



110

科普系列丛书

辽宁省科学技术协会 编

谈天说地 讲测绘

潘啸虹



辽宁科学技术出版社

LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



110

科普系列丛书

辽宁省科学技术协会 编

谈天说地讲测绘

潘啸虹

辽宁科学技术出版社

沈 阳

©2010 版权归辽宁省科学技术协会所有, 授权辽宁科学技术出版社使用

图书在版编目 (CIP) 数据

谈天说地讲测绘 / 潘啸虹编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010. 4

(科普系列丛书)

ISBN 978-7-5381-6401-5

I. ①谈… II. ①潘… III. ①测绘学 - 普及读物
IV. ①P2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 059101 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳新华印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140 mm × 203 mm

印 张: 6.5

字 数: 160 千字

印 数: 1~5 000

出版时间: 2010 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘 红 李伟民

特邀编辑: 方春晟

封面设计: 嵘 嵘

版式设计: 姿 兰

责任校对: 耿 琢

书 号: ISBN 978-7-5381-6401-5

定 价: 12.00 元

联系电话: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

《科普系列丛书》编委会

顾 问 王天然 程耿东 丁德文 孙铁珩 黄其励
胡永康 唐任远

主 任 康 捷

副 主 任 刘 红 张玉龙 吴春福 左 良 臧树良
何钦成 于明才 金太元 王元立 尹承恕
宋纯智

委 员 (以姓氏笔画为序)

于明才 王元立 王玉惠 王奉安 方春晟
尹承恕 左 良 冯玉沈 朱玉宏 刘中敏
刘 红 孙 丹 孙红军 杜 楠 李伟民
谷 军 张玉龙 吴春福 何钦成 宋纯智
金太元 康 捷 臧树良

主 编 康 捷

执行主编 尹承恕 方春晟

序 言

组织编写科普图书，大力普及科学技术文化知识，促进公民科学文化素质的提高，是科协组织的重要职责之一。为了编辑出一套高质量的科普图书，我们下了很大力量。聘请五位院士作顾问，发动全省各级学会和科普组织，动员广大科技工作者参加撰写工作，并通过下发文件、召开会议等进行广泛动员。虽然也有省内外近百位作者送来提纲或作品，但符合要求的不多，目前出版的也不过10部作品。当然，这其中不乏佳作。但是，无论从数量、专业分布，还是从科普的角度看，尚不能完全尽如人意，与我们当初的设想还有一定距离。这不仅说明科学普及的长期性、艰巨性，也说明科学普及、科普作品绝不是有些人认为的“小儿科”、“下里巴人”。科普作品是一门学问，一种特殊艺术，它既要求有科学的系统性、知识性，又需要有很高的文学素养，要写得有趣味性、具可读性。当一个称职的科普作者并不是一件很容易的事，写出具有最新的科学知识、严谨的科学思想、崇高的科学精神、富含科学方法而又妙趣横生的作品并不容易。创作科普作品，对作者有独特的要求。成为优秀科普作家，写出好的科普作品，既要有扎实的科学功底，又要有较高的写作技巧。

当前举国上下正在贯彻党的十七大精神，深入学习实践科学发展观。公民科学素质建设，正是实现科学发展、构建和谐社会的一项基础性社会工程。普及科学知识、传播科学思想、弘扬科学精神、倡导科学方法是科学普及的主要内容和任务。科普图书作为一种科普传播的类型，与电视广播、报纸杂志、互联网络等科普形式相比，内容更加系统全面，阅读更加方便，是其他形式



无法替代的。目前，辽宁省科学技术协会组织编写的《科普系列丛书》，经辽宁科学技术出版社推荐，已列入辽宁省“十一五”重点图书出版规划。按照原计划，这套丛书包括自然科学所涵盖的天、地、生、数、理、化诸学科以及工程、技术各主要领域的科技知识。它将全面介绍当代科学前沿，如信息科学、生命科学、物质科学、脑与认知科学、地球与环境科学、数学与系统科学以及自然科学与社会科学的交叉领域中形成的新学科及其进展；介绍信息、生物、海洋开发、航天、新材料、新能源、环保等高新技术；介绍有重大经济社会意义的实用技术；介绍科普著作、科幻作品等。丛书还将结合辽宁特点，以艺术的形式介绍具有辽宁地方特色的自然资源，如地质、地貌、气候、矿产、动物、植物等；介绍在辽宁的大专院校、科研院所的特色学科、重点实验室所从事的科学奥秘等。实现这个设想还需要科技界付出巨大的努力。真诚希望广大科技工作者、科普作家以及热心科学普及事业的社会科学、文学艺术方面的专家、学者，以提高全民族的科学文化素质为己任，积极投身到《科普系列丛书》的创作中来，多出作品，出好作品。

《科普系列丛书》编撰工作还处于尝试阶段，缺点及不足之处在所难免，衷心希望广大专家、学者及读者朋友提出宝贵意见。让我们共同努力，做好科普丛书的编撰和出版工作，为提高公民科学素养水平，早日实现全面小康、建成和谐社会贡献智慧和力量。

康捷

2009年3月于沈阳

目 录



序言

引子	001
谈天说地	003
古代人比我们高吗——从绳尺到光尺	003
测绘就在我们身边——从日常生活与测绘的关系谈起	009
测绘是一门认识和改造自然的科学	012
测绘与人类的安居休戚相关	016
珠穆朗玛峰测高是传统测绘与现代测绘技术的 完美结合	019
从一张地图谈起	032
品种繁多的地图	032
“海拔高程”的来历	038
明亮的北极星	045
确定地球上任意点坐标的捷径	057
从白纸测图到数字化制图	066
从切橘子皮引出的话题	074
$[P_w] = \min$	081



遥感——RS	090
战争促进了 RS 的发展	090
用相片生产地图	103
太空巡礼	113
地面摄影测量的应用就在我们周围	123
全球卫星定位系统——GPS	133
从曼伯的特殊“背包”说起	133
军事观察家们的一次激烈争论	136
P 码和 C/A 码	143
巡航在苍穹的盾牌	149
全球卫星定位系统还能为我们做点啥	154
地理信息系统——GIS	168
车载卫星导航仪	168
3S 中的生力军	171
数字地球	179
GIS 的应用	188
前景瞻望	194
神奇的网格	194
深情的嘱咐	200



引子

小J经过中考，升入重点高中。

他生活在测绘世家，父亲是测绘院的院长，母亲在测绘研究所任研究员。大人们工作都挺忙，所以，小J从小就由爷爷照顾。

爷爷是已经退休的高级工程师，搞的就是测绘专业。小J喜欢跟爷爷在一起，从小就爱听爷爷讲故事，所以，小J在上幼儿园之前就知道了许多童话故事，他会背诵唐诗中的五言和七言绝句。他还特别喜欢翻看爷爷给他买的许多动物画册。所以，小J上了幼儿园以后，常常给小朋友们讲童话故事和动物常识，小朋友们都喜欢跟他在一起玩。

优美的童话故事和对大自然奥秘的好奇，丰富了小J的想象力，并从小就养成对知识的渴求，这使小J以优秀的成绩升入了初中。

在大山大川中闯荡了一辈子的爷爷，很注意培养小J独立生活的能力，小J从小学五年级开始就自己拿着月票挤公共汽车上学，不再让爷爷接送，并且养成习惯：当天的习题当天做完。

这就使小J每学期的考试成绩，总是排在班级的前三名。

小J是神童吗？或者他具备什么特异功能？

绝对不是！而且，从来不参加形形色色的补习班。

那他学习好的秘诀是什么呢？

简单来说就是两个字：勤奋。



说得具体一点，那就是——

强烈的求知欲，养成他对学习的兴趣，每听一节课，他总是全神贯注；

认真做习题，他认为做习题是检验对知识理解深度的试金石，怪不得分秒必争；

对课外读物有着浓厚的兴趣，这些课外读物的来源广泛，有来自长辈的馈赠、家里的藏书，还有图书馆。其中，对他最具吸引力的是中外文学名著和科普读物。

除了从书本中获取知识以外，小J还通过旅游、参观博物馆和参观科技成果展等方式去获取知识，尤其是小J除了爱听爷爷讲故事以外，还爱听爷爷讲自然界的各种知识，其中，当然也包括爷爷讲的测绘知识。

爷爷讲的测绘知识中，引人入胜的内容可多了，譬如：

在预测自然灾害中，测绘能未卜先知；

珠穆朗玛峰测高的传奇历程；

人造卫星和神舟飞船的太空航行离不开地面站和远洋测量船的监控；

处理数据误差的诀窍：改正数的平方和最小；

怎样将地球表面的地物、地貌展现在平面图上；

全球卫星定位系统是导航及探险的忠实助手；

太空的千里眼——遥感系统；

如何操纵无人驾驶飞机进行远程袭击；

数字地球、数字地区、数字城市、数字……



谈天说地

古代人比我们高吗 ——从绳尺到光尺

那是周六的上午，小J从书架里取出《三国演义》，津津有味地阅读起来。但开卷不久，小J便找来铅笔和白纸，仔细地算了起来。算完了，又托着腮帮在沉思。

爷爷看在眼里，有点纳闷，阅读文学作品，难道用得着数学吗？就在这时，小J忍不住问了一句：“爷爷，古代人比我们高吗？”

爷爷平静地回答：“人的高矮怎会一样？总体上跟人种有关，但跟年代没什么关系。”

“可桃园三结义中明明写着：刘玄德身長七尺五寸，张飞身長八尺，关羽身長九尺，我算了一下，折合成米制，刘玄德最矮，也有250厘米，而关羽的身高是300厘米，比最高的篮球运动员还高出一大截呢，不比现代人高多了？”

“哈哈！不是古代人比现代人高，而是历代尺的长度不一样。”

爷爷说完，走到书架前，找出一本《中国度量衡史》，翻到印着历代尺长统计表的那一页，指给小J看：“你看这儿，东汉时期每尺折合23.04厘米，你算一下，关羽的身高是多少？”



小J很快就回答：“应该是 207.36 厘米。”

爷爷一听就知道，孙子用的是速算法，他把 $9x$ 变成了 $(10-1)x$ ，计算就快捷多了。

小J仔细地看了看统计表，中国历代每尺最长的是清朝，每尺折合 32 厘米，最短的是周朝，每尺折合 19.91 厘米。

小J这才恍然大悟：“我明白了，原来古代人并不比现代人高。就拿桃园结义的三兄弟来说，个子最高的关羽，也跟如今的篮球运动员差不多。”

爷爷点点头：“对呀，看来印文学作品时，应该增加点有关计量的注释，尤其是翻译外国的文学作品时，更应该加以注释，免得产生误解。”

“爷爷是搞了一辈子测绘，怪不得对历代的长度知道得那样详细。”

“尺是重要的测绘工具之一，知道最原始的尺是用什么材料做的吗？”

“皮尺，用漆布做的。”

“那是后来才有的，最早的丈量工具是绳尺，我们的祖先在纤维材料做成的绳子上打着等长的结，这就是绳尺。”

“我听老师讲过，我们的祖先为了记事，在绳子上打着各种各样的结，原来绳结之间的距离，可以当尺来用。”

“4 000 年前，大禹治水使用了规（圆规）、矩（成直角的工具）、准（测水平的工具）、绳（测量长度的尺）。《史记》记载：‘左准绳、右规矩、载四时，以开九州、通九道。’别看绳尺最古老，但一直到现在，还没有失掉使用价值，只不过绳尺更细、更耐磨，绳尺上的结，用铜圈箍紧，上刻数字，在简易测量时还能派得上用场。你还见过哪些材料做的尺？”

“嗯——有木尺、竹尺、皮尺、钢尺。”

“还有呢？”

“对了，我在一本科普书上看到过，在船上测量水深时用的是声呐系统，声音也可以测量距离。”

“知道声呐系统的工作原理吗？”

“超声波发射出去后，遇到目标就反射回来，记录下超声波往返的时间，乘以声波的速度，再除以 2，这就是测点与目标之间的距离。”

“说对了，声波也可以作为尺来利用，声波是一种振动波，形状像正弦曲线，就像水的波纹一样，我们称之为机械波，用作声尺的机械波是经过调制的，作为波束传向目标。声呐不但可以测量水深，用来绘制海图及描绘水底地形图，还可以用来探测潜艇的位置或被渔船用来寻找鱼群。”爷爷又问：“还有呢？”

“那我就说不上来了。”小 J 只好摊开了双手。

“还有电波和光波都可以用来精密测距，统称电磁波。”

“那就是电尺和光尺啰。”

“通俗地讲，可以这么说。”

“基本原理也跟声呐系统一样？”

“完全一样，用数学模型来描述，就是 $D=S \cdot t / 2$ ，简单地说，就是电波或光波的速度乘以时间再除以 2。这是脉冲法测距的基本原理。记下送入计数系统的脉冲数目，直接把所测距离用数码管显示出来。”

小 J 听了将信将疑：“真这么简单吗？”

爷爷说：“作为调制后的波束，电波用的是微波，而测距用的调制光波主要是调幅波，这样便于用相位法来测距。所谓相位法，就是把光尺分成两把，一把叫‘精尺’，主要测量长度中的尾数；一把叫‘粗尺’，主要是测量长度中的整数，将两种频率的高频电压加到砷化镓发光管上，形成两束红外光的调制波，就会由仪器的测相装置测出长度的整数及尾数，将两数相加，就得到完整的长度。从相位法测距又派生出一种方法，叫‘干涉法测



距’，与相位法测距的差别在于不是直接测量调制信号的相位，而是通过测量光波本身经分光干涉后的相位叠加结果去测定距离。这种方法适合于短距离的精密测量，所以大部分应用于计量检定的实验室。以光波作为载波的测距仪分为两大类：一类是用激光作为光源，统称激光测距仪；另一类是以红外光作为光源，统称红外测距仪。而以电波做载波的测距仪，用的是微波波段，所以叫微波测距仪。这些载波都是电磁波，所以统称‘电磁波测距’。”

听到这里，小J点点头，表示工作原理是听清楚了。

爷爷接着说：“为了将距离测得更准确，在目标上最好安置棱镜，作为反射光束用，由于光束射得越远，信号越弱，所以，为了增强反射的信号，棱镜光具组由单棱镜增加到多棱镜，一般有3~4棱镜及9~12棱镜组成的棱镜光具组。”

“那挺麻烦！有没有不用棱镜的测距仪呀？”

“当然有，在用光波做载波的测距仪中，也有不用棱镜的，但一般是在将测距系统和测角系统组装成整体的全站仪上。”

“不用棱镜的测距仪器不是更方便吗？”

“可测距的远近，是与光源的强弱成正比的，测程较短时方便，但测程很远时，譬如说测星测月，那得极强的光源，这样的光电经纬仪只能固定在地面或安装在舰船上，想搬到野外去是办不到的。”

爷爷说完，又从书架的文件夹中取出一摞样本，这里就像电磁波测距仪的图片展。从最初的测距装置与测角装置分开的仪器，到两者合为一体的全站仪，应有尽有，活像一部电尺和光尺的发展史。这里，既有瑞士和德国著名光学仪器厂生产的光机产品，也有日本和我国生产的仪器，真是琳琅满目，大开眼界。

后来，爷爷指着一台新型的全站仪，将主机的功能及使用方法详细地讲给小J听，使小J对这类复杂的仪器有了初步的印象。

突然，小J向爷爷提了一个问题：“样本中绝大多数是光尺方面的仪器，为什么电尺方面的仪器很少呢？”

爷爷听了，觉得孙子提的问题很有分量，自己在测绘岗位上干久了，有些问题也就习惯成自然，不以为怪，经孩子一提问，他忽然想到了自然界的一条法则，那就是“优胜劣汰”。于是，语重心长地告诉孩子：“电尺主要是微波测距仪，由于电波的发射和接收都要通过抛物面天线，仪器外表比较庞大，在野外不便携带，实用性差，所以大家把注意力转向光尺类仪器，这就是红外光和激光测距装置发展快的原因。”

小J又问：“爷爷，我们现在的长度计量基本单位有些地方叫米，有些地方叫公尺，这是一回事吗？”

爷爷说：“问得好！在1985年9月6日，《中华人民共和国计量法》正式颁布，国家采用国际单位制，其中，长度的基本单位是米，即光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒的时间之隔内所经过的距离。‘米’是美语‘meter’的译音，英语的写法是‘metre’，在《计量法》颁布以前，‘米’曾采用音译的全称‘米突’，为了区别于市尺和英尺，也有采用‘公尺’这一名词的。现在，‘米’和‘公尺’混着使用是不合适的，应该统一按法定计量标准，使用米制，因为，‘公制’的‘公分’与‘公厘’，跟‘米’制的‘分米’、‘厘米’，有相同的汉字，但实际长度却相差一个数量级。这种现象不仅媒体上混着使用，就连不少科技工作者，在涉及计量单位时，也不按法定计量标准使用，这就更加不好了！希望你们学生，从小就养成习惯，长大以后就不会混用。”

“我一定记住爷爷的话。可是，这‘米’制的第一把尺在哪里呢？”

“在法国，那是用钢铸成的，又叫因瓦原尺，是国际‘米’制的标准尺，仅仅作为长度比较的标准，实际使用时，用因瓦材料做成许多基线尺，这种基线尺的形状有两种，一种是圆形的，



仅两端有三棱状的短尺，上面有刻划，供丈量时读数用的，尺长一般是 24 米，在野外丈量长度时，每 24 米左右安装三脚架，上面有轴杆头，把基线尺架在轴杆头上，两端挂上特制的重锤把尺拉紧，由两名测量人员在两端同时读数，并记录温度，因为因瓦尺虽然伸缩系数很小，但毕竟是金属，所以，长度应该加温度改正，归算到标准温度 20℃ 时的长度。轴杆架不是随便可以摆放的，事先必须将需要测量的长度按所用尺的尺长分成小段，用经纬仪定直线，不然七拐八弯的，量出来不成了折线长度吗？再有，轴杆头不可能都在一个水平面上，那咋办？就用水准仪测出轴杆头之间的高差，这样就可以将倾斜距离改成水平距离，用勾股定律就行；另外还要加一些其他的改正，才能得出可以采用的结果。将每段的长度加起来，就是两点之间的边长。还有一种基线尺是扁的，又叫‘带状尺’，这种尺，主要是英国制造的，一般是 100 英尺，折合成‘米’制是 30.46 米，这种尺两端有一小段刻有分划，供丈量时读数用，丈量的方法跟‘线状尺’相同。各国都要建立实验室，用‘光干涉法’建立长度基准，并且在野外还要建立一些长度的检定场，这些检定场的长度就是用鉴定过的基线尺多年重复丈量后才向社会开放使用的，供检验钢尺及电磁波测距仪使用，用这种方法，将长度测量的系统误差控制在一定范围内。因为在计量单位中，长度单位是最重要的，这决定了面积和体积的计量单位，也牵涉到重量单位，各国都非常重视。所以说，国际单位制是在米制基础上发展起来的，能普及到全球，是因为米制是十进制，计量非常方便。”

小 J 插了一句：“我听老师说过，英尺是英制，使用英制的国家也很多，因为英国曾是个‘日不落帝国’，所以，英联邦的国家很多，但英尺不是十进制，用起来怪麻烦的。”

爷爷点点头：“这就说到点子上了。但有些国家虽然采用英制，由于工业产品中大量采用米制，所以他们在英制的数字后面

加个括弧，注明米制的数字。譬如，在高速公路的路标上，英制的里程后面用括弧注明米制的里程。”

“我还有一个问题：常听老司机说，我把车开到多少‘迈’，这‘迈’算什么计量单位呀？”

“哦！‘迈’是音译，英文是‘mile’，就是英里。老司机说‘迈’，因为过去的老车，速率表上采用的是英制，说惯了，还叫‘迈’。其实，现在国产的车，全是米制的速率表，再要说‘迈’就不对了，因为，1英里等于1609米，如果驾驶装着英制速率表的汽车上高速公路，弄不好就会超速违章，那是要挨罚的！”

小J和爷爷相视一笑，这次关于尺的话题，就暂时唠到这儿。

测绘就在我们身边 ——从日常生活与测绘的关系谈起

小J看完了《三国演义》，想起了上次从爷爷那里了解了尺的故事，忽然勾起了对测绘科学技术的兴趣，便将《三国演义》放回书架原处，又打开其余的书架，这些是专门排列科技书籍的，爷爷和父母的专业书籍琳琅满目，大多是厚本子，有些还在书脊上烫了金字，是精装书，例如《摄影测量原理》、《大地测量学》、《实用天文学》、《工程测量学》、《数字地籍》、《最小二乘法》、《地理信息系统》……真是目不暇接，还有许多工作手册。可是，任凭小J翻遍所有书架，硬是找不到一本关于测绘的科普小册子，正好爷爷在看电视，他便央求爷爷帮个忙。

这可使爷爷也犯了愁，只好实话实说：“这些书架里的测绘专业书籍比图书馆里还要全，可你要看有关测绘方面的科普书，确实把我给难住了。这样吧，今天咱俩就换个话题，唠唠测绘跟