

编著 © 王东光

飞行技术与空中交通管理系列教材

L I N G H A N G X U E

# 领航学



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

◎责任编辑 / 黄淑文

◎封面设计 / 朱开文

## 飞行技术与空中交通管理系列教材

- ◎ 私人飞行员教程
- ◎ 商用飞行员教程
- ◎ 航空仪表
- ◎ 飞行中人的因素
- ◎ 飞机电源智能监控系统
- ◎ 民航飞机电气及通信系统
- ◎ 驾驶舱资源管理
- ◎ 航空电子设备 (第二版)
- ◎ 飞机系统
- ◎ 飞行性能与计划
- ◎ 航空医学
- ◎ 空中领航学
- ◎ 航空气象
- ◎ 航行情报服务
- ◎ 航空燃气涡轮动力装置
- ◎ 机场管制
- ◎ 飞行原理
- ◎ 飞行员航空理论教程 (上、下)
- ◎ 航线飞行员航空理论教程 (英文版)
- ◎ 通信 导航 监视设施
- ◎ 领航学

ISBN 7-81057-941-X



9 787810 579414 >

ISBN 7-81057-941-X/V·023

定价: 32.80元

# 领 航 学

王东光 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

该书从航线结构入手,介绍航图上航线的画法、航线数据的量算方法、基本航行元素的测算方法以及领航的基本计算方法;阐述飞机在风中航行的规律、推测领航和无线电领航的原理及方法、仪表进近着陆的领航方法;阐述现代区域导航原理,包括 VOR/DME 区域导航、惯性导航、卫星导航及飞行管理系统的导航功能。

本书适合空中交通管制和航务管理等专业人员使用,对飞行人员、其他航空管理人员有一定参考价值。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

领航学 / 王东光编著. — 成都:西南交通大学出版社,  
2004.8  
ISBN 7-81057-941-X

I. 领... II. 王... III. 航空导航 IV. V249.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 080308 号

---

### 领 航 学

王东光 编著

\*

责任编辑 黄淑文

封面设计 朱开文

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: [cbsxx@swjtu.edu.cn](mailto:cbsxx@swjtu.edu.cn)

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 20.875

字数: 503 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-941-X/V · 023

定价: 32.80 元

图书如有印装质量问题,本社负责退换

版权所有,盗版必究,举报电话:(028)87600562

## 本书用英美制单位与国际单位的换算关系

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 3.281 \text{ ft}$$

$$1 \text{ mile} = 1.609 \text{ km}$$

$$1 \text{ n mile} = 1.852 \text{ km}$$

$$1 \text{ kn} = 1 \text{ n mile/h} = 1.852 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2.205 \text{ lb}$$

$$1 \text{ inHg} = 33.86 \text{ hPa}$$

$$760 \text{ mmHg} = 29.92 \text{ inHg} = 1013.25 \text{ hPa}$$

注：因飞行系统的需要，教材中保留部分英美制单位，未统一为国际标准单位。

# 前 言

飞机在起飞离场、加入航线、沿航线飞行、下降进场和进近着陆等整个飞行过程中，都需要解决飞行方向、飞机位置和飞行时间（或飞行距离）这3个基本问题。领航学就是研究从地球表面某一点飞往另一预定地点所要进行的工作的一门学科。领航学从空中交通管制、飞行签派和航行情报等专业必须具备的领航知识入手，分析飞机在空中航行时，飞机的航向线与计划的航线之间，以及它们与飞机对地面运动的航迹之间的相互关系；阐述飞机偏航的计算、修正偏航的原理和方法。现代各种区域导航均基于基本领航原理，由各种导航传感器采集数据，经多功能计算机计算输出，自动引领飞机航行。领航学教材按照领航作业、领航元素、领航计算、领航原理和领航方法的思路，为空管和航务管理人员铺垫专业所必须的领航相关知识。

“领航学”教材按照中国民航飞行学院大纲及教材编写委员会1996年1月审定通过的空中交通管理专业领航教学大纲要求，参考各方意见和建议，于1998年6月编写完成并投入教学使用。经过两年试用，收集了大量的反馈意见，于2000年10月进行了第一次修订，2004年6月进行了第二次修订，并正式出版。

教材编写过程中，既注意了教材的系统性，又注意了教材的先进性，妥善处理了内容的深度和广度。需要注意的是，书中时间和时刻的表示方法采用了民航习惯的表示方式，如时间2 h 10 min 10 s表示为2.10.10，时刻12点10分8秒表示为12: 10: 08。

在“领航学”教材正式出版之际，对各方的鼎力相助，谨表感谢。

由于编写时间仓促，编写水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

中国民航飞行学院 王东光

2004年6月

# 目 录

## 第一篇 领航基础知识

1 航线及图上作业 .....	1
1.1 航 线 .....	1
1.2 航图三要素 .....	6
1.3 画航线 .....	24
1.4 量航线距离和航线角 .....	27
1.5 确定航线安全高度 .....	34
1.6 标画航线数据 .....	35
1.7 民航班机航线的表述 .....	36
复习思考题 .....	38
2 领航基本元素 .....	40
2.1 飞行高度 .....	40
2.2 航 向 .....	55
2.3 空 速 .....	64
2.4 飞行时间 .....	78
复习思考题 .....	100
3 风对飞机航行的影响 .....	106
3.1 风的水平运动 .....	106
3.2 飞机相对于地面的运动 .....	107
3.3 飞机航行的基本规律 .....	108
3.4 影响地速向量变化的因素 .....	114
复习思考题 .....	118

## 第二篇 领航基本原理和方法

4 推测领航 .....	120
4.1 推算应飞航向和预达时刻 .....	120

4.2	推算飞机位置 .....	126
4.3	检查和修正航迹 .....	131
4.4	沿航线上升和下降 .....	144
4.5	特殊情况处置 .....	148
	复习思考题 .....	159
5	无线电领航 .....	164
5.1	无线电领航原理 .....	164
5.2	背电台飞行 .....	173
5.3	进入预定方位线 .....	179
5.4	无线电定位 .....	182
5.5	向电台飞行 .....	185
	复习思考题 .....	191
6	仪表进近着陆 .....	194
6.1	仪表进近程序概述 .....	194
6.2	转弯诸元的计算 .....	210
6.3	直角航线进近 .....	212
6.4	修正角航线进近 .....	223
6.5	精密进近中沿最后进近航迹做向台飞行 .....	231
6.6	入航转弯方向偏差的判断和修正 .....	232
6.7	非精密进近的实施程序 .....	234
6.8	向台飞行判断偏差 .....	236
6.9	最后进近下滑线的控制 .....	238
6.10	阅读仪表进近图 .....	239
	复习思考题 .....	242

### 第三篇 现代区域导航技术

7	现代区域导航技术概述 .....	244
7.1	现代导航技术的发展 .....	244
7.2	现代导航设备的分类 .....	245
7.3	区域导航的新发展 .....	247
8	VOR/DME 区域导航 .....	248
8.1	VOR/DME 区域导航的原理 .....	248
8.2	按 VOR/DME 选定的航线飞行 .....	250
8.3	VOR/DME 区域导航的基本方法 .....	250



复习思考题 .....	252
9 惯性导航 .....	253
9.1 惯性导航的基本原理 .....	253
9.2 惯性导航系统的组成 .....	256
9.3 惯性导航系统的飞行前准备 .....	259
9.4 惯性导航系统在飞行中的应用 .....	262
9.5 惯性基准系统 .....	265
复习思考题 .....	268
10 卫星导航 .....	269
10.1 卫星导航概述 .....	269
10.2 全球定位系统 .....	274
10.3 全球轨道导航卫星系统 .....	281
10.4 全球导航卫星系统 .....	282
复习思考题 .....	284
11 飞行管理系统 .....	285
11.1 飞行管理系统的组成 .....	285
11.2 飞行管理系统的导航功能 .....	289
11.3 飞行管理系统的飞行前准备 .....	298
11.4 飞行管理系统在飞行中的应用 .....	302
复习思考题 .....	314
附录一 .....	316
附录二 .....	317
参考文献 .....	323

# 第一篇 领航基础知识

## 1 航线及图上作业

飞机在空中飞行时，依照一定的路线有规律的运动。飞机从起点到终点预定航行的路线叫航线（或预计航迹）。航线起点、转弯点和终点都是基本航路点。民航运输飞行的航线，由民航总局统一规划，以高空航线图和中低空航线图的形式，定期公布。临时航线、训练飞行的航线，由空、地的使用者绘制。每位空管人员和航务管理人员都应精通地图作业的方法。

民航运输航班飞行的航线使用特种航图，临时任务或航行训练在普通航图上自画航线，只有了解航图的内容和构成方法，才能正确使用航图，完成图上作业的各项工

### 1.1 航线

一条航线通常由若干航段组成。每个航段长短的划分，依据地面导航设施的设置、空中交通管理的区域以及地形情况等因素而定。有些航段较长，还要在期间设置飞机位置报告点，根据空中交通管制的需要，分为“按要求报告点（空心三角）”和“强制报告点（实心三角）”两种。民航运输航班飞行所使用的高空航线图和中低空航线图，航线从一个导航台到另一个导航台，这样的航线属于“仪表飞行航线”。图 1.1 为“中国民航高空航线图（局部）”，对于图中的具体内容用图 1.2 的图例与图 1.1 对照释读。

在航空测量、航空摄影、航空遥感、航空物理探矿、航空吊挂、航空石油勘探、航空救灾救护、航空调查、空中拍摄影视、海洋与陆地直升机服务中，在各种农、林飞行等通用航空飞行中，在地标 / 罗盘航行训练等飞行中，为了便于用地标定位的方法检查航迹，航路点通常选择在机场、城镇（居民点）等空中可见又易于识别的地标。由明显地标构成的航线属于“目视飞行航线”。在目视飞行航线的每一边适中位置处，选择较为明显的地标作为检查点，用该检查点地标地位，检查航迹方向偏差并实测地速，为修正航迹打下基础。目视飞行航线的形式和数据，如图 1.3 所示。

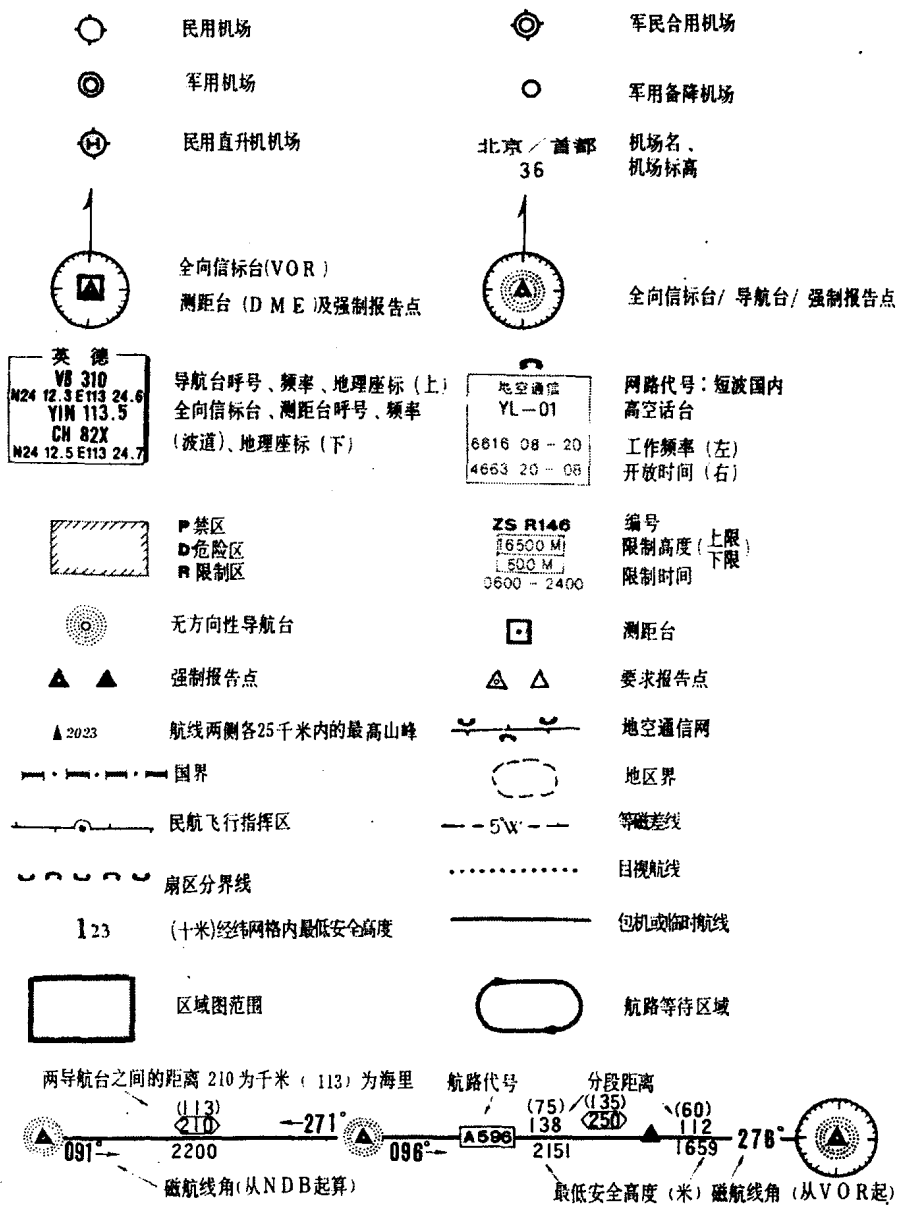
#### 1.1.1 航线角和航线距离

##### 1) 航线角

航图上的方向和所有地图一样，按照上北、下南、左西、右东的规则分布。在航图上



# 图 例



- 说明:**
1. 机场导航台只标画全向信标台(测距台)、超远台、远台,航线、航线角及距离均以机场全向信标台或航线台或第一着陆航向超远台或远台为准。
  2. 本图磁差值为1980年之值。
  3. 空中走廊内的航线数据见《空中走廊示意图》

图 1.2 中国民航高空航线图图例

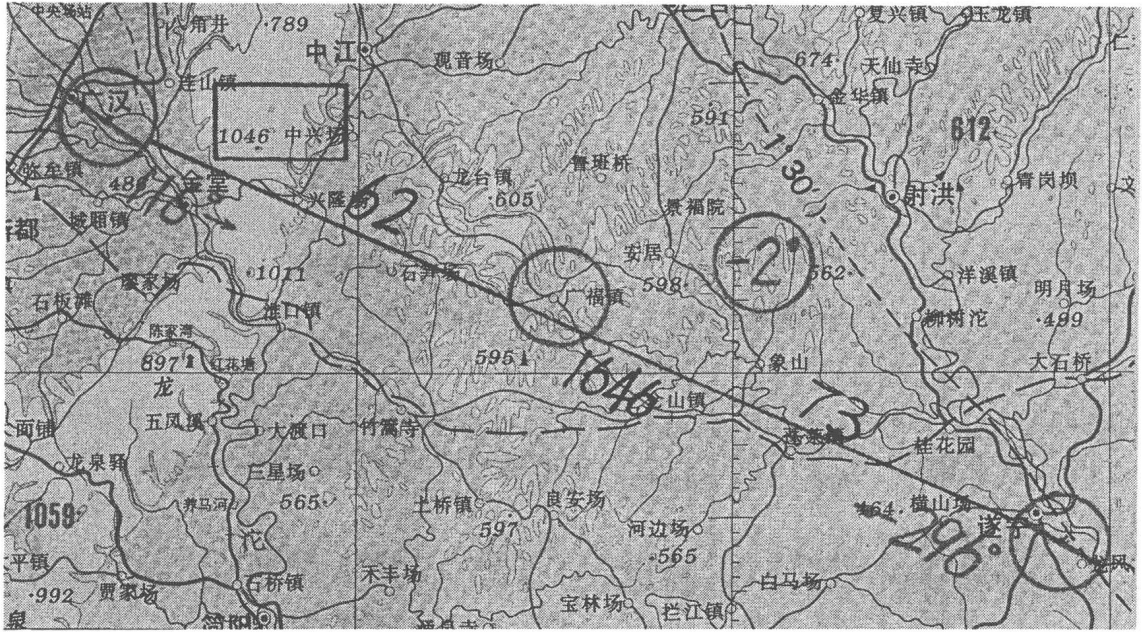


图 1.3 目视飞行航线例图

互相平行的横直线和竖直线分别为纬线和经线，任意一条纬线代表左西  $270^\circ$ 、右东  $90^\circ$ ，任意一条经线代表上北  $0^\circ$  或  $360^\circ$ 、下南  $180^\circ$ 。例如，在图名“重庆市”的航图上，并研在成都市的下方  $180^\circ$  方向。

不论是仪表飞行航线还是目视飞行航线，度量航线的方向用航线角（CRS: Course）表示。从航线起点处的经线北端顺时针量到航线去向的角度叫航线角。航线角的范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。例如成都市飞往井研的航线角为  $180^\circ$ ，井研飞往成都市的航线角为  $0^\circ$ 。

## 2) 航线距离

航线的地面长度用航线距离  $D$  表示。航线距离的单位用千米（km）、海里（n mile）或英里（mile）表示。赤道上  $1^\circ$  的弧长为  $60 \text{ n mile}$ （约为  $111 \text{ km}$ ）， $1'$  的弧长为  $1 \text{ n mile}$ （约为  $1.852 \text{ km}$  或  $1.15 \text{ mile}$ ）。海里、英里和千米的换算用领航计算尺第一组尺进行。如图 1.4 所示，将活动尺上的“海里指标（字旁有小箭头）”对向固定尺上的一个数值（例如 60），

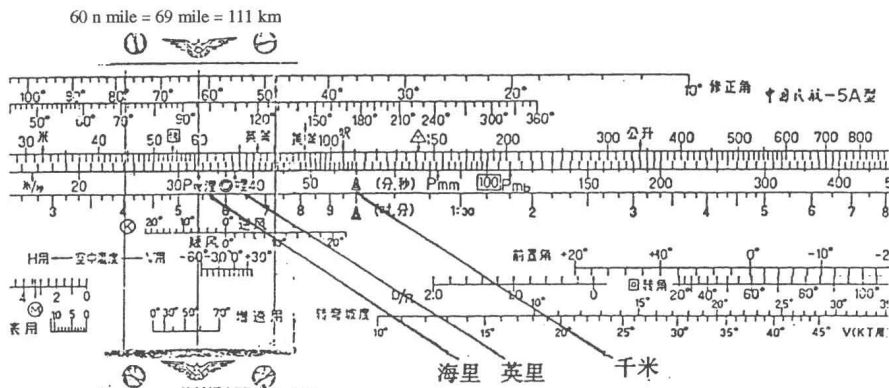


图 1.4 用计算尺进行距离单位换算

即可以从活动尺上的“英里指标(字旁有小箭头)”和“三角指标(代表千米)”对向的固定尺上的数值(例如英里指标对向了69,三角指标对向了111)处,读取换算结果(本例  $60 \text{ n mile} = 69 \text{ mile} = 111 \text{ km}$ )。换句话说,海里指标、英里指标和三角指标中的任一个,在对向固定尺上的某一数值时,另外两个指标在固定尺上所对的数值,分别是它们换算的结果。

在图 1.2 所示的航线图例中,航线距离标注在航线上方,表示两导航台之间的距离或者分段距离,以千米(km)为单位的距离在下,以海里(n mile)为单位的距离在上(括号内)。对照图 1.1 中,从周口飞往合肥的航线,总距离  $324 \text{ km}$  ( $175 \text{ n mile}$ );阜阳为航线上的强制报告点,将航线分为  $133 \text{ km}$  ( $72 \text{ n mile}$ )和  $191 \text{ km}$  ( $103 \text{ n mile}$ )两段。

### 1.1.2 大圆航线和等角航线

航线按其构成方法分为大圆航线(GC: Great Circle)和等角航线(RL: Rhumb Line)两种,如图 1.5 所示。

#### 1) 大圆航线和大圆航线

地球表面两点间的大圆航线是包含这两点以及地心的平面与地球相切时,该平面与球面的交线。大圆航线是以两点间的大圆航线作为航线。大圆航线与所经过的各条经线的交角一般都不相等(只有沿经线或沿赤道时相等),通常大圆航线的航线角是指起点处的航线角。大圆航线是球面上距离最短的曲线,所以大圆航线的距离最短。根据大圆航线上点的位置坐标,可以用公式计算航线角和距离,也可以通过导航计算机计算。

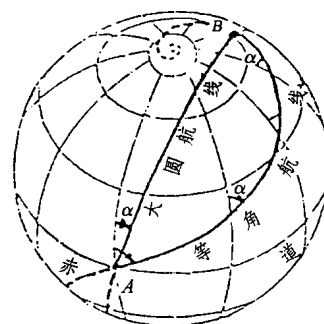


图 1.5 大圆航线和等角航线  
可以用公式计算航线角和距离

#### 2) 等角线和等角航线

地球表面两点间的等角线是与各经线夹角都相等的曲线。等角航线是以两点间的等角线作为航线。等角航线的航线角处处相等。等角线的延伸为盘向两极的螺旋曲线,所以等角航线的距离一般都比大圆航线的长(只有沿经线或沿赤道时相等)。根据等角航线上点的坐标,可以用公式计算航线角和距离,但是导航计算机未设置此项功能。

#### 3) 大圆航线和等角航线的比较

地球表面任意两点间都有一条大圆航线和一条等角航线通过。地球表面上的大圆航线距离最短,但是每经过一条经线就要改变航线角;等角航线的航线角不变,但是航线距离比大圆航线的长。因此远程航线的全程应选择大圆航线(取其短),再分成数段,每段按等角航线飞行(取其航线角不变)。

计算表明,经度差越大,航线与经线越接近垂直,等角航线与大圆航线的距离差也越大;但是,当经度差小于  $30^\circ$  时,大圆航线与等角航线的距离差就比较小,可以忽略不计,所以近程航行时选择等角航线。一般地图作业画的航线,经度差不会超过  $30^\circ$ ,两点间的航线都画成直线,可以沿直线量航线角和距离。

## 1.2 航图三要素

将地球表面上的山川、道路、城镇等各种地面景物和起伏不平的地形形态，依照一定的比例缩小后，用各种不同的符号，以一定的投影方法绘制成图叫地图。地图是地球表面上的一部分表现在平面上的图形，也是地面上各种自然、人工的地貌的简明记录。地球表面缩小的比例为地图比例尺，在地图上标示的各种符号为地图符号，绘制地图的投影方法为地图投影。地图比例尺、地图符号和地图投影为地图构成的三要素。

专供航空使用的地图叫航空地图，简称航图，包括通用航图和特种航图两大类。通用航图有 1:100 万世界航图（也作训练用图），1:50 万训练航图；特种航图有航路图，标准仪表进/离场图，仪表进近图，机场图等 13 种。了解航图基本知识，目的在于正确使用航图，学会图上作业的方法。

### 1.2.1 地图比例尺

地图上的线段的长度同它在地面上所代表的实际距离之比叫地图比例尺，即

$$\text{地图比例尺} = \frac{\text{图上长}}{\text{实地长}}$$

地图比例尺的分子一般化为 1，此时分母就表示地面实际长度被缩小的倍数。例如中国民航高空航线图的比例尺为 1:300 万，表示地面长度在图上被缩小 300 万倍，即图上长 1 cm 代表实地距离 30 km。我国规定 7 种基本比例尺系列，如表 1.1 所示。

表 1.1 我国基本地图比例尺表

比例尺	地图名称	图上 1 cm 相当于实地的千米数	实地 1 km 相当于图上的厘米数
1:1 万	万分之一	0.1	10
1:2.5 万	二万五千分之一	0.25	4
1:5 万	五万分之一	0.5	2
1:10 万	十万分之一	1	1
1:20 万	二十万分之一	2	0.5
1:50 万	五十万分之一	5	0.2
1:100 万	百万分之一	10	0.1

地图比例尺有以下 3 种表现形式：

#### 1) 数字比例尺

用分式或比例式表示的比例尺叫数字比例尺。例如百万分之一比例尺写作  $\frac{1}{1\,000\,000}$  或 1:1 000 000。将数字比例尺的分母消去 5 个 0，就得到图上长 1 cm 代表的地面距离千米

数。前例 1 : 1 000 000 比例尺, 图上长 1 cm 代表实地距离 10 km; 而 1 : 500 000 的比例尺, 图上长 1 厘米, 代表实地距离 5 km。

## 2) 文字说明比例尺

将图上长 1 cm 代表的实地距离千米数, 用文字直接注明在地图上, 这种方式的比例尺叫文字说明比例尺。例如重庆市百万分之一航图上标注“一厘米相当于十千米”字样。

## 3) 线段比例尺

将图上长 1 cm 代表的地面距离千米数, 用线段的形式标明在地图上, 这样的标注方法叫线段比例尺。3 种比例尺的标注形式如图 1.6 所示。

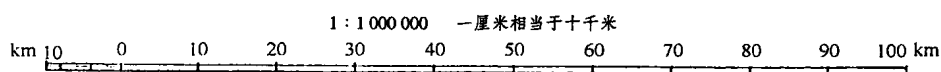


图 1.6 地图比例尺的标注形式

将地图比例尺的分子化为 1, 分母小的分数值大, 地图比例尺也大; 分母大的分数值小, 地图比例尺也小。地图比例尺的大小是相对而言, 领航上习惯于把比 1 : 50 万比例尺更大 (1 : 20 万、1 : 10 万、1 : 5 万、1 : 2.5 万和 1 : 1 万等) 的地图, 称作大比例尺地图; 而把比 1 : 100 万比例尺更小 (1 : 200 万 ~ 1 : 500 万) 的地图, 称作小比例尺地图。

图幅同样大小的几张地图相比较, 比例尺大的地图包括的地面范围小, 但是地面景物的描绘比较详细, 所以大比例尺地图常用作研究地点、净空、障碍物等地形情况, 或者用作设计机场仪表进近程序; 比例尺小的地图包括的地面范围大, 但是地面景物的描绘相对比较简略, 所以小比例尺地图常用作规划航线、远程航行等。

## 1.2.2 地图符号

地球表面高低起伏不平, 需要采用各种各样的符号表现在地图这一平面上。地图符号分为地物符号和地形符号两大类。

### 1) 地物符号

地面上的河流、湖泊、森林和沙漠等自然形成的物体, 以及居民点、铁路、公路、运河、桥梁和关隘等人工建造的物体统称为地物。

在各种不同比例尺的地图上, 表示地物的符号不尽相同。依据各种地物的面积、长短或形状, 一般可以将地物符号分为依比例尺表示、半依比例尺表示和不依比例尺表示 3 种情况。

#### (1) 依比例尺表示的地物符号

森林、湖泊、岛屿和大居民点等面积较大的地物, 按照比例尺缩小后描绘在地图上, 其形状和大小的真实轮廓用实线或虚线表示, 并在轮廓线内部添上线条、颜色或示意符号表示不同内容或特征。这种完全依照比例尺绘制的地物也叫真形表示。

#### (2) 半依比例尺表示的地物



铁路、公路、小路和较小的河流等形状狭长的带状或线状地物，其长度和弯曲程度可以依照比例尺绘制，但是宽度若依照比例尺缩小，就不能在地图上表示出来。为此，将表示带状或线状地物的线条，按照规定的宽度和方式加以描绘。这种长度和弯曲程度依照比例尺绘制，而宽度没有依照比例尺绘制的地物也叫半真形表示。

### (3) 不依比例尺表示的地物

村镇、车站、灯塔、寺庙等较小的地物，按照比例尺缩小后无法在地图上表示出来，因而采用形状和大小都有统一规定的象征性符号来表示它们。这类符号只能表示该地物在地图上的位置，不能表示相应的实物的形状和大小。

某个地物究竟怎样表示在地图上，与该地物本身的大小、形状以及地图比例尺有关。例如，一条不太宽的河流，在小比例尺的地图上是采用半依比例尺符号表示的；在大比例尺地图上，若其宽度可以依比例尺描绘，则采用完全依照比例尺表示的符号。

此外，在航空地图上还有一些专用符号，如国界、等磁差线、磁力异常点等，对这些地物采用补充说明符号。例如在河流旁用箭头表示水流的方向等。

每张地图的边缘或背面，通常标注图例，供认读地图时对照查阅，如图 1.7 所示。

图 例



图 1.7 地图图例