

附：

《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325-2001 修订

“征求意见稿”

2009.7.28.

目次

1 总则

2 术语

3 材料

3.1 无机非金属建筑主体材料和装修材料

3.2 人造木板及饰面人造木板

3.3 涂料

3.4 胶粘剂

3.5 水性处理剂

3.6 其它材料

4 工程勘察设计

4.1 一般规定

4.2 工程地点土壤中氡浓度调查及防氡

4.3 材料选择

5 工程施工

5.1 一般规定

5.2 材料进场检验

5.3 施工要求

6 验收

附录 A 材料表面氡析出率测定

A.1 仪器直接测定建筑材料表面氡析出率

A.2 活性炭盒法测定建筑材料表面氡析出率

附录 B 环境测试舱法测定材料中游离甲醛释放量

附录 C 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯含量测定

C.1 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中挥发性有机化合物(VOC)含量测定

C.2 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中苯、甲苯+二甲苯含量测定

附录 D 新建住宅建筑设计与施工中氡控制要求

D.1 氡控制技术措施分类

D.2 设计标准

D.3 概要设计

D.4 建筑构造与措施

附录 E 土壤中氡浓度及土壤表面氡析出率测定

E.1 土壤中氡浓度测定

E.2 土壤表面氡析出率测定

E.3 城市区域性土壤氡水平调查方法

附录 F 室内空气中苯的测定

附录 G 室内空气中总挥发性有机化合物(TVOC)的测定

1 总则

1.0.1 为了预防和控制民用建筑工程中建筑材料和装修材料产生的室内环境污染，保障公众健康，维护公共利益，做到技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、扩建和改建的民用建筑工程室内环境污染控制，不适用于工业建筑工程、仓储性建筑工程、构筑物和有特殊净化卫生要求的房间。

注：本规范所称室内环境污染系指由建筑材料和装修材料产生的室内环境污染。民用建筑工程交付使用后，非建筑装饰材料产生的室内环境污染，不属于本规范控制范围。

1.0.3 本规范控制的室内环境污染物有氡(Rn-222)、甲醛、氨、苯和总挥发性有机化合物(TVOC)。

1.0.4 民用建筑工程根据控制室内环境污染的不同要求，划分为以下两类：

1 I类民用建筑工程：住宅、医院、老年建筑、幼儿园、学校教室等民用建筑工程；

2 II类民用建筑工程：办公楼、商店、旅馆、文化娱乐场所、书店、图书馆、展览馆、体育馆、公共交通等候室、餐厅、理发店等民用建筑工程。

1.0.5 民用建筑工程所选用的建筑材料和装修材料必须符合本规范的规定。

1.0.6 民用建筑工程室内环境污染控制除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行的有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 民用建筑工程 civil building engineering

本规范所指民用建筑工程是新建、扩建和改建的民用建筑结构工程和装修工程的统称。

2.0.2 环境测试舱 environmental test chamber

模拟室内环境测试建筑材料和装修材料的污染物释放量的设备。

2.0.3 土壤表面氡析出率 radon exhalation rate from soil surface

单位面积(m²)上、单位时间(s)内土壤表面析出的氡的放射性活度(Bq)。

2.0.4 内照射指数(I_{Ra}) internal exposure index

建筑材料中天然放射性核素镭-226的放射性比活度，除以比活度限量值200而得的商。

$$I_{Ra} = \frac{C_{Ra}}{200} \quad (2.0.4)$$

2.0.5 外照射指数(I_{γ}) external exposure index

建筑材料中天然放射性核素镭-226、钍-232 和钾-40 的放射性比活度，分别除以比活度限量值 370、260、4200 而得的高之和。

$$I_{\gamma} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200} \quad (2.0.5)$$

式中 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分别为建筑材料中天然放射性核素镭-226、钍-232 和钾-40 的放射性比活度，贝可/千克(Bq/kg)。

2.0.6 氡浓度 radon consistence

实际测量的单位体积空气中氡的放射性活度，单位：Bq/m³。

2.0.7 人造木板 wood-based panels

以植物纤维为原料，经机械加工分离成各种形状的单元材料，再经组合并加入胶粘剂压制而成的板材，包括胶合板、纤维板、刨花板等。

2.0.8 饰面人造木板 decorated wood-based panels

以人造木板为基材，经涂饰或复合装饰材料面层后的板材。

2.0.9 水性涂料 water-based coatings

以水为稀释剂的涂料。

2.0.10 水性胶粘剂 water-based adhesives

以水为稀释剂的胶粘剂。

2.0.11 水性处理剂 water-based treatment agents

以水作为稀释剂，能浸入建筑材料和装修材料内部，提高其阻燃、防水、防腐等性能的液体。

2.0.12 溶剂型涂料 solvent-thinned coatings

以有机溶剂作为稀释剂的涂料。

2.0.13 溶剂型胶粘剂 solvent-thinned adhesives

以有机溶剂作为稀释剂的胶粘剂。

2.0.14 游离甲醛释放量 content of released formaldehyde

在环境测试舱法或干燥器法的测试条件下，材料释放游离甲醛的量。

2.0.15 游离甲醛含量 content of free formaldehyde

在穿孔法的测试条件下，材料单位质量中含有游离甲醛的量。

2.0.16 新风量 fresh air requirement

单位时间内引入空气调节房间或系统的新鲜空气量。

2.0.17 新风系统 central ventilation system; primary air system

为满足卫生要求而向各空气调节房间供应经过集中处理的室外空气的系统。

2.0.18 总挥发性有机化合物 (TVOC) total volatile organic compounds

在本规范规定的检测条件下，所测得空气中保留时间在正己烷和正十六烷之间且包括它们在内的所有已知和未知挥发性有机化合物的总量。

2.0.19 挥发性有机化合物 (VOC) volatile organic compound

在本规范规定的检测条件下，所测得材料中挥发性有机化合物的总量。

3 材料

3.1 无机非金属建筑主体材料和装修材料

3.1.1 民用建筑工程所使用的砂、石、砖、水泥、商品混凝土、混凝土预制构件和新型墙体材料等无机非金属建筑主体材料，其放射性限量应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 无机非金属建筑主体材料放射性限量

测定项目	限量
内照射指数(I_{Ra})	≤ 1.0
外照射指数(I_{γ})	≤ 1.0

3.1.2 民用建筑工程所使用的无机非金属装修材料，包括石材、建筑卫生陶瓷、石膏板、吊顶材料、无机瓷质砖粘接剂等，进行分类时，其放射性限量应符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 无机非金属装修材料放射性限量

测定项目	限量	
	A	B
内照射指数(I_{Ra})	≤ 1.0	≤ 1.3
外照射指数(I_{γ})	≤ 1.3	≤ 1.9

3.1.3 空心率(孔隙率)大于 25%的建筑材料，包括空心砖、空心砌块、加气混凝土等，其放射性限量应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 空心率(孔隙率)大于 25%的建筑材料放射性限量

测定项目	限量
表面氡析出率 ($Bq/m^2 \cdot S$)	≤ 0.015
内照射指数(I_{Ra})	≤ 1.0
外照射指数(I_{γ})	≤ 1.3

3.1.4 建筑主体材料和装修材料放射性核素的检测方法应符合现行国家标准《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定，表面氡析出率的检测方法应按本规范附录 A 的方法进行。

3.2 人造木板及饰面人造木板

3.2.1 民用建筑工程室内用人造木板及饰面人造木板，必须测定游离甲醛含量或游离甲醛释放量。

3.2.2 人造木板及饰面人造木板，应根据游离甲醛含量或游离甲醛释放量限量划分为 E_1 类和 E_2 类。

3.2.3 当采用环境测试舱法测定游离甲醛释放量，并依此对人造木板进行分类时，其限量应符合表 3.2.3 的规定。

表 3.2.3 环境测试舱法测定游离甲醛释放量限量

类别	限量(mg/m^3)
E_1	≤ 0.12

3.2.4 当采用穿孔法测定游离甲醛含量，并依此对人造木板进行分类时，其限量应符合表 3.2.4 的规定。

表 3.2.4 穿孔法测定游离甲醛含量分类限量

类别	限量(mg/100g, 干材料)
E ₁	≤9.0
E ₂	>9.0, ≤30.0

3.2.5 当采用干燥器法测定游离甲醛释放量, 并依此对人造木板进行分类时, 其限量应符合表 3.2.5 的规定。

表 3.2.5 干燥器法测定游离甲醛释放量分类限量

类别	限量(mg/L)
E ₁	≤1.5
E ₂	>1.5, ≤5.0

3.2.6 饰面人造木板可采用环境测试舱法或干燥器法测定游离甲醛释放量, 当发生争议时应以环境测试舱法的测定结果为准; 胶合板、细木工板宜采用干燥器法测定游离甲醛释放量; 刨花板、中密度纤维板等宜采用穿孔法测定游离甲醛含量。

3.2.7 环境测试舱法测定游离甲醛释放量, 宜按本规范附录 B 进行。

3.2.8 使用穿孔法及干燥器法时, 应符合国家标准《室内装饰装修材料 人造板及其制品中甲醛释放限量》GB 18580—2001 的规定。

3.3 涂料

3.3.1 民用建筑工程室内用水性墙面涂料和水性墙面腻子, 应测定游离甲醛的含量, 其限量应符合表 3.3.1 的规定。

表 3.3.1 室内用水性墙面涂料和水性墙面腻子中挥发性有机化合物 (VOC) 和游离甲醛限量

测定项目	限量	
	水性墙面涂料	水性墙面腻子
VOC	≤120g/L	≤15g/kg
游离甲醛(mg/kg)	≤100	

3.3.2 民用建筑工程室内用溶剂型涂料, 应按其规定的最大稀释比例混合后, 测定挥发性有机化合物 (VOC) 和苯、甲苯+二甲苯的含量, 其限量应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 室内用溶剂型涂料和木器用溶剂型腻子中挥发性有机化合物 (VOC)、苯、甲苯+二甲苯限量

涂料名称	VOC (g/L)	苯(%)	甲苯+二甲苯(%)
醇酸类涂料	≤500	≤0.3	≤5
硝基类涂料	≤720	≤0.3	≤30
聚氨酯类涂料	≤670	≤0.3	≤30
酚醛防锈漆	≤270	≤0.3	----

其他溶剂型涂料	≤600	≤0.3	≤30
木器用溶剂型腻子	≤550	≤0.3	≤30

3.3.3 聚氨酯漆测定固化剂中游离甲苯二异氰酸酯(TDI)的含量后, 应按其规定的最小稀释比例计算出聚氨酯漆中游离甲苯二异氰酸酯(TDI)含量, 且不应大于 4g/kg。测定方法应符合现行国家标准《气相色谱测定氨基甲酸酯预聚物和涂料溶液中未反应的甲苯二异氰酸酯(TDI)单体》GB/T18446 的规定。

3.3.4 水性墙面涂料和水性墙面腻子中挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛含量的测定方法, 宜按国家标准《室内装饰装修材料 内墙涂料中有害物质限量》GB 18582-2008 的方法进行。

3.3.5 溶剂型涂料中挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯含量测定方法, 宜按本规范附录 C 进行。

3.4 胶 粘 剂

3.4.1 民用建筑工程室内用水性胶粘剂, 应测定其挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛的含量, 其限量应符合表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1 室内用水性胶粘剂中挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛限量

测定项目	限量			
	聚乙酸乙烯酯胶 粘剂	橡胶类胶粘剂	聚氨酯类 胶粘剂	其他 胶粘剂
挥发性有机化合物(VOC)(g/L)	≤110	≤250	≤100	≤350
游离甲醛(g/kg)	≤1.0	≤1.0	----	≤1.0

3.4.2 民用建筑工程室内用溶剂型胶粘剂, 应测定其挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯的含量, 其限量应符合表 3.4.2 的规定。

表 3.4.2 室内用溶剂型胶粘剂中挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯限量

项 目	限 量			
	氯丁橡胶胶粘剂	SBS 胶粘剂	聚氨酯类胶粘剂	其他胶粘剂
游离甲醛(g/kg)	≤0.50		----	----
苯(g/kg)		≤5.0		
甲苯+二甲苯(g/kg)	≤200	≤150	≤150	≤150
挥发性有机物(g/L)	≤700	≤650	≤700	≤700

3.4.3 聚氨酯胶粘剂应测定游离甲苯二异氰酸酯(TDI)的含量, 并按产品推荐的最大稀释量计算不应大于 10g/kg, 测定方法可按国家标准《室内装饰装修材料 胶粘剂中有害物质限量》GB18583-2008 附录 D 的方法进行。

3.4.4 水性胶粘剂中游离甲醛、挥发性有机化合物(VOC)含量的测定方法, 宜按国家标准《室内装饰装修材料 胶粘剂中有害物质限量》GB 18583-2008 附录 C 的方法进行。

3.4.5 溶剂型胶粘剂中挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯含量测定方法, 宜按本规范附录 C 进行。

3.5 水性处理剂

3.5.1 民用建筑工程室内用水性阻燃剂(包括防火涂料)、防水剂、防腐剂等水性处理剂,应测定游离甲醛的含量,其限量应符合表 3.5.1 的规定。

表 3.5.1 室内用水性处理剂中挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛限量

测定项目	限量
VOC(g/L)	≤120
游离甲醛(mg/kg)	≤200

3.5.2 水性处理剂中挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛含量的测定方法,宜按国家标准《室内装饰装修材料 内墙涂料中有害物质限量》GB 18582-2008 的方法进行。

3.6 其它材料

3.6.1 民用建筑工程中所使用的能释放氨的阻燃剂、混凝土外加剂,氨的释放量不应大于 0.10%,测定方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂中释放氨的限量》GB 18588 的规定。

能释放甲醛的混凝土外加剂,其游离甲醛含量不应大于 500mg/kg,测定方法应符合国家标准《室内装饰装修材料 内墙涂料中有害物质限量》GB 18582-2008 附录 C 的规定。

3.6.2 民用建筑工程中使用的粘合木结构材料,游离甲醛释放量不应大于 0.12mg/m³,其测定方法应符合本规范附录 B 的规定。

3.6.3 民用建筑工程室内装修时,所使用的壁布、帷幕等游离甲醛释放量不应大于 0.12mg/m³,其测定方法应符合本规范附录 B 的规定。

3.6.4 民用建筑工程室内用壁纸中甲醛含量不应大于 120mg/kg,测定方法应符合国家标准《室内装饰装修材料 壁纸中有害物质限量》GB18585-2001 的规定。

3.6.5 民用建筑工程室内用聚氯乙烯卷材地板中挥发物含量测定方法应符合国家标准《室内装饰装修材料 聚氯乙烯卷材地板中有害物质限量》GB18586-2001 的规定,其限量应符合表 3.6.5 的规定。

表 3.6.5 聚氯乙烯卷材地板中挥发物限量

名称		限量 (g/m ²)
发泡类卷材地板	玻璃纤维基材	≤75
	其他基材	≤35
非发泡类卷材地板	玻璃纤维基材	≤40
	其他基材	≤10

3.6.6 民用建筑工程室内用地毯、地毯衬垫及地毯胶粘剂中总挥发性有机化合物(TVOC)和游离甲醛的释放量测定方法应符合国家标准《室内装饰装修材料地毯、地毯衬垫及地毯胶粘剂中有害物质释放限量》GB18587-2001 的规定,其限量应符合表 3.6.6 的规定。

表 3.6.6 地毯、地毯衬垫及地毯胶粘剂中有害物质释放限量

名称	有害物质项目	限量 (mg/m ³ h)	
		A 级	B 级
地毯	挥发性有机化合物(VOC)	≤0.500	≤0.600

	甲醛	≤0.050	≤0.050
地毯衬垫	挥发性有机化合物 (VOC)	≤1.000	≤1.200
	甲醛	≤0.050	≤0.050
地毯胶粘剂	挥发性有机化合物 (VOC)	≤10.000	≤12.000
	甲醛	≤0.050	≤0.050

4 工程勘察设计

4.1 一般规定

4.1.1 新建、扩建的民用建筑工程设计前，应进行建筑工程所在城市区域土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率调查，并提交相应的调查报告。未进行过土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率区域测定的，应进行建筑场地土壤中氡浓度或土壤氡析出率测定，并提供相应的检测报告。

4.1.2 民用建筑工程设计必须根据建筑物的类型和用途，选用符合本规范规定的建筑材料和装修材料，并控制装修材料的使用量。

4.1.3 民用建筑工程的室内通风设计，应符合现行国家标准《民用建筑设计通则》GB50352的有关规定。对于采用中央空调的民用建筑工程，新风量应符合设计要求，并不小于表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 民用建筑主要房间的设计新风量

建筑类型	房间名称	新风量[m ³ /(h·p)]		
办公楼	办公室	30		
住宅	卧室、起居室	30		
旅游服务	5 星级	50		
	宾馆客房	4 星级	40	
		3 星级	30	
		一~三级	30	
	旅店客房	四级	20	
		5 星级	30	
		餐厅、宴会厅、多功能厅	4 星级	25
	3 星级		20	
	2 星级		15	
	大堂、四季厅	4~5 星级	10	
		商业、服务	4~5 星级	20
			2~3 星级	10
美容、理发、康乐设施		30		
饭馆（餐厅）		20		

文化娱乐	影剧院、音乐厅、录像厅		20
	游艺厅、舞厅（包括卡拉 OK 歌厅）		30
	酒吧、茶座、咖啡厅		10
	体育馆、商场（店）、书店		20
学校	小学		11
	教室	初中	14
		高中以上	17

4.1.4 采用自然通风的民用建筑工程，自然间的通风开口有效面积不应小于该房间地板面积的 1 / 20。夏热冬冷地区、寒冷地区、严寒地区等 I 类民用建筑工程需要长时间关闭门窗使用时，房间宜设置新风系统。

4.2 工程地点土壤中氡浓度调查及防氡

4.2.1 新建、扩建的民用建筑工程的工程地质勘察报告，应包括工程所在城市区域土壤氡浓度或土壤表面氡析出率测定历史资料及土壤氡浓度或土壤表面氡析出率平均值数据。

4.2.2 已进行过土壤中氡浓度或土壤表面氡析出率区域性测定的民用建筑工程，当土壤氡浓度测定结果平均值不大于 $10000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率测定结果平均值不大于 $0.02\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，且工程场地所在地点不存在地质断裂构造，可不再进行土壤氡浓度测定；其他情况均应进行工程场地土壤氡浓度或土壤表面氡析出率测定。

4.2.3 当民用建筑工程场地土壤氡浓度不大于 $20000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率不大于 $0.05\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，可不采取防氡工程措施。

4.2.4 当民用建筑工程场地土壤氡浓度测定结果大于 $20000\text{Bq}/\text{m}^3$ ，且小于 $30000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率大于 $0.05\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 且小于 $0.1\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，应采取建筑物底层地面抗开裂措施。

4.2.5 当民用建筑工程场地土壤氡浓度测定结果大于或等于 $30000\text{Bq}/\text{m}^3$ ，且小于 $50000\text{Bq}/\text{m}^3$ ，或土壤表面氡析出率大于或等于 $0.1\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 且小于 $0.3\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，除采取建筑物底层地面抗开裂措施外，还必须按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 中的一级防水要求，对基础进行处理。

4.2.6 当民用建筑工程场地土壤氡浓度大于或等于 $50000\text{Bq}/\text{m}^3$ 或土壤表面氡析出率平均值大于或等于 $0.3\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，除采取本规范 4.2.5 条防氡处理措施外，还应按照本规范附录 D 的有关要求，采取综合建筑构造防氡措施。

4.2.7 当 I 类民用建筑工程场地土壤中氡浓度大于或等于 $50000\text{Bq}/\text{m}^3$ ，或土壤表面氡析出率大于或等于 $0.3\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时，应进行工程场地土壤中的镭-226、钍-232、钾-40 比活度测定。当内照射指数 (I_{Ra}) 大于 1.0 或外照射指数 (I_v) 大于 1.3 时，工程场地土壤不得作为工程回填土使用。

4.2.8 民用建筑工程场地土壤中氡浓度测定方法及土壤表面氡析出率测定方法应按本规范附录 E 进行。

4.3 材料选择

4.3.1 民用建筑工程室内禁止使用含石棉建筑材料和国家颁布淘汰的建筑材料。

4.3.2 I 类民用建筑工程室内装修采用的无机非金属装修材料必须为 A 类。

4.3.3 II 类民用建筑工程宜采用 A 类无机非金属建筑材料和装修材料；当 A 类和 B 类无机非金属装修材料混合使用时，应按下式计算，确定每种材料的使用量：

$$\sum f_i \cdot I_{Rai} \leq 1 \quad (4.3.2-1)$$

$$\sum f_i \cdot I_{yi} \leq 1.3 \quad (4.3.2-2)$$

式中 f_i —第 i 种材料在材料总用量中所占的质量百分比(%)；

I_{Rai} —第 i 种材料的内照射指数；

I_{yi} —第 i 种材料的外照射指数。

4.3.4 I 类民用建筑工程的室内装修，必须采用 E₁ 类人造木板及饰面人造木板。

4.3.5 II 类民用建筑工程的室内装修，宜采用 E₁ 类人造木板及饰面人造木板；当采用 E₂ 类人造木板时，直接暴露于空气的部位应进行表面涂覆密封处理。

4.3.6 民用建筑工程的室内装修，所采用的涂料、胶粘剂、水性处理剂，其苯、甲苯和二甲苯、游离甲醛、游离甲苯二异氰酸酯(TDI)、挥发性有机化合物(VOC)的含量，应符合本规范的规定。

4.3.7 民用建筑工程室内装修时，不应采用聚乙烯醇水玻璃内墙涂料、聚乙烯醇缩甲醛内墙涂料和树脂以硝化纤维素为主、溶剂以二甲苯为主的水包油型(O/W)多彩内墙涂料。

4.3.8 民用建筑工程室内装修时，不应采用聚乙烯醇缩甲醛类胶粘剂。

4.3.9 民用建筑工程室内装修中所使用的木地板及其他木质材料，严禁采用沥青、煤焦油类防腐、防潮处理剂。

4.3.10 I 类民用建筑工程室内装修粘贴塑料地板时，不应采用溶剂型胶粘剂。

4.3.11 II 类民用建筑工程中地下室及不与室外直接自然通风的房间粘贴塑料地板时，不宜采用溶剂型胶粘剂。

4.3.12 民用建筑工程中，不应在室内采用脲醛树脂泡沫塑料作为保温、隔热和吸声材料。

5 工程施工

5.1 一般规定

5.1.1 施工单位应按设计要求及本规范的有关规定，对所用建筑材料和装修材料进行进场检验。

5.1.2 当建筑材料和装修材料进场检验，发现不符合设计要求及本规范的有关规定时，严禁使用。

5.1.3 施工单位应按设计要求及本规范的有关规定进行施工，不得擅自更改设计文件要求。当需要更改时，应经原设计单位同意。

5.1.4 民用建筑工程室内装修，当多次重复使用同一设计时，宜先做样板间，并对其室内环境污染物浓度进行检测。

5.1.5 样板间室内环境污染物浓度的检测方法，应符合本规范第 6 章的有关规定。当检测结果不符合本规范的规定时，应查找原因并采取相应措施进行处理。

5.2 材料进场检验

5.2.1 民用建筑工程中所采用的无机非金属建筑材料和装修材料必须有放射性指标检测报告，并应符合设计要求和本规范的规定。

- 5.2.2 民用建筑工程室内饰面采用的天然花岗石材或瓷质砖使用面积大于 200m² 时，应对不同产品、不同批次材料分别进行放射性指标的复验。
- 5.2.3 民用建筑工程室内装修中所采用的人造木板及饰面人造木板，必须有游离甲醛含量或游离甲醛释放量检测报告，并应符合设计要求和本规范的规定。
- 5.2.4 民用建筑工程室内装修中采用的人造木板或饰面人造木板面积大于 500m² 时，应对不同产品、不同批次材料的游离甲醛含量或游离甲醛释放量分别进行复验。
- 5.2.5 民用建筑工程室内装修中所采用的水性涂料、水性胶粘剂、水性处理剂必须有同批次产品的挥发性有机化合物(VOC)和游离甲醛含量检测报告；溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂必须有同批次产品的挥发性有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯、游离甲苯二异氰酸酯(TDI)(聚氨酯类)含量检测报告，并应符合设计要求和本规范的规定。
- 5.2.6 建筑材料和装修材料的检测项目不全或对检测结果有疑问时，必须将材料送有资格的检测机构进行检验，检验合格后方可使用。

5.3 施工要求

- 5.3.1 采取防氡设计措施的民用建筑工程，其地下工程的变形缝、施工缝、穿墙管(盒)、埋设件、预留孔洞等特殊部位的施工工艺，应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108的有关规定。
- 5.3.2 I类民用建筑工程当采用异地土作为回填土时，该回填土应进行镭-226、钍-232、钾-40的比活度测定。当内照射指数(I_{in})不大于1.0和外照射指数(I_r)不大于1.3时，方可使用。
- 5.3.3 民用建筑工程室内装修时，严禁使用苯、工业苯、石油苯、重质苯及混苯作为稀释剂和溶剂。
- 5.3.4 民用建筑工程室内装修施工时，不应使用苯、甲苯、二甲苯和汽油进行除油和清除旧油漆作业。
- 5.3.5 涂料、胶粘剂、水性处理剂、稀释剂和溶剂等使用后，应及时封闭存放，废料应及时清出室内。
- 5.3.6 严禁在民用建筑工程室内用有机溶剂清洗施工用具。
- 5.3.7 采暖地区的民用建筑工程，室内装修施工不宜在采暖期内进行。
- 5.3.8 民用建筑工程室内装修中，进行饰面人造木板拼接施工时，除芯板为E₁类外，应对其断面及无饰面部位进行密封处理。
- 5.3.9 壁纸(布)、地毯、装饰板、吊顶等施工时，应注意防潮，避免覆盖局部潮湿区域。空调冷凝水导排应符合现行国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》GB50019的有关规定。

6 验收

- 6.0.1 民用建筑工程及室内装修工程的室内环境质量验收，应在工程完工至少7d以后、工程交付使用前进行。
- 6.0.2 民用建筑工程及其室内装修工程验收时，应检查下列资料：
- 1 工程地质勘察报告、工程地点土壤中氡浓度或氡析出率检测报告、工程地点土壤天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40含量检测报告；
 - 2 涉及室内新风量的设计文件、施工文件及变更文件；
 - 3 涉及室内环境污染控制的施工图设计文件及工程设计变更文件；
 - 4 建筑材料和装修材料的污染物检测报告、材料进场检验记录、复验报告；
 - 5 与室内环境污染控制有关的隐蔽工程验收记录、施工记录；
 - 6 样板间室内环境污染物浓度检测报告(不做样板间的除外)。

6.0.3 民用建筑工程所用建筑材料和装修材料的类别、数量和施工工艺等，应符合设计要求和本规范的有关规定。

6.0.4 民用建筑工程验收时，必须进行室内环境污染物浓度检测，检测结果应符合表 6.0.4 的规定；

表 6.0.4 民用建筑工程室内环境污染物浓度限量

污染物	I 类民用建筑工程	II 类民用建筑工程
氡(Bq/m ³)	≤200	≤400
甲醛(mg/m ³)	≤0.08	≤0.12
苯(mg/m ³)	≤0.09	≤0.09
氨(mg/m ³)	≤0.2	≤0.5
TVOC(mg/m ³)	≤0.5	≤0.6

注：1 表中污染物浓度限量，除氡外均应以同步测定的室外空气相应值为空白值。

2 表中污染物浓度测量值的极限值判定，采用全数值比较法。

6.0.5 民用建筑工程验收时，采用集中中央空调的工程，应进行室内新风量的检测，测定方法应符合国家现行的有关标准规范的要求，检测结果应符合设计要求和表 4.1.3 的规定。

6.0.6 民用建筑工程室内空气中氡的检测，所选用方法的测量结果不确定度不应大于 25%(置信度 95%)，方法的探测下限不应大于 10 Bq/m³。

6.0.7 民用建筑工程室内空气中甲醛的检测方法，应符合国家标准《公共场所空气中甲醛测定方法》GB/T18204.26-2000 中酚试剂分光光度法的规定。

6.0.8 民用建筑工程室内空气中甲醛检测，也可采用现场检测方法，甲醛现场检测仪器应定期进行校准，测量结果在 0 mg/m³~0.60mg/m³ 测定范围内的不确定度应小于 25%。当发生争议时，应以国家标准《公共场所卫生标准检验方法》GB/T 18204.26-2000 中酚试剂分光光度法的测定结果为准。

6.0.9 民用建筑工程室内空气中苯的检测方法，应符合本规范附录 F 的规定。

6.0.10 民用建筑工程室内空气中氨的检测方法，应符合国家标准《公共场所空气中氨测定方法》GB/T18204.25-2000 中靛酚蓝分光光度法的规定。

6.0.11 民用建筑工程室内空气中总挥发性有机化合物(TVOC)的检测方法，应符合本规范附录 G 的规定。

6.0.12 民用建筑工程验收时，应抽检每个建筑单体有代表性的房间室内环境污染物浓度，氡、甲醛、氨、苯、TVOC 的抽检数量不得少于 5%，每个建筑单体不得少于 3 间（房间总数少于 3 间时，应全数检测）。

6.0.13 民用建筑工程验收时，凡进行了样板间室内环境污染物浓度检测且检测结果合格的，抽检数量减半，并不得少于 3 间。

6.0.14 民用建筑工程验收时，室内环境污染物浓度检测点数应按表 6.0.14 设置：

表 6.0.14 室内环境污染物浓度检测点数设置

检测内容	房间	检测点数(个)
氡、甲醛、氨、苯、TVOC	<50 m ²	1
	≥50 m ² 且 <100 m ²	2
	≥100 m ² 且 <500 m ²	不少于 3
	≥500 m ² 且 <1000 m ²	不少于 5

	$\geq 1000 \text{ m}^2$ 且 $< 3000 \text{ m}^2$	不少于 6
	$\geq 3000 \text{ m}^2$	每 3000 平方米不小于 9

6.0.15 当房间内有 2 个及以上检测点时，应采用对角线、斜线、梅花状均衡布点，并取各点检测结果的平均值作为该房间的检测值。

6.0.16 民用建筑工程验收时，环境污染物浓度现场检测点应距内墙面不小于 0.5m、距楼地面高度 0.8m~1.5m。检测点应均匀分布，避开通风道和通风口。

6.0.17 民用建筑工程室内环境中甲醛、苯、氨、总挥发性有机物(TVOC)浓度检测时，对采用集中空调的民用建筑工程，应在空调正常运转的条件下进行；对采用自然通风的民用建筑工程，检测应在对外门窗关闭 1h 后进行。

在对甲醛、氨、苯、TVOC 取样检测时，装饰装修工程中完成的固定式家具，应保持正常使用状态。

6.0.18 民用建筑工程室内环境中氡浓度检测时，对采用集中空调的民用建筑工程，应在空调正常运转的条件下进行；对采用自然通风的民用建筑工程，应在房间的对外门窗关闭 24h 以后进行。

6.0.19 当室内环境污染物浓度的全部检测结果符合本规范的规定时，可判定该工程室内环境质量合格。

6.0.20 当室内环境污染物浓度检测结果不符合本规范的规定时，应查找原因并采取措施进行处理。对采用自然通风的民用建筑工程，由于对外门窗密封导致室内环境中污染物浓度超标的，应加设新风系统改善室内通风。

采取措施进行处理后的工程，可对不合格项进行再次检测。再次检测时，抽检数量应增加 1 倍。并应包含同类型房间及原不合格房间。再次检测结果全部符合本规范的规定时，应判定为室内环境质量合格。

6.0.21 室内环境质量验收不合格的民用建筑工程，严禁投入使用。

附录 A 材料表面氡析出率测定

A.1 仪器直接测定建筑材料表面氡析出率

建筑材料表面氡析出率的测定仪器包括取样与测量两部分，工作原理分为被动收集型和主动抽气采集型两种。测量系统需满足以下技术要求：

10 小时连续测量探测下限： $\leq 0.001 \text{ Bq} / (\text{m}^2 \cdot \text{S})$ 。

不确定度： $\leq 20\%$ 。

仪器应在刻度有效期内。

A.1.1 被动收集型测定仪器表面氡析出率测定步骤

A.1.1.1 清理被测材料表面，除去表面覆盖杂物，将采气容器扣在平整表面上，使收集器端面与被测材料表面间密封（必要时可使用密封材料，如玻璃胶、橡皮泥等），防止漏气。

按仪器使用说明书进行仪器准备，就绪后开始测量，同时开始计时（t）。

测量时间根据氡析出率大小决定，一般在 6 小时以上。

A.1.1.2 测量结果

仪器显示的表面氡析出率数值乘以刻度系数后的结果，即为材料表面氡析出率测量值。

A.1.2 主动抽气采集型测定仪器表面氡析出率测定步骤

主动抽气采集型测定表面氡析出率可以采取两种方式：采用设有进出气孔的采气容器扣在平整表面上，使收集器端面与被测材料表面间密封，采集并测量容器内空气的氡浓度方式，或者将材料整体放在一个设有进出气孔的密闭容器内，采集并测量容器内空气的氡浓度方式。前者测定步骤如 A.1.1，后者测定步骤如下：

A.1.2.1 清理被测材料表面，除去覆盖杂物，测量被测物体的外形尺寸并计算出其体积和表面积。

A.1.2.2 盛装被测材料的测量容器（测试箱）准备就绪后，将被测材料放入，测试箱内风扇就位（保持空气混合均匀），箱体密封。

为了提高测量的准确度，在保证被测试件彼此分离的原则下，测试箱内尽可能多放置测试件（增加表面积，从而增加氡的析出量）。

样品测试前，连续 10h 测量测试箱内氡浓度本底（空白样品）。

A.1.2.3 按仪器使用说明书要求进行仪器准备，并将测量仪器的进出气口与测量箱的进出气口连接到位。

A.1.2.4 启动测试仪器和测试箱内风扇，测量开始，同时开始计时（t）。

测量时间根据氡析出率大小决定，一般在 6 小时以上。

测试过程中，保持测试箱体与箱盖之间密封，扣紧，压实。

测试期间，实验室房间温度稳定（ $\pm 1^\circ\text{C}$ ）；

A.1.2.5 结果计算

按照下式计算建筑材料试块的氡析出率 ϵ ：

$$\epsilon = [c \times v (1 - e^{-\lambda t})] \div (s \times t) \dots\dots\dots (1)$$

c ----测试箱内的氡浓度， Bq/m³；

v ----测试箱内净空气体积（箱容积扣除样品体积后）， m³；

s ----被测试件的表面积， m²；

t ----测量经历的有效时间， s；

λ ----Rn²²²的衰变常数（ $\lambda = 0.007553\text{h}^{-1}$ ，指数中的 t 以 h 计）；

A. 2 活性炭盒法测定建筑材料表面氡析出率

建筑材料表面氡析出率活性炭测量方法按《建筑物表面氡析出率的活性炭测量方法》（GB/T16143-1995）要求进行。

附录 B 环境测试舱法测定材料中游离甲醛释放量

B. 0. 1 环境测试舱的容积应为 1 m³~40m³。

B. 0. 2 环境测试舱的内壁材料应采用不锈钢、铝（磨光或抛光）、玻璃等惰性材料建造。

B. 0. 3 环境测试舱的运行条件应符合下列规定：

1 温度：23 \pm 1 $^\circ\text{C}$ ；

2 相对湿度：45% \pm 5%；

3 空气交换率：(1 \pm 0. 05) 次/h；

4 被测样品表面附近空气流速：0. 1 m/s~0. 3m/s；

5 被测样品表面积与环境测试舱容积之比为 1:1；

6 测定饰面人造木板等材料的游离甲醛释放量前，测试舱内洁净空气中甲醛含量不应大于 0. 006mg/m³；

B. 0. 4 测试应符合下列规定：

1 测定饰面人造木板时，除直接用整块材料进行测试外，用于测试的板材均应进行边沿密封处理；

2 应将被测材料垂直放在测试舱的中心位置，板材与板材之间距离不应小于 200mm，并与气流方向平行；

3 测试舱法采样测试游离甲醛释放量每天测试 1 次。当连续 2d 测试浓度下降不大于 5%时，可认为达到了平衡状态。以最后 2 次测试值的平均值作为材料游离甲醛释放量测定值；

4 如果测试第 28d 仍然达不到平衡状态,可结束测试,以第 28d 的测试结果作为游离甲醛释放量测定值。

B.0.5 采样方法:

空气取样和分析时,先将空气抽样系统与环境测试舱的空气出口相连。两个吸收瓶中各加入 25mL 蒸馏水,开动抽气泵,抽气速度控制在 2L/min 左右,每次至少抽取 100L 空气。

B.0.6 游离甲醛释放量测定——乙酰丙酮分光光度法:

1 所用仪器、试剂配制应符合《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》GB/T17657-1999 的规定;

2 空气抽样系统包括:抽样管、2 个 100mL 的吸收瓶、硅胶干燥器、气体抽样泵、气体流量计、气体计量表;

3 校准曲线和校准曲线斜率的确定,应符合《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》GB/T17657-1999 的规定;

4 测定:将 2 个吸收瓶中的吸收液分别移入 50.0mL 容量瓶中并定容,从容量瓶中各取 10.0mL 分别移入 50.0mL 具塞三角烧瓶中,再加入 10.0mL 乙酰丙酮溶液和 10.0mL 乙酸铵溶液,摇匀,上塞,然后分别放至 40℃的水浴中加热 15min,再将溶液静置暗处冷却至室温(约 1h)。用分光光度法在 412nm 处测定吸光度,同时做试剂空白;

5 计算:吸收液的吸光度测定值与空白值之差乘以校正曲线的斜率,再乘以吸收液的体积,即为每个吸收瓶中的甲醛量。2 个吸收瓶的甲醛量相加,即得甲醛的总量。甲醛总量除以抽取空气的体积,即得每立方米空气中的甲醛量,以 mg/m^3 表示。空气样品的体积应通过气体方程式校正到 23℃时的体积。

附录 C 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中挥发性

有机化合物(VOC)、苯、甲苯+二甲苯含量测定

C.1 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中挥发性

有机化合物(VOC)含量测定

C.1.1 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂应分别测定其挥发物的含量及密度,并计算挥发性有机化合物(VOC)的含量。

C.1.2 不挥发物的含量应按国家标准《色漆、清漆和塑料 不挥发物含量的测定》GB/T 1725-2007 的方法进行测定。

C.1.3 密度应按国家标准《色漆和清漆 密度的测定——比重瓶法》GB/T6750-2007 提供的方法进行测定。

C.1.4 样品中 VOC 的含量,应按下式计算:

$$C_{\text{VOC}} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \times \rho_s \times 1000 \quad (\text{D.1.4})$$

式中 C_{VOC} —样品中挥发性有机化合物含量(g/L);

ω_1 —样品质量(g);

ω_2 —不挥发物质量(g);

ρ_s —样品在 23℃的密度(g/mL)。

C.2 溶剂型涂料、溶剂型胶粘剂中苯、甲苯+二甲苯含量测定

C.2.1 仪器及设备

1 气相色谱仪——带氢火焰离子化检测器；

2 毛细管柱——长 30m~50m, 内径 0.32mm 或 0.53 mm 石英柱, 内涂覆二甲基聚硅氧烷, 膜厚 1 μm~5 μm, 柱操作条件为程序升温 50℃~250℃, 初始温度为 50℃, 保持 10min, 升温速率 10℃/min~20℃/min, 至 250℃, 保持 2min;

3 载气——氮气(纯度不小于 99.99%);

4 顶空瓶——10mL、20mL 或 60mL;

5 恒温箱;

6 定量滤纸条——20mm×70mm;

7 注射器——1 μL、10 μL、1mL 若干个。

C.2.2 样品测定

1 标样制备:取 5 只顶空瓶, 将滤纸条放入顶空瓶后, 应密封; 用微量注射器分别吸取苯、甲苯、二甲苯 0 μL、0.40 μL、0.80 μL、1.20 μL、2.20 μL, 注射在瓶内的滤纸条上, 含苯分别为 0 mg、0.351 mg、0.703mg、1.054mg、1.933mg, 含甲苯分别为 0mg、0.347mg、0.694mg、1.040mg、1.907mg, 含邻二甲苯分别为 0 mg、0.352 mg、0.704mg、1.056mg、1.936mg, 含对、间二甲苯为 0 mg、0.690 mg、1.380mg、2.070mg、3.796mg。

注:苯、甲苯、二甲苯为色谱纯, 20℃时 1 μL 苯重 0.8787mg, 甲苯重 0.8669mg, 邻、间、对二甲苯分别重 0.8802mg、0.8642mg、0.8611mg。

2 样品制备:取装有滤纸条的顶空瓶称重, 精确到 0.0001g, 应将样品(约 0.2g)涂在滤纸条上, 密封后称重, 精确到 0.0001g, 两次称重的差值为样品质量。

3 将上述标准品系列及样品, 置于 40℃恒温箱中平衡 4h, 并取 0.20mL 顶空气作气相色谱分析, 记录峰面积。

4 应以峰面积为纵坐标, 分别以苯、甲苯、二甲苯质量为横坐标, 绘制标准曲线图。

5 应从标准曲线上查得样品中苯、甲苯、二甲苯的质量。

C.2.3 计算。

1 样品中苯的含量, 应按下式计算:

$$C_1 = \frac{m_1}{W} \quad (\text{D.2.3-1})$$

式中 C_1 —样品中苯的含量(g/kg);

m_1 —被测样品中苯的质量(mg);

W —样品的质量(g)。

2 样品中甲苯+二甲苯的含量, 应按下式计算:

$$C_2 = \frac{m_2 + m_3}{W} \quad (\text{D.2.3-2})$$

式中 C_2 —样品中甲苯+二甲苯的含量(g/kg);

m_2 —被测样品中甲苯的质量(mg);

m_3 —被测样品中二甲苯的质量(mg);

W —样品的质量(g)。

附录 D 新建住宅建筑设计与施工中氡控制要求

D.1 氡控制技术措施分类:

1 主动土壤降压法 (active soil depressurization)

通过架空层、风机、连接管道以及一系列的构造措施构成的一套排氡做法,它在建筑使用区下方形成了一个处于负压状态的空间,从而阻止氡气进入室内。

不安装主动土壤降压系统中的风机的做法,被称为被动土壤降压法。主动土壤降压法和被动土壤降压法统称为土壤降压法。

2 膜减压法 (membrane depressurization)

基本原理与主动土壤降压法相同,不同的地方在于:土壤降压法中的架空层和卵石层在这里由聚乙烯薄膜和渗透性材料或者穿孔管网代替,以适应不同的实际情况。

3 设备层减压法 (crawl space depressurization)

利用风机对整个设备层区域进行减压。使建筑和土壤中间出现一个负压区,以实现阻止氡气进入室内的目的。

4 室内加压法 (interior pressurization)

通过对供暖、通风及空调系统的设计改进,从而使室内产生一个微小的正压,阻止氡气进入室内,并通过大量的进风来稀释进入室内的氡气。

D.2 设计标准

D.2.1 新建住宅的工程地质勘察报告,应包括工程所在城市区域土壤氡浓度或土壤表面氡析出率测定历史资料及土壤浓度或土壤表面氡析出率平均值数据。

E.2.2 针对工程地点土壤氡浓度或土壤表面氡析出率水平,按照《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325 的要求采取不同的防氡降氡措施,应符合表 D.2.2 的规定。

表 D.2.2 氡浓度结果防氡设计措施表

土壤氡浓度 (Bq/m ³)	土壤表面氡析出率 (Bq/m ² ·s)	设计措施
≤20000	≤0.05	可不采取防氡工程措施
>20000 且 <30000	>0.05 且 <0.1	应采取建筑物底层地面抗开裂措施
≥30000 且 <50000	≥0.1 且 <0.3	除采取建筑物底层地面抗开裂措施,还必须对基础按照《地下工程防水技术规范》GB 50108 的要求进行一级防水处理(应选择气密性好的防水材料)
≥50000	≥0.3	采取综合构造防氡措施

D.2.3 氡防治技术措施的选用

在不同实际工程中,氡防治技术措施的选择应具有针对性,具体措施选用参见表 D.2.3。

表 D.2.3 氡防治技术措施选用列表

建筑形式	技术措施
------	------

一层为地上架空层	1) 二层封堵氡进入室内的主要途径；2) 二层采用防氡复合地面及墙面防氡涂料。
一层地面下有地下室	1) 地下室及一层封堵氡进入室内的主要途径；2) 地下室及一层采用防氡复合地面及墙面防氡涂料；3) 地下室采用室内加压法；4) 地下室采取一级防水处理。
一层地面与土壤接触	1) 土壤降压法或膜减压法；2) 一层封堵氡进入室内的主要途径；3) 首层采用防氡复合地面及墙面防氡涂料。
附注： 以上措施主要用来解决土壤氡导致的室内氡含量超标问题，当室内氡含量超标的主要原因来自建材时（四层以上住宅室内氡含量超标的主要原因），需采用防氡复合地面及墙面防氡涂料来解决室内氡含量超标的问题，养成每日开窗通风的习惯有利于降低室内氡浓度。	

D.3 概要设计

室内氡通常来自于地基土壤的释放和建筑材料的释放。土壤氡能通过各种途径进入室内，直接导致室内氡浓度增高；建筑材料中氡的析出也会导致室内空气中的氡浓度增高。

D.3.1 防土壤氡设计

D.3.1.1 一层设计为停车或绿化休闲的架空层，可直接隔绝土壤氡进入室内，南方地区适宜采用此构造，北方地区采用此构造时，应考虑节能的综合设计。

D.3.1.2 利用地下室隔绝地基土与住宅的直接接触，进而隔绝氡进入室内。

D.3.1.3 当住宅与地基土壤直接接触时，必须封堵土壤氡进入室内的各种途径，同时采用其他防氡措施。

D.3.1.4 土壤降压法：在一层楼板下设计一个负压区，利用排风机和排氡竖管将氡排到建筑外，从而阻止氡从土壤进入建筑。

D.3.1.5 室内加压法：根据氡气扩散的特性，增加室内气压可以在一定程度上防止氡气进入室内，但是日常的开窗会使室内气压与室外平衡，故此方法效果不佳。

D.3.1.6 膜减压法：在土壤上铺设一层膜材料，这种材料是连续体，膜与楼板之间形成一个空气间层，利用排风机和排氡竖管将膜下的氡排到建筑外。

D.3.1.7 加强自然通风：自然通风是住户比较常用的办法，但它的缺点是受气候影响较大，寒冷地区和炎热地区会增加采暖和制冷成本，同时也会降低舒适度。

D.3.1.8 封堵氡进入室内的主要途径

D.3.1.8.1 密封剂的选择：用于氡的密封剂必须和混凝土有良好的附着力，经久耐用，具有弹性。

D.3.1.8.2 密封混凝土楼板：利用减水剂等外加剂提高混凝土体积稳定性及强度，减少裂缝；加强养护以确保浇筑混凝土的质量；管孔与地面交接处及地面裂缝应：在混凝土楼板上做具有高弹性的高分子聚合物涂料或聚合物水泥砂浆防氡层，然后在防氡层上铺设地面面层。

D.3.1.8.3 密封墙体：应密封墙体裂缝和开口；墙地交接处采用密封剂进行处理；确保墙体顶部砌筑与楼板连接紧固。

D.3.2 建筑材料及装饰材料的选择

D.3.2.1 选用建筑及装饰材料应符合国家相关规范与准则的要求。

D.3.2.2 采用防氡涂料隔离建筑材料向室内释放氡。

D.3.2.3 采用防氡复合地面。

D.4 建筑构造与措施

D.4.1 土壤降压法

特别推荐的是在基地土壤氡含量超标的新建筑中运用土壤降压系统，因为土壤降压系统的有效操作是依赖于建筑设计因素的。尽管在建筑完成以后也可以增加土壤降压系统，但是系统的构造、成本和性能将会被现有建筑直接影响，而这些因素能够在建设初期很容易被控制。

D.4.1.1 系统做法

土壤降压系统可以通过设置隔板产生一个负压区而防止氡进入。如果整个底板区域都是负压区那空气

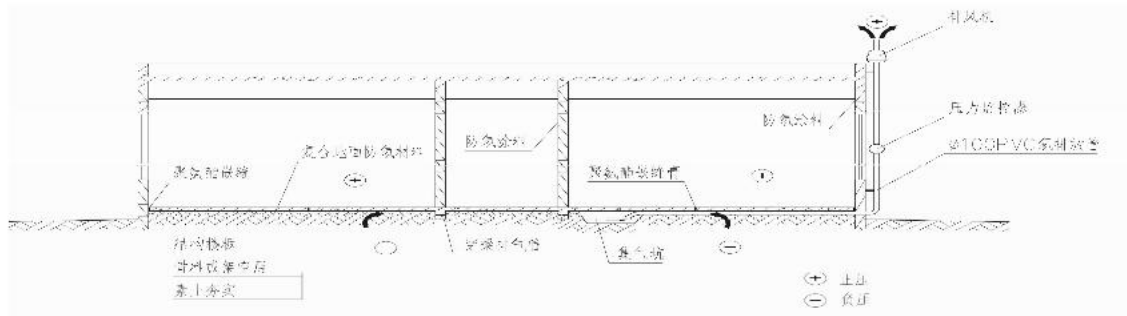
就会从建筑流向土壤，从而阻止土壤中含有的氡气进入室内。图 E 4.1.1 是一个典型的土壤降压系统。

为了创造负压区，在板底下设置一个氡集气坑。然后用排气管道从坑里通到户外。在建筑外面的管道上设置排风机，在架空层形成一个负压区，系统是“主动式”的。若建筑中的空气压力较低则会造成建筑物周围的土壤中的氡气体进入建筑物内，土壤降压系统通过制造压差，使架空层气压低于室内气压，这种气压差阻止了土壤中的氡气体进入建筑物内。

主动土壤降压系统也可以被简化运用，如果需要的话还可以再补充排风系统。对于室内空气氡含量有可能超标的新建筑，安装一个简化的系统是一种谨慎和必要的投资，可以减少运营费用。如果采用这种系统后的住宅仍存在氡含量过高的问题，那么再通过增加排风机这种低投入的措施就可以缓解这一问题。

图 D 4.1.1 主动土壤降压法系统图

在一层楼板与土壤之间留出一个高度 100mm~150mm 左右的空间，并在此空间铺设粒径 12~25mm 的卵



石或粒石，采用风机排风使其处于负压状态，这个负压空间可以有效地阻止氡气从土壤进入建筑。

如果整个底板区域相对于室内都是负压区，那空气就应该从建筑流向土壤，就可以阻止土壤中含有的氡气进入室内。与此同时还应做好各种裂缝和漏洞的封堵工作。

以下是对土壤降压法设计和建设的基本介绍：

- 1) 在底板下连续铺设一层 100mm~150mm 高的卵石或粒石，其粒径在 12~25mm 之间；
- 2) 消除如地下墙体对气流的阻碍，保证底板下气流通畅；
- 3) 在适当位置设置 1200mm×1200mm×200mm 的集气坑；
- 4) 安装直径为 100mm-150mm 的 PVC 排气管，从集气坑引至室外并延伸到屋面以上，排气口周边 7.5m 范围内不得设置进风口；
- 5) 在排气管末端安装排风机；
- 6) 设置报警装置：当系统非正常运行底板空间的负压不能满足系统需求时，系统会发出警报，来提示工作人员对系统的运行进行检查。

D. 4.1.1.1 骨料

图 E 4.1.1 中说明如何在一层楼板与土壤之间创造和扩充负压区域，使得空气从室内流向该区域。从而阻止土壤中的氡进入室内。含有氡的空气被管道吸出到室外，氡的浓度也就被稀释。

为使负压区域更有效，应该在底板放置高渗透性的骨料。如果选择的骨料渗透率低，或被地垄墙中断，压力场将不能延伸到整架空层。建筑设计应使压力场延伸到整栋建筑下。为了确保压力场的适当延伸，应在板下铺装 100~150mm 厚的干净粗骨料。

骨料的规格

铺装骨料的目的是为了稳定排气装置，对于土壤降压系统最适合的骨料是直径在 12~25mm 之间，直径为 12mm 的骨料应具有大约 50% 的空隙率。

骨料的布置

在整个底板下均匀的放置一层 100~150mm 厚的骨料，注意不要加入任何杂质。在骨料下方铺设土工布可阻止泥土与骨料混合。骨料上层也应该铺设一层。虽然土工布不能为独立的氡屏障，但它能阻止混凝土渗入骨料层，从而保证骨料层的通透性。

D. 4.1.1.2 地垄墙

负压区通常会由地梁或地垄墙分隔成若干空间，需要在地梁或地垄墙上预留一个洞口或穿梁排气管来打断这种分隔，减少底板壁气流障碍。如图 D 4.1.1。

下面是不同的地垄墙布局对土壤降压系统设计的影响。

1) 设计首先从防氡的控制考虑出发, 内部地梁或地垄墙完全被清除掉, 从而使底板通畅以及土壤降压系统性能最大化。在本章节中主要讨论的就是这种类型的建筑设计和土壤降压法的其他一些特性。一个氡集气坑应提供足够的压力场覆盖地下空间。

2) 仅在垂直走廊的方向设不穿越走廊的地垄墙, 不会中断负压区, 这样的话就只需要一个氡集气坑。

3) 平行于走廊的两面设地垄墙, 底板区域被划分为三个部分。对这一设计, 至少需要三个氡集气坑。

4) 最不利的情况下, 平行和垂直于走廊的两面地垄墙把底板区域划分为许多隔间。对于这种设计土壤降压系统的最有效的途径是, 每个底板隔间都需要设一个氡集气坑。

在设计之初就把地垄墙的位置定位是非常重要的, 预先消除建筑的底板阻隔, 将会大大减少防氡的成本。

在建筑物必须使用地垄墙的地方, 设计师应考虑在地垄墙上预留一个洞口或穿墙排气管, 把被地垄墙分隔开的区域联系起来, 使负压从氡集气坑的中心区域延伸到其他区域。

D. 4. 1.1.3 氡集气坑

目标和规格

氡集气通过底板下的骨料层促进空气流通。排氡管的末端设在集气坑中的排气效率要比埋在骨料层中高很多, 所以我们在架空层中的适当位置构建一个 1200×1200mm 深 200mm 的氡集气坑。

氡集气坑暴露的最小骨料交界面面积约为排气管入口横截面面积的 30 倍时是非常有效的。排气管道应水平进入氡集气坑, 集气坑应尽可能位于排氡分区中间的位置, 垂直的排气管道不应随意设置, 而应设置在最便于施工和使用的地方。

此外, 排气管道应垂直于氡集气坑。新建住宅为设计者提供了更多选择, 使氡集气坑设置更方便, 覆盖在氡集气坑上面的底板, 应进行适当的结构设计。

氡集气坑的位置

氡集气坑应该设置在排氡分区中央的位置。一个处于中心位置的氡集气坑能够向四周提供更均匀的压力。集气坑不应布置在靠近地垄墙的位置或没有被封堵的洞口附近。排气管道应该水平进入氡集气坑。排气管是沿着底板在下面铺设, 从一个方便的位置离开底板。

底板设置多孔管

在底板铺设穿孔聚氯乙烯 (PVC) 的排气管道, 并把多孔管与排气口管道连接起来代替氡集气坑, 也是一种有效的排氡方法。如果与氡集气坑尺寸达到同样排氡效果, 理论上大约需要在直径为 100mm 的 PVC 管上每 1m 长设 35 个直径 20mm 的孔口。此外, 要保证空气的流动性, 直径为 100mm 的 PVC 多孔管是不够的, 只有当直径增加到 150mm 时才能保证空气流动的顺畅。

虽然从功能上讲, 多孔管可以取代氡集气坑, 但是采用多孔管将大大增加工程造价, 故还是推荐采用氡集气坑。

D. 4. 1.1.4 氡气排放管

规格

对新建的住宅, 推荐使用直径为 100mm—150mm 的 PVC 管。PVC 管的尺寸应根据不同的实际情况选用。如果氡防治方案中不打算密封各种裂缝, 建议在垂直管道中使用直径至少为 150mm 的管道, 这种尺寸的管道是必要的。因为在不密封的架空层中要得到与密闭架空层相同的低气压场, 需要更多的气流将。

建筑规范

PVC 氡气排放管通常适用于现有的建筑中, 因为它们易搬运和较低的成本。然而, 一建筑规范中要求尽可能避免在建筑物的某些部分使用 PVC 管道。故安装氡排气管道时, 必须确保不违反其他规范。

管道安装

在安装垂直管道时注重细节可以确保系统的有效性并能延长系统的使用寿命。从楼板开始, 用高粘密封胶 (推荐使用聚氨酯密封胶) 密封管道和楼板间的空隙, 也密封所有管路接头。密封胶和密封在后面进行详细的介绍。

所有水平管道应至少保证 1% 的找坡, 这样可以使凝结水都回流到氡集气坑, 这点是非常重要的。如果水平管道没有找坡, 管道中的积水会使氡气在其中富集, 如果管道出现裂缝, 富集了氡气的积水将会流

入室内，从而导致室内空气氡含量超标。

排氡系统的警示标志

整个排氡系统的任何一个环节遭到有意或者无意的破坏，都有可能造成严重的后果，因此应该在排氡系统上作出足够的标识来防止类似的事情发生。

在管道上至少每十米设置一个标识，标识上应该能清楚的标识整个排氡系统的所有组成，以确保建筑未来的主人不移动或拆卸该系统。在屋顶的出口以及排气管上应附上永久的警告标签，如“该气体可能包含高浓度的氡，在 7.5m 的范围内不要设置窗子及通风口。”排氡口与窗户之间的最小距离应该按照当地的具体气候条件及规范来确定。

D. 4. 1.1.5 排风机

安装时间

根据不同场地的不同情况，排风机的安装时间也是不同的，若建筑用地的土壤氡含量严重超标，则需在施工的时候直接安装好排风机。若建筑用地的土壤氡含量较高，有可能导致室内空气氡含量超标，则可在施工时预留电源及其他管线，日后若室内空气氡含量超标，则可直接增加风机，将被动式土壤降压系统改造为主动土壤降压系统。

风机选型和安装

在氡控制系统中，应选用专门为户外使用制造的风机。这些都是可以从供应商那里获得，并有各种规格的。由于排风机一侧的管道是在处于正压工况下的，可能会渗漏，因此风机通常安装在建筑外。

多数的安装人员用橡胶连接器连接风机与管道系统。这种连接方式密封性好，运行噪声低，在需要更换风机的时候也易于更换。为了满足系统安全、性能良好以及降噪的需求，通常需要增加一些额外的材料和部件。以下内容需要特别注意：防水电器服务开关应放在风机附近，以确保在维修时系统处于关闭状态。如果工程采用的是被动土壤减压技术，风扇在需要时可以稍后安装，但在施工期间在屋顶上应安装防水电器线路，这将有利于日后风机的安装。

排风机排气设置

主动土壤减压系统排出的废气中含有很高浓度的氡，系统的设置应与实验室的通风柜或屋顶排风机排放的有毒气体类似。建议排气管末端应距离最近的进气口或操作窗口 7.5m，且在垂直方向应超出屋顶足够的高度，这样才可以防止废气不会进入建筑。如果不能达到这种排气设置要求,建议最小距离可以保证排风口的的气体到最近的进气口或操作窗口时达到 1000: 1 的稀释比例。

D. 4. 1.1.6 报警装置

主动土壤降压系统设计应包括报警系统,如果系统非正常运行，它可以及时报告给建筑所有者或使用。预警系统应包括一个电子压力传感装置，当系统压力降低时，它会激活警示灯或声响报警。除了风机运行外的情况外，还有一些因素可以妨碍排氡系统有效的运行，风机运行正常时，排氡系统未必能正常工作，因此建议安装空气压力报警器，而不是那种由风机运行状况来决定是否报警的装置。

报警装置应安装在一个经常有人查看的区域。住宅小区可将报警装置安放在 24 小时有人监控的值班室内；独栋别墅可将报警装置安放在电子门禁系统旁，以便日常查看。

D. 4. 1.1.7 封堵氡气的主要进入途径

对于一个高效的土壤降压系统,封堵大的开口是很重要的。封堵大的开口可以防止室内的空气渗入架空层中的低压区域，从而保证低压区的压力低于室内压力、减少风机的工作时间，从而延长排氡系统的工作寿命、降低系统的运行成本。

D. 4. 1. 2 土壤降压法操作与维护

土壤降压法系统运行和维护涉及以下三个阶段：

- 使用前维护
- 周维护
- 年维护

D. 4. 1.2.1 使用前维护

在土壤降压系统风机打开后至少需要 24 小时才能测量室内空气氡的含量。如果初期安装的土壤降压系统中没有排风机系统，那么这些室内空气氡含量的测试将可以用来决定是否有必要增加排风机使系统更

加有效。建议连续运行主动土壤降压系统，即使氡的浓度是低于国家规范要求，连续运行该系统将会减少氡对使用者的侵害。

本底压力的测量

如果建筑物内氡的浓度上升，则应首先确认土壤降压系统在所有的负压区域已经达到适宜的负压。对于架空层压力的测量应包括压力场的外侧。

测量架空层压力时，应距在排气口不同的距离不同的方向上钻大约 10 个小孔(直径应满足测量仪器的需求)。在钻穿底板前请仔细确保不会破坏板结构的稳固性。然后关掉用于土壤降压系统的风机，在每一个洞里测量压力。应该使用像微型测压仪这样的敏感装置来测量；然而一些简单的化学的烟雾测风流法可以用来确定是否有空气流入板内。这些测量应该在土壤降压系统的风机运行的时候再重复进行一次。一旦负压区域压力测试完，漏洞应该小心用混凝土材料及聚氨酯嵌缝胶修补。

负压区域压力测量的目的是为了确认土壤降压系统在板下维持着适当的负压。如果测量表明板下压力不足，则必须解决这个问题，需要检查的内容包括：是否封堵了氡流入室内的主要路径、骨料层的类型以及暖通空调系统的运行。

土壤降压系统操作指南

为了确保土壤降压系统的正常运行，应给业主提供详细的操作指南，在操作指南中应包括以下内容：这个系统的构成、当系统出现报警时如何处理、维修土壤降压系统的其他需求及方法。

D. 4. 1.2.2 周维护

检查氡排气管的压力表和报警系统,以确保风机是保持足够的负压。

D. 4. 1.2.3 年维护

检查风扇轴承故障或其它的异常迹象以便及时维修或更换。

检查排气管道排气口附近没有窗户等空气入口，若因建筑使用功能变化导致出现以上的情况，则应整改，以避免高氡浓度的空气进入室内。

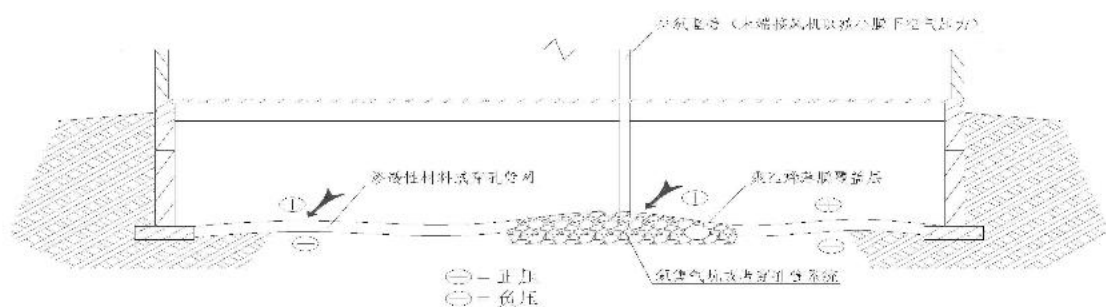
检查该工程的通风系统,以确认它是否按设计进行操作和维护。即使土壤降压系统能够正常工作,但系统有时也会发生由于架空层空气压力过低而造成的电力过分消耗。

如果建筑物发生沉降,则应检查地板、地下室外墙是否产生裂缝并进行氡测试，如果发生上述问题，则应及时封堵裂缝，以确保该系统的持续有效性。

D. 4. 2 地下设备间层减压法

这节描述了减少地下设备间层中氡含量的两种技术：膜减压法和设备层整体减压。膜减压法是一个典型的有效的维持低氡水平的方法。因此在氡含量高的地区，建筑物设备层的施工应预留膜减压法系统的管线。

D. 4. 2. 1 膜减压法



图

D. 4. 2. 1 膜减压法系统图

由于土壤降压系统不适用于地下设备层，在这种情况下必须改变氡防治的技术才能用于地下设备层。膜减压法是一个可以应用在建筑地下设备层内的减少氡含量的有效技术。该技术是土壤降压系统的成功转变,如图 D. 4. 2. 1 所示。

在设备层内安装膜减压系统时，用 0.15mm（或更厚一些的）厚的聚乙烯薄膜作覆盖层，在土壤上形成一个小空间的空气层。排风机和通风竖管把氡从隔膜下抽出来并排到建筑外。在大的设备层里运用这种

方法可能会增加更多，因为它需要较大功率的风机以及大量的聚乙烯薄膜。

安装一个膜减压系统可以直接在地上铺贴宽的聚乙烯薄（须保证两个膜之间最少有 30cm 的搭接）。在施工以前注意清理掉场地内大的石块、破碎的混凝土块或者其他杂物，以避免聚乙烯薄被划破。当膜被铺贴以后，我们建议把膜之间的接缝密封（用制造商推荐的专用密封胶），这样可以提高膜减压系统的有效性。在夯实的土壤或设备层很大的地方，应该在膜下面使用氦集气坑或者穿孔管道来提高膜减压系统的排气效率。在那些有柱墩的大型设备层里安装膜减压系统时，应把膜封堵在附近的柱墩上，以保证良好的气密性。

D. 4. 2. 2 设备层减压法

设备层减压是另一种控制室内氦含量的方法。设备层减压法就是利用风机对整个设备层区域进行减压。对于建筑内部而言，设备层里的负压使氦进入不了建筑。然而，设备层的负压又会增加自身氦的含量，所以对于有人经常出入的设备层不应该使用这种技术。由于设备层潜在的氦含量很高，所以把设备层和与之相近的建筑室内空间通过密封手段进行隔离是很有必要的。这种密封也可以防止由于在设备层和建筑内部之间的空气流动造成的氦气扩散。

为实现一个有足够负压的设备层，通风口应该被关闭（研究显示如果在已经在设备层的地面上铺设了防水层，那关闭设备层的通风口也不会出现设备层受潮问题）。

D. 4. 3 室内加压法

供暖、通风、空调系统在现代建筑上具有多方面的功能，它可以调节温度、湿度、空气的流动，室内空气品质。适当设计、运行的供暖、通风、空调系统可通过建筑加压和稀释有效地降低室内空气中氦的含量。

在新建建筑中可以通过对供暖、通风、暖通空调系统的设计进行改进，从而使室内产生一个微小的正压。压力的来源——通风系统使更多室外空气进入建筑而不是排出，室内的正压可以从很大的程度上阻止氦气的进入，而大量的进风也可以稀释进入室内的氦气，这样就可以从另一种途径阻止氦气进入室内。

本章包含了室内加压法、通风标准、安装和运行指南、暖通空调系统维护。正如前文概述中讨论的，在氦含量较高的区域，我们推荐土壤降压法、膜减压法、室内加压法、密封氦主要入口等手段的结合应用。

D. 4. 3.1 系统做法

一个密封性能很好的建筑，当建筑运行在最低室外送风条件下，送风量比机械排风量多 10%，可使得室内空间处于正压状态。这种正压状态可降低氦气的进入速度，室外空气的补给则有助于稀释室内空气的氦气浓度。

建筑工程对室内氦控制设计中应该包括：

- 与地面接触房间的加压设计
- 均衡的空气分布系统
- 充足的空气补充（补风）
- 建筑外壳的良好气密性

机械系统的设计及安装应该满足居住者健康、安全、舒适、节能和延长建筑使用年限的需求。满足这些需求需要协调气候、建筑和使用三者之间的交互作用。然而单靠建筑增压不能永远持续的防止氦气的进入。例如可开启的外窗会使恒定加压系统的实现非常困难。在新建建筑中，封堵了氦气进入室内的主要途径，设计适当并正确操作的建筑加压及稀释系统，联同一个主动土壤降压系统，这将形成一个十分有效的防氦体系。

室内正压产生的原因是：自室外引入风量比机械排风系统排风量要大。不能被机械排风系统排出的过量空气会通过建筑物外壳的裂缝和开孔排出，也就是渗透。这个建筑正压和建筑负压的概念可以用图 D. 4. 3.1-1 和 D. 4. 3.1-2 分别说明。在图 D. 4. 3.1 -1 中，建筑空调系统可以提供 20,000CFM 的进风量，而抽风机仅能抽出 15,000 CFM 的风量，相差的 5,000CFM 的风量便成为了室内正压的来源，在正压的作用下，将有 5,000 CFM 的风量将从这栋建筑物渗漏出去，从而阻止氦气进入室内。然而，在图 D. 4. 3.1 -2 中可以看出，室外新风量仅有 5,000 CFM，而排风扇的排风量为 15,000CFM，相差的 10,000CFM 的风量便成为了室内负压的来源，这相差的 10,000CFM 的风量将从窗户、地板等裂缝中补充空气，这样会加快氦气从地面渗入室内的速度。

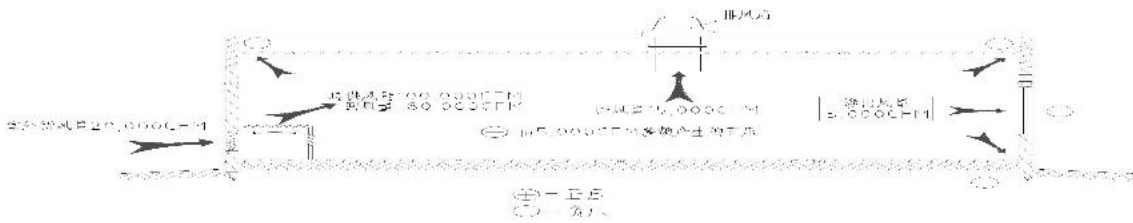


图 D. 4. 3.1 -1 室内正压系统图

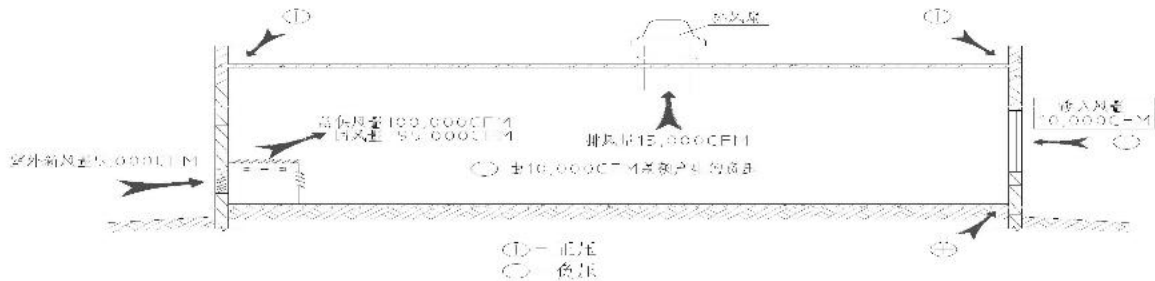


图 D. 4. 3.1 -2 室内负压系统图

为了防止氦气进入室内，并将室内的氦气稀释，需要使室内处于正压状态，这套系统成为建筑加压稀释系统。

为了改善建筑加压稀释系统的工作效率，我们应该加强建筑物的密封性能。密封性能的加强，还能减少系统对新风量的要求，因此建筑物的密闭性的改善也将有利于减少能源消耗、减少噪音的产生以及提高系统的使用寿命。

室外空气的进入也有助于降低和稀释空气中氦的含量。对恒定速率的送风口，建筑物内氦的含量将与建筑的通风量成反比。但是要减少氦的含量，需要增大更多的换气次数来达到，在大多数情况下，这么大的换气次数既是不实际的，也是不可取的。

尽管建筑加压和稀释系统可以降低氦的含量和提高室内空气质量，但是这套系统也有其自身缺陷：

如果总建筑排风量与提供的空气（室外空气）不平衡，进入的空气量不够需要弥补时，建筑内部对底板区域的压力将是负的。这个负压作为驱动力将会促使土壤氦进入室内，从而加剧室内氦浓度超标的情况。

经常打开门窗的建筑物很难得到一个恒定的正压。

不同的居住模式下，启动停止空调系统运作会造成建筑物内的正压状态不能持续。如果在空闲时段，暖通空调系统是关闭的或者停止了，建筑增压和稀释系统的功用也会停止，在这种情况下发生时，应当计算系统的开闭频率及运行时间的最低要求，以保证建筑增压及稀释系统的有效性。

当设计建筑物的加压系统时，不同类型暖通空调系统设计和运行的局限性必须考虑。例如，变风量系统的设计必须考虑自然通风和建筑加压条件下的最小通风量的影响。

D. 4. 3.2 通风标准

根据国外经验，设计送风量应比回风量要多 10%。在建筑正常运行时，可以采用建筑外壳密封的方式形成建筑正压。伴随着本技术应用于“密封”的建筑，将减少氦气的进入并能稀释建筑物内的氦气的浓度，因此增加通风和保持正压确实是有助于降低室内氦的含量的。

安装及操作方法

为设计和操作各种类型的空调系统提供特定的氦控制指南是不实际的。为实现建筑的加压，下面的基本指南讨论了在规划阶段工程如何设计。

- 计划选择的暖通空调系统要使得建筑室内所有的与地面接触的房间都为正压。
- 避免地板送风和/或通风管道系统回风。
- 在高氦地区，不能把送风或者通风管道系统的位置设在地板和土壤中间的设备层。
- 在所有送风和回风管道系统的缝隙和接头处应做好密封工作。
- 密封所有氦气进入室内的途径。
- 确保建筑的密闭性。

- 控制暖通空调系统的调节风阀，使室内相对于室外的正压力能保持在 2.5—1.25Pa 的范围内。
- 确保所有适用的建筑遵从各种安全法规、标准和指南。尤其重要的有：消防规范、节能规范、国家电气规范和其他安全及机械法规。
- 务必通过机械通风设备保持室内空气质量的目的是。排风机应能排除水分、气体以及其他建筑内部产生的污染物。送风系统应提供混合空气，稀释有害的污染物。

D. 4. 3.3 维护

为确保建筑加压及稀释系统能够持续降低室内空气氡的含量并保证良好的室内空气质量，空调系统的适当维护是必要的，在土壤氡含量严重超标的地方，这点尤其重要。下列事项是用于帮助建筑所有者和经营者采取适当方式维护暖通空调系统的。

年度维护

- 如果采用的高质量的中效折叠式过滤器，每年至少更换两次空气过滤器，如果使用的是非折叠式或者一次性的效率较低的过滤器，则需要更频繁的更换过滤器。
- 检查该空调系统和排气扇是否按设计工况运行。若没有足够室外空气补充，过度的排气将导致室内处于负压状态，使建筑加压及稀释系统失效。
- 检查暖通空调系统的操作及控制是否正常。控制故障也会导致建筑加压及稀释系统失效。
- 如果土壤减压系统也在同一栋建筑中安装，请检查土壤降压系统的排气管的排放位置，以确保在其附近无窗户等进气途径，以确保土壤降压系统排放的废弃不会进入室内。

5 年维护

- 全面测试暖通空调系统，以确保建筑加压及稀释系统工作良好。

D. 4. 4 封堵氡气的主要进入途径

封堵氡气进入的途径主要包括以下几个方面的内容：

- 密封剂的选择
- 密封混凝土板
- 密封墙体

在土壤氡含量严重超标的地区，以密封作为独立的防氡措施，需要良好的密封施工工艺。由于实现完全密封比较困难，所以在土壤氡含量严重超标的地区新建建筑时需要采取更多的措施及成本，这些投入包括了主动土壤降压系统，建筑加压及稀释系统的设计及运行费用。尽管如此，对氡进入室内的主要路径进行良好的密封也是非常重要的，它可有效的增强主动土壤降压系统、建筑加压及稀释系统在防氡方面的作用。

D. 4. 4. 1 密封剂推荐

用于耐氡的密封剂必须和混凝土有良好的附着力,经久耐用,具有弹性。聚氨酯作为一种合适的有弹性的联结混合物，它的优点是：在恶劣的环境下仍然具有和混凝土强有力的附着力,而且使用寿命长，具备良好的通弹性。硅基堵缝材料和混凝土没有足够的粘结力，在选用密封剂时应避免选用。

当运用密封剂进行封堵时，要确保表面干净、干燥、没有砂砾以并确保粘接面温度要高于密封剂的冻结温度，此外运用密封剂时一定要按照制造商推荐的方法。当将密封剂运用在比较宽的缝隙中，应采用泡沫条等填充材料进行初步的填充。

D. 4. 4. 2 密封混凝土板

本节适用于所有用混凝土建造的建筑构造及节点。

混凝土作为阻止氡的屏障时主要有以下问题：连接节点、渗透、裂缝。为了避免这些问题，下面分几个方面介绍解决的原则：1)密封接缝处、渗透处、开口处；2)防止随机裂缝；3)采用底板膜；4)防氡复合地面。

D. 4. 4. 2.1 地板和墙体的连接

为防止氡气从板和其他构件的连接处进入室内，需考虑的因素包括地面与墙体连接处、后浇带、变形缝等。

地板、墙体接头位于楼板的边缘与室内或室外部承重墙壁之间。板和承重墙的分批建造及材料的差异，地板、墙体接头是一种主要的氡气进入室内的途径。在施工以后为了便于这个节点的密封，施工人员在施

工过程中应注意预留可操作的地面/墙体的嵌缝节点。一个方法是在混凝土浇筑以后在板和墙的连接处通过勾缝等手段形成一个可供聚氨酯密封狭小间隙的缝。另一个方法是用一种工具在地面/板与墙之间磨出一个可供聚氨酯密封的缝隙。在施工过程中密封这些节点是很重要的,因为在楼板面层做好以后这些缝隙就将会被隐藏起来。

建筑师和工程师们也应该意识到由不同单元组成的住宅建筑,其子单元之间的交接面可能会存在其他的氦气渗透路径。

后浇带和变形缝

浇筑大型的混凝土板很难避免裂纹。为了尽可能的减少开裂,设计和施工人员会采取变形缝和后浇带等措施来避免板的开裂,或者设置分仓缝(设切割点来控制那些可能发生裂缝的地方,或两者兼而有之)。如果没有采用这些技巧或其他措施,大的裂缝的出现将难以预计。为了使密封这些裂缝更容易,在板放置好以后使节点和锯缝足够大以便于用聚氨酯密封。为了实现良好的密封效果,在冷节点双面都应该在浇筑的时候进行处理,水泥硬化后进行密封。

D. 4. 4. 2. 2 板的穿透与开孔

对主要板的穿透及开孔处的密封可以减少氦的渗入并提高土壤减压系统的性能。板的穿透及开孔主要是由于公共设施的穿透造成的。

公共设施穿透孔

公共设施穿透包括给水和下水道管线、通风散热管线、电力服务通道、空调冷凝排水管和屋顶排水管道等。这些穿透板的洞口周围应用聚氨酯密封。许多工程用塑料预埋套管来保护穿过混凝土板的金属管道,以防止其被腐蚀。当混凝土浇筑好以后这些套管应该除掉,以使用聚氨酯密封胶对其周边的缝隙进行良好的填充,在管道穿越砌块墙的时候可以进行类似处理。

在一般情况下,排水将注入污水管道,在这些情况下排水管道不做为氦进入途径来考虑。唯一需要注意的问题就是如前所述对于管道穿墙造成的洞口的处理。

D. 4. 4. 2. 3 防裂

混凝土开裂是其固化过程中的自然现象。影响固化过程的影响因素包括含水量、水泥含量、骨料、湿度、温度、二氧化碳含量、板表面空气流动和板的大小。

施工应采用以下方法中的一个或更多来减少板开裂。

利用钢筋网增加强度:在板里预埋钢筋编织网增加它的强度。

利用纤维增加强度:各种纤维添加剂可以加固混凝土并防止开裂。

使用减水剂:外加剂(也称作增塑剂)保留较低的水溶性,提高混凝土板的强度。

合理固化可以提高混凝土的强度并减少裂缝:减慢干燥的速度可以得到高强度的混凝土。方法包括:在上面铺上湿的沙子、锯木屑、防水膜或涂料,或者干燥过程中浇水。

使用高强度混凝土:使用 C40 以上强度的混凝土,也可以减少混凝土的裂缝。

D. 4. 4. 2. 4 底板膜

塑料薄膜用于控制液态水的渗透和水蒸气扩散也能有效控制氦气的渗透。如果在节点和穿管的地方能完全密封安装,密封的底板膜可以用来提供一个物理屏障以防止氦气进入室内。在混凝土浇筑的时候使用聚乙烯气薄膜,可将湿的混凝土与卵石层隔开,从而加强土壤降压系统的有效性。

这类型的薄膜材料如聚乙烯、强化聚乙烯、聚乙烯牛皮纸、PVC 薄膜、三元乙丙橡胶膜,均可以采用。

D. 4. 4. 2. 5 防氦复合地面

防氦复合地面防氦层由防氦地面涂层和水泥砂浆层组成,防氦地面涂层应具有高弹性、高强度、耐老化、交联性和高效防氦性。

- 1) 高弹性:当地面产生裂纹,甚至较宽裂缝时,涂层只变形不开裂,在低温 $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$ 保持弹性。
- 2) 高强度:可在防氦层上承受施工,铺覆水泥砂浆结合层,装修地面面层而不损坏。
- 3) 耐老化:耐酸、耐碱、耐加温老化,保证地面装修后十五年不失效。
- 4) 交联性:形成一定的网状交联结构,具有优良的抗渗透性。

D. 4. 4. 3 密封墙体

与土壤氦接触的墙体主要为混凝土墙体,因为这些墙直接与土壤接触,他们就可能是氦气进入室内的主

要途径。这部分将介绍几种经常被用来密封这些墙体的涂料。对于地下底板的穿透和开洞的封堵措施应该根据 D.4.4.2.2 节的要求进行。

D.4.4.3.1 浇筑混凝土墙时的注意事项

现浇混凝土墙壁是防止氡流入的最好的障碍，然而对于混凝土板来说问题就在于裂缝、节点和渗透。我们建议按照 D.4.4.2.3 节的要点建造混凝土墙以保障其强度并减少裂。

D.4.4.3.2 防氡涂料

D.4.4.3.2.1 选用防氡涂料的一般要求

- 1) 具有优良的防氡性、耐久性、防霉性、耐潮湿性、黏结力；
- 2) 无毒、耐燃、低污染；
- 3) 具有较好的延伸性，能适应基层变形。

D.4.4.3.2.2 防氡涂料性能指标应符合《合成树脂乳液内墙涂料》(GB/T 9756-2001) 和《室内装饰装修材料 内墙涂料中有害物质限量》(GB 18582-2001) 对内墙涂料的要求。

D.4.4.3.2.3 墙面的防氡应包括四周围墙和屋顶部。

D.4.4.3.2.4 内墙面应采用具有一定弹性的腻子打底，以避免表面涂层因为墙体的细微裂纹而开裂，进而保证表面涂层的防氡效果。

D.4.5 建筑材料的选择

选用建筑材料应符合《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325-2001 2006 版) 及《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566-2001) 等国家相关规范与准则的要求。

附录 E 土壤中氡浓度及土壤表面氡析出率测定

E.1 土壤中氡浓度测定

E.1.1 一般原则:土壤中氡浓度测量的关键是如何采集土壤中的空气。土壤中氡气的浓度一般大于数百 Bq/m³，这样高的氡浓度的测量可以采用电离室法、静电收集法、闪烁瓶法、金硅面垒型探测器等方法进行测量。

E.1.2 测试仪器性能指标要求:

工作条件:温度-10℃~40℃

相对湿度≤90%;

不确定度≤20%;

探测下限≤400Bq/m³。

E.1.3 测量区域范围应与工程地质勘察范围相同。

E.1.4 在工程地质勘察范围内布点时，应以间距 10m 作网格，各网格点即为测试点（当遇较大石块时，可偏离±2m），但布点数不应少于 16 个。布点位置应覆盖基础工程范围。

E.1.5 在每个测试点，应采用专用钢钎打孔。孔的直径宜为 20mm~40mm，孔的深度宜为 500mm~800mm。

E.1.6 成孔后，应使用头部有气孔的特制的取样器，插入打好的孔中，取样器在靠近地表处应进行密闭，避免大气渗入孔中，然后进行抽气。正式现场取样测试前，应通过一系列不同抽气次数的实验，确定最佳抽气次数。

E.1.7 所采集土壤间隙中的空气样品，宜采用静电扩散法、电离室法或闪烁瓶法、金硅面垒型探测器等测定现场土壤氡浓度。

E.1.8 取样测试时间宜在 8:00~18:00 之间，现场取样测试工作不应在雨天进行，如遇雨天，应在雨后 24h 后进行。

E. 1. 9 现场测试应有记录，记录内容包括：测试点布置图，成孔点土壤类别，现场地表状况描述，测试前 24h 以内工程地点的气象状况等。

E. 1. 10 地表土壤氡浓度测试报告的内容应包括：取样测试过程描述、测试方法、土壤氡浓度测试结果等。

E. 2 土壤表面氡析出率测定

E. 2. 1 仪器设备

土壤表面氡析出率测量所需仪器设备包括取样设备、测量设备。取样设备的形状为盆状，工作原理分为被动收集型和主动抽气采集型两种。现场测量设备须满足以下工作条件要求：

温度：-10℃~40℃；

相对湿度：≤90%；

不确定度：≤20%；

探测下限：≤0. 01Bq/m². s 。

E. 2. 2 测量步骤。

按照“E. 1 土壤中氡浓度测定”的要求，首先在建筑场地按 20m×20m 网格布点，网格点交叉处进行土壤氡析出率测量。

测量时，须清扫采样点地面，去除腐殖质、杂草及石块，把取样器扣在平整后的地面上，并用泥土对取样器周围进行密封，防止漏气，准备就绪后，开始测量并开始计时（t）。

土壤表面氡析出率测量过程中，应注意控制下列几个环节：

1 使用聚集罩时，罩口与介质表面的接缝处应当封堵，避免罩内氡向外扩散（一般情况下，可在罩沿周边培一圈泥土，即可满足要求）。对于从罩内抽取空气测量的仪器类型来说，必须更加注意。

2 被测介质表面应平整，保证各个测量点过程中罩内空间的体积不出现明显变化。

3 测量的聚集时间等参数应与仪器测量灵敏度相适应，以保证足够的测量准确度。

4 测量应在无风或微风条件下进行。

E. 2. 3 结果计算（使用聚集罩情况）。

用下述公式求被测地面的氡析出率：

$$R = \frac{N_t V}{A t} \quad (\text{E. 2. 3})$$

式中 R——土壤表面氡析出率（Bq/m². s）；

N_t——t 时刻测得的罩内氡浓度（Bq/m³）；

V——聚集罩所罩住的介质表面的面积（m²）；

t——测量经历的时间（s）

E.3 城市区域性土壤氡水平调查方法

E.3.1 测点布置

在城市区域按 2km×2km 网格布置测点，部分中小城市可以按 1km×1km 网格布置测点。因地形、建筑等原因测点位置可以偏移，但最好不超过 200m。

每个城市测点数量在 100 个左右。

尽量使用 1:5 万~1:10 万（或更大比例尺）地形（地质）图和全球卫星定位仪（GPS），确定测点位置并在图上标注。

E.3.2 调查方法

调查前应制订方案，准备好测量仪器和其他工具。仪器在使用前必须进行标定，如使用两台或两台以上仪器进行调查，最好所用仪器同时进行标定，以保证仪器量值的一致性。

测点定位：调查测点位置用 GPS 定位，同时对地理位置进行简要描述。

测量深度：调查打孔深度统一定为 500mm~800mm，孔径 20mm~40mm。

测量次数：每一测点应重复测量 3 次，以算术平均值作为该点氡浓度。（或每一测点在 3m² 范围内打三个孔，每孔测一次求平均值）。

其他测量要求（如天气）和测量过程中需要记录的事项按本附录 E.1 执行。

E.3.3 调查的质量保证。

仪器使用前应按仪器说明书检查仪器稳定性（如测量标准 α 源、电路自检等方法）。

使用两台以上的仪器工作时应检查仪器的一致性，一般两台仪器测量结果的相对标准偏差应小于 25%。

应挑选 10% 左右测点进行复查测量，复查测量结果应一并反映在测量原始数据表中。

E.3.4 测量报告。

城市区域土壤氡调查报告的主要内容应包括：

- 1 城市地质概况、放射性本底概况、土壤概况；
- 2 测点布置说明及测点分布图；
- 3 测量仪器、方法介绍；
- 4 测量过程描述；
- 5 测量结果。包括原始数据、平均值、标准偏差等，如有可能绘制城市土壤浓度等值线图。
- 6 测量结果的质量评价（仪器的日常稳定性检查、仪器的标定和比对工作、仪器的质量监控图制作）。

附录 F 室内空气中苯的测定

F.0.1 原理:

空气中苯用活性炭管采集, 然后经热解吸, 用气相色谱法分析, 以保留时间定性, 峰面积定量。

F.0.2 仪器及设备:

1 恒流采样器——采样过程中流量稳定, 流量范围包含 0.5 L/min, 并且当流量 0.5 L/min 时, 能克服 5kPa~10kPa 之间的阻力, 此时用皂膜流量计校准系统流量, 相对偏差应不大于±5%。

2 热解吸装置——能对吸附管进行热解吸, 解吸温度、载气流速可调。

3 气相色谱仪——配备氢火焰离子化检测器。

4 色谱柱——毛细管柱或填充柱。毛细管柱长 30m~50m, 内径 0.53mm 或 0.32mm 石英柱, 内涂覆二甲基聚硅氧烷或其他非极性材料。填充柱长 2m、内径 4mm 不锈钢柱, 内填充聚乙二醇 6000-6201 担体 (5:100) 固定相。

5 注射器——1 μL、10 μL 注射器若干个。

F.0.3 试剂和材料:

1 活性炭吸附管——内装 100mg 椰子壳活性炭吸附剂的玻璃管或内壁光滑的不锈钢管, 使用前应通氮气加热活化, 活化温度为 300℃~350℃, 活化时间不少于 10min, 活化至无杂质峰, 当流量 0.5 L/min 时, 阻力应在 5kPa~10kPa 之间。

2 标准品——苯标准溶液或标准气体。

3 载气——氮气(纯度不小于 99.999%)。

F.0.4 采样:

应在采样地点打开吸附管, 与空气采样器进气口垂直连接, 调节流量在 0.5 L/min 的范围内, 用皂膜流量计校准采样系统的流量, 采集约 10L 空气, 记录采样时间、采样流量、温度和大气压。

采样后, 取下吸附管, 密封吸附管的两端, 做好标识, 放入可密封的金属或玻璃容器中。样品可保存 5d。

注: 采集室外空气空白样品, 应与采集室内空气样品同步进行, 地点宜选择在室外上风向处。

F.0.5 气相色谱法:

1 色谱分析条件: 可选用以下推荐值, 也可根据实验室条件制定最佳分析条件。

填充柱温度——90℃或毛细管柱温度——60℃;

检测室温度——150℃;

汽化室温度——150℃;

载气——氮气, 50mL/min。

2 标准系列:

1) 气体外标法: 准确抽取浓度约 1mg/m³ 的标准气体 100mL、200 mL、400 mL、1 L、2 L 通过吸附管, 用热解吸气相色谱法分析吸附管标准系列。

2) 液体外标法: 抽取标准溶液 1 μL~5 μL 注入活性炭吸附管, 制备苯含量为 0.05 μg、0.1 μg、0.5 μg、1.0 μg、2.0 μg 的标准吸附管, 同时用 100mL/min 的氮气通过吸附管, 5min 后取下, 密封, 为标准系列。

3 测定:

采用热解吸直接进样的气相色谱法，即将标准吸附管和样品吸附管分别置于热解吸直接进样装置中，300℃~350℃解吸后，解吸气体直接由进样阀进入气相色谱仪，进行色谱分析，以保留时间定性、峰面积定量。

F.0.6 计算：

1 所采空气样品中苯的浓度，应按下式计算：

$$C = \frac{m}{V} \quad (\text{C.0.6-1})$$

式中 C ——所采空气样品中苯浓度 (mg/m^3)；

m ——样品管中苯的量 (μg)；

V ——空气采样体积 (L)。

2 空气样品中苯的浓度，应按下式换算成标准状态下的浓度：

$$C_c = C \times \frac{101.3}{p} \times \frac{t+273}{273} \quad (\text{C.0.6-2})$$

式中 C_c ——标准状态下所采空气样品中苯的浓度 (mg/m^3)；

p ——采样时采样点的大气压力 (kPa)；

t ——采样时采样点的温度 (°C)。

注：当与挥发性有机化合物有相同或几乎相同的保留时间的组分干扰测定时，宜通过选择适当的色谱条件，将干扰减少到最低。

附录 G 室内空气中总挥发性有机化合物 (TVOC) 的测定

G.0.1 原理

用 Tenax-TA 吸附管采集一定体积的空气样品，空气中的挥发性有机化合物保留在吸附管中，通过热解吸装置加热吸附管得到挥发性有机化合物的解吸气体，将其注入气相色谱仪，进行色谱分析，以保留时间定性，峰面积定量。

G.0.2 仪器及设备

1 恒流采样器——采样过程中流量稳定，流量范围包含 0.5 L/min，并且当流量 0.5 L/min 时，能克服 5 kPa~10 kPa 之间的阻力，此时用皂膜流量计校准系统流量，相对偏差应不大于 ±5%。

2 热解吸装置——能对吸附管进行热解吸，解吸温度、载气流速可调。

3 气相色谱仪——配备带氢火焰离子化检测器。

4 毛细管柱——长 30 m~50 m，内径 0.32 mm 或 0.53 mm 石英柱，内涂覆二甲基聚硅氧烷，膜厚 1 μm~5 μm，柱操作条件为程序升温 50℃~250℃，初始温度为 50℃，保持 10 min，升温速率 5℃/min，至 250℃，保持 2 min。

5 注射器——1 μL、10 μL 注射器若干个。

G.0.3 试剂和材料

1 Tenax-TA 吸附管——内装 200mg 粒径为 0.18mm~0.25mm (60~80 目) Tenax-TA 吸附剂的玻璃管或内壁光滑的不锈钢管，使用前应通氮气加热活化，活化温度应高于解吸温度，活化时间不少于 30min，活化至无杂质峰，当流量 0.5L/min 时，阻力应在 5kPa~10kPa 之间。

2 标准品——苯、甲苯、对(间)二甲苯、邻二甲苯、苯乙烯、乙苯、乙酸丁酯、十一烷的标准溶液或标准气体。

3 载气——氮气(纯度不小于 99.999%)。

G.0.4 采样

应在采样地点打开吸附管，与空气采样器进气口垂直连接，调节流量在 0.5L/min 的范围内，用皂膜流量计校准采样系统的流量，采集约 10L 空气，记录采样时间、采样流量、温度和大气压。

采样后，取下吸附管，密封吸附管的两端，做好标记，放入可密封的金属或玻璃容器中，应尽快分析，样品最长可保存 14d。

注：采集室外空气白样品，应与采集室内空气样品同步进行，地点宜选择在室外上风向处。

G.0.5 标准系列制备

根据实际情况可以选用气体外标法或液体外标法。

1 气体外标法：准确抽取气体组分浓度约 1mg/m³ 的标准气体 100mL、200 mL、400 mL、1L、2L，通过吸附管，为标准系列。

2 液体外标法：抽取标准溶液 1 μL~5 μL 注入 Tenax-TA 吸附管，制备各组份含量为 0.05 μg、0.1 μg、0.5 μg、1.0 μg、2.0 μg 的标准吸附管，同时用 100mL/min 的氮气通过吸附管，5min 后取下，密封，为标准系列。

G.0.6 热解吸气相色谱法

采用热解吸直接进样的气相色谱法：将吸附管置于热解吸直接进样装置中，280℃~300℃充分解吸后，解吸气体直接由进样阀快速进入气相色谱仪，进行色谱分析，以保留时间定性、峰面积定量。

G.0.7 标准曲线

用热解吸气相色谱法分析吸附管标准系列，以各组分的含量(μg)为横坐标，峰面积为纵坐标，分别绘制标准曲线，并计算回归方程。

G.0.8 样品分析

每支样品吸附管，按标准系列相同的热解吸气相色谱分析方法进行分析，以保留时间定性、峰面积定量。

G.0.9 计算

1 所采空气样品中各组分的浓度，应按下式计算：

$$C_m = \frac{m_i}{V} \quad (\text{F. 0. 9-1})$$

式中 C_m ——所采空气样品中 i 组分的浓度 (mg/m^3)；

m_i ——样品管中 i 组分的量 (μg)；

V ——空气采样体积 (L)。

2 空气样品中各组的浓度，应按下式换算成标准状态下的浓度：

$$C_c = C_m \times \frac{101.3}{p} \times \frac{t+273}{273} \quad (\text{F. 0. 9-2})$$

式中 C_c ——标准状态下所采空气样品中 I 组分的浓度 (mg/m^3)；

p ——采样时采样点的大气压力 (kPa)；

t ——采样时采样点的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

3 应按下式计算所采空气样品中总挥发性有机化合物(TVOC)的浓度：

$$C_{TVOC} = \sum_{i=1}^{i=n} C_c \quad (\text{F. 0. 9-3})$$

式中 C_{TVOC} ——标准状态下所采空气样品中总挥发性有机化合物 (TVOC) 的浓度 (mg/m^3)。

n ——该方法分析出的保留时间在正己烷和正十六烷之间并包括它们在内的所有峰的数量，包括被识别和未识别的峰。

注：1 对未识别的峰，以甲苯的响应系数来定量计算。

2 注：当与挥发性有机化合物有相同或几乎相同的保留时间的组分干扰测定时，宜通过选择适当的气相色谱柱，或通过用更严格地选择吸收管和调节分析系统的条件，将干扰减到最低。

3 依据实验室条件，可等同采用国际标准 ISO 16000:2004、ISO 16017-1: 2000 等先进方法分析室内空气中的 TVOC。可采用国际标准 ISO16017 等先进方法。