

浮空器在应急通信中的应用

黄宛宁, 张晓军, 祝榕辰, 周书宇

中国科学院光电研究院, 北京 100094

摘要 浮空器相对于固定翼无人机和四旋翼无人机等一些常规的飞行平台, 具备续航时间长或飞行高度高的显著优点, 高空超压气球和低空系留气球已经成为应急通信领域一种新的发展方向。以系留气球和高空超压气球在应急通信中的应用为例, 梳理了浮空器在应急通信中的应用现状, 总结了浮空器在应急通信中应用的显著优势, 指出了亟待解决的关键问题, 展望了未来浮空器在应急通信行业应用方向。

关键词 应急通信; 自然灾害; 浮空器; 高空超压气球; 系留气球

应急通信是指在出现自然或人为的突发性紧急情况时, 为应对紧急情况而综合利用各种通信资源实现通信的机制。中国是一个灾害发生频率高、灾害面积广、灾害损失严重的国家, 随着国民经济的快速发展、生产规模的持续扩大和社会财富的不断增长, 灾害造成的损失也在逐年上升, 对社会安全构成了严重威胁。通信行业作为国民经济中举足轻重的基础行业, 直接影响到重要信息的及时发布以及灾后救援工作的顺利实施^[1]。因此, 在特大自然灾害来临的关键时刻, 如何保持国家、政府、企业、组织和个人之间的通信畅通, 是否具有高效的应急指挥体系和完善的应急通信保障, 越来越受到各级管理部门和公众的关注。

国内外学者针对应急通信的体制建设、专用网络建设、优先呼叫技术、超级基站技术、应急救援指挥调度系统建设、指挥调度互联互通技术、应急救援公共服务便携式基站等方面开展了深入研究, 取得了一系列进展^[2-6]。

应急救援中的通信保障分两类, 一类是应急救援的指挥调度通信系统, 另一类是灾区人民的公众通信网络。考虑到一旦发生重大自然灾害后, 救援力量一般从外部进入, 可以携带专用的应急通信装备, 甚至卫星通信设备保障指挥调度通信系统, 所以在重大自然灾害中的应急通信中重点要考虑的是如何恢复灾区的公众通信网络, 或者临时恢复公众通信网口的部分能力, 以便于救灾救援。

以2008年汶川地震为例, 里氏8.0级地震瞬间造成灾区道路塌方、通信中断、电力中断, 极大地破坏了部分地区的通信网络, 灾区的通信系统基本处于瘫痪状态。四川、甘肃、陕西3省内受灾电信局所3811个, 受灾移动基站29064个(含小灵通基站), 累计损毁线路24056 km, 倒杆断杆117057根, 汶川、黑水、茂县、理县、北川、青川、平武7个县通信完全受阻。国家抗震救灾总指挥部无法在第一时间了解灾区大多数县级机关的消息, 使抗震救灾工作非常被动。汶川地震的通信中

收稿日期: 2018-01-31; 修回日期: 2018-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(91638301, 61733017)

作者简介: 黄宛宁, 高级工程师, 研究方向为浮空器测控、组网通信等, 电子信箱: hwn@aoe.ac.cn; 张晓军(通信作者), 博士, 研究方向为计算机信息技术, 电子信箱: xjz787@aoe.ac.cn

引用格式: 黄宛宁, 张晓军, 祝榕辰, 等. 浮空器在应急通信中的应用[J]. 科技导报, 2018, 36(6): 55-64; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.06.007

断问题,是当时的应急通信体系在地震灾害等重大公共突发事件面前无法克服的问题。要彻底解决应急通信问题,必须采用新的应急通信技术^[1,3]。根据汶川地震的通信状况分析,应急通信设备应该有以下特点:1) 通信信道是无线信道;2) 能够迅速恢复蜂窝移动公共通信网络;3) 部署快、覆盖面广、适应各种地理条件^[5]。

根据以上特点,可选择在应急救援中使用升空平台进行应急通信便携基站的搭载。便携基站将无线设备、便携式卫星通信设备及配套设备集成在一个紧凑的便携式的机箱中,能够迅速组建一个临时应急通信网络,可以作为现有公共移动通信网络的延伸成为有线或无线通信网络的一部分。

可选择的常规升空平台包括无人机和浮空器。无人机具有机动灵活,可快速部署进入灾区上空的优点,但续航时间多数在24 h以内,且有效载荷能力有限,覆盖范围内接入用户容量有限。浮空器具有续航时间长、升空高度高、载荷能力强的优点,可用在重大自然灾害应急通信中的浮空器有两种类型,包括高空超压气球和系留气球。

1 浮空器的特点及在应急通信中应用的优势

高空超压气球和系留气球各有不同的特色,可针对特定的场景,在应急通信中发挥不同的作用。

1.1 高空超压气球的特点及在应急通信中应用的优势

高空超压气球是一种新型的高空气球,不同于传统的零压式高空气球的开放式结构,它采用高强度的薄膜材料和全新的结构设计,球体全封闭。球体内外较大的压差能够避免日落时气球内浮升气体温度下降导致的浮力损失,仅内部压力发生变化而外形基本不变,并且不需要抛压舱物补偿,从而实现长时间滞空,并且飞行高度变化很小^[7]。谷歌公司的Loon小型超压气球(图1)飞行高度一般20 km左右,载重约15 kg,2016年在秘鲁小城上空已经实现了持续驻留98天的纪录。而美国国家航空航天局(NASA)的超长航时气球(ultra long duration balloon, ULDB)计划的大型超压气球载重在1 t以上,2016年也已经达到持续驻空46天的水平。

高空超压气球可以携带小型基站在灾区上空持续驻留,完全不受地面设施及地形环境的制约,适合于重

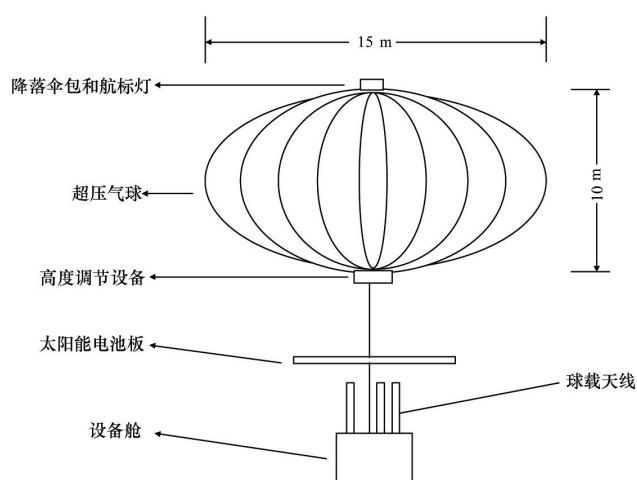


图1 谷歌的超压气球系统示意

Fig. 1 System diagram of Google's super pressure balloon

大自然灾害过后,地面基础通信设施严重损毁,路面遭严重破坏,交通完全中断,应急通信车辆无法快速进入的情况。因为高空超压气球是无动力自由飘飞的飞行器,主要依靠寻找不同的风层进行航向控制,所以单个高空超压气球的定点控制精度较低,但由于高空超压气球的造价较低,可以同时使用多个高空超压气球组成临近空间的气球网络进行数据回传接入,且多个节点可以互为冗余备份,保障对应急区域的通信覆盖;另外由于高空超压气球的飞行高度较高,执行任务时可不受低空云雨雷电等天气现象的影响,而且空中基站可发挥高度优势,提供比常规空中基站(例如旋翼无人机或固定翼无人机)更大的覆盖范围。

1.2 系留气球的特点及在应急通信中应用的优势

系留气球是一种无动力浮空飞行器,用系缆与地面设施连接,球体内充氦气,依靠浮力悬停在空中。系留气球系统一般由球体、系缆、锚泊设施、测控、供电等组成(图2)。系缆是为了约束气球停留在期望高度,内部有导线与光纤,前者为气球所搭载的各种载荷提供电力,后者可将传感器获得的信息传送至地面接收站。正因为系留气球大多采用地面设施供电,其续航时间才不受能源的限制,与其他飞行器相比具有显著优势,小型的系留气球系统续航时间可长达1~3天,中大型的系留气球系统持续驻空工作时间可超过15天。

系留气球可搭载小型便携基站,升空至100~300 m高度,可替代地面应急通信车的桅杆基站,提供更大的通信服务覆盖范围;由于采用了系缆传输供电,系留气

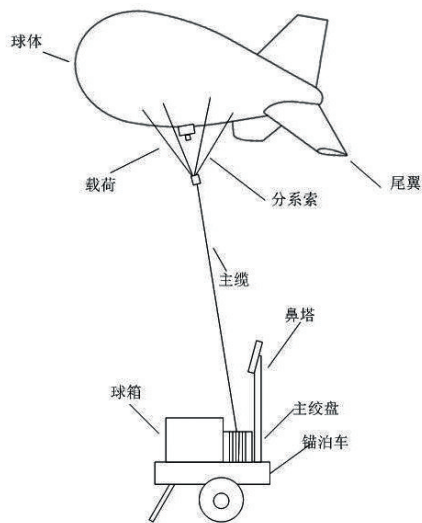


图2 典型小型系留气球系统构成
Fig. 2 Structure diagram of typical small-sized tethered aerostat system

球的驻空时间可不受电源的制约,通过驻留更高的高度,提供比传统多旋翼无人机或固定翼无人机更长的续航时间。系留旋翼无人机特点与系留气球类似,同样依靠系缆供电,可长时间驻空,中国移动通信集团公司联合多家单位研制的系留无人机已用于2017年九寨沟地震后应急通信^[3],但系留旋翼无人机是依靠多旋翼的推力升空并保持的,驻留过程中推力电机需始终保持较高的转速,这对其长期工作的可靠性提出了较高要求,另外系留多旋翼无人机的载重能力一般在20 kg以下,系留气球可轻松做到30~50 kg,可携带的通信基站性能更好。

2 高空超压气球应急通信应用现状

高空超压气球在应急通信领域应用的典范就是谷歌公司X实验室的Loon计划,最初该计划的目标是将高空超压气球发放至海拔20 km平流层组成空中无线网络,向农村和偏远地区提供互联网接入服务。气球通过调整其高度到达不同的风层,顺着风力向其期望的方向运动,预测使用的风力数据来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA)。地面用户与上空的Loon气球建立连接后,通过空中气球的网络多跳回传至地面网关,从而接入互联网。从2013年谷歌第一次对外公布该计划至今,该计划取得了长足进展,2017年在秘鲁和波多黎各投入灾后应急通信应用^[8],取得了良好效果。

2.1 秘鲁水灾应急通信服务

2017年3月,秘鲁持续遭遇强降雨侵袭,引发了20年来最严重的洪水灾害。山洪暴发、河水泛滥,多地发生泥石流,数10万人流离失所,全国近1/2的国土面积宣布进入紧急状态。

通信抢险争分夺秒,为了快速打通通信生命线,谷歌的Loon团队与互联网接入服务公司O3b及秘鲁本地运营商Telefónica开展项目合作,在Lima, Chimbote和Piura上空部署Loon气球网络,并与O3b和Telefónica的网络连接,以“空对地”的方式向受灾区域提供网络服务(图3)。

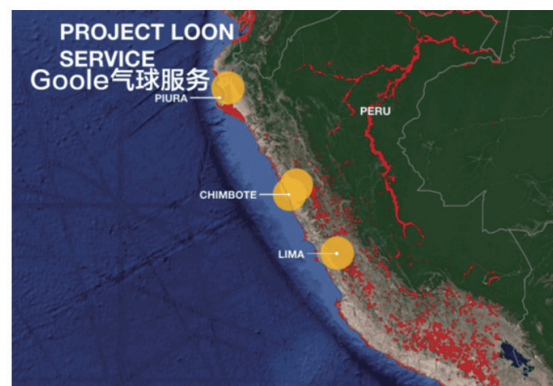


图3 Loon气球秘鲁应急通信
Fig. 3 Emergency communication diagram of Project Loon working in Peru
(图片来源: <https://plus.google.com/+ProjectLoon>)

Telefónica官方表示,此次与谷歌合作,仅在72 h内,为4万km²(相当于一个瑞士)区域提供了基础互联网连接,实现了160 GB数据流量的通信传输,相当于可发送和接收3000万条WhatsApp消息,或200万封电子邮件。

尽管在2016年底,谷歌就已经与Telefónica秘鲁联合测试,将谷歌气球技术整合到Telefónica的网络中,但是,这次突发洪灾让谷歌气球首次投入使用,直接连接数万部手机。

该项目采用了谷歌在2017年2月公布的、借助机器学习 and 大数据技术的最新导航算法,可将小型气球直接发送到需要服务的地区,控制气球移动和停留,让气球集中在网络需要的地方。新导航算法可以高效引导谷歌气球到指定区域,几个气球编队成一小队,组成一个小型Mesh网络,服务指定区域。另外,谷歌气球最近还集成了长期演进通用移动通信技术标准(long term evolution, LTE)技术,这意味着其不但可以提供

Wi-Fi连接,还能提供LTE-A(LTE的演进版本)服务。

2.2 波多黎各飓风灾后应急通信服务

2017年9月,飓风Maria袭击了加勒比海地区,位于该地区的波多黎各也受到了飓风的袭击,当地的移动网络基础设置也因此受到巨大损害,网络因此而中断。

在飓风发生后的几周时间里,谷歌的Loon项目团队就决定利用气球网络提供援助。为此,该团队与波多黎各政府、美国联邦通信委员会(FCC)、美国联邦航空管理局(FAA)、美国联邦应急管理署(FEMA)等政府机构进行合作,共同推动援助进程。这次气球援助采用的是美国通信运营商AT & T的通信网络,目前该网络已经在波多黎各地区运行,可以帮助部分LTE手机实现基本的通信和网络信息获取服务。

这次采用气球来提供网络,是该项目成立以来组织实施最快的一次,前后耗时仅1个月。另外,为了让气球聚集在波多黎各上空(而不是飘到其他地方),Loon项目团队还继续采用机器学习算法进行控制。

在波多黎各上空执行任务的谷歌Loon气球也安装了广播式自动相关监视(automatic dependent surveillance-broadcast, ADS-B)发射机,所以可以通过Flight-radar24网站上实时查看气球的位置,观察到Loon气球飞行控制的效果。

Flightradar24网站提供航班的飞行轨迹、出发地、目的地、航班号、注册编号、飞行器型号、当前位置、高度和空速等,在美国外的很多数据由持有ADS-B地面接收机的志愿者提供,ADS-B可以自动地从相关机载设备获取参数向其他飞机或地面站广播飞机的位置、高度、速度、航向、识别号等信息。

由图4可看到,Loon气球区域覆盖的效果比较理想,共有8个气球在波多黎各上空及附近盘旋。

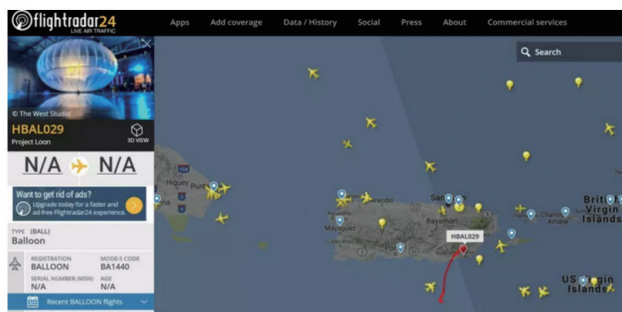


图4 波多黎各上空有8个谷歌气球在盘旋

Fig. 4 8 Google's balloons hovering over Puerto Rico

(图片来源: <https://www.flightradar24.com/>)

3 系留气球应急通信应用现状

系留气球因其滞空时间长,飞行高度比地面基站高,可在应急通信中可发挥重要作用,有多个国家开展了相关研究,其中日本和英国均有成熟产品投入应用。

3.1 日本软银集团空中基站项目

日本电信运营商软银集团(SoftBank)从2013年就开始研发空中基站项目,在2016年的熊本县大地震中,空中气球基站在应急通信中得到了良好应用。英国的EE公司也推出了用于应急通信及偏远地区通信覆盖的空中桅杆项目,采用的正是小型系留气球升空平台。

2016年,日本熊本县曾发生两次大地震,通信设施被严重摧毁。为了恢复通信,日本电信运营商SoftBank便将一个巨大的气球型空中基站升上天空(图5),解决了方圆10 km的受灾民众手机通信服务。本次空中基站升空位置为受灾最严重的熊本县阿苏。



图5 SoftBank系留气球升空

Fig. 5 SoftBank's tethered balloon lifts off

(图片来源: <http://mini.eastday.com/a/160526085223203.html>)

该空中基站重2.5 kg,覆盖范围10 km,可同时容纳400人打电话。假如每人通话3 min,那么1 h可容纳8000人通话。只要能看见这个空中漂浮的气球,就可以打电话,同时支持LTE高速上网服务,最高速率可达150 Mbit/s。它实际上相当于一个无线中继系统,可连接几公里外的陆地基站。用户手机的信号通过空中气球回传到附近陆地基站,从而实现通信服务(图6)。

无线中继采用3.3 GHz或1.5 GHz频段,气球采用氦气充气,配备了大容量蓄电池和太阳能面板。SoftBank表示,即使该区域没有供电系统,该空中基站一样可以运行(依靠太阳能电池板)。并且一旦升空,定时

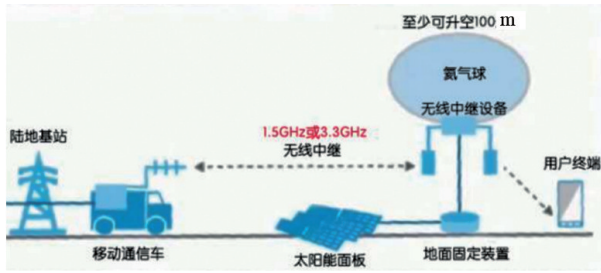


图 6 SoftBank 空中基站工作原理

Fig. 6 Operating principle of SoftBank's air base station

补充氦气便可在空中维持6个月。

在实验过程中,为了克服强风导致气球晃动而影响无线信号传播,将气球设计为更扁平的椭圆形,并特别加装了增加稳定性的风兜设计。

经过反复测试验证,SoftBank 将气球与陆地基站间的无线传输频率从 3.3 GHz 调整到 1.5 GHz。调整后,更低频段保证了更高的连接可靠性,能保证在暴雨下依然正常运行。同时将覆盖范围从 5 km 扩展到 10 km (图7)。



图 7 SoftBank 气球覆盖效果示意

Fig. 7 Result of coverage of SoftBank's balloon

3.2 英国EE公司的“空中桅杆”应急通信系统

2016年,英国最大的第4代移动通信(4G)运营商EE公司提出了一种使用安装在氦气球 Helikite 上的 mini 移动基站来提供广域 4G 移动信号覆盖的方案,可用于灾后的应急通信。EE公司将小型蜂窝网络通过微波中继或者卫星回传连接至 4G 网络,即使是最偏远的地区也能够打电话和访问互联网。

图 8 为 EE 公司的“空中桅杆”应急通信方案示意图,该方案旨在未来利用空中基站向偏远山区提供网

络连接,也称“按需覆盖(coverage on demand)”,即在发生自然灾害、基站倒闭、光缆中断和重大集会等意外情况时,快速响应网络需求。

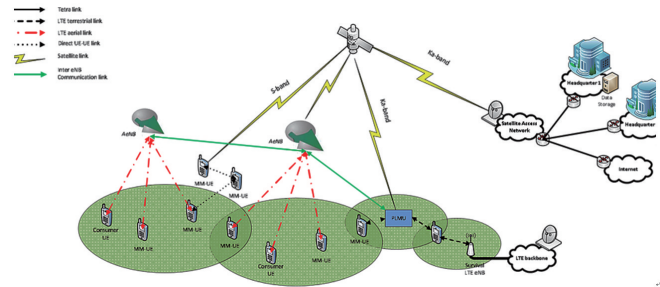


图 8 EE公司“空中桅杆”应急通信方案

Fig. 8 EE company's emergency communication project

EE公司通过多个气球中继的方案解决数据回传问题。气球上挂载由 Small Cells 和无线回传模块组成的一体化小型基站,即“Network In a Box”。首先,它借用了 LTE-A 的中继(relay)技术,将最近的地面宏基站视为 relay 节点,气球基站通过带内回传的方式与这个宏基站建立连接(图9)。然后,多个气球组成一张 4G 网状(mesh)网络。这样,Mesh 网络不但扩展了空中覆盖范围,而且还以“接力”的方式将网络覆盖延伸到人迹罕至的边远山区。

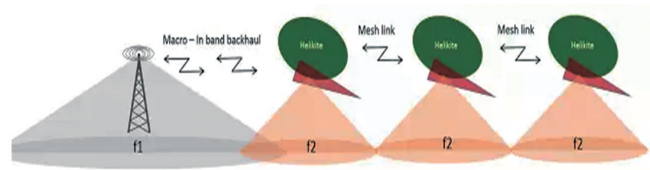


图 9 中继数据回传

Fig. 9 Data backhaul by relay station

该方案的显著优势就是驻空高度高,一般电信基站铁塔高度为 30 m,而使用系留气球作为升空平台可以轻松达到 100 m 高度,单个基站的覆盖范围可以成倍增加。

图 10^[9]以伦敦地图为例,展示不同情况下 4G 信号覆盖的差别。在没有 Helikite 空中桅杆的情况下,单个基站只能够覆盖 3.2 km 半径(图 10 黄色区域),如果使用了 Helikite 空中桅杆,4G 信号覆盖范围可以达到 32~80 km(图 10 橙色区域)。

EE公司的系留气球平台采用了 Allsopp 公司的 Helikite。Helikite 系留气球具有较高的抗风能力,在大风



图10 覆盖范围对比

Fig. 10 Comparison diagram of coverage area

状态下,一般的系留气球会被压低至地面,而 Helikite 却可以飞得更高。它是全世界唯一由风筝和气球结合的混合式浮空器,采用结实的半硬式结构,独特的设计可以让相对较小体积的 Helikite 升空 300 m 高度而不需要副气囊设计或持续的电力供应维持压力。

Helikite 结构如图 11^[9]所示,其中,1 为球体,2 为张拉膜“尾翼”,其作用一是提供额外的气动升力,二是作为风标使球体保持迎风方向,使球体具有一定的稳定性。3、5、6、7 为张拉膜“尾翼”的龙骨,它们的存在使该系留气球构型成为半硬式球体结构,其中 5 是主龙骨,3、6、7 为加强结构,也可以为载荷提供安装平台。龙骨可以在图 12 中 19 龙骨出口处抽出,以方便运输。4 为长度可变的拉绳,通过该拉绳约束球体体积可以改变球体压力,这种特殊结构可以不改变球体结构而使球体体积变化,因此不需要复杂的副气囊,这样可以适应不同海拔、不同温度的天气,也可以保证艇囊保持压力^[10]。

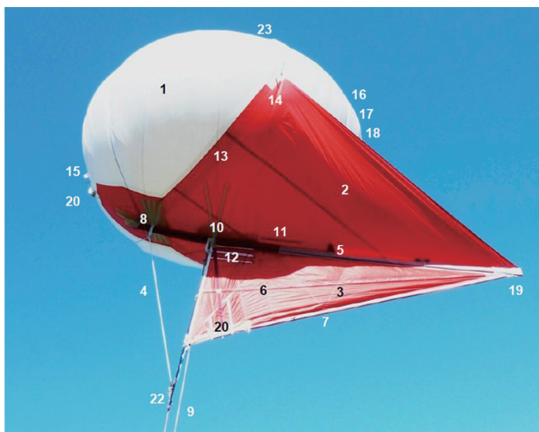


图11 Helikite的半硬式系留气球结构

Fig. 11 Helikite-semi-rigid structure tethered balloon

在该方案中使用的 Helikite 体积为 64 m^3 , 该气球基站可在 15 min 内完成部署。目前该方案虽然没有在应急通信中得到实战应用,但已经在英国的偏远山区验证了有效性。

4 高空超压气球应急通信应用的关键技术

为了充分发挥高空超压气球在应急通信应用中飞行高度高,通信覆盖范围广,驻空时间长的优势,还需要进一步提高其区域定点飞行控制的精度,解决多个浮空器协同工作的航迹规划等关键技术。

4.1 高空超压气球区域飞行控制技术

在大部分地区上空的平流层都会存在一个风速趋近于零的区域,一般称之为零风层,而在零风层的上下,风向截然相反。通过控制气球上升或者下降,可以让其进入不同的风层,以达到控制气球以期望的方向和速度运动的目的。

高空超压气球的飞行控制技术可以简化为高度控制(图 12)。Loon 气球的控制原理是采用了一个几乎占气球总体积 1/2 的副气囊(图 13),里面可以充满空气,在平流层飞行的过程中,通过调节副气囊中空气的多少改变气球的净重。如果增加空气,净重增加,气球高度会下降,但高度下降后大气密度会相应增加,气球浮力会略有增加,重新使气球达到浮重平衡;减少副气囊的空气则会使气球高度上升。据谷歌的 Loon 项目团队介绍,通过这种方式可以实现气球 1.7 km 范围的高度调节^[11-12]。

高度控制的原理虽然比较简单,但在工程实现上却有相当大的难度,该技术的关键在于如何快速地向副气囊充入足够的空气。



图12 Loon气球飞行控制原理示意

Fig. 12 Diagram of Loon's flight control principle
(图片来源: <https://plus.google.com/+ProjectLoon>)



图13 地面充气展示的Loon气球可以看到明显的副气囊
Fig. 13 Inflatable Loon with balloonet
(图片来源:https://plus.google.com/+ProjectLoon)

假设初始高度为 H ,该高度大气密度为 ρ_a ,浮升气体氦气密度为 ρ_g ,气球总体积为 V ,系统总质量为 W ,假设一开始副气囊没有空气,则该高度的浮重平衡公式为

$$W = (\rho_a - \rho_g)V \quad (1)$$

向副气囊中充入空气至其体积达到体积 V_b ,则新的浮重平衡关系变为

$$W = \rho'_a V - \left(\rho'_a V + \rho'_g \frac{V}{V - V_b} V_b \right) \quad (2)$$

式中, ρ'_a 为新高度的大气密度, ρ'_g 为新高度的氦气密度(零压差状态)。

超压气球在内外压差变化时,只要保持正压力,则体积基本不变。所以在20 km高度,当使用风机往副气囊充入空气时,随着副气囊空气增多,内外压差增大。风机如果要想继续充入空气,所能够提供的风压必须大于副气囊的内外压差。由于20 km高度空气稀薄,气压不足海平面的6%,根据相似理论,风机的最大压头按大气压等比减小,即

$$\Delta P_{\max} = f(H, \Delta P_{\max 0}) \quad (3)$$

即使风机地面上能够提供较高压力头,到高空后可提供的压力头也成比例降低,因此高空向具有一定内外压差的气球内部充入空气并不容易。即使压力头足够,风量也会受到限制,如果向副气囊充入足够的空气需要的时间过长,高度控制的效果便会严重滞后,达不到预期精度。所以考虑风机风压和风量技术指标约束,目前谷歌的超压气球体积并不大。

据谷歌官方表示,Loon气球的风机(图14)在20 km

高度风压可以达到惊人的800 Pa,足够的超压量可于维持超压气球在夜间飞行高度^[13]。

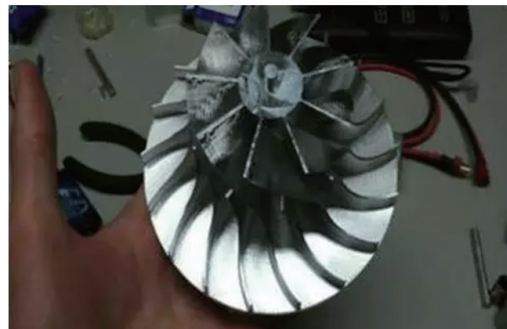


图14 Loon气球设计独特的风机叶片
Fig. 14 Loon's special designed fan blades

4.2 基于机器学习的航迹规划技术

为了维持期望的网络拓扑以满足覆盖特定区域的要求,Loon气球可以调整自身的高度以利用不同高度层的水平气流调整自身的水平位置,例如在城市上空维持数量比较多的Loon气球网络编队以满足人口稠密区通信的要求,而在人口比较少的城市郊区或者偏远地区,则因数据传输需求相应减少Loon气球的数量,将多余的Loon气球网络调往城市地区(图15^[12])。这样不仅满足覆盖特定通信区域的需求,还可以节省发放和维护成本^[12]。

为了实现这一目标,谷歌X实验室将机器学习引入到Loon气球的导航控制系统中。在最初的设计中,Loon气球利用人工计算的势能函数和优化函数来判断

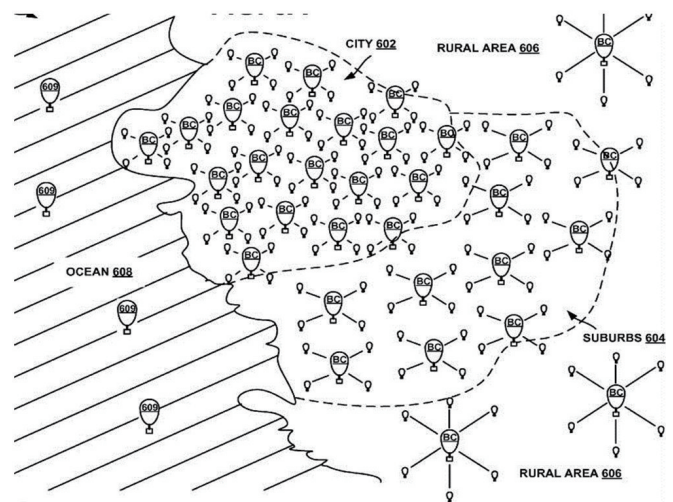


图15 Loon气球在不同地区的网络拓扑设想
Fig. 15 Network topology concept of Loon's working in different areas

高空风对气球的轨迹影响并预测气球飞行的轨迹,随着谷歌在人工智能领域取得巨大进展,例如 AlphaGo 的开发,同时也因为 Loon 气球在实际使用过程中积累了大量的飞行数据,包括经纬度、高度、风速、温度等,使得谷歌可以将人工智能顺利地引入到气球的导航算法中,并取得了成功。谷歌利用机器学习中的高斯过程(Gaussian processes)和马尔可夫过程(Markov processes)来预测和规划气球的飞行轨迹,并控制气球高度,以便利用不同方向的气流达到预定的目标区域。谷歌在 2017 年夏天于波多黎各发放的 Loon 气球就使用了新的机器学习算法,这些气球在新的导航系统的控制下飞行到秘鲁,并在一块狭窄区域上空飞行了 98 天^[14-17]。

5 系留气球应急通信应用的关键技术

根据应急通信的快速响应需求,系留气球无论在锚泊和发放设施的设计,还是球体构型上都要以操作快捷为首要的设计原则;另外为了提高其可用性,在系统设计上还需要尽可能增强其抗风能力。

5.1 系留气球快速锚泊和发放技术

系留气球锚泊和发放设施的设计对整个系统至关重要,它不仅能使整个系统正常运行,还决定着系统的部署速度和机动性。锚泊和发放设施应该具备以下特性:自动充气 and 自动发放能力,这不仅可以简化操作、减少操作人员(1~3 人),还可以减少操作时间(一般要求 20 min 以内);模块化,这一特性可以使整个设施方便安装使用,方便运输,增加其机动性,一般整系统可以用标准卡车运输或拖挂行走。

在球体构型设计上,以国外在应急通信领域应用案例来看,球体构型多是采用扁球型球体构型(尾翼略有区别,为风兜或龙骨结构),除了追求较高的体面比外,扁球型构型操作相对方便快捷也是重要因素之一。

5.2 系留气球抗风性设计

系留气球的抗风性关键技术体现在球体压力保持和降低风阻 2 个方面。

适用于应急通信快速响应的系留气球系统一般球体体积较小,为了在有限的体积下追求尽可能高的有效载荷能力,多采用软式结构,即主气囊无龙骨骨架,为了保障球体本身不在大风状态下塌陷,需要保持一定压力。球体保持压力的方法一般有电控式和机械式,电控式采用风机和排气阀的方式进行压力控制,在浮空器中最常见,机械式采用调节绳的方式拉拽球体,

调节球体的体积,一般用在微小型系留气球上,Helikite 便采用该方式。

在系留气球球体保持了一定压力刚度的前提下,抗风性就主要体现在球体的风阻大小及系缆的拉力大小上。原则上,系统的自由浮力越大,系缆的拉力就越大,当球体被大风吹倾斜的时候,系缆拉力产生的分量越大,理论上的抗风能力就越强。但为了操作方便,在设计球体的时候,遵循满足载荷需求的情况下体积越小越好的原则,所以操作便捷与高抗风能力之间是一对矛盾,在球体体积和载荷能力不变的情况下,为了增加球体抗风性,可考虑优化球体设计,减少风阻系数。例如 Helikite 的球体便采用特殊设计,在大风状态下,球体还能产生一部分气动升力,可抵消一部分风阻的影响,为此类系留气球的设计提供了一个很好的思路(图 16)^[18]。

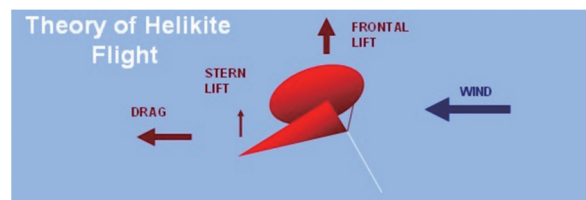


图 16 Helikite 大风状态下的受力分析
Fig. 16 Stress analysis of Helikite in the wind

6 结论

分析了国外几款浮空器在应急通信中应用的典型案例,归纳了浮空器在应急通信中应用需要解决的几个关键技术:对高空超压气球来说,重点是区域飞行控制技术和多浮空器协同工作航迹规划技术;对于低空系留气球平台,则需要重点解决操作的便捷性以及增加系统抗风能力。根据灾害的严重程度不同,高空超压气球和系留气球可分别适用于不同的灾后应急通信场景。高空超压气球可直接飞抵灾区上空提供应急通信服务,具有续航时间长,驻空高度高,覆盖范围广的优势,且不受地面地形约束,可用于解决重大自然灾害(对通信基础设施以及道路都造成严重的破坏)过后灾区应急通信的广域覆盖问题;系留气球具有驻空时间长,驻空能耗低,驻空高度高等特点,适用于中等程度的自然灾害过后,作为地面应急通信车辆的补充或替代,解决灾区群众通信容量受限的问题。随着关键技术的不断突破和进展,浮空器作为一种特殊的升空平

台,可与地面应急车辆、无人机、便携卫星站等应急平台和手段互为补充,必将在应急通信中发挥更加重要的作用。

参考文献(References)

- [1] 赵恒,白仙富,张方浩,等.破坏性地震的应急通信需求与应用初探[J].地震研究,2012,35(1):139-144.
Zhao Heng, Bai Xianfu, Zhang Fanghao, et al. Emergency communication requirements and application of destructive earthquakes [J]. Earthquake Research, 2012, 35(1): 139-144.
- [2] 郝昱文,李晓雪,赵喆,等.突发公共事件天地一体化应急通信技术综述[J].信息技术,2016(4):84-87.
Hao Yuwen, Li Xiaoxue, Zhao Zhe, et al. Summary of emergency communication technology for the integration of emergency public events [J]. Information Technology, 2016(4):84-87.
- [3] 莫思特,李碧雄.从汶川地震通信问题谈平流层应急通信的应用[J].电讯技术,2009,49(5):29-32.
Mo Site, Li Bixiong. Application of communication on stratospheric emergency communication from Wenchuan earthquake communication[J]. Telecommunications Technology, 2009, 49(5): 29-32.
- [4] 系留式无人机高空基站,应急通信抗震救灾应用市场化[EB/OL]. [2017-08-15]. <http://www.c114.com.cn/news/117/a1020597.html>.
Tethered type uav altitude stations, emergency disaster relief applications market[EB/OL]. [2017-08-15]. <http://www.c114.com.cn/news/117/a1020597.html>.
- [5] 王海涛.应急通信的发展现状和技术手段分析[J].中国无线电,2010(11):49-51.
Wang Haitao. Development status and technical means of emergency communication[J]. China Radio, 2010(11): 49-51.
- [6] 李政.我国应急通信技术发展现状与展望[J].现代电信科技,2011(增刊1):44-47.
Li Zheng. Current situation and prospect of emergency communication technology in China[J]. Modern Telecommunication Technology, 2011(Suppl 1): 44-47.
- [7] 张雅丽,喻忠义,刘心,等.重大突发事件处置的应急通信响应机制研究[J].中国人民公安大学学报(自然科学版),2013,19(3):47-51.
Zhang Yali, Yu Zhongyi, Liu Xin, et al. Study on emergency communication response mechanism of major emergency response [J]. Journal of the Chinese People's Public Security University(Natural Science Edition), 2013, 19(3): 47-51.
- [8] 黄宛宁.看谷歌怎样一步步玩票做气球[J].金融博览,2017(15):76-79.
Huang Wanning. See how Google step by step to make balloon [J]. Financial Expo, 2017(15): 76-79.
- [9] Allsopp Helikite Ltd. Products[EB/OL]. [2018-02-28]. <http://www.Helikite.com>.
- [10] 李春霖,罗蓉媛,陈彤曦.平流层通信新思路——谷歌气球计划[J].通信技术,2015,48(2):125-129.
Li Chunlin, Luo Rongyuan, Chen Tongxi. New ideas of stratospheric communication: Google project loon[J]. Communication technology, 2015, 48(2): 125-129.
- [11] 祝榕辰,王生.超压气球研究与发展现状[C]//第二十四届全国空间探测学术交流会议文集.北京:中国空间科学学会,2011:3-4.
Zhu Rongchen, Wang Sheng. Research and development status of overpressure balloon[C]//Proceeding of the 24th National Space Exploration Academic Exchange Conference. Beijing: China Society of Space Science, 2011: 3-4.
- [12] Wikipedia. Project-loon[EB/OL]. [2014-05-14]. http://en.wikipedia.org/wiki/Project_Loon.
- [13] Kim D. A survey of balloon networking applications and technologies[EB/OL]. (2013-12-20)[2014-05-20]. www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-13/ftp/BalloonN/index.html. Princeton University.
- [14] Flying hope: Balloon bring internet to everywhere[EB/OL]. (2013-12-01). <https://pucase.princeton.edu/files/2013/10/Case-Description.pdf>.
- [15] Raven Aerostar. Raven aerostar's high altitude expertise supports Google's Project Loon[EB/OL]. (2014-05-01). <http://ravenaerostar.com/about/project-loon-raven-aerostar-google>.
- [16] Google. Balloon-powered internet for everyone[EB/OL]. (2014-05-01). <http://www.google.com/loon>.
- [17] Google. Keep up-to-date on Project Loon's progress[EB/OL]. (2015-12-20). <https://plus.google.com/+ProjectLoon>.
- [18] Why do helikite fly so well[EB/OL]. (2016-08-20). http://www.allsopp.co.uk/index.php?mod=page&id_pag=37.

Current applications and the prospect of aerostat in emergency communication

HUANG Wanning, ZHANG Xiaojun, ZHU Rongchen, ZHOU Shuyu

Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

Abstract The emergency telecommunications play a critical role in the disaster risk reduction and it is of paramount importance providing communication services during an emergency. In recent years, it becomes a new direction of development applying the aerostat as a new emergency communication platform. In comparison with the conventional manned or unmanned aircraft, the aerostat provides a larger coverage area and a less delay of the transmission time with longer flight duration. At present, some typical types of aerostats, including the high-altitude super pressure balloons and the low-altitude tethered balloons, have reached the principle demonstration or test flight stages. One of the best-known projects is the Google's Project Loon, which has been successfully used to provide emergency telecommunication services in Peruvian floods and Puerto Rico hurricane disaster. In this paper, the super pressure balloon and tethered balloon technologies and the current development status are reviewed, as well as some key issues related to the aerostat as an communication platform.

Keywords emergency communications; natural disasters; aerostats; high-altitude super pressure balloons; tethered balloons ●



(责任编辑 刘志远)