

# 直列发动机缸体制芯工艺参数的共性与个性特征研究

雷超, 杨屹, 杨刚, 黄渊

(四川大学机械工程学院, 四川成都 610065)

**摘要:** 通过利用UG软件对四种直列缸体的砂芯结构进行分析, 寻找不同砂芯成形的共性及个性难点, 进而分析不同砂芯的射砂及固化、表干等工艺参数与砂芯总重及砂芯结构之间的关系, 得出上述工艺参数的共性与个性原理。结果表明, 砂芯总重是缸体制芯工艺参数的首要影响因素, 不同缸体不同砂芯的制芯工艺参数可以迁移使用, 但同时砂芯结构特征对工艺参数也有一定影响。

**关键词:** 制芯; 冷芯盒; 共性与个性; 结构分析

汽车缸体铸造厂往往会接到不同系列不同型号的缸体生产订单, 如何根据现有的生产线尽快开发出与新缸体相适应的铸造工艺, 实现稳定高质生产, 对提高缸体铸造厂的竞争力有着重大意义。这就需要缩短制芯工艺开发周期, 优化制芯工艺参数, 提高制芯质量, 降低制芯成本。为实现更快地制定出合适的制芯工艺参数, 就有必要对砂芯制作工艺参数的共性及个性原理进行分析。因此本文结合重庆机电铸造使用的三乙胺冷芯盒工艺生产四种缸体时所采用的成熟工艺参数进行相关分析。其中Q19、NT、D65为直列六缸缸体, R3000为直列四缸缸体。四种缸体重量在80~500 kg之间, 均属于中小型缸体铸件。缸体砂芯所用的造型原材料包括承德天源40/70目擦洗硅砂, 西安森泽40/70目宝珠砂, 以及由擦洗硅砂制得的焙烧砂及热法再生砂。不同砂芯所用的原砂种类及配比有所不同。本文重点考虑砂芯生产工艺参数与砂芯重量以及缸体结构之间的联系, 同时在忽略造型原材料差异的条件下, 进行相关分析研究而得的结论, 具有更广泛的普适性。

作者简介:

雷超(1996-), 男, 硕士, 主要研究方向为铸造工艺设计及优化。E-mail:

leichao@stu.scu.edu.cn

通讯作者:

杨屹, 男, 教授, 博士, 博士生导师。电话: 028-85405301, E-mail: yangyi@scu.edu.cn

中图分类号: TG242.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)04-0355-06

收稿日期:

2019-07-22 收到初稿,  
2019-09-03 收到修订稿。

## 1 砂芯结构分析

由于缸体铸造所含砂芯众多, 无法在本文中将每个砂芯都详尽地分析一遍。缸筒芯作为砂芯的主体部分, 能够在很大程度上体现砂芯制作工艺要求、特点。因此, 此处选取缸筒芯来进行分析。

如图1所示, 4种缸体的缸筒芯在形状上大同小异, 其大致轮廓有如吉他一般, 即上小下大。砂芯的下半部分均有各种突出及内凹部分, 表面形貌复杂, 砂芯成形难度较大。而砂芯上半部分, 则有所不同。D65和R3000缸筒芯上部分形状规则, 近似一个圆柱体; NT及Q19缸体则可以看作在圆柱体上套上相应外突部分形成上半部分形状。事实上, 砂芯上部分的差异是由于砂芯设计上的不同所致, D65和R3000只是将上部的外突形状转移到其他砂芯。

具体来看, 可以发现不同缸体结构上确有较多相似之处。如图1中框线1部分, 缸筒芯侧面轮廓有相似之处; 框线2部分则反映了芯头设计上的共通之处; 砂芯正面处的框线3则显示一种相似结构即半圆柱及其邻近凹槽。NT及Q19缸体的框线4部分显示了其相似的“凸耳”部分, 这是砂芯的成形难点, 在实际生产中, 凸耳易产生缺肉缺陷。

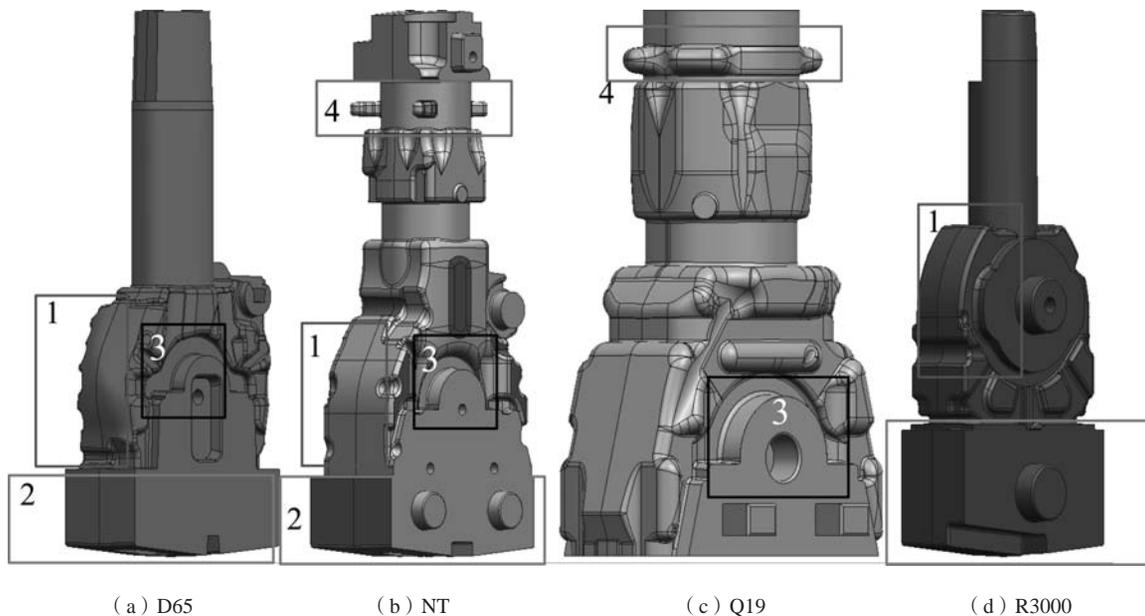


图1 四种缸体的缸筒芯

Fig. 1 Cylinder cores of four types of cylinder block

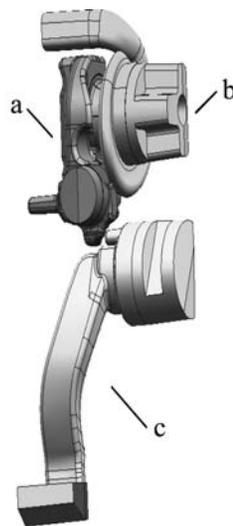
在表1中,列出了从UG软件所得4种缸体的体积、表面积、高度等几何参数以及计算得出的体表比,以从整体角度对砂芯进行分析。从表1中可以看出,R3000作为四缸缸体,各项几何参数均为最小,体积和表面积几乎为NT的1/3,Q19的1/2,与D56相差较小。砂芯高度方面,除NT缸体相对较高外(80 cm以上),其余三者的高度相近(60 cm左右)。同时,体表比的数值反映了4种缸体的这一特征并不随着缸筒芯体积的增大而相应单调增大或减小。由于体表比值能在一定程度上反映几何体的形状特征,因此可见对于不同大小的缸体,其缸筒芯结构的复杂程度并不与缸筒芯体积有相关性。此外,结合表1中数据及几何形状分析,缸体砂芯在几何参数和几何结构上有着较多相似之处,这也就是迁移应用已有工艺参数来制定新砂芯的工艺参数的基础。而砂芯特有的结构或特有的砂芯,则可能是导致工艺参数个性化的因素,即需要在工艺参数中作相应调整以满足个性特征带来的工艺要求。

在实际生产中,由于一套模具同时生产多个砂芯,这也就意味着在制定制芯工艺参数时,需综合考虑同一模具中各个砂芯的成形难易特点,针对其中成形难度较大的砂芯应当适当强化相关工艺参数。如图2中,D65缸体含有其他缸体所不具有的3个小砂芯,这3个小砂芯与水套芯、挺杆芯、标识芯、堵芯共处在一个芯盒。在后面的分析中,可以看到由于小砂芯不同于一般砂芯而导致工艺参数的波动。这些差异一方面在于砂芯体积比一般砂芯小得多,另一方面是由于这些小砂芯在浇注时除芯头部分,全部被金属液包裹,而自身体积较小,导致蓄热量小,散热条件差。

因此,为避免因为这些小砂芯出现问题而影响铸件质量,需要对这些小砂芯的强度、耐火度等作出更高要求,相应的工艺参数也就更为严格。

表1 四种缸体缸筒芯几何参数特征  
Table 1 Geometry parameters of cylinder cores of four types of cylinder block

参数	D65	NT	Q19	R3000
体积/cm <sup>3</sup>	9 635	28 464	23 642	6 916
表面积/cm <sup>2</sup>	5 062	9 729	6 525	3 187
体表比/cm	1.90	2.93	3.62	2.17
砂芯高度/cm	64.7	83.3	59.4	55.2



a. 水道芯 b. 水蜗壳芯 c. 油道芯

图2 D65缸体的三个小砂芯

Fig. 2 Three small cores of D65

## 2 树脂配比

在原砂品质及制芯工艺一样的条件下,砂芯的即时强度、终强度都随着树脂加入量提高而提高<sup>[1]</sup>。当要求砂芯终强度时,树脂加入量在1.6%时就能达到简单实体铸造的砂芯强度要求,复杂砂芯树脂加入量为1.8%~2.0%。文中涉及的缸体铸件相关砂芯均属于复杂砂芯,但其树脂加入量为1.6%或1.8%,低于其提出的范围。这是因为造型材料以及后续浸涂涂料、表干等工艺增强了砂芯强度,因此树脂加入量可以少一些。

以重庆机电缸体生产线上的1号制芯机(明志MLD80AB-CJ射芯机)为例,其生产任务包括前、后端芯(D65和R3000缸体还包括枕头芯)。造型材料:Q19、NT和R3000均全部采用40/70目的再生砂,而D65则全部采用50/100目的新砂(焙烧砂)。Q19、NT和D65缸体所用树脂配比均为树脂I:树脂II=0.88%:0.72%,R3000的配比则为0.99%:0.81%。由此可见,3种六缸缸体采用的树脂配比一致,R3000则同时增大了两种树脂的比例。此外,D65制芯时全部采用新砂。结合之前的分析,由于D65和R3000在1号制芯机处,还制作其他缸体,没有在1号机处制作枕头芯,而枕头芯含有薄壁结构,如图3中框线所示。为保证质量,D65全部采用新砂,R3000则通过增大树脂比例以保证强度。

对四种缸体所涉及的所有砂芯树脂配比参数的分析结果表明,所用原砂的树脂的加入量均在1.6%~2.0%之间,与缸体结构复杂程度无关,同时树脂I:树脂II通常为0.88%:0.72%或0.99%:0.81%,且两种情况大致各占一半。对于这4种缸体,生产前后端芯、缸筒芯时,一般采用0.88%:0.72%的配比,生产上下外型和小砂芯时,一般采用0.99%:0.81%的配比。采用1.1%:0.9%的配比只有一例,是在生产D65小砂芯(包括水蜗壳芯、水道芯、油道芯)时,由前面的结构分析可知,由于D65小砂芯形状复杂,成形难度高,且这些小砂芯会完全被金属液包围,需要增强砂芯强度以保证铸件质量。

## 3 射芯工艺

### 3.1 射砂压力和射砂时间

对于冷芯盒工艺而言,射砂时间和射砂压力是两个很重要的参数,都同砂芯重量有一定关系。射砂压力偏小时,可能导致砂芯强度不够高,成形质量不够好,不利于排气;而射砂压力过大,加剧模具的磨损,同时会使芯盒内较长时间存在一个压力峰值,这不利于射砂筒与芯盒之间建立压力差,不利于砂子射出<sup>[2]</sup>。因此射砂压力应根据砂子在相应模具中的充型能力选取合适的大小。延长射砂时间,射砂紧实过程的持续时间基本相同,反而会降低生产效率,增加压缩空气消耗量,增加生产成本<sup>[3]</sup>。重庆机电铸造采用三乙胺冷芯盒工艺,使用的制芯机包括MLD80AB-CJ、MLD130-CJ、MLD260AH-CJ三种型号。在保证砂芯质量的前提下,公司所采用的射砂工艺参数与砂芯重量之间的关系如图4所示。这些生产工艺数据,均来自于实际采用的工艺参数,是在多次试制砂芯后暂定,并在随后初期生产时多次调整最终得以确定的工艺参数,在实际生产中,具有最佳生产效果。

结合图4a分析可知,当砂芯总重低于120 kg时,压力下限可取0.3 MPa,上限可取0.4 MPa或0.45 MPa。当砂芯总重高于120 kg时,压力下限取0.4 MPa,上限取0.5 MPa。对于200~250 kg出现的例外,均是D65缸体的个性所致,其在降低射砂压力时,大幅提高了三乙胺量来保证砂芯制作质量。

在图4b中,分析可认为当砂芯总重低于250 kg时,射砂时间可取3~4 s或3~5 s;当砂芯总重高于250 kg时,射砂时间可取4~5 s。出现的两个峰值是由于在制作D65的小砂芯及上型时,由于结构更为复杂,采取了延长射砂时间的措施来保证成形质量。

由于缸体结构的相似性,砂芯的种类和复杂程度差别不大,4种缸体的射砂压力和射砂时间这两个参数均相差不大,与砂芯总重有主要关系。当砂芯总重低于250 kg时,射砂时间可取3~4 s或3~5 s;当砂芯总重高于250 kg时,射砂时间可取4~5 s。但是对于结构极为复杂,射砂面积大,砂芯级别高,或者兼有这几



图3 D65缸体的枕头芯

Fig. 3 Pillow core of D65 cylinder block

种特点的砂芯，有必要适当提高射砂工艺参数以保证成形质量。

### 3.2 固化压力和固化时间

图5a中，固化压力随砂芯总重增大而起伏变化，不过可以初步确定当砂芯总重小于150 kg时，固化压力取0.25~0.35 MPa；砂芯总重大于150 kg时，固化压力可定为0.4~0.5 MPa。图中25 kg附近出现的峰值，是D65缸体小砂芯制作时所采取的。而250 kg附近出现的波动，则是在制作R3000的上、下型时，将下限调整为0.3 MPa，在制作D65下型时，范围下调为0.3~0.4 MPa。

图5b中，当砂芯总重小于250 kg时，固化时间上限与砂芯总重关系可以按 $t_{\text{固max}}=68.75+0.30M_{\text{砂}}$ 确定，其中 $t_{\text{固max}}$ 单位为s， $M_{\text{砂}}$ 单位为kg；当砂芯总重超过250 kg时，则可以设置为350 s以上某一值。而对于固化时间

下限，当砂芯总重不超过80 kg时，固化时间为40 s；当砂芯总重为80~140 kg时，固化时间为60 s；当砂芯总重为140~300 kg时，固化时间为80 s，当砂芯总重大于300 kg时，固化时间为100 s。

与射砂参数类似，固化压力和固化时间与砂芯种类和砂芯结构关系较弱，主要与砂芯总重有关。对于这4种缸体，当砂芯总重小于150 kg时，固化压力取0.25~0.35 MPa；砂芯总重大于150 kg时，固化压力可定为0.4~0.5 MPa。同样当砂芯结构趋于复杂或简单时，可适当调高或降低工艺参数，以保证成形质量或降低生产成本。

### 3.3 三乙胺定量

增加胺量及延长吹气固化时间可以提高砂芯强度，但是前者会增加生产成本，后者则会导致生产效率下降，所以两者也需恰当的选择。

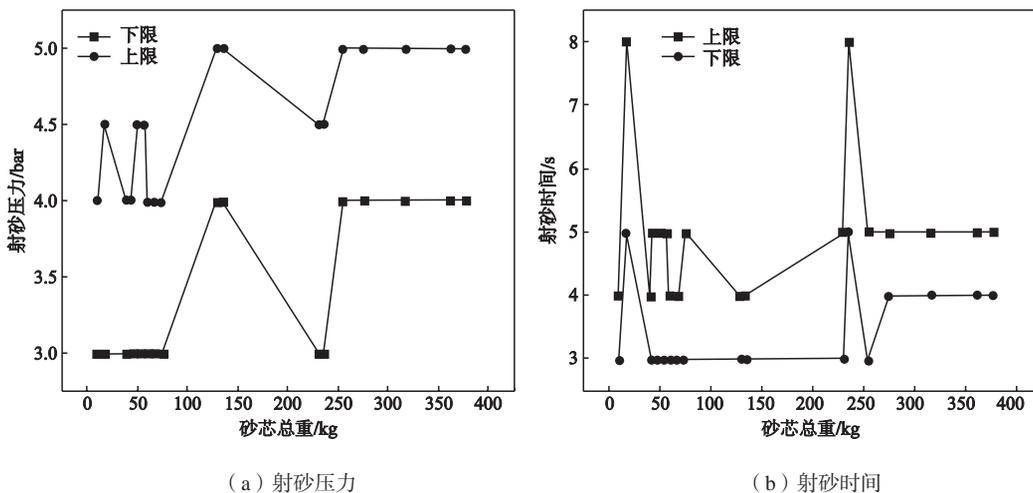


图4 射砂压力、时间同砂芯总重的关系

Fig. 4 Relationships between sand injection pressure and time and total weight of sand cores

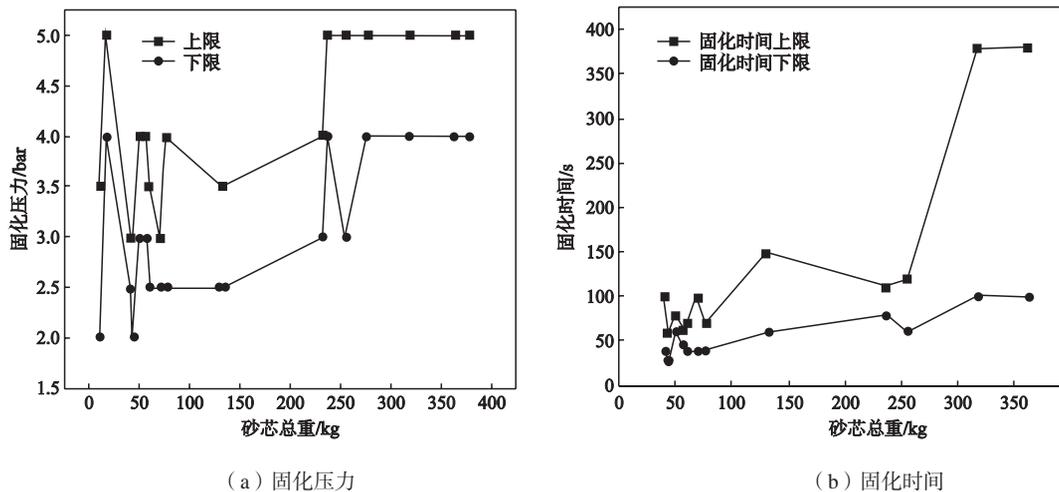


图5 固化压力、固化时间同砂芯总重的关系

Fig. 5 Relationships between curing pressure, curing time and total weight of sand cores

由图6可以看出,当砂芯总重小于100 kg时,总胺量随砂芯总重增加而波动变化;在100~250 kg,总胺量随砂芯总重增加而增加;当砂芯总重大于250 kg时,总胺量趋于定值。由于砂芯质量小于100 kg时,规律性不强,无法总结相关共性。在100~250 kg时,下限可按 $y_1=0.375x+25$ 来大致确定三乙胺量,其中 $x$ 为砂芯总重(kg), $y$ 为三乙胺定量,单位g;上限可按 $y_2=1.1x-3$ 确定。当砂芯质量大于250 kg时,三乙胺定量可取145~330 g。

不同缸体的不同砂芯,其三乙胺定量也主要与砂芯总重有关,且砂芯总重在100~250 kg时,三乙胺定量与砂芯总重呈线性关系。但是,与前述4个参数不同的是,当砂芯总重小于100 kg时,三乙胺定量与砂芯总重并没有明显的相关性,对于个别砂芯,仍然需要增加三乙胺总量以保证成形质量。

综合上述分析,4种缸体结构的共性和个性特征,在多数情况下,对于射芯机工艺参数并无较大影响。这些参数,可以单独根据砂芯总重来确定。当然,实际生产中,当砂芯级别较高、形状结构复杂时,需要适当提高有关工艺参数值以保证制芯质量;而当砂芯级别不高、形状结构较简单时,可适当调低工艺参数值以降低生产成本。同时,由于不同参数之间的影响,对于普通砂芯,提高一些参数值需要相应调低另外的参数值以降低成本;而对于复杂砂芯,则可能需要同时提高几个工艺参数值以保证成形质量。

### 4 表干工艺

表2为上、下外模及缸筒芯组总重。表3为上下外模表干工艺参数。表4为缸筒芯组表干工艺参数。

由于树脂砂型(芯)含水量较低,一般为0.2%~0.3%,即水基涂料表干工艺所干燥的只是水基涂料渗入表面的水分;并且由于树脂砂工艺的限制,干燥温度一般不宜超过250℃,在满足工艺要求的条件下,烘干时间越短越好<sup>[4]</sup>。通常采用的烘干工艺为:90~120℃烘干25 min。温度过高、时间过长都会引起

砂芯变形,尤其是水套芯和油道芯。

由表3和表4可知,4种缸体砂芯(型)的表干温度均在80~200℃之间,低于250℃,但比一般工艺的120℃要偏高;4种缸体砂芯(型)的烘芯时间也都在1~2 h范围内。同时,D65缸体的缸筒芯表干工艺参数与另外3种缸体相差较大。通过对比可以发现,这是由于其表干工艺是基于“高温快速”的方法,即通过提高表干温度,从而减少表干时间。

结合表2中砂芯总重数据,砂芯(型)表干温度和表干时间的设定,并不与砂芯总重大小有确定的线性联系,且无论烘芯温度设定的高低,烘芯时间均在1 h以上,各区烘芯温度均要在200℃以内。同时,烘芯温度越高,烘芯时间越短。组芯数量越多,砂芯配合部

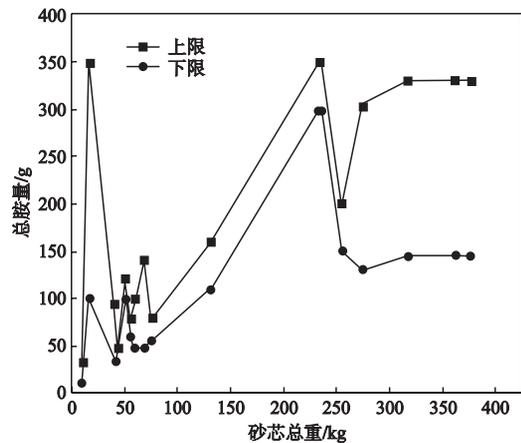


图6 三乙胺总量同砂芯总重的关系  
Fig. 6 Relationship between total amount of triethylamine and total weight of sand cores

表2 上、下外模及缸筒芯组总重  
Table 2 Total weight of upper and lower outer molds and cylinder core groups

项目	Q19	NT	D65	R3000
上外模/kg	361.6	317.0	236.0	254.5
下外模/kg	274.8	376.6	234.7	245.4
缸筒芯组/kg	261.6	263.0	168.0	170.3

表3 上下外模表干工艺参数  
Table 3 Technological parameters of drying upper and lower outer molds

工艺参数	表干炉温度设定/℃						
	缸体	一区	二区	三区	四区	五区	六区
燃烧室温度/℃	Q19、NT、R3000	180	260	260	260	正常情况下不点火	
	D65	300	300	300	300	300	300
炉膛温度/℃	Q19、NT、R3000	80	160	160	160	正常情况下不点火	
	D65	80	160	180	180	160	80
缸体	Q19	NT	D65		R3000		
烘芯时间	2~4 h	2~4 h	70 min		2~4 h		

位也越多,而留在这些地方的水分较难蒸发。因此砂芯结构越复杂,配合接触面积越大的芯组更需要采用“高温快速”的烘干工艺,即采取提高温度,缩短烘芯时间的措施。

## 5 结束语

(1) 直列发动机缸体的砂芯在结构上存在着共性和个性特征。共性特征使得砂芯工艺参数能够根据砂芯总重进行迁移应用,个性特征则导致生产工艺参数需要因此作出相应强化以满足砂芯质量要求。

(2) 使用冷芯机生产砂芯时,射芯工艺参数的选取,可以初步根据芯盒中一次生产的砂芯的总重进行确定。当初步确定的工艺参数偏高,导致资源浪费或偏低无法保证成形质量时,可适当调整参数。同时在设计芯盒时,也尽量不将难以成形的砂芯与易成形的砂芯安排到一个芯盒中,以使尽量多的射芯机可以采用初步确定的参数进行稳定生产而不需调高参数。

(3) 当采用了浸涂、表干等工艺增强砂芯强度时,树脂加入总量可比通常值取得低一些。砂芯强度受原砂及树脂加入量的影响,需要选择适当的工艺方

表4 缸筒芯组表干工艺参数  
Table 4 Technological parameters for drying cylinder core groups

工艺参数	表干炉温度设定/℃			
	缸体	一区	二区	三区
燃烧室温度/℃	Q19、NT	260	不点火	不点火
	D65	300	300	300
	R3000	220	220	220
炉膛温度/℃	Q19、NT	160 ± 10	不点火	不点火
	D65	120	200	120
	R3000	160	160	160
缸体	Q19	NT	D65	R3000
烘芯时间	1~2 h	1~2 h	70 min	1~1.5 h

案,在保证砂芯强度的前提下尽量降低生产成本。

(4) 文中所涉及缸体砂芯表干工艺参数,对于较重且总的配合面积小的砂芯,适合采用较低的烘芯温度以及较长的烘芯时间;对于较轻但总的配合面积大的砂芯,则适合采用较高的烘芯温度以及较短的烘芯时间。

### 参考文献:

- [1] 江贤波. 用于缸体、缸盖生产的三乙胺法冷芯盒制芯工艺研究与应用 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [2] 王涛, 崔怡, 陈代海, 等. 射砂紧实过程的实验研究 [J]. 中国铸造装备与技术, 2001 (2): 9-11.
- [3] 崔怡. 冷芯盒射芯工艺参数的研究 [J]. 铸造, 2000, 49 (9): 529.
- [4] 刘东明. 树脂砂铸造生产线新型热风循环干燥炉国产化研究 [D]. 大连: 大连交通大学, 2007.

## Common and Individual Characters of Technological Parameters in Cores Making of In-Line Cylinder Block

LEI Chao, YANG Yi, YANG Gang, HUANG Yuan

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

### Abstract:

The cores structures of four types of in-line cylinder block were analyzed using UG software to search the common and individual difficulties in the forming process of various types of cores. On the basis of that, the relations between the total weight of sand cores, their structures and technical parameters, such as sand shooting, curing, surface drying, were studied, and thus the common and individual characters of these core making process were obtained. The results show that, for the sand cores of different types of cylinder block, the total weight of sand cores has a primary influence on the technical parameters, and these parameters are flexible. However, the geometry structure also has some influence on the parameters.

### Key words:

core making; cold-core box; common and individual characters; structure analysis