大面积玻璃镀膜

LARGE AREA GLASS COATING

Hans Joachim Gläser（汉斯·琼彻·格雷瑟） 著
德国冯·阿登纳真空技术有限公司组织翻译

上海交通大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书为大面积玻璃镀膜技术领域专著。介绍了利用薄膜技术对平板玻璃进行重新定义深加工的可能性与商机。玻璃薄膜可以分成两大方问 :真空条件下的物理工艺和大气条件下的化学工艺。各种玻璃镀膜产品有着广泛的应用。本书对其历史现状及其发展前景作了详尽的论述及预测,也对各种镀膜技术的优缺点进行了比较。更为难能可贵的是,作者把近年来镀膜的最新技术也做了介绍。本书可供从事本专业的大学师生、工厂企业技术人员学习之用。

中文版序言

1999 年，拙作《大面积玻璃镀膜》经过德国舍恩多夫市的克尔·霍夫曼·沃拉格先生编辑后第一次用德文出版了。第二年，冯·阿登纳公司对它进行了再版印刷。前一段日子，华福捷商务咨询公司也表达了他们对这本书的浓厚兴趣和强烈愿望。由于近年来镀膜技术又取得了飞速的发展和众多的新技术，我受邀又对书中原来的内容进行了大量的更新和补充。在此我诚挚地感谢上海交通大学出版社以及华福捷商务咨询公司为筹措本书的中文版印刷所做的工作。在董强先生完成翻译之后，德累斯顿的冯·阿登纳公司（Von Ardenne Anlagen Technik GmbH）斥资赞助了本书的最新内容在中国的出版。这里，我特别要致谢冯·阿登纳公司在经济上的鼎力支持以及董强先生在整个翻译过程中所付出的艰辛努力，希望这本书能够为推动中国在大面积玻璃镀膜领域的深入研究尽一份绵薄的力量。

汉斯·琼彻·格雷瑟

2005 年 4 月写于德国古默斯巴赫市

译者序言

在真空镀膜行业里工作了几年，除了找到了国内几个大学的几位资深老教授的经典书籍外，再没发现什么书是具体详细地介绍我们这个行业中过去、现在和将来的技术和发展的了。

在一次偶然的机会，我从冯·阿登纳公司的网站上看到了这本书，然后经过几个朋友的帮助才最终从法国买到一本。在阅读过程中，我越来越意识到它对中国镀膜行业和市场的重要意义。经过 2003 年整个夏天的努力，我终于完成了英文版的翻译。但是，在冯·阿登纳公司知道了这件事之后，力邀作者根据近两年来国际镀膜技术的新发展以及市场的变化，对本书进行了彻底的更新。而在那段时间里，格雷瑟这位令人尊敬的老教授恰逢身体不适。他甚至是在病床上完成了其中的一部分修改工作的。总体上看删改和增补的篇幅超过了三分之一。德国人与生俱来的严谨工作态度和认真的风格由此可见一斑了。

正如作者所说，这是一本涉及非常广泛的专业书籍。写作这样一本书不仅需要扎实深入的专业技术基础，还需要非常深厚的行业经验积累和广泛的理化知识涉猎。而能够最终完成这样一本书的翻译，不但需要一些必要的英语和专业知识，还需要来自各方面的支持和帮助。除了来自冯·阿登纳公司内部的援助外，真空行业的专家级元老董镛先生在真空专业知识方面的指导以及一些兄弟公司对于具体行业内部技术及术语的介绍都是不可或缺的。值得一提的还有由于我在有机化学和物理方面知识的匮乏，刘益彬和武瑞军两位朋友在这些方面的建议也是极具裨益的。最后还要特别感谢华福捷公司艾思桦女士的组织出版工作。

另外，为了便于读者的研读以及与其他国外相关书籍的参考，我在最后单独列出了本书中涉及的人名和德国地名的中英文对照表，以防由于翻译的原因给读者的阅读和理解造成不必要的麻烦和不便。

如果没有作者创造性的工作以及所有这些人的帮助，我是没有办法把最新的技术和信息奉献给中国这个世界瞩目的市场的。我希望这本书能帮助所有那些在这片欣欣向荣的国度里从事玻璃镀膜工作的业者更全面、更深入地了解镀膜技术日新月异的进步！

董　强

2005 年 10 月



彩釉装饰的玻璃罐——制作于大约公元前1 500年图特摩斯三世法老统治期间
（埃及艺术国家级收藏品，现收藏于慕尼黑）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

釉料是一种类似于玻璃的物质，可以把它覆盖在黏土和滑石等物质上。这是玻璃最古老的应用。现在我们把它划分到釉料的薄膜范畴。这项技术可以一直追溯到公元前5世纪。那时候人们已经掌握了如何把玻璃加工成希望的形状（如壶和饰件）的方法，所以再在这些物件上着釉不过就是锦上添花的事而已。我们在考古过程中发现了刻有图特摩斯三世的名字的水罐（见图）。他是在大约公元前1 500年统治着埃及的著名法老。这个水罐是人类已经掌握了这项技术的最古老的证据。这足以证明，玻璃镀膜技术拥有非常悠久的历史。

镀膜为玻璃赋予了一个全新的意义。它不仅改变了玻璃的外观，还由此生成了很多全新的技术功能。平板玻璃的应用在过去40年里取得了巨大的进步，这更极大地推动了以薄膜技术为主的镀膜技术的进步。如今，平板玻璃的功能已经达到了从前根本无法想象的完美境界，这使它具有了举足轻重的经济地位。更重要的是，这个飞速发展的势头似乎还会保持很长一段时间。

由于技术在过去10年发生了突飞猛进的发展，现在即使是专家也很难全方位地了解镀膜工业众多的发展方向并从全局上把握新拓展的领域。因此，本书的目的就是介绍如何利用薄膜技术对平板玻璃进行深加工的可能性和商机。我们的对象是玻璃行业内的专业人士以及那些渴望成为专业人士的人，当然也包括那些直接或间接接触玻璃深加工和镀膜领域的从业者。本书主要是根据1989年以来我在克劳斯塔尔科技大学做主席时举办的一系列讲座汇编而成的。我希望能通过它展示镀膜艺术的状况——不过，为了方便读者的理解，我首先应该简要地介绍该技术的现状和历史经历。同时，我也会尽可能地推测一些在未来有可能的技术发展方向。

一本书的行文是很重要的，必须组织得非常清晰读者才可能理解像这么庞大的一个主题。如果把主题看作一个整体，那么很明显平板玻璃上的镀膜可以分成两个大的门类：在真空条件下进行的物理工艺（PVD）和在大气条件下进行的化学工艺（CD）。这两种工艺过程主要都是根据电子在固体（本书中一般指膜层）中传导的物理效应以及可见光到射线光波的干涉现象。利用这两种效应以及它们的相互作用可以解释目前市场上大多数镀膜产品的技术功能。将来，它们的影响更可以进一步实现其他各种不同的目的。

本书并不是一本教科书。我个人更希望大家能把它看作是过去成功实现的发展过程的一个总结并尽可能鲜明地验证其最终的结果。为了便于读者更清楚地了解其内在的物理和化学原理，我在参考文献中列出了需要研读的很多书籍。同时，我将尽量在本书的附录中解释那些我认为相当重要的但在相关读物中论述得不完全或根本没有提及的物理原理。

众所周知，如今像本书这样内容范围广泛的书籍的编著是不可能由一个人来完成的。借这个机会，我要向所有为我提供了各种有价值的资料的同事表达我的感谢之情。我不可能在这里逐一罗列他们的名字，但我必须在这里介绍的是我从前的同事 Ludwig Merker 先生。书中的第1～3章以及4.3节完全是由他校对的，而且他还经常向我介绍他在化学领域中多年辛苦工作获得的宝贵经验。另外应该特别感谢的是我在科隆时一起合作研究的同事 Peter Grosse、Alfed Barz 和 Heribert Wanger 先生。Peter Grosse 校对了5.1节和附录 AⅠ的草稿并提供了大量图片。正是这些图片极大地提升了本书的内涵。Alfed Barz 和 Heribert Wanger 分别校对了本书的6.1.2节和7.1节。最后我还要特别感谢就职于法兰克福的 Chemetall 公司的 David Kistner，在与他讨论5.5节时我获益匪浅。可以说，正是由于他的一席话才使我得以了解一种能够转化平板玻璃的表面能量的新型镀膜，而这项技术无疑在将来会具有非常美好的前景。

在此，我还要感谢我的太太 Helga Gläser 对于我这两年中埋头于本书的写作的理解和体谅。她勾画的我们退休后的工作真的与众不同。开始时，我们只是把写作本书当成一种闲暇的消遣，但是它最后逐渐脱离了原来的设想并承担了一项巨大而繁重的工作。我由衷地相信如果没有她就没有本书的最后完成。同时，我也非常感谢她为德语手稿的排版校对以及勘正语法错误所做的工作。

本书的德语版已经由德国舍恩多夫市的克尔·沃拉格先生以“平板玻璃镀膜技术 DÜnnfilmtechnologie auf Flachglas”为标题出版了，书号是 ISBN 3 7780 1041 7。德累斯顿市的冯·阿登纳真空技术有限公司 Von Ardenne Anlagentechnik GmbH 公司组织了翻译工作并出版了英文版。

汉斯·琼彻·格雷瑟

2005 年 4 月写于德国古默斯巴赫市

目　　录

第1章　平板玻璃 …… 1

1.1　平板玻璃简史 …… 1
1.2　浮法玻璃 …… 2
1.3　平板玻璃的化学成分及结构 …… 3
1.4　平板玻璃的性能 …… 4
1.4.1　光学性能 …… 4
1.4.2　力学性能 …… 5
1.4.3　热性能 …… 7
1.4.4　电性能 …… 7
1.4.5　化学稳定性 …… 8
1.5　平板玻璃的市场 …… 8

第2章　镀膜赋予了平板玻璃崭新的含义 …… 11

2.1　平板玻璃深加工工艺的分类 …… 11
2.2　利用表面处理技术对玻璃进行深加工 …… 11
2.3　镀膜工艺及膜层 …… 12
2.4　平板玻璃膜层及其要求 …… 14
2.5　镀膜工艺、镀膜材料和平板玻璃表面之间的相互作用
及其对膜层性能的影响 …… 15

第3章　表面条件及其对膜层的影响 …… 16

3.1　平板玻璃的原始表面 …… 16
3.2　玻璃表面的腐蚀 …… 19
3.2.1　腐蚀的起源及其对膜层的影响 …… 19
3.2.2　避免和去除腐蚀层的方法 …… 21
3.2.3　玻璃表面腐蚀的检查 …… 22
3.3　平板玻璃表面上的杂质 …… 24
3.4　平板玻璃表面在镀膜前的准备 …… 26
3.4.1　对用于镀膜平板玻璃表面洁净度的要求 …… 26
3.4.2　用于镀膜的平板玻璃片的清洁工艺 …… 27

3.4.3 预处理后的平板玻璃表面的检查 …… 35

第4章 平板玻璃的薄膜技术 …… 38

4.1 薄膜技术的分类和要求 …… 38
4.2 用于平板玻璃镀膜的溅射沉积真空工艺 …… 39
4.2.1 在平板玻璃上镀膜的溅射工艺的应用领域 …… 39
4.2.2 溅射沉积的原理 …… 40
4.2.3 非反应溅射 …… 42
4.2.4 反应溅射 …… 46
4.2.5 溅射技术 …… 51
4.2.5.1 直流和交流溅射 …… 52
4.2.5.2 磁控溅射 …… 54
4.2.6 平板玻璃镀膜中使用的靶材及其生产加工 …… 63
4.2.7 溅射镀膜设备和工艺 …… 66
4.2.7.1 箱式设备的溅射沉积 …… 67
4.2.7.2 镀膜生产线的溅射沉积 …… 70
4.3 用于平板玻璃镀膜的化学工艺 …… 73
4.3.1 化学还原工艺 …… 74
4.3.1.1 化学还原镀膜中的化学过程 …… 74
4.3.1.2 采用化学还原工艺的镀膜技术 …… 77
4.3.2 热平板玻璃上的化学镀膜 …… 79
4.3.2.1 热平板玻璃表面上膜层的化学反应 …… 79
4.3.2.2 液体喷淋技术的镀膜 …… 81
4.3.2.3 化学气相沉积 (CVD) 技术的镀膜 …… 84
4.3.3 溶胶-凝胶镀膜 …… 89
4.3.3.1 溶胶-凝胶镀膜的化学过程 …… 89
4.3.3.2 溶胶-凝胶镀膜技术 …… 90
4.4 等离子体辅助 CVD …… 93

第5章 薄膜平板玻璃产品 …… 96

5.1 透明导电膜 (TCC) …… 97
5.1.1 技术术语及物理基础 …… 97
5.1.1.1 电导率和低辐射率 …… 103
5.1.1.2 电导率及对光和热辐射的高透过率 …… 108
5.1.2 实际应用膜层 …… 117
5.1.2.1 基于半导体材料的透明导电膜 …… 117

 需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.1.2.2　基于金属的透明导电膜 …… 128
5.1.2.3　市场中的平板玻璃上透明导电膜的最重要指标汇总 …… 137
5.1.3　镀有透明导电膜的平板玻璃产品 …… 137
5.1.3.1　中空玻璃的低辐射膜 …… 138
5.1.3.2　低辐射膜在外侧的玻璃结构 …… 147
5.1.3.3　用于隔离电磁辐射的屏蔽玻璃 …… 162
5.1.3.4　用于衰减雷达回波的玻璃结构 …… 168
5.1.3.5　抗静电玻璃 …… 172
5.1.3.6　可加热玻璃 …… 173
5.1.3.7　透明开关（触摸面板） …… 175
5.1.3.8　透明电极 …… 177
5.1.3.9　导电玻璃的引线 …… 178
5.2　阳光控制膜及其应用 …… 180
5.3　平板玻璃表面上的减反射膜层及其应用 …… 189
5.3.1　利用相消干涉在玻璃表面产生的减反射效果 …… 190
5.3.2　利用精细粗化在平板玻璃表面产生的减反射效果 …… 197
5.4　镜面膜层及其应用 …… 198
5.4.1　基于金属膜的镜面膜层 …… 199
5.4.2　基于介质膜的镜面膜层 …… 203
5.5　膜层对于表面能量的影响（亲水膜和远水膜） …… 206
5.5.1　术语和物理及化学基础 …… 206
5.5.2　影响表面能量的膜层及其应用 …… 210
5.6　平板玻璃膜层的耐久性检测标准和测试过程 …… 216
5.6.1　镀膜平板玻璃半成品的测试程序 …… 217
5.6.2　镀膜平板玻璃的成品的检测程序 …… 219

第6章　基于镀膜平板玻璃的电可控产品 …… 222

6.1　使用镀膜平板玻璃的光电显示器 …… 222
6.1.1　液晶显示器 …… 223
6.1.2　等离子体显示器 …… 228
6.2　光谱透过率或反射率受电控制的玻璃 …… 231
6.2.1　具有电可控光线透过率功能的镀膜玻璃 …… 232
6.2.2　基于电致变色原理的可控光线反射率和阳光透过率玻璃 …… 236

第7章　基于平板玻璃的薄膜太阳能电池的光电池模块 …… 249

7.1　太阳能电池的定义及市场重要性 …… 249

7.2 太阳能电池的结构和功能 …… 250
7.3 薄膜太阳能电池的结构和效率 …… 251
7.4 基于薄膜太阳能电池的光电池模块的结构及其在建筑物上的应用 …… 255

附录 …… 258

AⅠ. 利用导纳法来计算膜系在阳光辐射范围内的光谱行为 …… 258
AⅡ. 导电膜层在长波长范围内的光谱性能的计算 …… 268
AⅢ. 如何计算在没有入射阳光辐射（夜晚）时的外表面温度 …… 271
AⅣ. 颜色及色彩重现 …… 273

参考文献 …… 275

第1章 平板玻璃 …… 275
第2章 镀膜赋予了平板玻璃崭新的含义 …… 276
第3章 表面条件及其对膜层的影响 …… 276
第4章 平板玻璃的薄膜技术 …… 277
第5章 薄膜平板玻璃产品 …… 281
第6章 基于镀膜平板玻璃的电可控产品 …… 286
第7章 基于平板玻璃的薄膜太阳能电池的光电池模块 …… 287

附件 …… 290

符号表 …… 290
缩写 …… 294
人名 …… 295
地名 …… 296

第 1 章　平板玻璃

1.1　平板玻璃简史

玻璃是一种非常古老的人工材料，它的历史可以一直追溯到公元前 5 世纪。不过，直到公元 1 世纪初期罗马人才掌握利用熔炼来制备平板玻璃的技术：把熔融态的玻璃注入一个圆形模具然后把它磨平。这种工艺最大可以生产尺寸为70 cm × 100 cm的玻璃片。然而，当时的人们并没有记录下来这种加工工艺的具体过程。根据 12 世纪早期特奥菲鲁斯长老在《时间》一书中的描述，鼓风管的发明使罗马人开发出了圆桶鼓风技术并利用它来制造平板玻璃。由于那时候平板玻璃的制造过程仍然非常困难而且成本很高，所以在那个时期这种材料只能用在诸如法庭、公共浴场或者罗马的皇家别墅等那些闻名遐迩的建筑物上。尽管这样，罗马人在平板玻璃生产和工艺技巧方面进行的卓有成效的改进还是使这种艺术品很快风靡了整个欧洲。所以，在中世纪的早期，平板玻璃开始逐渐取代了其他的透明窗户材料。比如从那时以后，所有教堂的窗户采用的都是平板玻璃。在罗马玻璃制造商被称为 Vitrearii（[拉丁语]，Vitrum 的意思为玻璃）。他们为窗户加工商提供玻璃大板，再由他们将大板加工成玻璃片。

舷窗玻璃、玻璃圆盘等其他类型的窗户玻璃也大多是在中世纪出现的。到了 17 世纪，法国圣戈班市的 Lucas De Nehou 公司研制成功了压铸玻璃，这更加拓展了平板玻璃的范围。要生产出制镜用的玻璃就必须对玻璃片坯料进行抛光，这个过程不仅工作量巨大而且费用昂贵。但是如果没有这项技术的发展，在参观巴黎附近富丽堂皇的凡尔赛宫（建造于1661 ~ 1689 年）时，您就永远也没有机会看到该室内那些让您终生难忘的镜子了。

大约 19 世纪中期，人们开始尝试用连续机械拉引技术来加工平板玻璃。这些努力在 20世纪初期取得了成功。它们最终发展成为有槽垂直引上法和平拉法。20 世纪 20 年代，美国的匹兹堡平板玻璃（PPG）公司和日本的旭硝子公司分别利用这两种技术成功生产出产品。这种靠机器拉引而生产出来的玻璃称为“机械拉引平板玻璃”，也就是以前所说的普通平板玻璃。不过，相对于现在的应用场合来说，这种玻璃离制镜级质量实在是相差太远了。

第二次世界大战之后，英国皮尔金顿公司把软化的玻璃浮在熔融的金属液上从而生产出优质的连续玻璃带。虽然这种想法不是现在才出现的，但是皮尔金顿却是第一个在工业规模上成功把他转化成现实的公司。如今，利用这种技术生产出来的浮法玻璃已经成为标准的玻璃产品了。当然，其他类型的玻璃目前在市场上依然存在，只是数量很少而已。例如，目前采用回复 19 世纪设计的压延技术制造的机械拉引玻璃或玻璃片就依然在生产。它们主要作为装饰或夹丝玻璃。不过从化学上说，所有这些类型的玻璃都属于同

一族“碱石灰玻璃”。

有文件记载的平板玻璃镀膜开始于中世纪初期。其最早记录被发现于特奥菲鲁斯长老所著的《时间》一书。它是将玻璃用一种釉质的黑色颜料来着色，用于教堂窗户等场所。16 世纪以后，人们才开始采用在平板玻璃镀金属膜层的方法来制备镜子。不过，工业水平上的金属膜层是从 19 世纪中叶——银膜镜子的加工——开始的。工业镀膜工艺的拓展直接带动了 20 世纪初期夹层玻璃产品和陶瓷着色（上釉）玻璃的发展。以上提到的所有膜工艺的共同点就是最终得到薄膜膜层。不过，本书所着重关注的是平板玻璃上薄膜镀膜工艺。它是在二次大战以后迅速发展起来的。这项技术对于作为建筑材料的平板玻璃的普及、应用以及其他诸多方面都起到了巨大的促进和推动作用。

1.2 浮法玻璃

欧洲标准 DIN EN 572—1 把浮法玻璃定义为：

利用连续地在金属槽上熔铸和漂浮的工艺而生产出来的平坦、透明、无色（或着色的）碱石灰硅酸盐玻璃，它具有平行而光滑的表面。

图1.2.1 为浮法玻璃的生产系统示意图。

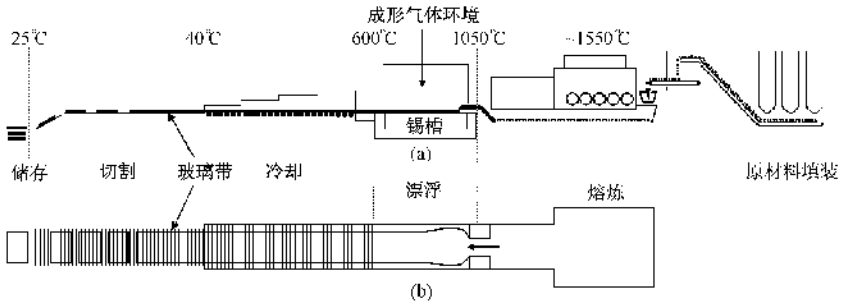


图 1.2.1 浮法玻璃的生产系统示意图

(a) 侧视图；(b) 顶视图

这项技术是将熔融的玻璃倾倒在一个狭窄的锡槽上。玻璃的表面张力使它浮在锡上面并平坦、均匀地延展开来并最后在还原性的空气中自然定形。这个过程可以确保玻璃片形成极其平行和平坦的表面。这种透明的、没有任何扭曲的产品可以满足现今市场对制镜玻璃的工业要求。浮法玻璃片的最大尺寸可以达到3.21 m × 6.00 m。这是在工业上公认的满板尺寸。一般来说，浮法玻璃的厚度范围在3 ~ 19 mm之间。不过，从技术上讲，应该可以生产出1 mm以上到25 mm厚的产品。玻璃的厚度决定于传送带的传动速度和流入锡槽的熔融态玻璃的流量。另外，它还与玻璃带在浮槽区边缘处的拉伸（针对厚度小于 6 mm的玻璃片）或压缩（针对厚度大于6 mm的玻璃片）有关。表面平坦性的技术术语又称为“平面度”。这是可能影响镀膜工艺的一个非常关键的质量参数。它主要决定于熔融态玻璃的一致性、成形过程（例如，浮槽区内玻璃片边缘的拉伸效应和压缩效应）以及玻璃

带成形后所经过的冷却过程。

DIN EN 572—2 规定了对于作为建筑材料使用的浮法玻璃在尺寸和质量上的要求，而且还对膜层的可见和光学瑕疵以及验收条件进行了描述。该标准还通过检测放在玻璃后面的栅板的扭曲（不是混乱）来定义玻璃片的垂直倾斜度，这种扭曲往往是由表面平坦度或平行度不良造成的。虽然平板玻璃镀膜专家经常会就平坦度和表面条件（例如腐蚀性 * [1]）提出一些特殊要求，但是对于这些附加特性还没有制定出具体的工业标准，所以它们就必须单独征得平板玻璃生产商的同意。有时候，可以把一个已知参照边允许的最大几何偏差认为是对用来镀膜的玻璃片的平坦度要求。通常，短波和长波的偏差也有区别。用于光电领域的平板玻璃片主要考虑短波偏差，例如，该领域可以采用≤0.7 μm/cm作为偏差限制（见6.1节）。我们将在3.2节中详细讲述关于平板玻璃表面腐蚀的问题。

在这里我们还应该指出：也可以利用浮法工艺来生产硼硅玻璃。这种平板玻璃主要使用在耐火材料（例如放在烤炉的门内）中或者作为特殊材料使用在大量不能使用碱石灰玻璃的产品中。

1.3　平板玻璃的化学成分及结构

现在使用的平板玻璃中绝大多数都是碱石灰玻璃，它们采用的都是天然材料（石英砂、石灰、白云石和长石或霞石黑花岗岩）和合成材料（碱和硫酸盐、相当比例的废平板玻璃）。同时它们也是一种可回收利用的物质。由于平板玻璃生产商需要高质量的原材料，所以这些原材料必须经过非常仔细的筛选、处理和加工。而这些基本材料几乎可以在世界各地都能无限量地获得。生产1 kg平板玻璃产品大约需要消耗4.0 kWh的能量，与此相对应，生产1 kg建筑钢所需要的能量大约是10.5 kWh。最后，废玻璃的回收利用也会节省材料和物质。浮法玻璃的典型化学成分如表1.3.1所示。

表 1.3.1　浮法玻璃的化学成分

成　分	分 子 式	质量分数
二氧化硅	SiO_2	72.8
氧化钙	CaO	8.6
氧化钠	Na_2O	13.8
氧化镁	MgO	3.6
氧化铝	Al_2O_3	0.7

当然，根据原材料的产地和质量的不同，平板玻璃也可能含有其他化合物，比如氧化

* 法兰克福的德国机械与设备加工者协会（注册协会）于 2002 年编辑的手册《玻璃》的第二版恰当地阐述了现代光学平板玻璃的质量测量技术。

铁。着色玻璃就是在熔化过程（见1.4.1节）中添加了无机染料制造出来的。

由于玻璃的成分和生产工艺已经实现了标准化，所以现在销售的标准浮法玻璃的成分基本上已经相对一致了。更换化学成分可能对其他工艺以及玻璃抗拒气候条件的特性产生影响。例如，增加 Al_2O_3、SiO_2 和 CaO 就会提高玻璃抵御气候的能力；而氧化碱比例的增加就会使玻璃更容易受到气候的影响。平板玻璃生产的艺术就是去寻求并保持理想的成分比例、费用、附加工艺的要求和如何实现新的设想。

如果使用平板玻璃来镀膜，首先必须控制氧化钠的成分。由于钠离子（Na^+）半径很小，所以相对比较容易发生移动。即使是在低于100 ℃的环境中，它也能很容易地扩散到沉积层中。这种行为会污染膜层并对它造成不良的影响。一般来说，我们都是利用特殊的扩散阻挡层来削减Na^+的扩散程度（见5.1.2.1节）。

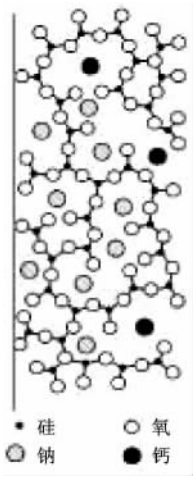


图1.3.1　平板玻璃的结构

根据美国检测和材料协会（ASTM）的定义，平板玻璃和其他普通玻璃在结构上并没有明确的区别，它们都是“一种冷却到一个刚硬条件而没有发生结晶的无机熔融产品”。工程师喜欢把它们称为“冻结的、过冷的液体”。图1.3.1就是平板玻璃微观结构的示意图。

有些固体的晶格往往具有比较规则的原子次序，也就是说它的有序性比较好。我们把物质的这种结构称为“晶体”。不过，玻璃内部的结构次序却是非晶体的。从图1.3.1中我们可以很清楚地看出：在 SiO_2 分子格式中，每个硅 Si 原子只是在小范围内构成了一个不规则的网络。因此，也可以把 SiO_2 称为网络生成物质。某些网络转换物质会使 SiO_2 网络发生不规则的断裂。比如，为了作为碱和石灰而在熔炼时添加的 Na^+ 和 Ca^{2+} 离子。事实上，虽然在通常条件下玻璃是固体，但是它们和玻璃液的结构次序非常相似。玻璃的成分和结构是影响玻璃性能的主要因素。

从对生态环境的影响上说，平板玻璃是一种化学惰性物质，可以说它对环境完全无害。

1.4　平板玻璃的性能

1.4.1　光学性能

平板玻璃最出色的性能就是它具有很高的阳光辐射透过率。这是由于玻璃是一种电绝缘物质，即除了近红外区域的光波，它几乎不吸收什么阳光辐射（见5.1.1.2节）。在自然原材料中铁和氧化铁的含量虽然很低（大约占玻璃总质量的0.1%），但它却显著增加了玻璃对近红外线区域，特别是波长在1.15 μm附近的光线辐射的吸收（见图1.4.1.1）。这

也是为什么标准平板玻璃在阳光下看上去呈绿色的原因。当您透过玻璃片的切割边缘进行观察时，这个效应就更明显了。

如果玻璃中的铁含量只是普通玻璃的1/10，就变成了具有极低吸率的超白玻璃。这种玻璃具有更好的阳光透过率。当然，也可以利用浮法工艺来生产这种玻璃，比如，圣戈班公司生产的“Diamond”或皮尔金顿公司生产的“Optiwhite”。按现在的观点来看，它们在将来可能会有非常广泛的应用方向——例如用于将阳光辐射转换成热能或电能。

另外，如果在熔炼时加入金属氧化物就可以得到着色玻璃。这种玻璃的透过率低于普通玻璃。最经常使用的着色玻璃有灰色、古铜色和绿色。例如，圣戈班公司生产的柔灰色、古铜色、绿色玻璃以及皮尔金顿公司生产的 Optigrey、Optibronze 和 Optigreen。一般来说，加入氧化铁可以得到绿色玻璃，如果加入镍、钴和铁的混合物可以得到灰色玻璃，而加入钴、铁和硒的化合物就可以得到古铜色玻璃。

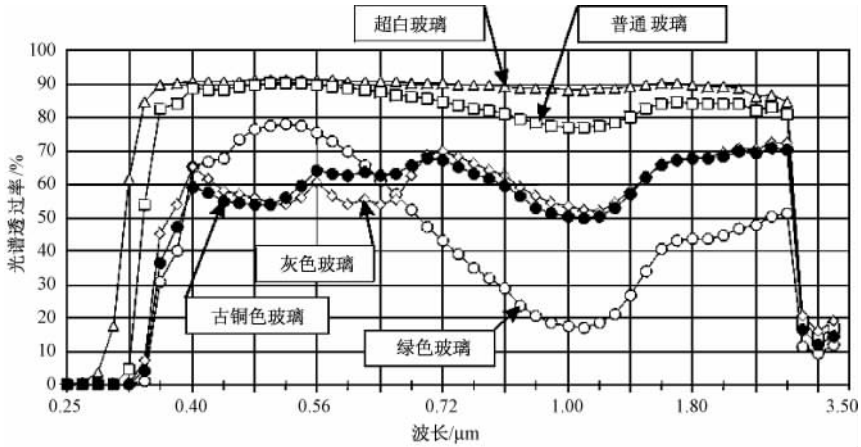


图 1.4.1.1　不同的4 mm厚的浮法玻璃的光谱透过率

图1.4.1.1中，我们把各种4 mm厚的超白玻璃、普通玻璃、绿色玻璃、古铜色玻璃和灰色玻璃在全阳光辐射范围内的光谱透过特性进行了对比。

理论上，折射率 n 和玻璃片的厚度决定了平板玻璃的光学特性。由于普通平板玻璃和超白玻璃几乎都不吸收可见光线，这样它们在这个波长范围内的折射率 n 就都是 1.52。所以，无论是标准平板玻璃还是超白玻璃，它们的每一个表面上的反射率大约都是 4 %（详细说明请参阅5.1.1.2节和5.3节），即在整个玻璃片上的反射率大约是8 %。由于存在着吸收效应，着色玻璃的整体反射率一般要低于这个数值。

1.4.2　力学性能

无论是对于后续的工艺还是作为建筑材料来使用，平板玻璃的力学性能都是非常重要的。它们与建筑钢材在相关性能上的对比见表1.4.2.1。

需要全本请访问 www.ertongbook.com