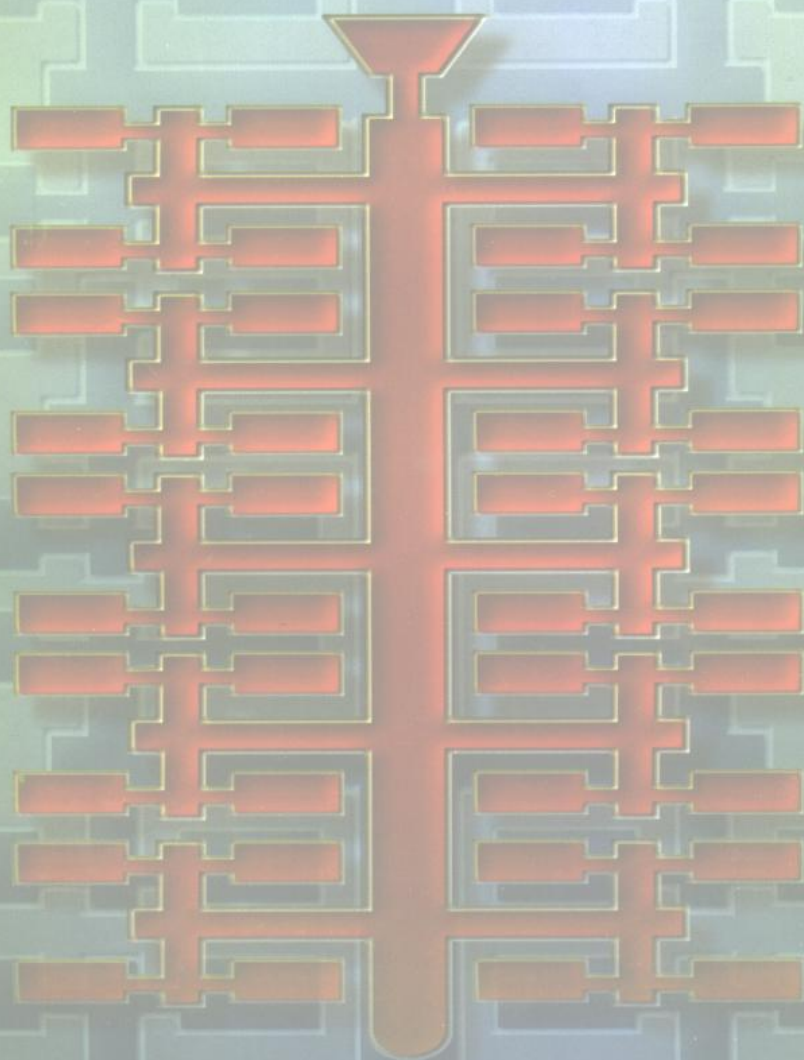


串铸技术及应用

高绍君 杨 弢 吴诗凤 编著



机械工业出版社

几
或

249
23

DV40/28

串铸是一种成本低的精密铸造方法,是生产少切屑的中小及中大型铸件的先进技术,近年来发展迅速,已引起国内外铸造工作者的极大重视。

本书是一本前所未有的系统归纳作者和其同事们十多年来在串铸技术研究及应用中取得最新科技成果和古今中外串铸技术成就的专著,其科学性、理论性和实用性很强。

全书分为串铸技术概论、中国古代串铸技术、水平串铸、排型串铸、立式串铸、层叠串铸和国外串铸技术及其研究等七章。每章论述一种串铸方法,并详细地阐述了串铸分类和命名的科学依据、新型充填理论、流动补缩原理、串铸用铸型材料及造型工艺、串铸工艺原理及设计步骤、浇补系统的优化设计方法及计算公式和图表等,并收集了大量生产中行之有效的应用实例,理论联系实际,语言通俗易懂,图文并茂,读者很易理解和应用。

本书对工厂的铸造工作者、研究院所的铸造研究人员、大中专院校铸造专业师生均是一本很有价值的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

串铸技术及应用/高绍君等编著. —北京:机械工业出版社, 1997. 9
ISBN 7-111-05690-5

I. 串… II. 高… III. 铸造—工艺 IV. TG24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 09976 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄路 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 季顺利

封面设计: 姚毅

北京通县曙光印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1997 年 10 月第 1 版 · 1997 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 · 17.5 印张 · 430 千字

0 001—1000 册

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

串铸现已发展成一种应用技术。现代的铸造工程中各种铸造方法都采用了不同形式的串铸方案，生产出大量的符合现代要求的优质铸件，创造出好的经济效益。

编著本书的出发点是，在科学分类和命名的基础上，系统介绍串铸技术，供从事铸造生产、教学和研究人员参考及学术交流之用。书中系统地整理了古今中外的串铸技术的成功实例和最新研究成果及应用经验，介绍了一些实用的新型串铸方法，为提高串铸技术水平，奠定了良好的理论基础。

在编著本书的过程中曾得到铁道部资阳内燃机车辆工厂、东方电机股份有限公司、西南化机股份有限公司和成都兰虹机械厂等单位的协助。同时，陈秀侗和田长浒等教授为本书提供了大量资料并提出了宝贵意见，在此表示感谢！编者也特别感谢机械工业出版社为本书出版所做的组织工作，以及编辑同志对本书提出的宝贵意见。

本书由高绍君、杨翥、吴诗凤合作编著。文稿由高锋抄写整理，图稿由郭印红整理，英语资料由栾道成、魏成富和魏晓伟翻译，全书由高绍君统稿审定。鉴于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请各界读者给予指正。

作 者

1997年3月

绪 论

一、串铸技术

所谓串铸就是用各种造型材料及造型方法制造出由浇补系统中某一组元将若干个相同型腔的内浇道连接成一体的、组合成不同形式的铸型，每次浇注均由同一浇包的金属液经过所有型腔共用的浇补系统，以不同的充型方式分配至各个内浇道，完成全部型腔的充填任务，待其冷却、凝固和落砂后即获得成串铸件，然后从其上将铸件一个一个地取下，经清理、打磨、检验即获得几个到几十个，甚至上百个合格铸件的制造方法称之为串铸。专门研究、系统论述有关串铸的造型材料、造型方法及设备、方案确定、浇补系统及工装设计等的理论知识和应用技术简称串铸技术。

串铸工艺的优点是：能大幅度提高生产率、有效改善劳动条件、提高车间单位面积产量、铸件质量优异、铸件废品率低、能节约材料和减少能耗。是生产不同批量的各类合金铸件的先进工艺。20年来，无论在理论上还是在实际应用中都取得了突破性进展。

串铸技术起源于中国，曾在我国铸币史上留下了光辉的一页。如何将现代造型材料、造型方法、造型设备、充补理论及国外的串铸方式与中国传统串铸技术紧密结合起来，深入研究、系统总结，创造出新的串铸方法，用于批量生产各种技术要求高的中小型铸件，是中国铸造工作者很早就已提出的课题。

二、串铸浇补系统的设计原理

众所周知，在进行一箱一件或一箱多件的普通砂型铸造时，其浇注系统内金属液对型腔的充型状态只与引入位置有关。因此，在设计浇注系统时，往往是将充型系统与补缩系统分开考虑，特殊情况下才用浇补合一的方案。这样就导致了铸件工艺出品率降低，成本升高，尤其是小型铸件更为突出。本书专题讨论的串铸工艺，其浇注系统设计采用了浇补合一的设计原理，也就是说，金属液对一串型腔的充型方式可以根据铸件的大小及结构、质量要求等合理选择同时充型、逐件充型、逐层充型和逐组充型等不同形式。而需要补缩的铸件则采用“流动补缩”的原理，就是令金属液在充填一串型腔的过程中，当充填其他型腔的同时，对已充满的型腔提供收缩所需的金属液，不用冒口补缩，也能获得无收缩缺陷且致密度高的铸件，这种边充型边补缩的浇注系统叫做充补系统或称之为浇补系统。其补缩方式谓之流动补缩，它的突出优点是充分提高补缩效率，最大限度地节约金属液，使铸件成本降至最低，以获得最佳经济效益。

三、串铸的分类及命名

串铸技术在铸造工艺学中实际上早已形成了独立的分支，在我国是一项古老而又年轻的铸造技术。虽然铸币有串铸，但是由于缺乏系统的科学研究和完整的技术总结，一直处于经验性应用状态。近十多年来，由于化学粘结剂、自动化造型及造芯设备的飞速发展，在铸造业发达国家已有了新的突破，引起了世界铸造工作者的高度重视。近十几年，我们的研究结果反过来又引起工业发达国家的极大兴趣。最主要的是在新的充补理论基础上，结合已有的串铸形式和各种铸造方法对串铸作了系统总结、科学地分类和命名，为串铸的工艺设计和应

用提供了理论依据。如根据连接组元所处的空间位置,将串铸分为卧式串铸和竖直串铸两大类,为专题研究提供了思路。又根据型腔串形成的方法,每一类可分成两种,前者分为水平串铸和排型串铸,后者分为立式串铸和层叠串铸,共分为四种串铸方法。根据充型理论将上述四种串铸中的每一种再分成2~3种基本形式,如水平串铸可分为同时充型水平串铸、逐件充型水平串铸及逐组充型水平串铸。虽然都是水平串铸,但因充型方式不同,浇补系统的结构也不一样,所制造的铸件大小结构各有差别,它们的工艺、工装、造型操作技术等均有很大差异。如此的分类和命名原则对串铸工艺方案的确定,工艺、工装及浇补系统设计的规范化和科学化都有很大帮助,对系统研究和推广应用串铸技术是有指导意义的。

此外,层叠串铸与层叠铸造不能等同,前者是本书第六章所讲述的内容,后者是将两箱造型的铸型合型后,一型一型地阶梯式叠放成堆,敞开每型的浇口盆,一型一型地阶梯式浇注,每型的浇注系统是独立的。造型、合型、浇注、落砂与普通两箱造型砂型铸造毫无区别。由此可见,层叠铸造与层叠串铸有本质区别,故不能称其为串铸。

还应说明的是,串联铸造也不能简称为串铸,所谓串联铸造是将若干个小铸件合并铸造成一个较大毛坯的铸造工艺;或者将很多小铸件的小型芯合在一起,变成较大砂芯。这是一箱多件的工艺措施,是为了制模、造型、造芯及下芯等方便,是提高铸件尺寸精度的有效办法之一。另外,常常有人称一箱多件铸造为串铸,不太确切,如同时充填水平串铸一定是一箱多件,但一箱多件不一定是同时充填水平串铸。又如普通两箱造型往往是一箱多件,但不是串铸。

四、编著的目的

串铸工艺在铸造生产中应用日益广泛,在手工砂型铸造中可以应用,在机械化流水线上和一些特种铸造方法中也能应用。如国外就已在水平分型的造型线中出现了一种双层型腔的两箱铸型,使砂箱能得到更充分的利用。在两箱造型的铸型中有两个分型面,上下半型中间夹着一个“中间型”,它是用另外的射压方法生产的,由一个适当的运输装置象型芯那样送入下半型中,合型后,通过其共同的浇注系统,一次浇注同一箱中的两层铸件,使产量增加一倍。实际上这就是层叠串铸在机械化流水生产线上灵活应用的典型实例。因此,系统而深入地研究串铸技术及其应用,全面总结串铸工艺经验,对丰富铸造工艺学的内容,提高铸造工艺水平是有极其重要的科学技术价值。为此,现将我们的研究成果和心得,编著成《串铸技术及应用》,目的是希望能起到“抛砖引玉”的作用。

目 录

前言

绪论

第一章 串铸技术概论	(1)
第一节 串铸的种类	(1)
第二节 串铸用铸型材料	(1)
第三节 串铸的造型造芯方法	(55)
第四节 串铸用造型造芯设备的选择及工装	(56)
第五节 串铸技术的应用及研究	(59)
参考文献	(63)
第二章 中国古代串铸技术	(64)
第一节 中国古代铸币简介	(64)
第二节 商周时期的串铸技术	(66)
第三节 春秋战国及先秦时期的串铸技术	(67)
第四节 汉代的串铸技术	(67)
第五节 三国及以后时期的串铸技术	(76)
参考文献	(78)
第三章 水平串铸	(79)
第一节 同时充填水平串铸	(79)
第二节 逐件充填水平串铸	(101)
第三节 逐组充填水平串铸	(115)
第四节 不科学的水平串铸	(120)
参考文献	(122)
第四章 排型串铸	(123)
第一节 同时充填排型串铸	(123)
第二节 逐件充填排型串铸	(138)
第三节 逐组充填排型串铸	(148)
参考文献	(151)
第五章 立式串铸	(153)
第一节 同时充填立式串铸	(153)
第二节 逐层充填立式串铸	(221)
第三节 逐组充填立式串铸	(225)
参考文献	(229)

第六章 层叠串铸	(231)
第一节 同时充填层叠串铸	(231)
第二节 逐层充填层叠串铸	(239)
参考文献	(248)
第七章 国外串铸技术及其研究	(249)
第一节 叠型串铸简介	(249)
第二节 H 法	(249)
第三节 H 法浇注系统的水力模拟实验研究	(251)
第四节 需要进一步研究的问题	(259)
参考文献	(260)
附录	(261)
附录 1 铸铁件浇注系统阻流断面积的经验计算式一览表	(261)
附录 2 铸铁件浇注时间 τ 计算式一览表	(262)
附录 3 铸铁件浇道 μ 值测定	(264)
附录 4 μ 值修正表	(265)
附录 5 铸钢件常用标准腰圆压边控制器	(265)
附录 6 铸钢件常用标准球形控制器	(267)
后记	(268)

第一章 串铸技术概论

串铸是铸造工艺学中独立的分支，目前有不少人对其种类、原理、设计方法缺乏分析研究和认识，命名亦很随便。为正确选择串铸方案和合理应用串铸技术，必须对串铸方法进行科学分类和命名。

第一节 串铸的种类^[1]

根据作者多年研究结果及国内外现有资料查阅得知，串铸种类繁多，同种串铸方式各国或各地称呼各异，往往还有名不符实现象，常常给读者造成错觉。为了减少混乱，消除错误，统一分类和命名是十分必要的。

一、串铸的分类方法

虽然串铸的种类及形式多种多样，但只要分类方法规范，就不会让人难理解。为此，本书根据造型方法、金属液的充型方式、串铸浇注系统中公共组元或落砂前铸件串在型中所处空间位置、铸型材料和金属液引入型腔的位置等原则，对串铸进行系统分类和科学命名。这样有利于掌握每一方法的特点，正确选择和应用串铸工艺。例如，按串铸浇注系统中公共组元或铸件串在型中所处空间位置，可将串铸分为竖直串铸（竖串）和卧式串铸（卧串）两大类；若按造型方法可分成水平串铸（平串）、排型串铸（排串）、立式串铸（立串）和层叠串铸（叠串）等四种。

二、串铸的种类

根据上述分类原则，经过仔细分析研究，现将串铸的种类归纳于图 1-1 之中。

从图 1-1 中可见串铸方法有 20 多种，在选择方案时，应根据铸件结构、零件大小、铸件材质和制造单位的生产条件等，对各种方法的优缺点进行综合分析后，确定一种简便易行的串铸方法。至于这些方法的特点和工艺设计的注意事项等，分别在以后各有关章节中详细论述。

第二节 串铸用铸型材料

串铸用铸型材料有粘土砂、水玻璃砂、树脂砂和金属材料等四种。本节从实用出发，只介绍适合串铸用的铸型材料，并按种类分别叙述原材料的选用、配方及性能的确定和造型造芯时的注意事项等实用技术，至于其粘结机理、性能测试等请读者参考造型材料手册和有关专著。

一、水玻璃砂

水玻璃砂是以水玻璃为粘结剂的型（芯）砂。按硬化方法的不同可分为 CO₂ 硬化砂、烘干硬化砂、自硬砂等三大类。水玻璃砂的主要特点是无毒、无味、价廉，但落砂和旧砂再生较困难。随着环境保护要求的日益严格，又促进了对无毒、无味水玻璃砂的研究，酯硬水玻

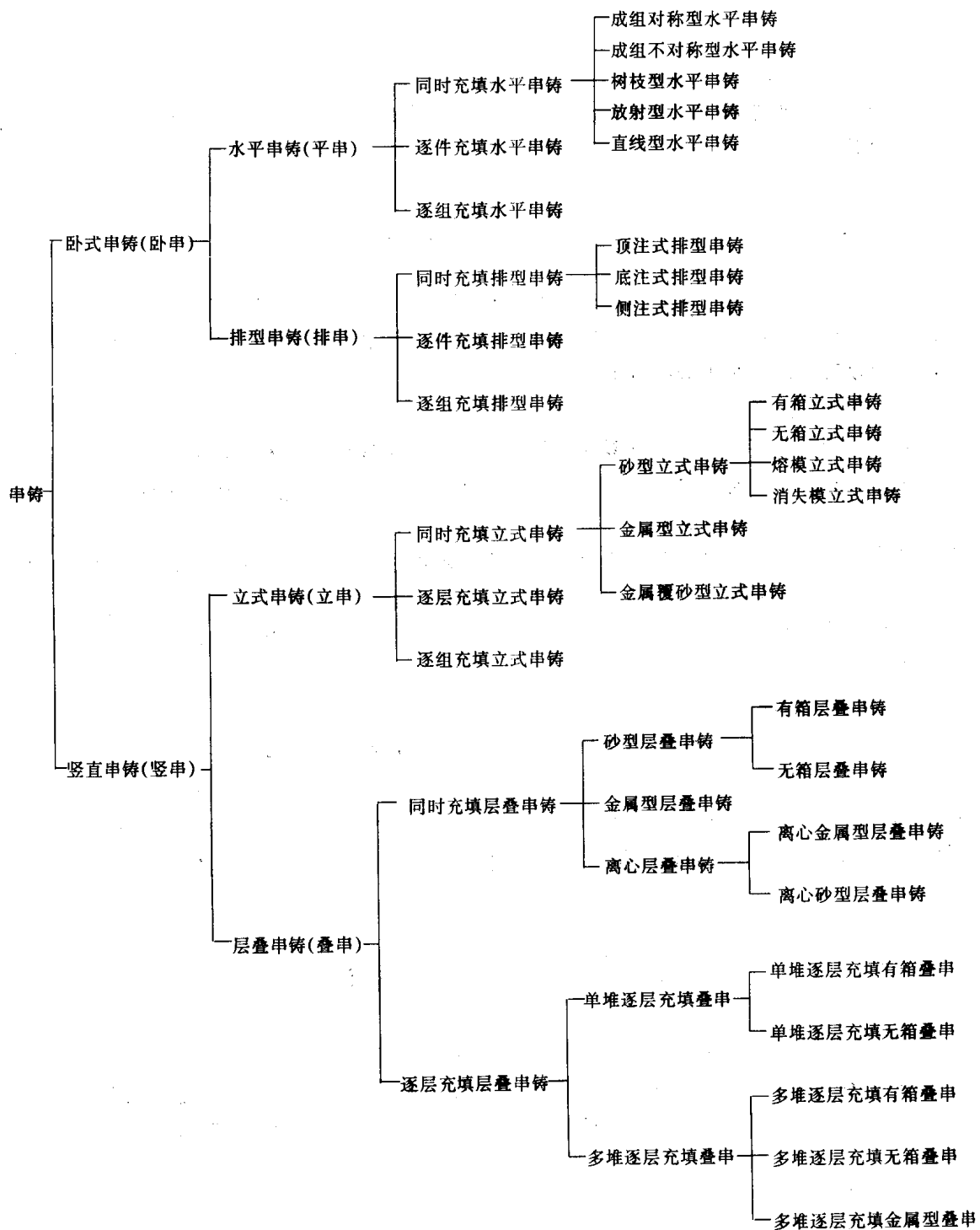


图 1-1 串铸分类分支图

璃砂及 VRH 水玻璃砂的应用取得了很大进展。烘干硬化砂一般不单独使用,而只作 CO_2 硬化砂和自硬砂的补充硬化措施。

(一) 水玻璃 CO_2 砂

水玻璃 CO_2 砂容易春实,用吹 CO_2 法硬化,可省去烘干工序,在硬化后起模可不用插钉,简化芯骨,故能提高劳动生产率,缩短生产周期,改善劳动条件,提高铸件公差等级。在我国,水玻璃 CO_2 砂是铸钢生产的主要用砂。

水玻璃 CO_2 砂在 50 年代初期的开始应用阶段,曾碰到可使用时间短、粘模、吹不硬、硬化的芯子存放时表面粉化、出砂困难和旧砂回用困难等问题。随着研究工作的深入,现在除了溃散性差和旧砂回用困难尚待进一步改善外,其余问题都已基本解决。

1. 水玻璃 CO_2 砂对原材料的要求 为保证水玻璃 CO_2 砂有较好的综合性能和溃散性,必须正确选择水玻璃、原砂及溃散剂等原材料。

(1) 水玻璃 水玻璃的基本组成物是硅酸钠和水。而硅酸钠是 SiO_2 和 Na_2O 以不同比例组成的多种化合物的混合物,水分过多水玻璃非常稀淡,粘结性极差,水分太少即粘稠,甚至呈固态。所以水玻璃的粘结性及应用价值与水有密切关系。水的相对含量不同时其浓度和密度即不同,其中所含粘结物的数量也不一样。从 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 三者的不同比例,可得到 11 种状态的水玻璃,实用者只有模数 M 为 2~3,密度为 $1.2\sim 1.7\text{g/cm}^3$ 的胶体溶液。

1) 水玻璃的模数及调整 水玻璃中 SiO_2 与 Na_2O 的摩尔数比值称为模数,它的大小直接影响到水玻璃的性质。当浓度在一定范围内时,模数越高,则 SiO_2 相对含量即越高,其粘性就高,硬化速度也快。但模数太高,硬化太快,溶胶凝聚的网状结构就紊乱不齐,反而使型砂强度不高。因此,正确选择水玻璃的模数是保证铸造生产中所用水玻璃砂性能的重要因素。我国常用的模数为 2.0~3.0。

夏天水分容易蒸发,为提高可使用时间,一般用模数为 2.2~2.4 的水玻璃;冬季气温低,低模数的水玻璃不容易硬化,为缩短硬化时间,常用模数为 2.4~2.6 的水玻璃。排型串铸或叠型串铸的型块不大,相当于中小砂芯,其生产周期短,可选用模数为 2.6~2.9 的水玻璃。在生产中使用的水玻璃的模数与使用要求不符时,可用以下三种方法加以调整。第一,加入氢氧化钠增加 Na_2O ,降低模数;第二,加入盐酸或氯化铵与 Na_2O 作用,减少 Na_2O 的含量,提高模数;第三,用两种不同模数的水玻璃按一定比例混合成一种所需模数的水玻璃。

模数的大小仅表示水玻璃中 SiO_2 与 Na_2O 的相对含量,并不表示水玻璃中硅酸钠的相对含量,也不表示水玻璃中硅酸钠的浓度。使用水玻璃时还应注意浓度和粘度等。

2) 浓度与密度 除模数外,浓度是衡量水玻璃性质的一个重要指标。因为浓度是反映水玻璃中所含 Na_2O 和 SiO_2 的固体总量,常用波美度表示,其符号为 $^{\circ}\text{Be}'$ 。当模数一定时,浓度增加,固体含量就增加,使水玻璃的粘结力增大,但浓度过大,则水玻璃砂的流动性降低,难以使用;浓度过小,则型砂强度降低,而且因含水量增加易使铸件产生气孔缺陷。

密度与波美度之间有一定的关系。在密度计上都有浓度与密度对应的刻度,可以直接读出浓度与密度,生产中常用的水玻璃其密度为 $1.3\sim 1.6\text{g/cm}^3$,波美度为 $35\sim 55^{\circ}\text{Be}'$ 。用低模数的水玻璃时,其密度应较高,否则容易引起粘模、吹不硬等问题。如密度过高可加水稀释。

3) 粘度 模数和浓度均影响水玻璃的粘度,浓度一定时,模数增加其粘度亦增大,型砂硬化速度加快。但当浓度过小时,即使改变模数,其粘度无显著变化。型砂硬化速度变化亦不大。当水玻璃的模数不变时,水玻璃的浓度越大其粘度越大。密度增加时,高模数的粘度

较低模数的粘度增加更快，因而随着浓度提高，不同模数水玻璃的粘度相差更大。

由此可见，浓度和模数过高的水玻璃硬化速度快，因此其保存性差，不利于造型。

4) 水玻璃的技术条件 根据国家专业标准《铸造用水玻璃》(ZBJ31003—88)的规定，用作型(芯)砂粘结剂的水玻璃分两种牌号，其性能应符合表 1-1^[3]，最低要求应符合表 1-2^[4]。

表 1-1 水玻璃的技术条件

牌 号	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$w(\text{SiO}_2)/(\%)$	$w(\text{Na}_2\text{O})/(\%)$	模数 M	$w(\text{Fe})/(\%)$	水不溶物/(\%)
ZS-2.9	1.40~1.50	≥ 25.7	≥ 10.2	2.51~2.9	≤ 0.04	≤ 0.6
ZS-2.5	1.5~1.56	≥ 29.2	≥ 12.8	2.2~2.5	≤ 0.05	≤ 0.8

表 1-2 水玻璃规格

序 号	1	2	3	4	5
模数 M	3.5~3.7	3.1~3.4	2.6~2.9	2.2~2.5	2.2~2.5
20℃时浓度 $[\text{°Be}']$	34~37	39~41	45~48	39~41	50~52
$w(\text{Na}_2\text{O})/(\%)$	6.8~7.7	8.5~9.3	11.0~12.5	10.0~11.5	13.0~14.5
$w(\text{SiO}_2)/(\%)$	23.7~26.7	27.0~29.1	29.0~31.0	22.0~25.0	29.5~32.5
$w(\text{Fe})/(\%)$	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.04
水不溶物/(\%)	≤ 0.4	≤ 0.5	≤ 0.6	≤ 0.4	≤ 0.8
		$\leq 0.9^{\text{①}}$		$\leq 0.9^{\text{①}}$	$\leq 0.6^{\text{②}}$

注：①为硫酸钠(芒硝)法指标。

(2) 原砂 正确选用原砂对水玻璃砂极为重要。一般选用中粒的硅砂，其粒度分组代号为 30、21、15。铸件越小，表面质量要求越高，其粒度应越细。对钢件 $w(\text{SiO}_2) > 98\%$ ，碱金属和碱土族氧化钠的含量低，含泥量低，粉粒含量低，原砂水分的质量分数小于 0.5%，原砂烘干后应冷却至室温使用。也可按表 1-3 选用。

表 1-3 水玻璃砂对原砂的要求

名 称	粒度组别	$w(\text{SiO}_2)/(\%)$	含泥量/(\%)	$<0.075\text{mm}$ 粉粒/(\%)	含水量/(\%)	备 注
铸钢用原砂	30	>97	<0.5	<3.0	<0.5	原砂烘干后应冷 却到室温
铸铁用原砂	21	>90	<0.5	<3.0	<0.5	
	15					

(3) 溃散剂 改善水玻璃砂溃散性的最基本措施是，在保证必要的强度性能条件下尽量降低水玻璃用量。在此基础上再加入合适的溃散剂，可进一步改善水玻璃砂的溃散性。

铸铁件用水玻璃 CO_2 砂可选用糠醛渣、高岭土粉、重油和和各种专用的溃散剂。

铸钢件用水玻璃 CO_2 砂可单独或同时采用高岭土粉、石灰石粉、氧化铁粉及氧化镁粉。

2. 水玻璃 CO_2 砂的性能和影响因素 水玻璃 CO_2 砂适合于各种串铸法，为了更合理的应用，重点、全面了解它的性能和影响因素是完全有必要的

(1) 可使用时间 混好的水玻璃砂如不及时使用，会随停放时间延长而降低强度，甚至“发散”而不能使用，故水玻璃砂有可使用时间问题。

水玻璃砂的可使用时间现在还没有标准的试验方法。一般以试样强度降为出碾后立即春制试样即时强度(出碾后立即春制试样，并吹 CO_2 硬化)的 80% 时型砂的停放时间表示。

水玻璃砂在停放时，水玻璃粘结膜因水分蒸发，与空气中 CO_2 接触而粘度逐渐增大，使

紧实时粘结膜之间不易形成粘结桥。如粘结膜已硬化就出现型砂发散而不能使用。原砂的温度高、水玻璃的模数高、密度大、混砂时间长、出碾水分低、出碾后型砂没有加盖、气温高及相对湿度低等都会使可使用时间缩短。

(2) 不粘模性 水玻璃砂出碾时水分过高或木模漆不合适, 都易引起粘模。

水玻璃呈强碱性, 如木模表面涂的是(粘土砂木模常用的)虫胶漆, 就会因漆膜不耐碱易剥落而引起粘模。水玻璃的密度低, 原砂含水量过高, 使水玻璃膜对木模表面的附着力大于粘结膜的内聚力, 亦造成粘模。

在木模表面涂耐碱的过氯乙烯漆、外用磁漆、聚氨酯漆、将原砂烘干、控制水玻璃的密度和配方中加入适量粘土等都可以防止粘模。

(3) 湿强度 由硅砂和水玻璃配成的型砂, 其湿强度极低, 主要取决于水玻璃的粘度, 一般在 5kPa 左右。

吹 CO_2 硬化后起模的砂型, 对湿强度要求不高, 一般不予注意。起模后硬化的砂型则要求型砂有一定的湿强度。为此可在配方中加高岭土的质量分数为 2%~3% 或膨润土的质量分数为 1%~2%, 采用密度较大的水玻璃, 适当延长混砂时间。但这些措施都使硬化强度降低。

(4) 硬化强度 吹 CO_2 硬化后的水玻璃砂强度简称硬化强度。它决定于原砂的质量、水玻璃的模数和密度、加入物的性质和加入量及硬化工艺等因素。

1) 水玻璃的模数和吹气时间 水玻璃 CO_2 硬化砂的即时强度 σ_0 (吹 CO_2 硬化后即时测定的强度) 和水玻璃比值与吹气时间的关系如图 1-2 所示。

可以看出, 达到同样即时强度需要的吹气时间随水玻璃的比值降低而延长。

吹 CO_2 硬化后存放一定时间测得的强度称为该存放时间的强度, 如 σ_{24} 表示硬化后存放 24h 测得的强度。 σ_{24} 和 σ_0 与比值的关系如图 1-3 所示。

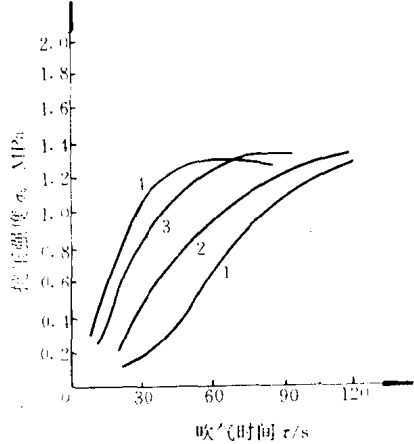


图 1-2 抗压强度与吹气时间的关系
比值 R : 1—2.6 2—2.4 3—2.2 4—2.0

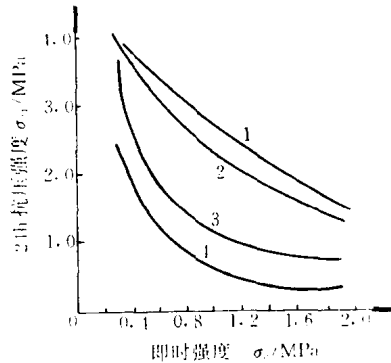


图 1-3 硬化后存放 24h 的强度 σ_{24} 和即时强度 σ_0 与比值的关系
比值 R : 1—2.6 2—2.4 3—2.2 4—2.0

可以看出, σ_{24} 随 σ_0 增加而降低, 但比值高的水玻璃降低幅度大。说明比值大的水玻璃容易过吹, 过吹会使存放强度降低。

2) 水玻璃的模数和型砂水分 水玻璃砂的水分包括水玻璃、原砂及加入物带入的水分。硬化强度与水玻璃的模数和型砂水分的关系如图 1-4 所示。

可以看出, 模数高的水玻璃, 对应型砂强度最大值的型砂水分亦高。因此在采用干砂的条件下, 模数高的水玻璃其密度应小, 否则在混砂时就应加适量水。故在选用水玻璃时应同

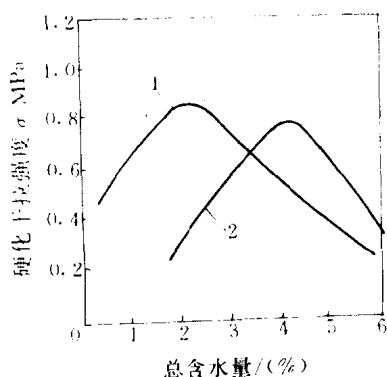


图 1-4 硬化强度与模数和型砂水分的关系

曲线 1—水玻璃的质量分数为

5% ($M=2.2$, $50^{\circ}\text{Be}'$)

曲线 2—水玻璃的质量分数为

5% ($M=3.3$, $36^{\circ}\text{Be}'$)

分) 和避免过吹。

3) 原砂质量 原砂对硬化强度的影响如表 1-4 所示。

表 1-4 原砂对硬化强度的影响

原 砂	改性水玻璃 (%) ($M=2.74$ $\rho=1.42\text{g}/\text{cm}^3$)	外加水/ (%)	型砂水分 / (%)	吹 CO_2 硬化强度/MPa	
				即时	24h
长沙砂 (30) 100%	5	1.5	3.8	0.59	0.95
海城砂 (30) 100%	5	1.5	3.4	0.57	1.02
大林标准砂 (21) 100%	5	1.5	3.5	0.50	1.1

注: 1. 吹气工艺: 压力 0.15MPa, 流量 0.5m³/h, 吹气时间 8s。

2. 室温 24℃, 相对湿度 75%。

由于大林标准砂的含泥量低 ($<0.8\%$), 粒形圆, 在水玻璃加入量相同时, σ_{24} 比长沙砂和海城砂分别提高 15.8% 和 7.8%。

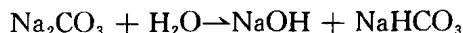
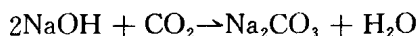
为了改善水玻璃砂的溃散性, 在保证必要的常温强度的前提下需尽量减少水玻璃加入量, 因此对原砂有一定要求。对铸钢用水玻璃砂的原砂要求: 含 SiO_2 高 $w(\text{SiO}_2) \geq 96\%$ 或 98% , 含 Na_2O 和 K_2O 低, 含泥量的质量分数小于 0.5%。小于 0.5 号的 0.075mm 筛孔的粉粒含量低, 粒度分组代号为 30、21, 粒形系数小, 含水量质量分数在 0.5% 以下, 砂温不高于室温。

4) 水玻璃加入量 水玻璃 CO_2 砂的强度随水玻璃加入量增加而增大, 但水玻璃加入量大 会使出砂性变坏和费用增加。因此在保证必要的强度条件下, 应尽量减少水玻璃加入量。

对水玻璃 CO_2 硬化砂常温强度 (σ_0, σ_{24}) 的要求, 由砂芯或芯子大小和生产条件决定。在操作细致条件下, 常温强度有 0.5~0.7MPa 即能满足要求, 即水玻璃加入量 (质量分数) 可降到 5% 以下。但国内不少工厂水玻璃加入量 (质量分数) 高达 8%~10%, 其主要原因是: ①原砂质量差、砂温过高。②要求的可使用时间过长。③吹 CO_2 时间不加控制, 经常过吹。④模具质量差, 操作不够细致, 要求常温强度高。增加水玻璃加入量可以使上述问题得到解

时考虑模数和密度。

原砂或加入物带入的水分, 使水玻璃稀释。密度过低的水玻璃不易吹硬, 必须延长吹 CO_2 的时间才能硬化。这种砂型存放后表面常出现“白霜”。“白霜”的主要成分为 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 , 其生成的反应为:



型砂中水分高、吹气时间长促进上述反应生成的 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 随水分迁移到砂型表面, 因水分蒸发而结晶析出。

出现“白霜”的砂型, 表面强度很低, 用手一擦砂粒就能掉下来, 使铸件容易发生砂眼、粘砂等缺陷。防止出现“白霜”的措施主要是控制出碱水分 (选用密度合适的水玻璃, 采用烘干的原砂, 控制加入物带入的水

决，但恶化了出砂性。

(5) 表面稳定性 硬化后的水玻璃砂芯在存放一段时间后，芯子的棱角或表面容易发酥，用手一擦就掉砂。而砂芯的整体强度并未显著降低，因此表面稳定性有时比硬化强度还重要。

表面稳定性由下式求出：

$$F = \frac{m}{m_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 F ——表面稳定性；

m_0 ——标准圆柱形试样硬化后存放 24h 的质量；

m ——试样在 8 号试验室用 $\phi 110\text{mm}$ 圆筒筛内，在 $(60 \pm 2) \text{ r/min}$ 的转速下运转 1min 后的质量。实验结果取三个试样数据的算术平均值。

表面稳定性随水玻璃的加入量增加而提高。原砂质量差、过吹、水玻璃的模数高等都使表面稳定性降低。

(6) 高温性能 主要有以下几方面的性能要求。

1) 高温强度 水玻璃 CO_2 硬化砂加热到 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 时，热抗压强度达到最大值。温度继续升高，因砂粒膨胀和粘结膜的收缩，粘结膜内产生内应力和裂纹而使强度逐渐降低。加热到 800°C 附近，热强度降低到接近于零。从 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Si}_2\text{O}$ 二元相图可看出，在 800°C 附近硅酸钠已出现液相。这时强度决定于熔融硅酸钠的粘度，故强度很低。在砂型铸造时，因加热到 800°C 以上的砂型厚度不大，其余部分仍有较高强度，故影响不大。用水玻璃 CO_2 砂制成壳型时，则壳型必须有一定厚度，以保证铸件的尺寸精度。

2) 热膨胀 水玻璃 CO_2 硬化砂在 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 之前略有膨胀，继续升高温度则发生收缩。水玻璃砂的热膨胀小，热强度低，使铸钢件很少发生热裂和夹砂结疤等缺陷。

3) 发气性 用 CO_2 硬化后，水玻璃砂中的水分基本没有蒸发，当砂型的水分高和出气孔少时，铸件就容易出现气孔。

4) 粘砂性 用水玻璃砂型浇注中等壁厚的铸钢件时，只要硅砂的粒度较细， SiO_2 含量高，砂型舂得紧实，就可获得表面光洁的铸件。在高温钢液作用下水玻璃砂型表面层被烧结，但烧结层与铸件表面的附着力低，能成片剥落，铸件表面仍光洁。

用水玻璃砂型浇注铸铁件容易形成化学粘砂，因为铸铁件表面形成的氧化铁层较薄，未能达到临界厚度，粘结层同铸件的结合强度大而难于剥离。厚壁铸钢件和高合金钢铸件在水玻璃砂型中也容易发生粘砂。为防止粘砂，可使用水基或醇基涂料。

(7) 溃散性 溃散性是指型砂在加热后失去强度容易溃散的性能，大都在实验室条件下进行试验。出砂性则指浇注后砂芯是否容易出砂。一般说来，溃散性好出砂性亦好，但由于砂芯的加热冷却条件和试样不同、有芯骨妨碍出砂等，故两者并不完全相同。

水玻璃砂的溃散性至今还没有标准的测定方法。目前采用的方法有：①测残留强度。②测出砂功。③在实验室溃散性测定仪（微型落砂机）上测试样的落砂时间。④各种工艺试样试验等。测残留强度在实验室条件下较易做到较常采用。

1) 水玻璃砂溃散性差的原因和改善途径 加热到 800°C 左右，水玻璃粘结膜即出现液相，使膜的内应力、裂纹及气孔等缺陷消失。冷却后成为完整的玻璃粘结膜，在高温下发生有液相参加的烧结使砂粒间的接触面积增加。这两者都使烧结后的水玻璃砂有较高的残留强度。

砂芯的加热条件和试样不同，浇注后砂芯受热膨胀，铸件冷却收缩，砂芯是在热压应力

作用下发生有液相参加的烧结，比没有热压应力作用的试样烧结更严重，这是试样的残留强度不能完全代表出砂性的原因之一。

改善水玻璃砂溃散性，主要是降低加热到 800℃ 以上的残留强度。可以从以下两个方面入手：①减少玻璃状硅酸钠的量以减小砂粒间粘结桥的面积，如在保持必要的常温强度条件下，尽量减少水玻璃加入量，采用模数较高、密度较小的水玻璃，采用 Na_2O 、 K_2O 含量低的优质原砂。②削弱玻璃态硅酸钠粘结膜本身及其与砂粒表面间的附着强度，如加入溃散剂或采用改性水玻璃，理想的溃散剂应是既能提高水玻璃砂的常温强度，又能降低残留强度。应从降低水玻璃加入量和削弱玻璃态粘结膜两个方面同时采取措施来改善溃散性。

2) 改善水玻璃砂溃散性的措施 改善水玻璃砂溃散性是水玻璃砂推广应用中的一大困难。通常采用的措施如下：

①降低水玻璃加入量，在保证常温强度的条件下，降低水玻璃加入量是改善水玻璃砂溃散性的最基本措施。水玻璃加入量对 CO_2 硬化和加热硬化试样残强（残留强度的简称）的影响如图 1-5 和图 1-6 所示。

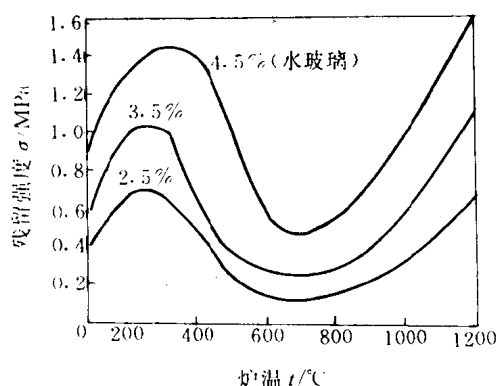


图 1-5 水玻璃加入量对 CO_2 硬化试样残强的影响
原砂平均细度为 AFS50，水玻璃 $M=2.4$ ；固体含量 47%；
砂芯加热前，吹气硬化到抗压强度 0.7MPa。

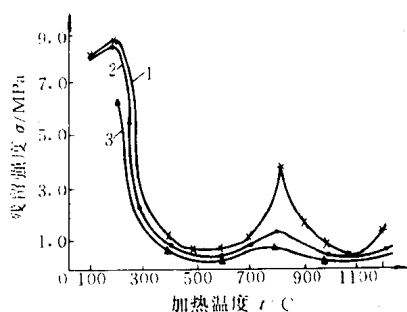


图 1-6 水玻璃加入量对热硬化试样残强的影响
型砂配方（质量分数）：海城砂（30）100% 水玻璃
 $M=2.3$ ， $\rho=1.57\text{g/cm}^3$ ；1—6% 2—5% 3—4%

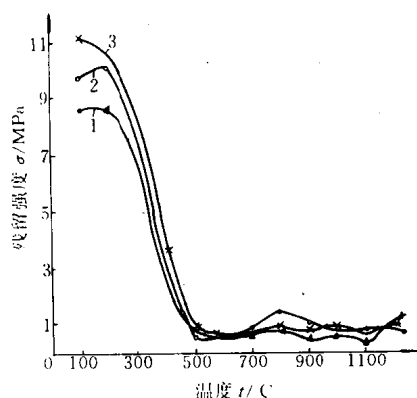


图 1-7 模数对水玻璃加热硬化试样残强的影响
型砂配方（质量分数）：海城砂（30号）100%
水玻璃 6%
曲线 1— $M=2.74$ ， $\rho=1.42\text{g/cm}^3$ ；2— $M=2.53$ ，
 $\rho=1.42\text{g/cm}^3$ ；3— $M=2.06$ ， $\rho=1.48\text{g/cm}^3$

由图 1-5 和图 1-6 可以看出，水玻璃砂的残强均随水玻璃加入量降低而降低，但残强曲线则因硬化方法而不同，加热硬化的试样在 200℃ 和 800℃ 左右有残强最大值，1100℃ 以上残强又继续升高。 CO_2 硬化试样在 200~300℃ 有残强最大值，600~700℃ 有残强最小值，以后则随温度升高而提高。不同硬化方法的残强曲线不同，这与粘结膜的组分不同有关。

为降低水玻璃加入量，应当采用优质原砂，控制混砂和吹气工艺，提高模具质量。

②适当提高水玻璃的模数和降低密度，模数对残强的影响如图 1-7 所示。

模数高、密度低的水玻璃带入型砂中的

Na_2O 量低, 故残强较低。如用 $M=2.8$ 、 $\rho=1.42\text{g}/\text{cm}^3$ (含 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 10%) 的水玻璃代替 $M=2.2$ 、 $\rho=1.50\text{g}/\text{cm}^3$ (含 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 13%) 的水玻璃, 在水玻璃加入量相同时所带入的 Na_2O 量相对减少 30%。

高模数的水玻璃砂具有残留强度低、抗吸湿性好、吹 CO_2 时间短等优点。对生产周期短的砂芯可选用 $M=2.7\sim 2.8$ 、 $\rho=1.40\sim 1.46\text{g}/\text{cm}^3$ 的水玻璃。

③采用加热硬化、温芯盒或自硬砂工艺, 以充分发挥水玻璃的粘结力。水玻璃砂加热烘干的强度为 CO_2 硬化的常温强度的 10 倍左右, 为得到同样强度, 如用加热烘干就可显著降低水玻璃加入量。加热硬化试样的抗拉强度如表 1-5 所示。

表 1-5 加热硬化试样的抗拉强度

大林标准砂 (Z1)	水玻璃 ($M=2.38$, $\rho=1.47\text{g}/\text{cm}^3$) 占砂重的质量分数/ (%)			
	2	3	4	5
抗拉强度 σ_b/MPa	0.715	1.07	1.57	1.87

注: 试样在 190°C 烘干 1h。

由表 1-5 可以看出, 在采用标准砂的条件下, 水玻璃加入量降低到 2%, 试样的抗拉强度达 0.715MPa , 已能满足中小砂芯的要求。

④采用改性水玻璃, 国内外在研制既能提高常温强度又能改善溃散性的改性水玻璃方面做了大量工作, 并已取得了一定进展。

加转化糖浆的改性水玻璃, 转化糖为蔗糖中加酸水解而成, 其主要成分为果糖和葡萄糖, 加入量为水玻璃的 25%~30%。加转化糖浆的好处是可以基本不改变水玻璃的性能。而相应地降低了水玻璃加入量, 使残留强度降低。缺点是有吸湿性, 使存放强度降低。现已逐渐被性能更好的改性水玻璃代替。

用氢化淀粉水解液和无机钠盐改性的水玻璃能提高常温强度, 改善溃散性, 并且不吸湿。

在用压力釜溶解硅酸钠时, 加入质量分数为 0.15%~0.20% 的聚丙烯酰胺 (PAM); 或加入面粉和适量表面活性剂等都能提高常温强度和改善溃散性。

⑤加溃散剂, 在水玻璃砂中加木屑、煤粉等溃散剂, 能降低 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 的残强最大值, 但对 800°C 以上的残强影响不大。因硅酸钠重熔消除了粘结膜的缺陷, 而且加木屑和煤粉时必须增加水玻璃加入量, 才能保持必要的常温强度, 故这类材料已很少采用。

在水玻璃砂中单独或混合加入铝矾土、高岭土、镁砂粉、石灰石粉及氧化铁粉, 可以降低 800°C 以上的残留强度。

⑥采用以石灰石砂作原砂的水玻璃 CO_2 硬化砂。

3. 水玻璃 CO_2 砂的配方及混砂工艺

(1) 水玻璃 CO_2 砂配方 最基本的配方是: 原砂质量分数 100%, 水玻璃 质量分数 4%~6%, 溃散剂根据其特性加入质量分数为 1%~3%, 必要时加水质量分数 0.5%~1.0%。常用水玻璃 CO_2 砂的配方及性能见表 1-6 所示。

(2) 混砂工艺 水玻璃 CO_2 砂可用任何混砂机混制。加料顺序一般先加原砂和粉状材料, 再加水和水玻璃, 如配方中有重油则应在最后加入。混砂时间尽量短, 混匀即可。延长混砂时间能使湿压强度略有提高, 但使硬化强度明显降低, 甚至变干而无法造型。

混好的水玻璃砂应放在有盖的容器中, 或用湿麻袋盖好, 以免水分蒸发。

表 1-6 水玻璃 CO₂ 硬化砂的配比及性能

序 号	配 比 (质 量 分 数)/(%)						性 能				用 途
	新 砂		水玻璃	NaOH 15%~20% 溶液	重油	膨润土 或 高岭土	含水量 (%)	湿透 气性	湿压 强度 (kPa)	硬化后 抗压 强度 (MPa)	
	粒度组别	加入量									
1	15	100	8~9	0.7	—	4~5	4~5	>100	25~30	>1.5	大型铸钢件型(芯)面砂
2	30	100	6.5~7.5	—	—	—	4.5~5.5	>300	5~15	—	
3		100	7	0.75~1.0	0.5~1	3	4.5~5.5	>200	17~23	>1.0	
4	21	100	4~4.5	LK-2 溃散剂 3	水 0.4~0.6	—	<3.5	>150	—	>1.0	铸钢件型(芯)砂
5	30	100	易溃水玻璃 5	水 1~1.5	溃散剂 1.0	—	—	—	>5.5	1.3	
6	30	100	ZNM-2 改性 7	—	—	—	3.5~4.2	>2450	7	>1.3	
7	再生砂	30 70	8	—	—	1~2	3.8~4.4	>100	8~12	>3.0	铸钢件型砂
8	21 旧砂	50 50	4.5~5.5	—	—	1~2	4~6	>80	25~40	—	<1t 铸铁件型砂
9	21 旧砂	50 50	5.5~6.5	—	煤粉 2~4	1~2	4~6	>80	25~40	—	
10	30 旧砂	60 40	5~6	—	—	2~4	4~6	>100	30~50	—	1~5t 铸铁件型砂
11	30 旧砂	60 40	5.5~6.5	—	木屑 1.0~1.5	2~3	4~6	>100	30~50	—	1~5t 铸铁件芯砂

4. 造型造芯的要求

①造型造芯时要舂紧,CO₂ 硬化砂型和砂芯在硬化后起模出芯,即使紧实度不够,其硬度亦可达到要求,但紧实不足的 CO₂ 硬化型块和型芯易产生机械粘砂。

②要多扎出气孔,CO₂ 硬化砂的残留水分较高,故必须多扎出气孔排气,以防止产生气孔缺陷。在排型、叠型等串铸时应特别注意。

③较大尺寸的排型串铸型块或立式串铸型块要放芯骨以便吊运和排型组合。

④串铸浇补系统要经高温金属液较长时间流动及冲刷,故应加强紧实,避免修补,不要有尖角存在。

5. 吹 CO₂ 硬化工艺 我国铸钢件用水玻璃 CO₂ 硬化砂,由硅砂、适量水玻璃及为改善某些性能而加入的附加物组成。

(1)吹 CO₂ 硬化的方法 水玻璃砂型(芯)吹 CO₂ 硬化的方法有:①在型块或砂芯上扎一些 $\phi 6 \sim \phi 10\text{mm}$ 的吹气孔,将气管插入吹 CO₂,硬化后出芯起模,这种方法在国内应用最广。②在型块上盖一吹气罩吹 CO₂。③CO₂ 从型块盒底板上吹入,通过底板上的吹气孔吹入型块(芯),这种方法能保证大的型块均匀硬化,但因模具比较复杂而很少应用。

(2)吹气工艺 吹气工艺参数包括吹气时间、CO₂ 的压力和流量。它们对硬化强度的影响如图 1-8 所示。

可以看出:试样的即时强度(实线),不论用普通水玻璃或改性水玻璃,开始都随吹气时间增加而提高,达到最大值后继续增加吹气时间,强度就逐渐降低。硬化后存放 24h 的强度(虚