

热室设计安全问题手册

2-62

原子能出版社

内 容 简 介

本手册简单介绍了设计和建造热实验室时所应注意的事项和遵从的原则。全书共分七章，介绍了热实验室的建筑分区、手套箱、通风柜、屏蔽工作箱以及热室等密闭装置的结构和选用的原则；从安全角度讨论了密闭装置的操作和观察装置、传送和通风系统、放射性废物处理。并专门讨论了个人防护问题。本书附有大量示意图。

本文译自国际原子能机构出版的安全丛书第30册
“Manual on Safety Aspects of the Design and
Equipment of Hot Laboratories”.1969.

热室设计安全问题手册

顾俊仁译

原子能出版社出版

金华新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(只限国内发行)

☆

开本787×1092¹/₃₂·印张3¹⁵/₁₆·字数8.7千字
1975年7月金华第一版·1975年7月金华第一次印刷

印数001——3700·定价: 0.45元

统一书号: 15175·019

目 录

序 言.....	(1)
目 的.....	(2)
范 围.....	(3)
1. 建筑物中工作区域的布置.....	(3)
1.1. 按照不同放射性和污染危害程度分区 的原则.....	(3)
1.2. 几个区域在建筑上的处理.....	(5)
2. 密闭装置.....	(10)
2.1. 通风柜.....	(11)
2.2. 手套箱.....	(13)
2.3. 屏蔽工作箱.....	(24)
2.4. 热室.....	(32)
3. 操作和观察装置.....	(41)
3.1. 观察装置.....	(41)
3.2. 照明设备.....	(48)
3.3. 远距离操作和操作设备.....	(50)
3.4. 热室、机械手和窥视窗的相对尺寸.....	(67)
4. 传送和运输装置.....	(69)
4.1. 带屏蔽的传送装置.....	(70)

4.2.	相当于传送装置的传送方法.....	(79)
4.3.	相当于屏蔽传送装置的传送方法.....	(81)
4.4.	放射性溶液的传送和运输.....	(92)
5.	通风系统.....	(95)
5.1.	通风柜.....	(95)
5.2.	手套箱.....	(96)
5.3.	屏蔽工作箱.....	(98)
5.4.	热室.....	(98)
6.	放射性废物的处理系统.....	(98)
6.1.	液体放射性废物.....	(99)
6.2.	固体废物.....	(103)
7.	个人防护.....	(104)
7.1.	更换室.....	(104)
7.2.	监测.....	(110)
7.3.	防护服.....	(113)
	参考文献.....	(114)

序 言

随着原子能工业的发展，要求实验室能处理日益增多的放射性物质，因此设计安全操作这些物质的方法已成为首要之事(1—28)。

这些方法的主要任务是：保证工作人员的安全；提供这种安全操作的条件，即在此条件下操作放射性物质时能得到可重复的和可靠的结果；使实验室具有最高的工作效率；并能安全地从实验室中排放废液和废物。

除实验室的一般危害，如化学、设备方面以及火灾危害等外，设计放射性实验室时必须考虑使得工作人员免受内照射和外照射，以及使得工作人员免受由于裂变物质的集结量超过特定的临界量时而发生的不可控核裂变的辐照危害。

对外辐照的防护是采取在辐射源和操作者间设置一道合适的生物屏蔽墙来达到的。保证操作者安全所需的屏蔽厚度取决于辐射的种类、强度和能量。对于 α 和 β 辐射源，只需一道极薄的生物屏蔽就行，而对 γ 和中子辐射的防护，却需要一道专门的生物屏蔽。为操作人员防护提供的这些专门屏蔽，应该（而且也必然地）包括，在这些屏蔽后面进行操作所需的远距离操作设备，因此，发展了良好的观察装置和复杂的机械手。

内辐照的危害是由于放射性物质摄入人体内造成的。对这种内辐照危害的最有效的防护措施是把放射性物质与工作环境隔离开。这种隔离可以采用将放射性物质置于封闭装置

内，如通风柜、手套箱、屏蔽工作箱以及热室等的形式来达到。保证操作者安全所需的封闭装置的完整性以及所要求的通风标准主要依赖于下列几个因素：放射性物质的毒性、数量、比放射性、物理和化学状态以及操作方式等。

由于放射性物质总要进出这种封闭装置，所以必须研究贮存和传送这些放射性物质的安全措施，并须对操作区周围进行监测以探测是否存在任何污染。

在实验室中，对可裂变物质的贮存、传送以及处理量实行严格控制，是避免不可控核裂变危险的最有效办法。

采用孤立的封闭装置或容器操作，是在可以控制条件下进行单独操作以及对放射性物质进行处理的最好的方式。

由于实验室中辐射危害的程度不同，在设计实验室时将操作部位相近但隔开的区域中具有相同或程度相近的辐射危害部分集中在一起，这对提高实验室的操作效率是有利的。操作人员可通过更换室在这些分开的区域间活动。在更换室更衣或穿戴防护服是为了操作人员的安全和防止不同区域间污染的扩散。为了防止空气中污物在不同区域扩散，必须在这些区域间设计一整套通风系统。

目 的

本手册主要目的是想为那些负责设计和建造新的热实验室的人员或当局提供指导，并打算归纳各个国家在设计和操作热实验室方面有关经验，指出在设计实验室建筑物、设备以及主要设施等方面的基本思想和不同途径。对采用这些途径的实例进行了讨论，这种讨论可能有助于热实验室操作人

员的训练工作。

范 围

第一章按照各种可能的辐射和污染危害，阐述了实验室内各区布局的一般原则。第二章讨论了对放射性物质进行密封的几种封闭装置。第三章提出了观察和照明系统以及不同类型的机械手。在第四章中，讨论了实验室放射性物质的运输及传送方法。第五章讨论了实验室的通风问题，还特别参考了国际原子能机构安全丛书第17册“核装置操作引起的空气沾污的控制技术”。第六章讨论了各种放射性废物的处理系统。第七章叙述了包括更换室监测和防护服在内的个人剂量监测问题。

1. 建筑物中工作区域的布置

1.1. 按照不同放射性和污染危害程度分区的原则

一个设计很成功的实验室，应该除了能完成为建造此实验室而提出的各项任务外，还应能随时完成任何时候提出的这类任务(29+53)。

辐射实验室一般所承担的任务是接受放射性物质、辐照和处理这种物质、发送产品以及安全排放操作过程中产生的气体、液体和固体废物等。在这些任务中，造成最大危害的是放射性物质的辐照和处理。

在早期，企图用把操作者封闭在防护服内的方法来达到操作者与危害因素间隔开，这种方法具有许多明显的缺点，

所以不久就由将放射性物质置于一个封闭装置中的方法替代了。

为了完成各种任务，这种封闭装置必需有开口。因放射性物质必须放入这种封闭装置，辐照和处理这些放射性物质的操作，可通过封闭装置直接地或远距离地进行操作来完成。产品、固体和液体废物必须由封闭装置取出，而废气流则不允许漏到操作者的周围环境。

显然，完成这些任务是和不同程度的危害性有关的，而按照相同的危害程度把实验室进行分区是可能的。通常把区域分成四类。按照习惯，每个区在不同的国家给出了不同的称呼。本手册打算分成Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ和Ⅳ区。

Ⅰ区——本区内不存在放射性和污染危害。进入本区不受限制。

Ⅱ区——一般来说，此区内不会有超过操作人员岗位安全规定的辐射和污染的危害。进入本区可要求更换少量衣服。建议对放射性物质的存在，进行一般监测。

Ⅲ区——由于放射性物质的物理处理和操作是在本区进行的，所以本区域污染的几率和辐射危害性要比Ⅱ区大。本区要求对放射性和污染进行监测。特别要注意对空气的监测。工作人员在Ⅲ区和Ⅱ区间走动时通常要求更换衣服和监测。

Ⅳ区——此区设计成一个封闭的区域，在区域内有放射性物质，并在此进行辐照和处理，故这里的放射性和污染的危害性最大。人员进入本区要受控制，一般情况只有放射源移走并进行必要的去污之后，才允许人员进入。人员进入本区时要按保健物理工作者在剂

量控制中所规定的那样，穿戴专用的防护服和呼吸保护器。

Ⅱ区在实验室中是一般操作区。通常在Ⅲ区中进行维修、去污、传送放射性物质以及其他的操作，这就会造成某种程度的放射性污染。在热实验室中，Ⅲ区和Ⅳ区是有着明确限制的区域。然而在某些实验室中，由于放射性物质的数量和性质，以及采取的某些特殊的预防措施等情况，Ⅲ区可当成Ⅱ区而作一般的操作。在意料中的或实际上释放出放射性的事件中，一部分Ⅱ区可临时改做Ⅲ区。

为使由于颗粒状物的转移而引起Ⅲ区对Ⅱ区以及Ⅳ区对Ⅲ区污染的机会减至最小，可用更换衣服和鞋的办法来实现；而减少空气所带污染的可能性，则用保持空气流总是从Ⅱ区到Ⅲ区再到Ⅳ区的办法来达到。

1.2. 几个区域在建筑上的处理

几个区域在建筑上的处理与实验室所操作的放射性物质的总量及其种类有关。Ⅳ区可为下列几种形式的封闭装置之一：通风柜、手套箱、屏蔽工作箱以及热室。按照实验室所要求的封闭装置的形式来考虑各区的布局较方便。

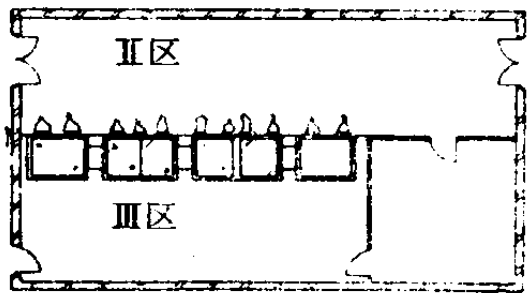
1.2.1. 通风柜

在放射性实验室中，当使用的放射性物质危害的几率和水平均较低时，选择通风柜作为封闭装置，它们一般布置在Ⅱ区中。

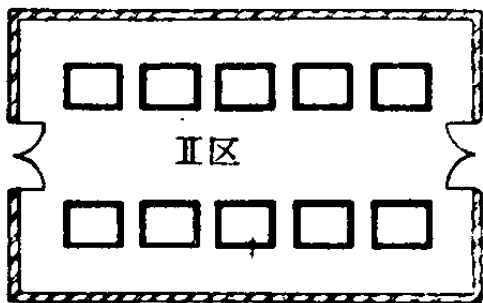
1.2.2. 手套箱

当采用手套箱作为封闭装置时，各区可有几种布置。在放射性实验室中，通常采用两种形式，一种是“线式”（在区域间）排列，另一种是“独立式”布置。图1 a就是这种

“线式”的布置方式，手套箱安置在Ⅱ区和Ⅲ区之间。在Ⅱ区内操作手套箱，单个手套箱的维修和去污可在Ⅲ区进行。Ⅱ区和Ⅲ区间的入口需通过更换室。



(a)



(b)

图1 手套箱的布置方式

(a) “线式”布置

(b) “独立式”布置

在实验室中，凡需大量手套箱的地方，从经济利益考虑，通常手套箱为“线式”布置，以提供一个公用的Ⅲ区（如图1a所示）。

“线式”布置手套箱的主要优点是，能相当容易和快速地接近手套箱进行维修或作小量的变更，而不必中断附近手套箱的操作。同时，这种布置方式还能直接安排手套箱间的

辅助设施与相互间的联系。

这种“线式”布置手套箱的缺点就在于，它不容易对手套箱本身作较大的变更，并且在建筑面积的利用上也多少有些不经济。

在“独立式”布置中，手套箱置于Ⅱ区所需要的地方，在那里进行正常的操作，同时还进行有限的维修或较小的改进。较大的维修和改进是把手套箱搬到一个专门的区域中进行的。图1b示出了这种布置方式。

“独立式”布置方式的优点，在于更换手套箱很方便，空间利用是经济的，箱子四周都能操作。这种布置方式的主要缺点是箱子进行大修时停工的时间较长。如果在箱子边上设立一个临时的Ⅲ区，那就能最大限度地减少这种缺点。

1.2.3. 屏蔽工作箱

屏蔽工作箱的分区类似于§1.2.2.所描述的那样。必须指出对于“独立式”屏蔽箱的情况，通常要在把放射源置于安全状态后，只把密闭箱搬到去污和维修区。

1.2.4. 热室

通常除极少数例外情况，热实验室一般按§1.2.2.所描述的那种“线式”布置的。检修区位置的变化是很大的，图2—4示出了这种典型的布置方式。图2和图3示出了具有检修区域(Ⅲ区)的单线和双线排列的热室布置，热室(Ⅳ区)和操作区(Ⅱ区)在同一个平面上。这种布置方式的优点在于它能严格控制Ⅱ区、Ⅲ区和Ⅳ区之间的污染，同时由于建筑布置是在同一平面上，所以它也是一种经济的布置方式。

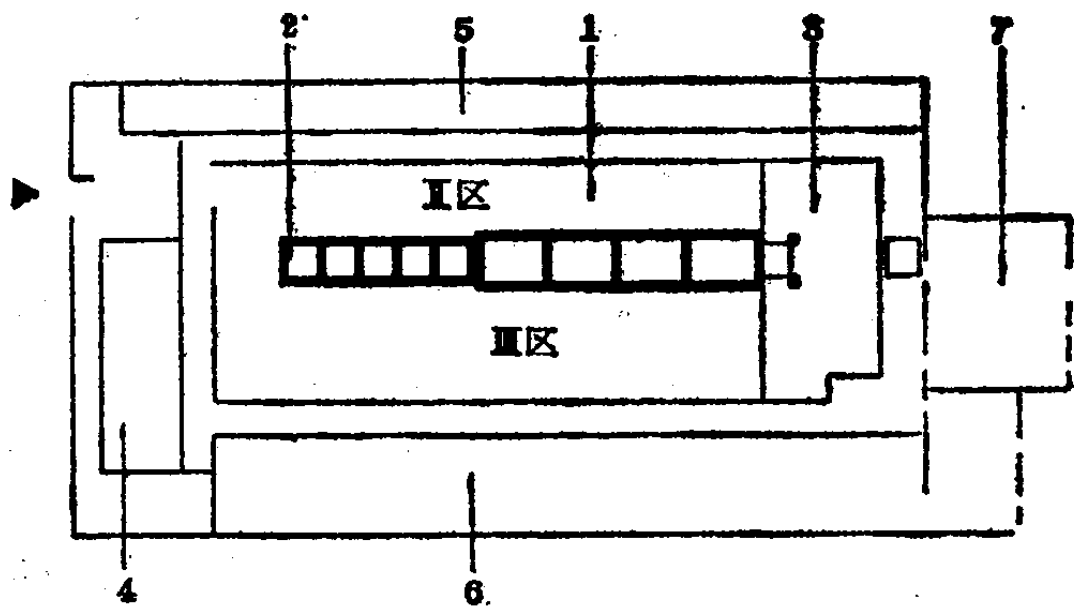
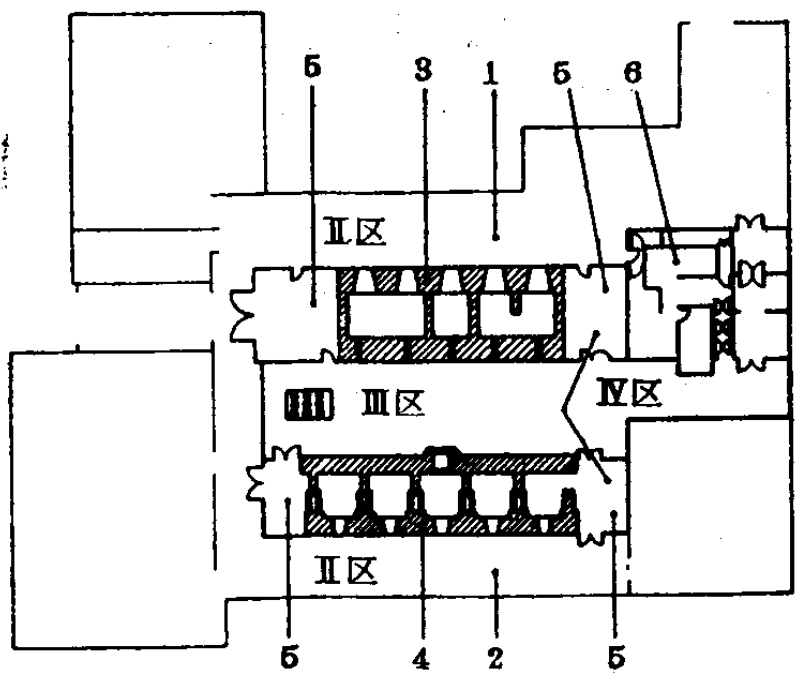


图 2 热室的单线布置

1.操作区; 2.热室; 3.去污间; 4.更换室; 5.办公室和实验室; 6.车间; 7.容器贮存间。



1.2.操作区;
3.4.混凝土屏蔽室;
5.传送间;
6.更换室。

图 3 热室的双线布置

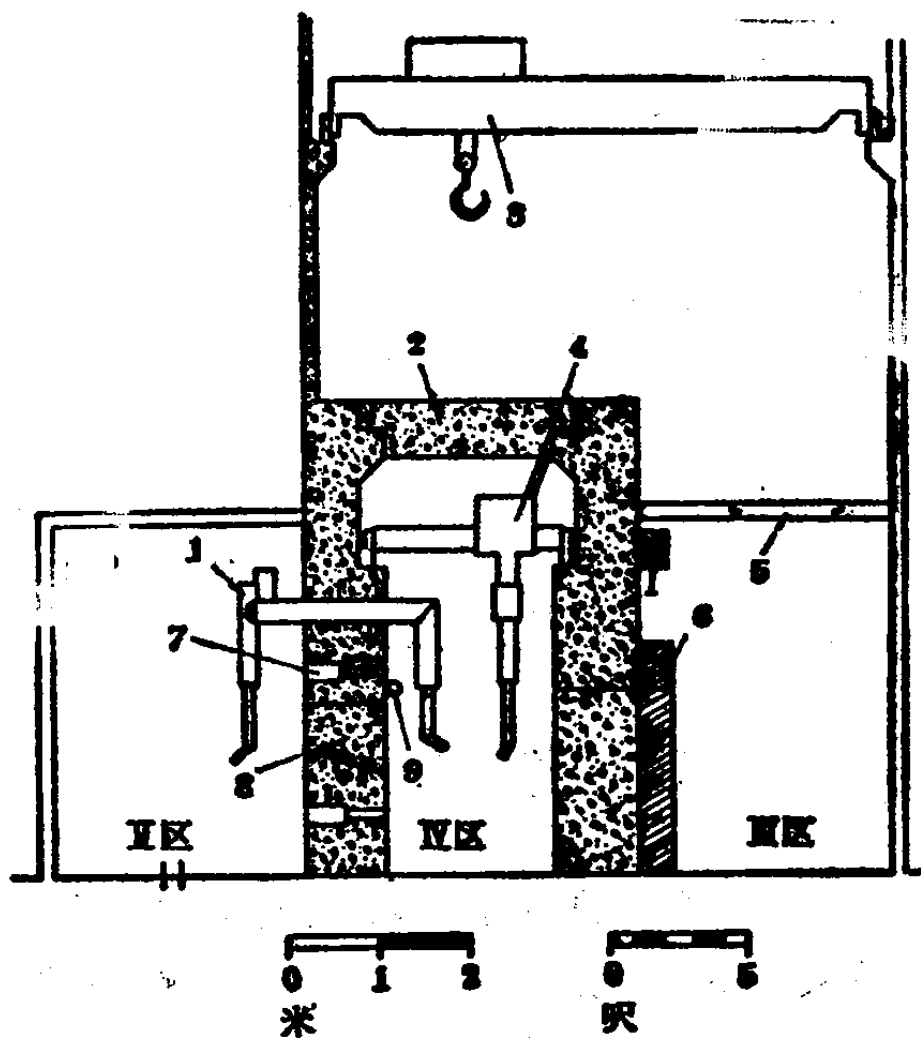


图4 分区布置剖面图

- | | |
|--------------|-----------|
| 1. 模拟机械手; | 6. 门; |
| 2. 可卸顶板; | 7. 入口孔道; |
| 3. 吊车; | 8. 屏蔽窥视窗; |
| 4. 坐标式电动机械手; | 9. 照明灯。 |
| 5. 隔板; | |

图4示出了一种单线热室布置，在热室的顶部和背部有分开的检修区。这种布置的优点在于热室有一个垂直入口，但它是用增加建筑高度而提高了建筑费用而获得的。

在有关热室的文献中，描述了“线式”法的多种布置形

式，而这些不同的形式是由可用的空间、现有设备和运输问题等因素联合造成的。

1.2.5. 专用区

任何实验室都是由上述那些复杂的各种封闭装置组成，其布置方式既可为单个的也可以是组合的。这主要取决于所处理的放射性物质的性质以及实验室中所进行的工作的类型。

由于Ⅱ，Ⅲ和Ⅳ区是被控制的区域，所以在这些区域的入口处建造专用区是必要的。当工作人员在区域间通过时，将在这些入口处更换衣服并进行监测。

2. 密闭装置

密闭装置的主要目的是防止放射性污染的扩散，保护操作人员不致遭受外部辐射照射，如果需要，为了处理和安全理由，还可对气氛进行控制。

因此，密闭装置的设计是根据各种不同的危害性来考虑的。当污染和外辐照都比较小的时候，采用通风柜；当外辐照危害性增加时，就用一个简易屏蔽室来代替通风柜。这种屏蔽室可用不同的材料建成，最常用的是铸铁、软钢、铅以及混凝土。

当污染的危害性增加而外辐照仍较低时，就采用手套箱作为密闭装置。防止手套箱泄漏的密封要求取决于污染的危害程度。随着污染和外辐照危害程度的增加，必须把手套箱放在一个生物屏蔽墙之内，因而发展成屏蔽工作箱。此时手套箱周围用铸铁、软钢、铅或这些材料的组合屏蔽起来。而

更考究的热室是用混凝土作屏蔽的，这样的封闭装置的内表面或者衬以特殊的覆面，或者在小室内设置一个专用的独立的箱子。

手套箱、屏蔽工作箱以及精致的热室也可提供控制气氛的手段。

实际上区分这些封闭装置类型的危害性并没有什么明确的规定。

2.1. 通风柜

通风柜是一种封闭装置，物质在它里面进行处理以和操作区隔绝开。物质的处理是通过通风柜的开口进行的，空气流通过开口直接进入通风柜造成了隔绝。

当操作物的放射性水平在微居里范围内时，与设计通风柜有关的几个因素为：操作物的化学毒性及其物理状态，湿式或干式操作，与操作过程有关的腐蚀问题，以及偶尔要求用铅屏蔽对工作人员进行防护时所要求的结构强度等。

通风柜可由软钢、不锈钢、聚氯乙烯以及加强树脂结合的层压制件（例如带聚脂或环氧化物的玻璃纤维）等制成。通风柜前面的滑动嵌板可用透明塑料或强化的玻璃或者是薄片层压玻璃制成。当用软钢作通风柜时，其内表面必须用漆涂到一定光洁度，这样就既可防锈又便于去污。由于成本关系，不锈钢只限于强腐蚀和高温的地方使用。由于塑料价廉、耐腐蚀以及易于去污等原因，故采用塑料制造通风柜就更普遍了。当采用塑料时，无论如何要注意到塑料是不能与某些溶剂同时采用的，而且对操作温度也要有所限制。

通风柜中常用的辅助管线有水、气、真空及电缆等。把辅助管线的控制部分装在通风柜的外面，以减少通过前面开

启口进出的次数，是一个好办法（图5）。

通风柜的通风次数是连续进入型的，将在第五章作详细的论述（见图5和图64）。

由于通风柜的潜在危险性较小，所以常把它布置在Ⅱ区内。使通风柜前面的开启口经常保持在最小位置，甚至有可能的话把它关上，可以减少放射性污染的危险性。当关上通风柜时，可借助于固定在前平板孔上的橡皮手套来进行操作。由于封闭装置作了这种改进，从而进一步减少了污染的机会。

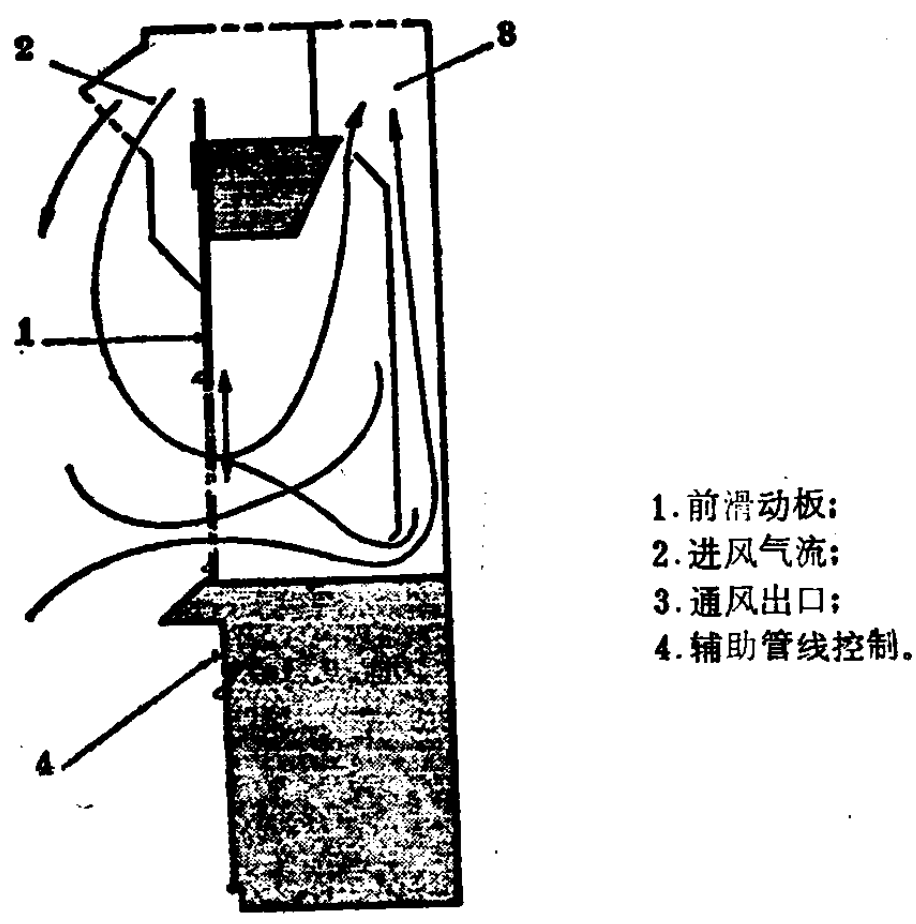


图5 通风柜

2.2. 手套箱

手套箱是一种密闭的封闭装置，物质在它里面进行操作而和操作区隔绝。操作是通过装在箱壁的手套圈上的长臂手套进行的(54—70)。

用手套箱来密封有害物质。这些有害物质可能是有毒的、具有放射性的和易燃的，或者同时具有这些危害性。通常所用的手套箱对贯穿辐射是没有屏蔽防护的，故在热实验室中只用它来处理 α 和 β 放射性物质。其放射性的水平可以从微小的数值到很大的数值。手套箱还可用来保持所处理物质的纯度。

影响手套箱设计的某些典型的因素有：供生产用还是供研究用；需要操作的工艺过程；与工艺操作有关的危害性；以及是“线式”布置还是“独立式”布置。

如果手套箱供研究工作用的话，那么设计上的主要特点是使手套箱具有灵活性；如果手套箱供生产用的话，则需作专门设计。

手套箱中的机械和电气设备装置必须经过检验，以确保能维持手套箱的完整性。例如，需要装进一种振动机械，其振动应不会传到手套箱或箱中的其他设备。

对同工艺过程有关的危害性必须进行认真的分析，以便采取一些必要的措施来与这些危害作斗争。例如，如果一个高毒性的并能产生火花的粉状物暴露在箱中的话，那么设计箱子的密闭性应是高标准的，并要求箱中具备一种流动性很小的特殊的惰性气氛。

如果手套箱按“线式”布置排列的话，那就必须明确确定操作面和维修面的位置。如果按“独立式”布置的话，那