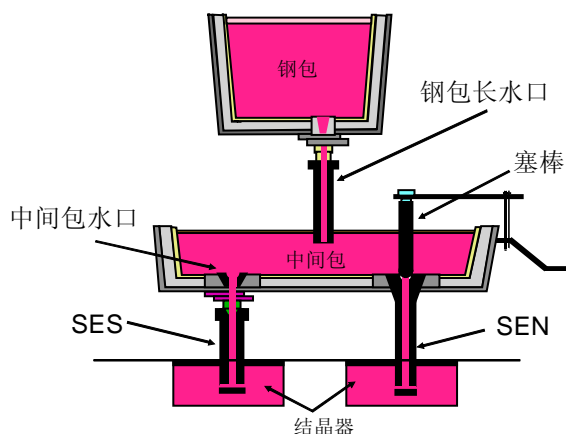


1.0 连铸功能件介绍

连铸工艺发展得已经很成熟，并带来了新的炼钢工业革命。自20世纪60年代进入商业化以来，连铸取得了巨大的发展，今天约有80%的钢是用这种方法浇铸的。

钢铁公司对于“以最低的成本生产优质钢”的需求，促进了控制钢水液流的高品质连铸功能件的发展。该工艺要求材料具有高强度、耐高温冲击的性质，所以起初功能件是用熔融石英制造而成的。可是，熔融石英产品有很多局限性：主要问题是材料磨砂和温度高于900℃形成方英石，并且在铸造高锰钢时耐冲蚀性很差。

熔融石英产品目前已经大量被淘汰，仅用于连浇炉数少的场合。目前所用的多数功能件是以**碳素为结合剂**的氧化铝、氧化锆以及氧化镁石墨。



有必要对高品质的功能件在“连铸”过程中的作用进行解释，以便充分认识它们在工艺中的重要性能。下图是连铸工艺示意图、显示了产品种类和用途。

钢包是主要容器，用于将化学成分合格的钢水运送到连铸机。钢水从钢包注入中间包并从中间包再注入到结晶器。

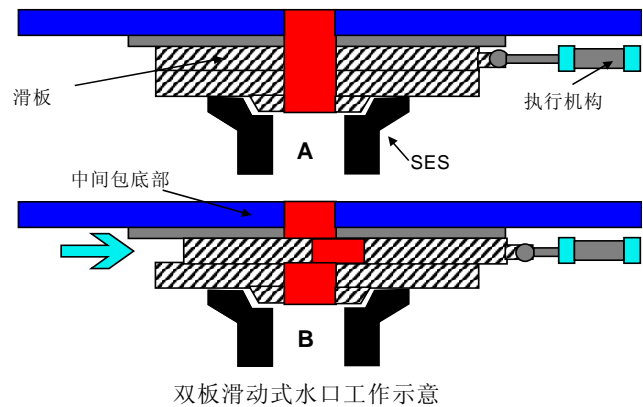
为防止浇铸时钢水从钢包进入中间包发生二次氧化，采用了钢包长水口。

大多数应用过程中，水口采用冷开浇方式，这意味着材料必须经受极端的热冲击工作条件，即温度瞬间从室温升到1560℃。钢包长水口的内孔壁还与高速流动的钢水接触，这就要求具有很高的抗钢水侵蚀性。

中间包形式非常简单，它是将钢水分配到结晶器的一种容器，结晶器采用水冷方式帮助钢水凝固。这一过程必须受到控制，为此采用了许多不同的方法，后文将分别对这些方法进行详细介绍，这里仅作粗略说明：

1. 塞棒和内装浸入式水口（SEN）安装在中间包内，塞棒用于控制钢液的流量，以确保精确控制结晶器中的钢水液面高度。塞棒和浸入式水口通常要经过预热，所以一定要能承受比较高的热冲击。由于塞棒头的工作性质（上下运动以打开或限制塞棒头部和水口座之间的开度），因此它还必须具有高的热强度，塞棒头部必须能够承受极高的冲蚀。

2. **塞棒、中间包内水口和外装浸入式水口（SES）** 安装在中间包外侧，通常和中间包内水口相连接。塞棒和SEN的使用方式相同，只是钢水的流速是通过改变塞棒头部和中间包内水口座之间的开度控制的。

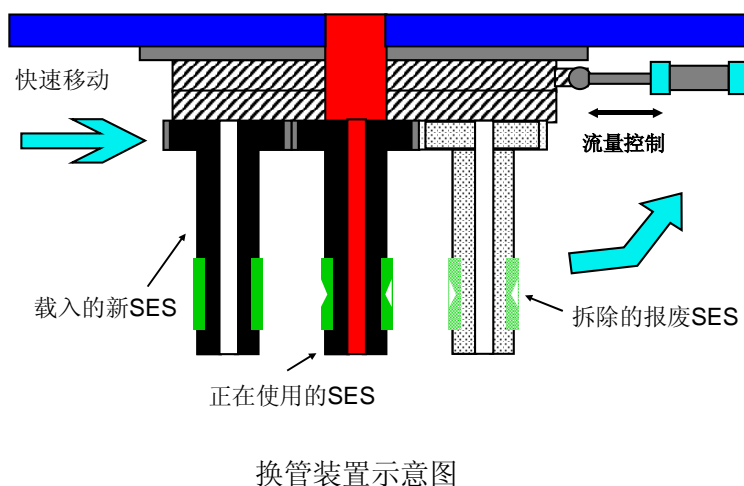


3. **滑动水口和SES** 在这种情况下，外装浸入式水口安装在中间包外，但它与滑动水口机构的底板连接在一起。滑动水口结构各异，但一般分成双板和三板两种型式。完全打开时，各板上的孔是轴向对中的，通过改变对中程度（限制开口大小）控制流量。

从图中可以看出，在位置A，滑板和中间包底部的孔对准，因此钢水流量最大。在位置B，孔未完全对准，钢水在一定程度上受阻，因此限制了钢水流量。如果机构完全缩回，则各孔将完全错开，使钢液流关闭。

4. **水口更换装置和SES** 其主要特征与滑动水口类似，但SES的顶部是套铁皮的、机加工的平面，并被放在一个“夹头”内，夹头能够使一个SES处在滑动水口的正下方而另一个装好备用。快速、准确地推动备用SES来取代报废件，再拿走报废的SES。确保了钢水不间断地流入结晶器。流量控制通过滑动水口实现。

有时也会采用其它流量控制系统，如定径水口和外力驱动的旋转水口，偶尔也采用塞棒。



2.0 功能件等定形耐火制品技术

在前面的简介中，已经概述了耐火制品的作用和产品必须具有的主要物理特性。手册的这一部分重点介绍稳定地生产客户信赖的高性能产品所要求的材料和加工技术。

2.1 材料

福士科的耐火制品由金属、金属氧化物、非氧化材料和片状石墨组成，全部材料由碳素粘合在一起，而且大多采用釉料层进行保护。配方的综合特性赋予这些产品高抗热冲击和良好的耐冲蚀-腐蚀等优异性质。每种材料的作用都不相同，大致可概括如下：

材料	特性	作用	优点	缺点
片状石墨	90-98%碳	抗热冲击	不会被结晶器保护渣润湿	在550℃以上氧化，在钢水中溶解
熔融氧化铝	99.0%Al ₂ O ₃	高稳定性耐火材料	抗钢水	易于被结晶器保护渣溶解。
熔融氧化锆	石灰部分稳定。~85%ZrO ₂	高稳定性耐火料	很高的抗钢水性	在保护渣溶解，稳定性变坏。
烧结氧化镁	> 95% MgO	稳定的耐火料	抗钙处理钢的侵蚀	抗热应力差，易水合
非氧化物	金属或金属碳化物	增强抗氧化性	防止本体二次氧化	会降低耐火性，而且价格昂贵
熔剂	低熔点玻璃体和长石	改进低温粘结性并具有一定抗氧化性	减少氧化，帮助形成高温共熔体	降低耐火度 形成固化后易碎的玻璃体
碳结合剂	热分解树脂	永久高温耐热结合剂	高热强度和抗热应力，不会被熔剂润湿	在450℃以上氧化，在钢液中溶解
釉料	低熔点玻璃	抗氧化	保护外表面	会脱落，并在高温下发生问题

片状石墨是一种天然矿物，在世界很多地方都可开采到。这种矿物一般可通过泡沫浮选技术分离出杂质，石墨片的大小通过粉碎和筛选分类来控制。

在CBC（碳素结合陶瓷）中加入这种材料，是因为它的导热率高、热膨胀系数低，可使产品具有极好的抗热冲击。它不与耐火氧化物产生陶瓷结合物，但会在耐材晶粒和碳结合剂之间形成分布细密的“缓冲带”，可吸收热应力。由于这种材料的不润湿特性它能够阻止具有侵蚀性的保护渣的侵入，因此它是需求量很大的材料。在非氧化条件下，片状石墨具有极高的耐火性。

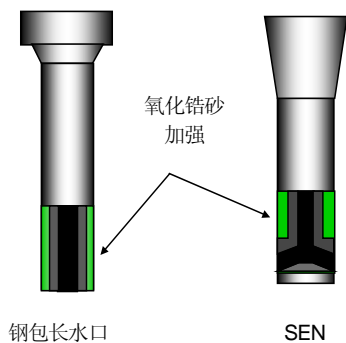
含量在25~30%的片状石墨时耐热冲击性能最好。

目前，碳素结合剂是氧化铝石墨、氧化锆石墨和氧化镁石墨最常用的结合剂，已大量取代了传统的诸如粘土和氮化硅之类的陶瓷结合剂。它是由酚醛树脂的初生核热分解而产生

的，与沥青或焦油等其它碳素结合剂不同，酚醛树脂的初生核产生相互连接的象碳素带的晶格，可使强度更高。碳结合剂是在（800~1000℃）较低的温度下开发的，在高于1600℃的温度下仍能保持稳定。

由于碳素结合剂会被氧化，因此，一般由抗氧化剂和低温玻璃相联合体进行保护，它们形成一道致密屏障，可防止氧的侵入。

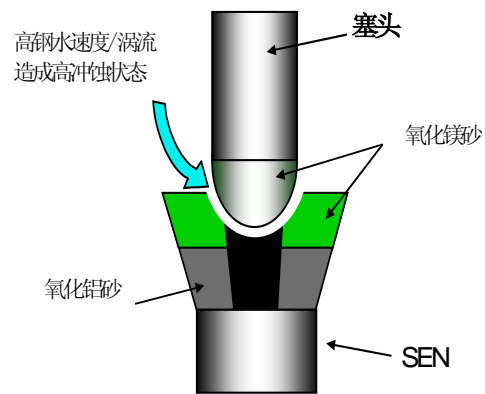
氧化铝石墨一般含20~30%片状石墨、50~60%氧化铝和5~15%的二氧化硅，用于生产所有功能件等定形制品的自体。



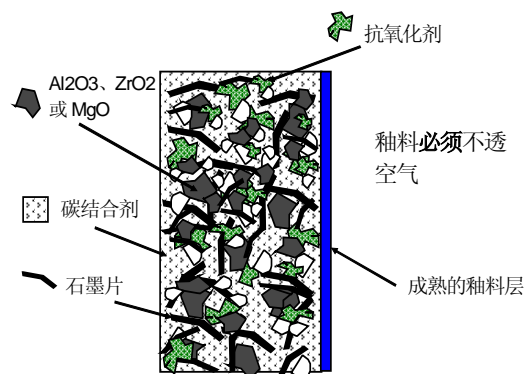
氧化锆石墨一般含10~20%片状石墨、70~80%熔融氧化锆和5%以下二氧化硅，用于加强产品中容易受到侵蚀性熔剂侵蚀的区域。这种材料一般可在浸入式长水口和浸入式水口的渣线处见到，今天，当中间包中使用酸性覆盖熔剂时，常常用在钢包长水口的渣线处。

氧化镁石墨复合材料一般含10~20%片状砂、60~70%熔融氧化镁和5~10%二氧化硅，用于某些侵蚀性较强的炼钢场合。在铸造深冲钢、铝

镇静钢（通常需要通过钙处理来修正氧化铝二次氧化的产品）时常常会见到这些情况。钢中少量游离的钙会和氧化铝砂中的氧化铝发生反应，降低了它的耐火性，当钢水速度增大时（如当其进入浸入式水口时）产生的涡流和侵蚀作用足以产生惊人的磨损。氧化镁砂一般用来加强容易发生此类特殊情况的塞棒头部和SEN座砖。钢水中的游离钙和复合材料中的氧化镁发生反应，但其生成品的耐火性比氧化铝-钙高，因此腐蚀/侵蚀作用减小。



釉料是碱、金属氧化物、非氧化物、临时结合剂和悬浮剂的多元混合物。福士科使用的所有釉料都有确定配方并自家生产。釉料的作用是防止CBC产品在使用和预热过程中被氧化，另外它对产品外观的影响也日益增大。



福士科的釉料系统

为有效发挥作用，釉料必须具有以下特性：

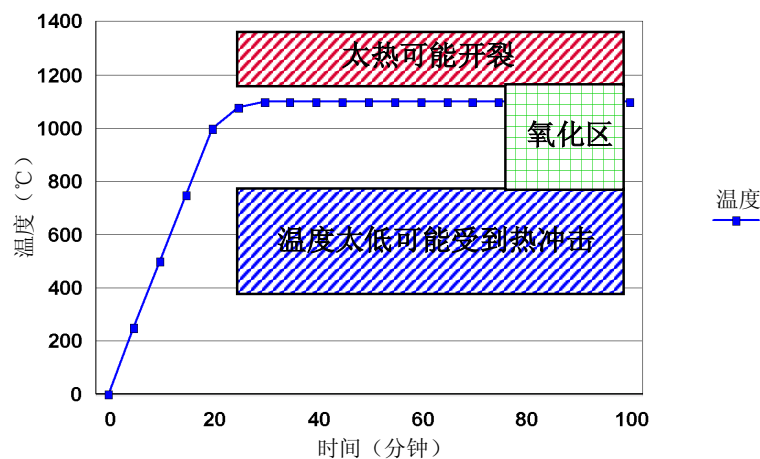
1. 可控制和可预知的熔点。
2. 能润湿和附着在产品表面。
3. 与本体有相近的热膨胀系数。
4. 具有阻止自身脱落的液态玻璃相粘度，能获得最小的釉料厚度。
5. 坯料强度高，可以对上过生釉的产品进行搬运。

釉料主要有两种，大多数情况用的是普通釉料，高温釉料则用在加热温度很高的SEN/SES以及塞棒。

SEN和SES涂有生釉，即在焙烧和机加工（适合的话）之后上釉，釉料加热时被烧成熟料。

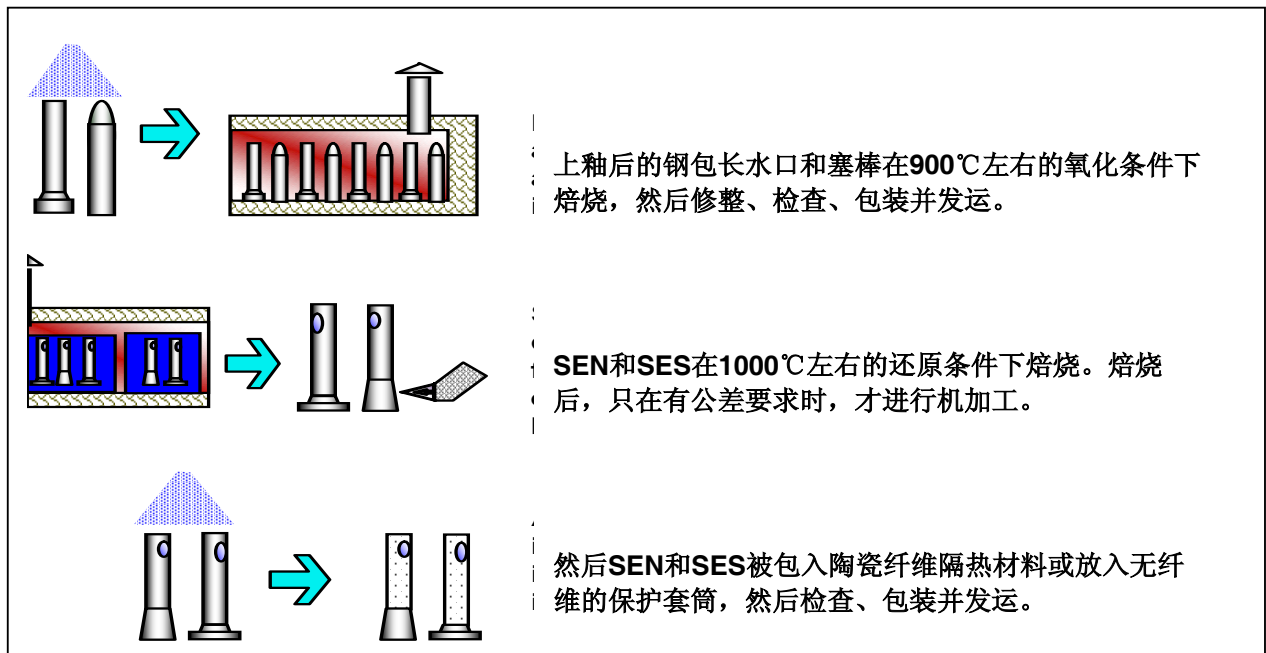
这部分很关键，因为只有当釉料变熟并变成液相后，它才能防止氧化。控制熟釉的粘度是非常重要的，因为只有粘度足够低才能均匀有效地覆盖表面。富士科的标准釉料在800℃时具有保护作用，在1100℃左右保护功能最强。如前所述，在400℃时碳结合剂开始氧化，因此建议应使预热曲线在400至800℃之间以最短的时间快速越过。为此，我们建议采用以下预热制度：

图52：
推荐的预热制度



从图上可以看出，峰值温度过高或过低都有可能产生裂纹。温度过低，它和钢水之间的温差将产生热应力进而导致断裂；温度过高，基体材料的结构就会改变，从而导致开裂。

对于符合推荐数值范围的预热方式，建议采用富士科的标准SE25釉料。对于温度在1200℃以上的情况，建议采用富士科的T18釉料。有时，预热件个别区域的温度会低于其它部分的温度，在这种情况下，应限定使用低熔点的专用釉料B49。



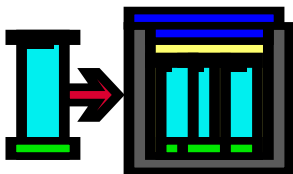
并不少见的是内部孔腔的温度最后远远高于外部的温度。在这种情况下，就必须对内孔采用T18，而外壁使用SE25。

2.2 制造过程

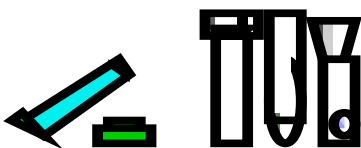
福士科在苏格兰的邦尼桥（Bonnybridge）生产CBC连铸功能件，工艺路线与所有欧洲制造商普遍采用的相同。应该指出的是，该工艺路线与日本制造商的工艺路线大不相同，但更加有效。该工艺路线可概括如下：



按比例将原材料、树脂粘合剂和再生材料混合在一起制成批料，配方的选择取决于要制造的产品



颗粒状的批料在振动状态下被喂入特殊设计的工具中。该工具被特殊设计的封闭体密封并被送到一台冷等静压机。填满的工具将经历受控的加压和减压循环。



将毛坯脱模，每次上釉或焙烧之前在200℃的炉内固化8小时。钢包长水口和塞头采用外浇注的方法上釉，SEN和SES在这一步不上釉。

本工艺的关键部分是批料的制备、硬化和焙烧。

批料的制备：

批料的质量决定了“制造工艺”。我们仔细地控制配方、搅拌参数、批料状态、批料的可处理性能即必须能够自由流动、性能稳定以及最终的由批料的状态和流动性综合决定的可压制性。福士科同时使用高强度搅拌机和低剪切搅拌机来生产批料，以达到合格的参数。每批料都进行标准质量检查，且必须达到严格的技术参数。

福士科生产的批料具有标准的欧洲料的特点，呈颗粒状，无粉尘和塑料材质。这与通常采用日本技术生产的细粒、粉尘状、低塑性形成了鲜明的对照。

压制：

绝大多数功能件产品是用等静压压制的（少数还在用液压压制）。等静压成型方法需要使用在压力状态下变形的特殊工具以实现塑性变形。标准的工具结构如下图所示。

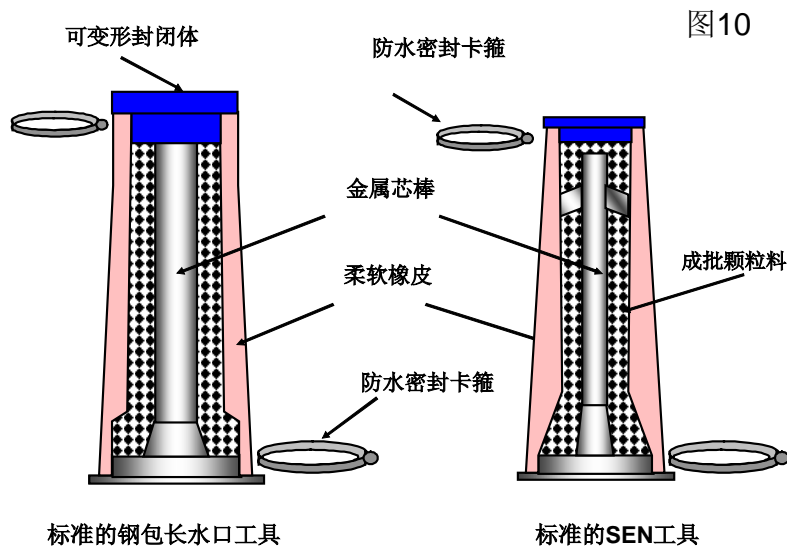


图10

等静压成型需要将工具完全浸入到液体水池中。用大功率泵增大内部的压力。由于介质是液体，因此压力分布均匀（故称“等静压”）并作用在工具上。用塑性材料制成的外囊均匀变形，并在外囊和金属芯棒构成的工具空腔内压缩细粒。一旦压力降低，外囊将恢复原来的形状，当然，已被压缩的材料仍然是压实状态。压制周期相对较短，一个标准的加压/减压周期大约在5分钟内完

成。最大公称压力为5000 psi。现在，取下外囊并滑出芯棒上的毛坯，将压坯从工具中取出。从图上看，这对于钢包长水口好像很简单，但由于SEN工具芯棒上有“耳朵”，因此就比较复杂。必须在毛坯剥离之前先取下这些“耳朵”。

之所以能够这样操作是由于压坯实际上是从芯棒上回弹松开的。松弛状态可以保持几个小时。

硬化：

产品刚从工具上脱下来时，也还会变形，因此需要小心搬运并妥当托撑。由于树脂结合剂的存在而具有塑性，加热后树脂结合剂就会硬化。这一过程是在工作温度大约为200℃的

批式炉中进行的。对大件的产品时间要长些，需要“硬化”数小时。从固化炉中取出硬化后的产品，在移至下一道工序之前要使其先冷却下来。

焙烧：

压制成型且不需要机加工的钢包长水口和塞棒用外浇注的方法上釉、干燥并放入间歇窑炉中进行焙烧。从冷到冷之间的整个周期大约为8小时，其最高温度900℃，炉况要认真控制。

SEN和**SES**从固化炉中取出并在间歇窑炉中进行“密闭焙烧”。这一过程需要将产品密封在金属容器中进行焙烧以防氧化。由于产品可能需要进行机加工，而且一般在炼钢厂进行预热，实际上釉料也被这个工艺烘熟了，故而事先不上釉。窑炉内的温度大约为1000℃。

检验和包装：

所有产品都要进行外观检查和尺寸检查，并利用报废件或试环/棒确定焙烧后的特性。只有符合规范的产品才能包装发货。按照炼钢厂和产品经理事先商定的包装规范进行包装。