

钢铁冶金 600 问

杨吉春 罗果萍 董 方 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

**钢铁冶金 600 问/杨吉春, 罗果萍, 董方编著. —北京:
化学工业出版社, 2007. 1**

ISBN 978-7-5025-9930-0

**I. 钢… II. ①杨…②罗…③董… III. 炼钢-铁合金
(炼钢原料)-问答 IV. TF702-44**

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 010183 号

**责任编辑: 丁尚林
责任校对: 周梦华**

装帧设计: 杨超

**出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 412 千字
2007 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷**

**购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。**

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

钢铁工业是原材料工业，也是基础工业，在国民经济发展过程中具有十分重要的战略地位，而钢铁工业的发展在很大程度上取决于炼铁、炼钢及连铸等工艺技术的发展。进入 21 世纪，我国钢铁工业有了长足的进步，产能大幅度增长，但用户对钢铁产品的要求越来越高，不仅要求强度更高，耐腐蚀、耐磨性能更好的钢材，而且要求加工性能好和加工成本低，断面尺寸接近零件尺寸的高精度钢材。这对钢铁工业技术、工业流程、规模和结构提出了新的挑战。为适应日益激烈的市场竞争和可持续发展的需要，企业必须千方百计降低生产成本，提高产品质量，积极推广、采用已有的技术创新成果，针对技术进步中的薄弱环节，开发和应用新的前沿技术。但是也应清醒地认识到，我国高速发展的钢铁工业存在着许多隐忧，技术人才奇缺，钢铁企业之间对技术人才的争夺和渴求愈演愈烈。

为了进一步推动企业进步，加速企业培养人才，满足广大炼铁、炼钢、炉外精炼以及连铸工作者、技术人员和管理人员进一步掌握炼铁-炼钢-连铸的基本技术知识和新理论、新工艺、新技术的需要，我们编著了这本《钢铁冶金 600 问》。本书内容丰富，适应面广，从基础理论到现代工艺技术，从工艺操作到设备组成，从炼铁工序开始，到炼钢及炉外精炼以及连铸都有涉及。

本书采用问答形式，深入浅出，通俗易懂，特别适合企业技术人员、工人的技术培训等，也适合大中专以及高职学生理论和实践的培养和提高。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

本书第 6, 7, 10~12 章由杨吉春教授编写, 第 1~5 章由罗果萍教授编写, 第 8, 9 章由董方教授编写。由于编者水平有限, 书中难免有不当之处, 在此恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 2 月

第一章 高炉炼铁原料

1. 什么是高炉精料？精料的具体内容有哪些？

精料就是要全面改善入炉炉料的质量，为高炉稳定、顺行、高产、低耗打下物质基础。

精料的具体内容可概括为六个字：“高、熟、净、匀、小、稳”。广义而言，“高”指矿石含铁量、焦炭固定碳含量及熔剂的有效熔剂性高，各种炉料的冷热态机械强度高，矿石的还原性好。“熟”指含铁原料中烧结矿、球团矿等人造熟矿的利用率高。“净”、“匀”、“小”是指对炉料的粒度要求，即“制粒”：把 5mm 以下的粉料筛除干净；缩小粒度上下限之差，使粒度分布均匀；减小粒度上限。“稳”指原燃料的化学成分要相对稳定，以确保炉况和操作的稳定，便于实现自动控制。

2. 什么是铁矿石的品位？铁矿石的理论含铁量？贫矿和富矿如何区分？

将铁矿石中铁元素的含量称为品位，将铁矿石中含铁矿物的含铁量称为铁矿石的理论含铁量。矿石品位低于其理论含铁量 70% 为贫矿，高于 70% 为富矿。贫矿应进行选矿、烧结、球团后才能入炉，以提高高炉冶炼的技术经济指标。

3. 高炉冶炼如何对铁矿石的质量进行评价？

铁矿石是高炉冶炼最主要的原料，铁矿石质量的优劣直接影响高炉冶炼进程和技术经济指标。通常从以下几方面加以评价。

(1) 矿石含铁品位

铁矿石品位高，有利于降低高炉焦比和提高产量。这是因为铁矿石品位高，则脉石数量少，冶炼用熔剂数量也少，渣量减少，焦比降低，而且渣量减少的比例要大于品位提高的比例。所以贫矿直

接入炉冶炼不仅在经济上是不合理的，而且也会给操作带来较多困难。

(2) 脉石的化学成分及分布

脉石的成分及分布对矿石的冶炼价值影响很大。铁矿石中的脉石主要包括 SiO_2 、 Al_2O_3 等酸性氧化物和 CaO 、 MgO 等碱性氧化物。由于大多数矿石的脉石和焦炭灰分为酸性氧化物，故通常要消耗相当数量的石灰石 (CaCO_3) 或白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 等碱性熔剂来造渣，只有当渣中碱性氧化物与酸性氧化物含量大体相等，炉渣的熔点才较低、流动性较好，利于冶炼与正常操作。因此含碱性脉石 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 量适当的矿石，具有较高的冶炼价值，可允许其含铁量低些，冶炼仍然是经济的。矿石中脉石的分布，特别是对于需要选别的贫矿，是很重要的性质。如果含铁矿物与脉石以较粗大的晶粒嵌布，则在选矿过程中容易实现有用矿物的单体分离，从而使有用元素达到有效富集。此外，有用矿物与脉石的结构又决定了矿石的致密程度，影响矿石的机械强度与还原性。矿石要具有一定的致密度及机械强度，但也不宜过度致密，否则难以进行加工和还原。

(3) 有害杂质与有益元素的含量

矿石中常见的有害杂质是 S、P，较少见的有碱金属 K、Na 以及 Cu、Pb、Zn、F 和 As 等。S、P、Cu 和 As 易还原进入生铁，对钢材性能有害。K、Na、Pb、Zn、F 等虽然不能进入生铁，但 Pb、Zn 易于破坏炉底砖衬，K、Na 易在炉内循环积累造成结瘤，F 会污染环境，有害人体健康。S 对钢材是最为有害的成分，使钢材具有热脆性。国家标准规定，生铁含 S 量不能大于 0.07%，因此矿石含 S 越少越好。P 也是钢材中的有害成分，使钢材具有冷脆性质。由于 P 在选矿和造块过程中不宜除去，而在高炉冶炼过程中又全部还原进入生铁，因此要求矿石含 P 越低越好。

铁矿石中有些共生的有益元素可被还原进入生铁，改善钢材性能。如 Cr、Ni、V、Nb 等。还有的矿石中的伴生有益元素具有极高的单体分离提取价值，如 Ti 和稀土元素 (Re) 等。这类矿石应

作为宝贵的综合利用资源。

(4) 矿石的强度和粒度组成

高炉冶炼要求矿石应具有较高的强度、适宜的粒度组成。矿石强度差，粉末多，料柱的透气性差，炉况不顺，煤气能量利用不好。但粒度过大又会降低还原速度，使焦比升高。一般规定小于5mm的粉矿不能入炉，粒度上限与原料的还原性有关。因此，从矿山开采出来的矿石，应当经过处理，大块要破碎，粉末要筛除掉。

(5) 矿石的还原性

矿石在高炉内被煤气还原的难易程度称为还原性。矿石还原性好，冶炼消耗碳素量少，焦比低。矿石的还原性与其结构有关，如矿石的致密程度、开口的微气孔率及气孔的分布状态。一般磁铁矿因结构致密，最难还原。褐铁矿及菱铁矿在炉内受热分解，形成疏松多孔结构，最易还原。赤铁矿的还原性居中。人造富矿一般较天然富矿具有较好的还原性。矿石还原的难易，影响冶炼效率，但不能决定矿石能否利用。

(6) 矿石化学成分的稳定性

矿石化学成分波动会引起炉温、炉渣碱度和生铁质量的波动，从而破坏炉况顺行，使焦比升高，产量降低，并且不利于实现自动控制。为了稳定化学成分，应当在矿石破碎筛分后，进行混匀处理。

(7) 矿石的高温性能

铁矿石的高温性能由热态还原强度以及软熔性能组成。矿石在高炉内下降过程中温度不断升高，同时不断地被煤气还原。高炉冶炼要求矿石在受热升温及被还原的过程中和还原后都不应因强度下降而破碎，以免影响料柱的透气性。矿石的软熔性能包括开始软化温度的高低、软化熔融温度区间的大小。为了使矿石在熔化造渣前更多地被煤气还原，矿石的开始软化温度不可过低，软化熔融温度区间不可过大。这不仅可使矿石在熔化前达到较高的还原度，减少高温直接还原比例，降低焦比，而且可使高炉软熔带变薄，保证炉内

具有良好的透气性。

4. 高炉冶炼对熔剂质量有什么要求？什么是熔剂的有效熔剂性？

高炉冶炼加入熔剂的主要目的：①降低矿石中脉石与焦炭灰分的熔点，形成流动性较好的炉渣，实现渣铁分离；②脱除铁水中的硫，改善生铁质量。对高炉最常用的碱性熔剂的质量要求如下。

(1) 有效熔剂性（或有效碱性氧化物含量）高。将熔剂含有的碱性氧化物扣除其自身酸性氧化物造渣所消耗的碱性氧化物后剩余碱性氧化物的含量称为有效熔剂性（或有效碱性氧化物含量）。

$$(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{有效}} = (\text{CaO}\% + \text{MgO}\%) - \text{SiO}_2\% \times R$$

式中， $\text{CaO}\%$ 、 $\text{MgO}\%$ 、 $\text{SiO}_2\%$ 为熔剂中各组分的质量百分含量； R 为炉渣碱度 $[(\text{CaO}\% + \text{MgO}\%) / \text{SiO}_2\%]$ 。

(2) 要求熔剂中 S、P 等有害杂质含量尽可能低。

(3) 石灰石应有一定的强度和粒度。石灰石粒度过大，分解慢，增加高炉高温区的热量消耗，使炉缸温度降低和焦比升高。直接装入高炉的石灰石粒度上限，以其在达到 900°C 温度区能全部分解为准。炉容大于 300m^3 的高炉，石灰石的粒度范围应在 $20 \sim 50\text{mm}$ ；小于 300m^3 的高炉，石灰石的粒度范围应在 $10 \sim 30\text{mm}$ 。石灰石入炉前应筛除粉末及泥土杂质。

5. 焦炭在高炉内的作用有哪些？高炉冶炼对焦炭质量有什么要求？

焦炭在高炉内的作用如下。

(1) 提供高炉冶炼所需要的大部分热量。焦炭在风口前被鼓风中的氧燃烧，放出热量，这是高炉冶炼的主要热量来源。

(2) 提供高炉冶炼所需要的还原剂。焦炭中的固定碳及其燃烧产生的 CO 是铁氧化物与其他氧化物的还原剂。

(3) 焦炭是高炉料柱的骨架。在高炉下部，矿石和熔剂已全部软化造渣并熔化为液体后，焦炭是炉内唯一以固态存在的物料，是支撑料柱的骨架，同时又是风口前产生的煤气得以自下而上畅通流

动的高透气性通路。

(4) 生铁形成过程中渗碳的碳源。每吨制钢生铁渗碳要消耗焦炭 50kg 左右。

高炉冶炼对焦炭质量的要求如下。

(1) 强度。焦炭入炉前要经过多次转运，在炉内下降过程中又受到料柱重力和摩擦力的作用，如果没有足够的强度，则会破碎，产生的粉末致使料柱透气性恶化、炉渣变黏稠、渣中带铁以及风渣口大量破损等。测量焦炭强度的办法是转鼓实验，包括抗碎强度 M_{40} 和耐磨强度 M_{10} 两项指标。

(2) 固定碳和灰分含量。良好的冶金焦炭应具有较高的固定碳含量和较低的灰分含量。一般干焦固定碳含量在 85% 左右，灰分含量在 13% 左右，其余为挥发分及硫。固定碳和灰分是焦炭的主要组成部分，灰分含量升高意味着固定碳含量的降低。焦炭灰分约 80% 是酸性氧化物 SiO_2 和 Al_2O_3 ，在冶炼过程中需加入数量与灰分大体相等的碱性氧化物造渣，使渣量增加。此外，灰分含量升高还会使焦炭的强度降低。高炉冶炼实践表明，焦炭灰分含量与其强度之间呈简单的反比关系。

(3) 硫含量。高炉燃料（包括焦炭和煤粉）带入的硫量约占高炉硫负荷的 80%，焦炭硫含量升高，高炉硫负荷增大。为了保证生铁含硫合格，必须提高炉温和炉渣碱度，这会使产量降低，焦比升高。随着高炉喷煤量增大，燃料总量往往会有所增加，有时还伴随着渣量的下降，故对焦炭硫分更应注意。

(4) 挥发分含量。挥发分含量是焦炭成熟程度的标志。一般焦炭中挥发分含量为 0.8%~1.2%。挥发分含量低，说明结焦后期热分解与热缩聚程度高，气孔壁材质致密，有利于焦炭显微硬度、耐磨强度和反应后强度的提高。因此，挥发分以低为好。

(5) 成分和性能的稳定性以及粒度。焦炭成分和性能的波动会导致高炉炉况的不稳定，对提高产量和降低燃料消耗不利，且不利于实现自动控制。焦炭粒度要求均匀，为此，需要提高 40~80mm 中间块度部分的比例，使平均粒度保持在 40~50mm 水平。具体

要求应根据炉容、操作水平和指标水平，并以焦炭自身强度为基础来考虑。

(6) 高温性能。包括反应性 CRI 和反应后强度 CSR。反应性指焦炭在高温下被 CO_2 气化的能力。高炉冶炼要求焦炭的反应性低些。反应后强度指焦炭在 CO_2 和碱金属侵蚀状态下，保持高温强度的能力。高炉冶炼要求焦炭的反应后强度高些。

6. 什么是焦炭机械强度的转鼓试验？

目前测定焦炭机械强度的转鼓有两种，即大转鼓（松格林转鼓）和小转鼓（米库姆转鼓）。

大转鼓直径 2000mm，宽 800mm，转鼓两端为直径 2000mm 的两块圆形钢板，其间以 127 根长 800mm、直径 25mm 的圆钢沿圆周焊接，圆钢间隙为 25mm，转鼓中心有轴，由电动机带动。试验时，取粒度大于 25mm 的焦炭 410kg 装入鼓内，以 10r/min 的转速旋转 15min。以鼓内残留焦炭的质量（kg）作为转鼓指数，以鼓外粒度小于 10mm 的碎焦质量（kg）作为耐磨指数。一般中型高炉的转鼓指数应在 295~315kg 之间，大型高炉的转鼓指数应在 315kg 以上，耐磨指数应低于 45kg。

小转鼓是由钢板制成的无穿心轴的密封圆筒，钢板厚 6~8mm，鼓内径和内宽均为 1000mm，内壁每隔 90°焊角钢（100mm×50mm×10mm）1 块，共计 4 块。试验时，取粒度大于 60mm 的焦炭 50kg 装入鼓内，以 25r/min 的转速旋转 4min。试验后用直径 40mm 和 10mm 的圆孔筛筛分，以大于 40mm 的焦炭占试样总质量的百分数作为抗碎强度指标 M_{40} ；小于 10mm 的质量百分数作为耐磨强度指标 M_{10} 。中型高炉 M_{40} 在 60%~70% 之间，大型高炉 M_{40} 在 80% 以上， M_{10} 都应在 8% 以下。

7. 高炉用燃料的种类及其优缺点如何？

(1) 木炭。木炭是最早使用的高炉燃料，是由木材在足够温度下干馏而成的固体燃料。木炭固定碳含量高，灰分低（一般在 0.5%~2.5% 之间），几乎不含硫，气孔率高，密度小。但机械强

度低，价格昂贵。因此，作为高炉燃料已被淘汰。

(2) 无烟煤。其化学成分基本能满足冶炼要求，低温强度高。但气孔率低，热稳定性差，受热易粉碎，含硫较高。除还有个别小高炉用作焦炭替代品外，现已基本不再使用。

(3) 焦炭。是由煤在高温下（900~1000℃）干馏而成的二次固体燃料。其化学成分完全能满足高炉冶炼的要求，机械强度远大于木炭，热稳定性及气孔率均高于无烟煤，是现代高炉理想的燃料，也是目前高炉的主要燃料。由于目前世界焦煤资源的短缺，高炉冶炼应尽量降低焦炭消耗，并使用合适的替代燃料。

(4) 喷吹燃料。是从高炉风口喷入的燃料，以替代部分焦炭。喷吹燃料有固态的煤粉、液态的重油、气态的天然气。一般根据资源条件而定，我国以喷煤为主。

(5) 型焦。是用非结焦煤压制成型的固体燃料，用作焦炭的替代品，有热压成型和冷压成型两种，在目前尚处于冶炼试验阶段。国外高炉冶炼实践表明，在炉况稳定顺行的条件下，型焦是可以替代焦炭作为高炉燃料的。但型焦强度比焦炭差，尤其是热强度问题还有待于进一步解决。

8. 高炉砌筑对耐火材料有什么要求？耐火材料选用的原则是什么？

根据高炉砌筑部位的不同，除要求耐火材料具有一定的耐火度（一般应高于 1580℃）及较高的热稳定性以外，还应具有一定的强度。炉身上部砖衬要耐磨损，炉身中下部砖衬要具有抗碱金属侵蚀性能，炉腹以下砖衬、堵铁口泥、铁沟铺垫材料等要具有抗渣冲刷与侵蚀性能，炉底砖衬要具有抗铁水渗透性能及较高的导热性能。因此，不同的耐火材料应具有特定的组成与结构。特殊部位的耐火材料还要求其他特性参数达到一定的数值，如膨胀系数、热导率、比热容、抗折及抗张强度等。此外，还要求定型耐火材料具有精确的外形尺寸。

高炉用耐火材料可分为陶瓷质与碳质两大类。其中陶瓷质耐火

材料有黏土砖、高铝砖、刚玉砖和不定型耐火材料等；碳质耐火材料有炭砖、石墨炭砖、石墨碳化硅砖、氮结合碳化硅砖、黏土结合碳化硅砖等。通常，耐火材料选用的原则是：炉身上部温度较低，选用耐火度及成本较低的黏土砖；炉身下部、炉腰及炉腹部位承受较高的温度，更重要的是承受初渣、高温煤气和碱金属的冲刷和侵蚀，选用质量较好的、耐多种侵蚀的 Si_3N_4 结合的 SiC 砖；风口带附近，选用抗氧化烧蚀性能好的高铝砖；风口以下部位选用具有抗渣铁渗透和侵蚀性能、耐火度高、导热性好的碳砖。为了防止开炉时氧化气氛对碳砖的烧损，在炉缸和炉底碳砖表面应覆盖一层黏土砖及高铝砖。

9. 什么是高炉合理的炉料结构？目前世界常用的炉料结构有哪些模式？

能够充分满足高炉强化冶炼要求、获得较高的生产效率、较低的燃料消耗及较好的经济效益的入炉铁矿石配比模式称为合理炉料结构。合理炉料结构的确定应从国家和本企业的矿石资源特点出发，结合烧结矿、球团矿及天然矿各自的优缺点组合成一定的炉料结构模式，来使高炉生产获得最佳操作指标。

长期的生产实践和高炉解剖研究表明，高炉冶炼采用单一的烧结矿或球团矿炉料结构并不能获得最佳生产技术经济指标。世界合理炉料结构的普遍规律是高碱度烧结矿配加酸性炉料（氧化球团矿、普通烧结矿、天然矿等）模式。目前世界高炉生产常用的炉料结构模式有四种：

- (1) 采用 100%酸性球团矿，但需加入大量的石灰石熔剂；
- (2) 以酸性球团矿为主，配加超高碱度烧结矿；
- (3) 100%自熔性烧结矿；
- (4) 以高碱度烧结矿为主，配加天然矿或酸性球团矿。

我国生产实践和研究表明，高炉用 80%左右的高碱度烧结矿配加 20%左右的酸性球团矿和高品位块矿的炉料结构较为理想。这种结构有利于形成合理的软熔带，也有利于冶炼低硅生铁，炉况

顺行，煤气利用较好，经济效益明显。

10. 何为烧结露点？防止烧结料层过湿的措施有哪些？

将烧结物料表面水分的蒸气压 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ 与烧结废气中水分的饱和蒸气压 $p_{\text{H}_2\text{O}(\text{饱})}$ 相等时的温度称为烧结露点。烧结废气经过干燥带后温度大幅度下降， $p_{\text{H}_2\text{O}(\text{饱})}$ 也下降很多，当 $p_{\text{H}_2\text{O}} \geq p_{\text{H}_2\text{O}(\text{饱})}$ 时，烧结物料表面开始过湿，使料层透气性恶化。因此，降低 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ 和提高 $p_{\text{H}_2\text{O}(\text{饱})}$ 可防止过湿现象的产生，通常采取的具体措施有：

(1) 适当控制烧结混合料初始水分含量，使初始水分含量比初始透气性最适宜的水分含量低 2% 左右；

(2) 通过预热使混合料温度达到露点以上，可有效防止废气中水分的凝结。

11. 什么是烧结过程中石灰石的矿化作用？影响石灰石分解与矿化的因素有哪些？

烧结熔剂性或高碱度烧结矿时，不仅要求石灰石 (CaCO_3) 完全分解成 CaO ，而且还要求分解产生的 CaO 能够与矿石中某些矿物完全化合，生成液相，即矿化。否则，以白点形式存在于烧结矿中的自由 CaO 会吸水消化生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，严重影响烧结矿强度。

影响石灰石分解与矿化的因素如下。

(1) 石灰石粒度：石灰石粒度较大会影响其分解与矿化。因此，烧结配料时必须严格控制石灰石的粒度，生产中要求石灰石粒度小于 3mm。

(2) 烧结温度：烧结温度低也会影响石灰石的分解与矿化，一般通过配碳量来控制烧结温度。

(3) 烧结矿碱度：烧结矿碱度较低时，石灰石分解与矿化程度较高。因此，生产高碱度烧结矿应控制较高的配碳量。

(4) 矿石和精矿粒度：烧结混合料中矿石和精矿粒度对石灰石矿化程度的影响较大，烧结混合料中适宜的石灰石粒度与矿石及精矿的粒度有关。

在我国目前主要使用精矿粉生产熔剂性或高碱度烧结矿的情况

下，影响石灰石分解与矿化的主要因素是石灰石粒度。

12. 什么是烧结终点控制？

烧结生产中通过调整料层厚度 $H(m)$ 、烧结机有效长度 $L(m)$ 、垂直烧结速度 $C(m/min)$ 、烧结机速度 $V(m/min)$ 之间的关系 [使其满足式(1-1)]，使烧结终点恰好位于最后或前一个风箱处，称为烧结终点控制。一般靠安装在烧结机最后或前一个风箱上的热电偶指示的温度来判断是否达到终点，并以此为依据来实现机速的自动调整。通过烧结终点控制，不仅能够充分利用烧结机面积，提高生产效率，而且可以避免因产生生料使烧结矿质量下降。

$$V = \frac{L \times C}{H} \quad (1-1)$$

13. 烧结采用铺底料有什么作用？怎样获得铺底料？

为了防止高温废气烧坏算条及熔融液相粘接算条，在烧结混合料与算条之间一般要铺上一层不含燃料的成品烧结矿，称为铺底料。其作用如下。

(1) 减少算条烧坏的比率。单位烧结矿的算条消耗量对烧结矿成本有一定的影响。

(2) 维持一定的有效抽风面积，以提高烧结机产量，降低返矿比率。

(3) 延长抽风机转子寿命，提高烧结机作业率。

(4) 改善烧结作业条件，便于烧结自动控制。不使用铺底料时，烧结台车回车道下撒料多，需设置专门的清料装置。铺底料后，基本消除了算条粘料现象，无需设置清料装置，便于实现烧结机自动控制。

将冷却后的烧结矿经过二次筛分可获得粒度为 $8 \sim 15mm$ 或 $10 \sim 15mm$ 的铺底料。此法需具备筛分设备、专门的运送系统及铺底料贮矿槽。

14. 什么是烧结矿的 RDI 指标？影响烧结矿 RDI 指标的因素有哪些？

RDI 指标又称为烧结矿的低温还原粉化率，是衡量烧结矿在高炉低温带（450~550℃）还原时产生粉化程度的一个指标，对高炉料柱透气性影响较大。由于我国多以磁铁矿为烧结原料，烧结矿的 RDI 指标一般较低。但是使用澳大利亚矿粉较多时，以及钒钛磁铁矿烧结矿中再生赤铁矿较多时，烧结矿的 RDI 指标会偏高。产生低温还原粉化现象的主要原因是烧结矿中的再生赤铁矿在高炉低温带由 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 还原为 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，发生了晶格结构的改变，产生了极大的内应力，使烧结矿在机械作用下发生严重碎裂。

影响 RDI 指标的因素如下。

（1）矿石种类：一般以磁铁矿为原料的烧结矿的 RDI 指标较低，以赤铁矿为原料的烧结矿的 RDI 指标较高。

（2）烧结矿碱度：随着碱度的升高，烧结矿的 RDI 指标降低，其原因在于铁酸钙含量的增加使烧结矿中再生赤铁矿含量减少。

（3）还原温度与气氛：一般烧结矿的 RDI 指标在 450~550℃ 之间具有最大值。还原气体中 CO 的分解反应在 500℃ 时最为剧烈，碳素沉积也造成了对烧结矿强度的破坏作用。

（4）烧结矿脉石成分：烧结矿中的 CaO、MgO 和 FeO 有助于改善其还原粉化性能，而 Al_2O_3 和 TiO_2 则会使粉化性能恶化。

15. 目前我国烧结矿（球团矿）转鼓强度检验方法有哪些？

对于烧结矿的机械强度检验，我国从 1953 年开始，采用前苏联的鲁滨转鼓检验，并正式颁布 YB 421—77 标准，有部分厂矿一直沿用到今。后于 1987 年 9 月参照 ISO 国际标准制定并发布了 GB 8209—87 标准（烧结矿和球团矿转鼓强度的测定），自 1988 年 10 月 1 日起实施，至今已有大部分厂矿采用。此外，上海宝钢 1 号、2 号烧结机采用日本工业标准 JISM 8712—77 检验方法。现将此三种方法列于表 1-1 中。

表 1-1 烧结矿（球团矿）转鼓强度检验方法

项 目	中国 YB 421—77	GB 8209—87	日本 JISM 8712—77
转鼓长度/mm	650	500	457
转鼓直径/mm	1000	1000	914
隔板数/块	3	9	2
隔板高度/mm	250	50	50
转速/(r/min)	25	25±1	25
转数/转	100	200	200
试样粒度/mm			
烧结矿	25~80	10~40	10~50
球团矿		15	+5
试样质量/kg	20		23
鼓后筛分/mm		6.3	10
	5	0.5	5
	0.595	+6.3	1
转鼓指数/mm·%	+5		烧结+10 球团+5
抗磨指数/mm·%	-0.595	-0.5	-1

16. 何为球团矿的抗压强度检验？

抗压试验用来检验球团矿的强度。试验把规定直径（一般为 12.5mm）的球团矿置于压力机上测定其抗压强度，即破裂前的最大值。为了获得足够精确的平均数，需要对一定数量（一般为 60 个）的球团矿逐个进行检验，用平均值“N/个球”表示，有的厂还用低强度球的百分数作为强度的附加指标。对于方团矿、天然矿或烧结矿先加工成正方形，然后测定其抗压强度，用“N/cm²”表示。

17. 目前我国怎样对球团矿的还原膨胀性能进行检验？

球团矿在加热还原时会发生体积膨胀。一般认为，体积膨胀达到 20% 的球团矿就不宜在高炉或直接还原竖炉中使用，因为有可能造成悬料。我国球团矿的还原膨胀大多数在 15% 以下，只有少数球团矿因含有碱金属 K、Na，还原膨胀在 40% 以上，严重影响了高炉操作。一般测定球团矿还原膨胀性能的方法是：将一定粒度范围的球团矿，在 900℃ 的温度下等温还原，使其自由膨胀。用还原前后球团矿的体积变化率表示其还原膨胀性。

我国于 1991 年制定了 GB/T 13240—91 标准。取 10 ~ 12.5mm 的球团矿 18 个，用水浸法先在球团矿表面形成疏水的油酸钠水溶液薄膜，测定试样的总体积，然后烘干进行还原膨胀试验。球团矿分 3 层，每层 6 个放置于 $\phi 75\text{mm}$ 的还原管内，还原温度为 $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，还原时间为 60min，还原气体成分为 $\text{CO} 30\%$ 、 $\text{N}_2 70\%$ ，流量为 15L/min。还原后用惰性气体将球团矿冷却至 100°C 以下，再用水浸法测定还原后球团的总体积。用还原前后球团矿的体积变化，计算出还原膨胀指数 RSI，用还原前后质量的减少计算还原度。我国也普遍采用线性膨胀仪测定球团矿直径的变化，或采用摄影法测定球团圆截面面积的变化来连续测定还原膨胀率，但误差较大。

18. 目前我国铁矿石还原性能检验方法有哪些？

还原性是指铁矿石被还原性气体还原难易程度的一种度量。铁矿石还原性能检验方法有国际标准化组织法（ISO）、日本工业标准协会（JIS）法、比利时 CNRM 法、德国升温法、林德法、前苏联国家标准法及我国国家标准 GB/T 13241—91 法。我国参照 ISO 4695—1984 标准，于 1991 年制定了 GB/T 13241—91 标准。上海宝钢采用日本 JIS 法测定。现将两种测定方法列于表 1-2 中。

表 1-2 我国铁矿石还原性测定方法

项 目	GB/T 13241—91	宝钢 JIS 法
还原管直径/mm	75	75
试样粒度/mm		
天然矿、烧结矿	10~12.5	20 ± 1
球团矿	10~12.5	9~16
试样质量/g	500	500
还原气体成分($\text{CO} + \text{N}_2$)/%	$30 \pm 0.5, 70 \pm 0.5$	$30 \pm 1, 70 \pm 1$
还原气体流量/(L/min)	15 ± 1	15
还原温度/ $^{\circ}\text{C}$	900 ± 10	900 ± 10
还原时间/min	180	180
还原减重记录时间/min	10	
还原度指数	RI	RI
还原速率指数	RVI	