DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.012

ZL107 某基座铸件工艺模拟及优化

董海阔[1],董方涛[1],郗　旸[1],张　强[1],张开望[1],王　玉[2]
(1.西安航天精密机电研究所 陕西 西安 710100;2.西安航天发动机厂 陕西 西安 710100)

摘　要:对某基座铸件的铸造工艺利用 ProCAST 软件进行模拟仿真,预测了缩松(缩孔)缺陷的产生位置及分布,并依据仿真结果对铸造工艺方案进行优化。结果表明,采用优化后的工艺方案可生产出合格的铸件。模拟技术的应用可以有效检测铸造工艺设计的合理性,提高生产效益。

关键词:数值模拟;低压铸造;凝固
中图分类号:TG292　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)08-0699-05

Process Simulation and Optimization of a ZL107 Base Casting

DONG Haikuo[1],DONG Fangtao[1],XI Yang[1],ZHANG Qiang[1],ZHANG Kaiwang[1],WANG Yu[2]
(1. Xi'an Aerospace Precision Mechatronics Institute,Xi'an 710100,China;Xi'an Aerospace Engine Factory,Xi'an 710100,China)

Abstract:The casting process of a base casting was simulated by Procast software,and the position and distribution of shrinkage porosity (shrinkage cavity) defects were predicted. The casting process scheme was optimized according to the simulation results. The results show that qualified castings can be produced by using the optimized process scheme. The application of simulation technology can effectively test the rationality of casting process design and improve the production benefit.

Key words:numerical simulation;low pressure casting;solidification

航天产品具有批量小、种类多、质量要求严格等特点[1],如今正处于航天产业迅速蓬勃发展的时期,型号数量剧增。航天型号产品中的铸件生产面临着产品复杂化、小型化、多样化的挑战[2]。随着研发进度的不断加速,铸造生产的周期也在不断被压缩。因此,迫切需要新技术入手,适应这一发展趋势。铸造数值模拟技术作为目前最热门的行业先进技术之一,其重要性越来越明显[3-6]。铸造数值模拟技术可以对铸造工艺方案进行模拟计算,对缺陷进行识别,在计算机上就可以实现工艺方案检验和优化的迭代过程,避免反复试制带来的周期拉长的风险[7-8],能够有效提高铸造生产效率。

本文作者通过利用 ProCAST 铸造模拟软件对某基座铸件的铸造工艺方案进行仿真分析,对铸造充型、凝固过程进行模拟计算,预测铸造缺陷的产生,并参考模拟结果对工艺方案进行了优化和验证,最终利用优化后的方案进行投产,得到合格铸件,大大缩短了试制周期,提高了生产效率。

收稿日期:2021-04-12

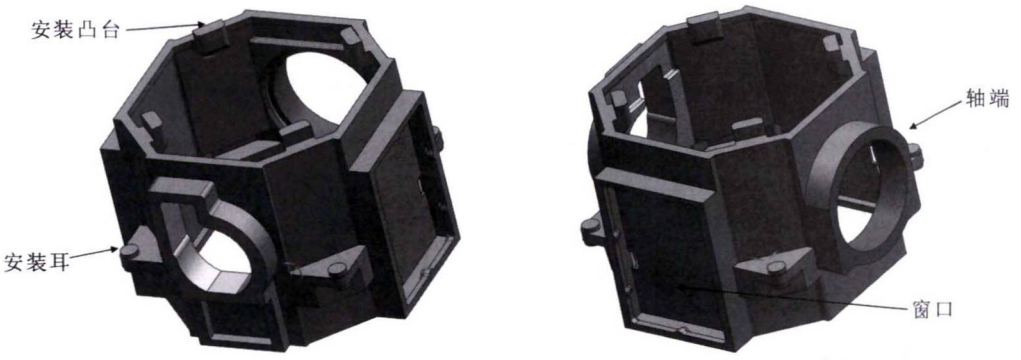
作者简介:董海阔(1992—),陕西西安人,硕士,助理工程师. 主要从事有色金属铸造成形方面的工作. 电话:18640078079,Email:1305037611@qq.com

1　工艺方案

某基座 ZL107 铸件为某型号关键产品重要结构件,采用砂型铸造生产。该铸件对内部质量要求高,铸件内部要求不能出现缩松、缩孔、裂纹等缺陷,且不允许补焊任何铸造缺陷,并且铸件厚壁部位与薄壁部位壁厚比值达 5 倍之多,薄壁部位壁厚多为 4~5 mm,接近铝合金砂型铸造临界壁厚,属于大壁厚差铸件,铸造生产难度较大。

图 1 为该基座铸件三维结构照片,该铸件尺寸为:300 mm × 350 mm × 350 mm,采用树脂砂型铸造。该铸件两侧圆轴端及 4 处安装耳位置厚度在 25 mm 左右,侧面非承重结构位置壁厚为 4~5 mm。铸造生产时既要保证厚大轴端及安装耳内部不能出现缩松、缩孔等铸造缺陷,又要保证薄厚相接处不能出现裂纹,并且薄壁部位要充型完整,不能出现浇不足缺陷。

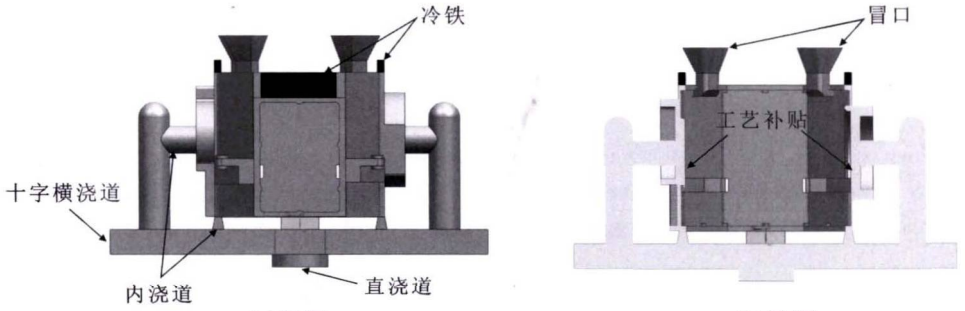
对铸件结构进行分析后,为了保证充型平稳及不出现浇不足缺陷,决定采用低压铸造方式进行生产。铸造工艺三维结构如图 2,低压直绕道尺寸为 ϕ60 mm,十字横浇道截面尺寸为 50 mm × 40 mm。从十字横浇道上各引入一宽度为 30 mm 的楔形内浇道与铸件底部 4 边相接,同时在两侧轴端底面增加厚度为 20 mm 的工艺补贴,再通过十字横浇道设



(a)视图 (b)视图

图 1 基座铸件形貌

Fig. 1 Base casting morphology



(a)视图 (b)视图

图 2 铸造工艺

Fig. 2 Casting process

置 ϕ30 mm 内浇道引入轴端底面，利用低压铸造的内浇道补缩作用，加强对轴端厚大部位的补缩，后期由机加辅助去除。铸件顶部安装凸台设置冒口辅助补缩。同时，为调节冷却顺序，加快补缩距离较远位置的冷却，在如图 3 黑色部位，放置了 4 处冷铁，冷铁材质为铸铝。考虑冷铁为多次重复利用，并结合生产经验，最终冷铁厚度取激冷部位最大厚度的 3 倍，厚度约为 15 mm 左右。利用低压浇注系统与冷铁配合在铸件充型、凝固过程中形成一个利于补缩的凝固顺序，铸件浇注温度取 700 ℃，低压浇注参数如表 1。

表 1 低压浇注参数

Tab. 1 Parameters of low pressure casting

阶段	升液	充型	升压	保压
压力/kPa · s^{-1}	2.5	3	4	42
时间/s	6	4	3	300

2 铸造缺陷分析及工艺优化

将以上铸造工艺方案导入 ProCAST 模拟软件进行模拟计算。图 3 为该方案条件下缩松缩孔模拟结果，从图中可以发现在两侧窗口上部出现了缩孔倾向区域，缺陷产生的概率高达 40%。经检查，轴端及其他部位均未发现缩孔倾向区域。模拟结果表明该工艺方案可以保证轴端厚大部位内部质量，但是两处窗口上部易出现缩松缩孔缺陷。

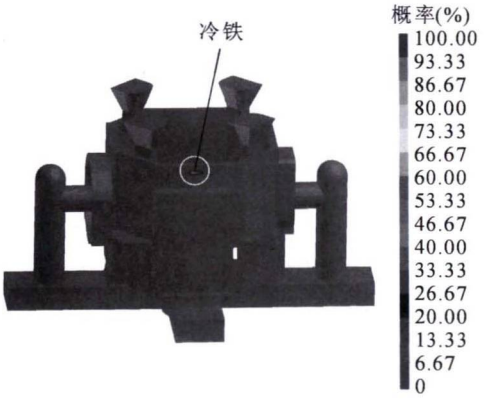


图 3 缩松(缩孔)模拟结果

Fig. 3 Numerical simulation results of shrinkage porosities

通过模拟结果对铸件凝固过程进行分析。图 4 是截取充型结束后第 30 ~ 70 s 时的温度场变化，图 5为充型结束后第 30 ~ 70 s 时的固相分数变化，图 6 充型结束后第 30 ~ 70 s 时的缩松(缩孔)模拟

结果。从图 4 ~ 图 6 的模拟结果可以看出，随着铸件的冷却，在窗口上部出现密闭的高温度区域以及密闭的固 - 液两相区，该密闭区域在冷却过程中无法获得有效补缩，很容易形成缩松（缩孔）缺陷。模拟结果中温度、固相分数的变化规律与最终高缩松（缩孔）倾向区域的形成规律高度一致。

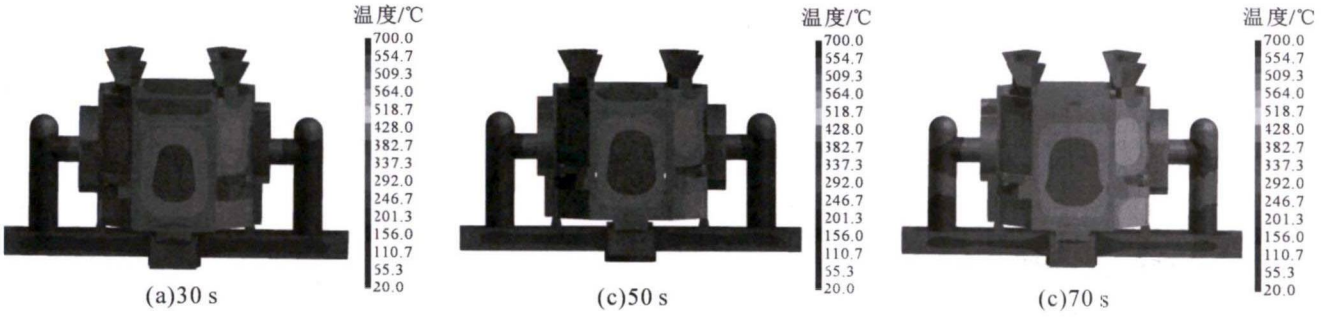


图 4 充型结束后不同时刻温度场模拟结果

Fig. 4 Numerical simulation results of temperature field at different time after filling completion

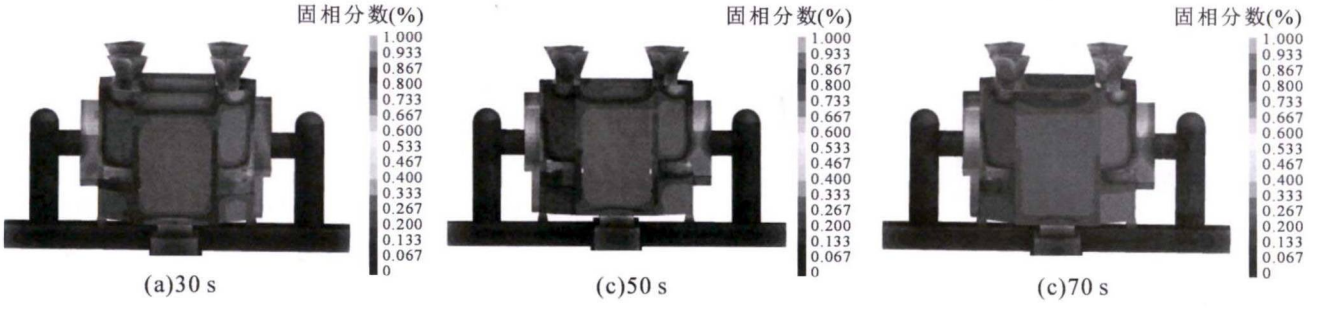


图 5 充型结束后不同时刻的固相分数

Fig. 5 Numerical simulation results of solid fraction at different time after filling completed

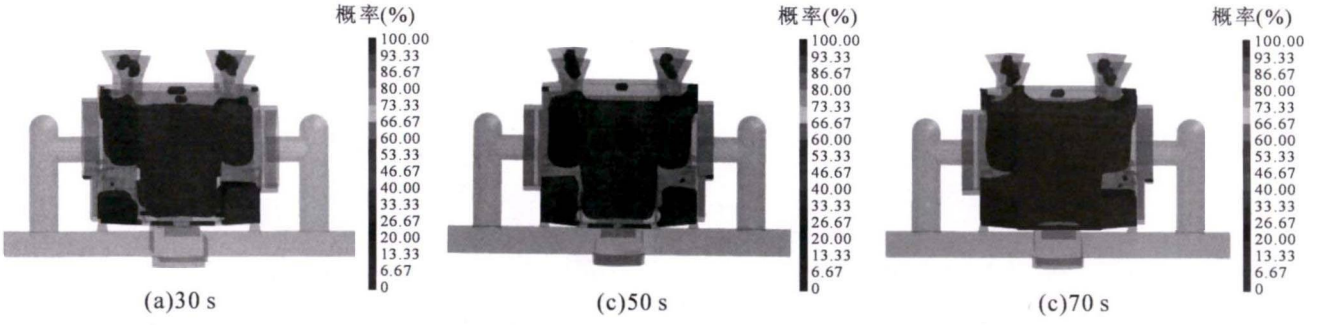


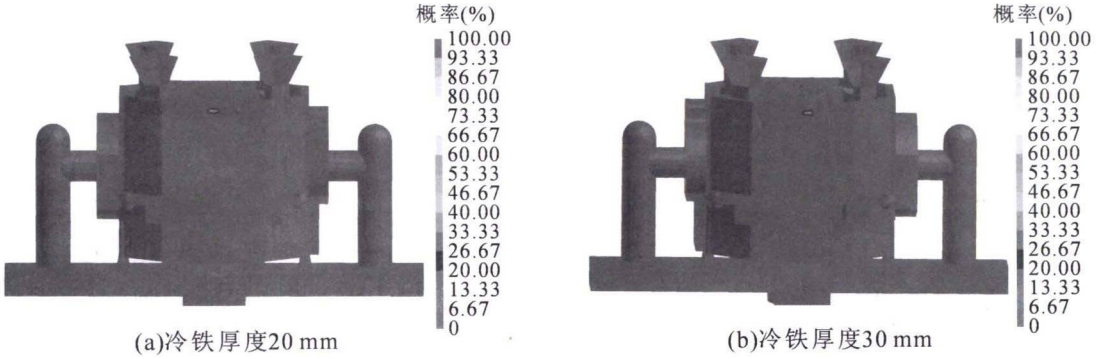
图 6 充型结束后不同时刻的缩松缩孔模拟结果

Fig. 6 Numerical simulation results of shrinkage defects at different time after filling completed

根据以上分析，初步判断造成该区域出现较高缩松（缩孔）缺陷概率的原因为冷铁激冷能力不足。在此处形成密闭高温度区域，进而形成密闭固 - 液两相区，最终导致形成高缩松（缩孔）倾向区域。因此，不改变其他工艺参数和低压浇注参数的条件下，采取了两种优化方案，方案一是将冷铁厚度由原来的 15 mm 分别增加为 20 mm 和 30 mm 分别进行模拟；方案二是选取激冷能力更大的铜质冷铁，铸铝的密度约为 2.7 g/cm^3，导热系数约为 160 W/m · K，比热容为 0.88 kJ/（kg · ℃）；含铜量 60% 的黄铜密度约为 8.5 g/cm^3，导热系数约 109 W/m. K，比热容约为 0.39 kJ/（kg · ℃），含铜量 60% 的黄铜导热率及比热容虽不如铸铝，但是其密度是铸铝的 3. 15 倍，因此单位体积黄铜冷铁的能吸收的热量要比铸铝多约 40%。因此体积相同的条件下，黄铜要比铸铝激冷能力更强[9]。

将两种优化方案分别代入软件进行模拟。图 7 是方案一中冷铁厚度分别为 20、30 mm 时缩松（缩孔）模拟结果。模拟结果显示铸件两侧窗口上部仍然出现了高缩松（缩孔）倾向区域，缺陷产生概率仍为 40% 左右。模拟结果显示增加冷铁厚度并不能降低该铸件缺陷生产的概率。王继章等的《铝合金铸件中冷铁作用效果的研究》也得出过类似的结论[10]。

图 8 为方案二冷铁厚度不变，将冷铁材质换为铜后的缩松（缩孔）模拟结果。结果显示铸件两侧窗口上部没有高缩松、缩孔倾向区域产生。



(a)冷铁厚度20 mm　(b)冷铁厚度30 mm

图 7 采用不同厚度铝合金冷铁的缩松缩孔模拟结果

Fig. 7 Numerical simulation results of shrinkage defects using aluminum chills with different thickness

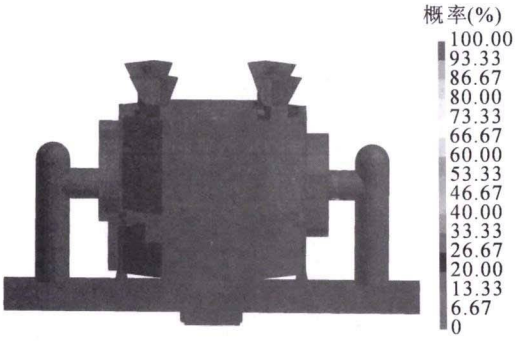


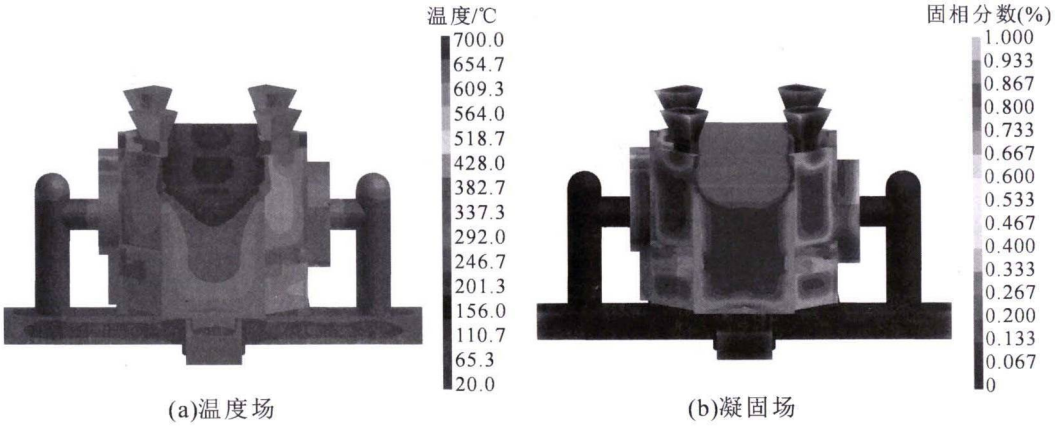
图 8 冷铁材质为黄铜时的缩松缩孔模拟结果

Fig. 8 Numerical simulation results of shrinkage defects using brass chills

对冷却以及凝固过程的模拟结果进行分析。图 9 为充型结束后第 50 s 的铸件温度场及凝固场模拟结果。从图中看出，将冷铁材质由铝变为铜后，窗口上部凝固呈现非常好的顺序凝固的状态，因此大大降低该处缩松(缩孔)缺陷的产生倾向。

最终对以上方案分别进行了实际投产验证，如图 10，使用铝质冷铁的铸件在试加工时窗口上部加工后的表面出现了明显的缩松(缩孔)缺陷，其位置与模拟结果指示位置完全相同。

图 11 为采用含铜量为 60% 的黄铜冷铁铸件 X-射线检测底片，采用铜冷铁的铸件则在该处未发现缩松(缩孔)缺陷产生，铸件内部质量良好。验证结果与模拟结果一致，故该基座铸件决定在后续生产中采用铜冷铁。



(a)温度场　(b)凝固场

图 9 优化铸造工艺后的模拟结果

Fig. 9 Numerical simulation results after casting process optimization

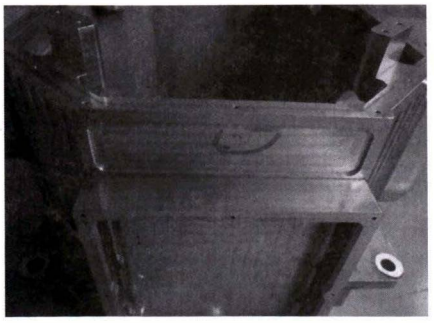


图 10 冷铁材质为铝时的缩松缩孔缺陷

Fig. 10 Shrinkage defects using aluminum chills

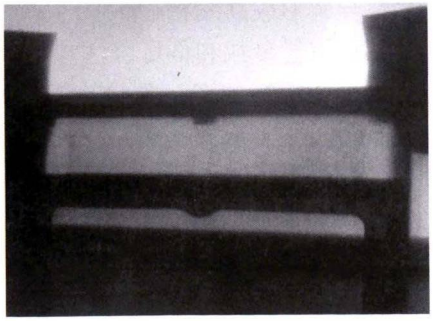


图 11 冷铁材质为黄铜时 X-射线探伤结果

Fig. 11 Results of X-ray detection using brass chills

3　结论

（1）通过铸造数值模拟技术的应用，辅助完成铸造工艺方案的检测和优化，大大缩短了该基座铸件的试制周期，也降低了反复试制带来了成本增加及资源浪费，提高了生产效益。

（2）就该基座铸件生产而言，更换激冷能力更大的冷铁材质比单一增加冷铁厚度对降低缩松（缩孔）缺陷产生具有更加明显的作用。这结果对其他铸件生产也有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 黎虹，任鹏立，符道，等. 降低航空铝合金铸件成本初探[J]. 热加工工艺，2013，42(21)：215-216.

[2] 樊振中，徐秀利，王玉灵，等. 熔模精密铸造技术在航天工业的应用及发展[J]. 特种铸造及有色合金，2014，34(3)：285-289.

[3] 罗迪. 铸造过程仿真系统应用的认知误区[J]. 铸造技术，2018，39(8)：1705-1708.

[4] 黄胜银，沈亚坤，郑喜平. 铝合金底座铸造工艺数值模拟研究[J]. 铸造技术，2017，38(12)：2929-2932.

[5] 介石磊，彭俊，郝春雨. 汽车铝合金轮毂低压铸造工艺研究[J]. 铸造技术，2017，38(11)：2785-2788.

[6] 杜旭初，杨守杰，罗传彪，等. 数值模拟在铝铜合金低压铸造工艺中的应用[J]. 铸造技术，2016，37 (1)：120-123.

[7] 孔令超. 铝合金低压铸造过程模拟[J]. 铸造技术，2015，36(6)：1513-1517.

[8] 樊庆华，张剑，黄引平，等. 传统铸造走向数字铸造的解决方案[J]. 热加工工艺，2017，46(13)：131-133.

[9] 王君卿. 铸造手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[10] 王继章，杨晶，王宁. 铝合金铸造中冷铁作用效果的研究[J]. 特种铸造及有色合金，2011，31 (10)：961-963.

TSFA便携式非接触红外测温仪

铸造测温的跨越



采用德国技术，激光/望远镜瞄准，只要扣动按键，炉内熔化温度、出炉温度、浇包温度、浇注开始与终了温度、冒口溢流温度就会瞬间显示。全程检测，快速、准确、方便。4米内目标不受距离影响。测温范围：1000~2000℃，铸铁、铸钢、铝铜不同合金发射率可调。

产品特点及技术参数

- 瞄准方式：激光/望远镜瞄准
- 目标距离：4 m 内测量与距离无关
- 激光聚焦：3600 mm距离激光聚焦为24 mm光斑
- 测量模式：最大值/最小值显示/记忆功能
- 扫描功能：对测量目标快速扫描并显示出测量的最大值
- 报警方式：高低温声光报警
- 存储功能：2000 个数据点

唐盛电子

纳米级短波精确测量物体温度，特别是熔融金属液态温度；带USB接口及软件，可设定仪器参数、存取数据可下载、连接计算机可以显示实时温度及温度曲线，对合金熔化及浇注温度的控制提供可靠的适时测量。

西安唐盛电子有限责任公司

地址：西安市雁翔路132号开元新村4单元201室

电话：029-83290862　　传真：029-88473613

Email: xatomson@163.com　　QQ：517221382