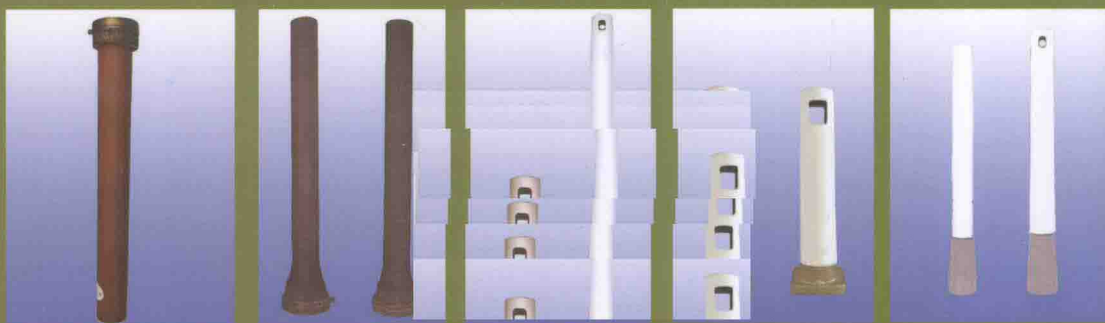



连铸“三大件”生产与使用

整体塞棒、长水口、浸入式水口

Production and Use of Refractory for Continuous Casting
Monolithic Stopper, long nozzle and submersed nozzle

周川生 平增福 著



 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

连铸“三大件”生产与使用

整体塞棒、长水口、浸入式水口

周川生 平增福 著

北京
冶金工业出版社
2015

内 容 提 要

长水口、浸入式水口和整体塞棒等连铸功能耐火材料，在业内常被称为连铸“三大件”，是实现和保证钢厂连铸正常生产的必不可少的关键性材料，为高效连铸、近终形连铸生产高品质、高附加值的洁净钢提供了重要的保障。本书系统介绍连铸用主要耐火材料的生产、设计与使用经验，以及作者在产品生产中的心得体会，为我国连铸用耐火材料的发展、创新以及生产更多用于连铸生产的性能优良的耐火制品提供指导。

本书可供连铸耐火材料领域的生产、科研、设计、使用、管理、教学人员以及连铸钢厂有关技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

连铸“三大件”生产与使用：整体塞棒、长水口、浸入式水口/周川生，平增福著. —北京：冶金工业出版社，2015. 1
ISBN 978-7-5024-6776-0

I. ①连… II. ①周… ②平… III. ①连续铸造—耐火材料
IV. ①TQ175. 79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 276048 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp. com. cn

责任编辑 刘小峰 李维科 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6776-0

冶金工业出版社出版发行；各地新华书店经销；三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版，2015 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16；23 印张；554 千字；330 页

99.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy. tmall. com

(本书如有印装质量问题，本社营销中心负责退换)

前 言

目前，我国连铸生产已发展到一个全新的水平，为了保证高效连铸、近终形连铸和高洁净钢连铸生产出高品质、高附加值的洁净钢，与其相关的连铸功能耐火材料，如连铸“三大件”，即长水口、浸入式水口和整体塞棒，以及滑动水口和定径水口等，在连铸生产中各司其职，它们是实现和保证钢厂连铸生产的必不可少的关键性材料。在连铸技术发展的同时，连铸功能耐火材料的生产技术和品质也得到了快速的发展和提高，连铸用耐火材料，特别是连铸“三大件”的质量和使用性能，可与国外相应的产品相媲美。

在洛阳耐火材料研究院工作期间，作为耐火材料研究人员，作者是幸运的，从1968年开始参与重钢三厂的连铸攻关起，在随后的数十年工作期间，一直参与原冶金部和国家科委下达的、除薄板坯浸入式水口以外的有关连铸用耐火材料的攻关工作。

在连铸攻关期间，与钢厂、耐火材料厂、科研院所的工人和技术人员以及本单位的攻关团队一起攻关克难，取得较多科研成果，为钢厂连铸生产浇注各种钢种和洁净钢连铸，提供了必需的关键性的功能产品；为确保连铸的正常生产，为我国连铸技术的进步，为连铸用耐火材料的发展和国产化，贡献了一份力量。

本书系统地介绍了作者在攻关期间和在连铸耐火材料的生产实践中对产品的研究开发，以及在钢厂的试验使用和在生产中获得的心得和总结出的观点。本书共五章，主要介绍我国连铸耐火材料，特别是连铸浇注系统使用的关键材料的发展历程，并提出了连铸耐火材料生产的“三低一高”的观点。还针对每个生产环节和在钢厂的使用细节提出了自己的观点，并提出新的毛坯近终形设计和塞棒临界行程以及产品的设计和计算方法，还对大量生产过程中的日常检测数据进行分析处理，发现造粒料水分与堆积密度以及堆积密度与毛坯密度和制品密度之间的规律性，有助于工厂对制品生产过程的质量管理。并且提供了产品使用前后的显微结构照片，以供参考。

总之，撰写本书的主要目的是要将作者在连铸用耐火材料长期研究和生产

实践中的经验及从事这项工作得到的心得奉献给读者，共同为我国连铸用耐火材料的发展和创新以及为钢厂连铸生产提供更多性能优良的产品而努力奋斗。

在写书的过程中参考了一些文献资料，使本书的内容更加丰富翔实，在此向文献作者表示诚挚的谢意；另外还从相关著作及网络上的相关信息中选用了图片和资料，由于没有明确的出处，在这里向有关厂家和作者，表示真诚的谢意和歉意。

洛阳泽川高温陶瓷有限公司总经理、研究生导师平增福先生，在作者写书期间给予很大的支持和帮助，令人感动，在此表示诚挚的感谢。

在写书过程中，还得到了洛阳泽川高温陶瓷有限公司副总经理刘宇、刘屹和总工程师姬保坤以及其他同仁的支持和帮助，对此表示诚挚的感谢。

在连铸学会期间，还得到万体娅、王瑄和柴桂华老师提供的论文集，为本书的写作提供了丰富而宝贵的资料，对此表示深深的感谢。

在写书期间，得到了冶金工业出版社的支持、帮助和指导，深为感激，在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平所限，本书中的许多观点纯属个人之管见，不妥之处，还诚望前辈、同行和读者批评赐教，并在此表示感谢。

周川生

2014年6月26日

目 录

1 连铸耐火材料发展概述	1
1.1 连铸耐火材料发展进程	1
1.1.1 早期的连铸耐火材料	1
1.1.2 首次实现钢包滑动水口浇注	1
1.1.3 我国连铸技术和连铸耐火材料开创新纪元	2
1.1.4 机压成型铝碳质浸入式水口面世	3
1.1.5 连铸用耐火材料取得新进展	3
1.1.6 小方坯连铸用锆质定径水口实现国产化	4
1.1.7 初步建立特钢连铸用耐火材料体系	5
1.1.8 浇注含铝钢用狭缝型水口实现多炉连浇	6
1.1.9 不吹氩防堵塞水口得到应用	7
1.1.10 不预热铝碳质长水口取得重大进展	7
1.1.11 铝碳质和高铝质密封环吹氩保护效果得到提升	7
1.1.12 薄板坯连铸用浸入式水口研发成功	8
1.1.13 新型防堵塞无碳无硅质水口独树一帜	9
1.2 连铸“三大件”发展趋势	9
1.2.1 定径水口系列的发展状况	10
1.2.2 熔融石英质长水口的应用现状	12
1.2.3 铝碳质长水口的发展趋势	12
1.2.4 铝碳质浸入式水口的多样化	13
1.2.5 狭缝型浸入式水口	14
1.2.6 锆钙碳防堵塞浸入式水口	14
1.2.7 无碳无硅质水口	14
1.2.8 薄板坯浸入式水口	14
1.2.9 整体塞棒棒头材质的改进	16
1.3 连铸用耐火材料的发展趋向	17
1.3.1 工厂管理	18
1.3.2 稳定和提高原料质量, 发展优质合成原料	18
1.3.3 装备水平	18
1.3.4 研发新品种	18
1.3.5 生产环境的改善	19
1.4 连铸“三大件”生产技术发展方向探讨	19
1.4.1 采用低廉的优质原料制作连铸“三大件”的自体	19

1.4.2 采用低压成型毛坯	20
1.4.3 采用低温烧成制品	20
1.4.4 连铸“三大件”生产技术的“一高原则”	20
参考文献	21
2 原料及性能	23
2.1 熔融石英	23
2.1.1 熔融石英简介	23
2.1.2 熔融石英理化指标	23
2.1.3 熔融石英粒度组成	24
2.2 高铝矾土熟料	24
2.2.1 高铝矾土熟料简介	24
2.2.2 高铝矾土熟料理化指标	25
2.2.3 高铝矾土粒度组成	25
2.3 白刚玉	25
2.3.1 白刚玉简介	25
2.3.2 白刚玉理化指标	26
2.3.3 白刚玉粒度组成	26
2.4 棕刚玉	27
2.4.1 棕刚玉简介	27
2.4.2 棕刚玉理化指标	27
2.4.3 棕刚玉粒度组成	28
2.5 烧结板状刚玉	28
2.5.1 烧结板状刚玉简介	28
2.5.2 烧结板状刚玉理化指标	28
2.5.3 烧结板状刚玉粒度组成	29
2.6 电熔锆莫来石	29
2.6.1 电熔锆莫来石简介	29
2.6.2 电熔锆莫来石理化指标	30
2.6.3 电熔锆莫来石粒度组成	30
2.7 钙部分稳定氧化锆	31
2.7.1 钙部分稳定氧化锆简介	31
2.7.2 钙部分稳定氧化锆理化指标	32
2.7.3 钙部分稳定氧化锆粒度组成	33
2.8 电熔镁砂	33
2.8.1 电熔镁砂简介	33
2.8.2 电熔镁砂理化指标	33
2.8.3 电熔镁砂粒度组成	34
2.9 电熔镁铝尖晶石	34

2.9.1	电熔镁铝尖晶石简介	34
2.9.2	电熔镁铝尖晶石理化指标	35
2.9.3	电熔镁铝尖晶石粒度组成	35
2.10	α -氧化铝微粉	36
2.10.1	α -氧化铝微粉简介	36
2.10.2	α -氧化铝微粉理化指标	36
2.10.3	α -氧化铝微粉粒度组成	36
2.11	矾土基赛隆	37
2.11.1	矾土基赛隆简介	37
2.11.2	矾土基赛隆理化指标	37
2.12	鳞片石墨	38
2.12.1	鳞片石墨简介	38
2.12.2	鳞片石墨理化指标	38
2.12.3	鳞片石墨粒度组成	39
2.13	炭黑	39
2.13.1	炭黑简介	39
2.13.2	炭黑理化指标	40
2.13.3	炭黑粒度组成	40
2.14	铝粉	40
2.14.1	金属铝粉简介	40
2.14.2	铝粉理化指标	42
2.14.3	铝粉粒度组成	42
2.15	硅粉	43
2.15.1	金属硅粉简介	43
2.15.2	硅粉的理化指标	44
2.15.3	硅粉的粒度组成	44
2.16	碳化硅	45
2.16.1	碳化硅简介	45
2.16.2	碳化硅理化指标	45
2.16.3	碳化硅粒度组成	45
2.17	碳化硼	46
2.17.1	碳化硼简介	46
2.17.2	碳化硼理化指标	47
2.17.3	碳化硼粒度组成	47
2.18	氮化硼	47
2.18.1	氮化硼简介	47
2.18.2	氮化硼理化指标	48
2.18.3	氮化硼粒度组成	48
2.19	漂珠	49

2. 19. 1	漂珠简介	49
2. 19. 2	漂珠理化指标	49
2. 19. 3	漂珠粒度组成	49
2. 20	酚醛树脂	50
2. 20. 1	酚醛树脂简介	50
2. 20. 2	热固性液体酚醛树脂理化指标	50
2. 20. 3	热塑性粉状酚醛树脂理化指标	51
2. 20. 4	热塑性粉状酚醛树脂粒度组成	51
2. 21	乌洛托品	51
2. 21. 1	乌洛托品简介	51
2. 21. 2	乌洛托品理化指标	52
2. 21. 3	乌洛托品粒度组成	52
2. 22	糠醛	52
2. 22. 1	糠醛简介	52
2. 22. 2	糠醛理化指标	53
2. 23	工业酒精	53
2. 23. 1	工业酒精简介	53
2. 23. 2	工业酒精理化指标	53
2. 24	乙二醇	54
2. 24. 1	乙二醇简介	54
2. 24. 2	乙二醇理化指标	54
2. 25	三聚磷酸钠	54
2. 25. 1	三聚磷酸钠简介	54
2. 25. 2	三聚磷酸钠理化指标	54
2. 26	粉状硅酸钠	55
2. 26. 1	粉状硅酸钠简介	55
2. 26. 2	粉状硅酸钠理化指标	55
2. 27	氟硅酸钠	55
2. 27. 1	氟硅酸钠简介	55
2. 27. 2	氟硅酸钠理化指标	56
	参考文献	56
3	生产工艺	57
3. 1	生产工艺流程	57
3. 1. 1	工艺流程示意图	57
3. 1. 2	工艺流程的演变过程	57
3. 2	石墨精制	58
3. 3	配料的预混合	59
3. 3. 1	V型混合机预混合	60

3.3.2 锥型混合机预混合	60
3.4 造粒工艺	61
3.4.1 造粒原理	61
3.4.2 造粒工艺	61
3.5 造粒料的干燥	63
3.5.1 流动干燥床干燥系统	63
3.5.2 回转干燥机干燥系统	64
3.6 造粒料的筛分	65
3.6.1 筛网的选择	65
3.6.2 造粒料的粒度组成	65
3.6.3 造粒料的储存	66
3.7 毛坯成型	66
3.7.1 毛坯成型系统	66
3.7.2 胶套及其材质的选择	67
3.7.3 钢质模芯杆材质硬度和光洁度	68
3.7.4 密封用上、下胶垫	69
3.7.5 振动加料	69
3.7.6 抽真空	69
3.7.7 喷淋清洗	69
3.7.8 等静压成型	70
3.7.9 等静压机用介质水和油的性能	71
3.7.10 成型压力的确定	71
3.8 水口制作方法	72
3.8.1 预压成型内复合体	72
3.8.2 用加料套筒直接成型内复合体的制作步骤	73
3.8.3 铝锆碳质浸入式水口本体与渣线复合制作步骤	75
3.8.4 铝锆碳质浸入式水口内复合的制作步骤	76
3.8.5 薄壁直通型浸入式水口的加料步骤	77
3.8.6 水口本体与内复合体的复合加料的原则	77
3.9 脱模	78
3.10 毛坯的干燥	79
3.10.1 固化后的树脂形态	79
3.10.2 毛坯的干燥制度	79
3.11 毛坯烧成	80
3.11.1 毛坯中的树脂在烧成中的物理变化	80
3.11.2 毛坯中的物料和添加剂在烧成中的物理变化	81
3.12 烧成设备	82
3.12.1 梭式窑烧成	82
3.12.2 钟罩窑烧成	83

3.12.3 电炉烧成	84
3.12.4 隧道窑烧成	86
3.13 烧成后的毛坯加工	89
3.13.1 加工前的准备	89
3.13.2 毛坯外形的加工	90
3.13.3 水口侧孔的加工	90
3.13.4 整体塞棒外形的加工	91
3.14 涂防氧化涂层	92
3.15 成品的理化检测和无损探伤	92
3.15.1 无损探伤图像	92
3.15.2 成品中的缺陷	96
3.16 生产过程的质量管理	96
3.17 生产用术语	98
3.18 检测方法	99
3.18.1 水分检测	99
3.18.2 堆积密度测定	99
3.19 废料的来源	99
3.20 废料的回收利用	100
3.20.1 废料回收利用原则	100
3.20.2 废料具体回收利用	101
3.20.3 废料的储存	102
3.21 生产过程中的质量监测制度	102
参考文献	104
4 产品设计	105
4.1 长水口配方的设计依据	105
4.2 长水口类型	105
4.2.1 普通型长水口	106
4.2.2 内孔脱碳型长水口	106
4.2.3 内孔复合型长水口	106
4.3 长水口配方设计	106
4.3.1 原始型不预热铝碳质长水口的配方设计	106
4.3.2 内孔脱碳型不预热铝碳质长水口的配方设计	107
4.3.3 内孔复合型不预热铝碳质长水口的配方设计	107
4.4 长水口的结构设计	108
4.4.1 长水口的碗口设计	108
4.4.2 长水口头部外形结构设计	111
4.4.3 长水口总长度和下段外形结构的确定	111
4.5 长水口的吹氩密封结构	112

4.5.1	第一类长水口的吹氩密封结构	112
4.5.2	第二类长水口的吹氩密封结构	114
4.6	浸入式水口的设计依据	114
4.6.1	浸入式水口的配料和加入量的设计	115
4.6.2	普通铝碳质水口的成分设计	116
4.6.3	铝结碳质水口的成分设计	116
4.6.4	狭缝型水口的设计	117
4.6.5	不吹氩防堵塞水口的成分设计	117
4.6.6	无碳无硅质水口的成分设计	118
4.6.7	快换水口的特点成分设计	118
4.7	浸入式水口的结构类型	118
4.8	浸入式水口结构设计	119
4.8.1	浸入式水口的头部外形和碗口结构设计	119
4.8.2	浸入式水口尾部设计	123
4.8.3	浸入式水口渣线长度的确定	124
4.8.4	浸入式水口出钢口结构的设计	125
4.8.5	浸入式水口长度的确定	126
4.9	整体塞棒设计依据	126
4.10	整体塞棒的配方设计	127
4.11	整体塞棒设计的基础	128
4.11.1	整体塞棒的结构类型	128
4.11.2	塞棒棒头的形状类型	128
4.11.3	塞棒棒头的基本尺寸	128
4.12	塞棒棒头设计	129
4.12.1	半圆头形棒头的设计	129
4.12.2	由两个不相等半径组成的棒头设计	131
4.12.3	由两个半径为 R_1 和 R_2 与斜线相切组成的棒头设计	132
4.12.4	整体塞棒尾部的连接结构	132
4.13	塞棒总长度的确定	132
4.14	塞棒棒头设计示例	133
4.14.1	棒头设计示例 1	133
4.14.2	棒头设计示例 2	134
4.15	塞棒棒头设计说明	135
4.16	塞棒行程计算	138
4.16.1	塞棒行程计算依据	138
4.16.2	塞棒行程计算示例	139
4.17	连铸“三大件”配料的基本粒度组成	140
4.18	长水口的粒度组成	142
4.18.1	长水口本体的粒度组成	142

4. 18. 2	长水口渣线的粒度组成	142
4. 18. 3	长水口内复合层的粒度组成	142
4. 19	浸入式水口的粒度组成	143
4. 19. 1	浸入式水口本体的粒度组成	143
4. 19. 2	浸入式水口渣线的粒度组成	143
4. 20	快换水口的粒度组成	144
4. 20. 1	快换水口本体的粒度组成	144
4. 20. 2	快换水口渣线的粒度组成	144
4. 20. 3	快换水口滑动面的粒度组成	144
4. 20. 4	快换水口内复合层的粒度组成	145
4. 21	薄板坯浸入式水口的粒度组成	145
4. 21. 1	薄板坯浸入式水口本体的粒度组成	145
4. 21. 2	薄板坯浸入式水口渣线的粒度组成	145
4. 21. 3	薄板坯浸入式水口碗口的粒度组成	146
4. 22	整体塞棒的粒度组成	146
4. 22. 1	整体塞棒本体的粒度组成	146
4. 22. 2	整体塞棒棒头的粒度组成	146
4. 23	配料中的有关原则	147
4. 23. 1	关于配料临界粒度的差异原则	147
4. 23. 2	配方中鳞片石墨粒度的分配原则	147
4. 23. 3	制品不同部位结合剂的平衡原则	147
4. 24	长水口本体造粒料的水分与堆积密度及其他指标之间的规律性	147
4. 24. 1	长水口本体造粒料的水分与堆积密度之间的规律性	148
4. 24. 2	长水口本体造粒料的堆积密度与毛坯密度之间的规律性	148
4. 24. 3	长水口本体造粒料的堆积密度与制品密度之间的规律性	149
4. 25	浸入式水口本体造粒料与堆积密度及其他指标之间的规律性	149
4. 25. 1	浸入式水口本体造粒料的水分与造粒料堆积密度之间的规律性	149
4. 25. 2	浸入式水口本体造粒料的堆积密度与毛坯密度之间的规律性	150
4. 25. 3	浸入式水口本体毛坯密度与制品密度之间的规律性	150
4. 26	浸入式水口渣线造粒料与堆积密度及其他指标之间的规律性	151
4. 26. 1	浸入式水口渣线造粒料的水分与堆积密度之间的规律性	151
4. 26. 2	浸入式水口渣线造粒料的堆积密度与毛坯密度之间的规律性	151
4. 26. 3	浸入式水口渣线烧前坯体密度与烧后坯体密度之间的规律性	151
4. 27	整体塞棒本体造粒料与堆积密度及其他指标之间的规律性	152
4. 27. 1	整体塞棒本体造粒料的水分与堆积密度之间的规律性	152
4. 27. 2	整体塞棒本体造粒料的堆积密度与毛坯密度之间的规律性	152
4. 27. 3	整体塞棒本体烧前毛坯密度与烧后本体密度之间的规律性	153
4. 28	镁碳质棒头造粒料与堆积密度及其他指标之间的规律性	153
4. 28. 1	镁碳质棒头造粒料水分与堆积密度的规律性	153

4. 28. 2	镁碳质棒头造粒料的堆积密度与本体毛坯体之间的规律性	154
4. 28. 3	镁碳质棒头烧前毛坯密度与烧后坯体密度之间的规律性	154
4. 29	铝碳质系列造粒料与毛坯和制品密度之间的规律性	155
4. 29. 1	铝碳质系列造粒料密度与其毛坯和制品密度的规律性	156
4. 29. 2	铝碳质系列毛坯和制品密度比值之间的规律性	156
4. 29. 3	铝碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度之间的规律性	157
4. 29. 4	铝碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度的差值之间的规律性	157
4. 30	镁碳质系列造粒料与毛坯和制品密度之间的规律性	158
4. 30. 1	镁碳质系列造粒料密度与其毛坯和制品密度之间的规律性	158
4. 30. 2	镁碳质系列毛坯和制品密度比值之间的规律性	158
4. 30. 3	镁碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度之间的规律性	159
4. 30. 4	镁碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度的差值之间的规律性	159
4. 31	锆碳质系列造粒料与毛坯和制品密度之间的规律性	160
4. 31. 1	锆碳质系列造粒料密度与其毛坯和制品密度之间的规律性	160
4. 31. 2	锆碳质系列毛坯和制品密度比值之间的规律性	160
4. 31. 3	锆碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度之间的规律性	161
4. 31. 4	锆碳质系列造粒料堆积密度与毛坯密度之间的规律性差值	161
4. 32	铝碳质长水口造粒料中的细粉含量对其堆积密度的影响	161
4. 32. 1	铝碳质长水口本体造粒料小于 0. 1mm 颗粒的含量对其堆积密度的影响	162
4. 32. 2	铝碳质长水口渣线造粒料小于 0. 1mm 颗粒的含量对其堆积密度的影响	162
4. 33	铝碳质浸入式水口造粒料中的细粉含量对其堆积密度的影响	162
4. 34	碳质整体塞棒造粒料中的细粉含量对其堆积密度的影响	163
4. 34. 1	铝碳质整体塞棒本体造粒料小于 0. 1mm 颗粒的含量对其堆积密度的影响	163
4. 34. 2	镁碳质塞棒棒头造粒料小于 0. 1mm 颗粒的含量对其堆积密度的影响	163
4. 35	对混成料小于 0. 1mm 颗粒的含量与其堆积密度的认识	164
4. 36	制品的近终形设计	165
4. 36. 1	实测造粒料的压缩比	165
4. 36. 2	理论计算造粒料的压缩比	166
4. 37	定高定量定容法设计胶套	166
4. 37. 1	定高定量定容法的设计原理	166
4. 37. 2	定高定量定容法的设计步骤示例 (一)	167
4. 37. 3	定高定量定容法的设计步骤示例 (二)	170
4. 38	常规添加剂加入量的确定	171
4. 39	炭黑添加剂对试样性能的影响	173
4. 39. 1	炭黑添加剂对锆碳质试样性能的影响	173
4. 39. 2	炭黑添加剂对铝碳质试样性能的影响	176

4.39.3	炭黑加入量对试样性能的影响	177
4.39.4	在Y炭黑的参与下硅粉对试样性能的影响	179
4.40	炭黑添加剂对试样的抗氧化性的影响	183
4.40.1	P、Y炭黑的氧化失重率	183
4.40.2	Y炭黑加入量对试样抗氧化性能的影响	183
4.40.3	硅粉加入量对含有Y炭黑试样失重率的影响	183
4.40.4	对炭黑添加剂作用的评价	184
4.41	长水口A制品的显微结构	185
4.41.1	长水口A制品本体(烧结氧化铝+石墨)的显微结构	185
4.41.2	长水口A制品渣线(钙部分稳定氧化锆+石墨)的显微结构	186
4.41.3	长水口A制品内复合层(无碳层,板状刚玉+漂珠)的 显微结构	187
4.42	长水口B制品的显微结构	189
4.42.1	长水口B制品本体(棕刚玉+熔融石英+石墨)的显微结构	189
4.42.2	长水口B制品内复合层(MA尖晶石+石墨)的显微结构	191
4.43	长水口C制品的显微结构	192
4.43.1	长水口C制品本体(棕刚玉+石墨)的显微结构	192
4.43.2	长水口C制品渣线(MA尖晶石+石墨)的显微结构	194
4.43.3	长水口C制品内复合层(熔融石英+漂珠)的显微结构	196
4.44	长水口D制品的显微结构	197
4.44.1	长水口D制品本体(棕刚玉+石墨)的显微结构	197
4.44.2	长水口D制品内复合层(烧结MA尖晶石+石墨)的显微结构	199
4.45	浸入式水口A制品的显微结构	201
4.45.1	浸入式水口A制品本体(棕刚玉+石墨)的显微结构	201
4.45.2	浸入式水口A制品渣线(钙部分稳定氧化锆+石墨)的显微结构	203
4.46	浸入式水口B制品的显微结构	204
4.46.1	浸入式水口B制品碗口(海水镁砂+石墨)的显微结构	204
4.46.2	浸入式水口B制品本体(亚白刚玉+石墨)的显微结构	204
4.46.3	浸入式水口B制品渣线(钙部分稳定氧化锆+石墨)的显微结构	207
4.47	浸入式水口C制品的显微结构	208
4.47.1	浸入式水口C制品碗口(电熔镁砂+石墨)的显微结构	208
4.47.2	浸入式水口C制品本体(电熔白刚玉+石墨)的显微结构	210
4.47.3	浸入式水口C制品渣线(钙部分稳定氧化锆+石墨)的显微结构	212
4.47.4	浸入式水口C制品内复合无碳层(板状刚玉+锆莫来石)的 显微结构	214
4.48	无碳无硅质水口的显微结构	215
4.48.1	无碳无硅质水口A制品碗口(电熔氧化镁+石墨)的显微结构	215
4.48.2	无碳无硅质水口A制品碗口(棕刚玉+石墨)的显微结构	217
4.48.3	无碳无硅质水口A制品渣线(钙部分稳定氧化锆+石墨)的	

显微结构	218
4.48.4 无碳无硅质水口 A 制品内复合层 (电熔白刚玉 + 石墨) 的显微结构 ..	218
4.48.5 无碳无硅质水口 A 制品无碳层 (熔融石英 + 氧化铝空心球) 的 显微结构	221
4.49 防堵塞水口的显微结构	223
4.49.1 防堵塞水口 A 制品碗口 (亚白刚玉 + α - Al_2O_3 微粉) 的显微结构	223
4.49.2 防堵塞水口 A 制品本体 (棕刚玉 + α - Al_2O_3) 的显微结构	223
4.49.3 防堵塞水口 A 制品渣线 (钙部分稳定氧化锆 + 石墨) 的 显微结构	226
4.49.4 防堵塞水口 A 制品内复合层 (电熔白刚玉 + 长石 + 石墨) 的 显微结构	227
4.50 快换水口 A 制品的显微结构	230
4.50.1 快换水口 A 制品滑动面 (电熔白刚玉 + 石墨) 的显微结构	230
4.50.2 快换水口 A 制品本体 (板状刚玉 + 石墨) 的显微结构	231
4.50.3 快换水口 A 制品渣线 (钙部分稳定氧化锆 + 石墨) 的显微结构	233
4.50.4 快换水口 A 制品内复合无碳层 (板状刚玉 + 锆莫来石) 的 显微结构	233
4.51 快换水口 B 制品的显微结构	235
4.51.1 快换水口 B 制品滑动面 (板状刚玉 + 石墨) 的显微结构	235
4.51.2 快换水口 B 制品本体 (棕刚玉 + 石墨) 的显微结构	236
4.51.3 快换水口 B 制品渣线 (钙部分稳定氧化锆 + 石墨) 的显微结构	238
4.52 吹氩上水口的显微结构	240
4.52.1 吹氩上水口本体 (棕刚玉 + 石墨) 的显微结构	240
4.52.2 吹氩上水口滑动面 (棕刚玉 + 板状刚玉 + 石墨) 的显微结构	242
4.53 整体塞棒 A 制品的显微结构	244
4.53.1 整体塞棒 A 制品塞棒棒身 (亚白刚玉 + 石墨) 的显微结构	244
4.53.2 整体塞棒 A 制品棒头 (海水镁砂 + 石墨) 的显微结构	245
4.54 整体塞棒 B 制品的显微结构	247
4.54.1 整体塞棒 B 制品塞棒棒身 (电熔镁砂 + 石墨) 的显微结构	247
4.54.2 整体塞棒 B 制品棒头 (电熔镁砂 + 石墨) 的显微结构	249
4.55 整体塞棒 C 制品的显微结构	251
4.55.1 整体塞棒 C 制品塞棒棒身 (矾土 + 石墨) 的显微结构	251
4.55.2 整体塞棒 C 制品棒头 (白刚玉 + 石墨) 的显微结构	253
参考文献	254
5 连铸“三大件”的使用	255
5.1 长水口的安装	255
5.2 长水口使用前期的准备事项	256
5.2.1 长水口的连接	256

5.2.2	大包滑动水口的开浇	256
5.2.3	长水口吹氩密封	256
5.3	中间包覆盖剂	256
5.3.1	中间包覆盖剂的主要作用	257
5.3.2	中间包覆盖剂的分类	257
5.4	中间包钢水温度	258
5.5	长水口的材质选择与其使用环境的关系	259
5.5.1	碗口材质的选择	259
5.5.2	长水口本体材质的选择	259
5.5.3	长水口渣线部位材质的选择	259
5.5.4	长水口浸入钢水渣线以下部分的材质选择	260
5.6	长水口的损坏形态及其原因	260
5.6.1	长水口碗口开裂	260
5.6.2	长水口碗口烧损	260
5.6.3	长水口内壁冲蚀或穿孔	260
5.6.4	长水口颈部断裂	261
5.6.5	长水口表面局部氧化	261
5.6.6	长水口本体开裂	261
5.6.7	长水口渣线侵蚀	261
5.6.8	长水口出钢口端内孔扩径	261
5.7	长水口使用的保障措施	261
5.7.1	长水口在钢厂使用的保障措施	261
5.7.2	长水口生产厂要采取的保障措施	262
5.8	使用后长水口防氧化涂层的显微结构	263
5.9	使用后长水口本体的显微结构	263
5.10	使用后长水口渣线的显微结构	264
5.11	使用后长水口内壁复合层的显微结构	265
5.12	浸入式水口的使用环境	266
5.13	浸入式水口的安装	267
5.13.1	分体式浸入式水口的安装	267
5.13.2	整体式浸入式水口的安装	268
5.13.3	快换水口的安装	268
5.13.4	薄板坯浸入式水口的安装	269
5.14	浸入式水口的烘烤制度	269
5.15	保护渣对浸入式水口的影响	271
5.15.1	保护渣的性能	271
5.15.2	保护渣中的成分对保护渣性能的影响	271
5.16	不同钢种对保护渣性能的要求	273
5.16.1	低碳铝镇静钢对保护渣性能的要求	273