

LIANXU BOLI XIANWEI
SHIYONG JISHU SHILING

连续玻璃纤维 实用技术拾零

傅仲华 编著

71.77-53

1

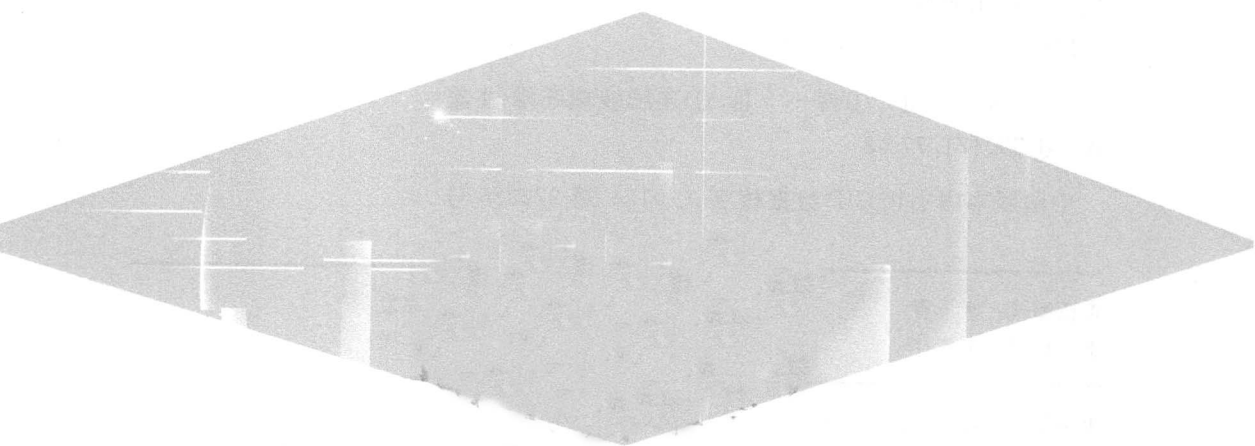


化学工业出版社

LIANXU BOLI XIANWEI
SHIYONG JISHU SHILING

连续玻璃纤维 实用技术拾零

傅仲华 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书收录了作者关于连续玻璃纤维生产技术方面的文章 20 余篇, 主要涉及玻璃成分、玻璃熔制、纤维成形、质量控制等方面内容, 尤其介绍了生产过程中常见问题及其解决办法, 针对性较强, 对于连续玻璃纤维生产一线的相关人员具有一定的参考价值。

本书可供从事连续玻璃纤维生产的技术人员、操作人员阅读, 玻璃纤维行业其他相关人士也可参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

连续玻璃纤维实用技术拾零/傅仲华编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 10
ISBN 978-7-122-18483-2

I. ①连… II. ①傅… III. ①连续玻璃纤维-文集
IV. ①TQ171.77-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 222326 号

责任编辑: 常 青
责任校对: 王素芹

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京京华虎彩印刷有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 10 字数 155 千字 2014 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

序 一

傅仲华同志长期从事玻璃纤维生产技术工作，经历了多个岗位实践，包括坩埚拉丝生产和管理、高硅氧玻璃纤维开发、池窑拉丝漏板安装及保养、池窑拉丝生产和质量管理及生产调度，后期还帮助了3~4条池窑拉丝新生产线的投产工作。他在各个岗位上均能勤学、好思、探求规律，并能与同行进行交流探讨。近年来，退休在家的他又根据自己丰富的实践经验，就连续玻璃纤维生产技术方面，将多年撰写的文章进行整理出版，供行业交流参考。我认为他这种为我国玻璃纤维工业发展勤奋努力的精神值得学习。当前，我国提出了建设创新型社会。在我国玻璃纤维工业面临转型升级、由大变强的形势下，我想他的文集对我国玻璃纤维行业，特别对从事连续玻璃纤维生产和管理的人员会起到有益的启示及借鉴作用。

姜肇中

2013年12月

序 二

欣闻傅仲华同志的《连续玻璃纤维实用技术拾零》一书即将出版，我感到非常高兴。该书阐述了连续玻璃纤维生产中的一些关键问题，是傅仲华从事玻璃纤维生产技术工作数十年的经验总结，其内容丰富，数据充实，对我国玻璃纤维生产一线的广大技术人员及管理干部，具有一定的借鉴意义。

玻璃纤维是无机非金属材料中的一种新型功能材料和结构材料。由于它具有耐高温、抗腐蚀、强度高、密度小、吸湿低、延伸小及绝缘好等一系列优异性能，故其应用领域越来越广泛，除最初促使传统工业、农业和建筑业技术改造及产品更新换代外，目前已广泛应用于电子、通信、网络、核能、航空、航天、兵器、舰艇、海洋开发及遗传工程等高新技术产业，成为我国必不可少的可持续发展的高新技术材料。

我国玻璃纤维工业创建于 20 世纪 50 年代末，经历了半个多世纪的从无到有、从小到大、从弱变强的坎坷发展历程，到 90 年代，通过引进、消化吸收国外先进的池窑拉丝技术，加上国家的大量投入，我国玻璃纤维工业有了飞跃发展，玻璃纤维的总产量、规格、品种以及工艺技术和企业规模都跃上一个新台阶。1995 年，全国玻璃纤维总产量达到 16 万吨，迈入世界玻璃纤维生产大国的行列。20 世纪 90 年代后期和进入 21 世纪，随着国家经济建设快速发展，我国玻璃纤维工业更是以超过 20% 的年增长率，完成了大跨度的升级换代，创造了我国工业发展速度之最。2007 年，全国玻璃纤维总产量已达到 160 万吨，

一跃成为世界第一，提前完成了“十一五”计划的产量目标。截至2011年年底，我国玻璃纤维总产量达279万吨，其中池窑拉丝产量达到244万吨，占全世界玻璃纤维总产量的一半以上，成为名副其实的玻璃纤维生产大国。

回首过去，我们豪情满怀；展望未来，我们更加信心百倍！坚信在不远的将来，我国玻璃纤维工业将以更加昂扬的姿态，屹立在世界玻璃纤维技术强国之列！

危良才

2013年12月

前言

我国的玻璃纤维生产始于1939年上海程伟民工程师拉出的第一根玻璃纤维，玻璃纤维拉丝工艺由程伟民发明的镍铬片孔板平法拉丝，到20世纪50年代苏式全铂坩埚拉丝、20世纪70年代我国自主知识产权的代铂坩埚拉丝，再到初期池窑拉丝、20世纪80年代中期引进波歇炉法拉丝、20世纪90年代中期引进现代池窑拉丝工艺，发展至今，我国已可以自行设计全套大规模池窑拉丝项目。我国玻璃纤维行业经历了70年的发展，尤其是改革开放后近二十多年的发展，已取得了举世瞩目的成就。自2007年起，我国玻璃纤维产量位居世界第一位；产业结构调整也取得了巨大进步，池窑拉丝产量的比例已由1990年占总产量的2.3%提高到2012年占总产量的87.5%，2012年全国玻璃纤维总产量达到288万吨，其中池窑拉丝产量达到252万吨。

我国玻璃纤维工业经过几代人的不懈努力已经由小变大，成为世界玻璃纤维生产大国，但距离玻璃纤维生产强国还有很长的路要走。

笔者在玻璃纤维生产领域从业近五十年，经历了全铂坩埚、代铂坩埚、池窑拉丝的长期实践，不断学习前人及业内人士宝贵的玻璃纤维成形技术相关知识，不断总结实践经验，陆续写了一些文字。近十余年来笔者常在玻璃纤维企业从事技术咨询和员工培训的工作，非常了解同行们对学习拉丝技术的渴望，因此集录相关文章以供同行们参考。希望本书对相关读者有所裨益，对改善拉丝工序管理、提高工序控制能力有所帮助。

本书收录的文章多涉及拉丝工序常遇到的问题，对中碱玻璃纤维

和无碱玻璃纤维的生产也有阐述，希望能为同行提供借鉴。考虑到同行们的需要，附录列出了相关资料以供参考。

本书在编写过程中得到了前辈姜肇中和危良才等各方面友人的大力帮助，得到中国复合材料工业协会、中国电子材料协会覆铜板材料分会的有力支持。书中的一些文章参阅了《玻璃纤维》杂志。在此一并表示感谢。

由于笔者水平有限，书中的不当之处，欢迎读者批评指正。

傅仲华

2013 年 12 月于北京

目 录

消除丝根玻璃润湿漏嘴外壁的尝试	1
美国专家查里斯谈东莞南方玻璃纤维制品有限公司窑炉相关情况	5
池窑拉丝工艺技术点滴体会	6
简述 E 玻璃单元窑熔化部热点分布状态	11
外国专家谈玻纤技术	14
E 玻璃单元窑耐火材料的侵蚀	16
德国专家梅茨格谈 E 玻璃池窑	21
池窑拉丝大型漏板应用技术	23
E 玻璃池窑拉丝断头的研究	32
全面质量管理是提高捻线工序过程控制能力的“金钥匙”	41
G75 玻璃纤维纺织纱捻线工序的质量管理	45
高硅氧特种玻璃纤维工业化生产 35 周年回顾	50
E 玻璃纺织细纱拉丝技术简述	56
关于作业通路玻璃液温度的“梯度”说	75
不要轻易取消漏板滤网	76
池窑拉丝投产后多长时间才能正常	77
池窑拉丝常见问题	80
关于满筒率计算的思考	83
警惕漏板被堵孔	84
谈放料漏板存废	86
拉丝工序的数据积累、信息采集和处理	87

关于熔化部的玻璃“热点”突出	93
关于坩埚法和池窑法拉丝发展历程的回顾	96
论中碱玻纤池窑拉丝	109
连续玻璃纤维精确成形工艺	121
附录 相关资料	125
参考文献	145
后记	146

消除丝根玻璃润湿漏嘴外壁的尝试

一、丝根玻璃润湿漏嘴外壁的调查

在拉丝过程中，丝断飞后丝根呈羊角状反卷至漏嘴外壁，使外壁被润湿，严重时还会润湿相应的漏嘴根部处的底板。

这种现象在生产中时有出现，并在锆弥散漏板使用中较为突出。具体情况见表 1 和表 2。

表 1 有代表性的四台漏板漏嘴润湿情况的调查统计（1600 孔）

机号	漏嘴组数	润湿漏板组数	润湿/%	漏板材料	漏板升温日期
105	52	32	61.5	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.4.19
301	52	47	90.4	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.5.13
303	52	45	86.5	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.4.29
304	52	48	92.3	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.5.4

注：1. 调查日期均为 1991.6.25。

2. 丝根润湿部位为漏板外排之漏嘴。

表 2 有代表性的四台漏板漏嘴润湿情况的调查统计（800 孔）

机号	漏嘴组数	润湿漏板组数	润湿/%	漏板材料	漏板升温日期
101	36	0	0	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.4.20
201	36	31	86.1	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.4.22
202	36	32	88.9	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.5.31
205	36	31	86.1	Pt-Rh(10%)锆弥散	1991.5.1

注：1. 调查日期均为 1991.7.5。

2. 丝根润湿部位为漏板外排之漏嘴。

二、外排漏嘴和漏板底板玻璃润湿的分布和成因

1. 玻璃在漏板上润湿部位的分布

① 丝根润湿漏板现象在 1600 孔和 800 孔漏板上都有存在。其分布均在

漏板外排漏嘴和相对应的漏嘴根部底板处。

② 玻璃在外排漏嘴润湿后，其附着在漏嘴或底板上的玻璃不断向中部底板和漏嘴渗透扩散，一般为纵向扩散并范围不断加大。其中 301 号漏板其严重处已扩散到纵向第 6、7 个漏嘴根部处。

③ 玻璃润湿区集中于空气扩散器一侧，漏板的温度偏低处更甚。

2. 玻璃润湿漏板的危害

① 301 号漏板在升温后 40 多天里已有 47 组漏嘴被润湿，其发展的速度相当快。

② 漏板一经出现被润湿现象，被润湿的部位很快形成恶性循环。温差加剧，玻璃“反爬”的范围不断增加。

③ 已经被润湿的部位，其区域内的漏嘴丝流不畅，纤维成型困难，或者完全不能连续作业。其漏嘴流出的单丝与正常状态的单丝折射率相异，并有单丝呈粗细不均的弯曲状出现。

④ 已被玻璃润湿的漏板，更换冷却器后常发生连续几个班不能正常作业的现象。

⑤ 漏板一旦被玻璃润湿，处理漏板的概率便大幅度提高。

3. 玻璃润湿漏嘴的成因

① 在同一块和同样材质的漏板上，外排漏嘴被润湿严重，只能从漏板前、后排的气流条件和温度差异上寻找原因。

② 丝根外反卷说明该区冷却强度过大，玻璃黏度急剧提高。

③ 由于外排漏嘴紧靠空气扩散器一侧，又因冷却风折射角度不适，外排漏嘴受风过度。

④ 锆弥散漏板作业温度略低。

三、消除丝根润湿漏板现象的基本思路

① 合理调整冷却风对漏板外排漏嘴的冷却强度。

② 改变冷却风折射板的角度，提高漏板受风时外排漏嘴的温度。

③ 改变拉丝操作，丝断飞后尽量先引丝后打风板，减少风冷漏板的时间。

四、消除丝根玻璃润湿漏嘴外壁的措施

- ① 升温、放料全过程禁止冷却风吹向漏板。
- ② 冷却风折射孔板的角度由 150° 调到 $155^{\circ}\sim 160^{\circ}$ 。

采取上述措施后的效果见表 3。

表 3 采取措施后的效果

机号	漏嘴组数	润湿漏板组数	孔数	升温日期	现状记录日期
302	52	无	1600	1991.7.2	1991.8.20
402	36	无	800	1991.7.11	1991.8.20
401	36	无	800	1991.7.19	1991.8.20

注:302 机号漏板在 7 月 24 日因漏板右端处温度偏低,又有两孔出现丝根润湿漏嘴现象,经调温后该现象消失。

五、漏板外排漏嘴润湿的补救处理

1. 方法

① 利用更换冷却器的时机,使漏板温度尽量升高,丝根呈饱满圆柱状(但不要造成漫流),使大部分没有失透的润湿玻璃流下来。处理时冷却风不要吹漏板。

② 冷却风折射孔板角度由 150° 调到 $155^{\circ}\sim 160^{\circ}$ 。

③ 剔除漏嘴外壁处的析晶料。

2. 效果

① 漏板作业状况有明显改善,温差减小,作业稳定性提高。

② 玻璃“反爬”的弊病基本上得到了克服。

六、消除丝根玻璃润湿漏嘴的意义及其标准化工作

① 通过消除丝根玻璃润湿漏嘴的一系列试验,使锆弥散漏板在池窑拉丝的应用上克服了一大难题。

② 随着锆弥散漏板的大量采用,漏板结构相关的工艺参数也应配套调整,这方面的标准化亟待进行。其标准化工作主要有以下几个方面:

a. 漏板升温、放料冷却风的控制;

- b. 冷却风折射孔板的安装标准;
- c. 漏板出现丝根玻璃润湿漏嘴后的补救措施的规范操作;
- d. 完备漏板周围温度场的测试手段;
- e. 各种规格漏板的作业温度控制范围的确定。

表 1 漏板温度控制范围

漏板规格	漏板温度	冷却风温度	冷却风量	冷却风压力	冷却风速度
0.5m×0.5m	1200~1300	10~15	10~15	0.1~0.2	10~15
0.5m×1.0m	1200~1300	10~15	10~15	0.1~0.2	10~15
0.5m×1.5m	1200~1300	10~15	10~15	0.1~0.2	10~15

注:漏板温度控制范围,应根据漏板规格、漏板材质、漏板厚度、漏板长度、漏板宽度、漏板高度、漏板重量、漏板使用环境等因素确定。

— 100 —

漏板温度控制范围

表 1

漏板温度控制范围,应根据漏板规格、漏板材质、漏板厚度、漏板长度、漏板宽度、漏板高度、漏板重量、漏板使用环境等因素确定。

— 100 —

0.5m×0.5m 漏板 0.5m×1.0m 漏板 0.5m×1.5m 漏板

漏板温度控制范围

表 2

漏板温度控制范围,应根据漏板规格、漏板材质、漏板厚度、漏板长度、漏板宽度、漏板高度、漏板重量、漏板使用环境等因素确定。

漏板温度控制范围

漏板温度控制范围

漏板温度控制范围,应根据漏板规格、漏板材质、漏板厚度、漏板长度、漏板宽度、漏板高度、漏板重量、漏板使用环境等因素确定。

漏板温度控制范围

漏板温度控制范围,应根据漏板规格、漏板材质、漏板厚度、漏板长度、漏板宽度、漏板高度、漏板重量、漏板使用环境等因素确定。

漏板温度控制范围

漏板温度控制范围

美国专家查里斯谈东莞南方玻璃纤维制品有限公司窑炉相关情况

美国专家查里斯 1993 年 3 月下旬受邀到珠海玻纤公司进行了访问，并就东莞南方玻璃纤维制品有限公司窑炉的相关情况进行了交流。

其交流的部分纪要如下。

① 东莞南方玻璃纤维制品有限公司主要生产增强型纤维。该厂建设采取的是设计、订货、安装、培训全承包方法，不包括地皮、厂房、公用工程，总投资 500 万美元，设计年产 4600t 玻璃纤维制品。

② 该厂窑炉设计是根据现有实际应用的台湾 INTEX 厂的炉而设计的。台湾 INTEX 厂的炉年产可达到 5000t，并生产了 5 年，现已冷修、扩大规模，生产能力由年产 5000t 扩大到年产 6000t。当时和台湾 INTEX 厂的窑炉相比，该厂的稍小。

③ 该厂窑炉停产有多种原因，其中有财务困难的因素。该炉共设计 20 块漏板，但后来只有 10~12 台在作业生产。漏板状态不良，部分是自己修的。后因无资金投入被迫停产保温，最后才实施放玻璃水，并发现了后炉池底锆砖侵蚀的情况。

④ 该厂窑炉后炉池底蚀穿的主要原因如下。

a. 由于漏板开台严重不足，熔化部温度“热点”后移，后炉的温度被大大提高了，加速了锆砖的侵蚀。

b. 硼镁石的采用加剧了锆砖的侵蚀，使池底受到双重打击。

而同类炉台湾 INTEX 厂的池底仍有 25~30mm 的厚度，其原因是台湾厂产量正常，原料没有改动。

另外，该厂前炉部分采用铬砖，该设计可使炉使用两个窑期（10 年）。

⑤ 关于 2000 孔漏板“C”工艺。该工艺拉制直径 $17\mu\text{m}$ 原丝，产量可达 70~75kg/h，所使用的空气压力为 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2$ ($1\text{kg}/\text{cm}^2 = 0.098\text{MPa}$)。ZGS 漏板寿命为 12 个月。

（本纪要未经查里斯本人审阅）

池窑拉丝工艺技术点滴体会

池窑法生产连续玻璃纤维，是当今世界范围内广为采用的一种生产方法。其特点是产率高、质量好、能耗低。我国连续玻璃纤维生产，目前仍以坩埚法为主，池窑法尚处于研究开发阶段。“七·五”（第七个五年计划）期间，我国珠海、东莞分别引进了两条池窑拉丝生产线，其中一条因故已暂停生产。为加速我国池窑拉丝工艺技术的发展，目前国内正在组织技术攻关，并着手引进万吨级大型池窑拉丝工艺技术。为了能给池窑技术攻关和池窑拉丝工艺投入正常运转工作提供某些参考，笔者将在池窑拉丝工艺中的点滴体会介绍如下，以期能有所裨益。

一、池窑拉丝应首先考虑选用锆弥散增强铂漏板

由于池窑拉丝大型漏板的采用，插片冷却器便应运而生。当冷却器采用银冷却片进行热交换时，这又带来了易发生漏板银“中毒”的新难题。

从管理和操作技术经验的角度来看，新厂一般难过这一关。部分铂漏板会因银“中毒”而被迫停台。当没有那么多的铂漏板进行更换时，就会造成大量减产，这种情况已屡见不鲜。而应用锆弥散增强（即 ZGS）铂漏板拉丝，则会收到事半功倍的效果。从实践经验看，应用 ZGS 铂漏板有以下几个好处。

① 漏板可取消或减少加强筋，漏板铂用量可减少 6% 左右，还可相应增加少量漏嘴。

② 抗合金“中毒”的能力增强。可减少铂漏板因银“中毒”造成的漏嘴缺损、底板裂纹引起漫流等现象。

③ ZGS 铂漏板耐高温蠕变性能十分优良。初期变形不明显，使用一年多的 800~1600 孔漏板只有 2.5mm 左右的变形，比普通铂漏板的变形量可下降 50% 左右。

④ 800~1600 孔 ZGS 铂漏板的寿命一般可达 15 个月左右。管理难度比普通漏板低，寿命也较长。

⑤ 漏嘴孔径相同时, ZGS 的漏板比普通铂漏板的温度可稍有提高, 玻璃液流量也会有一定的增加, 有利于拉丝产量的提高。

因此池窑拉丝大漏板采用钨弥散增强铂合金制作比较合适。

二、浇注安装漏板初期的玻璃润湿现象

池窑拉丝的漏板是裸体置于漏板托架后用浇注料经浇注而与其托架成为一体, 然后再安装到通路底部进行升温、拉丝的。

我厂曾有三台浇注漏板在升温后的 5 天前出现漏板局部被玻璃润湿的现象。这种现象并不是持续始终, 而是经一段时间后会自行缓解直至停止。这种现象被称为: 浇注安装漏板初期的玻璃润湿现象。

通过对此现象进行现场调查, 发现了下述情况。

① 初期玻璃润湿现象发生部位均为漏板前排 (即拉丝操作方向)。

② 与被润湿的漏板底板交界处的浇注料出现“发红”现象。“发红”部位与润湿部位相对应。

③ 漏板前排与浇注料交界处“发红”现象普通存在, 但程度差异较大。

④ 漏板前排浇注料“发红”处, 表面呈烧结釉化状。釉化的宽度与“发红”的程度成正比。

我们认为, 漏板底板与浇注料界面处出现“发红”现象的主要原因是该处浇注料相对致密度较差, 同时又受到丝根挥发出来的氧化物的侵蚀, 促进了耐火材料中的可熔物逸出, 因此出现了“发红”现象。

一旦进入这个阶段, 拉丝作业即迅速恶化。相互作用加快了漏嘴外壁、漏板底板的玻璃润湿过程, 并加快了向其他部位的漫延。此时最容易造成误判, 认为是漏板有缺陷造成了漏板漏料, 其实不然。

从使用了一年以上拆下来的初期已被润湿的漏板情况看, 铂漏板侧壁与空气接触较多部位与漏板初期被润湿部位相符。而接触空气较多部位的面积越大, 这种润湿情况越严重。同时相对应的浇注料上的铂晶体且多、亮、大。经测量, 浇注料与漏板侧壁已有 2mm 左右的间隙。

从实际情况看, 浇注的薄弱处多为漏板热电偶铂保护管上方部位, 与浇注操作不便有关。

因此加强漏板偶孔一侧的浇注质量, 保证浇注料的均匀致密十分重要。这些在后来的试验中也得到了证实。