

首届全国粉磨介质与耐磨 材料技术研讨会论文集

中国选矿科技情报网

鞍钢矿山研究所

中国选矿科技情报网粉碎工程网

鞍钢矿山公司钢球研究与监测中心

一九九二、四、北京

代 序

在党的十一届三中全会所确定的正确路线、方针和政策指引下，进入80年代以来，我国在矿用耐磨材料新品种的研制、生产和推广应用方面取得重大进展。许多科研院所、高校、生产厂矿和黑色、有色、水泥、电力等用户行业的专家、教授、企业家和有关科技人员，对我国各有关行业使用新的耐磨研磨介质和磨机衬板的研究和应用获得大量科技成果，已为国家创造相当数量经济效益，呈现出一派繁荣兴旺大好形势。

为了更好地总结和交流这些已有的成果和经验，为了在今后十年把这些成果和将要研究出的新成果，迅速地变成现实生产力，取得实实在在的经济效益，我们中国选矿科技情报网、粉碎工程网和鞍钢矿山研究所，决定联合召开这次《研磨介质和磨机衬板技术研讨会》。为了开好这个会，又在会前先行出版这本会议论文集，收入各种论文110多篇。我们认为内容相当丰富，基本上反映出我国磨矿方面金属耐磨材料研究和应用的成就。这次会议我们还特别邀请了一些高校和科研单位著名的材料学教授和专家做专题学术报告；邀请了水泥和电力方面同行共聚一堂，介绍他们的成果和经验。毫无疑问，这就大大增添了本次研讨会的光彩，为我们金属矿选矿工作者提供了宝贵的学习机会。

从论文集中有关展望性文章可见，我国在研磨介质和衬板方面的节约潜力还很大，在今后十年我们可能还要研制和应用更多的优良而廉价的新品种，获得更大的经济效益。我国90年代将使国民经济总产值再翻一番。据预测，由于今后大面积推广应用和将进一步研制和应用新品种，我国到2000年时磨介和衬板的耗用总量将基本上保持在1990年消耗量水平或略少些。这就相当于每年为国家节省钢铁材料30—40万吨，价值2亿元以上。应用推广所产生的“工艺生产附加效益”也可能达到2亿元以上，总效益4亿元/年以上。这是一笔相当可观的财富，意义重大。

我们衷心希望能通过这次研讨会和本论文集的技术交流，各方面有关的专家、学者、教授、企业家和科技工作者，进一步加强联系，在党中央的正确领导下，为在我们这个领域里做出更大贡献而努力奋斗。

中国选矿科技情报网

秘书长 赵涌泉



目 录

1

1. 代 序	中国选矿科技情报网秘书长	赵涌泉 (1)
2. 我国新型磨矿介质的材质研究、工业生产和推广应用综合述评	鞍钢矿山研究所 北京矿冶研究总院	程绍良 王宏勋 孙成林 (1)
3. 粗谈选择磨矿介质的技术—经济—社会考虑因素	北京矿冶研究总院 鞍钢矿山研究所	孙成林 王宏勋 程绍良 (25)
4. 磨机衬板用耐磨材料的技术进展	北京矿冶研究总院 鞍钢矿山研究所	王宏勋 孙成林 程绍良 (32)
5. 减小磨球尺寸探讨与异型磨矿介质应用	鞍钢矿山公司 北京矿冶研究总院	程绍良 吴博明 孙成林 王宏勋 (44)
6. 国内外水泥粉磨介质评介	合肥水泥研究设计院	李茂林 (47)
7. 低铬合金铸铁的研制与应用	宁国耐磨材料总厂	陈宗明 朱定武 (55)
8. 球磨机衬板选材指导性文件	洛阳矿山机械研究所	李石林 (63)
9. 90年代破碎磨矿衬板及磨矿介质应用展望	易门铜矿	杨汉勇 (69)
10. 选矿用球磨机易磨损件的磨损机理和失效分析	清华大学	刘英杰 沈万慈 (74)
11. 磨球的腐蚀及其对选矿的影响	中南工业大学	徐秉权 (79)
12. 浅析高硬度磨球对磨煤球磨机ZGMn13衬板早期失效的作用	西安电力机械耐磨研究所	程必国 (89)
13. 研磨体级配	天津水泥工业设计院	王绍兴 (95)
14. 中锰球体与中锰白口铁在有色矿山的生产应用		

-水口山矿务局 李邦璜(100)
15. 降低磨球消耗、提高经济效益
.....青岛冶金矿山大学 孙长泉 (107)
16. 降低球耗提高磨矿效率获得最好的经济效益
.....长沙矿冶研究院 李继芳 (112)
17. 球磨机磨矿介质应用技术研讨
.....永平铜矿 白法铭 (118)
18. 浅谈磨机承磨件的应用与发展
.....中国有色金属工业总公司南昌公司 刘立生 (127)
19. 鞍钢矿山公司优质钢球研制、生产和推广应用现状及“八五”期间进一步
节球降耗增益的技术对策
.....鞍钢矿山公司 吴博明、程绍良、于乃祥
王明岩、倪高翔、孙庆丰
赵德学、刘国清 (132)
20. 中高碳钢90方坯硬料“低应力预切口冷断法”下料 $\phi 127\text{mm}$ 锻后余热淬火
优质钢球研制、生产和工业应用
.....鞍钢矿山公司 程绍良、吴博明、邓振宇、
刘世荣、于乃祥、王明岩、
赵德学、孙庆丰、杨继武、
韩家奇 (140)
21. 三种低铬球试验情况介绍.....金堆城钼业公司 安树亚 (146)
22. 采用金属型多元合金球提高磨矿效率.....辽宁五龙金矿 胡 斌 杨树樑 (151)
23. 磨矿介质及降低磨矿介质耗量途径的探讨
.....德兴铜矿 刘建国 吴一微 (155)
24. 采用耐磨球 提高经济效益.....山东镁矿 王玉斌 (161)
25. 降低磨矿钢球消耗的探讨.....德兴铜矿 刘思桐 颜顺金 (164)
26. 低合金球用于铜硫矿石可磨性工业试验.....江苏冶金研究所 袁次熙 (170)
27. 高铬铸球在水泥工业上的应用
.....唐山水泥机械厂 陈铁军、李雨森、侯炳新 (177)
28. 马氏体球墨铸铁磨球的研制与应用
.....西安交大耐磨材料研究室 贺柏龄、饶启昌、周庆德
陕西水泥集团公司 吕振林、高理家 (183)
29. 高碳低铬白口铁球在水泥球磨机中的磨损行为
.....合肥工业大学 魏纯金、邓宗钢
宁国县耐磨材料总厂 陈宗明 (186)
30. 高铬铸铁磨球: 损耗量32克/吨水泥
.....王全忠 吴玉书 (190)
31. 高铬铸铁磨球在我厂的使用情况
.....张店水泥厂 (192)

32. 高铬铸球在 $\phi 2.2 \times 13\text{m}$ 水泥磨上的应用
.....铁道部工程指挥部川东水泥厂 朱学安 (195)
33. 多元高铬铸铁球在磁选厂的应用
.....西林钢铁公司 尹克林、于怀钦
于淑清、吴 君 (198)
34. 高碳铬锰合金铸球的应用
.....太原水泥厂 宋景文、常卫东 (201)
35. 大直径低铬合金磨球的研制及在选矿厂粉磨中的应用
.....安徽省宁国县铸钢厂 胡 平 雷检生 (206)
36. 45Mn2钢球试验报告
.....宝鸡发电厂 王之贵 (212)
37. 稀土镁中锰球墨铸铁磨球的合金化研究
.....武汉水利电力学院金属室 郑同将、黄光华
江西电力修造厂 张兴祥、荣德华 (215)
38. 中锰抗磨球铁的水韧处理
.....山东工业大学 孙本茂 (222)
39. 稀土中锰合金铸铁球的试验研究
.....广西冶金研究所 彭凤江 (225)
40. 锰铬稀土合金铸球的研究
.....本钢研究所 高德宣、张灿银、蔡 平 (230)
41. M型抗磨球墨铸铁磨球的研究
.....华东交通大学 万 毅 (233)
42. 高碳低铬、钨耐磨钢球研制
.....南昌钢铁厂 张明辉、梁跃才、朱颜江
阎 正、郭茂兴 (239)
43. 钼系高稀土铬合金磨球——原钼矿综合利用
.....洛阳工学院 张烂烽 (247)
44. 磨煤机用多元素高碳中锰钢球的研制
.....佳木斯工学院 郭纪伟、荣守范、王贵堂 (251)
45. 12%Cr型抗磨钢铸球性能及其应用研究
.....广东省钢铁研究所 周文辉、黄伟嘉 (255)
46. 高铬铸球若干问题的探讨
.....漳州市钢铁厂 吕尚谋 (261)
47. 高铬白口铸铁的高温形变热处理
.....江苏省扬州磷肥厂 陈长顺 (267)
48. 铬钒钛铸铁磨球研究
.....河北工学院 王文才、孙道盈、刘根生 (272)
49. Z Q Cr₂ Mo Cu低合金耐磨球的研制
.....华东冶金学院 徐业景、李 川 (281)

50. 铸造用磷铜钛低合金耐磨生铁简介
.....云南楚雄禄丰钢铁厂 (287)
51. 提高稀土镁中锰球铁韧性及其耐磨性能的探讨
.....桂林冶金机械厂 刘志尧 (289)
52. 中锰球墨铸铁S—曲线测定及机械性能试验
.....水口山矿务局 李邦璜 (293)
53. 锻造锰白口铸铁
.....广东机械学院铸造教研室 黎沃光 (300)
54. 影响中锰球铁“磨段”抗磨性的主要因素
.....漳州冶金机械厂 吕尚谋 (308)
55. 热处理 $\phi 50\text{mm}$ 铸铁球在磨矿生产中的应用
.....首钢矿山公司 李树生 王 鹏 (311)
56. 淬火铸铁球研制与生产
.....首钢矿山公司 李树生 王 鹏 (313)
57. 磷铜钛低合金耐磨生铁磨球的生产及应用
.....首钢矿山公司 王 鹏 才振东 (320)
58. 低铬耐磨球在梅山矿应用
.....梅山铁矿 杨春锁 吴元生 (324)
59. 抗磨铸铁新材料 $\phi 50$ 铸铁球的研制和应用
.....太钢峨口铁矿 段 竹 (330)
60. 提高钢球质量降低钢球消耗
.....鲁中冶金矿山公司选矿厂 胡公明 魏子斌 (336)
61. 铬铜2*铸球在梅山试验效果良好
.....梅山铁矿选矿厂 杨春锁 (338)
62. 50Cr淬火锻打钢球作为磨矿介质工业使用情况
.....山东金岭铁矿选矿厂 (341)
63. 钢球材质与耐磨性关系的研究
.....鞍钢钢铁研究所 孙显祖、窦廷耀、钱德增、
李士杰、庞兆夫 (344)
64. 55Q轻轨钢 $\phi 60\text{mm}$ 、高中碳硬杂钢 $\phi 120\text{mm}$ 轧后余热淬火优质钢球轧制、
工业试验与应用研究
.....鞍钢矿山研究所 程绍良
鞍钢中板厂 范垂柳 (350)
65. G Cr15锻热淬火钢球粉磨金矿试验报告
.....山东五莲县七宝山金矿 (371)
66. 镍铬合金铸球的研制与应用分析
.....本钢歪头山铁矿 刁景伦、段其福 (375)
67. 湿磨条件下磨球的磨损及其选材
.....清华大学机械工程系 邓海金 (383)

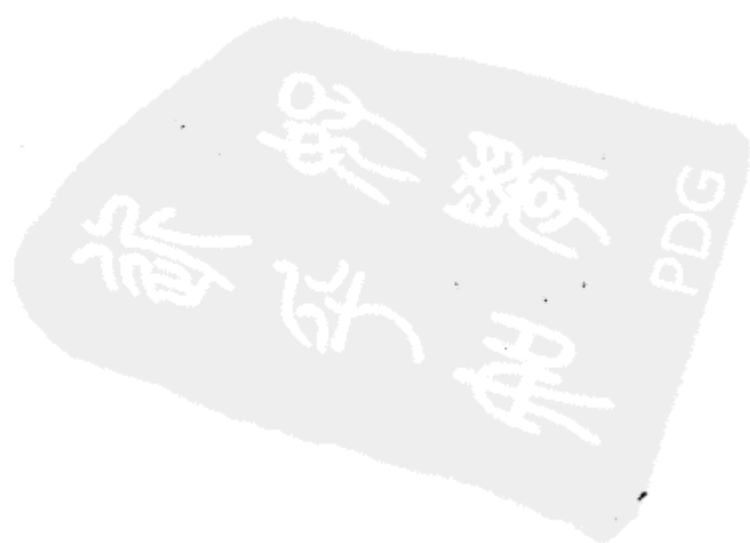
68. 中、高碳钢钢球生产工艺及经济效益
.....攀枝花冶金矿山公司 敬守政 (392)
69. 推行余热淬火是提高钢球耐磨性能的切实途径
.....武钢大冶铁矿 郭建华 (398)
70. 45Mn2高温形变淬回钢球研制与应用
.....山东冶金设计研究院 李恒德 (400)
71. 锻造高铬铸铁的机械性能
.....太原工学院 孙逊、林飞、孙亚虹、刘建成 (410)
72. 高碳低合金钢锻热淬火钢球研制与应用
.....山东冶金设计研究院 李恒德 (416)
73. 高碳低合金钢锻热淬火钢球作为磨矿介质工业试验报告
.....山东省冶金设计研究院 李恒德
莱芜钢铁总厂莱芜铁矿 陈绪伦、王立亚
山东冶金研究院青州钢球厂 冀书森 (421)
74. 低合金锻热淬火钢球的工业生产及应用效果
.....首钢矿山公司 王鹏 (424)
75. 新型磨矿介质—棒球的生产及应用
.....首钢矿山公司 王鹏 才振东
马兰庄铁矿 安家懿 (429)
76. 大石河选矿厂新型磨矿介质棒球的工业试验
.....首钢矿山公司 才振东 冯庆延 葛锡林 王鹏 (436)
77. 矿石的细磨试验研究
.....长沙矿冶研究院 孙铁田 (440)
78. 关于异形介质磨矿的试验研究
.....东北工学院 张纪谦、汤素燕、李启亮 (445)
79. 我国金属矿细磨的介质问题研究
.....昆明工学院 段希祥 (452)
80. 新型磨矿介质的研究..... (458)
81. 磨矿介质的选择与试验
.....大冶有色金属公司 王雅富 (462)
82. 包钢选矿厂五系列磨矿生产技术攻关中磨矿介质试验研究
.....包钢矿山研究所 张允箴 项恩厚 (467)
83. 水泥磨使用冷模锥型铸锻
.....广州水泥厂 薛祖德、杨如清、陈库强 (470)
84. $\phi 25 \times 35\text{mm}$ 低铬合金铸段异形磨矿介质应用研究
.....鞍钢矿山公司 程绍良、吴博明、杨映文、刘志耿
江政江、金成宽、纪彪、
于乃祥、王明岩、赵德学 (473)
85. 第二段磨矿使用 $\phi 35 \times 45\text{mm}$ 低铬铸段柱塞状异形磨矿介质代替 $\phi 60\text{mm}$ 中锰

稀土铸铁圆球状磨矿介质工业应用试验研究

-鞍钢矿山公司 程绍良、吴博明、刘志耿、金成宽
杨映文、于乃祥、王明岩、纪彪
李增敏、江政江 (480)
86. 重轨切头高碳钢 $\phi 30 \times 45\text{mm}$ 轧后余热淬火优质棒球的研制、生产和工业应用
.....鞍钢矿山公司 程绍良、吴博明、杨映文、刘志耿
金成宽、于乃祥、王明岩、赵德学
李增敏、徐庆国 (489)
87. 优质热轧钢棒球异形研磨介质的生产和应用
.....鞍山市钢棒球厂 范垂柳
鞍钢矿山研究所 程绍良 (495)
88. 中铬铸铁的研制
.....西安交通大学 饶启昌
洛阳工学院 张永振 (502)
89. 稀土、钒复合变质无钼交铬铸铁的研究
.....武汉水利电力学院 林咸成、雷顺加 (509)
90. 高铬铸铁的研究与应用
.....衡阳有色冶金机械总厂 彭治龙
冶金部钢铁研究总院 何俊 (516)
91. 高锰钢现状及今后发展
.....唐山水泥机械厂 陆秉钧 (523)
92. 关于高铬铸铁的悬浮铸造
.....江西省机械科学研究所 黄敏江、王从余、王铁 (533)
93. 锰钒钛耐磨铸铁的研究
.....中国农机研究院工艺材料研究所 金远智、曹瑞文、贺镇江
河北承德矿山机械厂 任福祯、石秀英 (537)
94. 高铬锰抗磨铸铁的研制
——高铬铸铁中以锰代钼的试验
.....铜川市耐磨材料厂 梁鸿章、卢新成 (549)
95. 新型高强韧性、高耐磨性奥氏体—贝氏体钢的研究
.....中国矿业大学北京研究生部 曲敬信等 (552)
96. 硼合金抗磨铸铁的研究
.....吉林工业大学 贾树盛、周宏、孙广平、
苏玉林、尚可 (561)
97. 硼白口铁磨球的碳化物和碳硼量的研究与确定
.....吉林工业大学 贾树盛、苏玉林、周宏、孙广平 (566)
98. 对奥氏体中锰钢的研究
.....西安冶金建筑学院 王明胜、王大业 (571)

99. 锰铬耐磨合金的研究
.....本钢钢铁研究所 高德宣、杨家成、张灿银、蔡 平 (575)
100. 复相高Si/C中铬白口铸铁的研制
.....机电部沈阳铸造研究所 李 卫、朴东学 (577)
101. 铬白口铸铁及其生产工艺的研究与发展
.....机电部沈阳铸造研究所 朴东学、李 卫、孙超英、
李慧玉、齐笑冰 (586)
102. 高碳低合金贝氏体抗磨钢的研制与应用
.....佳木斯工学院 荣守范、郭继伟、张庭华 (593)
103. 耐磨的球磨机衬板设计及材料
.....北京科技大学 王兆昌 (599)
104. 球磨机衬板的磨损述评
.....上海建筑材料工业学院 戴少生
浙江省富阳二轻水泥厂 王和忠 (606)
105. 球磨机筒体衬板磨损失效的分析
.....江苏省扬州磷肥厂 陈长顺 (620)
106. 组合自固型无螺栓高铬铸铁球磨机衬板的设计与安装
.....江苏省扬州磷肥厂 陈长顺 (626)
107. 浅析ZGMn13磨煤球磨机衬板的加工硬化作用及其继续作衬板的前景初探
.....西安电力机械厂 程必国 (635)
108. 球磨机衬板材质机械性能的选择
.....江苏省建材工业局 杨世铎 (640)
109. 水泥磨机衬板的选材
.....青岛市机械研究所 王定祥 (645)
110. 钒钛高锰钢在球磨机衬板上的应用
.....山东铝厂水泥厂 詹建成 (650)
111. 中锰球墨铸铁球磨机衬板试用情况
.....中国水泥厂 张正中 (653)
112. 低铬铸铁在水泥磨机中试用和研究
.....建材院水泥所 赵焕彬 廉英孝
陕西延河水泥机械厂 丰桂莲 (659)
113. 选矿磨机用耐磨橡胶衬板
.....冶金部海南铁矿橡胶衬板厂 张小平 (661)
114. 聚氨酯弹性体作磨机提升衬板的探讨
.....马鞍山矿山研究院 马华麟 (673)
115. 可动橡胶溜槽的研制及其在采金船粗选设备中的应用
.....辽宁本溪市塑胶厂矿冶机械厂 贾本之、王 振 (681)
116. 国外粉碎用球和衬板形状研究之简介
.....洛阳矿山机械研究所 康继尧 (687)

117. 国内外磨机衬板材质评介
.....合肥水泥研究设计院 李茂林 向启琦
湖北水泥机械厂 侯 捷 (692)
118. 贝氏体钢球在有色金属选矿厂试验成功
.....北京矿冶研究总院 孙成林 (708)
119. 新型热轧贝氏体型耐磨钢球
.....清华大学 方鸿生、邓海金、郑燕康、陈秀云
扬州电力设备修造厂 袁仁宏、王海珊、吴久公 (709)
120. 球磨机试用GCr15轴承钢研磨体..... 本溪水泥厂 范秀容 (204)



我国新型磨矿介质材质研究、 工业生产和推广应用综合述评

〔鞍钢矿山研究所〕 程绍良

〔北京矿冶研究总院〕 王宏勋 孙成林

一、引言

80年代,是我国磨矿介质领域在新材质研究、磨损机制探讨、新品种研制开发与工业批量生产、已有各种优良磨矿介质大面积推广应用并取得实效的十年,是大发展的十年。

80年代初,冶金部组织有关单位组成钢球调查组,对全国磨球生产状况和各行各业使用情况,进行了一次很有意义的调查。1981年上半年,《冶金报》上发表了一篇很醒目的短文,篇名叫做《小小钢球引起的严重浪费》。与此同时,几家科研院所也对国外磨球材质研究、生产制造及其在不同行业的使用情况进行了情报调研,结合我国当时磨球使用情况,分析对比,找出差距,提出提高我国磨球质量,大幅度节球降耗的技术对策。由此,就在相当程度上引起了各有关工业主管部门的关注,唤醒了我们与磨球有关的金属材料科研单位、磨球生产厂家、特别是用球厂家领导干部、科研人员、供应管理人员努力改进我国磨球材质、大幅度节球(钢)、降耗、增益的技术经济思想意识。我们高兴地看到,十年来,新材质新配方层出不穷,开发研制的耐磨球品种琳琅满目,许多应用厂家推广应用效益显著,磨损机制研究有了良好的开端,都在向深度和广度发展。

据我们不完全统计,在中国选矿科技情报网粉碎工程网历届年会和学术研讨会上,在中国金属学会金属耐磨材料与磨损学术委员会历届年会上,在黑色金属矿山,有色金属矿山、水泥、电力磨煤、矿山机械等行业举办的各种专业会议、情报交流会、地区技术协作会议上,各主管工业部门和省市专业刊物和高校学报、专著中,近十年来发表的涉及到磨球新材质研究、如何选材、磨损机制探讨、新品种磨介开发与生产、推广应用成果等方面的研究报告、专题论文、综述和技术建议,有300多篇。基本上反映出我国磨矿介质科研、生产和应用的进展和面貌。

由于本次会议性质所决定,我们试图偏重从推广应用的角上,抱着虚心学习的态度,不引用国外资料,对十年来已取得的成就加以粗浅的述评,冒昧地对今后十年发展趋势加以展望。有提法不当或错谬之处,敬希有关专家指正。

二、新材质耐磨磨矿介质的研制开发

众所周知,十年前我国各行业磨球总耗用量大约为50万吨/年,绝大部分为低碳钢材质锻(轧)钢球、普通白口铁铸球和一定数量的中锰稀土铸铁球。属于中高碳(低合金)钢材质和其它合金铸铁材质的磨球数量很少。这就是我国磨球材质差、质量低、单耗高、用量多、浪费大的主要原因。

十年来已发生重大变化。许多新品种耐磨球已纷纷研制出来并得应用。按它们的材质和生产工艺可划分为下列五个品系。

1. 各种中高碳钢、低合金钢、轴承钢材质锻（轧）后余热淬火钢球类。

大多数从属于大型钢铁联合企业的铁矿山选厂自己加工与使用的钢球，多已从原用低碳钢材质过渡到使用中高碳材质，锻后或轧后利用余热淬火，表层硬度和耐磨性明显提高。

钢球的韧性最大，热处理（淬火）得当，可得相当深的马氏体淬硬层。在可以预见的未来，在湿磨工况大球中，仍将占主导地位。

2. 中锰稀土球墨铸铁球及其他合金强化铸铁球类

虽然人们在使用中发现它有些先天不足，抗冲击疲劳剥落能力差，易破碎，但因其能够利用国内地区性锰资源丰富的优势，生产工艺简单，在小规格磨机中使用破碎率并不高，使用单耗与售价又相当于中碳钢淬火球，故在我国有色系统选厂仍占据相当地位。某些专家正通过加入Cu、Cr、V、Ti等使之多合金化以改善性能，挽救这一品种。

3. 高铬（钼）合金铸球及中铬中锰合金铸球

靠含有大量的 M_7C_3 型坚硬碳化物和马氏体基体组织而具有最高的平均体积硬度，表里硬度又均匀。冲击韧性不足，热处理不当易于在使用中碎裂，贵重合金元素含量高，售价昂贵。中锰中铬球，则一半铬为锰所代替，韧性改善，售价稍降。

某些著名生产厂家的高铬铸球，在水泥和电力磨煤等干式磨矿工况条件下，使用效果已接近国外水平。近年来得到相当数量推广应用。

4. 高碳低铬合金或铬钼铜多合金铸球类

这类磨球特点是合金元素比高铬类大大减少，冶炼容易，具有珠光体为主的基体组织，热处理得当，可得到均匀弥散的断网状碳化物，硬韧性适中，价格便宜。是近几年发展最快的磨球品种。

低铬合金铸锻，合金成分更少，冲天炉熔炼，铸态使用，价格更加低廉，可望在金属矿细磨作业完全取代各种圆球介质。

5. 以天然特种合金生铁或废渣合金生铁为主原料炼制的合金铸铁球类

已研制开发了含有Cr、V、Ti、Cu、B、Mo等廉价多合金铸铁球。例如云南和首钢共同开发的磷铜钛特种生铁淬火铸铁球，攀枝花、河北承德等地的钒钛中锰球、辽东和吉林开发的含硼铸铁球，湖北和辽宁开发的铬钒渣生铁合金铸球等，这类合金铸球具有强烈的资源综合利用色彩。我们预祝它们在今后几年会取很重大进展，其综合性能可能不亚于配料合金低铬类磨球，成本和售价却可大大降低。

另外西安交大开发的几乎不用合金元素的马氏体球墨铸铁磨球，从生产的简易性、综合性能和价格等综合来看，也是一种优良品种。

由于种种原因，目前仍有相当数量不耐磨低碳钢球和普通白口铸铁球、低档中锰铸铁球以及数量可观的用废切屑烧结铁锻制的劣质钢球在许多选厂使用着。我们预测，今后它们的市场份额将越来越小、五年后将退出历史舞台。

近些年来由我国有关科研院所、高校和生产厂家研制开发的具有代表性的新材质磨球品种（有些是大同小异），列如表1。

三、新材质耐磨磨球的生产现状

应该看到，我们所使用的磨矿介质，从生产制作上来说，它是一类“金属制品”（而不

表1 我国近十年来各有关高校、科研单位和制球厂家研制与开发的新材质磨矿介质情况

序号	品种	研制或 生产单位	磨球合金成分、金相组织 与性能特点	硬度与韧性	试验与使用单位	使用效果	备注
1	马氏体球 墨铸铁磨球	西安交通大学; 陕西水泥集团公司	C3.4—3.9%, Si2.2—2.5%, Mn0.8—1.2% 残Mg0.03—0.05%, 残Re0.03—0.06%; 马氏体固溶量低, 残奥少, 无渗碳体。冲天炉熔炼, 砂型铸造, 工艺出品率75%。热处理消除内应力。不含贵重合金元素。破碎率0.1%。适合中小型铸造厂生产。	HRC52—58, ak8J/Cm ² 冲击疲劳剥落量小	韩城市水泥厂, $\phi 1.5 \times 5.7$ m 水泥磨一仓。	单耗: 马铁球106.3g/t; 高铬球82g/t; 普碳球700g/t; 耐磨系数分别为6.65, 8.53和1.00。当时市场价分别为2200元/吨, 4200元/吨和1200元/吨。	吨泥球费比普碳球降低0.6元, 比高铬球降低0.115元
2	高碳低铬合金铸球	安徽宁国耐磨材料总厂	C2.0—3.4%, Si0.8—1.6%, Mn0.4—1.0%, Cr1—5.0%, Mo0.1—1%, Cu0—0.6%, P<0.1%, S<0.08%, Re0.07—0.1%。珠光体+初生碳化物+二次碳化物。	HRC48—55, ak>3J/cm ² 破碎率<3%	广泛应用于水泥、热电厂、冶金矿山选厂。	应用于水泥, 其耐磨性为普碳钢球的5—7倍; 应用于冶金矿湿磨机其耐磨性为普碳钢球的2.5—3倍。售价2500—2900元/吨。	
3	高碳低铬合金铸球 (研制与推广)	安徽宁国耐磨材料总厂; 鞍钢矿山研究所	C2.8—3.3%, Cr0.5—1.5%, Si1.0—1.6%, Mn0.4—0.8%, Mo0.1—0.3%, Cu0—0.4%, Re适量。主为细珠光体+共晶碳化物+二次碳化物。冲天炉熔炼, 金属型激冷成型, 铸态使用。产品适合水泥磨三仓或金属矿第二、三段细磨使用。	HRC48—52, ak4—5/J cm ² 硬度与韧性适中, 几乎无碎球	鞍钢大孤山选矿厂第二段第三段磨 $\phi 2.7 \times 3.6$ 与 $\phi 2.7 \times 2.1$ m湿式溢流型磨机	耐磨倍数为低碳钢球的2.2~2.4倍; 为中锰铸铁球的1.5~1.6倍。售价1800—2000元/吨(视规格大小而不同)。	
4	磷铜钨多金属低合金耐磨铸球	云南楚雄禄丰钢铁厂磨球厂、首钢矿业公司	利用当地产多种金属共生“特种生铁”为主原料。电炉与冲天炉熔炼, 金属型机械化圆盘浇注机铸造, 热处理态使用。 C3.3—3.7%, Mn1.0—1.3%, P0.4—0.7%, Cu0.5—0.8%, Ti0.06—0.2%, V0.02—0.05%, 尚有其他10余种微量贵重合金元素。	HRC50—53, ak0.5—0.8 J/cm ²	首钢矿业公司选厂 $\phi 2.7 \times 3.6$ m二次磨机 $\phi 50$ 铸球。	在生产成本相近情况下, 比原用淬火铸铁耐磨球单耗又降耗10%左右。	
5	铬钼钨铁磨球	河北工学院 (1988)	C2.4—3.2%, Cr/C=4.65, Mn0.3—0.8%, V0.1—0.3%, Ti0.05—0.15%, Si0.6—2.4%。屈氏体+M ₇ C ₃ 型碳化物(15—20%), 无Cu、Mo。金属型铸造、铸态使用, 充分利用钼钨生铁资源; 成本低, 性能超过高铬低铜钨磨球; 低倍组织致密, 表面质量优良	HRC52—57; ak4—10J/cm ² 表心硬度差2—3; 磨损均匀, 不变形。	在水泥厂 $\phi 1.5 \sim \phi 2.4$ m水泥磨一仓使用。	单耗为34—38g/t水泥。一个年产铬钼钨铸球1000吨的铸球厂年可获利税70—100万元; 一个年产80万吨水泥厂, 年可获节球费100万元。	
6	M型抗磨球墨铸铁磨球	华东交通大学	比一般中锰铸球多含铜0.5%。马氏体+贝氏体针状组织为主。冲天炉熔炼, 金属型铸造, 出品率高, 铸态使用; 表面质量好。	HRC45—60; ak8—20J/cm ² 碎球率低	某铜矿选厂 $\phi 2.7$ m湿磨矿; 某水泥厂 $\phi 1.83 \times 6.12$ m水泥磨。	单耗0.77kg/t; 普碳球1.26kg/t, 降耗40%, 耐磨倍数1.64; 单耗0.143kg/t泥, 优质锻球0.45kg/t; 降耗68%, 耐磨倍数3.14	
7	铬钼铜白口铁磨球	洛阳工学院	C2.9—3.2%, Si0.6—1.0%, Mn1.4—1.7%, Cr1.2—1.5%, Mo0.2—0.4%, Cu0.8—1.1%, Al0.15—0.2%, Re0.02—0.05%。金属型加保温冒口铸造, 热处理后使用。韧性适宜, 耐磨使用寿命长, 碎球少。	HRC50—60 ak=	原阳水泥厂 $\phi 1.83 \times 6$ m和 $\phi 1.5 \times 5.7$ m水泥磨	单耗117g/t水泥, 原用低碳钢球1000g/t, 耐磨倍数接近9; 与高铬铸球80—100克/吨相近, 但价格低得多。	

续表1—1

序号	品种	研制或 生产单位	磨球合金成分、金相组织 与性能特点	硬度与韧性	试验与使用单位	使用效果	备 注
8	ZQ铬铜低合金耐磨球	华东冶金学院	C2.6—3.0%, Si1.0%, Mn1.5—2.0%, Cr1.5—2.5%, Mo0.3—0.5%, Cu0.8—1.0%。条块状共晶碳化物+弥散分布二次碳化物+马氏体+残余;冲天炉熔炼,金属模铸造,超轻保温冒口补缩,高温淬火。	HRC50—57; ak0.8—1.2 kgm/cm ²	安徽当涂红旗水泥厂φ1.83m水泥磨	单耗90g/t水泥	
9	钼系高稀土铬合金磨球	洛阳工学院	综合利用河南产原钼矿及其多金属共生矿石。冲天炉熔炼,热处理。基体中分布小块状与短条状碳化物,细小金属碳化物弥散于较大碳化物中。耐磨性好,碎球率低,生产成本低。	HRC>5.0, 表心相差3—5 ak7.8J/cm ²	水泥厂φ1.5; φ1.83; φ2.2 m水泥磨一 仓。	单耗分别为117g/t和39—60g/t耐磨度为轴承钢钢球的7.0倍左右,接近高铬铸铁球水平,节约合金元素,降低成本,节电,增产。	
10	稀土中锰合金铸铁球	广西冶金研究所	Mn5.8—6.5%。主为针状体+块状碳化物+部分残余。冲天炉熔炼,砂型铸造。成本低廉。可充分利用广西锰资源丰富的地区优势。	HRC38—54, ak0.6—0.8 kgm/cm ² 。	南宁市政水泥厂和马山水泥厂	单耗0.9kg/t,普碳球1.83kg/t,降耗50%;耐磨性约2倍;单耗0.4kg/t,比普碳球1.1kg/t低63%,耐磨2.77倍;售价1800元/吨,普碳球1500元/吨。	全区水泥产量700万吨/年,全部推广可节钢6500t/年,效益977万元/年
11	多元高碳中锰钢球(铬钒钨多合金化)	佳木斯工学院	C1.0—1.6%, Mn7—9%, Si0.7—1.0%, Cr1.2—1.8%, V0.05—0.15%, Ti0.03—0.10%, P.S<0.06%。电炉熔炼,湿砂型铸造,高温井式电阻炉热处理。加工硬化特性好,硬化层0.4—1.0mm。	表面HRC28—30,磨后HRC>55, ak>16.8J/cm ²	在某电厂φ2870×4700mm磨煤机中应用。	单耗为127g/t煤。轴承钢球为270g/t,普碳球为400g/t,铸铁球为500g/t。耐磨倍数分别为1.00, 2.10, 3.10和4.0。	
12	铬锰稀土合金铸球	本钢公司钢铁研究所	C2.0%, Si1.05%, Mn3.7%, Cr3.51%, Mo0.265%, Cu0.64%, Re0.025%。热处理后金相组织:屈氏体50%,共晶碳化物28%,马氏体22%。电炉熔炼,砂型铸造,热处理。用后不变形。表里硬度均匀。	HRC50—52, ak7—11N/cm ² 。	太原水泥厂φ3×11m水泥磨一仓。	单耗78g/t水泥。低碳球764g/t, 45Mn2球200g/t。降耗为后者90%和64.0%,耐磨倍数分别为9.77和2.56。	水泥磨单产提高,电耗下降。
13	12%铬型抗磨钢球	广东冶金研究所	Cr11—16%, C1.8—2.3%, Si<1%, Mn<1.0%, S·P<0.06%, Re适量。中频感应炉熔炼,砂型铸造。主为马氏体+二次析出碳化物+网状共晶碳化物+少量残余。低倍组织致密。表面质量好。达到标准高铬球水平。	HRC55—64 表心硬度均匀, ak3—4 J/cm ²	两家水泥厂φ1.83×6.4m和φ2.2m以下水泥磨使用;在四家有色选厂使用。	单耗为57—79g/t水泥耐磨倍数是原用普碳球之8—10倍; 为原用普碳球钢球的2.4—4.7倍	吨水泥节省球费1.2—1.5元,增产、节电、节钢。
14	高铬铸铁磨球(生产、试验与推广应用)	南昌发电厂江西电力修造厂(已形成年产3000吨规模)	Cr13—18%, C2.4—2.8%, Mo0.5—2.0%, Mn0.5—0.95%, Cu0.4—1.0%, Re适量。950—1050℃空冷加230℃回火。主为合金碳化物+马氏体+奥氏体。	HRC57—60 ak0.4—1kg m/cm ²	在电厂φ2.5×3.9m干式磨煤机中应用。	高铬球单耗62.3g/t,单价4000元/t;中锰球单耗945g/t,单价为1300元/t。高铬球耐磨性为中锰球的15倍。每吨高铬球应用产生社会效益15500元/t。	减少煤粉中铁量可减轻磨损,避免锅炉结焦
15	45Mn2高温形变淬、回火锻钢球	山东省冶金设计研究院	C0.42—0.49%, Si0.2—0.4%, Mn1.4—1.8%, P.S<0.04%。高温形变淬、回火。板条状马氏体+少量针状马氏体+少量贝氏体。表面质量优良,表里硬度均匀。淬火工艺先进。	HRC58—62 全部淬透。 ak1.6kgm/cm ² 。	磨水泥 磨铁矿。	单耗0.167kg/t,普碳球0.764kg/t 节球78%,耐磨倍数4.5单耗0.464kg/t,中锰铸球1.123kg/t,节球58%,耐磨倍数2.42。	已在部分水泥厂和选矿厂推广应用

续表1-2

序号	品种	研制或 生产单位	磨球合金成分、金相组织 与性能特点	硬度与韧性	试验与使用单位	使用效果	备 注
16	高碳低合金钢 锻热淬火 钢球	山东省冶金设计研究院 (1990)	含C0.7—1.05%, 含少量Cr、Mn、B等元素。隐针状马氏体+碳化物+残余奥氏体。始锻温度1000±50℃, 终锻温度900±50℃。充分预热, 快速加热, 低温锻造, 双液淬火。按半马氏体计, 全部淬透。	HRC58—64, 心部>45, ak10—12J/cm ² 。	在莱芜铁矿磨铁矿石。 在五莲金矿磨金矿石。	单耗0.348kg/t, 中锰铁球单耗0.91kg/t, 耐磨倍数2.7左右。单耗为0.45kg/t, 普碳钢球2.7kg/t, 耐磨倍数为6左右	高碳淬火球, 售价2500元/t, 中锰球售价1300元/吨。
17	高铬铸铁磨球	鞍山市第二铸钢厂建材研究院	C2.4—2.6%, Cr15%左右, 其它合金元素少量。砂型串铸成球。	热处理后 HRC60—63	鞍山市水泥厂 φ2.2×6.5m 水泥磨一仓	单耗32—47g/t水泥。使用普碳钢单耗500g/t, 耐磨倍数为10—15倍。水泥厂的单产、电耗、标号等技术经济指标全面改善。	
18	高韧性低铬合金磨球	安徽宁国县铸钢厂	C3.4—3.9%, Si1.8—2.5%, Mn0.5—1.0%, Cr0.5—0.8% 微量S·P, 其余为铁。冲天炉熔炼, 金属模浇口附砂铸造消除缩孔, 井式炉热处理。细片珠光体+块状碳化物+细小石墨球。硬度、韧性适中, 耐急冷, 急热性好。碎球少。	表硬HRC>50心部 HRC>45, ak6—7J/cm ² 。	郑州铝厂氧化铝分厂 φ2.7×3.6m 磨机, 补加φ120mm 球。	低铬球单耗0.415kg/t, 45°钢球为1.620kg/t, 耐磨倍数3.9单价45°钢球1500元/t, 低铬球2700元/t, 高铬球4600元/t, 用低铬球效益大于用高铬球。	与使用45°钢球比, 吨矿节省钢球费用1.3元/t。
19	《华昌牌》低铬合金铸铁磨球	河北辛集市赵马磨球厂小寺沟铜矿 (1990)	φ30~φ120mm磨球售价2500—2700元/t, 表面磨损均匀, 光滑, 碎球率2.89%。		细脉浸染状铜矿石。 f=8—12 φ2.7×3.6m 磨机	低铬球单耗0.58kg/t, 原用中锰稀土球单耗1.289kg/t, 降耗0.7kg/t, 节球率56%, 耐磨倍数2.22。吨矿球费降低1.74元/t, 以年处理百万t矿石计, 可获节球效益70万元/年以上。	
20	新型硼合金抗磨白口铸铁磨球	吉林工业大学	C2.4—3.0%, Si0.5—0.9%, Mn0.3—0.7%, Cr1.0—1.5% Cu1.0%, B0.18—0.22%, Re0.45—0.64%, Al0.3%。电炉熔炼, 热处理态使用。基体组织: 回火马氏体+贝氏体, 碳化物量20%左右。呈断续网状分布。	HRC50—61, ak4.1—6.9J/cm ²	φ2.2×6.5m 水泥熟料磨, φ90mm 球。	硼合金球单耗102g/t, 仅比高铬球单耗高18%。	
21	(多合金化) 稀土中锰球墨铸铁磨球	武汉水利电力学院	C3.4—3.8%, Si3.5—4.0%, Mn4.2—5.8%, Cr1.0—1.5%, Cu0.4—1.0%, Ti0.06—0.10%, Re0.03—0.05%。碳化物增多, 并呈条状及不连续网状分布。细小, 显微硬度高。冲天炉熔炼, 金属型浇注, 风冷使用。	HRC48—54 表里差异小; ak>0.8kg m/cm ²	在江西南昌发电厂磨煤机中试验	磨煤机出粉率显著提高。	
22	铬锰合金铸球	辽阳县刘二卜镇铸钢厂	C1.8—2.4%, Si0.4—1.0%, Mn5—8%, Cr5—8%, Cu0.3—0.8%, P·S<0.05%。电炉熔炼, 砂型铸造, 热处理态使用。	HRC48—52 ak0.6—1.0 kgm/cm ²		磨煤单耗<60g/t, 碎球率0.5% 磨水泥<120g/t, 碎球率1%, 磨金刚石粉<50g/t, 碎球率<0.5%。	
23	高铬铸铁磨球	西安交通大学	C2.4—2.5%, Si<1.0 Mn<0.8%, S·P<0.04%, Cr15—16%, Mo1.0—1.2%, Cu0.8—1.0%。	HRC>60, 表心硬度差 0.15HRC, 破碎率<0.1%	金堆城铝业公司 φ2.4×1.2 m 湿式磨机	高铬球单耗0.491kg/t, 原锻钢球单耗1.654kg/t, 降耗70.3% 耐磨倍数3.37%。	

续表1—3

序号	品种	研制或 生产单位	磨球合金成分、金相组织 与性能特点	硬度与韧性	试验与使用单位	使用效果	备 注
24	高铬铸铁 磨球	唐山水泥 机械厂	C1.7—2.5%, Si0.3—0.4%, Mn0.4—0.8% Cr12—19%, Mo适量, Cu适量, PS<0.07 %。马氏体+少量奥氏体+共 晶碳化物+二次碳化物。西德 引进工艺与设备并经许多改进。	HRC55—64	在多家水泥厂 进行过工业试 验和应用推广	普遍比原用普碳钢球 或45Mn2球单耗大幅 度降低。其耐磨倍数 达8—12倍。达国外 同类产品使用效果。	

是材质和尺寸都严格要求的机器零件)；从物资供应上说，它是“大宗金属消耗材料”（因而可以象煤、木材、水泥等一样采购供应），相对而言加工制作工艺简单，能够生产的厂家很多，可分散状态生产与供应，表观质量和规格尺寸公差要求不严。除大工业轧制生产条件较好外，锻球厂和铸球厂属“苦、累、脏、热”劳动环境，过去大型厂矿用户自己不愿生产而推给地方，现在却成了人人争抢的热门行业。

由于上述特点，长期以来，几乎没有什么称得起“标准”的标准可循，容易忽视质量。我们看到，近年来，情况大为好转，随着耐磨球新品种的增多，市场竞争日趋激烈，产、供、销、用各方对钢球质量意识逐步提高。总的要求应是“质优、耗低、源广、价廉、效高”。

从品种上说，已如上述。从生产工艺来说，仍然是锻造、轧制和铸造三种方式并存。大连理工大学和北京科技大学提出的低铬合金先铸后轧联合工艺，虽已报导，但未见联机生产。

从制球厂企业性质来说，仍然是由行业主管部门或大中型企业指定的定点专业化球厂或带料委托加工球厂、地区性国营地方中小型球厂、乡镇办或大企业安置待业性集体所有制中小球厂，甚至个体承包小球厂多种形式并存，由于后几种球厂具有灵活的生产管理和经营销售机制，其产品对头一种球厂产生很大冲击。据粗略估计全国各类大小球厂有二、三百家。机制化程度较高的轧球厂、半机械化的锻球厂、铸球厂与主要靠笨重体力劳动的球厂并存。在售价上是大中型国营球厂和用户执行低的内部价，而广大集体所有制球厂是原料市价来，产品市价去，供销市场竞争日益激烈。盲目建厂和扩大生产现象屡劝不止。各种优质耐磨球与劣质高耗球并存，鱼目混珠，偷工减料，伪劣假冒现象时有发生。

再细看一下各类球厂的现状。

1. 鞍钢、邯郸和包钢三家大型轧球厂

总年生产能力可达30万吨/年，但目前常年产量不过8万吨/年。主要供应大中型国营矿山内部计划价钢球。已完全过渡到可轧制中高碳钢淬火球。但中高碳钢硬料不能完全保证供应。较好的鞍钢中板厂钢球车间，年产3万吨轧球中中高碳钢球比例也只有70—80%。

随着计划内供应钢坯料价格逐步上调，中高碳钢球计划价亦将上涨。它对低铬铸球的价格优势将逐步丧失，用户将转而采用低铬球，故这类中高球厂面临倒闭的威胁。

2. 首钢、攀矿、鞍钢、武钢所属选厂，原用的低碳钢锻球生产线，也已于近几年全部过渡到生产中高碳钢或低合金钢锻后余热淬火耐磨钢球。耐磨质量明显提高。

3. 水泥、电力行业所属几家高铬铸球厂，生产正常。其中典型厂家为唐山水泥机械厂。虽产品质量良好，但售价高，面临着低铬球的冲击。

4. 低铬合金与多合金铸球厂，数量很多，遍布各地，牌号各异，但综合性能大同小异。比较典型的有宁国耐磨材料总厂、辛集市赵马磨球厂、宁国县铸钢厂、承德合金铸造厂等。由于都是通过市场销售，又面临同类球厂间激烈竞争，想要独家控制市场发展几乎不可能办到。

5. 由山东冶金设计研究院研制开发而由该省十几家球厂生产的高碳钢、轴承钢和45Mn2

钢高温形变淬火锻钢球，淬透深度大，平均硬度高，属优良品种钢球。在该省范围内有相当多的用户，但其市场售价几乎与低铬球相当。

6. 中锰稀土铸铁球厂

比较典型厂家有杨家杖子矿务局合金铸球厂、水口山矿务局机修厂，鞍钢瓦房子锰矿铸球厂。面对着更为优良的低铬球的竞争，它们都已开发出低铬类或多合金类铸球品种，随时准备转产。

7. 重轨材质或轴承钢材质热轧淬火优质棒球异形磨矿介质的生产

比较典型的是鞍山市钢棒球厂。此外在鞍钢和包钢也有近10台棒球轧机，生产 $\phi 30 \times 45$ mm和 $\phi 35 \times 45$ mm规格细磨用棒球。

棒球比圆球磨矿效率高。

利用轧球机生产小规格棒球或圆球，并利用余热淬火，可能是生产优质细磨小棒（球）最佳工艺，产品外形尺寸均齐，生产效率好。尤其是生产超细水泥用“微珠”、“微段”细磨介质，将比其它任何工艺方法优越。

四、新材质耐磨球的工业试验与推广应用

也是根据估计：90年全国磨球（棒、段）总耗用量为60—80万吨/年。从报导中可以看出：

1. 大型黑色矿山选厂，已大部使用中高碳钢或低合金钢淬火锻球或轧球，节球效益十分明显。与原用低碳钢球相比，单耗普遍降低30~40%。而其计划供应价只比低碳钢球提高5~10%。

2. 低铬合金铸球类受到了黑色矿山、有色矿山、水泥、电力磨煤、铝土矿、黄金矿山的普遍注意，试验效果良好，推广面也很大。不论干式磨矿或湿式磨矿，都显示其经济优越性。

用于湿磨，耐磨系数为低碳钢球的2.5~3.5倍，市场售价只有后者的1.5—2.5倍，降耗率达60~75%。用于干磨，耐磨系数为低碳钢球的6—8倍，售价也仅提高1.5—2.5倍，效益更为明显。

3. 高铬铸球及中锰中铬铸球

在干磨作业中，仍有相当应用，耐磨系数为低碳钢球的9—12倍，售价为后者的4—5倍。生产和用户厂家效益都很可观。但用于湿磨，可能由于电化学腐蚀作用，从试用结果看，其耐磨系数为低碳球的3—4倍，售价为4—5倍。用户得不到利益，故其在金属矿湿磨中几乎无市场。

4. 中锰稀土铸球

在黑色、有色金属矿山湿磨作业，有一定市场。按质量标准生产的中锰球在 $\phi 2.7$ m以下磨机中使用还算可以。但许多铸球厂家合金成分偷工减料，脱模后乱扔乱放，碎裂严重，使用单耗上升，质量威信大大降低。

从大多数用户初期使用效果看，其耐磨系数为低碳钢球的1.5—1.6倍，球耗降低30~50%。售价与原用钢球几乎一样。

中锰稀土铸铁球很有可能在三、五年被低铬合金铸球赶出市场。

5. 磷铜钛合金铸球