

中国环境百科全书

—— 选编本 ——

固体废物污染控制

SOLID WASTE
POLLUTION CONTROL

中国环境出版集团

中国环境百科全书

—— 选编本 ——

固体废物污染控制

《固体废物污染控制》编写委员会 编著

主 编 廖 利

副主编 卢加伟

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

固体废物污染控制 / 《固体废物污染控制》编写委员会编著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.11

(《中国环境百科全书》选编本)

ISBN 978-7-5111-3489-9

I. ①固… II. ①固… III. ①固体废物—污染控制 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 008969 号

出版发行 中国环境出版集团

(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2018 年 11 月第 1 版

印 次 2018 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 14.25

字 数 365 千字

定 价 143.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

编写委员会



主 编 廖 利

副 主 编 卢加伟

编 委 廖筱锋 海 景 王松林 朱 锋 刘欢欢

毕珠洁 程 澄 吴灵玲 李 璐 肖晓东

参编人员 李晓飞 秦玲玲 邱荣娥 陈 丽 徐 涛

汪 伟 翟玉斌 何 莹 谭业琴 朱双艳

张慧敏 舒 威 谢颖诗 张记衔

出版说明



《中国环境百科全书》(以下简称《全书》)是一部大型的专业百科全书,选收条目 8 000 余条,总字数达 1 000 多万字,对环境保护的理论知识及相关技术进行了全面、系统的介绍和阐述,可供环境科学研究、教育、管理人员参考和使用,也可供具有高中以上文化程度的广大读者查阅和学习。

《全书》是在生态环境部的领导下,组织近 1 000 名环境科学、环境工程及相关领域的专家学者共同编写的。在《全书》按条目的汉语拼音字母顺序混编分卷出版以前,我们先按分支和知识门类整理成选编本,不分顺序,先编完的先出,以求早日提供广大读者使用。

《全书》是一项重大环境文化和科学技术基础平台建设工程。其内容横跨自然科学、技术与工程科学、社会科学等众多领域,编纂工作难度是可想而知的,加上我们编辑水平有限,一定会有许多不足之处。此外,各选编本是陆续编辑出版的,有关条目的调整、内容和体例的统一、参见和检索系统的建立,以及《全书》的编写组织和审校等,还有大量工作须在混编成卷时进行,我们诚恳地期望广大读者提出批评和改进意见。

中国环境出版集团

2018 年 10 月

前言



随着工业化和城镇化的不断发展，固体废物污染环境、占用土地、传播疾病、引发安全事故乃至社会风险等问题凸显，垃圾围城、邻避冲突等矛盾频现，受到了社会各界的高度关注。固体废物污染防治与大气、水、土壤污染防治密切相关，是环境保护和生态文明建设的关键组成，又直接关乎民生民心，是化解邻避冲突、防范社会风险的重要抓手。党的十九大报告已着重指出要加强固体废弃物和垃圾处置，国家有关部门又在推动进一步修订《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，足以体现国家对这一问题的重视。

固体废物来源广泛、成分复杂，决定了固体废物管理与污染防治的综合性和交叉性。固体废物特性分析和类别鉴定，离不开数理统计；固体废物收运，免不了运筹学优化；固体废物预处理，需熟悉选矿设备；固体废物资源回收，要依靠冶金化工；固体废物发酵制肥制气，实属于生物技术；固体废物热解、气化、焚烧，要先学热能利用；固体废物填埋处置，应精通岩土工程；管理政策制定，少不了经济学和社会学支持。但是，学科的综合性和交叉性不代表重规叠矩，全盘照搬其他学科解决不了固体废物问题，而是应该深刻认识固体废物来源的广泛性和成分的差异性，融会贯通，创新突破。通过本书，我们希望能够公众中普及相关知识，亦希望能给同行们一些参考。

受邀主持《固体废物污染控制》的编撰后，我主要负责框架设计、统稿定稿以及部分词条的编写工作。卢加伟博士协助我进行协调、统稿、修订等，做了大量工作。编委会成员和参编人员来自生态环境部华南环境科学研究所、华中科技大学、中国地质大学(武汉)、中南大学、华南理工大学、上海市环境工程设计科学研究院、中机国际工程设计研究院、

中钢集团天澄环保科技股份有限公司等单位。按本书条目分类索引，各部分负责人的具体分工如下：总论（廖利、海景、朱锋），固体废物收集运输（毕珠洁），固体废物预处理（卢加伟、吴灵玲、刘欢欢），固体废物资源化与处理处置（廖筱锋、王松林）。

所有编写人员诚恳感谢中国环境出版集团等单位领导和同行专家在本书编撰过程中提供的帮助，感谢各位编辑老师严谨细致的工作，并对所参阅资料的原著者表示深深的谢意。受水平和精力限制，本书难免有错漏之处，敬请读者提出宝贵意见，以期不断改进。

廖 利

华中科技大学 教授

凡 例



1. 本选编本共收条目 124 条。

2. 本选编本条目按条目标题的汉语拼音字母顺序排列。首字同音时，按阴平、阳平、上声、去声的声调顺序排列；同音、同调时，按首字的起笔笔形一（横）、丨（竖）、丿（撇）、丶（点）、㇇（折，包括乚、く等）的顺序排列。首字相同时，按第二字的音、调、起笔笔形的顺序排列，余类推。条目标题以英文字母开头的，例如“MMD 型高效破碎机”排在拼音字母 M 部。

3. 本选编本附有条目分类索引，以便读者了解本学科的全貌和按知识结构查阅有关条目。

4. 条目标题上方加注汉语拼音，所有条目标题均附有外文名。

5. 条目释文开始一般不重复条目标题，释文力求规范、简明。

6. 较长条目的释文，设置层次标题，并用不同的字体表示不同的层次标题。

7. 一个条目的内容涉及其他条目并需由其他条目的释文补充的，采用“参见”的方式。所参见的条目标题用楷体字排印。一个条目（层次标题）的内容在其他条目中已进行详细阐述，本条（层次标题）不必重述的，采用“见”的方式，例如：“填埋”条中，在叙述填埋场场底防渗和渗滤液处理技术时，表示为“场底防渗和渗滤液处理技术 见渗滤液。”

8. 在重要的条目释文后附有推荐书目，供读者选读。

9. 本选编本附有全部条目的汉字笔画索引、外文索引。

10. 本选编本中的科学技术名词，以全国科学技术名词审定委员会公布的为准，未经审定和尚未统一的，从习惯。

目 录



出版说明	i
前言	iii
凡例	v
条目音序目录	viii
正文	1
条目分类索引	202
条目汉字笔画索引	205
条目外文索引	208

条目音序目录

A		E	
安全填埋.....	1	颚式破碎机.....	36
B		F	
半湿式破碎机.....	3	放射性固体废物.....	39
爆炸性废物.....	4	放射性固体废物安全处置.....	41
玻璃固化.....	4	放射性固体废物贮存.....	41
C		废弃药物.....	42
城市粪便.....	6	废塑料热解.....	43
城市固体废物资源化.....	7	废物交换.....	44
城市清扫保洁.....	11	焚烧.....	45
城市生活垃圾.....	14	焚烧灰渣.....	47
城市生活垃圾热解.....	16	焚烧炉.....	49
城市生活垃圾收集点.....	20	焚烧系统.....	53
城市生活垃圾运输.....	22	焚烧烟气污染物控制技术.....	55
城市生活垃圾转运.....	22	粉煤灰.....	57
城市生活垃圾转运站.....	22	粉磨机.....	59
城镇污水处理厂污泥.....	24	风力分选.....	60
冲击式破碎机.....	26	浮选.....	60
锤式破碎机.....	27	G	
磁力分选.....	28	工业固体废物.....	62
D		工业固体废物处理与处置.....	62
低温破碎.....	30	工业固体废物收集.....	65
电镀污泥.....	30	工业固体废物资源化.....	65
电力分选.....	31	固定筛.....	66
电力工业固体废物.....	32	固化/稳定化技术.....	66
电子废物.....	32	固体废物.....	68
电子废物处理与处置.....	34	固体废物标志.....	70
		固体废物处理.....	70
		固体废物处置.....	71

固体废物分选..... 72

固体废物管理..... 73

固体废物管理经济政策..... 74

固体废物管理制度..... 76

固体废物环境标准体系..... 78

固体废物破碎..... 78

固体废物生物处理..... 81

固体废物收集..... 81

固体废物收集车..... 83

固体废物特性分析..... 87

固体废物脱水..... 93

固体废物压缩..... 94

光电分选..... 95

辊式破碎机..... 96

滚筒筛..... 97

H

化工废渣资源化..... 98

化学工业固体废物..... 101

J

剪切式破碎机..... 103

建筑垃圾..... 104

K

矿山固体废物资源化..... 107

矿业固体废物..... 108

L

垃圾焚烧渣固化技术..... 110

陆地处置..... 110

M

MMD 型高效破碎机..... 112

煤系固体废物资源化..... 112

N

农副产品加工业固体废物..... 116

农业固体废物..... 117

农业固体废物处理与处置..... 118

Q

气化..... 122

轻工业固体废物..... 124

R

热解..... 125

热解反应器..... 127

S

筛分..... 130

渗滤液..... 132

生活垃圾卫生填埋场..... 136

生物质热解..... 138

湿式破碎机..... 140

石灰固化..... 140

石油工业固体废物..... 140

水泥固化..... 141

塑性材料固化..... 142

T

填埋..... 144

填埋场封场..... 145

填埋气体..... 146

跳汰分选..... 150

W

危险废物安全运输..... 152

危险废物处理与处置..... 152

危险废物收集..... 153

危险废物越境转移..... 153

危险固体废物..... 154

卫生填埋..... 156

涡电流分选..... 158

污泥..... 159

污泥处理处置..... 162

污泥干化..... 164

污泥浓缩..... 165

污泥热解..... 168

污泥调理..... 170

污泥脱水.....	173
污泥稳定化.....	174
污泥消毒.....	175

Y

厌氧消化.....	176
养殖业固体废物.....	183
药剂稳定化.....	185
冶金工业固体废物.....	187
冶金固体废物资源化.....	189
医疗废物.....	193

医疗废物处理与处置.....	194
医药废物.....	194
有色金属渣.....	195

Z

振动筛.....	198
种植业固体废物.....	199
重介质分选.....	200
重力分选.....	200
自胶结固化.....	201

A

anquan tianmai

安全填埋 (security landfill) 将危险废物填埋于专用填埋场的一种处置方式。安全填埋专门用于处置危险废物。这种以填埋方式处置危险废物的陆地处置设施,通常称为安全填埋场。危险废物安全填埋场由若干个处置单元和建(构)筑物组成,主要包括:接收和暂存系统、分析与检测系统、预处理系统、填埋库区(包括地下水导排系统、防渗系统、渗滤液收集和导排系统、雨污分流系统等)、污水处理系统、环境监测系统、应急设施及其他公用工程和配套设施。

沿革 发达国家在 20 世纪七八十年代,就已经开始对常见性危险废物进行严格的鉴别和安全处置。1989 年,国际社会签署了《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》,推动了危险废物的安全管理和处置。德国和其他一些发达国家为了确保环境领域安全,不给子孙后代留下隐患,发展了工业危险废物安全填埋技术。

我国 1991 年加入《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》,1995 年建成第一座较标准的安全填埋场——深圳市危险废物安全填埋场。2004 年,国家环境保护总局发布了《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》,要求每个省(自治区、直辖市)都必须合理布局和建设危险废物安全填埋场。在危险废物安全填埋的标准体系建设方面,我国尚不完善,目前已颁布的只有《危险废物填埋污染控制标准》

(GB 18598—2001),以及国家环境保护总局发布的《危险废物安全填埋处置工程建设技术要求》(环发(2004)75号)。

安全填埋场的分类 根据填埋库区防渗系统的建设特点,安全填埋场主要分为柔性安全填埋场和刚性安全填埋场两类。

柔性安全填埋场 以符合相关标准要求的双人工衬层及黏土衬层作为基础的安全填埋场。根据 GB 18598—2001 的规定,双人工衬层使用高密度聚乙烯(HDPE)膜作为人工防渗材料时,上人工衬层使用的 HDPE 膜厚度不小于 2.0 mm,下人工衬层使用的 HDPE 膜厚度不小于 1.5 mm,下人工衬层之下应具有厚度不小于 0.5 m 且饱和渗透系数小于 1.0×10^{-7} cm/s 的黏土衬层。上、下人工衬层之间还应设置渗漏检测层。设置双人工衬层的目的是最大限度地降低填埋渗滤液渗漏和污染地下水的可能性。

刚性安全填埋场 以一定强度和厚度的钢筋混凝土作为底板和侧墙的安全填埋场。刚性填埋场的钢筋混凝土强度一般要求单轴压缩强度 25 N/mm^2 以上,结合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的规定,混凝土轴心抗压强度标准值在 25 N/mm^2 以上时,混凝土强度等级为 C40。刚性填埋场的钢筋混凝土厚度一般要求在 35 mm 以上。刚性填埋场的钢筋混凝土箱体侧墙和底板作为防渗层,应按抗渗结构进行设计,按裂缝宽度进行验算;钢筋混凝土箱体侧墙和底板之内,还应铺设 HDPE 膜防渗。

安全填埋场的特点 ①规模小，与生活垃圾相比，危险废物的产生量要少很多，因此安全填埋场的规模也比卫生填埋场小很多，平均日处理规模一般不超过 100 t；②防渗要求高，需要采用双层防渗系统，防渗等级要求也比卫生填埋场高很多；③进场废物特性要求严格，一般要求进场的危险废物热灼减率低于 10%，且拒绝接收具有可燃性、爆炸性的危险废物，汞、氰化物等含量较高的危险废物进场填埋前应进行预处理；④填埋运行管理方面要求严格，对危险废物需要分单元和分块填埋，不相容的废物应进行隔离，此外，防雨要求也很高，应尽可能防止更多有害渗滤液的产生。

安全填埋场的防渗 由于安全填埋场的填埋对象为危险废物，这类废物在填埋过程中会产生大量有毒有害的渗滤液，易造成土壤和地下水的污染，因此需要严格设计填埋场的防渗系统来避免这些次生污染问题的发生。安全填埋场的防渗系统通常包括基础层、防渗衬层和表面密封系统，有的还需在周边建造垂直密封系统。柔性安全填埋场的防渗系统衬层材料一般采用黏土和 HDPE 膜。根据《危险废物安全填埋处置工程建设技术要求》，柔性防渗系统必须采用双人工衬层，其结构由下到上依次为：基础层、地下水排水层、压实的黏土衬层、HDPE 膜、膜上保护层、渗滤液次级集排水层、HDPE 膜、膜上保护层、渗滤液初级集排水层、土工布、危险废物。刚性安全填埋场的防渗系统结构由下到上依次为：钢筋混凝土底板、地下水

排水层、膜下的复合膨润土保护层、HDPE 膜、土工布、渗滤液导排层、土工布、危险废物。四周侧墙防渗系统结构由外向内依次为：钢筋混凝土墙、土工布、HDPE 膜、土工布、危险废物。

在防渗系统选择方面，通常需结合填埋场选址区域的工程地质条件和该地的实际问题来综合考虑。例如，上海朱家桥镇雨化村的危险废物安全填埋场采用刚性、柔性相结合的防渗系统，从而在一定程度上有效克服了水文地质条件不符及土地资源紧张等问题。

安全填埋场的封场 填埋场填埋作业至设计终场标高或因不再受纳危险废物而停止使用时，应对填埋场进行堆体稳定性分析，并及时封场。封场覆盖应进行滑动稳定性分析，确保封场覆盖层的安全稳定。填埋场的终场覆盖系统须重点考虑雨水阻隔与导排、垃圾堆体的沉降及稳定。根据《危险废物安全填埋处置工程建设技术要求》，安全填埋场的封场系统由下至上依次为气体控制层、表面复合衬层、表面水收集排放层、生物阻挡层以及植被层；封场系统的坡度应大于 2%；封场后应对渗滤液进行永久收集和处理，并定期清理渗滤液收集系统。封场后应对提升泵站、气体导出系统、电力系统等做定期维护。此外，应预留定期维护与监测经费，确保在封场后至少持续进行 30 年的维护和监测。如有侵蚀、沉降而导致排水控制结构需要修复时，应实行正确的维护方案以防止情况进一步恶化。（王松林 秦玲玲）

B

banshishi posuji

半湿式破碎机（semi-wet crusher）利用固体废物在一定均匀湿度下强度、脆性（耐冲击性、耐压缩性、耐剪切力）不同的特性，将固体废物破碎成不同粒度并加以筛选分离的装置。

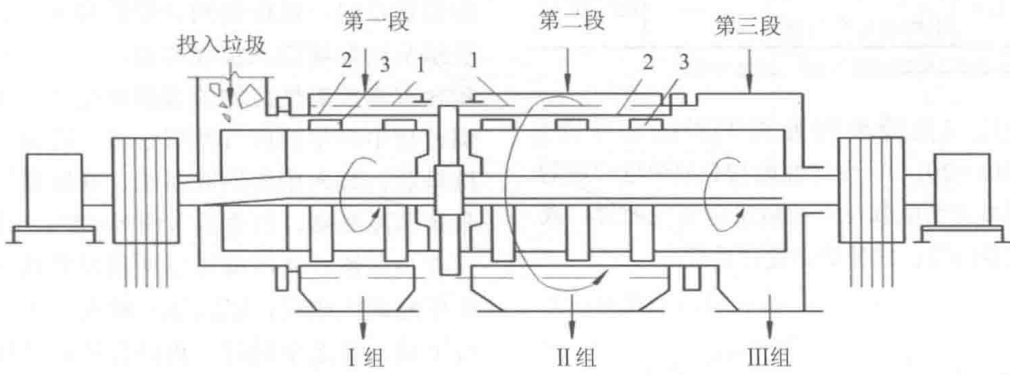
结构特征 半湿式破碎机把破碎机械和筛选机械构成一体，同时进行破碎、分选两个过程。它由两种具有不同孔眼筛网的回转滚筒组成，滚筒内第一段的筛网和第二段的筛网分别安装了不同转速的刮板（见下图）。

破碎流程 垃圾给入圆筒上部，沿着筛网内壁上升后在重力作用下回落，同时被反向旋转的破碎板撞击，从而将垃圾中的脆性物质破碎为细片状，通过第一段筛网的筛孔排出，进一步经过分选机将厨余垃圾和玻璃片等物质分开。剩余垃圾进入第二段，此时喷射水分，中

等粒度的纸类变成浆状从第二筛孔中排出，从而回收纸浆。粒度最大的塑料、橡胶、纤维类、竹木类、皮革、金属等从终端排出，再进入密度分选装置进行分选。

性能特点 ①在同一设备工序中同时实现破碎、分选作业；②能充分有效地回收垃圾中的有用物质，在第一段分选中可以得到厨余垃圾含量高达 80%的堆肥沼气发酵原料，第二段可回收含量 85%~95%的纸类，难以分选的塑料类废物经过第三段后可得到 95%的纯度，废铁可达到 98%；③对进料适应性好，易破碎物及时排出，不会出现过破碎现象；④动力消耗低，损耗小，易维修；⑤适应性强，可根据垃圾组分的不同改变滚筒长度、破碎板段数、筛网孔径等以达到工艺要求。

（卢加伟 张记衍）



1. 筛网；2. 刮板；3. 破碎板

半湿式破碎机构造示意图

baozhaxing feiwu

爆炸性废物（explosive waste） 在生产、销售、使用爆炸物品过程中产生的次品、废品及具有爆炸性质的废物。爆炸性废物可以是固体物质、液体物质，或固液混合物，自身能够通过化学反应产生气体，其爆炸时的温度、压力和速度高到能对周围环境造成破坏。

爆炸性废物可以分为：①不稳定、在无爆震时容易发生剧烈变化的废物；②能和水形成爆炸性混合物的废物；③经过发热、吸湿、自发的化学变化具有着火倾向的废物；④在有引发源或加热时能爆震或爆炸的废物。《国家危险废物名录》中对爆炸性废物的具体描述见下表。

爆炸性废物		
行业来源	危险废物	危险特性
炸药、火工及焰火产品制造	炸药生产和加工过程中产生的废水处理污泥	反应性
	含爆炸品废水处理过程中产生的废活性炭	反应性
	生产、配制和装填铅基起爆药剂过程中产生的废水处理污泥	毒性、反应性
	三硝基甲苯生产过程中产生的粉红光、红光，以及废水处理污泥	反应性
非特定行业	报废机动车拆解后收集的未引爆的安全气囊	反应性

注：摘自《国家危险废物名录》（2016 年版）。

根据《危险废物处置工程技术导则》（HJ 2042—2014），爆炸性废物必须经过合适的预处理技术消除其反应性后进行焚烧处置，或者采用专门设计的焚烧炉进行处置。

（海景 谢颖诗）

boli guhua

玻璃固化（glass solidification） 将放射性废物和玻璃形成剂在 1 000℃ 乃至更高的温

度下熔融制成玻璃体的放射性废物处理技术。主要用于固化高放射性废液，其研究始于 20 世纪 50 年代，工业化应用始于 20 世纪 70 年代。

基本方法 主要包括间歇式和连续式两种。

间歇式固化法 将高放射性废液和玻璃原料一起加入熔融罐内，使蒸发干燥、煅烧、熔融等过程都在熔融罐内完成。熔融成玻璃体后再注入贮存容器内成型。熔融罐可以反复使用，也可将熔融罐当作贮存容器或最终处置容器使用。

连续式固化法 将蒸发、煅烧过程与熔融过程分别在煅烧炉和熔融炉内完成，蒸发、煅烧过程采用连续进料和排料的方式，而熔融过程既可连续进料和排料，也可连续进料和间歇排料。

基本工艺 可用于玻璃固化的玻璃种类繁多，普通的钠钾玻璃熔点较低，制造容易，但在水中的溶解度较高，因而不能用于高放射性废液的固化。硅酸盐玻璃耐腐蚀能力强，但熔点高，制造困难。在高放射性废液的玻璃固化中，通常以磷酸盐和硼酸盐玻璃固化居多。从玻璃固化体的稳定性、对熔融设备的腐蚀性、处理时的发泡情况和增容比来看，硼酸盐玻璃固化是最有发展前途的固化方法。

硼酸盐玻璃固化 为半连续操作，将高放射性废液与固化剂（硼酸盐玻璃原料）以一定的配料比混合后，加入装有感应炉装置的熔融罐中加热煅烧至干，然后升温至 1 100~1 150℃，保温数小时，以便得到较好的玻璃体。熔融玻璃从熔融罐流入接收容器，经退火后便得到含有高放射性废物的玻璃固化体。加热煅烧过程中产生的废气经钉过滤、冷却器和洗涤塔后，进入硝酸回收系统。在冷凝器中收集到的冷凝液，钉含量大约为 15%，此外还含有少量铯，将冷凝液返回蒸发器浓缩，并用甲醛破坏硝酸，以降低其酸度。浓缩液用碱中和，使之呈碱性，再进行玻璃固化。此时，钉的挥发很少，从而使废物中 99% 的钉存在于玻璃固化体中。

磷酸盐玻璃固化 对于含硫酸盐的高放

射性废液，多采用铝、钠和钙的磷酸盐作为化学添加剂，有时还加入亚磷酸盐来代替磷酸盐，以降低钨、铈的挥发度；对于不含硫酸盐的废液，则以磷酸盐和铅作添加剂；对于组分复杂的废液，只要加入适量的磷酸盐就可制得玻璃体。

应用与特点 玻璃固化主要用于高放射性废液的固化处理，其中，磷酸盐玻璃固化法最适合用于处理含盐量低、放射性极高的废液。近年来，重金属污泥的玻璃固化处理也逐渐引起人们的重视和研究。

玻璃固化在所有固化方法中效果最好，固化体中有害组分的浸出率最低，固化体的增容比最小；但由于烧结过程需要在 1 200℃ 左右的高温下进行，会有大量有害气体产生，其中不乏挥发性金属元素，因此需要配备相关处理系统。同时，由于在高温下操作，会给工艺带来一系列困难，且会增加处理成本。此外，由于玻璃是非晶态物质，稳定性和耐久性较差，经一段时间会发霉长花、晶化，特别是含硼玻璃易被微生物降解。（刘欢欢 舒威）