

前 言

优质玻璃配合料是高效、优质、低耗生产玻璃制品的先决前提。

玻璃工厂中,制备优质配合料并不是一件轻而易举的事,涉及到要处理好许许多多环节:在生产流程方面,从进厂原料的品质控制,原料的存放和输送,原料的称量和混合,直到已混合好的配合料的存放和输送,环环都要处理得当;在生产管理方面,要掌握原料的成分、粒度和 COD 值,要掌握配合料的质量数据,还要能从玻璃的品质数据(指密度等物理性能测定数据)反馈到配料车间微调配合料料单,以确保玻璃成分稳定在设定的控制范围内。在计算机的应用已相当普及的今天,现代化的配料车间中,无论生产过程控制还是生产管理,都已经采用计算机,这就能使整个配料车间的生产和管理高效又有条不紊。

我国这方面起步比较晚,但是大家都非常重视,都希望能有一本系统而全面介绍玻璃配合料的读物。

本书试图从原理到实际、从技术到装备、从生产到管理等方面来阐明玻璃配合料制备中应当处理好的各个环节。侧重阐述现代化玻璃配合料制备工艺中的一些观点和技术,如应当把料仓、给料机和秤视为一个有机的整体,配合料的均匀与否很大程度上取决于原料的粒度,必须要用玻璃物理性能常规检测结果反馈微调料单以形成有效的闭环控制,计算机用

于配合料生产过程控制和管理的重要性和必要性等等。此外，也介绍了玻璃原料的均化技术和装备，还简要介绍了配合料制备方面的一些正在研究开发的新工艺。

全书共分七章。其中，玻璃配合料制备过程的计算机控制系统部分由武汉工业大学林仁宗同志编写，给料机部分由王辉彪同志编写，于守富同志参加了工艺部分的编写工作，孔伟良同志参加了玻璃物理性能常规检验部分的编写工作，配合料单计算程序和物理性能反馈微调料单程序均由陆雁同志编制。此外，附录中配合料组分分析方法系张德清、刁云彩、纪芝凤和任惠民同志的工作成果。全书由丁琪曾同志审校。

由于我们的水平有限，书中难免有疏漏和错误，请读者批评指正。

主 编 者

1992. 3. 10

目 录

前言	(1)
第一章 概述	(1)
第二章 玻璃配合料制备工艺	(9)
2.1 原料称量系统	(10)
2.2 混合	(15)
2.3 工艺流程	(32)
2.4 配料周期	(46)
2.5 设计配料车间的一些基本原则	(48)
第三章 主要工艺设备	(55)
3.1 料仓	(55)
3.2 给料机	(83)
3.3 秤	(113)
3.4 混合机	(130)
3.5 其他设备	(143)
3.6 计算机控制系统	(157)
第四章 配合料质量指标及检验方法	(187)
4.1 配合料质量指标	(187)
4.2 配合料的生产检验和控制方法	(193)
第五章 玻璃配合料先进科学的生产管理系统	(212)
5.1 现代化玻璃生产对玻璃原料的要求	(212)
5.2 用玻璃物理性能常规检测结果反馈微调料单的方法	(230)

5.3	玻璃配合料料单的计算	(265)
第六章	玻璃原料的均化	(308)
第七章	玻璃配合料制备工艺的一些新动态	(319)
附 录	玻璃配合料水溶物和酸溶物常规分析方法 ...	(328)

第一章 概 述

玻璃配合料的制备工艺以及配合料的质量,直接影响到玻璃的熔制效率和玻璃成品的质量。

玻璃制造业是一个古老的行业,有悠久的历史。古埃及在公元五世纪就有玻璃,我国早在战国时代,玻璃匠人们就已做出各种各样的玻璃制品^[1]。从那时直到今天,玻璃的制造技术一直在不断发展和提高。

古代,熔制玻璃是用木柴或木碳做燃料,这类燃料能燃烧的温度不可能高,因而只能熔制一些含碱量高和含铅的熔点低的易熔玻璃,熔制效率当然也不会高。后来,发展到用煤和煤气作燃料,用高热值的天然气和油做燃料,就可以大大提高熔化温度,从而提高了熔制效率,并且能制造出使用性能更好、耐气候老化的各种玻璃制品。

玻璃生产中,人们总是希望玻璃熔窑单位熔化面积的玻璃产量(简称为熔化率)愈高愈好。开始,发现提高熔化温度是提高熔化率的有力措施,但是,熔化温度提高到了一定程度(譬如说 1580℃)后,再进一步提高效果就不很明显,而且熔窑的耐火材料侵蚀加快使窑炉寿命缩短,反而会使效益降低。

这时期中,人们一方面在研究更耐玻璃液高温侵蚀的优质耐火材料,另一方面,广泛开展玻璃原料和配合料对玻璃熔制效率和质量影响的研究。

本世纪 50 年代初,人们对玻璃原料及其配合料在玻璃生

产中重要性的认识有了一个飞跃。那时,开了一次国际性的会议,在会议上,第一次提出了玻璃生产中有两个混合器的有名论点,即:玻璃生产中,配料车间是一个固体混合器,玻璃熔窑是一个液体混合器,前后两者串联在一起,各司其职。只有这两个混合器都很好地完成各自的职能时,才能真正达到高效率生产和优质的玻璃产品。会议中列举了大量生产实践中的经验教训,说明当时的情况是前一个混合器没有做到应做的工作,结果增加了熔窑的负担,最后当然影响到熔化率和玻璃质量^[2]。

那次会议上,明确提出对玻璃原料不仅要控制它们的成分,同时要控制它们的粒度。太粗的粒子固然不易熔化,太细的粒子同样也不好,不容易澄清,而且还会飞扬到窑炉蓄热室中堵塞或侵蚀蓄热室。此外,人们认识到,原料中粗细粒子的分散性直接影响到混合出的配合料的均匀性,而配合料的均匀性好坏又直接影响到熔窑的玻璃熔化率和玻璃质量。

在这个时期中,散状固体物料及其工程这门学科也有很大发展。散状固体物料的混合机理已被研究得相当深透。这些研究成果使人们对玻璃配合料的混合均匀度有了一个统一的、科学的度量指标。

60年代末,在高温热台显微镜上研究玻璃配合料高温反应动态过程,发现碳酸盐原料(主要是石灰石和白云石)的粒度加粗,不仅有利于硅酸盐反应过程中的初生液相对难熔的原料——石英砂的润湿和包围,从而提高熔化速率,而且在熔制后期生成的大量 CO_2 气体有利于玻璃的澄清。这项成果很快被用于工业生产。

理论研究的结果,必然推动生产工艺和装备的改进。

从工业生产角度上,人们对玻璃配合料的制备工艺归纳出了两句话:称准各种原料,将它们混合均匀。

在准确称量原料方面,初期采用了各种型式的机械秤,称量精度(即实际称量误差与秤的额定称量值的比值)比人工称量时有了明显的提高,一般能达到 $1/200$;到60年代初,传感器在工业中进入了成熟应用阶段,用这些传感器和集成电路组成的电子秤在玻璃工业中得到了广泛应用,并且随着传感器的提高和大规模集成电路的发展,今天玻璃工业用的电子秤的称量精度已经达到 $1/2000$,并且整个称量过程(原料入仓、向秤加料、从秤卸料)都可以由计算机自动控制。原料的水分也可以采用在线水分测定仪测定每付料的实时水分并通过计算机进行修正。进厂玻璃原料成分的变化是不可避免的,每天分析原料成分来调整料单不现实,因为容量分析方法既费时精度也不高,国际上从50年代开始就采用每天甚至每班抽检玻璃的物理性能(主要是密度、软化点和膨胀系数),然后利用玻璃物理性能与成分之间的确定关系反馈到配料车间对料单进行微调,从而使玻璃成分始终稳定在很小的波动范围内,这方面的工作现今已计算机化,所以使用起来更方便。关于在线原料成分分析仪,目前还处于研究阶段,尚未实际用于生产。

此外,与秤有关的外围设备(如给料机等)也都在不断改进。因为只有秤好,并不能准确称量原料。要将料仓、给料机和秤视为一个有机整体,各部分功能都好,彼此的衔接也要得当,才能真正称准原料。

在如何混合出足够均匀的配合料方面,原料的粒度被控制得愈来愈严格。生产厂已经领悟到,只要在生产成本允许的

前提下,尽管优质原料的价格高些,但是这里多花出的钱在后面熔化效率和玻璃质量的得益上完全可以收回,而且绰绰有余。在混合机的结构上,根据散状固体物料的混和机理,开发了各种混合时间短、能力大、混合均匀度好的新型混合机。已混合好的玻璃配合料在输送到窑头的过程中,如果转运次数过多,或受到过分的振动,就会发生分层,使配合料的原有均匀度显著下降。这是很不合算的。所以在配合料的输送方面,也经历着不断的改进,如到 80 年代初,就提出用斗式提升机输送玻璃配合料会明显降低均匀度,最好不用,若高差大而无法用皮带输送机时,宁可把混合机安装在窑头料仓上方,而将已称好但未混合的配合料用斗提机送到混合机中。80 年代末期,又有一种管道式皮带输送机问世,它的输送坡度角比一般的皮带输送机大一倍甚至更多,而且还有能转弯、振动小等优点,现在已有一些玻璃工厂采用这种皮带输送机来代替斗式提升机输送配合料,还有的工厂用它来代替气力输送线输送无碱硼硅酸盐玻璃细粉配合料,因为气力输送也存在分层而降低均匀度的问题。

玻璃工厂的配料车间,每天要配制数十付甚至上百付玻璃配合料,这是一种重复性的工作,如果靠人来管理和操作,容易出现差错,因为人的弱点是在简单重复性劳动中容易疲劳和失误。一两付错料就可能使玻璃熔窑产生数小时作业不正常,带来很可观的生产损失。在计算机已相当普及的今天,现代化的配料车间几乎都采用计算机进行控制。

玻璃工厂在生产过程中,窑炉排放的气体中有的是对大气有污染的。随着各国政府对环境保护的要求不断变严,限制这些污染气体的种类和排放浓度,必然影响到玻璃生产工艺,

其中也包括配合料制备工艺。例如,氧化砷在许多国家已被明令禁止,氟及其化合物的允许浓度也规定得愈来愈严,氧化硫气体虽然也有限制,但与前两种相比,还算稍微宽松一些。这种状况使玻璃熔制中采用的助熔剂和澄清剂渐渐变成以芒硝(Na_2SO_4)为主要原料。

Na_2SO_4 在玻璃熔制和澄清中的作用的研究结果说明,为了使它的作用在温度较低时就产生,需要加一定数量的碳,一般取为占纯碱用量的某一百分数。70年代,又发现这种决定碳用量的方法不妥,因为各种原料中也会不同程度地含有一些碳素物质,并且原料产地不同,或是加工运输方式不同,碳素物质的含量也会变化。这些碳素物质也相当于在配合料中加入了当量的碳,所以应当将它们也计入。有时,计及了这些碳素物质后,不另加碳粉或许就够了,甚至超过规定。这个期间,大量研究和实践进一步说明要想熔窑内的对流稳定,玻璃中氧化铁的两价态量和三价态量的比例必须要相对稳定。要达到这一点,单靠控制窑炉空间的氧化还原气氛是不够的,更重要的是控制配合料的氧化还原气氛,就是现在简称的 REDOX 控制;而要控制配合料 REDOX 值,就要控制原料中的碳素物质。原料中碳素物质含量简称 COD 值,这个名字是从废水处理中引用过来的,以 ppm. C 为单位。

所以,现代化玻璃生产中,人们把原料的成分控制、粒度控制和 COD 值控制并列为高效玻璃生产的三个关键要素^[3]。

尤其是 REDOX 控制,是 90 年代各国玻璃厂努力推广实行的新技术,行业中简称它为还原性硫澄清。采用这种技术,玻璃熔窑的熔化温度可以显著降低,玻璃的质量可以明显提高。哪个工厂的技术管理水平愈高,就可以在这方面得到愈高

的效益^[4]。

在配合料方面,我国玻璃行业与国际状况相比,还相当落后。最近十多年,不少玻璃工厂开始重视这点。有的玻璃工厂从国外引进了现代化的配料设备和计算机控制系统,国内一些科研设计单位也在进行研究并且在不少玻璃工厂中推广使用。

无论是引进的,还是国内研制的,用于生产后经济效益都很好,玻璃产品的质量也有明显的提高。这里,列举一些我们直接参与的一些工程的统计数据来说明玻璃配合料在玻璃生产中的重要性。

某平板玻璃厂有一座六台引上机的熔窑和两座单台引上机的熔窑,日需配合料 200 多吨。原来用人工配料,前几年改建成为用计算机控制的自动化配合料生产线。改造所用投资约 40 多万元,年新增产值为 570 万元,年新增利税达 59 万元,一年不到就可收回全部投资。平板玻璃的成品率提高了 6%,一等品率提高了 3.7%。

某浮法平板玻璃厂,日配料量 250 吨左右,花了近 80 万元改建了计算机控制的自动化配料线,年新增产值 848 万元,新增利税 101 万元。玻璃成品率平均提高了 5%。由于配合料均匀度有明显改善,熔化温度降低近 20℃,相当于每年节省煤炭 1800 吨;玻璃的均匀性也有明显提高,逐日的密度变化在 $0.0005\text{g}/\text{cm}^3$ 以内,接近国际一般水平。

某器皿玻璃厂,采用了微机控制的自动化配料线后,产品成品率提高 10% 左右,产品的灰泡率由原有的 7% 左右降低到 3% 左右,灰泡量大幅度波动现象基本消失(图 1-1),说明了配合料均匀性对玻璃熔制质量多么重要。

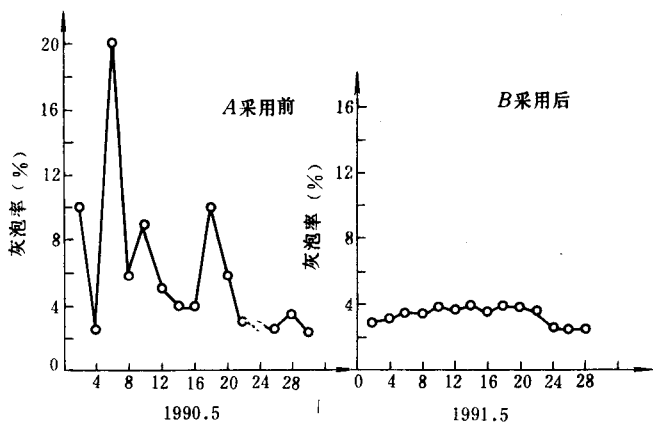


图 1-1 采用自动化配料生产线前后灰泡率的变化

我国玻璃行业要想有较快的发展,迅速改变玻璃配合料方面的落后面貌是很重要的一个方面。本书试图从原理到实际、从技术到装备、从生产到管理,较系统而全面地阐述制备优质玻璃配合料应该注意到的方方面面,希望能引起同行们的兴趣和重视。

参 考 文 献

- 1 千福熹主编. 中国古玻璃研究(1984年北京国际玻璃学术讨论会论文集). 北京:中国建筑工业出版社. 1986
- 2 Symposium on Batch Handling. *Glass Technology*. 1963. 4 (5): 148-171
- 3 Lehman R. L. A Method for Improving Glass Batch Formulation. *Glass Industry*. 1983. 64 (12): 24-28. 35
- 4 Manring W. H. and Diken. G. M. A Practical Approach to Evaluating REDOX Phenomena Involved in the Melting-Refining of Soda-Lime Glasses. *Glass (International)*. 1981. March: 25-29

第二章 玻璃配合料制备工艺

玻璃配合料的质量好坏直接影响玻璃的熔制效率和成品玻璃的质量。

配料车间的任务就是按照由设定玻璃成分及进厂玻璃原料成分计算出的配合料料单,将各种原料一一准确称量,并且无漏失地送到混合机中,把所有这些原料均匀地混合成配合料,然后再以妥善的方式送至窑头料仓,准备加入窑中。混合时,有的情况还需要按规定对混合着的原料加水给湿。

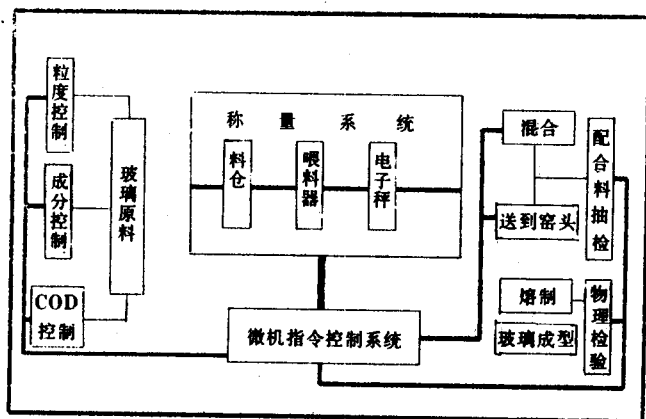


图 2-1 玻璃配合料制备工艺的全部技术内容

要制备出优质的配合料,并不是一件容易的事;从原料控

制、原料称量直到原料混合并送到窑头料仓,整个过程每一环节都要处理得当,这些环节列于图 2-1,其中,最主要的两个环节是准确称量各种原料并将它们均匀混合。

玻璃配合料的制备工艺,实质上就是使这些环节都正常并处于最佳状态的技术内容,只有理解并掌握了这些技术内容,才能从工艺和设备上控制住配合料的质量,使之只能在允许的范围波动。

本章将从工艺角度介绍各个环节的大致主要内容,侧重在工艺原理上多作些解释,使读者能举一反三,全面灵活地处理生产实际中各种复杂的情况。

2.1 原料称量系统

原料称量系统包括料仓、秤、控制系统以及把已称好的原料送到混合机的输送设备。玻璃工厂习惯用皮带输送机来执行后一任务,有时将用于这种用途的皮带输送机称为集料皮带。

应当特别强调的是:在连续批量称量的工业性生产中,应当把料仓、给料器和秤视为一个有机整体,不能认为只要有好秤就行。料仓必须均衡卸料,不结拱,没有断续性塌料及随之而来的涌流;喂料器必须要保证额定称量精度所需的过送量;秤必须要有足够的静态精度,并且其微机控制系统应具有过送量自动补偿功能和原料水分变化自动校正功能。这样,才能真正称准原料。

在我国许多玻璃工厂配料车间生产实际中常出现下述现象:

料仓中的原料先不下料,然后突然下塌,轰隆一声,接着

仓下出口处的电磁振动给料器就出现剧烈的泻料,即使给料器停止振动,粉料也会像流水一般涌出来。这样,加入秤斗的原料量就不可能受到控制,当然也就谈不上称得准不准了;

平板玻璃工厂中有时出现黄色玻璃,究其原因,往往是由于碳粉的实际加入量比规定量多得多并且持续了很长时间,但称碳粉的秤的砝码量并没有放错,秤的动作也未失常,即达到设定值后确实通知了给料机停止供料,这是因为给料机虽然停止动作,但仍有一部分料从给料机落入秤斗。这部分多落入的量叫过送量。过送量的大小和给料机的型式和安装状态有关,也和原料的流动性能和结团性能有关;

有时工厂中还发生这种情况,即 TGT 台秤经校验,静态精度很好,能达到 1/1000,但称出的料仍不准,有时能差十多公斤之多;查其原因,往往是台秤上放的秤斗结构不合理,料放不干净,甚至因料湿而粘附在秤斗内壁上,有叫“挂皮”的。当然,这种粘附的挂皮不会很牢固的,它到一定厚度时会脱落,并且没有什么固定的规律可谈。这种情况下,也就谈不上称得准不准了。

如此等等,还可以举出一些现象。

所有这些现象都说明光是秤好,是不能保证称量精度的,也就是说称得准不准并不能控制住,而是“听天由命”,加之许多玻璃工厂的称量系统都没有实际称量数量的打印记录,最后在玻璃生产发生问题时连原因都无据可查。

这里之所以突出强调一下上述整体概念,是因为直到目前,还在相当一部分人中存在着这种直觉的错觉,似乎只要秤好,就自然能称准原料。

衡量玻璃原料称得准确与否的指标是动态实际称量精

度。因此，有必要详细说明一下静态精度与动态精度、额定（公称）称量精度与实际称量精度的涵义。

一台秤用标准砝码标定时，秤的重量指示值与标准砝码值之间的最大偏差值就是这台秤的静态精度，其具体表示办法是用该最大偏差值除以该台秤的额定称量值，即它是一个相对值。例如说某台秤的静态精度为 1/1000，若该台秤的额定称量值为 1t，则其称量误差最大不超过 1kg。

动态精度的涵义则不同于秤的静态精度。物料的实际称量误差除以该台秤的额定称量值，就是该台秤的动态精度。物料的实际称量误差不完全取决于秤本身的静态精度，电气控制系统会引入一定的误差，前面说过，由于给料机有所谓过送量也会引入误差，而且在目前是一项举足轻重的引入项。根据误差合成理论，动态精度是由以上三项误差项按“方根和”法则合成的，可用式子表示如下：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (2-1)$$

$$\text{或 } \Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} \quad (2-2)$$

式中： σ 或 Δ —— 额定称量精度，以均方差或最大误差表示；

σ_1 或 Δ_1 —— 秤的静态精度，以均方差或最大误差表示；

σ_2 或 Δ_2 —— 控制系统精度，以均方差或最大误差表示；

σ_3 或 Δ_3 —— 给料机过送量的随机波动量，以均方差或最大误差表示。

此外，还要搞清楚额定称量精度与实际称量精度的区别。额定称量精度就是最大动态称量误差值与秤的额定称量值的比值，而实际称量精度则是最大称量误差与料单设定值的比值。例如有一台额定称量动态精度为 1/500、额定称量值为

1000kg 的秤,它的最大称量误差为 $\pm 2\text{kg}$ 。如果料单设定值为 800kg,则其实际称量精度为 $1/400$,如果设定值为 100kg,则实际称量精度只有 $1/50$ 。从生产角度来看,应当更关心的是实际称量精度,也就是说在秤的选型或设计上,千万注意不要用大秤称小料。正因为上述原因,用一台秤称数种原料的累计秤,尽管投资省、占地少,但是,却存在两个缺陷。一是前一个已称料的称量误差会传递到下一个物料上,从而使它的称量精度成倍下降;另一个缺陷是所称的几种原料重量相差过大时,量少的原料实际已没有什么称量精度可谈。随着玻璃生产技术的进展,对玻璃配合料的质量要求也提高了,这两个缺陷曾一度影响了累计秤的实际应用。

电子计算机的问世,使累计秤有了长足的改进。采用自动去皮重并回零的办法解决了累计秤正负称量误差叠加传递的问题,这是 50 年代末的事。但是这仍然没有解决称小料时实际称量精度不高的问题。近十几年,大规模集成电路等微电脑元件发展极快,已能将一台秤的有效量程进行多级 A/D 转换和不同倍率的放大,从而使累计秤称多种原料与用多台秤各自称一种原料时的精度一样。有人称这种累计秤为“单元秤”。这是目前国际上的一种新的秤型。

现代化的玻璃生产,对玻璃原料的动态称量精度要求是相当高的,主要原料的精度要求达到 $1/500$,次要的小原料要求达到 $1/300$ 。要达到这种要求,不仅秤的静态精度要高,给料机的过送量变化也要小,为了保证给料机工作正常,料仓的功能也必须优良;现今的工业秤几乎都是采用电阻应变片式的传感器快速反映重量的电子秤,所以其电子控制系统也必须性能准确而可靠。