

石灰窑气的 回收与 利用

李文澍 井昌运 编著
李亚铃 程志鹏



中国建筑工业出版社

石灰窑气的回收与利用

李文澍 井昌运 编著
李亚铃 程志鹏

中国建筑工业出版社

本书总结了国内石灰厂综合利用石灰窑气的实践经验，主要介绍如何回收利用窑气生产各类化工产品与建材产品的科学技术，如石灰窑气的回收净化与输送的技术和设备；生产石灰碳化制品，包括碳化砖及碳化板等的工艺及设备；生产液体二氧化碳及化工产品（碳酸氢钠、轻质碳酸镁和氯化镁、轻质碳酸钙、碳酸钡、硼砂）的工艺技术。还具体介绍了回收利用窑气的经济效益与社会效益，以及回收窑气的基本前提和不同途径。

本书可供中小石灰厂技术人员、管理干部及生产工人阅读。

石灰窑气的回收与利用

李文澍 井昌运 编著
李亚铃 程志鹏

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
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6³/₄ 字数：150千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数：1—1,590册 定价：4.15元

ISBN7-112-00552-3/X·15

(5695)

出版者的话

自1984年我社出版《怎样烧石灰》一书后，陆续收到各地读者来信询问如何回收利用石灰窑气的问题。为了满足广大读者的要求，提高石灰厂的经济效益，特地组织了国内石灰厂中搞窑气综合利用较好的单位和有丰富实践经验的技术人员，编写了本书。该书内容丰富，实用性强，为各地石灰厂提供如何利用窑气生产各类化工产品与建材产品的新技术。这些科学技术可变废为宝，提高经济效益，使石灰厂创造的利润远多于石灰产品。本书将会给各石灰厂带来明显的效益，相信它会受到广大读者的欢迎。

中国建筑工业出版社

一九八八年三月

前 言

千百年来建筑用石灰厂只是单纯生产石灰，石灰窑气中大量二氧化碳白白浪费掉。解放后我国广大石灰战线职工经过几十年的探索，并在一些厂实现了石灰窑气的综合利用，不但增加了经济效益，也使工厂的面貌改观。为了使石灰窑气这一宝贵资源更好地为四化建设服务，我们试图将石灰窑气的回收和综合利用加以系统的总结，编写了本书。本书是国内石灰厂综合利用窑气的实践经验结晶，希望它对于广大石灰战线的职工有所帮助。

本书第一、二章由李亚铃执笔，第三章由李文澍执笔，第四章及第五章的第七节由程志鹏执笔，第五章一至六节由井昌运执笔，全书由李文澍修改补充和统一整理。

本书参考了一些内部资料，对资料的编者表示感谢。

由于水平所限，难免出现一些错误，望广大读者批评指正。

编著者

1988.3

目 录

第一章 概述.....	1
第一节 石灰生产与石灰窑气回收利用的历史与效益.....	1
一、石灰生产与石灰窑气回收利用的历史.....	1
二、回收利用窑气的经济效益与社会效益.....	2
第二节 石灰窑气回收利用的基本前提和不同途径.....	5
一、石灰窑气回收利用的基本前提.....	5
二、石灰窑气回收利用的不同途径.....	6
第三节 石灰窑气的生成.....	9
一、碳酸钙和碳酸镁煅烧的一般性质.....	11
二、典型 CaCO_3 的热分解和 CO 的生成.....	13
三、典型 MgCO_3 的热分解和 CO_2 的生成.....	14
四、影响石灰窑炉煅烧和 CO_2 生成的因素.....	15
五、石灰窑气的一般性质与检测方法.....	21
第二章 石灰窑气的回收净化与输送.....	25
第一节 不同类型石灰窑炉的窑气.....	25
一、立窑型.....	25
二、回转窑和沸腾窑.....	26
第二节 常用的石灰窑气回收装置.....	28
一、机械化石灰立窑的窑口装置.....	28
二、人工立窑的窑口装置.....	31
第三节 石灰窑气的净化与输送.....	34
一、石灰窑气净化处理的必要性.....	34
二、石灰窑气的输送与净化设备.....	35
三、石灰窑气的输送与净化的工艺计算.....	45

四、窑气净化的评价	52
五、提高窑气中 CO_2 含量的方法	53
参考资料	55
第三章 石灰碳化制品的生产	57
第一节 概述	57
一、什么是石灰碳化制品	57
二、石灰碳化制品的历史与现状	58
三、生产石灰碳化制品的经济价值和社会效益	59
第二节 石灰碳化制品的主要原料—生石灰粉的加工	60
一、生产工艺过程	60
二、设备的选择	61
三、原料要求	63
四、生产控制及质量检验	66
五、生产中应注意的几个问题	74
第三节 石灰碳化制品的生产原理	76
一、石灰碳化制品生产中总的化学反应过程	77
二、石灰制造过程	77
三、石灰消解(水化)过程	77
四、石灰的碳化过程	78
第四节 碳化砖的生产	78
一、原料要求	79
二、生产工艺	79
三、工艺参数及生产控制	88
四、设备选型及仪表配备	91
五、安全生产须知	93
六、产品技术条件及质量检验	94
第五节 碳化板的生产	96
一、工艺流程	97
二、原料要求	98
三、工艺技术	99

四、设备选型与仪表配备	105
五、质量标准及检验方法	114
第六节 其他碳化制品生产简述	115
一、碳化通风道	116
二、碳化煤球	116
三、石灰碳化饰面砖	117
四、石灰碳化矿渣制品	117
五、石灰碳化灰砂瓦	118
六、其他制品	118
第七节 提高碳化制品质量的主要途径	118
一、提高窑气的 CO_2 浓度, 充分发挥人工碳化的优势	119
二、慢速干燥 适当碳化	120
三、掌握适当成型压力	120
四、干燥、碳化交替进行	120
五、加入适当助剂	121
参考资料	121
第四章 液体二氧化碳的生产	122
第一节 二氧化碳的性质、用途及质量标准	122
一、二氧化碳的性质	122
二、液体二氧化碳的用途	123
三、液体二氧化碳质量标准	124
四、检验方法	124
第二节 生产工艺	127
一、生产方法	127
二、工艺流程	127
三、工艺参数及生产控制	128
第三节 设备选型及仪表配备	130
一、设备选型	130
二、主要设备简介	131
三、仪表配备	136

第四节 生产中需注意的事项	136
一、吸收剂的浓度问题	136
二、吸收塔的温度和压力问题	138
三、脱析塔的温度和压力问题	138
四、热交换和冷却问题	138
五、二氧化碳的压缩问题	139
第五节 液体二氧化碳充装、运输、保管及安全操作	139
一、液体二氧化碳充装及安全技术操作规程	139
二、气瓶的使用及安全注意事项	141
三、气瓶的运输及注意事项	141
四、气瓶的储存及注意事项	141
第六节 干冰的生产	142
参考资料	143
第五章 化工产品的生产	145
第一节 概述	145
第二节 碳化法生产碳酸氢钠	146
一、产品性质、用途及质量标准	146
二、我国小苏打工业的发展概况	147
三、生产工艺与操作控制	148
第三节 碳化法生产轻质碳酸镁	161
一、概述	161
二、白云石碳化法生产原理	162
三、轻质碳酸镁的性质、用途及质量标准	164
四、生产工艺与操作控制	164
第四节 轻质氧化镁	173
一、产品主要用途	173
二、生产原理及工艺流程	174
三、轻质氧化镁主要质量指标	175
四、主要原燃料消耗指标	175
五、产品的检验与包装	175

第五节 轻质碳酸钙	176
一、产品性质、用途及质量标准	177
二、生产工艺及消耗定额	180
三、常用设备和仪表配备	185
第六节 碳酸钡的生产	187
一、产品性质、用途及质量标准	187
二、生产工艺流程	187
三、消耗定额	189
四、主要设备及仪表配备	189
五、生产安全规程	192
第七节 硼砂的生产	192
一、产品性质、用途及质量标准	193
二、生产工艺	194
三、设备选型及主要设备简介	199
参考资料	204

第一章 概 述

第一节 石灰生产与石灰窑气回收利用的历史与效益

一、石灰生产与石灰窑气回收利用的历史

人类很早就开始煅烧石灰和使用石灰，其历史可以上溯到距今五千年前。根据考古资料，在中国黄河流域多处龙山期文化遗址中，人们见到了用石灰抹面的光洁坚实墙壁和地面（公元前2800~2300年）。据用 C_{14} 测定，龙山期遗址中所用的石灰已是人工煅烧制成的。

在古代石灰既是加固地基的常用材料，又是砌筑砖石的粘结材料，而且是墙壁与地面的粉饰材料。保留至今的不少古代华丽壁画和夯实地基遗址都使用了古老的胶凝材料—石灰。

随着近代工业的发展，石灰做为土木建筑工程的主要材料之外，在许多新兴的工业部门又开辟了多种用途。如冶金、玻璃、制碱、制糖、造纸、制革、电石及有机化工、碳化砖、碳化板以及土壤改良、水处理、气体净化等方面都消耗了大量石灰。因此多种类型的石灰窑炉在各地不断建成，近代各国的石灰产量都有较快增长。

人类很早就观察到煅烧石灰石，制成的生石灰重量比石

灰石原有重量减少了很多，而生石灰消化成熟石灰，其后熟石灰又固化成人们所需要的形态，它们的重量又增大了。在很长历史时间内，人们对此习以为常，知其然而不知其所以然。

最早有人注意到在燃烧木柴时会产生一种使生物窒息的气体，人们称之为木气。其后人们又发现白垩在受热或滴入盐酸时也会产生一种类似木气的气体。18世纪中叶英国科学家布拉克第一次试图从理论上解释石灰石煅烧成石灰的过程。稍晚若干年，法国科学家拉瓦锡在1774年提出了完整的燃烧理论，认定了氧元素的存在，并于1787年把所谓的木气正式命名为碳酸气，认定了木气的化学成分是 CO_2 。

人类不断总结实践经验发现，石灰石（碳酸钙）煅烧成石灰的过程中，约有占原来岩石重量44%的 CO_2 ，由于受热分解从岩石中释放出来，因此煅烧石灰石生成的生石灰重量比石灰石原有重量减少了。其后生石灰加水消化成熟石灰，熟石灰又吸收空气中的 CO_2 重新变成碳酸钙，比生石灰的重量又增大了。

人们还发现，石灰石受热分解所释放出的 CO_2 加上窑炉中燃料燃烧产生的 CO_2 ，其总重量超过了窑炉所产石灰的重量。例如，一座日产100吨石灰的窑炉，每天需投入石灰石175吨和无烟煤14吨（含碳量按70%计，发热量为6500千卡/公斤，1千卡等于4.1868千焦耳），日产 CO_2 可达118吨（相当于在0℃和一个大气压的标准状态下纯净 CO_2 6万米³或按体积比计算含 CO_2 为35%的石灰窑气17万米³）。这是一个数量相当可观的稳定的 CO_2 气源。

二、回收利用窑气的经济效益与社会效益

长时间来，人们对于石灰窑气的回收与利用未给予应有

的重视，大量石灰窑气都白白排放到大气中去了。事实上石灰窑气是一种具有多种用途的宝贵资源，是一大宗潜在的自然财富。

石灰窑气回收净化除去所含粉尘和 SO_2 、 H_2S 等有害成份之后，可用于制取一系列碳酸盐产品，如碳酸钠（纯碱）、碳酸氢钠（小苏打）、碳酸钾、轻质碳酸镁、轻质碳酸钙、碳酸钡、碳酸锶等，这些碳酸盐也是制备相应氧化物、氢氧化物和其他盐类的最基本的原料，如碳酸镁和碳酸钡经高温煅烧后可以制成氧化镁、氢氧化镁和氧化钡、氢氧化钡，如加入硫酸或盐酸则可生成相应的硫酸镁、氯化镁等。石灰碳化砖和碳化板是新型建筑材料之一，实质上是一种人造的石灰石产品（碳酸钙），也应属于碳酸盐产品系列。石灰窑气还可用于生产硼砂的工艺过程。石灰窑气经过浓缩处理后， CO_2 的含量可以提纯到99.9%，压缩成液体 CO_2 装于钢瓶中供使用，广泛用于保护焊接、铸造翻砂、制备汽水、保鲜水果蔬菜和肉类、灭火、精密仪表的局部冷冻与冷却，以及用于制取干冰供旅游制取冷饮和小范围人工降雨等方面。随着现代科学技术的进展， CO_2 的应用范围还会愈益扩大。例如近年来，不少研究人员在探索水泥混凝土制品和硅酸盐制品的“预碳化”问题。实践证明：上述制品如果先用 CO_2 碳化后再送去蒸养，产品的性能会有明显的改善，特别是为解决这些产品内的钢筋锈蚀问题开辟了一条新的途径。又如一些研究人员用液体 CO_2 萃取菜籽油取得良好效果。把 CO_2 与环氧乙烷反应生成的塑膜具有为细菌分解而自然消失的特性，用于日常物品包装，特别是用于农业的保护栽培，不会造成污染，更不会破坏土壤结构，开辟了 CO_2 的新用途。这表明 CO_2 的使用已从传统的无机化工领域为主正逐步向有机化工

的方向发展。

在我国煅烧和使用石灰有着悠久的历史，但生产石灰所用的窑炉和工艺方法却十分落后，小型土立窑窑身短、热效率低、产量低而劳动强度大，更谈不上回收利用窑气。从本世纪30年代开始，只有在我国沿海少数地方出现了小规模地回收石灰窑气生产纯碱和小苏打的工厂或作坊。解放后大规模经济建设开始，机械化或半机械化的石灰窑在各地陆续建成投产，石灰窑气回收利用的规模也在不断扩大，我国石灰的年产量，根据1985年统计已达五千万吨左右，按生产一吨石灰伴生1.1吨纯净 CO_2 计，年产 CO_2 可达5500万吨（约相当于标准状态下 CO_2 275亿米³），这是十分可观的宝贵资源。从50年代开始，我国已经陆续建成了一批以建筑用石灰为主要产品、回收利用石灰窑气发展多种产品的综合性的石灰化工企业，取得了有益的经验 and 明显的经济效益。例如北京建材化工厂投产于1957年，建有机械化石灰立窑四座，年产石灰30万吨，回收石灰窑气年产小苏打3万吨（居全国首位），轻质碳酸镁2000吨，副产轻质碳酸钙3000吨，全年产值2000万元以上，实现利税近300万元，其中回收利用石灰窑气深加工产品所创造的产值和利税分别达到70%和80%以上。又如北京矿石材料厂（年产轻质碳酸钙2万吨），沈阳建材化工厂和牡丹江石灰厂（年产液体 CO_2 均在3000吨以上）等也都是我国石灰化工行业的骨干厂矿。近年来乡镇企业蓬勃兴起，在有计划商品经济的社会主义大市场中，各地的石灰厂矿都面临提高技术和管理水平，不断提高经济效益以适应市场竞争形势的严峻课题。石灰窑气的利用理所当然成为大家首先关注的课题之一。一大批中小型的轻质碳酸钙厂、轻质碳酸镁或氧化镁厂、碳酸钡厂和石灰碳化砖厂在各

地建成投产、积累了丰富的实践经验，特别是在半机械化和土立窑上回收窑气的经验与相应的装备设施具有重要的意义，为充分开发广大乡镇地区的矿产资源和发挥劳动力的优势开辟了光辉的前景。

回收利用石灰窑气的社会效益也是十分明显的。大家知道由于石灰窑气的回收利用过程中，对窑气中的 SO_2 和 H_2S 等少量有害气体和相当量的粉尘，一般都需要做水洗净化预处理，以保证石灰化工产品的质量合格，因此回收利用窑气后排出的尾气，一般都已达到了无害排放的标准，有利于石灰窑炉所在地区环境卫生的改善，把环境保护和产品开发结合起来，达到了综合效益的目的。

第二节 石灰窑气回收利用的基本前提和不同途径

一、石灰窑气回收利用的基本前提

在一般情况下，按体积计算，石灰窑气中 CO_2 约占25~40%，其余部分主要为氮气，此外还有少量一氧化碳、氧气、二氧化硫、硫化氢等……。就 CO_2 而言，约2/3来自石灰石热分解，1/3来自燃料燃烧。从回收利用石灰窑气角度来考虑，人们总是希望 CO_2 含量高一些为好，相应氮气含量应尽量低一些。生产实践证明：高浓度的 CO_2 用于生产相应的产品，可以大大加快化学反应速度，缩短工艺流程，缩减生产装备的体积，降低了能源的消耗，使产品成本大大降低，经济效益提高，一般说窑气中 CO_2 含量低于25%时，会使有关产品生产长期达不到设计能力以至于使生产陷于停顿。为此，在考虑回收利用石灰窑气的时候，首先要正确选定窑

型，宁可在窑炉建设上增加投资，同时严格控制入窑石灰石和燃料的性质与配比，严格掌握窑内煅烧状况，以期获得高浓度的和尽量少杂质的工业 CO_2 气流。这是应特别注意的基本前提。

二、石灰窑气回收利用的不同途径

回收利用石灰窑气一定要从各地的资源和生产条件、市场状况的特点出发，因地制宜，采取不同的途径与模式，才能收到事半功倍的效果。切忌生搬硬套外地的经验，盲目上项目，盲目上产品。而且要严格遵循正常的建设程序，认真做好工程项目的前期可行性论证，认真做工程设计和认真组织安装建设，认真组织生产，一丝不苟才能收到预期效果，否则草率仓促，马虎凑合，贻患无穷。

根据各地建筑石灰生产企业回收利用石灰窑气的经验，大体上可采取如下几种途径。图1-1为石灰石综合利用图解。

（一）石灰厂矿自我封闭的生产系统

一般指从自有矿山采石，破碎石灰石煅烧石灰做为主要原料，回收利用窑气生产相应的产品，除燃料和爆破器材取于外地，石灰厂矿构成一自我封闭的生产系统，又可分做二种类型：

1. 生产石灰碳化制品

通常指石灰碳化砖和碳化板，利用石灰做胶结剂，将破碎石灰石时未能入窑的小块石碴做为骨料，混合成型后通入窑气，使坯体吸收 CO_2 固化增强。最终使石灰厂矿成为一个基本上不产废渣，又无废气的全封闭生产系统。

2. 生产轻质碳酸钙或碳酸镁和氧化镁

利用当地优质石灰石或含硅低的白云石、菱镁石，先破碎煅烧，再消解除去杂质，最后随入回收的窑气，用之沉淀

