

注塑件缺陷分析及结构设计解决方案

张伟国¹ 李世国² 邴洪源¹

(1. 江南大学机械工程学院, 无锡 214122; 2. 江南大学设计学院, 无锡 214000)

摘要 针对注塑件因结构设计不当而产生的诸如尺寸不良、缩印、翘曲、充填不足、拉模、熔接痕、气泡等注塑缺陷, 分析了问题产生的可能原因, 提出了在结构设计阶段的改良方案, 给出了面向加工可行性的结构设计一般方法, 包括壁厚、加强筋、支柱、脱模斜度、洞孔设计等。

关键词 注射成型 结构设计 缺陷 脱模斜度 解决方案

塑料作为一种新型的工业材料被广泛应用于汽车、家电及一般工业产品中。在塑料材料开发与供应、塑料制品设计与生产(以注射成型为主)、制品表面处理和废旧塑料回收的整个工业链中, 制品设计阶段尤其重要。在该阶段设计人员既要考虑到塑料材料的性能, 又要兼顾制品的可加工性、表面处理的难易程度等, 其选材及设计方案直接影响到后续塑料制品的生产及使用, 这对设计人员提出了很高的要求。以塑料注塑加工为例, 因结构设计不当致使注塑工艺出现各种问题屡见不鲜, 造成了成本增加与资源浪费。显然, 分析注塑件在设计方面存在的问题, 确定合适的解决方案具有十分重要的工程意义。

1 注塑件设计缺陷分析及改进措施

1.1 尺寸不良

设计注塑件时, 如果尺寸参数选择不当, 注射成型后会出现较大变化, 从而影响成品尺寸。

造成尺寸不良可能有多方面的原因, 由设计引起的主要原因是制品壁厚不均匀, 这会导致部件各部分冷却时间、收缩不一致, 壁厚处收缩较大, 且在注塑件内部积蓄残余应力, 从而影响成品尺寸。

在这种情况下应设计合理的制品壁厚^[1,2], 并充分了解塑料材料的收缩率等属性对结构尺寸的影响^[3], 避免出现尺寸不良的现象。

1.2 缩印

缩印是指塑料材料冷却收缩时, 由于厚壁内外冷却速度不一致, 当外部物料冷却凝固后制品中心的物料才开始冷却, 造成壁的表面向内收缩而产生表面局部下沉现象。注塑件表面经常会出现缩印, 严重影响制品的美观及质量。缩印常发生在厚壁或设置加强筋、沉孔处的相对应表面。

(1) 壁厚不均引起的缩印

设计中壁厚过大、壁厚不均匀或内外存在尖角时, 造成制品冷却不均匀, 极易在另一侧表面产生缩印, 如图 1a 所示。在设计过程中应保证壁厚均匀, 避免尖角^[4], 如图 1b 所示。

(2) 沉孔处易出现的缩印

对沉孔结构设计不当会在沉孔另一侧对应外表面产生缩印, 如图 2a 所示。这种场合应改进制品设计避免缩印的



a—壁厚不均、尖角引起的缩印; b—正确设计

图1 壁厚不均引起的缩印及其改善方法

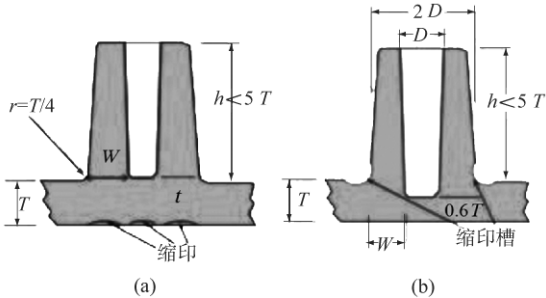


a—沉孔引起的缩印; b—带沉孔制品的正确设计

图2 沉孔处出现缩印及其改善方法

产生^[5], 如图 2b 所示。

通常在设计沉孔尺寸时也要避免缩印的产生。否则, 就会出现如图 3a 所示的缩印现象。其原因主要是尺寸 W 和尺寸 t (螺纹孔底壁到外壁的距离) 过大, 引起该处冷却不均匀, 导致在另一侧出现注塑不良现象。解决办法是: ①减小 t 的尺寸, 使 $t < 0.6 T$ (壁厚); ②若减小 W 尺寸, 则使螺柱的强度不够, 可以在周边设计一圈缩印槽, 防止因 W 过大而引起的缩印现象, 如图 3b 所示。



a—沉孔尺寸不当; b—正确设计

图3 沉孔尺寸不良引起的缩印及其改善方法

1.3 翘曲

制品翘曲变形是指注塑件的形状偏离了模具型腔的形

状, 这是注塑件常见的缺陷之一。翘曲一般是由收缩不均或冷却不均引起的, 收缩本身并不重要, 重要的是收缩上的差异, 一般均匀收缩只会引起注塑件体积上的变化, 只有不均匀收缩才会引起制品翘曲变形。

(1) 不均匀壁厚引起的翘曲变形

注塑件壁厚不均将造成收缩不一致, 因冷却速度不同和产生紊流而造成尺寸不稳定和制品变形, 薄壁部分的熔体冷却迅速, 粘度提高, 引起翘曲, 如图 4 所示。因此在可能的条件下应尽量使壁厚均匀一致。

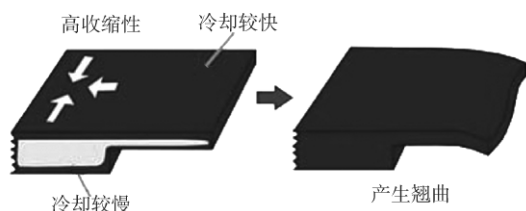
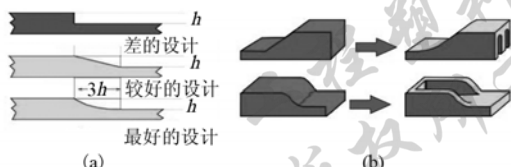


图 4 壁厚变化引起的翘曲

有时为满足功能上的需求, 不可避免地要使壁厚有所改变。此时应尽可能使厚壁处到薄壁处的过渡光滑、顺畅些, 设计时可参考图 5a 中的“最好的设计”方法来避免产生翘曲, 或采用转换区的方法^[6,7], 以保证零件各处壁厚均匀, 如图 5b 所示。

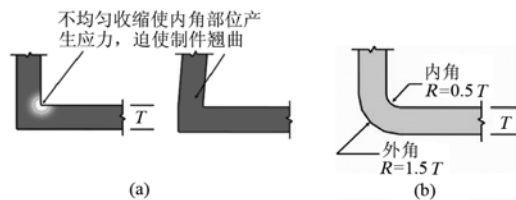


a—由厚壁到薄壁的过渡方式; b—转换区法

图 5 平滑过渡及转换区法改善壁厚变化

(2) 尖角过渡引起的翘曲变形

在注塑件转角位置的设计中, 若设计成尖角过渡或尖锐的圆角过渡, 不但会使转角处产生缺陷及应力集中, 经电镀等表面处理后会起物料聚积, 而且会使该处因冷却不均而产生收缩现象, 使制品变形和翘曲, 如图 6a 所示。较大的圆角提供了这种缺点的解决方法, 不但能减少应力集中, 而且会使熔料流动得更畅顺、制品脱模更容易, 对于一些流动性差的塑料或加入填料的塑料, 制品圆角的设计尤为重要, 圆角设计合理不仅可改善充模性能, 而且还可提高制品的使用性能, 内外圆角尺寸参见图 6b。



a—尖角过渡引起的翘曲变形; b—避免尖角过渡的正确设计

图 6 尖角过渡引起的翘曲及尺寸改良

1.4 充填不足

充填不足主要是材料的流动性差^[8], 或制品结构设计不

合理如局部壁厚设计过小等所致。

对于流动性较差的塑料材料的注射成型, 应该在模具设计及加工阶段采用相应方法加以解决, 以避免可能存在的充填不足问题。尽可能地节省材料并降低成本是制品设计的宗旨, 然而过薄的壁厚则带来充填不足等问题, 势必严重影响制品的合格率。设计人员应了解所用塑料的流动性并根据其熔体流动速率来确定制品壁厚。

1.5 拉模

拉模表现为脱模不良或模伤、拉花等。脱模不良是指成品不能从模具中脱出, 或者脱模困难, 同时会引起制品龟裂、拉白等现象。

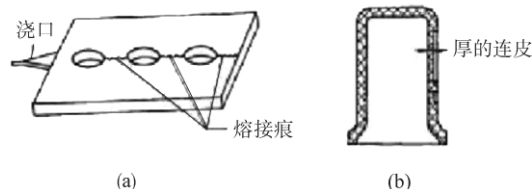
出现拉模或脱模不良是由于设计时没有针对材料属性在脱模方向设置足够大的脱模斜度^[2,7]。设置制品脱模斜度的目的是为了从模具中顺利取出制品, 脱模斜度的大小必须要考虑制品深度及制品的功能。

脱模斜度主要是平行于模具的开关动作方向。脱模斜度的取值范围一般为 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 。对于外表面, 为了脱模方便应在设计时选择较大的脱模斜度, 而加强筋则可选择 0.5° 的脱模斜度。

1.6 熔接痕

塑料熔体围绕型芯流动汇合而形成制品的孔时, 会在孔的边缘汇合处形成熔接痕, 如图 7a 所示。熔接痕的存在削弱了制品的强度, 大大影响了制品的美观及质量。形成熔接痕的主要原因是材料的流动性不良, 壁太薄或壁厚相差悬殊, 或者嵌件太多^[4,6]。

解决熔接痕的措施主要有: ①应适当加大孔与孔之间的距离, 以避免熔接痕的重合连接; ②型孔按盲孔设计, 留有 $1/3$ 壁厚的连皮, 以便使熔体从型芯头上越过, 防止形成熔接痕, 最后钻(冲)掉孔的连皮, 见图 7b; ③对于热塑性塑料和层压酚醛塑料的薄壁孔形件(如散热器窗), 可用冲裁模冲压出型孔。



a—熔接痕的形成; b—解决办法

图 7 熔接痕的形成及其解决方案

1.7 气泡

不透明的制品无法从外面看到制品壁内部的空隙, 必须将其剖开后方可见到。厚壁处的中心是冷却最慢的地方, 而迅速冷却、快速收缩的制品表面则会将原料拉引起来产生空隙, 形成气泡。因此要尽量避免制品壁厚的急剧变化^[3-5]。改善壁厚的方法如前所述。

2 注塑件结构设计方法

2.1 合理选材

一般来说, 没有不好的材料, 只有在特定的领域误用了

材料。因此设计人员必须彻底了解各种可供选择的材料的性能,如收缩性、物理力学性能、成型工艺性等,并仔细测试这些材料,研究其与各种因素对成型加工制品性能的影响。同时还要考虑诸如制品的特点和禁忌、使用时的外界条件、临界条件、使用寿命和使用方式、维修方法、制品尺寸和尺寸精度、成型加工工艺、生产数量、生产速度、成本、材料来源和经济效益等^[9, 10]。选材的一般步骤详见图 8。

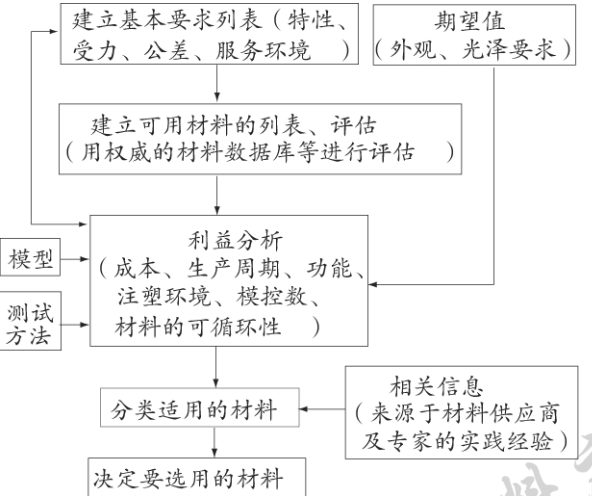


图 8 选材一般步骤

2.2 遵循壁厚均一及转角准则

壁厚是制品设计最先被考虑的因素,壁厚太薄会造成制品强度和刚度不足,受力后容易产生翘曲变形,成型时流动阻力大,大型复杂制品难以充满型腔等缺陷。反之,壁厚过大,不但浪费材料,而且会延长成型周期,降低生产率,还容易产生气泡、缩孔、翘曲等缺陷。壁厚的大小取决于制品需要承受的外力、是否作为其它部件的支撑、承接柱位的数量、伸出部分的多少及选用的塑料材料等。为了节约成本,使制品轻量化及缩短成型周期等,壁厚的选择应该在满足制品功能要求及材料可加工性的基础上取小值。表 1 列出常用塑料的推荐壁厚范围^[11],可供设计时参考。

表 1 几种常用塑料的推荐壁厚范围

名称	壁厚/mm
PA、POM	0.45 ~3.20
PC、PSU	0.95 ~4.50
ABS	0.8 ~3.2

最理想的壁厚分布无疑是均一的厚度分布。均匀的壁厚可以最大程度地减小注塑过程中因冷却不均引起的制品内应力,减小因制品内应力引起的翘曲缺陷,减小气泡给制品带来的危害,减少制品表面缩印产生的可能性等。

为了满足某些功能上的需要而无法避免不均匀的壁厚时,可采用逐步过渡的形式来设计制品壁厚,应尽可能地使从厚壁处到薄壁处的过渡光滑、顺畅些;或采用转换区的方法;还可以设计成两个单独的部件,成型后再装配为一个制品。因为壁厚的突变会导致冷却速度不同和产生紊流,从而造成制品尺寸不稳定和表面缺陷。

壁厚均一在转角的地方也同样重要,应尽可能以圆角过渡,称为转角准则。圆角过渡有利于分散载荷,避免因锐角造成应力集中,提高制品的强度;对于一些流动性差的塑料或加入填料的塑料,为了其充模和脱模,应消除壁部转折处的凹陷等缺陷;制品上设计了圆角,模具的对应部位也应呈圆角,提高模具强度,有利于模具的制造。

2.3 加强筋的设计

为满足制品所需的强度和刚度,只采用增加壁厚的办法往往不合理。这种方法不仅增加了件重,而且易产生缩孔和凹痕等缺陷。在制品设计时应考虑设置加强筋,在不加制品壁厚的条件下,增强制品的强度和刚性,还可以克服制品壁厚差带来的应力不均所造成的制品扭曲变形;此外,加强筋还可充当内部流道,在制品主体某些薄壁处为熔体的充满提供通道。

加强筋一般设置在制品的非接触面,设置加强筋的方向应与熔料的充填方向保持一致,以防止充模时料流被搅乱,降低制品的韧性或影响制品的外观质量。设置加强筋的位置亦受制于一些生产上的考虑,如模腔充填、缩水及脱模等。加强筋的长度可与制品长度一致,两端相接制品的外壁,或只占据制品部分的长度,用以局部增加制品某部分的刚性。如果加强筋没有接上制品的外壁,末端部分也不应突然终止,应逐渐将高度降低直至完结,从而减少困气、充填不足及烧焦痕等缺陷的产生。

使用两条或多条矮的加强筋比使用单条高的加强筋更加优越,可避免厚筋冷却收缩时产生表面凹陷,此时加强筋之间的距离必须较相接外壁的厚度大。设计过厚的加强筋容易产生缩印、空穴、翘曲变形及夹水纹等缺陷,也会延长生产周期,增加生产成本,故应避免之。另外,加强筋的两边必须设置脱模斜度以降低脱模时的摩擦力,加强筋的根部应以圆弧过渡,避免外力作用时产生应力集中而损坏制品,但其根部圆角半径过大则会出现凹陷。加强筋的形状和尺寸参见图 9 所示。

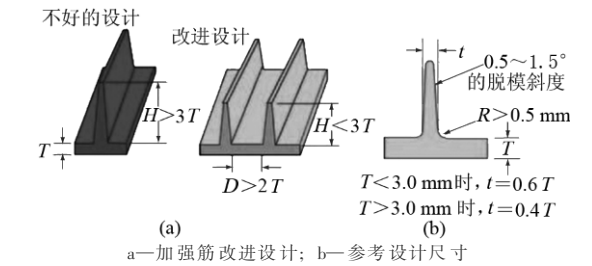


图 9 加强筋的改进设计及参考尺寸 (T 为壁厚, t 为加强筋厚度)

除了以上的要求外,加强筋的设计还与使用的塑料材料有关。从生产角度看,塑料材料的物理特性如熔体粘度和成型收缩率对加强筋设计的影响非常大。此外,从结构方面看,塑料的蠕变特性也是一个重要的考虑因素。

2.4 支柱设计

一个优质的螺钉/支柱设计组合取决于螺钉的力学性能及支柱孔的设计,一般注塑件的壁厚尺寸不足以承受大部分

紧固件产生的应力。从装配角度考虑,局部增加塑料厚度是很有必要的,但是这会引起很多如上所述的不良现象。因此支柱导入孔的设计至关重要。支柱大部分用来装配制品,有时用作支撑其它物件或隔开物体之用。

支柱可采用加强筋连接外壁或远离外壁独立,前者不但增加支柱的强度以支撑更大的扭力及弯曲的外力,而且更有助于塑料填充及减少因困气而出现的烧焦现象。同样理由,远离外壁的支柱应辅以三角加强块,该加强块对改善薄壁支柱的熔料流动特别适用。支柱的形状及尺寸见图 3,三角加强块的具体形状及尺寸如图 10 所示。

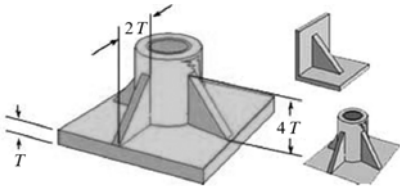


图 10 支柱与三角加强块的设计

2.5 脱模斜度的设计

为了确保注塑件成型时能顺利脱模,必须在脱模方向设置一定的脱模斜度,其大小与所用塑料的性能、制品的成型收缩率和几何形状有关。对于工程塑料的结构件来说,一般应在保证制品能够顺利脱模的前提下尽量减小其脱模斜度。表 2 列出根据不同塑料推荐的脱模斜度^[10]。图 11 示出塑料成型时脱模斜度与单边间隙及边位深度的关系曲线,供参考。

表 2 不同材料适用的脱模斜度范围

名 称	脱模斜度 / (°)
PA、POM、ABS	40 ~90
PC、PSU	50 ~120
PE、PP	30 ~60
热固性塑料	20 ~60

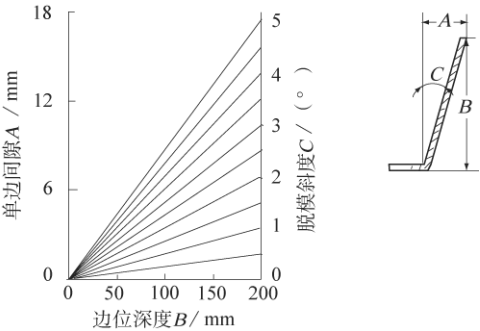


图 11 塑料成型时脱模斜度与单边间隙及边位深度的关系曲线

2.6 洞孔的设计

在注塑件上开孔使其与其它部件相结合或增加制品功能上的组合是常用的方法,洞孔的大小及位置应尽量不对制品的强度造成影响或增加生产的复杂性。设计洞孔时应注意的原则是,孔与孔的间距应大于等于壁厚的 2 倍,孔至边缘的距离也应大于等于壁厚的 2 倍;同时方孔转角也应以圆角过渡,洞孔的壁厚理应尽量大些,以避免收缩应力造成的

不良影响,如图 12 所示。在设计盲孔时,其深度应限于直径 D 的 2 倍,并在盲孔底壁留出不小于 D/6 的壁厚,否则成型时将发生变形,如图 13 所示。

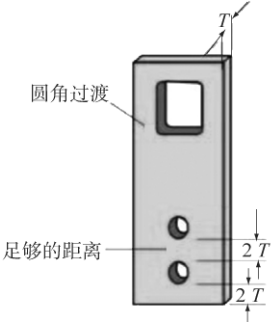
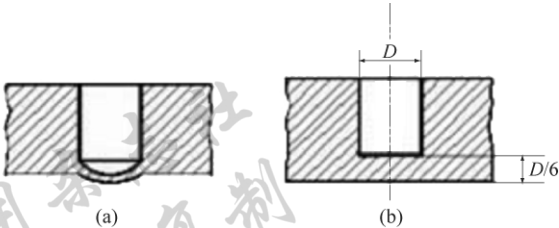


图 12 洞孔设计



a—底壁厚小于 D/6 成型后变形; b—标准设计

图 13 盲孔底壁变形及改善方法

此外,在保证使用要求的前提下,制品的形状应尽量简单,以便于脱模,尽量避免或减少抽芯机构,以提高生产效率、降低成本。

3 结语

塑料制品由于设计不合理,在注射成型时会出现尺寸不良、缩印、翘曲、拉模、充填不足、熔接痕及气泡等缺陷,在制品设计时应采取相应的措施加以避免。同时,针对注塑件可能存在的缺陷,在设计阶段需要遵循结构设计的相关规范和原则,主要包括选材及壁厚、圆角、加强筋、支柱、脱模斜度和洞孔的设计等。

参考文献

[1] 李海梅. 工程塑料应用, 2003, 31(4): 48-51.
[2] 奚东. 塑料科技, 2000(6): 34-38.
[3] 强信然. 塑料加工故障排除方法[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002: 123-162.
[4] 杨凤霞. 塑料, 2003(6): 59-61.
[5] 刘学志. 中国科技信息, 2005(10): 151.
[6] [美] 罗伯特著. 塑料注塑制件设计[M]. 马洛伊, 译. 北京: 化学工业出版社, 2000: 49-87.
[7] [日] 小栗富士雄, 等著. 机械设计禁忌手册[M]. 陈祝同, 译. 北京: 机械工业出版社, 2002: 2-4.
[8] 许荔珉. 模具技术, 2005(2): 43-46.
[9] [美] 哈罗德·贝罗夫斯基著. 塑料产品设计和加工过程[M]. 周南桥, 译. 北京: 化学工业出版社, 2000: 318-326.
[10] 徐佩弦. 塑料制品与模具设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 152-167.
[11] 张子成, 等. 塑胶产品设计[M]. 台北: 全华图书公司, 2005: 15-25.

ANALYSIS ON DEFECTS OF INJECTION CASE AND ITS STRUCTURAL DESIGN SOLUTION

Zhang Weiguo¹, Li Shiguo², Li Hongyuan¹

(1. School of Mechanical Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214122, China;

2. School of Design, Southern Yangtze University, Wuxi 214000, China)

ABSTRACT The defects of injection parts such as bad size, sink mark, warpage, short shot, die, weld lines, cell and so on which were due to incorrect structural design were analyzed. The improvement plan in the structural design stage was proposed. The general method based on processing feasibility included the designs of wall thickness, rib, brace, demolding pitch and hole was put forward.

KEYWORDS injection molding, structural design, defect, demolding pitch, solution

日本旭化成公司开发出全树脂 LCD 反射板

日前日本旭化成公司开发出液晶显示器(LCD)用的新型反射板。由于该新产品全部用树脂制成而不含一般所使用的无机填料,所以其质量只有普通产品的一半,且具有高达98.5%的反射率,比一般制品高出1%。新开发的反射板是在基体PP中充填、分散通用粒状树脂,密度达5 g/cm³。此外,现有的产品因含有太多的无机物而失去柔软性,而新产品使用树脂填充则不会有此问题,且充填量可以更多些,进而生成更多的空隙以提高反射效果。(日本化技)

国内聚烯烃盈利高峰将持续到2009年

中石油公司一位高级管理人员认为,我国聚烯烃产业盈利高峰在2009年之后仍将持续。尽管全球的聚烯烃产能大

幅增长,一些预测机构认为可能会影响未来几年石化行业的盈利能力,从而使全球聚烯烃产业的盈利高峰在2008年达到峰值,但从全球经济走势和国内聚烯烃需求情况看,我国聚烯烃产业在2008年后仍将处于上升通道,可持续到2009年之后。著名分析机构CAMI也认为,中国聚烯烃产业盈利高峰期可能要持续到2009年后。经济因素是主导全球石化行业发展的最终决定因素,化工产业与GDP的关系紧密,化工产品需求的GDP弹性比维持在(1.0~1.5)之间。而种种迹象表明,全球经济整体回暖,预计2005~2010年将保持3%~4%的增长速度。“十一五”期间,我国经济将保持较快增长,预计GDP年均增长7.5%,这对我国聚烯烃产业盈利高峰的持续有着重要的促进作用。(化工报)

关于文后参考文献著录规则执行新标准的通知

本刊从2007年第1期开始执行《文后参考文献著录规则》的国家标准GB/T 7714-2005。请广大作者今后来稿时按新标准或参照本期杂志著录文后参考文献。

顺序编码制文后参考文献著录格式示例:

1 专著

- [1] 赵凯华,罗蔚茵.新概念物理教程:力学[M].北京:高等教育出版社,1995.
- [2] Rood H J. Logic and structured design for computer programmers[M]. 3rd ed. [S. L.]: Brooks/Cole-Thomson Learning, 2001.
- [3] Stevenson J F. 聚合物成型加工新技术[M]. 刘延华,译.北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 韩吉人.论职工教育的特点[G]//中国职工教育研究会.职工教育研究论文集.北京:人民教育出版社,1985:90-99.
- [5] 中国力学学会.第3届全国实验流体力学学术会议论文集[C].天津:[出版者不详],1990.
- [6] Rosenthal E M. Proceedings of the Fifth Canadian Mathematical Congress, University of Montreal, 1961[C]. Toronto: University of Toronto Press, 1963.
- [7] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998.
- [8] Calms R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen[D]. Berkeley: Univ. of California, 1965.
- [9] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group[R]. Geneva: WHO,

1970.

2 期刊、报纸中析出的文献

- [1] 刘晓曦.分级等温法确定发泡聚苯乙烯压缩蠕变性能[J].工程塑料应用,2006,34(12):54-56.
- [2] 李晓东,张庆红,叶瑾琳.气候学研究的若干理论问题[J].北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.
- [3] Hewitt J A. Technical services in 1983[J]. Library Resource Services, 1984, 28(3):205-218.
- [4] 丁文祥.数学革命与竞争国际化[N].中国青年报,2000-11-20(15).

3 专利文献

- [1] 刘加林.多功能一次性压舌板:中国,92214985.2[P].1993-04-14.
- [2] Koseki A, Momose H, Kawahito M, et al. Compiler: US, 828402[P/OL]. 2002-05-25[2002-05-28]. <http://FF&p=1&u=metahtml/PTO/search-bool.html&r=5&f=C&I=50&col=AND&d=PG01&sl=IBM.AS.&OS=AN/IBM&RS=AN/IBM>.

4 标准

- [1] GB/T 6343-1995 泡沫塑料和橡胶表现(体现)密度的测定[S].

5 电子文献

- [1] 江向东.互联网环境下的信息处理与图书管理系统解决方案[J/OL].情报学报,1999,18(2):4[2000-01-18].<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/qbxb/qbxb99/qbxb990203>.