

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.03.014

螺杆组合对同向双螺杆挤出机能耗影响的研究

崔雯, 娄晓鸣, 贾朝阳

(天华化工机械及自动化研究设计院有限公司, 兰州 730060)

摘要: 利用不同螺杆组合的双螺杆挤出机制备了超细碳酸钙填充聚丙烯试样, 通过测量挤出机的功率来计算其能耗, 并测试了试样的拉伸性能, 研究了 45° 捏合盘厚度、塑化段捏合盘错列角、转子类螺纹元件位置及多组捏合盘连续排列形式对挤出机能耗和试样拉伸性能的影响。结果表明, 45° 捏合盘厚度为 30 mm 或 45 mm、塑化段捏合盘错列角为 30° 或 45°、转子类元件放在塑化混合段之后, 均可在保持试样较高拉伸强度的条件下有效地降低挤出机能耗。多组捏合盘连续排列方式下的挤出机能耗并未大幅增加, 可适用于需要高剪切物料的挤出生产。

关键词: 同向双螺杆挤出机; 螺杆组合; 能耗

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)03-0065-05

Effects of Screw Combinations on Energy Consumption of Co-rotating Twin Screw Extruder

Cui Wen, Lou Xiaoming, Jia Zhaoyang

(Tianhua Institute of Chemical Machinery and Automation Co. Ltd., Lanzhou 730060, China)

Abstract: Superfine calcium carbonate filled polypropylene samples were prepared through co-rotating twin screw extruder with different screw combinations. Energy consumption was calculated by measuring the power of extruder and the tensile strengths of the samples were tested. The influence of thicknesses of kneading blocks with staggered angle being 45°, staggered angles of kneading blocks at plasticating zone, arrangement of rotor elements and continuous arrangement form of multi kneading blocks on energy consumption of the extruder and tensile strengths of the samples were studied. The results indicated that when the thickness of kneading blocks is 30 mm or 40 mm, the staggered angle of kneading blocks at plasticating zone is 30° or 45° and the rotor elements are arranged behind the plasticating and blending zone, the energy consumption of the extruder can be reduced efficiently while the tensile strengths of the samples are high. The energy consumption of the extruder with continuous arrangement form of multi kneading blocks don't increase greatly and the form can be applied to the extrusion manufacture of materials which need high shear.

Keywords: co-rotating twin screw extruder ; screw combination ; energy consumption

不断攀升的原料成本、能源成本及人工成本压力, 让节能成为加工业关注的焦点, 节能降耗也成为政府评价企业发展竞争力的主要指标之一。而随着挤出机研发技术的不断发展, 挤出机的能耗问题也日趋凸显出来。同向双螺杆挤出机作为塑料混炼、反应、脱挥及型材挤出工艺过程中的关键设备, 因其具有混合效果好、调整手段灵活、挤出制品质量稳定等优点已愈来愈多地应用在石油化工、食品、建材、医药类塑料制品生产等领域。如何提高同向双螺杆挤出机的性能, 最大限度地开发节能型双螺杆挤出机, 已成为企业降低设备运行成本, 提高市场竞争力的主要途径^[1-2]。

近年来, 国内外学者对挤出机原理及应用作了大量的研究, 但在螺杆组合对双螺杆挤出机能耗影

响方面的研究较少。笔者在操作工艺条件、实验物料相同的情况下, 通过改变螺杆组合, 研究其对啮合型同向双螺杆挤出机能耗及相应挤出试样拉伸强度的影响, 进而找出不同螺杆组合与能耗之间的关系及影响程度, 对生产实践具有一定的指导意义^[3]。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚丙烯 (PP): T30s, 中国石油兰州石油化工股份有限公司;

超细碳酸钙: LD-200, 立达超微工业有限公司。

1.2 主要仪器及设备

啮合型同向双螺杆挤出机: SHJ-38 型, 主要参

联系人: 崔雯, 硕士研究生, 主要研究方向为橡塑机械

收稿日期: 2012-12-13

数见表 1,自制。

表 1 SHJ-38 型双螺杆挤出机组主要参数

螺杆直径/mm	长径比	加热区段/个	最高转速/(r·min ⁻¹)	主电机功率/kW	生产能力/(kg·h ⁻¹)
38	40	10	600	37	20~150

高速混合机:GH-10 型,北京塑料机械厂;

电热恒温鼓风干燥箱:DZX-1 型,上海福玛实验设备有限公司;

注塑机:SZ-68/40 型,上海纪威技术有限公司;

万能材料试验机:CMT5204 型,深圳新三思计量技术有限公司;

数字钳形功率计:UT230 型,优利德电子有限公司;

秒表:ULTRK600 型,深圳市定尔志电子有限公司。

1.3 试样制备

为了便于分析和比较,均采用质量分数为 30% 的超细碳酸钙粉末填充 PP,螺杆转速恒定为 300 r/min,进料量为 130 kg/h,温度设定为第 1 区段 190℃、第 2~10 区段 220℃。采用的螺杆组合元件

为双头输送元件、捏合元件及转子类元件。

在上述工艺条件下,通过改变 45° 捏合盘厚度、塑化段捏合盘错列角、转子类元件位置及采用多组捏合盘连续排列形式等挤出造粒^[3],然后注塑成标准试样。

1.4 性能测试与表征

在每次的挤出稳定过程中测量挤出机组的实际消耗功率。单产能耗由式(1)计算。

$$\text{单产能耗} = \sum P_i / Q \quad (1)$$

式中: P_i ——每次测得的总功率(包括主电机、加热器等),kW;

Q ——进料量,kg/h。

拉伸强度按 GB/T 1040-1992 测试,相对湿度 50%,初始标距 50 mm,拉伸速度 50 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 捏合盘厚度的影响

根据不同的 45° 捏合盘厚度(30,40,50 mm),设定了 3 种螺杆组合,依次编号为 1[#],2[#],3[#],如表 2 所示。表 2 同时列出了 1[#]~3[#] 螺杆组合下的螺杆总长度及物料挤出状态。

表 2 1[#]~3[#] 螺杆组合方式及其物料挤出状态

编号	螺杆组合				螺杆总长度/mm	物料挤出状态
	加料段	塑化段	混合段	挤出段		
1 [#]	24 / 24 ¹⁾ ,	45° / 5 / 30 × 2 ¹⁾ ,	45° / 5 / 30 × 2 ²⁾ ,	48 / 48 × 7,	1 702	挤出正常,表面光滑
	48 / 48 × 6,	48 / 48 × 2,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 6,		
	36 / 36 × 3,	36 / 36 × 2,	24 / 24 × 2,	36 / 18,		
	24 / 24 × 3	24 / 24 × 2	45° / 5 / 30 × 2	24 / 24		
2 [#]	24 / 24,	45° / 5 / 40 × 2,	45° / 5 / 40 × 2,	48 / 48 × 7,	1 698	挤出正常,表面光滑
	48 / 48 × 6,	48 / 48 × 2,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 3,		
	36 / 36 × 3,	36 / 36 × 2,	24 / 24 × 2,	36 / 18,		
	24 / 24 × 3	24 / 24 × 2	45° / 5 / 40 × 2	24 / 24 × 3		
3 [#]	24 / 24,	45° / 5 / 50 × 2,	45° / 5 / 50 × 2,	48 / 48 × 6,	1 702	挤出正常,表面光滑
	48 / 48 × 6,	48 / 48 × 2,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 2,		
	36 / 36 × 3,	36 / 36 × 2,	24 / 24 × 2,	36 / 18,		
	24 / 24 × 3	24 / 24 × 2	45° / 5 / 50 × 2	24 / 24 × 3		

注:1)24/24 表示导程为 24 mm、长度为 24 mm 的常规螺纹元件,45°/5/30×2 表示相邻 2 个盘齿间的错列角为 45°、盘片数为 5、总厚度为 30 mm 的捏合元件,其它螺杆构型的表示类似;2)加黑的部分表示每个组合中参数改变的螺杆元件,下同。

图 1 为 1[#]~3[#] 螺杆组合下碳酸钙填充 PP 试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗。由图 1 可以得到 1[#] 螺杆组合下的试样拉伸强度为 31.18 MPa,挤出机单产能耗为 0.209 kW·h/kg;2[#] 组合下的试样拉伸强度为 30.50 MPa,挤出机单产能耗为 0.211 kW·h/kg;3[#] 组合下的试样拉伸强度为 29.58 MPa,挤出机单产能耗为 0.227 kW·h/kg。由此看出,随着捏合盘厚度的增加,试样的拉伸强度依次降低且同向双螺杆挤出机的能耗依次增大。这是因为随捏合盘厚度增加,单位混合长度上分散混合成分增加,分布混合成分减少,即碳酸钙粉末在

PP 内的填充效果减弱,造成力学性能下降。另外,3[#] 螺杆组合下的挤出机能耗明显增大,表明厚度增大后,螺杆需要的扭矩增大。

由图 1 还可看出,当 45° 捏合盘厚度为 30 mm 和 40 mm 时,试样的拉伸强度和挤出机的能耗相差不大,因此 45° 捏合盘厚度可选取 30 mm 或 40 mm。

2.2 塑化段捏合盘错列角的影响

在 2[#] 螺杆组合的基础上,分别在塑化段的 45° 捏合盘前增加一组错列角不同的捏合盘,根据不同的塑化段捏合盘错列角(30°,45°,90°),设定了 3 种

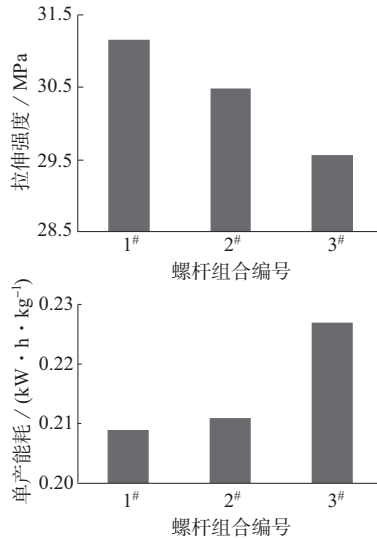


图1 1#~3# 螺杆组合下碳酸钙填充 PP 试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗

表3 4#~6# 螺杆组合方式及其物料挤出状态

编号	螺杆组合				螺杆总长度 / mm	物料挤出状态
	加料段	塑化段	混合段	挤出段		
4#	24 / 24,	30° / 7 / 55, 48 / 48 × 2,	45° / 5 / 40 × 2,	48 / 48 × 5,	1 699	挤出正常, 表面光滑
	48 / 48 × 3,	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 3,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 3,		
	36 / 36 × 2,	45° / 5 / 40 × 2, 48 / 48 × 2,	24 / 24 × 2,	24 / 48 × 2		
	24 / 24 × 2	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 2	45° / 5 / 40 × 2			
5#	24 / 24,	45° / 5 / 54, 48 / 48 × 2,	45° / 5 / 40 × 2,	48 / 48 × 5,	1 698	挤出正常, 表面光滑
	48 / 48 × 3,	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 3,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 3,		
	36 / 36 × 2,	45° / 5 / 40 × 2, 48 / 48 × 2,	24 / 24 × 2,	24 / 48 × 2		
	24 / 24 × 2	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 2	45° / 5 / 40 × 2			
6#	24 / 24,	90° / 5 / 54, 48 / 48 × 2,	45° / 5 / 40 × 2,	48 / 48 × 5,	1 698	挤出有间断, 表面粗糙
	48 / 48 × 3,	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 3,	48 / 48 × 2, 36 / 36 × 2,	36 / 36 × 3,		
	36 / 36 × 2,	45° / 5 / 40 × 2, 48 / 48 × 2,	24 / 24 × 2,	24 / 48 × 2		
	24 / 24 × 2	36 / 36 × 2, 24 / 24 × 2	45° / 5 / 40 × 2			

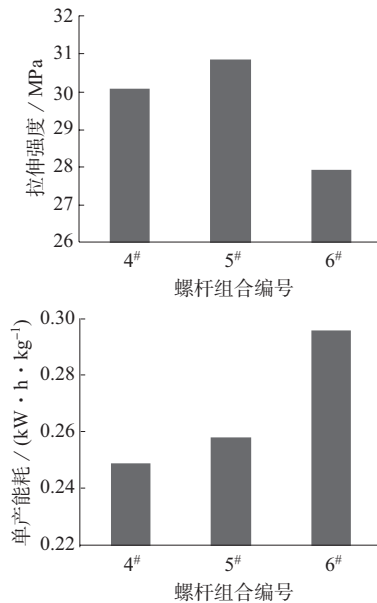


图2 4#~6# 螺杆组合下碳酸钙填充 PP 试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗

螺杆组合,依次编号为4[#],5[#],6[#],如表3所示。表3同时列出了4[#]~6[#]螺杆组合下的螺杆总长度及物料挤出状态。

图2为4[#]~6[#]螺杆组合下碳酸钙填充PP试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗。由图2可以得到4[#]螺杆组合下的试样拉伸强度为30.11 MPa,挤出机单产能耗为0.249 kW · h/kg;5[#]组合下的试样拉伸强度为30.88 MPa,挤出机单产能耗为0.258 kW · h/kg;6[#]组合下的试样拉伸强度为27.91 MPa,挤出机单产能耗0.296 kW · h/kg。由此看出,改变塑化段捏合盘错列角,5[#]螺杆组合下的试样力学性能最高,4[#]略低,6[#]最差;挤出机单产能耗则随塑化段捏合盘角度增加依次上升,其中4[#]和5[#]螺杆组合的能耗差别不大,但6[#]螺杆组合的能耗明显增大。这是因为当物料从加料段进入塑化段时,

90°,剪切力过大,漏流过大,螺杆输送能力减小,局部停留时间增大,螺杆输送部位的物料充满度过高,造成物料混合效果变差,能耗增大,挤出物表面粗糙。经以上分析可知,当塑化段捏合盘错列角为30°和45°时,试样的拉伸强度和挤出机的能耗相差不大,因此塑化段捏合盘错列角可选取30°或45°。

2.3 转子类螺纹元件位置对能耗的影响

为进一步增强混合效果,笔者用转子类螺纹元件替换一组捏合盘,该元件外形见图3。

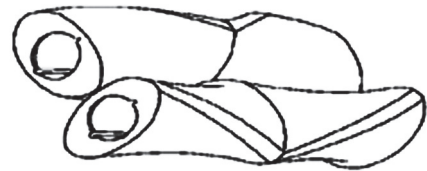


图3 转子类螺纹元件

它与常规大螺距螺纹元件的不同点在于:它在螺纹元件和机筒内壁之间形成大的间隙,其螺棱顶部较窄,螺纹导向边和拖曳边的轮廓也不相同。它

其还未熔融,由于6[#]螺杆组合的捏合块错列角为

的螺棱由2段组成,1段为左旋,1段为右旋。在2个螺杆上均安装该元件,相互啮合的部分螺旋方向一致。当这种元件旋转时,对物料进行“前挤后压”的作用,达到增强混合效果的目的。

根据不同的转子类螺纹元件位置,采用了2种螺杆组合,编号为7[#]和8[#],如表4所示。表4同时列出了7[#]和8[#]螺杆组合下的螺杆总长度及物料挤出状态。

表4 7[#]和8[#]螺杆组合方式及其物料挤出状态

编号	加料段	塑化段	混合段	挤出段	螺杆总长度/mm	物料挤出状态
7 [#]	24/24, 48/48×6, 36/36×3, 24/24×3	45°/5/40×2, 48/48×2, 36/36×2, 24/24×2	45°/5/40×2,48/48×2, 36/36×2,24/24×2, 160/40,160/40左	48/48×6, 36/36×3, 36/18, 24/24×5	1 698	挤出正常,表面较光滑
8 [#]	24/24, 48/48×6, 36/36×3, 24/24×3	45°/5/40×2, 48/48×2, 36/36×2, 24/24×2	160/40,160/40左, 48/48×2,36/36×2, 24/24×2,45°/5/40×2	48/48×6, 36/36×3, 36/18, 24/24×5	1 698	挤出正常,表面粗糙

图4为7[#]和8[#]螺杆组合下碳酸钙填充PP试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗。

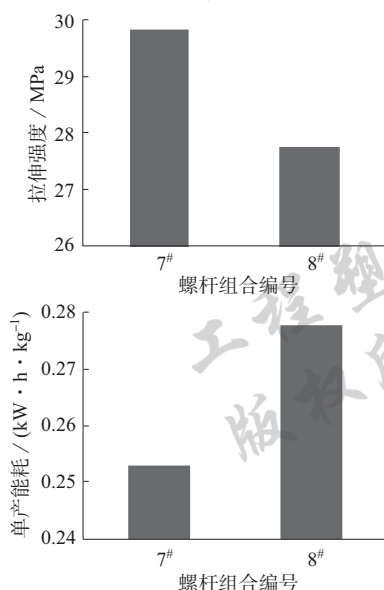


图4 7[#]和8[#]螺杆组合下碳酸钙填充PP试样的拉伸强度及挤出机的单产能耗

由图4可得到7[#]螺杆组合下的试样拉伸强度为29.84 MPa,挤出机单产能耗为0.253 kW·h/kg;8[#]组合下的试样拉伸强度为27.76 MPa,挤出机单产能耗为0.278 kW·h/kg。由此看出7[#]组合下的试样拉伸强度比8[#]的高,挤出机能耗则比8[#]的低。这是因为8[#]组合的转子元件放在第1组捏合盘后方,物料未完全熔融,此时的剪切和回流对其分散及分布混合的意义都不大,且易造成能耗增加。7[#]组合的转子元件排在第2组捏合盘后方,此时物料已完全熔融,因此混合效果及能耗方面都较好。

2.4 多组捏合盘连续排列形式的影响

国外一些挤出机厂家的螺杆组合为多组捏合盘连续排列形式,其挤出的物料性能良好,因此笔者对该种组合亦进行了探讨。该组合与前8种组合的不同之处在于:将3组45°捏合盘之间的输送元件全部替换为捏合盘元件,形成多组捏合盘连续排列的组合形式,分析该种组合对试样拉伸性能及挤出机能耗的影响,如表5所示。

表5 多组捏合盘连续排列的组合形式及其物料挤出状态、试样拉伸强度和挤出机单产能耗

加料段	塑化及混合段	挤出段	螺杆总长度/mm	物料挤出状态	试样拉伸强度/MPa	挤出机单产能耗/(kW·h·kg ⁻¹)
24/24, 48/48×8, 36/36×6, 24/24×3	45°/5/40×2,90°/5/40, 45°/5/54,30°/7/55, 45°/5/40,90°/5/40×2, 30°/7/55	48/48×6, 36/36×4, 36/18, 24/24×4	1 698	表面粗糙,有发泡现象	27.93	0.307

由表5可以看出,采用多组捏合盘连续排列的组合形式后,挤出试样的拉伸强度为27.93 MPa,挤出机单产能耗为0.307 kW·h/kg。相对于上述8种组合来看,将塑化及混合段的全部输送元件换为多组剪切力较强的捏合盘后,其能耗并没有大幅增加,试样的拉伸强度也没有大幅下降。因此,该种螺杆组合在实际生产应用中具有适用性,可应用于需要高剪切物料的挤出生产。

3 结论

(1) 45°捏合盘厚度选取为30 mm或40 mm,可在保持试样较高拉伸强度的条件下有效降低挤出机能耗。

(2) 塑化段捏合盘错列角优选30°或45°。

(3) 在需要转子类元件的情况下,转子元件的位置对试样拉伸性能及挤出机能耗影响较大,应将其放在塑化混合段之后,可有效降低能耗。

(4) 采用多组捏合盘连续排列形式,挤出机能耗并未大幅增加,试样拉伸强度也未大幅下降,因而具有一定的适用性,可应用于需要高剪切物料的挤出生产。

(5) 螺杆组合对挤出机能耗有很大的影响。通过实验表明,在今后的研究中,应将重点放在塑化区,该区段对主机能耗影响显著。

参考文献

- [1] 范海亮. 挤出机节能途径探索[J]. 河南化工, 2002(1):44-45.
Fan Hailiang. Exploration of extruder energy saving[J]. Henan Chemical Industry, 2002(1):44-45.
- [2] 伊大龙, 罗兵, 袁捷朝. 响应曲面法优化啮合同向双螺杆挤出机固体输送段主机功率消耗和固体输送量的研究[J]. 工程塑料应

用, 2010, 38(11):43-47.

- Yi Dalong, Luo Bing, Yuan Jiechao. Optimization of the power consumption and solid quantity delivered of solid converging process in intermeshing co-rotating twin screw extruder by response surface methodology[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(11):43-47.
- [3] 耿孝正. 塑料混合及连续混合设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007:43-47.
Geng Xiaozheng. Plastic mixing and continuous mixing equipment[M]. China Light Industry Press, 2007:43-47.
- [4] 耿孝正. 双螺杆挤出机及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003:229-236.
Geng Xiaozheng. Twin screw extruders and its application[M]. China Light Industry Press, 2003:229-236.

尼龙 6 蕴藏增长新动力

预计到 2013 年底, 国内尼龙 (PA)6 产能或将突破 190 万 t。无论是原料供应还是下游需求, 国内 PA6 行业未来发展都蕴藏新的动力。

从上游来看, 长期制约我国 PA6 行业发展的原料己内酰胺供应瓶颈未来几年将逐步得到缓解。甚至到 2015 年以后, 我国可能由己内酰胺净进口国变为净出口国。尽管受生产技术、原料等因素制约, 己内酰胺国产化进程未必会像想象中那么顺利, 较高的进口依存度还将维持一段时间, 但对于 PA 行业的利好是明显的。

由于 PA 切片和己内酰胺的生产有较大重要性, 国际上己内酰胺供应商也基本是 PA6 切片的主要生产商。而在国内, 除了巴陵石化、石家庄化纤和南京帝斯曼等仅有的几家外, 其余的都是非一体化的生产商。这一局面在未来有望得到改善, 如长乐力恒, 不仅大力扩大 PA 生产, 还决定向上游延伸发展。

从下游需求看, PA 无论在产量和产能上或者在消费数量上, 都位居五大工程塑料之首, 其主要有 2 种不同的类型——PA6 和 PA66。PA6 切片主要用于生产纤维与工程塑料产品, 全球来看, 其中约 55% 用于生产各种民用和工业用纤维, 约 45% 用于汽车、电子电气、铁路和包装材料等领域。分区域看, 欧美地区以生产工程塑料和薄膜为主, 而包括我国在内的亚太地区则以生产纤维为主。随着国内汽车产量的不断提高, 工程塑料和膜用领域正在成为 PA6 切片的主要需求增长点。

未来随着人们生活水平的继续提高、PA 应用领域的扩大及更有针对性措施的推广, PA 产品的需求量还会进一步上升, 中国 PA 行业将迎来新增长。

尽管 PA 行业蕴藏的新增长动力令人充满期待, 但来自各方面的竞争也不容忽视, 其中涤纶产品的替代效应首当其冲。涤纶产品由于较其它纤维具有成本优势, 且产品更新换代速度较快, 市场份额将进一步扩大, 产品性能得到进一步增强, PA 等品种仍然面临继续被其替代的威胁。PA 产品生

产成本受原油价格的影响比涤纶产品大很多, 并且随着原油价格的上涨, 其关联性逐渐增加。因此, 当世界原油价格持续高位运行时, PA 产业将进一步面临来自聚酯产业的竞争, 企业需强化 PA 产品的核心竞争优势。 (色母粒网)

包头多维聚氨酯复合板项目投产

近日, 包头多维新型建筑板材有限公司年产 120 万 m² 聚氨酯复合板项目正式投产, 标志着该公司成为内蒙古最大的房屋聚氨酯复合板生产高新技术企业。该项目位于包头市东河区工业园区内, 2011 年 6 月开工建设, 项目总投资 9350 万元。该产品主要用于大型工业厂房、移动房屋、展馆、地层及高层办公楼等领域。 (色母粒网)

Phillips-Medisize 扩大全球医疗模塑生产能力

美国加州 ANAHEIM Phillips-Medisize Corp 公司准备扩建其位于芬兰 Kontiolahti 的工厂, 为新签下的承包生产订单提供支持, 同时也满足日益增长的客户需求。

此次的扩建面积将为 5574 m², 包括 1114 m² 洁净室空间, 929.7 m² 仓储空间, 929.7 m² 物料和技术空间, 743 m² 生产空间。此外还包括扩建办公场所、更衣室和计量空间。

公司总裁兼 CEO 在美国加州 Anaheim 举行的美国西部医疗器械及医疗设计包装博览会上说道, 此次扩建定于今年 8~9 月完成。这家公司预计在未来两年将把在当地的员工数增至 336 人, 增员幅度为 15%。

总裁说, 为芬兰工厂扩大成型和装配能力是为了满足当地生产的给药装置不断增长的需求, 这些装置包括吸入器和一次性注射笔。在完成扩建后, Kontiolahti 的工厂有望每年生产 4000 万~6000 万个给药装置。

同时, Phillips-Medisize 公司建在美国威斯康星州的工厂也将进行内部扩建, 在位于威斯康星州 Menomonie 的厂区新增 2400 m² 的空间, 用于冷链储存用途, 并用来安置需要冷藏和对温度控制有要求的生物仿制药。扩建项目将在 2013 年第二季度完成, 其中将包括新增 1114 m² 的 8 级洁净室空间。在 2013 年, Phillips-Medisize 公司还将在高增长的中国市场上继续寻找合作伙伴。 (慧聪网)