

手套箱技术

〔日〕井上武一郎等著

原子能出版社

内 容 提 要

本书摘译自日本原子能学会密闭系统研究会举办的专题讲座稿(发表于1972年5月至1973年6月的日本“原子力工业”上)。文章概略地介绍了日本的手套箱技术,着重叙述了钚用手套箱及其附属设备的设计原理、制造工艺、使用维护及放射性管理等内容。本书可供从事这方面工作的人员参考。

手 套 箱 技 术

〔日〕井上武一郎等著

朱勤生 刘澍 李文琰 译

☆

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $5\frac{5}{8}$ ·字数 124 千字

1976年8月北京第一版·1976年8月北京第一次印刷

印数 001—2000·定价: 0.60 元

统一书号: 15175·064

目 录

前言	1
一、手套箱的设计原理	8
二、实验研究用手套箱	21
三、钚燃料加工设施的手套箱	36
四、手套箱的附属设备(之一)	53
五、手套箱的附属设备(之二)	71
六、手套箱的检查	88
七、手套箱的常规维修	104
八、手套箱的非常规维修	116
九、安全措施	135
十、放射性管理	158

前 言

井上武一郎¹⁾

目前，原子核裂变能的利用乃是人类为不依赖于化学燃料而提出的一个现实课题。考虑到天然铀中裂变铀的比例，我们就要接受钚系核燃料的实际应用。但钚具有极大的放射性，易燃性，及操作量和临界量的问题(见图1)，对使用过燃料的再处理及钚燃料制造过程中的安全，与以前的放射性管理在性质上有很大的不同，所以就要先走一步去建立一种比以前的工业安全卫生更先进的体系。

作为定性的最好的方法可以说就是“将钚燃料生产的全过程进行隔离。密闭可以达到异常安全的地步”。

可是，首要的是对钚这样的物质决不容许把“密闭”这个概念停留在目前工业卫生中已做到的那样的定性阶段。

其次，即使将生产过程密闭(以下简称为工艺密闭)了，也决不能排斥人们为了维护、检查、修理等目的必须进入这种密闭系统；还必须考虑到当维护、修理和更换内部设备，拆毁全部或部分内部设备时，也必然要使密闭了的系统开放，由于事故的发生一定也会使密闭系统外的工作现场造成明显的污染。

因此，不仅工艺过程要密闭，而且也应同时去研究和探讨人体方面的密闭技术。

1) 武藏工业大学教授，原子力研究所主任研究员。

体内最大容许积存量 (对骨) 0.04 微居里 (0.6 微克)

空气中最大容许浓度 (对骨照射 40 小时) 2×10^{-12} 微

居里/厘米³, (对肺) 3×10^{-11} 微居里/厘米³

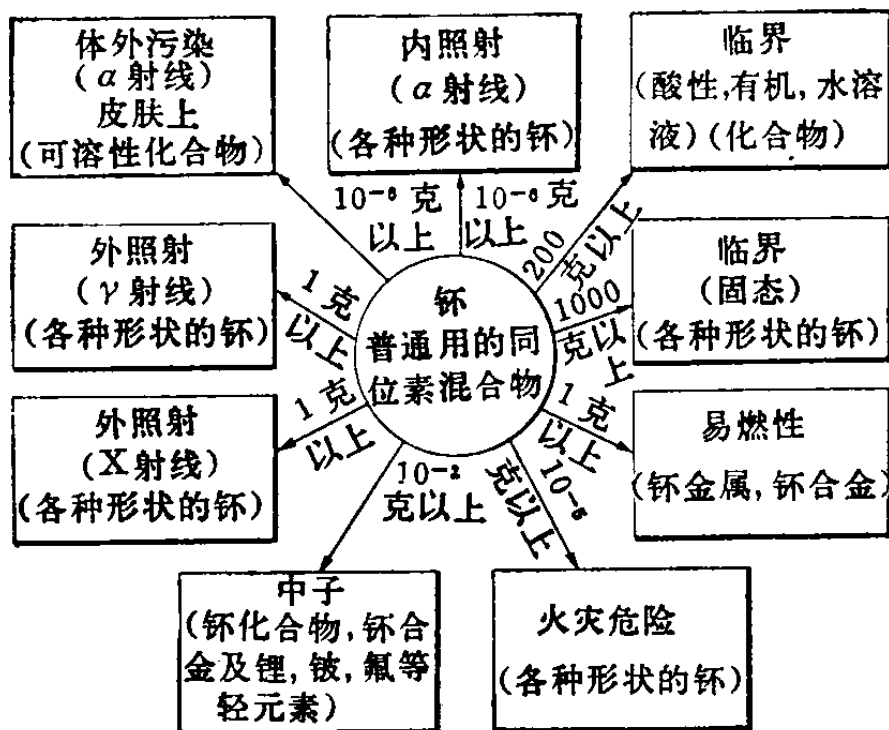


图 1 操作铈的危险性

工艺密闭技术之一是手套箱 (确切地说, 应该叫做手套箱系统)。

关于手套箱这种工艺密闭技术和气衣这种人体密闭技术的研究, 虽然是保守的, 但它是有非常重要的意义的。

把手套箱从字面上单纯理解为“连着手套的箱子”那是错误的。手套箱是用于“工艺密闭”目的的一种封闭系统, 其意图有两方面:

其一是工艺本身, 由于忌讳普通气氛中的常在成分氧和水蒸汽, 或构成污染成分的灰尘和杂菌, 所以要把工艺的一部分或全部密闭到特别形成的气氛中去, 以便尽可能防止这些不希望有的成分从外部侵入。

现在的另一个意图是为防止从工艺过程中扩散出对人体

健康有害的气体、蒸汽、烟雾、灰尘等污染操作环境的空气，使它不致于伤害操作者。

用于原子能设施的手套箱的研制意图很明显是后者。对铀的金属、碳化物、或氧化物所采用的气氛更换型手套箱其目的也属于后者，作为手段可以说也含有第一个意图（见图2，图3）。

手套箱既然是这样一种“着眼于空气污染，为使工艺密闭而设计的装置”，所以其设计、使用和维护的第一个原则应该是确保工作环境气氛不受污染。

可是，这不单单是指一个手套箱泄漏少或气密性好那样

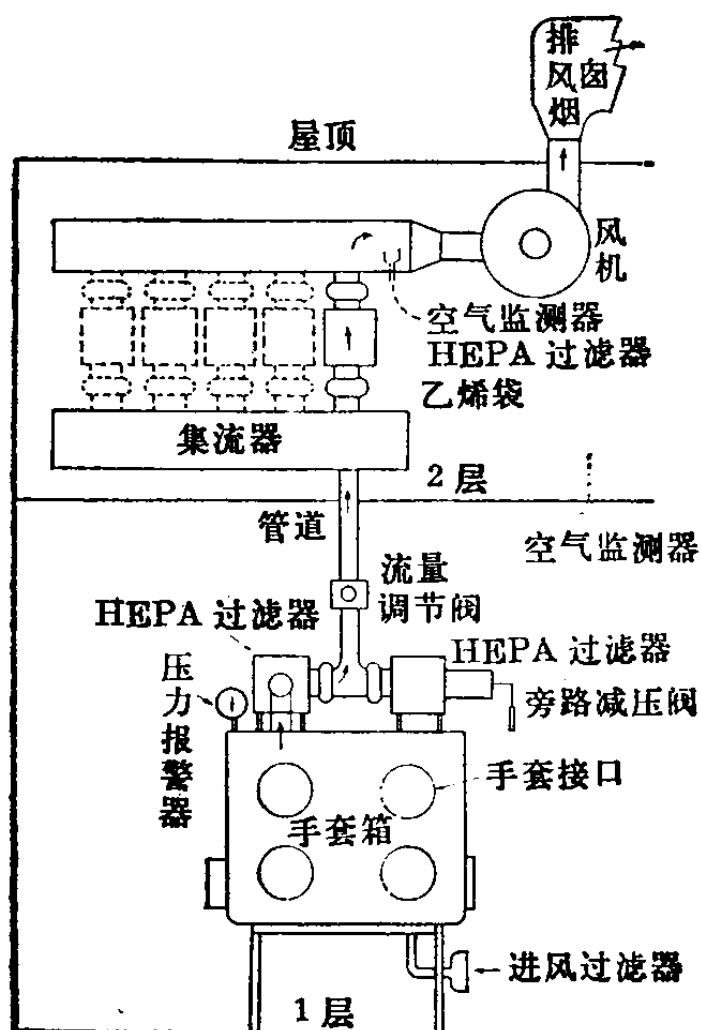


图2 局部排风系统手套箱一例

简单。而是应该把“具有特定工作气氛的一个闭锁循环系统”或“连接密闭装置的一个局部排气系统”当作整体性能来考虑。

手套箱作为一个系统，不仅在制造安装过程中，而且在整个运转期间都应进行连续或定期的监测，以随时定量的掌握其性能的可靠程度。

第二个原则是要考虑钬的易燃性和箱内使用可燃物质可能引起的火灾和爆炸。作为手套箱主要结构材料的橡胶手套和塑料面板是手套箱的弱点，过滤器耐燃问题也没有达到能满足的水平，所以箱内的火灾和爆炸发展成重大事故的可能性是很大的。正因为要考虑发生的可能性很大，所以手套箱的材料、部件的耐燃性和发展火灾检测技术及消防器械乃是手套箱技术上一个最重要的研制课题。

这里，我想先指出一下，现在所使用的手套箱，即使是

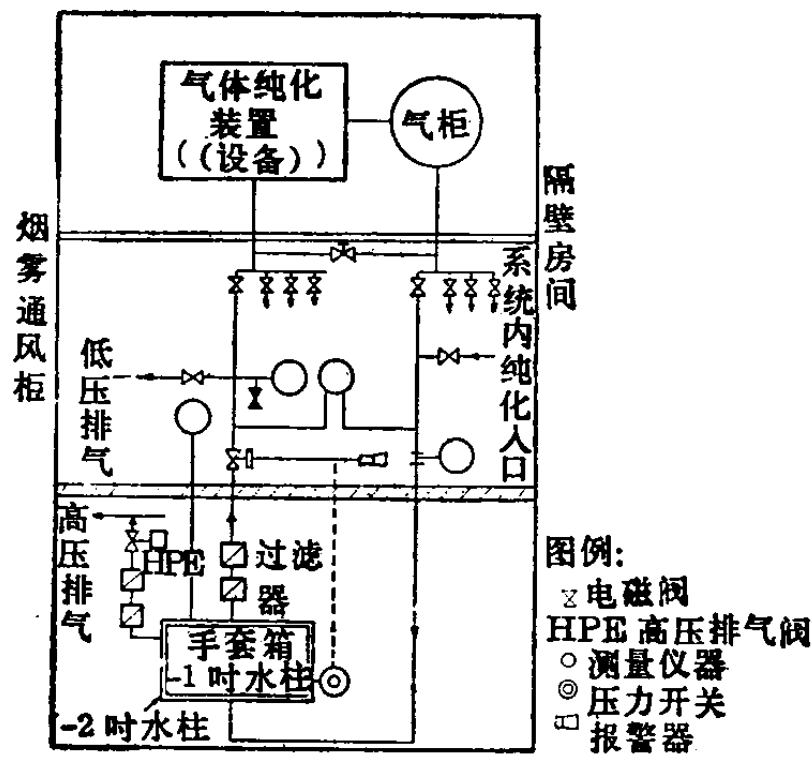


图 3 闭锁循环系统(气氛更换型)手套箱的一例(双壁型)

最高级的，对照这两个原则，可以说也有相当多令人不满意的地方。

表 1 是必须在手套箱内操作的放射性物质的数量下限，这是英国原子能委员会规定的。对一种工艺判断究竟采用开放式工艺操作还是为了防止污染元素的扩散而放入通风罩、通风柜内的办法呢？或是采用密闭型手套箱密闭起来的办法呢？应看该工艺过程中操作物质的毒性、操作量、及其化学物理性质、比放射性等而定。除操作物质本身的危险性之外，把由于着眼于空气污染而选用的操作方法的危险性和操作者的熟练程度、知识等这一方面的因素加以综合考虑而来评价危险性才是合理的。图 4 示出了这一类关系。当然，这样的表示方法是很概略的，较容易理解，但主要的是工艺密闭和人体密闭两方面。在极端的情况下，由于工艺必须开放，

表 1 必须在手套箱内操作的放射性物质的数量下限

	湿 法 操 作	干 法 操 作
钚	1—10毫居里	10—100微居里
核分裂生成物 (冷却2—3个月)	10—100居里	100—1000毫居里
核分裂生成物 (冷却一年)	1—10居里	10—100毫居里
铯 ¹³⁷	100—1000居里	1—10居里

当然就变成只有将人体密闭于气衣内那样的情况了。

这里最重要的是决不能单纯认为采用了气密型手套箱就安全了。即使是昂贵的手套箱，其防护效果也是有限度的。如果能正确地进行设计、施工、使用和维护，加上电源及其他各种条件又处于正常情况下，才可能得到原定的防护效果。

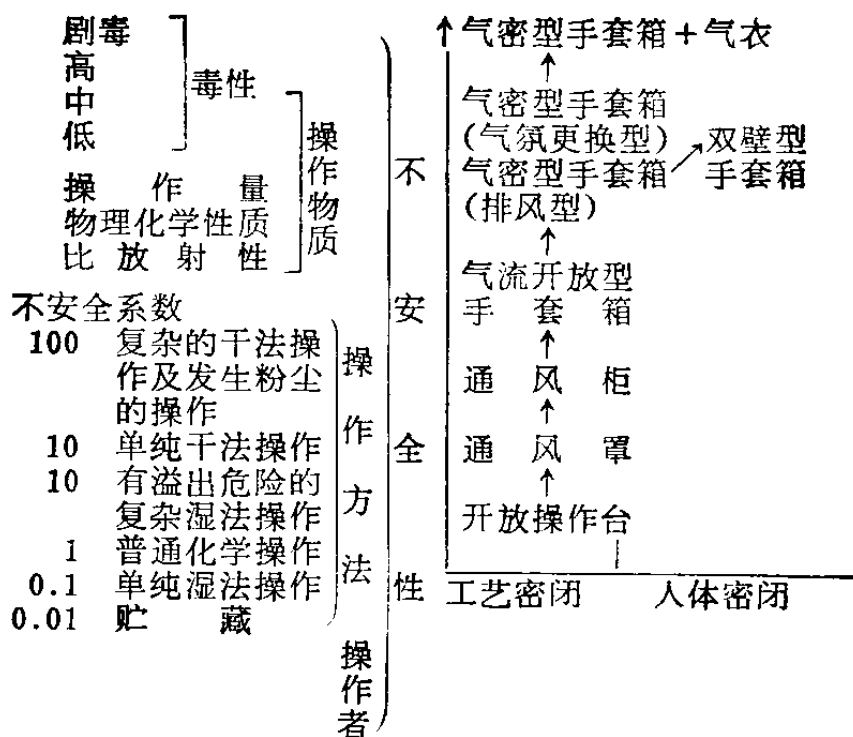


图 4 不安全性的评价和工艺密闭的等级

不管是局部排气系统还是闭锁循环系统的手套箱，决定它们防护性能的最重要机构是压力控制机构。在局部排气系统用的气密型手套箱中，箱内经常保持相当大的负压（—40—50 毫米水柱）。这里最大的问题是由于火灾或爆炸会使箱内保持的负压受到破坏。

通常，手套箱壁是单层的，但在处理大量粉状物质时用双壁型的。在局部排气系统的手套箱中，当然应该包括排气中污染成分的纯化收集机构和能检测纯化后气体中污染成分浓度的监测机构。在气氛更换型手套箱中，应改用有害污染成分的检测机构和排除机构。

空气污染既然和表面污染有很大的联系，那末对表面污染的考虑，尤其是对去污的认真对待当然要成为一个重要的项目。

还有，最近由于发电堆能耗的提高，不仅铀²³⁵，而且钚也参与了核裂变。今后，燃料要经过再处理反复使用，随着

高质量数同位素的增加，特别是随着钚²⁴¹的增加，不能忽视其衰变生成物镅²⁴¹的较强的 γ 射线， γ 射线的屏蔽问题将成为手套箱技术的一个新研究课题。

关于手套箱的材料、构造和各种部件的详细情况，由于在后面会作详细论述，在这里我仅讲了一些基本概念。

一、手套箱的设计原理

江村 悟¹⁾

(一) 从操作看手套箱的弱点

能把有毒物质封闭在一定的操作区内，并有保护操作者目的的手套箱有两个很大的弱点。

第一是操作性问题。无论怎样巧妙设计的手套箱，都必须在固定位置戴着手套进行操作。因此，其动作的自由度受到明显的限制；而且由于窥视窗使视野、视角受到限制；箱照明的散射和室内光线的反射等原因，一般都会使操作者的视觉降低。再有，因所戴手套的厚度(包括套着辅助手套)造成手的柔软度减少，由于手适应性的差异，致使感觉灵敏度降低，同时，对于热敏感性也变得相当差了。另一方面，由于动作姿势不自然，举物和繁琐的手套戴、脱等等缘故，就容易感到疲劳。若把手套箱操作和一般实验台操作的操作性加以比较，则在做机械操作时，因手套操作主要是辅助性的，所以对作业时间没有很大影响。可是当物体搬进搬出和转移等以手操作为主的操作多起来时，作业时间就变长了。

第二个弱点是因为物体密闭在箱内，由于操作者直接操作而造成的箱结构材料的不一致。手套箱的最薄弱环节如窗和手套既缺乏耐火性，又缺乏机械强度。这也是人们围绕着危及箱本体的火灾和爆炸等问题，而引起争论和探讨的部分。

1) 日本原子力研究所保健物理安全管理部副主任研究员。

假如以发生火灾时的防护为重点，那么，在某种程度上又会牺牲操作性，结果会增加操作的繁琐程度。以上都是设计时所必须考虑的问题。

(二) 手套箱设施

1. 建筑物 放置手套箱的建筑物虽与示踪同位素设施中所采纳的设计原则没有本质区别，但希望特别注意下列几点。在建筑物内部尽量不要出现柱、横梁之类突出部分，要简单化。地面涂饰采用聚合脂类塑料，平铺成无缝的地板，或采用薄瓷砖，在发生污染时，可把那部分拆除，这对修补这一点是很理想的。在设备方面，照明不采取悬吊方法，做成密封形式装在天棚上。要避免露出管道，最好设置公用管道室，把全部管道安装在管道室，在手套箱的必要处仅露出管道的端部。此外，对于室内的空间，要考虑手套箱数目，控制仪器，辅助设备，动力线等等，在设计时要留有充分的余地。室内冷风设备对于手套操作是必需的。还要极力限制往室内拿进隔板、台架、椅子之类东西，对消耗品也只放必要的数量作补充用。

2. 手套箱的布置 使用手套箱，要根据其目的是实验用，研制用，还是生产用，采取不同的布置。布置方法可以分单台型和连接型。

单台型手套箱的优点是自由度大，维修时只要小的场地就可以解决，能够从四面接近，所以操作容易，有可能提供足够的可见度用来作精细操作。当发生火灾时，对其他手套箱的影响小，控制火灾简单。可是对手套箱之间的物品传送却产生了各种复杂的问题。

而连接型手套箱的优点是简化了工艺控制和传送操作，

有可能使机器集中起来。缺点是因为要采用那种传送带的运输装置，使成本提高了。在安全性方面，火灾的危险性比单台型大了，特别是窗板如采用可燃性材料，危险性就更大。作为防止火灾漫延的措施，必须在连接部分安装闸门。而且与单台型相比，连接型的自由操作面减少，同时，在进行一个箱的维修作业时，会影响全部手套箱。

(三) 手套箱的结构材料

手套箱结构材料的选择条件是(1)在窗、垫料、箱底板、侧壁等处，无论哪部分破损都会使极毒性物质跑到操作室和大气中来，因此就要求材料能耐火灾、抗腐蚀和抗冲击，有些材料还要求有优良的弹性和透明度。(2)要求有好的去污性能。就是说要不吸附、不吸收、耐酸、耐碱，要能耐磨损、有好的机械强度，还要有耐火性、不燃性和不受高能辐射的影响等等。

1. 箱本体 (见表 1) 合层板因价廉、易加工，在美国等国家广泛用它来与塑料窗结合使用，如再使用合适的涂漆和内衬，还可提高耐久性和去污性。

不锈钢的机械性能、耐火、耐碱、耐溶剂的性能很好，对酸有中等程度的抗腐蚀性，可是在盐酸中特别容易腐蚀。它作为箱体材料来讲，不完美的地方是对放射性物质吸附性较强和去污困难。但它是最常用的材料。

在软钢上涂上涂料，根据涂料种类可以弥补其缺点。材料的价格比不锈钢便宜。它在英国哈威尔的标准箱 MK-1，美国国立阿贡实验室的萨哈姆 (Genham) 手套箱中得到了使用，但是在日本使用的例子很少 (见图 1)。

表 1 手套箱用材料的性质

材 料	用 途	机械强度	硬 度	抗冲击性	耐热性	耐火性	辐稳定照性	吸附放射物质	去污性	耐酸性	耐碱性	耐溶剂性
不锈钢	底, 侧面等	大	大	大	大	大	大	大	小	中	大	大
石 板	底 面	大	大	中	大	大	大	中	小	中	大	大
密胺(甲醛)树脂	衬垫用	大	大	小	小	大	中	小	中	大	大	中
氯乙烯	一般用	中	中	小	中	中	中	小	大	大	大	大
多层聚合酯树脂	“	中	中	小	中	中	中	小	大	中	大	大
多层环氧树脂	“	中	大	小	中	中	中	小	大	中	大	中
铝合金	底, 侧面等	大	大	大	中	大	大	} 因涂层后使用, 性质随涂层而异				
碳 钢	“	大	大	大	大	大	大					

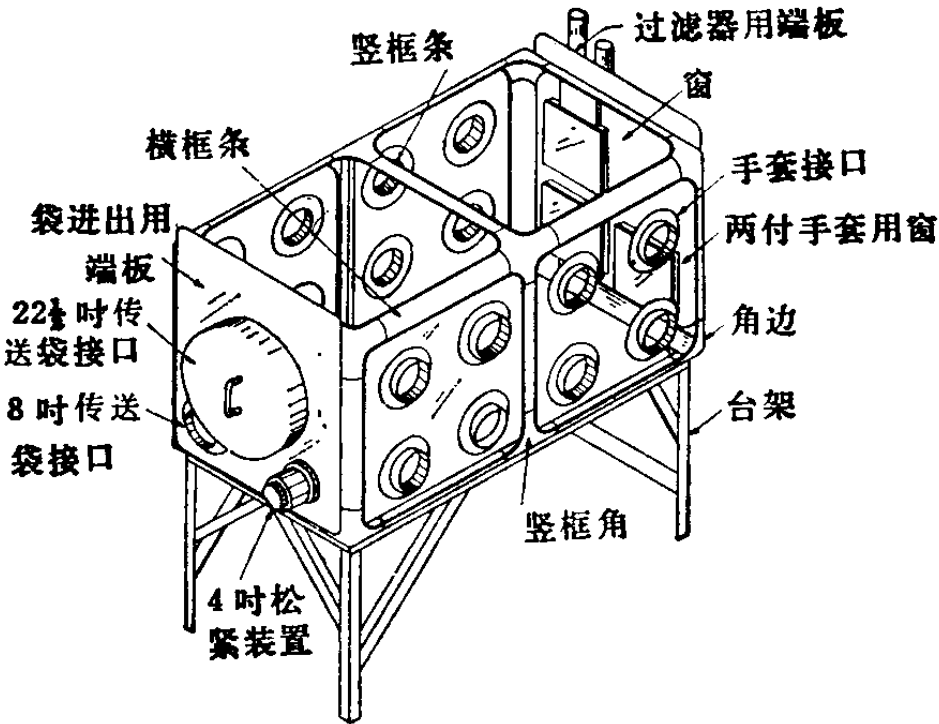


图 1 萨哈姆 2 模式手套箱

铝比不锈钢价格稍微便宜些，装配容易。耐蚀性可用塑料内衬和保护涂层来弥补。

硬质塑料、特别是人造荧光树脂(Lucite)、树脂玻璃(plexiglas)以及类似材料，因机械加工容易而价格低，在作为

壁和窗材料这两方面得到了广泛的应用。不过这种材料火灾的危险性大，要限制在低水平上使用。

玻璃纤维强化的聚合脂不吸附污染，具有某种程度的机械强度、硬度，可是在耐冲击、耐火方面是弱的。因它的耐酸性好，可放入碱和某些酸中，所以在化学和分析化学中使用。

2. 台架材料 手套箱用的支架或台架材料，一般采用市场出售的角钢（碳钢）、焊接管框架或木料。它们都用耐酸漆，乙烯涂料等作涂层。

3. 窗材料 作为窗材料的必要条件是(1)耐机械磨损（不产生擦伤），(2)耐火性，(3)容易密封，(4)耐化学药品和耐辐照性，(5)即使发生温度压力变化也不影响气密性，(6)加工容易。此外，对窗要选择透明度良好的材料，使用面积应尽可能小些（见表2）。

安全玻璃与现有的塑料比较，耐火性好，因此广泛应用于手套箱中。缺点是柔软性和耐冲击性差，不能满足要求。

表 2 窗材料的性质

材 料 性 质	透 明	加 工 性	耐 火 性	耐 热 性	抗 冲 击 性	耐 酸 性	耐 溶 剂 性	耐 端 裂	耐 变 色	耐 擦 拭
叠层安全玻璃	良	可	良	优	中	中	中	劣	中	中
氯乙烯	劣	优	中	劣(60°C)	中	中	中	优	中	中
人造荧光树脂 ⁽¹⁾	优	良	劣	中(93°C)	中	中	中	良	可	可
树脂玻璃 ⁽¹⁾	优	良	劣	中(93°C)	中	中	中	良	可	可
聚合树脂 ⁽²⁾	优	可	中	中	中	中	中	可	中	中
CR-39 ⁽³⁾	优	可	劣	中(93°C)	中	优	中	可	中	中

(1) 丙烯树脂，(2) 商品名为 Homolite，(3) 烷基碳酸二甘醇。

与此相反，优点是表面光滑、干净，比塑料窗容易去污，气体不渗透性也是好的。

人造荧光树脂和树脂玻璃有柔软性，因此它的特点是可以安装在需要稍稍弯曲的部位。可承受低冲击，也易于加工。特别是在使用氢氟酸的场合，它比玻璃使用得多。缺点是不耐擦拭，受有机溶剂的侵蚀，在拧紧时有变形的倾向，此外，对氮、氢、水分等的不渗透性差，受重冲击和爆炸容易破损。

被称为 CR-39 的烷基碳酸二甘醇，其耐擦拭，耐冲击，耐应力裂纹，耐化学药品，硬度等都比荧光树脂优良。

聚合树脂(Homolite)在光滑度、光泽、耐化学药品性方面可与磨光玻璃比美，耐擦拭性也比荧光树脂优良。反之，其机械加工比荧光树脂困难，在稍微弯曲部位安装时，有产生裂纹的缺点。

4. 手套材料 作为手套箱用手套的必要条件是(1)柔软性好，(2)薄而强度好，(3)低压差时延伸率小*，(4)不易破裂，(5)气体渗透性小，(6)与手套接口材料能很好密合，(7)在手套箱操作条件下有适当的寿命，(8)在实验室条件下寿命长等等。天然橡胶制的手套，在强烈要求有敏感性的场合中，法国等地有使用。但在手套箱条件下的寿命是短的，其耐臭氧性、耐油性、耐溶剂性都不好。

氯丁橡胶是用得最多的材料，但抗张力比天然橡胶差。作为手套箱用手套是将手套模型在磨制氯丁橡胶的分子溶剂中反复浸渍，制得的手套均匀度高。可以认为这是一种对水分和气体渗透性都低的具有致密分子结构的非多孔性薄膜。

丁基橡胶在渗透性方面明显地比其他材料优良，可是在

* 原文为低倍率。——译者注

制造长臂手套时，在技术方面有困难。

此外，为了改进材料的性能，正在研究氯乙烯-海泼隆（氯磺化聚乙烯 Hypalon）和复合材料如氯丁橡胶/织品、天然橡胶/环氧/聚酰胺薄膜等等，可是都各有其缺点，还没有达到实用阶段。

(四) 结构型式

1. 壳式结构 板材在不使用框架时，可制成适当形状的外壳。在用于底、侧面、背面造形时，板材还具有能制成圆弧形的特点，以利于箱内部的去污。对于比较小型的箱，不论金属或非金属制的，大部分是用这种方法制作的（见表3）。

表 3 手套箱的形状

型 式	形 状	结 构 方 式	用 途
A		壳式结构	化学分析、测定等小规模用
B		壳式结构	化学实验等较小规模用
C		框架镶板结构或壳式结构	• 内部装大型机器 • 研制和生产规模用

2. 框架镶板式结构 把竖框条、弯边的横框条和带有圆弧的角边等几个基本物件，采用对接焊做成框架，再安