土坍落度随用水量、水灰比和砂率的增加而增大。一般情况下,用水量每增加 $5\text{kg}/\text{m}^3 \sim 10\text{kg}/\text{m}^3$,坍落度增大 $5\text{mm} \sim 20\text{mm}$;而砂率每增加 2% ,坍落度增大 $5\text{mm} \sim 20\text{mm}$ 。

4 特种水泥含有较多的某种元素,有利于提高屏蔽混凝土的屏蔽能力,要兼顾工作性,如水合反应激烈,放热集中的要制定控制措施,以免造成裂纹质量事故。

7 屏蔽混凝土一般均为大体积混凝土,其裂纹控制比一般大体积混凝土严格,执行大体积混凝土配合比的有关规定是必要的。

8 电子辐射工程服役寿命较长,屏蔽混凝土同时充当结构构件,对耐久性校核是必要的。

5.4 屏蔽混凝土施工

5.4.1 屏蔽混凝土采用高密度骨料时,表观密度显著高于普通混凝土;屏蔽混凝土的截面远大于普通混凝土构造的截面,尤其浇注后的养护条件苛刻。其模板及其支架更为复杂。模板、模板支架系统的自重及防辐射混凝土自重均应按照实际情况取值;支护跨度大,应具有足够的承载能力、刚度和稳定性,能可靠地承受混凝土的重量、侧压力以及施工荷载。屏蔽混凝土的模板及其支架根据工程结构形式、屏蔽混凝土浇筑工艺、荷载大小、施工设备和经济合理性等条件进行设计;按模架设计施工和验收,合格后方可接受拌和物。

5.4.3 该条给出了拌和物制备的相关规定。

1 本款规定了原材料的计量方法及允许偏差。特别情况下,水和液体外加剂的计量也可按体积计量,但换算成重量后的允许偏差不应降低。

2 装料率减少性调整和修正,不超出搅拌设备的负荷能力,保证搅拌设备安全运行;适时加水,可以减少扬尘;后加减水剂,能

提高和易性;重晶石骨料性脆易碎、产生粉料,影响级配,砂浆裹石法可保持骨料级配,改善拌和物的工作性。

搅拌时间,顺序上料方法,其目的是混合、成浆,便于拌和物均匀浸润,避免添加物的不利影响,应按照这些目的调整时间分配。最后的搅拌以充分浸润为目标,不宜太长,以免坍落度的损失太多,明显影响工作性。

拌和物的制备采用何种方式不做具体限定。电子辐射工程与核电工程相比工程量不大,无条件就近建立专门搅拌站;选用专业搅拌站,其运距和运输时间应重点考虑,不宜牺牲配合比的合理性,如需延长从搅拌机卸出到浇注完毕的延续时间,宜采取现场制备拌和物,制备的各项要求不得降低。

5.4.4 与普通混凝土相比,屏蔽混凝土的骨料密度大,水灰比小,有的水化放热速率较高,温升产生的应力较显著,收缩率较大,要防止混凝土裂缝缺陷;拌和物组分中,骨料与其他组成成分密度差别较大,要解决运输和浇注过程中的离析、骨料下沉,保证混凝土的均质性。这些从浇注的全过程,划分阶段,采用该条的措施是可行的。

1 在运输过程中常以最少的转载次数和最短的时间从搅拌地点运至浇筑地点,可避免材料的组分离析、坍落度的损失不至影响混凝土的输送和浇注。屏蔽混凝土从搅拌机卸出到浇筑完毕的延续时间,与现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164、《预拌混凝土》GB/T 14902 中规定相比,有所减少。主要是针对高密度混凝土所建议的,不排除拌和物的提供条件无法满足混凝土的工作性要求时,采用掺加缓凝剂,延长混凝土凝结时间的技术措施,其从搅拌机卸出到浇注完毕可以相应延长。

2 混凝土的浇筑方法通常采用泵送施工方法和常规施工方法。常规施工方法是采用翻斗车运输、塔吊吊运混凝土到浇注地点并卸在木板上,一边人工拌和,一边人工布料。

泵送的可行性是存在的,拌和料与泵管的摩擦系数、混凝土密

度、管道形态尽管各异,只要输送泵额定输出压力大于输送阻力,能提供足够的拌和物流动,即可采用。与普通混凝土相比,屏蔽混凝土的原材料与管壁材料的摩擦系数无显著差异,材料级配属于连续级配,细骨料属中砂范围,富含细粉料,改善了和易性、保水性;拌和物坍落度在可泵范围时,数值偏小,在泵活塞的推压下,干硬性的骨料被挤压,浆液挤到泵管内表层,可形成润滑膜,在成膜压力范围所对应的泵送距离内,泵送效果良好,不会堵塞泵管。密度超过 3600kg/m^3 ,泵送的实践数据不足,选用常规浇筑方法也能顺利完成施工。

5.4.5 本条提出的施工要求对防止密度大的骨料超控制范围的下沉是有效的。出料口下料高度超过 1000mm ,可能有轻微的分析产生;振捣棒振动引流摊平引起骨料显著下沉;振捣时间过长也会造成骨料明显下沉;总之,其目的是在骨料均匀性基本保证的情况下振捣密实。

5.4.6 本条对屏蔽体混凝土的养护作了规定。

1 养护一般是指保持一定的湿度,维持一定温度的措施。在充分潮湿养护的情况下,水泥可以充分地完成水合反应(相对湿度小于 80% 时,水泥的水化作用将停止)。保温、保湿养护措施除定期合理喷水外,带模养护,覆盖塑料薄膜、麻袋、保温被等织物会起到很好的效果。

2 屏蔽混凝土一般都属于大体积混凝土范围,防裂纹按现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 执行效果良好。根据气候条件采取控温措施,对养护中的混凝土进行测温监控,依据环境温度、混凝土表面温度和内部温度的差别情况,及时采取有效方法控制混凝土内外温差,将混凝土内外温差控制在设计要求的范围内,对保证施工质量会产生良好效果。

5.4.7 本条给出了特殊气候环境的浇筑可采取的技术措施。

1 降低拌和物原料入机温度,以降低用量较多的骨料、水等的人机温度,效果显著。合理减少浇筑层厚度,利于散热,但同时

要保湿。各种措施都是为了减少激烈水合热积聚和减少环境热量吸收,综合取舍,效果更好。

2 因为某些富含结晶水的骨料,温度到 100°C 就开始失去部分结晶水,对中子防护能力有所降低,因而原料加热采用非激烈的方式。所谓改善局部条件是指蒸汽局部加热,局部缓释喷散入覆盖物层以下,加湿加温,有类似施工的实例可以借鉴。

3 善后工作是指覆盖已经浇筑的半成品、施工缝处理等。

5.5 预埋件与施工缝

5.5.1、5.5.2 这两条对预埋和预留的内容提出了原则性要求。穿过屏蔽体的空洞,各种预埋件要符合设计要求。需要特别注意的是,屏蔽体内的预留和预埋不同于一般混凝土结构,骨料密度大,硬度也较一般骨料高,如果出现质量问题,修补是极其困难的。

5.5.3 屏蔽混凝土的预留孔洞、穿墙管线和施工缝是防辐射薄弱环节,施工缝采用凹凸接缝可缓解防护薄弱的影响程度。相近配合比的砂浆是指按选用的配合比除去粗骨料后制作的砂浆。

6 设备安装与调试

6.1 一般规定

6.1.1 设计文件是设备安装施工的基本依据之一,未经确认的设计文件或设计文件不齐全,会给工程质量带来隐患;设计文件修改是一个十分重要的事情,应按程序进行。

6.1.2 工程设计交底和设计文件会审是使有关人员了解设计意图、熟悉图纸、完善设计文件的有效途径,技术交底是使施工人员了解和掌握工程概况和工程特点,施工中执行的标准、规范、规程,施工工艺与方法,施工技术措施,工程进度计划,施工质量控制计划,安全措施等。

6.1.3 分清设备、部件及材料的质量责任,这有利于对检查出的问题尽快协商解决,有利于施工顺利进行。

6.1.4 预埋件、预留孔一旦造成返工,会对混凝土的完整性、致密性造成破坏。安装人员参与相应施工,能有效避免返工事故的发生。

6.1.5 隐蔽工程关系到整个工程的质量,若存在问题,一旦隐蔽很难发现,会造成工程质量隐患。

6.1.6 设备安装工程所使用的计量器具应在周检期内,否则不能保证安装工程的质量。

本章对电子辐射工程设备安装和调试的常规内容作了规定,不表示每一项该类工程都应具备这些内容。某项工程的设备安装与调试内容由该工程的工程规划和工程设计给出。

6.2 设备安装

6.2.1 束流设备和束流应用设备种类繁多,安装方法与要求各

异,安装方法、要求与质量应符合设备供应商提供的技术条件的相关要求。

6.2.2~6.2.7 管道、供电、通风、给水排水、火灾自动报警和自动喷水灭火工程等均有现行的国家标准可依,施工及验收均按现行的国家标准执行是可行的。

6.3 安全联锁与控制

6.3.1 设计根据防护安全要求、设备性能、工作环境等条件选定了防护安全设备,对照设计文件核对设备,并按照设计要素完成安装,以符合设计要求。

6.3.2 需要辐射检测的位置、覆盖区域由设计确定,不得随意更改。

6.3.3 本条规定了探测器安装应满足的要求。

1 探测器的种类繁多,根据探测器的类型、所需要的环境及探测特点,按《安装手册》安装探测器。

3 门窗,运动的机械,冷、热源等易造成探测器误报,壁挂式探测器应朝向室内,避免正对门窗安装,吸顶式探测器安装时应尽量远离门窗,防止探测视区跑到室外。

6.3.4 本条规定了摄像机安装应满足的要求。

1 当设计技术文件对安装高度无要求时,方可按本规范限制的高度安装。

2 在强电磁场干扰的环境中,会影响拍摄图像的质量,所以对摄像机应采取绝缘隔离措施。

3 信号线与电源线应分别引入,因为电源线会产生磁场,影响信号线的传输质量;摄像机引出线应有足够长度,以免影响摄像机转动与摆动而损坏线路或损坏摄像机部件。

6.3.5 本条规定了解码器安装应满足的要求。

1 解码器安装在云台附近,接线距离最短,可减少控制信号的衰减,便于维护与维修,并应遵从《安装手册》的要求。

2 解码器种类繁多,形式各异,内置、外置各不相同,应按产品技术文件要求确定解码器的电压、设置地址、波特率、工作协议,安装前画出与其他设备的连线图,正确接线;避免反复拆卸、安装,减少设备损坏的概率。

6.3.6~6.3.8 对防护安全的出入口控制设备、访客对讲设备、巡查设备安装提出了要求,以便实现设计意图。保证各类出入口的防范功能、访客接待功能、电子巡查功能的实现。

6.3.9 本条规定了控制台、机(柜)架、箱安装应满足的要求。

1 控制台、机(柜)架、箱的安装位置应由设计确定,但距离既不要太近,又不要太远,太近不方便进线与维护,同时影响通风;太远不美观,还会形成人行通道,干扰传输线的正常工作。

2 改造、维修可能要移动台、机(柜)架、箱等,因此,不应用焊接的方法固定,用普通螺栓固定容易生锈,拆卸时宜造成部件的破坏或损伤。

3 监视器(屏幕)在直射阳光下操作,不仅影响操作人员的视力,使操作人员疲劳,而且容易造成误读、误判,使操作出现错误,影响装置的正常运行。

4 为了保证台、机(柜)、箱安装质量和美观,防止安装过程中的变形,成排的台、机(柜)、箱是指同一制造厂、同一规格的台、机(柜)、箱,不是同一制造厂或同一规格的台、机(柜)、箱,虽安装在一起,按单独台、机(柜)、箱安装质量要求处理。

5 在台、机(柜)、箱上进行火焰切割或焊接会造成变形和油漆破坏,同时也会对部件或线路造成破坏,因修理、改造等原因必须要在台、机(柜)、箱上加工时,可采用手工或其他轻便机械加工。

6.4 调 试

6.4.1 经验证明,系统在安装施工过程中难免发生设计变更,变更资料也可能发生丢失,造成实际工程与文件资料不符,给系统调试带来困难,延长了调试时间,因此本条明确规定了系统在调试

前,应先收集、整理安装施工过程形成的交工技术文件和施工技术文件,按设备安装和布线的实际状况,整理出设备平面布置图、走线图,以利于防护安全系统的调试。

6.4.2 系统调试是一项专业技术性很强的工作,需要进行多方面的协调和处理,因此本条规定,调试前应编制系统调试大纲和分系统调试细则,其调试责任人由项目责任人或相当工程师资格的专业技术人员担任,以保证调试工作的顺利进行。

6.4.3 本条规定了调试前的检查应满足的要求。

1 根据质量管理与质量控制的要求,下道工序应对上道工序实施互检,最后进行专检,通过逐项检查安装施工质量,发现安装施工中存在的问题,并予以解决,可以避免事故,保证调试工作的顺利进行。

2 调试前对系统的设备进行检查,逐一核对设备的位置、规格、型号、数量及要求等,纠正设备安装、接线等错误,防止调试事故的发生。

3 由于接线错误造成严重事故的事例很多,设备通电前进行一次设备电压、极性、相位的检查是很有必要的,可避免调试事故。

4 为避免单机工作不正常而影响系统调试工作的顺利进行,所有的设备应按产品说明书要求,单机通电正常后,方可接入系统。

6.4.4 按束流设备、束流应用设备的产品标准、安装/使用说明书、工程设计文件和相关标准要求,对各项功能和技术指标及控制系统进行调试,应满足设计要求。

6.4.6 按标准和设计要求,控制区内和货物出口处安装的固定式辐射监测仪与出入口门或束流应用设备有联锁功能,保证在辐射水平异常的情况下,保护工作人员及公众的安全。

6.4.7 告知工作人员及周围公众束流装置处于何种状态,开机前通过声光警示,告知工作人员及周围公众应及时撤离,束流装置和束流应用装置正常工作后,警示过往人员束流装置在工作,防止人

员误入而造成辐射事故。

6.4.8 按相关标准的规定和设计要求,束流装置在准备开机或开机状态下,误留在辐射区的人员可以随时通过安装在辐射区内的紧急开门按钮,打开辐射区通道门,实施自救,防止辐射事故的发生或减少辐射事故的严重程度。

6.4.9 按相关标准的规定和设计要求,束流装置在准备开机或开机下,有人误入时,声光报警装置应启动报警,警示误入人员束流装置所处的状态,为防止辐射事故的进一步发展,束流装置应停机。

6.4.10 按相关标准和设计要求,束流装置在准备开机状态下,误留在辐射区的人员察觉到准备开机的声光警示后,可迅速拉动紧急止动的拉线开关,束流装置应不能开机,如果束流装置已处于开机状态或工作状态,则束流装置将自动停机,防止或终止电子辐射事故的发生和发展。

6.4.11 按相关标准和设计要求,处于工作状态的束流装置,当按动控制台上的紧急止动按钮后,束流装置应停机,实现在任何突发情况下,都能终止束流装置的工作,以便保护装置及人员。

6.4.12 为防止人员经被辐射物通道误入辐射区而制定本条规定。

6.4.13 按相关标准的规定,为了防止工作场所臭氧及氮氧化物气体超标,在束流装置工作期间及停机后规定的时间内,通风系统应正常工作,达到设计要求的补风量与排风量,保证工作场所有害气体浓度不超标。

6.4.14 按相关的规定,束流装置开机前,操作人员必须进入辐射区内完整检查一周以确认无人滞留,在检查的过程中,依次按动安全检查按钮后,束流装置方能开机。在依次按动安全检查按钮的过程中,如防护安全设施被触动,证明有不安全的情况发生,应确认与排除不安全情况。

6.4.15 在火灾情况下,除能实现火灾自动报警和灭火装置自动

启动外,控制台应有声光报警警示,束流装置和通风系统应停止工作,以利于控制火势,调动人力、物力进入火灾现场灭火。

6.4.16 按相关标准的规定和设计要求,调试和检查各路视频监控系统,使摄像机监视范围、图像清晰度、切换与控制、字符叠加、现实与记录回放及联动功能等正常,符合设计要求。

6.4.17 按相关标准要求、设计技术文件和产品使用说明书的规定,检查与调试出入口控制系统识别装置及执行机构工作的有效性和可靠性,检查与调试系统的开门、关门、提示、记忆、统计、打印等处理功能,应准确无误。

6.4.18 按相关标准及设计技术文件要求,检查与调试选呼、通话、电控开锁、紧急呼叫等功能,应符合设计文件要求。

对具有报警功能的复合型对讲系统,还应检查与调试安装的探测器、各种前端设备的警戒功能;并检查布防、撤防及报警信号畅通等功能,使其符合设计技术文件要求。

6.4.19 按预先设定的巡查路线,检查与调试正确记录操作人员巡查活动(时间、路线、班次)等状态,对在线式电子巡查系统,检查与调试当发生意外情况时的即时报警功能。

6.4.20 保护接地检查是防护安全设施的一个重要组成部分,由于我国幅员辽阔,各地气候环境、雷电环境、地质土壤环境等因素差异较大,因此防雷与接地施工的难度也各不相同,但必须保证有可能带危险电压的用电设备的外壳及系统可靠接地,并保证接地系统的电阻值符合设计要求,达不到规定值时应采取措施。

7 检测与验收

7.1 一般规定

7.1.1 根据检测的一般规定,检测仪器仪表、量具的精度等级应当高于被检参数误差精度等级,且在精度检定期内,未经检定或超过检定期限的,检测仪器仪表、量具其精度等级无法保证,采用这些检测仪器仪表、量具难以保证检测结论的正确性。

7.1.2 剂量率的检测是环境影响检测的主要内容,按照环保相关规定,仪器仪表的选用,其型号、规格和精度要求要得到相关部门的认可。

7.2 屏蔽混凝土

7.2.1 电子辐射工程的建设(施工)内容,除涵盖一般工业项目共有的专业内容外,具有与其他项目不同的特性内容,对这些内容本规范已经作了规定。与现行标准已经规范的施工,如建筑物、构筑物、公用工程等,设计文件一般指定了相应的检验验收标准,按照工程设计文件指明的标准进行检验验收是可行的。

7.2.3 屏蔽混凝土选用的材料种类较多,根据材料的实验报告和计算书认定该材料的材质和性能指标可以满足工程需要。特别重要或对实验报告和计算有疑问时,可以补做检测,其检测根据材料技术条件的规定进行。

7.2.5 当材料、配合比发生变化时,混凝土的密度指标会随之改变。预计能引起密度指标不合格的改变,应做检测。检测采用强度检测试块,能够满足检测需求。

7.2.6 原子量小的元素对中子衰减能力较强,屏蔽中子的混凝土要求氢元素(或含水量)、硼元素、锂元素含量达到某一数值。这些

检测不属于精密检测,根据配合比计算相关材料的百分比含量,再根据材料实验报告中某元素的含量,就可以获得精度上满足工程质量判定的数值。

氢元素(或含水量)的检测,计入粗骨料的含水量再计入水泥石的含水量是合理的。水泥石中含有水泥的水合反应物、细骨料、掺和料、湿存水等。合理选取不同代表点凿取试样,按照矿物含水量的检测方法,一般实验室都可以完成。有多项建材、矿物检测标准可以采用,本规范不作限定。

7.2.7 骨料分布均匀性目前尚无检测标准,本规范考虑到工程实际,结合施工实际中发生的实例,提出了定性检测方法。射线检测方法适用于整体工程,考虑到可操作性,在屏蔽混凝土施工阶段本规范不予以采纳。

7.2.8 当工程设计对屏蔽混凝土有其他特殊指标要求时,可在相应表格中对检测项目做加减。

7.3 束流设备和束流应用设备

7.3.1 现行国家标准《辐射加工用电子加速器工程通用规范》GB/T 25306 规定的检测原理和方法适用于绝大多数电子加速器。按现行国家标准《辐射加工用电子加速器工程通用规范》GB/T 25306 规定的检测原理和方法完成检测,根据检测结果,判定设备是否符合该设备技术条件的规定,做出验收结论是合理和可行的。

7.3.2 束流设备和束流应用设备的辅助设备种类繁多,按照相应的设计文件和辅助设备的技术条件检查和验收是可行的,也是合理的。

7.4 安全联锁与控制

7.4.1 安全联锁的逻辑功能由计算机控制,是工程设计的一般做法。协议文件可靠,各控制协调是一般做法,这些可通过技术文件

和现场的检查作出判断。计算机防火墙和操作权限的检查,也可以通过技术文件和现场检查作出判断。

7.4.2 电子辐射工程安全联锁逻辑关系及其控制,不同工程存在较大差异,按照束流设备和束流控制设备的技术条件与电气仪表工程设计的内容,逐一检测是通用做法。模拟各种状态,必要时在控制回路上输入模拟量,在连续五次检测中,动作正常,可以认为控制正常。

7.4.3 不同工程紧急停机开关的设计各不相同,但是紧急停机开关操作便捷、可靠是共性要求的,因而检测规定:开关型号(式)、位置、数量要符合设计要求,操作应便捷;在连续五次检测中,停机动作无误,可以认为达到了验收条件。

7.4.4 设置的警示设施,位置和数量是否符合设计要求;各警示标志是否醒目、安放是否端正稳固,各警示灯开启和关闭条件是否正确、对应的灯光颜色是否符合设计要求;开机准备警示铃,其声音(语音)、延续时间是否符合设计要求,这些用直观检查法完全可以作出质量和验收判断。

7.4.5 设计配置的剂量检测仪器、仪表,其数量、型号、规格及装放等内容是安全保障的基础,这些用直观检查法可以作出判断。

7.4.6 检查控制室内的各遥测遥感回路系统,采用模拟各种条件的方法是合理和现实的。某些检查适宜结合试车完成。不宜硬性作出规定。

7.5 环境影响

7.5.1 环境辐射检测,监测点的确定应当由防护专业的技术人员确认,按照国家和行业部门的规定进行,由于工程差异较大,应结合具体情况设定。重要的不仅是数据是否超标,而且是对测试数据的分析计算,预先计算工作人员或相关公众常规状态接受剂量的数值,指导工作人员和公众与电子辐射工程无害化相处。

7.5.2 电子辐射工程废气排放主要是排出气体中含有臭氧和氮氧

化物。大功率、连续运行的装置,废气排放量较大,对局部环境有显著影响。某些间断性工作的工程,废气排放量较小,也可不做重点关注。某些辐射能量较高的装置,排出的气体中可能含有放射性气体或尘埃,需要按照国家规定的检测方法检测排除气流放射性的剂量率,并作出环境评估。低气压的极端情况,废气不易扩散稀释,局部影响恶化。因而,在低气象条件(或结合一般气象条件利用比对、差分计算)检测可以获得工程对环境的极端影响,指导相关人员做适合性应对。

7.5.3 某些电子辐射工程因工艺需求配置冷却水系统,对冷却水的可能性活化要作出检测和判断。有少许洗涤废水或带有活化可能的,在界区内定点汇集渗入地下排放时,局部对环境的不利影响应当作出评估。废液指设备更换的润滑油,应作放射性评估。造成人员放射性剂量不当增加的要予以解决。

7.5.4 运行中产生的固体废弃物主要指装置更换下来的某些部件、零件和水处理装置中更换下来的离子交换树脂等,对这些有可能带有放射性的固体废弃物做检测,有利于无害化存放和处置。

7.6 工程验收

7.6.1 本条规定了电子辐射工程达到验收条件和要求时,应及时组织验收,其含义包括了工程的专项验收和整体工程的验收。专项验收包括房屋建筑工程的专项验收、建筑工程的消防验收等,这些验收的组织按照监管部门的规定和要求完成。

7.6.2 在工程验收中,环境影响的专业验收占据重要的地位,其内容在现行行业标准《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书(表)的内容和格式》HJ/T 10.1 中有详细的规定,按照这些规定完成验收是核技术应用项目必须要进行的专项验收,因而单独列条规定。