不同检测方法影响金属薄板表面粗糙度结果的探讨*

林佳维[1,2],刘 芳[2],张 彤[1,2]

(1. 内蒙古科技大学经济与管理学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司化检验中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据国内外的汽车钢板的生产检测情况,对采用 DIN EN 10049 与 GB/T 2523 两种检测方法进行金属薄板表面粗糙度的试验进行了比对验证探究,通过对表面粗糙度检测滤波器的要求、试样检测的点数及检测方向的比对,得到了高斯滤波器的稳定性和准确性要优于 2RC 滤波器,不同表面粗糙度范围内的金属薄板材料,其检测数据稳定性与检测点数无关,表面粗糙度与平面晶粒趋向没有关系的结论,对生产检测采用不同标准给与指导。

关键词: 金属薄板; 表面粗糙度; 检测方法
中图分类号: TG84 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2020)03 - 0084 - 07
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.022

Discussions on Influences of Different Test Methods on Surface Roughness of Sheet Metal

Lin Jia - wei[1,2], *Liu Fang*[2], *Zhang Tong*[1,2]

(1. *School of Economics and Management, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Chemical Inspection Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The experiments for surface roughness of sheet metal with the DIN EN 10049 and GB/T2523 two test methods are compared, verified and explored according to the domestic and international production testing conditions of automobile leaf - spring. It is found that the stability and accuracy of gaussian filter are better than those of 2RC filter, stability of test data for sheet metal with different surface roughness ranges has no connection with the number of testing points as well as the surface roughness has no connection with plane grain trend through comparing the requirements of filter for testing surface roughness, number of test points for samples and test direction, which provide guidance for production testing with different standards.

Key words: sheet metal; surface roughness; test method

金属薄板产品(如:锡板或镀铬钢板,无涂层或涂覆冷轧钢板,酸热轧钢)主要用于汽车工业,表面粗糙度对机械零件的配合性质、耐磨性、工作准确度、抗腐蚀性有着密切的关系,它影响到机器或仪器的可靠性和使用寿命,汽车用薄钢板表面粗糙度形貌是变化频率最高的部分,其波长小于 1 mm,属于

* 收稿日期:2020 - 03 - 17
作者简介:林佳维(1991 -),女,山东省潍坊市人,在读硕士,助理工程师,现从事物理检测技术管理工作。

微观表面几何形状的测量[1]。无论是机械加工的零件表面上，还是用铸、锻、冲压、热轧、冷轧等方法获得的零件表面上，都会存在具有很小间距的微小峰谷形成的微观形状误差，当金属薄板产品应用于汽车冲压件时，金属薄板产品的表面粗糙度对其冲压产品与冲压模具的成型率有着很大影响。因此，金属薄板产品表面粗糙度是评价其表面质量的一个重要指标。

目前，各大钢厂和汽车制造厂进行金属薄板产品表面粗糙度测量时，主要参考中华人民共和国国家标准 GB/T 2523—2008 和欧洲钢铁标准化委员会标准 DIN EN 10049: 2013，然而各标准之间规定的表面粗糙度检测参数和方法存在一定差异，对此，本文将从不同标准规定的检测仪器测量系统、检测仪器参数设置、试样检测方向和试样测量点数等进行表面粗糙度检测方法的研究。

1　表面粗糙度检测仪器测量系统

目前对于金属薄板产品进行粗糙度测量主要采用接触式测量装置，其垂直分辨力最高可达几纳米，根据表面粗糙度信息提取要求，实验中使用标准中推荐的具有高斯滤波及数字化算法的粗糙度测量头，同时比对试验中采用了基于 PC 的一体化传感测量检测系统并搭载多自由度机械手装置保证测量过程中的平稳性且免除人为干扰。

2　检测仪器的参数设置

2.1　λ_c 滤波器

图 1 所示的是 λ_c 滤波器是确定粗糙度与波纹度成分之间相交界的滤波器，滤波器是去除某些波长成分而保留所需表面成分的处理方法[2]。为满足多标准检测需求，在检测仪器参数设置时采用截止波长为 0.08 mm、0.25 mm、0.80 mm、2.50 mm、8.00 mm五个参数设置。

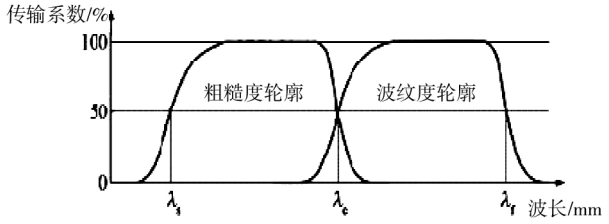


图 1　截止波长划分

2.2　l_n 评定长度

l_n 评定长度用于判别被评定轮廓的 x 轴方向上的长度，它包含一个或几个取样长度，表 1 列出了 l_n 评定长度与粗糙度数值关系设置[3]。

表 1　l_n 评定长度与 Ra 粗糙度数值范围

Ra/μm	l_n/mm
> 0.006 ~ 0.02	0.40
> 0.02 ~ 0.1	1.25
> 0.1 ~ 2.0	4.0
> 2.0 ~ 10.0	12.5
> 10.0 ~ 80.0	40.0

3　金属薄板产品的表面粗糙度

3.1　表面平均粗糙度 Ra

图 2 表示的是表面平均粗糙度 Ra 示意图，表面平均粗糙度 Ra 是粗糙度轮廓的算术平均偏差，即在取样长度内粗糙度轮廓偏距绝对值的算术平均值[3]：

表面平均粗糙度:

$$Ra = \frac{1}{l}\int_0^l | Z(x) | dx$$

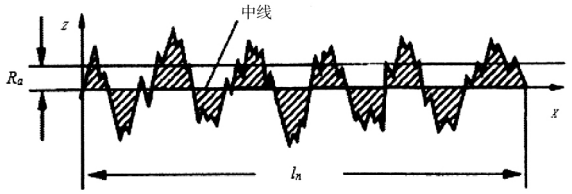


图 2　表面平均粗糙度 Ra 示意图

3.2　峰值数 RP_c(或 PPI)

峰值数 RP_c(或 PPI) 是粗糙度轮廓中，每单位长度内峰的个数，这些轮廓元素需连续的与制定的上轮廓区域水平心线和下轮廓区域水平线相交，见图 3。

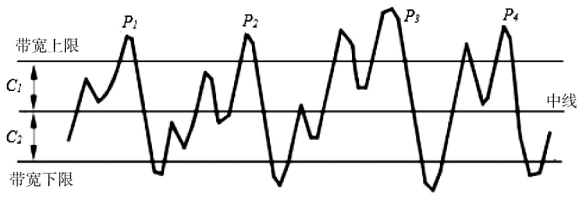


图 3　峰值数 RP_c(或 PPI) 示意图

3.3　表面形貌、表面形状误差、表面粗糙度

机械加工零件的表面会存在着具有很小间距的

微小峰谷所形成的微观形状误差，用冷轧、热轧、锻、铸、冲、压等方法获得的零件表面上也存在这类形状误差。通常加工后的表面实际轮廓是包含着表面粗糙度轮廓、波纹度轮廓和宏观形状轮廓等构成的几何形状误差，它们叠加在同一表面上[1]，见图4。



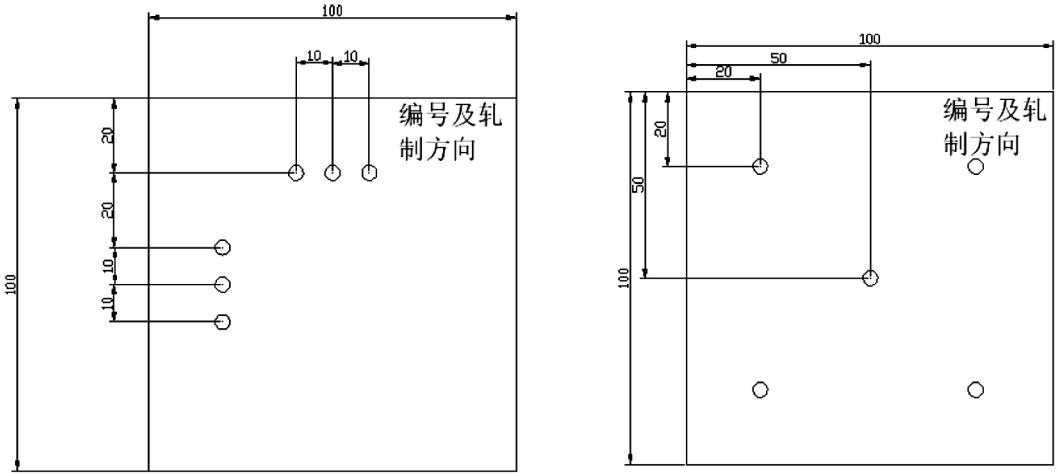
图4 金属材料表面几何形貌特征

4 试验条件

试验在18～25 ℃条件下进行，使用高精度触针式以直线运动为基准的自动化表面粗糙度测量仪和触针手持式表面粗糙度测试仪进行Ra测试。触针的规格为：锥形针尖曲率半径5 μm；触针角度90°[4]。因为锥形针尖曲率半径5 μm和触针角度90°两个条件同时满足GB/T 2523—2008[3]和DIN EN 10049:2013[4]的要求，使比对试验条件统一。

5 试样制备

图5是检测金属材料薄板产品表面粗糙度R_a采用的100 mm×100 mm矩形试样和检测点位置图。试样检测面无表面缺陷且平直。在按照图5所示的轧制方向放置情况下，在试样的右上角标明样品编号和轧制方向。在样坯宽度的1/2处无表面缺陷的位置取样，采用剪板机剪裁方式获得试样，剪切公差在±1 mm之内。检测前用无水乙醇擦洗试样，清洁后立即进行检测。



（a）三点测量 （b）五点测量

图5 表面粗糙度检试样尺寸和测点位置示意图

6 试验

6.1 试验方法

（1）使用自动粗糙度测试仪和手持便携式粗糙度测试仪，选取同一块标准值为0.8 μm的标样，在相同参数（λ_c = 0.8 mm，l_n = 4 mm）设置条件下进行表面粗糙度检测比对试验；

（2）使用自动粗糙度测试仪，选取同一钢种的一批试样，在相同参数（λ_c = 0.8 mm，l_n = 4 mm）设置条件，选用正反两面各测3点和各测5点的测量方式进行表面粗糙度检测比对试验；

（3）使用自动粗糙度测试仪，选取同一钢种的一批试样，在相同参数（λ_c = 0.8 mm，l_n = 4 mm）设置条件下进行沿轧制方向和垂直轧制方向的表面粗糙度检测比对试验。

6.2 试验结果分析

6.2.1 粗糙度标块比对

目前各钢厂采用的表面粗糙度测试仪采用的滤波器有2RC滤波器和高斯滤波器两种，DIN EN 10049:2013标准建议采用带有高斯滤波器的仪器

进行表面粗糙度的测量，而 GB/T 2523—2008 标准中没有相关要求和规定，从检测仪器测量系统角度，试验使用两种带有不同滤波器的表面粗糙度测试仪对同一标块进行比对，验证两种滤波器的稳定性。表 2 中所示的粗糙度标块选用生产中常用值为 0.8 μm的进行比对试验，比对数据采用标准差计算和正态分布图形进行分析。从数据中可以看出便携手持式表面粗糙度仪(2RC 滤波器) 大于自动表面粗糙度仪(高斯滤波器) 的平均偏差，二者标准差相较，便携手持式表面粗糙度仪仍大于自动粗糙度仪。从图 6 中可以看出便携手持式表面粗糙度仪的置信区间明显宽于自动式表面粗糙度仪的置信区间，自动式表面粗糙度仪的测量值分布密度更紧凑集中且数据偏差小，由此可见高斯滤波器的稳定性要优于 2RC 滤波器。

表 2　粗糙度标块比对数据　　μm

试验次数	手持式粗糙度仪测量值	与标块偏差	全自动粗糙度 BMT 测量值	与标块偏差
1	0.799	-0.001 0	0.808	0.008
2	0.790	-0.010 0	0.800	
3	0.810	0.010 0	0.807	0.007
4	0.819	0.019 0	0.797	-0.003
5	0.813	0.013 0	0.793	-0.007
平均偏差		0.006 2		0.001
标准差		0.012 0		0.006

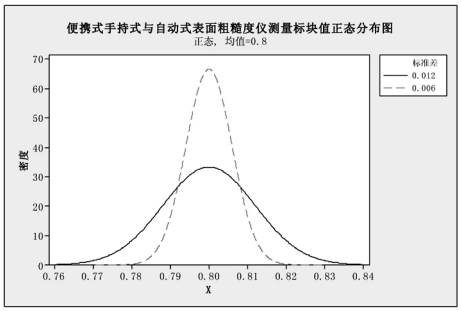


图 6　便携手持式与自动式粗糙度仪测量标准块值正态分布图

6.2.2　测量点数比对

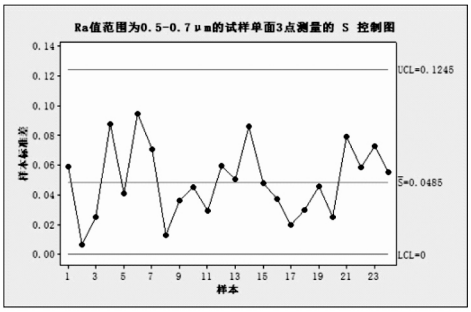
根据 DIN EN 10049:2013 标准要求每个测试面上测试点数不少于 3 点，GB/T 2523—2008 标准要求的在每个测试面测量点数不少于 5 点，对此按照图 5 所示选用自动表面粗糙度仪对同一钢种金属薄板产品，表面粗糙度值分别范围为 0.5 ~ 0.7 μm 和 0.8 ~ 1.4 μm 的两组试样进行测量，采取每个试样在同一检测面选用 3 点测量和 5 点测量的方式进行比对。

检测数据用 Minitab 进行计算绘图，图 7(a) 和(b) 反映出 *R*a 值范围为 0.5 ~ 0.7 μm 的 12 组试样单面测量 3 点的标准差 S 值要小于单面测量 5 点的标准差 S 值，样本检测数据点数增加，数据离散性增大。图 7(c) 和(d) 反映出 *R*a 值范围为 0.80 ~ 0.14 μm的 10 组试样单面测量 5 点的标准差 S 值要小于单面测量 3 点的标准差 S 值，样本检测数据量减少，控制图中可以看出 S 值减小，数据离散性增大。

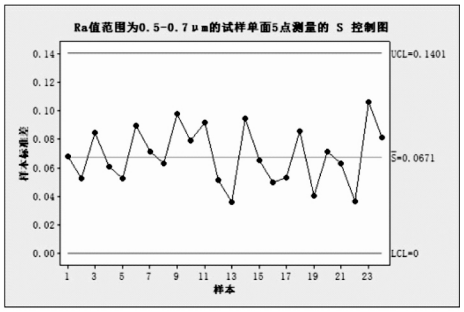
由以上试验比对可以看出对于各项性能稳定的金属薄板产品，表面粗糙度范围不同，测量点数的不同，检测数据表现出的离散性也有差别。

6.2.3　检测方向比对

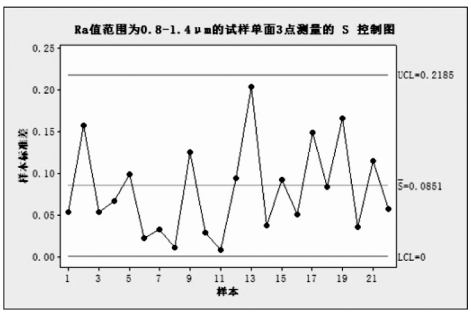
选用 7 组汽车板材料和 10 组滑轨用金属薄板材料，采用自动粗糙度仪进行垂直于轧制方向和平行于轧制方向的表面粗糙度比对试验。图 8 所示为汽车钢表面粗糙度检测表面显微形貌，平面晶向沿轧制方向发展，从表 3 数据可以看出汽车板产品垂直于轧制方向的表面粗糙度小于平行于轧制方向的表面粗糙度，而表 4 数据的滑轨产品不同方向的表面粗糙度值与汽车板产品恰好相反。很显然，不同类别金属薄板产品在不同检测方向上的表面粗糙度与平面晶粒趋向没有关系。



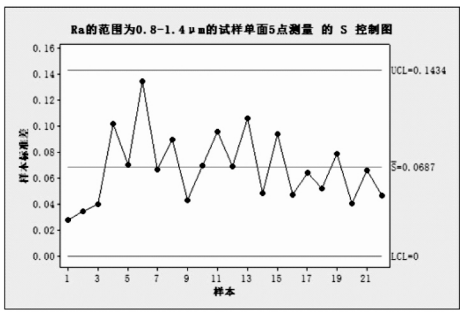
（a）*Ra*值范围为0.5~0.7 μm的试样单面3点测量的S控制图



（b）*Ra*值范围为0.5~0.7 μm的试样单面5点测量的S控制图



（c）*Ra*值范围为0.8~1.4 μm的试样单面3点测量的S控制图



（d）*Ra*值范围为0.8~1.4 μm的试样单面5点测量的S控制图

图7 试样单面表面粗糙度测量不同点数的S控制图

表3 汽车板不同检测方向表面粗糙度比对数据表（λ_c = 0.8 mm、L_n = 5 mm）

序号	粗糙度值 *Ra*(μm)							两方向测量值差	检测方向
	1正面	2正面	3正面	4背面	5背面	6背面	平均值		
1	0.734	0.771	0.782	0.805	0.815	0.880	0.798	-0.112	垂直于轧制方向
	0.874	0.857	0.952	0.016	0.864	0.902	0.910		平行于轧制方向
2	0.750	0.715	0.650	0.735	0.657	0.657	0.694	-0.057	垂直于轧制方向
	0.804	0.875	0.748	0.667	0.692	0.720	0.751		平行于轧制方向
3	0.859	0.975	1.040	0.951	0.387	0.835	0.922	-0.022	垂直于轧制方向
	0.933	0.913	0.952	0.880	1.054	0.934	0.944		平行于轧制方向
4	0.653	0.610	0.563	0.749	0.715	0.663	0.659	-0.081	垂直于轧制方向
	0.957	0.814	0.800	0.605	0.674	0.591	0.740		平行于轧制方向
5	0.557	0.572	0.636	0.571	0.612	0.699	0.608	-0.032	垂直于轧制方向
	0.690	0.718	0.627	0.631	0.617	0.562	0.640		平行于轧制方向
6	0.630	0.611	0.530	0.574	0.615	0.600	0.593	-0.024	垂直于轧制方向
	0.740	0.605	0.607	0.492	0.597	0.662	0.617		平行于轧制方向
7	0.532	0.629	0.617	0.511	0.505	0.556	0.558	-0.015	垂直于轧制方向
	0.626	0.554	0.475	0.685	0.522	0.578	0.573		平行于轧制方向

表 4　滑轨用金属薄板不同检测方向表面粗糙度比对数据表（λ_c = 0.8 mm、L_n = 5 mm）

序号	粗糙度值 Ra(μm)							两方向测量值差	检测方向
	1 正面	2 正面	3 正面	4 背面	5 背面	6 背面	平均值		
1	0.229	0.198	0.239	0.247	0.217	0.239	0.228	0.080	垂直于轧制方向
	0.135	0.121	0.11	0.179	0.169	0.173	0.148		平行于轧制方向
2	0.257	0.239	0.226	0.208	0.203	0.202	0.222	0.095	垂直于轧制方向
	0.205	0.126	0.131	0.119	0.080	0.101	0.127		平行于轧制方向
3	0.249	0.251	0.212	0.216	0.231	0.225	0.23	0.118	垂直于轧制方向
	0.103	0.109	0.110	0.095	0.117	0.136	0.112		平行于轧制方向
4	0.225	0.196	0.201	0.166	0.197	0.179	0.194	0.067	垂直于轧制方向
	0.139	0.136	0.144	0.123	0.115	0.104	0.127		平行于轧制方向
5	0.227	0.200	0.256	0.198	0.229	0.187	0.216	0.071	垂直于轧制方向
	0.158	0.134	0.171	0.145	0.139	0.124	0.145		平行于轧制方向
6	0.218	0.24	0.307	0.223	0.229	0.202	0.236	0.083	垂直于轧制方向
	0.146	0.137	0.141	0.207	0.143	0.141	0.153		平行于轧制方向
7	0.247	0.244	0.210	0.178	0.199	0.235	0.218	0.093	垂直于轧制方向
	0.159	0.132	0.111	0.135	0.125	0.085	0.125		平行于轧制方向
8	0.305	0.224	0.207	0.279	0.236	0.196	0.241	0.089	垂直于轧制方向
	0.183	0.161	0.104	0.136	0.151	0.177	0.152		平行于轧制方向
9	0.214	0.211	0.218	0.218	0.208	0.203	0.212	0.118	垂直于轧制方向
	0.094	0.133	0.086	0.075	0.091	0.082	0.094		平行于轧制方向
10	0.282	0.197	0.203	0.184	0.210	0.200	0.212	0.078	垂直于轧制方向
	0.089	0.161	0.157	0.143	0.147	0.104	0.134		平行于轧制方向

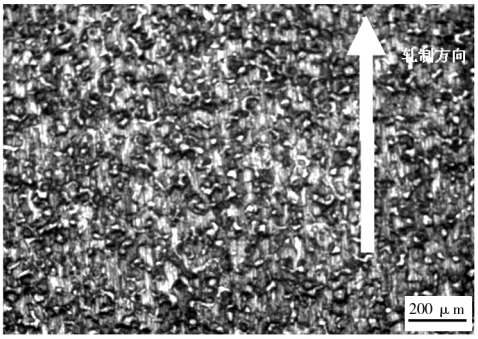


图 8　汽车钢表面粗糙度检测面显微图

7　结论

（1）对金属薄板材料的表面粗糙度检测的研究基于检测仪器测量系统和检测仪器参数设置，表面粗糙度检测仪器的测量状态对试验结果稳定性有很大影响，便携手持式粗糙度仪测量试样水平基准需人工控制，测量过程稳定性较差，而自动粗糙度仪测量试样有固定的检测平台，没有人为干扰，测量过程稳定性好。通过标样比对验证了高斯滤波器对实验结果的稳定性、可靠性和准确性，带有高斯滤波器的自动粗糙度仪可同时满足国标和欧标对于表面粗糙度的检测要求，这使检测仪器参数设置覆盖所有金属薄板产品的表面粗糙度检测试验，满足样品检测标准多元化的需求，推进钢材产品出口市场发展。

（2）国标和欧标对表面粗糙度试样单面测量点数要求不同，运用 Minitab 软件对不同范围值的同一钢种试样进行不同测量点数的 S 控制图分析，分析过程中发现不同范围值的试样进行不同点数测量其检测数据稳定性与检测点数无关，检测点数选择要求应按照相关标准执行或按客户要求选择。

（3）国标和欧标对于表面粗糙度测量点数的要求只做了数量的说明，没有规定检测点数在试样上分布的位置，试验中设计了图 5 所示的金属薄板表面粗糙度测试试样及数据采集位置图。有些国外的汽车厂对金属薄板表面粗糙度的检测方向不局限于

相关标准要求的检测方向，本文所述在检测方向试验比对中发现不同类别金属薄板产品在不同检测方向上的表面粗糙度与平面晶粒趋向没有关系，而表面粗糙度对冲压成型及装配有很大影响，根据材料的不同用途在实验过程中表面粗糙度检测方向应满足客户的需求。

参 考 文 献

[1] 罗四五. 汽车用薄钢板表面波纹度试验方法[J]. 理化检验 - 物理分册，2015，51(8)：570 - 574.

[2] 罗四五. 金属薄板表面粗糙度与波纹度测试截止波长重叠问题的探讨[J]. 理化检验 - 物理分册，2013，49(10)：637 - 646.

[3] GB/T 2523—2008，冷轧金属薄板(带)表面粗糙度和峰值数测量方法[S].

[4] DIN EN 10049：2013，Measurement of roughness average Ra and peak count RPc on metallic flat products [S].

(上接第83页)

3 结束语

在工业生产安全、交通安全的前提下，采用宜树植树、宜草种草、宜花栽花的方式。探索一条切实可行的人与自然和谐共生的绿色发展之路。未来的厂区植物配置要落叶树种和常绿树种搭配，乔木为主，乔、灌、花、草相结合，以乡土树种为主，高绿量复层绿化，利用植物群落生态系统的循环和再生功能，取得最佳的防护和园林景观效果，最大程度地提升生态绿量，发挥企业绿地的生态效益。

参 考 文 献

[1] 嵇晓芳. 论城市防护林建设与环境友好型社会的构建[J]. 防护林科技，2007，(5)：90.

[2] 吴菲，李淑华，刘剑. 不同绿量的园林绿地对温湿度变化影响的研究[J]. 中国园林，2006，(7)：56 - 60.

[3] 刘利华. 浅谈屋顶绿化及发展趋势[J]. 现代园艺，2007，(12)：40.

[4] 焦会玲. 浅谈拓宽居住区绿量的有效途径[J]. 河北林业科技，2005，(6)：482.

[5] 孙命哲，周建琴. 焦炉周边绿化应注意的几个问题[J]. 冶金环境绿化，2003，(2)：53.

[6] 董淑炎. 290种环保花木栽培技术[M]. 北京：中国农业出版社，2006.

[7] 李洪远，莫训强. 生态恢复的原理与实践[M]. 北京：化学工业出版社，2016.

[8] 计成. 园治注释[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1988.