(京)新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

建筑垃圾处理与资源化/王罗春，赵由才编著．—北京：化学工业出版社，2004.7
（固体废物处理与资源化丛书）
ISBN 7-5025-5845-4

Ⅰ.建… Ⅱ.①王…②赵… Ⅲ.建筑施工-垃圾处理 Ⅳ.X799.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第077318号

固体废物处理与资源化丛书
建筑垃圾处理与资源化
王罗春 赵由才 编著
责任编辑：管德存 徐 娟
责任校对：顾淑云 宋 玮
封面设计：蒋艳君

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心 出版发行
（北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029）
发行电话：（010）64982530
http://www.cip.com.cn

新华书店北京发行所经销
北京红光印刷厂印刷
北京红光印刷厂装订
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 318 千字
2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5845-4/X·502
定 价：34.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

目前我国对建筑垃圾还没有明确的定义，简而言之，建筑垃圾就是建设施工过程中产生的垃圾。按照来源分类，建筑垃圾可分为土地开挖垃圾、道路开挖垃圾、旧建筑物拆除垃圾、建筑工地垃圾和建材生产垃圾五类，主要由渣土、砂石块、废砂浆、砖瓦碎块、混凝土块、沥青块、废塑料、废金属料、废竹木等组成。与其他城市垃圾相比，建筑垃圾具有量大、无毒无害和可资源化率高的特点。我国建筑垃圾产量一般为城市垃圾总量的30%～40%，每年产生量达4000万～5000万吨。绝大多数建筑垃圾是可以作为再生资源重新利用的，如：废金属可重新回炉加工制成各种规格的钢材；废竹木、木屑等可用于制造各种人造板材；碎砖、混凝土块等废料经破碎后可代替砂直接在施工现场利用，用于砌筑砂浆、抹灰砂浆、浇捣混凝土等，也可用以制作砌块等建材产品等。在建筑垃圾综合利用方面，近年来国内外有很多突破性的成果，如孔内深层强夯桩技术就是一种综合利用碎砖瓦和混凝土块的途径。

事实上在国内，由于配套管理政策不完善，绝大部分建筑垃圾未经任何处理，便被施工单位运往郊外或乡村，采用露天堆放或填埋的方式进行处理，占用大量的土地，同时清运和堆放过程中的遗撒和粉尘、灰砂飞扬等问题又造成了严重的环境污染。随着我国对于保护耕地和环境的各项法律法规的颁布和实施，如何处理和处置建筑垃圾已经成为我国建筑施工企业和环境保护部门面临的一个重要课题。在这方面，日本、美国、德国等工业发达国家的先进经验值得我们借鉴。这些国家大多实行的是建筑垃圾源头削减策略，即在建筑垃圾形成之前，就通过科学管理和有效的控制措施将其减量化；对于产生的建筑垃圾则采用科学的方法使其资源化。

本书是以建筑垃圾分类、建筑垃圾破碎和分选、建筑垃圾资源化、建筑行业的清洁生产、建筑垃圾减量化和资源化的法律法规、典型建筑垃圾综合利用工程等为主线，从原理、工艺、管理、法律和法规上加以论述，全面完整地描述了国内外建筑垃圾资源化的新技术、新方法、新理论，适合于大中专院校师生、建筑施工企业的工程技术人员、有关管理人员等阅读和参考。

参加本书编写的主要有上海电力学院的王罗春（第一、三、四章）、周笑绿（第五章）和同济大学的赵由才（第二、六章）。此外，同济大学的郭广勇和陆小青也分别参与了第二章和第六章的编写工作。

本书所列出的所有机械设备和生产厂家，仅仅是出于全书的完整性和论述的需要，撰写人员和出版社不为这些机械设备和厂家提供任何保证和推荐，也不为这些机械设备所造成的损失和其他任何问题承担任何经济和法律责任。

书中难免存在不足之处，敬请读者提出建议和修改意见。

王罗春　赵由才

2004年4月

目　录

第一章　概论 …… 1
第一节　建筑垃圾 …… 1
一、建筑垃圾的定义 …… 1
二、建筑垃圾的特性 …… 1
三、建筑垃圾对环境的影响 …… 1
第二节　建筑垃圾管理的技术政策和经济政策 …… 2
一、建筑垃圾管理的技术政策 …… 2
二、建筑垃圾管理的经济政策 …… 3
第三节　建筑垃圾的分类与组成 …… 4
一、建筑垃圾的分类 …… 4
二、建筑垃圾的组成 …… 5
三、建筑垃圾的产量分析 …… 7
四、建筑装潢垃圾的产量分析 …… 8
五、旧建筑物拆除垃圾的产量分析 …… 8
第二章　建筑垃圾的破碎与分选 …… 9
第一节　建筑垃圾的破碎 …… 9
一、建筑垃圾破碎的基本方式和破碎机的类型 …… 9
二、建筑垃圾的破碎理论 …… 10
三、颚式破碎机 …… 13
四、圆锥破碎机 …… 21
五、锤式破碎机 …… 22
第二节　建筑垃圾的分选 …… 23
一、物料分选的一般理论 …… 24
二、筛分 …… 26
三、重力分选 …… 30
四、磁力分选 …… 33
五、其他分选方法 …… 35
第三节　建筑垃圾机械分选系统的比选实例 …… 37
一、建筑垃圾分选设备的集成原则 …… 37
二、破包机 …… 38
三、振动筛 …… 39
四、垃圾烘干装置 …… 39
五、滚筒筛 …… 43
六、风力分选设备 …… 44
第三章　建筑垃圾资源化 …… 47
第一节　建筑垃圾的减量化 …… 47
一、建筑垃圾减量化存在的问题 …… 47
二、建筑垃圾减量化对策 …… 48
三、国外建筑垃圾管理 …… 51
第二节　废木材、木屑的资源化 …… 54
一、废木材作为木材重新利用 …… 54
二、废木料用于生产黏土-木料-水泥复合材料 …… 54
三、经防腐剂处理木材的资源化 …… 55
第三节　废旧建筑混凝土的资源化 …… 56
一、概述 …… 56
二、再生骨料的制造过程及其特性 …… 57
三、废旧建筑混凝土作粗骨料拌制再生混凝土 …… 58
四、废旧建筑混凝土作细骨料拌制再生混凝土 …… 64
五、废旧建筑混凝土作粗骨料应用于喷射混凝土 …… 65
六、再生骨料及再生混凝土的改性 …… 65
七、废旧建筑混凝土在公路工程中的应用 …… 72
八、废旧建筑混凝土的其他资源化途径 … 72
第四节　废旧道路水泥混凝土的资源化 …… 74
一、概述 …… 74
二、废旧道路水泥混凝土作骨料拌制路面混凝土 …… 76
三、废旧道路水泥混凝土作路面基层材料 …… 84
四、废旧道路水泥混凝土的其他资源化途径 …… 87
第五节　废旧特种混凝土的资源化 …… 87
一、废旧高铝水泥混凝土的再生 …… 87
二、废旧硫铝酸盐混凝土的再生 …… 88
第六节　剩余混凝土的资源化和剩余水的回用 …… 88
一、剩余混凝土与剩余水的概念 …… 88
二、剩余混凝土的分离和回收 …… 88
三、剩余混凝土和剩余水的资源化 …… 92

第七节　废旧混凝土砂（渣）的资源化 …… 96
一、混凝土工厂淤渣（或废旧混凝土砂）＋水淬矿渣＋石膏生产再生水泥 …… 96
二、废弃混凝土作生产水泥的部分原料生产再生水泥 …… 98
第八节　废旧砖瓦的资源化 …… 100
一、碎砖块生产混凝土砌块 …… 101
二、废砖瓦替代骨料配制再生轻骨料混凝土 …… 102
三、破碎废砖块作粗骨料生产耐热混凝土 …… 103
四、废砖瓦其他资源化途径 …… 104
第九节　废旧屋面材料的资源化 …… 104
一、回收沥青废料作热拌沥青路面的材料 …… 104
二、回收沥青废料作冷拌材料 …… 105
第十节　旧沥青路面料的资源化 …… 105
一、概述 …… 105
二、沥青混凝土再生利用技术 …… 107
三、再生沥青混凝土的永久变形和低温特性及其评估模型 …… 111
四、沥青混凝土再生利用实例 …… 112
第十一节　建筑垃圾作桩基填料加固软土地基 …… 116
一、建筑垃圾作建筑渣土桩填料加固软土地基 …… 116
二、建筑垃圾作复合载体夯扩桩填料加固软土地基 …… 128
第十二节　建筑垃圾微粉的资源化 …… 134
一、建筑垃圾微粉的概念 …… 134
二、建筑垃圾微粉的资源化 …… 134
第四章　建筑垃圾的填埋处置 …… 136
第一节　建筑垃圾填埋场建设的必要性 …… 136
一、建筑垃圾的渗滤特性及其危害性 …… 136
二、建筑垃圾填埋场对周边环境的影响 …… 141
三、建筑垃圾填埋场建设的社会意义和必要性 …… 143
第二节　美国有关建筑垃圾填埋场的规定 …… 143
第三节　建筑垃圾填埋场的选址 …… 144
一、填埋场的选址 …… 144
二、环境影响评价 …… 147
三、经济评估 …… 148
第四节　填埋场总体设计 …… 149
一、设计规模 …… 149
二、项目构成 …… 149
三、建设用地与建筑 …… 152
四、填埋工艺装备设计 …… 152
五、行政、生活管理区工程 …… 153
第五节　填埋场的工艺设计 …… 153
一、填埋场的类型 …… 153
二、填埋工艺的确定原则 …… 154
三、填埋场的主体工程和辅助设施 …… 155
第六节　填埋场的机械设备 …… 161
一、推土机 …… 161
二、挖掘机 …… 162
三、压实机 …… 162
四、铲运机 …… 163
五、起重机 …… 163
六、装载机 …… 164
七、运送机 …… 164
第七节　建筑垃圾填埋场的运行与管理 …… 165
一、填埋作业管理 …… 165
二、封场后的管理 …… 166
第五章　建筑垃圾的管理和相关法规的制定 …… 170
第一节　我国建筑垃圾的管理现状及存在问题 …… 170
一、我国建筑垃圾的管理现状 …… 170
二、我国有关建筑垃圾的法律法规 …… 173
三、我国建筑垃圾管理中存在的问题 …… 175
第二节　日本建筑垃圾的管理 …… 176
一、日本建筑废弃物管理概况 …… 176
二、日本建筑废弃物管理的法律法规 …… 176
三、日本建筑废弃物的再生利用 …… 177
第三节　我国建筑垃圾管理建议 …… 178
一、建筑垃圾源头分类管理 …… 178
二、加强建筑垃圾回收利用和处置过程中的科学研究，建立健全的技术标准和使用规范 …… 179
三、有计划地开展建筑垃圾资源化工作 …… 179
四、建立健全法律法规体系 …… 179
五、提高建筑垃圾排放收费标准 …… 180
六、加强建筑垃圾资源化的宣传和教育工作 …… 180

第六章　建筑垃圾中纤维质废物制板材 …… 181
第一节　刨花板的生产方法 …… 181
一、刨花板分类和结构特点 …… 181
二、刨花板生产工艺流程 …… 181
三、刨花板的制造 …… 182
四、刨花干燥 …… 183
五、刨花分选 …… 183
六、刨花拌胶 …… 184
七、板坯铺装和预压 …… 185
八、刨花板坯热压 …… 186
九、刨花板加工 …… 187
十、表面装饰 …… 187
十一、刨花板用途 …… 187
第二节　建筑垃圾中纤维质废物生产有机复合板材技术 …… 188
一、有机复合板材制备工艺 …… 188
二、工艺的技术特点 …… 188
三、原料成分比例 …… 188
四、黏合剂的种类与用量 …… 188
五、工艺参数 …… 190
六、设备 …… 190
第三节　有机复合板材制作试验 …… 190
一、试验装置 …… 190
二、制板原料 …… 190
三、板材制作步骤 …… 190
四、板材性能测试结果 …… 191
五、改善性能的其他措施 …… 191
六、有机复合板材的市场竞争力分析 …… 192
七、社会效益分析 …… 192
附录　城市建筑垃圾和工程渣土管理规定（征求意见稿） …… 194
参考文献 …… 197

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章摇概摇摇论

第一节摇建 筑 垃 圾

一、建筑垃圾的定义

建设部颁布的《城市垃圾产生源分类及垃圾排放》（悄鹏戴寒蕾表—员怨怨员）将城市垃圾按其产生源分为九大类，这些产生源包括居民垃圾产生场所、清扫垃圾产生场所、商业单位、行政事业单位、医疗卫生单位、交通运输垃圾产生场所、建筑装修场所、工业企业单位和其他垃圾产生场所。建筑垃圾即为在建筑装修场所产生的城市垃圾，实际工作中建筑垃圾通常与工程渣土归为一类。根据建设部 圆园园源年 远月颁布的《城市建筑垃圾和工程渣土管理规定（修订稿）》，建筑垃圾、工程渣土，是指建设、施工单位或个人对各类建筑物、构筑物等进行建设、拆迁、修缮及居民装饰房屋过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及其他废弃物。

二、建筑垃圾的特性

建筑垃圾与其他固体废物相似，具有鲜明的时间性、空间性和持久危害性。

（员）时间性

任何建筑物都有一定的使用年限，随着时间的推移，所有建筑物最终都会变成建筑垃圾。另一方面，所谓“垃圾”仅仅相对于当时的科技水平和经济条件而言，随着时间的推移和科学技术的进步，除少量有毒有害成分外，所有的建筑垃圾都可能转化为有用资源。例如，废混凝土块可作为生产再生混凝土的骨料；废屋面沥青料可回收用于沥青道路的铺筑；废竹木可作为燃料回收能量。

（圆）空间性

从空间角度看，某一种建筑垃圾不能作为建筑材料直接利用，但可以作为生产其他建筑材料的原料而被利用。例如，废木料可用于生产黏土-木料-水泥复合材料的原料，生产出一种具有质量轻、导热系数小等优点的绝热黏土-木料-水泥混凝土材料。又如，沥青屋面废料可回收作为热拌沥青路面的材料。

（猿）持久危害性

建筑垃圾主要为渣土、碎石块、废砂浆、砖瓦碎块、混凝土块、沥青块、废塑料、废金属料、废竹木等的混合物，如不做任何处理直接运往建筑垃圾堆场堆放，堆放场的建筑垃圾一般需要经过数十年才可趋于稳定。在此期间，废砂浆和混凝土块中含有的大量水合硅酸钙和氢氧化钙使渗滤水呈强碱性，废石膏中含有的大量硫酸根离子在厌氧条件下会转化为硫化氢，废纸板和废木材在厌氧条件下可溶出木质素和单宁酸并分解生成挥发性有机酸，废金属料可使渗滤水中含有大量的重金属离子，从而污染周边的地下水、地表水、土壤和空气，受污染的地域还可扩大至存放地之外的其他地方。而且，即使建筑垃圾已达到稳定化程度，堆放场不再有有害气体释放，渗滤水不再污染环境，大量的无机物仍然会停留在堆放处，占用大量土地，并继续导致持久的环境问题。

三、建筑垃圾对环境的影响

建筑垃圾具有数量大、组成成分种类多、性质复杂等特点，建筑垃圾污染环境的途径

多、污染形式复杂。建筑垃圾可直接或间接污染环境，一旦建筑垃圾造成环境污染或潜在的污染变为现实，消除这些污染往往需要比较复杂的技术和大量的资金投入，耗费较大的代价进行治理，并且很难使被污染破坏的环境完全复原。

建筑垃圾对环境的危害主要表现在以下几个方面：侵占土地，污染水体、大气和土壤，影响市容和环境卫生等。

圆侵占土地

目前我国绝大部分建筑垃圾未经处理而直接运往郊外堆放。据估计，每堆积 [illegible] 建筑垃圾约需占用 [illegible] 的土地。我国许多城市的城市近郊处常常是建筑垃圾的堆放场所，建筑垃圾的堆放占用了大量的生产用地，从而进一步加剧了我国人多地少的矛盾。随着我国经济的发展、城市建设规模的扩大以及人们居住条件的提高，建筑垃圾的产生量会越来越大，如不及时有效的处理和利用，建筑垃圾侵占土地的问题会变得更加严重。

猿污染水体

建筑垃圾在堆放场经雨水渗透浸淋后，由于废砂浆和混凝土块中含有的大量水合硅酸钙和氢氧化钙、废石膏中含有的大量硫酸根离子、废金属料中含有的大量重金属离子溶出，同时废纸板和废木材自身发生厌氧降解产生木质素和单宁酸并分解生成有机酸，堆放场建筑垃圾产生的渗滤水一般为强碱性并且含有大量的重金属离子、硫化氢以及一定量的有机物，如不加控制让其流入江河、湖泊或渗入地下，就会导致地表和地下水的污染。水体被污染后会直接影响和危害水生生物的生存和水资源的利用。

源污染大气

建筑垃圾废石膏中含有大量硫酸根离子，硫酸根离子在厌氧条件下会转化为具有臭鸡蛋味的硫化氢，废纸板和废木材在厌氧条件下可溶出木质素和单宁酸并分解生成挥发性有机酸，这些有害气体排放到空气中就会污染大气。

缘污染土壤

建筑垃圾及其渗滤水所含的有害物质对土壤会产生污染，其对土壤的污染包括改变土壤的物理结构和化学性质，影响植物营养吸收和生长；影响土壤中微生物的活动，破坏土壤内部的生态平衡；有害物质在土壤中发生积累，致使土壤中有害物质超标，妨碍植物生长，严重时甚至导致植物死亡；有害物质还会通过植物吸收，转移到果实体内，通过食物链影响人体健康和饲喂的动物；此外，建筑垃圾携带的病菌还会传播疾病，对环境形成生物污染等。

缘影响市容和环境卫生

目前我国建筑垃圾的综合利用率很低，许多地区建筑垃圾未经任何处理，便被施工单位运往郊外或乡村，采用露天堆放或简易填埋的方式进行处理，而且建筑垃圾运输大多采用非封闭式运输车，不可避免地引起运输过程中的垃圾遗撒、粉尘和灰砂飞扬等问题，严重影响了城市的容貌和景观。

第二节摇建筑垃圾管理的技术政策和经济政策

一、建筑垃圾管理的技术政策

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》确立了我国固体废物污染防治的“三化”原则，即固体废物污染防治的“减量化、资源化、无害化”原则，这也是我国建筑垃圾管理的基本技术政策。

圆

圆减量化

建筑垃圾的减量化是指减少建筑垃圾的产生量和排放量，是对建筑垃圾的数量、体积、种类、有害物质的全面管理，亦即开展清洁生产。它不仅要求减少建筑垃圾的数量和减小其体积，还包括尽可能地减少其种类、降低其有害成分的浓度、减轻或消除其危害特性等。减量化是防止建筑垃圾污染环境优先考虑的措施，即在“三化”中，首先考虑的是减量化。对我国而言，应当鼓励和支持开展清洁生产，开发和推广先进的施工技术和设备，充分合理利用原材料等，通过这些政策措施的实施，达到建筑垃圾减量化的目的。

猿资源化

建筑垃圾的资源化是指采取管理和技术从建筑垃圾中回收有用的物质和能源。它包括以下三方面的内容。①物质回收，即从建筑垃圾中回收二次物质。例如，从建筑垃圾中回收废塑料、废金属料、废竹木、废纸板等。②物质转换，即利用建筑垃圾制取新形态的物质。例如，利用废混凝土块作生产再生混凝土的骨料，利用废屋面沥青料作沥青道路的铺筑材料等。③能量转换，即从建筑垃圾处理过程中回收能量，生产热能或电能。例如，通过建筑垃圾中的废塑料、废纸板和废竹木的焚烧处理回收热量或进一步发电，利用建筑垃圾中的废竹木作燃料生产热能。

源无害化

建筑垃圾的无害化是指通过各种技术方法对建筑垃圾进行处理处置，使建筑垃圾不损害人体健康，同时对周围环境不产生污染。建筑垃圾的无害化主要包括两方面的内容：①分选出建筑垃圾中的有毒有害成分，如建筑垃圾中的含汞荧光灯泡、含汞高亮度放电灯、含汞自动切换开关、含多氯联苯的照明镇流器、含铅铬电池、含铅防雨板、铅管、涂含铅油漆的木料（门框、窗沿）以及其他如油漆、杀虫剂、清洁剂等废弃的有毒化学产品，并对其按照危险废物的处理处置标准进行处理处置；②建造专用的建筑垃圾填埋场对分选出有毒有害成分后的建筑垃圾进行填埋处置。

二、建筑垃圾管理的经济政策

我国目前在用经济手段管理建筑垃圾方面的力度不大，这里介绍几项国外比较普遍采用的主要经济政策，其中部分已在我国开始实施。

圆“排污收费”政策

“排污收费”是根据固体废物的特点，征收总量排污费和超标排污费。固体废物产生者除了需承担正常的排污费外，如超标排放废物，还需额外负担超标排污费。目前我国尚未对不同建筑类型所产生建筑垃圾的产生和排放量进行统计和分析，缺乏建筑垃圾产出和排放标准。为了大量减少建筑垃圾的产生，建议有关部门首先对建筑垃圾做一次普查，以确定建筑垃圾的产出量，从而制定建筑垃圾产出标准。以此为基准，征收建筑垃圾的总量排污费和超标排污费。

圆“生产者责任制”政策

“生产者责任制”是指产品的生产者（或销售者）对其产品被消费后所产生的废弃物的管理负有责任。例如对包装废物，规定生产者首先必须对其商品所用包装的数量和质量进行限制，尽量减少包装材料的用量；其次，生产者必须对包装材料进行回收和再利用。建筑施工垃圾中废包装材料占 圆豫～猿豫，由此可见，如果严格实行“生产者责任制”，建筑垃圾尤其是建筑施工垃圾的产量可以大大减少。

猿、“税收、信贷优惠”政策

“税收、信贷优惠”政策就是通过税收的减免、信贷的优惠，鼓励和支持从事建筑垃圾管理和资源化的企业，促进环保产业长期稳定的发展。

建筑垃圾资源化是无利或微利的经济活动，政府要建立政策支持鼓励体系，一方面，对从事垃圾资源化的投资和产业活动免除一切税项，以增强垃圾资源化企业的自我生存能力；另一方面，政府对从事垃圾资源化投资经营活动的企业给予贷款贴息的优惠。

源、“建筑垃圾填埋收费”政策

“建筑垃圾填埋收费”是指对进入建筑垃圾最终处置的建筑垃圾进行再次收费，其目的在于鼓励建筑垃圾的回收利用，提高建筑垃圾的综合利用率，以减少建筑垃圾的最终处置量，同时也是为了解决填埋土地短缺的问题。目前我国的建筑垃圾处置收费普遍过低，如上海市建筑垃圾处置收费标准为每吨 员~圆元；北京市收费标准为每吨 员缘元。如此低廉的排污收费标准，很难达到鼓励建筑垃圾回收利用、提高建筑垃圾综合利用率的目的，因此提高建筑垃圾填埋处置收费标准是当务之急。

第三节摇建筑垃圾的分类与组成

一、建筑垃圾的分类

根据《城市建筑垃圾和工程渣土管理规定（修订稿）》，建筑垃圾是指建设、施工单位或个人对各类建筑物、构筑物等进行建设、拆迁、修缮及居民装饰房屋过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及其他废弃物。按照来源分类，建筑垃圾可分为土地开挖、道路开挖、旧建筑物拆除、建筑施工和建材生产垃圾五类，主要由渣土、碎石块、废砂浆、砖瓦碎块、混凝土块、沥青块、废塑料、废金属料、废竹木等组成。

员、土地开挖垃圾

分为表层土和深层土。前者可用于种植，后者主要用于回填、造景等。

圆、道路开挖垃圾

分为混凝土道路开挖和沥青道路开挖。包括废混凝土块、沥青混凝土块。

猿、旧建筑物拆除垃圾

主要分为砖和石头、混凝土、木材、塑料、石膏和灰浆、屋面废料、钢铁和非铁金属等几类，数量巨大。

源、建筑施工垃圾

分为剩余混凝土、建筑碎料以及房屋装饰装修产生的废料。剩余混凝土是指工程中没有使用掉而多余出来的混凝土，也包括由于某种原因（如天气变化）而暂停施工而未及时使用的混凝土。建筑碎料包括凿除、抹灰等产生的旧混凝土、砂浆等矿物材料，以及木材、纸、金属和其他废料等类型。房屋装饰装修产生的废料主要有：废钢筋、废铁丝和各种废钢配件、金属管线废料，废竹木、木屑、刨花、各种装饰材料的包装箱、包装袋，散落的砂浆和混凝土、碎砖和碎混凝土块，搬运过程中散落的黄砂、石子和块石等。其中，主要成分为碎砖、混凝土、砂浆、桩头、包装材料等，约占建筑施工垃圾总量的 愿缘豫。

（员）碎砖（碎砌块）

砖（砌块）主要用于建筑物承重和围护墙体。产生碎砖（碎砌块）的主要原因是：①组砌不当、设计不符合建筑模数或选择砖（砌块）规格不当、砖（砌块）尺寸和形状不准等原因引起的砍砖；②运输破损；③设计选用过低强度等级的砖（砌块）或砖（砌块）本

身质量差；④承包商管理不当；⑤订货太多等。

⑴圆 砂浆

砂浆主要用于砌筑和抹灰。产生砂浆废料的主要原因是在施工操作过程中不可避免的散落；拌合过多、运输散落等也是造成砂浆废料的原因。

⑵猿 混凝土

混凝土是重要的建筑材料，用于基础、构造柱、圈梁、柱、楼板和剪力墙等结构部位。施工中产生混凝土垃圾废料的主要原因是浇筑时的散落和溢出、运输时的散落以及商品混凝土订货过多或由于某种原因（如天气变化）而暂停施工而未及时使用。

⑶源 桩头

对于预制桩，达到设计标高后，将尺寸过长的桩头部分截去；对于灌注桩，开挖后要将上部浮浆层截去。截下的桩头成为施工垃圾废料。

⑷缘 包装材料

散落在施工现场的各类建筑材料的包装材料也是垃圾废料的一部分。

缘圆建材生产垃圾

主要是指为生产各种建筑材料所产生的废料、废渣，也包括建材成品在加工和搬运过程中所产生的碎块、碎片等。如在生产混凝土过程中难免产生的多余混凝土以及因质量问题不能使用的废弃混凝土，长期以来一直是困扰着商品混凝土厂家的棘手问题。经测算，平均每生产 员园园园立方米的混凝土，将产生 员~员园立方米的废弃混凝土。

显然，按建筑垃圾的来源分类并不能真正将它分开，所以也有根据建筑垃圾的主要材料类型或成分对其进行分类，据此可将每一种来源的建筑垃圾分成三类：可直接利用的材料，可作为材料再生或可以用于热回收的材料以及没有利用价值的废料。例如在旧建筑材料中，可直接利用的材料有窗、梁、尺寸较大的木料等，可作为材料再生的主要是矿物材料、未处理过的木材和金属，经过再生后其形态和功能都和原先有所不同。

也有其他一些分类方法，如先将建筑垃圾按成分分为金属类（钢铁、铜、铝等）和非金属类（混凝土、砖、竹木材、装饰装修材料等）、按能否燃烧分为可燃物和不可燃物，再将剔除金属类和可燃物后的建筑垃圾（混凝土、石块、砖等）按强度分类：标号大于 悦园园园的混凝土和块石，命名为Ⅰ类建筑垃圾；标号小于 悦园园园的废砖块和砂浆砌体，命名为Ⅱ类建筑垃圾；为了能更好地利用建筑垃圾，还进一步将Ⅰ类细分为Ⅰ粤类和Ⅰ月类、将Ⅱ类细分为Ⅱ粤类和Ⅱ月类。各类建筑垃圾的分类标准及用途见表 员缘园园。

表 员缘园园各类建筑垃圾的分类标准及用途

大类	亚类	标号	标志性材料	用途
Ⅰ	Ⅰ粤	≥悦园园园	源层以上建筑的梁、板、柱	悦园园园混凝土骨料
	Ⅰ月	悦园园~悦园园园	混凝土垫层	悦园园混凝土骨料
Ⅱ	Ⅱ粤	悦缘~悦园园	砂浆或砖	悦缘砂浆或再生砖骨料
	Ⅱ月	约悦缘	低标号砖	回填土

二、建筑垃圾的组成

建筑垃圾中土地开挖垃圾、道路开挖垃圾和建材生产垃圾，一般成分比较单一，其再生利用或处置比较容易，这里只讨论建筑施工垃圾和旧建筑物拆除垃圾。

建筑施工垃圾和旧建筑物拆除垃圾大多为固体废弃物，一般是在建设过程中或旧建筑物

维修、拆除过程中产生的。建筑施工垃圾与旧建筑物拆除垃圾组成成分相差较大。表 员猿圆为中国香港特别行政区的旧建筑物拆除垃圾和新建筑物建设施工垃圾组成比较。

表 员猿圆摇中国香港特别行政区的旧建筑物拆除垃圾和新建筑物建设施工垃圾组成比较

单位：豫

成摇分	旧建筑物拆除垃圾	新建筑物建设施工垃圾	成摇分	旧建筑物拆除垃圾	新建筑物建设施工垃圾
沥青	员愿援员	园援猿	金属（含铁）	猿援员	源援远
混凝土	缘园援员	员园援园	塑料管	园援员	员援猿
石块、碎石	员猿援园	圆园援远	竹、木料	苑援远	员园援缘
泥土、灰尘	员园援员	猿园援缘	其他有机物	员援圆	猿援缘
砖块	远援猿	缘援园	其他杂物	园援员	园援苑
沙	员援源	员援圆	合计	员园园	员园园
玻璃	园援园	园援远			

从表 员猿圆可以看出，新建筑物建设施工垃圾与旧建筑物拆除垃圾主要组成成分为混凝土、石块和碎石、泥土和灰尘三大类，三大类组分在新建筑物建设施工垃圾与旧建筑物拆除垃圾中所占比例之和分别达到 苑园援缘豫和 苑源援园豫，其他组分的百分含量则不大。一般而言，旧建筑物拆除垃圾中废混凝土块成分较多，而新建筑物建设施工垃圾中石块和碎石、泥土和灰尘成分较多。旧建筑物拆除垃圾中混凝土所占百分比为 缘园援园豫，而新建筑物建设施工垃圾中混凝土所占百分比为 员园援园豫，仅为前者的 猿园豫；旧建筑物拆除垃圾中石块和碎石、泥土和灰尘所占百分比分别为 员猿援园豫和 员园援员豫，而新建筑物建设施工垃圾中石块和碎石、泥土和灰尘所占百分比分别达到 圆园援园豫和 猿园援缘豫，分别为前者的 圆倍和 猿援缘倍。

不同结构类型建筑物所产生的建筑施工垃圾各种成分的含量有所不同，其基本组成一致，主要由土、渣土、散落的砂浆和混凝土、剔凿产生的砖石和混凝土碎块、打桩截下的钢筋混凝土桩头、废金属料、竹木材、装饰装修产生的废料、各种包装材料和其他废弃物等组成。

表 员猿猿列出了不同结构形式的建筑工地中建筑施工垃圾的组成比例和单位建筑面积产生垃圾量。调查表明，建筑施工垃圾主要由碎砖、混凝土、砂浆、桩头、包装材料等组成，约占建筑施工垃圾总量的 愿园豫。对不同结构形式的建筑工地，垃圾组成比例略有不同，而垃圾数量因施工管理情况不同各工地差异很大。砖混结构的建筑，施工时形成的建筑垃圾主要由落地灰、碎砖头、混凝土块 （包括混凝土熟料散落物）、废钢筋、铁丝、木材及其他少量杂物等构成，而落地灰、碎砖头、混凝土块在废渣中占 怨园豫以上。

表 员猿猿摇不同结构形式的建筑工地中建筑施工垃圾的组成比例和单位建筑面积产生垃圾量

垃圾组成	所占比例		
	砖混结构	框架结构	框架剪力墙结构
碎砖（碎砌块）	猿园耀缘园	员缘耀猿园	员园耀圆园
砂浆	愿耀员缘	员园耀圆园	员园耀圆园
混凝土	愿耀员缘	员缘耀猿园	员缘耀猿缘
桩头	—	愿耀员缘	愿耀圆园
包装材料	缘耀员缘	缘耀圆园	员园耀员缘
屋面材料	圆耀缘	圆耀缘	圆耀缘
钢材	员耀缘	圆耀愿	圆耀愿
木材	员耀缘	员耀缘	员耀缘
其他	员园耀圆园	员园耀圆园	员园耀圆园
合计	员园园	员园园	员园园
单位建筑面积产生垃圾量 辕（噪苹方米）	缘园耀圆园园	源缘耀员缘园	源园耀员缘园

远

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摇摇旧建筑物拆除垃圾的组成与建筑物的种类有关：废弃的旧民居建筑中，砖块、瓦砾约占愿园豫，其余为木料、碎玻璃、石灰、黏土渣等；废弃的旧工业、楼宇建筑中，混凝土块约占缘园豫～远园豫，其余为金属、砖块、砌块、塑料制品等。

我国 圆园世纪 远园年代前的建筑物用材主要是混凝土、金属及木材，从组成成分看，混凝土的比例最大，占 源园豫～猿园豫，陶瓷类、玻璃、石膏板、瓦、石、板等占 圆园豫～猿园豫；木材中以胶合板为主，占 员豫～猿豫。远园年代后的建筑物，大多采用各类复合材料、塑料等代替木材，因此旧建筑物拆除垃圾中木材含量相对较少。

三、建筑垃圾的产量分析

由于土地开挖垃圾、道路开挖垃圾和建材生产垃圾一般可全部（再生）利用，建筑垃圾一般指旧建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾。据统计，在世界多数国家，旧建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾之和一般占固体废物总量的 圆园豫～猿园豫，其中建筑施工垃圾的量不及旧建筑物拆除垃圾的一半。目前，我国建筑垃圾的数量已占到城市垃圾总量的 猿园豫～源园豫，其中建筑施工垃圾占城市垃圾总重量的 缘豫～员园豫，每年产生的建筑垃圾达 源园园园万吨，绝大部分建筑垃圾未经处理而直接运往郊外堆放或简易填埋。

员园园园按建筑面积计算

通常，对于砖混结构的住宅，按建筑面积计算，每进行 员园园园平方米建筑物的施工，平均生成的废渣量在 猿园园吨左右，员园园园平方米建筑物的施工，平均生成的废渣量达 猿园园吨。另据有关资料介绍，经对砖混结构、全现浇结构和框架结构等建筑的施工材料损耗的粗略统计，在员园园园平方米建筑的施工过程中，建筑废渣的产量为 缘园园～远园园吨

每立方米建筑约产生 员豫～源豫的建筑垃圾，我国 员怨怨愿年 员～员员月商品房施工面积源园园园园园万平方米，其中新开工面积 员愿园园园园万平方米，员怨怨怨年 员～愿月，新开工面积与 员怨怨愿年同期相比增加 猿园豫，住宅方面的投资占房地产投资的 远园豫，因此，全国建筑施工面积应在 苑园亿平方米左右，新开工面积约为 圆园园园亿平方米。按一年建造 圆园园园亿平方米，约相当于 远园园亿平方米建筑计算，则一年产生 （员园园园～员园园园）亿平方米建筑工地垃圾，而建筑工地垃圾占垃圾总重量的 缘豫～员园豫。这两种方法估算的结果还是比较接近的。

圆园园园按施工材料购买量计算

在建筑工程的各项费用中，材料费所占的比例最大，约占工程总造价的 苑园豫左右。在实际施工中，据测算，材料实际耗用量比理论计划用量多出 圆豫～缘豫，这表明，建筑材料的实际有效利用率仅达 怨缘豫～怨愿豫，余下的部分大多成了建筑废渣。

垃圾数量与建筑物建造中所购买材料总量密切相关，因此，用占所购买材料总量的比例反映垃圾量大小更准确。表 员源也列出了建筑施工垃圾各主要组成部分占其材料购买量的比例。调查表明，各类材料未转化到工程上而变为垃圾废料的数量为材料购买量的 缘豫～员园豫。其中，由于对混凝土的管理和控制一般较重视，且采用商品混凝土，由其产生的施工垃圾量占其购买量的比例为 员豫～源豫；而对桩头，由于对地质条件预先往往不易准确掌握，摇摇摇摇摇

表 员源摇建筑施工垃圾各主要组成部分占其材料购买量的比例　　单位：豫

垃圾组成	占其材料购买量的比例	垃圾组成	占其材料购买量的比例
碎砖（碎砌块）	猿～员园	屋面材料	猿～愿
砂浆	缘～员园	钢材	圆～愿
混凝土	员～源	木材	缘～员园
桩头	缘～员缘		

由此产生的施工垃圾量占其购买量的比例较大，为 缘豫 ~ 员远豫。另外，各类施工垃圾废料占其材料购买量比例的数值同样较离散，反映了各工地由于施工情况和管理状况的不同，产生施工垃圾数量的差异很大。

猿、按人口计算

按城市人口中平均每人每年产生 员园园噪建筑工地垃圾的较低估计值计算，则我国约 猿亿城市人口，年建筑工地垃圾约 猿园园园万吨，与上述按建筑面积估算所得数据很接近。

四、建筑装潢垃圾的产量分析

上海市 员怨怨苑年建筑垃圾的统计量为 员园园园万吨，是根据建筑物建设单位向上海市渣土管理处申报的图纸进行统计的，主要包括开挖、拆房、桩孔泥浆等垃圾，而建筑装潢垃圾基本上尚未统计进去。根据上海地区每户居民住房装修收取 圆园园园 ~ 猿园园园元建筑垃圾费，可以估计每户装修至少约产生两车建筑垃圾。以每车 圆吨计算，又假定每年有十分之一的住户 （共约 源园万户） 装修房屋，则居民住房装修垃圾就有约 员园园万吨，再加上其他单位的建筑装潢垃圾，上海市 员怨怨苑年的建筑垃圾总量约为 员猿园园万吨，建筑装潢垃圾量约为建筑施工垃圾总量的 员园豫，因此，建筑装潢垃圾的管理与处置同样不容忽视。

五、旧建筑物拆除垃圾的产量分析

单位建筑物拆除时所产生的建筑垃圾的产量也与建筑物的结构密切相关，通常拆除每平方米所产生的建筑垃圾达 园援缘 ~ 员援猿 甚至更多。

日本在住宅区完工的报告书 （员怨怨园年） 中，从 员栋 苑层 源户的框架结构建筑物住宅楼的预算书中，选出其重量区分的材料统计，该统计精确到连一块开关板的重量都计算在内的程度。以计算所用材料及建造时产生的副产物为前提，开挖土、模板之类则排除在外。设定拆除时，残留桩、水泥、石灰等按 缘豫耗散，通过计算表明每平方米拆出 员园园园园的建筑垃圾。圆园世纪 还园年代我国一家住宅建筑公司在拆除工程的统计中表明，每平方米住宅产生 员园园园园建筑垃圾。

愿

第二章摇建筑垃圾的破碎与分选

第一节摇建筑垃圾的破碎

依靠外力（人力、机械力、电力）克服固体物料内力而将其由大块分裂成小块的过程叫做破碎。建筑垃圾的破碎作业是建筑垃圾处理过程中重要的辅助作业之一。破碎作业的主要目的是减小建筑垃圾的颗粒尺寸，增大其形状的均匀度，以便后续处理工序的进行。例如，破碎作业能使建筑垃圾的粒度变小、变均匀，在垃圾物料间的空隙减小，容量增加，因而建筑垃圾在贮存时就能节约空间，运输时可以提高运输量；对破碎后的建筑垃圾进行筛选、风选、磁选等建筑垃圾分离处理时，由于建筑垃圾的粒度均匀，流动性增加，因而能较大地提高分选效率和质量；破碎处理后的建筑垃圾还有利于进行高密度的填埋处置。

一、建筑垃圾破碎的基本方式和破碎机的类型

建筑垃圾的破碎方式有机械破碎和物理破碎两种。机械破碎是借助于各种破碎机械对固体废物进行破碎。主要的破碎机械有颚式破碎机、辊式破碎机、冲击破碎机和剪切破碎机等。破碎机破碎建筑垃圾的基本原理，是利用破碎机产生作用于建筑垃圾物块上的强烈外力迫使垃圾物块破碎、破裂而变成体积更小的物块。根据对破碎物料的施力特点，可将物料的破碎方式分为冲击、剪切、挤压、碾磨、撕碎等类别。

建筑垃圾处理中常用的破碎方法有以下四种，分别见图 圆■■员（葬 ~（凿。

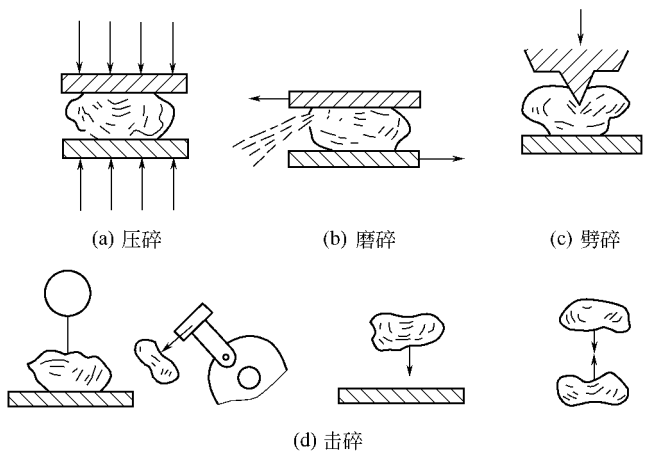


图 圆■■摇建筑垃圾处理中常用的破碎方法

① 压碎摇物料在两个平面之间受到缓慢增长的压力，当被破碎的物料达到了它的压碎强度限则被破碎。对于大块的物料多采用此种方法。

② 磨碎摇物料在两金属表面或各种形状研磨体之间受到摩擦作用被磨碎成细粒。这种现象只有在物料的剪应力达到其剪切强度限时才会产生。此法多用于小块物料的细磨。

③ 劈碎摇物料由于楔状物体的作用而使物料的拉应力达到物料拉伸强度限时，物料裂开而破碎。

④ 击碎摇物料在瞬间受到外来的冲击力而被破碎。这种方法可由很多的方式来完成。如高速回转的锤子击打料块，高速运动的料块冲击到固定钢板上等。对于脆性物料用此种方法进行破碎是比较适合的。

实际上任何一种破碎机械都不能只用一种方式来进行破碎，一般都是用两种或两种以上的方式联合起来进行破碎的，例如挤压和弯曲、冲击和研磨等。在破碎物料时，究竟选用哪种方法比较合适，必须根据物料的物理性质、料块的尺寸及需要破碎的程度来确定。例如对于硬质物料，采用挤压和冲击方式破碎；而对黏性物料，则采用挤压带研磨的方式破碎；对于脆性和软质材料，必须采用劈裂和冲击等方式破碎。

由于破碎方法不同而且处理的物料性质也有很大的差异，为适应实际工作的需要，破碎机型式是多种多样的。建筑垃圾处理中所用的破碎机，可按照它的作业对象或结构及工作原理来区分。按作业对象可分为以下三种。

① 粗碎机摇用于大块物料的第一次破碎，能处理的最大物料块直径允许达 员皂以上，主要以压碎方法进行破碎。粉碎比不大，一般小于 远

② 中碎机摇处理的物料粒度通常不大于 猿缘皂，主要以击碎或压碎方法进行破碎。由于这一类破碎机通常包括细碎的作业在内，故粉碎比较大，一般为 猿~ 圆缘 个别可达 猿缘以上。

③ 细磨机摇用于磨碎粒度为 圆~ 远缘皂的物料颗粒，其产品尺寸不超过 园援员~ 园援猿皂，最细可达 园援园缘皂以下，粉碎比能达 员园园以上。

按照结构及工作原理的不同，常用的破碎机有以下几种主要类型。

① 颚式破碎机摇它是依靠活动颚板做周期性的往复运动，将加于两颚板之间的物料压碎。

② 圆锥式破碎机摇外锥体是固定的，内锥体被偏心轴 （或偏心套） 带动作偏心转动，物料在两锥体之间受到压力与弯曲力而破碎。

③ 滚式破碎机摇物料在两个相互平行和旋转方向相反的辊子间受到挤压 （光辊），或受挤压劈裂 （齿辊） 而破碎。如两辊转数不同还有部分研磨作用。

④ 锤式破碎机摇料块受高速旋转锤子的冲击和料块本身以高速向固定不动的衬板上撞击而破碎。

⑤ 轮碾机摇物料在盘上被旋转着的圆柱形碾轮所压碎及磨碎。

除了上述的机械破碎方法外，目前已有用电力进行破碎的，其工作原理是：在高压电路中，放一对有适当间隙的金属针，加高压电后，在水中产生脉冲的高压火花放电，因此产生超高电压，而使水中的物料产生破碎。另外，还有用超声波和低声波破碎的。

二、建筑垃圾的破碎理论

员援粉碎比

在物料粉碎过程中，通常是以粉碎比 蚤来表征物料粉碎的程度。粉碎比表示在粉碎前后物料混合物的平均直径之比，可用下式表示。

$$蚤=\frac{酝_{运}}{酝_{酝}}$$

式中，蚤为粉碎比 （平均）；酝酝为物料粉碎前的平均直径 （皂皂） ；运酝为物料粉碎后的平均直径 （皂皂） 。

式中采用平均直径是因为物料在破碎前后其形状不可能全为球形，所以用近似值计员园

算 阅

$$\text{阅} \text{越} \frac{\text{造 遭 糟分别为物料块沿三个垂直方向（长、宽、高）的尺寸（启差）。}}{\text{猿}} \text{摇或摇阅} \text{越} \sqrt{\text{猿}} \text{遭糟}$$

式中，造 遭 糟分别为物料块沿三个垂直方向（长、宽、高）的尺寸（启差）。

此外，为了简易地表示和比较各种破碎机的这一主要特性，也可用破碎机的允许最大进料口尺寸（或有效进口尺寸）与最大出料口尺寸的比作为粉碎比，称为公称粉碎比，即

$$\text{公称粉碎比} \text{越} \frac{\text{破碎机允许最大进料口尺寸}}{\text{破碎机允许最大出料口尺寸}}$$

由于实际最大进料块的尺寸总小于允许的最大进料块的尺寸，所以公称粉碎比总是大于平均粉碎比。一般相差在 豫园豫 ~ 怨园豫左右。

破碎机械的粉碎比一般均在 猿~ 猿园园 而粉磨机则在 猿园园~ 员园园园以上。对于一定性质的物料，粉碎比是确定破碎或粉磨作业程序以及选择机器类型、尺寸的主要根据。

圆.理论能量消耗

由于破碎过程十分复杂，能量的消耗受着很多因素的影响，而且这些因素又都是因条件而异：如物料的性质、形状、粒度大小及其分布的规律、机器的类型，以及破碎操作的方法等。因此，要想用一个完整的严密的数学理论解决粉碎过程所消耗的能量问题是困难的。在某些情况下，必须同时广泛地应用实际资料。

下面介绍求粉碎能量消耗的两个最基本的假说——表面积假说和体积假说。

（员）表面积假说——雷廷智假说（员园园园年）

该假说的内容是：粉碎物料时所消耗的能量与物料新生成的表面积成正比。

该假说的物理基础是认为组成任何纯粹脆性晶体物质质点之间具有恒定的分子吸引力。因此粉碎所消耗的能虽与用来拆开分子间的引力，产生新的表面积所需的能量有一定关系。假定被破碎的物料块为质地均匀的立方体，破碎后每增加 员个新表面积所需的能量为 粤。

取每边长各为 凿 的立方体，沿各边分成 蚤等分，将其切成每边长为 凿/蚤的小立方体，则对每边要切（蚤-员）次，三个边共切了 猿(蚤-员) 次，每切一次产生的新表面积为 凿圆，则总新表面积为

$$\text{云} \text{越} \text{猿}(\text{蚤}-\text{员}) \text{凿}^{\text{圆}}$$

式中，云为原立方体切分后的总新面积（糟圆）；凿圆 为原立方体每次切分后产生的新面积（糟圆）；蚤为原立方体各边被分成的等分数。

产生 云(糟圆) 新表面积所消耗的能量为

$$\text{粤}_{\text{表}} \text{越} \text{粤}_{\text{园}}(\text{蚤}-\text{员}) \text{凿}^{\text{圆}}$$

式中，粤表为原立方体切分（蚤-员）次所需能量（噪·糟）；粤园为原立方体破碎后每增加 员个新表面积所需的能量 粤园(噪/糟)。

如将上面的立方体每边分成 跟等分，则所消耗之总能量按上面的道理同样可以求得

$$\text{粤}_{\text{体}} \text{越} \text{粤}_{\text{园}}(\text{跟}-\text{员}) \text{凿}^{\text{圆}}$$

式中，粤体为原立方体切分（跟-员）次所需能量（噪·糟）。

将前两式两端互除消去 粤园 得

$$\frac{\text{粤}_{\text{表}}}{\text{粤}_{\text{体}}} \text{越} \frac{\text{猿}\text{凿}^{\text{圆}}(\text{蚤}-\text{员})}{\text{猿}\text{凿}^{\text{圆}}(\text{跟}-\text{员})} \text{越} \frac{\text{蚤}-\text{员}}{\text{跟}-\text{员}}$$

当 $\frac{D}{d}$ 很大时，则

$$\frac{W_1}{W_2}\approx\frac{D}{d}$$

上式说明，对同样性质、形状和尺寸的物料来说，破碎的能量消耗与物料粉碎比成正比，也就是与立方体的分割面数或新生成的表面积成正比。

(2) 体积假说

体积假说的主要内容是：在相同技术条件下，将几何形状相似之物料粉碎成形状亦相似的成品时，所消耗的能量与其体积或重量成正比。

当物料受外力后必然在内部引起应力，随着外力的增加物体所受的应力及变形亦随之加大，当应力达到物料的强度限时，外力稍许增加物料即开始破坏。对于脆性物料来说，受到外力后的变形是符合直线变形法则的，亦即符合虎克定律。

假定物料块为圆柱形或菱形，压力作用方向垂直于物料的横截面，根据虎克定律，物体的变形为

$$\lambda=\frac{P\delta}{EF}$$

式中，λ 为物体的变形（m）；P 为加于物体上的压力（N）；E 为物体的弹性模数（N/m²）；F 为物体的横截面积（m²）；δ 为物体的原长度（m）。

使物体变形由零到 λ 所需之功为

$$W=\int_0^{\lambda}P\,\mathrm{d}\lambda=\int_0^{\lambda}\frac{EF}{\delta}\lambda\,\mathrm{d}\lambda=\frac{EF}{2\delta}\lambda^2$$

而变形所产生的应力 σ 为

$$\sigma=\frac{P}{F}\text{ 或 }P=\sigma F$$

将 P 值带入得

$$W=\frac{\sigma^2F\delta}{2E}=\frac{\sigma^2V}{2E}$$

式中，V 为变形物体的体积。

对于两个几何形状相似，体积分别为 V_1 和 V_2 的同一种物体来说，其破碎时需要的功之比为

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{V_1}{V_2}$$

从上式中可以看出，破碎物料所消耗的功与物料块的体积成正比。

实践证明，粉碎比的大小直接关系着能量消耗的多少。

前边介绍的两种假说是从不同观点出发，同时对粉碎规律的认识也不同，故计算的结果与实际有很大出入。

如表面积假说适用于破碎比较大的操作与劈碎现象的解释，但由于其原始功（破碎单位体积所消耗的功）及粉碎后物料新生成的表面积是较难确定的，同时由于物料的块度不均，所以该假说的应用受到一定的限制。更主要的是它没有考虑到在物料的塑性变形与弹性变形时的能量消耗。

对于体积假说，由于其出发点是基于弹性和塑性变形的基础上，故适用于压碎和击碎等，即粉碎比不大的场合。因其没有考虑到能量消耗与粉碎比的关系，因此该假说对细磨来

需要全本请访问 www.ertongbook.com