

“十二五”普通高等教育本科规划教材

# 玻璃工业机械 与设备

郭宏伟 刘新年 韩方明 编



化学工业出版社

“十二五”普通高等教育本科规划教材

# 玻璃工业机械与设备

郭宏伟 刘新年 韩方明 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了玻璃工业中使用的一般机械设备和不同类型玻璃（日用玻璃、建筑玻璃等）生产及加工专用机械设备的种类、构造和工作原理，以及各项参数的确定等。

本书内容丰富，文字简练，技术信息量大，实用性强。本书可作为玻璃专业的本科和高职教材使用，也可以供相关玻璃生产技术人员参考。

#### 图书在版编目（CIP）数据

玻璃工业机械与设备/郭宏伟，刘新年，韩方明编. 北京：化学工业出版社，2014.1

“十二五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-122-19256-1

I. ①玻… II. ①郭…②刘…③韩… III. ①玻璃-加工-工业生产设备-高等学校-教材 IV. ①TQ171.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 297944 号

---

责任编辑：杨 菁

文字编辑：闫 敏

责任校对：徐贞珍

装帧设计：张 辉

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 560 千字 2014 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：48.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

中国是一个玻璃生产大国，玻璃产品品种相当多，产量也很大。目前，中国日用玻璃和平板玻璃的产量均居世界第一位。玻璃经过配料、熔制、成形、加工后才能成为合格产品，其间每一道工序都要借用相应的机械与设备来完成，因而，玻璃机械设备与玻璃工艺、玻璃窑炉成为了无机非金属材料（玻璃）专业的三大主干课程。

当前国内较为全面系统地论述玻璃工业机械与设备的教材与书籍较少，并缺乏系统性和针对性的书籍，难以满足现在行业发展的要求和大中专院校的教育要求。本教材是在多年教学实践的基础上，按照我校现用的教学大纲和授课内容，以及自编的玻璃机械设备讲义，结合现有国内出版的玻璃机械设备专业教材，参考了大量的专著及文献后编写而成的。

本书主要论述玻璃工业中使用的一般机械设备和不同类型玻璃生产及加工专用机械设备的种类、构造和工作原理以及各项参数的确定等。学生通过本课程的学习，要能够根据玻璃生产的工艺要求，正确地使用机械设备，具有一定的机械设计能力，并能比较顺利地阅读有关的技术文献，从事科学研究工作。

本书由郭宏伟、刘新年、韩方明编。其中第一章和第二章由刘新年编写，第三章和第四章由韩方明（中国建材国际工程集团有限公司）编写，第五章、第十章和第十三章由高档妮编写，其它章节由郭宏伟编写。在本书编写过程中，于晓杰、李宁、吴亮亮、侯亚军、穆开朗、程乐志、侯超刚、田鹏、张凯超等为本书提供了大量翔实的资料和图片，刘盼、莫祖学、吴贻秀、王志飞等为全书完成了大量的文稿打印及图表工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，欢迎使用本书的读者批评指正。

编 者

于陕西科技大学未央大学园区

2013年9月

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>第一章 粉碎机械</b> ..... | 1  |
| 第一节 概论 .....          | 1  |
| 一、原料粉碎的作用 .....       | 1  |
| 二、粉碎的方法 .....         | 2  |
| 三、粉碎机性能参数 .....       | 3  |
| 四、粉碎作业 .....          | 4  |
| 第二节 颚式破碎机 .....       | 5  |
| 一、工作原理与分类 .....       | 5  |
| 二、颚式破碎机的构造 .....      | 6  |
| 三、主要参数 .....          | 8  |
| 第三节 反击式破碎机 .....      | 10 |
| 一、工作原理与分类 .....       | 10 |
| 二、构造及主要部件 .....       | 10 |
| 三、主要参数确定 .....        | 12 |
| 第四节 笼式粉碎机 .....       | 13 |
| 一、构造及工作原理 .....       | 13 |
| 二、主要零部件 .....         | 15 |
| 三、主要参数 .....          | 15 |
| 四、操作与维护规范 .....       | 15 |
| 第五节 球磨机 .....         | 16 |
| 一、球磨机构造 .....         | 17 |
| 二、球磨机的工作状态 .....      | 17 |
| 三、主要参数确定 .....        | 18 |
| 思考题 .....             | 21 |
| <b>第二章 筛分机械</b> ..... | 22 |
| 第一节 概论 .....          | 22 |
| 一、物料筛分的意义 .....       | 22 |
| 二、粒度的确定 .....         | 22 |
| 三、筛分效率 .....          | 23 |
| 四、影响筛分的因素 .....       | 24 |
| 五、筛分的基本流程 .....       | 25 |
| 六、筛面和筛制 .....         | 26 |
| 七、筛分机械的分类 .....       | 28 |
| 第二节 六角筛 .....         | 28 |
| 一、工作原理与构造 .....       | 28 |
| 二、使用及维护 .....         | 29 |
| 第三节 摇动筛 .....         | 29 |
| 一、工作原理与分类 .....       | 29 |
| 二、主要参数的确定 .....       | 30 |
| 三、平面摇筛 .....          | 32 |
| 第四节 振动筛 .....         | 33 |
| 一、工作原理与分类 .....       | 33 |
| 二、偏心振动筛 .....         | 34 |
| 三、单轴惯性振动筛 .....       | 35 |
| 四、双轴惯性振动筛 .....       | 36 |
| 五、自定中心振动筛 .....       | 39 |
| 六、电振筛 .....           | 40 |
| 第五节 概率筛 .....         | 41 |
| 思考题 .....             | 42 |
| <b>第三章 称量设备</b> ..... | 43 |
| 第一节 概述 .....          | 43 |
| 一、称量的重要性 .....        | 43 |
| 二、称量误差分析 .....        | 43 |
| 三、配料秤的种类 .....        | 44 |
| 第二节 磅秤 .....          | 44 |
| 第三节 机电自动秤 .....       | 45 |
| 一、标尺式 .....           | 45 |
| 二、圆盘指示数字显示式 .....     | 47 |
| 第四节 电子自动秤 .....       | 48 |
| 一、工作原理 .....          | 49 |
| 二、电子自动秤的结构 .....      | 49 |
| 思考题 .....             | 54 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| <b>第四章 混料机械</b>      | 55  |
| 第一节 概论               | 55  |
| 一、混合基本概念             | 55  |
| 二、混合机理               | 57  |
| 三、影响混合的因素            | 57  |
| 四、混料机械种类             | 59  |
| 第二节 艾里赫式混合机          | 61  |
| 第三节 轮碾式混合机           | 62  |
| 第四节 QH 式混合机          | 63  |
| 第五节 芒硝煤粉混合机          | 65  |
| 第六节 V 形混合机           | 65  |
| 第七节 多面体混合机           | 66  |
| 思考题                  | 67  |
| <b>第五章 起重及运输机械</b>   | 68  |
| 第一节 概论               | 68  |
| 一、起重运输机械的重要性         | 68  |
| 二、起重运输机械的种类及工作特性     | 68  |
| 第二节 桥式起重机            | 68  |
| 一、桥式起重机的特点及分类        | 68  |
| 二、桥式抓斗起重机结构          | 69  |
| 第三节 电动葫芦             | 73  |
| 第四节 带式输送机            | 76  |
| 一、带式输送机的特点和用途        | 76  |
| 二、输送带                | 76  |
| 三、托辊                 | 79  |
| 四、传动、张紧、制动装置         | 80  |
| 五、转交方式               | 82  |
| 六、带式输送机的选型计算         | 83  |
| 第五节 斗式提升机            | 90  |
| 一、斗式提升机的构造           | 90  |
| 二、斗式提升机的选型计算         | 92  |
| 第六节 气力输送装置           | 95  |
| 一、气力输送装置的类型          | 95  |
| 二、气力输送装置的基本构件        | 97  |
| 思考题                  | 101 |
| <b>第六章 贮料与加料机械设备</b> | 102 |
| 第一节 粉料的基本性能          | 102 |
| 一、流动性                | 102 |
| 二、休止角                | 103 |
| 三、压缩率                | 103 |
| 四、刮铲角                | 103 |
| 五、黏结率                | 103 |
| 六、均匀性系数              | 104 |
| 第二节 贮料设备的类型与结构       | 104 |
| 一、贮料设备的类型            | 104 |
| 二、料仓结构               | 104 |
| 三、测定料位装置             | 109 |
| 第三节 料仓设计与布置          | 110 |
| 一、容积计算               | 111 |
| 二、卸料能力计算             | 112 |
| 三、仓位布置               | 112 |
| 第四节 圆盘给料机            | 113 |
| 一、概述                 | 114 |
| 二、圆盘给料机的结构           | 114 |
| 三、主要技术指标计算           | 115 |
| 第五节 叶轮给料机            | 116 |
| 第六节 螺旋给料机            | 116 |
| 一、螺旋给料机的构造           | 117 |
| 二、主要技术指标计算           | 118 |
| 第七节 柱塞式加料机           | 118 |
| 第八节 薄层加料机            | 119 |
| 一、薄层加料机              | 119 |
| 二、使用及维护              | 120 |
| 第九节 电磁振动给料机          | 121 |
| 一、概述                 | 121 |
| 二、工作原理               | 121 |
| 三、作业参数的确定            | 122 |
| 四、调试、使用及维护           | 122 |
| 第十节 电熔炉常用加料机         | 124 |
| 一、概述                 | 124 |
| 二、常用加料机              | 125 |
| 第十一节 配料操作            | 126 |

|                        |     |                        |     |
|------------------------|-----|------------------------|-----|
| 一、放料顺序 .....           | 126 | 四、岗位工人检查配合料质量的方法 ..... | 129 |
| 二、混合程序 .....           | 127 | 思考题 .....              | 129 |
| 三、常见的配合料问题及其处理方法 ..... | 128 |                        |     |

## 第七章 防尘及收尘设备 ..... 130

|                         |     |                      |     |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|
| 第一节 概 述 .....           | 130 | 五、主要工作参数及选型计算 .....  | 139 |
| 一、防尘的意义 .....           | 130 | 第四节 袋式除尘器 .....      | 141 |
| 二、常用除尘设备的种类 .....       | 131 | 一、除尘原理及分类 .....      | 142 |
| 三、粉尘特性与收尘操作的关系 .....    | 131 | 二、几种袋式除尘器简介 .....    | 142 |
| 四、收尘效率与通过系数 .....       | 132 | 三、袋式除尘器过滤性能的计算 ..... | 145 |
| 第二节 重力沉降室与惯性除尘器 .....   | 133 | 第五节 湿式收尘器 .....      | 146 |
| 一、重力沉降室 .....           | 133 | 一、水浴收尘器 .....        | 146 |
| 二、惯性除尘器 .....           | 133 | 二、泡沫收尘器 .....        | 147 |
| 第三节 旋风除尘器 .....         | 134 | 第六节 除尘系统简介 .....     | 150 |
| 一、旋风除尘器的工作原理 .....      | 134 | 一、除尘系统的组成 .....      | 150 |
| 二、结构尺寸对旋风除尘器性能的影响 ..... | 135 | 二、抽风量 .....          | 151 |
| 三、旋风除尘器的结构形式 .....      | 136 | 思考题 .....            | 153 |
| 四、旋风除尘器的组合 .....        | 138 |                      |     |

## 第八章 供料机械与设备 ..... 154

|                   |     |                         |     |
|-------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第一节 概 述 .....     | 154 | 二、供料机的机械部分 .....        | 160 |
| 一、供料机分类 .....     | 154 | 三、附属系统 .....            | 167 |
| 二、吸料式供料机原理 .....  | 154 | 第三节 滴式供料机的操作方法与规范 ..... | 168 |
| 三、滴料式供料机原理 .....  | 156 | 一、料滴的调整 .....           | 168 |
| 第二节 滴料式供料机 .....  | 157 | 二、耐火材料更换 .....          | 170 |
| 一、供料槽的作用和类型 ..... | 157 | 思考题 .....               | 171 |

## 第九章 玻璃成形概述 ..... 172

|                      |     |                     |     |
|----------------------|-----|---------------------|-----|
| 第一节 概 述 .....        | 172 | 二、玻璃的成形制度 .....     | 175 |
| 第二节 玻璃性能对成形的作用 ..... | 172 | 第四节 玻璃制品的成形方法 ..... | 178 |
| 一、黏度对成形的作用 .....     | 172 | 一、人工成形 .....        | 178 |
| 二、表面张力对成形的作用 .....   | 173 | 二、玻璃管的成形 .....      | 180 |
| 三、弹性对成形的作用 .....     | 173 | 三、玻璃瓶罐的成形 .....     | 180 |
| 四、其它性能对成形的作用 .....   | 173 | 四、平板玻璃的成形 .....     | 180 |
| 第三节 玻璃制品成形制度 .....   | 174 | 五、其它成形方法 .....      | 180 |
| 一、玻璃成形过程中的热传递 .....  | 174 | 思考题 .....           | 181 |

## 第十章 行列式制瓶机 ..... 182

|                       |     |                        |     |
|-----------------------|-----|------------------------|-----|
| 第一节 成形原理及成形工艺过程 ..... | 182 | 三、行列式制瓶机吹-吹法操作 .....   | 182 |
| 一、概述 .....            | 182 | 四、行列式制瓶机压-吹法操作 .....   | 185 |
| 二、行列式制瓶机的特点 .....     | 182 | 第二节 行列式制瓶机的机构及原理 ..... | 187 |

|                                     |            |                       |     |
|-------------------------------------|------------|-----------------------|-----|
| 一、导料机构 .....                        | 187        | 九、模底翻倒机构 .....        | 202 |
| 二、漏斗机构 .....                        | 188        | 十、制品的成形缺陷 .....       | 202 |
| 三、扑气机构 .....                        | 191        | 第三节 制瓶机的主要操作方法 .....  | 204 |
| 四、顶芯子机构和冲头机构 .....                  | 191        | 一、开始运转操作 .....        | 204 |
| 五、模具夹具和模具开关机构 .....                 | 194        | 二、正常生产中的操作 .....      | 205 |
| 六、口钳机构 .....                        | 195        | 三、突发事故紧急操作 .....      | 207 |
| 七、正吹气机构 .....                       | 198        | 思考题 .....             | 207 |
| 八、钳瓶机构 .....                        | 199        |                       |     |
| <b>第十一章 玻璃灯泡、管、纤维等制品的成形设备 .....</b> | <b>208</b> |                       |     |
| 第一节 吹泡机 .....                       | 208        | 第四节 拉丝机 .....         | 221 |
| 一、概述 .....                          | 208        | 一、概述 .....            | 221 |
| 二、吹泡机的构造 .....                      | 208        | 二、拉丝机结构 .....         | 221 |
| 第二节 压杯机 .....                       | 214        | 三、拉丝装置其它部件 .....      | 226 |
| 一、概述 .....                          | 214        | 第五节 制球机 .....         | 228 |
| 二、气动压杯机的构造 .....                    | 214        | 一、概述 .....            | 228 |
| 第三节 拉管机 .....                       | 216        | 二、制球机的结构 .....        | 228 |
| 一、概述 .....                          | 216        | 三、制球机各机构的调节 .....     | 230 |
| 二、水平拉管机的种类及结构 .....                 | 217        | 思考题 .....             | 230 |
| <b>第十二章 玻璃制品生产辅助设备 .....</b>        | <b>231</b> |                       |     |
| 第一节 输送及检验包装设备 .....                 | 231        | 第二节 加工及修饰设备 .....     | 236 |
| 一、输瓶机 .....                         | 231        | 一、烧口机 .....           | 236 |
| 二、推瓶机 .....                         | 232        | 二、磨花机 .....           | 238 |
| 三、瓶罐自动检验设备 .....                    | 233        | 三、印花机 .....           | 240 |
| 四、自动包装设备 .....                      | 235        | 思考题 .....             | 242 |
| <b>第十三章 平板玻璃生产机械设备 .....</b>        | <b>243</b> |                       |     |
| 第一节 浮法玻璃生产主要设备 .....                | 243        | 第二节 压延法玻璃成形主要设备 ..... | 257 |
| 一、浮法玻璃成形工艺流程 .....                  | 243        | 一、概述 .....            | 257 |
| 二、浮法玻璃成形方法 .....                    | 243        | 二、连续压延机结构 .....       | 259 |
| 三、锡槽 .....                          | 246        | 三、各种异形玻璃压延机的结构 .....  | 260 |
| 四、锡槽的附属设备 .....                     | 251        | 四、压延机主要参数确定 .....     | 262 |
| 五、冷端设备 .....                        | 252        | 思考题 .....             | 265 |
| <b>第十四章 光学玻璃生产及加工设备 .....</b>       | <b>266</b> |                       |     |
| 第一节 热成形工艺及设备 .....                  | 266        | 一、概述 .....            | 270 |
| 一、古典法 .....                         | 266        | 二、漏料拉棒 .....          | 271 |
| 二、浇注法 .....                         | 268        | 三、滴料压型 .....          | 272 |
| 三、滚压法 .....                         | 270        | 四、漏料成形大块玻璃 .....      | 273 |
| 第二节 漏料成形工艺及设备 .....                 | 270        | 第三节 连续熔炼工艺及设备 .....   | 274 |

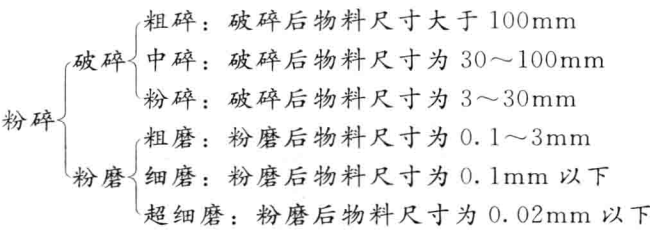
|                              |            |                       |     |
|------------------------------|------------|-----------------------|-----|
| 一、小型铂金池炉 .....               | 274        | 一、精密模压工艺及设备 .....     | 276 |
| 二、瓷铂池炉连续熔炼 .....             | 274        | 二、精密模压模具材料及模具加工 ..... | 279 |
| 三、电极材料 .....                 | 275        | 思考题 .....             | 280 |
| 第四节 光学玻璃精密模压工艺及设备 .....      | 276        |                       |     |
| <b>第十五章 玻璃成形模具 .....</b>     | <b>281</b> |                       |     |
| 第一节 模具的分类 .....              | 281        | 第四节 模具的润滑与维护 .....    | 288 |
| 第二节 玻璃成形模具材料 .....           | 282        | 一、概述 .....            | 288 |
| 一、对模具材料的要求 .....             | 282        | 二、模具预涂层 .....         | 289 |
| 二、玻璃成形模具材料的种类 .....          | 283        | 三、冷模具润滑涂层 .....       | 289 |
| 第三节 瓶罐设计及模具设计中的要求 .....      | 286        | 四、模具的安装与维护 .....      | 290 |
| 一、瓶型设计 .....                 | 286        | 五、模具维修 .....          | 291 |
| 二、初形的设计要求 .....              | 287        | 思考题 .....             | 292 |
| 三、模具的设计要求 .....              | 287        |                       |     |
| <b>第十六章 玻璃深加工机械与设备 .....</b> | <b>293</b> |                       |     |
| 第一节 概述 .....                 | 293        | 第五节 镀膜玻璃工艺及设备 .....   | 308 |
| 第二节 玻璃切割与钻孔设备 .....          | 293        | 一、概述 .....            | 308 |
| 一、激光切割与钻孔 .....              | 293        | 二、溅射镀膜工艺及设备 .....     | 308 |
| 二、高压水射流切割与钻孔 .....           | 294        | 三、化学气相沉积工艺及设备 .....   | 312 |
| 第三节 热弯玻璃工艺及设备 .....          | 295        | 第六节 中空玻璃成形设备 .....    | 317 |
| 一、玻璃热弯原理 .....               | 295        | 一、概述 .....            | 317 |
| 二、热弯玻璃的生产方式 .....            | 295        | 二、中空玻璃的定义与分类 .....    | 318 |
| 三、热弯玻璃的设备 .....              | 296        | 三、复合胶条式中空玻璃的生产工艺及     |     |
| 四、热弯模具的制作 .....              | 297        | 设备 .....              | 319 |
| 第四节 钢化玻璃工艺及设备 .....          | 298        | 四、槽铝式中空玻璃的生产工艺及       |     |
| 一、垂直法钢化玻璃工艺及设备 .....         | 298        | 设备 .....              | 321 |
| 二、水平法钢化玻璃工艺及设备 .....         | 303        | 思考题 .....             | 324 |
| <b>参考文献 .....</b>            | <b>325</b> |                       |     |

# 第一章 粉碎机械

## 第一节 概 论

### 一、原料粉碎的作用

借用外力的方法克服固体物料内部凝聚力而将其分裂的操作，称为粉碎。外力可以是人力、机械力、电力或爆炸力等。根据所处理物料尺寸大小的不同，把将大块物料分裂成小块的操作称为破碎；将小块物料变为细粉的操作称为粉磨。破碎和粉磨统称为粉碎。按照处理后物料尺寸的不同，粉碎作业可以详细分级如下。



玻璃制品生产中使用的各种原料，首先必须粉碎成一定的粒度才能进行熔制。粉碎的意义如下。

#### 1. 均化混合

配合料中各种原料的粒度愈小，混合的均匀度就愈高，愈可以促进玻璃的均质化。

#### 2. 加快反应速率

在玻璃配合料的熔制过程中，颗粒间的接触表面积是影响熔化反应速度的重要因素之一。因而在熔化条件相同时，物料粒子愈小，颗粒间的接触表面积愈大，熔化反应速度愈快。玻璃工厂中配合料（含碱的平板玻璃）颗粒大小对熔化速度的影响见表 1-1。

表 1-1 玻璃配合料颗粒大小对熔化速度的影响

| 粒 子 大 小                                |                                    | 熔化速度相对比值 |
|----------------------------------------|------------------------------------|----------|
| 比表面积/cm <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> | 在 1000(孔/cm <sup>2</sup> )筛面上的筛余/% |          |
| 610                                    | 82.3                               | 1        |
| 3030                                   | 43.0                               | 1.14     |
| 7400                                   | 13.5                               | 2.40     |
| 8200                                   | 6.7                                | 2.85     |
| 11000                                  | 0                                  | 4.40     |

#### 3. 便于剔除有害杂质

对于天然原料，其化学组分一般并不是纯粹单一的。为了剔除有害杂质，必须减小其粒度，才能进行分离操作。如石英砂中的氧化铁，必须减少其粒度才能进行分离操作。

#### 4. 提高流动性

粉状物料具有较好的流动性，可以进行气体输送。气体输送便于操作的连续化，通常优于

机械输送。

因此，玻璃工厂粉碎作业直接关系着玻璃制品的质量和成本。一般大中型玻璃工厂所需的天然原料均需自行粉碎，而小型玻璃工厂大都采用粉状物料进厂。也有的玻璃工厂对用量多的天然原料自行加工粉碎，以保证原料的品质，而对用量少的原料则是直接购买粉状物料。

## 二、粉碎的方法

玻璃工业中采用的粉碎方法主要是靠机械力的作用。常见的粉碎方法主要有四种。

### （一）压碎

如图 1-1 所示，当物料在两个破碎工作平面间受到缓慢增加的压力时就会被破碎。它的特点是作用在物料上的力逐渐增大，力的作用范围也较大，多用于玻璃厂中大块物料的破碎。其作用方式：

- ① 使用两块相对运动的金属板相互挤压作用；
- ② 使用两个相对旋转辊的碾压作用；
- ③ 使用内锥体在外锥形筒中作偏心旋转的挤压作用。

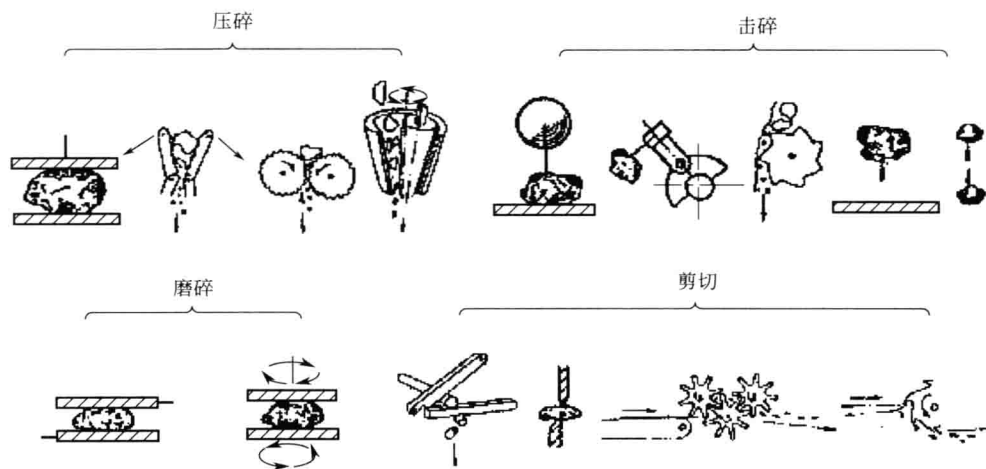


图 1-1 物料的粉碎方法

### （二）击碎

如图 1-1 所示，当物料在瞬间受到外来的冲击力时就会被破碎。冲击的方法较多，如在坚硬的表面上，物料受到外来冲击力的击打；高速运动的机件冲击料块；高速运动的料块冲击到固定的坚硬物体上；物料块间的相互冲击等。此方法常用于脆性物料的粉碎。

### （三）磨碎

如图 1-1 所示，当物料在两工作面或各种形状的磨体之间受到摩擦力、剪切力时，就会进行磨削而变成细粒。多用于小块物料或韧性物料的粉碎。

### （四）剪切

如图 1-1 所示，物料在两个破碎工作面间承受集中载荷的两交点（或多支点）梁，除了在外力作用点受劈力外，还发生弯曲折断。此方法多用于玻璃工厂中硬、脆性大块物料的破碎。

玻璃工厂常用的粉碎机的形式不同，其处理物料所使用的粉碎方法亦各不同。各工厂使用的粉碎机械，一般同时具有多种粉碎方法的联合作用。

粉碎机械分类如表 1-2 所示。

表 1-2 粉碎机的种类

| 分 类        | 机械名称   | 主要粉碎方法 | 运动方式   | 适 用 范 围         |                |
|------------|--------|--------|--------|-----------------|----------------|
| 破 碎<br>机 械 | 颚式破碎机  | 压碎     | 往复     | 粗、中碎            | 硬质料<br>中硬质料    |
|            | 圆锥式破碎机 | 压碎     | 回转     | 粗、中碎<br>中、细碎    | 硬质料<br>中硬、硬质料  |
|            | 辊式破碎机  | 压碎     | 旋转(慢速) | 中、细碎            | 硬质、软质料         |
|            | 锤式破碎机  | 击碎     | 旋转(快速) | 粗碎<br>细碎        | 硬质料、中硬、<br>软质料 |
|            | 反击式破碎机 | 击碎     | 旋转(快速) | 中、细碎            | 中硬质料           |
| 粉 磨<br>机 械 | 笼式粉碎机  | 击碎     | 旋转(快速) | 细碎、粗磨           | 软脆质料           |
|            | 轮碾机    | 压碎和剪碎  | 自、公转   | 细碎、粗磨           | 中硬、软质料         |
|            | 辊磨机    | 压碎和剪碎  | 自、公转   | 细磨              | 软质稍硬料          |
|            | 球磨机    | 压碎和剪碎  | 旋转(慢速) | 粗、细磨            | 硬质磨性料          |
|            | 振动磨    | 击碎     | 振动     | 超细磨             | 硬质料            |
|            | 自磨机    | 压碎和剪碎  | 旋转(慢速) | 细碎、粗磨<br>细碎、超细磨 | 硬质料            |
|            |        |        |        |                 |                |

### 三、粉碎机性能参数

为了衡量粉碎机的粉碎效果，在这里将引入粉碎比这个概念。物料粉碎前的平均直径与粉碎后的平均直径之比称为平均粉碎比。平均粉碎比由下式计算：

$$i = \frac{D}{d} \quad (1-1)$$

式中  $i$ ——平均粉碎比；

$D$ ——物料粉碎前的平均直径，m；

$d$ ——物料粉碎后的平均直径，m。

平均粉碎比是表示物料粉碎前后尺寸变换程度的一个指标。

为了简易地表示和比较破碎机的这一特性，常用其允许的最大进料口尺寸与最大出料口尺寸之比作为粉碎比，称为公称粉碎比。由于实际破碎时加入物料的最大尺寸总小于最大进口尺寸，所以破碎机的平均粉碎比一般都小于公称粉碎比。平均粉碎比大约只等于公称粉碎比的70%~90%。在粉碎机的选型时应注意这点。

一般破碎机的平均粉碎比为3~30，而粉磨机则通常达300~1000，甚至1000以上。

对于粉碎机而言，粉碎比是评定机械效率的一项重要指标。对于物料而言，粉碎比的要求是确定粉碎工艺流程和设备选型的依据。在多级粉碎中，总的粉碎比和各级粉碎比有下述关系：

$$i_{\epsilon} = i_1 i_2 \cdots i_n \quad (1-2)$$

式中  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $\cdots$ 、 $i_n$ ——各级粉碎比。

衡量粉碎机工作效率的优劣和经济性能的参数，除粉碎比外，主要还有粉碎机的生产能力、需要的功率、操作强度和单位功耗等。

粉碎机在单位时间内粉碎物料的质量称为粉碎机的生产能力，用字母  $Q$  表示，单位为 t/h。

粉碎机的生产能力  $Q$  (t/h) 与机器质量  $m$  (t) 之比称为粉碎机的操作强度  $E$  [t/(h·t)]，即

$$E = \frac{Q}{m}$$

粉碎机粉碎单位质量物料所消耗的能量称为粉碎机的单位功耗（也称为单位电耗），用字母  $A$  表示。当粉碎机的平均功率为  $P(\text{kW})$  时，有：

$$A = \frac{P}{Q}$$

其中，单位功耗的单位为  $\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 。

由于各种物料的机械和物理性质不同，粉碎的难易程度是有区别的。因此，用同一台粉碎机械，在相同粉碎比的条件下粉碎不同物料时，生产能力和单位功耗是不一样的。

#### 四、粉碎作业

##### （一）粉碎原则

粉碎物料时，必须遵守一个基本原则，即“不作过粉碎”。

在粉碎作业中，被碎料的加入与碎成料排出的调节都十分重要。特别是在连续作业の場合，加料速度与排料速度不仅应当相等，还要与粉碎机的处理能力相适应。这样才能发挥其最大的粉碎效率。如果在粉碎机中滞留碎成料，则会影响粉碎效果。碎成料的滞留意味着它有继续粉碎的可能性，故而超过了所要求的粒度，作了过粉碎，浪费了粉碎功。而这些过粉碎的粒子会将尚未粉碎的粒子包围起来。结果在大粒子的周围，由于细小粒子所构成的弹性衬垫具有缓冲作用，妨碍粉碎的正常进行，进一步降低了粉碎效果。这种现象被称为“闭塞粉碎”。不可否认，“闭塞粉碎”作为一种粉碎作业的情况还是存在的，例如下述的间歇粉碎。相反，粉碎效率高的“自由粉碎”是依靠水流、空气流将碎成料自由地从粉碎机中带出，即碎成料粒子一旦达到要求，就能马上离开粉碎作业区。

贯彻“不作过粉碎”的原则，依赖于下列措施：

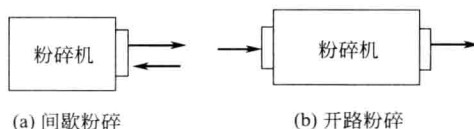
- ① 尽量作到“自由粉碎”。碎成料不滞留，尽快离开粉碎机，避免“闭塞粉碎”；
- ② 物料在进行粉碎前，必须先行筛分处理；
- ③ 使粉碎功真正地只用于物料的粉碎上。因粉碎机金属部件的磨损无疑会降低粉碎效率。

##### （二）粉碎流程

在粉碎操作中，有间歇粉碎、开路粉碎和闭路粉碎三种操作流程。

##### 1. 间歇粉碎

如图 1-2(a) 所示，将一定量的被碎料加入粉碎机内，关闭排料口，粉碎机不断运转，直至全部达到要求的粒度为止。一般适用于处理量不大而粒度要求较细的粉碎作业。



##### 2. 开路粉碎

如图 1-2(b) 所示，被碎料不断加入，碎成料连续排出。被碎料一次通过粉碎机（又称无筛分连续粉碎），碎成料被控制在一定粒度下。开路粉碎操作简便，适用于破碎机作业。

##### 3. 闭路粉碎

如图 1-2(c) 所示，被碎料在经粉碎机一次粉碎后，除粗粒子留下继续粉碎外，其它粒子立即被运载流体（水或空气）夹带而强行离机。再由机械分离，取出其粒度合乎要求的部分，而较粗的不合

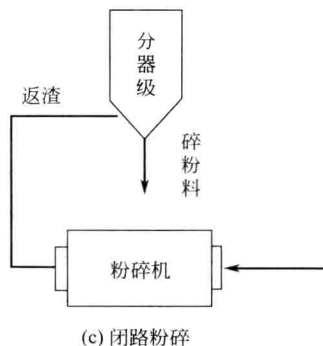


图 1-2 粉碎流程

格粒子返回粉碎机再行粉碎。闭路粉碎是一种循环连续作业，它严格遵守“不作过粉碎”原则。它和开路粉碎相比较，生产力可增加 50%~100%；单位质量碎成料所需要的功可减少 40%~70%。

上述粉碎流程的对比见表 1-3 所示。

表 1-3 粉碎流程的比较

| 粉碎流程 | 粉碎料加入 | 碎成料排出 | 碎成料粒度分布幅度 | 生产能力 | 机件磨损 | 适用范围 | 设备费 |
|------|-------|-------|-----------|------|------|------|-----|
| 间歇   | 方便    | 不方便   | 广         | 小    | 大    | 粉磨   | 小   |
| 开路   | 方便    | 方便    | 广         | 中    | 大    | 破碎   | 小   |
| 闭路   | 方便    | 方便    | 狭         | 大    | 小    | 细碎粉磨 | 大   |

### （三）粉碎方式

粉碎方式分为干式和湿式两种。其不同点是物料含水量多少不一样。一般前者的含水量愈少愈好，而后者则需要加入适量的水。

#### 1. 干式粉碎

粉碎物料的含水量在 4% 以下称为干式粉碎。

其特点是：①处理的物料及其产品是干燥的；②进行粉碎时，需设置收尘设备，以免粉尘飞扬；③在细磨时磨碎效率低；④当其含水量超过一定量时，颗粒黏结，粉碎效率降低；⑤较细颗粒自粉碎机中排除出来较为困难（一般常用空气吹吸排除）。

#### 2. 湿式粉碎

被碎料的含水量在 50% 以上称为湿式粉碎。

其特点是：①原为湿的物料可以不经干燥而直接处理；②粉碎后的物料排除便利，粉碎效率高，输送方便；③操作场所无粉尘产生；④颗粒分级较为简单；⑤禁止浸湿或易溶于水的物料用此方式。

以上两种粉碎方式各有优缺点，须按物料的性质及产品的用途来进行选用。一般干式常用于物料破碎，湿式常用于物料的粉磨。

## 第二节 颞式破碎机

### 一、工作原理与分类

颞式破碎机主要用于坚硬和中硬物料的粗、中粉碎过程中。鉴于它构造简单，工作可靠，维修方便，以及生产费用较低，因而在玻璃工厂得到广泛应用。

颞式破碎机是利用活动颞板（简称动颞）对固定颞板（简称定颞）作周期往复运动，从而将两块颞板之间的物料破碎。根据活动颞板的运动特性不同，将颞式破碎机分为复杂摆动式（简称复摆）和简单摆动式（简称简摆）两类。

#### （一）简单摆动式

如图 1-3(a) 所示，活动颞板 2 以悬挂轴为支点，当偏心轴 4 回转时，通过连杆 3 及推力板 5 带动它作往复运动。其上各点的运动轨迹都是简单的圆弧，而且以排料口处最大。

#### （二）复杂摆动式

如图 1-3(b) 所示，活动颞板 2 悬挂在偏心轴 4 上，当偏心轴回转时，活动颞板除了以偏心轴为支点作往复运动外，还有上下运动。其上各点的运动轨迹都是椭圆，而且从上往下，椭圆度越来越大。

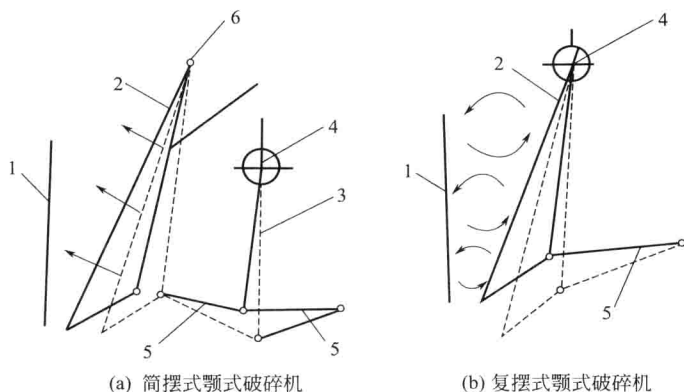


图 1-3 颚式破碎机类型

1—固定颚板；2—活动颚板；3—连杆；4—偏心轴；5—推力板；6—悬挂轴

根据加料口的宽度不同，颚式破碎机被分为三类：大于 600mm 者为大型；300~600mm 者为中型；小于 300mm 者为小型。简单摆动式多为大、中型；复杂摆动式一般为中、小型，目前，已有向大型发展的趋势。

此外，液压颚式破碎机是近几年出现的较先进的破碎设备，它是在上述各种破碎机上装设液压部件而成。由于液压颚式破碎机有启动容易和保护部件不受损害等优点，因而随着液压技术的发展，其必将得到广泛的应用。

## 二、颚式破碎机的构造

根据目前玻璃工厂的实际，本文着重介绍颚式破碎机中复摆式破碎机的原理和构造。

### (一) 复摆式破碎机的原理

如图 1-4 所示是各玻璃厂广泛用于中碎或细碎长石、石英、石灰石、白云石等物料的复摆式破碎机结构图。由图可知，该颚式破碎机是以平面四杆机构为工作机构，而以连杆为运动工作件的机械。因为作为破碎工作件的动颚（连杆）作平面复杂运动，故又称复杂摆动颚式破碎机，简称复摆式颚式破碎机。

如图 1-5 所示为动颚板上 A、B、C、D 四点的运动轨迹（即连杆曲线）。由图可知，A 点作圆周运动，B 点受推力板的约束作绕 O 点摆动的圆弧线运动。其余各点的轨迹为扁圆形，从上到下的扁圆形越来越扁平。上部的水平位移量约为下部的 1.5 倍，且垂直位移量稍小于下部。就颚板来说，垂直位移量约为水平位移量的 2~3 倍。工作时，曲柄处于 II 区是完全工作行程；处于 III 区，上部靠前、下部靠后；在 IV 区是空回行程；在 I 区是上部靠后、下部靠前。动颚的这些运动特性决定了它具有以下这些性能：

① 动颚的平面复杂运动，时而靠近固定的

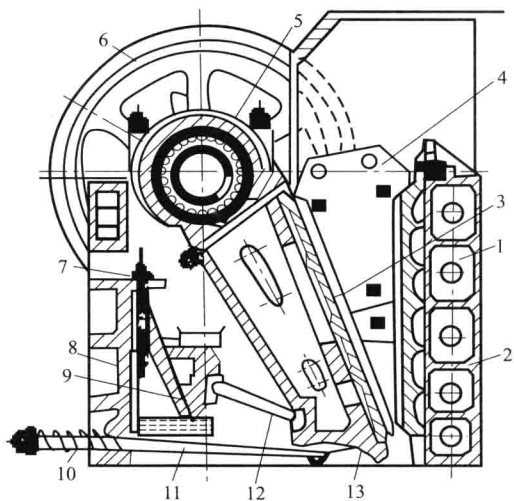


图 1-4 复摆式颚式破碎机结构图

1—机架；2—定颚衬板；3—动颚衬板；4—侧衬板；  
5—偏心轴；6—飞轮；7—调整螺栓；8—调整楔铁；  
9—滑块支座；10—拉紧弹簧；11—拉杆；  
12—推力板；13—动颚体

定颚，时而离开，形成一个空间容积变化的破碎室（称为颚腔）。物料主要受到压碎，伴随着研磨、折断等；

② 这种运动使物块受到向下推动的力，且大块在上部得到破碎，能促进排料，也能促进物块在内翻转，使排出料多为立方体形，这些都有利于提高生产能力；

③ 摩擦剧烈，颚板的磨损较快。

## （二）颚式破碎机的主要零部件

① 原动机和传动件 一般用电动机作为原动机，用一级三角皮带传动，电动机与机架分开安装，飞轮兼作大皮带轮。

② 机架 主要支承偏心轴（主轴）、颚板并承受破碎力。常用铸钢（如 ZG35）整体铸出，或分件装配成，也可用厚钢板焊接成。为了增加机架刚性，一般在其外面配有纵横向的加强肋板。

③ 动颚 工作面装有颚板（破碎板），一般用 ZG45、ZG35 铸成。上部由偏心轴支承，有的用滑动轴承，有的用滚动轴承，下部由推力板支承。动颚工作表面镶有带齿的破碎板，用螺栓紧固。动颚安装倾斜角通常为  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。为了减轻动颚的重量，增大其刚性，常做成箱形体，并且动颚的最底部，用钩头拉杆钩拉住。

④ 颚板和护板 动颚工作面和所对的机架前面装带齿的颚板，在机架的两内侧壁装不带齿侧护板，形成一个四方锥形破碎室。颚板和护板是直接和破碎物料接触，要受到强大的破碎挤压力和摩擦磨损，常用 ZGMn13 或高锰镍铝钢材料制造。

高锰钢虽然耐磨性好，但机械加工性能、焊接性能差，铸锻时性脆。但经水淬后，可得到高抗拉、抗剪、延性、韧性等性能，故一般在出厂时，破碎板是经水淬处理的，使用时一般不要重新加热。由于不同破碎区有磨损不均匀和调换的可能，因而颚板与护板都采用了可拆连接，且设计成可以调头使用的。

⑤ 偏心轴（又称主轴） 它支承动颚和飞轮，承受弯曲、扭转，起曲柄作用。偏心距一般为  $10 \sim 35\text{mm}$ ，是颚破机（即颚式破碎机）最贵重的零件。常用 42MnMoV、30MnMoB、34CrMo 等高强度优质合金钢锻造加工成，小型的也有的用 45 钢。一般需经调质等处理。

⑥ 推力板（肘板） 主要作用是支承动颚并将破碎力传递至机架后壁。推力板的后端有调节装置时，可以用来调整排料口的大小。设计时，常选用灰口铸铁，按超负载时能自行断裂的条件确定尺寸。推力板也是一种保险装置，在工作中如出现不允许的超载，它能自动停下，使卸料口增大，达到保护动颚的作用，使偏心轴、机架等贵重零部件不致遭到破坏。因此，没特殊原因，不要随便更改原图纸的材料及尺寸。

⑦ 飞轮 安装飞轮主要是由于颚式破碎机的工作是间歇性的、工作冲程与回程消耗的功差别较大，从而引起负载与速度的波动。这种速度的变动引起的惯性力使运动副受到附加的动压力，降低机械效率和工作的可靠性，此外这种周期性的波动会引起弹性振动，从而影响各部分的强度。为此，在偏心轴的两端安装具有一定质量的回转件，当驱动功大于阻力功时，将多余的能量蓄存起来，使动能增大；当阻力功大于驱动功时，又将这些能量放出来，以使负载、速度的波动控制在一定范围以内。

⑧ 支承 包括偏心轴的支承轴承和动颚的支承。对于中小型颚式机，多用双列自位滚动轴承，也有的用滑动轴承，但要特别注意轴承的润滑。

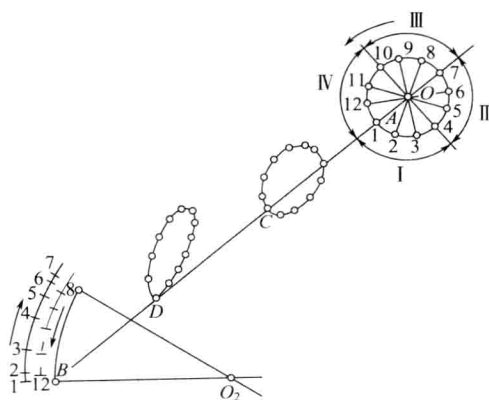


图 1-5 动颚板上各点的运动轨迹

⑨ 排料口的调节 目前,小型机常用楔铁式,通过旋转螺杆调整楔铁,改变推力板位置,从而调节出料口的大小以及颚板的倾角。大型颚破机常用常规的液压式排料口调节装置。

### 三、主要参数

颚式破碎机的规格利用进料口尺寸(宽度×长度)表示。如900×1200颚式破碎机,即进料口宽为900mm,长为1200mm。表1-4列出玻璃厂常用颚式破碎机的部分规格和技术性能。字母代表型号,其中,P为破碎机,E为颚式,F为复杂摆动式,J为简单摆动式。

表 1-4 颚式破碎机技术规格

| 型号<br>/mm        | 进料口尺寸<br>(宽×长)/mm | 排料口<br>调整范<br>围/mm | 最大进<br>料粒度<br>/mm | 生产能<br>力<br>/t·h <sup>-1</sup> | 偏心轴<br>转速<br>/r·min <sup>-1</sup> | 偏心距<br>/mm | 功率<br>/kW | 外形尺寸<br>长×宽×高<br>/mm | 质量/t |
|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------|----------------------|------|
| PEF<br>150×250   | 150×250           | 10~40              | 125               | 1~4                            | 300                               | —          | 5.5       | 875×745<br>×935      | 1.1  |
| PEF<br>200×350   | 150×250           | 10~50              | 160               | 2~5                            | —                                 | —          | 7.5       | 1080×1060<br>×1090   | 1.6  |
| PEF<br>250×400   | 250×400           | 20~80              | 210               | 5~20                           | 300                               | 10         | 15        | 1430×1310<br>×1340   | 2.8  |
| PEF<br>400×600   | 400×600           | 40~160             | 350               | 17~115                         | 250                               | 10         | 30        | 1700×1732<br>×1655   | 6.5  |
| PEF<br>600×900   | 600×900           | 12~150             | <480              | 56~192                         | 250                               | 19         | 80        | 2792×3828<br>×2525   | —    |
| PEJ<br>900×1200  | 900×1200          | 75~200             | 650               | 140~200                        | 180                               | 30         | 110       | 7391×7178<br>×2695   | —    |
| PEJ<br>1200×1500 | 1200×1500         | 130~<br>180        | —                 | 170                            | —                                 | —          | 180       | 8185×8085<br>×3585   | —    |

注:表中所列生产能力,是当物料密度为 $\rho=1.6\text{t/m}^3$ 时的生产能力。

#### (一) 入料粒度

进入颚破机最大粒度一般为进料口宽度的75%~85%。

#### (二) 钳角

如图1-6,定颚板和动颚板的夹角为颚式破碎机的钳角 $\alpha$ 。由于颚板的运动和推力板的调节,实际的钳角是在一定范围内变化的。

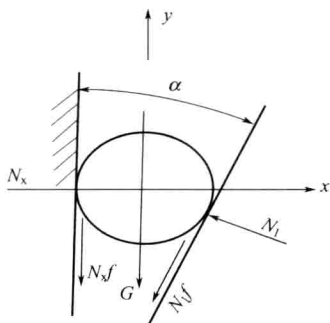


图 1-6 颚式破碎机的钳角

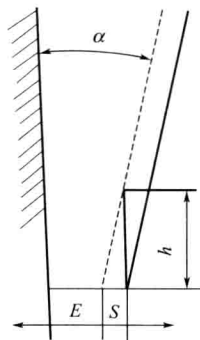


图 1-7 颚式破碎机卸料腔

从图中可以看到,钳角越小,粉碎比就小;钳角越大,容易将物块推出。实际生产中常取 $\alpha=18^\circ\sim22^\circ$ 。