

夾層玻璃

Н. И. 阿莫索夫 著

殷 龙 珠 譯

建築材料工業出版社

夾 層 玻 璃

工学碩士 H. H. 阿莫索夫 著

殷 龍 珠 譯

建築材料工業出版社

內 容 提 要

本書有系統地綜合了膠合玻璃工藝方面的最新資料；闡述有關三層安全玻璃及其機械性能，熱學性能和光學性能的知識。敘述三層安全玻璃的生產方法，擬定玻璃膠合過程的途徑及其主要發展趨向。

本書可供玻璃工業工程技術人員閱讀，亦可作高等工業學校學生們參考用書。

Н. И. АМОСОВ : ТРЕХСЛОЙНОЕ СТЕКЛО

ПРОМСТРОЙИЗДАТ (МОСКВА—1948)

夾 層 玻 璃 殷 龍 珠 譯

1957年5月第一版 1957年5月北京第一次印刷2,055冊

850×1168 1/32 • 109,000字 • 印張4 1/2 定價(10)0.78元

北京市印刷一廠印 新華書店發行 書號 0053

建築材料工業出版社出版(地址：北京市復興門外南禮士路)

北京市書刊出版業營業許可証出字第091號

目 录

序言	4
膠合玻璃的机械强度	6
光学指标	14
热力学指标	38
試剂作用指标	43
制定膠合玻璃工艺过程的途径	45
膠合玻璃生产工艺学發展的主要趋向	50
三層安全玻璃生产工艺学叙述	54
用賽璐珞襯片制造三層安全玻璃的各种工艺过程	54
醋酸纖維素襯片三層安全玻璃	103
維尼里特襯片三層安全玻璃	106
丙烯酸鹽襯片三層安全玻璃	110
莫維里特三層安全玻璃	110
普列克西古姆三層安全玻璃(压榨)	114
普列克西古姆三層安全玻璃(不压榨)	118
布特瓦尔襯片三層安全玻璃	119
干法	121
湿法	125
結論	128
参考文献	129

序 言

玻璃，是供人类使用已历有五千年以上的材料，它具有任何材料都不能具备的那种综合的宝贵性质。

首先应当把玻璃的下列特性列入其最重要的优良性质之内：

- 1) 它的高度透明性；2) 无色性；3) 光折射；4) 耐光性；5) 硬度；
- 6) 化学安定性；7) 抗水性；8) 耐剧冷剧热性；9) 耐寒性。

除此以外，玻璃还容易进行琢磨(粗磨)和磨光的加工，可以敷镀金属，可以蚀刻，而且在制造时还可以着上所要求的任何色调和牢固耐久的颜色。

玻璃，可用以吹制成器皿，且可以把它压型、铸型或拉延成各种各样的玻璃制品，它具有极广泛的工艺性能，并且可以无限制地扩大它的使用范围。

但是，除了这些高贵的优良性质以外，玻璃还有某些不好的属性；首先应当把它的脆性列于缺点之内。

曾经屡次提出过使玻璃去掉脆性的问题，而且针对着这个问题曾经采用过各种不同的方法；在许多试验下，查明了在矽酸盐玻璃本身上当其成分完全改变时，仍然还是脆性的。

所以，在振动、撞击、重大的压力或者是在其他机械作用下，使玻璃本身免于破裂是不可能的；在重大的压力下，玻璃中发生裂口是不可避免的。

因此，对于不能消除玻璃脆性而引起之后果的斗争，并不是用改变其性质而是采用其他方法。在平板玻璃方面采用了两种方法：1) 借助于玻璃的热处理，而使其在撞击时具有较高的强度，也就是使玻璃淬火或钢化；2) 构成复合玻璃(里面夹有金属网状钢筋或弹性透明的楔片)。

所有三种类型的玻璃(淬火玻璃、夹丝玻璃及胶合玻璃)，实际上都已经生产了，而且在极不相同的场合下采用之。

同时，和内部弹性楔片相胶合的夹层玻璃(三层安全玻璃)，得到了最普遍的采用。

这种膠合玻璃，就是本書以后有系統的加以研究及叙述的主要对象。

同时，首先依次地研究表示膠合玻璃性質的全部主要指标，就是：机械强度(当撞击时沒有碎片)；光学指标(透光度、混濁度、映象的歪曲度)；热学指标(耐剧冷剧热性、耐热性、耐寒性及耐寒强度)；大气及其他葯剂作用的指标(抗大气侵蚀性、耐水性、抗汽油侵蚀性)。

其次在叙述了指标及有关膠合玻璃的特性的理論上加以研究之后，并列举有关制造这种玻璃的各种不同方法的資料。同时無論对目前实际操作中存在并且使用着的工艺过程，或者是在生产工艺發展过程中起过过渡作用的，而且现在还保留着或者可以保留的工艺过程，都作了逐步的叙述及重点的評價。

叙述中的理論部分，目的是要确立一系列的 基本原則，以有助于以正确的批評态度来对待膠合玻璃生产中所采用的各种方法，并对这些方法作出正确的評價。

当与这个新兴的工業部門有关的各項問題的解决尚未得到大家公認和从科学观点上未有充分根据的时候，所提出的材料，其任务是使大家对所研究領域內的主要研究对象有統一的了解，并且要消除在膠合玻璃工艺学方面的有系統的資料所不能容忍的缺乏現象。

規定的專門術語既付缺如，且在名称方面也有些混乱，实际上不得不从所有各种不同術語中及以后在叙述时遵循的制度上加以选择；但以通用誌标为根据。

所提出的材料，不敢希望用作指示性，因为在这方面还要繼續發展。

本書基本上是根据作者(从 1930 年起)在匡斯坦特諾夫、莫斯科、古雪夫、高尔科夫等工厂中的工作結果，和在德国“西格拉”和“菲尔德玻璃”企業中考察的結果，以及 1935 年我国專家 Б. Н. 尼哥里斯基和 М. З. 伏洛維克 以及 1944 年 О. К. 包特文欽和 К. Т. 龐达列夫教授的国外考察 报告等材料加以詳細地研究而写成的。

膠合玻璃的機械強度

照例，三層膠合玻璃，系供不同目的之用；按其使用目的，在機械強度方面即對其提出不同的要求。

夾層玻璃(三層安全玻璃)，一般是比較薄的(厚度為5~6公厘)，而它的面積則是相當大的(達0.5平方公尺，有時更大)，大都系供快速運輸工具——汽車、公共汽車、有時供飛機等裝配玻璃之用。

這種玻璃就是三層安全玻璃，其特點是重量較小(1平方公尺重150~250克)。在機械強度方面，通常是用800克重的鋼球(直徑為75.6公厘)降落在三層安全玻璃試樣上所得的結果鑑定之。

如果讓這樣的鋼球自由地降落到四邊支在木框架上的、邊長為250公厘的正方形夾層玻璃試體上面，並且假如此時鋼球的降落高度是逐漸增加的話，那末在最初，當高度不大時，組成夾層玻璃的兩塊玻璃仍舊是完整的，並且在試體中不發生任何變化。

隨着降落高度(也就是撞擊力)的增加，超過某種限度，則在被撞擊的玻璃上就發生裂紋；可是這時因為外層玻璃的內表面與襯片保持牢固粘結，它的碎片並不脫落。襯片始終是完整如初而不破裂。

隨着鋼球的降落高度的繼續提高，就會使玻璃碎片和襯片脫離；雖然碎片在撞擊的時候脫落下來，但是它中間的襯片這時却仍然是完整的。

最後，當鋼球的降落高度再度提高時，裡面的襯片即發生破裂，則試樣就瓦解成為若干分離的小塊。

用兩片厚度各為2.5公厘的玻璃和厚度為0.5公厘的賽璐珞片，用普通方法膠合而成的賽璐珞夾層玻璃，其類似試驗結果，應當具有下列特性：

(1) 當標準鋼球從約達0.25公尺的高度降落時，需保持玻璃的完整無恙(其中沒有裂紋現象)；在這種情況下，其撞擊動能

不超过 0.20 公斤公尺；

(2) 当鋼球的降落高度由 0.25 公尺提高到 1.25 公尺时，則玻璃就發生裂紋，但是沒有碎片脫离襯片；这个时候它的撞击动能則为 0.20—1.0 公斤公尺；

(3) 当鋼球的降落高度超过 1.25 公尺时，碎片脫落，有时它里面的賽璐珞襯片也同时發生破裂現象；其撞击动能就超过了 1 公斤公尺。

此項試驗結果列入表 1。

由表 1 的数据可見，这种类型的三層安全玻璃，当用撞击动能約在 1 公斤公尺以下的鋼球撞击时，乃是一种安全防御玻璃。

当撞击力更大的时候，就暴露出三層安全玻璃的防御質量不够，則三層安全玻璃就不再成其为不破碎的安全玻璃了；如果在強力撞击之下，則碎片分离，就会引起和普通非膠合玻璃同样的受伤危險了。

总之，在上述情况下，能够承受住約 1 公斤公尺动能的撞击力的三層安全玻璃，就是合格的标准限度。

表 1

鋼球的降落高度，公尺	撞击动能，公斤公尺	撞击时的速度，公尺/秒	玻璃的情况	碎 片	襯片的情况
1.50	1.20	5.42	破裂 破裂 破裂 破裂 破裂 破裂 完整	脫 落	破碎
1.25	1.00	4.95		不脫落	完整
1.00	0.80	4.43		不脫落	完整
0.75	0.60	3.83		不脫落	完整
0.50	0.40	3.25		不脫落	完整
0.25	0.20	2.35		不脫落	完整
0.00	0.00	0.00		沒 有	完整

应当指出，在玻璃和鋼球撞击时互相接触的速度 等于 4.43 公尺/秒的时候，所表示的最大限度的撞击力（由 1.25 公尺的高下降落），应由下式表示之：

$$v = \sqrt{2gh}$$

式中：

h ——鋼球的降落高度；

v ——鋼球降落到終點的速度；

g ——重力加速度（9.81 公尺/秒²）。

這就是說，以每秒 4.4 公尺以上的速度行駛的汽車，前面的玻璃碰上 800 克重的靜止鋼球，就超過撞擊試驗的最大限度的力量以上，那麼汽車司機就有被分離的碎片刺傷的危險。

4.4 公尺/秒的速度，折合成單位計算，才不過約為 16 公里/小時，而汽車沿着優良的公路行駛的時候，往往是以每小時 50、100 公里甚至更大的速度進行。

如果就肯定三層安全玻璃的結果不好，則未免過分倉猝，因為，800 克重的鋼質物體迎面命中汽車的可能性是很少的；汽車玻璃碰上土塊及小石子的可能性最大。

這時情況就劇烈改變了，其最高安全速度就顯著增加。用鑲成 6.0 公斤（而不是 800 克）重的木槌，從 2.5 公尺的高度上（而不是 1.0 公尺）打破三層安全玻璃的試樣，儘管這樣的撞擊動能為 15 公斤公尺（而不是 1 公斤公尺）及撞擊速度為 7 公尺/秒（而不是 4.4 公尺/秒）或 25 公里/小時，但是並沒有碎片脫落，在這方面就可以充分地使人信服。

這是決定於撞擊表面約為 150 公厘的球體半徑（而不是像鋼球那樣為 29 公厘），由於它的撞擊力系分佈在較大的面積上，且此外木槌的硬度也比較鋼球小的多的緣故。

可見，在這種情況下，不論是撞擊物的重量、也不論是撞擊速度，或者是兩種因素合在一起，這都不是撞擊的決定性因素；撞擊物的堅硬程度或柔軟程度以及它的形狀，才是主要因素。后面的兩種因素，系決定於直接撞擊作用分佈在它上面的面積。

因此，蘇聯採用 0.8 公斤重的鋼球從 1 公尺的高度上降落的标准撞擊試驗，是最大的标准撞擊，不是苛求以在三層安全玻璃實際使用上那樣可能發生的典型撞擊為标准。

随着撞击而發生的現象，可分为以下几个連續阶段。

第一阶段——由撞击物体和三層安全玻璃的表面开始接触的时候起，到玻璃上出現裂紋的时候止。

在这一阶段里，三層安全玻璃在撞击作用下很快地就發生彈性变形；接近撞击之处的表面，就具有凹陷的曲綫形。此时，非彈性的玻璃当这样弯曲的时候就开始彈性变形。

第二阶段——从玻璃上出現裂紋的时候起，到最大变形的時候止。

这个阶段，开始超过脆性玻璃的彈性限度，玻璃上就發生两种裂紋：在撞击之处的周圍發生很多的放射形裂紋，以及以撞击之处为中心發生少数的同心裂紋（圓形的、或螺旋形的）。

至于三層安全玻璃内部的彈性襯片，則它在撞击作用下即發生彈性弯曲，可是它依然完整。

此时，玻璃和襯片是在牢固結合的情况下，襯片仍旧还維紧着其已經裂开了的玻璃，因而当撞击的时候不至于引起玻璃碎片向發生弯曲的方向脱离襯片表面而飞散。

三層安全玻璃試样上由撞击而

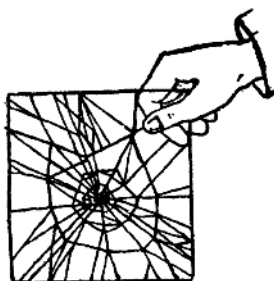


圖 1 在撞击后三層安全玻璃試样上的特征

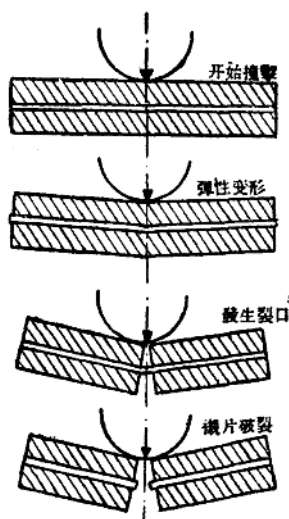


圖 2 三層安全玻璃在撞击时的連續变化阶段

形成之裂紋概視圖見圖 1。

三層安全玻璃各種變形情況的圖解見圖 2。

照這個圖形看來，可見撞擊動能首先消耗在三層安全玻璃的全部三層的彈性變形上（彎曲、第一形態），然後消耗在玻璃板的破裂上（玻璃上發生裂紋，第二形態），此後即隨著三層安全玻璃的最大限度的彎曲，動能卻消耗在內部襯片的更進一步的彈性伸張（第三形態）上。

如果，撞擊動能這時候還沒有完全消耗完，則轉入第三階段——襯片破裂，及三層安全玻璃即破裂成碎塊（第四階段），同時這些碎塊就在彎曲方向脫離。

可見，撞擊強度同時既表示玻璃又表示襯片。但是，如上述當撞擊動能等於 0.20 公斤公尺的時候，就會使三層安全玻璃上的玻璃裂口；由於誤差不大，可容許玻璃在發生裂口以後不再參加撞擊動能的消耗，因此，撞擊動能就只是耗用在襯片的變形和破裂上。如果是用賽璐珞襯片，當撞動能為 1 公斤公尺的時候即行破裂。

可見，在這種情況下，最大撞擊動能的 20% 是耗用在對玻璃的破壞上，而 80% 是消耗在對襯片的破裂上。

這只是表示該三層安全玻璃所構成的對比關係，也就是兩片各為 2.5 公厘厚的玻璃板和 0.5 公厘厚的賽璐珞襯片的對比關係。

如果在這個體系中只改變第一層玻璃和第二層玻璃的厚度比，而不改變襯片的厚度，則以上所述之玻璃的應變能和襯片的應變能的數值之間的百分比就打破了。

這由下例可見，當撞擊物體作用在玻璃+襯片+玻璃的組織上面的時候，襯片材料中就發生膠着力（在玻璃上發生裂口以後），其關係式如下：

$$\frac{P \cdot l}{2} = ph,$$

式中：P ——撞擊力；

l ——由支點到撞擊方向的距離；

p ——破坏襯片的应力;

h ——表層玻璃的厚度 (圖 3)。

由此

$$p = \frac{P \cdot l}{2 \cdot h}$$

由这两个公式可以看出, 当其他条件相等时, h 的数值愈大, 則襯片中發生的应力就愈小, 而且三層安全玻璃就愈不容易裂成碎塊。

可見, 当上面那一片玻璃厚的时候, 所需要的破坏撞击动能較大, 例 圖 3 当三層安全玻璃荷重时襯片中的張力如, 1.2 或 1.3 公斤公尺, 可是玻璃的破裂应变能几乎没有改变, 仍为 0.2 公斤公尺, 則应变能之比就变成另一种样子。

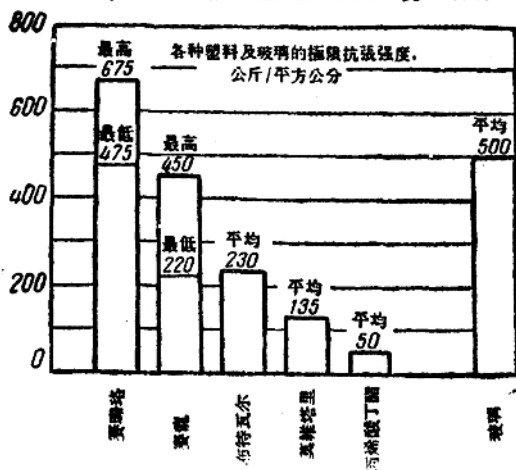
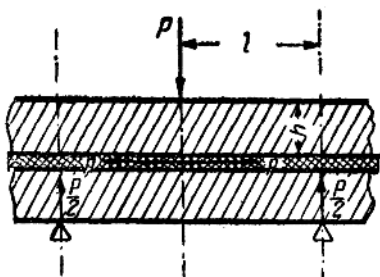


圖 4 几种材料的極限抗折强度

由引用之应力分析, 尚可得出一个結論, 就是: 为了使三層

安全玻璃达到最大的强度，靠加厚背面玻璃而适当造成更厚的表层玻璃以增加三层安全玻璃的强度，并不发生本质上的影响。

当三层安全玻璃被撞击时有关襯片破裂方面的强度的数据即如上述。

关于各种襯片抗张强度的数据见图 4。

但是，三层安全玻璃的安全质量，不仅只是要求保持襯片的完整，而且还要求玻璃碎片不与襯片脱离。这种要求，首先要决定于玻璃和充作胶合玻璃内部襯片的薄膜之间的胶合强度。

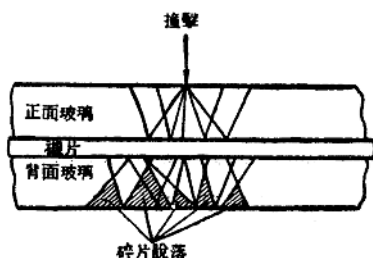


圖 5 撞击时背面玻璃中的剝落

片脱落，见图 5）。

因此，当研究試样的撞击结果时，最好詳細地表示出試样中所發生的全部变化的特徵，以便根据一定的標誌来評定它的强度。

为了这个目的，用实际經驗制訂出等級表（表 2^①），利用該表就可以按照五級制，而以标记的形式来評定三层安全玻璃的撞击試驗結果。

当三层安全玻璃与普通玻璃相比較的时候，在标准撞击强度方面，应当考虑到厚度为 5~6 公厘的普通玻璃在 0.8 公斤重的鋼球从达 0.15 公尺的高度落下的时候，就被打成碎塊。

可見，就不碎性來說，标准質量的三层安全玻璃約超过普通玻璃 7 倍，而且在 1.0 公斤公尺的撞击力量的限度內，是絕對沒有碎片的。

① 作者在表 2 中所引用的等級，系 H. Л. 克拉斯尼科夫工程师 1937 年在“汽車玻璃”工厂工作中所实际运用的。

总而言之，要在撞击时沒有碎片，必須保持三个主要条件：1) 玻璃和彈性襯片的胶合应当牢固；2) 彈性襯片本身应当具有必要的强度；3) 玻璃不应当厚到致使碎片脱落而不暴露襯片那样的程度（碎

表 2

三層安全玻璃抗冲击强度的質量評定等級表

缺点名称	缺点测定法	在标准冲击结果标志中的評定				
		1(坏)	2(不及格)	3(及格)	4(好)	5(極好)
1. 从撞击方面破裂	玻璃裂成小块未暴露襯片	許可	許可	許可	許可	許可
2. 从兩方面破裂	玻璃裂成小块未暴露襯片	許可	許可	許可	許可	許可
3. 掉渣	玻璃局部脫离襯片直徑25公厘或沿裂口寬6公厘	許可	許可 許可在直徑25公厘的中心內5公厘的裂口整片脫落	許可在10~15公厘的中心內寬3公厘的整片脫落	許可在交叉之處及在直徑5~8公厘的中心內个别点脫落	不許可
4. 碎片	玻璃碎片在分裂之处脫离襯片及掉渣	許可 許可总重量为試样重量的0.5%	許可 許可其掉下來的渣子一起的总重量为試样重量的0.5%	許可 許可其总重量为試样重量的0.3%	不許可	不許可
5. 貫穿裂口	在玻璃裂口的地方襯片破裂	許可	許可	不許可	不許可	不許可
6. 分裂	玻璃沿全部襯片表面脫落	許可	不許可	不許可	不許可	不許可
7. 散落	玻璃同襯片分裂整片脫落	許可	不許可	不許可	不許可	不許可

光 学 指 标

透过膠合玻璃的良好視度，乃是对它提出的基本要求之一。

在快速运输工具的行駛条件下，用不着特別費力就能够看見到周圍明朗的、清晰的和正确的情景，是十分必要的。

拥有良好的視度条件——这就意味着可能了望到不昏暗的（明朗的）、不模糊的（清晰的）和無畸形变态的（正确的）情景。

在研究与良好視度有关的问题的时候，应当考虑到在光綫流直接通过时，由于光綫流透过膠合玻璃，通常發生下列变化：

1. 一部分射綫被表面阻住和反射回，另一部分則被玻璃和襯片物料所吸收，因此經過玻璃透过去的光的强度，就較射入玻璃的光的强度为小。

由于光通量的强度如此減弱，則透过玻璃即見到微弱的（朦朧的）情景；此外，有时且被有色玻璃感染成任何色彩。

2. 由于有些使小玻璃的渾濁和模糊的不透明或半透明的微小質点（主要在兩層玻璃之間的那層），因而当光綫通过玻璃和襯片时，一部份被散射。

可見，除了保持光綫本身原有的定向性以外，在各种不同方向中尚發生迷惑視覺的、散漫的分散光綫。由于这个緣故，就使可見情景的清晰度变坏，光源和陰影之間原有的对照变成不大鮮明，景像上好像盖上了一層薄霧一样，而且凡不通过玻璃可以見到很多清楚的詳細情景，通过玻璃即使其辨別不清或者是完全看不出来。

3. 如果玻璃的表面不是正規平面和不是完全沒有波紋，則当部分光綫通过这种玻璃的时候，即使其原来的方向改变，因而就得出歪曲景像：其中个别部分發生位移，景象的个别詳細情節的位置及形狀是和真实景象不符的，不正确的；同时还發生幻像錯誤的情况。

上述三种現象，即構成平板膠合玻璃的主要的光学特性并可

測定其下列各項指标:

- (1) 透明度;
- (2) 混濁度;
- (3) 歪曲度。

第(1)、(2)兩項指标, 互相之間是有些关系的, 因为玻璃的混濁度对其透明度有一定的影响; 但是, 視度由于玻璃的混濁而惡化的程度和混濁度所使总透明度降低的程度比較起来, 在混濁度增加时前者增加的快得多。

因此, 为了充分表示玻璃的特性这两种指标, 应当分別測定并应構成玻璃質量的兩種单独指标。

可引用以下專門准备的同样厚度的五塊試样的資料的比較, 作为上述情况的例証。第一塊試样不經任何加工; 第二塊試样用細磨料加以極輕微地研磨, 使其具有輕微的可見混濁度; 第三、第四和第五塊試样, 全部加以重磨, 而且使第五塊試样的表面上具有那样無光澤的程度, 即由于形成的混濁性致通过它任何东西也看不見。

上述五塊試样的透明度、混濁度和視度的比較数据 列入表 3。

表 3

試样号数	透明度%	总光通量的混濁度%	視度特性%
1	85.9	0	100
2	84.3	8.6	75
3	82.1	11.7	50
4	79.0	22.9	25
5	77.3	46.0	20

研究这些数据可以得出这样的結論, 即当总透明度約減低 9% 时 (由 86% 減低到 77%), 則透过玻璃的視度即降低至零,

可見透明度的概念與視度的概念完全不一樣；一種透明度為77%的玻璃可能有良好的視度範圍，而另一種透明度也同樣是77%的玻璃，可能表現出透過它就完全沒有視度。

可見，透明度指標和視度指標，其相互之間不是單一的從屬關係，而且它們彼此之間可能有顯著的分歧。

透明度、混濁度和歪曲度分別研究如下。

當光通量 I_0 通過時透過一塊兩面平行的均勻玻璃，照例發生下列現象：

1. 當光線射在玻璃表面上的時候，其表面即發生局部反射：一部分光線被玻璃反射成相反的方向。光通量 I_0 的反射部分的數值為 ρ ，其中 ρ ——反射率等於 $\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$ ；在該式中 n 是玻璃的折射率，普通玻璃的折射率等於 1.52。

此時，求出 ρ 的數值如下：

$$\rho = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = \frac{(1.52-1)^2}{(1.52+1)^2} = \frac{0.52^2}{2.52^2} = 0.04,$$

則該數值

$$1-\rho = 1-0.04 = 0.96。$$

另式為：

$$1-\rho = 1 - \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = \frac{4n}{(n+1)^2}。$$

所以，表面反射的光通量等於 ρ ，為 I_0 的 0.04，也就是為射到玻璃上的光通量的 4%，而 $I_0(1-\rho)$ 或 96%，則為射入玻璃內的光通量（圖 6）。

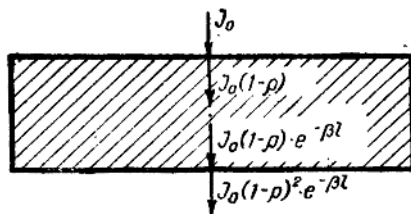


圖 6 光通量經玻璃板透過時的變化