**2024年第1期**

**河钢集团金属材料研发进展及展望**

李毅仁

（河钢集团有限公司，河北 石家庄 050023）

摘要:伴随钢铁行业产能压缩，具有单一价值属性的传统结构性钢铁产品向更多价值属性的钢铁材料转型，是时代发展的客观要求。河钢积极适应这种变化，提出了由“钢铁向材料、制造向服务”转型升级，持续加强高端钢铁材料的研发力度，并取得了一定的成效。本文从汽车材料、家具材料、能源材料、建筑材料、航空航天材料、工程机械材料、石化装备材料、海洋工程材料、交通装备材料、钒钛材料、特种材料等11个方面，简要介绍了河钢在相关材料领域的技术创新、研发成果、性能优势及应用成效等方面的内容，并提出了河钢对钢铁材料的深度理解，及未来在钢铁材料研发领域的关注重点。

关键词: 钢铁材料；价值属性；高强度；耐高温；均匀组织

**国内铁精矿粉制备气基竖炉专用高品位球团矿**

魏晓光

（河钢集团张宣科技氢冶金公司，河北 宣化 075100）

摘要：随着钢铁行业碳减排压力的增大，气基竖炉-电炉短流程工艺的应用可有效降低碳排放，高品位球团矿作为气基竖炉冶炼原料，其制备过程及特性研究尤为重要。本文使用国内6种不同的铁精矿粉制备高品位球团矿，阐述了球团矿的制备过程，研究了球团矿的性能。结果表明：最佳配矿方案为70%矿粉1+30%矿粉2,此配矿生球抗压强度为11 N/球，落下强度为3.1次/球；配矿球团矿w(FeO)为1.00%,铁精矿成品球团矿w(FeO)≥0.59%,亚铁含量较低，氧化充分，球团矿质量受控；配矿成品球团矿的抗压强度达到3 031 N/球，铁精矿成品球团矿抗压强度≥3 200 N/球，质量满足生产要求；还原性指数≥4.000,还原膨胀指数≥7.45%,LTD+6.3≥97.00%,LTDUP均为100%,还原性能良好。通过对现有设备的技术改造及配矿方案的优化，使用国内铁精矿粉可以制备出满足气基竖炉生产标准的优质高品位球团矿。

关键词：铁精粉;高品位球团矿;气基竖炉;还原性;还原膨胀指数;LTD+6.3;LTDUP

**煤种和配比对配合煤热解行为及焦炭孔结构的影响**

冯亚威，张 鑫，郭 瑞，闫国晨，肖 强，李彦辉

（华北理工大学 化学工程学院，河北 唐山 063210）

摘要:随着炼焦煤资源的日益紧张，炼焦工艺对精细配煤的要求越来越高。焦炭的孔结构是影响性能的重要因素，为探究不同炼焦煤对配合煤热解行为和焦炭孔结构的影响，采用吉氏塑性仪、热重分析仪测定了不同配合煤的流动性和热解失重行为。研究发现，不同单种煤的配入对配合煤流动性及挥发分的析出量影响显著，CoalB、CoalE配入量在30%时，配合煤流动度均下降了48.4 ddpm，CoalC、CoalD配入量在30%时，配合煤流动度分别提升了902.1 ddpm和520 ddpm。配合煤流动度之间并不具备加和性，而热解挥发分析出量之间具有一定的加和性。利用小型干馏装置，将配合煤进行高温干馏并利用显微图像分析法测试了焦炭的孔结构。研究发现不同的单种煤配入主焦煤后，形成焦炭的平均孔径和平均壁厚与配合煤热解流动特征和挥发分逸出特征有关，但相关性的高低因单种煤的特征而存在差异。不同单种煤对配合煤成焦后平均孔径相关影响系数R2在0.6~0.95之间，不同单种煤对配合煤成焦后平均壁厚相关影响系数R2在0.87~0.95之间。

关键词:炼焦煤；吉氏流动度；气孔结构；挥发分；焦炭；孔结构

**GCr15轴承钢热轧盘条异常组织分析**

黄永建1，2，孙晓明2，宋振武1，李俊慧1，张海超3

（1.河钢集团 石钢公司，河北 石家庄 050031；2.河钢集团有限公司 ，河北 石家庄050023；3.北京科技大学 钢铁共性技术协同创新，北京 100083）

摘要：采用光学显微镜（OM）、扫描电子显微镜（SEM）和电子探针微区分析技术（EPMA）对GCr15轴承钢盘条内部异常组织的分布情况、微观形貌和元素成分进行了分析。利用Gleeble热模拟试验研究了一定冷却速度条件下，Cr元素含量变化对试验钢冷却后室温组织组成的影响，分析了轴承钢盘条中异常组织的形成原因。研究发现，GCr15轴承钢盘条显微组织中出现的异常组织为马氏体，异常马氏体组织中Cr元素含量与盘条正常组织中Cr元素含量存在明显差异。EPMA测得的异常组织中Cr元素含量均在2.1wt%以上，而正常组织中Cr元素含量约为1.4wt%。在3℃/s的冷却速率条件下，盘条中Cr元素含量为1.5wt%、2.0wt%和2.5wt%时，冷却后组织中马氏体含量分别为0、13%和42%，说明Cr含量的增加会促进钢中马氏体组织的生成。遗传自铸坯的Cr元素偏析是造成热轧盘条冷却后显微组织中出现马氏体的根本原因。

关键词：GCr15；轴承钢；EPMA；马氏体；Gleeble热模拟；Cr

**600MPa级管线钢DWTT落锤撕裂试验**

张 通，杨小波，赵启扬，刘 洋，肖 锋，许 可

（河钢集团唐钢公司，河北 唐山 063000）

**摘要**：管线钢是当前重要的能源用钢，其材料的韧性是油气管道安全运行的重要技术指标之一。针对某钢厂600MPa级管线钢生产初期落锤撕裂试验结果不合进行了研究，通过调查试验钢的生产工艺，对比不同层冷温度下的落锤撕裂试验结果，进一步分析落锤试样撕裂断口位置的金相组织、夹杂物、带状组织与带钢层冷温度的关系。结果认为，600MPa级管线钢DWTT落锤撕裂试验不合是由于落锤试验样品取样位置的带钢层冷温度偏高，导致该区域显微组织析出了大量碳化物，使得带钢韧性降低、脆性提高。层冷温度在200~400℃，显微组织稳定，碳化物析出明显降低，试验钢种钢材的韧性性能和落锤撕裂性能稳定，能够满足产品要求；层冷温度在400℃以上，随着层冷温度的提升，钢材的韧性性能和落锤撕裂逐步降低。

**关键词**：管线钢；DWTT落锤撕裂试验；钢材韧性；层冷温度

**载荷对中锰钢耐磨性能的影响**

刘占礼，刘洪波，李　民，车晓锐，宋 月

（河钢材料技术研究院，河北 石家庄 050023）

**摘要：**采用UMT TriboLab摩擦磨损仪测试了冶炼工艺流程为电炉-精炼-模铸-粗轧-精轧-控冷-成品的中锰耐磨钢在不同载荷下的摩擦磨损性能，并利用白光干涉仪定量表征了摩擦磨损后样品表面磨痕的形貌，测量了摩擦断面的深度曲线。结果表明：随着试验载荷的增加，摩擦系数呈先升高后降低的变化规律，当载荷达到30N时，摩擦系数达到最高值0.82；当载荷压力较小时（10N），随着时间的延长，摩擦系数呈现逐渐变小的趋势；磨痕深度随着载荷的增加而增加，但与载荷增加不呈线性关系，载荷为10~30N时磨痕深度显著增加，当载荷超过30N后，磨痕深度的增加值逐渐减小，磨痕深度增加值不随载荷的增加而增加，呈现先升高后降低的现象，说明增加载荷后摩擦磨损机制发生了改变；不同载荷下磨痕的三维形貌分析结果表明，当载荷较小时，其磨损形式为梨沟磨损，其磨损机制为磨粒磨损，当载荷增加时，磨损形式为沟槽磨损，磨损机制转变为黏着磨损。

**关键词：**中锰钢；耐磨性；载荷；摩擦系数；磨痕；磨损机制

# **高导热离子含量对高炉渣基低温相变材料导热性能的影响**

### [王铮铮](https://kns.cnki.net/kcms2/author/detail?v=3IEynGI71r_oK7WqEsX4u0TeYnvPRtdn3pNGtyD84NXn_NE9EAib8rblo9auvi_9hbeRLgU4D4h7ggBKulBA45MP6ZULF-4tbRYBl09kJu8=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)，[徐 博](https://kns.cnki.net/kcms2/author/detail?v=3IEynGI71r_oK7WqEsX4u0TeYnvPRtdnJReG5L7YyybK5SNXX8b5O9U-3_dnxEx1tppbk4CSahKcmEuj24uK8zAcopeePlFgyNHZXK3ACEQ=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)，[曹亚然](https://kns.cnki.net/kcms2/author/detail?v=3IEynGI71r_oK7WqEsX4u0TeYnvPRtdnm0UhlNm0Vrjhuwy4Hp7LdMIIGSOm1kYQq2-iei31oG0tRt0DL8mT_-F2KNFE7o-RRu1ht6kk1AI=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)，[杜培培](https://kns.cnki.net/kcms2/author/detail?v=3IEynGI71r_oK7WqEsX4u0TeYnvPRtdn9x4LN3ksGVaBoUQgAkJ9TjCTYMrxoAmVXa1Bh3LFbfNDDM1T2q8mfxf2h7Y9xvz64vAA1ki8ZLk=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)，[龙 跃](https://kns.cnki.net/kcms2/author/detail?v=3IEynGI71r_oK7WqEsX4u0TeYnvPRtdnzPw9SxGb_UNbgVv5zseCeWlpg7M7Re0bKir90-gCVynZULTKyZKlRj6ZmCjw0BxUyxfUTpjMUVQ=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)

### （[华北理工大学 冶金与能源学院 河北省现代冶金技术重点实验室](https://kns.cnki.net/kcms2/organ/detail?v=3IEynGI71r_2aG2gxdT6KEc2gPvyhWpkR35ZUrsw6RmMhv1xIfQg7LLbVYPrk9OPe00CVeDDQgr5D68uvIADFAqRct-KjmGMzajo7acRXqDosexByynkn6nZsyKYv5-A0-2zCw_ySI9jSl2nJYtPTy2WyyaeXDdclPw0u1Uu6sj3SiROVp0snGQBY_JudyTI&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)，河北 唐山063210）

摘要：通过分子动力学模拟研究了不同温度下石墨烯质量百分含量对高炉渣基低温相变材料的结构、相变与能量的影响。系统分析了C28H58、C22H46和石墨烯分子升温过程中C-H和C-C键长、H-C-H键角的变化、碳链C-C-C-C扭转角、烷烃分子末端距、体系内各能量和体系径向分布函数(RDF)的变化，结合爱因斯坦和均方位移(MSD)的关系计算自扩散系数，根据体系自扩散系数与温度的关系，确定各体系的相变温度。结果表明：在280～320 K区间内C-H键键长在1.106Å时最稳定，C-C键键长由1.537Å伸长到1.539Å,烷烃体系内C-C键稳定性略小于C-H键，石墨烯边界效应不可忽略，320～350 K温度区间内石墨烯边界效应减弱；在280～350 K区间内，石墨烯对烷烃的H-C-H键角影响较小。随着石墨烯加入量的增加，体系的相变温度点逐渐降低，当加入质量为烷烃质量的8%时，体系相变温度开始快速下降；通过径向分布函数(RDF)得出，石墨烯的加入增加了体系的有序性；石墨烯质量分数为10%时，导热率提高72%。

关键词：[分子动力学;](https://kns.cnki.net/kcms2/keyword/detail?v=3IEynGI71r8SGc0PlbxSpmYF3lvgxWTJja20rQhaX_HLJvSUuMLWFi2Sw0qBC2VnmjhD265azqq3OrGhn7Fa4l9DrHrF3F6v_cU5n7xniVSLYv9ScZecKC26CLB8HwHOceGs3kfeyW8=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)[高炉渣;](https://kns.cnki.net/kcms2/keyword/detail?v=3IEynGI71r8SGc0PlbxSpmYF3lvgxWTJfvGfJH7F0bjg-xluvoywFGEX1VRvil-2I67OwbnUoSUrVOxpJpZaTkCVH7C83eorhHYyw0EIOh5oZ-bmKmc12A==&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)[相变材料;](https://kns.cnki.net/kcms2/keyword/detail?v=3IEynGI71r8SGc0PlbxSpmYF3lvgxWTJ0xOeLyQsJOSldNbq8JFOPGmABM98zZ1xDXgLDVH-IzwSGJHbWDmj2cK5eINLAgEmV6aefyP7-qCOsGODBNwuoNWGn8KJSEnW&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)[导热系数;](https://kns.cnki.net/kcms2/keyword/detail?v=3IEynGI71r8SGc0PlbxSpmYF3lvgxWTJja20rQhaX_GCUFHE1ZxGSP1-71T5fNS4_wPQdCRp23u4cv2GjjdPqdQpvCp_NhH2qqtJnqECdguxknJsntZfvBQTFmhJ-mRI&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)[能量](https://kns.cnki.net/kcms2/keyword/detail?v=3IEynGI71r-mhQBJiTa4vPf5jMWr6FPfxOnh_8Kq8Y1R49iSiPIbBYSD7f-INaC1jq_MtJ2l5hgRf6TqbJC56A7qYhPRBWfFT0ZUJo6zq4E=&uniplatform=NZKPT" \t "https://kns.cnki.net/kcms2/article/_blank)

**二元碱度对高钛型炉渣粘温特性及结晶过程的影响**

赵 剑，师学峰，赵 凯，于 浩

（华北理工大学 冶金与能源学院，河北 唐山 063000）

摘要: 针对我国高炉冶炼钒钛磁铁矿带来的炉渣粘稠、渣中带铁等一系列问题，采用热力学软件Factsage对高钛型高炉渣二元碱度的变化对炉渣粘温特性及结晶过程的影响进行了计算与分析，并利用RTW熔体物性测定系统通过粘度基础实验验证了理论计算的准确性。结果表明，高钛型高炉渣在1500℃以上的高温区内，其粘度相对较小，约为0.2Pa·s，并且在该温度区间内高钛型高炉渣的粘度受碱度和温度影响较小；当处在温度较低区间时，高钛型高炉渣的粘度则随着碱度的增大而增大。热力学计算表明，高钛型高炉渣在降温过程析出的矿相主要为钙钛矿、钛尖晶石、辉石、钙长石以及橄榄石等矿相，二元碱度主要影响钙钛矿和钛尖晶石的析晶过程，随着高钛渣二元碱度的升高，这两种矿相的析晶温度及析出物的质量分数均有所提高。为保证冶炼生产过程中高钛型高炉渣的粘度满足生产需求，在实际的冶炼过程中应控制其冶炼温度在1400℃以上，同时当渣中TiO2质量分数为23%，MgO/Al2O3为0.6时，应控制高钛型高炉渣的二元碱度为1.0～1.1。

关键词: 碱度；高钛型炉渣；粘度；结晶过程；Factsage

**支重轮用钢40Mn2淬透性的优化**

董战利1，娄梦杰1，孟显祖1，王晓英2, 3， 徐 东2, 3

（1. 河南济源钢铁（集团）有限公司，河南 济源454650；2. 河北工程大学，河北省高品质冷镦钢技术创新中心，中国邯郸，056038；3. 河北工程大学，河北省高校高端紧固件全流程应用技术研发中心，中国邯郸，056038）

**摘要：** 借助淬透性模拟计算软件，研究了支重轮用钢40Mn2钢淬透性的影响因素。结果发现：Cr含量在0.05%~0.15%时，随着Cr含量的升高，40Mn2钢J15mm端淬值呈增长趋势，但当Cr含量超过0.10%时，J15mm端淬值的增长趋于平缓；硼含量在0.0001%~0.0006%时，随着硼含量的升高，J15mm端淬值呈增长趋势；Si含量在0.19%~0.28%范围内时，Si含量的变化对40Mn2钢J15mm端淬值的基本没有影响。通过控制熔炼过程中硅锰合金和锰铁中硼含量≤70ppm；严禁使用含硼废钢；钢包砖不添加硼酸，且钢包冶炼含硼钢后需周转2次以后才允许冶炼40Mn2钢；RH增加吹N工艺，控制钢中N含量在60~90ppm；钢中目标Cr含量由0.10%降低到0.07%；并优化40Mn2钢成分等措施，彻底解决了40Mn2钢端淬超标问题。

**关键词：**支重轮； 40Mn2；淬透性；硼无效化

**黑山铁矿井下采场切割与回采过渡期损失贫化控制方法**

范利超

（河钢集团矿业公司 承德黑山铁矿，河北 承德 067000）

摘要：针对黑山铁矿无底柱分段崩落法开采切割与回采过度期矿石损失贫化大的问题，分析了该时期盲区块产生及矿石损失贫化大的原因，认为下水平切割边壁对上水平布孔阻隔作用，生产中单方面考虑切割槽空间补偿作用而增大自由空间，忽略了切割边壁对上水平的后续影响，是造成扇形自由面失效形成盲区块的主要原因。由于大块主要聚集在放出体顶部，随着放矿的进行，大块提前到达眉线，不得不组织下一次爆破，导致二次矿量损失；同时，大块的存在导致其上部覆盖层小块废石沿着块体间空隙先到达出矿口，造成矿石贫化率较大。从消除盲区块与控制矿石损失贫化角度入手，根据上下水平切巷投影情况，明确了每种情况下的过渡关系，并根据上下两水平切割巷位置关系，提出了合理优化切割巷布孔参数及有效消除盲区块的矿石损失与贫化控制方法。通过现场实践，黑山铁矿井下采矿切割与回采过渡期矿石贫化率与损失率分别降低26.2%与29.3%，同时为类似条件矿山生产提供了借鉴。

关键词：无底柱分段崩落法；损失贫化；切割巷；盲区块；炮孔参数

**不同氧化铝颗粒含量对引流砂烧结行为的影响**

代宝刚

（河钢唐钢公司 生产制造部，河北 唐山 063000）

**摘要：**钢包向中间包浇注钢液过程中，需要将引流砂填入钢包座砖来对滑动水口和钢液进行隔绝。引流砂在座砖内因为钢液温度高而出现的烧结行为会影响生产且存在一定的安全隐患，当前研究中常规铬质引流砂中添加氧化铝颗粒后的烧结行为研究较少，作用机制不明确。研究了常规铬质引流砂中添加少量氧化铝后的烧结行为。将石英砂、氧化铝砂和铬铁矿砂按不同配比配置引流砂，制成引流砂片，进行单独烧结和钢液作用下引流砂的烧结行为试验。分析了不同钢液作用下引流砂烧结前后形貌及物相组成。结果表明，有钢液作用和引流砂单独烧结过程中，氧化铝对常规铬质引流砂烧结行为的影响几乎相同。引流砂中添加少量氧化铝（5%）不能抑制烧结且会恶化引流砂的烧结性能，氧化铝添加量10%才能对烧结产生抑制作用。常规铬质引流砂在铝镇静钢生产中会产生较好的使用效果，在实际生产中不建议添加额外的氧化铝颗粒。该研究为实际中生产中，引流砂烧结行为的研究提供了参考。

**关键词：**氧化铝；引流砂；烧结；钢液；浇注

**掺烧比对污泥与垃圾协同焚烧的影响**

邓 玲1，苏　伟2，柴 华1，孙宇佳3

（1.中国环境保护集团有限公司，北京 100082；2.北京科技大学 能源与环境工程学院，北京 100083；3.河钢集团有限公司，河北 石家庄 050023）

摘要：污泥作为城市污水处理的副产物，是一种产量高、危害大的固体废物。目前针对市政污泥的处置主要有堆肥、填埋和焚烧3种方式。随着污泥焚烧技术的深入发展，该处理方式以废物减量化程度高、能量可回收，同时能有效降低病原微生物和有机污染物质的危害等优势，已成为污泥处置的主要方法。本文结合污泥协同垃圾焚烧实际运行数据，采用理论计算、理化检测等方法，研究了掺烧比对烟气和飞灰排放指标的影响。结果表明，当掺烧比在10%左右时，烟气排放指标完全能满足GB18485-2014排放标准的要求，但SO2指标多次超欧盟标准。每吨绝干污泥焚烧后约产生0.4t的灰渣，其中灰量占60%，渣量占40%。当掺烧比提高时，飞灰比例增加，但飞灰比例基本在6%左右波动。

**关键词：**污泥；生活垃圾；焚烧；掺烧比；烟气；飞灰

**高炉均压煤气回收效益分析**

赵广江

（河北省冶金研究院，河北 石家庄 050031）

**摘要：**高炉炼铁工序所需的能源消耗和产生的污染物在钢铁企业中占比较大，炼铁是实现节能、降碳、减少污染物排放的重点工序。高炉冶炼生产过程中，布料后料罐均压煤气直接排入大气，不仅会对周边环境尤其是高炉生产区域造成不良影响，同时也会造成能源（高炉煤气）浪费。回收高炉料罐均压放散煤气，既能够减少CO2、CO和粉尘排放，同时能够减少能源损失，提高资源利用率，实现环境效益和经济效益的双赢。从高炉料罐均压煤气自然回收和全回收工艺技术分析入手，结合生产实际，通过对不同工况下高炉均压煤气回收系统运行数据和效益进行统计、核算和分析，定量说明了高炉均压煤气回收的技术特点，评估了两种煤气回收技术各自的优势，建议钢铁企业结合自身的实际生产情况，在不影响高炉生产作业顺畅的前提下，优先选择高炉均压煤气全回收工艺。

**关键词：**高炉；均压煤气；自然回收；全回收；效益