

化工设备设计参考资料

# 塔 设 备 设 计 (下 册)

(征求意见稿)

化学工业部设备设计技术中心站

化工设备设计参考资料

塔设备设计(下册)

---

80-12-Ⅲ-17

(内部资料 注意保存)

化学工业部设备设计技术中心站

(上海南京西路 1856 号)

一九八〇年十月

工本费: 9.00 元

---

塔设备设计(上,下)

8.50

# 目 录 (下册)

## 第五章 填料塔设计

第一节	引 言	5-1
第二节	填 料	5-2
一	颗粒型填料	5-3
二	规整填料	5-49
第三节	结构设计	5-71
一	液体分布装置	5-71
二	液体收集——再分布装置	5-120
三	填料支承结构	5-134
四	填料压板及床层限制板	5-155
五	气体入塔的分布结构	5-158
第四节	其它塔型	5-160
一	湍球塔	5-160
二	乳化塔	5-163
三	多管塔	5-164

## 第六章 萃取塔设计

第一节	萃取操作的化工计算	6-1
一	萃取操作概述	6-1
二	萃取流程	6-3
三	萃取的级数计算	6-6
四	萃取的传质计算	6-12
五	液滴及有关计算	6-15
第二节	脉动塔	6-19
一	脉动塔概况	6-19
二	脉动筛板塔的化工计算及结构设计	6-23

三	脉动填料塔的化工计算及结构设计.....	6-28
四	分离段的设计计算.....	6-31
五	脉动器的设计计算.....	6-33
第三节	转盘塔.....	6-40
一	机械搅拌塔概况.....	6-40
二	转盘塔的化工计算.....	6-41
三	转盘塔的结构设计.....	6-45

## 第七章 塔设备受压元件的强度设计和稳定校核

第一节	高耸结构的自振周期.....	7-1
一	一个自由度体系的自振周期.....	7-3
二	自振周期的近似计算.....	7-4
第二节	塔体承受的各种载荷.....	7-18
一	操作压力的载荷.....	7-18
二	塔设备自身重量的载荷.....	7-18
三	偏心载荷.....	7-19
四	风力载荷.....	7-20
五	地震载荷.....	7-28
第三节	各种载荷下的应力计算.....	7-38
一	操作压力下的应力计算.....	7-38
二	由各部分重量引起的轴向应力.....	7-39
三	偏心载荷作用下的应力计算.....	7-40
四	风载荷作用下的应力计算.....	7-40
五	风力作用下的振动.....	7-46
六	地震载荷作用下的应力计算.....	7-61
第四节	塔体的稳定验算.....	7-76
一	塔体临界应力的控制.....	7-76
二	塔体的应力组合说明.....	7-78
三	应力的组合.....	7-79

第五节	裙座壁厚的确定.....	7-82
一	圆筒形裙座轴向稳定所需厚度.....	7-83
二	圆锥形裙座轴向稳定所需厚度.....	7-90
三	立试水压试验时的裙座压应力.....	7-90
四	塔节与裙座的焊缝验算.....	7-90
第六节	地脚螺栓和基础环厚度的确定.....	7-91
一	地脚螺栓的确定.....	7-91
二	基础环厚度的确定.....	7-97
第七节	塔节上的法兰计算.....	7-100
第八节	塔体辅助装置引起的局部应力对塔体壁厚的影响.....	7-103
一	塔体局部应力的验算——图表法.....	7-103
二	受弯曲力矩的等效宽度计算法.....	7-106
第九节	塔的挠度和挠度控制.....	7-108
一	塔的挠度计算表.....	7-108
二	塔顶挠度计算公式的应用.....	7-114
三	塔顶挠度公式的推导.....	7-116
四	塔体挠度控制值.....	7-136
例  题	.....	7-138

## 第八章  辅助装置及附件

第一节	除沫器.....	8-1
一	折板除沫器.....	8-1
二	丝网除沫器.....	8-2
第二节	裙  座.....	8-30
一	裙座的选材.....	8-31
二	裙座的结构.....	8-31
三	千斤顶座.....	8-49
四	模板、规板和锚板.....	8-50

第三节	塔釜隔板.....	8-57
第四节	接管.....	8-60
一	回流管和无闪蒸时的液体进料管.....	8-60
二	回流或液体进料有闪蒸时的回流及加料管.....	8-68
三	塔壁上以汽液或饱和液体进料的进料管.....	8-68
四	低温液体进料装置.....	8-69
五	进气口与出气口.....	8-69
六	侧线采出口.....	8-71
七	塔釜液体出口及排净口.....	8-73
第五节	人孔和手孔.....	8-76
一	人孔.....	8-76
二	手孔.....	8-78
第六节	吊柱.....	8-80
一	吊柱的强度计算.....	8-80
二	吊柱的标准系列.....	8-83
第七节	吊耳.....	8-85
一	概述.....	8-85
二	吊耳的强度校核.....	8-87
三	吊耳系列化.....	8-96
第八节	塔箍.....	8-101
第九节	附属装置与塔的连接结构.....	8-102
一	塔顶回流冷凝器与塔的连接结构.....	8-102
二	塔釜重沸器与塔的连接结构.....	8-103
第十节	操作平台与扶梯.....	8-107
一	操作平台.....	8-107
二	扶梯.....	8-109
三	平台与扶梯标准.....	8-111

## 第九章 塔设备的制造、安装及运输

第一节	引言.....	9-1
第二节	制造要求.....	9-3
一	选材原则.....	9-3
二	制造上的要求.....	9-3
三	制造与组装.....	9-7
四	焊接及其特点.....	9-11
五	热处理原则及其特点.....	9-14
第三节	设备的检验.....	9-17
第四节	大型塔设备的安装.....	9-18
一	大型塔设备运输上的考虑.....	9-19
二	大型塔设备安装上的考虑.....	9-19
三	塔盘的安装.....	9-21
四	塔设备设计与安装有关的问题.....	9-21
五	大型塔设备应用双抱杆抬吊的计算.....	9-22
六	大型薄壁塔吊装的稳定性核算以及吊点处局部稳定和加强圈的计算.....	9-24
第五节	运输及其要求.....	9-27
一	铁路运输.....	9-27
二	水路运输.....	9-31
三	公路运输.....	9-31
第六节	典型实例.....	9-31
一	实例及其特点.....	9-31
二	主要施工程序及设备.....	9-32
三	原材料的检验和下料.....	9-33
四	弯卷成形.....	9-34
五	塔体组装.....	9-34
六	焊 接.....	9-37
七	焊后消除应力热处理.....	9-39

八	检查与检验.....	9-39
九	压力试验.....	9-39
十	丙烯塔的吊装.....	9-40
11	.....	.....
12	.....	.....
13	.....	.....
14	.....	.....
15	.....	.....
16	.....	.....
17	.....	.....
18	.....	.....
19	.....	.....
20	.....	.....
21	.....	.....
22	.....	.....
23	.....	.....
24	.....	.....
25	.....	.....
26	.....	.....
27	.....	.....
28	.....	.....
29	.....	.....
30	.....	.....
31	.....	.....
32	.....	.....
33	.....	.....
34	.....	.....
35	.....	.....
36	.....	.....
37	.....	.....
38	.....	.....
39	.....	.....



## 第五章 填料塔设计

### 第一节 引言

#### 一、概述

填料塔作为一个气—液接触式传质设备，已在蒸馏、吸收和汽提操作中广为采用。它具有结构简单，压力降小，适合用各种结构材料制造等优点。特别是填料塔压力降小，在处理热敏物质，容易产生泡沫的物质以及用于真空操作时，有其独特的优越性。在节省能源方面采用热泵蒸气直接压缩流程，可节省能耗80%左右。多年来，由于填料本体结构及塔内件的限制，填料塔大多局限在有腐蚀性介质场合下使用，或局限于不适宜安装塔板的小直径塔。但是，近年来，由于填料结构的改进，新型高效大通量填料的开发，例如，阶梯环，金属鞍环，压延板波纹填料等，既提高了塔的通量和效率，而又保持了压力降小及在各种气液流率下均有较优性能之特点。因此，填料塔已被推广到所有大型气—液系统操作中。在某些场合下，已代替了传统的板式塔。目前，填料塔正与板式塔相竞争。

随着填料的研究和发展，性能优良的大型填料塔必将更大量地用于工业生产中。

#### 二、填料塔的设计程序

通用填料塔的设计程序为：

##### (一) 选择填料

选择填料乃填料塔设计全过程的第一步。填料塔性能之优劣，主要取决于填料，其次为塔的内件结构。二者须相互适应。

填料的正确选择，对塔的经济效果有着极为重要的影响。对于给定系统，为了完成特定的生产任务，可以有多种填料以供选用。故对各种类型的填料作一综合比较，以便选择或设计较理想的填料是很必要的。

##### (二) 计算塔径

按实际操作气速求算塔径。

根据填料特性数据，例如比表面积  $a$ ，空隙率  $\epsilon$  或填料因子  $\phi$ ；系统物性，即相应温度和压力下的重度、粘度等及气液比，按关联图计算液泛速度。通常取泛总值的 70 ~ 80% (1) 作为设计负荷。或者直接采用由实验所得的负荷因子  $F_s = W\sqrt{\gamma}$  值确定塔径。

### (三) 计算填料总高度

应用传质单元法或理论级数法计算填料总高度。

$$H = N_{O_V} H_{O_V}$$

$$\text{或 } H = N_{t_p} H_{t_p}$$

在确定传质单元高度  $H_{O_V}$  或理论板当量高度  $H_{t_p}$  时，可引用第二章列举的公式进行计算。但其影响因素十分复杂，所列公式均有特定条件，用不同公式计算，结果相差很大。设计时，多以实验数据为准。

### (四) 计算压力降

按已取得的填料总高度，由通用关联图或实验数据计算全塔压力降。如果计算值超过压力降的限定值，则需重新调整填料的类型，填料尺寸或降低泛总百分数，重复计算，直至满足条件为止。

### (五) 结构设计

正确地进行结构设计，是保证填料塔达到预期性能的必要条件。例如，常常因填料支承板的错误设计，导致全塔液泛的提前到来。

结构设计分为塔体设计及塔内件设计两部分。塔内件设计包括：液体分布装置，液体再分布装置、填料支承板、填料压板或床层限制板以及气体入塔分布结构设计等。

本章将着重对填料塔的性能起重要影响的二个因素，即填料本体结构及塔内件结构设计进行讨论。

## 第二节 填 料

自 1881 年工业规模的填料塔用于蒸馏操作以来，填料的结构型式作了重大改进。特别是近三十年来，发展更快。直至目前为止，提

供使用的各种形式和各种尺寸的填料有几百种之多。填料结构的改进，归结为：增加填料的通量，以适应工业生产规模的需要；改善流体的均匀分布，提高效率，解决放大问题。

为达到上述目的，国内外学者作了大量的研究工作，设计了各种结构形式的填料。但无论其结构形式如何，大致可分为两大类：颗粒型填料和规整型填料。

## 一、颗粒型填料

### (一) 工业型颗粒填料

所谓工业型颗粒填料，一般指公称尺寸不小于 25 mm 的填料。因为更小颗粒的普通填料，阻力增大，通量减小，价格较高。虽单位体积的表面积有所增加，但其传质效率并无显著改善。目前，工业型颗粒填料系指公称尺寸为 25 mm ~ 80 mm 的各种型式填料。

#### 1. 颗粒填料的类型及结构特点

依据填料本体的形状和尺寸及其在塔内的堆砌状况，决定填料塔的性能，此乃颗粒填料的共同特点。也就是说，填料的结构形状及堆砌方式将影响流体在床层内的流动和分布以及气—液接触状态，从而规定了塔的通量和效率的高低。因此，填料本体结构十分重要。往往由于其结构的局部合理改进，使填料塔的性能大为改善。

为此，按结构形状的异同将填料进行划分，能概括地反映填料的性能特点。现将工业上应用较为广泛的填料分为下列几类：环形类填料；鞍形类填料；鞍环形类填料；其它填料。

现代颗粒填料的发展主要以环形和鞍形二类填料为基础。

#### (1) 环形类填料

常用环形类填料有：拉西环；鲍尔环；改进鲍尔环 (Hy-Pak)；阶梯环等。

##### 拉西环

早期使用的塔填料为碎石英，焦炭等。这些原始填充物，空隙率低，比表面积小，液体在塔内的流动基本呈小股沟流状态。故其通量和效率均很低。

1914年出现的陶瓷拉西环，对于上述原始填充物而言，乃根本

性变革，它对填料塔的发展起了巨大的推动作用。现代环形类填料，其基础仍然都是拉西环。

拉西环是一个外径和高相等的空心小圆柱体，如图 5-2-1 所示。常采用陶瓷、金属、塑料等材质制造。其中，陶瓷拉西环应用最为普遍。

常用陶瓷拉西环的特性数据见表

5-2-1。

由表列数据看出，我国生产的瓷环壁厚较薄，其相对空隙率较大，性能较好。

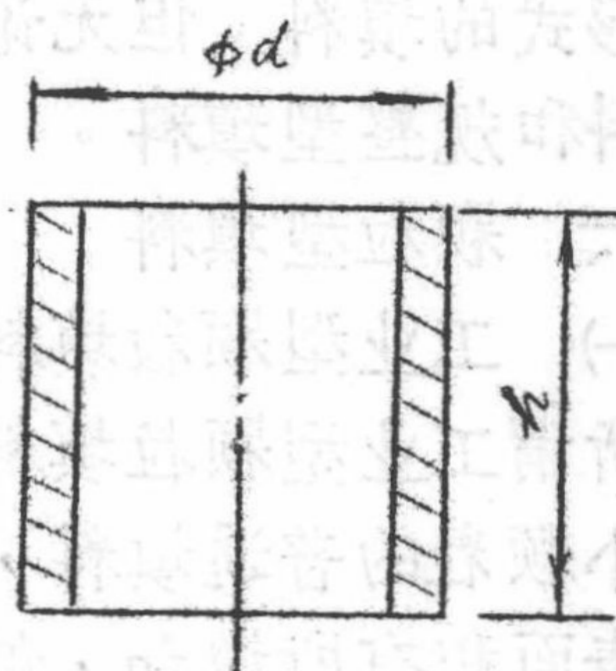


图 5-2-1 拉西环  
填料

表5-2-1 瓷拉西环特性数据

公称尺寸 (mm)	外径×高 (mm)	壁厚 (mm)	填料个数 (个/m <sup>3</sup> )	堆积重度 (kg/m <sup>3</sup> )	比表面积 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	干填料因子 (1/m)	湿填料因子 (1/m)
(2)	25	25×25	49000	505	190	78	400	400
国内数据	40	40×40	12700	577	126	75	305	350
	50	50×50	6000	457	93	81	177	220
	80	80×80	1910	714	76	68	243	280*
(3)	25	25×25	47700	673	190	74	468	524
国外数据	38	38×38	13400	737	118	68	375	311
	50	50×50	5790	657	92	74	227	213**
	75	76×76	1700	593	62	75	147	121

\* 数据偏大—编者注

\*\* 壁厚4.8mm的拉西环数据

研究拉西环的结构形状，可以看出，它不但比碎石，焦炭填充物的空隙率大，具有较大通量之优点，而且，它既可以提供外表面积作为气液接触面，也能在一定程度上提供内表面积作为气液接触面，所以，填料的比表面积增大，流体分布亦较碎石等为佳，故其传质效率相应提高。设想拉西环制成细长形状，那末，填料内表面积难以有效利用，架桥现象明显增加，对改善传质效果不利，故拉西环均制成高径相等的匀称体。

然而，拉西环装入塔内后，按随机堆砌的可能性，两相邻填料基本上为线接触。这样，在相邻填料的外表面间容易形成局部滞止积液池。积液池内液体不易分散，形成死区，遂使传质面减小并产生沟流。由于环的内外壁不能相互贯通，不利于气液的相互接触，使实际参加传质的有效表面积降低，仅为总表面积的52%〔4〕。这些因素均恶化了流体分布的均匀性，减少了单位体积内的传质面，致使其通量及效率受到限制。同时，因其空隙不连续，床层易被杂质所堵塞。

依据上述分析，研究短拉西环（高径比小于1）的性能特点。其结构形状及堆砌方式类似于普通拉西环，流体分布特性亦大致相同，仅单位体积内的表面积有所增加，内表面积利用率稍大，但压降增加，成本加大，虽效率有些提高，但不可能显著增加。实验证实了此一结论〔5、6〕。

针对拉西环的缺点，1948年西德对拉西环的结构进行了改进。改进后的填料称为鲍尔环。

### 鲍尔环

鲍尔环是目前工业上应用最为广泛的填料之一。

鲍尔环仍然系外径和高相等的空心小圆柱体，但在圆柱体的侧壁冲制了二层扁平的矩形窗口，冲出的金属片保留在环内，并围聚于环中心。上下二层窗口位置交错排列，其水平投影相互重叠。侧壁开孔率不小于环壁面积的30%，规定最小的开孔面积乃考虑改善气液的接触状况。参考文献上发表的数据〔7〕，暂行标准系列规定为35%最大开孔率不超过60%，否则将丧失填料的强度。

鲍尔环一般用金属或塑料制造，陶瓷鲍尔环制造麻烦，破损率高，

不适宜推广使用。

按化工部暂行标准系列规定，鲍尔环的结构尺寸如下〔2〕：  
金属鲍尔环结构尺寸见图 5-2-2 及表 5-2-2。

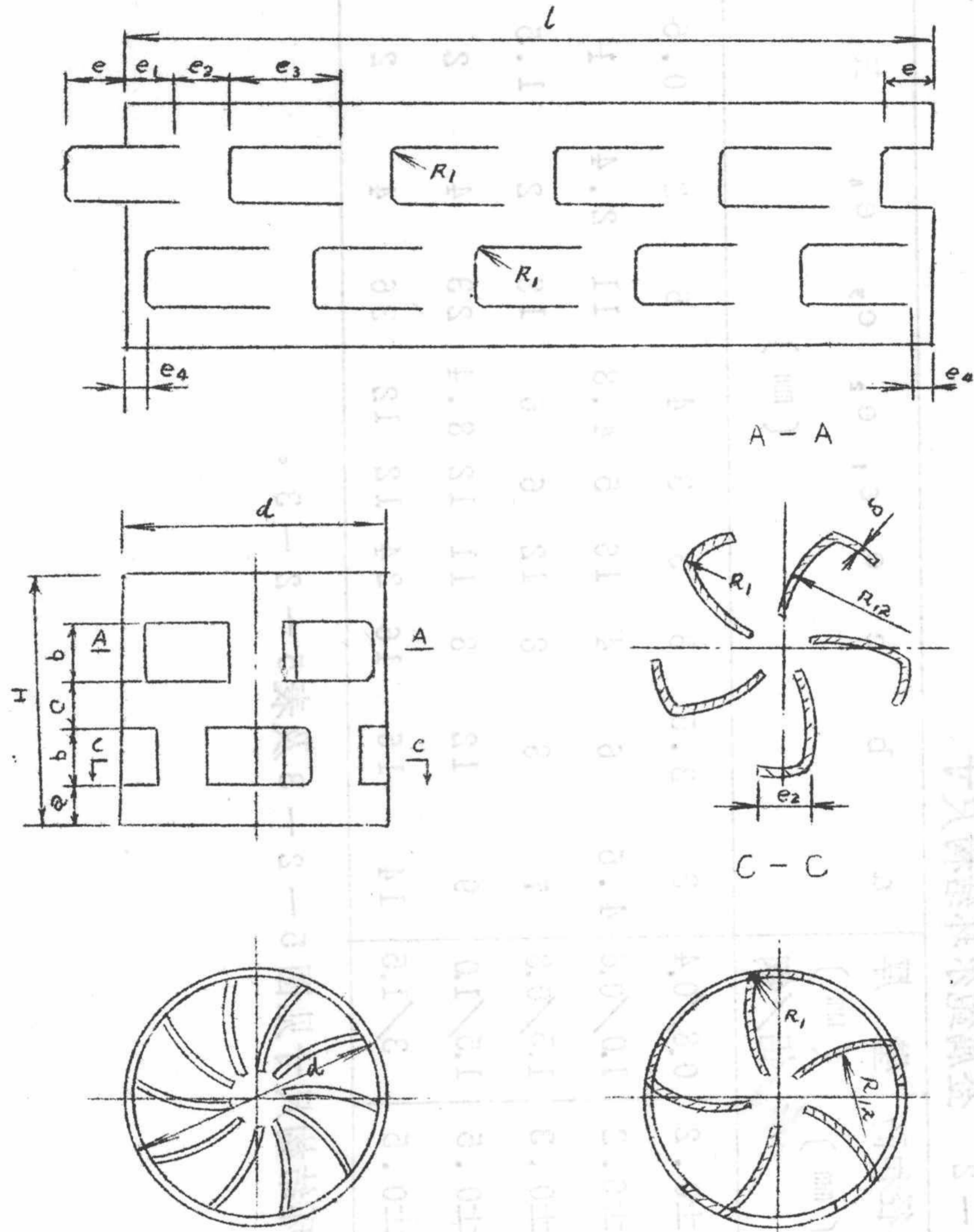


图 5-2-2 金属鲍尔环

表 5-2-2 金属鲍尔环结构尺寸

公称直径 (mm)	外径和高 (mm)	壁厚 (mm) 铝/钢	a	b	c	e	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>12</sub>	l
16	16±0.2	0.8/0.4	3	3.5	3	3	3	4	6	2	0.5	7.5	50
25	25±0.2	1.0/0.6	4.5	6	4	16	5	4.8	11	2.4	1	12	79
38	38±0.3	1.5/0.8	7	8	8	12	6	6	18	2	1.5	20	120
50	50±0.5	1.5/1.0	9	12	8	11	12	8.4	23	4	2	24	157
76	76±0.5	3/1.5	14	16	16	24	12	12	36	4	2	40	240

塑料鲍尔环结构尺寸见图 5-2-3 及表 5-2-3。

不直排气封

封气排直不  
全封直排气  
全封直排气



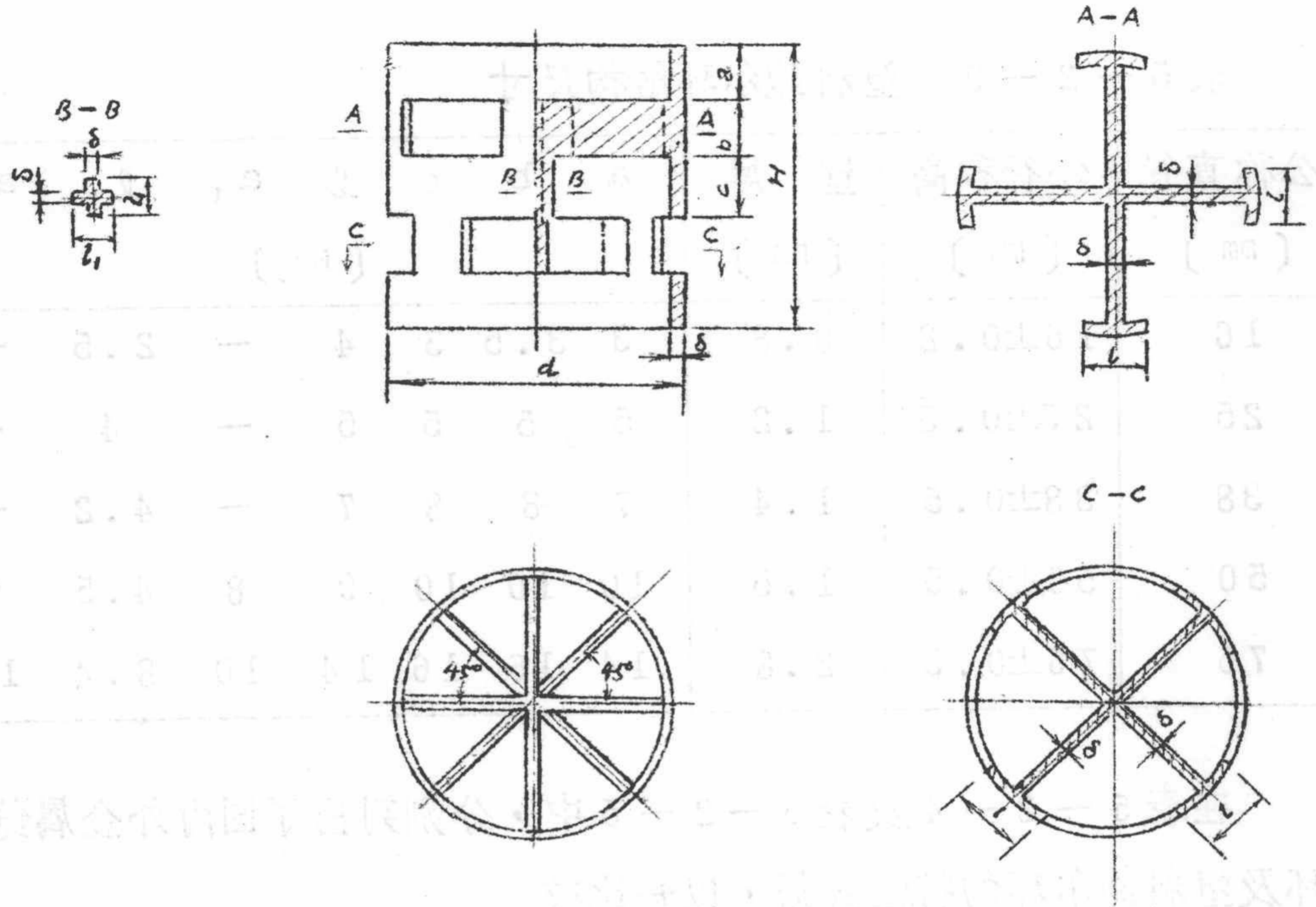


图 5-2-3(a)  $\text{Ø}16, \text{Ø}25, \text{Ø}38$  塑料鲍尔环

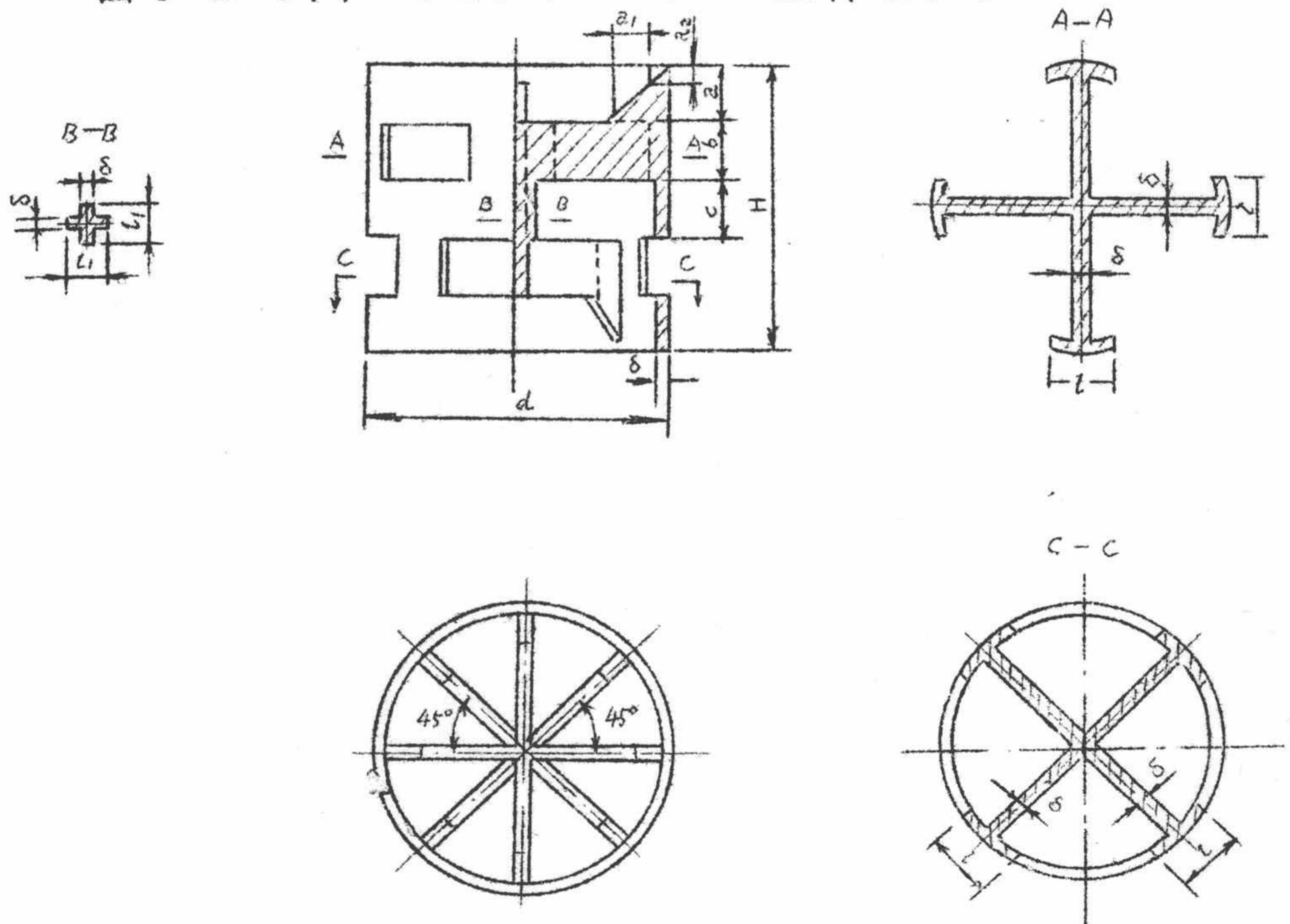


图 5-2-3(b)  $\text{Ø}50, \text{Ø}76$  塑料鲍尔环