

连续铸钢过程中的 钢水保护

ЗАЩИТА СТАЛИ
В ПРОЦЕССЕ
НЕПРЕРЫВНОЙ
РАЗЛИВКИ

〔苏〕A. B. 列伊杰斯 著

朱 文 佳 译

冶金工业出版社

连续铸钢过程中的钢水保护

[苏]A.B.列伊杰斯 著

朱文佳 译

孙长悌 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了连续、半连续浇注钢和镍基合金的各种断面、各种用途铸坯的过程中钢水保护现状的资料，研究了浇注过程中的金属保护方法（使用渣、耐火材料、气体或油类等）对浇注制度稳定性、铸坯表面质量、非金属夹杂物含量以及对覆盖保护层的物理化学性质的影响，分析了铸坯典型缺陷的形成机理。

本书可供冶金和机械制造部门的企业和科研机构中的科研和工程技术人员参考，对冶金院校的大学生和研究生也有裨益。

连续铸钢过程中的钢水保护

〔苏〕A.B.列伊杰斯 著

朱文佳 译

孙长梯 校

*

冶金工业出版社出版发行

（北京北河沿大街嵩祝院北巷39号）

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 7 字数 183千字

1991年7月第一版 1991年7月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0822-3

TF·189 定价5.90元

译者前言

苏联是世界上发展连续铸钢技术较早的国家之一，无论是在连续铸钢的生产技术方面，还是在其基础理论的研究方面，都有许多值得学习借鉴的东西。

本书译自1984年苏联冶金工业出版社出版的А.В.Лейтес著的《Защита стали в процессе непрерывной разливки》一书。

正如本书作者指出的，对于浇注工艺过程中保护金属免受二次氧化的方法的研究，高效保护介质的研制及其对铸坯质量的影响，以及对生态学和生产安全等方面的研究，是有关钢的浇注生产这一科学领域中独立的新方向。对于连续铸钢来说，尤其是这样。今天，连续铸钢技术在上世界上得到飞速发展，与在这方面进行的大量而深入的研究工作以及在连续铸钢生产中卓有成效地推广和应用了上述研究成果是密切相关的。

本书作者将他本人多年来在苏联参加或在其领导下，由苏联中央黑色冶金研究所连续铸钢部和苏联黑色冶金工业部所属企业部门共同完成的有关连续铸钢过程中保护金属免受氧化的研究结果，以及其他国家有关的大量而零散的资料作了综合整理，编成本书。就其内容而论，可谓丰富详硕。

本书介绍了各种断面和用途的钢坯和镍基合金坯在连铸和半连铸工艺过程中金属保护现状的系统性资料和数据，论述了用渣、耐火材料、气体和油脂等保护金属对浇注工艺的稳定性、铸坯的表面质量和内在质量及非金属夹杂物含量的影响，以及对保护覆盖层的物理化学性质的影响。分析了铸坯上各种典型缺陷的形成机构，阐明了保护介质的技术功能与其物化特性的关系，还

介绍了连铸保护渣的生产方法及其配方的改进。总之,本书是一本不可多得的技术参考书。谨向我国从事有关工作的工程技术人员和科研人员,有关专业的大专院校师生以及研究生推荐,以期为促进我国连续铸钢技术及其基础理论的发展提供借鉴。

前 言

在使用连续铸钢机和半连续铸钢机浇注钢坯，并坚定地用以取代模铸工艺的许多国家中，苏联占有领先地位。计划使连铸钢产量达到3500~3700万 t，是苏联在1980~1985年乃至1990年期间经济和社会发展的重要目标。用连铸机浇注金属，可提高冶金企业劳动生产率，增加年产量，取消繁重的体力劳动。同炉钢的连铸坯的性质差别小，可以得到机械性能较稳定的轧材，从而在国民经济中使钢材得以更充分的利用。连铸法可以浇铸较长的铸坯，这是生产大卷重的板卷所必需的。现在能在半连铸机上顺利地浇注任意长度和断面的自耗电极坯料。采用连续自耗电极已成为重熔法（电渣重熔、真空电弧重熔等）生产金属的工艺过程中不可分割的一部分。从而，大大地降低了电渣金属和真空金属的成本，并且节省了过去生产变形电极所消耗的能量。

近几年来已经查明，铸锭的表面质量、其非金属夹杂物含量、劳动条件、对空气和水的污染等，在很大程度上都取决于浇注过程中从钢包到钢锭模（结晶器）的金属保护方法。改进保护方法也是为了降低专用净化装置所必需的昂贵费用，减少不能回收的金属损失，消除修磨钢坯所耗费的繁重的简单劳动以及降低用热装法轧制时铸后加热钢锭的能耗。

连续铸钢过程中的金属保护具有特别重要的意义。问题在于浇注过程可能延续数小时，而在连铸坯的加工过程中，通常受到的加热量和变形量较小；但同时，由于连铸的特殊条件，欲获得非金属夹杂物含量极低的无缺陷铸坯比模铸有更大的难度。所以，上述各项生产连铸坯的优点，只有在适当地组织浇注并且在从钢包至结晶器之间使金属得到保护才能实现。

世界各国在长期的冶金实践中，曾以低表面质量的连铸坯坚持着多种规格和牌号的钢的连续浇注。苏联和其他国家在连铸生

产中的转折点就是采用了造渣剂作为结晶器和中间包的 保护 介质，并采用浸入式水口将金属从金属液面之下注入结晶器。这种保护方法从根本上改善了大量品种的连铸坯质量并推动了世界连铸生产迅速发展。

现在可以有充分理由确信，在有关钢锭生产的这一科学领域中，在关于浇注过程中金属保护方法的研究，高效保护介质的研制及其对铸坯质量的影响以及对生态学和安全技术的研究等方面，已出现了独立的新方向。苏联和其他国家一些工厂都已组织了适于大量钢种的模铸和连铸用保护渣料的生产。

关于在立式连铸机、弧型连铸机和多半径弧型连铸机（即椭圆形弧型连铸机或超低头连铸机——译者）上进行浇注时，建立和完善金属保护方法方面，苏联和其他国家都有大量资料发表。本书的目的是总结这些大量、零散的资料。编写时，广泛采用了苏联巴尔金中央黑色冶金研究所连续铸钢室和苏联黑色冶金工业部所属一些企业共同完成的研究结果。作者参与或领导了这些研究工作。

虽然本书主要论述连铸过程中的金属保护及对连铸坯质量的影响，但对模铸领域的广大专家也会是有益的读物。

作者谨向帮助提供资料的中央黑色冶金研究所连续铸钢室的同事Ю.Е.卡恩、Е.И.阿基莫娃、Н.В.多尔古诺夫、В.М.库卡尔采夫及在评阅本书时提出宝贵意见的乌克兰科学院院士В.А.叶菲莫夫和技术科学副博士Р.Я.雅科博舍致谢。

目 录

前 言

1 钢和合金的连续浇注和半连续浇注及其保护工艺的发展	1
1.1 金属保护的特性和任务.....	2
1.2 金属保护方法的完善.....	5
1.3 金属浇注和保护的工业性技术操作系统.....	13
1.4 连铸工艺的稳定性与金属注入结晶器的机构及其保护方法的关系.....	18
2 金属保护方法对连铸坯非金属夹杂物含量的影响	24
2.1 铸坯为非金属夹杂物玷污的一般规律及其评定方法.....	25
2.2 各种用途的钢坯中的非金属夹杂物.....	43
3 金属保护对连铸坯形成缺陷的影响	75
3.1 铸坯的断面变形.....	76
3.2 铸坯上的表面纵向和横向结晶裂纹.....	80
3.3 铸坯内部的结晶裂纹.....	90
3.4 表面网状或蜘蛛状裂纹.....	93
3.5 铸坯表面的振痕和沿振痕的横裂纹.....	101
3.6 铸坯的表面增碳.....	110
3.7 铸坯表面粗大的重皮和接痕.....	116

4 保护介质的工艺功能与其物理性能的关系	120
4.1 保护介质的主要物理性能及其测定.....	120
4.2 金属注流与空气的隔离和非金属夹杂物的同化...	137
4.3 结晶器内坯壳的润滑和隔离.....	151
4.4 结晶器金属液面的隔热保护.....	166
5 连铸保护渣的成分和生产方法的改进	176
5.1 结晶器用保护渣的成分.....	178
5.2 钢包和中间包内保护金属用的覆盖层成分.....	196
5.3 连续铸钢用保护渣的生产方法.....	201
参考文献	208

1 钢和合金的连续浇注和半连续浇注及其保护工艺的发展

目前,以1~8流的立式连铸机、弧型连铸机和多半径弧型连铸机(图1)浇注350t氧气转炉、100t电炉和200t平炉熔炼的钢水。用连铸方坯和矩形断面(边长之比为2.5)、厚82~300mm的铸坯轧制成用途广泛的型钢和钢管。用厚55~330mm×宽420~1900mm的连铸板坯生产多种用途的薄板、带材和薄板卷。用连续铸钢工艺已能生产包括结构钢、工具钢、不锈钢在内的多种牌号的钢种。

1~3流立式半连铸机(见图1)广泛用来生产电渣重熔和真空电弧重熔的自耗电极铸造坯料。现在已掌握了钢和合金的近70个牌号的 $\phi 125\sim 530$ 圆坯和长达13m的370mm方坯的半连续浇注工艺。用连铸坯作自耗电极的电渣重熔和真空电弧重熔金属产品,经广泛的工业实验,证明其产品质量优良^[1, 2]。积累的经验证实,当浇注一炉钢的时间比铸坯凝固的时间短时,应推荐使用多流立式半连铸机,但在铸机上切割铸坯较困难。半连铸机也适用于以容积小的设备生产液态金属的场合,例如在机械制造厂。应该强调,当整炉钢水都在一台铸机上浇注时,利用它最为有效。例如,把1炉25t钢水浇成370×370mm的铸坯时,采用冶金长度为13.2m的双流半连铸机显示出很好的效果。

从保护方法来讲,对于立式连铸机、弧型连铸机和多半径弧型连铸机以及半连铸机,金属的浇注过程和保护工艺实质上是一样的。但是半连铸坯较短,在浇注开始和结束时的金属保护需要特殊解决。

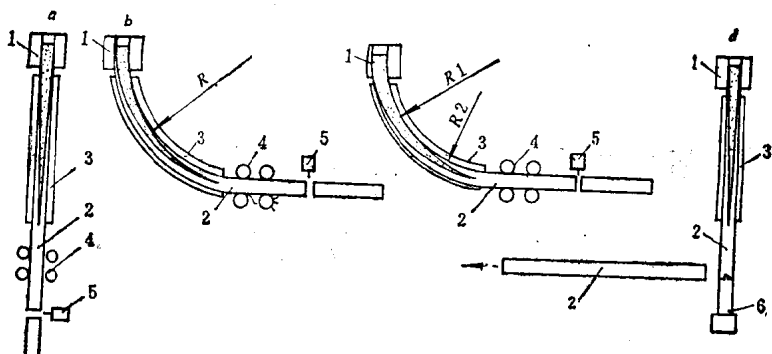


图 1 立式连铸机 (a)，弧型连铸机 (b)，多半径弧型连铸机 (c) 和立式半连铸机 (d) 示意图

1—结晶器；2—铸坯；3—二次冷却系统；4—导辊；5—切割；
6—引锭头； R —铸机半径

1.1 金属保护的特性和任务

在单流铸机上，金属由钢包直接注入结晶器或者经过中间包注入结晶器。在浇注过程中，钢包内液体静压头均衡地降低。为了在这一条件下保持金属流量不变，从开始浇注起，在长时间内要控制注流，这增加了钢水受二次氧化的表面积。

在双流铸机上，为了稳定压头和各流的金属分配，采用塞棒式（闸阀式）的中间包或无塞棒的对偶分流器（图 2）。后者是由耐火漏斗砖和与其相连接的流钢砖组成，金属通过这些中间装置流入浸入式水口。最初的对偶分流器结构，在流钢砖和浸入式水口之间有缝隙，后来的结构是将它们对缝接合，以便使注流完全与空气隔绝。在多流连铸机上（3 流以上），钢包与结晶器之间设有带塞棒的中间包或耐火材料分流嘴（图 2，d），后者在浇注小断面铸坯时使用。中间包在开始浇注之前烘烤到 $800 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。但在采用中间包时，为了补偿热损失，浇注金属的温度要比模铸时的再过热 $20 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。金属过热使熔炼过程的能耗增高，并增加了对耐火材料的侵蚀程度。

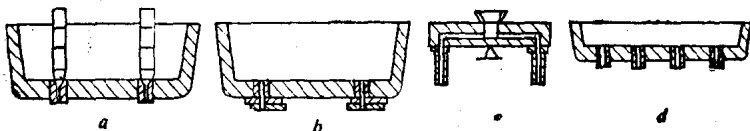


图 2 金属注入结晶器的中间分配装置

a—装有塞棒的中间包；*b*—安装滑动水口的中间包；

c—对偶分流器；*d*—带有分流水口的中间包

用对偶分流器或分流槽代替中间包，大大地简化了铸机结构。这样，便降低了与修包和随废弃物带走的损失有关的生产消耗。同时，也出现了降低炉内金属过热度的可能性。

金属从钢包注入中间包，用塞棒或滑动水口来控制。为保持中间包中规定的液面，钢包水口的直径比计算的要大得多，使金属得以全流周期地注入中间包。金属连续不断地按要求集中地注入对偶分离器和流槽的漏斗砖中，金属往各结晶器的分配是借助于对偶分离器的稍微倾斜来自动控制的。用分流槽浇注时，各流金属的单位消耗可以仅用改变浇注过程中的拉坯速度来控制。为此，每流应单独传动。当其中一流出了毛病，便使相应的分流嘴停止工作。

关于立式、弧型、多半径弧型连铸和半连铸过程中的金属保护的概念包括：中间浇注装置和结晶器的注流与金属液面的隔热；隔绝金属液和空气的相互作用；避免运动着的坯壳和结晶器壁之间直接接触，使其间产生润滑层；保证稳定浇注的条件；吸收非金属夹杂物；改善劳动条件并减少对空气和水源的污染。

连铸和半连铸中金属保护的最终任务是保证操作工艺的稳定性，并考虑到其他工艺参数，为浇注夹杂物极低的无缺陷铸坯创造条件。在这种情况下，保护工艺的费用应从改善铸坯质量，减少浇铸事故和提高设备寿命等方面得到补偿。

连铸工艺和铸坯凝固具有一系列特性，当研究供给金属的方

法和保护介质的成分时，必须考虑这些特性。其中应分为：结晶器中恒定的金属液面位置；大的液相深度；在弧型和多半径弧型连铸机上，铸坯凝固条件的不对称性；单炉浇注或多炉连浇的持续时间；凝固的坯壳和结晶器之间的相对运动；结晶器振动；浇注过程中，部分保护渣随坯排出；结晶器内高的冷却强度。

结晶器内金属的激烈冷却，结晶器对于其中金属液面的相对振动和坯壳运动，促使液面上形成结壳，并使铸坯上形成重皮，同时，铸坯上会产生表面裂纹。大的液相深度和浇注延续时间，凝固条件的不对称性，将促使铸坯的非金属夹杂物增多。

控制金属流和合理地利用过热热量的可能性是在立式、弧型和多半径弧型连铸机上连续铸钢的主要工艺特性。它基于在确定的工艺下，结晶器内金属液水平面保持相对稳定。靠改变浸入式水口出口的数目、尺寸和布置可以达到合理地利用过热热量的目的。根据铸坯断面和钢的化学成分，采用3种型式的浸入式水口：直通型，侧出口倾角各异的死底型和既有底孔又有侧出口的综合型（图3）。

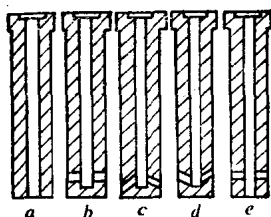


图3 各种出口分布的浸入式水口

a—直孔；b—底端不通的水平侧出口；c、d—底端不通，侧出口与金属液面有倾角；e—综合分布的出口

在浇注过程中，为了补充保护渣层的消耗，向结晶器内补加新的冷造渣料，结果使金属液面的热能消耗于新渣的熔化和加热。与此同时，有可能提高渣的吸收能力而保持保护渣的物理性能不变。

中间包保护渣应能吸收上浮的夹杂物，隔绝金属液面与空气

的相互作用，并减少热损失。浇注过程中保护渣不消耗。保护渣物理特性由于吸收上浮的夹杂物和蚀损包衬而发生变化。因此，中间包用保护渣的成分应与结晶器保护渣有所不同。

考虑到上述连续浇注工艺的特点和连铸坯在下道工序中的加热及变形量较小等因素，得到的结论是连铸和半连铸时的金属保护比模铸时具有更大的意义。

1.2 金属保护方法的完善

选择保护方法时，应先了解其使用场合，是用以封闭自钢包注入中间包的金属流，还是注入结晶器的金属流。同样，也包括保证中间包和结晶器中的金属液面与空气隔离，以至坯壳与结晶器壁隔离。确定保护方法时还应考虑到钢的化学成分，铸坯的用途以及铸机的结构特点。

图4为工业用钢包注流保护的示意图。浇注用途广泛的、含酸溶铝低（ $<0.01\%$ ）的钢材的铸坯和不含高活性合金元素（Ti、Al、Cr等）的铸坯时，钢包注流无需保护。同样，浇注含高活性元素的钢的铸坯，而对其表面质量和夹杂物含量无特殊要求者，钢包和中间包之间的注流也不用保护。对于质量要求高的铸坯，以及金属用高活性元素（特别是Ti）合金化的情况下，浇注中应带注流保护。为此，采用长约1m的耐火材料管，一端伸入中间包的金属液面下，另一端与钢包水口接合；采用充满保护气体或惰性气体的密封罩（刚性的或弹性的）；用惰性气体或含碳氢化合物材料的产物在注流周围形成气幕。

在采用长水口时，使长水口与钢包水口接合的密封有很大的困难。困难主要发生在钢包采用滑动水口时。采取供给惰性气体（Ar、N₂）的方法以防止在保护套管和水口接口处吸入空气。还采用了其他接口办法，例如，用由耐火材料制作的充满惰性气体的弹性罩。

必要时，在漏斗形对偶分流器和钢包之间用气幕保护，也可用充满气体的弹性罩保护。

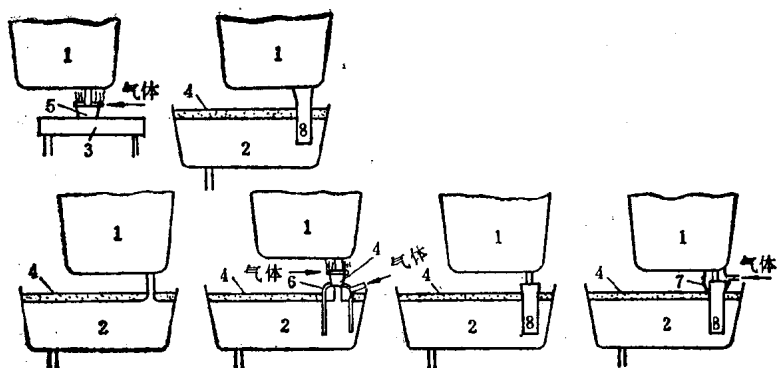


图 4 工业用钢包注流保护示意图

- 1—钢包，2—中间包，3—对偶分流器，4—保护渣层，
5—带集气管的漏斗，6—充满惰性气体的耐火罩，
7—充满惰性气体的弹性罩，8—耐火浸入管

1962年以前，金属以敞开流注入结晶器，为了保护注流，采用了含碳润滑油的分解产物（液态石蜡、菜籽油等）。保护气氛也有的是借助于天然气或丙烷-丁烷混合物的燃烧或分解而形成的。把这些材料加到结晶器内裸露的金属液面上。润滑剂靠重力或压力沿结晶器壁流动，通过沿结晶器周边布置的管子或框架供给气体。这种保护方法的特点是简单和消耗较低。浇注工的任务只是监督和定期地排除积聚在金属液面上的渣子。这种方法的缺点是由于向空间排放大量的热和烟，不利于卫生和恶化了劳动条件；增加了浇注金属的氢含量；保护介质中的氧含量较高和有可能使高活性元素氧化。

注入结晶器的金属注流，其保护方式与上述研究类似，仅有结构方案上的差别。

在其他国家的多流铸机上连铸小断面的铸坯时，注入结晶器的金属注流采用氮气气幕保护。气幕由从环形集气管上的小孔放出的液氮产生。据提出该保护方法的作者报道，可以不间断地往结晶器内的金属液面供氮^[3, 4]。在苏联，未采用上述的保护方法。

用浸入式水口保护注入结晶器钢流的方法，在苏联和国外得到普遍推广。

在掌握连铸工艺的最初阶段，用气体和油的不完全燃烧产物或其碳氢化合物的分解产物保护结晶器内的金属液面。现在，这种方法当生产次要制品的小断面铸坯时，还在使用。除已指出的之外，此法的缺点是在坯壳和结晶器壁接触处，由于高的导热系数促使形成坯壳厚度不均。高的导热系数会加重缺陷对于在结晶器壁上靠近金属液面处形成裂纹和发生漏钢事故的影响，漏钢导致过早地更换结晶器；坯壳和结晶器壁直接接触还会造成铜的不均匀磨损。

连铸坯钢种的扩大，对铸坯质量更严格的要求以及提高结晶器使用期限的必要性，都促进了所采用的保护介质不断完善。当以敞开流浇注电工钢和不锈钢板坯时，曾试图用氩气代替丙烷-丁烷混合物，将其通至结晶器的金属液面上。预计较重的氩气将充分排除空气。但是，甚至在氩耗量很大时，金属液面上的氧含量仍大于2%。氩气冷却了金属液面，并促使形成重皮。电工钢铸坯的重皮废品达15%。由于氩气的冷却作用，不能得到满意的铬镍不锈钢连铸坯的表面质量^[5]。

用盖子或罩子（刚性的或弹性的）密封敞开的结晶器，可以减少氩气消耗，氩气是为赶走紧贴金属液面的空气所必需的。为了润滑结晶器壁，在这种情况下，也采用液态石蜡或菜籽油，但其耗量不超过0.1kg/t钢。弹性罩暂时还没得到工业应用，因为没有相应的制作材料。已有效地应用了刚性密封罩，有把浇注装置同结晶器连接在一起的，也有作成和结晶器一同往复运动的。当用密封罩以菜籽油的分解产物和以氩气形成的保护介质保护金属液面和注流时，金属含氧量低于0.2%。

原则上确认，浇注过程中保护金属液面的新方向是采用硅酸盐系渣作保护介质。

对于在模内上注或下注扁锭时用渣层保护金属的新方法的基本研究阶段已在一系列文献中介绍过了^[6, 7]。这里应当指出，

保护渣层不仅有隔离钢水和空气的作用，而且形成渣膜，使坯壳避免与空气直接接触。

在苏联，1958年首先由乌克兰科学院铸造研究所与红十月工厂共同研究，并在生产工艺中对铬镍不锈钢实行了模内液体渣层下的浇注，熔渣由专门的炉子供给。1966年在兹拉陶乌斯特冶金工厂也进行了模铸锭采用液体合成渣的试验，合成渣由电弧炉供给。渣由便宜的不缺乏的材料炼制，并带入大量的显热，因而为造此渣层所需的热消耗已降至最低。对于浇钢量大而且锭模数量多的情况，液渣浇注使铸锭操作极大地复杂化了，因而此法未得到广泛的应用。1975年，用液体保护渣浇注的钢锭只有10万个^[6]。

用于形成保护层的粉状发热剂，首先于1962年在谢罗夫冶金工厂用于模铸平炉钢。后来，将此种发热剂和由其压成的发热板也广泛用于电炉钢的浇注。1975年，用这种保护介质浇注下注锭600万t和上注锭约280万t。发热剂的单位消耗为 $3\sim 5\text{ kg/t}$ 钢。因此，它被称为高消耗发热剂。大量采用高消耗发热剂，带来一系列经营管理上的缺欠。因含有昂贵的可燃物质（Mg、Ca-Si、Al等），发热剂昂贵。在形成覆盖层的过程中，分解出很多氧化氮和氟的化合物，要求按专门的安全技术规程生产发热剂。

下注时，模内用绝热材料保护金属，其工业规模应用始于1966年。但是应用这种材料浇注钢锭的数量却很快就占据了首位。如1971年苏联黑色冶金部属各钢铁厂使用发热保护渣模铸钢锭587万t，而使用隔热保护渣模铸钢锭为764万t。到1975年，用保护渣和其他材料模铸钢锭2480.9万t中用隔热材料浇注的已达65%。在模铸中广泛使用隔热材料与浇注用途广的碳钢和低合金钢时基本使用这种隔热材料有关。它比发热渣污染环境的程度小，不易着火与爆炸，且较便宜。其单耗为 $1.5\sim 2.0\text{ kg/t}$ 钢。

随着模铸金属保护方法的开发，在连铸工艺中也采用了金属的保护渣浇注。在连铸条件下，渣膜不仅起着把运动着的坯壳和