

用固体废料生产建筑材料

[美] O.S.伦弗罗 编

方汉中 译

中国建筑工业出版社

用固体废料生产建筑材料

[美] O.S.伦弗罗 编

方汉中 译

中国建筑工业出版社

本书在综合丰富资料的基础上,介绍了用各种有机和无机的固体废料(矿业废料、工业废料、农业废料及城市废料)生产建筑板材如轻墙体、隔墙板、天花板、屋面板以及作其它建筑材料的工艺、技术和经济的可行性研究,附有利废建材产品详细的试验数据和价格资料。书中较全面地介绍了美国和其它一些国家利用固体废料作建筑材料的情况,包括资源、应用领域、经济可行性、政策和发展趋势等,可供读者借鉴。

本书对我国全面地合理地利用固体废料作建筑材料,在科研、设计、生产、技术引进和决策机关制订政策方面,有一定参考价值。

BUILDING MATERIALS FROM SOLID WASTES

Edited by O.S. Renfroe

NOYES DATA CORPORATION

Park Ridge, New Jersey, U.S.A.

1979

• • •
用固体废料生产建筑材料

方 汉 中 译

•
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

•
开本: 787×1092毫米1/32 印张: 9⁵/₈ 字数: 214 千字

1986年10月第一版 1986年10月第一次印刷

印数: 1—4,400册 定价: 1.50元

统一书号: 15040·4987

前 言

美国是一个产生大量工业、采矿和城市废料的国家。由于现在强调用煤和代用能源的发展，废料增长率还将大大增加。处理废料的传统方法，例如填地、堆积和焚化，其代价是昂贵的，而且污染环境。废料再利用是一种可能的解决办法，而且近几年来，利废产品如能源、化学制品和动物饲料的经济效益是很明显的。

美国每年产生几十亿吨废料，目前建筑业只利用了很小的一部分。本书将介绍利用采矿、工业、农业和城市废料作建筑材料的进展。从几个实例可以看出，利用废料生产的建筑材料与利用以前未用过的自然资源生产的新型材料相比，至少在技术上是相当的。

本书主要介绍利用固体废料作建筑材料，特别是作居民住宅和商业建筑物材料的情况，也涉及其他建筑如公路、堤坝用的材料，但不作深入探讨。关于粉煤灰和粉尘在非建筑方面的利用是另一本新书NDC的课题。

本书第一章是关于美国废料资源特别是可用于建筑的废料资源综述。以后两章是介绍利用废料作建筑材料的可行性研究。最后三章专讲粉煤灰和废渣在混合水泥中的应用，废玻璃作轻骨料问题，并以大量篇幅谈煤矿废料作建筑材料的可能性。

成本数字是由所引用的注明日期的报告提供的。凡给出

目 录

1 用于建筑的废料资源	1
1.1 简介	1
1.1.1 美国的固体废料	1
1.1.2 建筑中利用废料的发展情况	1
1.1.3 范围	2
1.2 矿业废料	3
1.2.1 资源种类和储量	4
1.2.2 品种、处理和利用	6
1.2.3 扩大用途的前景	10
1.3 硫酸盐废料和磷酸盐、铝、水泥工业废料	11
1.3.1 磷酸盐矿石加工废料	11
1.3.2 硫酸盐废料	14
1.3.3 加工铝矿石的泥渣	16
1.3.4 水泥窑灰	18
1.4 煤燃烧的副产品	19
1.4.1 燃烧物的排量和处理	20
1.4.2 副产品的利用	22
1.5 冶金和矿渣	24
1.5.1 渣子的产量	24
1.5.2 渣子的利用	26
1.6 城市废料	27
1.6.1 焚化炉残渣	28
1.6.2 玻璃	29

1.6.3	建筑物和公路拆毁废料	30
1.6.4	污泥渣	32
1.7	来自喷射技术的废料	32
1.7.1	油页岩废料	33
1.7.2	煤气化和液化处理的灰和渣	33
1.7.3	元素硫	34
1.8	建筑业利用废料的障碍和鼓励办法	34
2	技术和经济的可行性	37
2.1	概述	37
2.2	材料的评价	38
2.2.1	增强材料	38
2.2.2	填充材料	47
2.2.3	基体材料概述	55
2.2.4	有机基体	60
2.2.5	无机基体	72
2.3	产品开发	84
2.3.1	总体规划	84
2.3.2	有机基体产品	95
2.3.3	无机基体产品	115
2.4	总结	130
3	利废建筑材料的产品和评价	131
3.1	有机基体产品	131
3.1.1	工艺条件	131
3.1.2	全尺寸板生产	146
3.1.3	推荐工艺	158
3.1.4	经济分析	162
3.1.5	结论和推荐	169

3.2 无机基体产品	170
3.2.1 墙体材料	170
3.2.2 屋面和天花板材料	191
3.2.3 地板材料	200
3.2.4 防火门	202
3.3 用废料生产的示范单元	215
3.3.1 有机废料板	216
3.3.2 无机废料板	216
3.3.3 门	217
4 高炉渣和粉煤灰在混合水泥中的应用	218
4.1 效益	218
4.1.1 综述	218
4.1.2 火山灰质材料	220
4.1.3 高炉渣	221
4.2 混合水泥的生产和应用	221
4.2.1 在国外	221
4.2.2 在美国	222
4.3 混合水泥的前景	223
4.3.1 代替波特兰水泥	223
4.3.2 地域方面的考虑	224
4.3.3 限制	225
4.4 国家标准局对混合水泥的研究	229
4.5 结论	229
5 废玻璃作原材料	231
5.1 轻骨料生产	231
5.1.1 材料	231
5.1.2 试验工作	232

5.1.3	结论	237
5.2	矿业局的有关工作	237
5.3	玻璃聚合材料污水管的开发	237
5.3.1	目标	238
5.3.2	工艺规程	238
6	煤矿废料	240
6.1	简介	240
6.2	选煤厂产生的废料	241
6.2.1	位置	242
6.2.2	处理设备	243
6.2.3	地质情况	245
6.3	取样和试验	246
6.3.1	取样方法	246
6.3.2	物理性质(土壤)	248
6.3.3	典型的煤废料分析	262
6.4	产品性能、发展和趋势	265
6.4.1	化学和矿物学性质	265
6.4.2	电炉烧结试验	270
6.4.3	烧成轻骨料	273
6.5	市场分析	286
6.5.1	概论	286
6.5.2	调查研究	288
6.5.3	结论	291
6.6	环境方面	293
6.6.1	堆积	293
6.6.2	烧结	294
6.7	总结和结论	295
7	编写本书的资料来源	296

1 用于建筑的废料资源

1.1 简介

1.1.1 美国的固体废料

美国既是一个大的自然资源消费国家，又是一个大量产生矿业、工业、农业和城市废料的国家。例如，预测今后100年内美国将耗费68亿吨（公吨，下同）铁矿石、10亿吨磷酸盐矿石和15亿吨铝矿石，从而将产生大量的矿物废料⁽¹⁾。

美国每天产生36万吨煤废料和矿山废料，累计已达230亿吨。大量产生的城市废料、建筑物的碎砖、硫酸盐废料、粉煤灰、工业加工和其他废料，带来了大量处理废料的难题。由于人们对环境质量日益关心并制定了环保法令，更增加了废料处理的困难。

许多废料可以直接用作或转变成可用的建筑材料而节省自然资源和能源，减少废料对环境的危害。由于建筑需要大量的材料，因而可利用大量的废料。

1.1.2 建筑中利用废料的发展情况

矿业局在60多年前就提出了废料处理的规划设想⁽²⁾，但

美国政府很少注意研究这个问题，直到六十年代后期，在建筑中使用废料才有所发展。美国使用的建筑材料只有很小一部分是用废料生产的，然而近十年来，联邦和州政府部门已经制定了在建筑中增加废料使用的宏伟规划。

例如，联邦公路局赞助的工程项目中正在进行利用废料作建筑材料的可行性研究；联邦能源局和能源研究开发局正在支持有关利用废料代替能耗大的材料以节约能源的工作；环境保护局赞助作为改善国家环境的一种途径的利用废料的论证工作；矿业局正在执行扩大矿物废料利用的规划。此外，最近通过了1976年的资源保护法⁽³⁾，以增加废料的利用。

美国企业方面也在促进固体废料的再利用。例如，成立了以主要的美国工业和劳工组织领导人组成的非盈利组织——全国资源再生中心，来开发从固体废料回收资源的技术，其重点是从城市废料中回收资源。

美国促进废料利用的其他重要活动包括矿物废料利用讨论会、粉尘利用讨论会、美国试验与材料学会的资源再生E-38委员会的工作，该委员会的E-38-06分会是专门负责再生材料作建筑材料的。

1.1.3 范围

本章介绍美国48个州目前和将来可用作建筑材料的主要矿业、工业、城市废料的资源、数量和处理情况。不包括农业废料，因为它们只有很少一部分可考虑用作建筑材料。某些农业废料转变成建筑材料的一种研究表明，使用稻壳灰可生产水硬性耐酸水泥⁽⁴⁾。使用小麦秆、大麦秆、燕麦秆和黑麦秆的残渣也可能生产出类似的水泥。但是，大部分农业废料

很快重新进入生物循环，减轻了废料处理。

矿业、工业、城市废料分别按次序排列，每大类可利用废料量的递减次序见表1-1。矿物、金属矿石、煤矿废料居首位。

其次是工业废料，这包括很少有市场的一类重要废料，有广阔市场的燃烧煤的副产品，已经广泛用作建筑材料的炉渣、副产品，而这些东西可能还有更高的使用价值。

再次是城市废料，包括城市垃圾、炉灰、玻璃、拆毁废料和污泥。然后讨论有关能源生产的喷射技术和环境保护可能产生的废料，以及在建筑中增加废料利用的障碍和鼓励办法。

矿业、工业和城市废料总量 表 1-1

废 料 类 别	年产量 ^① (百万吨)
矿 业	2270
工 业	180
城 市	180 ^②

资料来源：NBSIR77-1244。

① 根据调查资料估计。

② 包括1.35亿吨城市垃圾，其中约有0.36亿吨可用作建筑材料。

1.2 矿业废料

矿业废料是美国产生的固体废料中最大的部分，每年约有22亿吨。通常将矿物开采废料和煤废料加以区别。矿物开采废料既有废石，也有尾矿。废石是采矿期间挖去矿石上面的覆盖层中的大块所形成的。

尾矿是选矿以后剩下的残渣。煤废料是指煤的筛选和清洗中的废料、地采或剥离中的废料。煤废料包含矿山岩石、碳质页岩、黄铁矿和采矿中的其他废渣。挖掘废石也包括在这一部分中，因为它们的矿物学成分和物理状态类似矿物废料。

这一章将讨论矿业废料的资源、数量、处理以及目前、将来的利废情况。大部份资料是由美国试验与材料学会E-38-06分会成员提供的。

1.2.1 资源种类和储量

美国主要采矿工业每年产生的废石、尾矿和煤废料估计量见表1-2。这个表包括尾矿、磷酸盐处理废料多年的累积量。

铜工业废料几乎占每年产生的矿业废料的一半。其他产生大量废料的行业包括采铁、铁燧石、煤、铀、磷酸盐、金、石膏、铅和锌工业。

美国产生大量废石和尾矿的地区包括大的产铜州（亚利桑那、犹他、蒙大拿、密执安、田纳西）；梅萨比地区的铁燧石矿（明尼苏达东北部）；主要的铁矿区（明尼苏达、密执安、密苏里、宾夕法尼亚、加利福尼亚、怀俄明）和几个铅锌区（爱达荷、田纳西、威斯康星）。还有马瑟洛德地区（加利福尼亚北部）过去金矿遗留下的大量尾矿和三州矿区（密苏里、堪萨斯、俄克拉荷马）过去铅锌矿遗留下的大量尾矿⁽⁵⁾。

在宾夕法尼亚东部、弗吉尼亚西部、田纳西、肯塔基积累了最大量的煤废料。另一些大量积累废料的地区是伊利诺斯、俄亥俄、怀俄明。煤废料超过30亿吨的地区只有宾夕法

主要矿物废料可利用量

表 1-2

采矿工业类别	废石年产量① (10 ³ 吨)	尾矿年产量 (10 ³ 吨)	尾矿累积量 (10 ³ 吨)	尾矿在建筑上的可能用途	参考资料
铜	624	234	7700	砖、坝体填料、沥青混填料	(5)(19)
挖掘污泥	270~360	—	未定	填地	—
铁燧石	100	109	3600	混凝土骨料、防滑集料、建筑砌块	(5)(19)
煤	②	>100 ^③	2700 ^③	建筑公路和填地	(5)(6) (20)(28)
磷酸盐	230	54 ^④	907 ^⑤	填地、堵磷酸盐粘液	(5)
铁矿石	27	27	730	混凝土骨料	(5)(7)(9)
金	15	5	450	砖、沙和砾石、矿物填料	(5)(12)
铀	156	5.8	110	因为有低量辐射而未利用	(33)
铅	0.5	8	180	沥青混填料、耐火砖	(5)(8)
锌	0.9	7.2	180	沥青混填料、耐火砖	(5)(8)
采石	68	—	未定	骨料	(5)(19)
石膏	14.2	2.7	未定	砖	(13)
石棉	0.6	2	14	瓦、耐火砖、沥青填料	(5)(13)
重晶石	1.9	3.1	24	路面材料	(5)
氟石	0.1	0.4	未定	骨料	(5)
长石	0.2	0.8	未定	制砖和轻建筑材料	(13)(14) (15)

资料来源: NBSIR77-1244。

① 在某些情况下包括覆盖层。

② 包括在尾矿内。

③ 煤废料包括采矿岩石、页岩、黄铁矿和其他采矿石屑。

④ 包括磷酸盐粘液和含磷石膏。

⑤ 包括136×10³吨的含磷石膏。

尼亚和肯塔基。由于在美国更加强调用煤，因而煤废料的年产量还将增加。根据1975年生产了5.6亿吨煤的情况，预计2000年在西部各州将生产9亿吨煤⁽⁶⁾。

西部煤的大部分可能将在未清洗的状况下直接燃烧，煤废料的比例直到最近才有所下降⁽⁶⁾。

毫无疑问，今后许多年里，煤废料的堆积量还将继续增长。

挖掘污泥来自美国主要航道如密西西比河、哥伦比亚河和港口。

1.2.2 品种、处理和利用

废石：在采矿过程中，每年约产生11亿吨废石（见表1-2）。这些废石的大部分来自露天矿。各矿的废石成分因地质情况和采矿方法的不同而异。有火成岩、变质岩、沉积岩。一般说来，火成岩和变质岩比沉积岩硬，更适合要求使用硬岩石的地方，例如作混凝土骨料。当然，某些沉积岩例如石灰石，也是很好的骨料⁽⁵⁾。

废石的块度也因地质情况和采矿方法的不同而很不相同。废石块的直径大的在1米以上，小的通常不到0.3米。废石可用通常的破碎和筛分方法使其达到所要求的块度。

废石通常和表土一道堆在排土场上，例如明尼苏达州有5580公顷土地堆存铁矿的采矿废石和表土⁽⁷⁾。废石有时用于露天矿回填和修筑公路。建筑上利用废石的总量只占每年废石量的很小一部分。修公路是铁矿废石的最大用途⁽⁶⁾。

宾夕法尼亚州内地下矿的暗色石用来翻修高速公路路面，而在密苏里州，类似的矿石被粉碎后作为防滑集料出售。在密执安、纽约、威斯康星和怀俄明州，采矿废石也成

功地用作公路建设的集料、基层材料和路基。在亚利桑那和密执安州，铜矿废石有时也被破碎用作基层材料。金矿废石在科罗拉多州用作集料，在南达可他州用作翻修公路路面材料。铅锌矿废石在华盛顿、威斯康星和密苏里州用作沥青路面的骨料。

尾矿：尾矿的物理和化学性质取决于矿源和矿石处理方法。例如铅锌矿尾矿通常含白云石⁽⁸⁾，而铁燧石、金和铜尾矿含硅量很高^(9,10)，详见表1-3。

某些铁燧石、铜、金和铅锌尾矿的氧化物分析 表 1-3

氧 化 物	铁燧石尾矿 ^①	铜 尾 矿 ^①	金尾矿 ^②	铅锌尾矿 ^①
	含 量 百 分 数			
SiO ₂	59	71.1	93	9.8
Fe ₂ O ₃	21	4.9	1.9	1.1
Al ₂ O ₃	2.7	13.2	3.5	0.3
MgO	3.7	2.1	0.41	17.8
CaO	2.7	1.1	1	29.4
Na ₂ O	—	0.3	0.07	—
K ₂ O	—	3.3	0.33	—
燃 烧 废 料	7.4	2.6	0.22	42

资料来源：NBSIR72-1244。

① 参见(9)。

② 参见(5)。

非筛分产生的尾矿通常要粉碎成细颗粒状。铜、铁燧石、金、铀、铅和锌矿石选矿通常要破碎到相同的程度并细磨，这些尾矿50~90%的颗粒小于75微米。这些筛选的尾矿，粗的只有粗沙粒那么大，大部分只有中等沙粒那么大。铁矿石尾矿通常分为细沙、粗沙和砾石⁽⁵⁾。

尾矿通常是由矿石经过湿法处理而分离出来并以稀浆的形式用管道送往尾矿池。粗尾矿和废石用来建筑池壁。如果是铁⁽⁷⁾和铜尾矿⁽⁹⁾，废浆的大部分进行再循环或脱水成为尾矿渣。尾矿也可作为矿井的回填物⁽¹¹⁾。粗尾矿通常被堆起来^(7,8)。

象废石一样，建筑中每年使用的尾矿量只是总产量中的很小一部分。但是在公路建设中利用尾矿还是很普遍的⁽⁵⁾。粗的铁燧石尾矿在明尼苏达一直很成功地用作公路沥青路面的防滑集料。在堪萨斯、密苏里、俄克拉何马，多年来一直用粗的铅锌尾矿作公路建筑材料。

在犹他，已有数百万吨铜尾矿用作公路路堤和沥青混合填料。在北加利福尼亚，金尾矿通常用作沙和砾石，在科罗拉多也有类似的用途。这些和其他尾矿在作为公路建筑材料方面具有良好的性能。尾矿的其他可能用途包括制造陶瓷产品，例如砖^(10,12~17)，轻建筑砌块^(9,14,18)和矿棉⁽¹⁹⁾。许多尾矿有极好的工程性能^(11,20)并适于用作小堤坝和回填材料⁽¹¹⁾。

煤废料：来自烟煤和无烟煤矿的煤废料由多种物质构成（详见表1-4），通常含有丰富的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ^(21,22)。无烟煤废料粗块的比重很大，13毫米以上的块占65%以上⁽²¹⁾。肯基塔的烟煤废料常用沉淀法将粗细料分开⁽²²⁾。

在过去，煤废料一直是放在废料堆置场或斜坡上。煤废料通常含有炭，而炭是可以自燃、事故燃烧或有意进行燃烧的。如果有充足的氧，煤废料被燃烧，那么堆煤废料的斜坡就变成一个自发的持续的空气污染源。州和联邦已制定规划来消除煤废料斜坡的燃烧。而且，黄铁矿的气体或其他氧化物可产生一种硫酸液，它可污染水源。

大多数的州要求煤废料要堆在远离地下或地面排水沟的

煤废料的氧化物和矿物分析

表 1-4

氧 化 物	百 分 数	矿 物	百 分 数
无 烟 煤 废 料①			
SiO ₂	50~57	高 岭 土	70
Al ₂ O ₃	30~37	伊 利 土	1~10
Fe ₂ O ₃	3~10	石 膏	1~10
TiO ₂	1~2	石 英	1~20
CaO	1~2	方 解 石	1~10
MgO	0~1	黄 铁 矿	1~10
K ₂ O+Na ₂ O	1~3	金 红 石	1~10
SO ₃	0~1	—	—
沥 青 废 料②			
SiO ₂	43~61	高 岭 土	16~72
Al ₂ O ₃	14~20	伊 利 土	16~50
Fe ₂ O ₃	2~31	石 英	7~32
TiO ₂	0.8~2.2	方 解 石	0~17
CaO	0.1~10	黄 铁 矿	0.4~12
MgO	0.5~3	菱 镁 矿	0~4
K ₂ O+N ₂ O	2~5.5	磷 灰 石	0.1~4
SO ₃	0~2	—	—

资料来源: NBSIR77-1244。

① 宾夕法尼亚的无烟煤废料,参见(21)。

② 肯塔基的沥青废料,参见(22)。

地方,并分层压实,堆成一定形状,上面种上植物。这种法规和这些处理方法的效果如何,还是有争论的^(23~25)。煤废料也用填入地下矿的方法处理,1968年有1.8亿立方米的煤废料填回地下⁽²¹⁾。

过去在建筑方面煤废料用量很小,主要用作公路基层和次基层材料⁽⁶⁾,路面集料^(26、27),包括防滑材料⁽²⁸⁾。无烟