文章编号：1674－9057(2015)01－0117－04 doi:10.3969/j.issn.1674－9057.2015.01.018

地物物理量的度量模型及其应用

韦清媛[1]，钟业勋[1,2]，胡宝清[2]，吴丽芳[2]

（1. 广西测绘地理信息局，南宁 530023；2. 广西师范学院 a. 北部湾环境演变与资源利用省部共建教育部重点实验室；b. 广西地表过程与智能模拟重点实验室，南宁 530001）

摘 要：对地物物理量的度量是获得地物相关信息的重要手段，它是制作地图的依据和信息源泉。基于比较法的地物物理量的度量模型，由度量对象a_i、度量基准i_0、度量单位B_i和度量结果Q_i构成。地物的某一物理性质$i \in a_i$，存在度量基准i_0，i到i_0的距离函数$d(i,i_0)$包含度量单位B_i的数量即度量结果Q_i。通过对测绘学中的直角坐标、高程、水深、地物的时间坐标（寿命）、质量、温度、卫星激光测距等方面的应用，阐释了地物物理量的度量模型的实用价值和科学解释功能。

关键词：物理量；比较法；度量对象；度量基准；度量模型；测绘学；应用

中图分类号：P228 **文献标志码**：A

模型及模型方法是科学发现不可缺少的逻辑工具。模型作为理智把握和反映客观世界的能动形式，它把原型加以简化和理想化。数学模型就是用简练的数学语言对原型的某些本质特征或基本过程在定性分析的基础上，从数量方面进行描述并使之适合数学工具进行操作的一个符号－结构模型[1]。以满足不同条件的偏序集为特征的地理变量量表、基于地貌特征点邻域的基本地貌形态的定义及其体系、地图符号的基本结构和功能差异为特征的新表述、基于约束变换的地图符号新定义等，其本质都是地图学概念的数学模型[2-6]。地球信息是制作地图的依据和源泉，而获取地球信息总离不开对地物的空间特性和物理特性的度量，因此，寻求可以对地物的多种物理量进行度量并具有科学解释功能的地物物理量的度量模型，是有意义的地图学理论研究课题。本文是笔者关于地物物理量的度量模型及其应用的研究。

1 常用物理量的计算单

1960年10月，第11届国际计量大会确定了国际通用的国际单位制（表1），简称SI制。SI制共有7个基本单位[7]，其中长度、时间、质量是地球信息中最常用的单位。长度单位米（m），1983年以来，定义为光在1/299 792 458 s内通过的距离；秒（s）为时间单位，它的自然基准是铯133原子基态两个超精细能级之间跃迁相对应周期的9 192 631 770倍；质量单位千克（kg），其实物基准是保存在巴黎国际计量局中一个特别的直径为39 mm的铂圆柱体[8]。

表1 国际制（SI）基本单位

Table 1 Basic unit of international system of units (SI)

量	名称	代号	
		中文	国际单位
长度	米	米	m
质量	千克(公斤)	千克(公斤)	kg
时间	秒	秒	s
电流	安倍	安	A
热力学温度	开尔文	开	K
物质的量	摩尔	摩	mol
光强度	坎德拉	坎	cd

收稿日期：2014－03－05

基金项目：国家自然科学基金项目（41361022）；广西科技开发项目（2014DD29090）；广西北部湾重大基础专项子课题（2012GXNSFEA053001）

作者简介：韦清媛（1966—），女，高级工程师，研究方向：地图学、3S技术集成与应用，2373742083@qq.com。

引文格式：韦清媛，钟业勋，胡宝清，等. 地物物理量的度量模型及其应用[J]. 桂林理工大学学报，2015，35(1)：117－120.

2 地物物理量度量原理与度量模型

2.1 基于比较法的物理量度量原理

“比较”是两个或两个以上对象或个案(观察单位)的属性(特性)之取值(差异单位)的并置。比较法是重要的认知与描述工具,更是解释性的,是一项控制变异的方法(Smelser,1976)及建立变量间普遍关系或“法则”的方法(Lijphart,1971;Sartori,1970),最终,它是一项归纳推理的方法。有的学者还认为,没有比较法就没有科学思想(Swan,1971),且无论何种形态的研究,都不可避免是比较性的(Lasswell,1968;Lieberson,1985);有人认为,比较构成了所有科学解释的核心(Armer,1973;Bailey,1982;Blalock,1961;Nagel,1961);克林曼(Klingman,1980)认为,所有科学本质上都是比较的[9]。由于任何度量都存在度量对象 a_i,物理性质 $i \in a_i$,对每个 $i \in I = \{物理性质\}$,都存在度量基准 i_0 和度量单位 B_i,从 i 到 i_0 的“距离”的大小,要通过用度量单位 B_i 与 $d(i,i_0)$ 进行比较来确定。可见,比较法是构成地物物理量度量模型的重要方法,比较思想是建立地物物理量度量模型的基本原理。

2.2 地物物理量的度量模型

从拓扑学得知,一维、二维和三维空间都是度量空间。对于三维度量空间 (R^3,d) 的任何子集 a_i 都叫做空间 (R^3,d) 的点集[10]。设 $a_i \in (R^3,d)$,i 为 a_i 的物理特性,i 的标号集为 I,$i \in I = \{物理性质\}$,所以 a_i 的空间坐标、时间坐标、质量、温度等,都属 I 的范畴。在度量空间 (R^3,d) 中,$\forall a_i \in (R^3,d)$,$\exists i \in a_i$ 和 $i_0 \in (R^3,d)$,$i \neq i_0 \Rightarrow d(i,i_0) > 0$,用度量单位 B_i 与 $d(i,i_0)$ 进行比较,即得 a_i 度量结果 Q_i:

$$Q_i = d(i,i_0)/B_i。 \tag{1}$$

$i \in I$ 的关系表明,上式可对多种 a_i 的物理性质 i 进行度量。式(1)为度量对象 a_i 的物理量 i 的度量模型[11]。

3 地物物理量的度量模型在测绘学中的应用

3.1 地物空间位置度量

任何事物都是一种地理现象,或称空间现象,它们都具有位置,因而可以表示在地图上。数据间的位置关系,通常称为地理序列(geographical ordering),是最重要的基本性质[12]。地物空间位置的确定,必须将其置于一定的坐标系中。例如,在以地球质心为坐标原点的空间直角坐标系,即在 $a_i = p(x,y,z)$ 的直角坐标系中,i 有3个分量:$i = x \in X \Rightarrow i_0 = p(0,0,0)$;$i = y \in Y \Rightarrow i_0 = p(0,0,0)$;$i = z \in Z \Rightarrow i_0 = p(0,0,0)$。$p(0,0,0)$ 为直角坐标系的坐标原点,a_i 的 x、y、z 坐标的度量单位 B_i 均为米(m)。度量结果 Q_i 即度量对象 a_i 以米(m)为单位表示的 x、y、z 的直角坐标。

3.2 高程度量

在大地测量中,将重力位为常数的面定义为重力等位面。大地水准面是与平均海水面紧密相关的重力等位面。由于大地水准面与整个地球较为接近,因此通常用大地水准面作为高程基准面[13]。在高程度量中,$a_i = i \in \{空间点\} \Rightarrow i_0 = 0$(大地水准面),度量单位 B_i 为米(m),度量结果 Q_i 为度量对象 a_i 的以度量单位 m 表示的高程。同一度量对象,在不同的度量基准下其高程也不同。如青岛市观象山上的水准原点,在“1956 年黄海高程系”中的高程为 72.289 m,而在“1985 国家高程基准”中则为 72.260 m,原因是后者比前者降低了 29 mm。$i > i_0 \Leftrightarrow$ 高程为正;否则高程为负,如新疆土鲁番盆地低于海平面的高程。

3.3 水深度量

在海洋(主要指沿岸海域)水深测量所获得的深度,是从测量时的海面(即瞬时海面)起算的。由于潮汐、海浪和海流等的影响,瞬时海面的位置随时间发生变化,同一测深点在不同时间测得的瞬时深度值是不一样的。为此,必须规定一个固定的水面,作为深度参考面,把不同时间测得的深度都换算到这一参考水面上去,这一参考水面称为深度基准面。它就是海图所载的水深起算面。我国1956 年以前采用略最低低潮面作为深度基准面,1956 年以后采用弗拉基米尔斯基理论最低潮面(简称理论最低潮面)作为深度基准面,它通常在当地平均海水面以下深度为 L 的位置[14]。由此可知,在水深测量中,$a_i = i \in \{水深点\} \Rightarrow i_0 = 0$(深度基准面),度量单位 B_i 为米(m)。度量结果 Q_i 为度量对象 $a_i = i$ 的以度量单位为 m 表示的水深。

3.4 一维、二维和三维度量

在度量空间中,度量对象 a_i 与度量单位 B_i 必须同维,即满足

$$\forall a_i \in R^n \Rightarrow B_i \in R^n \,\Big|\, n = 1,2,3。 \tag{2}$$

通常 $n = 1$ 时属线性度量，B_i 属长度单位，如米(m)、千米(km)等，可度量道路的里程等；$n = 2$ 时属面积度量，B_i 属面积单位，如平方米(m^2)、平方千米(km^2)等，可度量土地的面积等；$n = 3$ 时属体积度量，B_i 属体积单位，如立方米(m^3)、立方千米(km^3)等，可度量土方等。

3.5　时间度量

空间和时间是物质固有的存在形式。度量两个时刻之间的间隔长短的物理量叫做“时间”，它表征物质运动过程的广延性、间断性和顺序性。时间是天体及其物体的自然属性，是一种实实在在的运动形式，必不能为虚。由于天体运动是不可逆的，因此也不能为负，仅有过去、现在、将来而已。时间、空间和物质运动的不可分离性已被狭义相对论证实。人类共居的世界是一个四维“空间－时间连续区”是再真实不过的事实。1908 年，德国数学家闵可夫斯基（Minkowsky）为四维时空提出了数学框架，即闵可夫斯基几何，此时的时间和空间坐标满足：

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2 - t^2。\tag{3}$$

按照物理学的说法，三维空间中的“事件”就成为四维“世界”的存在[15-16]。因为假设条件 $\exists a_i \in R^3 \Rightarrow a_i \neq \varnothing \wedge t_i = 0$ 与狭义相对论矛盾，所以推理：$\exists a_i \in R^3 \Rightarrow a_i \neq \varnothing \Rightarrow t_i > 0 \mid a_i, t_i \in R^4$ 成立。这一蕴涵关系表明，空间非空性和时间非负性是物质存在的充要条件。设 T_1 为过去，T_2 为现在，T_3 为将来，“存在”的定义为[17-18]

$$C = \{a_i, t_i \mid a_i \neq \varnothing \wedge t_i > 0, a_i, t_i \in T_1 \vee T_2 \vee T_3\}。\tag{4}$$

由于物质存在的空间非空性和时间非负性条件，使任何空间存在物 $a_i \neq \varnothing$ 必有大于零的寿命，从而有其创生时刻 t_{i0} 和消亡时刻 t_{i1}，两者的“距离”$d(t_{i1} - t_{i0}) = t_i$ 就是 a_i 的寿命：

$$Q_i = d(i, i_0)。\tag{5}$$

式中，Q_i 就是 a_i 的以秒(s)为时间单位的寿命。

不同的事物一般使用不同的度量单位，如动植物、社会经济事件等，常用“年”为度量单位度量；地质年代，往往用“万年”、“百万年”为度量单位。

3.6　质量度量

质量是物体所含物质的度量。根据使物体产生一个确定加速度所需要的力定义的该物体的物质数量，称为惯性质量。根据物体施加的万有引力定义的该物体所含的质量称为引力质量。现代物理证明，这两种质量完全相等，这就是所谓的马赫原理[19]。惯性质量和引力质量等价的事实，成了广义相对论的重要依据。按式（1），在质量度量中，质量 $i \in a_i, i_0 = 0$ 为度量基准，B_i/kg(千克)为度量单位，$Q_i = d(i, i_0)$/kg 为度量对象 a_i 以 B_i/kg(千克)为单位表示的质量。

质量和重量有联系又有区别。同一物体在哪里的质量都是一样的，而重量则与物体所处的位置有关。同一物体，在地球的两极因其离心力最小，离地心较近，因而会重些；在赤道上因离心力最大且与地心引力方向相反，使其重量比在两极轻。1 000 g 的物体放到月球上，就只有 160 g 了，原因是月球的引力场比球的引力场小得多。

3.7　温度度量

温度是物体所含热量，即构成该物体的原子和分子的运动快慢的度量。1742 年，瑞典的摄尔胥斯(A. Celsius)发明了摄氏温标，它以 1atm(1atm = 101 325 Pa)下水的冰点和沸点为两个定点，并分别赋予两者的温度值为 0 和 100，用 t(℃)表示。摄氏温标也称“百分温标”。摄氏温度 t(℃)度量模型为[20]

$$Q_i = d(i, i_0)/B_i \mid i \in T(\mathrm{K}) \vee i \in t(℃),\tag{6}$$

$\forall i \in a_i$，当 $i \in t(℃) \Rightarrow i_0 = t_0 = 0$ ℃ $\mid -273.15 \leqslant t$；当 $i \in T(\mathrm{K}) \Rightarrow i_0 = T_0 = 0 \mid T \geqslant T_0$。

3.8　卫星激光测距

用安置在地面测站上的激光测距仪向配备了后向反射棱镜的激光卫星发射激光脉冲信号，该信号被棱镜反射后返回测站，精确测定信号往返传播的时间，进而求出观测瞬间从仪器中心至卫星质心间距离的方法、技术，称为卫星激光测距(satellite laser ranging)[21]。设激光发射时刻 t_s，经卫星反射后再接收到激光信号的时刻 t_T，按物理量度量模型式（1），测站发射激光的时刻 $t_s = i_0$，激光经卫星反射后再接收到激光信号的时刻 $t_T = i$，度量单位 B_i = s，来回时间 $d(i, i_0)$ 与光速 c 的乘积的一半，就是测站至卫星的距离 Q_i

$$Q_i = 0.5c(t_T - t_s) \mid c = 299\ 792\ 458\ \mathrm{m}。\tag{7}$$

4 结束语

对地物物理量的度量是获得地物的空间和物理特性的相关信息的必要手段。这些信息是制作地图的依据和源泉。由于任何度量过程都离不开度量对象和度量基准的比较，度量对象与度量基准“距离”的大小，也要用一定的度量单位与之比较才能对其进行定量表示，可见，“比较法是重要的认知和描述工具”的论断在地物物理量的度量中得到了充分的体现。地物物理量的度量模型由度量对象 a_i，度量基准 i_0，度量单位 B_i 和度量结果 Q_i 构成，度量对象 a_i 包含多种性质 i，即 $i \in a_i \Rightarrow i_0 \in a_{i0}$。通过测绘学中的直角坐标、高程、水深、地物的时间坐标（寿命）、质量、温度、卫星激光测距等实例，说明地物物理量的度量模型有重要的实用价值和科学解释功能。

参考文献：

[1] 章士嵘. 科学发现的逻辑 [M]. 北京：人民出版社，1986.

[2] 李占元，李景文，张卫京，等. 地理变量量表的数学定义 [J]. 桂林工学院学报，2005，25（1）：62－65.

[3] 钟业勋，吴丽芳，胡宝清. 关于比率量表可以表达为间隔量表、顺序量表和定名量表的数学证明 [J]. 桂林理工大学学报，2011，31（1）：96－99.

[4] 钟业勋，胡宝清，朱根雄. 基本地貌形态数学定义体系研究 [J]. 桂林工学院学报，2009，29（4）：481－484.

[5] 钟业勋，胡宝清，郑红波. 地图符号的基本结构和功能 [J]. 桂林理工大学学报，2011，31（2）：229－232.

[6] 钟业勋，胡宝清，王欢. 基于约束变换的地图符号新定义 [J]. 桂林理工大学学报，2013，33（3）：509－512.

[7] 测绘词典编辑委员会. 测绘词典 [M]. 上海：上海辞书出版社，1981.

[8] 高潮，甘华鸣. 高新科技 [M]. 北京：中国国际广播出版社，2001.

[9] 丹尼尔·卡拉曼尼（Daniele Caramani）基于布尔代数的比较法导论 [M]. 蒋勤，译. 上海：格致出版社，上海人民出版社，2012：3－8.

[10] 李孝传，陈玉清. 一般拓扑学导引 [M]. 北京：高等教育出版社，1982.

[11] 陈仲怀，钟业勋，胡宝清. 物理量的度量模型及其在测绘学中的应用 [J]. 测绘通报，2014（4）：68－69.

[12] 罗宾逊 A H，塞尔 R D，莫里逊 J L，等. 地图学原理 [M]. 5 版. 北京：测绘出版社，1989.

[13] 程鹏飞，成英燕，文汉江，等. 国家大地坐标系实用宝典 [M]. 北京：测绘出版社，2008.

[14] 宁津生，陈俊勇，李德仁，等. 测绘学概论 [M]. 武汉：武汉大学出版社，2004.

[15] 阿尔伯特·爱因斯坦. 相对论 [M]. 重庆：重庆出版社，2009：189.

[16] 张奠宙，过伯祥，方均斌，等. 数学方法论稿（修订版）[M]. 上海：上海教育出版社，2012.

[17] 童新华，韦杰文，钟业勋，等. 概念的派生逻辑及其在测绘学中的应用 [J]. 桂林理工大学学报，2013，33（1）：86－89.

[18] 钟业勋，童新华，刘晓晓. 地物演化的物理基础与地图符号变换模型 [J]. 桂林理工大学学报，2013，33（4）：684－687.

[19] 约翰·格里宾. 大宇宙百科全书 [M]. 黄麟，译. 海口：海南出版社，2001.

[20] 葛能全. 科学技术发现发明纵览 [M]. 北京：科学出版社，1986.

[21] 宁津生，刘经南，陈俊勇. 现代大地测量理论与技术 [M]. 武汉：武汉大学出版社，2006.

Metric model and its application of physical capacity of object

WEI Qing-yuan[1]，ZHONG Ye-xun[1,2]，HU Bao-qing[2]，WU Li-fang[2]

（1. Guangxi Regional Geographical Information Bureau of Surveying and Mapping，Nanning 530023，China；2. a. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use，Ministry of Education；b. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation，Guangxi Teachers Education University，Nanning 530001，China）

Abstract：The metric of physical capacity on object is the important mean to obtain related information on object. It is the basis and source of mapping. The metric model of physical capacity of object based on comparative law is constituted by metric target a_i，metric datum i_0，metric unit B_i and metric result Q_i. The physical property $i \in a_i$ existed in metric datum i_0 for an object，the distance function $d\ (i,\ i_0)$ from i to i_0 included the metrical unit B_i，namely，the metric result Q_i. The application of metric in surveying and mapping such as rectangular coordinate，height，bathymetric，the time coordinate of object（life-span），quality，temperature，satellite laser ranging，etc al. explains the practical value and scientific interpretation function for metric model of physical capacity for object.

Key words：physical capacity；comparative law；metric target；metric datum；metric model；geomatics；application