* 1. 研究背景和意义

当前，在世界范围内产业结构调整和全球性经济竞争的新形势下，民用航空在综合交通运输体系中的作用日益突出，是增长速度最快、发展潜力最大的交通运输方式。美国航空公司客运周转量在1957年就超过了铁路，2006年国内航空运输量为铁路的105倍。在我国，改革开放30年来，民航的增长速度远远高于其它运输方式。从1978-2007年，从旅客周转量年均增长率看，铁路为6.7%，公路为11.2%，水运为-0.9%，而民航为17.2%；从货物周转量年均增长率看，铁路为5.3%，公路为13.7%，水运为10.1%，管道为5.1%，而民航为17.8%。（世界民用航空与中国民用航空的发展）

根据2012年民航行业发展统计公报（参考文献），2012年，全行业完成运输总周转量610.32亿吨公里，比上年增长5.7%，其中旅客周转量比上年增长10.6%，平均航班正常率为74.83%，其中机场旅客吞吐量东部地区占了57.2%，民航业作为朝阳行业正在经历着快速发展。由于空中交通流量增长较快，出现了世界范围内机场、空域和航线网的拥挤，在机场、终端区以及航路的交叉点都不可避免地频繁出现飞行冲突，形成了空中交通网络的瓶颈，空中交通处在超负荷的状态，结果造成大量的航班延误。欧美航空业发达的国家和地区为解决航班延误问题，采取了一系列政策和措施。在政策上，积极开放民用可航区域；在措施上，都建立了非常高效的空中交通流量管理系统（ATFM），这不仅对空中流量的控制管理起到了重要作用，而且大大提高了空域利用率，减小延误，提高飞行安全水平。空中交通流量管理（ATFM）的目的主要是在需要和预期需要超过[空中交通管制](http://baike.baidu.com/view/95039.htm)（ATC）系统的可用容量期间内，为空中交通安全、有序和流量的加速提供服务，确保最大限度地利用ATC容量，保证空中交通最佳地流向或通过这些区域，为飞机运营者提供及时、精确的信息以规划和实施一种经济的空中运输，以尽可能准确地预报飞行情报而减少延误。空中交通流量管理系统（ATFM）的主要作用是平衡交通量需求与可利用的空域，来确保安全快速的交通流。为了达到这一目的，需要同时预测交通量需求和空域容量。然而，空域容量很难评估和预测，扇区实际容量与扇区内交通流复杂度，以及是否有危险天气存在等许多因素有关。在今天的美国空域系统（NAS）中，由于缺乏公认有效的扇区容量指标，仍无成熟的扇区状态自动化预测工具投入使用。目前美国改进的交通流量管理系统（ETMS）提供了扇区拥挤警告功能，使用了15分钟内管制扇区可以安全有效处理的容量作为监控警告参数（MAP, Monitor Alert Parameter），它是扇区管制员工作负荷极限值的指标。MAP是一个运行触发信号，监控的实际15分钟内，当管制扇区容量达到或超过MAP时，就会告警，在告警的情况下，需要流量管理者根据经验和对交通态势的认知来采取流量管理措施或动态空域配置来解除告警，提高扇区运行效率。MAP值大小由穿越扇区飞机的平均驻留时间决定，对于一个给定的扇区，MAP值是固定的。而使用固定值作为扇区拥挤警告信号有着运行上的限制。首先，MAP值不能够对扇区内瞬间航班架次进行绝对限制，监控告警并没有把管制员工作负荷影响因素考虑到实际的流量控制当中，即扇区容量不是管制员负荷极限值的唯一指标，因为管制员负荷不仅由航空器架次决定，还有交通复杂度、扇区内危险天气等因素。其次，MAP值不能够随着交通流复杂度和危险天气的存在而变化，即MAP值是静态的。图1给出了交通流模式、交通复杂度、管制员负荷和扇区容量的关系。在给定交通流的情况下（例如P1），随着扇区内航空器架次的增加，管制员负荷也单调增加。在给定扇区内航空器架次时，管制员负荷是交通复杂度的函数，不同的交通流模式代表了不同的交通复杂度。当管制员负荷达到极限值时，就得到了扇区容量。如图中所示，给定管制员负荷极限值时，对于不同的交通流模式扇区容量是不同的。因为交通流P3比交通流P2更为复杂，所以相应的C3小于C1。（Predicting Sector Capacity under Severe Weather Impact for Traffic Flow Management）也就是说，交通复杂度越高，达到管制员负荷极限值时，扇区容量越小。在之前的研究中，已经有学者证明了与基于航空器架次模型相比，基于复杂度的模型更好的管制员工作负荷进行评估。欧洲全局优化实验室建议研究合适的复杂性测度方法用以替代基于航空器架次的负荷评估方法。

从2012年民航业发展统计公报的数据显示，2008-2012年我国民航运输业飞速发展，民航现有的空域结构、网络布局都很难适应空中交通流量的增长，目前存在以下几个问题：（1）航班延误严重；（2）空域的开放程度不足，民用航空缺乏足够的空域资源，使整个空中交通的容量受到极大的限制；（3）低能见度、雷暴和台风等恶劣天气影响；（4）空军活动影响；（5）急需一个运行良好的空中交通管理系统。据统计，我国由于空域资源受限造成的机场或空域容量急剧下降而直接或间接导致航班延误的比例约占不正常航班的三分之一。由于危险天气和军航活动导致可用空域不足，部分空域、航路无法使用，已经成为导致扇区动态容量下降的主要因素。2012年航班不正常原因分类统计中，天气原因占到了21.6%，低能见度、雷暴和台风等恶劣天气的影响严重制约着空域需求，是导致航班延误严重的重要原因。美国国家空域系统（NAS）调查显示因天气原因延迟的平均时间两倍于其他原因延误的平均时间。扇区容量可以简单的定义为考虑管制员和飞行员负荷以及空域限制条件下，单位时间内空域可以容纳的最大航班架次。空域限制包括特殊空域如危险区、限制区和禁区，对流天气，颠簸，结冰等。恶劣天气存在时，对扇区的主要影响有：（1）可利用空域减少；（2）飞机机动动作增加（改航、穿云、返航等），进而增加管制员负荷。（Predicting Sector Capacity under Severe Weather Impact for Traffic Flow Management）大多数情况下，危险天气的存在将会严重影响交通复杂度，进而降低扇区容量。

本文着力研究

扇区容量定义为一定时间段内进入扇区的航空器架次，没有引起管制员过多的工作负荷，也就是说，管制员在单位时间内可以安全处理的最大航空器架次。管制员负荷是多层面的，反映了管制员感知和认知的总体水平，是不能够直接观察出的，但可以通过一些方法推测出来。目前使用给定时间段内管制员可以管理的航空器架次作为评估管制员负荷的指标。然而，管制员负荷不只是航空器架次的线性函数，实际上是非线性的，因为当航空器架次增加到2倍时，管制员负荷不会变成原来的两倍。负荷值是多重的，当给定航空器架次时，管制员负荷由交通复杂度决定，进而反映出管制员管制的复杂度。（Predicting Sector Capacity for TFM Decision Support）

大多数情况下，危险天气的存在将会严重影响交通复杂度，进而降低扇区容量。恶劣天气存在时，对扇区的影响：（1）可利用空域减少；（2）飞机机动动作增加（改航、穿云、返航等），进而增加管制员负荷；（3）每架飞机受影响程度不同。（Predicting Sector Capacity under Severe Weather Impact for Traffic Flow Management）

（Capacity Estimation for Airspaces with Convective Weather Constraints）评估空域容量是空中交通流量管理（TFM）最基本的功能，当空域中交通需求量超过容量时，TFM必须采取一定的管制策略。空域容量可以简单的定义为考虑管制员和飞行员负荷以及空域限制条件下，单位时间内空域可以容纳的最大航班架次。空域限制包括特殊空域如危险区、限制区和禁区，对流天气，颠簸，结冰等。本文主要分析的是对流天气影响下的空域容量。美国国家空域系统（NAS）调查显示天气原因是导致航班延误的最主要原因，因天气原因延迟的平均时间两倍于其他原因延误的平均时间。从我国2012年民航业发展统计公报的数据显示，2012年航班不正常原因分类统计中，天气原因占到了21.6%，低能见度、雷暴和台风等恶劣天气的影响严重制约着空域需求，是导致航班延误重要原因。