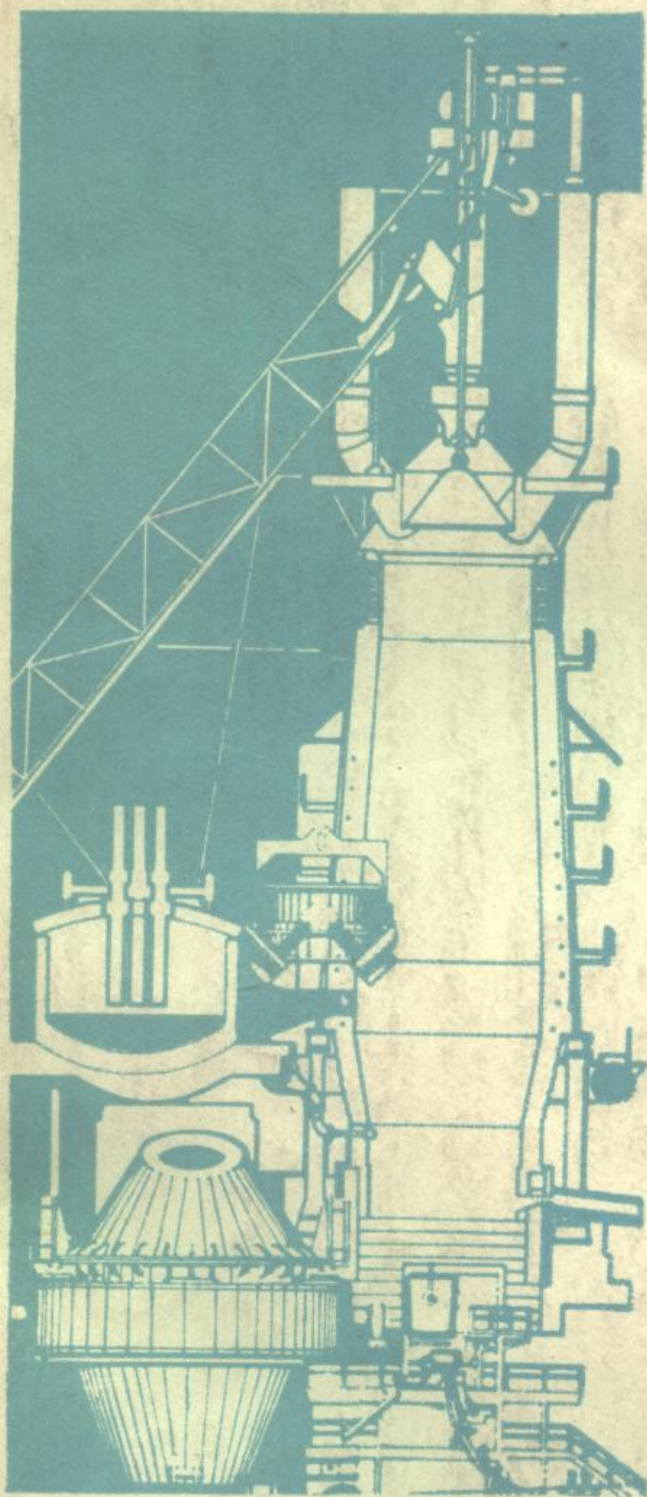


钢铁评论

2



科学技术文献出版社重庆分社

76.2082

钢铁评论 第2辑

中国科学技术情报研究所重庆分所	编 辑
科学技术文献出版社重庆分社	出 版
重庆市市中区胜利路91号	
四川省新华书店重庆发行所	发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂	印 刷

开本: 787×1092毫米1/16	印张: 5.50	字数: 14万
1980年11月第一版	1980年11月第一次印刷	
科技新书目: 182—139	印数: 1430	

书号: 15176·437

定价: 0.60 元

76.2083

144.1

22

目 录

应用系统工程的原理和方法.....	(1)
规划未来钢铁厂的决定性因素.....	(5)
炉渣的综合利用.....	(10)
炼钢电弧炉噪音控制的现状与展望.....	(16)
优质硅钢生产中的脱气问题.....	(27)
钢的电渣精炼.....	(30)
稀土金属在炼钢中的应用.....	(34)
连续铸钢的新发展.....	(56)
热轧时轧辊的工艺润滑.....	(66)
国外不锈钢丝生产的发展.....	(72)
新型中间罐钢液面控制装置.....	(15)
检测高炉内炉料温度用新型热传感器.....	(65)



应用系统工程的原理和方法*

Hermann Kottsieper

从青年到成年，人们都在致力于系统地做某件事情，如学习、完成作业、整理报告文献、从事劳动。所谓“系统地”，具体指的就是：

- 不应草率地着手某事；
- 不应一会儿一个想法；
- 应当专心于某事；
- 应当有始有终地探讨某一课题；
- 应当把某项工作进行到底（例如对学习的目的、报告的目的和作完工作后都应进行评价和检查）。

这正是工程师们已经了解到的对于通常的工作方法的要求。160年以来，在作战参谋的训练中就已系统地学习过用一些核心问题来着手探讨某个难题，也就是对下列问话作出圆满的回答：

谁？怎样？何时？什么？何处？为何目的？为何原故？

对这些参谋人员来说，“系统思考”成了他们日常工作中不可缺少的手段。可是，这种作法常常使人感到疲劳，原因就在于总是要提出所涉及的问题来回答、评价和作出决策。这一类强制行动的每一个行动都是勉强地完成的。但是，随着对实用性越来越清楚的了解，这种强制却能帮助我们更迫切地采用系统地思考和行动的方法学。这样，我们便可以怀着一种满意的心情来对某一决策过程进行粗略的分析。

系统，调节系统，控制，调整

并不是每一个从起因到结果（受控制的

影响）的过程都是一个系统。但是，也许人们能把这种过程考虑到每个系统中去。H. 萨克塞士为此而下了这样的定义（表1）^[1]：

一定数量的组成部分，其相互间的关系比周围事物更紧密，便可理解为“系统”。由于这种关系，便形成了与周围事物不同的统一体（如一群动物，一种昆虫，人体器官，一台电冰箱）；还可再加上：轧辊用电机驱动来进行轧制。

表 1 “系统”的概念

系统	
结构：例如	一定数量的组成部分
	相互关系
	不同于周围事物的统一体
过程：例如	起因———结果
	↑
	控制/调节

系统和周围事物的界限不是一个重要的标志。借助于明确划分的界限，在对某一系统作处理时便可排除外来干扰，使操作人员能把注意力集中在主要问题上。同时，也应该确定从更大整体的有影响的反映中得出的推导，这种与周围环境相分离的方法可以定义为系统包络。图1阐明了这一论点并表明怎样通过选择系统包络而从工艺系统中引导到所希望解决的那部份问题，此处则为一个摩擦分系统（粗箭头），或者以相反的顺序，就像以分系统来构成更复杂的阶段那样。

表2列举了更多的与系统有关的概念。其中特别列出了控制和调节的区别。性能这

* 系西德钢铁工程师协会设备技术分会第581号报告。

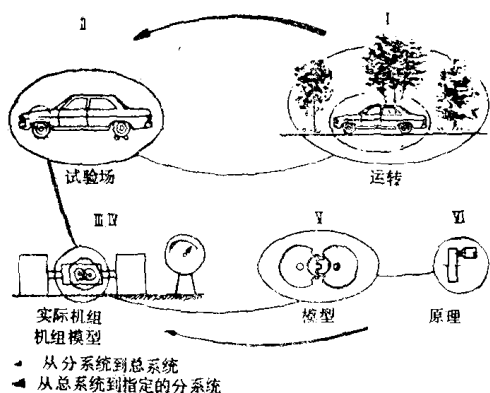
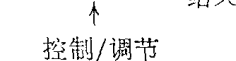


图1 系统包络的选择

表 2 系统、控制、调节等概念的含义

系统

结构：例如 一定数量的组成部分；相互关系；
不同于周围事物的统一体

过程：例如 起因———————结果

 ↑
 控制/调节

控制 = 外来影响
 例如 用理论值来进行控制；以理论值
 作为平衡条件；
 许多理论值 = 程序

调节 = 一个系统自身（系统所固有的）的机能，
 借助于循环作用来保持其特性值。
 循环作用倾向于保持平衡

模型 = 程序 + 学习
 学习 = 主动适应

个概念在这里不是指的“性能为主”，而是定义为：

性能是为了完成某种任务而对某个系统的输入、输出和状态参数之间的相互关系的抽象表现；人们通常是用名词和动词来对它作最明确的表达，例如“能量转换”或“起重”。

系统地思考是人类的本能，而且创造了文化。除了这种逻辑思维和逻辑连接外，在最近几十年内还发展了一种思考方法，叫全面思考法，习惯上使用一个固定的概念，称之为系统思考。这在较小程度上是从自然科学学科和技术学科中发展而来，而在更大程度上是从状态科学和生物学中发展而来，因为那里是时间状态，是动力学原理在控制作

用过程。由此可以推论，时间状态是几乎所有的系统——包括工程系统和机械系统——的特点。这一结论也同样适用于结构部件的动应力，动应力是这些结构部件的自然特性；纯粹的静力仅仅是一种特殊情况，即使这种情况与普遍的看法相反。

为了对时间状态的效果——例如输入和输出值以及开始和终了时间或者时间的变更——施加影响，以保持系统的平衡，需要进行控制或调节。

图2中示出的局部系统，应当作为一种处理系统来予以详细的研究。为能使此阶段（处理阶段）的过程得以进行，必须给这一处理系统再加上一个控制系统，即只有控制或调节二者合并在一起，才能成为一个完整的系统。输入到处理系统中去的东西，由一定数量的、与工艺过程有关的参数构成，这些参数一般都是以静态和动态的方式出现。静态参数主要是知识、组织机构、物质；动态参数主要是计划、任务或时间关系。在处理系统中输入的参数，经过转换后，便会得出一个结果。控制系统有三个机构：键控机构能观察到这一结果；调节机构包括确定必要的措施和确定各种值的校正量；活化机构则促使校正措施的实施。调节的前提条件是某些数值能被控制机构所利用，这些数值由键控机获得并被转换成测定值，实际上这些数值早已准备就绪，而且比较合适。

调节机构在表3中得到了更详细的说明。可以将它分为四个阶段。调节的第一个阶段

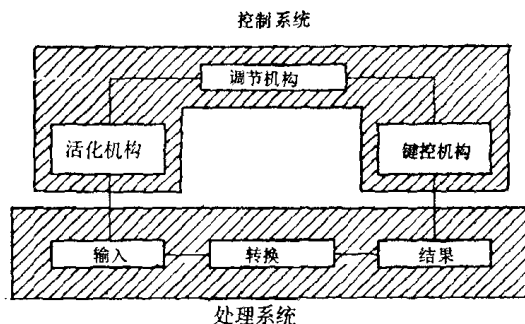
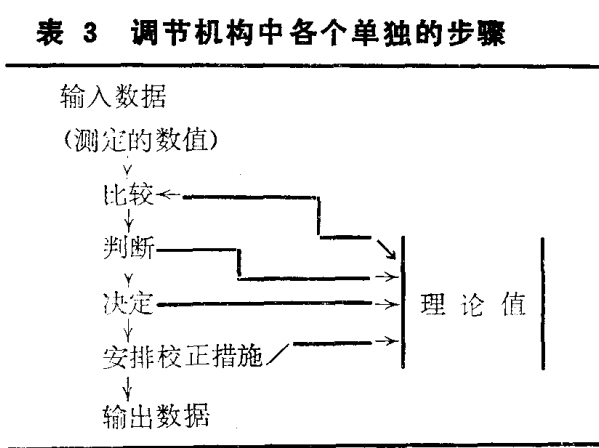


图2 在系统中具有反馈的调节回路

是不断地把测得的数值与额定值作比较（如工作量标准、质量标准和结构标准），紧接着便进行鉴定，在充分利用不断积累的经验的条件下，考虑如何来理解对已测得的数值的评价和权衡。理论值也会因已积累的经验而得以修正。

在作出判定以后，下一步便是确定校正措施，同时也就是作出决定。这是以突出某一理论值为前提的，该值有两个极限（公差范围）。假如已测得的数值超过了这两个极限，就必须作出决定。这种决定步骤对理论值也有影响。调节机构的最后一个阶段就是实现必要的校正措施。有时候在这一阶段也会出现不能实现某种必要措施的情况，在这种情况下用不着去修改理论值和调节范围。校正措施本身也可用活化机构来实施。



决策过程和系统工程

由于目前主要在技术方面的问题的增加速度要比解决这些问题的能力的增长快得多，而且需要解决的问题又相当复杂，这就要求人们在作决定时应该深思熟虑，就像钢铁工业中对设备系统的规划和使用那样。至于决定的质量则是另一个问题。应该迅速地作出能长期适用的良好决策。根据H. H. 科勒的见解，决策的准备必须是高质量的，原因是对错误判断的改进会越来越困难。对于基本准备，在经过粗略分析（如同随着上述问题的提出而经粗略分析所揭示的那样）后，

便会得出系统工程的方法，这将在下面的表中加以阐述。

表5中所列的系统工程的常用方法，可以补编入表4左边所列的处理问题时的作用范围中去。

本文不阐述这些方法的原理，仅就以下两个主要点予以说明：

在实际采用这些方法之前，总要事先权衡和评价其适用性。

就每一种决策准备而言，都有一种解决问题的主要方法可利用，如图4的右边所示。

系统工程在决策准备过程中的地位，示

**表 4 系统地处理问题时的
工作范围及主要方式**

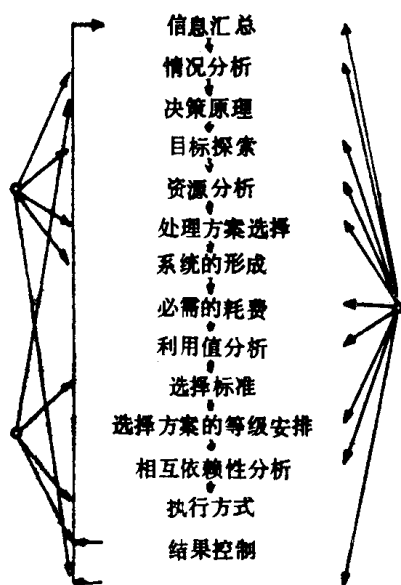
	问题处理	主要方式
1. 认识	问题和课题的准备	形成目标
2. 估计	估计将来的发展，(问题)目标，相应措施	状态分析 预见
3. 探索	措施及解决方法	问题的定义 方案分析
4. 对比	对可供选择的的不同解决方案(措施)进行评价	评价 决定的选择
5. 决定	决定行动	发展计划
6. 组织(管理)	决定转换/实施	实施计划

表 5 系统工程特有的方法

1. 准备问题的方法	4. 评价法
目标分析	相关方块图
利益组合分析	利用一成本一分析
状态分析	成本一效果一分析
2. 预见法	利用值分析
趋势分析	5. 任意法
三角图	决策者可能承担风险
图写	
模拟	6. 组织机构法
3. 探索法	条线图
脑力活动	网络图
形态学	信息技术
决策方块图	组合动力学方法
模拟	

于由H. H.科勒编纂的表6中, 系统工程(表内右边的小圆圈)为许多阶段提供了决定性的帮助, 但却不会取代决策者应作的一系列步骤。这样, 就要求决策者把相互关连的目标、处理间隙和时间间隙纳入其思维中。

表6 决策过程的模型〔H. H. 科勒〕



系统工程的行动可能性及界限

系统工程总是需要一个目标作为它应用的对象。它是面对未来, 面对行动和问题的一种科学性工作。根据对系统工程不断应用的结果, 如在宇宙航行和国防工程方面, 已经可以完全相信能从这一实用性的概念推导出全部问题。工程师们恰好遇到了这样的挑战, 但从另一方面也认识到, 即借助于系统工程的方法可以更好地利用思想和行动的恰当的本能, 用系统工程来系统地解决时间、费用、生产和社会学问题的前提条件是一种特殊的操作方式, 即设计机构或设计管理。这已在对系统地处理问题时的的工作范围进行讨论时提到过。

设计机构的任务有:

- 对某个设计项目的目的和机构作出了计划和安排;
- 通过协调, 获得最优化的结果;

- 在适当的时候采取正确的灵活性;
- 防止费用超过规定的界限。

对于一个参加设计的人员来说, 设计机构乃是情报和交流的纽带。这就要求设计负责人要有耐心和恒心, 因为相互的了解还是有其自然限度的。在一个集体中人与人之间的相互竞争还没有中断, 这就自觉或不自觉影响到人与人之间的相互了解。

应 用

——系统思考, 乃是一种全面考虑的思想方法;

——在作方案和决策准备时采用系统工程的方法; 以及为了使钢铁工业中复杂的工程技术在经济方面达到并控制在最佳水平上而给予帮助, 设计机构是最合适的部门。

通过上面的简单阐述, 我们应当消除对系统、调节循环、结构、决策过程、系统工程和系统管理等概念的畏惧心理。更确切地说, 这种方法已显示出它的有用性, 并且在一定的范围内得到了有条理的运用, 因而就比较容易达到企业管理工程师们的要求, 亦即:

- 控制复杂的工艺系统,
- 控制工艺技巧和方法, 与生产过程中各个岗位上的同事们进行特别密切的合作并进行信息交换。

卡尔·雅斯帕尔用一段值得深思的话对这一点作了强调:

“从知识的概念出发, 如果知识不必扩散到同样重要而又互不相关的领域中去, 那么, 各种认识对系统观点的综合作用就仅只是一种以事物的本质为依据的愿望。”

结 论

谁要是学会了系统地进行思维和行动, 谁就能应用系统工程的方法; 由于能进行分析和评价, 就会在日常工作和业务工作中获得巨大的收益。在钢铁工业中, 对综合性工程技术的规划和使用, 要求有一个决策过程, 这种过程会越来越困难和复杂。在决策

规划未来钢铁厂的决定性因素

Sven Eketorp

钢铁工业目前采用的技术是以几世纪来未曾改变过的老方法为基础的。拿鼓风炉炼铁法来说,在过去500年内就基本上没有什么变化。贝塞麦和凯利在120年前发明了转炉炼钢法,而我们的浇铸方法也大体上和120年前的相同。确实,难以相信的进展只是通过对原有的老技术不断改进才获得的。

此外,我们的研制工作或许有90%是对现有工艺过程中的缺点的逐步改正;作这些改正的目的是为了满足在质量、生产率或原料方面的要求。科学家并不是站在最前面来指点所要走的道路,而只是让他解释所产生的现象和问题,并提出补救办法。

自然,这些工作还必须继续进行。但是让冶金学家从严格应用科学技术的基本原理及可能性开始来发展新的工艺方法,难道是不可能的吗?在采用这种进取性的、非经验的、无偏向的方法的情况下,我相信可能有一些重要的新工艺方法被提出来。这种想法能从根本上改变钢铁生产过程。

我相信,未来钢铁厂的结构组成应当以许多不同部门的需要为基础。此外,所有这些应当同时予以考虑。最好的解决办法只有在满足了全部条件时才能找到。下面将讨论这些判据中的几个主要的。

冶金原理

冶金设想的明显基础是热力学和动力学。我们只需要考虑下面几个极为简单的情

的准备和实施中,系统工程的方法会提供极其宝贵的帮助。加上设计机构的配合,就能得到又快又好的解决方案。

况,就可以发现在应用我们的基本知识方面,我们已经是缓慢的了。

1.从热力学上说,Ni、Co、W和Mo的氧化物在氧位相当于铁熔池中含碳1—2%的情况时是能够被还原的。但是我们仍然生产合金元素含量高的镍铁、钴铁、钨铁和钼铁(从而不利于高金属活性的势垒)。我们这样做,耗费了大量的能源与资金,并造成不可原谅的环境条件。看来生产这种易还原金属的铁合金是不合理的。甚至Si、Mn和Cr的氧化物也并不真正需要我们在生产这些金属时所采用的极低的氧位(可比较一下在一定炼钢条件下所有这些金属从熔渣或内衬中还原到钢水熔池中的情况)。然而,象氧化物的高熔点这样一些动力学因素,可能需要在进入钢水熔池中以前在等离子体的还原气氛中过热。

2.氧化铁的预还原成FeO,可利用CO在大约80%的收得率下加以完成。而产出物中存在的金属铁绝不可能大于30%(见图1,点A及A')。

3. H_2 是在炼钢高温下有重大意义的还原剂,在该温度下能获得大约50%的还原率(图1,点B)。但是,迄今为止,氢仅用于低温还原,而在较低温度下热力学是极为不利的。如果有廉价电能可用的话,不利用碳而直接生产钢水是可能的。

4.还有什么能比宣称要使反应进行下去就必须降低反应产品的活度更为简单呢?可

宋德元翻译自«Stahl u. Eisen»,

1979, 99, №9, 458—461;

邓定华校对

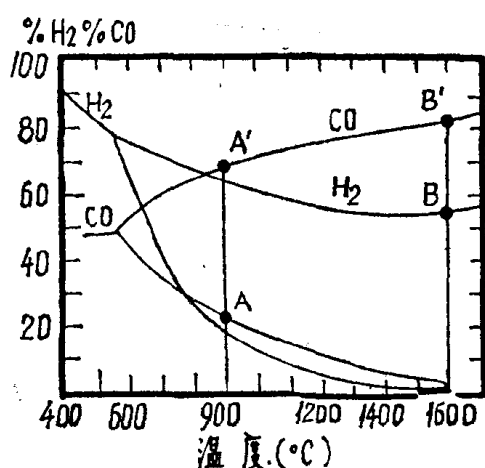


图1 用CO及H₂进行还原的热力学基础

是直到最近我们还往钢水熔池中喷吹CaO(或CaO + CaF₂),以增大硅的脱氧效果。而我们在工艺上实现下列明显的事实也不超过十年:为了使铬钢熔池中C比Cr先氧化,必须降低CO的分压(利用真空或用其他气体加以稀释)。这种简单的工艺规律本来在出现上述技术方法以前老早就应当由教授和科学家们指出的。

5.基本的动力学关系——费克第一定律——告诉我们:反应速度与表面积成正比,而与边界层厚度成反比。但是,我们在很多工艺系统中并没有利用这些事实。我们未曾利用细小的颗粒和有效搅拌的系统。我们在烧结装置上把细粒精矿或矿石烧结成块,在炼焦装置上把煤烧炼成焦炭并去除煤气,是因为这 对于在高炉炉身中应用它们是必需的,正如在过去必须使用块矿和木炭一样。但是,在炼钢和精炼过程中,我们已经利用了乳浊液、喷吹和有效搅拌。在凝固过程中,我们再一次自己满足于通过固体钢中长的扩散距离的缓慢传热。

如果我们严格遵守热力学和动力学的基本原理,我们肯定必须放弃许多构成目前钢铁工业基础的工艺方法。

原 料

推荐使用粉末状态的原料,并不只是出于动力学上的考虑。象烧结矿和焦炭那样的

人工原料的生产成本是可观的。因此有许多理由表明我们应当开始研究在还原阶段也使用粉料的方法,正如我们已在炼钢操作和精炼操作中使用粉料一样。

目前对我们所用原料施加了许多冶金学上的限制。高炉过程不能在其炉料中含有超过一定数量的锌和碱,而且磷会100%地还原到铁水中。这些事实使得不能把钢铁厂的许多产品返回到初始还原工序;而在其他情况下这种循环使用是正确的,因为钢铁厂里的炉渣中还含有一些铁。存在有上述元素而不使还原过程受到妨碍的那些些工艺过程,是肯定能够设想出来的。将来的工艺过程应当能够处理广阔范围的矿石和燃料。

钢铁厂的原料和能量的流动情况,目前是极端复杂的,每炼出一吨铁要耗用6—8标米³的空气,且不说50—100米³的水了。所有离开了工艺过程的产品(焦炉煤气除外)都是价值很低的东西。可以说原料的流动也说明现代综合钢铁厂的环境保护和基建投资问题。每炼1吨铁要从烧结装置及焦炉里排放出6吨含有SO₂和烟尘的废气和从高炉里放出2吨废气,这意味着需要安装许多昂贵的废气净化设备。

不使用烧结矿、焦炭和高炉、用氧代替空气的简单得多的工艺设备,是能够设想出来的。改进的潜力是很大的。

能 源

关于能源问题的讨论大多集中在如何才能达到最低的单位产品耗能量上。或许更为重要的是能源构成问题——即应当使用哪类燃料(煤、煤气、油、焦炭、电,等等)和所产生的能量应当以什么方式出现。这方面一个典型的例子是高炉在过去二十年中的演变:焦比大大降低,用重油、煤气或煤粉代替焦炭,同时稳定降低废气中所含有的能量并增加电的使用量,从而使得总耗能量几乎没有改变(然而这是很自然的,因为热损失几乎保持不变)。

生产铁水的工艺方法必须在高温下工作，在这种场合下所使用的全部燃料都会气化。因此有可能利用这些方法作为使煤同时气化的方法。在这些情况下可将能量流动情况安排成如图2所示的那样。在图中的第Ⅰ种情况下，进来的能量很大，但废气为有价产品，它最终能以气态或液态的形式供应给其他工业或供应给社会。在第Ⅱ种情况下，废气的能量被转换成电能回送到工艺过程中。

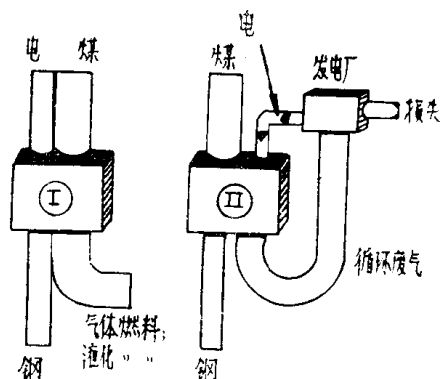


图2 炼铁或炼钢过程中能量的流动：Ⅰ——高的能量输入，有价值的废气；Ⅱ——低的能量输入，但能量被循环使用

所有从矿物燃料生产能量的方法，都一定要根据需要配合以一定的氧化条件以及由之而来的高的氧位。这是用燃料和氧气熔炼废钢失败的原因。在现在开始引人注意的等离子法中，通过使用电力和一种适当的气体，能在任何氧位下完成能量的供送。此外，现代一些等离子法不仅利用热分解，而且也利用高强度磁力和电力，从而对冶金工作者提供一种全新的工具。

生 产 率

炼焦炉、水泥窑、高炉和铁合金炉都是以吨计、而非以吨/米³或兆瓦/米³计的大型生产设备。在计算成本时，其生产能力只是需要考虑的特定数字而已。只有把设备尺寸增到令人几乎难以置信的地步，才会将建设成本降低。然而，已经有了一些快速炼钢法，在这些方法中能量强度很高，因而降低

了基建成本。顶吹转炉炼钢法或喷石灰吹氧炼钢法和熔炼废钢的感应炉是以3—5兆瓦/米³的速率进行操作，而高炉和电弧炉则降低到0.8—1.0兆瓦/米³。看来没有理由认为不能设计出具有与炼钢法接近的强度的新的还原法、废钢熔炼法和凝固法。

工作容积在4000米³以上的现代化巨型高炉似乎是令人惊奇的。但是，要想精确地控制这样大容积内发生的复杂反应是不可能的。对于精确测量和计算机控制而言，小而集中的反应区（拿高炉和高温等离子炉相比较）是较为适合的。

体积反应系统还有一个缺点：它的热容量太大。这本身意味着在开动阶段和关闭阶段的耗能量和热损失较大，并且改变生产速度的灵活性很小。未来的工艺设备或许必须满足下列要求：能够在短时间内开动和关闭。

凝 固

为什么要把每件钢产品标上它的炉号呢？肯定地说，这样做是因为有可能被要求查对它那炉钢的特定熔炼条件以及随后各道工序中所发生的全部情况。但是，这严峻地表明，我们所生产的钢的质量会遭受我们不能控制的一些因素的影响。应当说，在钢上标志以它的标准化标记就真正足够了。

我们的方坯和板坯目前在其成分和组织上显示有较大的偏差，这些偏差以后经过轧制和热处理而有所减小。在宏观尺度以及微观尺度上都显示出均匀性。所有这些都是由于我们的铸造方式和凝固过程中的问题。因为至少在对铸钢桶进行搅拌的情况下钢水是完全均质的。

凝固时的偏析取决于所谈到的合金系的热力学，而如果我们不能生产无定形材料，我们就不能抑制偏析。然而，如果采用10000—50000℃/秒的高冷却速度来代替目前通常采用的2—3°/秒，偏析能限制在0.1—1.0微米的短距离内。可是，只有小体积的金属

——即金属液滴——才能快速冷却，因为在这种情况下金属的表面积较大，得以迅速散热。

快速凝固的技术解决方案是很值得探索的。理想地说，冷却到液相线附近温度的金属滴应当能直接熔结成半成品，从而可以避免那种走弯路的办法：先生产粉末，然后将粉末冷压或热压成预形坯。

这种新的快速凝固方法将有一些很重要的优点：

1. 固态钢是各向同性的，因为它在凝固时没有取向作用。

2. 氧化物、硫化物和碳化物夹杂能均匀地分布在组织中，从而其危害可能小得多。可能出现的情况是，比现时高得多的氧、磷和硫含量是可以容许的，从而又直接影响操作费用。

3. 半制品产生裂纹的危险完全消除了，因为刚刚在金属滴熔结在一起之前发生了收缩。

4. 在具有极细铸造组织的情况下，不需要再通过轧制或锻造来改变和改进钢的组织了。现时关于最小变形量（通过压力加工获得的）的某些限制，是为了保证获得均匀组织而设置的。各种形式的金属加工都应当自然地集中在成形操作本身上面。生产具有一定成分和组织的钢则应当是炼钢工段和铸造工段的事。

我认为对于从矿石到轧制产品的一系列工艺过程都加以改进是最为迫切的。这样将能在操作费用和基建费用上获得很大的节省。

连续炼钢

尽管已作了很大的努力，连续炼钢尚未能大规模地应用。法国钢铁研究院已经提出了从铁水开始和从废钢开始连续炼钢的两个解决方案。我们在炼钢工序以前和以后的许多工艺过程是连续的或半连续的。

连续炼钢法的优点是显而易见的：

1. 按每个工时及炉子单位容积（米³）而言，和按设备投资而言，单位生产率都比较高。

2. 耗能量较低，收得率较高。

3. 系统是闭路的。

4. 耐火材料寿命较高。

5. 测量的可能性较好，因为具有时间的稳定态，而不是长度的稳定态。在连续炼钢法中，能每隔一定时间测量一次；而在非连续炼钢法中，测量实际上应当是连续的。

6. 控制环境的可能性较好。

连续炼钢法的缺点也是同样明显的：

1. 综合工艺系统易于遭受损害。

2. 难于小批量地生产不同的钢种。

3. 操作单调。

看来好象是这样的：拿连续炼钢法代替现有的氧气炼钢法或废钢熔炼法，其优点是不充分的，不足以代替现有设备。据我看，在我们已经找到一系列彼此在能力、反应速率、体积等方面多少有些类似的工艺过程以前，我们将不会有真正的连续炼钢。我们目前的各种设备并不真正适合于组成连续的作业线。

或许问题并不在于是真正连续的或不连续的，而是在于发展我们的分批作业法，使得有朝一日从分批法过渡到连续法只须跨很小一步就可以了。换句话说，我们要在可靠性、规则性、测量等方面有许多改进，然后我们才真正能够引入从矿石到钢材的连续操作法。

环境

世界上许多钢铁厂里的物理环境条件已经得到大大的改善。事实上确已作了很多工作，以至于钢铁厂内部和外部环境保护的费用迅速达到不可能再高的水平。也已经指出，除尘和冷却的需能量是如此之大，以至于在一次能源生产中的粉尘和 SO₂ 导致环境危险的全面增大。

解决这个难题的办法似乎是这样一种新

技术和新思想，即在产生污染的根源处设法解决环境问题。目前的努力在很大程度上是针对如何降低烟尘、高温、噪音、气流等的影响。但环境问题不是靠修建高烟囱、安装更多的滤气器、使用更大马力的风扇或采用有效的护耳器（或许使用内部能放送音乐的护耳器）来解决的。真正的解决办法要从下列几方面去找：完全取消产生烟尘特多的工艺步骤（烧结、炼焦）；在所有工艺设备中不再使用空气，从而大大减少烟气量；避免从炉内放出的铁水、钢水及烟气随意暴露在大气中，等等。

人的因素

人们常说，在世界各钢铁公司之间的竞争中，工资费用是一个重要的因素。因此，很难使人理解的是：为什么很少作出真正的努力来使人们工作得更有效一些。我们所作过的事，就是对每吨产品使用较少的人力。我们不曾考虑哪些事情人比机器作得好，而哪些事情机器比人作得好。人能预见、计划、感觉、合作、高兴和悲伤。但他通常被用来按电钮或拉把手。

未来的钢铁厂将比今天更多地采用计算机控制。我们所必须考虑的是人在这种控制系统中的地位，而不使他陷于单调的无意义的观察工作中。计算机站很可能是使人产生灵感的人类活动中心。但是，需要适当的连续的培训才能培养出一组能独立工作的可靠的计算机操纵人员。

在最近对瑞典钢铁工人的一次调查中，曾询问他们是否认为他们的工作是有趣的和令人鼓舞的。38%的人作了肯定的回答，而58%的人作了否定的回答。其结果示于表1。肯定以及否定的回答都是很有启发性的。如果我们要想有较好的人的条件，那末我们所必须做的就是真正遵循上述启发性指示。钢铁厂工作人员的精神必须被吸引到现代化技术上来。

在目前的操作中，成功的度量标准是公

司的净收入。我们需要有更复杂的度量方法，如果我们要说明操作的实际情况的话。操作人员的技能以及研究与操作部门的创造性是怎样评价的？因故缺勤的雇员所占的百分比现在已能详细地加以研究。责任与职权必须分配到每个人。在这些方面所作的努力可能比任何技术改进都更有实效。

表 1

肯定的回答 (38%)	所占%
任务多变的工作	31
独立进行的工作	18
一直要学习新东西的工作	11
负责任的工作	8
优秀工人	5
好工长	3
好经济人员	2
否定的回答 (58%)	所占%
单调的工作	52
坏的物理环境	22
三班倒的工作	5
与经济问题有关的工作	2
处理与工长有关的问题的人	2
其工作不可能有何改进者	1

工厂的设备与布置

现代化钢铁厂建设成本中两个重要的项目是环境保护费用和起重机费用。起重机多半能决定建筑物（厂房）的结构和容积。

当矿石、煤、石灰、合金等原料为粉状时，和当废钢是全部破碎成小块而能用自动运输设备运送时，整个运输系统都会改变。这是很重要的，因为炼钢和金属加工有大量运输问题。此外，铁水和钢水能采用压力管道运输或磁流体动力学管道运输。由于环境原因及质量原因，需要采用密闭系统。

全世界钢铁厂厂房看去都十分相似，尽管当地条件有很大的不同。在设计钢铁厂厂房而使得能够避免采用目前的丑陋的矩形盒子式结构时，我们需要有较多的想象力，现时的厂房是在所有操作中都使用起重机时的产物，并具有很低的空间利用率。为什么我们的车辆必须在屋顶上而不是在地面上行走，这难道真有充分的理由吗？为什么我们不把我们的许多工艺设备（例如制氧机）作

炉渣的综合利用

刘 清 云

随着钢铁工业的发展,钢铁厂在冶炼过程中排出的废渣也在不断增加,每炼一吨生铁所产的高炉渣,最多的达1000公斤,最少的也有300公斤左右。日本高炉渣每吨生铁约300公斤,转炉渣每吨约130公斤,1976年共产渣4200万吨^[2]。据报导,1977年世界高炉渣产量约为10800万吨(按生铁产量的23%计算),钢渣为4700万吨(按钢产的18%计算)^[3]。如此大量废渣如不设法加以利用,不仅浪费自然资源和能量,而且需要占用大面积的土地来堆放,这不仅影响生产,而且也影响环境,从而造成公害。以苏联为例,截至1967年初,已堆积了3亿吨冶金渣,共占地3000公顷^[1];仅苏联的马格尼托哥尔斯克钢铁公司,炉渣已堆积一、二平方公里^[4]。另外,炉渣的厂外弃置也需要投资。因此,各国对炉渣的利用非常重视,美日等国为此

都成立了矿渣协会等组织。一些国家如英、法、日等从60年代初新建的钢铁企业,在建厂的同时,即建设有废渣加工厂和水泥厂、硅酸盐制品厂等利用废渣的工厂。

炉渣的性质^[2]

1. 化学性质

一般炉渣主要由氧化钙(CaO)和二氧化硅(SiO₂)组成,而高炉渣中还有氧化铝(Al₂O₃)和氧化镁(MgO)等,平炉渣和转炉渣中还有氧化镁(MgO)、氧化锰(MnO)和氧化铁(FeO)等。它们的化学组成与沉积岩和硅酸盐水泥的成分相似,见表1。

2. 物理性质

炉渣的物理性质与天然骨料相似,高炉

表 1 炉 渣 的 成 分

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	S	MnO	TiO ₂	游离石灰
高炉渣	33.4	41.0	14.5	0.4	0.6	1.	0.7	1.5	
转炉渣	10.9	42.9	1.5	20.7	7.2	0.09	5.2	1.4	
平炉渣	15.6	41.3	2.2	20.0	6.9	—	11.2	0.5	3.3
电炉渣									
氧化渣	25.2	40.4	4.8	18.5	3.7	0.06	6.5	0.3	—
还原渣	28.2	49.4	11.8	2.1	7.6	0.26	0.2	痕量	—

为结构元件来利用呢?

钢铁厂的规模本来就是一个有待考虑的重要问题。应当从大型钢铁厂的优点开始作认真的讨论。小型钢厂在技术上和经济上是有效的,这有许多原因,例如建设周期短,有固定的市场,生产量稳定等。这些判断标准

也可转用于从矿石和煤开始的一般钢铁厂。

位于城镇内部或附近、距职工住处不远(可步行或乘自行车上下班)的多产品小型钢厂,最后或许不是太遥远的事。

阎庆甲翻译自《Iron and Steelmaker》,

1978, 5, №12, 37—41

缓冷渣、钢渣表面粗糙，有凸凹和棱角。

比重 高炉渣的比重比天然骨料小些，而钢渣较大

吸水性 高炉缓冷渣比天然骨料要高些，而钢渣反而要低些。

耐热耐火性和绝热性 高炉缓冷渣和钢渣耐热耐火性和绝热性都好。

国外应用炉渣的历史^[1,3]

早在古罗马时代，英国即曾用炉渣筑路。

表 2 炉渣应用史^[2,3]

年代	国别	矿渣用途
罗马时代	英国	筑路
罗马时代	英国	玻璃染色剂(深绿色)
1589年	德国	铸型涂料，铸渣炮弹
1652年	英国	码头建设
1728年	英国	建筑用砌块
1761年	瑞典	建设用砌块
1761年	德国	与石灰配制灰浆
1822年	德国	制矿渣水泥
1830年	美国	筑路
1840年	英国	制矿渣棉(在威尔斯)
1859年	德国	与石灰一起制砖
1866年	美国	铺碎石路
1873年	美国	制矿渣棉
1873年	德国	制硅酸盐水泥
1873年	英国	与石灰一起制砖
1875年	德国	制矿渣棉
1875年	美国	铁路道碴
1879年	英国	大体积混凝土
1880年	美国	大体积混凝土
1885年	德国	铁路道碴
1888年	美国	砌块路面下的底层
1890年	英国	铁路道碴
1892年	德国	钢筋混凝土结构
1892年	德国	制铁质硅酸盐水泥
1897年	美国	钢筋混凝土结构
1899年	美国	污水处理结构的基床
1904年	美国	沥青屋顶材料
1908年	美国	筑焦油碎石路
1910年	日本	制石灰矿渣水泥
1913年	美国	制沥青混凝土
1925年	日本	制矿渣水泥
1955年	日本	制硅酸盐肥料

后来英国又曾用炉渣作玻璃的染色剂(深绿色)。在1589年德国最先用高炉渣作铸型涂料和铸渣炮弹；1652年英国开始在码头建设上使用转炉渣；1728年英国研究在建筑物上使用热铸砌块。十九世纪以后，炉渣的应用不断扩大(见表2)。

进入二十世纪后，1911年德国用熔融的高炉炉渣制成膨胀矿渣。1912年美国在道路建设中应用了矿渣混凝土。在第二次世界大战以后，西德、美国等国所产的炉渣已供不应求，钢渣也逐渐被人们所重视，部分代替了高炉渣。在产品品种上，除矿渣碎石、水渣、矿渣棉、膨胀矿渣外，还有铸石、陶瓷、微晶玻璃、农肥、水泥等。目前，有许多重要的工程采用矿渣作建筑材料，如美国钢铁公司新建的64层办公大楼、底特律的红河桥、芝加哥的100层琼·汉可克大楼等大部分采用矿渣制品。

炉渣的种类^[2]

炉渣大体分为四种：一种为熔渣经缓冷后形成岩石状物质，即缓冷渣；一种为熔渣经过半急冷处理后成为半结晶状的膨胀渣；一种为经大量冷水进行急冷形成的玻璃粒状的水淬渣，也称粒渣；最后一种是熔渣用蒸汽或压缩空气喷射急冷处理而成的矿渣棉。

炉渣的综合利用

1. 块状建筑材料

人造石 在熔融的炉渣中加入硅砂和苏打灰，然后调整其粘度和成分，铸入模中制成玻璃和陶瓷状的人造石或炉渣陶瓷制品。苏、英等国已进行了研究，日本在1945年以后达到产品规格。人造石具有耐磨、耐腐蚀等特性，并具有高温强度，可代替一部分金属、合金、木材和橡胶制品，可用来制造矿井支护、隧道筒板等耐压构筑物。

矿渣砖和矿渣砌块^[2,3] 用粒渣和渣粉热压成型，制成渣砖和轻量砌块。

2. 矿渣棉^[2,5]

将熔融的炉渣用压缩空气或蒸汽喷吹造成矿渣棉。它具有绝热、抗腐蚀、吸音抗冻和吸湿等特性，可作幕墙、保温材料、石棉纤维板、滤器等。苏联用矿渣棉和沥青混合轧成高效防水材料，因此材料制成的管子，可用来敷设电缆或作下水道用。

3. 砂石材料代用品

建筑工程中砂石用量很大，美国每年需25亿吨，日本1970年达到每人每年平均5吨。因此，不少国家都在研究怎样把炉渣作为砂石的代用品。例如，美国用作混凝土骨料的炉渣量每年达到1000万吨。不少国家已用炉渣作为混凝土骨料修建十层以上的大楼与大跨度桥梁等高大建筑物。

炉渣比天然砂石优越，强度相近，但是重量轻（炉渣比重为1.7，砂石为2.3），并有隔音保温、防潮、抗裂的特点，可制成各种预制构件，包括建筑物用的大型壁板和砌块。

日本也很早就用高炉缓冷渣作混凝土用的粗骨料。由于高炉缓冷渣表面气孔多，易与水泥浆粘着，因此使混凝土的强度大，遇热强度降低小，热传导率也小。

4. 混凝土粘结料^[5,7]

用粒渣、缓冷渣可以制成无熟料的粘结料，用这种粘结料能制造标号强度为75—600公斤/厘米²的各种混凝土。生产矿渣粘结料的设备投资要比生产水泥的低2/3至3/4；而且生产成本也低。有时能用来代替混凝土中的熟料水泥达65%。这种混凝土可作人工鱼礁^[8]。

5. 加固地基用材料

将高炉渣破碎至20毫米以下，或者用水碎渣作为砂桩材料，具有很好的抗剪切性能。另外，转炉渣比天然砂硬度高，也可以

作为砂桩材料。为了稳定软弱地基的1—3米深的表层，使用水碎渣加石灰，使之混合、水化，固化，效果良好。在现场施工采用廉价的水淬渣是比较经济的。为了提高反应性，使用作为矿渣水泥原料的水淬渣的粉末较好。

6. 铺路用材料

美、英、西德、日本等不少国家已用炉渣铺路。美国用于铺路的炉渣每年将近500万吨。高炉炉渣和转炉炉渣可作路基材料使用。经过整粒的炉渣，加水淬渣和消石灰，用于铺路基，能保持高强度，法国在大量使用。

用高炉缓冷炉渣作骨料的沥青混凝土路面，抗滑性能和耐久性能好。英国已对这种材料订有标准。另外，较炉渣硬度较大，美、英等国也在使用。

7. 铁路道碴^[2,5]

美国高炉渣15%用作铁路道碴，英国矿渣78%用作道碴。西德每年约有400万吨钢渣用作铁路道碴。以水硬性的高炉渣筑铁路路基效果良好。它的优点是：可防止路基下沉，能形成半刚性板，使路基负重分散；防水性强，可防止道床软化，并减少松散度；维护简便。

8. 住宅用地、道路、管道敷 设用的填充材料^[2,8]

高炉缓冷渣与水淬渣可用作住宅用地和道路的填充材料，美国用水淬渣埋设上下水道和石油、煤气管道，水淬渣在管道周围保持弱碱性，可防止管道腐蚀。

9. 海湾工程材料

由于钢渣的比重大，能耐海水冲击，并能防止海水带走含砂土壤。此外，钢渣块度可大小配合，不需要加工，适用于海湾工程，象荷兰就用得较多。日本广泛使用高炉渣作海湾堤坝的心墙材料；1974年在海湾工

程中使用的高炉渣达93万吨。最近用高炉渣水泥制成三脚砌块，堆放在放浪堤部分，保护堤坝。

10. 微晶玻璃

近20年来，炉渣微晶玻璃已经成为用途广泛的新型无机材料。1961—1966年，苏联制成这种玻璃，其组织与一般玻璃(非晶体)不同，微细显微结晶构造也与陶瓷材料不同。它的重量比铝轻，具有耐热、防腐蚀、抗弯曲性，而耐压性、耐磨性和绝缘性也良好。它可代替铸铁、钢、有色金属、玻璃、陶瓷、混凝土、铸石、大理石、花岗岩、木材等。它的用途很多，可作导弹锥体的头罩、高温下工作的真空电子仪器的护罩、滚珠轴承、内热机另件和金属耐热复层、纺织机导纱器、合成纤维拉丝模、燃气轮机叶片、喷气发动机喷嘴以及运送冶金焦、烧结砂用的溜槽衬砌等。其使用寿命很长。微晶玻璃的原料主要为：高炉渣50—65%，石英砂20—40%，泥0—12%，硫酸钠4—6%，碳1—3%，结晶催化剂10—12%。结晶催化剂为氟化物、磷酸盐及钨、钛、锰、铁、锌、钒等多种金属氧化物。微晶玻璃的体积重量为2.5—2.65克/厘米³，抗压强度为5000—6500公斤/厘米²，抗弯强度为900—1300公斤/厘米²。它主要在苏联和罗马尼亚生产，美、法、波、捷也有生产。其缺点是建设费用高^[3]。

11. 矿渣宝石

日本广畑钢铁厂利用炉渣制成五颜六色的人造宝石。其方法是把炉渣重新熔化，掺上氧化钴等添加物，冷却后制成原石，硬度为5级。它可制作领带别针、妇女戴的项链、戒指、钟表外壳和打火机外壳。

12. 制水泥用原料^[2, 12, 13]

高炉水淬渣的粉末与硅酸盐水泥熟料混合，再加适量的石膏，并予以粉碎，即制成高炉矿渣水泥。含50%高炉水淬渣的矿渣水

泥的性能与中等硅酸盐水泥相同。1976年日本矿渣水泥用量占整个水泥用量的4%。用高炉渣作水泥原料可节约燃料和石灰石。这种水泥的优点是初期的水化热低，适于建造堤坝和制作大型混凝土构件。由于它的耐蚀性强，更适合于构筑水下工程和海湾工程。另外，这种水泥的耐热性好，长期强度也高。在法国和捷克斯洛伐克，水淬渣的配比一般用15%。

此外，炉渣也可作水泥熟料的原料，炉渣中含有 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等，所以它在配料中可以代替部分粘土和石灰石，用它作熟料的配料可以节约粘土和石灰石。同时也节约燃料，生产1吨硅酸盐水泥需86升重油，而生产1吨配用50%水淬渣的矿渣水泥只需50升重油。据计算，如果用水淬渣完全代替熟料中的粘土，每吨水淬渣可节约重油6.45%；日本全年生产8000万吨熟料，每年可节约46万升重油。

13. 肥料和土壤改良材料

钢铁渣作为综合肥料，1976年日本使用了约60万吨。炉渣肥料以水田用的硅酸钙肥料为主。这种肥料对水稻有助长作用，使叶、茎强壮，有助于抗病虫害、冷害和倒伏等。

平炉渣含有钙、镁、磷、硅及其他多种对农作物有营养价值的元素。是生产钙磷肥的原料。氧气转炉渣多作钢渣磷肥，美国1968年用了560万吨钢渣作肥料。苏联报导，一亩地施用了330公斤平炉渣，可增产小麦45公斤。

炉渣肥料除了具有肥效之外，还有改良土壤的效果。一般土壤酸碱度达到5.5—6最好。渣中含有氧化钙、氧化镁，对酸碱度在5.5以下的土壤的改良较为有利。用炉渣肥料比用碳酸钙作土壤改良剂能增产30%。

炉渣肥料含硅酸、磷酸较高，也含有氧化锰和微量元素。所含磷酸可以使土壤中的氮、钙、钾发挥作用，所含铁分可防止稻瘟

和枯叶病。

另外，炉渣肥料可使大蒜和洋葱产量提高一倍。日本莱佛公司研制用炉渣加鸡粪和细菌群制成炉渣混合肥料——菌肥。用此肥料栽培大蒜，每十公顷的产量为过去的1.63倍；用于洋葱，每十公顷产量为过去的1.8倍^[14]。

14. 用炉渣代替砾石和砂子

栽培农作物^[11,15]

在水栽法中用洗净的炉渣栽培农作物效果很好，因为它能固定植物根部、保持水分。另外，日本利用炉渣代替砂子栽培秋葵成功，因为炉渣里含有钙，所以同普通秋葵相比，钙的含量增加将近2倍。

15. 从炉渣回收铁^[2,5,6]

高炉渣一般含有1—2%的铁，平炉渣含有5—10%的铁。1963年苏联从炉渣中回收铁近60万吨，在处理旧渣堆时每年还可回收200万吨。美国在1976年从炉渣中回收铁61万吨。电炉渣含金属量也很多，回收方法主要是将炉渣破碎后进行磁选。

16. 钢渣用作高炉原料

料^[5,16,17]

平炉与纯氧顶吹转炉所产生的炉渣，如果适当地在高炉上加以利用，不仅解决了炉渣的处置问题，而且还大大节约了高炉用料。苏联下塔吉尔钢铁厂在高炉中使用平炉渣，后者含铁25%，金属夹杂物10%左右。渣的碱度也高。如果在每吨高炉炉料中加入150公斤平炉渣，可代替烧结矿45—75公斤，减少生石灰10—15公斤。而且生铁磷含量也符合标准。美国阿姆柯钢铁公司的阿什兰钢铁厂将纯氧顶吹转炉炉渣经高炉再循环使用，每吨生铁用钢渣109公斤。加拿大钢铁公司1972年8月以来，一直将平炉渣和顶吹转炉炉渣的混合物作为高炉原料使用。钢渣用作高炉原料的优点是：可回收钢中的铁和

锰，并利用渣中的氧化钙和氧化镁。

17. 用作球团矿原料^[18—20]

瑞典将18%的高炉渣、18%的高炉灰、24%的轧钢氧化皮和40%的氧气转炉炉尘相混合，并加一些碎焦末和粘合剂，制成冷粘球团矿。其性能很好，压缩强度可达322磅。

18. 炉渣废水在医学上的应用^[21]

合理利用高炉渣排出的废水，可提高炉渣综合利用的效果，由于炉渣废水温度较高，并含有矿物盐和硫化氢，因而能有效地用于治疗。1932年苏联彼得罗夫斯克工厂就修建了一座炉渣废水浴治疗所。目前这种治疗所已推广到苏联许多冶金工厂。炉渣废水对于下列疾病具有显著疗效：支持运动器官（关节、骨骼、肌肉）的非结核性慢性病，末梢神经系统疾病（坐骨神经痛、神经根炎、神经丛炎及其它），慢性妇女病，皮肤病（鳞状苔藓、神经性皮炎及其它）。对变形性关节炎的治疗效果可达80%；传染多发性关节炎可达65—70%；鳞状苔藓达70%。下塔吉尔水泥厂浴疗的870名病例中，78%的病人健康好转，0.6%的患者病情恶化。

按炉渣种类区分，可将炉渣的用途归纳如下：

（1）高炉渣

1. 缓冷渣（块状）：

修筑道路（用作表层、路基、填料）和用作铁路道碴

混凝土骨料

海湾工程材料

地基改良材料

碎石

水泥熟料原料

硅酸石灰肥料

矿渣棉

其他（玻璃、瓦等）