

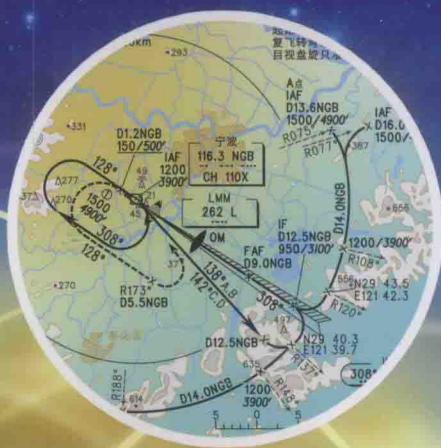


民航空中交通管理系列丛书

航图

Aeronautical Chart

◎ 陶 媚 编著



清华大学出版社
http://www.tup.com.cn



北京交通大学出版社
http://www.bjtu.cn



民航空中交通管理系列丛书

航 图

陶 媚 编著

清华大学出版社

北京交通大学出版社

• 北京 •

||
:

内 容 简 介

本书主要以中国民用航空局发布的《中国民航国内航空资料汇编》(NAIP)以及《中华人民共和国航空资料汇编》(AIP)中的航图为实例,按飞行的实施过程分章节对《国际民用航空公约》附件4中规定的各种航图的航图要素和识图方法进行了详细介绍,包括机场图、离场图、航路图及区域图、进场图、进近图、机场障碍物图、精密进近地形图、ATC 监视最低高度图等。

本书内容详尽,循序渐进,在详细解释各种航图识图方法的同时,也介绍了民航局对每种航图的编绘规范,并以航线制作案例详细阐述了航图的应用。本书中提供了丰富的实图讲解,便于读者深度理解航图在飞行组织与实施过程中的作用。各章附有习题,便于思考和复习。

本书可作为民航高等院校交通运输专业管制、签派、现场指挥等方向学生的航图课程教材,也可以作为一线相关运行人员的参考书籍。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

航图 / 陶媚编著. —北京:北京交通大学出版社;清华大学出版社, 2015.8

ISBN 978-7-5121-2344-1

I. ①航… II. ①陶… III. ①航空导航-导航图 IV. ①V249.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 181030 号

责任编辑:谭文芳 特邀编辑:李晓敏

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

印刷者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:14.25 字数:362 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷 彩插:5

书 号:ISBN 978-7-5121-2344-1/V·2

印 数:1~2 000 册 定价:58.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

任何一个航班的正常运行都离不开及时准确的航空情报资料，因此正确解读和使用情报资料对航空领域工作的飞行员、签派员、管制员、情报员是非常重要的。其中航图手册是资料中非常重要的一部分，航图中承载了大量多样化的专业服务信息，且拥有特有的格式和符号，因此需要一本与实际密切联系、紧跟情报业务发展，具有大量实图讲解的航图教程。

本书围绕航图的应用和发布两条主线进行编写，其中以航图的应用作为重点主线，围绕航空运行中的各种实际案例，详细解释各种航图在飞行组织与实施过程中的作用，并给出了民航局对每种航图的编绘规范。本书对引自《中国民航国内航空资料汇编》(NAIP)航图中的坐标数据进行了处理，本书中的航图仅适用于教学。本书可作为民航高等院校交通运输专业管制、签派、现场指挥等方向学生的航图课程教材。由于本书编入了大量的实图讲解，因此也可以作为一线相关运行人员的参考书籍。

本书由中国民航大学空中交通管理学院陶媚主编。其中第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10章由陶媚编写，第11章由卢婷婷、陶媚和王金龙共同编写，编写过程中得到了民航局空管局情报中心、东方航空公司飞行情报部、厦门航空公司情报室的大力支持。戴福青、吴维、宋晔、卢婷婷、王金龙对书稿进行了认真的审阅，并提出了许多修改意见和建议，对提高本书质量起了重要作用。编写中作者还参考了国际民航组织和中国民航最新颁布的有关管理规章、标准和规范，同时还参阅了大量公开出版的有关书籍，在此，编者一并向上述专家和文献作者致以诚挚谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在不妥之处，恳请有关专家和读者指正，以便再版时修改补充。

编者

2015年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 航图定义及特征	1
1.2 航图的一般制图规范	1
1.3 航图分类	4
1.4 航图修订	6
思考题	6
第 2 章 航图编绘	7
2.1 航图编绘数学基础	7
2.1.1 地球的定位系统	7
2.1.2 投影系统	10
2.1.3 比例尺	12
2.2 航图编绘基本要求	12
2.2.1 基准面、比例尺和计量单位	12
2.2.2 航图编绘精度要求	12
2.2.3 地貌、地物和障碍物的描绘	13
2.2.4 国境线	14
2.3 航图编绘流程	14
思考题	14
第 3 章 机场图及停机位置图	15
3.1 图幅布局及航图要素	15
3.1.1 图幅布局	15
3.1.2 平面图	19
3.1.3 灯光系统	31
3.1.4 起飞最低标准	37
3.1.5 图边信息	40
3.2 制图标准	40
3.2.1 图幅规格与编号	40
3.2.2 制图比例尺	40
3.2.3 编绘准备工作	40
3.2.4 平面图的编绘	40

3.2.5 其他	41
3.3 停机位置图	41
3.3.1 航图要素	42
3.3.2 制图标准	43
思考题	43
第4章 标准仪表离场图	44
4.1 图幅布局及航图要素	44
4.1.1 图幅布局	44
4.1.2 标题、备注和图边注记	45
4.1.3 平面图	46
4.2 离场图图例	58
4.2.1 采用传统导航方式	58
4.2.2 基于导航性能的导航方式	59
4.3 制图标准	64
4.3.1 编绘准备工作	64
4.3.2 制图比例尺及底图编绘	65
4.3.3 航空要素	65
4.3.4 其他	66
思考题	67
第5章 航路图及区域图	68
5.1 航路图图幅布局及航图要素	68
5.1.1 封面和封底信息	68
5.1.2 底图信息	72
5.1.3 导航设施、航路点和机场	73
5.1.4 航路	76
5.1.5 等待程序	79
5.1.6 空域	81
5.2 航路图制图标准	83
5.2.1 分幅原则和图幅编号	83
5.2.2 编绘准备工作	84
5.2.3 底图编绘	84
5.2.4 航空要素	84
5.2.5 封面封底	85
5.3 区域图	85
5.3.1 区域图应用	85
5.3.2 制图标准	87
思考题	87

第6章 标准仪表进场图..... 88

6.1 图幅布局及航图要素.....	88
6.1.1 图幅布局.....	88
6.1.2 标题、备注和图边注记.....	89
6.1.3 平面图.....	89
6.2 进场图图例.....	90
6.2.1 采用传统导航方式.....	90
6.2.2 采用 PBN 导航方式.....	92
6.3 制图标准.....	94
6.3.1 编绘准备工作.....	94
6.3.2 制图比例尺及底图编绘.....	95
6.3.3 航空要素.....	95
6.3.4 其他.....	96
思考题.....	96

第7章 仪表进近图..... 97

7.1 图幅布局及航图要素.....	97
7.1.1 图幅布局.....	97
7.1.2 标题栏、备注和图边注记.....	99
7.1.3 平面图.....	102
7.1.4 剖面图.....	113
7.1.5 进近过程描述.....	116
7.1.6 机场着陆最低标准.....	116
7.1.7 附加资料.....	127
7.2 进近图图例.....	129
7.2.1 采用传统导航方式.....	129
7.2.2 采用 PBN 导航方式.....	132
7.3 制图标准.....	135
7.3.1 图幅结构及制图比例尺.....	135
7.3.2 编绘准备工作.....	135
7.3.3 平面图的编绘.....	135
7.3.4 剖面图的编绘.....	136
7.3.5 机场着陆最低标准及附加资料.....	137
7.3.6 其他.....	137
思考题.....	137

第8章 机场障碍物图..... 138

8.1 机场障碍物图-A 型.....	138
8.1.1 图幅布局及航图要素.....	138

8.1.2 制图标准	143
8.2 机场障碍物图-B 型	145
8.2.1 图幅布局及航图要素	146
8.2.2 制图标准	154
思考题	158
第 9 章 精密进近地形图	159
9.1 图幅布局及航图要素	159
9.1.1 图幅布局	159
9.1.2 航图要素	159
9.2 制图标准	161
9.2.1 图幅结构及制图范围	161
9.2.2 编绘准备工作	162
9.2.3 平面图的编绘	162
9.2.4 剖面图的编绘	162
9.2.5 其他	163
思考题	163
第 10 章 ATC 监视最低高度图	164
10.1 图幅布局	164
10.2 航图要素	165
思考题	167
第 11 章 航图应用	168
11.1 航线制作的原则	168
11.2 航线制作流程	168
11.2.1 准备阶段	168
11.2.2 实施阶段	168
11.3 航线制作案例	175
11.3.1 已公布走向的国内航线制作	175
11.3.2 未公布走向的国内航线制作	180
思考题	186
附录 A 缩略语	187
附录 B 宁波/栎社机场的终端区图	190
参考文献	217

第1章 绪 论

现代航空运输以其高速、舒适、安全的特点，在当今追求速度和效益的世界已占据了重要地位，随着社会的发展，其作用还将越来越重要。在航空领域工作的飞行员、签派员、管制员、情报员等专业人士需要大量多样化的专业服务信息，航图是获得这些信息最有效的资源之一。通过航图可以快速地查阅通信、导航设施、仪表飞行程序、机场等相关信息，航图为航行中得到现行、全面和权威性的航行数据提供了保障。在航空事业高度发达的今天，航图以其使用方便、资料信息集中等特点，成为保证飞行安全的重要工具。

1.1 航图定义及特征

航图是指以满足民用航空运行及其他航空活动的需要为目的，表示各种航空要素及必要的自然地理和人文要素的专用地图。航图是以表现机场、导航台、航线及各种助航设施等一些航行要素的空间分布为主要内容的图，全称为航空地图（Aeronautical Chart）。

航图属于地图的范畴，它是建立在地图学基本理论之上的一个特殊地图系列，其制图理论、制图方法和制图技术都以地图学为基础，因此航图既具备一般地图的特性，也因其表述内容的特殊性而具备专有特性，其具备的一般地图的特性包括：① 由特殊的数学法则产生的可测量性，地图是按严格的数学法则编制的，它具有地图投影、比例尺和定向等数学基础，从而可以在地图上量测位置、长度、面积等数据，使地图具有可测量性，同样，按照一定比例尺绘制的航图也具有可测量性；② 由使用地图符号表达事物产生的直观性，地图符号系统称为地图的语言，它们是按照世界通用的法则设计的、同地面物体对应的经过抽象的符号和文字标记，用地图语言再现的客观实体，具有很强的直观易读性；③ 由制图综合产生的一览性，制图综合是地图作者在缩小比例尺制图时的第二次抽象，用概括和选取的手段突出地理事物的规律性和重要目标。随着地图比例尺的缩小，就产生了地面上繁多的事物与图面有限容量之间的矛盾。制图者必须根据地图的用途，舍去与地图用途关系较小的事物，而将关系较大的事物表示出来。制图综合的实质是有目的地力求表达地面上与制图目的最相关、最重要的事物和它们的特征，舍去或简化次要的、相关性较小的内容。而因其用途的特殊性，具备了独有的航空特性，航图除描述自然地理和人文要素外，重点描述和航空运行直接相关的航空要素，包括通信频率、导航设施及飞行程序等内容。

1.2 航图的一般制图规范

航空运输以其高速的优势成为跨国、跨洲、跨洋旅行的首要交通工具，它给长途旅行带来了便利条件，然而跨国飞行却给航图的制作带来了问题，由于各国的科学技术发展水平不同，制图技术也有差异，因此可能造成航图的制作方法、表示方式及内容的详尽程度千差万

别,为了避免这一情况的出现,国际民航组织从1944年开始制定航图的国际标准和建议措施,1948年正式通过了航图标准与建议措施,并把这些标准和建议措施指定为《国际民用航空公约》附件4——《航图》。附件4中主要规定了航图制作的一般规范、航图的种类及每种航图应描述的航图要素,为了保证各个国家能够更好地执行附件4的要求,国际民航组织出版了8697文件《航图手册》。

航图因其仅为航行提供资料,用户单一,且主要使用者是飞行员,飞行员使用航图多是在飞行中、驾驶舱里,并且在人工光源下阅读,因而考虑到航图的这些使用特点,在制作航图时规定了以下几点要求。

1. 图幅尺寸

航图主要是为飞行员在飞行中或滑行时在驾驶舱中使用而制作的。由于驾驶舱很窄小,为了方便,航图的图幅不宜太大,特别是在起飞和着陆之间空中飞行时使用的航图,如:标准仪表进场图、标准仪表进近图等。制图时应选择适当的比例尺,使其图幅适中。国际民航组织将其缔约国多年制图和用图者的经验加以总结,得出在驾驶舱中使用的航图最佳尺寸为210 mm×148 mm,即国际标准组织规定的A5尺寸。有的航图实在无法将图幅缩小到这个尺寸,应折叠成相当的大小,且折叠方法应保证在驾驶舱中使用方便,如航路图。

2. 负载量

负载量是指图面上各种线划、符号和注记所占面积的比例。一幅图上的负载量是有一定限制的,负载量太大会造成图幅紊乱,影响图的可读性。彩色图的负载量比单色图的要大,因此制图界通常对一般的图都采用彩色,同时注意色彩的搭配来尽可能增大图的负载量。然而,航图却恰恰相反,在满足所需资料的前提下,应尽可能降低负载量。这是因为航空器在空中飞行时,虽然很平稳,但由于气流的扰动、发动机的震动等,使得读图比在地面上困难。飞行员在读图时,不可能将全部注意力集中在图上,他必须随时注意航空器的姿态等情况,并且在空中飞行时,由于氧气的含量要比地面低,人的大脑反应速度明显减慢,据估计,在空中人大脑的反应能力最多只能达到地面的80%,因此,航图在制作过程中,将所有与飞行无直接关系的要素统统略去,以减少负载量,突出航行有关要素。

3. 颜色

用彩色制作和印刷航图,可以增加图的负载量和可读性。但由于航图中的航行要素变化较快,有时一些环境要素发生变化也要求航图更新,这样就要求航图的更新速度加快,并且航图的用户少,因此为了降低航图的成本,要求航图尽量减少所用色彩的数量或直接用单色制作和印刷。

当某些航图必须制作成彩色图时,应考虑到飞行员在驾驶舱里,利用人工光源读图这一情况。选择色彩时,必须保证图上所有的颜色在人工和天然光线下容易分辨、阅读和判断航图中的各要素。目前的航图多数用单色印刷,若用彩色制作,一般也只采用黑、灰和蓝色这三色印刷。但是随着航图上信息量的不断增大,为了使信息的表达更加清晰,也出现了黄色、粉色等更多的颜色,如图1-1所示(见彩插)。

4. 资料的现势性

资料的现势性是指图上内容与实际事物相一致的程度。当今航空运输如此繁忙,世界上每时每刻都有航空器在空中运行。航图是飞行时领航资料的一个重要来源,如果有一点差错,都可能造成不可想象的后果,因此航图所提供资料的现势性显得非常重要。为了便于航图用

户在使用航图过程中,发现图上有可疑之处或者矛盾的地方时,知道向何处咨询,同时也为了咨询的方便,在每张航图上都必须注明航图出版机构的名称和地址,同时注明航图系列的编号及航行资料的公布日期和生效日期。

5. 航图的定位方法

一般的地图,在制图时只需将正上方指向真北、标出经纬网格,注明经纬度及磁差即可,而在航图中却还不够,这与飞行时航空器的定位方法有关。现代航空器使用无线电罗盘、惯导系统及机载卫星定位设备进行定向和定位。为了防止由于这些设备故障而导致飞行事故,任何先进航空器,都必须装有原始磁罗盘。原始磁罗盘利用地磁来定向,只有很简单的机械设备,除激烈的碰撞外,永远不出故障,而其他先进设备都可采用真北定位。为了避免矛盾,航图采用一种综合的定位方法,即航图中的所有地物和符号都采用真北定位的方法进行绘制,而所有需要注明方向的数据,都以磁北为基准进行标注。

6. 地形标绘的要求

地形是指地表高低起伏的形态,是航行中的重要要素,直接影响航行的安全。地形的标绘可以满足使用者定向、定位及安全超障的需要,因此相关航图上会标绘地形。地形标绘一般综合使用等高线、分层设色、标高点 and 地貌晕渲法。但选择上述方法时要考虑航图性质、比例尺及用途等因素。如果使用标高点表示地形特点,则必须标出选定的突出标高点。如果对标高点数值的准确性有怀疑时,那么在数值后用“±”符号注明。

7. 航图的衔接关系

航空器的飞行过程如图 1-2 所示。航空器从起飞机场的停机位开始,到目的地机场的停机位置止,整个飞行过程分为以下几个阶段:从航空器停机位置开始滑行至起飞位置;起飞并爬升至航路的巡航高度;航路飞行;下降至进近开始点;进近着陆至复飞;着陆后滑行至停机位置。不同的阶段需使用不同的航图,当航空器从一个阶段到另一个阶段时,通常需要更换航图,因此,各种类型的航图必须提供与其飞行阶段相关的资料,并且制图过程中应特别注意航图之间的衔接关系,以保证所提供资料的连续性。各类航图上标绘的资料,必须便于按相应的飞行阶段,从一幅图平稳地过渡到另一幅图。

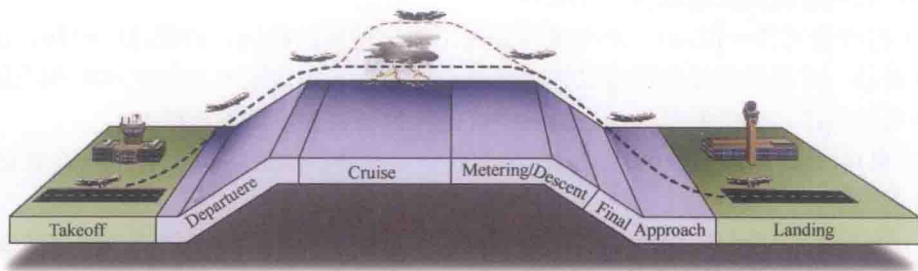


图 1-2 航空器的飞行过程

除了上述几点外,附件 4 规定了资料的标绘必须准确、清晰、不变形、不杂乱,在所有正常使用条件下均易于判读;所用的颜色或色调和字体大小,必须使飞行员能在不同的自然或人工光线的条件下看懂;资料的编排形式必须使飞行员能在一个与其工作量和条件相适应的合理时间内获取有关资料。另外,对航图中诸如符号、计量单位、比例尺、投影、简缩字的使用、空中交通服务空域的标注、禁区、限制区、危险区的表示、其他资料等规范,

将在以后具体航图的介绍中说明。

1.3 航图分类

国际民用航空组织 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 在附件 4《航图》部分规定了 18 种航图的制图规范和要求。这些规范和要求对于更好地识图、用图, 具有十分重要的作用。现就 18 种航图及其适用范围分别介绍如下。

(1) 机场障碍物图—ICAO A 型 (运行限制), 供国际民用航空定期使用的所有机场必须提供机场障碍物图—ICAO A 型 (运行限制)。但是起飞航径区内无障碍物或者提供机场地形和障碍物图—ICAO (电子) 的机场可以例外。

(2) 机场障碍物图—ICAO B 型, 供国际民用航空定期使用的所有机场, 建议提供机场障碍物图—ICAO B 型。

(3) 机场地形和障碍物图—ICAO (电子版), 自 2015 年 11 月 12 日起, 为国际民用航空定期使用的机场必须提供机场地形和障碍物图—ICAO (电子版)。

(4) 精密进近地形图—ICAO, 国际民用航空使用的所有 II、III 类精密进近跑道的机场, 必须绘制精密进近地形图—ICAO, 但在机场地形和障碍物图—ICAO (电子版) 提供了所需资料的机场可以例外。

(5) 航路图—ICAO, 所有建立飞行情报区的地区, 都必须提供航路图—ICAO。

(6) 区域图—ICAO, 当 ATS 航路或位置报告要求复杂而不能在一张航路图—ICAO 上标绘清楚时, 必须提供区域图—ICAO。

(7) 标准仪表离场图—ICAO, 凡已建立标准仪表离场航线但又不能在区域图—ICAO 上标绘清楚时, 必须绘制标准仪表离场图 (Standard Instrument Departure, SID)—ICAO。

(8) 标准仪表进场图—ICAO, 凡已划设标准仪表进场航线但又不能在区域图上标绘清楚时, 必须绘制标准仪表进场图 (Standard Instrument Arrival, STAR)—ICAO。

(9) 仪表进近图—ICAO, 供国际民用航空使用, 并已由有关国家制定了仪表进近程序的全部机场, 必须绘制仪表进近图—ICAO。

(10) 目视进近图—ICAO, 所有供国际民用航空使用的机场, 如果这些机场: 仅具备有限的导航设施; 或没有无线电通信设施; 或没有机场及其周边地区 1:500 000 的合适航图或更大比例尺的航图; 或已制定目视进近程序, 必须提供目视进近图—ICAO。

(11) 机场/直升机场图, 所有供国际民用航空定期使用的机场/直升机场, 必须提供机场/直升机场图—ICAO。

(12) 机场地面活动图—ICAO, 由于资料繁杂而不能在机场/直升机场图—ICAO 上清楚地表示航空器沿滑行道进、出航空器停机位的地面活动所必要的详细资料时, 建议提供机场地面活动图—ICAO。

(13) 航空器停放/停靠图—ICAO, 由于航站设施复杂而不能在机场/直升机场图—ICAO, 或机场地面活动图—ICAO 上清楚地注明资料时, 建议提供航空器停放/停靠图—ICAO。

(14) 世界航图—ICAO 1:1 000 000, 必须提供划定区域的世界航图—ICAO 1:1 000 000。如果基于航行或制图方面的考虑表明航空地图—ICAO 1:500 000 或航空领航图—ICAO 小比例尺即能有效地满足航行的要求时, 可印制上述任何一种图, 以代替 1:1 000 000 的基本航图。

(15) 航空地图—ICAO 1:500 000, 建议提供《国际民用航空公约》附件4附录5划定的全部区域的航空地图—ICAO 1:500 000。

(16) 航空领航图—ICAO 小比例尺, 建议提供《国际民用航空公约》附件4附录5划定的全部区域的航空领航图—ICAO 小比例尺。

(17) 作业图—ICAO, 建议提供作业图以覆盖国际民用航空使用的飞越洋区和居民稀少地区的主要航线。

(18) ATC 监视最低高度图, 凡已建立引导程序但又不能在区域图—ICAO、标准仪表离场图—ICAO 或标准仪表进场图—ICAO 清楚标绘最低引导高度时, 建议提供 ATC 监视最低高度图—ICAO, 以便于飞行机组能够监控和交叉检查管制员使用 ATS 监视系统指定的高度。

但这18种航图在航行中的用途是不一样的, 因此将这18种航图按用途分为4类。

① 仅用于做计划的航图:

机场障碍物图—ICAO A 型;

机场障碍物图—ICAO B 型;

机场地形和障碍物图—ICAO (电子版);

精密进近地形图—ICAO。

② 起飞至着陆之间飞行使用的航图:

航路图—ICAO;

区域图—ICAO;

标准仪表离场图—ICAO;

标准仪表进场图—ICAO;

仪表进近图—ICAO;

目视进近图—ICAO;

ATC 监视最低高度图。

③ 航空器在机场道面上运行时使用的航图:

机场图—ICAO;

机场地面运行图—ICAO;

航空器停放/停靠图—ICAO。

④ 目视领航、作业和计划时使用的航图:

世界航图—ICAO, 1:1 000 000;

航空地图—ICAO, 1:500 000;

作业图—ICAO;

航空领航图—ICAO, 小比例尺。

只有符合《国际民用航空公约》附件4第2章和为特定航图规定的所有标准时, 航图和航图系列的名称才可以包括简缩字“ICAO”。本书中讲述的航图大部分以中国民用航空局发布的《中国民航国内航空资料汇编》(National Aeronautical Information Publication, NAIP) 中的航图为例, 部分以《中华人民共和国航空资料汇编》(Aeronautical Information Publication, AIP) 中的航图为例, NAIP 和 AIP 中的航图均以《民用航空图编绘规范》作为制图依据, 而《民用航空图编绘规范》是根据《国际民用航空公约》附件4《航图》和 ICAO 8697 文件《航图手册》及我国的具体国情制定的。

1.4 航图修订

航图中的要素分为航空要素和地理要素,其中航空要素对航行的影响较大且它随时都有改变的可能、因此航图保持现行有效对安全至关重要。然而,目前尚无切实有效的方法,使航图完全处于现势的状态,但可以采取修订的方法来控制航图的现势性。

1. 修订方法

航图制作单位可采用以下三种方法来保持航图的现势性。

1) 手改

手改是简单而有效的解决方法。但由于下列原因,航图用户通常不愿意进行手改。

- ① 现代航图的复杂性,使手改工作难以较好地完成。
- ② 大量修改,损害了航图的图面设计,进而影响到航图的易读性。
- ③ 无法确定是否收到所有的修订资料。
- ④ 给航图用户增加了额外的负担。

此外,对航图制作单位和分发单位来说,由于必须对库存的资料进行修改,使手改更难以接受,而且手改还可能出现差错。

2) 利用修订版

这种修订方法是在原已印好的航图上,再套印修订版,即把库存的航图都取出来套印修订版。它对那些尚未分发的库存航图适用。由于某些航图资料数据复杂,在原来版面上套印后出版的航图,其可读性无疑要受到损坏。

3) 出版新版航图

这种修订方法是解决问题的最完美方法,但它也有困难。

- ① 需要有大规模的制作设施。
- ② 制作成本高。
- ③ 现有库存航图因过时而经常作废,造成经济上的损失。

以上三种方法各有利弊,要根据不同情况,决定具体采用哪种方法,才最简便、经济、实用。

2. 减少修订的措施

减少修订的最好方法是将影响航图更改的要素减少至最低程度。具体方法如下:

- ① 在保证航图用途不受影响的前提下,将可变数据的使用保持在最低限度;
- ② 航图规范应从简,以便在需要进行修订时,尽量减少制图工艺,缩短时间;
- ③ 相关的系列航图应同时制作。

思考题

1. 航图的定义及特征是什么?
2. 简述航图的分类。
3. 航图的制作依据是什么?
4. 航图的修订方法有哪些?

第2章 航图编绘

2.1 航图编绘数学基础

航图编绘的数学基础主要包括地球的定位系统、地图投影、比例尺等。

2.1.1 地球的定位系统

众所周知,地球表面是一个凸凹不平的曲面,而对于地球测量而言,地表是一个无法用数学公式表达的曲面,这样的曲面不能作为测量和制图的基准面。因此以绕大地球体短轴旋转所形成的规则椭球体来代替地球,称之为地球椭球体,地球椭球体表面是一个规则的数学曲面,可以用数学公式表达,它的5个基本几何参数分别是:

长半轴 a

短半轴 b

$$\text{扁率 } f = \frac{a-b}{a}$$

$$\text{第一偏心率 } e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$\text{第二偏心率 } e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$$

地面点或空间目标位置由三维数据来决定,即由确定平面位置的坐标系和确定空间高度的高程系来定位。

1. 地理坐标系

1) 地理坐标

地面点的地理坐标由经度和纬度构成,图 2-1 中的 NS 为地球自转轴即地轴, O 为地球中心即地心,地轴与地表的交点 N 和 S 为极点,过旋转轴的平面与椭球面的截线叫经线或子午线。国际上公认通过英国格林尼治天文台的经线为起始子午线,因此某点的经度即为过该点的子午圈截面与起始子午面的交角,并规定由起始子午线起,向东为正,称为东经,范围为 $0^\circ \sim +180^\circ$;向西为负,称为西经,范围为 $0^\circ \sim -180^\circ$ 。垂直于地轴并通过地心的平面叫赤道平面,它与椭球面相交的大圆圈称为赤道,过某点作平行于赤道面与椭球面的截线,叫纬线,过该点的法线与赤道面的交角,称为地理纬度,地理纬度从赤道算起,向北为正,从 0° 计量到北极为 $+90^\circ$,称为北纬;向南从 0° 计量到南极为 -90° ,称为南纬。经纬度具有

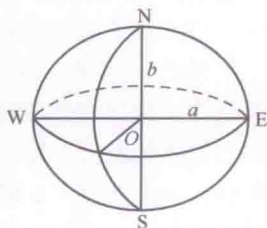


图 2-1 地球椭球体

深刻的地理意义,它标示物体在地面上的位置,显示其地理方位,表示时差。经纬度主要是通过天文测量、大地测量和卫星定位的方法来测定。

2) 坐标系

坐标是表示地面点位置并从属于某种坐标系统的技术参数。用途不同,表示地面点位置的坐标系统各有不同。大地坐标系是大地测量中以参考椭球面为基准面建立起来的坐标系。大地坐标系的确立包括选择一个椭球、对椭球进行定位和确定大地起算数据。一个形状、大小和定位、定向都已确定的地球椭球叫参考椭球。参考椭球一旦确定,则标志着大地坐标系已经建立。大地坐标系是以地球椭球赤道面和大地起始子午面为起算面并依地球椭球面为参考面而建立的地球椭球面坐标系。它是大地测量的基本坐标系,其大地经度 L 、大地纬度 B 和大地高 H 为此坐标系的 3 个坐标分量。大地坐标系包括地心大地坐标系和参心大地坐标系。

(1) 参心大地坐标系

参心大地坐标系是各个国家为了研究局部地球表面的形状,在使地面测量数据归算至椭球的各项改正数最小的原则下,选择和局部区域大地水准面最为密合的椭球作为参考椭球而建立的坐标系。参心指参考椭球的中心,一般和地球质心不一致,参心坐标系的原点位于参考椭球的中心 O , Z 轴平行于参考椭球的旋转轴, X 轴指向起始大地子午面和参考椭球赤道的交点, Y 轴垂直于 XOZ 的平面,构成右手坐标系。由于不同时期采用的地球椭球不同或其定位与定向不同,在我国历史上出现的参心大地坐标系主要有 1954 年北京坐标系、1980 年国家大地坐标系。

① 1954 年北京坐标系:新中国成立初期,由于经济建设和国防建设的迫切需求,大地测量和测图工作全面展开,这时亟需建立一个大地坐标系。鉴于当时的历时条件,暂时采用了克拉索夫斯基椭球参数,并与前苏联 1942 年坐标系进行了联测,通过计算建立了我国的大地坐标系,因我国测绘主管部门将换算的基准点设在了北京,因此称为 1954 年北京坐标系。1954 年北京坐标系是前苏联 1942 年坐标系的延伸,其原点位于前苏联的普尔科沃,属于参心坐标系。克拉索夫斯基椭球参数有较大误差,且参考椭球面与我国大地水准面存在着自西向东明显的系统性倾斜。

② 1980 年国家大地坐标系:为了适应我国大地测量发展的需要,我国于 1978 年开始建立新的坐标系,1980 年完成两网平差建成该系统。新的大地原点设在我国中部的陕西省泾阳县永乐镇,采用国际大地测量和地球物理联合会 1975 年推荐的椭球参数,成为 1980 年国家大地坐标系。1980 年国家大地坐标系建立后,实施了全国天文大地网的整体平差,相对于 1954 年北京坐标系而言,1980 年国家大地坐标系的内符合性要好得多。

(2) 地心大地坐标系

地心大地坐标系是指以地球质心(总椭球的几何中心)为原点的大地坐标系。地心坐标系是在大地体内建立的 O - XYZ 坐标系。原点 O 设在大地体的重量中心,用相互垂直的 X 、 Y 、 Z 三个轴来表示。其中, X 轴与首子午面与赤道面的交线重合,向东为正; Z 轴与地球旋转轴重合,向北为正; Y 轴与 XZ 平面垂直构成右手系。WGS84 坐标系是一种国际上普遍采用的地心坐标系,其坐标原点 O 为地球质心, Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地极 CTP, X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与 CTP 相应的赤道的交点, Y 轴垂直于 XOZ 平面,且与 Z 轴、 X 轴构成右手坐标系。椭球基本参数为:长半径 $a=6\,378\,137\pm 2\text{ m}$; 地球引力常数(含大气层) $GM=(3\,986\,005\times 10^8\pm 0.6\times 10^8)\text{ m}^3\text{ s}^{-2}$; 正常化二阶带谐系数 $C_{2,0}=-484.166\,85\times 10^{-6}\pm 0.6\times 10^{-6}$; 地

球自转角速度 $\omega = (7\,292\,115 \times 10^{-11} \pm 0.1500 \times 10^{-11}) \text{ rad/s}$ 。除非特别说明,目前我国航图上公布的坐标都是基于 WGS84 坐标系。

2. 高程系统

1) 高程

地面点高程是地面点到某一高程基准面的垂直距离。地面点的高程系统一般有大地高系统、正常高系统和正高系统,如图 2-2 所示。

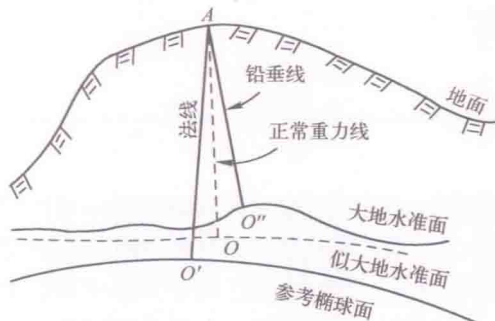


图 2-2 高程系统

在大地测量应用中主要采用 3 种地球的参考面,即地球地形表面、地球的几何面及大地水准面。通常采用旋转椭球面作为地球的几何面,由静止海水面向大陆延伸所形成的不规则的封闭曲面称为大地水准面。由于地球重量分布的不均匀性,严密确定大地水准面需要地球构造方面的学科知识,而目前尚不能精确测定。为此苏联学者莫洛坚斯基建议研究与大地水准面很接近的似大地水准面,似大地水准面不需要任何关于地壳结构方面的假设便可严密确定。似大地水准面与大地水准面差值为正常高与正高之差。但在海洋上,似大地水准面与大地水准面完全重合,在大陆上也几乎重合,在山区只有 2~4 m 的差异。

大地高 H_{Ag} : 地面点沿参考椭球面的法线方向到参考椭球面的距离。

正高 H_g : 地面点沿铅垂方向到大地水准面的距离。

正常高 H_R : 地面点沿铅垂方向到似大地水准面的距离。

大地水准面差距 N_{Ag} : 大地水准面与参考椭球面间的高程差。

高程异常 ζ_{Ag} : 似大地水准面与参考椭球面间的高程差。

我国采用的是正常高系统,正常高的起算面是似大地水准面。

2) 高程基准

高程基准定义了陆地上高程测量的起算点,区域性高程基准可以用验潮站处的长期平均海平面来确定,通常定义该平均海平面的高程为零。在地面预先设置好一固定点(组),利用精密水准测量联测固定点与该平面海面的高差,从而确定固定点(组)的海拔高程。这个固定点就称为水准原点,其高程就是区域性水准测量的起算高程。

我国高程基准采用黄海平均海水面,验潮站是青岛大港验潮站,在其附近的观象山有“中华人民共和国水准原点”。1987 年以前我国采用“1956 年黄海高程基准”。1988 年 1 月 1 日,我国正式启用“1985 国家高程基准”,水准原点高程为 72.260 4 m。“1985 国家高程基准”的平均海水面比“1956 年黄海高程基准”的平均海水面高 0.029 m。

由于历史的原因,我国现有多种高程基准,如 1956 黄海高程基准、各地方高程基准。如