

关于航母舰载预警机的电子地图研究^①

盛大同¹, 刘 栋²

¹(中国电子科学研究院 预警机系统研究所, 北京 100041)

²(空军驻京昌地区军事代表室, 北京 100041)

通讯作者: 盛大同, E-mail: whsdt@163.com

摘 要: 通过对地图投影的研究, 确定了航母舰载预警机电子地图采用 Gnomonic 投影. 进一步对该投影方式下长度和角度变形计算和分析, 确定了航母舰载预警机电子地图的最大使用范围. 针对 Gnomonic 地图投影地图标尺不能在地图上直接量算距离和方位的情况, 给出了计算两点间距离和方位的地图标尺算法. 同时对电子地图自动切换进行了研究.

关键词: 航母; 舰载预警机; 电子地图

引用格式: 盛大同, 刘栋. 关于航母舰载预警机的电子地图研究. 计算机系统应用, 2018, 27(3): 268-272. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6229.html>

Technology Research on Electronic Map of Carrier-Based Early Warning Aircraft

SHENG Da-Tong¹, LIU Dong²

¹(Institute of Early Warning Aircraft, China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China)

²(Military Representative Office Located in Jing Chang, Beijing 100041, China)

Abstract: On the basis of research on map projection, this study selects Gnomonic projection to the electronic map of carrier-based early warning aircraft. By calculating and analyzing length and angle distortion of Gnomonic projection, the maximal range of the map of carrier-based early warning aircraft is established. To resolve problem of incorrect calculating length and angle with map ruler, it provides correct length and angle calculation between two points for map ruler. The automatic change of electronic map is also researched.

Key words: aircraft carriers; carrier-based early warning aircraft; electronic map

舰载预警机作为航母的必要武器装备, 为航母战斗群提供远程预警和反潜搜索, 对航母战斗群遂行作战使命、维护国家海洋权利有着重要的作用^[1]. 电子地图是航母舰载预警机重要的人机交互界面, 不仅提供海岸、岛屿、城市等地理信息, 机场、雷达站、导弹阵地等战场环境信息, 而且作为背景提供目标情报和作战进展等直观的战场态势.

地图投影方式对电子地图显示形式有很大的影响, 需要根据不同的用途选择合适的地图投影. 对于航母舰载预警机, 需要根据作战区域、活动范围等选择地

图投影方式. Gnomonic 投影在地面防空系统中得到应用^[2], 但是对于移动的航母舰载预警机是否可以使用, 需要进行研究和分析. 任何地图投影都会产生距离和角度偏差, 在地图投影距离和角度偏差大的情况下, 如何提供精确的标尺是非常重要的. 同时, 为满足航母战斗群全球作战需求, 还需对电子地图切换进行研究.

1 地图投影方式的选择

1.1 地图投影

常用的投影包括墨卡托投影、高斯投影、兰勃特

^① 收稿时间: 2017-05-23; 修改时间: 2017-06-16; 采用时间: 2017-06-26; csa 在线出版时间: 2018-02-09

投影和 Gnomonic 投影^[3].

(1) 墨卡托投影

性质: 即正圆柱投影, 圆柱筒轴与地轴重合. 用一圆柱筒套在地球上, 圆柱轴通过球心, 并与地球表面相切或相割将地面上的经线、纬线均匀的投影到圆柱筒上, 然后沿着圆柱母线切开展平, 即成为圆柱投影图网.

用途: 主要用于绘制大比例尺航海图、航空图.

特点:

1) 经线为南北向互相平行的直线, 纬线为东西向互相平行的直线, 且经线与纬线互相垂直;

2) 恒向线在图上为直线;

3) 存在纬度渐长现象, 图上纬度 1' 的长度是随着纬度升高而增长的. 图上经度 1' 的长度均相等;

4) 具有等角的性质, 真实的反映了地面上的向位关系, 即在图上量取物标的方位角与地面对应角相等.

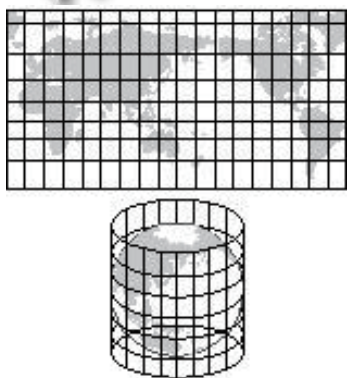


图1 墨卡托投影

(2) 高斯投影

高斯投影又称高斯-克吕格投影.

性质: 等角横圆柱投影.

用途: 我国有些大比例尺航空图、航海图是采用高斯投影法的.

高斯投影方法:

将一圆柱筒横套在地球外面, 圆柱的轴位于赤道平面上, 与地轴相互垂直. 轴子午线或中央经线: 与圆柱面相切的地球某一子午圈. 在其线或附近与地面形状保持相似, 不但等角而且等距.

为了使投影是等角和坐标网是平面直角坐标网的形式, 使得具有固定的比例尺, 达到使用和计算方便, 高斯投影采取了缩小投影范围的分带办法 (6°分带或

3°分带), 即把全球分为 60 个投影带, 每个带的经差为 6°的范围. 我国位于东经 72°至 138°之间, 共占 11 个投影带, 即 13~23 带, 各带中央经线依次为 75°、81°、87°、...、135°. 这样分带投影, 就可以把投影变形控制在一定的范围内.

高斯投影的特点:

1) 具有等角正形投影的性质;

2) 纬线为水平线, 并且等距; 经线为竖直线, 与纬线正交;

3) 轴子午线附近长度变形很小, 因此它适宜来描绘经差小, 而纬差大的狭长地带;

4) 图上极区的变形也较小, 因此它也适宜来描绘高纬度地区的地图.

(3) 兰勃特投影

性质: 双标准纬线等角圆锥投影, 两条标准纬线分别为 25°和 45°.

用途: 主要用于绘制小比例尺航空图, 1:250 万《中华人民共和国全图》也采用这种投影.

特点:

1) 两条标准纬线投影后保持长度不变;

2) 经线为放射状直线, 纬线为同心圆弧, 经线纬线两者正交;

3) 两经线间夹角与相应的经差成正比.



图2 兰勃特投影

(4) Gnomonic 投影

性质: 心射平面透视投影, 即视点在球心, 投影面为一与地面某点相切的平面, 从球心将地球上的子午线和纬度圈投影到投影面上.

用途: 主要用于拟定大圆航线、混合航线, 绘制极区地图和大比例尺港口图.

特点:

- 1) 大圆弧为直线;
- 2) 经线为由极点向外辐射的直线. 当切点位于赤道上时, 经线为南北向相互平行的直线;
- 3) 纬线为凸向赤道的圆锥曲线, 当切点位于两极时, 纬线为以极点为圆心的同心圆;
- 4) 赤道在图上是垂直于切点经线的直线;
- 5) 投影仅在切点处没有变形, 随着与切点距离的增加, 变形将愈来愈大.

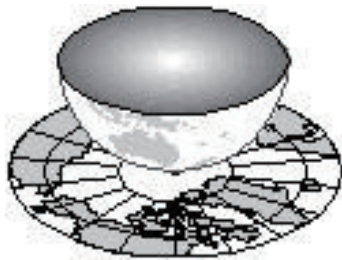


图3 Gnomonic 投影

1.2 地图投影的选择

地图投影的选择原则包括^[4]:

1) 制图区域的形状和地理位置

根据制图区域的轮廓形状选择投影时, 投影的无变形点或线应位于制图区域的中心位置, 等变形线尽量与制图区域轮廓的形状一致, 从而保证制图区域的变形分布均匀. 近似圆形的地区宜采用方位投影; 中纬度东西方向伸展的地区, 宜采用正轴圆锥投影; 赤道附近东西方向伸展的地区, 宜采用正轴圆柱投影; 南北方向延伸的地区, 宜采用横轴圆柱投影和多圆锥投影.

2) 制图区域的范围

制图区域范围的大小也影响到地图投影的选择. 当制图区域范围不太大时, 无论选择什么投影, 投影变形的空间分布差异也不会太大. 制图区域较大, 投影变形明显, 因此, 在这种情况下, 投影选择的主导因素是区域的地理位置、地图的用途等.

3) 地图的内容和用途

地图表示什么内容, 用于解决什么问题, 关系到选用哪种投影. 航空、航海、天气、洋流和军事等方面的地图, 要求方位正确、小区域的图形能与实地相似, 因此需要采用等角投影. 等距方位投影从中心至各方向的任一点, 具有保持方位角和距离都正确的特点, 因此对于城市防空、雷达站、地震观测站等方面的地图,

具有重要意义.

根据墨卡托投影、高斯投影、兰勃特投影和 Gnomonic 投影的特点, 综合考虑投影选择原则, 对于航母舰载预警机选择 Gnomonic 投影. 主要原因是:

1) 从理论分析来看, 各种地图投影都有一定的局限性. 墨卡托投影适合于赤道和低纬度区域; 高斯投影适宜经差小而纬差大的狭长地带; 兰勃特投影主要用于大范围小比例尺地图. 综合来说, Gnomonic 投影适宜大比例尺航空图, 且投影变形不会随区域的变化而改变, 比较适合航母舰载预警机使用;

2) 利用 Gnomonic 投影适用于绘制极区地图的特点, 满足航母战斗群全球作战的要求;

3) 大圆弧为直线. 大圆弧是球面两点间的最短距离. 长距离的飞行航线是在大圆航线的基础上拟定的, 大圆航线与短距离飞行航线也相差不大;

4) 虽然随着与中心点(切点) 距离的增加, 变形将愈来愈大, 但只要适当控制地图长度和宽度范围, 就可以控制投影变形, 满足使用要求;

5) 将标尺等计算与地图投影解耦合, 使得投影变形不影响地图应用.

2 航母舰载预警机电子地图使用研究

2.1 电子地图使用范围

电子地图使用范围确定的方法是根据 Gnomonic 投影计算长度比和角度最大变形, 然后确定使用范围.

需要说明的是为简化算法, 计算模型假设地球为一个正球体. 根据 CGCS(中国国家大地坐标系)2000 定义, 地球扁率为 $1/298.257\ 222\ 101$, 因此计算结果偏差是可以接受的, 不会改变通过计算得到的结论.

Gnomonic 投影长度比和角度最大变形的计算步骤^[5]:

1) 确定地图中心点地理坐标 φ_0 、 λ_0 ;

2) 由地理坐标 φ 、 λ , 计算球面坐标 Z ;

3) 计算长度比和角度最大变形. 其中长度比是投影长度与实际长度的比值. 角度变形在每点各个方向是不同的, 最大角度变形是实际角度与投影角度差值的最大值.

计算公式:

$$Z = \arcsin(\sin\varphi\sin\varphi_0 + \cos\varphi\cos\varphi_0\cos(\lambda - \lambda_0)).$$

$$\text{经线方向长度比 } \mu_1 = (\sec Z)^2.$$

纬线方向长度比 $\mu_2 = \sec Z$.

角度最大变形 $\omega = 2\arcsin(\operatorname{tg}(Z/2)^2)$.

由于与中心点相同距离的各点长度比和角度最大变形是相同的, 所以可以按照与中心点不同距离选择特殊点进行计算, 计算结果见表 1.

表 1 Gnomonic 投影长度比和角度最大变形
(中心点经纬度 (100, 90))

点的经度 纬度	与中心点距 离(公里)	经线方向 长度比	纬线方向 长度比	角度最大 变形(度)	角度最大 变形时的 角度(度)
(100, 85)	555.984	1.008	1.004	0.2	45.1
(100, 81.006)	1000.106	1.025	1.012	0.7	45.2
(100, 80)	1111.969	1.031	1.015	0.9	45.2
(100, 77.283)	1414.092	1.051	1.025	1.4	45.4
(100, 75)	1667.954	1.072	1.035	2.0	45.5
(100, 70)	2223.939	1.132	1.064	3.6	45.9
(100, 65)	2779.924	1.217	1.103	5.6	46.4

从表 1 可以看出:

1) 与中心点距离越远, 长度比和角度最大变形越大;

2) 对于同一点, 经线方向长度比大于纬线方向长度比;

3) 距离中心点 1000 公里时, 长度比最大值为 1.025, 变形率为 2.5%, 角度最大变形为 0.7 度, 变形率为 $0.7/45.2=1.5\%$. 此时地图长度和宽度为 $(1000/2^{0.5}) \times 2=1414$ 公里;

4) 距离中心点 1414 公里时, 长度比最大值为 1.051, 变形率为 5.1%, 角度最大变形为 1.4 度, 变形率为 $1.4/45.4=3.1\%$. 此时地图长度和宽度为 $(1414/2^{0.5}) \times 2=2000$ 公里.

对于操作人员来说, 地图显示变形 5% 左右一般是可以接收的, 所以对于 Gnomonic 投影地图长度和宽度可以达到 2000 公里. 覆盖范围 2000 公里的地图对于航母舰载预警机也是满足使用的.

2.2 地图标尺

对于 Gnomonic 投影的电子地图, 由于与中心点距离越远, 长度比和角度最大变形越大, 所以地图标尺不能在地图上根据比例尺和投影平面计算两点间的距离或者方位. 正确的地图标尺算法是在地图上取得两点的地理坐标(经度, 纬度), 然后根据球面公式计算, 具体如下:

A 点经纬度: λ_0, φ_0 ;

B 点经纬度: λ, φ ;

$Z = \arccos(\sin\varphi\sin\varphi_0 + \cos\varphi\cos\varphi_0\cos(\lambda-\lambda_0))$;

则 AB 两点间的距离 $= Z/180 \times \pi \times R$. 其中, 式中的 Z 为球面坐标的参数, R 为地球半径.

$\alpha = \arctan(\cos\varphi\sin(\lambda-\lambda_0)/(\sin\varphi\cos\varphi_0 + \cos\varphi\sin\varphi_0\cos(\lambda-\lambda_0)))$

由于方位的范围为 $[0, 360)$, 所以需要根据 B 点相对于 A 点位置的四个象限对 α 进行不同处理:

B 点在第一象限: B 点相对 A 点的方位 $= \alpha$;

B 点在第二象限: B 点相对 A 点的方位 $= \alpha + 180$;

B 点在第三象限: B 点相对 A 点的方位 $= \alpha + 180$;

B 点在第四象限: B 点相对 A 点的方位 $= \alpha + 360$.

2.3 地图切换

由于长度和角度变形, Gnomonic 投影的电子地图有一定的长度和宽度范围限制. 为维护国家海洋权益, 航母战斗群需要从一个地区赶赴热点地区, 在转移途中和到达目的地后, 舰载预警机需要进行地图切换.

地图切换有两种方式: 人工地图切换和自动地图切换. 人工地图切换是预警机任务系统操作人员根据需要将电子地图切换为当地可以使用的地图. 自动地图切换是预警机任务系统根据预警机所在位置自动判断是否进行地图切换, 并更换为当地可以使用的地图. 人工地图切换功能简单, 但是需要在操作人员干预下才能完成. 为减少操作人员不必要的操作, 提高系统智能程度, 进行电子地图自动切换成为热切的需求.

无论是人工地图切换还是自动地图切换, 都需要提前准备好各地区的电子地图. 这些电子地图实现对全球的覆盖, 并且各地图边界有一定的重叠. 电子地图的准备需要整体规划, 首先确定多个经常使用的热点地区, 剪裁出相应的热点地区地图; 然后根据地图长度和宽度范围, 并考虑边界重叠, 确定周边地区的地图, 直到完成地图对全部地区的覆盖. 自动地图切换逻辑如图 4 所示.

设置地图切换下限是只有当预警机位置距地图中心超出一定数值时, 才可以切换为其他地图, 防止两幅地图中心相近的地图在使用中频繁切换. 设置地图切换上限是当预警机位置距地图中心超出地图最大范围时, 如果仍然没有可以选择的其他地图, 则提示操作人员.

在地图切换成功后, 要及时恢复原有地图信息的显示, 确保地图切换不影响系统的正常运行.

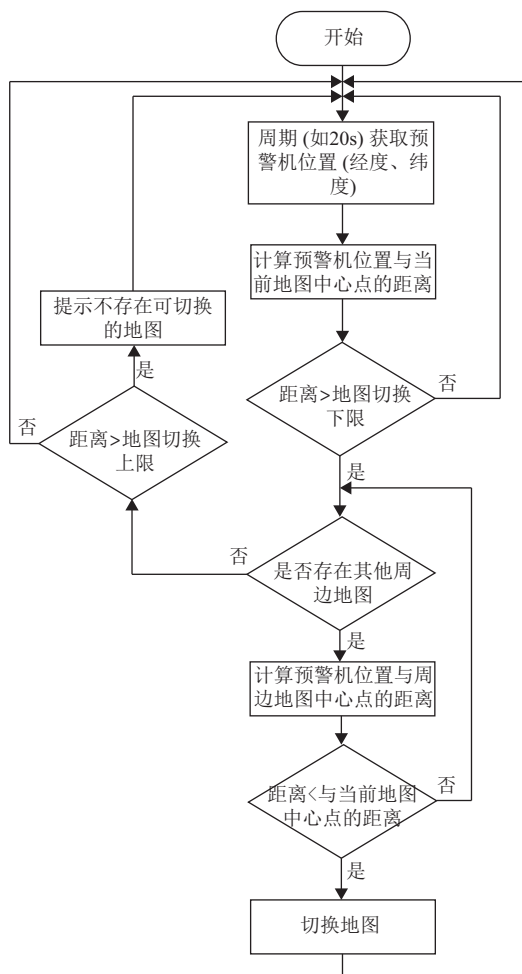


图4 自动地图切换逻辑图

3 结束语

通过对地图投影的研究, 确定了航母舰载预警机电子地图采用 Gnomonic 投影. 进一步对该投影方式下长度和角度变形的计算和分析, 确定了航母舰载预警机电子地图的最大使用范围. 针对 Gnomonic 地图投影地图标尺不能在地图上直接量算距离和方位的情况, 给出了计算两点间距离和方位的地图标尺算法. 同时为满足航母战斗群全球机动作战的需求, 提高系统智能程度, 对电子地图自动切换进行了研究.

后续会进一步验证地图切换算法的有效性, 以及针对航母舰载预警机电子地图 Gnomonic 投影以外的其他方位投影进行研究^[6], 进一步减少长度比和角度变形.

参考文献

- 1 胡小勇. 漂浮的战场: 航空母舰与战争. 广州: 花城出版社, 2010.
- 2 张善. 防空系统中地面防空系统软件的研究与设计[硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2011.
- 3 高玉德. 航海学. 3 版. 大连: 大连海事大学出版社, 2012.
- 4 张灯军, 王宝山. 浅谈 GIS 中地图投影的选择与设置. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(5): 151-155, 155.
- 5 总参谋部测绘局. 地图投影. 北京: 解放军出版社, 1993.
- 6 杨秋辉, 余勤. 航空地图信息系统及关键技术. 计算机应用, 2004, 24(4): 150-152.