



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103711655 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201310738968. X

(22) 申请日 2013. 12. 26

(71) 申请人 中国科学院工程热物理研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 11
号 A202

(72) 发明人 廖猜猜 张明明 张磊 陈啸
杨科 赵晓路 徐建中

(51) Int. Cl.
F03D 11/00(2006. 01)

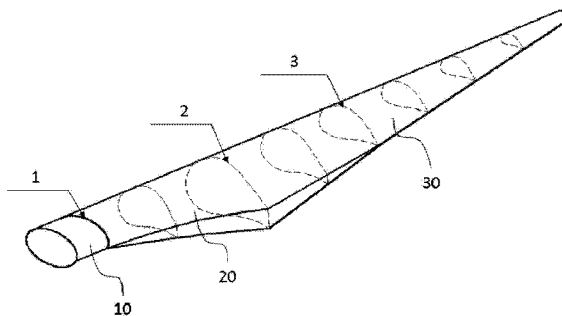
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种大厚度钝尾缘风力机叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种大厚度钝尾缘风力机叶片，在连接叶根圆形截面(1)与叶片最大弦长截面(2)的叶片过渡段(20)内，采用至少一个相对厚度为40%以上的大厚度钝尾缘标准翼型。同时，采用叶片气动外形优化设计技术使翼型相对厚度大于30%的叶片截面沿展向的分布范围为从叶片根部到截面展向位置比的35%及以上。并对所述大厚度钝尾缘标准翼型附近截面的尾缘采用一定的尾缘厚度过渡形式进行光滑过渡，以使叶片尾缘实现全部或部分采用钝尾缘。



1. 一种大厚度钝尾缘风力机叶片,包括叶片根部、叶片过渡段和叶片前端部,其特征在于,所述叶片过渡段为从所述叶片根部的最大展向位置处的圆形截面至所述叶片的具有最大弦长截面之间的叶片部分,所述叶片过渡段内采用至少一个相对厚度为 40% 以上的大厚度钝尾缘标准翼型;同时,从所述叶片根部到截面展向位置大于叶片展长 35% 的叶片范围内均采用相对厚度大于 30% 的翼型;并对所述大厚度钝尾缘标准翼型附近截面的尾缘按照一定的尾缘厚度过渡形式进行光滑过渡,以使叶片尾缘实现全部或部分采用钝尾缘,所述一定的尾缘厚度过渡形式是指以选用的相对厚度为 40% 以上的大厚度钝尾缘标准翼型所在展向位置为主参考截面,当有多个 40% 以上的大厚度钝尾缘标准翼型时,则这些大厚度钝尾缘标准翼型均作为主参考截面,选取一个展向位置大于主参考截面最大展向位置的翼型截面为副参考截面 I,再选取一个展向位置小于主参考截面最小展向位置的翼型截面为副参考截面 II,按展向位置从小到大依次分别连接各主副参考截面尾缘线与压力面交点以及各主副参考截面尾缘线与吸力面交点。

2. 根据权利要求 1 所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:在不降低叶片气动性能和不增加叶片质量的前提下,采用叶片气动外形优化设计技术,调整所述大厚度钝尾缘标准翼型附近的翼型截面,使相对厚度大于 30% 的翼型截面沿叶片展向的分布范围为从叶片根部到截面展向位置比的 35% 及以上。

3. 根据权利要求 1 所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:所述的叶片气动外形优化设计技术是以智能优化算法与 BEM 算法相结合,进行叶片的气动性能(如最大风能利用系数、最大年能量输出等叶片气动性能和 / 或叶片的结构特性如叶片质量、自振频率等性能)寻优。

4. 根据权利要求 1 所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:各参考截面尾缘线与压力面交点之间的连接采用线性形式,或者对各交点进行多项式曲线拟合进行曲线连接;各参考面尾缘线与吸力面交点之间的连接采用线性形式,或者对各交点进行多项式曲线拟合进行曲线连接。

5. 根据权利要求 1 所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:其中所述主参考截面最大展向位置是指当有多个主参考截面时,展向位置最大的主参考截面所对应的展向位置;所述主参考截面最小展向位置是指当有多个主参考截面时,展向位置最小的主参考截面所对应的展向位置;所述尾缘线是指表示截面尾缘厚度的直线,当截面为尖尾缘时,其尾缘线为一个点,此时,尾缘线与吸力面交点同尾缘线与压力面交点重合。

6. 根据上述任一项权利要求所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:所述副参考截面 I 的展向位置为 30% 相对厚度截面到叶尖之间的某个展向位置,其中较优的位置为 30%-40% 相对厚度截面所在的展向位置。

7. 根据上述任一项权利要求所述的大厚度钝尾缘风力机叶片,其特征在于:选取副参考截面 II 的展向位置为圆形截面的最大展向位置。

一种大厚度钝尾缘风力机叶片

技术领域

[0001] 本发明专利涉及一种风力机叶片,尤其是一种大厚度钝尾缘风力机叶片。具体涉及到叶片的设计与制造领域。

背景技术

[0002] 传统的大型风力机叶片一般采用尖尾缘结构。为了实现叶根圆柱段与叶片尖尾缘前端部的几何光滑过渡,存在一个相对厚度较大的过渡段,其相对厚度都在 40% 以上。由于过渡段的截面几何形状是通过插值得到,对于不同的叶片其相对厚度相同的展向位置截面可能具有不同形状,并不是标准的几何翼型,没有充分考虑此处截面的运行环境和特点。

[0003] 而过渡段的截面由于展向位置小,叶片正常运行时的截面攻角能达到 20 度甚至更大值。传统的大厚度尖尾缘翼型其在该攻角附近由于大的流动分离,其空气动力学性能快速下降;另一方面,由于此处的截面承受较大的载荷,叶片弦长较大易发生叶片屈曲和疲劳破坏,尤其是叶片尾缘由于粘接面积有限,易发生开裂等结构破坏形式。此外,大型风力机叶片由于叶片较长,载荷较大,如何在不降低叶片气动性能和不增加叶片质量的前提下,尽可能提高整个叶片的可靠性是一个很困难的问题。因此,有必要设计一种新的结构来改进叶片的气动性能和结构性能。

[0004] 由于与大厚度尖尾缘几何翼型或几何截面相比,相同相对厚度的大厚度钝尾缘翼型在大攻角下具有更高的升力系数、更优失速特性、更好的刚度特性以及更强的尾缘粘接强度,标准的大厚度钝尾缘翼型的开发以及它们在叶片上的应用为解决以上问题提供了一种重要途径,已有一些学者或技术人员对此展开了相关研究(见专利文献 1- 专利文献 7)。

[0005] 【专利文献】

[0006] 【专利文献 1】:中国专利号 201310234549.2 说明书

[0007] 【专利文献 2】:中国专利号 200620090628.6 说明书

[0008] 【专利文献 3】:中国专利号 201120041833.4 说明书

[0009] 【专利文献 4】:中国专利号 201310283675.7 说明书

[0010] 【专利文献 5】:中国专利号 201310283686.5 说明书

[0011] 【专利文献 6】:中国专利号 201180022030.7 说明书,该专利也是国际专利

[0012] 【专利文献 7】:中国专利号 200810001367.X 说明书,该专利也是国际专利

[0013] 具体来说,专利文献 1 主要是开发了一族不同相对厚度的标准大厚度钝尾缘翼型。相对厚度从 45% 到 60%,尾缘相对厚度从 7% 到 16%;专利文献 2 主要是介绍了一种尾缘相对厚度从 0.5%–3% 的钝尾缘翼型。专利文献 3 主要介绍了一种带有涡流发生器以及尾缘装有减阻附件的钝尾缘风力机叶片。专利文献 4 介绍了一种采用相对厚度为 65.0–75.0% 的钝尾缘翼型的钝尾缘叶片,主要详细说明了该翼型的几何参数范围。专利文献 5 介绍了一种采用相对厚度为 50.0–55.0% 的钝尾缘翼型的钝尾缘叶片,主要详细说明了该翼型的几何参数范围。专利文献 6 介绍了一种相对厚度在 40% 到 50% 之间的叶片区域采用钝尾缘形式的风力机叶片及其设计方法,并详细介绍了不同相对厚度下尾缘相对厚度的取值范围

及不同的尾缘型式,以达到更好的叶片性能。专利文献7介绍了4种相对厚度在30%和40%附近的钝尾缘翼型及其几何造型方式。

[0014] 在以上的专利文献中,主要是对各自开发的大厚度钝尾缘翼型进行了公开说明,对在叶片过渡区内采用的大厚度钝尾缘翼型只进行了部分范围内的限制。此外,对尾缘厚度的过渡处理方式并未作出具体的公开,对采用大厚度钝尾缘翼型后,如何使用叶片其它相对厚度翼型以改善叶片的整体性能未做具体说明。

发明内容

[0015] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供了一种大厚度钝尾缘风力机叶片。其目的是优化设置叶片过渡段截面几何形状的设置方式以及优化钝尾缘叶片的尾缘厚度过渡形式,从而改善叶片的气动特性和结构特性,降低叶片的质量和制造成本。

[0016] 本发明所采用的技术方案是:一种大厚度钝尾缘风力机叶片,包括叶片根部、叶片过渡段和叶片前端部,其特征在于,所述叶片过渡段为从所述叶片根部的最大展向位置处的圆形截面至所述叶片的具有最大弦截面之间的叶片部分,所述叶片过渡段内采用至少一个相对厚度为40%以上的大厚度钝尾缘标准翼型;同时,从所述叶片根部到截面展向位置大于叶片展长35%的叶片范围内均采用相对厚度大于30%的翼型;并对所述大厚度钝尾缘标准翼型附近截面的尾缘按照一定的尾缘厚度过渡形式进行光滑过渡,以使叶片尾缘实现全部或部分采用钝尾缘。所述一定的尾缘厚度过渡形式是指以选用的相对厚度为40%以上的大厚度钝尾缘标准翼型所在展向位置为主参考截面,当有多个40%以上的大厚度钝尾缘标准翼型时,则这些大厚度钝尾缘标准翼型均作为主参考截面,选取一个展向位置大于主参考截面最大展向位置的翼型截面为副参考截面I,再选取一个展向位置小于主参考截面最小展向位置的翼型截面为副参考截面II,按展向位置从小到大依次分别连接各主副参考截面尾缘线与压力面交点以及各主副参考截面尾缘线与吸力面交点。

[0017] 本发明所述的标准翼型是指根据风力机的运行和来流条件,而专门设计的具有不同气动性能的翼型。非标准翼型是相对标准翼型而言的,是指那些并不是专门开发的,其几何形状是通过插值得到的翼型,这些翼型没有充分考虑其所在叶片截面处的运行环境和特点。其中所述的截面展向位置比是指以叶根为叶片展向位置的起点,各截面为展向位置与叶片总长的比较,因此,叶根截面的截面展向位置比为0,叶尖截面的截面展向位置比为100%。所述翼型相对厚度是指翼型截面的最大厚度与该截面的弦长比值。

[0018] 本发明的大厚度钝尾缘风力机叶片,其中40%以上的大厚度标准翼型可以选用中国科学院工程热物理研究所开发的大厚度翼型族(见发明专利CN103277245 A),其翼型相对厚度包括45%、50%、55%和60%四种大厚度钝尾缘翼型,其尾缘相对厚度依次分别为7%、9%、12%和16%。其几何形状如图2所示。图3至图6给出了以上四种标准大厚度钝尾缘翼型的升力系数随攻角的变化特性。

[0019] 本发明的大厚度钝尾缘风力机叶片中,为了提高叶片的结构特性,在不降低叶片气动性能和不增加叶片质量的前提下,采用叶片气动外形优化设计技术,调整大厚度钝尾缘翼型附近的翼型截面,使相对厚度大于30%得翼型截面沿叶片展向的分布范围为从叶片根部到截面展向位置比的35%及以上。从而提高叶片的刚度,尽可能减少叶片的质量和生产成本。

[0020] 优选地,采用的叶片气动外形优化设计技术以智能优化算法与 BEM 算法相结合,进行叶片的气动性能(如最大风能利用系数,最大年能量输出等叶片气动性能)寻优。同时可以考虑叶片的结构特性如叶片质量、自振频率等性能。

[0021] 本发明的大厚度钝尾缘风力机叶片,所述尾缘厚度过渡形式是指以选用的 40% 以上的标准大厚度翼型所在展向位置为主参考截面,当有多个 40% 以上的标准大厚度翼型时,其有多个主参考截面。此外,选取一个展向位置大于主参考截面最大展向位置的翼型截面为副参考截面 I,再选取一个展向位置小于主参考截面最小展向位置的翼型截面为副参考截面 II。按展向位置从小到大依次分别连接各主副参考截面尾缘线与压力面交点以及各主副参考截面尾缘线与吸力面交点,以使叶片尾缘实现全部或部分采用钝尾缘。

[0022] 优选地,选取副参考截面 I 的展向位置为 30%-40% 相对厚度截面所在的展向位置。

[0023] 优选地,选取副参考截面 II 的展向位置为圆形截面的最大展向位置。

[0024] 优选地,各参考面尾缘线与压力面交点之间的连接采用线性形式,或者是对各交点进行多项式曲线拟合。优选地,各参考面尾缘线与吸力面交点之间的连接采用线性形式,或者是对各交点进行多项式曲线拟合。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0026] 1、本方案提供的大厚度钝尾缘标准翼型的应用可有效提高大型风力机叶片在过渡段内的空气动力性能。

[0027] 2、本方案能改善叶片的结构效率,在不降低叶片气动性能前提下,能使叶片质量减小 3% 以上。

附图说明

[0028] 图 1 为本发明的大厚度钝尾缘叶片几何示意图;

[0029] 图 2 为大厚度钝尾缘标准翼型族的基本型线;

[0030] 图 3 为不同雷诺数下相对厚度为 45% 的标准翼型升力系数随攻角变化的曲线图;

[0031] 图 4 为不同雷诺数下相对厚度为 50% 的标准翼型升力系数随攻角变化的曲线图;

[0032] 图 5 为不同雷诺数下相对厚度为 55% 的标准翼型升力系数随攻角变化的曲线图;

[0033] 图 6 为不同雷诺数下相对厚度为 60% 的标准翼型升力系数随攻角变化的曲线图。

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下参照附图并举实施例,对本发明进一步详细说明。

[0035] 参照图 1,本发明的大厚度钝尾缘风力机叶片,包括叶片圆柱段 10、叶片过渡段 20 和叶片前端部 30,在连接叶根圆形截面 1 与叶片最大弦长截面 2 之间的叶片过渡段 20 内,选取一个或多个展向位置放置一个或多个相对厚度为 40% 以上的中国科学院工程热物理研究所开发的大厚度钝尾缘标准翼型族,参见图 2 至 6,其翼型相对厚度包括 45%、50%、55% 和 60% 四种大厚度钝尾缘翼型,其尾缘相对厚度依次分别为 7%、9%、12% 和 16%。

[0036] 为了进一步提高叶片的结构特性,在不降低叶片气动性能和不增加叶片质量的前提下,采用叶片气动外形优化设计技术,调整大厚度钝尾缘翼型附近的翼型截面,使相对厚

度大于 30% 得翼型截面沿叶片展向的分布范围为从叶片根部到截面展向位置比的 35% 及以上。从而提高叶片的刚度,尽可能减少叶片的质量和生产成本。

[0037] 选用的 40% 以上的标准大厚度翼型所在展向位置为主参考截面,当有多个 40% 以上的标准大厚度翼型时,其有多个主参考截面。此外,选取一个展向位置大于主参考截面最大展向位置的翼型截面为副参考截面 I,再选取一个展向位置小于主参考截面最小展向位置的翼型截面为副参考截面 II。

[0038] 采用线性连接形式或是多项式曲线连接形式,按展向位置从小到大依次分别连接各主副参考截面尾缘线与压力面交点,然后,采用线性连接形式或是多项式曲线连接形式,按展向位置从小到大依次分别连接各主副参考截面尾缘线与吸力面交点。以使叶片尾缘实现全部或部分采用钝尾缘。

[0039] 做为本发明的一种较佳实施案例,其相关参数取为钝尾缘叶片总长为 47m,在叶片展向为 1m 到 9m 的叶片过渡段内,选用相对厚度为 45% 的大厚度钝、尾缘翼型,并将其放置在 8.413m 展向位置处。考虑最大功率系数和年发电量的前提下,通过气动外形优化后,使相对厚度大于 30% 得翼型截面沿叶片展向的分布范围为从叶片根部到截面展向位置比达到 36.9。通过采用线性连接形式对叶片尾缘厚度进行光顺,最后得该叶片最大尾缘相对在 7% 以上。与初始已量产的 47m 尖尾缘叶片相比,叶片减重达 3.4%,叶根极限挥舞弯矩也降低 2.0%。

[0040] 以上所述仅为本发明较佳的实施案例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明保护的范围之内。

[0041] 【符号说明】

- [0042] 1 叶根圆形截面及副参考截面 II;
- [0043] 2 最大弦长截面及大厚度钝尾缘标准翼型;
- [0044] 3 副参考截面 I;
- [0045] 10 叶片圆柱段;
- [0046] 20 叶片过渡段;
- [0047] 30 叶片前端部。

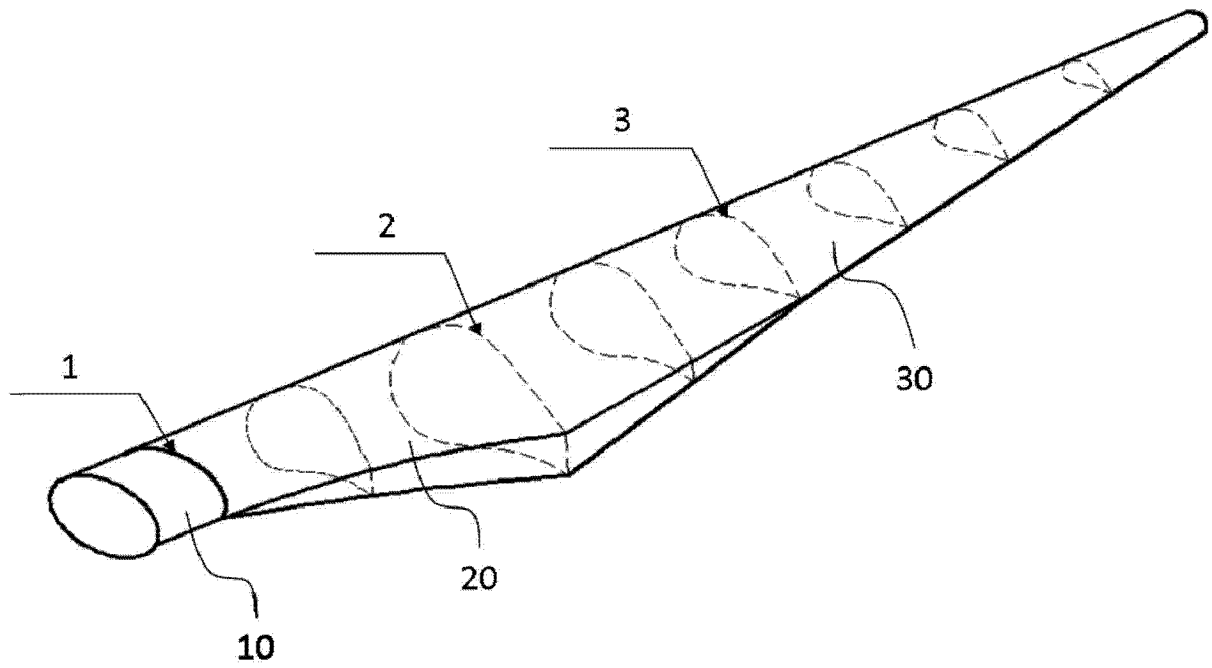


图 1

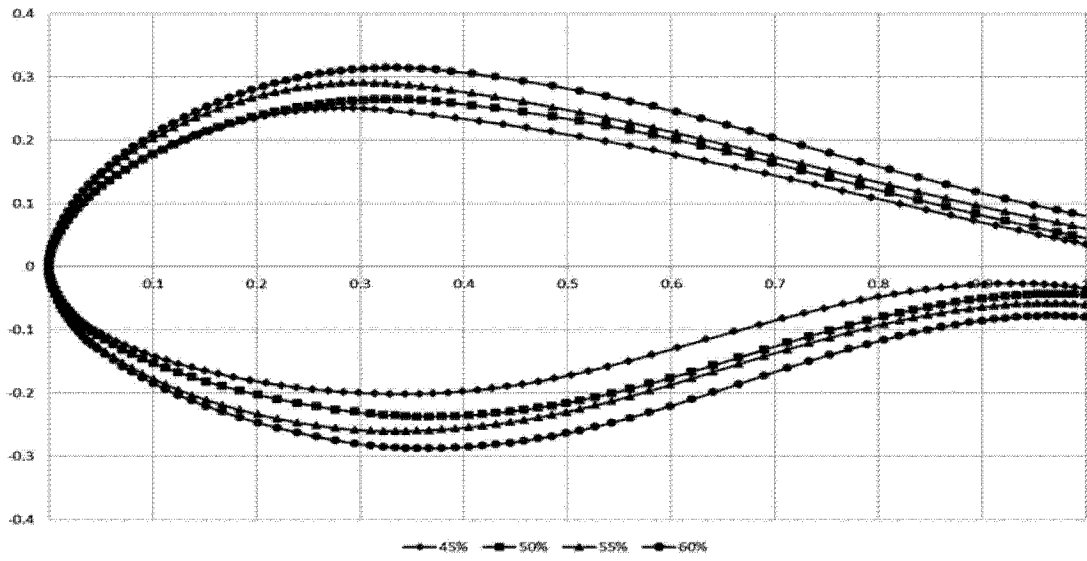


图 2

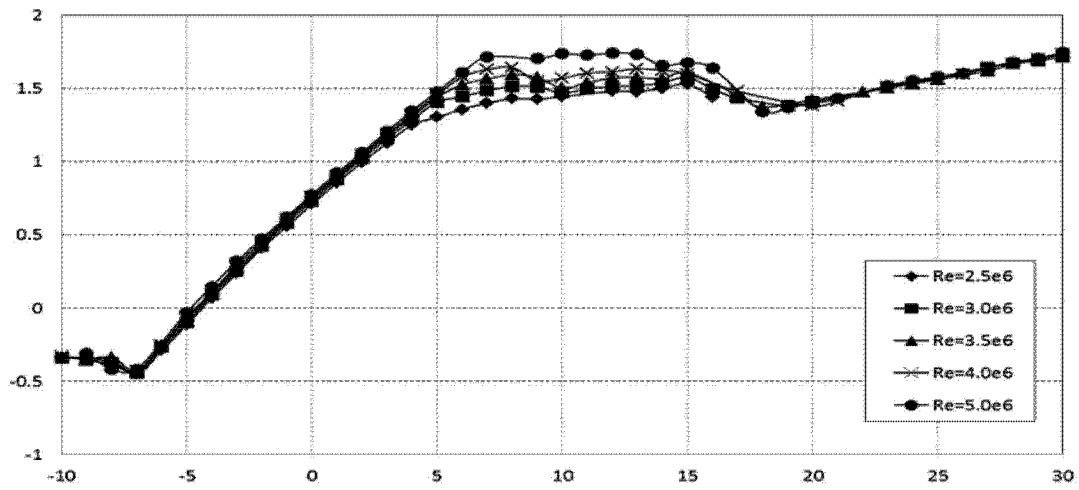


图 3

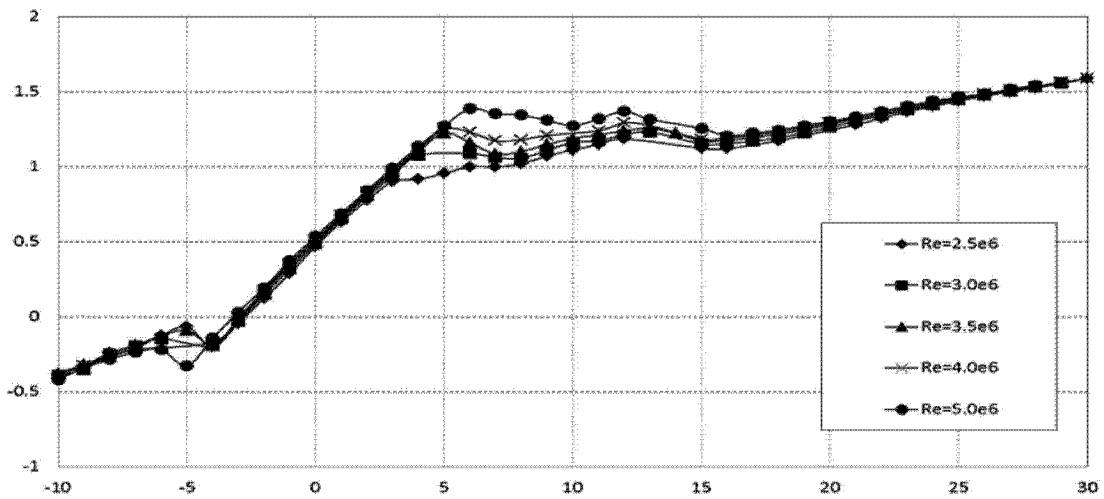


图 4

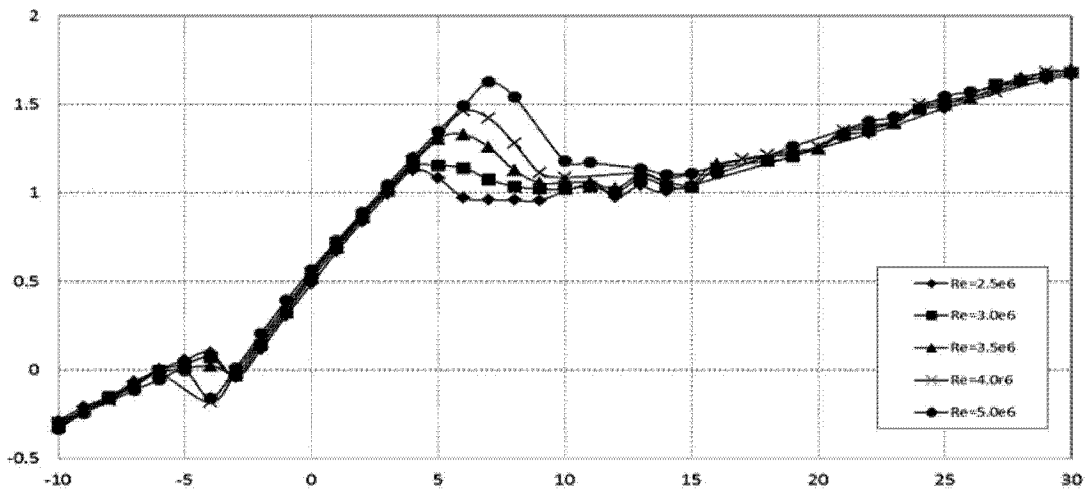


图 5

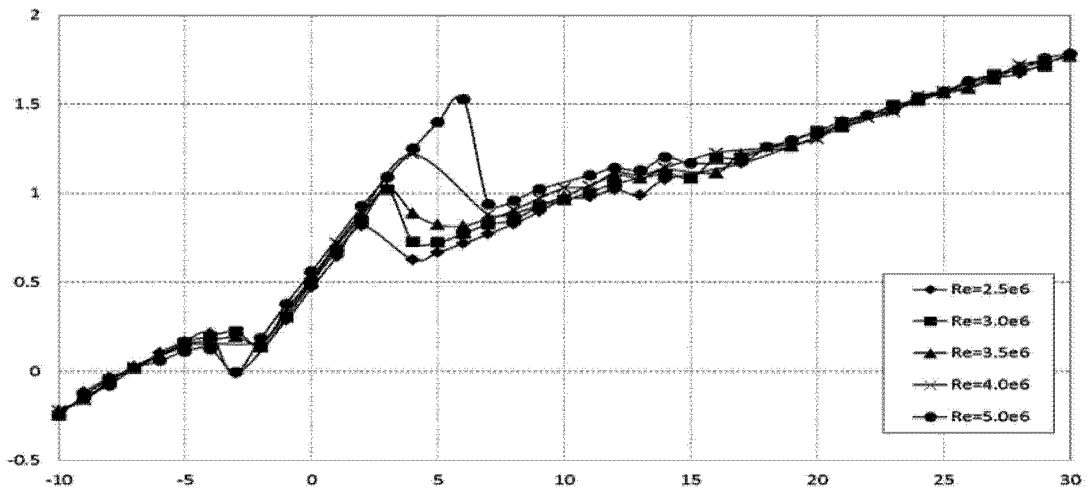


图 6