

# 团 体 标 准

T/CFA 0203012—2023

## 智能砂型系统 第 1 部分：铸铁件镂空砂型设计规范

Intelligent sand mold system –  
Part 1: Design specifications for hollow sand mold of iron castings

（公告稿）

2023 – 04 – 23 发布

2023 – 07 – 23 实施

中国铸造协会 发 布



目 次

前言 ..... III

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 总则 ..... 1

    4.1 确保安全性 ..... 1

    4.2 提高铸件质量 ..... 1

    4.3 节约高效 ..... 1

    4.4 利于冷却控制 ..... 1

5 设计要求 ..... 1

    5.1 通用要求 ..... 1

    5.2 镂空砂型的结构 ..... 2

    5.3 镂空砂型的辅助结构 ..... 4

6 设计方法 ..... 5

    6.1 镂空结构 ..... 5

    6.2 辅助结构 ..... 6

7 生成方法 ..... 6

    7.1 生成方法 ..... 6

    7.2 生成工具 ..... 6

    7.3 模型格式 ..... 6

附录 A（资料性） 铸铁件镂空砂型设计推荐表 ..... 7

附录 B（资料性） 铸铁件典型镂空砂型结构图 ..... 9

参考文献 ..... 11

图 1 镂空砂型的壳型结构示意图 ..... 2

图 2 镂空砂型的网架结构示意图 ..... 3

图 3 镂空砂型的加强筋结构示意图 ..... 3

图 4 镂空砂型的壳型、加强筋和网架结构组合结构示意图 ..... 4

图 5 吊把设计 ..... 4

图 6 镂空砂型的清砂孔 ..... 4

图 B.1 壳型镂空结构 ..... 9

图 B.2 壳型与网架组合镂空结构 ..... 9

图 B.3 壳型与加强筋组合镂空结构 ..... 10

图 B.4 多层壳型与网架组合镂空结构 ..... 10

图 B.5 多层壳型、网架与加强筋组合镂空结构 ..... 10

表 A.1 铸铁件镂空砂型壳型结构尺寸设计推荐表 ..... 7

表 A.2 铸铁件镂空砂型网架结构尺寸设计推荐表 ..... 7

表 A.3 铸铁件镂空砂型加强筋结构尺寸设计推荐表 ..... 8

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是T/CFA 0203012《智能砂型系统》的第1部分。T/CFA 0203012已经发布了以下部分：

——第1部分：铸铁件镂空砂型设计规范。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国铸造协会智能铸造工作委员会提出。

本文件由中国铸造协会归口。

本文件起草单位：共享装备股份有限公司、清华大学、广东峰华卓立科技股份有限公司、国家数字化设计与制造创新中心、国家数字化设计与制造创新中心北京中心。

本文件主要起草人：康进武、张龙江、薛蕊莉、马立宏、金枫、刘秀秀。

本文件为首次发布。



## 引 言

铸造中使用的铸型一般都是密实的，长期以来没有发生本质的变化。传统密实铸型的冷却能力主要靠自身的蓄热（铸型的质量一般是铸件的几倍到几十倍），金属液浇注后首先发生激冷，随着温度的降低，铸型冷却能力逐渐下降，到后期冷却能力非常微弱。因此，后期铸件的冷却速率非常缓慢，这大大延长了铸件的打箱时间，严重影响铸件的生产效率。采用提前打箱的方法可以让铸件在空气中冷却来提高生产效率，但容易导致铸件变形甚至开裂。

T/CFA 0203012《智能砂型系统》提出的智能砂型系统，在传统砂型设计方面进行创新。采用镂空砂型结构，在其内部布置传感器进行监测，可进行局部冷却的调控，从而获得组织、性能可控、无缩孔缩松缺陷、低残余应力和无变形的铸件。通过本文件的制定和实施，将实现砂型轻量化，减少粘结剂和原砂用量，从而显著节约成本，有利于3D打印砂型砂芯技术的推广；同时将改变传统铸造的生产模式，提高生产效率和响应速度，降低生产成本，缩短铸造工艺流程，改善铸造生产作业环境，减少对环境的不良影响，推动铸造行业的科技进步，为推进铸造产业结构调整与优化升级创造条件。T/CFA 0203012《智能砂型系统》拟由5个部分组成：

- 第 1 部分：铸铁件镂空砂型设计规范 目的在于确立适用于铸铁件镂空砂型的设计规范。
- 第 2 部分：重力浇注铝合金铸件镂空砂型设计规范 目的在于确立适用于重力浇注铝合金铸件镂空砂型的设计规范。
- 第 3 部分：低压铸造铝合金铸件镂空砂型设计规范 目的在于确立适用于低压铸造铝合金铸件镂空砂型的设计规范。
- 第 4 部分：冷却控制系统设计规范 目的在于确立适用于冷却控制系统的设计规范。
- 第 5 部分：镂空砂型设计软件 目的在于确立适用于镂空砂型设计软件的相关要求。

# 智能砂型系统

## 第 1 部分：铸铁件镂空砂型设计规范

### 1 范围

本文件规定了智能砂型系统铸铁件镂空砂型设计（以下简称“镂空砂型”）的总则、设计要求、设计方法和生成方法。

本文件适用于智能砂型系统铸铁件镂空砂型的设计活动。

注：本文件所述砂型包括砂型和砂芯。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5611 铸造术语

GB/T 35351 增材制造 术语

T/CFA 031103.8 铸造粘结剂喷射砂型 设计要求

### 3 术语和定义

GB/T 5611、GB/T 35351 和 T/CFA 031103.8 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

镂空砂型 hollow sand mold

在保证砂型结构强度的前提下，将传统密实性砂型设计成空心结构的砂型。

#### 3.2

镂空砂型空心率 hollowness percentage of sand mold

镂空砂型减少的重量与镂空前的砂型重量之比。

注：镂空砂型空心率以%表示。

### 4 总则

#### 4.1 确保安全性

镂空砂型结构设计应避免操作中的危险性，确保铸造生产安全可靠。

#### 4.2 提高铸件质量

镂空砂型工艺设计应有利于提高铸件质量。

#### 4.3 节约高效

镂空砂型工艺设计应有利于提高镂空砂型空心率，有利于操作简便、降低成本、提高效率。

#### 4.4 利于冷却控制

镂空砂型工艺设计应有利于铸件成形过程中的冷却控制。

### 5 设计要求

#### 5.1 通用要求

5.1.1 结构设计应根据镂空砂型的运输、放置、施涂和铸件浇注过程中的强度要求综合确定，避免砂型发生变形、开裂甚至断裂。

5.1.2 镂空设计应保证铸型型腔的尺寸精度和表面质量。

5.1.3 砂型镂空部分应采用圆角过渡。

## 5.2 镂空砂型的结构

### 5.2.1 壳型结构

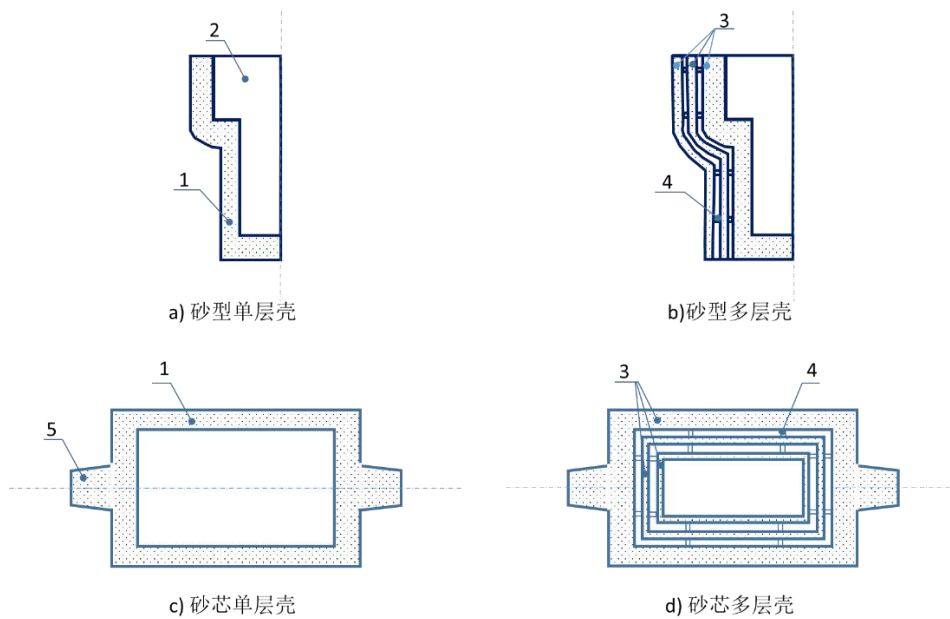
5.2.1.1 壳型结构见图 1 所示。

5.2.1.2 砂型局部或整体可采用多层壳结构以提高镂空砂型强度和保温作用。

5.2.1.3 围绕铸件冒口部位可采用多层壳提高砂型的保温性能。

5.2.1.4 多层壳型结构壳间间隙内应有加强筋。

5.2.1.5 壳型结构三维示意图见图 B.1。



标引序号说明：

- 1——壳型结构；
- 2——铸型型腔；
- 3——多层壳型；
- 4——壳间加强筋；
- 5——芯头。

图 1 镂空砂型的壳型结构示意图

### 5.2.2 网架结构

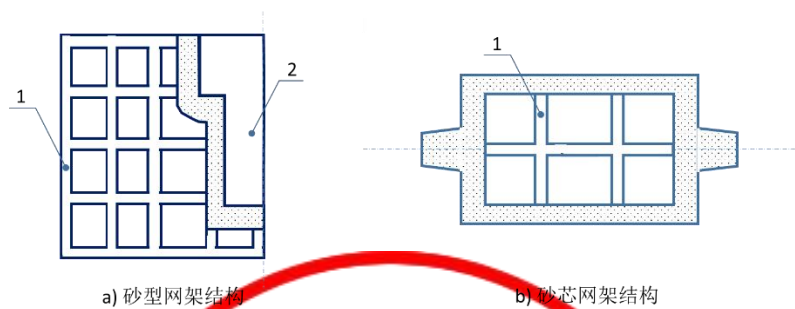
5.2.2.1 网架结构见图 2。

5.2.2.2 网架应能加固砂型，在砂型放置时应能自支撑。

5.2.2.3 网架的基本单元应为方形或圆形截面的杆。

5.2.2.4 对铸造时难以平稳放置的壳型应自壳型底部起采用网架。

5.2.2.5 网架结构三维示意图见图 B.2。

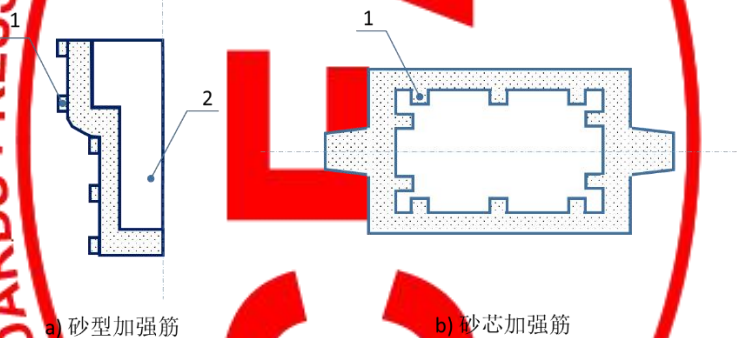


标引序号说明：  
1——网架结构；  
2——铸型型腔。

图 2 镂空砂型的网架结构示意图

5.2.3 加强筋结构

- 5.2.3.1 加强筋结构见图 3。
- 5.2.3.2 不接触金属液的砂型表面宜布置加强筋，加强筋呈纵横交叉分布，加强筋的形状应为方形或半圆形等。
- 5.2.3.3 加强筋结构三维示意图见图 B.3。



标引序号说明：  
1——加强筋；  
2——铸型型腔。

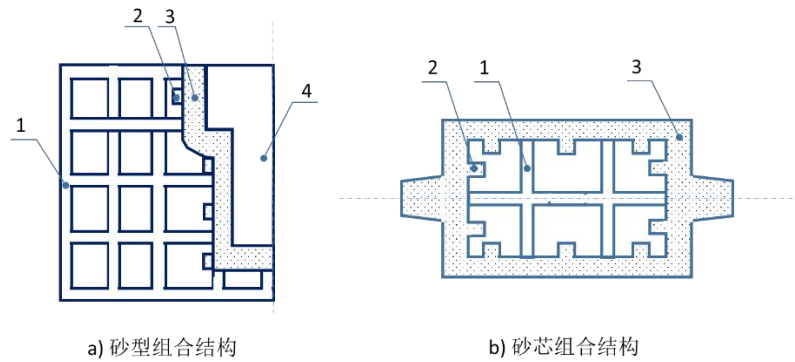
图 3 镂空砂型的加强筋结构示意图

5.2.4 其他结构

可设计既具有控制铸件缺陷、提高铸件质量、提高铸件生产效率又能保证强度的其它镂空结构。

5.2.5 组合结构

- 5.2.5.1 壳型、网架、加强筋及其它结构可两个或多个组合使用，如图 4 所示的壳型、加强筋和网架结构组合的镂空砂型结构形式。
- 5.2.5.2 组合结构三维示意图见图 B.4 和图 B.5。



标引序号说明：

- 1——网架结构；
- 2——加强筋；
- 3——壳型；
- 4——铸型型腔。

图4 镂空砂型的壳型、加强筋和网架结构组合结构示意图

5.3 镂空砂型的辅助结构

5.3.1 吊把

5.3.1.1 砂芯可将芯头作为吊把，不再另行设计吊把。

5.3.1.2 砂型应设计吊把，吊把设计应为凸出结构或凹陷结构，呈两端对称分布。吊把应设置在砂型的长边两侧的中部，吊把内部及其轴线宜不镂空，如图5。

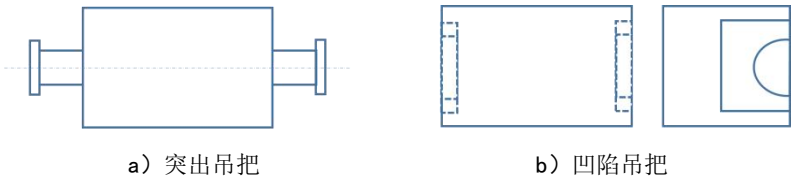
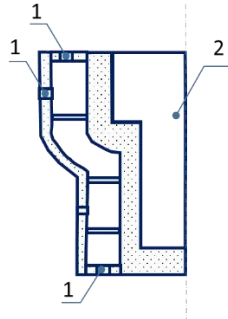


图5 吊把设计

5.3.2 清砂孔

5.3.2.1 形成铸件外轮廓的镂空砂型应设置清砂孔，见图6。

5.3.2.2 镂空砂芯应根据需要确定清砂。不需清砂时，可不开设清砂孔。



标引序号说明：

- 1——清砂孔；
- 2——铸型型腔。

图6 镂空砂型的清砂孔

### 5.3.3 镂空结构的圆角

镂空砂型壳型、加强筋、网架以及其它结构之间应采用圆角过渡。

### 5.3.4 镂空砂型标识

在不影响铸件和砂型结构的外露面上宜设计浮凸或凹陷的标识，包括企业图标、铸件信息、砂型编号、组芯顺序、置放方向和浇注信息等。

## 6 设计方法

### 6.1 镂空结构

#### 6.1.1 壳型结构

6.1.1.1 最内层壳型厚度应满足公式（1）要求，防止局部砂型溃散引发金属液泄漏。

$$\sigma_r > p \quad (1)$$

式中：

$\sigma_r$ ——砂型残余强度，单位帕（Pa）；

$p$ ——金属液静压头，单位帕（Pa）。

6.1.1.2 砂型残余强度和砂型受热温度历史有关，宜测量砂型不同温度下的残余强度，可采用数值模拟方法计算砂型温度分布，根据砂型温度计算残余强度。

6.1.1.3 金属液静压头按照公式（2）计算。

$$p = \rho gh \quad (2)$$

式中：

$p$ ——金属液静压头，单位帕（Pa）；

$\rho$ ——金属液密度，单位千克/立方米（kg/m<sup>3</sup>）；

$g$ ——重力加速度，单位米/秒<sup>2</sup>（m/s<sup>2</sup>）；

$h$ ——金属液高度，当前位置距离金属液最高点的距离，单位米（m）。

6.1.1.4 最内层壳型厚度应满足砂型整体强度大于金属液产生的张力，砂型整体强度应按照公式（3）计算，金属液产生的整体张力应按照公式（4）计算。

$$F_r = \sigma A_{max} \quad (3)$$

式中：

$F_r$ ——砂型整体强度，单位牛顿（N）；

$A_{max}$ ——铸件最大断面处砂型截面面积，单位平方米（m<sup>2</sup>）。

$$F_p = \frac{\rho g V}{A_{max}} \quad (4)$$

式中：

$F_p$ ——金属液产生的整体张力，单位牛顿（N）；

$V$ ——金属液体积，单位立方米（m<sup>3</sup>）。

6.1.1.5 最内层壳型厚度应针对铸件厚大部位加厚 0.1 倍~1 倍，应根据镂空砂型的运输、放置、施涂和提高铸件浇注温度的情况整体再加厚 0.1 倍~1 倍。

6.1.1.6 壳型结构设计可参照表 A.1，多层壳型结构可应用于整个铸件，也可应用于铸件局部；多层壳层数宜 2 层~4 层，相应的壳之间的间隙宜 1 层~3 层。

#### 6.1.2 网架结构

网架的高度不应低于壳型高度的1/3。网架结构设计可参照表A.2。

#### 6.1.3 加强筋结构

加强筋结构设计可参照表A.3。

6.1.4 组合结构

组合结构设计值参考表A.1、表A.2和表A.3。

6.2 辅助结构

6.2.1 吊把

凸出吊把强度应满足吊运要求，其半径应按公式（5）计算。

$$r = k \sqrt{\frac{G}{2\pi\tau}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- r ——吊把半径，单位毫米（mm）；
- k ——保险系数，取 10 ~ 20；
- G ——砂型重量，单位公斤（kg）；
- τ ——型砂的剪切强度，单位兆帕（MPa）。

6.2.2 清砂孔

清砂孔的大小和分布应便于清砂，直径不应小于3mm。

7 生成方法

7.1 生成方法

7.1.1 去除法

采用布尔运算，应从密实砂型中去除一定形状的三维形体，或可去除规则排布的一组三维形体。

7.1.2 添加法

宜在已生成的壳型上向外按一定间隔添加多层壳型，也可添加网架结构、加强筋等结构。

7.1.3 抽壳法

对密实砂型采用抽壳生成镂空砂型时，可在内部再添加网架、加强筋等结构。

7.2 生成工具

镂空砂型设计宜采用专业的镂空设计软件（如FT-HollowMold, FT-HollowCore等），或具有抽壳和造型功能的三维造形设计软件，或具有抽壳与镂空功能的增材制造设计软件。

7.3 模型格式

镂空砂型设计模型应能输出为增材或减材制造设备用工艺文件，用于制造镂空砂型。

附录 A  
(资料性)  
铸铁件镂空砂型设计推荐表

A.1 铸铁件镂空砂型壳型结构尺寸设计推荐值见表 A.1。

表 A.1 铸铁件镂空砂型壳型结构尺寸设计推荐表

单位为毫米

| 铸件壁厚   | 铁液净压头高度   | 壳型厚度 |     | 多层壳设计 |         |       |
|--------|-----------|------|-----|-------|---------|-------|
|        |           | 最内层  | 其它层 | 壳型间隔  | 加强筋截面尺寸 | 加强筋间隔 |
| ≤30    | ≤500      | ≥40  | ≥10 | ≥5    | 10×10   | ≤50   |
|        | 500~1000  | ≥55  | ≥10 | ≥5    | 20×20   | ≤100  |
|        | 1000~2000 | ≥75  | ≥10 | ≥5    | 50×50   | ≤200  |
| 30~60  | ≤500      | ≥50  | ≥10 | ≥5    | 10×10   | ≤50   |
|        | 500~1000  | ≥65  | ≥10 | ≥5    | 20×20   | ≤100  |
|        | 1000~2000 | ≥80  | ≥10 | ≥5    | 50×50   | ≤00   |
| 60~200 | ≤500      | ≥65  | ≥10 | ≥5    | 10×10   | ≤50   |
|        | 500~1000  | ≥80  | ≥10 | ≥5    | 20×20   | ≤100  |
|        | 1000~2000 | ≥100 | ≥10 | ≥5    | 50×50   | ≤200  |

注：此表为砂型试样 24 h 抗拉强度≥ 1.2 MPa 的灰铁、蠕铁铸件镂空砂型壳型结构设计计算值，对应球铁件可增大尺寸 1.1 倍。其他铸铁件铸造材料可根据砂型实际强度值采用理论计算等方法确定。

A.2 铸铁件镂空砂型网架结构尺寸设计推荐值见表 A.2。

表 A.2 铸铁件镂空砂型网架结构尺寸设计推荐表

单位为毫米

| 铸件壁厚   | 铁液净压头高度   | 主型厚度 | 网架设计      |      |
|--------|-----------|------|-----------|------|
|        |           |      | 网架截面尺寸    | 网架间隔 |
| ≤30    | ≤500      | ≥17  | 10×10/φ10 | ≤50  |
|        | 500~1000  | ≥21  | 20×20/φ20 | ≤100 |
|        | 1000~2000 | ≥25  | 50×50/φ50 | ≤200 |
| 30~60  | ≤500      | ≥40  | 10×10/φ10 | ≤50  |
|        | 500~1000  | ≥45  | 20×20/φ20 | ≤100 |
|        | 1000~2000 | ≥50  | 50×50/φ50 | ≤200 |
| 60~200 | ≤500      | ≥55  | 10×10/φ10 | ≤50  |
|        | 500~1000  | ≥60  | 20×20/φ20 | ≤100 |
|        | 1000~2000 | ≥65  | 50×50/φ50 | ≤200 |

注：此表为砂型试样 24 h 抗拉强度≥ 1.2 MPa 的灰铁、蠕铁铸件镂空砂型壳型结构设计计算值，对应球铁件可增大尺寸 1.1 倍。其他铸铁件铸造材料可根据砂型实际强度值采用理论计算等方法确定。

A.3 镂空砂型加强筋结构尺寸设计推荐值见表 A.3。

表 A.3 铸铁件镂空砂型加强筋结构尺寸设计推荐表

单位为毫米

| 铸件壁厚                                                                                               | 铁液净压头高度   | 主型厚度 | 加强筋设计   |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|---------|-------|
|                                                                                                    |           |      | 加强筋截面尺寸 | 加强筋间隔 |
| ≤30                                                                                                | ≤500      | ≥15  | 10×10   | ≤50   |
|                                                                                                    | 500~1000  | ≥20  | 20×20   | ≤100  |
|                                                                                                    | 1000~2000 | ≥35  | 50×50   | ≤200  |
| 30~60                                                                                              | ≤500      | ≥45  | 10×10   | ≤50   |
|                                                                                                    | 500~1000  | ≥50  | 20×20   | ≤100  |
|                                                                                                    | 1000~2000 | ≥60  | 50×50   | ≤200  |
| 60~200                                                                                             | ≤500      | ≥70  | 10×10   | ≤50   |
|                                                                                                    | 500~1000  | ≥75  | 20×20   | ≤100  |
|                                                                                                    | 1000~2000 | ≥85  | 50×50   | ≤200  |
| 注：此表为砂型试样 24 h 抗拉强度≥ 1.2 MPa 的灰铁、蠕铁铸件镂空砂型壳型结构设计计算值，对应球铁件可增大尺寸1.1 倍。其他铸铁件铸造材料可根据砂型实际强度值采用理论计算等方法确定。 |           |      |         |       |

附 录 B  
(资料性)  
铸铁件典型镂空砂型结构图

B. 1 壳型镂空结构见图 B. 1。

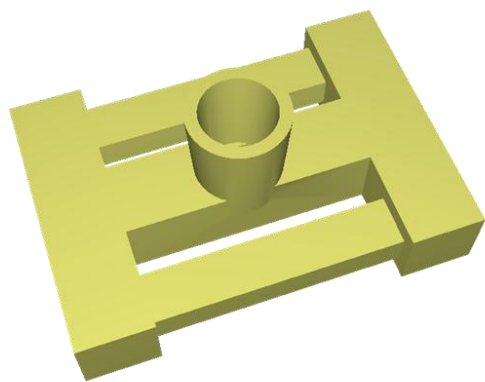
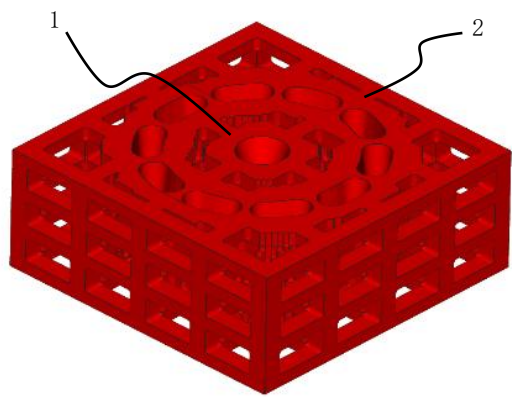


图 B. 1 壳型镂空结构

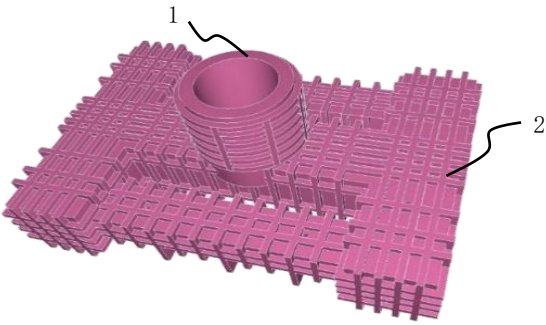
B. 2 壳型与网架组合镂空结构见图 B. 2。



标引序号说明：  
1——壳型；  
2——网架。

图 B. 2 壳型与网架组合镂空结构

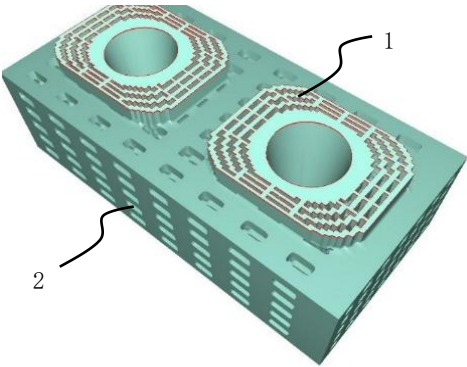
B. 3 壳型与加强筋组合镂空结构见图 B. 3。



标引序号说明：  
1——壳型；  
2——加强筋。

图 B.3 壳型与加强筋组合镂空结构

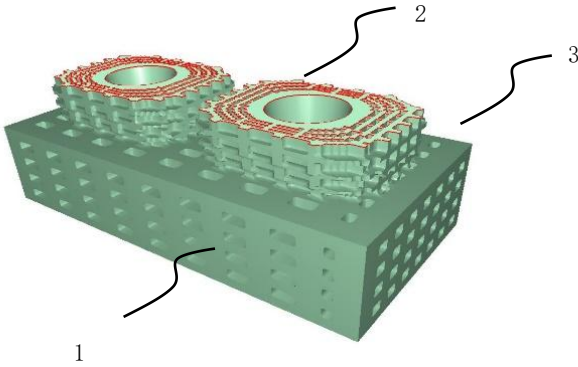
B.4 多层壳型与网架组合镂空结构见图 B.4。



标引序号说明：  
1——多层壳型；  
2——网架。

图 B.4 多层壳型与网架组合镂空结构

B.5 多层壳型、网架与加强筋组合镂空结构见图 B.5。



标引序号说明：  
1——网架；  
2——多层壳型；  
3——加强筋。

图 B.5 多层壳型、网架与加强筋组合镂空结构

## 参 考 文 献

- [1] 康进武;上官浩龙;邓承佯;易吉豪;胡永沂;黄涛,智能铸型研究.2017年第七届全国地方机械工程学会学术年会暨海峡两岸机械科技学术论坛论文集,2017-10-18,中国海南文昌
- [2] Haolong Shangguan, Jinwu Kang, Chengyang Deng, Yongyi Hu, Tao Huang. 3D-printed shell-truss sand mold for aluminum castings. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, 250:247-253
- [3] Haolong Shangguan, Jinwu Kang, Yi, Jihao; Zhang, Xiaochuan; Wang, Xiang; Wang, Haibin; Huang, Tao. The design of the 3D printed lattice reinforced thickness-varying shell mold for casting, *Materials*, 2018, 11(4): 535
- [4] Chengyang Deng, Jinwu Kang, Haolong Shangguan, Yongyi Hu, Tao Huang, Zhiyong Liu. Effects of Hollow Structures in Sand Mold Manufactured Using 3D Printing Technology. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018, 255: 516-523
- [5] Jinwu Kang, Haolong Shangguan, Chengyang Deng, Yongyi Hu, Jihao Yi, Xiang Wang, Xiaochuan Zhang, Tao Huang. Additive manufacturing-driven mold design for castings. *Additive Manufacturing* 22 (2018) 472-478
- [6] Cheng-yang Deng, \*Jin-wu Kang, Hao-long Shangguan, Tao Huang, Xiao-peng Zhang, Yong-yi Hu, and Tian-you Huang. Insulation effect of air cavity in sand mold using 3D printing technology. *China Foundry*, 2018, 15 (1): 37-43
- [7] Haolong Shangguan, Jinwu Kang\*, Chengyang Deng, Jihao Yi, Yongyi Hu & Tao Huang. 3D-printed rib-reinforced shell sand mold for aluminum castings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, 96(5-8): 2175-2182
- [8] Shangguan, Hao-long; Kang, Jin-wu; Yi, Ji-hao; Deng, CY; Hu, YY; Huang, T. Controlled cooling of an aluminum alloy casting based on 3D printed rib reinforced shell mold. *China Foundry*, 2018, 15(3): 210-215
- [9] Jiwu Wang, Lele Zheng, Jinwu Kang, Yongyi Hu. Study on the directional solidification process of an aluminum alloy bar in multi-shell mold being gradually immersed in water, *Materials*, 2020, 13(9), 2197
- [10] Kang, JW., Shangguan, HL., Peng, F. et al. Cooling control for castings by adopting skeletal sand mold design. *China Foundry*, 2021, 18: 18-28
- [11] 康进武, 刘宝林, 面向智能铸造的灵巧镂空铸型设计研究, 第三十四届中国仿真大会暨第二十一届全国亚洲仿真会议论文集, 2022-12-09