

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.02.013

聚氨酯高压注射枪枪头失效分析与对策^{*}

李国锋¹, 廖牧²

(1. 长沙学院机电工程系, 长沙 410003; 2. 长沙市天佑非标设备有限公司, 长沙 410118)

摘要: 采用理论计算和取样观察的方法分析了高压注射枪枪头的失效形式及其机理, 并做了改进试验研究。分析和试验结果表明, 枪头失效的形式主要是磨损和卡死。磨损是缘于有相对运动的零件表面粘附的污垢对表面产生了磨擦, 配合间隙缩小及腐蚀更加剧了这种磨损; 卡死是因为污垢积聚造成配合间隙缩小, 甚至产生偏载, 使活塞杆运动受阻。活塞杆尺寸膨胀也是引起卡死的原因之一; 可通过正确选材、制订合理的热处理工艺及机加工工艺改善磨损和卡死的情况, 且效果显著。

关键词: 聚氨酯; 高压注射枪; 失效分析; 热处理工艺

中图分类号: TH17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)02-0048-05

Failure Analysis and Resolving Measures for the Head of Polyurethane High-pressure Injecting Gun

Li Guofeng¹, Liao Mu²

(1. School of Electrical and Mechanical Engineering, Changsha University, Changsha 410003, China;

2. Tian You Nonstandard Equipment Co., Ltd., Changsha 410118, China)

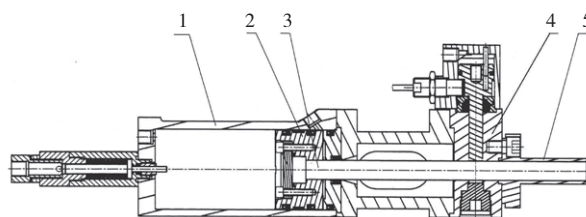
Abstract : The failure forms and mechanism of the head of polyurethane high-pressure injecting gun were analysed by means of calculation and observation, and investigation tests for improving quality were carried through. The results of analysis and tests showed that the failure forms were mainly abrasion and movement block. The abrasion was that the particals adhered to the surfaces of movement parts rub against the surfaces. The reduced clearance and erosion promoted this courses. The movement block was that the particals accumulated on the surfaces of movement parts were too much to reduce the clearance, indeed, to bring the deflexion of load, which blocked the movement of the piston rod. The size bulge of the piston rod was also one of the reasons which caused the movement block. These conditions could be improved by means of chooseing rightly the materials of parts, constituting reasonably the technologies of heat treatment and machining, and the effect was significant.

Keywords : polyurethane ; high-pressure injecting gun ; failure analysis ; heat treatment technology

聚氨酯高压注射枪是电冰箱制造企业的重要装备, 随着电冰箱及相关行业的发展, 对聚氨酯高压注射枪的需求量越来越大。然而, 目前国内电冰箱生产企业使用的注射枪主要依赖进口, 价格昂贵, 而且还可能由于供应不及时而影响生产。随着国内聚氨酯发泡设备制造技术水平的不断提高, 国内聚氨酯设备制造企业纷纷加大了自主研发的力度^[1]。但目前国产化的注射枪寿命比较短、产值低, 其市场占有率非常小。为此, 笔者在总结多年生产实践经验的基础上, 从选材、热处理工艺到加工制造工艺等各方面对这种注射枪的设计制造技术进行了系统研究, 旨在开发一种适合国内电冰箱企业生产的注射枪, 大幅度提高其性价比。

1 枪头失效形式

聚氨酯高压注射枪枪头的基本结构如图1所示。



1—注射油缸; 2—大活塞; 3—大活塞杆; 4—混合体; 5—喷嘴

图1 注射枪枪头结构示意图

其工作原理是: 枪头左右侧各有一个液控活塞, 控制聚醚多元醇(白料)和异氰酸酯(黑料)两种物料进入混合体进行混合, 垂直方向有一个小活塞控制混合室大小, 并将经过充分混合后的混合料注入下方的注射腔, 然后通过大活塞将混合料注射进

^{*} 湖南省重点学科建设项目、长沙市科技计划项目(K070705-11)

联系人: 李国锋, 博士, 教授, 主要从事材料加工研究

收稿日期: 2011-11-11

入发泡型腔。其中,大小活塞杆在工作中均承受较大的周期性的轴向载荷(15~20 MPa),而且为了保证活塞杆与混合体之间的气密性,两者之间的配合间隙非常小,在运动过程中两者之间存在较大的摩擦。因此,大小活塞杆及混合体的工作条件是比较恶劣的,容易损坏,从而引起枪头失效。

通过对已经失效的进口或国产注射枪进行解剖分析发现,枪头失效的形式主要有相对运动的零部件的磨损和卡死两种。

磨损:在工作过程中,大小活塞呈周期性的往复运动,每个周期是30~40 s。经不同时间工作后,部分注射枪提前失效,从已经失效的注射枪的零部件的外观来看,大小活塞杆、混合体及喷嘴表面均出现了不同程度的磨损,部分零部件表面甚至出现了较深的磨损沟槽。由此可见,磨损导致注射枪失效是其中一种很重要的形式。

卡死:从已经失效的枪头来看,部分枪头的大小活塞出现了不能动作的现象。经解剖分析发现,一种情况是在混合体和喷嘴内壁上沉积有较严重的污垢,特别是在磨损沟槽之处积聚了较厚的污垢,这些污垢使得活塞杆不能顺利运动;另一种情况是活塞杆与活塞的配合间隙严重缩小,导致活塞杆不能在活塞内正常运动。

大小活塞杆的失效形式基本相似,大活塞杆长径比更大,承受的压力也较大(18 MPa),而且大活塞杆直接与外部环境接触,环境中的粉尘容易粘附其表面,工作条件更恶劣。因此,这里以大活塞杆及与之配合的混合体和喷嘴为例,对它们的失效机理及相应的改进措施进行重点研究。

2 失效机理分析

2.1 大活塞杆的运动及受力分析

根据枪头的工作原理,大活塞杆在混合体和喷嘴内的运动是间隙性的往复直线运动,注射压力均匀作用于活塞杆的横截面上,其作用力的中心与活塞杆的几何中心重合,如图2所示。

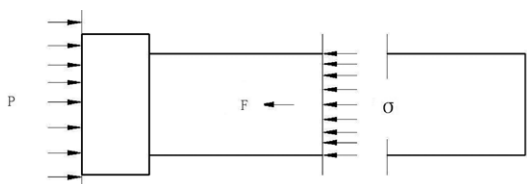


图2 大活塞杆的受力状态示意图

由于大活塞杆是细长杆,在油缸拉压作用下作往复直线运动,最有可能出现的情况是疲劳失效或

杆失稳。而且,活塞杆在工作过程中,注射初始受到的压力最大,然后逐步减小到零,在回位过程中受油缸的拉力很小,可以忽略不计,因此活塞杆的受力变化可以看作是一种脉动循环,可能出现的是脉动疲劳。假设大活塞杆的材料采用38CrMoAlA,油缸的工作压力为18 MPa。那么,在正常工作情况下大活塞杆的受力状态分析如下:

①活塞杆的强度

注射油缸的直径 d 为75 mm,活塞杆直径为18 mm。假设液压油的压力为 p ,油缸截面积为 A_1 ,活塞杆受到的压力为 F ,工作应力为 σ ,截面积为 A_2 ,活塞杆材料的脉动应力疲劳极限为 σ_{01} ,由于38CrMoAlA属高强度塑性材料,取其安全系数 n 为1.2,那么经过计算,得:

$$F = p \times A_1 = 79481.3 \text{ (N)}$$

$$\sigma = F/A_2 = 312.5 \text{ (MPa)}$$

活塞杆材料的脉动应力疲劳极限,查表^[2]:

$$\sigma_{01} = 1.42\sigma_{-11} = 1.42 \times 0.3\sigma_b = 417.5 \text{ (MPa)}$$

其中, σ_{-11} 和 σ_b 分别为活塞杆材料的对称应力疲劳极限和抗拉强度。

其许用应力 $[\sigma]$ 为: $[\sigma] = \sigma_{01}/n = 347.9 \text{ (MPa)}$

可见, $\sigma < [\sigma]$,活塞杆的疲劳强度是安全的。

②活塞杆的稳定性

活塞杆的有效长度 l 为126 mm,根据其结构和运动特征可简化为一端固定、一端可作轴向移动的压杆,查表^[2],活塞杆的长度系数 μ 为0.5,那么经过计算,得:

$$\text{惯性半径 } i \text{ 为: } i = d/4 = 4.5 \text{ (mm)}$$

活塞杆的柔度系数 λ 为:

$$\lambda = \mu l/i = 14$$

而小柔度压杆的临界值 λ_2 为:

$$\lambda_2 = (a - \sigma_s)/b = 27.4$$

其中, a 、 b 分别为与材料力学性能有关的常数, σ_s 为材料的屈服强度。可见, $\lambda < \lambda_2$,活塞杆属小柔度压杆,其临界应力接近材料的屈服极限。一般的钢结构中的压杆稳定安全系数为1.8~3.0,考虑到大活塞杆工作条件较恶劣,取安全系数 n 为2.5,采用折减系数法进行校核。

在正常工作情况下,对于中心压杆的折减系数,查表^[2], $\varphi = 0.95$,那么经过计算,得:

$$[\sigma] = \sigma_s/n = 334 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma = F/\varphi A_2 = 328.9 \text{ (MPa)}$$

可见, $\sigma < [\sigma]$,其稳定性是安全的。

但是,假设有偏载情况发生,偏心距为 1 mm,那么,对于偏心压杆的折减系数,采用插值法查表^[2],并经过计算后,得:

$$\varphi_p = 0.75$$

$$\sigma = F/\varphi_p A_2 = 416.7 \text{ (MPa)}$$

此时, $\sigma > [\sigma]$,其稳定性是不安全的。

由此可见,在正常工作情况下,活塞杆的稳定性和强度都是安全的,但在有偏载或其它干扰因素存在时,活塞杆可能会失稳。

2.2 磨损失效机制

注射料是聚醚多元醇(白料)和异氰酸酯(黑料)两种物料的混合料,其中的异氰酸酯往往残留一些挥发性物质,对钢有一定的腐蚀作用。混合料硬化后碾碎呈颗粒状粉末。枪头在工作过程中,一方面由于是间隙性工作,粘附在混合体内壁或活塞杆上的混合料固化后形成硬质颗粒,另一方面环境中的灰尘粘附到混合体及喷嘴内壁或活塞杆外表形成磨粒。这些磨粒进入到活塞杆与混合体及喷嘴之间的配合表面之后,不能像滑动轴承一样通过排屑槽及时排出,而是粘附在滑动表面使表面产生磨粒磨损。随着时间推移,这种磨损过程不断进行,磨损的沟痕不断扩大,容纳的磨粒越来越多,造成磨损不断加剧,最后形成明显的沟槽,如图 3 所示。如果有腐蚀行为存在,将加快这种磨损进程。同时,为了提高活塞杆的强韧性和耐磨性,一般需要将活塞杆进行调质处理,在淬火过程中如果残留较多的奥氏体,这些奥氏体在使用过程中将逐步转变为马氏体,使得活塞杆尺寸膨胀。由于活塞杆与混合体及喷嘴的配合间隙设计值只有 0.003 ~ 0.007 mm,一般的磨粒进入后将产生较严重磨擦,如果活塞杆在工作中发生尺寸涨大现象,造成配合间隙进一步减小,更加剧这种磨擦的产生,使运动表面加剧磨损。因此,活塞杆及与之相配合的混合体和喷嘴的耐磨性与耐腐蚀性成为决定枪头使用寿命的关键因素,同时它们的尺寸稳定性也是不容忽视的重要因素。



图 3 磨损沟槽形成过程示意图

2.3 卡死失效机制

通过对已经因卡死而失效的枪头的解剖分析发现,使用一定时间后,影响活塞杆不能在混合体或喷嘴中顺利运动的因素主要有以下几个方面:

一是随着活塞杆与混合体及喷嘴之间的配合

面的磨损加剧,配合面间积聚的污垢越来越多,造成间隙缩小或分布不均匀,甚至堵塞,使得活塞杆的运动受阻,严重时被卡死;

二是随着混合体或喷嘴内壁积聚的污垢增多,活塞杆在某一侧向运动受阻,使得活塞杆的受力状态发生改变,产生一附加弯矩,造成偏载,如图 4 所示。此时,根据上述活塞杆的受力状态分析,活塞杆将很容易失稳,使活塞杆发生弯曲,从而造成活塞杆不能在混合体或喷嘴内顺利运动;

三是活塞杆在使用过程中发生尺寸涨大现象,造成配合间隙缩小,使得活塞杆不能在配合孔内顺利运动。

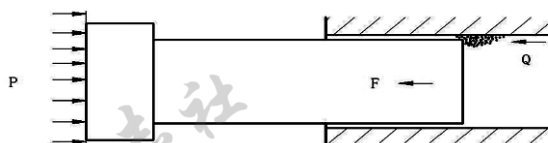


图 4 活塞杆承受偏载示意图

3 对策

通过上述对失效机理的分析可以发现,枪头失效主要是由运动零部件磨损、腐蚀、活塞杆失稳、尺寸涨大,相配合的运动表面积聚太多的污垢等因素引起的。为了防止或减小这些因素对枪头使用寿命的影响,可以从以下几方面采取积极措施。

3.1 正确选材

根据活塞杆、混合体与喷嘴的使用要求及工作特点,三者既要有良好的强韧性,又要有优良的耐磨性能和耐腐蚀性能,特别是活塞杆要求有更高的抗压强度和疲劳强度,不容易失稳。不仅要求它们的力学性能和耐腐蚀性能高,而且还要求有良好的热处理工艺性能。国外有关生产厂家都是采用特种钢材来制造枪头的重要零部件,以确保其性能要求。由于国外所使用的钢种一直未公开,针对我国钢材供应的实际情况,可以选择性能比较接近的钢种。为此,我们通过查阅有关设计手册,初步选择了 38CrMoAlA, 20CrMnMo, 20CrMnTi 和 40Cr 四种材料进行试验,这四种材料经调质处理后均有良好的强韧性,特别是 38CrMoAlA,经调质处理后抗拉强度和屈服强度分别达到 980 MPa 和 835 MPa^[2],并具有良好的淬透性、抗回火稳定性和渗氮等热处理工艺性能。经反复试验研究,最后确定活塞杆和混合体选用 38CrMoAlA,喷嘴选用 40Cr,都能较好地满足设计性能要求。

3.2 合理制定热处理工艺

针对选定的材料,科学合理地进行热处理是提高材料力学性能和耐腐蚀性能的关键。根据上述分析,对活塞杆、混合体与喷嘴三种零件分别进行了有针对性的热处理工艺试验。

对活塞杆而言,不仅芯部要有良好的强韧性,以抵抗注射压力,防止失稳,表面还要有优良的耐磨性和耐腐蚀性,以抵抗磨粒磨损和注射料中的挥发性物质的腐蚀,减少磨粒和污垢在其上的粘附,同时还要保证工作过程中的尺寸稳定性。为此,我们设计的活塞杆基本力学性能如下:

抗拉强度 σ_b 为 980~1 080 MPa; 屈服强度 σ_s 为 835~935 MPa; 芯部硬度 210~230 HBS; 表面硬度 850~880 HV。

为了使活塞杆的性能达到设计要求,我们选择了先调质再进行 QPQ 处理的热处理工艺路线,并采用锻造毛坯。由于毛坯经过了充分的锻压,再经适当的调质处理后,获得了晶粒细小、碳化物呈细小的颗粒状且分布均匀的内部组织,如图 5 所示。通过拉伸试验测试,其强度完全达到设计要求。

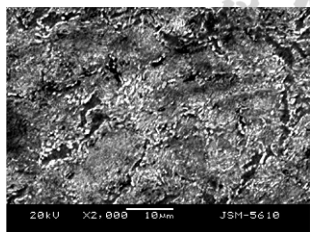


图5 活塞杆调质状态的金相组织

常规的气体软氮化和离子渗氮工艺仅仅是对表面进行渗氮处理,处理后工件的耐磨性和耐腐蚀性能提高水平有限。而 QPQ 处理是近几十年发展起来的一种先进的表面强化改性技术^[3],是在氮化盐浴和氧化盐浴复合的盐浴中处理工件,实现了氮化和氧化的复合处理,使工件表面的耐磨性能和耐腐蚀性能大幅度提高,特别是耐腐蚀性能较常规氮化处理显著提高,而且工件的变形极小,符合活塞杆的处理要求。为此,我们对活塞杆进行了科学合理的 QPQ 处理,针对工件的设计要求,经过反复试验研究,最终实现了工件各项指标全部达到设计目标,特别是渗氮层厚度达 0.7 mm 以上。

对混合体和喷嘴来说,其内孔表面应与活塞杆一样,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性能,以降低磨损,减少污垢在其表面上的粘附。而且由于混合体要承受注射压力和黑白料供给时的压力,其强韧性

也必须有一定的要求。一般来说,为了减少配合表面的磨擦,相互之间应有一定的硬度差。考虑到混合体结构复杂,制造成本高,是枪头的主体零件,不容易更换,其耐磨性应稍高于活塞杆。至于喷嘴,因为其结构比较简单,容易更换,为了保护活塞杆,其硬度可适当降低。因此,我们对混合体和喷嘴的芯部和表面硬度分别作如下设计:

混合体芯部硬度为 42~45 HRC; 表面硬度 930~960 HV。喷嘴芯部硬度 240~280 HBS; 表面硬度为 850~880 HV

为了使混合体和喷嘴的性能达到设计要求,对混合体,我们选择了淬火→中温回火→QPQ 处理的热处理工艺路线,并采用锻造毛坯;对喷嘴,选择了调质→QPQ 处理的热处理工艺路线,并采用型材制造毛坯。经过适当的热处理后,两者的性能指标均达到了设计要求,氧化层均匀美观,混合体的渗氮层厚度达 0.65 mm 以上,有效地保证了其高的耐磨性和耐腐蚀性能。

此外,为了确保这些零件在工作过程中尺寸稳定,在淬火后均进行了适当的冷冻处理,使得淬火后的残余奥氏体充分转变为马氏体,通过这种处理,也进一步提高了回火后工件的力学性能。

3.3 制订合理的机加工工艺

根据枪头的工作特点,活塞杆与混合体及喷嘴的配合是非常精密的,特别是活塞杆与混合体之间的配合必须保证其气密性,对于喷嘴,为了保护活塞杆,两者之间的配合间隙可适当放大一点。为此,需要对活塞杆、混合体及喷嘴三者的加工精度及其加工工艺进行科学合理地设计,既要考虑配合精度的需要,也要考虑加工成本。一般来说,“公差”用于协调机器零件的使用要求与制造经济性之间的矛盾,“配合”则反映机器零件之间有关功能要求的相互关系。每一种配合的最小间隙取决于配合种类,最大间隙则取决于配合精度^[4]。在实际工作中,可以先根据活塞杆与混合体或喷嘴相互之间的配合要求选择一种配合,使它们的尺寸精度控制在一个比较合理的范围内,然后将活塞杆和混合体进行配对研磨,使两者的配合间隙最终控制在 0.003~0.007 mm 范围内。因此在这里要特别注意的是,活塞杆的外径尺寸和混合体内孔尺寸的精度设计一定既要便于机械加工,同时又要尽可能减少后续的研磨工作量。为了在装配和使用过程中便于配对,在各个零件的相应位置打印配对标志。

4 结语

高压注射枪实行国产化已越来越得到人们的高度重视。其中枪头是重要零部件之一,能否实现国产化最关键的因素还是制造枪头的材料、热处理工艺及机加工工艺。笔者通过多年来对国内外同类产品的分析比较,探明了影响产品使用寿命的因素和设计制造的关键技术所在,对国产化产品的选材和加工制造工艺进行了有针对性地设计和改进,已成功研制出合格的产品。该产品投入生产现场试用后发现,产品性能可靠,经10万次使用后关键零部

件仍光亮如新,而产品成本较国外同类产品大幅下降,完全符合国内生产需要。

参考文献

- [1] 倪晓,赵伟峰,刘超,等.变频高压发泡设备及其在聚氨酯生产线上的应用[J].聚氨酯工业,2007,22(5):29-32.
- [2] 北京有色冶金设计研究总院.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,1993.
- [3] 周鼎华.QPQ处理工艺及其质量控制[J].热处理技术与装备,2006,27(1):28-30.
- [4] 蒋建纯,李国锋.挖掘机推压减速器轴承失效分析与对策[J].矿山机械,1991(7):16-19.

俄罗斯悬浮级PVC市场需求突破100万t

2011年俄罗斯悬浮级PVC需求上涨15%,突破100万t,达到101.4万t。

2011年俄罗斯PVC产量上涨5%,为57.6万t。其中悬浮级PVC产量达55.4万t,相比2010年上涨5%。而糊状PVC(EPVC)降至21800t。

Sayanskkhimplast仍是俄罗斯最大的PVC生产商。去年其产量为25.93万t。其他主要生产商有Plastcard及Sibur-Neftekhim等。

2011年俄罗斯PVC总进口量为56万t,相比2010年高出25%。其中,悬浮级PVC进口量上涨30%,为46万t左右。

2011年EPVC进口量仅10万t左右,相比2010年增加8%。大部分进口EPVC由欧盟供应。俄罗斯PVC需求最大的是乙烯地板材料生产商。

其他聚合物方面,2011年俄罗斯PET产量为40万t左右,相比2010年高出31%。原因是Alco-Naphtha公司位于加里宁格勒的新工厂正式投产。

PET总进口量为27.3万t,2010年为27.1万t。韩国KP化学公司仍是俄罗斯PET进口主要供应商。

2011年俄罗斯PP进口量下降3%,为19.3万t。其中,PP均聚物进口量下降10%,为10.27万t;PP嵌段共聚物上涨12%,为38800t左右,电缆绝缘材料生产商和管道生产商大幅推动需求增长。(工程塑料网)

陶氏助剂增强PC耐刮擦性

陶氏化学公司计划引进一种耐刮擦助剂增强PC的耐刮擦性,具备与紫外线固化PC硬涂层相竞争的能力。

陶氏塑料助剂业务全球营销总监Arthur Chiu称:“这种解决方案排除了硬化处理,可以降低一半的成本。”

Chiu指出:“PC的固有特性很强,包括耐温性、韧性、甚至透明度。”但其耐刮擦性极弱,需要一层硬涂层(通常是丙烯酸单体)使其表面保持光滑。

得知一些客户不喜欢硬涂层后,陶氏寻找解决方案,计划在4月份日本及中国贸易展会上公布耐刮擦助剂技术。

陶氏计划在2012年下半年将这种产品投入商业化经营。多个陶氏生产基地将生产这种助剂。

助剂增强PC的潜在应用范围包括电子设备外壳及触摸屏、把手、仪表盘等汽车零部件及光学眼镜。(工程塑料网)

辽宁确定新材料为石化先导产业

辽宁省经信委日前制定出台全省石化行业2012年工作总体部署方案,面对国内外严峻的经济形势,辽宁省确定2012年将化工新材料、先进复合材料、纳米材料、膜材料等新材料产业作为石化行业发展的先导产业和高新技术领域发展的重要突破口,助推石化行业结构调整和产业升级。

辽宁是我国材料工业大省,在全国新材料工业发展中举足轻重。据不完全统计,目前辽宁省拥有主营材料的生产企业约5000家,年工业总产值约2200亿元,占全省工业总产值的43.2%。一批碳纳米管制备、新型碳素材料制备、导电泡沫硅陶瓷制备等自主科技创新成果达到国际先进水平,产业化前景看好。以大连路名、实德、盘锦和运、锦州钛业、辽阳奥克、世星药化、张明化工等为代表的一批新材料高科技企业迅速崛起,为辽宁新材料产业发展壮大夯实了基础。

辽宁省经信委有关负责人指出,要坚持用好用足各项扶植政策,力推化工新材料产业的发展,发展一批有优势的高端产品,2012年使全省化工精细化率至少再提高2个百分点,同时鼓励企业自主创新和创建知名品牌。(慧聪网)

扬巴公司将新建19万t/a精丙烯酸装置

从扬子石化-巴斯夫公司获悉,该公司将在南京化工园新建一套19万t/a精丙烯酸装置,同时将新建热回收锅炉和火炬等相关配套的公用工程和辅助装置。

目前,扬巴公司现有产能各为16万t/a的粗丙烯酸装置和7万t/a的精丙烯酸装置。与现有粗丙烯酸生产工艺相比,新建装置将采用德国巴斯夫公司先进的精丙烯酸专利技术,主要原料丙烯来自扬巴公司上游乙炔装置。该项专利技术工艺先进,既可生产精丙烯酸,又可生产粗丙烯酸;且生产运行周期比原有的装置长,由每月停产检修一次,提升到每6个月停产检修一次,不但延长了装置正常生产周期,而且大大缩短了检修时间,减少了装置开停车造成的损耗;生产过程中的高浓度废水、废气将由新建的热回收锅炉进行处理,大大降低了能耗,减少了排污量。新装置建成后,扬巴公司将关停现有的7万t/a的精丙烯酸装置。(慧聪网)