



北京赛维美高科技有限公司
Beijing Savemation Technology Co. Ltd

加热炉与热处理炉 温度曲线的测试与优化

刘日新

<http://www.cnmeter.com>



工业炉：优质、低耗、低污染

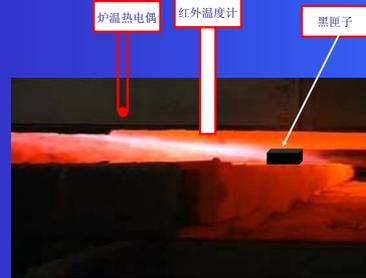
- 钢坯加热炉加热质量方面包括：加热温度、温差、氧化烧损、脱碳等。
- 钢管和车轮热处理主要要求达到工艺要求温度曲线和温度均匀性。
- 合金钢、不锈钢加热需要按要求的升温曲线加热。

在这些工业炉内，物料是运动的，有些在运动过程中还要发生旋转，工艺上不仅要了解表面温度，还有知道物料内部的温度在炉长、炉宽方向的分布。

“黑匣子”温度测试技术正好可以解决这个问题。



加热钢坯温度直接测量困难



- 炉温热电偶：综合温度
- 红外温度计：表面温度
- “黑匣子”测温，钢坯实际温度分布，工业连续测量困难。



温度曲线采用“黑匣子”测试

- “黑匣子”测试设备由高温温度记录仪和保温箱组成。
- 记录仪的测温范围：
 - K型测温范围-100 to 1290℃，分辨率0.5℃，测量误差0.5%；
 - S型测温范围0 to 1450℃；分辨率1.0℃；测量误差0.5%；
- 通道数：7或14通道；
- 采样周期：1次/12秒- 1次/8小时；
- 数据记录仪工作条件：温度1400℃下6小时，在300℃低温下工作可以达到30小时。



“黑匣子”开发过程中的热态测试



黑匣子的应用领域

- 金属加热和热处理
- 回流焊和波峰焊、钎焊
- 表面涂装和固化、不粘锅
- 陶瓷烧成
- 玻璃退火
- 食品烘焙



测试方法

- 在物料上打测温孔，将电偶热端紧紧插入物料测温孔中，冷端的正负极与记录仪的正负极一一对应相连接，同时记录下记录仪接口的通道数所代表的物料测温孔的位置。
- 记录仪随物料一同进入炉内，经过加热、热处理或烧成后，从炉子出口拿出。
- 出炉后，待箱体温度下降后，取出记录仪，通过与计算机相连，将记录仪中保存的数据传输到计算机中，用excel进行数据处理，绘制出物料升温曲线和炉温沿炉长方向的变化曲线。



黑匣子应用解决的问题

- 加热炉投产验收
- 加热工艺数字化
- 热处理工艺数字化
- 加热温度和段面温差、钢坯长度方向的温差
- 氧化烧损
- 水管黑印
- 数学模型参数提取、数学模型验证等



温度曲线测试应用：宝钢

- 宝钢二热轧加热炉投产验收
- 宝钢二热轧3#炉模型验证
- 宝钢二热轧新钢种硅钢开发
- 宝钢一热轧厂加热炉降低钢坯的氧化烧损和氧化铁皮的压入，提高质量
- 宝钢一热轧二号加热炉蓄热改造功能考核
- 宝钢厚板C炉加热模型验证
- 宝钢厚板B炉加热制度评价
- 宝钢钢管环形炉数学模型验证
- 宝钢钢管热处理淬火炉数学模型验证
- 宝钢钢管热处理回火炉数学模型验证
- 宝钢不锈钢连续加热炉加热制度评价和模型验证
- 宝钢特殊钢加热炉加热制度的评价



温度曲线测试的应用

- 江阴兴澄钢铁公司300×300方坯加热炉
- 无锡华润轴承钢的加热制度的评价
- 武钢高线加热炉模型验证
- 马钢车轮热处理环形加热炉
- 天津钢管环型炉、热处理炉、再加热炉
- 济钢中板蓄热加热炉功能考核
- 首钢中板蓄热加热炉
- 攀钢热轧加热炉功能考核
- 酒钢炉卷加热炉功能考核
- 南钢炉卷中厚板加热炉模型验证和考核
- 中南铝车轮固熔过程温度曲线的测试



测试点的安装



鞍钢热轧加热炉黑匣子出炉



宝钢厚板B炉黑匣子出炉





宝钢厚板C炉黑匣子出炉



Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



黑匣子安装在管坯上



Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



“黑匣子”安装在测试钢坯上



Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



马钢热处理黑匣子进炉



Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



车轮热处理出炉

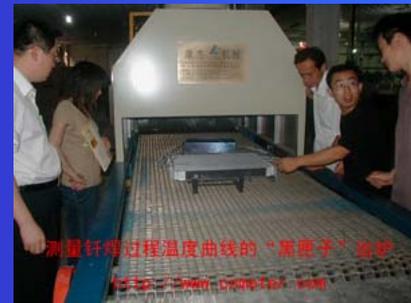


Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



黑匣子出钎焊炉



Cnmeter.com

网络实名: 工业加热
© 2005 SMT.CHINA



铝车轮固熔温度曲线测试



环形加热炉加热温度曲线的测试



测试应用 - 环型加热炉



- 氧化铁皮厚。生成的氧化铁有时很难去除，不仅造成氧化烧损大，而且影响管坯表面质量；
- 管坯加热温度不均匀。
- 轧制节奏快时，管坯与炉底接触面附近发暗。



宝钢钢管环形炉黑匣子测试Φ179



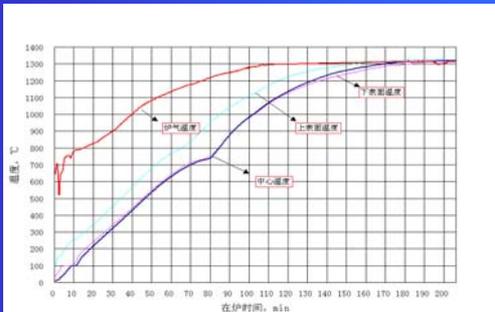
宝钢环型炉



黑匣子安装在管坯加热



天津钢管环形炉加热温度曲线

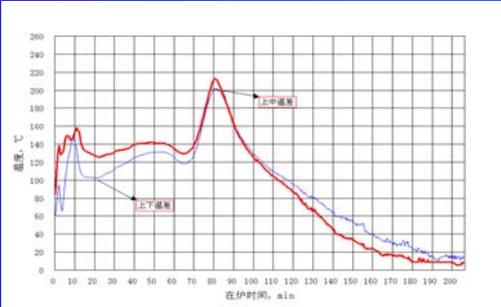


加热温度曲线的分析

- 钢坯是放置在实底床上。钢坯的中心温度和下表面温度是基本一致的。
- 钢坯加热到750°C时，钢坯的相变区因为相变吸热升温速率变小。
- 钢坯出炉温度1320°C，出炉钢坯上中温差8°C，上下温差为13°C。
- 加热168分钟后钢坯温度达到1300°C，此时上下温差30°C。
- 钢坯的加热温度过高是引起穿管孔洞的原因之一。加热温度过高的原因的炉顶热电偶的安装位置不合适，没有真正反映炉内温度水平，测试后对炉温热电偶的位置进行了调整，使测得温度真正反映炉内温度。



管坯得断面温差



加热温差的分析

- 钢坯的温差在相变时因为导热系数降低, 温差最大, 最大温差达到213°C。
- 加热168分钟后钢坯温度达到1300°C, 此时上下温差30°C。
- 出炉时断面温差达到8°C。
- 钢坯出炉后表面温度降约为40°C/min, 从出炉到开轧需要一分钟左右, 出炉表面与中心的温差在30°C是可行的。



炉气温度和管坯平均温度

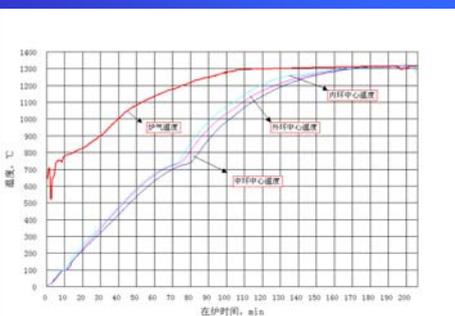


炉气温度曲线的分析

- 炉内热电偶只能测试安装位置点的炉温。采用这种实验方法把炉气温度曲线测试出来。如果在钢坯的长度方向安装多支热电偶, 就可以测得全炉炉气温度的分布。为炉型结构、烧嘴位置布置、供热调节和操作改进提供依据。
- 通过测试, 发现在钢坯的出口有一个炉气温度低于钢坯温度的一个区, 在这里钢坯温度会降低, 是由于布置反向烧嘴造成的。
- 长时间待轧后往往开始的几个钢坯不好轧, 就是温度低的原因。因此, 在出现待轧时, 建议把全炉钢坯后退使第九段没有钢坯, 避免出现待轧后出炉钢坯有几支钢坯温度过低的现象。



管坯长度方向的温度分布



长度方向温度分析

- 钢坯在长度方向的温度均匀性也会影响产品质量, 尤其是对于长料。
- 对于这种短料还言, 钢坯的长度方向温差不大, 但在强化加热的加热段, 因为采用交叉布料, 温差还是比较大, 两端温度高, 中间温度低。



钢管热处理炉的温度曲线测试



测试应用 - 钢管热处理炉

通过“黑匣子”测温实验确定钢管在淬火炉和回火炉内热处理过程的在钢管长度和圆周方向的温度分布，确定不同炉窑的热处理温度的均匀性，为改进热处理操作工艺和炉窑设计提供依据。

我们对天津钢管公司四台处理炉和宝钢钢管分公司的两台热处理炉内钢管热处理进行“黑匣子”测温实验。

钢管在炉内是滚动的。



钢管“黑匣子”的安装 (Φ179)



安装黑匣子

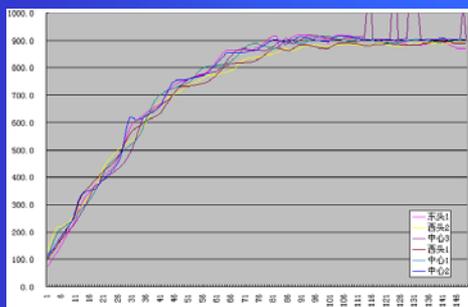
黑匣子安装在钢管



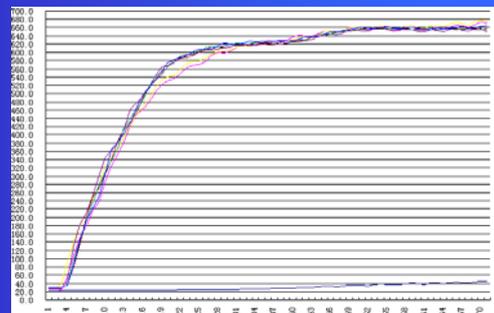
实验钢管出炉



淬火炉测试结果



回火炉测试结果





热处理温度曲线的分析

- 可以很清楚地得出达到要求的加热温度后的保温时间，使热处理工艺数字化。
- 通过测试，可以制定出不同规格的钢管的回火工艺。
- 根据淬火和回火保温时间的要求，可以得出合理的淬火炉和回火炉的长度比，为新的钢管热处理线各炉长的确定提供依据。
- 高速烧嘴的炉子温差±8度，炉气大循环的炉子温差±3度。



轴承钢加热温度曲线的测试



“黑匣子”安装在方坯(300*300)上

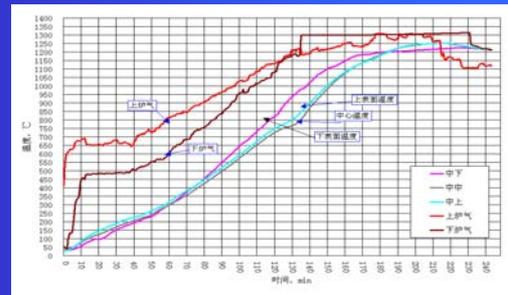


兴澄特钢300*300方坯加热

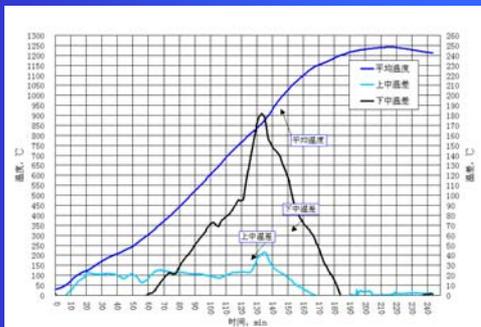
工业电视图



轴承钢加热的温度曲线



断面温差的变化



加热温度曲线的分析

- 钢坯平均温度高于1150℃的时间为77分钟。
- 钢坯平均温度在300℃到700℃的平均升温速度为：7.64℃/min。
- 从钢坯加热温度曲线来看，钢坯加热到最高温度后，钢坯的温度下降，这与均热段的实际炉温偏低有关，其中原因之一是端出料的炉子在出料炉门处吸入冷空气，并且这些冷空气靠近钢坯上表面。由于表面温度比中心温度降低快，这也有利于降低出炉时温度的表面与中心的温度差。
- 但出炉后钢坯到进轧机前需要经历一段时间，钢坯的表面温度会显著下降。因此，加热曲线最好是升到最高温度后保持，平均温度不要下降，表面温度有所下降，中心温度不要下降。

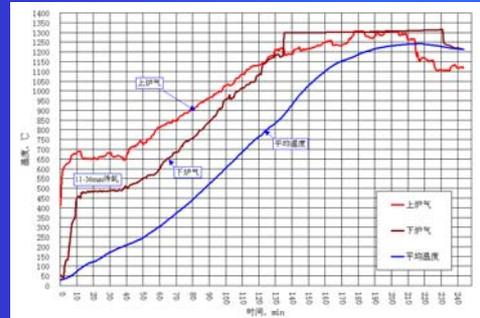


断面最大温差

下表面与中心的最大温差为182℃，此时平均温度为857℃



炉气温度与钢坯平均温度

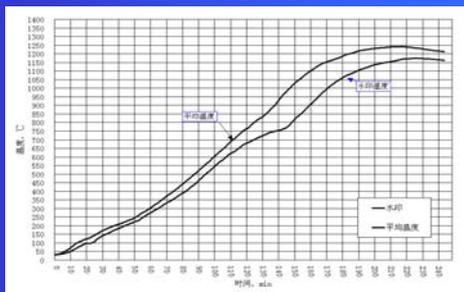


炉气温度分析

- 炉内热电偶只能测试安装位置点的炉温。采用这种实验方法把炉气温度曲线测试出来。如果在钢坯的长度方向安装多支热电偶，就可以测得全炉炉气温度的分布。为炉型结构、烧嘴位置布置、供热调节和操作改进提供依据。
- 从炉气温度来看，炉尾下部炉膛温度低于上部炉膛温度。到加热段时，因为下部炉膛火焰直接烧到测温热电偶，温度超出测温范围。到均热段时，上部炉膛温度因为冷空气的吸入贴近钢坯上表面，炉气温度大幅度降低。解决炉头吸入冷空气的有效办法是改为侧出料的方式。



水印温度



水印点温度为1162℃，比平均温度低50℃。



车轮热处理过程的温度曲线测试



测试应用 - 车轮热处理炉

火车提速对火车轮的质量提出了越来越高的要求。这样需要保障车轮在淬火和回火过程的温度实现准确控制，因此，在实际生产中每隔一定时间，把黑匣子与车轮一同入炉，测得车轮在整个热处理过程中的温度分布，改进热处理炉的热工操作，提高车轮质量。



马钢轮毂4#热处理环形炉



Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



实验车轮由机器手装入炉内



Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



加热好后出炉



Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



在淬火台上进行热处理



Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



淬火结束



Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



实验条件

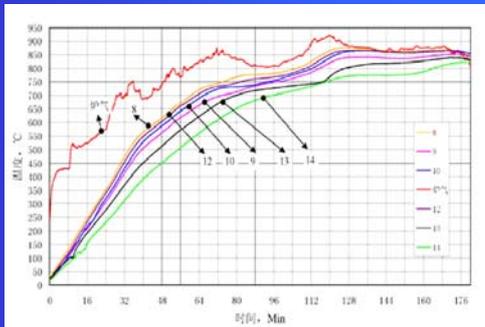
- 第一次试验 (黑皮轮);
- 预热段：前20分钟为770℃左右，后15分钟为800℃左右。
- 加热一段：860℃左右；
- 加热二段：880℃左右；
- 均热段：平稳在870℃，上下波动不超过10℃

Cnmeter.com

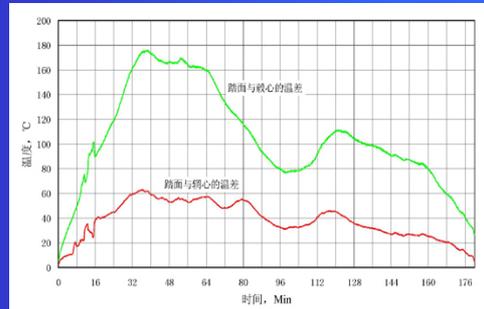
网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



第一次实验的测试结果：黑皮轮



踏面-轮辋中心和踏面-轮毂中心的温差分布（黑皮轮）

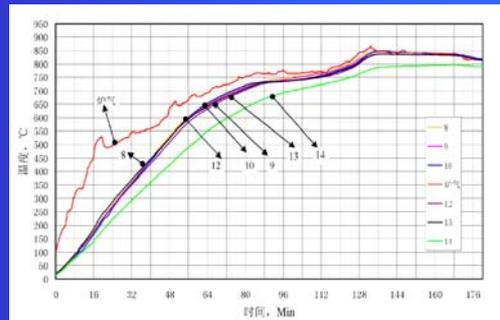


实验条件

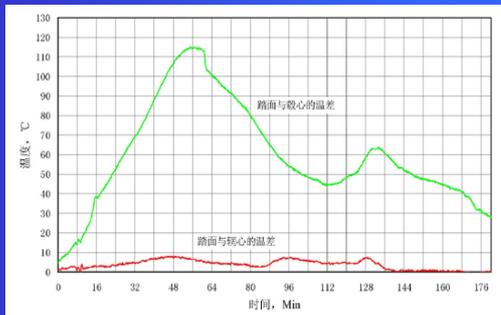
- 第二次试验：
 1. 预热段：控制基本在800~840℃范围内。
 2. 加热一段：860℃左右；
 3. 加热二段：880℃左右；
 4. 均热段：平稳在860℃，上下波动不超过10℃



第二次实验的测试结果：光亮轮



踏面-轮辋中心和踏面-轮毂中心的温差分布（光亮轮）



小结

- 对于KKD车轮来说，临时淬火加热工艺是合理的。
- 加热时间宜控制在2个半小时以内，否则导致辐板因保温时间过长而导致奥氏体晶粒长大，最终影响回火后车轮的辐板冲击韧性。
- 对于经机加工的光亮车轮来说，加热过程中的内外温度差并不大，加热速度仍有提高的空间。提高加热速度后，不仅能够加快相变的速度，增加4#炉的小时产量（当然4#炉的小时产量在很大程度上受淬火台生产能力的限制），而且能有效减小奥氏体的晶粒度，对改善热处理后的车轮力学性能有利。
- 可尽量提升预热段的温度，并且在加热一段、加热二段和均热段全部按860~880℃控制。

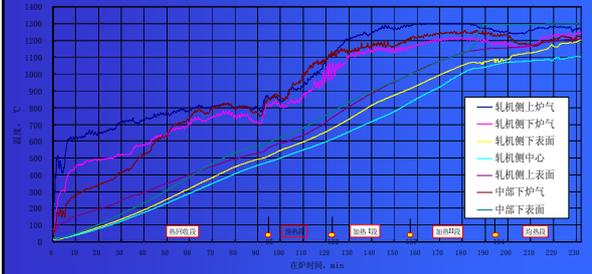


宝钢二热轧蓄热加热炉温度曲线的测试



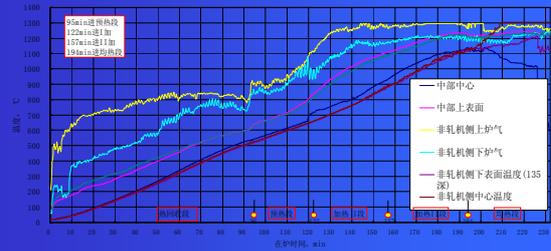
蓄热加热炉温度测试曲线A

图2-1 宝钢热轧2#加热炉升温曲线测试结果 A (2005年3月14日)



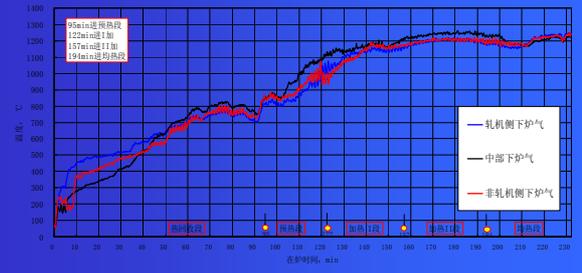
蓄热加热炉测试曲线 B

图2-2 宝钢热轧2#加热炉升温曲线测试结果 B (2005年3月14日)



蓄热加热炉下部炉气温度分布

图2-3 2#炉测试结果:下部炉气温度分布 (2005年3月14日)



均热段实验测得炉气温度与炉内热电偶温度的对比

- 实验采用的热电偶是外面是没有保护套管的，时间常数比炉子上安装的热电偶要小。在换向过程中，实验测的炉气温度会随换向周期明显波动，但安装在炉体上的热电偶温度没有明显的波动。
- 实验时炉气热电偶温度是随钢坯仪器移动的，而炉体上安装的热电偶是固定的，两者之间没有一一对应的关系。针对均热段下部炉膛，炉体上安装的热电偶温度偏低，实验还在均热段的下部炉气平均温度为：1203°C，炉体上安装的热电偶平均温度为：1172°C。建议在进行数学模型计算时，对均热段下部炉温按1203-1172=31°C修正。



加热质量的分析

- 下部炉膛燃烧方式改造后，一加下部中心线的炉气温度比两侧温度高80-100°C，两侧炉气温度水平基本一致，二加下部中心线的炉气温度比两侧温度高30-50°C。钢坯加热的中部温度比两端温度高。
- 采用蓄热燃烧后，炉气温度出现与换向周期一样的周期性的波动，钢坯表面温度没有出现明显的周期性波动。对钢坯加热质量没有不好的影响。钢坯的下表面温度比上表面的温度低，炉膛下部温度可以适当提高一些。



谢谢大家

欢迎浏览



www.cnmeter.com

网络实名：工业加热

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



北京赛维美高科技有限公司

北京赛维美高科技有限公司是北京市高新技术企业，中国节能协会理事单位，中国“博士经济”的典型代表。位于中关村高科技园区，主要从事工业热工过程节能与优化计算机控制、高效蓄热工业炉技术的研究和开发工作，已为宝钢热轧、宝钢钢管、宝钢厚板、宝钢不锈钢、宝钢研究院、兴澄钢铁、梅山钢铁、首都钢铁、天津钢管、济钢中板、太钢、鞍钢、本钢热连轧、马钢轮毂、北科大、清华大学、东北林大、西交大、清华、松下、海尔、康佳、科龙、京东方、康佳、BOSCH等用户提供了满意的工程技术和产品服务。

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



特色技术

- [低污染高效蓄热工业炉技术](#)
- [工业炉最优燃烧控制技术](#)
- [加热炉数学模型控制技术](#)
- [加热炉黑匣子温度测试技术](#)
- [煤气热值指数仪加热炉投产验收测试技术](#)
- [回转窑温度自动控制系统](#)

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



特色产品

- [炉窑耐高温温度测试仪](#)
- [SMT温度测试仪](#)
- [炉温跟踪仪](#)
- [煤气热值指数仪](#)
- [防凝堵重油（渣油）流量计](#)
- [船用黑匣子](#)

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



本文件和这次会议的相关信息地址

- <http://www.cnmeter.com/beihai.htm>

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA



联系地址

刘日新 博士

=====

北京赛维美高科技有限公司
Beijing Savemation Technology Co., Ltd.
<http://www.cnmeter.com>
网络实名：工业加热
Email: smt@bbn.cn
地址：（100089）北京海淀观澜国际花园望河园1号6-201
Tel/FAX: 010 88431319 88431320
Mobile: 13910788125

=====

Cnmeter.com

网络实名：工业加热
© 2005 SMT, CHINA