

doi: 10.11720/wtyht.2017.3.23

王金龙, 谢汝宽, 梁韧, 等. 高海拔山区航空地球物理飞机选型与飞行性能分析[J]. 物探与化探, 2017, 41(3): 556-559. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.23>

Wang J L, Xie R K, Liang R, et al. Aircraft type selection for airborne geophysical exploration in super-high plateau and flight performance analysis[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 556-559. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.23>

高海拔山区航空地球物理飞机选型 与飞行性能分析

王金龙, 谢汝宽, 梁韧, 宋燕兵, 刘志强, 李健, 单希鹏

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要: 由于高海拔山区的特殊性, 在高海拔山区开展航空地球物理勘探需要满足飞机的性能要求。通过分析高海拔山区地理环境、气候的特殊性及航空地球物理勘探飞行的特点, 从高海拔机场起降能力、飞机减载后商载能力、爬升率、低空性能及升限等方面, 提出了在高海拔山区开展大范围航空地球物理勘探的飞机选型原则。对比分析了空中国王 350ER、塞斯纳 550 奖状 II 等飞机的主要性能, 特别分析了空中国王 350ER 在西藏东部地区的航磁调查实际飞行性能。分析结果显示, 空中国王 350ER 的实际飞行性能满足高海拔山区航空地球物理勘探的要求。

关键词: 航空地球物理; 高海拔山区; 飞机选型; 空中国王 350ER

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)03-0556-04

0 引言

航空地球物理勘探简称航空物探, 是指将航空飞行器作为载体, 通过装载地球物理探测仪器在空中完成地球物理探测的方法^[1]。航空地球物理勘探具有效率高、探测深度较大、便于大面积工作、适宜海陆联测等优点, 在矿产与油气资源调查、海洋地质调查、土工环、基础地质研究、军事与国防建设等国民经济建设中发挥着重要作用^[1]。我国的山地、丘陵和高原共约占全国陆地面积的 2/3, 其中高原约占全国陆地面积的 26%^[2], 这些地区往往成矿地质条件优越, 矿产资源丰富。高原通常是指海拔高度在 1 km 以上, 面积广大, 比较完整的大面积隆起地区, 它以较大的高度区别于平原, 如青藏高原, 黄土高原等。有的高原宽广平坦, 地势起伏不大; 有的高原则山峦起伏, 相对高差很大。在高原上建造的

机场称为高原机场。中国民航总局将海拔 1.5 (含) ~ 2.56 km 的机场定义为一般高原机场, 将海拔 2.56 km (含) 以上的机场定义为高高原机场^[3]。我国高高原机场主要集中在青藏高原, 包括拉萨贡嘎、林芝米林、昌都邦达、阿里昆莎、康定等机场, 其中拉萨贡嘎机场海拔高度 3.6 km, 阿里昆莎、昌都邦达及康定等机场的海拔高度超过 4 km。

根据作业地区的地理气候环境特点及装载的航空地球物理仪器的类型, 飞机选型是开展航空地球物理勘探准备工作的重要组成部分。合理选择飞机类型, 对航空地球物理勘探的顺利开展并取得良好效果起到至关重要的作用^[4]。航空地球物理勘探通常需要基本沿地形起伏飞行, 要求作业飞机具有较好的爬升率、低空性能及升限等性能。鉴于 3.5 km 海拔高度上航空地球物理勘探飞行的难度, 在本文中, 高海拔山区是指平均海拔高度超过 3.5 km, 且相对高差在 1 km 以上的山区。以青藏高原为例, 平

收稿日期: 2016-11-02; 修回日期: 2016-12-06

基金项目: 中国地质调查局“秦岭及天山等重点成矿区带航空物探调查”项目(121201003000150006、12120120300016006); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目(2013AA063901)

作者简介: 王金龙(1958-), 男, 高级工程师, 主要从事航空地球物理测量系统集成、应用、研究、飞机改装及勘查生产管理工作。Email: kongy-ishi@vip.sina.com

通信作者: 谢汝宽(1974-), 男, 工程师, 主要从事综合航空地球物理勘探工作。Email: xierk@foxmail.com

均海拔在 4 km 以上,是世界上海拔最高、地形最复杂的地区,面积达约 $230\times10^4\text{ km}^2$ 。青藏高原及其周围的山脉很多山峰高度都超过了 6 km,地形切割剧烈,相对高差最大可达 3 km 以上。高海拔山区机场稀少,航路(机场至测区之间的距离)通常大于 500 km 或 1 000 km^[5]。在高海拔山区开展大范围航空地球物理勘探,需要考虑高海拔山区特殊的地理环境、气候特点、机场稀少以及航空地球物理勘探飞行的特点。

1 飞机选型原则

高海拔山区海拔高、空气密度和大气压力小、气候复杂^[6],飞机发动机的推力明显减小,空气动力变差。因此,在高海拔山区作业的飞机首先需要满足在高原机场起飞及降落。此外,由于高海拔山区空气密度小,飞机升力降低,发动机功率降低^[7],与低海拔地区起飞相比,飞机减载问题较突出,且航空地球物理仪器具有一定重量,在减载后需要满足这一需求。当然,可以通过减少加油量避免减载的问题,但会导致飞机航程缩短,从而影响航空地球物理对航程的需求。

航空地球物理勘探通常需要基本沿地形起伏飞行,而在高海拔山区,飞机的机动能力降低,爬升和越障能力变差,因此,要求作业飞机在高海拔山区具有较好的爬升率、低空性能及升限等。

综上所述,高海拔山区航空地球物理飞机选型的最重要的原则包括:

- 1)满足在高原机场起降,这是最基本的条件。
- 2)减载后仍满足航空地球物理长航程的需求,由于高海拔山区机场稀少,飞机的航程应大于 4 000 km 以上,以保证飞机在留有返路途余地和 45 min 备份油情况下,有充分时间(大于 3 h)在测线上实施测量任务^[5],以保证测量飞行的安全性及经济性;此外,飞机的商载能力是最重要的条件之一,飞机减载后,应满足航空地球物理仪器及人员的重量要求。以航空重磁综合勘查系统为例,仪器重量约为 340 kg,因此在减载后,商载能力至少在 340 kg 以上。
- 3)具有足够的爬升率、低空性能及升限,在平均海拔高度 4.5 km 以上的地区,要求实用升限在 10 km 以上,保证在 6 km 高度上爬升率在 5 m/s 以上^[5]。

另外,还需要满足其他一些基本的选型原则:

- 1)密闭舱:由于高海拔山区氧气稀少、大气压力小,氧气少,要求作业飞机具有密封舱。
- 2)巡航速度:保证飞行的安全性及巡航的经济性,作业飞机飞行速度应适中。
- 3)除冰功能:飞机应具备解决飞机积冰的装置,以解决由于云中过冷水滴或降水的过冷雨滴导致的飞机机身表面某些部位聚积冰层的问题。

2 飞机选型

目前,在中低海拔地区,我国航空地球物理勘探使用较多的飞机包括 Y-12、塞斯纳 208B、AS350-B3 直升机、AS350-B2 直升机等^[8-9]。部分型号的直升机满足在高海拔山区作业的要求^[10],但直升机的续航能力有限,适合于小面积的详查,因此在高海拔山区进行大范围航空地球物理勘探的作业飞机应以固定翼飞机为主。Y-12 飞机(Y-12 II、Y-12 IV 及 Y-12 E)升限 7 km,最大航程 1 400 km,不具备密封舱;塞斯纳 208B 飞机升限 7.7 km,最大航程 1 542 km,具备密封舱,为单发飞机^[11]。根据上述飞机选型原则,两者均不适合在高海拔山区进行航空地球物理飞行作业。

我国在高海拔山区航空地球物理勘探使用过的固定翼飞机包括 Y-8 及塞斯纳 550 奖状 II^[12-14],其中 Y-8 属于中型运输机,低空性能略差,通常只能在离地 1 km 以上的高度进行航空地球物理勘探飞行;塞斯纳 550 奖状 II 为双发喷气式飞机,最大航程为 3 167 km,最大燃油重量下商载 370 kg。1998 年 9 月至 1999 年 4 月,中国国土资源航空物探遥感中心(以下简称:航遥中心)使用塞斯纳 550 奖状 II 飞机,在青藏高原中西部地区完成了 1:100 万航磁调查,填补了我国航磁工作存在的最大空白区^[15-16]。利尔喷气 45 型飞机与塞斯纳 550 奖状 II 类似,也为双发喷气式飞机,最大航程达到 4 074 km,最大燃油重量下商载 435 kg(A 型)及 889 kg(B 型)。两者满足在高原机场起飞的要求,但利尔喷气 45 具有更大的航程及商载能力。

另一种适合在高原机场起降,且航程及商载能力满足高海拔山区作业的飞机为空中国王 350ER。空中国王 350ER 是一款由美国豪客比奇公司研制的轻型飞机(图 1),是空中国王 350 飞机的延程型,它配备两台涡轮螺旋桨发动机,具有密封增压机舱,最大续航时间 9 h,空机重量 4 484 kg,最大载油量 1 638 kg,最大商载 1 218 kg(包括飞行员、设备和油),巡航速度 441 km/h,最大爬升率可达 12

m/s, 升限 10668 m, 最大航程 4 343 km。

对比 Y-8、塞斯纳 550 奖状Ⅱ、利尔喷气 45 及空中国王 350ER 主要性能参数(表 1)显示,空中国王 350ER 满足升限在 10 000 m 以上的要求;航程超过 4 000 km,可实现在高海拔山区机场稀少、航路较长的情况下开展作业;最大爬升率为 12 m/s,满足高海拔山区爬升率的要求;巡航速度为 441 km/h,速度适中,是对比机型中巡航速度最小的机型,在降低飞行高度、提高低空性能方面占有优势。空中国王 350ER 最大的优势是其最大燃油重量下商载达到 766 kg,在高海拔山区起降减载且在不需减少油量的情况下,仍有足够的商载能力,满足航空地球物理仪器对飞机载重的要求,且保证了测量飞行的航

程。

综合各种因素,特别是在高高原机场起降,减载后的商载能力、航程,爬升率等方面的要求,航遥中心最终选定空中国王 350ER 作为高海拔山区航空地球物理勘探作业飞机。



图 1 空中国王 350ER

表 1 部分适用于高海拔山区飞行的飞机主要性能参数对比

性能指标	飞机型号			
	Y-8 ^{※[17]}	塞斯纳 550 奖状Ⅱ ^[5]	利尔喷气 45 ^[5]	空中国王 350ER [#]
升限/m	10400	13106	13715	10668
最大航程/km	5620	3167	4074	4343
最大爬升率/(m/s)	10	15.4	16.25	12
最大燃油重量下商载/kg	15000	370	A:435,B:889	766
巡航速度/(km/h)	550	746	753	441
密闭舱	是	是	是	是
发动机类别/个数	涡轮螺旋桨/4	喷气式/2	喷气式/2	涡轮螺旋桨/2

注:※参考 <http://www.shanfei.com/>; #参考 <http://www.flhk.com.cn/>, <http://beechcraft.txtav.com/>

3 实际飞行性能分析

2014~2015 年,航遥中心使用空中国王 350ER 在藏东地区执行航空磁测测量任务,在拉萨贡嘎机场共完成 59 个架次的测量飞行。调查区包括西藏昌都、林芝和那曲地区,地形切割剧烈,相对高差较大,测区平均海拔高度在 4 km 以上,相对高差最大可达 3 km 以上。

选取藏东地区 2680 线为例进行分析(图 2,表 2)。测线自南向北飞行,从 A 点进入,飞行高度为 5 304 m,爬升至 B 点(5 833 m),接着平飞一段距离至 C 点(5 777 m),随后下降至 D 点(4 465 m),C 与 D 之间的高差为 1 306 m,随后越过一座山峰后下降至飞行的最低点(E 点,4 166 m),紧接着爬升到 F 点(5 781 m),E 与 F 之间的地形高差最大达到 2 853 m(最高 5 299 m,最低 2 646 m),为本条测线的最大高差。最后途径 G、H 点,直至飞出测线。

空中国王 350ER 在飞行中实际的爬升率达到 11.3 m/s(E 与 F 点之间),实际飞行的下降率也达到了 12.1 m/s(与 D 点之间)。上述分析表明,空

中国王 350ER 具有优秀的高海拔山区作业能力,实际飞行性能可满足高海拔山区航空地球物理

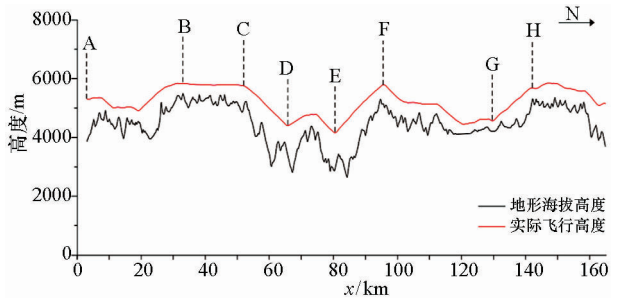


图 2 藏东地区 2680 线实际飞行高度曲线与地形剖面

表 2 藏东地区 2680 线部分基准点上的高度、爬升率统计

编号	基准号	地形高度	实际飞行高度	实际爬升率/下降率 (m/s)
		m	m	
A	1	3867	5304	
B	524	5490	5833	
C	853	5111	5777	
D	1069	3805	4465	-12.1
E	1326	3118	4166	
F	1612	5231	5781	11.3
G	2222	4332	4579	
H	2451	4697	5661	9.4

勘探作业的要求。

4 结论

在高海拔山区进行航空地球物理作业具有其特殊性,最主要的选型原则包括:满足在高原机场起降;飞机减载后仍满足航空地球物理勘探的需求;具有足够的爬升率、低空性能及升限。经实际飞行及统计分析证明,空中国王 350ER 符合高海拔山区飞机选型的原则,具有优秀的高海拔山区作业能力,实际飞行测量效果显著。空中国王 350ER 已于 2013 年正式投入到航空地球物理勘探中,使我国成为世界上首次将空中国王 350ER 应用于航空地球物理勘探的国家,尤其是第一次应用于高海拔山区航空地球物理勘探的国家。

参考文献:

[1] 熊盛青.发展中国航空物探技术有关问题的思考[J].中国地质,2009,36(6):1366-1374.
[2] 赵济,陈传庚.中国地理[M].北京:高等教育出版社,1997.
[3] 中国民航总局适航司.AR93001R2 民用飞机运行的仪表和设备要求[S].2001.
[4] 崔志强,胥值礼,孟庆敏.国内主要航空物探飞行平台特点及发展[J].物探与化探,2014,38(6):1107-1113.

[5] 熊盛青,于长春,眭素文,等.中高山地区高精度航磁方法技术[M].北京:地质出版社,2009.
[6] 牟艳彬.高原航空天气特征和航空气象服务保障[J].四川气象,2007,27(2):26-31.
[7] Illman P E.飞行员航空知识手册[M].王同乐,杨新涅,译.北京:航空工业出版社,2006.
[8] 熊盛青,于长春,王卫平,等.直升机大比例尺航空物探在深部找矿中的应用前景[J].地球科学进展,2008,23(3):270-275.
[9] 于长春,熊盛青,刘士毅,等.直升机航磁方法在大冶铁矿区深部找矿中的见矿实例[J].物探与化探,2013,34(4):435-439.
[10] 许苏鹏,姬泰脉,纪福山,等.AS350-B3 型直升机硬架航空磁测系统在青藏高原上的应用[J].物探与化探,2013,37(4):640-644.
[11] 《世界飞机手册》编写组.世界飞机手册(2011)[M].北京:航空工业出版社,2011.
[12] 周道卿,周坚鑫,范正国,等.航磁调查在中高山地区找矿快速突破中的应用[J].物探与化探,2013,37(3):443-448.
[13] 张洪瑞,熊盛青,范正国,等.中高山地区高精度航磁调查找矿效果研究[J].地球物理学进展,2013,28(4):2051-2059.
[14] 袁桂琴,熊盛青,孟庆敏,等.地球物理勘查技术与应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1744-1805.
[15] 熊盛青,周伏洪,姚正煦,等.青藏高原中西部航磁概查[J].物探与化探,2007,31(5):404-407.
[16] 熊盛青,周伏洪,姚正煦,等.青藏高原中西部航磁调查[M].北京:地质出版社,2001.
[17] 鄂国庆,徐英哲,李文杰.固定翼时间域航空电磁系统的飞机选型问题[J].物探与化探,2012,36(4):595-597.

Aircraft type selection for airborne geophysical exploration in super-high plateau and flight performance analysis

WANG Jin-Long, XIE Ru-Kuan, LIANG Ren, SONG Yan-Bing, LIU Zhi-Qiang, LI Jian, SHAN Xi-Peng
(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Aircraft landing and flying in super-high plateau area has its special characteristics. Based on the analysis of the characteristics of the geographical environment, climate and the airborne geophysical exploration in the super-high plateau area, the authors put forward the principle of aircraft type selection. The main performance of King Air 350ER aircraft and that of other aircrafts were comparatively studied. The flight performance of King Air 350ER in the eastern region of Tibet was analyzed. The results show that the King Air 350ER meets the requirements of airborne geophysical exploration in super-high plateau area.
Key words: airborne geophysics; super-high plateau; aircraft type selection; King Air 350ER

(本文编辑:王萌)