

高等学校教材

玻璃工艺综合实验

► 刘新年 赵彦钊 编著



化学工业出版社

教材出版中心

171.6-33
94

高等学校教材

玻璃工艺综合实验

刘新年 赵彦钊 编著



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃工艺综合实验/刘新年, 赵彦钊编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 6

高等学校教材

ISBN 7-5025-7427-1

I. 玻… II. ①刘…②赵… III. 玻璃-生产工艺-实
验-高等学校-教材 IV. TQ171.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 074677 号

高等学校教材

玻璃工艺综合实验

刘新年 赵彦钊 编著

责任编辑: 程树珍 陈 丽

文字编辑: 林 媛

责任校对: 李 军

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7¼ 字数 160 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7427-1

定 价: 14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

玻璃工艺实验在玻璃的基础研究和生产实践中起着重要的作用。玻璃结构理论的发展,玻璃制品质量的提高,玻璃生产工艺的改进,玻璃新品种的开发,都与玻璃工艺实验有关。

本教材主要在陕西科技大学使用的校编实验教材《玻璃工艺学实验》基础上,参考了大量的专业文献资料,吸收了国内外新的测试方法和标准以及研究成果,结合国内有关实验仪器设备实际,对原校编教材做了一次较大修改。在教育部对高等学校本科专业调整后,专业面大幅拓宽,要求培养学生的创新能力和加强动手能力训练。因此,在本次编写过程中,根据教学改革要求,特别增加了设计性实验和综合性实验内容,其目的主要是对学生在进行实验方案设计时起到指导作用,为学生较早地参加科研和开展创新活动创造条件,使学生对玻璃科学研究工作有进一步完整和深刻的了解和掌握,提高动手能力和分析、解决问题的能力。

本教材内容涉及玻璃科学的方方面面,知识面广,大部分测试方法和检验方法依据了国内外有关标准,与玻璃研究和生产实际使用方法基本一致。因此,本教材除作为高等学校学生教材使用外,还可供玻璃研究和生产企业的科研工作者及工程技术人员参考。有关职业教育、成人教育院校和中专学校及培训班在使用本教材时,可根据教学时数和仪器设备实际,适当选择有关内容和调整实验深度。

全书分为3章。第1章对实验提出了有关要求。第2章主要讲述了设计性实验和综合性实验方案的设计方法,主要起到对学生的指导作用。第3章详细介绍了玻璃的有关物理、化学、工艺性能的经典测试和实验方法。为了培养学生分析和解决实际问题的能力,在每个实验后均附有思考题,以便加强对书中内容的理解,达到举一反三的目的。考虑到使用上的方便,在附录部分增加了有关标准及常用数据。

本教材由刘新年、赵彦钊编著。编写过程中,得到了陕西科技大学教务处、材料学院及玻璃教研室有关领导和老师的支持与帮助,并吸取了历届学生在使用中提出的宝贵意见。殷海荣、王一峰、李启甲老师在本教材编写过程中做了一定工作,在此一并表示最衷心的感谢。对本书引用的参考文献作者,也在此谨致以谢意。

由于我们水平有限,经验不足,书中难免存在疏漏及不妥之处,敬请读者给予批评指正,以便日后完善修订。

编著者

2005年4月

内 容 提 要

本书主要阐述了玻璃设计性实验和综合性实验设计方法,详细介绍了玻璃物理、化学、工艺性能测试方法及设备和操作过程。实验内容涉及玻璃的制备、加工、装饰、封节和玻璃材料光学、电学、热学、化学、机械性质和制造工艺等基本知识。

本书可作为高等学校无机非金属材料、无机非金属材料加工与工程(玻璃方向)专业的实验课程教材或教学参考书,可作为职业教育、成人教育或中等专科学校教学参考书,也可供从事玻璃研究和生产的科研工作者及工程技术人员参考。

目 录

1 总论	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验要求	1
1.3 实验方案报告要求	2
1.4 实验过程要求	2
1.5 实验成绩评定	3
2 玻璃工艺综合实验	5
2.1 玻璃材料的制备工艺及性能测定 (综合实验 1)	5
2.1.1 实验任务及目的	5
2.1.2 玻璃组成设计	5
2.1.3 玻璃配方的计算	7
2.1.4 玻璃配合料的制备	8
2.1.5 玻璃的熔制	9
2.1.6 玻璃的成型	11
2.1.7 玻璃的退火	11
2.1.8 玻璃的加工及试样制备	11
2.1.9 玻璃性能测定	12
2.1.10 实验结果和讨论	12
2.1.11 注意事项	12
2.1.12 思考题	13
2.1.13 附录 1 玻璃材料的制备工艺及性能检测实验参考玻璃组成方向 (1)	13
2.1.14 附录 2 玻璃材料的制备工艺及性能检测实验参考玻璃组成方向 (2)	15
2.2 风冷钢化玻璃的加工及性能检测 (综合实验 2)	17
2.2.1 实验任务及目的	17
2.2.2 玻璃物理钢化的原理	17
2.2.3 影响玻璃物理钢化的因素	19
2.2.4 风冷平板玻璃的钢化生产工艺	21
2.2.5 风冷玻璃的钢化生产工艺实验所需的其他基础知识	23
2.2.6 实验室条件下物理钢化工艺过程	23
2.2.7 试验结果与讨论	24

2.2.8 思考题	24
2.3 玻璃封接工艺及性能检测 (综合实验 3)	24
2.3.1 实验任务及目的	24
2.3.2 易熔封接玻璃材料的制备	24
2.3.3 易熔封接玻璃的基本要求	26
2.3.4 封接工艺过程	26
2.3.5 实验结果和讨论	27
2.3.6 思考题	27
2.4 玻璃的彩饰工艺实验 (综合实验 4)	28
2.4.1 实验任务及目的	28
2.4.2 彩釉的制备过程	28
2.4.3 彩饰手工描绘工艺过程	29
2.4.4 彩饰制品的烧烤工艺过程	30
2.4.5 制品烤花质量分析与报告要求	30
2.4.6 玻璃的装饰工艺实验说明	30
2.4.7 思考题	30
3 玻璃物理化学性能测试	33
3.1 玻璃配合料均匀度的测定	33
3.1.1 滴定法测定玻璃配合料均匀度	33
3.1.2 电导法测定玻璃配合料均匀度	34
3.1.3 思考题	36
3.2 玻璃软化点的测定	36
3.2.1 实验目的和要求	37
3.2.2 方法原理	37
3.2.3 测试设备	37
3.2.4 测试步骤	39
3.2.5 思考题	40
3.3 玻璃密度的测定	40
3.3.1 下沉法测定玻璃密度	41
3.3.2 浮力法测定玻璃密度	45
3.3.3 思考题	46
3.4 玻璃中应力的定量测定	47
3.4.1 实验目的和要求	47
3.4.2 方法原理	47
3.4.3 测试设备	47
3.4.4 测试步骤	48
3.4.5 思考题	50
3.5 玻璃退火温度的测定	50

3.5.1	实验目的和要求	51
3.5.2	方法原理	51
3.5.3	测试步骤	52
3.5.4	思考题	52
3.6	玻璃折射率的测定	52
3.6.1	V 棱镜法测定玻璃的折射率	53
3.6.2	油浸法测定玻璃的折射率	54
3.6.3	思考题	57
3.7	玻璃透光率和光谱曲线的测定	57
3.7.1	实验目的和要求	58
3.7.2	方法原理	58
3.7.3	测试设备	58
3.7.4	测试步骤	58
3.7.5	测试结果	60
3.7.6	思考题	60
3.8	玻璃热稳定性的测定	60
3.8.1	玻棒法	61
3.8.2	成品法	64
3.8.3	思考题	65
3.9	玻璃热膨胀系数的测定	65
3.9.1	膨胀仪法 (“Weiss” 热膨胀仪)	66
3.9.2	膨胀仪法 (QFB- II 热膨胀仪)	68
3.9.3	双线法	70
3.9.4	思考题	72
3.10	玻璃抗水、抗碱化学稳定性的测试	72
3.10.1	粉末法测定玻璃的抗水化学稳定性	73
3.10.2	大块法测定玻璃抗碱化学稳定性能	75
3.10.3	思考题	77
3.11	玻璃析晶温度的测定	78
3.11.1	实验目的和要求	79
3.11.2	实验原理	79
3.11.3	测试设备	79
3.11.4	测试程序	80
3.11.5	测试结果	80
3.11.6	思考题	81
3.12	玻璃高频介电损耗的测定	81
3.12.1	实验目的	82
3.12.2	方法原理	82
3.12.3	测试设备	82

3.12.4	测试步骤	83
3.12.5	数据处理	84
3.12.6	思考题	84
3.13	玻璃瓶耐冲击强度测定	85
3.13.1	实验目的	86
3.13.2	实验原理	86
3.13.3	测试设备	86
3.13.4	测试步骤	87
3.13.5	测试结果	87
3.13.6	思考题	88
附录		89
附录 I	国内外部分玻璃测试方法标准、产品标准、化学分析标准	89
附录 II	常用的主要玻璃原料转化系数表	91
附录 III	英、美、联邦德国、前苏联筛子的规格	92
附录 IV	热电偶分度表	94
参考文献		105

1 总 论

专业工艺实验课程在专业教学过程中占有重要地位。“玻璃工艺综合实验”课程是无机非金属材料专业（玻璃方向）的专业必修课——“玻璃工艺学”教学过程中的重要组成部分，它是对理论课程的补充。

玻璃工艺综合实验主要包括玻璃材料的制备工艺过程，玻璃材料与其他材料的封接工艺过程，玻璃制品的钢化工艺过程，玻璃制品的冷、热加工，玻璃材料的装饰工艺以及玻璃材料的性能检测等实验。

1.1 实验目的

玻璃工艺综合实验旨在模仿玻璃的生产工艺实际过程和有关工艺过程，让学生在实验室内学会有关玻璃材料的组成设计、原料选择、配方计算、材料制备、加工以及性能测试等全过程的实验研究方法。通过工艺综合实验训练，在对学生进行实验技能的基本训练、了解科学实验的主要过程与基本方法的同时，培养学生运用所学知识自主设计实验方案和实验过程、独立分析实验结果。在进行工艺综合实验过程中，使得学生动手操作能力得到较大提高、所学理论知识得到进一步升华，并提高分析问题和解决问题的能力；同时也对今后的工作和毕业论文环节奠定良好基础。

1.2 实验要求

① 在开实验前两周内，由实验老师讲解实验的具体内容和要求，并下达本次实验课的综合实验任务书，学生根据实验任务书要求在实验前一周提交综合实验方案报告。

② 根据实验安排，按时进入实验室。

③ 实验操作前应认真检查实验设备、用具等是否完好，若发现问题及时报告指导老师解决或补充。实验严格按规定操作，做好记录，要有实事求是的科学态度。做到严格、细致、耐心，切勿潦草从事。要善于发现和解决实验中出现的問題。实验完毕后，应清理所用仪器设备材料，并整理好现场，经指导老师许可后方可离开。

④ 遵守实验室制度，注意安全，爱护设备，节约水电和药品。

⑤ 保持室内安静、整洁。

⑥ 凡违反实验室各项制度经批评不改者，指导老师和实验人员有权取消本次实验资格，另行安排时间进行。

1.3 实验方案报告要求

在开实验前两周内，由实验老师讲解实验的具体内容和要求，并下达本次实验课的综合实验任务书。学生根据实验任务书要求，结合自己所学专业知识及个人爱好和兴趣，在图书馆、院资料室和网上查阅有关文献资料，然后选定或设计本次实验题目。

当题目确定后，要求学生根据题目及在图书馆、资料室和网上查阅的相关文献资料（要求查阅数量 1~3 篇），认真阅读和理解，写出本次实验的设计方案报告，内容应包括文献综述、化学组成设计、配方计算和理论计算、实验过程、性能测定项目、所需实验仪器设备材料及材料药品等。

要求在上交实验方案时一并附上参考文献正文，并注明资料来源。综合实验方案报告字数要求应在 3000 字以上，并自行设计方案报告封面。封面必需的内容示例如下：

玻璃工艺综合实验方案设计报告

×××玻璃材料的制备及性能测定（其他方面题目可自定）

陕西科技大学材料学院_____级_____班

姓名_____学号_____

指导老师_____

1.4 实验过程要求

当学生完成实验方案设计后，实验教师对方案进行审查，以可行性和正确性为原则，由每位学生的方案中选取部分可行性方案，并组织学生对方案再次进行分析讨论，使方案尽可达到合理、完善、可行。对未选取的实验方案，作为学习资料组织学生交流讨论，同时老师再给以点评，以扩大学生的知识面。

实验方案确定后，按照 3~5 个学生编成一组实验小组。由实验小组讨论落实详细的实施方案，然后进行实施。

在实验方案的实施过程中，从组成设计到试样制备及性能测试全过程，均以学生为主体，实验教师主要针对学生在实验中遇到的、看到的、想到的、体会到的问题，采取启发式、对比式、提问式和研讨式的教学方法，先与学生进行交流和讨论，然后给以讲解。实验完成后，每位学生应提交一份实验报告。

综合实验报告，要求学生以科技论文形式完成，内容包括文摘、文献综述、实验过

程、理化性能测试、分析与讨论、结论、参考文献、建议和体会等。字数不少于 5000 字，并自行设计综合实验报告封面。封面的设计也是对学生的一次训练，可适当给报告加分。封面必需的内容示例如下：

玻璃工艺综合实验报告

×××玻璃材料的制备及性能测定（其他方面题目可自定）

陕西科技大学材料学院_____级_____班

姓名_____学号_____

实验时间_____实验地点_____

指导老师_____

1.5 实验成绩评定

综合实验课成绩评定按实验方案设计报告、实验报告、实验考试和实验态度综合评定。其中实验方案设计报告占 20%、实验报告占 30%、实验考试占 40%、实验态度占 10%。实验态度成绩由各指导老师根据实验时的态度、纪律和提问等确定，实验方案设计报告、实验报告应及时完成交指导老师，缺报告和不参加实验考试者总分以“0”分计。

2 玻璃工艺综合实验

2.1 玻璃材料的制备工艺及性能测定（综合实验 1）

2.1.1 实验任务及目的

根据所学专业知识和个人爱好和兴趣，查阅资料，选择一种玻璃材料，进行玻璃材料制备工艺及性能测定综合实验。

通过模仿玻璃的生产工艺实际过程和有关工艺过程，让学生在实验室条件下，从玻璃组成设计、原料选择、加工和原料成分了解、配方计算和玻璃配合料制备、玻璃熔制、成型、退火、加工到相关检验和理化性能测定全过程得到训练。

2.1.2 玻璃组成设计

要制备某种玻璃新材料或对原有玻璃性能（工艺性能、制品性能）进行改进提高，首先进行的工作就是要设计玻璃的化学组成。玻璃的化学组成是计算玻璃配合料的主要依据。玻璃的化学组成设计是否合理决定了所制备的玻璃物理和化学性质的好坏。改变玻璃的组成即可以改变玻璃的结构状态，使玻璃的性质发生变化。生产实际中，主管工艺的技术人员就是在通过改变玻璃组成来调整玻璃的性能，以达到控制生产、稳定产品质量的目的。因此无论是设计新品种玻璃组成还是对原有玻璃组成进行改进，首先都必须从设计玻璃组成开始。

2.1.2.1 玻璃组成设计的原则

① 玻璃的组成决定玻璃的结构，而玻璃的结构又决定玻璃的性能。因此在设计玻璃组成时，要根据组成-结构-性能之间的变化关系，使所设计的玻璃组成满足和达到预定的性能要求。

② 玻璃组成的设计一定要在玻璃理论指导下进行。使设计的组成能够形成玻璃，在设计时依据玻璃形成图和相图作为方向性指导，使所设计的玻璃组成析晶倾向要小，析晶温度范围要窄，析晶上限温度要低于液相线温度，但在设计微晶玻璃组成时除外。

③ 在实验室条件下设计玻璃组成，一定要根据实验室的熔制条件、成型手段等进行。通常可设计玻璃熔化温度在 1400°C 左右，成型方法可选择浇铸成型、拉制成型和压制成型方法。

④ 设计玻璃组成时,要参考实验室现有的常用原料,尽可能减少或不用特殊原料和价格昂贵原料,使所设计的玻璃组成原料易于获得。

2.1.2.2 玻璃组成的设计步骤

(1) 选择设计题目

根据玻璃材料制备内容要求,由老师提出设计题目或由学生自选题目。

(2) 列出设计玻璃的性能要求

列出所设计玻璃的主要性能要求,作为设计组成的指标。针对设计玻璃材料的用途不同,分别有重点地列出其热膨胀系数、软化点、热稳定性、化学稳定性、机械强度、光学性质、电学性质等要求指标。有时还要将工艺性能的要求一并列出,如熔制温度、成型操作性能和退火温度等作为考虑因素。必要时还应进一步确定升温 and 降温温度制度曲线。

(3) 拟定玻璃的化学组成

按照前述设计原则,根据所要设计玻璃的性能要求,参考现有玻璃组成和相关文献资料,选择采用适当的玻璃系统,结合设计玻璃材料用途及生产工艺条件,拟定出设计玻璃的最初组成。玻璃组成用质量分数(%)表示。通常为表示方便,参考的现有玻璃组成和拟定的设计组成用表格列出,如表 2-1 所示。

表 2-1 某玻璃设计组成

成 分	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	合计
参考组成/%	67.5	20.3	3.5	3.8	4.9	—	—	—	100
设计组成/%	66.5	23.0	3.0	3.7	3.8	—	—	—	100

对于新品种玻璃则参考有关相图和玻璃形成图选择组成点,拟出玻璃的最初组成,然后再进一步设计出玻璃的试验组成。

(4) 计算玻璃性能

当设计玻璃组成确定之后,然后按有关玻璃性质计算公式,对所设计玻璃的主要性质进行计算,如果不合要求,则应当进行组成氧化物的适当增删及其引入量大小的调整,然后再反复进行计算、调整,直至初步合乎要求时,即作为设计玻璃的试验组成。

试验组成确定后,应当列出试验玻璃预熔化温度、保温温度、加料温度、退火温度、熔化时间等参数,设计制定熔化工艺制度、退火工艺制度(见图 2-1)。有时还应考虑选择使用何种熔化用的坩埚等因素。

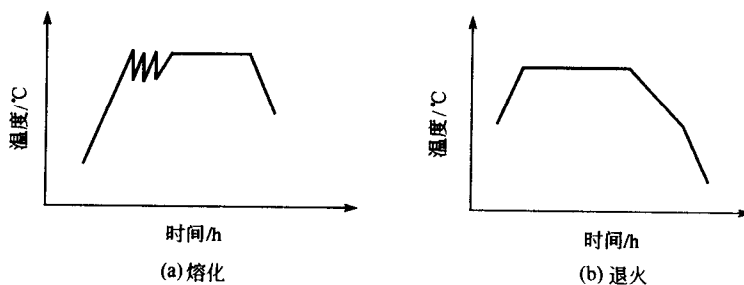


图 2-1 熔化、退火工艺制度(示例)

2.1.3 玻璃配方的计算

玻璃配方的计算也称为配合料的计算。配方的计算是以所设计玻璃的质量分数组成为依据,以所选择使用原料的化学成分为基础进行配方计算。

2.1.3.1 原料的选择

当玻璃试验组成确定之后,根据所确定的试验组成选择所用原料。采用什么原料来引入玻璃中的氧化物,这一点对于玻璃材料的制备和今后的应用是很重要的。原料的选择应根据已确定的玻璃组成、玻璃的性质以及工艺性能的要求、原料的来源、价格与供应的可靠性等全面地加以考虑。

原料选择得是否恰当,对原料的加工工艺、玻璃的熔制过程、玻璃的质量、成本等均有影响。因此在选择原料时应按照以下几个原则进行。

- ① 原料的质量必须符合要求,而且成分应稳定。
- ② 原料易于加工处理或应有一定尺寸的粒度大小和粒度比例。通常在实验室条件下,石英砂原料粒度为 40~80 目;对于难熔化原料粒度应小于 100 目。
- ③ 原料的成本在保证玻璃质量前提下,尽可能选择低成本原料,而且要能够保障供应。一般玻璃尽可能选用矿物原料,少用化工原料。
- ④ 所选用的原料应尽可能少用过轻和对人体健康有害原料,应着重考虑环境影响,其指标应符合国家有关规定。
- ⑤ 所选择原料在保证有利于玻璃熔化前提下,应尽可能少选用对耐火材料和坩埚侵蚀性大的原料。
- ⑥ 在选择原料过程中,应说明哪些原料是作为澄清剂、氧化剂、还原剂、着色剂、发泡剂、成核剂来引入的。

2.1.3.2 原料的化学组成

原料选择确定后,应对原料进行化学成分分析或查阅有关数据,掌握所选择原料的化学组成。根据所设计玻璃用途和原料化学组成,确定使用原料的质量等级标准。例如要求制备高白料玻璃,在选择石英砂时就应对 Fe_2O_3 含量限制在一定范围内,否则影响玻璃的透光性。

原料选择和化学组成确定之后,最好用表格形式表达出名称、产地、价格、化学组成等以方便配方的计算。

实验室现有原料化学成分含量如下:石英砂含 SiO_2 99.74%,纯碱含 Na_2CO_3 98%,硼砂以理论含量计算(参考工艺学);其他化学原料一般含量在 98%~99%,实验计算时以标签指标为准或以实验室事先告知的成分为准。

2.1.3.3 配方的计算

根据玻璃试验组成和所选原料的化学组成进行玻璃配方计算。在实验室条件下制备玻璃,通常是先计算熔制 100g 玻璃所需的各种原料的干基用量。然后再按需要制备玻璃量的多少计算出干基配合料配料单。

在计算配方时,通常有预算法和联立方程式法。但比较实用的是采用联立方程式法和比例计算相结合的方法。即在联立方程式时,先以适当的未知数表示各种原料的用量,再按照各种原料所引入玻璃中的氧化物与玻璃组成中氧化物的含量关系,列出方程式,求解

未知数。

在计算配方过程中，还应考虑原料的挥发损失、加料时的飞扬损失、进入玻璃中的耐火材料成分以及满足工艺要求所需添加的澄清剂、氧化剂、还原剂等辅助原料等因素。在完成配方计算后，还应计算配合料的气体率和玻璃产率。在实验室条件下制备玻璃材料，根据所用坩埚大小一般每次熔制 300~400g 玻璃，将所计算的结果以表格形式列出。玻璃配合料配料单举例如表 2-2 所示（也可自行设计表格）。

表 2-2 玻璃配合料配料单

g

原料名称	100g 玻璃	200g 玻璃	300g 玻璃	400g 玻璃
石英砂				
氢氧化铝				
碳酸钙				
碳酸钾				
...				
...				
小计				

注：

2.1.4 玻璃配合料的制备

根据所计算的玻璃配方，将所用的各种原料按照一定比例称量、混合即为玻璃配合料。玻璃配合料配制的质量好坏，对玻璃熔制和玻璃材料质量有着很大影响。因此在配合料的制备工艺过程中，必须做到认真细致、准确无误。

2.1.4.1 配料程序

① 当配方确定之后，按照配料单将所需用的各种原料按称量的先后顺序排列放置，此时还应认真核对各原料的名称、外观、粒度等，做到准确无误。

② 校准称量用天平，要求天平精确到 0.01g，同时准备好称量、配料时所用的器具，如研钵、筛子、盆、塑料布等。

③ 按照配料的先后次序，分别精确称取各原料。称量时称一种原料就随时在配料单上做一个记号，以防重称和漏称。

对于块状原料或颗粒度大的原料应事先研磨过筛后再称量。在实验室配料时对于粉状原料最好采取先称量后再研磨过筛预混合。当各种原料称量完后，应称量一次总的质量，若总的质量无误则说明称量准确。

称量过程中做到一人称量，一人取料，一人监督（确保配料的准确性）。

④ 将称量好后的各原料进行混合。混合的方法是先预混后，再过 40~60 目筛 2~3 次。然后将配合料倒在一块塑料布上，对角线方向来回拉动塑料布，使配合料进一步达到均匀。

在实验室一般都采用人工配料混合，也有采用 V 型混料机混合。把配合均匀的配合料最后装入料盆备用。

2.1.4.2 配合料质量要求

① 配好的配合料要求具有正确性和稳定性。

② 配合料要求具有一定水分，一般要求水分在 3%~5% 范围内。