

PC 注塑制品常见缺陷分析及解决方法

董钜潮 周颖南 黄建军 黄光宗

(广东顺德震德塑料机械厂有限公司, 顺德 528300)

摘要 针对聚碳酸酯(PC)粘度高、热稳定性较差、成型加工困难的情况,对多年来注塑过程中遇到的各种制品缺陷及所采取的措施进行了深入的分析、总结。介绍了PC的加工特性及注塑制品中常见的变色、银纹、气泡、冷料斑及内应力等缺陷,分析其成因并提出了相应的解决方案。

关键词 聚碳酸酯 注塑 制品缺陷 分析

聚碳酸酯(PC)是一种性能优异的工程塑料,不仅透明度高,冲击韧性极好,而且耐蠕变,无毒性,使用温度范围宽,尺寸稳定性好,电绝缘性优良,耐候性好,因此被广泛应用于仪器仪表、照明用具、电子电气设备、家用电器、包装等行业^[1,2]。另外,随着高分子材料技术的突飞猛进,其改性新品种不断出现,也极大地扩大了它的应用领域。同时,其加工技术也越来越受到各方面的重视。

PC是分子主链结构中含有苯环、异丙基、酯键的线性聚合物,这种结构使其既有刚性又有一定的柔韧性,以及良好的耐高温能力,但同时存在着树脂的熔体粘度高、对水分敏感等不足,给注射成型加工带来一定的难度^[1]。其加工工艺特性是无明显熔点,在正常加工温度即230~320℃范围内熔体粘度高,粘度对剪切速率的敏感性小而对温度的敏感性大,近似于牛顿流体行为;对水分敏感,高温下树脂易水解;制品易产生内应力等。由此可见,PC是一种较难加工的塑料。因此在实际生产过程中,我们遇到的问题较多。现就几种较常见的制品缺陷来加以分析和探讨。

1 制品变色,出现变黑、黄纹及黑点

相对而言,PC的耐热性较好,通常加工普通PC料时,可将其熔融温度设定在240~300℃,即使长时间停留,一般也不会分解。可为什么在生产一些电器制品时,经常会出现变色现象呢?这是因为现在市场竞争激烈,为了降低生产成本,绝大多数厂家生产中低档电器制品时大都使用PC改性料或再生料,甚至有些厂家使用自己加入阻燃剂、填充剂等配混的料。由于这些料品流驳杂,而塑化要求较高,工艺方面控制就较困难,从而出现这样那样的问题。

针对上述现象,需从以下几个方面进行考虑和寻找解决方法:

(1) 工艺条件方面 主要考虑熔融温度,一般

要逐段降低机筒温度,特别是前两段的温度,而且针对不同的料使用不同的温度,如用聚乙烯(PE)改性PC生产大型电器制品,一般应将机筒温度控制在230℃左右;再如用ABS或PS改性PC生产开关、插座等小型电器件时,机筒温度一般应控制在250℃左右;而用PBT改性PC生产灯饰制品时机筒温度一般应控制在280℃左右^[3]。当然,成型温度的最终选定还要综合考虑制品形状、尺寸、模具结构、制品性能要求等方面。其次是对原材料充分干燥,减少微量水分对热熔体催化裂解的可能。另外,若螺杆转速太快、背压太高、注射速率太快,以及喷嘴孔径、流道、浇口尺寸太小等都会使熔体产生高的剪切热,造成PC出现熔体破裂现象,而且易使模腔内气体不能及时排出,造成制品局部灼伤而变黑。

(2) 设备方面 由于PC熔体粘度高,流动性差,需要的注塑压力大,与金相接合力强,分解物对金属有强腐蚀性,所以在选择加工设备时,要求选用小型的或特殊设计的、镀铬的螺杆,而且塑化系统不允许有死角、呆料、缺口、裂缝等情况出现。一般说来,如果工艺条件没问题,而对空注射时发现熔料有变色现象,这说明塑化系统有问题,需逐一检查塑化系统,从喷嘴开始,到喷嘴法兰、三小件、螺杆、机筒。有时制品会每隔一段时间呈周期性地出现两三模大片变色的情况,这多半与塑化系统存在呆料有关,因PC分解物超过一定量时具有自身催化作用,引发一大片熔体分解,特别是加入了阻燃剂的塑料。这就要找出呆料点如螺杆粘料、存料,机筒粘料等,需通过清洗、修补、抛光加以解决。

(3) 用料、操作方法方面 若一开机就发现有黑点,这多半与机筒存料有关。故须注意操作方式方法,当开机前机筒所存料为PC时,要用新料在成

型温度下将机筒清洗 3 ~4 次(对空注射), 如果所存料为别的料, 特别是热稳定性差的料如 PVC、POM 等, 这就要求在开机时不能升高温度, 而且不能用 PC 料清洗机筒, 只能在较低温度下用热稳定性好的料如 PS、PE 等清料, 清洗干净后, 再把机筒温度升至 PC 正常加工温度, 然后用 PC 料清洗一下, 方可进行加工。在加工过程中, 如需临时中止生产, 则需将机筒温度降到 160℃ 以下保温(因 PC 的玻璃化温度为 160℃), 以免时间过长物料分解而变色。完成生产任务时, 可用 PS、PE 等热稳定性好的料清洗机筒, 清空后停机。

如果在生产过程中一直有变色现象, 就需首先检查用料是否有问题, 比如是否掺杂了其它料及异物, 新料是否存在质量问题, 浇口料是否合格, 配混料是否配法正确等, 一一排除后, 再检查其它原因。

另一个因素是环境污染比较严重, 如空气中游离着许多灰尘, 模具被污染, 自烘式料斗过滤网不起作用而吸进较多尘粒等。这就要求加工车间时刻保持干净、整洁, 最好用细纱布把料斗进气口、出气口蒙住, 这在加工透明制品时非常必要。

2 制品出现银纹、气泡、真空泡

制品出现银纹、气泡、真空泡, 是 PC 料常见的制品缺陷之一, 引起这些缺陷的原因较多且复杂, 故较难以判断和排除。

银纹(或气纹)是指塑料在充模过程中受到气体干扰而出现在制品表面熔料方向上的缺陷。气体的成分主要包括水汽、空气、分解气及溶剂气, 其中以水汽、分解气和空气为多见。当这些气体超过一定的限度时, 在注射成型后模腔失压, 接近制品表面的气体就会冒出来, 沿料流方向刻蚀成一连串在光照下闪闪烁烁的大大小的泡点, 称之为银纹或气纹。实际上, 在注塑过程中气体的存在是不可避免的, 而且有相当一部分还残留在塑料内部。当模内压力足够大, 而气体含量又不超过一定的限度时, 气体以分散的状态溶解到塑料里面去; 但当模内压力不够大, 而气体含量又超过一定的限度时, 这些气体便从熔融塑料中纷纷释放出来, 到达制品表面而形成银纹, 困闭在厚的壁体内而成为气泡。无论是制品表面的银纹, 还是制品壁内的气泡, 都可能是由 4 种气体中某一种气体为主的作用结果或几种气体共同作用的结果, 它与原料、模具、塑化系统、工艺参数的调节、甚至天气的变化(尤其是湿度的变化)等因素有很大的关系^[3], 所以这个问题比较复杂。但不

管怎样, 问题的重点及解决对策应该集中在气体上, 也就是说应如何控制气体的含量。

(1) 水汽 一般说来, 如果气泡不规则地分散在制品表面, 大都是由水汽所引起的。PC 的热熔料对水分非常敏感, 要求含水量在 0.02% 以下。所以要控制水分的含量, 就要对料进行充分的干燥。一般 PC 料的干燥温度在 120℃ 左右, 干燥时间 4 h 左右, 时间不能太长, 如超过 10 h, 物料易变质, 特别是加入了阻燃剂的料更不宜干燥时间过长; 而干燥方式则以除湿干燥机的效果为最好, 对料也没有影响。检查干燥效果是否良好, 可用对空注射法, 看射出的料是否连续、光洁且不冒白气。

(2) 空气 如果气泡粒极为细微而密集, 主要分布在制品浇口周围, 形成光芒状纹或扇形纹, 这多半是空气引起的。空气来源为: ①料内夹带空气。当浇口料较多, 且颗粒大小相差悬殊时, 易夹带空气。所以使用浇口料时, 最好把粉料筛选出来。若熔融时背压太低, 螺杆转速又太高, 使螺杆回退过快, 空气易随料一起推向机筒前端, 故一般提倡在冷却时间内尽量延长熔融时间, 这对提高塑化质量是很有帮助的。若下料段温度控制不好, 温度过高会使一部分料过早熔融而堵塞了空气退出下料口的通路; 而温度过低则预热不够, 使一部分粒料进入均化段而裹入空气。另外, 松退量过大也会吸入空气。遇到上述情况, 一般调节螺杆转速、背压及松退量可大致能够解决。②充模过程中的排气。为了使熔体粘度较高的 PC 料能顺利充模, 一般是提高熔料温度和增加注塑压力。在高温高压下, 如果注射速率较快, 熔体会突然穿过狭窄的流道和浇口进入具有较大自由空间的模腔, 这样从熔体中释放出来的气体再夹带流道及模腔内的空气而形成高速喷射状态, 在冷凝塑料表面就会出现分散气流的痕迹即气纹^[4]。另外, 如果模腔内转角较多、厚薄相差过大, 或镶件多、浇口位置不当时, 熔体就会涌入模腔, 激荡模内空气形成涡流, 在一定的部位就会形成气纹, 如成型电器产品的开关插座面板, 由于其插口、接口及开关都集中在一个部位, 故经常会出现这种情况。解决此缺陷的办法是, 一方面修改模具, 加强模具排气, 优化浇口位置; 另一方面降低充模速率, 特别是有气纹部位的注射速率。

(3) 分解气 由于 PC 料需在高温下成型, 产生一些分解是不可避免的, 不过如何避免大量分解及怎样排除气体却是值得探讨的。同上述的变色一

样,产生分解气的主要原因是熔体温度过高。比如,机筒温度设定过高,或机筒的发热圈控制失调,应由喷嘴开始,逐段检查发热圈,以降低机筒温度;熔体在机筒里停留时间过长(如生产小制品使用大设备,缓冲垫量过大),成型周期太长,或机筒内的呆料、死角处存料因长时间受热而引起分解;或熔体在机筒里受到强剪切作用,如螺杆的压缩比过大,螺杆转速过高,背压太大等也会分解。另外,喷嘴孔径过小,模具浇口、流道太小,型腔阻力大等均能使通过的熔体因摩擦而造成局部过热而分解,因此加工 PC 料时,所取喷嘴孔径、浇口、流道尺寸都较大,排气槽要深,且不宜制作薄壁制品。

还有一个重要原因是 PC 本身质量差,容易分解,这一点常常被用户所忽视,而把问题推到模具及加工设备上,从而找不到解决问题的正确办法。

(4) 溶剂气 溶剂气主要与生产中操作质量有关,如机筒清洗不干净,助剂加得过多等。溶剂气可通过充分干燥除去大部分,它对气纹影响不是很大。

透明制品内部存在的泡点有时很难分清是气泡还是真空泡。一般认为,如果开模瞬间已发现存在泡点,而且存放一段时间后体积没什么变化则为气泡,属于气体干扰引起的;如果在脱模冷却过程中出现并变大,则属于真空泡。真空泡的形成是由于充模时料不足或压力较低,在模具急剧冷却作用下,与模壁接触的熔料表面首先固化,然后中心部分的熔料冷却收缩,造成体积缩小而形成中空即泡点。其解决办法是:①提高注塑压力、注射时间和料量;②调整料温:当真空泡远离浇口位置时,提高料温使熔料流动顺畅,压力能传递到远离浇口的部位;当真空泡在浇口附近时可降低料温使收缩减小;③适当提高模具温度,特别是形成真空泡部位局部的模具温度;④将浇口设在制品厚壁部位,改善喷嘴、流道和浇口的流动状况及模具排气状况;⑤缩短制品在模内的冷却时间,必要时将制品投入热水中缓慢冷却;⑥用点浇口成型的制品可用慢速、低温成型来解决真空泡问题,当流道上有真空泡时可加大流道尺寸。

另外,在生产过程中还发现 PC 制品脱模后很快在厚壁部位出现鼓泡现象,这是由于冷却不够使 PC 内部气体膨胀造成的。一般可用延长冷却时间、加强冷却效果、提高保压压力和时间、延缓 PC 分解等措施解决。

3 制品出现“指纹”及乱流痕

由于 PC 熔体粘度大、流动性较差,故制品较易

出现“指纹”及乱流痕现象。这两种现象在加工开关插座件及一般电器件面板时较为常见,而这两种现象又由于形状相似,有时很难区分开来。其实,这两种现象的形成原因不尽相同,而且其解决方法也是不尽相同的。

(1) 指纹 “指纹”因其形状像人的手指纹而得名,有时又称为波纹、震动纹或震纹,就是说其纹路像石头掉在平静的水面所形成的一样。其产生的原因主要是 PC 熔体粘度过大,当注塑压力、注射速率较小时,熔体便以滞流形式充模,前端的熔料一接触到冷的模具表面,便很快冷凝收缩,而后面热的熔料在压力的推动下胀开已收缩的冷料继续前进,如此过程的交替进行,便在料流行进方向上形成垂直波纹线。其解决方法是:①提高温度,主要是提高喷嘴温度和机筒前端温度及模具温度,特别是产生波纹处的温度。这是为了降低 PC 的熔体粘度,提高熔体流动性。而且如果制品比较精密,对外观要求严格,就需增设模温机,精确控制模具温度在 120℃左右。②增加注射速率和注塑压力,主要是为了增加“指纹”处的熔体流动速率,杜绝熔体以滞流形式流动。如果“指纹”产生在制品中央或远离浇口位置时,就要采用多级注射,逐段调节注射速率。③修改模具,主要是为了减小熔体在充模过程中受到的阻力,如加大流道、浇口尺寸;注意对喷嘴孔及流道抛光;加大排气沟、槽;设置镶件、顶杆引气装置;改善模具排气状况;设置足够大的冷料阱,减小前端冷料的阻流作用。

(2) 乱流痕 乱流痕是指在 PC 制品上出现以浇口为中心的不规则的流线现象。与“指纹”线不同的是,乱流痕是顺着料流方向而不是垂直料流方向出现。其原因可能是由于被注射到模腔的熔料受到大的冲击,从而在冷模上时粘时滑所致。其解决方法是:①提高熔体温度,以减少熔体的过早冷却;②提高模具温度,特别是出现乱流痕部位的温度,以防止熔料在模腔内过早冷却而滑动;③采用多级注射,将出现乱流痕部位的注射速率、注塑压力适当降低;④改变浇口位置,以改变熔料的流动方式;⑤加大冷料阱,防止冷料在模内滑动;⑥改用流动性好的料,使熔料充模顺畅。

4 制品出现冷料斑

冷料斑是 PC 制品浇口部位常见的缺陷之一,其现象是制品近浇口处带有雾色或亮色的糊斑,或来自浇口的粘在制品表面的宛若蚯蚓的弯曲疤痕。

其形成的原因主要是由进入模腔的熔料前锋冷料的推进或因过度保压作用而后来挤进模腔的冷料造成的,前锋料因为喷嘴与冷模板接触或流道的冷却作用传走了热量,在进入模腔时,又有随之而来的热熔体的推挤,于是就形成了冷料斑。冷料斑在较薄的制品上将被摊开而成为烟雾状或糊状混浊斑痕,而在自由流动的厚壁制品上将留下一条弯曲走向形如蚯蚓的疤痕。至于由过度保压作用所形成的冷料斑,是因保压时间过长,在保压压力过大的情况下将流道、浇口上的冷料继续挤进制品所致,这种冷料斑往往使靠近浇口的一片很小的范围形成圆形的亮斑。还有一种是熔料快速挤进小的浇口而在浇口周围造成熔体破裂,或因模内气体的干扰使浇口处出现烟云状或光芒状亮斑。冷料斑不但损害了制品的表观质量,而且影响后续工序如喷涂或电镀的效果,也不同程度地降低了制品的力学强度。对此缺陷可采取的解决措施为:①调高机筒和喷嘴温度,提高模具温度,以减少冷料的影响;②减慢注射速率,增加注塑压力,以免熔体破裂或模内气体的干扰;③调节注射时间和保压时间,避免过量充填;④合理的模具浇口设计可以预先减少或避免冷料斑的形成,传统而有效的方法是在流道末端开设冷料阱,使前锋料陷入阱内而不致进入模腔,而有些模具除设冷料阱外,还需要考虑浇口的形式、大小和位置的合理性;⑤加强模具排气;⑥去除料中污染物,强化物料的干燥效果,减少或调换润滑剂,尽量少用脱模剂。

5 透明制品的内应力

在生产 PC 透明制品如太阳镜、挡风罩、眼罩等制件时,经常会发现制品变形、散光、透明度不好及开裂等现象,这主要是由于制品内部存在内应力的缘故。其实在不透明制品内部也存在内应力,只是表现不明显罢了。内应力是指在没有外力的情况下,塑料内部由于成型不当、温度变化等原因所产生的应力,其本质是塑料分子高弹变形被冻结在制品内而形成的。塑料制品的内应力可影响制品的力学性能和使用性能,如产生翘曲、变形甚至细小裂缝;制品光学性能变差、制品变浑浊等。内应力还会使注塑制品在流动方向上显示出较高的力学性能,而垂直于流动方向的强度则较低,使制品性能不均匀,从而影响制品的使用。特别是当制品受热或与有机溶剂接触时将会加速制品开裂。

PC 制品的内应力主要是由取向应力和温度应力引起的,有时也与脱模不当有关。

(1) 取向应力 注塑制品内部大分子取向后易产生内应力,造成应力集中。在注塑时熔体迅速冷却,在较低温度下熔体粘度较高,取向的分子不能充分松弛,如此产生的内应力对制品的力学性能和尺寸稳定性都有影响。所以熔体温度对取向应力的影响最大,提高熔体温度时熔体粘度下降,因而剪切应力和取向降低。此外,在高的熔体温度下取向应力的松弛程度较大,但当粘度降低时,注塑机螺杆传递到模腔的压力增大,可能使剪切速率提高,导致取向应力增大。保压时间太长,取向应力增大;提高注塑压力同样会因剪切应力和剪切速率的增加而引起取向应力的增大。制品厚度对内应力也有影响,取向应力随制品厚度的增加而降低,因为厚壁制品冷却缓慢,熔体在模腔内冷却、松弛时间较长,取向分子有充足的时间回到无规状态。若模具温度高,熔体冷却缓慢,可使取向应力减小^[4]。

(2) 温度应力 塑料在注塑时熔体温度和模具温度之间温差很大,这使靠近模壁的熔料冷却较为迅速,因而产生了在制品体积内分布不均匀的应力。由于 PC 的比热容较大,导热系数小,制品表面层比内层冷却快得多,制品表面所形成的凝固壳层会阻碍内部继续冷却时的自由收缩,其结果引起制品内部产生拉伸应力而在外层则产生压缩应力。热塑性塑料由收缩产生的应力越大,则材料在模内因压实作用所产生的应力越低,即保压时间短,保压压力低,可大大减小内应力。

制品形态和尺寸对内应力也有很大的影响。制品表面积与体积之比越大,表面冷却越快,取向应力、温度应力也越大。取向应力主要产生在制品薄的表层内,因此,可以认为取向应力应该随制品表面对其体积之比的增加而增大。若制品厚度不均匀或制品带有金属嵌件都容易产生取向应力,所以嵌件和浇口都宜设置在制品厚壁处。

通过以上分析可知,由于塑料的结构特征及注塑工艺条件的限制,要完全避免内应力是不可能的,只能尽量减小内应力或尽量使内应力在制品内分布均匀。其方法是:①注射温度对制品内应力大小影响很大,因此要适当地提高机筒温度,保证物料塑化良好,使组分均匀以降低收缩率,减小内应力;提高模具温度,使制品冷却缓慢,以松弛取向分子,降低内应力。②过高的注塑压力可使塑料分子取向作用增大而产生较大的剪切力,使塑料分子有序排列,制品取向应力增大,因此,要尽量采用较低的注塑压

力;若保压时间太长,模内压力由于补压作用而提高,熔料产生较高的受挤压效应,分子取向程度提高,使制品内应力增大,因此保压时间不宜太长。③注射速率对注塑件内应力的影响比温度、压力等因素要小得多,不过最好采用变速注射,即快速充模,当模腔充满后改用低速,变速注射一方面充模过程快,减少熔接痕,另一方面低速保压可减少分子取向。④合理设计浇口位置,扁平制品最好采用缝形、扇形浇口;顶出装置应设计成大面积顶出;脱模斜度要大。⑤尽可能使用较好的料(含杂质少,分子质量大),不用浇口料。⑥当制品带有金属嵌件时,嵌件材料需预先加热(一般要求达 200℃左右),以防止金属材料与塑料材料线胀系数不一致而产生内应

力。过渡处需用圆弧过渡。⑦出模后可用热处理方法消除内应力。热处理的温度为 120℃左右,时间 2 h 左右。其实质是使塑料分子中的链段、链节有一定的活动能力,冻结的弹性变形得到松弛,取向的分子回到无规状态。⑧最好不用脱模剂,否则易引发内应力,造成制品不透明、斑纹或开裂^[1]。

参考文献

- 1 王兴天,钟道仙,罗克航,等.注塑成型技术.北京:化学工业出版社,1991.
- 2 王正远,俞志明,张嘉言,等.工程塑料实用手册.北京:中国物资出版社,1994.
- 3 John Golf 等.塑料注塑技术手册.香港:香港生产力促进局,2002.
- 4 羽田武荣.热塑性塑料及其注塑.郭翠英译.北京:化学工业出版社,1991.

ANALYSIS OF COMMON DEFECTS IN THE INJECTED PC PRODUCTS AND THEIR SOLVING METHODS

Dong Juchao, Zhou Yingnan, Huang Jianjun, Huang Guangzong

(Zhende Plastics Machine Co. Ltd., Shunde Guangdong Province, Shunde 528300, China)

ABSTRACT Aiming at high viscosity, low thermal stability and difficult to process for PC, the common defects of the injected PC products and the corresponding measures taken are deeply analyzed and summarized. The characteristics of PC in the injection mold-ing and the common defects, such as discolouration, craze, blister, cold-slug mark and internal stress, in the injected products are in-troduced, the reasons analyzed and the solving methods put forward.

KEYWORDS polycarbonate, injection molding, product defect, analysis

《石化技术与应用》杂志订阅启事

《石化技术与应用》是中国石油兰州石化公司和兰州化学工业公司联合主办的石油化工技术性刊物。公开发行人。国内统一刊号 CN 62-1138/TQ, 国际标准刊号 ISSN 1009-0045。广告经营许可证号 6201004000005。主要报道石油化工、三大合成材料、催化剂、助剂及石油炼制等方面新产品、新工艺、新设备的开发、技术改造、分析测试及与石油化工有关的环境保护、自动控制、计算机技术等。本刊曾多次被评为全国石油化工行业及甘肃省优秀期刊,已被国内众多的图书馆、高等院校、科研单位及企业订阅和收藏。现已被俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《化学文摘》(CA)及《工程材料文摘》(EMA)等收录。

《石化技术与应用》为双月刊,大 16 开本,单月 10 日出版。每期定价 10 元,全年定价 60 元。全国各地邮局(所)均可订阅,邮发代号 54-102。也可直接向本刊编辑部订阅。国外读者可通过中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱,邮编 100044)订阅,邮发代号 4859BM。同时欢迎您在本刊刊登新产品、新技术及企业、公司形象宣传广告。

通讯地址:730060 甘肃省兰州市西固区合水北路 1 号《石化技术与应用》编辑部

联系电话:(0931) 7314247; 7981693 联系人:赵丰砂 E-mail: shjs @ public. lz. gs. cn

欢迎订阅全国中文核心期刊《机械工程材料》杂志

《机械工程材料》杂志创刊于 1977 年,由上海材料研究所主办,为中国机械工程学会材料分会会刊,是公开发行的有关工程材料的应用类技术期刊,为《中国科学技术论文统计与分析数据库》、《中国科学引文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》等数据库全文收录,2000 年再次入选《中文核心期刊要目总览》,并被国际 EI、CA、SA 和 PK 所收录。本刊内容包括了金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料及其复合材料、功能材料等的综合评述,试验研究,新材料新技术,材料性能及其应用,生产加工工艺及其设备,检测仪器设备与方法,材料科技信息及相关广告等。可供与材料生产、研究相关的企业、大专院校和研究单位的科研与技术人员、管理人员、师生阅读。本刊为大 16 开,56 页,月刊,各地邮局均可订阅,订阅代号:4-221,也可向本刊编辑部订阅;定价:6 元/期,全年 72 元。

本刊地址:上海市邯郸路 99 号 邮编:200437

电话:021-65556775-368 传真:021-65544911 E-mail: mem@mat-test.com