

内 容 简 介

本书内容取自苏联1983年出版的Л.Н. 格魯申(Л.Н.К.Грушин)等著的《Применение кислорода в цветной металлургии》，结合国内近几年发表的有关富氧应用、制氧机等方面的文献，以及出国考察收集的技术资料编写而成。书中详细叙述了铜、镍、铅、锌等的火法冶金中应用氧气的情况，也介绍了湿法冶金中应用氧气和氧气生产的情况。

本书可供从事有色金属冶炼的科研、设计、生产、教学和管理等方面的工作人员参考。

富氧在有色冶金中的应用

毛月波 祝明星 等编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32, 274/8 字数239千字

1988年8月第一版 1988年8月第一次印刷

前 言

在有色金属冶炼过程中，用富氧代替空气，是强化生产、降低能耗、治理环境污染、提高技术水平、增加经济效益的重大技术措施。在国外，改造老冶炼厂的传统工艺，开发新工艺，都普遍应用富氧，取得了显著的经济效益。国家科委和中国有色金属工业总公司高度重视富氧的应用，已将富氧熔炼列为发展有色金属工业、提高冶炼技术水平和技术政策之一，积极创造条件，开展富氧熔炼的试验研究工作。预计富氧在中国有色冶金工业中的应用将得到较快的发展。为了配合这一新形势发展的需要，由白银有色金属公司、北京有色金属研究总院负责组织编写了这本《富氧在有色冶金中的应用》。本书从理论到实际生产，较系统地阐述了有色金属的富氧冶炼方法及所取得的效果，重点阐述铜、镍、铅、锌的火法冶炼工艺，也介绍了湿法冶金中应用氧气的情况，并列举了对老厂技术改造具有现实意义的反射炉、鼓风炉和转炉采用富氧的实例，简要地介绍了发展富氧熔炼的关键设备——制氧机。书中还论述了近期发展起来的一些新工艺如闪速熔炼、熔池熔炼等技术发展的趋势，以及一些诸如重有色金属硫化矿熔池富氧自热熔炼、连续熔炼以及薄膜渗透法制氧等带方向性的技术问题，以期得到各方面的重视和支持，加强研究，在技术上有所突破，促进我国有色金属工业的发展。

参加本书编写的有毛月波、祝明星、刘益芳、郭青蔚、王立臣、苏国辉、赵国权、周洪武、高月泽、卢笠渔等，在

编写中得到开封空分设备厂、连续炼铜协作组等有关方面的大力支持，提供了大量技术资料，谨致谢意。由于编者们的能力水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评和指正。

编 者

1987年4月于北京

目 录

前言	V
第一章 概述	1
第一节 氧气的应用和制氧机的发展	1
第二节 有色冶金中用氧的经济和社会效益	3
第三节 富氧熔炼是老厂改造和实现连续熔炼的重要方向	12
第二章 氧气生产概述	16
第一节 氧气和空气的性质	16
第二节 制氧方法简述	19
第三节 深冷法制氧机的基本原理	20
第四节 制氧机的评定及氧站的经济指标	23
第五节 氧气的贮存和输送	27
第六节 用氧的安全技术	29
第七节 制氧机的选用	33
第八节 制氧机的发展趋向	37
第三章 氧气在冶金中应用的理论基础	40
第一节 火法冶金中应用富氧的原理	40
第二节 湿法冶金中的氧化过程	56
第四章 在硫化矿焙烧和烧结过程中富氧的应用	85
第一节 锌精矿的焙烧	85
第二节 铜精矿的焙烧	90
第三节 镍精矿的焙烧	99
第四节 铅精矿的焙烧和烧结	108
第五节 含钴黄铁矿的硫酸化焙烧	108
第六节 黄铁矿焙烧	112

第五章 鼓风炉熔炼	114
第一节 固体燃料在料层中的燃烧	115
第二节 氧化镍矿的鼓风炉熔炼	119
第三节 铜矿及其烧结块的鼓风炉熔炼	123
第四节 含铅原料的鼓风炉熔炼	136
第五节 锌烧结块的鼓风炉熔炼	149
第六章 反射炉熔炼	153
第七章 自热熔炼	172
第一节 闪速熔炼(悬浮熔炼)	173
第二节 旋涡熔炼	186
第三节 基夫赛特法熔炼	193
第四节 熔池熔炼	198
第五节 诺兰达法熔炼	203
第六节 三菱法熔炼	214
第七节 白银炼铜法熔炼	223
第八节 Q.S.L.炼铅法熔炼	227
第九节 硫化物自热熔炼法的比较	229
第八章 转炉富氧吹炼	235
第一节 概述	235
第二节 铜镍的吹炼	237
第三节 镍铁的吹炼	246
第四节 镍铁的吹炼	249
第五节 转炉熔炼精矿	254
第六节 连续吹炼	265
第九章 炉渣的烟化	271
第一节 应用富氧烟化炉渣的理论基础	271
第二节 用粉煤和富氧烟化处理铅渣	278
第三节 用天然气和富氧烟化处理铅渣	285
第四节 锡渣的富氧烟化	297

第十章 回转窑法处理含锌中间产物	300
第十一章 氧气在湿法冶金中的应用	304
第一节 氧气在湿法冶金中应用的若干技术问题	304
第二节 氧气在镍钴湿法冶金中的应用	318
第三节 氧气在湿法炼锌中的应用	326
第四节 氧气在湿法炼铜中的应用	329
附录	335
附表 1	335
附表 2	335
附表 3	336
附表 4	337
参考文献	337

第一章 概 述

第一节 氧气的应用和制氧机的发展

随着科学技术的发展，氧气在国民经济中起着越来越重要的作用。1774年，英国普里斯特利首次从空气中分离出氧，但只是经过了一个多世纪以后，才找到实验室制取氧气的方法，并进行正规生产。

早在19世纪中、后期就有过在工业上利用氧气强化冶金过程的设想，但由于当时缺乏高效价廉的制氧方法和设备，这种设想并未得到实现。直到用低温蒸馏法从空气中制氧取得成功，才在美国和德国建立起了第一批小规模制氧站（每小时产氧几十立方米氧气）。1905年，首次进行了富氧吹炼钢的研究，旨在强化冶金过程。

本世纪50年代后，由于氧气炼钢和高炉富氧炼铁获得广泛应用，氮肥工业迅速发展，加速了制氧机制造工业发展的进程，建立起拥有各种大型机组的制氧站，氧的价格随之降低，从而有力地促进了冶金工业更大规模地使用氧气。当前，国外制氧机生产氧的能力已达 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

1913~1914年，比利时曾在日产100t的高炉中首次进行了富氧（含氧23%）冶炼试验。

1940年，苏联氧气生产能力已居欧洲的首位。第二次世界大战后，由于水力、火力发电工程和制氧技术的发展，制氧规模日益扩大，制氧机的电耗和成本不断下降，用氧更为经济合理，进一步扩大了氧的应用范围。1970年，苏联用于有色冶金中的氧量由 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 增长到1980年的 $22.4 \times$

$10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。80年代初，苏联主要工业部门用氧比例为：钢铁工业用氧占氧气产量的60%，化学工业用氧占35%，有色冶金工业用氧占2.5%，其它部门用氧占2.5%。

美国1978年氧气产量为 $17.8 \times 10^6 \text{ t}$ ，其中70%用于钢铁工业；12%用于化学工业，6%用于有色冶金企业。

日本制氧机工业发展很快。1979年，氧气年产量为 $70.92 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，钢铁和有色冶金用氧占45%，化学工业用量占32%。

中国在本世纪50年代中期开始研究制氧机技术。50年代末，为适应国家钢铁、氮肥、国防、电子等工业发展的需要，开始自行设计制造 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下的各种类型的制氧机，并逐步形成了系列，中小型制氧设备可基本立足于国内。截至1981年底，共生产了 $1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上的制氧机282套，氧气生产能力约为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。制氧机的质量和制造水平也在逐步提高。早在50年代，中国就有人提出了在有色冶金生产中应用富氧的倡议，直到1979年，才在福建邵武铜厂的密闭鼓风炉上进行含氧24.2%的富氧熔炼试验。1981年以后，国家为了发展有色金属工业，把富氧熔炼作为节能、控制污染、强化冶金过程的重要技术政策，把白银炉熔池富氧炼铜和水口山富氧一步炼铅列为“六五”和“七五”规划国家重点科技攻关项目之一，成立了金川资源综合利用和重有色金属硫化矿富氧熔炼技术开发中心，计划在各类硫化铜精矿富氧熔池熔炼成功的基础上，根据国家需要，开发镍-铜精矿、铅精矿、贵金属物料（如含金黄铁矿）的富氧熔炼和连续熔炼。现已在铜陵有色金属公司的铜密闭鼓风炉上进行了富氧熔炼试验，新建的铜镍闪速炉和卡尔多炼铜转炉也将采用富氧熔炼。

第二节 有色冶金中用氧的经济和社会效益

随着高质量大型制氧机的出现和火力、水力、核能发电工业的发展，目前已可获得价廉的氧气。在传统的和新开发的冶金方法中，都在采用富氧或纯氧改造老厂，建设新厂，以获得较大的经济和社会效益。因此，使用氧气不仅是有色冶炼方法本身的重大变革，同时，也为中国一些重要复杂矿的综合利用、有色冶金和制酸工业的发展、连续自热熔炼的研究开辟了道路。有色冶金用氧的效益，主要表现在：

1. 节约能源

铜、铅、锌、镍、钴、铈、汞等有色金属矿石，大都以硫化物的形式存在于自然界，这些金属硫化物精矿的化学成分和矿物结构复杂，在高温富氧冶炼下的主要化学反应可归纳为：



(2) $\text{MeS} + \text{O}_2 = \text{Me} + \text{SO}_2$ (在较低温度下硫化物直接还原成金属)



(4) $\text{MeS} + 2\text{MeO} = 3\text{Me} + \text{SO}_2$ (铈的吹炼及铅的反应熔炼)

从以上化学反应看出，硫化物在高温冶金过程中主要是氧化放热反应，一般有色金属硫化矿含硫20~35%，它本身就是一种低热值的燃料。据计算，1kg硫能发出相当于0.32kg标准煤的热量。因此，选择冶炼方法时，要充分利用这部分热能。同时，冶炼硫化矿时，需要连续供应大量的氧气。一般熔炼1t有色金属需氧量300~2000m³，炼1t钢的氧耗为3~10m³。冶金过程中所需的氧都来自空气，生产1t金属消

耗空气量如下 (m^3):

生铁: 2400; 铅: 11000; 锡: 15000; 锌: 46000;
铜: 57500; 镍: 412000

空气中约含21%的氧(体积)和79%的氮, 直接用空气进行冶炼或燃料燃烧时, 大量的氮随氧一道进入冶金炉中, 作为惰性气体, 会降低冶炼和燃烧反应的速度, 从而增加鼓风机的功率和运转的能耗。此外, 为加热这部分氮气还消耗大量的热, 增加燃料消耗。鼓风中的氮气和燃料燃烧所产

表 1-1 各种冶炼方法用空气和富氧鼓风的能耗的比较

冶 炼 方 法	氧浓度, %	能 耗	用氧后能 耗下降, %
苏联铜鼓风炉熔炼	21	焦率8.35%	28.8
	27.3	焦率5.93%	
苏联镍鼓风炉熔炼	21	焦率26.4%	17
	24.5	焦率21.9%	
苏联生精矿铜反射炉熔炼	21	210kg煤(标)/t料	24.5
	40	158.5kg煤(标)/t料	
日本足尾闪速炉熔炼	(热空气)21	65.7L油/t料	85.5
	41	9.5	
国际镍公司纯氧闪速炉熔炼	95	基本自然熔炼	100
诺兰达炼铜法熔炼	21	$4.6 \times 10^9 \text{J}$	72.7
	(30.5)	$1.25 \times 10^9 \text{J}$	
苏联熔池熔炼	68~75	47kg煤(标)/t料	
日本三菱法	30~40	$1.46 \times 10^9 \text{J}$	
中国白银炼铜法	21, 31.61	标准燃料率 12.31%, 8.83%	32.32

生的 CO_2 气的稀释作用，使烟气中 SO_2 、 CO 和金属蒸气的浓度下降，增加了烟气的综合利用的困难，因此，用富氧（或纯氧）代替空气进行冶炼（或燃烧）的最大优点，是能大大减少氮和燃料，从而达到节能和强化过程的目的。对于不同的冶炼方法和设备，使用富氧节能的效果也不一样（见表1-1）。

由于传统的鼓风炉、反射炉属于静态熔炼，传质和传热效果不好，不能充分利用硫化物精矿本身的硫和铁的氧化热。从表1-1看出，采用富氧后，能耗下降幅度不大（17~28.8%）。其它几种新的冶炼方法，属于动态熔炼，精矿在高温氧化气氛中呈飘浮状态，或处在被富氧激烈搅动的熔体中，进行高速反应，传质传热良好，能充分利用硫化物精矿本身的氧化反应热，所以采用富氧（或纯氧）鼓风的效果好，能耗大幅度下降（72.7~100%）。国际镍公司纯氧闪速炉，基本实现了自热熔炼。苏联的富氧熔池熔炼，标准燃料消耗仅为47kg/t料。日本足尾（Ashio）闪速炉的实践结果和计算表明，1L重油直接用于闪速炉，只获得相当于 $2.3 \times 10^7 \text{J}$ 的热量，但用1L重油发电，可制得 7.7m^3 氧气，用于熔炼可获得 $5.3 \times 10^7 \text{J}$ 热量，为直接用重油的2.3倍。可见富氧冶炼节能效果是好的。据北京有色冶金设计研究总院估算，在中国的炼钢厂，炼1t阳极铜的综合能耗，当采用空气鼓风时，需1.5~2.0t标准煤，采用富氧以后，可降到0.7~1t标准煤。换句话说，现有工厂可在不增加能耗的情况下，使铜的产量翻一番，富氧燃烧也同样具有节能的效果（见表1-2）。

燃烧富氧时，单位燃料燃烧所需的空气量减少了，因此，燃烧产物的体积减小，使火焰温度升高；又减少了排气

表 1-2 富氧燃烧的节能的效果

项 目	富氧浓度 %	节 能 率 %	一次节能率 %
玻璃熔化炉	22.7	16.8	11.9
玻璃熔化炉	25.3	26.8	18.5
陶瓷烧成炉	28.0	26.1	12.0
锻造加热炉	25.0	24.7	13.3

量，从而减小热损失。火焰温度升高后，被加热物的温度和火焰温度间的差值增大，有利于增加传热量。但富氧浓度达一定值后，温度上升缓慢，故在燃烧中，没有必要使用浓度过高的富氧空气。一般使用23~28%的富氧燃烧，节能率可达26.1%左右。

2. 提高烟气中SO₂浓度，减轻污染

传统的火法冶金（如铜反射炉），采用空气冶炼硫化物精矿时，产生大量难经济回收的低浓度SO₂烟气，直接排入大气，造成大气污染。据加拿大资料报道，反射炉每熔炼1t铜精矿，要排出浓度为1%的SO₂烟气3500m³，如不综合回收，按铜精矿中一般铜硫比为1计算，则现在炼铜业每年约有650×10⁴t硫以低浓度SO₂排入大气。中国每年从燃烧含硫的煤、重油及有色金属工业排入大气的SO₂中的硫量约为1600×10⁴t，其中有色金属冶金工业排出的硫约40~50×10⁴t，占全国排放总量的2.5%。这样，既造成严重的公害，又不能充分利用硫的资源 and 回收被烟气带走的其它有价金属。因此，全世界的有色金属企业，为了消除SO₂烟害，使之达到环保要求的标准（0.1~0.4ppm），不得不花费巨额资金来控制污染。消除低浓度SO₂烟害的最好办法是提高烟气中SO₂浓度，根据市场需要生产硫酸（或液体SO₃，或元

素硫)。这和化工企业用硫磺或黄铁矿生产硫酸相比,成本要低50~66%,基建投资低30~40%。用空气冶炼时,产生的烟气体量大, SO_2 浓度低,过程的连续性和稳定性差(如转炉吹炼),对制酸工艺不利。根据 SO_2 触媒催化转成 SO_3 的条件, SO_2 浓度控制在5~8%为宜(在此条件下,烟气中含氧8~12%)。从维持系统的水和热平衡考虑,用标准触媒法制酸时, SO_2 最低浓度应为3.5~4.0%。烟气中 SO_2 少于3.5%时,制酸装置要附设制冷和加热保温设备,因而增加制酸成本。从单位产品的基建投资和经营费用来看,烟气中 SO_2 提高到10%以上,比低浓度(4.5% SO_2)的投资省,成本低40~45%。

采用富氧改革冶炼工艺,是提高烟气中 SO_2 浓度的最好办法(见表1-3),国外采用新工艺冶炼铜精矿时,硫的利用率高达95~98%。中国如果把烟气 SO_2 利用率由目前的70%左右提高到80%,以1982年冶炼烟气实际制酸量为 $104 \times 10^4 \text{ t}$ (冶炼烟气制酸能力为 $120 \sim 132 \times 10^4 \text{ t/d}$)为基数计,每年可多产酸 $16 \times 10^4 \text{ t}$ 。

从表1-3看出,不论是传统的冶炼方法,如鼓风机和反射炉,还是新的冶炼方法,采用富氧后都可以大幅度提高烟气 SO_2 浓度。因此,应用氧气改造传统工艺或采用新的冶炼工艺是提高烟气中 SO_2 浓度、解决公害的根本途径。

3. 强化冶炼过程,提高熔炼强度

在冶金过程中,富氧空气(或纯氧)可以应用于:硫化物的氧化(焙烧、烧结、自热熔炼、吹炼);煤、煤气、重油的燃烧;氧化物的还原过程;金属的氧化,如粗金属的精炼、炼钢等。氧的应用,减少了过程中的氮含量,提高了炉温,强化了冶金过程。近年来,氧的应用促使各种自热熔炼方

表 1-3 各种冶炼方法用空气和富氧冶炼时SO₂浓度的比较

冶 炼 方 法	氧浓度, %	烟气中SO ₂ 浓度, %
苏联锌精矿沸腾焙烧	21	10.5
	31	14.4
苏联铜鼓风炉冶炼	21	1.3
	27.3	3.3
苏联生精矿铜反射炉冶炼	21	~1
	40	8.2
日本足尾闪速炉冶炼	21(热空气)	11.5
	40	33
加拿大纯氧闪速炉冶炼	95	80
诺兰达炼铜炉冶炼	21	7
	30.5~40	10~17.1
苏联熔池熔炼炉冶炼	68~75	~40
中国白银炼铜法	21, 31, 61	6.92, 11.26

法得以迅速发展。强化熔炼炉是一种熔炼速度快, 生产率高、单位容积基建投资少的设备。例如, 一台大型现代化碱性氧气转炉生产200t钢, 只需35min, 平炉炼钢则需要8~12h, 氧气转炉的生产率是平炉的30倍以上。闪速熔炼是将干炉料(含水0.1~0.5%)和富氧空气混合喷入高温炉内, 细粒和表面积大的可燃固体颗粒和喷入的氧混合, 产生强烈紊流, 使化学反应快速进行。测量结果表明, 在闪速熔炼黄铜矿精矿时, 喷入气流中的氧进入炉内2m处, 仅百分之几秒就基本反应完毕。熔池熔炼是向高温熔体鼓入富氧空气,

表 1-4 使用氧气强化各种冶炼过程提高生产率的比较

冶 炼 方 法	氧浓度, %	生产率 t/(m ² ·d)	用氧后的生产 能力提高, %
苏联高硫铜镍矿沸腾焙烧	21	41.4	76
	26	73	
苏联锌精矿沸腾焙烧	21	4.9	55
	31	7.6	
苏联铜鼓风炉熔炼	21	102.2	37
	27.3	140	
澳大利亚铅鼓风炉熔炼	21	22.3t/h	28.3
	23	28.6t/h	
苏联铅鼓风炉熔炼	21	57	14
	25	65	
苏联镍鼓风炉熔炼	21	33.7	22.3
	24.5	41.2	
炉渣烟化炉熔炼	21	24~25	32~49.6
	24~25	31.7~37.4	
苏联生精矿铜反射炉熔炼	21	4.6	14.3
	40	5.26	
日本足尾闪速炉熔炼	21	440	25
	41	550	
国际镍公司纯氧闪速炉熔炼	95	11.6	
诺兰达法炼铜炉熔炼	21	8.7	67
	30.5	15	
苏联熔池熔炼	68~75	100	
中国白银炼铜法	21	13.10(熔炼区)	58
	31.61	20.73	

剧烈搅拌熔体，从而达到强化冶炼的效果。氧气强化冶炼过程提高生产率的结果见表1-4。

从表1-4可见，各种冶炼法采用不同浓度的富氧进行冶炼，其生产能力都有不同程度的提高，年产量大的铜厂，富氧鼓风能增加精矿处理量并降低成本，经济效益提高最为显著。苏联的富氧熔池熔炼炉的熔炼强度高达 $100\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，为纯氧闪速炉 ($11.6\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) 的 8.6 倍，为空气反射炉 ($4\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) 的 25 倍，为热风闪速炉 ($7.5\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) 的 13.34 倍。富氧熔池熔炼，既具有普通闪速炉的优点（节能和 SO_2 浓度高），更有独自的特点：熔炼强度大，备料简单，烟尘率低，设备简单，适宜用来改造现有企业的传统工艺。锌精矿用富氧沸腾焙烧后，既提高了床能力，又改善了锌焙砂的质量，使焙砂中的可溶锌量增加，残硫降低。渣烟化炉用富氧空气后生产能力提高了 32~50%，使锌的挥发速度从 $16\text{kg}/\text{min}$ 提高到 $19\sim 23\text{kg}/\text{min}$ 。粉煤率由 25% 降到 20%，提高了锌的回收率，降低了弃渣含锌量。各种铜熔炼方法采用富氧后，冰铜品位都有提高，可降低转炉吹炼的能耗和耐火砖消耗，缩短吹炼时间，减少转炉台数，并可通过调节富氧浓度来较好地控制炉温。

氧气的使用加快了闪速炉在世界范围内推广的步伐，使闪速炉产铜量由 1970 年的 $30\times 10^4\text{t}$ 增加到 1980 年的 $150\times 10^4\text{t}$ ，到 1985 年可能增到 $250\times 10^4\text{t}$ 。1970 年苏联使用富氧熔炼重金属达 $110\times 10^4\text{t}$ ，1975 年达 $150\times 10^4\text{t}$ ，1980 年达 $250\times 10^4\text{t}$ 。

4. 提高经济效益

虽然，制取冶炼所需的氧气要耗用电能（一般电费占单位氧气生产成本的 50~70%），而且建氧气站的一次性投

资较大，但从整体分析，采用氧气冶炼所获得的总经济效益仍是合算的。国外实践结果表明，只要达到 $\frac{\text{每吨油的价格}}{\text{每吨氧气价格}} \geq 4$ 时，用氧代油便会收到一定的经济效果。再考虑氧气鼓风提高炉子的精矿处理量以及提高硫和金属的回收率等效果，则经济效益更大。下面是一些实例：

(1) 日本三菱公司为了提高铜产量和减少油耗，采用富氧和粉煤作燃料，在保持铜品位不变的条件下，提高了烟气中 SO_2 浓度，减少了烟气的体积、降低了耐火材料的损耗，冶炼费用减少30%，每吨粗铜的生产费用节省1万日元，使粗铜生产规模从月产4100t增加到7800t。

(2) 苏联在风口截面为 20m^2 的熔池熔炼炉上，采用68~75%的富氧空气处理铜炉料(21.3%Cu, 1.75%Ni, 34.27%Fe, 32.4%S, 6~8% H_2O , 0.69% SiO_2)。1979~1981年期间，据诺里尔斯克矿冶联合企业(НГМК)的资料，所得总经济效益超过800万卢布，其中在燃料、电力方面所节省的经费，每年达184万卢布，在该炉运转的330天中，作业系数为0.9的条件下，年经济效益达276万卢布。预算表明，用熔池熔炼炉取代一台反射炉，每年仅燃料一项就可节省450万卢布。

(3) 巴尔喀什炼铜厂(БГМК)是苏联最大的炼铜厂之一，采用反射炉熔炼精矿，用粉煤作燃料，1963年安装了一台 $3600\text{m}^3/\text{h}$ 的制氧机，采用富氧后，因燃料消耗下降，每年节约费用达24万卢布。

(4) 苏联乌斯季卡明诺伐尔斯克铅锌联合企业的炼铅厂(УКЦК)1958年在铅鼓风炉上采用含氧25%的富氧鼓风，所节省的焦炭成本，就完全可以抵消制氧的费用。用富