

平 炉 钢 渣 综 合 利 用

《平炉钢渣综合利用》编写组

平炉钢渣综合利用
《平炉钢渣综合利用》编写组

*

冶金工业出版社出版
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 印张 4 1/2 字数 98 千字
1979年4月第一版 1979年4月第一次印刷
印数 00,001~6,300 册
统一书号: 15062·3414 定价 (科三) 0.38 元

目 录

第一章 平炉钢渣概述	1
第一节 钢渣综合利用概况.....	1
第二节 钢渣的形成.....	2
第三节 钢渣的性质.....	4
第二章 平炉钢渣水淬	11
第一节 钢渣水淬的特点.....	11
第二节 钢渣水淬工艺流程及参数.....	11
第三节 钢渣水淬的技术问题.....	17
第三章 钢渣在钢铁生产中的应用	20
第一节 钢渣在烧结生产中的应用.....	20
第二节 钢渣在炼铁生产中的应用.....	25
第三节 钢渣在钢铁生产中应 用的几个问题的讨论.....	29
第四章 钢渣砖	31
第一节 钢渣砖的原材料.....	31
第二节 钢渣砖配合比的选择.....	34
第三节 钢渣砖的生产工艺.....	38
第四节 钢渣砖的检验方法和标准.....	48
第五节 钢渣砖的物理力学性能及耐久性.....	52
第六节 钢渣砖的应用.....	55
第五章 钢渣水泥和混凝土	57
第一节 钢渣水泥的配合比.....	57
第二节 钢渣水泥的水化硬化.....	58
第三节 钢渣水泥的强度.....	61

第四节	钢渣水泥的物理力学性能·····	70
第五节	钢渣水泥的养护·····	77
第六节	钢渣水泥的钢筋锈蚀·····	78
第七节	钢渣水泥砂浆、混凝土及构件·····	88
第八节	钢渣水泥的生产和应用 ·····	111
第六章	钢渣在农业中的应用 ·····	119
第一节	概述 ·····	119
第二节	钢渣磷肥和钢渣粉肥的肥效 ·····	121
第三节	钢渣肥效和土壤的关系 ·····	130
第四节	钢渣磷肥和粉肥的加工利用 ·····	132
第七章	钢渣在道路工程中的应用	
第一节	钢渣的性质 ·····	134
第二节	施工工艺 ·····	135
第三节	设计参数 ·····	137
第四节	钢渣在道路工程中的应用情况 ·····	137

第一章 平炉钢渣概述

第一节 钢渣综合利用概况

随着吹氧技术在炼钢生产中的应用，钢的冶炼周期大大缩短，由于钢产量增加，渣量也显著增多，并且出渣频繁，如用渣罐接渣运至渣场弃倒，往往因排渣不及时影响出钢。近年来，美国、法国、加拿大、西德等国家都在进行钢渣炉前水淬和新的干法处理工艺的研究。

一九七〇年，马钢第一炼铁厂试验成功了平炉钢渣水淬生产线，实现了钢渣炉前水淬，采用了平炉钢渣处理新工艺。此后，天津一钢厂、湘潭钢铁厂、上钢三厂、成都无缝钢管厂等也都采用了钢渣水淬工艺。

实践证明，钢渣的水淬工艺是炼钢生产的重要环节，它促进了钢铁生产，并为钢渣的综合利用创造了有利条件。

近几年来，上海、马鞍山、鞍山等地区的建材系统和钢铁企业，在平炉钢渣的综合利用方面，做了大量工作，积累了不少经验。马钢、湘钢等用钢渣代替石灰石和白云石，作烧结和高炉的含铁熔剂直接用于钢铁生产，取得了良好的技术经济效果。

马鞍山、武汉、上海、湘潭、鞍山等地用平炉钢渣生产砖和水泥，其标号均能满足建筑需要。

马鞍山、武汉、鞍山等地曾将钢渣经磁选、磨细后作成肥料，支援了农业。钢渣肥料用于酸性土壤其肥效较好，对中性和微碱性土壤也有一定的效果。

此外，在钢渣中一般均含有5~10%的钢，在钢渣综合利用的同时可进行回收。在水淬钢渣中，渣和钢为自然分离的小颗粒，用磁力选矿机可以很容易地把钢粒选出来。鞍钢曾用无介质自磨机处理块状钢渣以回收废钢，取得了良好的效果。以全国来说，每年可从渣中回收近百万吨的废钢铁，相当于年产几百万吨矿石的矿山和相应的采矿、选矿、烧结和炼铁的产量，这对加速发展钢铁生产具有一定的意义。

武汉、上海等地用平炉钢渣修筑道路基础和中级路面，几年来铺筑道路约三十五万平方米，使用钢渣约二十五万吨，取得了良好的技术经济效果。马钢等还从钢渣中提取钒等稀有金属。

近年来，虽然钢渣的综合利用工作取得了一定的成绩，但是还有一些问题没有完全认识清楚，尚有待于今后从实践和理论的结合上进行更为深入地研究。

我们相信，经过反复实践，钢渣的综合利用工作一定會在较短的时间里取得更大的进展，为迅速发展钢铁生产，在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义现代化强国，做出新的贡献。

第二节 钢渣的形成

钢和铁的主要组成都是铁碳合金，两者的主要区别在于碳（C）量和杂质含量的多少。

生铁的含碳量在1.7%以上；钢的含碳量在1.7%以下，并含有锰（Mn）、硅（Si）等元素，其含量应控制在允许范围之内。

下面介绍碱性平炉钢渣的形成过程。

平炉炼钢过程是在高温下把炉料熔化成两个互不溶解的

液相，将钢和其他杂质分离。这里所说的杂质即为钢渣。它浓聚了炉料被氧化后所形成的氧化物。炼钢过程一般是通过控制钢渣来进行的。造渣制度是否适当，对钢水中杂质的去除速度和程度有很大的影响，另外对冶炼时间和炉体寿命也有一定的影响。

平炉炼钢的冶炼过程大致分以下几个阶段：补炉、装料、熔化、精炼、脱氧及出钢等。从炉料熔化起，钢渣就开始形成，一直到出钢为止。在每个阶段中，钢渣的性质是有很大的区别的。

由于冶炼时炉墙内壁、堤坡、炉底等部位遭受着机械的破损，并受钢液和钢渣的侵蚀及高温的作用，而发生不同程度的破坏，所以要补炉。补炉所用的材料一般是白云石，因此，钢渣中氧化镁 (MgO) 的含量较高。

冶炼开始后要装入大量的铁矿石、轻废钢、生铁、石灰石等原料。加热后兑铁水，铁水中一般含有磷(P)、硫(S)等杂质。为了除去磷、硫、硅、碳等元素，要进行激烈的成渣作用。

兑入铁水后的熔化初期，熔池的温度较低，碳的氧化并不剧烈，同时由于石灰石或石灰还未完全熔解，渣中氧化钙的成分不高，这时要及时放出大量的渣，这种渣称为初期渣。

初期渣是一种 FeO 和 SiO_2 含量较高的酸性渣，容易侵蚀炉床，必须大量地及时地放出炉外。大量地放渣有利于炉料的迅速熔化，缩短熔炼时间。随着酸性渣的放出，约有50%以上的磷和20%的硫排出炉外。初期渣约占渣量的40~60%。这对提高渣的碱度，减少石灰用量及去磷去硫具有决定性的作用。熔化后期，金属和钢渣中还含有较高的硫和部分磷。平炉去硫要求钢渣碱度高、流动性好、熔池温度高、沸腾要

强烈。在精炼期（矿石沸腾和纯沸腾）除加入石灰外，还要加熔剂。在精炼期放出的渣称为精炼渣，约占渣量的30~40%。精炼渣的碱度较高。

在出钢时随着钢水一同排出的高碱度的渣称为出钢渣，约占渣量的10%。浇注钢锭以后剩余在钢包中的渣称为浇钢余渣，此渣数量很少。

第三节 钢渣的性质

钢渣的性质包括化学成分、矿物组成和主要的物理性能。钢渣的性质变化很大，它受炉料、熔炼的钢种及操作的方法等许多因素的影响。

钢渣按冶炼过程一般可分为：初期渣、精炼渣、出钢渣、浇钢余渣。有的将后三种渣统称为后期渣。

钢渣按形态区分有：水淬粒状钢渣、块状钢渣和粉状钢渣。虽然各地的钢渣其性质相差很大，但同一类型的钢渣仍存在着相似点。

一、钢渣的化学成分

钢渣的主要化学成分有： CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 P_2O_5 等。有的钢渣还含有 $f\text{-CaO}$ 、 V_2O_5 、 TiO_2 等。

钢渣的主要成分来源于以下几个方面：

- （1）金属炉料中各元素被氧化后生成的氧化物及硫化物；
- （2）侵蚀的炉衬及补炉材料；
- （3）金属炉料带入的杂质如泥砂；
- （4）为调整钢渣性质所加入的造渣材料如石灰石、铁矿石、萤石等。

我国主要钢厂平炉钢渣的化学成分波动范围见表1-1。

钢渣的利用范围，一般以其化学成分为依据。氧化钙含量高的钢渣适于制水泥；氧化钙、氧化镁和氧化铁含量高的钢渣可在烧结和炼铁生产中使用；五氧化二磷含量高的钢渣可生产磷肥。

由表1-1看出，初期渣和其他渣的区别在于氧化钙含量较低，二氧化硅的含量较高，氧化亚铁的含量也较高，这是它的特点。

精炼渣、出钢渣和浇钢余渣的氧化钙含量则较高。

其他化学成分虽然也有差异，但不十分显著。

钢渣外观形态的差异，是由其成分及冷却条件不同所造成的。在高温熔融状态下水淬急冷则形成粒状钢渣，而自然冷却则形成块状和粉状钢渣。

粉状钢渣是由于氧化钙含量较高时，形成大量的硅酸二钙 (C_2S)。硅酸二钙在 $0\sim 1600^{\circ}C$ 的温度范围内有 α 、 α' 、 β 、 γ 四种变体。 $\beta-C_2S$ 在 $675^{\circ}C$ 的温度下冷却，将转变为 $\gamma-C_2S$ ，其比重由3.28减小到2.97，体积增大10%以上，晶体出现内应力，使钢渣崩裂、粉化。

另外，游离石灰的分解也会造成钢渣的分解，使钢渣呈块状或粉状。

初期渣因碱度较低不会出现粉化现象。当钢渣含磷 (P_2O_5) 量高时，能阻止 $\beta-C_2S$ 的晶体转变，不易粉化。

各地钢渣成分差异很大，其用途也不一样，应根据具体情况选择合理的利用途径。

二、钢渣的矿物组成

钢渣的矿物组成可通过岩相分析和X射线分析等方法加以确定。

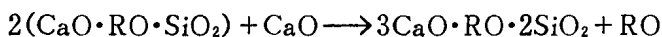
钢 渣 的 化

成分 (%) 种 类	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
初 期 渣	13.46~43.77	1.80~10.34	18.64~28.30	4.60~18.87
精 炼 渣	34.55~53.32	1.12~9.25	9.70~23.08	4.50~16.23
出 钢 渣	38.25~51.50	2.30~9.33	14.00~25.00	4.60~15.00
浇钢余渣	42.6~49.20	4.02~7.00	16.10~26.80	4.70~11.60

如前所述，初期渣、精炼渣和出钢渣是在不同熔炼时期形成的，其化学成分有所不同，因此钢渣的矿物组成和结构就有所差异。

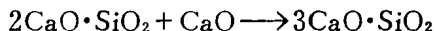
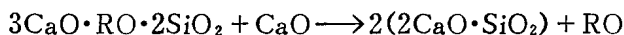
1. 矿物的形成过程

在熔化的初期，由于炉温较低，炉料没有完全熔化，钢渣碱度较低，氧化钙 (CaO)、氧化镁 (MgO) 和氧化硅 (SiO₂) 生成钙镁橄榄石 (CaO·MgO·SiO₂)。其中，镁可以被铁和锰取代。当碱度提高时，则发生下列反应：

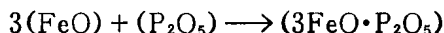
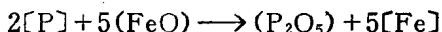


式中，R代表Mg、Fe、Mn。

橄榄石吸收氧化钙变成蔷薇辉石的同时放出RO相。再继续增加石灰石含量，则生成硅酸二钙(C₂S)和硅酸三钙(C₃S)



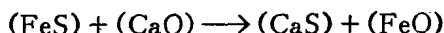
钢中磷和硫的含量不能超过允许范围。钢渣的重要作用是脱磷脱硫，其反应如下：



FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	F
6.34~39.60	1.31~6.28	1.41~15.80	0.73~8.04	0.25~4.04
7.62~18.53	2.25~19.20	0.62~5.27	0.33~7.40	0.25~4.00
7.60~15.35	1.80~9.00	1.60~10.47	0.62~2.00	1.90~4.15
3.00~9.00	0.98~3.62	5.00~7.00	0.10~2.00	0.20~3.80

由于 $3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 在高于 1470°C 的温度下不稳定，所以只有与多量石灰化合才能形成 $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 。当磷含量较多时，磷酸钙和硅酸钙可形成多种固熔体，如纳盖斯密特石 $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ 。若钢渣中加入萤石(CaF_2)做熔剂，则形成氟磷灰石 $3(3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5) \cdot \text{CaF}_2$ 。

硫在钢水中以 FeS 形式存在。并与渣中 CaO 发生反应：



此外，钢渣中还可能出现部分 FeO 氧化成 Fe_2O_3 ，它和渣中 CaO 可形成铁酸钙($\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)和铁酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)。

当反应不完全时，钢渣中可能有游离氧化钙($f\text{-CaO}$)，少量的氧化钙可进入 RO 相中，成为固熔体。

2. 钢渣的主要矿物

初期渣的主要矿物有：橄榄石($\text{CaO} \cdot \text{RO} \cdot \text{SiO}_2$)，以 CRS 表示；蔷薇辉石($3\text{CaO} \cdot \text{RO} \cdot 2\text{SiO}_2$)，以 C_3RS_2 表示；氧化镁(MgO)、氧化亚铁(FeO)和氧化锰(MnO)的固熔体($\text{MgO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{FeO}$)，以 RO 表示。

精炼渣、出钢渣和浇钢余渣的主要矿物有：硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)，以 C_2S 表示；硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)，以

C_3S 表示；RO相、氧化钙也可进入RO相。铁酸二钙 ($2CaO \cdot Fe_2O_3$)，以 C_2F 表示；铁酸钙 ($CaO \cdot Fe_2O_3$)，以CF表示；纳盖斯密特石 ($7CaO \cdot P_2O_5 \cdot 2SiO_2$)，以 C_7PS_2 表示。有的钢渣中还出现黄长石 ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$)、($2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$) 和尖晶石 ($Fe \cdot Mg \cdot Mn$) O·($Fe \cdot Cr \cdot Al$) $_2O_3$ 等。

三、钢渣的物理性能

1. 外观

在硬钢渣中，初期渣呈黑色，质轻，气孔较多；精炼渣呈黑灰色，质坚硬；出钢渣和浇钢余渣呈灰白或灰褐色，质密实。精炼渣、出钢渣和浇钢余渣易出现粉化现象。

在水淬渣中，初期渣呈亮黑色，颗粒较小 (<4 毫米)；精炼渣呈灰褐色，颗粒较大 (<8 毫米)。

2. 容重

水淬初期渣的松散容重为1200~1600公斤/米³。

水淬精炼渣和出钢渣的松散容重为1400~1900公斤/米³。

块状钢渣的松散容重和粒度有关。当粒度小于5毫米时，其容重为1600~1700公斤/米³；当粒度为5~20毫米时，其容重为1500~1600公斤/米³。

3. 含水率

一般来说，钢渣质地坚硬、密实，自然含水率较低。水淬钢渣的自然含水率为2~6%；块状钢渣的自然含水率低于5%。

4. 钢渣的易磨性

钢渣用于作水泥原料和肥料时，需要粉磨。易磨性是指物料粉磨时的难易程度。它直接影响磨机的产量、设备损耗、动力消耗及成本等指标。

为了比较钢渣的易磨性，将同样重量、相似粒度的物料分别在同一个球磨机内粉磨，测定相同时间内物料的细度；或将物料分别粉磨到同一细度时，比较其单位能量的消耗（见表1-2）。

由表 1-2 看出，钢渣比水泥熟料和高炉水渣难磨；水淬钢渣比块状钢渣难磨。

物料易磨性的比较

表 1-2

指 标 \ 物 料	水淬钢渣	块状钢渣	水泥熟料	高炉水渣
粉磨30分钟时的比表面积（厘米 ² /克）	2695	3605	3895	4280
粉磨60分钟时的比表面积（厘米 ² /克）	4345	5360	6060	5922
相同细度时单位能量的消耗（千瓦·时/吨）	66	54	30.95	—

钢渣比熟料难磨，这是由其矿物组成决定的。钢渣中铁和锰的含量比熟料多，所生成的矿物或固熔体较一般硅酸盐难磨。由于铁、锰离子具有较高的极化能力，对氧有很大的亲和力，因此氧离子能脱离正硅酸钙（镁）四面体，破坏正硅酸盐的结构，使四面体互相连接起来，生成巨大而复杂的硅氧团，从而降低其易磨性。

此外，从矿物硬度来看，熟料以硅酸三钙为主要矿物，莫氏硬度小于5；而钢渣是以硅酸二钙和蔷薇辉石等为主要矿物，莫氏硬度分别为5~6、6~7，均比硅酸三钙硬度大，所以钢渣的易磨性差。

水淬钢渣比块状钢渣难磨。这是因为水淬钢渣经过急冷形成微小晶体，密度大，难磨；而块状钢渣在慢冷过程中形

成粗大的晶体，加之在机械破碎过程中颗粒结构受损，因此块状钢渣比水淬钢渣容易粉磨。

必须指出，虽然块状钢渣易磨性好，但是块状钢渣中往往是钢块和渣裹在一起不易分离。在粉磨时钢块的存在会影响粉磨效率，同时也会影响产品的质量。

由于块状钢渣夹有钢块，粉磨前往往需要破碎加工，这不仅给破碎工序带来困难，而且有时损坏破碎设备。因此，国外利用块状钢渣时采用无介质磨机加以处理。这样既可将渣中的钢块全部回收，又可通过选粉机回收渣粉。

第二章 平炉钢渣水淬

第一节 钢渣水淬的特点

从一九七〇年开始，国内许多钢厂先后建成了平炉钢渣炉前水淬生产线。实践证明，这种处理钢渣的方法是行之有效的，其特点是：

（1）钢渣炉前水淬可以节省大量的渣罐，取消渣场和专用铁道线。据统计，可节省基建投资的百分之十七、设备重量的百分之四十三，并可省掉渣场所用特种设备和减少维护管理人员。

（2）采用炉前水淬可根据冶炼要求及时放渣，有利于去除杂质；加速冶炼过程；延长炉衬寿命；减轻工人的劳动强度。

（3）旧的排渣方法由于受渣罐的限制，各期不同性质的钢渣不易分开，质量波动较大。钢渣炉前水淬方法，可使不同性质的钢渣分池排放，保证质量的相对稳定。此外，水淬后的钢和渣呈自然分离的粒状便于回收钢。

第二节 钢渣水淬工艺流程及参数

一、工艺流程

平炉钢渣的炉前水淬工艺基本上分带中间渣罐和不带中间渣罐的两种类型。

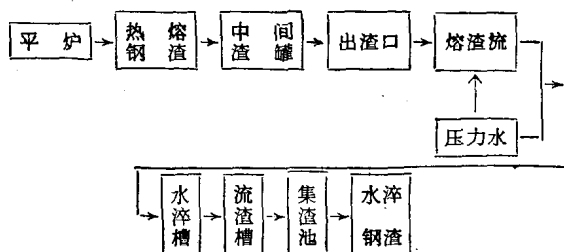
平炉出渣时渣流变化大，流量不易控制。为了安全可靠，目前国内一般采用“带中间罐”的工艺流程。熔渣从炉

内放入中间渣罐内，再从一定孔径的出渣口流出，经压力水水淬成粒，排入集渣池。

天津一钢厂的平炉钢渣水淬工艺是采用不带中间渣罐的方法。熔渣出炉后即进入粒化装置水淬成粒。其优点是设备简单，水淬率高。但当瞬间渣流量大时，所需的水压、水量都要相应增大，否则水淬易出故障。

带中间渣罐的水淬工艺一般分初期渣和精炼渣水淬流程；出钢渣和浇钢余渣水淬流程。

初期渣和精炼渣从炉前中门渣口流入炉前渣罐；出钢渣从盛钢桶溢流槽流入炉后渣罐；浇钢余渣则将盛钢桶倾翻流入炉后渣罐。炉前或炉后渣罐的底部留有出渣口，靠出渣口的大小控制熔渣流量。从出渣口流出的熔渣流入水淬槽，与槽内喷水管喷出的压力水相遇急冷而水淬成粒，并经流渣槽流入集渣池，沉积后用泵将池内的水排出，钢渣取出堆存或运出。带中间渣罐的水淬工艺流程如下：



其流程和设施分别见图2-1和图2-2、3。

二、水淬操作

平炉钢渣水淬的操作要点如下：

(1) 放渣前渣罐对好位置，出渣口和流渣槽应保持畅通。冲渣前要检查中间渣罐是否干燥，严禁有水。

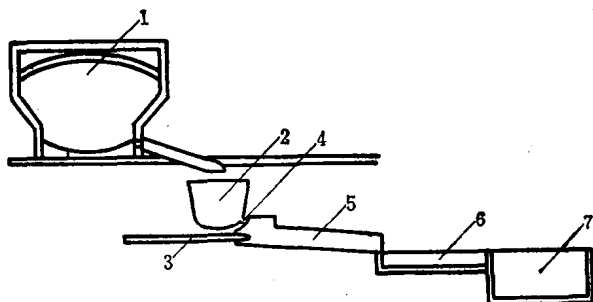


图 2-1 带中间渣罐的水淬工艺示意图

1—平炉；2—中间渣罐；3—水管；4—出渣口；5—水淬槽；
6—流渣沟；7—集渣池

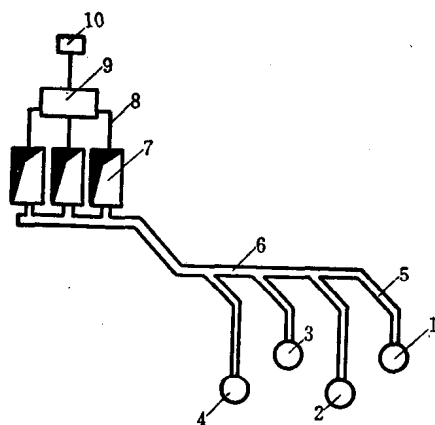


图 2-2 钢渣水淬工艺平面布置示意图 (马钢)

1、3—炉前渣罐；2、4—炉后渣罐；5—水淬槽；6—流渣沟；
7—集渣池；8—水管；9—水泵房；10—排水池