

## 树木和断裂倾倒评估：树木无损分析法

易瑞克·布鲁迪/费利普·维生拿

出版于 ISA 书局“树木如何直立和断倒”，

ISBN 1-881956-34-2, 萨万纳生态机制会议，2001 年

传统的树木断裂倾倒危险的分析手法主要是借助于在树干上打洞而确定树空的程度。使用这种手法不仅会树身造成伤害，而且树木会受到真菌感染 (LIESE, DUJESIEFKEN, 1996) 从而造成生长缓慢。

斯图加特大学的维索利 (WESSILLY) 和沈 (SINN) 共同研究出来的新的在工程基础上的树木断裂倾倒危险分析手法 (SIM)，可以在不伤害树木本身的情况下做出准确的评估。

树木断裂倾倒危险的分析建立在拉力测试上 (弹力-倾斜手法)，利用一辆起货车和一根钢筋来测试风力对树木产生的影响。高度的测量仪 (弹力仪和倾斜仪) 测出树木在一定的压力下的反应，得到的数据将与正常树木的数据进行比较。所有的安全评估利用 SIM 手法，它包括三个主要部分：风力，树木的木质特性，受力面的结构 (树干的直径，树空的程度)。树木监查员以及护养员可以使用一种更简单的测量手法，即 SIA (树木断裂倾倒危险的分析手法)，它是按照国际工程协议许可的，费用微小的快速一面评估。

城市树木受各种因素的损害：冬天路面化雪的盐，交通引起的震动，土壤的紧压，灰尘以及路面和建筑物散发的热气。树的根部系统常常是受到地方的限制，浅土以及安装地下各项设施时的挖掘工作影响

对树根的砍伐不仅会影响树木系统生长的缓慢，同时也会影响到树身，以致会对安全系数产生影响。现有几种不同的用来计算和预测树木断裂倾倒的危险性的方法。他们大部分重点是注重树身，忽视各种树木本身的特殊木质情况以及风暴而引起的风力。

这篇文章要展现的是更多建立在工程基础上进行树木安全评估的手法，而不是传统的打洞方法。树木断裂倾倒危险评估一词产生于 80 年代初，斯图加特大学的如何在自然中构建轻重量结构项目的总工程师路特·维索利 (Lothar Wessolly) 以及园林师古恩特·沈 (Guenter Sinn) 开始寻找一种对树木不造成伤害的树木断裂倾倒危险的分析方法。15 年以后分布在欧洲各国的 25 名受过特殊训练的，法院宣誓认可的树木咨询专家使用这个由德维索利 (WESSILLY 1998) 和沈 (SINN 1983) 共同研究出来的与树无害的弹力-倾斜方法 (拉力试验)。

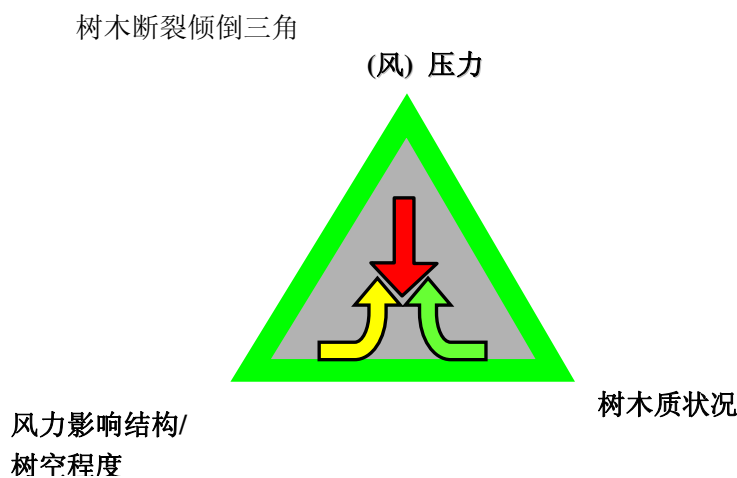
整个欧洲的 3 千多个树木断裂倾倒危险分析实例的数据得到收集和统计分析。因此，实际工作的人只需要一个高度量表和一个测量仪，使用树木断裂倾倒危险的分析方法 (SIA) 就可以快速得到一个费用不高的树木安全系数的概况。

## 什么是断裂倾倒评估

以下定义是来自于哥伦比亚大百科全书 (2001 年, 6 版) ([www.bartleby.com/65/st/statics.html](http://www.bartleby.com/65/st/statics.html))。断裂倾倒评估是“机械学分支中有关物体在受各种外力时体内的平衡因素。它包含对地心力的中心以及长期状态的研究。在达到平衡期间，所有在物体内的各种力量都是平衡一致的，

它使物体本身处在静止状态。断裂倾倒评估普遍地被用在设计，建筑以及机械上。” 树木断裂倾倒评估主要是研究树干的断裂以及树的（断根）倾倒的可能性，描述树根系统的根深牢固程度。 树木主要在大风时，同时也在下雪和冻冰时受到外力压迫，它同时也有自己的重量（死树的重量）。数越高，风越大，越多的重量就会通过树冠传到树身。当树身在风中摇动时，微小部分的树纤维在树身受压一面伸长，另一面缩短。这些可伸缩性可以通过一个高度灵敏的仪器即弹力仪（伸展力仪）来测量。

树木断裂倾倒评估是根据计算整体压力的结构（树干和树身），树木质的特殊性还有大风造成的压力来得出树木是否有断裂危险的结论(图 1)。



**图 1. 树木断裂倾倒三角。**按照国际工程惯例任何安全评估必须考虑三项主要部分以及它的内力互动：压力，压力影响的表面（树干弯曲的时间段）以及各个不同的树木质特性。 如果整个对结构的压力太大，就必须使用更强的材料以免防止物质受损。受压力影响的物质的形式或外表必须可以提高受压的承受力。一个好的例子是在法国巴黎的埃菲尔铁塔。这是一个空的钢结构。在接近地表的地方它的直径变得非常大，以此来提高受压弯曲时的抵抗力以及通过受力结构的理想化来提高安全系数。如果压力低，就不需要很强的材料，受力面的结构，在这种情况下是树身， 可以是空的。三个主要部分的互动：压力或是风力，树木质状况以及受力结构的外形必须使稳定性和安全性评估的部分。

如果在树干上打洞来确定树身的病况或是承受压力的几何结构，不能忘记的是一个洞只能观察到树的很小的一部分（洞的直径 2-10 毫米），同时会造成树木的真菌感染和影响它的生长。结论是打洞只能得到很少的信息， 同时还可能伤害树木。以此建立在严谨工程理论基础上的安全性检测手法（SIM）及时地考虑到了压力对树木影响的问题。压力可以通过当地天气预报， 对不同树木特性的检查来确定（树冠部分，树高以及树冠上空气动力因素）。

只是考虑到树身剩余部分的厚薄度和树干的直径而不考虑树木本身地理和环境的情况会造

成大错误。一颗在郊区的小的，受到很好保护的树可以有空干树心而不会在暴风来时马上倒断。而在海岸边的有同样空心程度的大树则完全不一样。对受压限度的评估（树干残余部分的检测）只能是在完全清楚整体压力的情况下才是有意义的。

## 树身承受的压力

树木本身的重量对于它能承受的重量 20N/平方毫米(2,901psi)来说是微不足道的。一块仅 50 平方厘米（7.75 平方英尺）树木表面面积就可以承受 10 吨（11 吨）的压力。但是积雪的压力还是比短时间的暴风会更多的造成树枝的断裂，这是因为长时间的压力更会造成树木的损害。

对树木的稳定性造成最大影响的是风和暴风。微风引起的摇摆可以刺激树身增强自身保护力。但是风力不是一直都稳定和不变的。风力大小和方向的不断变化是可以刺激树木的自然频率和给树木的摇摆系统添加动力直到树木的突然断裂。这些突然产生的后果主要是发生在单一的树林中或者是进行了不合理修剪的树木（让树木向上生长而剪掉底部太多枝干）。底部树枝茂密的树木在受到强大外力时它的树身不会受到大影响，因为它灵活的树枝和树干部分会帮助树身减弱震动。

## 风速度和风力

风速和风力取决于以下几点因素：

1. 地理环境：风力在各地数不一样的。可以从现有的风力数据来了解特定时期内可出现的大风情况。从天气预报中也可以了解风向。
2. 地形环境：影响风力的第二个因素是树木所在的位置。风力的大小是与树木所在的位置关系重大。在地平地的树木或与靠近海岸边的树木区别很大。同样的风力后者受力就会大得多。同样的是在山上避风处的树木与生长在风口的树木。
3. 季节以及天气的影响：在寒冷季节，空气密度增大从而增大了风的压力。春秋刮风时，一些树木的叶子还在。冷天气和暴风加在一起会对树冠造成更大的压力。合理的评估应该考虑到这一点（WESSOLLY, SIMNN, 1989）。

不同地形的风力的概况显示了风暴在没有任何阻挡的地区可以在 280 米（820ft）(图 2)的高度达到它的最高速。在有阻碍物的地区，如象有一二层楼房建筑的地区，风力会因为阻碍物而得到减弱（KAMEI, MARUTA, 1979, STATHOPOULOS），减弱后的风力压在树冠上。在有高建筑的地区，因为阻碍物的增多而风力减小。在特别崎岖的表面（如象城市中心）不受阻碍风力的高度在 600 米（1, 969ft）上空。因此在空地和海岸附近的树木的树干必须比在其它地区的树木要厚。

虽然表面崎岖的地区风速会减小下来，但是高建筑（有它平滑的表面）和山脉可以造成风管道（风道）效果以致树木受到比在海岸边和空地上的树木还要大的压力（ECCS, 1978; HIRTZ,1981, STATHOPOULOS, STOMS, 1986, WESSOLLY,1998）。合理的评估应该考虑到这

一点。

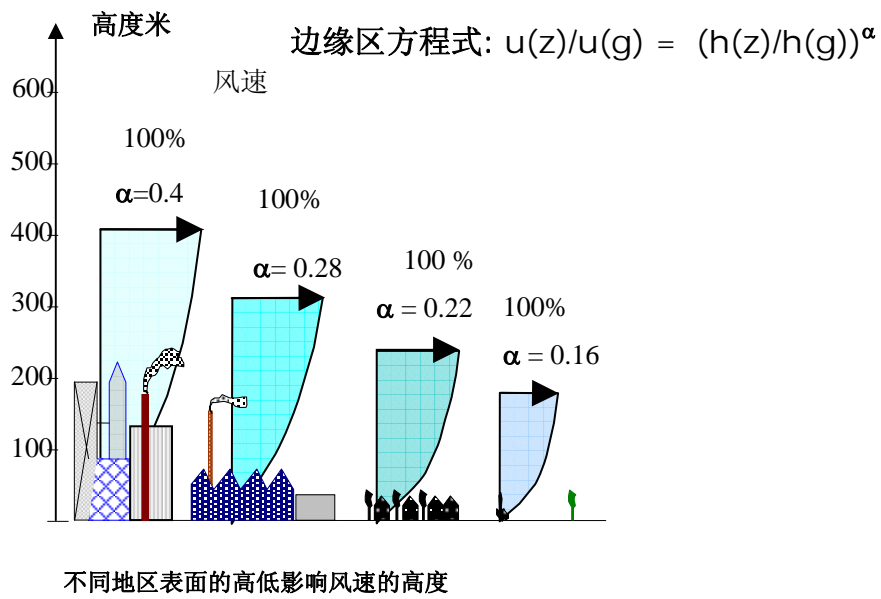


图 2. 海拔以上的风速的提高 (Davenport, 1965). 不同地区表面的高低影响风速的高低。

在风速提高两倍，树冠受压指数是 4 的情况下：

$$q = \rho/2 * u^2$$

这里  $q$  = 风压力,  $\rho$  = 空气密度,  $u$  = 风速(图 3)

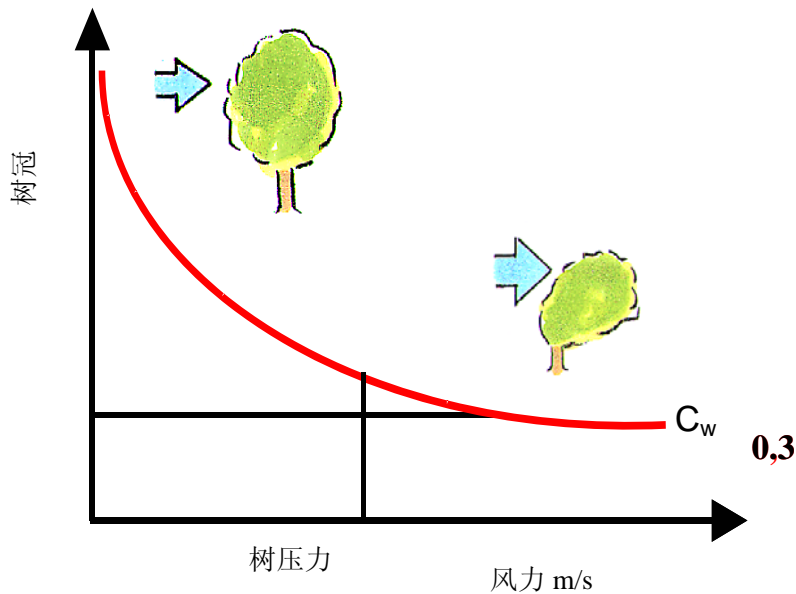


图 3. 树冠的抗风力以及空气动力拉力值( $C_w$ ) (Davenport,1965) . 在风暴来的时候, 树叶, 树枝和树干都在强大的风力下弯曲。这样一来受风力的表面减小同时也减小传向树干和树根的能量。这种情况可以和帆船手在大风的时候改变风帆方向的情况相比。一项在地中海的科西嘉岛多风的北部所作的长期研究显示, 空气拉力因素( $C_w$  值) 在风力最大的时候可以减小 0.3 度 - 汽车工业也使用这个值数。大众车研发的最新高速少耗油车一百公里之消耗一升燃料。 它的空气动力拉力值在 0.14, 这个值接近有灵活枝干的桦树 (*Betula pendula*) 和柳树 (*Salixalba "Tristis"*) 。

同时另外一个结论是: 风力在达到每小时 40 英里时 (按比尔福特数表是 8) 树木就达到了它的弹力承受力的极限而且无法再减少它的受力面积。更高的风速只能在树冠部分得到微小的减少。重要的是在对树的安全系数进行评估时必须考虑到树冠对风力的反应。

## 树的成长形状以及树叶的效果

风力在提高它的地面高度时急剧加速。这一事实使人得到这样的结论, 在风暴中大树所受的压力要比小树大。大树有更多的受力表面的树冠部分会受到更大风暴的袭击。因此风的压力是越高越大。高树比矮树要有更大树径和更厚的树干。

对树木的低部枝干进行修剪可以使它长得更高, 更均匀。重心离地较高的高树它的树叶也会长得较长, 同时也会承受更大风的压力( $M_b$ ):

$$M_b = F * l,$$

F= 压力 h=重心高度.

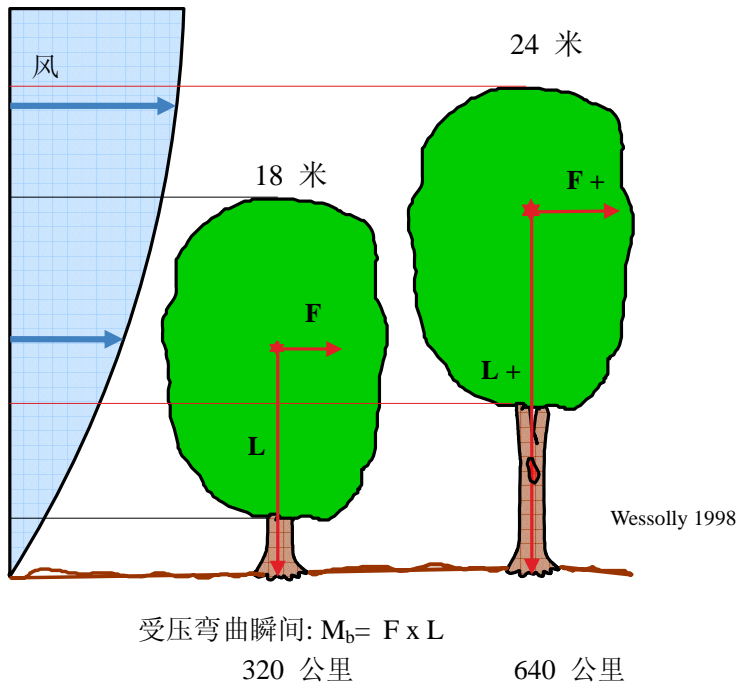


图 4. 树冠断裂倾倒的系数是随着树木的高度而加大。在以上的图中右边的高树的树冠与小树树冠的形状一致。应为高度的不同，高树受压弯曲瞬间的压力是小树的两倍。在修剪树木时因该考虑到这一点。

图 1. 树木强硬度斯图加特表格(Wessolly 和 Erb 1998).

树种	强硬度			
	张力单元	纵向比较	张力限度	预计空气压力因素
	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)	(c <sub>w</sub> )
<i>Abies alba</i>	9500	15	0.16	0.20
<i>Acer pseudoplatanus</i>	8500	25	0.29	0.25
<i>Acer negundo</i>	5600	20	0.36	0.25
<i>Acer campestre</i>	6000	25.5	0.43	0.25
<i>Acer saccharinum</i>	6000	20	0.33	0.25
<i>Acer saccharum</i>	5450	20	0.37	0.25
<i>Aesculus hippocastanum</i>	5250	14	0.26	0.35
<i>Ailanthus altissima</i>	6400	16	0.25	0.15
<i>Betula pendula</i>	7050	22	0.31	0.12

<i>Chamaecyparis lawsonia</i>	7350	20	0.27	0.20
<i>Cedrus deodora</i>	7650	15	0.20	0.20
<i>Fagus sylvatica</i>	8500	22.5	0.26	0.25–0.30
<i>Alnus glutinosa</i>	8000	20	0.25	0.25
<i>Fraxinus excelsior</i>	6250	26	0.42	0.20
<i>Picea abies</i>	9000	21	0.23	0.20
<i>Picea omorika</i>	9000	16	0.18	0.20
<i>Carpinus betulus</i>	8800	16	0.18	0.25
<i>Castanea sativa</i>	6000	25	0.42	0.25
<i>Cercis siliquastrum</i>	0	15	—	0.20
<i>Larix decidua</i>	5035	17	0.32	0.15
<i>Liriodendron tulipifera</i>	5000	17	0.34	0.25
<i>Pinus pinaster</i>	8500	18	0.21	0.20
<i>Pinus sylvestris</i>	5800	17	0.29	0.15
<i>Platanus</i> × hybrid	6250	27	0.43	0.25
<i>Populus</i> × <i>canescens</i>	6050	20	0.33	0.2–0.25
<i>Populus nigra</i> ‘Italica’	6800	16	0.24	0.30
<i>Populus nigra</i>	6520	20	0.31	0.2
<i>Populus alba</i>	6400	20	0.31	0.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1000	20	0.20	0.20
<i>Pyrus communis</i>	5800	17	0.29	0.30
<i>Quercus robur</i>	6900	28	0.41	0.25
<i>Quercus rubra</i>	7200	20	0.28	0.25
<i>Robinia pseudoacacia</i>	7050	20	0.28	0.15
<i>Robinia monophylla</i>	5200	20	0.38	0.15–0.20
<i>Salix alba</i>	7750	16	0.21	0.20
<i>Salix alba</i> ‘Tristis’	7000	16	0.23	0.20
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	4550	18	0.40	0.20
<i>Sophora japonica</i>	6450	20	0.31	0.15
<i>Sorbus aria</i>	6000	16	0.27	0.25
<i>Tilia</i> × <i>hollandica</i>	4500	17	0.38	0.25
<i>Tilia euchlora</i>	7000	17.5	0.25	0.25
<i>Tilia tomentosa</i>	8350	20	0.24	0.25–0.30
<i>Tilia platyphyllos</i>	8000	20	0.25	0.25
<i>Tilia cordata</i>	8300	20	0.24	0.25
<i>Ulmus glabra</i>	5700	20	0.35	0.25

## 树木木质特性

### 树木强硬度

当然对于树木工业来说，讨论潮湿绿树的木质是没有什么意义的。所以这里只是简单提及。有关树木木质的书籍列在了最后的书目中。为了分析和研究绿树的木质特性，维索利和他的研究组研究出了一个测试手段并收集斯图加特城市政府所有园林树木的数据(Wessolly 和 Erb 1998)。成果是树木强硬度斯图加特表格，它列出了树木各个方方面面的压力和张力因素。它列出了在

中欧的绿树的强硬度点在  $14 \text{ N/mm}^2$  (2,031 psi) 七叶树(*Aesculus hippocastanum*) 和  $28 \text{ N/mm}^2$  (4,068 psi) 英国橡树 (*Quercus robur*). 欧洲中部树木强硬度在  $20 \text{ N/mm}^2$  (2,900 psi)左右。因为欧洲中部树木的种类不多，所以在对它们进行评估时所用数据变化不大，各种树木木质之间的区别也很微小。

树木安全检测 (SIM) 手法用在其它的气候区域就需要当地树木木质的数据。拉维斯 (LAVERS, 1983) 的绿树木质检查显示，在热带地区的树木可以承受直到  $120 \text{ N/mm}^2$  的重压。在这些区域树木的木质是与欧洲中部完全不一的。它显示在不同的气候区，对树木木质的检查是非常重要的。

## 张力限度和张力

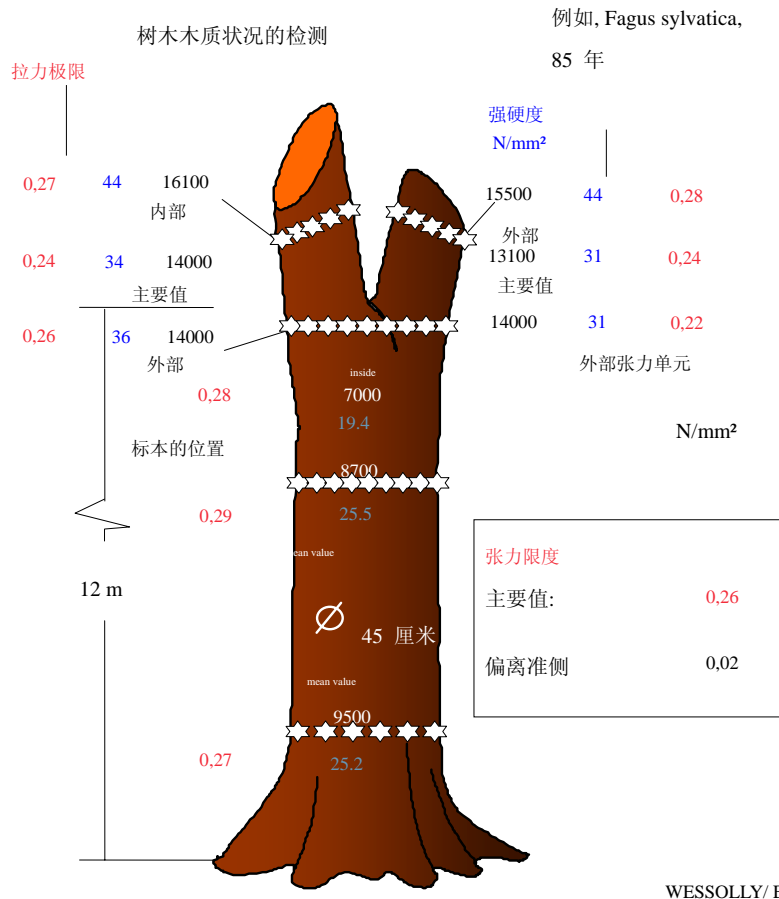
根据胡克 (Hooke) 定义，一个在有弹性的材料中所引起的压力 ( $\sigma$ ) 是与材料的重量( $\epsilon$ )成比例的，在它的张力限度内。

所有的材料，包括木材，都有它各自的张力限度，是强硬度除以张力单元或是  $\epsilon = \sigma_{\max}/E$ 。如果压力长时间超过张力限度，材料就会变形。

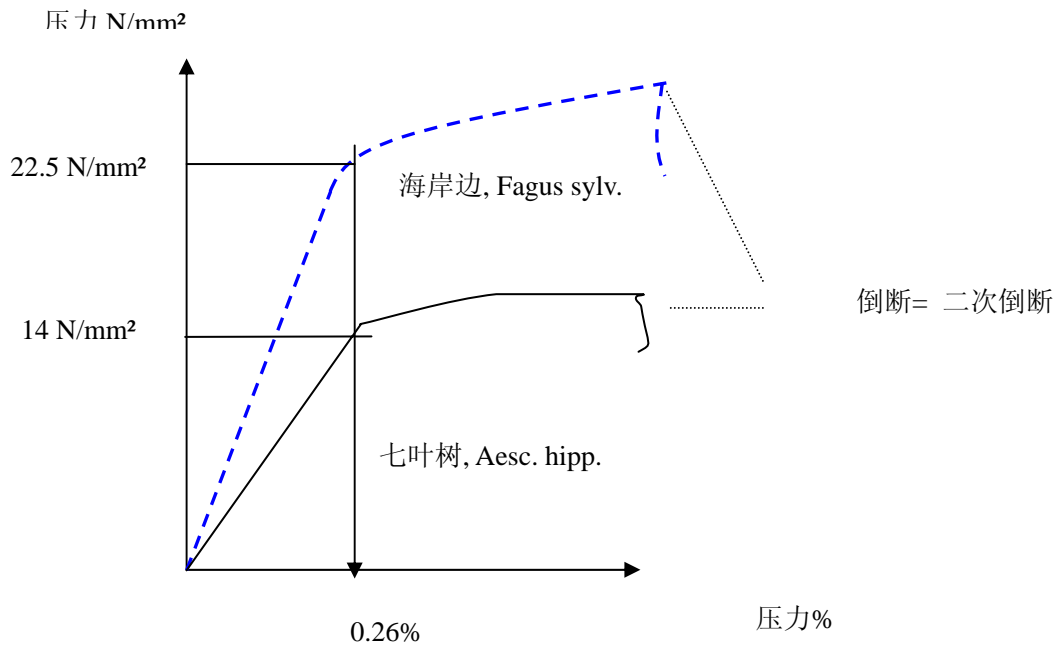
传统的实验手法是从树上切下一个样本 ( $2 \times 2 \times 6$  厘米)，然后在样板上施压直到纤维断裂。力量的控制段和施压点是用线路连接 (INTSTRON INC.) 变短的纤维根据每分钟 10-50 的比例来受力，这样一来得到的数据就更密集。在这样实验得初期，纤维保持它的弹性，而在压力消失时恢复它的原状 (图 5; 也见表格 1, 弹性极限柱)。这种情况可也和树木在受到一般大的风暴侵袭情况下摇摆的情况相比。如果树木受到的压力不断增大，树木的纤维就会断裂 (初始断裂，压力线变平)，然后最终断倒 (二次断裂)。这种情况可以在健康的树木受到大风暴和飓风侵袭时出现。在这种极度的天气情况下，树木的纤维受压过度，在短时间内弯曲过度，纤维在受压的一侧断裂，然后导致最终整个树干断倒。

树木安全的工程系测量法是通过树木进行拉力测验。这种不同的手法是直接建立在弹力极限的基础上，而且运用有关树木的倒断安全知识。这个手法运用一个张力测量仪按 1/1000 毫米的比例来测量微小段的纤维。

通过这些微量纤维上施压可以很快从声音上来区分健康的树干和空干的树干。如果按斯图加特表格来进行树木的拉力测试，可以避免树木的受损。



**图 5.** 虽然一棵树树木的木质（强硬度和张力单元）在同一树干内是完全不同的，但张力的限度差别却只是在 0.2% 左右 (WESSOLLY, 1988a, 1988b)。



„压力到极点“，纤维开始断裂 =  
初次倒断  
(张力模型)

图 6. 欧洲海岸的绿树 (*Fagus sylvatica*) 比起七叶树来(*Aesculus hippocastanum*) ( $E_{mod} = 5250 \text{ N/mm}^2$ ;  $14 \text{ N/mm}^2$ )它的硬度是很大的 ( $E_{mod} = 8000 \text{ N/mm}^2$ ) 和更强的 ( $22 \text{ N/mm}^2$ )。显然七叶树类(*Aesculus hipp.*)的张力却更高。然而二者的张力极限却是一致的(0.26%)。欧洲中部树木木质之间的区别是相当小的。

### 受力树干的形状

空干的树干不一定就是不安全。帆船的桅杆以及汽车收音机接线感的设计也是空的，以用来应付空气中的一部分压力。用来保持稳定和轻重量，可受力最大限度和外壳厚度之间的平衡必须达到。用来抵抗弯曲压力的反抗力这里称为反抗压弯力。以下定义：

$$M_{crsec} = d^3 \times \pi/32 \text{ or } M_{crsec} \sim d^3 \times 0.1$$

一个简短的例子来表明树干的直径如何影响受压能力。一棵直径 100 厘米的橡树 ( $100^3 \times 3.1415/32 = 98,174.8 \text{ cm}^3$ ) 有  $98,175 \text{ cm}^3$  的反抗压弯力。一棵生长在保护地区的，直径只有 75

厘米 的橡树的反抗压弯力只有 41,416 cm<sup>3</sup>. 25 厘米直径大小的区别造成 58 % 反抗压弯力的损失。结果自然是树干越厚，安全系数越高。

如果计算出来的强硬度因为从外形结构(CLARK & MATHENY, 1994)而得出的树木空心度预计从而无效，重要的是要知道直径大小不同树木的基本强硬度以及它树冠的风力承受力。不然问题就会变成：“什么强硬度无效？”如果承重情况不明的话，单一的树干的形状分析是无法提供有用的答案的。

### 直径的生长以及真菌的破坏

健康的树木每年直径增长（树的年轮）。树木年轮的增加同时以增加树木的反抗压弯力。老树是健康和有生机的，因为年轮会抵消一部分真菌对树木破坏带来的后果。树径增大 5 毫米就可以抵消 30 厘米的树洞造成的后果。特别是在做老树评估时，不要打乱它树身中的平衡和生长结构。

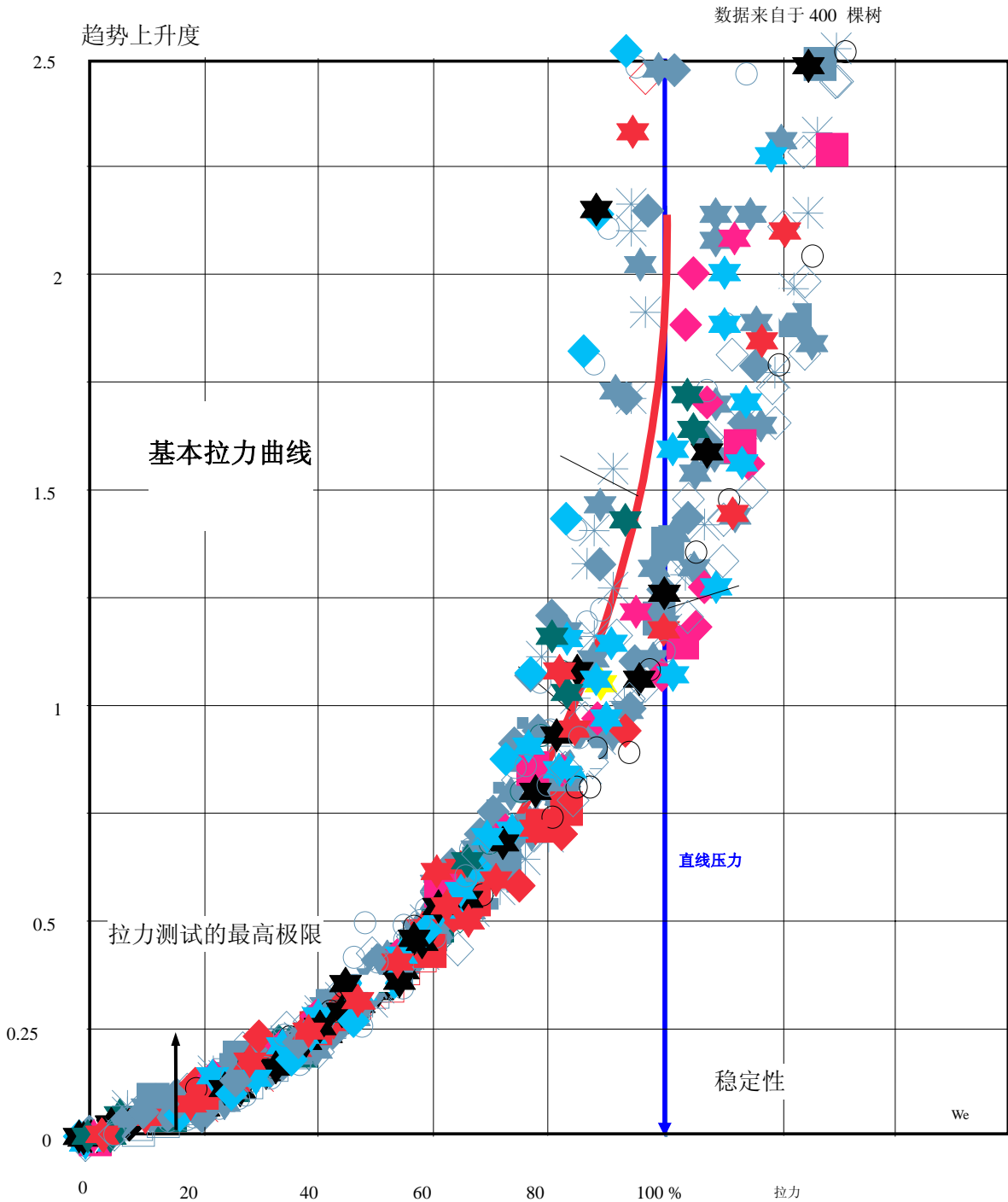
### 树木倒断的安全性

树木倒断安全性的评估很重要是仅仅使用目测评估法。树根的检查虽然可以提供病况信息也对树木造成很大伤害。一个可行的办法是对树木施加于暴风来时同样的压力（拉力手段, SINN, 1983）。科学的研究（Bader 2000, WESSOLLY1998, SINN, 1985 b, S I N N 1 9 8 5 c）显示，只是在树干附近的树根在测试时受压力。有断根的危险的情况只是在离树干 1 - 1.3 米处切断树根时出现。

树木倒断曲线图是在 400 多颗不同树木，不同的土壤环境下作拉力实验而得到的数据。它显示了初次断裂出现在倾斜度 2.5 到 4 度的情况下。4 度以上就不需要加压而可以达到 45 到 60 的倾斜度（WESSOLLY,1998）。从 45-60 度开始，树木本身的重量加快倒断的过程（二次断倒）。树根的腐坏以及被砍伐而引起的不稳定性可以利用这个曲线（图 8）在数学上进行计算。

# 树根的稳定性的

## 基本的拉力曲线



假设的大风产生的重压

图 7: 400 棵树压力曲线的稳定性 (Wessolly and Erb 1998).

## 压力分析

压力分析是从树的照片开始。树冠的形状和它的表面都包括在评估数据中。其它产生影响的因素如：风力度，空气在一定温度下的密度，地貌的情况，空气动力的压力以及树的高度必须包括在工程学基础上的压力分析中(SINN, 1985a, WESSOLLY, 1998)。

压在树上的风力：

$$F = f \times c_w \times \rho / 2 \times \Sigma(u(z)^2 \times A(h(z)))$$

弯曲瞬间：

$$M_t = M_{b \max} = f \times c_w \times \rho / 2 \times \Sigma(u(z)^2 \times h(z) \times A(h(z)))$$

在这里：

$M_t$  = 倾倒/断根瞬间(倾斜手法)

$M_{b \max}$  = 弯曲瞬间 (弹力手法)

F = 压力

f = 自然韵律因素

$\rho$  = 空气密度

$u_z$  = 风速

$h_z$  = 树冠特别部分的高度

A = 树冠高处表面平方米

$c_w$  = 空气压力因数

### 弹力-倾斜手法 (拉力的手法)

弹力-倾斜手法是用来测试树木倒断的安全系数，利用一辆起货车和一根钢筋来拉树，测量树木在一定重量下的反应(使用发动机米)(图 9)。这个手法遵循严格的准则，在工程理论的基础上将外来压力，树木木质以及承重外形的因素都包括在评估中。

### 断裂安全性 (弹力手段)

弹力测量是使用微量的纤维 0.001 毫米。弹力测量点点即是在树干的弯曲面也在伸展面极其微小的一部分。树木在一定的拉力下极其微小部分的纤维进行伸展(伸展面)或压缩(压缩面)。树木不被发现的空漏处会在弹力测量时得到发现。为了不对树木的纤维造成损伤，在树木达到它的压力极限时停止加压。在日常的拉力实践中，有必要使用 1-2 公吨的重力来得到所需的结果。为了避免对树木的损伤，最初测试时通过目测先选树干上一个最弱点。

### 倾倒安全性 (倾斜手段)

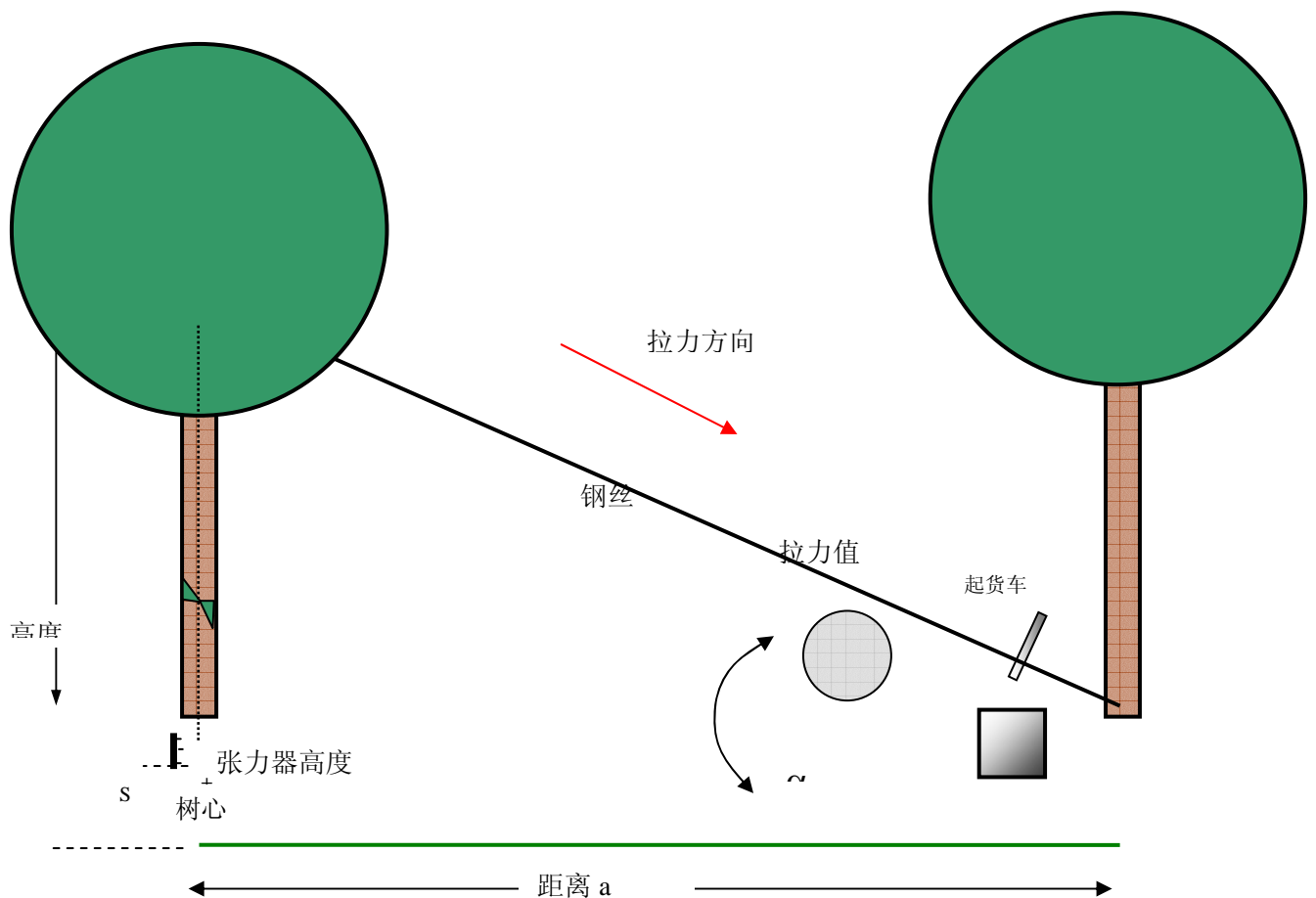
倾斜力测量点要发在树干底部的树坯上，以免造成对弯曲的影响。由于倾斜度的定义为 0.01 度，在这种情况下可以测出树根部的反应。如果记录下更高倾斜性数据，这样可以发现树根的疾病，伤害以及树根的发育不完全。为了不损害树根系统，因为树身的弯曲度，拉力一般在达到 0.25 度时停止(树木质强硬的树不受伤害)，40%暴风压力(40%=风力 8 级)已经到达了。

在进行各项测量以前，对整个树木进行拍照和数字化，以便测量它的表面以及树冠的均衡。在做完各项测试以后，压力分析建立在暴风的情况下树身底部所测出的风压和弯曲数据。用倒断曲线值来与得出的倾斜值和拉力值以及压力分析的结果进行比较。因此而来，倾斜手段是唯一可以提供关于树木倾斜断倒可信数据的方法。

### 弹力-倾斜手法以及压力分析

SIM 方法只能用在健康的树木上（路树，公园树）。树林中树木以利分析方法还没有研究出来，对单一树枝的压力分歧结果无效。在使用弹力-倾斜手法时，风力和环境因素，树枝的弯曲性（动力属性）以及树木外表的情况都是进行评估的重要因素。

电脑模型收集了各种风力和事例数据，模拟一个暴风造成的风力 33 m/s (76. 英里/小时, 118 公里/小时, 暴风力 12)。同时，通过拉力测试和树干声音得到的数据，通过对这些数据与压力的评估和比较，可以得到安全系数的百分比(%)。树木在这种条件下因该有 100 % 的安全系数。工程师们总是想站在“安全处”进行评估计算，最起码使用安全系数 1.5 (=150 %)。一个是安全系数值在 > 150 % 时，它有很好的伸展力同时也是安全的。



**Fig 8.** 拉力测试程序解释。拉力值是用来抵消重力的大小  $F$ 。这个力量在测试时一直不断的增大到最大值 20-30 kN。在弯曲的过程中微小的纤维受到高压而必须承受压力，而树的中心却不受压。纤维的张力( $\Delta l$ )是与压力成正比(胡克法)，它们可以用张力值在做拉力测试时测出来。因为压力( $\sigma$ )可以被理解为一个区域的有效力，它也可以被说成是树木平面的瞬间力量。强硬度的大变动可以被理解为由于树木的受损干空而反弹力减小。

$$\sigma = M_b (\text{弯曲瞬间}) / W (\text{平面单元})$$

这里:  $M_b = F * (H - S) * \cos \alpha$  和  $W = d_1^2 * d_2 * \pi / 32$

与:

- $\sigma$  压力  $N/mm^2$
- $F$  风压  $N$  (拉力值)
- $H$  钢绳的高度
- $S$  拉力值的高度,
- $\alpha$  钢绳的角度
- $d_1$  树干直径, 离地 1 米

$d_2$  树干直径的垂直度与  $d_1$  相比。离地 1 米起货车与树木的距离是  $a$ ;  $H$  是钢绳点到地面的距离。这样受力角度可以这样算出:

$$\cos \alpha = H / \sqrt{a^2 + H^2}$$

根据胡克法,张力和压力是成正比的。从这个事实出发,张力单元与弯曲力同时存在。这样,张力单元可以定义为:

$$E = \sigma / \varepsilon, \quad \text{这里} \quad \varepsilon = \Delta l / l$$

语:

$\sigma$  = 压力

$E$  = 张力单元

$\varepsilon$  = 拉力

$\Delta l$  测量值(拉力值)

$l$  拉力值所推荐的压力。  $L = 200$  毫米

## 总结

以下的国际工程标准,严谨的树木安全系数分析必须包括压力的产生,树木木质的特性和受力地貌。在树干上打洞来查看树干空洞的情况(受力地貌),而微不足道的风力和木质因素可以导致结果出错,影响树木的健康。

树木评估员因该认识到,树直径的小树,它的安全系数比直径的大树要高,因此可以容忍较大的树干空洞情况。当地的地貌以及树木所处位置对树木的安全系数的评估也有很大的影响。在海边的树和在城市中的树木在受到同样的风力时,城市中的树木会得到更多的保护。但即使再有高大建筑或山脉的地区可以出现风道的现象,而导致风速的加大。

对绿树所作的压力试验表明,在欧洲中部树木的强硬度的变化不大,在  $20 \text{ N/mm}^2$  左右。热带和亚热带地区的树木与欧洲中部地区树木有根本性的区别(Lavers,1983)。如果在欧洲以外的地区使用 SIM 方法的话,必须作更进一步的测试。

使用包括压力,受力地貌,树木木质,模拟风力在内的拉力测试手段,树木倒断安全系数测试可以避免对树木造成伤害。

新的树木倒断系数评估法(SIM)显示出了一大进步,因为它显示了在树上打洞的不可行性,同时在工程学的基础上提供了一个科学的树木倒断安全系数分析法。

埃尔克·布鲁迪(Erk Brudi)  
法院宣誓认可的树木咨询专家

Berengariastr.7

D-82152 Gauting

德国

邮箱: treesafe@t-online.de

费力普·冯·威森纳 (Philip van Wassenauer)  
法院宣誓认可的树木咨询专家,  
544 Exbury Crescent  
Mississauga, Ontario  
L5G 2P4  
加拿大  
邮箱: [pwassenauer1022@rogers.com](mailto:pwassenauer1022@rogers.com)

## 文献目录

- 巴达 (Bader, C.) 2000 年. 树木根部断裂评估检查, 大学论文论据, 诺德林 (Nürtingen), 德国
- 钢架结构准则(ECCS). 1978. 风力估计的建议: 建筑和结构的效果. ECCS 技术中心秘书处 302, 布鲁塞尔 比利时
- 达文普特 (Davenport, A. G.) 1965. 建筑和结构上风力的结构和风力效果的关系. HMSO 伦敦 1965
- 克勒克 (Clark, J.C.); 马特尼 (Matheny, N. P.) 1994, 城市树木的检测. 伊萨书局第二版 77 页
- 赫尔兹 (Hirtz, H.) 1981. 风力对建筑影响规律报告. 工程建筑新构造, 报告, 35/36 册, 波鸿。
- 卡买 (Kamei, L.), 和马茹塔 (E. Maruta.) 1979. 日本建筑中风力的环境问题. *工业动力报告* 4. 307 页。
- 拉维斯 (Lavers, G.)。 1983。 树木的木质, 瑞斯勃鲁户公主实验室, 伦敦
- 利热 (Liese, W) .; 度结斯福根 (Dujesiefken, D.): 树木的反应。在: 马拉莫洛溪 (K.K. Maramorosch,) 瑞查胡伊 ( S.P. Raychaudhuri) (编辑.), 树林树木和棕榈树- 病害和监控 新德里 (New-Delhi) 1996, 21-35 欧洲
- 美黑德 (Mayhead, G.J) 1973. 风道研究中对英国树林的涉及. *农业报告* 12:123-130.
- 沈 (Sinn, G) 1983. 公园树木的稳定性. 园林局, 3 册, 3 月 161-164 页。  
——. 1985a. 风力接触面的可靠计算. 园林局, 3 册, 3 月 364 页。  
——. 1985b. 路树的安全和所需的稳定空间. I 册 SVK-书局。  
——. 1985c. 树木距离安全的计算法. 2 册, 74-76 页。
- 斯达图普鲁斯 (Stathopoulos, T) 。和司铎姆斯 (R. Storms) , 1986. 建筑之间的风力的环境因素. *风力工程和工业动力* 24, 页. 19。

威索利 (Wessolly, L)。1988a。空枝的断裂—螺丝钉的是。园林局。5月。  
——. 1988b。斯图加特山别墅公园空枝断裂结果。11届会议记录。

威索利 (Wessolly, L) 和艾普 (M. Erb) 1998。树木断倒评估和检测手册。Patzer 书局, 柏林  
德国。

威索利 (Wessolly, L) ; 沈 (Sinn, G) 1989, 林业月报。13 页, 45-65 页, 英国

*承谢: 此文在此感谢 Peter Donzelli.*

*作者地址*

埃尔克·布鲁迪 (Erk Brudi)  
法院宣誓认可的树木咨询专家  
*Berengariastr.7*  
*D-82152 Gauting*  
德国  
邮箱: treesafe@t-online.de